

Megsien

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN
MINISTERSTWA ENERGETYKI, MINISTERSTWA PRZEMYSŁU MASZYNOWEGO,
STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

ROK XXX

ZESZYT 4

21.IV.1954

II ZJAZD POLSKIEJ ZJEDNOCZONEJ PARTII ROBOTNICZEJ

Partia nasza, podobnie jak partie robotnicze całego obozu socjalizmu, wysunęła wielkie, jednoczące, twórcze hasło — przyspieszenia wzrostu stopy życiowej mas pracujących miast i wsi — jako naczelne zadanie obecnego etapu naszego budownictwa socjalistycznego.

Podnieść jak najszybciej na wyższy poziom warunki bytu i kultury mas ludowych, zespolić w tym kierunku ogólne wysiłki — oto dzisiejsze nowe zadanie, nowa treść sojuszu robotniczo-chłopskiego.

Cel jest jasny. Wzrost dobrobytu materialnego jest nie tylko żywotną potrzebą ludzką, ale również warunkiem dalszego wzrostu sił produkcyjnych, szybkiego wzrostu kultury mas pracujących, ich świadomości, a siły wytwórczej, kultura i świadomość mas — to podstawowe dźwignie rozwoju narodu, jego uzdolnień twórczych, jego jedności i potęgi.

Czym jest Front Narodowy w Polsce, oceniany jako szczególna forma mobilizacji opinii i postawy społeczeństwa w sprawach dla przyszłości narodu decydujących? Jest on wyrazem tego, że przytłaczająca większość społeczeństwa, niezależnie od dzielących je jeszcze różnic, rozumiała olbrzymią wagę jedności i zwartości narodu w chwilach, gdy wchodzi w grę najistotniejsze interesy i potrzeby ogólnonarodowe, że gotowa jest zadokumentować tę jedność swym czynem. Taką potrzebą ogólnonarodową, a zarazem i ogólnoludzką, jest przede wszystkim sprawa utrwalenia pokoju.

Jedność woli, zgodność działania w sprawach najbardziej istotnych i decydujących nie wyklucza bynajmniej krytyki ani ścierania się myśli i poglądów; na odwrót, winna sprzyjać rozwojowi krytyki, ożywianiu dyskusji i pogłębianiu ich treści.

B. BIERUT



WYDAWNICTWO NACZELNEJ ORGANIZACJI TECHNICZNEJ

SPIS RZECZY

- Gospodarki nasza w świetle wywodów Bolesława Bieruta na II Zjeździe PZPR.
- Pelczewski W. Zasada działania rototrola jednostopniowego.
- Lutyński J. Zasilanie elektrofiltrów.
- Mayzel B. Słupy strunobetonowe.
- Domański E. Podstawy techniczno-ekonomiczne stosowania słupów strunobetonowych do budowy linii wysokiego napięcia.
- Hellmann W. Zasady projektowania urządzeń elektrycznych w elektrowniach wodnych, przewidywanych do realizacji w warunkach polskich.
- Szumilin W. Układy przesyłowe o napięciach ponad 20 kV.
- Mazur M. Nowe idee w elektrotermii.
- Przegląd czasopism:
Zastosowanie elektroniki w przemyśle.
Impulsowe zasilanie elektrofiltrów.
- Biuletyn Instytutu Elektrotechniki:
O przyczynach uszkodzeń transformatorowych izolatorów przepustowych do 30 kV.
- Konferencja naukowa elektrotechniki teoretycznej.
- Wydawnictwa nadesłane.
- Przegląd dokumentacyjny elektrotechniki.

СОДЕРЖАНИЕ

- Наше хозяйство в освещении выводов Болеслава Берута на II съезде ПОРП.
- Пелчевский В. Принцип действия одноступенчатого электромашинного усилителя („рототроль“).
- Лютынский Е. Питание электрофильтров.
- Майзель В. Струнобетонные опоры.
- Доманский Е. Техническо-экономические основы применения струнобетонных столбов для постройки линий высокого напряжения.
- Хельман В. Основы проектирования электрических устройств в гидроэлектрических станциях, предусмотренных к постройке в польских условиях.
- Шумилин В. Электрические системы при напряжении свыше 220 кв.
- Мазур М. Новые идеи в электротермии.
- Обзор журналов:
Применение электроники в промышленности.
- Импульсное питание электрофильтров.
- Бюллетень Электротехнического Института:
Причины повреждений трансформаторных пропускных изоляторов для напряжений не выше 30 кв.
- Научная конференция теоретической электротехники.
- Поступившие публикации.
- Библиографический обзор электротехники.

CONTENTS

- Poland's economy as propounded by Boleslaw Bierut at the II Meeting of the Polish United Workers' Party.
- Pelczewski W. Principles of operation of single-stage rototrols.
- Lutyński J. Electric precipitator feeding.
- Mayzel B. Prestressed concrete poles.
- Domański E. Technical and economic fundamentals of using prestressed concrete poles for H. T. lines.
- Hellmann W. Principles of planning electrical equipment for hydro-electric power plants to be built under conditions obtaining in Poland.
- Szumilin W. Transmission systems of more than 220 kV.
- Mazur M. New ideas in electrothermics.
- Revue of periodicals:
Industrial application of electronics.
Electrostatic precipitator im pulse supply.
- Bulletin of the Electrotechnical Institute:
Causes of defects in transformer bushing insulators of up to 30 kV.
- Scientific conference on theoretical electrotechnics.
- Publications received.
Electrical Bibliographic Review.

Każdy naukowiec, inżynier, technik, racjonalizator musi wiedzieć, co zostało opublikowane w prasie światowej na temat jego pracy; informują go o tym KARTY DOKUMENTACYJNE Centralnego Instytutu Dokumentacji Naukowo-Technicznej.

Centralny Instytut Dokumentacji Naukowo-Technicznej
Warszawa, Al. Niepodległości 188

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN

MINISTERSTWA ENERGETYKI, MINISTERSTWA PRZEMYSŁU MASZYNOWEGO,
STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

Redaktor naczelny inż. Tadeusz Czaplicki. — Redaktorzy działów inżynierowie: Stanisław Andrzejewski, Janusz Gniewiewski, Leszek Zienkowski, Tadeusz Żarnecki

Rok XXX

Warszawa, 21 kwietnia 1954 r.

Zeszyt 4

Gospodarka nasza w świetle wywodów Bolesława Bieruta na II zjeździe PZPR

W ciągu ubiegłego 5-lecia wzrost liczebny naszej klasy robotniczej był nieporównywalnie szybki. W roku 1948 ogólna liczba pracowników zatrudnionych poza rolnictwem wynosiła 3.534.000, obecnie liczba ta wynosi już około 6 milionów, gdy przed wojną (1938) — wynosiła 2.730.000. Klasa robotnicza wzrasta nie tylko liczebnie. Podnosi ona również swoje kwalifikacje fachowe, swoją wiedzę techniczną, poprawia swe warunki życia, podnosi swój poziom kulturalny, pogłębia swą świadomość, swą bojowość i siłę oddziaływania na cały naród.

Umocniły się wbrew wrogim podszeptom i kułackim knowaniom nierozzerwalne więzy między klasą robotniczą a chłopstwem pracującym. Dalsze umacnianie tej więzi i braterstwa ludu pracującego miast i wsi jest dziś sprawą najważniejszą. Od siły i głębokości sojuszu robotniczo-chłopskiego, od tempa wzmacniania się zwartości tego sojuszu i kształtowania się jego treści klasowej zależy również tempo przerastania rewolucji ludowo-demokratycznej w socjalistyczną.

Polska Partia Robotnicza doceniała w pełni wielką, decydującą wagę sojuszu robotniczo-chłopskiego. Jako pierwsze i najważniejsze zadanie władzy ludowej PPR wysunęła reformę rolną, nadając podziałowi ziemi obszarnej między chłopów charakter oddolnego ruchu masowego.

Państwo ludowe podjęło na Ziemiach Odzyskanych już od pierwszej chwili trudne organizacyjno-gospodarcze zadania przywrócenia niemal od nowa na tych terenach życia gospodarczego we wszystkich dziedzinach. Było to wielkie, historyczne, niezwykle trudne zadanie w ówczesnych warunkach zniszczeń i ruiny powojennej.

Polska Ludowa od pierwszej chwili swego istnienia wszystkie swe siły oddaje sprawie pokoju.

Wytęczyła naszej polityki zagranicznej jest gotowość współpracy również z państwami o odmiennym ustroju społecznym. Wraz z ZSRR i całym obozem pokoju stoimy na stanowisku możliwości pokojowego współistnienia państw o różnych systemach społecznych.

W myśl tych wytycznych Polska Ludowa rozwija handel z państwami kapitalistycznymi, zawarłszy z nimi na przestrzeni minionych 5-ciu lat 126 umów i porozumień handlowych na globalną sumę obrotu w wysokości 11,7 miliardów rubli.

Oparliśmy nasze bezpieczeństwo o niezachwiany sojusz z wielkim Związkiem Radzieckim i krajami demokracji ludowej. Rok 1944 był rokiem przełomowym w historii naszego narodu. Dziś ZSRR jest głównym bojownikiem przeciwko odrodzeniu militaryzmu niemieckiego, dlatego też nasz sojusz z ZSRR jest gwarancją naszego bezpieczeństwa.

Naszą rewolucję ludową historycznie przygotowała Wielka Październikowa Rewolucja Socjalistyczna i najdonioślejszy dla nas fakt wyzwolenia naszego kraju przez zwycięską Armię Wyzwolniczą socjalistycznego państwa, które nie tylko wyzwoliło nas z niewoli, ale i okazało nam braterską wszechstronną pomoc w odrodzeniu naszego życia i zbudowaniu nowego ustroju społecznego.

Społeczno-ekonomiczną podstawą i celem naszej rewolucji ludowej jest pokojowe budownictwo gospodarki socjalistycznej, jako bazy materialnej i kulturalnej społeczeństwa, wolnego od wszelkiego wyzysku i podziału na klasy, rozporządzającego potężnymi siłami wytwórczymi, zdolnego do odparcia wszelkich prób agresji imperialistycznej, zaspokajającego coraz lepiej, obficie i wszechstronnie potrzeby narodu, powiększającego wkład twórczy Polski Ludowej w ogólnoludzkie dzieło utrwalenia pokoju, współpracy i przyjaźni międzynarodowej. Środkiem do osiągnięcia tego celu jest rosnące wciąż uprzemysłowienie kraju, wydajny rozwój produkcji rolniczej oraz stopniowa socjalistyczna przebudowa rolnictwa.

W okresie lat 1950—1953 uwaga partii oraz państwa ludowego i jego organów skupiała się i musiała się skupiać głównie na rozwiązaniu zagadnień związanych z socjalistycznym uprzemysłowieniem kraju jako podstawowej dźwigni rozwoju całej gospodarki narodowej.

Trzeba stwierdzić, że podstawowe zadanie socjalistycznego uprzemysłowienia kraju zostało w ciągu lat 1950—1953 zrealizowane w zasadzie pomyślnie. Polska, z zacołanego, uwsteczniowego rolniczego kraju, będącego rolniczo-surowcowym zapleczem państw imperialistycznych, stała się przemysłowym, socjalistycznym państwem o wielkim i stale rosnącym potencjale gospodarczym.

O rozmiarach i charakterze socjalistycznego uprzemysłowienia kraju dokonanego przez władzę ludową, zwłaszcza w okresie ostatnich czterech lat, świadczy fakt, że w roku 1953 produkcja przemysłu jest 3,6 raza większa niż w roku 1938, a na jednego mieszkańca 4,8 raza wyższa.

Olbrzymie postępy w zakresie rozwoju produkcji środków wytwórczości ilustruje następująca tablica:

Produkcja	Przed wojną (1938)	Końcowy rok planu 3 letniego (1949)	Rok 1953	1938 — 1953 wzrost produkcji na 1 mieszkańca (1938 — 100)
Stal (tys. t)	1441	2300	3604	330
Węgiel kamienny (mln. t)	38,1	74,1	88,7	307
Energia elektryczna (mlrd. kWh)	3,98	8,30	13,6	451
Cement (tys. t)	1719	2344	3299	253
Obrabiarki do metal (t)	1740	9438	20300	1500

Dostawy maszyn i narzędzi dla całego rolnictwa są ponad 2,5 raza większe niż w roku 1949, dostawy nawozów sztucznych są w roku 1953 o 64 proc. wyższe niż w 1949 roku, ale w świetle zadań, które stoją przed rolnictwem, jest to wyraźnie niewystarczające.

W związku z tym przedłożony projekt uchwały w sprawie zadań gospodarczych na lata 1954—1955 stawia zadanie przeskoku dwukrotnego podniesienia produkcji maszyn i narzędzi rolniczych w roku 1955, w stosunku do roku 1953, zadanie uruchomienia produkcji maszyn o podstawowym znaczeniu dla mechanizacji rolnictwa.

Polskę stać obecnie, aby w oparciu o rozwiniętą bazę przemysłu środków wytwórczości znacznie rozszerzyć produkcję przemysłu nawozów sztucznych. Dlatego projekt uchwały o zadaniach gospodarczych na lata 1954—1955 stwierdza, że wartość dostaw nawozów dla rolnictwa winna wzrosnąć w roku 1955 o około 38% w porównaniu z rokiem 1953, przy czym wartość dostaw nawozów azotowych winna wzrosnąć o około 46%.

Wreszcie rozwijać się musi w należyłym tempie baza paliwo-energetyczna, stanowiąca niezbędny czynnik rozwoju całej gospodarki narodowej, a jeżeli chodzi o produkcję węgla kamiennego i koksu — również jeden z głównych elementów naszego eksportu.

Jeżeli chodzi o przemysł środków wytwórczości, to w jego dotychczasowym rozwoju zarysowało się określone niebezpieczeństwo, na które II Zjazd i cała partia muszą zwrócić specjalną uwagę. Chodzi mianowicie o wyraźną niedostateczność bazy surowcowej i wyraźne opóźnienie się w tym względzie w stosunku do zadań planu 6-letniego.

Dlatego jako pilne zadanie staje nadrobienie opóźnień w tym względzie i forsowanie produkcji krajowych surowców żelazodajnych. Dotyczy to także rud miedzi, surowców dla produkcji aluminium, krajowych fosforytów, surowców siarkodajnych i rzecz



jasna — naszego największego bogactwa narodowego — węgla a zwłaszcza węgla koksującego.

Przemysł artykułów szerokiego spożycia, jak wynika z przytoczonych cyfr sprawozdawczych, osiągnął w okresie 4 lat planu 6-letniego wielki wzrost, ale, jak wiadomo, wzrost ten nie zaspokaja w dostatecznym stopniu szybko rosnących potrzeb ludności pracującej.

Dlatego właśnie uchwała w sprawie głównych zadań gospodarczych na lata 1954—1955, zakładając wzrost globalnej produkcji przemysłu socjalistycznego w ciągu najbliższych dwu lat o około 21—22%, stwierdza jednocześnie, że w okresie lat 1954—1955 tempo wzrostu produkcji środków wytwórczości i środków konsumpcji winno kształtować się w zasadzie na tym samym poziomie.

Należy położyć nacisk na walkę o jakość produkcji, na zwiększenie trwałości wyrobów i poprawę ich jakości i opakowania, na dostosowanie się do wymagań i upodobań konsumenta, a także na zwiększenie produkcji artykułów w wyższym gatunku.

A więc drugie zadanie, które wynika z analizy pracy przemysłu polskiego w ciągu 4 lat planu 6-letniego brzmi: skoncentrować siły na ilościowym i jakościowym wzroście produkcji artykułów powszechnego spożycia, traktować te zadania jako zadania pierwszoplanowe, decydujące dla zabezpieczenia wzrostu stopy życiowej ludności pracującej.

Ocena pracy naszego przemysłu za ubiegły okres wykazuje, że jako całość wykonuje on z nadwyżką zadania w zakresie ilości i wartości produkcji. Jednakże znacznie gorzej przedstawia się sprawa od strony wskaźników jakościowych i ekonomiczno-finansowych. Stwierdzić należy, że szereg przedsiębiorstw, gałęzi przemysłu, a nawet ministerstw, wkroczyło na bardzo niebezpieczną, a nawet szkodliwą drogę wykonywania planu pod względem wartości z jednoczesnym niewykonywaniem planu pod względem asortymentu i to zwłaszcza w asortymentach najbardziej potrzebnych dla gospodarki narodowej.

Nowe rozstawienie sił i środków, które obecnie stosujemy w naszej polityce gospodarczej, zwrot w kierunku koncentracji sił na podźwignięcie rolnictwa, polega bynajmniej nie na osłabieniu naszego wysiłku w kierunku rozwoju przemysłu środków wytwórczości, a na dalszym stałym jego rozwoju przy jednoczesnym wykorzystaniu stworzonej przezeń bazy dla pomocy rolnictwu, dla szybszego rozwoju przemysłu środków konsumpcji i szybszej rekonstrukcji innych działów gospodarki narodowej.

Stwierdzić należy że wiele naszych przemysłów nie zwraca dostatecznej uwagi na wykorzystanie istniejącej mocy produkcyjnej, na oszczędności w zaopatrzeniu, na pełne wykorzystanie nowej techniki, na utrzymanie planowego zatrudnienia.

A więc zadanie, które wynika z analizy pracy przemysłu polskiego w ciągu 4 lat planu 6-letniego, musi brzmieć jako kategoryczny i nieodwołalny nakaz partyni: skoncentrować całą uwagę na jakościowych i ekonomiczno-finansowych wskaźnikach produkcji i traktować lekceważąc i niedbale stosunek do tych spraw, jako wręcz karygodną i antypartyjną praktykę.

W przeciwieństwie do przemysłu, którego wzrost odbywał się na bazie socjalistycznej, rolnictwo w okresie 4 pierwszych lat planu 6-letniego rozwijało się przeważnie na bazie gospodarki indywidualnej.

Podczas gdy w okresie 1950—1953 produkcja przemysłowa wzrosła o 118%, produkcja rolna wzrosła tylko o 10%. Zestawienie tych liczb świadczy o nadmiernym pozostawianiu w tyle rolnictwa i o tym, że dysproporcja między rozwojem przemysłu i rolnictwa przybrała charakter poważny, hamując dalszy rozwój gospodarki narodowej.

Jednocześnie w rozwoju produkcji rolniczej wystąpiło szereg wewnętrznych nierównomierności. Przy ogólnym wzroście produkcji rolniej o około 10% produkcja roślinna wzrosła tylko o około 2%, a produkcja zwierzęca o około 23%.

Trzeba więc stwierdzić, że wyrasta przed nami w całej rozciągłości, jako problem do szybkiego i pełnego rozwiązania, problem zbożowy i problem bazy paszowej.

Jednym z przejawów tego nierozwiązanego dotychczas problemu jest fakt, że w ostatnich latach Polska musiała importować poważne i rosnące wciąż ilości zbóż.

Nierozwiązany problem zbożowy i nierozwiązany problem bazy paszowej powoduje zahamowania we wzroście hodowli, a w okresach nieurodzaju, grozi nawet jej przejściowym spadkiem.

Import zbóż ciąży bardzo ujemnie na naszym handlu zagranicznym i powoduje konieczność wydatkowania znacznych środków, które mogłyby być zużyte na zakup surowców dla przemysłu lekkiego, na rozszerzenie produkcji artykułów szerokiego spożycia i polepszenie zaopatrzenia ludności.

Pierwszym więc zadaniem, które Zjazd musi postawić przed partią, przed chłopami pracującymi i przed całym krajem, jest jak najszybsze rozwiązanie problemu zbożowego.

Jakie drogi prowadzą do rozwiązania tego problemu? Drogi te prowadzą przede wszystkim przez powiększenie urodzajności i rozszerzenie powierzchni zasiewów.

Czy mamy jeszcze możliwości powiększania obszaru zasiewów? Takie możliwości mamy i to dość znaczne. W naszym kraju istnieje jeszcze około 400 tysięcy ha ziemi nieuprawianej, tj. około 2,5% ziemi ornej.

Drugim ważnym elementem rozwiązania problemu zbożowego i bazy paszowej jest podniesienie urodzajności. Rzecz jasna, że wzmógł się dopływ nawozów sztucznych i maszyn rolniczych do rolnictwa przyczynią się znacznie do zwiększenia urodzajności, ale byłoby błędem sprowadzać sprawę tylko do zagadnienia pomocy produkcyjnej dla rolnictwa. W naszym rolnictwie istnieją poważne możliwości zwiększenia plonów przy podniesieniu aktywności produkcyjnej mas pracujących wsi.

W okresie 4 lat planu 6-letniego rozwijał się na wsi ruch spółdzielczości produkcyjnej. O ile w roku 1949 liczba spółdzielni produkcyjnych wynosiła tylko 243, a liczba zrzeszonych w tych spółdzielniach zaledwie 6 tys., to w końcu roku 1953 liczba spółdzielni produkcyjnych przekracza już 8 tys., a liczba chłopów w spółdzielniach sięga 200 tys. Użytki rolne zajmowane przez spółdzielnie produkcyjne stanowią już około 9 proc. całości użytków rolnych zajmowanych przez gospodarstwa chłopskie. W ciągu okresu sprawozdawczego spółdzielnie produkcyjne wykazały swoją żywotność, wykazały mimo swej młodości i braku doświadczenia wyższość nad gospodarką indywidualną. Partia przywiązuje do rozwoju spółdzielczości produkcyjnej decydujące znaczenie, traktując ją jako drogę prowadzącą do zasadniczej rekonstrukcji rolnictwa polskiego i zasadniczego podniesienia poziomu życiowego pracujących chłopów i całego narodu.

W roku 1953 powstało ponad 3 tysiące spółdzielni produkcyjnych. Na podstawie doświadczenia uważamy, że także tempo rozwoju spółdzielczości produkcyjnej można przyjąć w przewidywaniach dla okresu najbliższych dwóch lat.

W ciągu czterech lat planu 6-letniego została stworzona poważna dzwignia rekonstrukcji rolnictwa w postaci państwowych ośrodków maszynowych. Liczba POM-ów w 1953 r. przekroczyła 400, a w roku 1954 przekroczy 460. POM-y dysponowały w roku 1953 16,4 tys. traktorów (przeliczeniowych), a w 1954 roku liczba traktorów w POM-ach wzrosła do 19,7 tys.

Organizacja POM wyprzedzać będzie w pewnej mierze rozwój spółdzielczości produkcyjnej, co jest zrozumiałe, gdyż POM-y winny torować drogę i stwarzać podstawy dla zdrowego rozwoju spółdzielczości produkcyjnej. Ale żeby tak było, POM-y muszą przezwyciężyć swe wielkie słabości, których głównym źródłem jest niedostateczna dbałość o interesy spółdzielni, zle wykonywanie umów zawieranych ze spółdzielni, słaba praca aparatu agronomicznego POM, niedostateczne wykorzystanie parku traktorowego i maszynowego, niezrozumienie politycznej roli POM, jako jednej z dzwigni socjalistycznej przebudowy rolnictwa.

Okres sprawozdawczy był okresem wielkiego wysiłku inwestycyjnego. Świadcza o tym następujące dane: w czterolecu 1946—1949 zainwestowaliśmy (w zakresie inwestycji centralizowanych) 31,8 miliardów zł; w czterolecu 1950—1953 — 102,6 miliardów zł. Oznacza to, że obecnie średnie tempo inwestowania jest przeszło trzykrotnie większe niż w okresie odbudowy.

Całość inwestycji w przeliczeniu na jednego mieszkańca jest blisko 6-ciokrotnie większa niż w roku 1938, który, jeśli chodzi o inwestycje, był rokiem szczytowym dla Polski kapitalistycznej.

Dzięki temu olbrzymiemu wysiłkowi inwestycyjnemu zbudowaliśmy bazę nowoczesnego przemysłu, wyposażyliśmy nasze rolnictwo w park traktorowy i maszynowy, odbudowaliśmy znaczną część naszych zniszczonych miast i w szczególności stolicę naszego kraju — Warszawę, odbudowaliśmy Ziemię Odzyskaną, odbudowaliśmy i zrekonstruowaliśmy częściowo komunikację, odbudowaliśmy i znacznie rozszerzyliśmy sieć urządzeń socjalnych i kulturalnych, powiększyliśmy znacznie nasz majątek narodowy.

Kierunek naszych inwestycji był w zasadzie słuszny i celowy, jednakże nie uniknęliśmy szeregu błędów, które w pewnej mierze pomniejszyły wyniki olbrzymiego wysiłku inwestycyjnego. W szczególności nie uwzględniliśmy dostatecznie przy ustalaniu zamierzeń inwestycyjnych — możliwości lepszego wykorzystania istniejących zdolności produkcyjnych.

Obecnie — przy osiągniętym już poziomie sił wytwórczych oraz zakładając koncentrację nakładów inwestycyjnych, wzrost efektywności inwestycji i zmniejszenia kosztów budownictwa — nie należy zwiększać w latach 1954—1955 nakładów inwestycyjnych w stosunku do faktycznego wykonania w 1953 roku.

Takie są zasady polityki inwestycyjnej, które będziemy stosować w najbliższym okresie.

DR INŻ. WŁADYSŁAW PEŁCZEWSKI

Zasada działania rototrola jednostopniowego

621.316.722

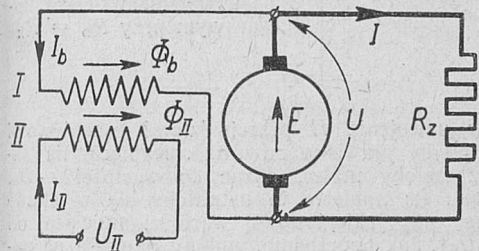
Tr e ś ć. Odmiany rototrola jednostopniowego jako wzmacniacza. Spółczynniki wzmocnienia. Zależność współczynników wzmocnienia i przebiegu pracy od oporności obwodu użyczenia wzbudzającego. Rototrole z użyczeniem bocznikowym i z użyczeniem szeregowym. Wzmianka o zastosowaniach oraz o możliwościach wykonania rototrolu z większą liczbą stopni.

Принцип действия одноступенчатого электромагнитного усилителя („рототроль“). Его разновидности. Коэффициенты усиления. Зависимость этих коэффициентов, а также кривой работы от сопротивления в цепи возбуждающей обмотки. Усилители с параллельным и последовательным возбуждением. Заметка о применении усилителей и возможности постройки многоступенчатых усилителей.

Principles of operation of single-stage rototrols. Alternative forms of single-stage rototrols acting as amplifiers. Amplification factors. Contingence on the resistance of the exciting circuit winding of the amplification factors and the working process. Rototrols with shunt windings and series windings. Reference to the applicability and to the prospects of manufacturing rototrols with a greater number of stages.

1. Wstep.

Obok amplitudyny*) drugim wzmacniaczem elektromaszynowym często stosowanym we współczesnych układach zautomatyzowanych jest rototrol. Stanowi on, podobnie jak amplitudyna, prądnicę prądu stałego, w której udało się uzyskać duże wzmocnienie mocy doprowadzonej do obwodu wejściowego. Zasadniczą różnicą między tymi dwiema odmianami wzmacniaczy polega na wyzyskaniu w nich innych zjawisk. Amplitudyna ma znaczny współczynnik wzmocnienia dzięki wyzyskaniu poprzecznego strumienia twornika. Natomiast działanie rototrola oparte jest na

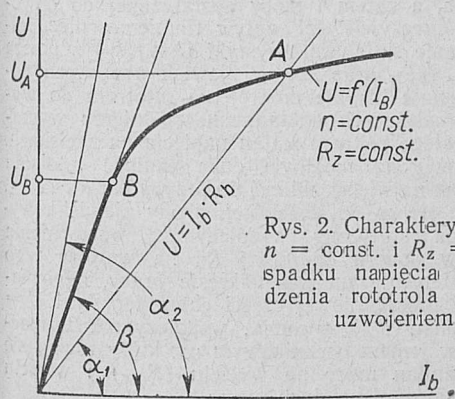


Rys. 1. Schemat ideowy połączeń rototrola jedno-stopniowego z uzwojeniem bocznikowym

własnościach prądnicy samowzbudnej prądu stałego, która pracuje przy oporności obwodu wzbudzenia zbliżonej do oporności krytycznej lub równej jej. Wtedy napięcie prądnicy znajduje się w stanie równowagi chwiejnej. Jeżeli maszyna ma dodatkowe uzwojenie wzbudzające, które można zasilac z obcego źródła, wtedy nawet bardzo mały prąd, płynąc przez to uzwojenie, spowoduje poważne zmiany napięcia na zaciskach prądnicy, a zatem i mocy oddawanej do obwodu zewnętrznego. Odpowiada to wzmacnianiu mocy doprowadzanej do uzwojenia obcowzbudnego.

2. Rototrol jednostopniowy z uzwojeniem bocznikowym.

Rozpatrzmy najpierw zasadę działania rototrola o uzwojeniu bocznikowym jako typu najprostszego. Ma on gorsze własności od rototrola z uzwojeniem szeregowym, który wskutek tego znalazł szersze zastosowanie.



Rys. 2. Charakterystyka $U = f(I_b)$ przy $n = \text{const.}$ i $R_Z = \text{const.}$ oraz prosta spadku napięcia na obwodzie wzbudzenia rototrola jednostopniowego z uzwojeniem bocznikowym

Na schemacie ideowym rototrola o uzwojeniu bocznikowym (rys. 1) widzimy dwa uzwojenia wzbudzające. Jedno z nich (I) jest włączone na zaciskach twornika, jak normalne uzwojenie samowzbudne w zwykłej prądnicie bocznikowej prądu stałego, drugie (II) może być zasilane napięciem U_{II} z obcego źródła. Jeżeli przez uzwojenie II nie przepływa żaden prąd, rototrol zachowuje się jak prądnicą bocznikowa, zasilającą obwód zewnętrzny o oporności R_z . Wartość napięcia U_A na zaciskach jest określona przez rzędną punktu przecięcia (A na rys. 1) charakterystyki $U = f(I_b)$.

przy obrotach $n = \text{const.}$ i oporności obwodu zewnętrznego $R_z = \text{const.}$, z prostą spadku napięcia na obwodzie bocznikowym $U = I_b R_b$ (tu I_b oznacza prąd w obwodzie bocznikowym, a R_b — oporność tego obwodu).

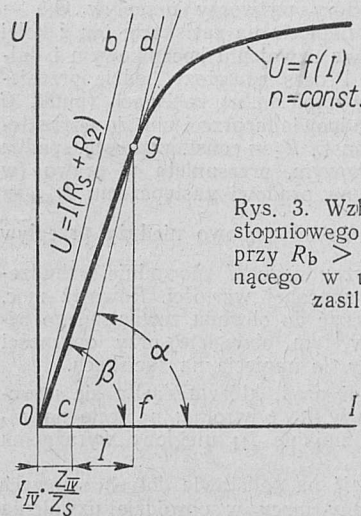
Położenie punktu A na rys. 2 zależy od przebiegu charakterystyki $U = f(I_b)$ przy $n = \text{const.}$ oraz od kąta nachylenia α prostej spadku napięcia $U = I_b R_b$. Kąt α spełnia zależność:

$$(1) \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{U}{I_b} = R_b.$$

Początkowa — prostoliniowa — część charakterystyki $U = f(I_B)$ przy $n = \text{const.}$ i $R_z = \text{const.}$ przecina oś odciętych pod kątem β , który jest określony przez wyrażenie

$$(2) \quad \operatorname{tg} \beta = \left(\frac{dU}{dI_b} \right)_{I_b=0}.$$

(Przyjęliśmy tu, jak na rys. 2, że wymieniona charakterystyka przechodzi przez początek układu, tzn. że magnetyzm szczątkowy nie istnieje. Ponieważ przy wykonywaniu rototroli stosuje



Rys. 3. Wzbudzanie się rototrola jedno-stopniowego z uzwojeniem bocznikowym przy $R_b > R_k$ pod wpływem prądu płynącego w uzwojeniu obcowzbudnym II, zasilanym z obcego źródła

się specjalne gatunki blach prądnicowych o bardzo małej powściągalności magnetycznej, można z wystarczającą dokładnością pominąć wpływ niewielkiego magnetyzmu szczątkowego).

Zależnie od położenia prostej spadku napięcia na obwodzie bocznikowym w stosunku do początkowej prostoliniowej części charakterystyki $U = f(I_b)$ przy $n = \text{const.}$, $R_z = \text{const.}$ można rozróżnić trzy zasadnicze przypadki (rys. 2):

- 1) kąt $\alpha = \alpha_1 < \beta$ — maszyna wzbudzi się do napięcia odpowiadającego punktowi A;
- 2) kąt $\alpha = \alpha_2 > \beta$ — maszyna nie wzbudzi się;
- 3) kąt $\alpha = \beta$ — maszyna znajduje się w stanie równowagi chwiejnej, gdyż — wobec pokrywania się prostej $U = I_B R_B$ z prostoliniową początkową częścią charakterystyki $U = f(I_B)$ przy $n = \text{const.}$ i $R_z = \text{const.}$ — napięcie na zaciskach może przybierać dowolne wartości między zerem a U_B (tu U_B odpowiada ostatniemu punktowi styczności B).

Oporność obwodu bocznikowego, przy której $\alpha = \beta$, nazywamy opornością krytyczną, a więc dla trzech wymienionych przypadków otrzymujemy odpowiednio:

$$R_b < R_k; \quad R_b > R_k; \quad R_b = R_k$$

W normalnej prądniczy boczniowej prądu stałego zawsze dobiera się oporność obwodu wzbudzenia mniejszą od krytycznej, gdyż jest to warunkiem prawidłowej pracy tej prądnicy. Natomiast w rototroli wyzyskano własności powyższej prądnicy, występujące przy oporności R_b większej lub równej R_k .

*) Por. Pełczewski W. Zastosowanie wzmacniaczy elektromaszynowych w układach napędowych (PE, 1954, z. 2, str. 60).

Rozpatrzmy najpierw przypadek gdy $R_b > R_k$. Jak widać z rys. 3 maszyna nie może sama wzbudzić się, ponieważ prosta OB spadku napięcia $U_b = I_b R_b$ przebiega powyżej początkowej prostoliniowej części charakterystyki $U = f(I_b)$ przy $n = \text{const.}$ i $R_z = \text{const.}$ (jak poprzednio, pomijamy tu magnetyzm szczątkowy, przyjmując, że charakterystyka ta przechodzi przez początek układu współrzędnych).

Gdy uzwojenie II zasilimy z obcego źródła o napięciu U_{II} , wtedy przez to uzwojenie popłynie prąd I_{II} , równy (w stanie ustalonym)

$$(3) \quad I_{II} = \frac{U_{II}}{R_{II}},$$

gdzie R_{II} — oporność obwodu uzwojenia II.

Prąd I_{II} wytworzy przepływ magnetyczny

$$(4) \quad \Theta_{II} = I_{II} \cdot z_{II},$$

gdzie z_{II} — liczba zwojów uzwojenia II na jednej parze biegunów maszyny. Przepływ Θ_{II} wywoła z kolei strumień magnetyczny Φ_{II} , który spowoduje wzbudzenie się rototrola do napięcia U_1 (rys. 3). Napięcie to można wyznaczyć, mając charakterystykę $U = f(I_b)$ przy $n = \text{const.}$ i $R_z = \text{const.}$, gdyż odpowiada ono prądowi zastępczemu w uzwojeniu bocznikowym I_{zast} , który wytworzy przepływ magnetyczny równy Θ_{II} . Prąd zastępczy musi zatem spełniać równanie:

$$I_{zast} \cdot z_b = \Theta_{II} = I_{II} \cdot z_{II},$$

gdzie z_b — liczba zwojów uzwojenia bocznikowego na jednej parze biegunów maszyny. Stąd

$$(5) \quad I_{zast} = I_{II} \frac{z_{II}}{z_b}$$

(na rys. 3 odłożono prąd I_{zast} równy odcinkowi $\overline{OC}$ i wyznaczono U_1 jako rzędną punktu C).

Pod wpływem napięcia U_1 w uzwojeniu bocznikowym I, popłynie prąd $I_{b1} = U_1/R_b$, który wytworzy przepływ $\Theta_{b1} = I_{b1} \cdot z_b$, powodujący wzrost napięcia na zaciskach; ten z kolei wywoła zwiększanie się prądu w uzwojeniu bocznikowym i dalsze wzbudzenie się rototrola. Proces powyższy będzie przebiegał aż do chwili ustalenia się napięcia na zaciskach (punkt G na rys. 3). Napięcie ustalone odpowiada przecięciu się charakterystyki $U = f(I_b)$ przy $n = \text{const.}$, $R_z = \text{const.}$ z prostą spadku napięcia na obwodzie bocznikowym, przesuniętą w prawo (w położenie CG) o odcinek równy prądowi zastępczemu $I_{zast} = I_{II} \frac{z_{II}}{z_b}$. Wnioskujemy stąd, że stosunkowo nieduży przepływ

magnetyczny uzwojenia obcowzbudnego II spowoduje wzbudzenie się rototrola od zera do znacznej wartości. Również moc, którą maszyna zacznie dostarczać do obwodu zewnętrznego będzie duża, ponieważ prąd w tym obwodzie przy oporności $R_z = \text{const.}$ jest proporcjonalny do napięcia na zaciskach.

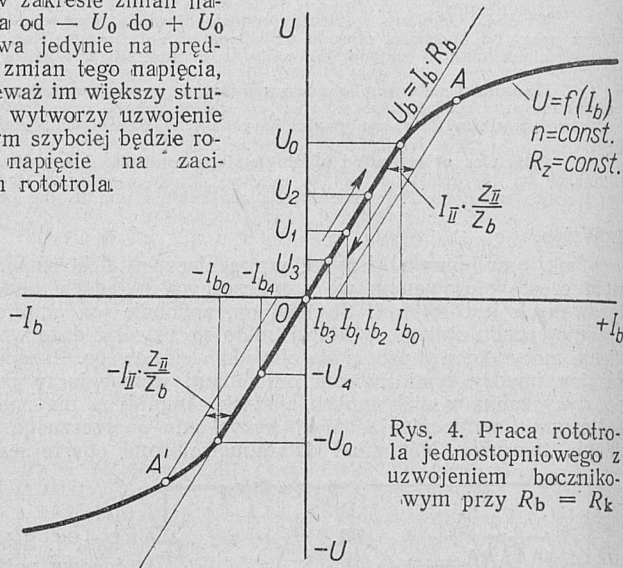
Gdybyśmy teraz zmniejszyli prąd, którym zasilą się uzwojenie II, spowodowałoby to zjawisko odwrotne: napięcie na zaciskach nawet przy niedużej zmianie I_{II} uległoby wyraźnemu zmniejszeniu.

Ostatecznie można stwierdzić na podstawie dotychczasowych rozważań, że niewielkie zmiany mocy w obwodzie uzwojenia II pociągają za sobą poważne zmiany mocy w obwodzie zewnętrznym. Stąd wniosek, że rototrol jest typowym wzmacniaczem, w którym uzwojenie obcowzbudne II jest obwodem wejściowym, a obwód zewnętrzny — wyjściowym.

W omówionym wyżej przypadku, kiedy oporność uzwojenia bocznikowego R_b jest większa od krytycznej R_k , każdemu prądowi w uzwojeniu II odpowiada jedno określone napięcie na zaciskach twornika. Natomiast jeżeli dobrać $R_b = R_k$, wtedy napięcie to może przybierać dowolne wartości między $-U_0$ i $+U_0$ (rys. 4). Wynika to ze styczności prostej spadku napięcia na obwodzie bocznikowym do prostoliniowej części charakterystyki $U = f(I_b)$ przy $R_z = \text{const.}$ i $n = \text{const.}$ Wtedy bowiem dla dowolnego napięcia zawartego między granicznymi punktami styczności tych linii, tzn. dla napięć od $-U_0$ do $+U_0$, spełniony jest warunek: $U = I_b R_b$.

W powyższym zakresie napięcie na zaciskach i prąd w obwodzie bocznikowym znajdują się w stanie równowagi chwiejnej. Niech np. w pewnej chwili napięcie na zaciskach twornika wynosi U_1 , co odpowiada prądowi I_{b1} (rys. 4), a prąd $I_{II} = 0$. Zasilmy teraz uzwojenie II z obcego źródła tak, żeby przepływ magnetyczny wytworzony przez prąd, który popłynie, działał zgodnie z przepływem uzwojenia I. Wtedy napięcie na zaciskach twornika oraz prąd I_b zaczęłyby wzrastać, dążąc w kierunku U_0 i I_{b0} . Jeżeli przed osiągnięciem tych wartości przestaniemy zasiląć uzwojenie II, to napięcie na zaciskach i prąd w uzwojeniu bocznikowym ustalą się w nowym stanie równo-

wagi chwiejnej (np. U_2 i I_{b2}). Przy tym napięciu U_2 będzie równe napięciu, które występowało na zaciskach twornika w chwili, kiedy prąd I_{II} osiągnął wartość równą zero. Stąd można wysnuć wniosek, że wartość napięcia U_2 nie zależy bezpośrednio od wartości przepływu magnetycznego uzwojenia II. Przepływ ten w zakresie zmian napięcia od $-U_0$ do $+U_0$ wpływa jedynie na prędkość zmian tego napięcia, ponieważ im większy strumień wytworzy uzwojenie II, tym szybciej będzie rosło napięcie na zaciskach rototrola.



Rys. 4. Praca rototrola jednostopniowego z uzwojeniem bocznikowym przy $R_b = R_k$

Gdyby przepływ uzwojenia II przeciwdziałał przepływowi uzwojenia I, wystąpiłyby zjawiska odwrotne. Napięcie na zaciskach twornika zaczęłoby maleć, dążąc do wartości $-U_0$. Po przerwaniu prądu I_{II} napięcie to ustaliłoby się w stanie równowagi chwiejnej przy jakiejś nowej wartości mniejszej od U_1 (np. U_3 lub $-U_4$). Jak poprzednio, zmiany napięcia na zaciskach rototrola przebiegałyby tym szybciej, im większy byłby przepływ uzwojenia II. Jeżeli zasilanie obwodu uzwojenia II nie będzie przerwane przed osiągnięciem przez napięcie wartości U_0 (wzgl. $-U_0$), to po przekroczeniu U_0 (wzgl. $-U_0$) osiągnie ono stan równowagi statecznej (punkty A lub A' na rys. 4). Napięcia odpowiadające tym punktom są określone jednoznacznie przez wypadkowy przepływ obu uzwojeń. Punkty A i A' znajdujemy przesuwając prostą spadku napięcia na obwodzie bocznikowym o odcinek równy prądowi zastępczemu — por. wzór (5). Po przerwaniu obwodu uzwojenia II napięcie wróciłoby teraz do stanu równowagi chwiejnej przy wartości U_0 (wzgl. $-U_0$).

Widzimy, że przy opornościach $R_b = R_k$ rototrol jest szczególnie czuły i reaguje nawet na najmniejsze zmiany prądu w uzwojeniu obcowzbudnym; wystarczy, teoretycznie rzecz biorąc, nieskończenie mała zmiana prądu I_{II} do spowodowania zmian napięcia na zaciskach, a zatem i mocy dostarczanej do obwodu zewnętrznego. W rzeczywistości wpływ tłumienia, niezupełnie dokładne pokrywanie się charakterystyki $U = f(I_b)$ z prostą spadku napięcia $U = I_b R_b$ oraz szereg zjawisk ubocznych powodują, że nie występuje idealne dostrojenie rototrola do warunków pracy odpowiadających dokładnemu spełnieniu wymagania $R_b = R_k$ dla całego zakresu zmian napięcia na zaciskach. Ze względu na wymaganą możliwie dużą czułość rototrola staramy się zawsze jak najwięcej zbliżyć do przypadku $R_b = R_k$.

Dla zorientowania się co do ilościowej strony zjawiska wprowadzimy wzór na statyczny współczynnik wzmocnienia i rozpatrzmy wpływ doboru oporności R_b na wartość tego współczynnika. W interesującym nas zakresie pracy, odpowiadającym początkowej prostoliniowej części charakterystyki $U = f(I_b)$ przy $n = \text{const.}$ i $R_z = \text{const.}$, współczynnik wzmocnienia rototrola z uzwojeniem bocznikowym μ_b , który równa się ogólnie stosunkowi zmian mocy na wyjściu (P_{wy}) i wejściu (P_{we}), będzie równy stosunkowi tych mocy:

$$(6) \quad \mu_b = \frac{P_{wy}}{P_{we}}.$$

Moc na wejściu wzmacniacza jest to moc doprowadzona do uzwojenia II:

$$(7) \quad P_{we} = U_{II} \cdot I_{II} = I_{II}^2 \cdot R_{II}.$$

Moc na wyjściu, czyli moc na zaciskach obwodu zewnętrznego:

$$(8) \quad P_{wy} = U \cdot I.$$

Napięcie U wynosi (rys. 3):

$$U = \overline{FG} = \overline{OF} \cdot \operatorname{tg} \beta = \left(I_{II} \cdot \frac{z_{II}}{z_b} + I_b \right) \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

a ponieważ $U = \overline{CF} \cdot \operatorname{tg} \alpha = I_b \cdot \operatorname{tg} \alpha$, czyli $I_b = \frac{U}{\operatorname{tg} \alpha}$,

więc $U = I_{II} \cdot \frac{z_{II}}{z_b} \cdot \operatorname{tg} \beta + U \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}$, skąd

$$(9) \quad U = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} \cdot I_{II} \cdot \frac{z_{II}}{z_b}$$

i prąd w obwodzie zewnętrznym:

$$(10) \quad I = \frac{U}{R_z} = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} \cdot I_{II} \cdot \frac{z_{II}}{z_b} \cdot \frac{1}{R_z}$$

Moc na wyjściu (8) będzie według (9) i (10):

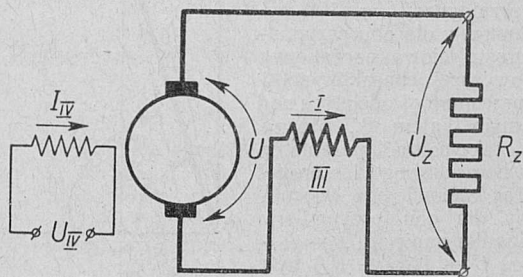
$$(11) \quad P_{wy} = \frac{I_{II}^2}{R_z} \cdot \frac{z_{II}^2}{z_b^2} \cdot \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} \right)^2$$

Według wzorów (6), (7) i (11) otrzymujemy:

$$(12) \quad \mu_b = \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} \right)^2 \cdot \frac{z_{II}^2}{z_b^2} \cdot \frac{1}{R_{II} \cdot R_z}$$

skąd wynika, że w celu uzyskania możliwie dużej wartości μ_b należy starać się uzyskać jak najmniejszą różnicę $(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta)$ przy jednoczesnym jak największym iloczynie $(\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta)$. Inaczej mówiąc, współczynnik wzmocnienia będzie tym większy, im bliżej siebie i im bardziej stromo będą przebiegać proste OB i OG na rys. 3.

Przez odpowiedni dobór oporności obwodu bocznikowego R_b dopasowuje się wzajemne położenie prostoliniowej części charakterystyki $U = f(I_b)$ przy $n = \text{const.}$ i $R_z = \text{const.}$ tak, żeby uzyskać wymaganą małą różnicę $(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta)$. Kąt nachylenia prostoliniowej części charakterystyki $U = f(I_b)$ przy $n = \text{const.}$ i $R_z = \text{const.}$ jest dla danej maszyny przy określonych



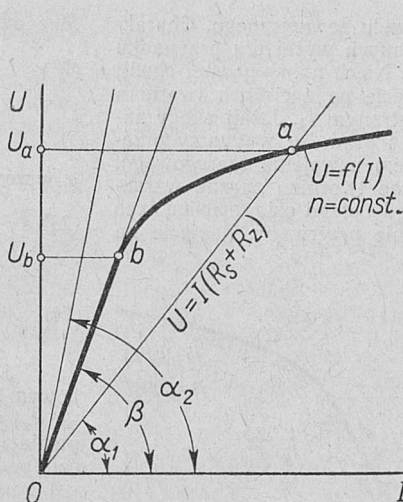
Rys. 5. Schemat połączeń rototrola jednostopniowego z uzwojeniem szeregowym

obrotach wielkością stałą, na którą nie mamy wpływu. Dlatego w celu zapewnienia stromego przebiegu tej charakterystyki należy przedsięwziąć odpowiednie środki już przy projektowaniu i budowie rototrola, które pozwolą na uzyskanie małej oporności magnetycznej na drodze strumieni magnetycznych, wytwarzanych przez przepływ uzwojeń I i II. Obwód magnetyczny jest wykonywany z blach prądnicowych o dużej przenikalności magnetycznej, a indukcje na poszczególnych odcinkach drogi strumieni obiera się mniejsze niż w normalnych maszynach prądu stałego, dzięki czemu obok małej oporności magnetycznej uzyskuje się także praktycznie prostoliniowy przebieg charakterystyki dla znacznego zakresu zmian napięcia. Poza tym rototrole mają zwykle zmniejszoną szczelinę powietrzną. Przy takim rozwiązaniu konstrukcyjnym uzyskuje się w rototroli jednostopniowym z uzwojeniem bocznikowym, pracującym przy $R_b > R_k$, stały współczynnik wzmocnienia rzędu kilkuset do tysiąca.

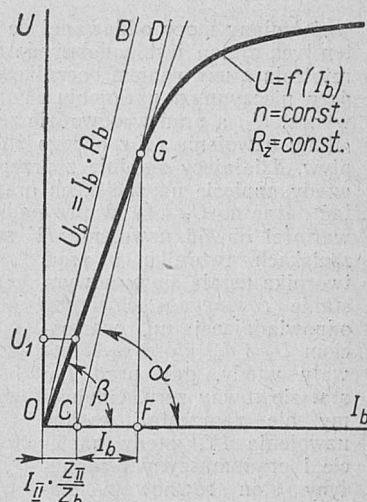
W przypadku, gdy $R_b = R_k$, prosta $U = I_b R_b$ pokrywa się z początkową częścią charakterystyki $U = f(I_b)$ przy $n = \text{const.}$ i $R_z = \text{const.}$ Odpowiada to równości kątów α i β , czyli równaniu $(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) = 0$. Ze wzoru (12) wynika, że wtedy współczynnik wzmocnienia μ_b dąży do nieskończoności, a zatem, teoretycznie rzecz biorąc, nieskończenie mały prąd płynący przez uzwojenie II spowoduje skończone zmiany napięcia na zaciskach maszyny. Czułość rototrola jest wtedy największa i dlatego zawsze usiłujemy zbliżyć się do tego przypadku pracy. W rzeczywistości jednakowoż nigdy nie udaje się osiągnąć idealnego dopasowania przebiegu charakterystyk i współczynnik wzmocnienia miewa wartości bardzo duże, ale skończone.

3. Rototrol jednostopniowy z uzwojeniem szeregowym.

Przy tej odmianie (rys. 5) prąd I płynący do obwodu zewnętrznego jest jednocześnie prądem wzbudzącym. Oznaczmy, jak poprzednio, napięcie na zaciskach twornika przez U . W przy-



Rys. 6. Charakterystyka $U = f(I)$ przy $n = \text{const.}$ oraz prosta spadku napięcia $U = f(R_s + R_z)$ rototrola jednostopniowego z uzwojeniem szeregowym



Rys. 7. Wzbudzenie się rototrola szeregowego pod wpływem prądu płynącego przez obwód wzbudne uzwojenie IV

padku, gdy uzwojenie obcowzbudne IV jest nieczynne, punkt pracy będzie określony przez przecięcie prostej spadku napięcia na oporności uzwojenia szeregowego R_s oraz oporności obwodu zewnętrznego R_z z charakterystyką $U = f(I)$ przy $n = \text{const.}$ (punkt a na rys. 6). Położenie punktu a zależy od wzajemnego przebiegu tych linii, tzn. od kątów α i β na rys. 6.

Kąt nachylenia początkowej prostoliniowej części charakterystyki $U = f(I)$ przy $n = \text{const.}$ spełnia równanie:

$$(13) \quad \operatorname{tg} \beta = \left(\frac{dU}{dI} \right)_{I=0}$$

(jak poprzednio, pomijamy magnetyzm szczątkowy). Kąt nachylenia prostej spadku napięcia zależy od oporności $(R_s + R_z)$:

$$(14) \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{U}{I} = R_s + R_z.$$

Jak w rototroli z uzwojeniem bocznikowym, możliwe są tu trzy przypadki pracy wynikające z doboru oporności $(R_s + R_z)$:

- 1) $(R_s + R_z) < R_k$; $\alpha = \alpha_1 < \beta$; maszyna wzbudzi się do określonego napięcia odpowiadającego punktowi a .
- 2) $(R_s + R_z) > R_k$; $\alpha = \alpha_2 > \beta$; maszyna nie wzbudzi się.
- 3) $(R_s + R_z) = R_k$; napięcie maszyny może przybierać dowolne wartości między 0 a U_b , gdyż dla całego tego zakresu prosta spadku napięcia $U = I(R_s + R_z)$ jest styczną charakterystyki $U = f(I)$ przy $n = \text{const.}$

Jak w rototroli z uzwojeniem bocznikowym, uzyskamy dobre współczynniki wzmocnienia w przypadku, kiedy $(R_s + R_z) \geq R_k$.

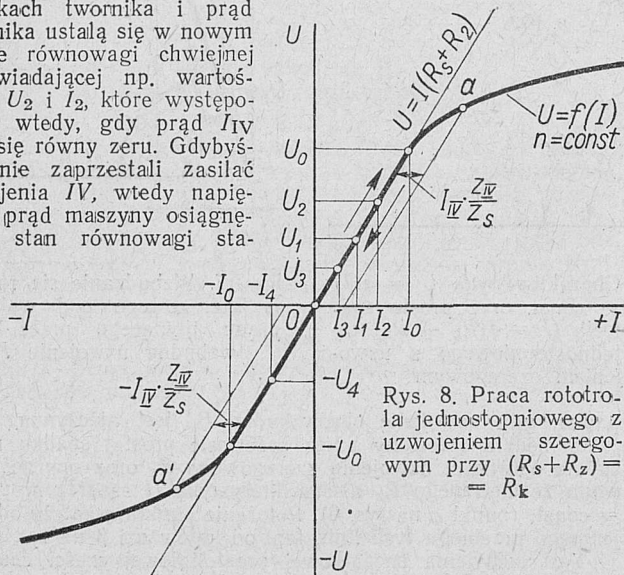
Rozpatrzmy najpierw przypadek, kiedy $(R_s + R_z) > R_k$. Wtedy maszyna przy otwartym obwodzie uzwojenia IV nie może się wzbudzić. Jeżeli jednak zasiliły uzwojenie IV z obcego źródła, to pod wpływem przepływu I_{IV} zjawi się napięcie na zaciskach twornika i do obwodu zewnętrznego popłynie prąd przez uzwojenie szeregowe. Prąd ten spowoduje wzrastanie napięcia na zaciskach aż do chwili, kiedy osiągnie ono wartość odpowiadającą punktowi przecięcia prostej spadku napięcia $U = I(R_s + R_z)$ przesuniętej w prawo z charakterystyką $U = f(I)$ przy $n = \text{const.}$ (punkt g na rys. 7). Punkt ten znajdziemy przesuwając prostą Ob o odcinek Oc równy prądowi zastępczemu, który — płynąc przez uzwojenie szeregowe — wytworzy przepływ równy rzeczywistemu przepływowi uzwojenia IV. Stąd wynika, że prąd zastępczy musi spełniać warunek:

$$(15) \quad I_{zast.} \cdot z_s = I_{IV} \cdot z_{IV} \quad \text{czyli} \quad I_{zast.} = I_{IV} \cdot \frac{z_{IV}}{z_s}$$

W rototroli z uzwojeniem szeregowym stosunkowo nieduży prąd I_{IV} może więc wywołać poważne zmiany mocy oddawanej do obwodu zewnętrznego. Jak w rototroli z uzwojeniem bocznikowym, występuje tu silne wzmacnianie mocy doprowadzanej do obwodu uzwojenia obcowzbudnego.

Szczególnie dobre własności wzmacniania obserwuje się przy $(R_s + R_z) = R_k$, gdyż wtedy wobec styczności prostej $U = I(R_s + R_z)$ i początkowej części charakterystyki $U = f(I)$ przy $n = \text{const.}$ napięcie na zaciskach twornika i prąd twornika znajdują się w stanie równowagi chwiejnej i już bardzo mały prąd płynący przez uzwojenie obcowzbudne IV może spowodować

wał zmiany mocy oddawanej do obwodu zewnętrznego. Charakter tych zmian jest podobny do opisanych wyżej dla przypadku rototrola z uzwojeniem bocznikowym. Niech np. w pewnej chwili przy nieczynnym uzwojeniu IV napięcie na zaciskach twornika wynosi U_1 , a prąd w obwodzie zewnętrznym I_1 . Jeżeli wtedy zasiliimy uzwojenie IV z obcego źródła i prąd I_{IV} wytworzy przepływ, działający zgodnie z przepływem uzwojenia szeregowego, wtedy napięcie na zaciskach oraz prąd twornika zaczną wzrastać dążąc do U_0 i I_0 . W przypadku, gdy przed osiągnięciem tych wartości obwód uzwojenia IV zostanie przerwany, napięcie na zaciskach twornika i prąd twornika ustalą się w nowym stanie równowagi chwilowej odpowiadającej np. wartościom U_2 i I_2 , które występowały wtedy, gdy prąd I_{IV} stał się równy zeru. Gdybyśmy nie zaprzestali zasilać uzwojenia IV, wtedy napięcie i prąd maszyny osiągnęłyby stan równowagi sta-



Rys. 8. Praca rototrola jednostopniowego z uzwojeniem szeregowym przy $(R_s + R_z) = R_k$

tecznej, odpowiadającej punktowi a na rys. 8. Punkt ten jest określony przez wypadkowy przepływ uzwojeń III i IV.

Gdyby przepływ uzwojenia IV działał przeciwnie niż przepływ uzwojenia III, napięcie na zaciskach i prąd twornika zaczęłyby maleć dążąc do $-U_0$ i $-I_0$ i ustalając się w chwili zaniku prądu I_{IV} przy jakichś nowych wartościach mniejszych od U_1 i I_1 (np. U_3 i I_3 lub U_4 i $-I_4$). Gdyby prąd I_{IV} nie został przerwany, napięcie i prąd doszłyby do stanu równowagi stałecznej odpowiadającej punktowi a' na rys. 8.

Punkty a i a' znajdujemy przesuwając odpowiednio prostą spadku napięcia $U = I(R_s + R_z)$ o odcinek równy prądowi zastępczemu według (15).

Statyczny współczynnik wzmocnienia

$$(16) \quad \mu_s = \frac{P_{wy}}{P_{we}}$$

otrzymamy w podobny sposób, jak dla rototrola z uzwojeniem bocznikowym. Najpierw wyprowadzimy wzór na μ_s dla przypadku, kiedy $(R_s + R_z) > R_k$. Moc na wejściu:

$$(17) \quad P_{we} = U_{IV} \cdot I_{IV} = I_{IV}^2 \cdot R_{IV}$$

Moc na wyjściu rototrola szeregowego jest to moc oddawana do obwodu zewnętrznego. Napięcie U_z na zaciskach wyjściowych wynosi

$$(18) \quad U_z = U - I \cdot R_s,$$

gdzie U , jak wyżej, napięcie na zaciskach twornika. Wynosi ono (rys. 7):

$$U = \overline{fg} = \overline{Of} \cdot \operatorname{tg} \beta = \left(I_{IV} \cdot \frac{z_{IV}}{z_s} + I \right) \operatorname{tg} \beta = \\ = \overline{cf} \cdot \operatorname{tg} \alpha = I \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

a więc

$$U = I_{IV} \cdot \frac{z_{IV}}{z_s} \cdot \operatorname{tg} \beta + \frac{U}{\operatorname{tg} \alpha} \cdot \operatorname{tg} \beta, \text{ skąd}$$

$$(19) \quad U = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} \cdot I_{IV} \cdot \frac{z_{IV}}{z_s}.$$

Prąd oddawany do obwodu zewnętrznego:

$$(20) \quad I = \frac{U}{R_s + R_z}.$$

Napięcie na zaciskach wyjściowych:

$$(21) \quad U_z = U - I \cdot R_s = U \cdot \frac{R_z}{R_s + R_z} = U \cdot \frac{R_z}{R_s + R_z}.$$

Moc oddawana do obwodu zewnętrznego

$$(22) \quad P_{wy} = U_z \cdot I = U \cdot \frac{R_z}{R_s + R_z} \cdot \frac{U}{R_s + R_z} = \\ = U^2 \cdot \frac{R_z}{(R_s + R_z)^2},$$

a wprowadziwszy napięcie według (19)

$$(23) \quad P_{wy} = \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} \right)^2 \cdot I_{IV}^2 \cdot \left(\frac{z_{IV}}{z_s} \right)^2 \cdot \frac{R_z}{(R_s + R_z)^2}.$$

Przy pomocy wzorów (17) i (23) otrzymujemy ze wzoru (16):

$$(24) \quad \mu_s = \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} \right)^2 \cdot \left(\frac{z_{IV}}{z_s} \right)^2 \cdot \frac{R_z}{(R_s + R_z)^2 \cdot R_{IV}}.$$

Jak w omówionym wyżej rototrolu z uzwojeniem bocznikowym staramy się i tu zbliżyć do warunków pracy przy $(R_s + R_z) = R_k$, ponieważ w tym przypadku współczynnik wzmocnienia μ_s dąży teoretycznie do nieskończoności. W rzeczywistości, podobnie jak μ_b w rototrolu bocznikowym, współczynnik μ_s osiąga wartości bardzo duże, ale skończone.

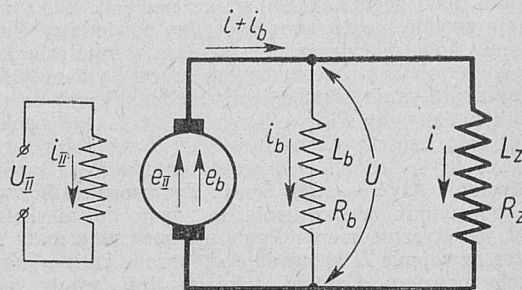
4. Porównanie rototrolu jednostopniowych.

Z omówionej wyżej zasady działania nie wynika wyższość jednej odmiany rototrola jednostopniowego nad drugą. Współczynniki wzmocnienia są w obydwu maszynach tego samego rzędu. Łatwo można przekonać

się o tym, wyprowadzając wzory μ_b i μ_s dla tej samej maszyny, którą raz wykonano z uzwojeniem bocznikowym, a raz z szeregowym. Uzwojenie obcowzbudne dla obu wariantów pozostaje bez zmian. Wtedy przebieg charakterystyki napięcia w funkcji przepływu $U = f(I)$ będzie jednakowy dla obu przypadków i prostoliniowa początkowa część powyższej charakterystyki będzie przecinać oś odciętych pod tym samym kątem β' . Można również tak dobrać parametry uzwojeń bocznikowego i szeregowego oraz odpowiednie oporności, żeby dla obu przypadków proste spadku napięcia $U = I_b \cdot R_b$ oraz $U = I(R_s + R_z)$ były w stosunku do osi odciętych nachylone pod tym samym kątem α' (rys. 9). Wtedy określony przepływ uzwojenia obcowzbudnego będzie w obu maszynach powodował te same zmiany napięcia na zaciskach twornika. Rozumując analogicznie jak poprzednio, otrzymujemy dla tego przypadku następujące wyrażenia na współczynniki wzmocnienia:

$$(25) \quad \mu_b = \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha' \cdot \operatorname{tg} \beta'}{\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \beta'} \right)^2 \cdot \frac{z_{II}^2}{R_{II} \cdot R_z}.$$

$$(26) \quad \mu_s = \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha' \cdot \operatorname{tg} \beta'}{\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \beta'} \right)^2 \cdot \frac{R_z \cdot z_{IV}^2}{(R_s + R_z)^2 \cdot R_{IV}}.$$



Rys. 10. Schemat rototrola z uzwojeniem bocznikowym, zasila-
jącego obwód zewnętrzny o oporności czynnej R_z i indukcyj-
ności L_z

Widzimy, że istotnie μ_b i μ_s są tego samego rzędu, przy czym współczynnik μ_s jest nieco mniejszy, ponieważ $z_{II} = z_{IV}$, a $\frac{R_z}{(R_s + R_z)^2} < \frac{1}{R_z}$. Rototrol z uzwojeniem szeregowym ma

ponadto wadę, polegającą na tym, że dla uzyskania oporności ($R_s + R_z$) zbliżonej do R_k trzeba dobierać opory w obwodzie, przez który płynie prąd twornika.

Jednak mimo tej niedogodności rototrol z uzwojeniem szeregowym znalazł większe zastosowanie ze względu na swą ważną zaletę, mianowicie szybkie ustalanie się napięcia na zaciskach przy stanach przejściowych. Dla wyjaśnienia tej własności porównamy zachowanie się obu odmian rototrolu, pracujących przy opornościach obwodu wzbudzenia równych krytycznym.

Na rys. 10 przedstawiono schemat rototrola z uzwojeniem bocznikowym. Oporność czynna obwodu bocznikowego wynosi R_b , indukcyjność L_b . Parametry obwodu zewnętrznego są R_z oraz L_z . W stanie ustalonym gdy uzwojenie obcowzbudne II jest nieczynne, występuje stan równowagi chwilowej między napięciem na zaciskach twornika U a prądem I_b w obwodzie bocznikowym: $U = U_b = I_b \cdot R_b$. Jednocześnie

$$(27) \quad U_b = E_b - (I + I_b) R_t,$$

gdzie E_b — siła elektromotoryczna w uzwojeniu twornika wywołana przez strumień uzwojenia bocznikowego. Jeżeli teraz do zacisków obwodu uzwojenia II będzie doprowadzone napięcie U_{II} , to przez to uzwojenie popłynie prąd i_{II} , który wytworzy strumień magnetyczny, wzniecający w uzwojeniu twornika siłę elektromotoryczną o wartości chwilowej

$$(28) \quad e_{II} = c_a \cdot i_{II}$$

(zależność między e_{II} oraz i_{II} jest liniowa, ponieważ praca odbywa się na prostoliniowej części charakterystyki $U = f(I_b)$ przy $R_z = \text{const.}$ i $n = \text{const.}$).

Na zaciskach twornika wystąpi napięcie o wartości chwilowej

$$(29) \quad u = e_{II} + e_b - (i + i_b) R_t,$$

gdzie i — chwilowa wartość prądu w obwodzie zewnętrznym, i_b — chwilowa wartość prądu w uzwojeniu bocznikowym, e_b — chwilowa wartość siły elektromotorycznej wytworzonej przez strumień uzwojenia bocznikowego.

W porównaniu z i prąd i_b jest niewielki. Wobec tego można pominąć spadek napięcia $i_b R_t$. Wtedy $u = e_{II} + e_b - i \cdot R_t$, albo inaczej:

$$(30) \quad u = e_{II} + u_b,$$

gdzie $u_b = e_b - i R_t$ jest chwilową wartością napięcia, które wywołałby na zaciskach twornika strumień, wytworzony przez uzwojenie bocznikowe, w przypadku, gdyby obcowzbudne uzwojenie II było nieczynne.

Chwilowa wartość prądu w uzwojeniu bocznikowym spełnia równanie

$$(31) \quad u = i_b R_b + L_b \frac{di_b}{dt}.$$

Uwzględniając (30) otrzymamy:

$$(32) \quad e_{II} + u_b = i_b \cdot R_b + L_b \frac{di_b}{dt}.$$

Ponieważ dobrano $R_b = R_k$, dla całej początkowej prostoliniowej części charakterystyki $U = f(I_b)$ przy $R_z = \text{const.}$ i $n = \text{const.}$ obowiązuje (dla wartości chwilowych) zależność:

$$(33) \quad u_b = i_b R_b.$$

Podstawiając (33) do (32) otrzymujemy

$$(34) \quad e_{II} = L_b \frac{di_b}{dt}, \quad \text{czyli}$$

$$(35) \quad \frac{di_b}{dt} = \frac{e_{II}}{L_b}.$$

a po zróżniczkowaniu (33) względem czasu otrzymujemy

$$\frac{du_b}{dt} = R_b \frac{di_b}{dt}, \quad \text{skąd na podstawie (35)}$$

$$(36) \quad \frac{du_b}{dt} = e_{II} \frac{R_b}{L_b}.$$

Całkując i uwzględniając warunek początkowy, że w chwili $t = 0$ $u_b = U_{bpocz}$, otrzymamy

$$(37) \quad u_b = \frac{R_b}{L_b} \int_0^t e_{II} \cdot dt + U_{bpocz}.$$

Wprowadzając tę wartość u_b do wzoru (30) znajdujemy funkcję, według której zmienia się napięcie na zaciskach twornika rototrola jednostopniowego z uzwojeniem bocznikowym:

$$(38) \quad u = e_{II} + U_{bpocz} + \frac{R_b}{L_b} \int_0^t e_{II} \cdot dt.$$

Z tego wzoru wynika, że im większa będzie siła elektromotoryczna e_{II} , tzn. im większy prąd będzie płynął przez uzwojenie II , tym szybciej będzie się zmieniać napięcie na zaciskach twornika.

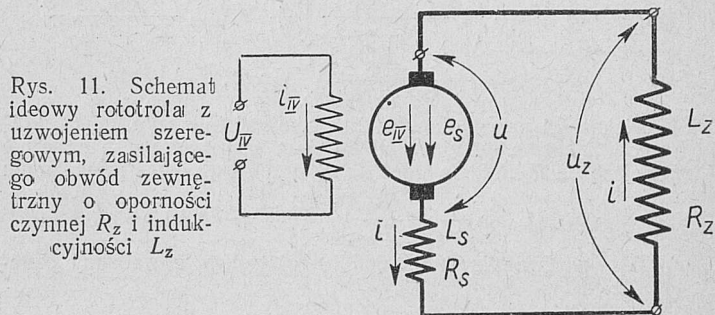
Po przerwaniu prądu w uzwojeniu II siła elektromotoryczna e_{II} staje się równa zero, a napięcie na zaciskach będzie dążyło do ustalenia się w stanie równowagi chwilowej przy wartości odpowiadającej $e_{II} = 0$. Równowaga ta może być zakłócona przez następny impuls prądu w uzwojeniu obcowzbudnym, przy czym — zależnie od kierunku tego prądu — napięcie na zaciskach będzie wzrastać lub maleć.

Przeprowadźmy teraz analogiczne rozważania dla rototrola jednostopniowego z uzwojeniem szeregowym (rys. 11), którego oporność czynna niech będzie R_s , indukcyjność L_s .

W przypadku, gdy przez uzwojenie obcowzbudne nie płynie prąd, na zaciskach twornika występuje stan równowagi chwilowej między napięciem U i prądem I , przy czym obowiązuje zależność

$$(39) \quad U = I(R_s + R_z).$$

Po doprowadzeniu do zacisków uzwojenia IV napięcia U_{IV} przez jego obwód popłynie prąd o wartości chwilowej i_{IV} . Wy-



Rys. 11. Schemat ideowy rototrola z uzwojeniem szeregowym, zasilającego obwód zewnętrzny o oporności R_z i indukcyjności L_z

woła on — analogicznie jak w rototrolu z uzwojeniem bocznikowym — siłę elektromotoryczną w tworniku o wartości chwilowej

$$(40) \quad e_{IV} = e_a \cdot i_{IV}.$$

Napięcie na zaciskach twornika wyniesie wtedy

$$(41) \quad u = e_{IV} + u_s,$$

gdzie u_s — chwilowa wartość napięcia wywołanego przez uzwojenie szeregowe.

Obwód zewnętrzny w rototrolu szeregowym jest jednocześnie obwodem wzbudzenia, a zatem napięcie u będzie

$$(42) \quad u = (R_s + R_z) i + (L_s + L_z) \frac{di}{dt},$$

gdzie i — chwilowa wartość prądu w obwodzie zewnętrznym. Podstawiając u ze wzoru (41) otrzymamy

$$(43) \quad e_{IV} + u_s = (R_s + R_z) i + (L_s + L_z) \frac{di}{dt}.$$

Zakładamy, że oporność $(R_s + R_z)$ dobrano równą krytycznej. Wtedy napięcie na zaciskach twornika, wywołane przez uzwojenie szeregowe, spełnia równanie:

$$(44) \quad u_s = i(R_s + R_z).$$

Podstawiając (44) do (43) otrzymujemy $e_{IV} = (L_s + L_z) \frac{di}{dt}$, skąd

$$(45) \quad \frac{di}{dt} = \frac{e_{IV}}{L_s + L_z}.$$

Różniczkujemy (44) względem czasu:

$$(46) \quad \frac{du_s}{dt} = (R_s + R_z) \frac{di}{dt}$$

i podstawiamy $\frac{di}{dt}$ z (45):

$$(47) \quad \frac{du_s}{dt} = \frac{R_s + R_z}{L_s + L_z} \cdot e_{IV}.$$

Całkujemy względem czasu i uwzględniamy warunek początkowy, że w chwili $t = 0$ $u_s = U_s \text{ pocz}$; wtedy

$$(48) \quad u_s = \frac{R_s + R_z}{L_s + L_z} \int_0^t e_{IV} dt + U_s \text{ pocz}.$$

Podstawiając do (41) otrzymujemy napięcie na zaciskach twornika:

$$u = e_{IV} + U_s \text{ pocz} + \frac{R_s + R_z}{L_s + L_z} \int_0^t e_{IV} \cdot dt.$$

Napięcie u_z na zaciskach obwodu zewnętrznego (rys. 11) wynosi

$$(49) \quad u_z = u - iR_s - L_s \frac{di}{dt},$$

albo na podstawie (41)

$$(50) \quad u_z = u_s + e_{IV} - iR_s - L_s \frac{di}{dt}.$$

Ponieważ $u_s = i(R_s + R_z)$, więc

$$(51) \quad u_z = e_{IV} + iR_z - L_s \frac{di}{dt}.$$

Według wzoru (44) $i = \frac{u_s}{R_s + R_z}$, skąd przy pomocy (48)

$$(52) \quad i = \frac{1}{L_s + L_z} \int_0^t e_{IV} dt + \frac{U_{s \text{ pocz}}}{R_s + R_z}.$$

Podstawiając to wyrażenie na i oraz wyrażenie na $\frac{di}{dt}$ ze wzoru

(45) do (51) otrzymujemy:

$$(53) \quad u_z = e_{IV} \left(1 - \frac{L_s}{L_s + L_z} \right) + U_{s \text{ pocz}} \frac{R_z}{R_s + R_z} + \frac{R_z}{L_s + L_z} \int_0^t e_{IV} dt.$$

W większości przypadków można pominąć indukcyjność L_s , która jest znacznie mniejsza od L_z , oraz oporność R_s — znacznie mniejszą od R_z . Wtedy wzór na u_z przybiera postać przybliżoną:

$$(54) \quad u_z \approx e_{IV} + \frac{R_z}{L_z} \int_0^t e_{IV} dt + U_{s \text{ pocz}}.$$

Dla porównania obu odmian rototrolu wprowadzimy oznaczenia:

$$T_b = \frac{L_b}{R_b} \text{ — stała czasu obwodu uzwojenia bocznikowego,}$$

$$T_z = \frac{L_z}{R_z} \text{ — stała czasu obwodu zewnętrznego.}$$

Wtedy wzory (35) i (54) przybierają postać:

$$(55) \quad u = e_{II} + U_{b \text{ pocz}} + \frac{1}{T_b} \int_0^t e_{II} dt,$$

$$(56) \quad u_z = e_{IV} + U_{s \text{ pocz}} + \frac{1}{T_z} \int_0^t e_{IV} dt.$$

Z reguły stała czasu T_z jest znacznie większa od T_b . Stąd wniosek, że przy tych samych początkowych wartościach napięcia $U_{b \text{ pocz}} = U_{s \text{ pocz}}$ oraz że przy identycznym przebiegu $e_{II} = e_{IV}$ oraz $e_{IV} = j(t)$ napięcie na zaciskach rototrola z uzwojeniem bocznikowym szybciej osiągnie wymaganą wartość.

Jednak wada tej odmiany rototrola jest to, że jego napięcie wprawdzie prędzej dojdzie do wymaganej wartości, ale ustala się przy tej wartości w sposób niedogodny, wykonując szeregi drgań. Przyczyną tego zjawiska jest równoległe połączenie obwodu uzwojenia bocznikowego z obwodem zewnętrznym. Wynika stąd, że jednocześnie muszą być spełnione równania:

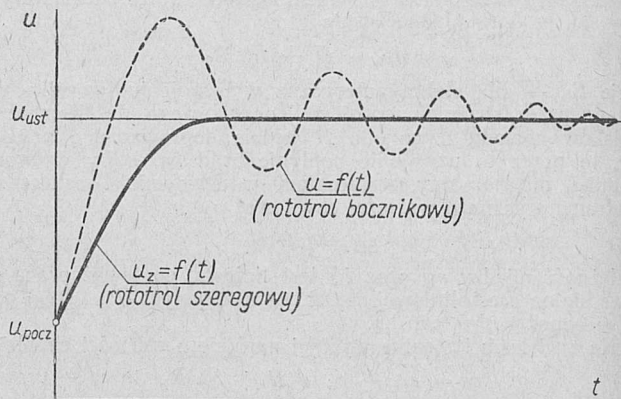
$$u = R_b i_b + L_b \frac{di_b}{dt} \quad \text{oraz} \quad u = R_z i + L_z \frac{di}{dt}.$$

Jak już nadmieniono, stała czasu T_b jest zwykle znacznie mniejsza od T_z . Zatem prąd i_b w obwodzie bocznikowym osiągnie wartość I_b — odpowiadającą pracy ustalonej w nowych warunkach — wtedy, kiedy prąd w obwodzie zewnętrznym jeszcze będzie mniejszy od wartości I , która powinna ustalić się po zakończeniu procesu przejściowego.

W układzie zautomatyzowanym ze sprzężeniem zwrotnym prąd w obwodzie uzwojenia II przerywa się dopiero wtedy, kiedy regulowana wielkość (prąd, napięcie lub obroty) osiągnie wymaganą nową wartość, a zatem napięcie na zaciskach rototrola będzie wzrastało aż do chwili, kiedy prąd w obwodzie zewnętrznym będzie równy I . Wtedy jednak napięcie na zaciskach twornika będzie większe od wartości U , która przy pracy ustalonej odpowiada prądowi I , tzn. $u > U$ przy $i = I$. Wobec tego prąd i będzie dalej wzrastał, co z kolei spowoduje przeciwdziałanie ze strony układu zautomatyzowanego. Przez uzwojenie II popłynie prąd o kierunku przeciwnym niż poprzednio, a więc napięcie na zaciskach rototrola i prąd i_b zaczną maleć. Ponieważ procesy przejściowe w obwodzie bocznikowym przebiegają szybciej niż w zewnętrznym, napięcie na zaciskach będzie mniejsze od U w chwili, kiedy prąd i zmaleje do wartości I . Na skutek tego prąd i będzie dalej zmniejszał się, co spowoduje ze strony ukła-

du zautomatyzowanego nowy impuls prądu do uzwojenia obcowzbudnego II i napięcie na zaciskach znowu zacznie wzrastać. Przebiegi tego rodzaju będą kolejno powtarzać się i ostatecznie układ osiągnie nowy stan równowagi po szeregu drgań tłumionych. Jest to zjawisko niepożądane, gdyż z reguły dążymy do jak najszybszego uzyskania wymaganej wartości ustalonej.

Zupełnie inaczej przebiegają procesy przejściowe w rototrolu z uzwojeniem szeregowym, gdyż tu prąd w obwodzie zewnętrznym jest jednocześnie prądem wzbudzenia. Z chwilą, kiedy osiągnie on wymaganą wartość, prąd w uzwojeniu obcowzbudnym przestaje płynąć i napięcie na zaciskach ustala się. Pewne nieznaczne wahania napięcia, które wtedy wystąpią, będą spowodowane bezwładnością poszczególnych elementów układu zautomatyzowanego, na skutek czego prąd w uzwojeniu obcowzbud-



Rys. 12. Przebiegi ustalania się napięcia na zaciskach rototrolu

nym będzie przerywany nie w chwili, kiedy i osiągnie wartość I , lecz nieco później.

Powyższa cenna zaleta rototrola z uzwojeniem szeregowym zdecydowała o stosowaniu go w układach zautomatyzowanych znacznie częściej niż rototrola z uzwojeniem bocznikowym. Wprawdzie można w tej ostatniej odmianie dać uzwojenia stabilizujące, które szybko stłumią wahania napięcia na zaciskach, jednak zawsze — z punktu widzenia ustalania się napięcia na zaciskach — rototrol z uzwojeniem szeregowym będzie dogodniejszy, gdyż w ogóle nie wykazuje tendencji do drgań tego napięcia. Wykresy odpowiednich przebiegów podano na rys. 12.

Dotychczas rozpatrywaliśmy przypadek, kiedy obie odmiany rototrolu mają po jednym uzwojeniu obcowzbudnym, spełniającym rolę uzwojenia sterującego. W rzeczywistości podobnie jak w amplidynie, rototrol ma zwykle kilka uzwojeń sterujących. Zmiany napięcia na zaciskach twornika oraz mocy oddawanej do obwodu zewnętrznego są wtedy funkcją wypadkowego oddziaływania wszystkich uzwojeń sterujących i (ewentualnie) stabilizujących.

5. Uwagi o zastosowaniach oraz możliwości uzyskania w jednym rototrolu większej liczby stopni wzmacnienia.

Rototrol, jak i amplidyna, może znaleźć i znajduje zastosowanie w licznych urządzeniach zautomatyzowanych. Racjonalne ekonomicznie jest zastosowanie obu tych typów wzmacniaczy elektromaszynowych w przypadkach, kiedy moc na ich wyjściu jest rzędu kilkuset watów lub większa, gdyż wtedy wypadają one taniej od wzmacniaczy elektronowych. Dziedzina, w której rototrol zdobył prawo obywatelstwa, są: samoczynna regulacja napięcia prądnic synchronicznych, zautomatyzowane układy napędowe (głównie typu Leonarda) oraz układy regulacyjne, dzięki którym uzyskuje się poprawienie przebiegu technologicznego w różnych dziedzinach przemysłu (np. podobnie jak amplidyna rototrol jest używany w urządzeniach przeznaczonych do automatycznego przesuwania elektrod w piecach łukowych).

W wielu spośród wymienionych wyżej przypadków zastosowań opisany w niniejszym artykule rototrol jednostopniowy nie mógł sprostać stawianym mu wymaganiom. Główną przyczyną był stosunkowo mały współczynnik wzmacnienia, w praktyce bowiem trudno jest utrzymywać stale prąd w obwodzie zewnętrznym (dla rototrola szeregowego głównie stosowanego) oraz napięcie na zaciskach w stanie równowagi chwilowej, występującej przy $(R_s + R_z) = R_k$. Tłumaczy się to tym, że pod wpływem zmian temperatury uzwojeń i otoczenia, zmian warunków chłodzenia oraz szeregu innych czynników oporność obwodu wzbudzenia nie pozostaje stałą. Poza tym mimo stosowania specjalnych materiałów magnetycznych o znacznej przenikalności i małym natężeniu powściągającym krzywa magnesowania nie jest linią prostą, lecz ma kształt przypominający wąską pętlę histe-

rezy. Dlatego w rototrolu zawsze należy liczyć się z możliwością rozstrojenia oporności obwodu wzbudzenia w stosunku do oporności krytycznej. To z kolei jest przyczyną wyraźnego zmniejszenia współczynnika wzmocnienia. Doregulowywanie oporności w czasie pracy nie zawsze jest możliwe. W przypadku, kiedy chodzi o większe współczynniki wzmocnienia, można by zastosować kaskadowe połączenie dwóch rototrolu jednostopniowych, gdyż wtedy nawet przy opornościach obwodu wzbudzenia nierównych krytycznym wypadkowy współczynnik wzmocnienia wypada znaczny. Jednak wadą takiego układu jest wolniejszy przebieg procesów przejściowych oraz komplikacje związane ze stosowaniem dwóch maszyn zamiast jednej.

Z powyższych względów zbudowano rototrol dwustopniowy, w którym w jednej maszynie uzyskano dwa stopnie wzmocnienia dzięki wyzyskaniu sztucznie stworzonej asymetrii magnetycznej. Współczynnik wzmocnienia jest tu bardzo duży nawet w przypadku rozstrojenia obwodu wzbudzenia w stosunku do oporności krytycznej. Opis bardziej szczegółowy tego typu wzmacniacza wychodzi poza ramy niniejszego artykułu. Należy podkreślić, że rototrole dwustopniowe budowane są również na duże moce, np. znane jest zastosowanie rototrola dwustopniowego o mocy 200 kW jako wzbudnicy do turbogeneratora o mocy 60 MVA.

Rozważania teoretyczne wskazują, że istnieje możliwość zbudowania — przez odpowiednie wyzyskanie asymetrii magnetycznej — rototrola o liczbie stopni wzmocnienia większej od dwóch. Dowiedziano ogólnie, że w maszynie 2p-biegunowej można uży-

wać (2p-1) stopni wzmocnienia, ponieważ jednak wtedy trzeba stosować znaczną liczbę różnych uzwojeń, niezbędnych dla prawidłowej pracy, a także trudne jest uzyskanie prawidłowej komutacji oraz zniesienie skutków reakcji twornika, rototrole wielostopniowe nie znalazły jak dotąd większego zastosowania.

LITERATURA

- Szklański L. Zastosowanie wzmacniaczy maszynowych do sterowania maszyn wyciągowych o napędzie Leonarda, Przegl. Elektr., 1952, z. 12, str. 475.
 Byczkowski W. P. Kwadratowa sieć z primieniem elektromagnetycznym usiłuje, Elektryczność, 1952.
 Bybyszew W. T. Sowieckie tendencje i zadania w obszarze elektrotechniki metalurgicznych stanków, Elektryczność, 1946.
 Marianowski D. I. Elektromaszynny usiłuje w systemach automatycznego sterowania i regulowania elektroprowadów, Elektryczność, 1948.
 Piasecki. Elektromaszynny usiłuje z krytycznym samowzbudzeniem, Elektryczność, 1949.
 Szapiro T. L. Sowieckie elektroprowad prodomo-strogałnowo stanków, Wiestn. Elektroprom., 1948.
 Barkle J. E., Valentine C. E. Rototrol Excitation Systems, Trans. AIEE, 1948.
 Gieselman R. A., Levy C. C., Harris W. R. Rotating Regulator for Arc Furnaces, Trans. AIEE, 1943.
 Harris W. R. Industrial Applications of Rototrol Regulators, Trans. AIEE, 1946.
 Kimball A. W. Two-stage Rototrol for Low-energy Regulating Systems, Trans. AIEE, 1947.
 Lynn C., Valentine C. E. Main Rototrol Exciter for turbine Generators, Trans. AIEE, 1948.
 Helot M. Rototrol, Bull. de la Soc. Franç. des Electr., 1949.
 Kubler E. Verstärker und Regelmachines für Gleichstrom, ETZ, 1951.
 Sequenz H. Verstärkermaschinen, E. u. M., 1952.

MGR INŻ. JANUSZ LUTYŃSKI

Zasilanie elektrofiltrów

621.318.7.012.7

Treść. Wyznaczanie charakterystyk elektrycznych elektrofiltrów. Zespoły zasilające, ogólne dane, typy stosowanych prostowników. Drgania w obwodzie filtr — transformator — prostownik mechaniczny i sposoby ich tłumienia. Nowe rodzaje zespołów zasilających elektrofiltry. Trzy sposoby określania liczby zespołów zasilających. Układy zasilania filtrów wielopolowych.

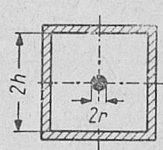
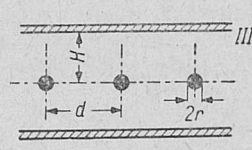
Питание электрофильтров. Установление электрических характеристик электрофильтров. Питательные агрегаты, общие данные, типы применяемых выпрямителей. Колебания в цепи фильтр — трансформатор — выпрямитель и способы их тушения. Новые типы агрегатов для питания электрофильтров. Три способа определения числа агрегатов. Схемы питания многопольных фильтров.

Electric precipitator feeding. Electrical characteristics of precipitators. Feed units, general data, rectifier types used. Oscillations in the precipitator — transformer — mechanical rectifier circuit, and the means of damping them. New types of precipitator feed units. Three means of determining the number of feed units. Systems of feeding multi-chamber precipitators.

1. Wstęp.

Elektrofiltr, urządzenie przeznaczone do odpylania gazów, składa się z dwóch podstawowych części: komory, w której odbywa się właściwy proces oczyszczania*, oraz zespołu zasilającego.

T a b l i c a I. Wzory na wielkości B i C

			
B	$r \ln \frac{R}{r}$	$r \ln \frac{2h}{1,8541}$	$r \left(\frac{\pi H}{d} - \ln \frac{2\pi r}{d} \right)$
C	$\frac{2k}{9 R^2 \cdot \ln \frac{R}{r}}$	$\frac{1,685 \cdot k}{h^2 \cdot \ln \left(1,079 \frac{h}{r} \right)}$	$\frac{4 \pi^2 \cdot k \cdot \nu}{9 d^2 \left(\frac{\pi H}{d} - \ln \frac{2\pi r}{d} \right)}$
			$\nu = f(r, d, H) = 0,008 \div 0,09$

$k = 2,1 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$ oznacza ruchliwość jonów w powietrzu

go, przetwarzającego napięcie sieci prądu zmiennego na wysokie napięcie prądu stałego, doprowadzane do elektrod filtru.

2. Charakterystyki elektrofiltrów.

Istotną częścią procesu elektrycznego oczyszczania gazów jest wytworzenie i podtrzymanie zjawiska ulotu na elektrodach drutowych. Powstanie tego zjawiska uwarunkowane jest przekroczeniem — dla danej krzywizny elektrody — krytycznej war-

tości natężenia pola elektrycznego, które dla wyladowania ujemnej biegunowości w powietrzu wyraża się wzorem:

$$(1) \quad K_0 = 31,02 \cdot \delta \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{\delta \cdot r}} \right) \quad (\text{kV/cm}),$$

gdzie r — promień krzywizny (cm),

$\delta = \frac{3,92 b}{273 + t}$ — współczynnik uwzględniający wpływ ciśnienia b (w cm słupa Hg) i temperatury t (w °C) na gęstość powietrza.

Napięcie, które należy doprowadzić do elektrod, aby otrzymać w pobliżu elektrod ulotowych krytyczną wartość natężenia pola, można określić równaniem:

$$(2) \quad U_0 = K_0 \cdot B \quad (\text{kV}),$$

gdzie B jest wielkością zależną od wymiarów geometrycznych elektrod (tabl. I).

Zależność prądu wyladowczego od napięcia ma postać równania kwadratowego:

$$(3) \quad i = C \cdot (U - U_0)U \quad (\text{w mA na 1 m bież. przewodu ulotowego}),$$

gdzie U — doprowadzone napięcie (kV),

U_0 — napięcie krytyczne wg wzoru (2) (kV),

C — wielkość zależna od kształtu i wymiarów pola (tabl. I).

Dla stosowanych w praktyce układów ($H = 12 \div 15$ cm, $d = 15 \div 25$ cm, $R = 12 \div 15$ cm, $r = 0,025 \div 0,15$ cm) wartości napięcia krytycznego wahają się w granicach 20—40 kV.

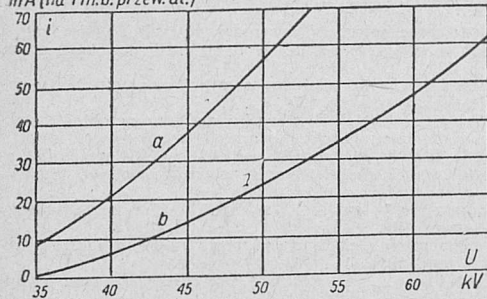
Charakterystyki $i = f(U)$ elektrofiltru rurowego i płytowego pokazuje rys. 1. Krzywe na rys. 1 podają teoretyczną zależność dla filtru wypełnionego powietrzem. Dla innego składu gazów odpowiednie krzywe leżą wyżej lub niżej od krzywych dla powietrza. Wpływ na prąd wyladowania ulotowego mają — prócz składu gazów — jeszcze inne jego parametry, jak temperatura, ciśnienie, wilgotność, prędkość przepływu oraz obecność zanieczyszczeń [1].

Osiągane sprawności elektrofiltru są do 30% wyższe przy ujemnym ułocie niż przy dodatnim. Zjawisko to tłumaczy się większą ruchliwością jonów ujemnych, które jako lżejsze od do-

* Lutyński J. Odpylanie spalin przy użyciu elektrofiltrów (Przegl. Elektr., 1953, z. 4, str. 136).

datnich osiągają większe prędkości, co znacznie ułatwia proces ładowania cząstek. Nie bez znaczenia jest to, że napięcie przeskoku dla ujemnego wyładowania jest wyższe niż dla dodatniego; pozwala to na pracę przy wyższym napięciu dla danych wy-

mA (na 1 m.b. przew. ul.)



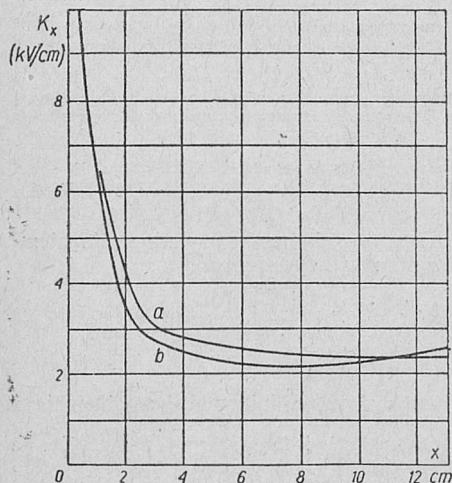
Rys. 1. Zależność prądu ulotowego od napięcia doprowadzonego do elektrod dla filtru wypełnionego powietrzem

a — układ elektrod współśrodkowy: $R = 13$ cm, $r = 0,1$ cm, $K_0 = 61,9$ kV/cm, $U_0 = 30,1$ kV

b — układ elektrod płaski: $H = 13$ cm, $d = 18,5$ cm, $K_0 = 61,9$ kV/cm, $U_0 = 34,4$ kV

miarów elektrod. Zasilanie elektrofiltru napięciem zmiennym dawało, wskutek zmian kierunku sił działających na cząstki, sprawności nie przewyższające 50%. Powyższe okoliczności sprawiły, że do zasilania elektrofiltru stosuje się dzisiaj wyłącznie prąd stały z wyładowaniem na biegunie ujemnym.

Drugim, obok natężenia prądu, podstawowym czynnikiem określającym działanie elektrofiltru jest natężenie pola elektrycz-



Rys. 2. Naprężenie pola elektrycznego $K_x = f(x)$ przy $U = 50$ kV

a — filtr rurowy
b — filtr płytowy
Wymiary pola jak na rys. 1.

nego w przestrzeni międzyelektrodowej, albowiem siła, działająca na cząstkę jest proporcjonalna do kwadratu tego natężenia. Natężenie pola, będące funkcją napięcia doprowadzonego do elektrod, można określić z wielkości prądu ulotu przez rozwiązanie równania Poissona dla zewnętrznego obszaru ulotu. Dla filtru rurowego natężenie pola można określić ze wzoru:

$$(4) \quad K_x = \sqrt{\frac{2i \cdot \gamma}{k} + \left(\frac{r}{x}\right)^2 \cdot \left(K_0^2 - \frac{2i \cdot \gamma}{k}\right)} \quad (\text{V/cm}),$$

gdzie i — prąd ulotu z równania (3) (mA/cm).

k — ruchliwość jonów $\left(\frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{sec}}\right)$,

γ — $9 \cdot 10^{11}$,

r — promień przewodu ulotowego (cm),

x — odległość od przewodu ulotowego (cm),

K_0 — krytyczne natężenie pola według wzoru (1) (V/cm).

Rozkład pola dla układu przewód-płyta w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny, przechodzącej przez oś przewodu, podał O. Meyr (w V/cm):

$$(5) \quad K_x = \frac{2H \cdot r}{x(2H-x)} \sqrt{\frac{2i \cdot \gamma}{k} \left[\left(\frac{x}{r}\right)^2 - \frac{x^3}{3H \cdot r^2} - 1 \right] - K_0^2}$$

gdzie H — odległość osi przewodu ulotowego od płyty (cm),

x — odległość od osi przewodu ulotowego po linii prostopadłej do płyty (cm),

r, i, K_0, γ — jak wyżej.

Na rys. 2 podano wykreślenie zależności $K_x = f(x)$ dla dwu przypadków praktycznych. Należy zauważyć, że dla filtru płytowego natężenie pola jest niejednorodne nie tylko w kierunku od elektrody zbiorczej do ulotowej, jak w filtrze rurowym, lecz nierównomierność ta istnieje również w płaszczyźnie równoległej do elektrod zbiorczych. Ogólnie mówiąc, średnia wartość natężenia pola w elektrofiltrze rurowym będzie większa niż w płytowym, a więc filtr ten pracuje z większą sprawnością. Największa wartość natężenia pola stosowana w elektrofiltrach średnio nie przewyższa 8 kV/cm ze względu na możliwość powstawania wyładowań iskrowych.

3. Elektryczne zespoły zasilające.

W celu wytworzenia i podtrzymania zjawiska ulotu na elektrodach elektrofiltru stosuje się specjalne zespoły transformatorowo-prostownikowe, zasilające komorę filtru wyprostowanym prądem wysokiego napięcia. Napięcie zasilające wynosi 40 ... 100 kV, natężenie prądu 50 ... 800 mA.

Prostownianie prądu wysokiego napięcia dokonuje się przy użyciu wirujących prostowników mechanicznych, napędzanych specjalnym silnikiem synchronicznym o 1500 obr./min.

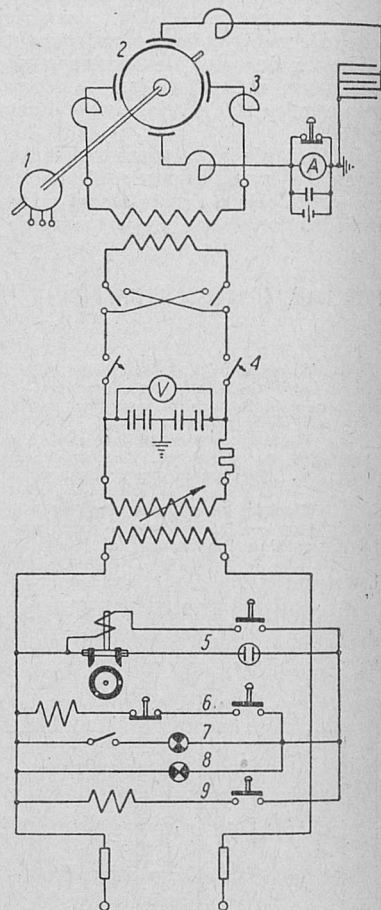
Lampy prostownicze (kenotrony) nie znalazły zastosowania do zasilania elektrofiltrów, choć pracują spokojniej niż prostowniki mechaniczne. Głównym powodem tego jest duży koszt kenotronów oraz ich mała trwałość.

Bardziej odpowiednie do zasilania elektrofiltrów byłoby użycie prostowników selenowych, które nie mają wad prostowników mechanicznych, natomiast ich charakterystyka ma przebieg zbliżony do charakterystyki elektrofiltrów. Prostownik selenowy spełnia również rolę oporu tłumiącego przy powstawaniu zwarów w przestrzeni międzyelektrodowej filtru. Zastosowanie prostowników suchych w praktyce elektrofiltrów znajduje się jeszcze w trakcie prób.

Zespoły do zasilania elektrofiltrów wykonywa się jako jednofazowe w układzie jedno- i dwupółłukowym oraz jako trójfazowe.

Na rys. 3a przedstawiono ideowy układ połączeń zespołu jednofazowego z prostowaniem dwupółłukowym.

Konieczność regulacji napięcia podawanego na elektrofiltr wynika z charakteru procesu odpylania. Dla zapewnienia naj-

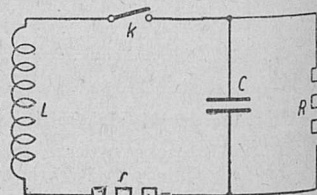


Rys. 3a. Ideowy układ połączeń zespołu 1-fazowego

- 1 — silnik synchroniczny
- 2 — prostownik mechaniczny
- 3 — diodki
- 4 — przełącznik nadmiarowy
- 5 — wskaźnik biegunowości
- 6 — obwód sterowniczy
- 7, 8 — obwody sygnalizacyjne
- 9 — blokowanie drzwi celki

Rys. 3b. Układ zastępczy obwodu transformatorów — prostownik — elektrofiltr

- R, C — oporność i pojemność elektrofiltru,
 r, L — oporność i indukcyjność transformatora wys. nap.
 k — prostownik mechaniczny

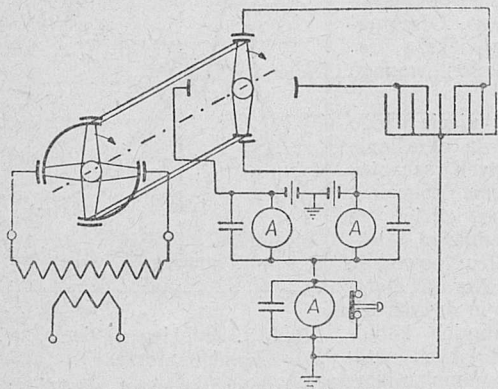


wyższej sprawności urządzenia należy utrzymywać elektrody filtru pod możliwie najwyższym napięciem, nie dopuszczając jednak do wyładowań iskrowych. Ponieważ jednak wytrzymałość

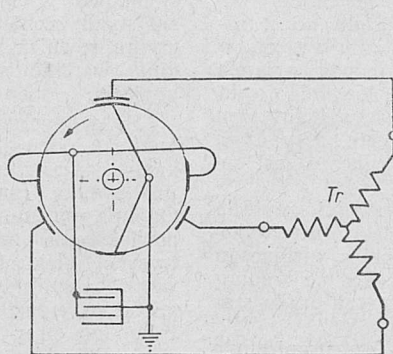
wtórnych, jak zwieranie ulotu i wsteczny ulot. Stąd też powstała myśl zasilania takiego filtra z przerwami; aby jednak wyzyskać całą moc zespołu, dzieli się zwykle elektrofiltr na dwie sekcje, zasilane każda z połowy sinusoidy wyprostowanego prądu (rys. 6).

Obserwując pracę prostownika jednofazowego stwierdzono, że może on spokojnie pracować przy prądach nie przewyższających 0,2 A. Przepływ większych prądów prowadzi do szybkiego niszczenia części stykowych. Zasilanie większych jednostek fil-

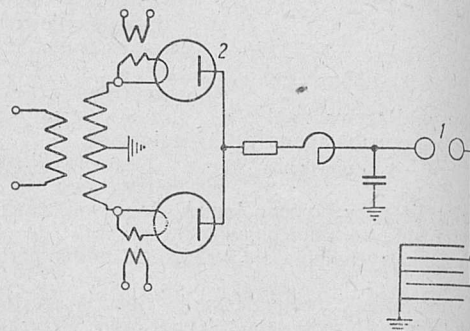
C. Elektrofiltry wylapujące pył wielkopieczowy mokrym sposobem, smołę, popiół ze spalania małowartościowych węgla. Należą tu filtry pracujące w fabrykach kwasu siarkowego przy spalaniu pary, przy wielkich piecach, generatorach gazowych, w zakładach koksochemicznych i siłowniach. Grupa ta, wyróżniająca się niespokojną pracą, wymaga napięcia 50 do 60 kV i prądu do 350 mA na jedno pole elektryczne. Spełnienie tych wymagań w jednej jednostce możliwe jest przy zastosowaniu prostownika trójfazowego.



Rys. 6. Mechaniczny prostownik 1-fazowy do zasilania elektrofiltru w układzie jednokierunkowego prostowania



Rys. 7. Układ połączeń prostownika mechanicznego trójfazowego



Rys. 8. Układ zasilania elektrolitu impulsami napięcia

1 — iskriownik 2 — lampa prostownicza

trów, pracujących na dostatecznie dobrze przewodzący pył, wymaga zespołów o większej mocy o możliwie mało pulsującym napięciu. W tym wypadku stosuje się układy trójfazowe odznaczające się lepszą komutacją, lepszym wyzyskaniem miedzi i stali oraz zapewniające równomierne obciążenie faz. Na rys. 7 przedstawiono układ połączeń prostownika trójfazowego.

Celem uzyskania najwyższej sprawności elektrofiltru doprowadza się na jego elektrody możliwie najwyższe napięcie, którego górna granica określona jest jednak wymiarami geometrycznymi pola elektrycznego. Podniesienie największego napięcia — bez wywoływania przeskoków między elektrodami i bez zmiany ich wymiarów — możliwe jest przez zasilanie ich impulsami napięciowymi (rys. 8).

Rys. 9 przedstawia układ z tzw. wstępną jonizacją gazu. Cały proces oczyszczania podzielono tu na dwie fazy, odbywające się w osobnych częściach zespołu. Ładowanie cząstek odbywa się w jonizatorze, osadzanie ich w części zbiorczej filtru. Korzyść stosowania tego układu polega na zasilaniu pola elektrycznego części zbiorczej znacznie niższym napięciem niż w zwykłych elektrofiltrach, przy czym jednak odległość międzyelektrodowa wynosi około 8 mm. Elektrody zbiorcze obu biegunów wykonane są z płyt, co utrzymuje wytrzymałość elektryczną układu, przy równoczesnym powiększeniu natężenia pola elektrycznego aż do ~ 20 kV/cm (dla zwykłych układów $K \leq 8$ kV/cm).

Elektrofiltry ze wstępną jonizacją znalazły zastosowanie do pełnego oczyszczania powietrza atmosferycznego w przemyśle farmaceutycznym, fotochemicznym i w podstacjach z prostownikiem rtęciowym.

4. Określenie typu i liczby zespołów zasilających elektrofiltr.

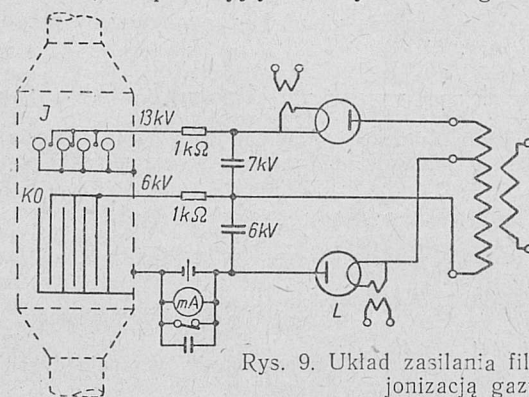
Dobór typu urządzeń mechanicznego prostowania powinien się opierać na danych o własnościach fizycznych oddzielanego pyłu, o składzie gazu i elektrycznej charakterystyce elektrofiltru.

Ogólnie elektrofiltry można podzielić na trzy grupy.

A. Elektrofiltry wylapujące pyły o dobrej przewodności elektrycznej i mgły kwasów niedużej koncentracji. Dotyczy to filtrów pracujących w procesie produkcji kwasu siarkowego, celulozy, w fabrykach sadzy, w suszarkach węgla. Grupa ta, znamienna spokojną pracą, wymaga napięcia 60 do 80 kV i prądu 20 do 80 mA na jedno pole elektryczne. Odpowiedni byłby tu prostownik jednofazowy w układzie dwupółkownikowym.

B. Elektrofiltry wylapujące mgły kwasów dużej koncentracji, popiół ze spalania tłustego węgla, pyły związków metali kolorowych. Dotyczy to filtrów ustawionych przy koncentracji H_2SO_4 w dużych siłowniach, w zakładach metali kolorowych. Stosowane napięcie 60 do 100 kV, pobór prądu na jedno pole elektryczne 120 do 200 mA. Dla filtrów pracujących na dobrze przewodzący pył odpowiedni byłby prostownik jednofazowy z dwupółkownikowym prostowaniem; dla pyłów źle przewodzących (tlenki metali kolorowych) — prostownik jednofazowy z jednopolówkowym prostowaniem.

Powyższe dane w sprawie poboru prądu na jedno pole elektryczne [2] nie oświetlają właściwie różnic między różnymi grupami filtrów, elektrofiltry bowiem tego samego typu mogą być wykonane w kilku wielkościach. Oczywiście, w wypadku oczyszczania wielkich ilości gazów nie stosuje się komór tak wielkich, żeby proces cały odbywał się w jednej komorze. W tym wypadku ustawia się odpowiednią liczbę mniejszych komór o wymiarach, zapewniających dobry rozdział gazu w całym polu



Rys. 9. Układ zasilania filtru ze wstępną jonizacją gazu

J — jonizator KO — komora osadowa L — lampa prostownicza

elektrycznym. Jednakże różnice w wielkości komór mogą dochodzić do 50% pod względem wielkości przekroju użytecznego dla przepływu gazów.

Znaczne różnice w poborze prądu przy różnych przekrojach mogą wynikać również z różnych przyjętych długości pól elektrycznych, odstępów między elektrodami, a więc od czynnej długości przewodów ulotowych umieszczonych w filtrze.

Bardziej miarodajne do określenia poboru prądu w elektrofiltrach jest podawanie gęstości liniowej prądu na metr długości przewodu ulotowego. Wielkość ta (i_l) waha się w zależności od typu filtru od 0,1 do 0,7 mA/m przewodu ulotowego. Przy doborze i_l istotne znaczenie ma skład chemiczny gazów, rodzaj zanieczyszczenia oraz wymiary geometryczne elektrod. Przyjmując dla danego filtru określoną wielkość gęstości liniowej i mnożąc ją przez czynną długość elektrod ulotowych w całym filtrze L_a (długość w przestrzeni między elektrodami zbiorczymi), otrzymujemy pobór prądu I :

$$(17) \quad I = i_l \cdot L_a \quad (\text{mA}).$$

Liczba zespołów zasilających filtr będzie

$$(18) \quad n = \frac{I}{I_a} \quad (\text{szt.}),$$

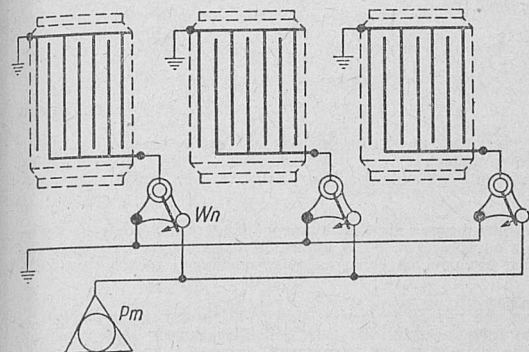
gdzie I — całkowity pobór prądu (mA) według równania (17).
 I_a — prąd znamionowy zespołu (mA).

Przy badaniu pracy elektrofiltru zwraca się również uwagę na gęstość powierzchniową prądu ulotowego i_s (mA/m²). W praktyce wielkość ta wynosi od 0,25 do 3 mA/m² powierzchni elektrod zbiorczych.

Zależność między gęstością liniową a powierzchniową wynosi na 1 m przewodu ulotowego:

$$\text{dla filtru płytowego } i_l = 2d \cdot i_s \text{ (mA/m)},$$

$$\text{dla filtru rurowego } i_l = 2\pi R \cdot i_s \text{ (mA/m)},$$



Rys. 10. Zasilanie kilku filtrów z jednego zespołu

W_n — wyłącznik nadmiarowy wys. nap.
 P_m — prostownik mechaniczny

gdzie d — odległość między sąsiednimi elektrodami ulotowymi (m),

R — promień wewnętrzny elektrody zbiorczej (m).

Liczbę zespołów potrzebnych do zasilania elektrofiltru można określić znając pobór mocy P (w kVA) do oczyszczenia 1000 m³ gazu na godzinę. Pobór ten wynosi

$$(19) \quad P = \frac{V}{V_1} \text{ (kVA)},$$

gdzie V — ilość gazów (m³/h),

V_1 — ilość gazu przerabianego przez jednostkę mocy w ciągu godziny ($\frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{kVA}}$).

Wielkość V_1 , zależną od prędkości gazu, a więc od czasu jego przebywania w elektrofiltrze, przyjmuje się w granicach od 500 do 1200 $\frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{kVA}}$; dla małych prędkości, a więc dużych czasów

należy V_1 przyjmować w pobliżu dolnej granicy, dla dużych prędkości, a więc małych czasów w pobliżu górnej granicy. Dla filtrów energetycznych $V_1 \cong 5000 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{kVA}}$.

Liczbę zespołów będzie więc

$$(20) \quad n = \frac{P}{P_a} \text{ sztuk},$$

gdzie P — ogólny pobór mocy (w kVA) wg wzoru (19),

P_a — moc znamionowa zespołu (kVA),

przy czym n zaokrąglamy do najbliższej wyższej liczby całkowitej.

Przykład 2. Elektrofiltr energetyczny dla kotła 230 t/h. Ilość gazów $V = 141 \text{ m}^3/\text{s}$, przekrój użyteczny pola elektrycznego $F_u = 4,19,3 \text{ m}^2$ (4 komory pracujące równolegle), prędkość przepływu gazów $v = 1,82 \text{ m/s}$, długość czynna wszystkich elektrod filtru $L_a = 4,3024 \text{ m}$, powierzchnia elektrod zbiorczych $s = 4,1120 \text{ m}^2$.

Przyjmując dla filtru energetycznego gęstość liniową $i_l = 0,1 \text{ mA/m}$ przewodu ulotowego, otrzymamy ogólny pobór prądu ze wzoru (17):

$$I = 0,1 \cdot 4,3024 = 1210 \text{ mA}.$$

Liczbę zespołów zasilających produkcję krajowej na 30 kVA, 650/55000 V, na prąd znamionowy 315 mA, 3 faz. określimy według (18)

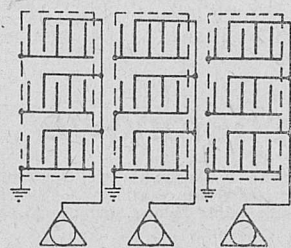
$$n = \frac{1210}{315} = 3,84 \text{ czyli } 4 \text{ szt.}$$

Dla obranej liczby zespołów gęstość powierzchniowa prądu ulotowego na jednostkę powierzchni elektrod zbiorczych wyniesie

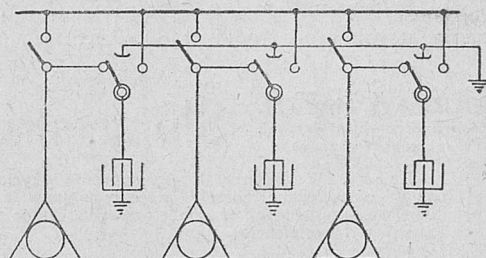
$$i_s = 0,281 \text{ mA/m}^2, \text{ natomiast wielkość } V_1 = 4240 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{kVA}}.$$

Przykład 3. Elektrofiltr przemysłowy współpracujący z suszarką chlorku potasu. Ilość gazów $V = 9 \text{ m}^3/\text{s}$, $F_u = 12,5 \text{ m}^2$, $v = 0,72 \text{ m/s}$, $L = 933 \text{ m}$, $s = 518 \text{ m}^2$.

Zakładając $V_1 = 1100 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{kVA}}$, otrzymamy całkowity pobór mocy z (19):



Rys. 11. Układy zasilania filtrów wielopolewych



Rys. 12. Układ połączeń rozdzielni wys. nap. z szyną pomocniczą

$$P = \frac{9 \cdot 3600}{1100} = 29,5 \text{ kVA}.$$

Liczba zespołów wg (20):

$$n = \frac{29,5}{30} \cong 1.$$

Pozostałe wielkości charakterystyczne będą:

$$i_l = \frac{315}{933} = 0,338 \text{ mA/m przewodu ulotowego},$$

$$i_s = \frac{315}{518} = 0,608 \text{ mA/m}^2 \text{ elektrod zbiorczych}.$$

5. Układy zasilania elektrofiltru.

Przy opracowywaniu układów zasilania elektrofiltrów wielopolewych należy dążyć ku temu, aby każde pole elektryczne miało osobny zespół elektryczny. Rozwiązanie takie podyktowane jest potrzebą zapewnienia całości urządzenia możliwie największej pewności ruchu. Jeżeli mamy do czynienia z filtrem o kilku niewielkich polach (niektóre typy elektrofiltrów przemysłowych), to może się okazać, że przy zasilaniu ich osobnymi zespołami nie wyzyska się ich mocy. W tym wypadku przyłącza się dwa, a najwyżej trzy pola do jednego zespołu. Celem jednak zapewnienia stateczności pracy zespołu obsługującego całość, w wypadku nieuniknionych zmian parametrów gazu w częściach filtru, poszczególne pola przyłącza się do szyny głównej przez wyłączniki nadmiarowe wysokiego napięcia (rys. 10).

Przy oczyszczaniu dużych ilości gazów przemysłowych stosuje się filtry wielokomorowe z kilkoma polami w jednej komorze. Możliwe tu są dwa układy połączeń (rys. 11).

Rys. 11b przedstawia układ z tzw. stopniowanym napięciem. Rozwiązanie to jest bardziej polecane, zespół bowiem zasilą trzy pola, których charakter pracy jest identyczny (parametry gazu, koncentracja pyłu). W układzie według rys. 11a zespół zasilą również trzy pola, których jednak warunki pracy znacznie się różnią ze względu na zmieniające się parametry gazu wzdłuż jego drogi w komorze; odbija się to ujemnie na sprawności odpylania.

Układ ze stopniowanym napięciem umożliwia w wypadku szeregowego usytuowania pól elektrycznych w filtrze typu mokrą nieprzerwanie procesu odpylania w okresach przemysowania elektrod promieniujących: gdy przemysują się elektrody pierwszego stopnia, gaz odpyla się jeszcze w drugim stopniu; przy przemysowaniu drugiego stopnia pracuje pierwszy. W innym układzie połączeń należałoby na czas przemysowania — prócz wyłączenia dopływu prądu — również zamknąć dopływ gazu do tej części aparatu.

Należy jednak zaznaczyć, że układ ze stopniowanym napięciem można stosować w filtrach wielokomorowych tylko wtedy, kiedy części komory przyłączone do jednego źródła prądu oczyszczają gaz, pochodzący z tej samej jednostki produkcyjnej. Układu tego nie należy stosować, jeżeli poszczególne komory pracują w blokach z urządzeniami produkującymi gaz, albowiem wówczas zmiany parametrów gazu jednego zespołu (np. zatrzymanie pieca obrotowego), powodujące niestateczną pracę prostownika, odbijają się na sprawności odpylania drugiego bloku.

Pojedyncze elektrofiltry jednopolewe winny być zaopatrzone w osobne zespoły zasilające.

Gdy mamy do czynienia z rozdzielnią wyposażoną w kilka zespołów elektrycznych, wykonuje się zwykle po stronie wysokiego napięcia tzw. szynę pomocniczą, umożliwiającą wzajemną rezerwę dla uszkodzonych jednostek (rys. 12).

Sprawa rezerwy musi być przy opracowywaniu układów elektrycznych elektrofiltrów dokładnie przeanalizowana. Charakter pracy prostowników wirujących wymaga ich stałej i troskliwej konserwacji co pociąga za sobą konieczność częstego odłączania zespołów od źródła prądu. Przy pracujących obok siebie

kilku zespołach stosuje się dodatkowo zespół rezerwowy — w szczególności przy zasilaniu filtrów strącających np. cenny pył metali kolorowych.

LITERATURA

- [1] Капцов Н. А. Электрические явления в газах и вакууме. Гос. техиздат, 1950
- [2] Узов В. И. О новых типах отечественных электроагрегатов для питания электрофильтров. Электричество, 1951, nr 8.
- [3] Зибровский С. П. Электрофильтры. Госэнергоиздат, 1950.
- [4] ASEA Revue, 1947, nr 1—3.

BOLESŁAW MAYZEL
Katedra Sieci Elektrycznych
Politechniki Warszawskiej

Słupy strunobetonowe

608.3:621.315.668.3

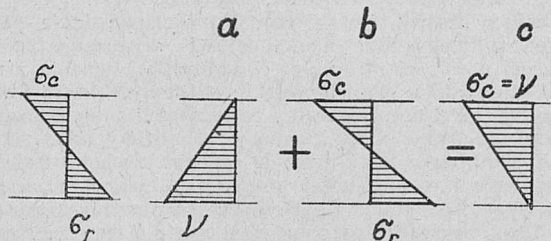
Treść. W dążeniu do ograniczenia użycia drewna w budownictwie elektroenergetycznym zwrócono uwagę na nowy materiał — beton strunowy. Opracowane zostały projekty słupów z tego materiału dla linii 30- i 110-kilowoltowych oraz wybudowano linię doświadczalną 30-kilowoltową na słupach strunobetonowych. Autor wyjaśnia istotę betonu strunowego, a następnie omawia projekty słupów, ich wykonanie i wyniki badań wytrzymałościowych.

Струнотонные опоры. В стремлении к ограничению расхода дерева в электроэнергетическом строительстве обращено внимание на новый материал — струнотон. Разработаны проекты опор из этого материала для линий 30 и 110 кв и построена опытная линия 30 кв на струнотонных столбах. Автор выясняет существенные качества струнотона, обсуждает проекты струнотонных столбов, способы их изготовления и результаты испытаний их механических свойств.

Prestressed concrete poles. Attention has been focused, with a view to curtailing the use of timber in power engineering developments, on a new material — prestressed concrete. Designs have been prepared for poles made of this material for 30- and 110-kilovolt lines, and an experimental 30-kilovolt line built using prestressed concrete poles. The author explains the principles of prestressed concrete and reviews the designs for poles, manufacturing process and results of mechanical tests.

1. Istota betonu strunowego.

Beton należy do rzędu materiałów kruchych, wykazujących w przeciwieństwie do materiałów ciągliwych znikomą małą wytrzymałość na rozciąganie w porównaniu z wytrzymałością na ściskanie. Ponadto rozerwanie materiałów kruchych następuje nagle bez uprzedniego, ostrzegawczego, przejścia przez stadium wydłużenia plastycznych. Na ogół można przyjąć, że między wytrzymałością betonu na rozciąganie R_r i wytrzymałością na ściskanie R_c istnieje zależność $R_r = 0,1 R_c$. Dlatego beton nie nadaje się do wykonywania elementów podlegających rozciąganiu, a więc także elementów zginanych, w których wykres naprężeń składa się w równych częściach ze ściskania i rozciągania. Przy liniowym rozkładzie naprężeń zginających



Rys. 1

Rys. 2

przedstawionym na rys. 1 i przy symetrycznym kształcie przekroju największe ściskanie σ_c jest równe największemu rozciąganiu σ_r i chcąc mieć s -krotną pewność co do wytrzymałości na złamanie trzeba przyjmować $\sigma_r = -\sigma_c = \frac{M}{W} = \frac{R_r}{s}$, a więc 10-

krotnie mniejsze naprężenie σ_c niżby przy tym samym stopniu bezpieczeństwa wynikało z wytrzymałości na ściskanie R_c . Ponadto z uwagi na nagły charakter zniszczenia współczynnik bezpieczeństwa wypada przyjmować dość wysoki ($s = 3$).

Podajmy jednak element betonowy wstępemu uciskowi, który w miejscu mających powstać największych naprężeń rozciągających wywoła ściskanie $\nu = \frac{R_c}{s}$, przyjmując np. $s = 2$,

a po stronie przyszłych naprężeń ściskających $\nu = 0$ (rys. 2a). Gdy następnie element ten obciążymy siłami tworzącymi w przekroju najbardziej narażonym moment zginający M , któremu odpowiada wykres naprężeń z rys. 2b z wartościami skrajnymi $\sigma_r = -\sigma_c = -\nu$, to przez złożenie algebraiczne obu wykresów powstanie rozkład naprężeń trójkątny przedstawiony na rys. 2c, a obejmujący wyłącznie ściskanie z największą wartością $\sigma_c = \nu = \frac{R_c}{s}$. W ten sposób przez zastosowanie

wstępnego ucisku zwanego sprężeniem uzyskuje się w zginanym elemencie betonowym rozkład naprężeń odpowiadający własnościom wytrzymałościowym betonu (w całym przekroju ściskania) i pozwalający na pełne wyzyskanie wytrzymałości betonu przy możliwie małym współczynniku bezpieczeństwa $s = 2$, a najwyżej 2,5.

Technicznie sprężenie może być zrealizowane w różny sposób. W betonie strunowym potrzebne sprężenie uzyskuje się przez naciągnięcie strun, tj. cienkich drutów o wysokiej wytrzymałości, rozmieszczonych w formie elementu w ten sposób, aby wypadkowy naciąg pokrywał się z wektorem zamierzonego ucisku. Następnie formę zapelnia się betonem zagęszczając go przez wibrowanie, a gdy beton odpowiednio stwardnieje zwalnia się struny od naciągu. Wówczas struny — dążąc do przywrócenia swej pierwotnej długości, którą miały przed naciągnięciem, a będąc już związane z betonem przez przyczepność — wywierają na beton żądany nacisk i wytwarzają w nim rozkład naprężeń z rys. 2a.

Ten prosty schemat teoretyczny doznaje pewnego zniekształcenia wskutek fizycznych i reologicznych własności obu materiałów, mianowicie wskutek skurczu i pełzania betonu oraz pełzania stali. W wyniku tych zjawisk powstają znaczne straty naciągu w strunach wynoszące 20—30 kg/mm². Aby te straty nie stanowiły zbyt dużej procentowej części naciągu wstępnego lub, co gorsza, nie zniweczyły go całkowicie, naprężenie wstępne w strunach, a zatem także ich wytrzymałość muszą być bardzo duże. Toteż w betonie strunowym stosuje się druty o wytrzymałości powyżej 200 kg/mm² i dopuszcza się naprężenia wstępne rzędu stu kilkudziesięciu kg/mm². Odpowiednio także beton musi być bardzo dobrej jakości tym bardziej, że w proporcji do wytrzymałości na ściskanie pozostaje opór przyczepności betonu, zapobiegający poślizgowi strun, który jest poważnym źródłem nieprzewidzianych strat sprężenia.

2. Założenia gospodarcze i techniczne i opis projektu słupów strunobetonowych.

Wysunięty w okresie powojennym postulat oszczędnej gospodarki drewnem, który tak poważnie zaciążył na kierunkach rozwojowych całego budownictwa, ogarnął również budownictwo elektroenergetyczne, należące do większych konsumentów drewna budowlanego. Przeważająca część słupów linii energetycznych nawet dla bardzo wysokich napięć była przed wojną wykonywana z drewna, a dla napięć najwyższych z deficytowej również stali.

Szybki rozwój elektryfikacji kraju w okresie powojennym zaostriżył jeszcze problem materiałowy w tej gałęzi budownictwa i skierował uwagę inwestora na mało dotychczas wykorzystany materiał — beton. Wybudowano kilka linii ze słupów żelbetonowych wibrowanych. Próba ta jednak spotkała się z krytyczną oceną ze względu na znaczny stosunkowo ciężar słupów, utrudniający transport w niezwykle uciążliwych warunkach, w których z reguły odbywa się budowa linii przesyłowych. Inne uwagi krytyczne dotyczyły dużych kosztów, dużego zużycia stali oraz małej odporności na rysy i uszkodzenia.

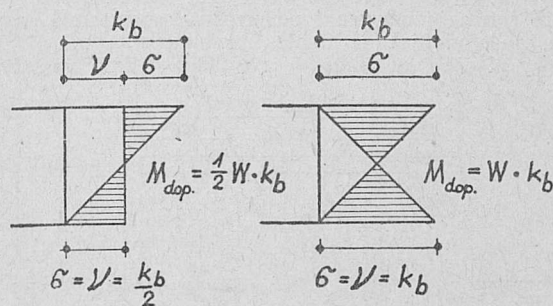
Toteż gdy tylko wykonywanie elementów strunobetonowych stało się u nas aktualne, Centralny Zarząd Energetyki zainteresował się tymi konstrukcjami i zainicjował budowę próbnej linii 30-kilowoltowej na słupach strunobetonowych, a następnie zaprojektowanie takich słupów dla linii 110-kilowoltowej.

Od słupów strunobetonowych oczekiwano znacznego zmniejszenia zużycia stali, większej odporności na zarysowania, nie-

bezpieczne z uwagi na korozję, oraz mniejszego ciężaru elementów. Analiza porównawcza słupów strunobetonowych z żelbetowymi wykazała, że zmniejszenie ciężaru słupów jest stosunkowo mniejsze niż się to daje osiągnąć w konstrukcjach budowlanych, słupy bowiem energetyczne — z wyjątkiem niektórych typów (krawcowych i narożnych) — podlegają przemienemu zwrotowi działania sił i z tego powodu muszą być sprężane osiowo. Dopuszczalny moment zginający jest wów-

= 100 kg/cm². Dla potwierdzenia słuszności powyższych założeń zdecydowano przeprowadzić badania wytrzymałościowe słupów próbnych przed ostatecznym rozpoczęciem produkcji.

Drugą trudność konstrukcyjną przedstawia łączenie części składowych konstrukcji między sobą. Słup elektroenergetyczny składa się, jak wiadomo, z dwóch zasadniczych elementów: pio-



Sprężenie osiowe Sprężenie mimośrodowe

Rys. 3. Porównanie skuteczności sprężania osiowego i mimośrodkowego

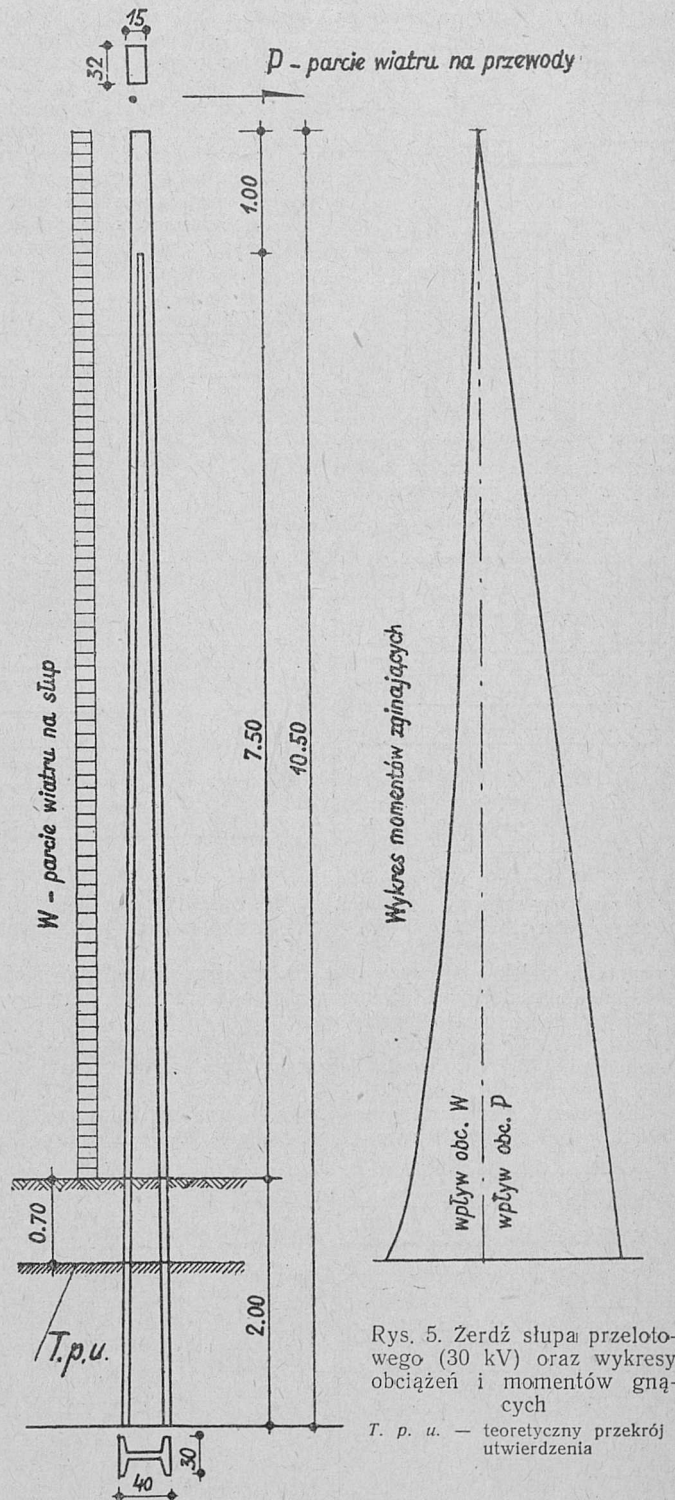
k_b — naprężenie dopuszczalne betonu na ściskanie
 ν — naprężenie wstępne w betonie
 $\sigma = \frac{M}{W}$ — naprężenie krawędziowe od obciążenia zewn.
 $M_{dop.}$ — dopuszczalny moment zginający

czas przy jednakowym znaku betonu o połowę mniejszy (rys. 3 lewy) niż w konstrukcjach pracujących na jednokierunkowe zginanie (rys. 3 prawy).

W tych warunkach ważne było dobranie przekroju o stosunkowo wysokim wskaźniku wytrzymałości. Zdecydowano się na przekrój dwuteowy (rys. 4), który jednocześnie daje możliwość umieszczenia w szerokich stopkach dość dużej liczby strun potrzebnej do sprężenia słupa (w słupie przelotowym 76 strun o średnicy 2,5 mm w stopkach + 12 w środku). Odpowiednio do kształtu wykresu momentów zginających nadano słupowi zarys zbliżony ku górze zachowując jednak z uwagi na rozmieszczenie strun niezmienną szerokość stopek przekroju dwuteowego na całej wysokości słupa (rys. 5). U góry na długości około 1 m, wobec znacznego zbliżenia stopek, zastosowano przekrój prostokątny. Stopki miały ze względów produkcyjnych krawędzie lekko nachylone.

Obliczenia porównawcze wykazały, że przekrój rurowy byłby znacznie korzystniejszy pod względem ciężaru. Oszczędność na ciężarze, a więc i na zużyciu betonu przy zastosowaniu rury owałnej o małej grubości można by doprowadzić do przeszło 25%. Jednak z powodu trudności fabrykacyjnych musiano na razie zrezygnować z tego statycznie korzystniejszego przekroju. O zagadnieniu kształtu przekroju, który dla konstrukcji wsporczych ma podstawowe znaczenie, będzie jeszcze mowa niżej.

Projektowanie słupów narażało pewne trudności z powodu braku norm na tego rodzaju konstrukcje. Norma PN/E-101 nie obejmuje jeszcze słupów strunobetonowych, a norma budowlana na beton strunowy była w owym czasie dopiero w stadium opracowywania. Także pod względem wykonawczym przemysł betoniarski stawiał dopiero pierwsze kroki w świeżo zorganizowanej doświadczalnej wytwórni strunobetonów. Musiano przeto ustalić — kierując się wycieczkami konstrukcyjnymi i opierając się na analogiach do konstrukcji pokrewnych (żelbetowych) — normy indywidualne dla opracowanego projektu, które przyjęto w następującej wysokości: wytrzymałość betonu na ściskanie $R_c = 400 \text{ kg/cm}^2$, współczynnik bezpieczeństwa $s = 2$, wytrzymałość strun $R_s = 220 \text{ kg/mm}^2$, naciąg wstępny strun $n_w = 140 \text{ kg/mm}^2$, straty 20 kg/mm^2 , naciąg użytkowy $n_u = 120 \text{ kg/mm}^2$, sprężenie betonu $\nu = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_c}{2} =$

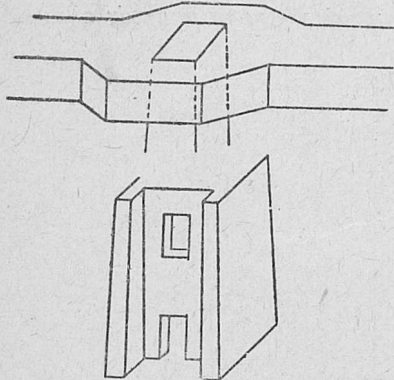


Rys. 5. Żerdź słupa przelotowego (30 kV) oraz wykresy obciążeń i momentów gnających
 T. p. u. — teoretyczny przekrój utwierdzenia

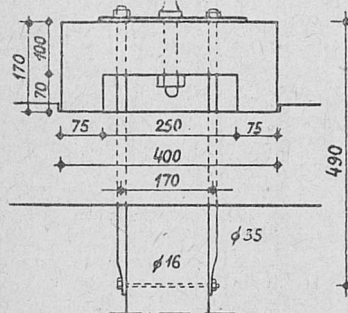
nowego czyli słupa właściwego w postaci pojedynczej żerdzi albo kombinacji dwóch lub więcej żerdzi oraz poziomego zwalnego poprzecznikiem. Słup przelotowy linii 30-kilowoltowej składa się z jednej żerdzi strunobetonowej o wyżej opisanym przekroju dwuteowym zbieżającym się ku górze, oraz z poprzecznika strunobetonowego o przekroju prostokątnym 12 cm × 17 cm i nasadzonego na nim siodełka żelbetowego do umocowania izolatora. Ponadto w części podziemnej dodaje się żelbetowe belki oporowe (ustojowe) o różnych wymiarach w zależności od rodzaju gruntu w celu zapewnienia dostatecznego oporu gruntu. Belki oporowe wykonano z żelbetu z uwagi na różno-

rodność ich wymiarów, która dla wytwórni strunobetonów byłaby zbyt kłopotliwa w początkowej fazie produkcji.

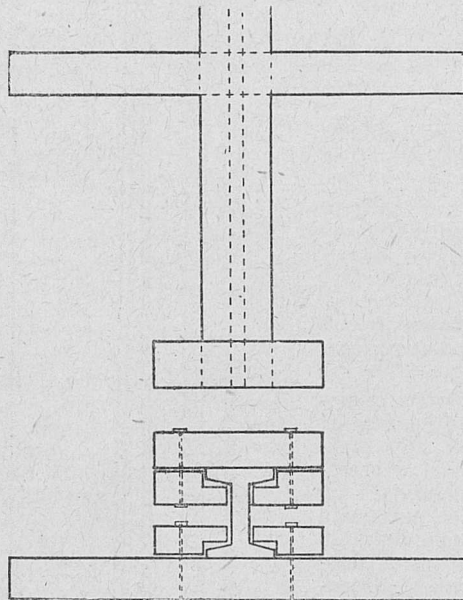
Trudność łączenia elementów strunobetonowych polega na tym, że z uwagi na ciągłość strun nie można w elementach tych stosować większych lokalnych otworów. W omawianym przykładzie słupa przelotowego linii 30-kilowoltowej najdogodniej byłoby górny poprzecznik nasadzić na żerdź słupową, a belki oporowe przewlec przez środek żerdzi. W wykonaniu żelbetowym byłoby to łatwe do osiągnięcia przez wykonanie w środku poprzeczника odpowiednio wyrobionego gniazda i przez pozostawienie w środku żerdzi otworów dla prze-



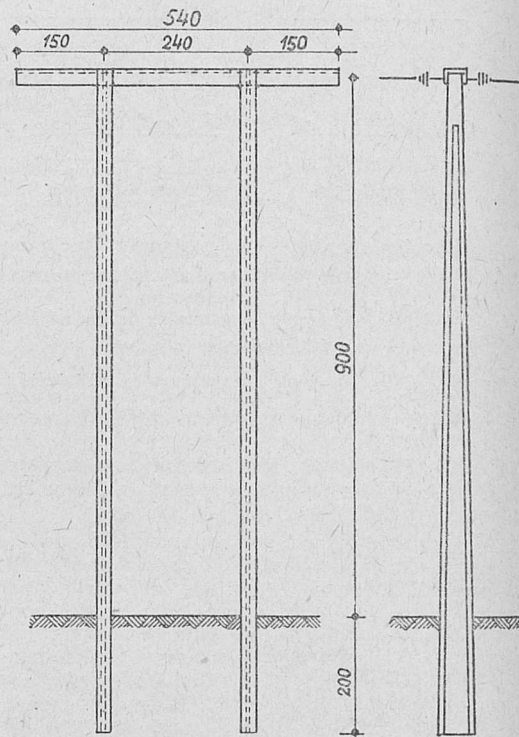
Rys. 6. Sposób łączenia poprzeczника i belek oporowych z żerdzią w słupie konstrukcji żelbetowej



Rys. 7. Połączenie poprzeczника z żerdzią w strunobetonowym słupie przelotowym (30 kV)



Rys. 8. Łączenie belek oporowych z żerdzią strunobetonowego słupa przelotowego (30 kV)



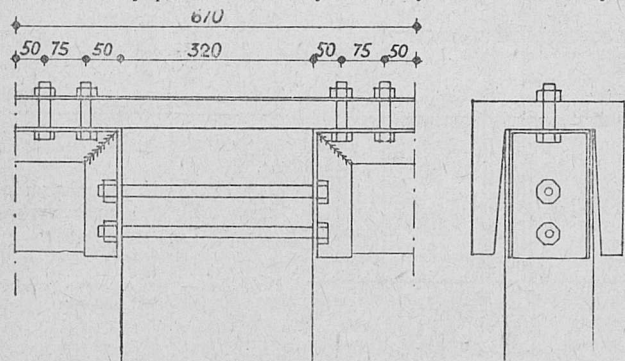
Rys. 9. Strunobetonowy słup odporowy (30 kV)

puszczenia belek oporowych (rys. 6). W strunobetonie nie można jednak zastosować takich skomplikowanych kształtów. Z konieczności przeto posługiwano się zarówno w projekcie słupów linii 30-kilowoltowej, jak i w bardziej złożonych słupach linii 110-kilowoltowej, łącznikami stalowymi z kątowników, ceowników i śrub.

Połączenie zastosowane w głowicy słupa przelotowego linii 30-kilowoltowej przedstawione jest na rys. 7. Dwie śruby pio-

sokości, która wynosi tu u dołu 60 cm, szerokość stopek w obu typach słupów jest jednakowa.

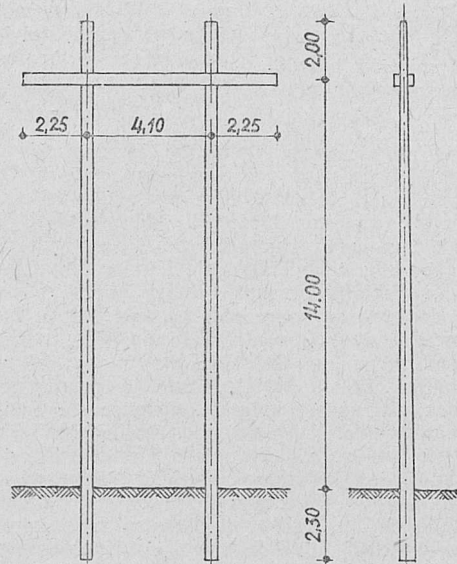
Poprzecznik ma przekrój odwróconej litery U — odpowiedni pod względem statycznym i dogodny do montażu przez na-



Rys. 10. Połączenie poprzeczника z żerdzią w słupie odporowym (30 kV)

nowe o średnicy 35 mm są przepuszczone na wylot przez poprzecznik i siodełko, u dołu spłaszczone i przytwierdzone poziomą śrubą o średn. 16 mm do słupa, u góry zaś przykręcone nakrętkami na podkładkach. Otwory na śruby mieszczą się dobrze pomiędzy strunami, wobec czego taki sposób połączenia był dla strunobetonu możliwy.

Dla przytwierdzenia podziemnych belek oporowych nie dało się zastosować bezpośrednie połączenie na śruby, ponieważ

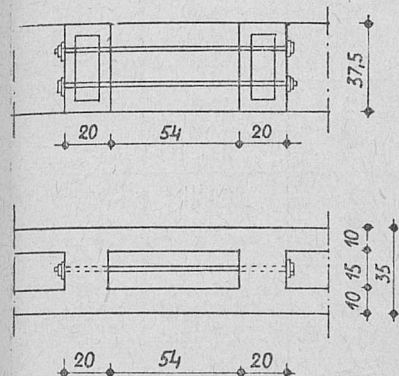


Rys. 11. Słup przelotowy linii 110-kilowoltowej

łożenie z wierzchu na żerdzie. Jako łączniki zastosowano tu narożniki zespawane pod kątem prostym z dwóch kawałków ceownika i połączone, na każdym z ramion, dwiema śrubami ze słupem i z górną ścianką poprzeczника (rys. 10).

Ujemną stroną takiego połączenia jest to, że skutkiem innego niż w słupie przelotowym kierunku ustawienia żerdzi, śruby poziome muszą przebiegać niezmniejszoną u góry szerokość żerdzi 32 cm.

Projekt konstrukcji wsporczych linii 30-kilowoltowych obejmował jeszcze kilka innych typów słupów (krajowe i naroż-



Rys. 12. Połączenie poprzeczника z żerdzią w słupie przelotowym (110 kV)

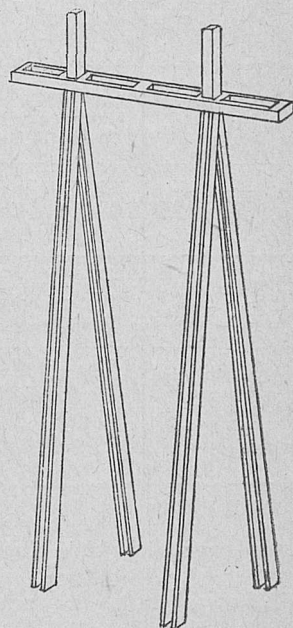
ne dla różnych kątów załomu), które różnią się tylko w szczegółach od wyżej opisanych i nie wymagają osobnego omówienia.

Słupy linii 110-kilowoltowych są konstrukcjami o znacznie większych wymiarach i bardziej złożonej budowie, gdyż muszą być wyższe, podlegają działaniu większych sił i oprócz trzech przewodów roboczych mają zawieszone dwa przewody odgromowe. Najprostszy ze słupów tej linii — słup przelotowy — ma ustrój portalowy i składa się zasadniczo (nie licząc żelbetowych belek odporowych związanych z rodzajem gruntu) z trzech elementów: dwóch żerdzi i poprzecznika. Żerdzie o przekroju dwuteowym szerokości 53 cm i wysokości u dołu

Połączenie dwudzielnego poprzecznika z żerdziami udało się tutaj rozwiązać bardzo łatwo przez nasadzenie poprzeczników na żerdzie i ściągnięcie śrubami (po 2 śruby) żerdzi z wewnętrznymi przewiązkami poprzecznika (rys. 12).

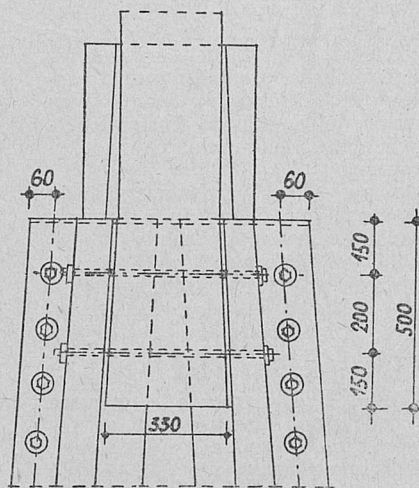
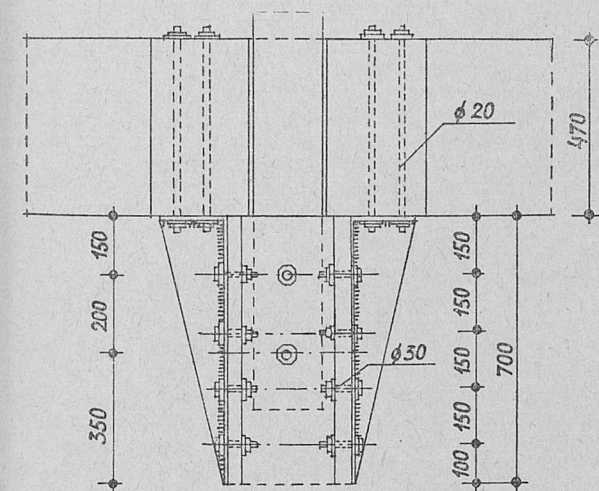
Połączenie to może budzić zastrzeżenia, jak w poprzednio opisanych słupach odporowych, jedynie co do znacznej długości śrub przebijających większy wymiar (53 cm) przekroju żerdzi.

Słup odporowy i inne typy słupów, tzw. mocnych, linii 110-kilowoltowych można określić jako konstrukcje portalowe rozkraczne. Każdy taki słup składa się z 7 zasadniczych elementów a mianowicie: 2 par żerdzi, poprzecznika i dwóch słupków odgromowych (rys. 13). Żerdzie są o stałym przekroju dwuteowym na całej długości z wyjątkiem pogrubień środkowa w górnym końcu. Słupek ma przekrój prostokątny z poszerzeniem końca dolnego w jaskółczy ogon. Poprzecznik o obrysie zewnętrznym kwadratowym rozdzielony jest szerokością szczeliny trapezowej na dwie gałęzie połączone w kilku miejscach przewiązkami jak w słupie przelotowym.

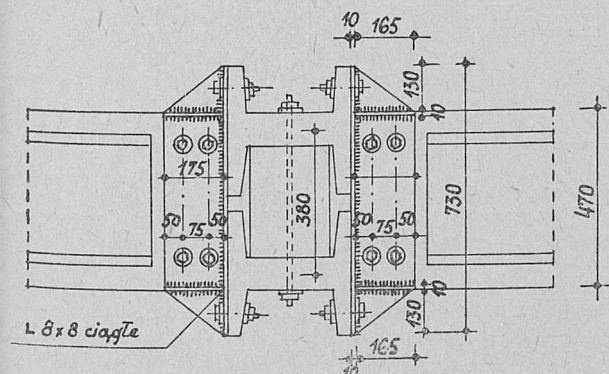


Rys. 13. Słup odporowy linii 110-kilowoltowej

W tego typu słupach połączenie żerdzi z poprzecznikiem i słupkiem odgromowym narażało szczególne trudności i wy-



Rys. 14. Połączenie żerdzi poprzecznika i słupka odgromowego w słupie odporowym (110 kV)



magalo użycia znacznej ilości stali na łączniki. Słup bowiem obliczano — dla uzyskania możliwie małego ciężaru elementów — jako ustroje ramowe w dwu kierunkach: w płaszczyźnie portali i prostopadłej do niej płaszczyźnie rozkroku żerdzi. Łączniki musiały przeto przenieść momenty węzłowe ramownic. Ostateczny projekt połączenia przedstawiony jest na rys. 14. Słupek odgromowy wchodzi swym jaskółczym ogonem kształtu dostosowanego do rozchylenia żerdzi pomiędzy obie żerdzie. Poprzecznik obejmuje szczelinę słupka odgromowego i dolną powierzchnię dotyka do wierzchołków żerdzi. Żerdzie ze słupkami odgromowymi łączą się na dwie śruby przeciągnięte przez środkiki i przez słupek tworząc ramownicę trapezową w płaszczyźnie rozkroku. Każda para żerdzi łączy się z poprzecznikiem za pomocą dużych kątowników utworzonych z blach pionowych i poziomych wzmocnionych żebrami trójkątnymi. Blachy pionowe są przymocowane krótkimi śrubami do stopek żerdzi, a blachy poziome — do przewiązek betonowych poprzecznika. Struny w żerdziach, poprzeczniku i słupkach muszą omijać otwory na śruby łącznikowe.

Tabl. I podaje cechy charakterystyczne poszczególnych elementów, a mianowicie: nośność wyrażoną w momentach zginających (moment znamionowy), objętość betonu, ciężar strun, ciężar strzemiń, ciężar elementu, oraz łączny rozchód materiałów na całą konstrukcję słupa.

43 cm zbiegają się w wierzchołku do przekroju prostokątnego 53 cm × 10 cm. Żerdzie są przewleczone pełnym przekrojem prostokątnym przez poprzeczniki w odległości około 2 m od wierzchołków, na których są zawieszone przewody odgromowe. Poprzecznik ma przekrój prostokątny 37,5 cm × 35 cm rozdzielony na dwie gałęzie szczeliną o szerokości 15 cm przebiegającą przez środek i zamkniętą na końcach oraz poprzecinaną przewiązkami pośrednimi (rys. 11).

T a b l i c a I. Charakterystyka słupów

Typ słupa	Element	Długość (m)	Moment znamionowy (tm)	Beton (m³)	Struny (kg)	Strzemiona (kg)	Ciężar (kg)
Przelotowy, 30 kV	Żerdź	10,50	4,50	0,46	32	3,0	1150
	Poprzecznik	5,00	0,63	0,10	5	0,6	250
	Żerdź + poprzecznik	—	—	0,56	37	3,6	—
Odporowy, 30 kV	Żerdź	11,13	1,84*)	1,08	81	12,0	2700
	Poprzecznik	5,40	1,53	0,18	9	2,0	450
	Dwie żerdzie + poprzecznik	—	—	2,34	171	26,0	—
Przelotowy, 110 kV	Żerdź	18,15	9,80	1,17	88	15,0	2900
	Poprzecznik	8,60	4,96	0,81	42	3,0	2000
	Dwie żerdzie + poprzecznik	—	—	3,15	218	33,0	—
Odporowy, 110 kV	Żerdź	13,85	3,72	0,67	44	11,0	1700
	Poprzecznik	7,70	6,70	1,04	40	3,0	2600
	Słup	3,20	2,00	0,20	12	1,0	500
	4 żerdzie + poprzecznik + dwa słupki	—	—	4,12	240	49,0	—

*) Dochodzi znaczny wpływ siły podłużnej.

3. Wykonanie i badania słupów.

Spośród zaprojektowanych kilkunastu typów konstrukcji zrealizowane zostały na razie tylko dwa, mianowicie słupy przelotowe i odporowe linii 30-kilowoltowej. Wykonała je Doświadczalna Wytwórnia Strunobetonów na długich torach. Formy zastosowano drewniane, mocnej konstrukcji, ze struganych desek 1½-calowych, ściągane w odstępach co 1 m ramkami stalowymi z płaskowników. Produkcja odbywała się w pionowej pozycji przekroju dwuteowego. Beton wytwarzano z tłuczniwa bazaltowego przy użyciu przeszło 500 kg cementu znaku 350 na 1 m³, uzyskując przeciętną wytrzymałość walcową 400 kg/cm². Zagęszczanie betonu odbywało się przy pomocy wibratorów węglanych. Na podstawie doświadczeń produkcyjnych zastosowano przy końcach elementów po kilkanaście dodatkowych strzemion w kilkucentymetrowych odstępach w celu wyeliminowania możliwości podłużnych spękań, powstających na skutek działania sił kotwiących struny.

Pierwsze cztery wyprodukowane słupy przelotowe potraktowano jako elementy próbne i poddano badaniom wytrzymałościowym w Instytucie Techniki Budowlanej. Zasadnicze badania przeprowadzono w ośrodku doświadczalnym na Ksawerowie, gdzie słupy próbne zostały osadzone w gruncie i ustawione wraz z poprzecznikami w taki sposób, jak na linii przesyłowej. Zawieszając na ramionach poprzeczników ciężary zastępujące rzeczywiste obciążenia pionowe i wytwarzając zastępcze siły poziome przy pomocy liny doczepionej do wierzchołka słupa i obciążonej na drugim końcu przeciągniętym przez krążek na wieży odciągowej, poddawano słup układom sił zewnętrznych, na które słup był obciążony zgodnie z PNE-101. Przy tych obciążeniach konstrukcja wykazała pracę całkowicie sprężystą bez odkształceń trwałych. Pierwsze rysy pojawiły się przy obciążeniu wywołującym moment gnący 1,65 razy większy od obliczeniowego oraz naprężenia w przekroju niebezpiecznym wynoszące 235 kg/cm² na ściskanie i 21 kg/cm² na rozciąganie. Zniszczenie słupa nastąpiło przy obciążeniu odpowiadającym współczynnikowi bezpieczeństwa 2,3 i wywołującym naprężenia 283 kg/cm² na ściskanie i 69 kg/cm² na rozciąganie. Zapas bezpieczeństwa okazał się przeto większy niż w założeniach, które przewidywały współczynnik $s = 2$. Także pozornie dość słabe złącze poprzecznika z żerdzią wykazało wytrzymałość zupełnie wystarczającą.

Próba powyższa oprócz wyników wytrzymałościowych dała także pewne doświadczenia transportowo-montażowe, głównie w stosunku do pretów włączonych i płytek stopowych (o elementach tych jako drugorzędnych pod względem konstrukcyjnym nie wspomniano wyżej w opisie technicznym). W słupach próbnych włązy zostały osadzone w betonie w samej wytwórni. Przy transporcie wiele pretów pocięło się, a niektóre wyginając się spowodowały wykruszenie betonu i obnażenie strun. Próba wykazała przeto, że zaleca się raczej dostarczanie pretów włączonych luzem i osadzanie ich na miejscu budowy przy użyciu zaprawy cementowej w przygotowanych w słupie otworach.

Podkładki stopowe, służące do przekazywania na grunt obciążeń pionowych, były zaprojektowane w postaci płytek żelbetonowych o grubości 15 cm z wykresem głębokości 5 cm od-

powiadającym profilowi stopy żerdzi. Ponieważ wstawianie żerdzi w te wykroje okazało się kłopotliwe i płytki przy tych manipulacjach pękały, zdecydowano się na stosowanie gładkich płytek o jednostajnej grubości 15 cm.

Dwa próbne poprzeczniki — niezależnie od próby poligonowej w zespole konstrukcyjnym z żerdziami — były poddane oddzielnie badaniom na zginanie i skręcanie w prasie wytrzymałościowej. Skręcanie może występować w przypadku zakłóceń, którego według przepisów nie uwzględnia się przy obliczaniu słupów przelotowych i nie uwzględniono również w projekcie badanego słupa. Mimo to próbny poprzecznik wytrzymał zginanie ze skręcaniem od-znamionowego obciążenia ze współczynnikiem bezpieczeństwa 1,05.

Po dokonaniu prób uruchomiono produkcję zamówionych słupów, a w roku 1951 linię doświadczalną wybudowano i oddano do użytku. Według informacji opisane słupy strunobetonowe, zastosowane w Polsce po raz pierwszy, nie spotkały się z zarzutami w eksploatacji, zarzuty zaś ekipy montażowej dotyczyły utrudniających montaż niedokładności wymiarowych, których przypuszczalnie w przyszłości da się uniknąć przy zastosowaniu form stalowych.

Trzeba jednak stwierdzić, że w obecnej postaci słupy te nie spełniają w pełni wymagań ekonomicznych i transportowych, które tego rodzaju konstrukcjom należy stawiać: są mianowicie stosunkowo drogie i ciężkie. Obie te ujemne cechy są ze sobą ściśle związane, gdyż obie wynikają z dużej stosunkowo objętości betonu, który jest kosztowny z uwagi na potrzebną dużą ilość cementu i szlachetnego kruszywa. Jednocześnie duży stosunkowo ciężar utrudnia manipulacje transportowe słupów ustawianych na trasie przechodzącej przez pola, łąki i inne oddalone od dróg tereny.

Dlatego większe rozpowszechnienie słupów strunobetonowych jest uwarunkowane zmniejszeniem ich kubatury, która da się uzyskać jedynie przy zastosowaniu cienkościennych słupów rurowych o przekroju kołowym lub owalnym. Należy przeto wysunąć postulat, aby wytwórnie strunobetonów przyswoiły sobie stosowane za granicą metody wykonywania elementów rurowych o przekroju kołowym i owalnym z grubością płaszcza 3—4 cm.

Drugim warunkiem potania i polepszenia produkcji słupów strunobetonowych jest udostępnienie wytwórniom cementów o wytrzymałości wyższej od 350 kg/cm². Ten bowiem gatunek cementu jest dla betonu sprężonego niedostatecznie wydajny. Jego zużycie na 1 m³ betonu o ledwo wystarczającej wytrzymałości 400 kg/cm² wynosi 500 — 550 kg, co bardzo obciąża koszty produkcji i wpływa ujemnie na właściwości fizyczne betonu.

Trzecim wreszcie czynnikiem potania słupów strunobetonowych byłoby obniżenie ceny stali strunowej, która jest obecnie trzykrotnie droższa od stali zwykłej i produkowana jest w niedostatecznej ilości.

Od spełnienia powyższych trzech postulatów — przejścia na przekroje rurowe, udostępnienia przemysłowi betonarskiemu cementów przednich oraz obniżenia ceny strun — zależy rozpowszechnienie strunobetonu w elektroenergetycznych konstrukcjach wsporczych, przy czym postulat drugi i trzeci ma znaczenie także w innych rodzajach konstrukcji z betonu sprężonego.

MGR INŻ. EDWARD DOMAŃSKI

Podstawy techniczno-ekonomiczne stosowania słupów strunobetonowych do budowy linii wysokiego napięcia

608.3:621.315.668.3:621.315.027.3

Treść. Beton wstępnie sprężony (strunobeton) wykazuje w porównaniu z betonem niezbrojonym lub żelbetem znaczne zalety techniczne przy użyciu go do budowy słupów linii elektroenergetycznych jako materiału zastępującego drewno lub stal. Najważniejszymi zaletami są: minimalne zużycie stali, mniejszy ciężar, stosunkowo duża odporność na wstrząsy przy transporcie, pozwalająca na stosowanie scentralizowanej prefabrykacji. Przytoczone porównanie techniczno-ekonomiczne rozchodu materiałów oraz kosztów budowy i eksploatacji linii wysokiego napięcia na słupach drewnianych, stalowych i strunobetonowych wskazuje na celowość rozpoczęcia masowej produkcji strunobetonów przede wszystkim dla linii 15- i 30-kilowoltowych.

Техническо-экономические основы применения струнобетонных столбов для постройки линий высокого напряжения. Струнобетон имеет — в сравнении с неармированным бетоном и железобетоном — существенные технические преимущества при применении его для постройки электрических столбов в качестве материала, заменяющего дерево или сталь. Его важнейшие преимущества: наименьшее потребление стали, меньший вес, сравнительно большая выносливость при сотрясениях во время транспорта, позволяющая централизовать производство. Приведенное технико-экономическое сопоставление расхода материалов, а также стоимости постройки и эксплуатации линий высокого напряжения на деревянных, стальных и струнобетонных столбах, указывает на целесообразность массового производства струнобетонных конструкций прежде всего для линий 15 и 30 кв.

Technical and economic fundamentals of using prestressed concrete poles for H. T. lines. Prestressed concrete presents, as compared with ordinary or reinforced concrete, considerable technical advantages as a substitute for timber or steel in the manufacture of poles for electric power lines. These advantages include, first and foremost, minimum demand for steel, reduced weight and relatively high resistance to transportation hazards — a fact which makes it possible to centralise prefabrication of the poles. The comparative technical and economic figures quoted in the article as to the consumption of materials, and cost of construction and operation of high tension lines carried on wooden, steel and prestressed concrete poles point to the rationality of starting mass-production of prestressed concrete poles—particularly for 15- and 30-kilovolt lines.

1. Ocena techniczna.

Zagadnienie stosowania w budownictwie betonu wstępnie sprężonego, czyli strunobetonu, powstało dopiero w ciągu ostatnich dziesięcioleci i ze względu na poważne korzyści w porównaniu z żelbetem rozwinęło się do rzędu najważniejszych problemów postępu techniki. Strunobeton pozwala na znaczne — dochodzące do 70% — oszczędności w zużyciu stali w stosunku do żelbetu, lepsze wyzyskanie betonu, a więc zmniejszenie ciężaru konstrukcji, zmniejszenie robocizny w produkcji i montażu przy zastosowaniu masowej prefabrykacji oraz wykazuje dużą odporność na rysy i uszkodzenia wobec znacznej sprężystości materiału.

Wyrazem szerokiego interesowania się sprawą stosowania strunobetonu była ogólnokrajowa Konferencja naukowo-techniczna na temat konstrukcji wstępnie sprężonych, zorganizowana w 1953 r. przez Instytut Techniki Budowlanej. W wyniku obrad przedstawiciele świata naukowo-technicznego, biur projektowych, producentów i użytkowników wysunęli na tej konferencji szereg postulatów mających na celu wzmożenie produkcji elementów strunobetonowych we wszelkich dziedzinach budownictwa przemysłowego, m. in. również w budownictwie energetycznym. Tu strunobeton powinien znaleźć zastosowanie przede wszystkim do budowy linii napowietrznych wobec stosunkowo prostej standaryzacji słupów oraz możliwości stosowania ich w postaci elementów prefabrykowanych.

Materiałami, z których obecnie buduje się słupy elektroenergetyczne linii napowietrznych, są głównie stal i drewno — materiały dziś wybitnie deficytowe. Szybki rozwój elektryfikacji kraju nakłada przeto na energetyków obowiązek stosowania materiałów zastępczych, do których przede wszystkim należy beton. Był on i jest już od dawna stosowany w postaci betonu niezbrojonego na fundamenty słupów oraz żelbetu do budowy całych słupów lub ich części (szczudła żelbetowe). Beton niezbrojony wymaga dużego zużycia cementu, jest więc stosowany tylko w takich ustrójach, w których użycie żelbetu byłoby kosztowniejsze. Żelbet stosowany głównie w postaci wibro- lub rzadziej wirowbetonu,

stworzył już poważny postęp w zaoszczędzaniu stali. Linie na słupach żelbetowych są oszczędne w eksploatacji i estetyczne w wyglądzie. Jednakże masowemu rozpowszechnieniu słupów żelbetowych stoi na przeszkodzie ich stosunkowo znaczny ciężar, zmuszający bądź do fabrykacji słupów na miejscu ustawiania, co jest kłopotliwe, bądź do transportowania elementów wykonanych w zakładach prefabrykacyjnych, co również jest uciążliwe z powodu przeważnie trudnych warunków terenowych, powodujących znaczne zwiększenie kosztów transportu ciężkich elementów przy dużym ryzyku ich uszkodzenia. Toteż ostatnio stosowanie wibrobetonu ogranicza się do wyrobu elementów mniejszych: szczudeł, przeznaczonych do słupów drewnianych oraz stopek fundamentowych do słupów stalowych. Całe słupy żelbetowe produkuje się obecnie tylko dla linii niskiego napięcia

Tablica I. Porównanie zużycia podstawowych materiałów oraz kosztów budowy linii 30-kilowoltowych przy 3×70 mm² AFL.

Wy-szczegól-nienie	Budowa (B) i eksploatacja (E) w okresie 50 lat	Linia na słupach drewnianych ze szczudłami żelbetowymi		Linia na słupach stalowych *)		Linia na słupach strunobetonowych	
		ilość	%	ilość	%	ilość	%
Drewno	B	13,42 m ³		0,51 m ³		—	
	E	33,55 „		—		—	
	B + E	46,97 m ³		0,51 m ³		—	
Stal R _r 37 R _r 220	B	983 kg		5376 kg		630 kg	
	E	—		—		—	
	B	—		—		389 „	
	E	—		—		—	
	B + E	983 kg	96,5	5376 kg	518,0	1019 kg	100,0
Beton	B	2,05 m ³		0,9 m ³		36,58 m ³	
	E	—		—		—	
	B + E	2,05 m ³		0,9 m ³		36,58 m ³	
W tym cement	B	927 kg		405 kg		18542 kg	
	E	—		—		—	
	B + E	927 kg	5,0	405 kg	21,8	18542 kg	100,0
Materiały	B	26400 zł	56,0	31900 zł	67,7	33400 zł	71,0
	E	16050 „	34,0	19250 „	40,9	310 „	0,6
	B + E	42450 „	90,0	51150 zł	108,6	33710 zł	71,6
Robocizna	B	7020 zł	14,9	12730 zł	26,9	12680 zł	26,9
	E	8850 „	18,1	8280 „	17,5	720 „	1,5
	B + E	15870 zł	33,0	21010 zł	44,4	13400 zł	28,4
Ogółem	B	33420 zł	70,9	44630 zł	94,7	46080 zł	97,9
	E	24900 „	52,1	27530 „	58,3	1030 „	2,1
	B + E	58320 zł	123,0	72160 zł	153,0	47110 zł	100,0

*) Wariant uzyskany na podstawie przeszacowania linii nietypowej z przewodami 120 mm² AFL.

głównie w sieciach miejskich, jako słupy do oświetlenia ulic.

Wibrobeton daje pewną oszczędność na ciężarze w porównaniu z wibrobetonem, lecz wymaga jeszcze większych ostrożności przy transporcie, co praktycznie — w warunkach konieczności szybkiej budowy i przy dużych odległościach transportowych (rozrzućcie słupów na dużej przestrzeni przy trudnościach dojazdu do stanowisk słupów) — wyłącza celowość jego stosowania.

Słupy strunobetonowe pozwalają na znaczne zmniejszenie powyższych trudności, gdyż są dogodniejsze do transportu ze względu na proporcjonalnie mniejszy ciężar w porównaniu ze słupami wibrobetonowymi, przewidywanymi dla tych samych założeń technicznych (przekrój przewodów, rozpiętość, wysokość słupa, układ przewodów itp.), jak również ze względu na większą odporność na wstrząsy. Wiotkość strunobetonu jest zbliżona do wiotkości drągów drewnianych, co pozwala na transportowanie go sposobem zbliżonym do transportu dłużyc sosnowych.

Należy jednak podkreślić, że w porównaniu z elementami strunobetonowymi stosowanymi w budownictwie ogólnym słupy strunobetonowe nie dadzą takich oszczędności w wyzyskaniu materiału, jakie można by uzyskać, gdyby warunki pracy słupa były inne. Słupy linii energetycznych — z wyjątkiem nielicznych rodzajów — podlegają zmiennym, różnokierunkowym naprężeniom, co zmusza projektującego do osłowego sprężania ich. Dopuszczalny moment zginający jest w tych warunkach o połowę mniejszy (przy jednakowym znaku betonu) niż w konstrukcjach jednostronnie naprężanych. Pomimo to oszczędność na zużyciu stali decyduje o wyższości słupów strunobetonowych nad wibrobetonowymi. Możliwe jest zresztą, że wyniki badań laboratoryjnych i terenowych — z uwagi na stosunkowo ściśle określenie sił statycznych, występujących przy pracy słupa, jak i w pewnych przypadkach małą częstość pojawiania się maksymalnych wartości tych sił — pozwolą na dopuszczenie mniejszych współczynników pewności, niż w innych elementach budowlanych.

2. Ocena gospodarcza.

Aby zbadać, jak kształtuje się pod względem kosztów i zużycia surowców budowa i eksploatacja linii na słupach strunobetonowych w porównaniu z liniami na słupach stalowych lub drewnianych, Energoprojekt wykonał dokładne studia porównawcze nad różnymi odmianami linii.

W rozważaniach oparto się na istniejącej dokumentacji pionierskiej dla linii strunobetonowych na 30 kV, 3×70 mm² AFL oraz 110 kV, 3×120 mm² AFL. Po wprowadzeniu do tej dokumentacji pewnych dodatkowych założeń, dotyczących prawdopodobnego dalszego obniżenia kosztów budowy i prawdopodobnych oszczędności materiałowych po przekonstruowaniu słupów oraz przy masowej prefabrykacji elementów, można było tę dokumentację wyzyskać do analizy porównawczej. W wariantach linii na słupach drewnianych i stalowych przyjęto istniejące typowe ekonomiczne rozwiązania konstrukcyjne. Porównanie sporządzono, wykorzystując wykonane projekty dla linii 30-kilowoltowej o długości 17,47 km na słupach drewnianych oraz dla linii 110-kilowoltowej o długości 61,0 km na słupach stalowych. Dla istniejących profili tras każdej z tych linii dokonano możliwie racjonalnego wyboru i rozstawienia słupów z innych materiałów, po czym sporządzono kosztorysy i zestawienia materiałowe. W ten sposób sprowadzono rozpatrywane warianty do wspólnych założeń terenowych, co dla studium porównawczego jest szczególnie ważne.

Tablica II. Porównanie zużycia podstawowych materiałów oraz kosztów budowy linii 110-kilowoltowych przy 3×120 mm² AFL.

Wy-szczególnienie	Budowa (B) i eksploatacja (E) w okresie 50 lat	Linia na słupach drewnianych ze szczudłami żelbetowymi		Linia na słupach stalowych		Linia na słupach strunobetonowych	
		ilość	%	ilość	%	ilość	%
Drewno	B	12,52 m ³		—		—	
	E	31,30 „		—		—	
	B + E	43,82 m ³		—		—	
Stal R _r 37 R _r 220	B	590 kg		6077 kg		1300 kg	
	E	—		—		—	
	B	—		—		1018 kg	
	E	—		—		—	
	B + E	590 kg	25,5	6077 kg	262,0	2318 kg	100,0
Beton	B	1,17 m ³		1,26 m ³		20,63 m ³	
	E	—		—		—	
	B + E	1,17 m ³		1,26 m ³		20,63 m ³	
W tym cement	B	409 kg		441 kg		11794 kg	
	E	—		—		—	
	B + E	409 kg	3,5	441 kg	3,7	11794 kg	100,0
Materiały	B	43620 zł	50,3	58870 zł	67,7	63890 zł	73,5
	E	24690 „	28,4	10920 „	12,7	390 „	0,6
	B + E	68310 zł	78,7	69790 zł	80,4	64280 zł	74,1
Robocizna	B	12100 zł	13,9	19260 zł	22,2	21420 zł	24,7
	E	12380 „	14,3	9480 „	10,9	1110 „	1,2
	B + E	24480 zł	28,2	28740 zł	33,1	22530 „	25,9
Ogółem	B	55720 zł	64,3	78130 zł	90,0	85310 zł	98,2
	E	37070 „	42,7	20400 „	23,5	1500 „	1,8
	B + E	92790 zł	107,0	98530 zł	113,5	86810 zł	100,0

Uzyskane wyniki, dotyczące zużycia najważniejszych materiałów budowlanych (drewno, stal, cement) oraz kosztów budowy i eksploatacji — przy założeniu 50-letniej trwałości linii strunobetonowej — są zestawione w tabl. I i II.

Z tablicy porównawczej dla linii 30-kilowoltowej (tabl. I) wynika, że zużycie stali dla linii drewnianej na szczudłach (takie linie obecnie są prawie wyłącznie budowane) wynosi 96,5% zapotrzebowania stali dla linii strunobetonowej. Licząc na uzyskanie około 15–20% oszczędności stali przy nowym opracowaniu słupów strunobetonowych, można przypuszczać, że zużycie stali w liniach na słupach drewnianych wyniesie ok. 115% zużycia w słupach strunobetonowych, prawdopodobny więc jest taki wynik, że linia drewniana będzie wymagała więcej stali niż strunobetonowa. Należy jeszcze zwrócić uwagę na znaczne nieekonomiczne zużywanie drewna w eksploatacji linii na słupach drewnianych, które ulegają gniciu i wymagają wymiany. Linie strunobetonowe zredukują i ten rozchód drewna — materiału obecnie szczególnie cennego i deficytowego.

Co się tyczy kosztów, to wprowadzić koszt budowy linii strunobetonowej jest 1,4 raza wyższy od kosztu budowy linii na słupach drewnianych, jednak już po ~ 20 latach uzyskuje się zrównanie kosztów, gdyż eksploatacja linii strunobetonowej jest o wiele tańsza, niż linii drewnianej. Po zaprojektowaniu oszczędnych słupów strunobetonowych, których koszt globalny obniży się o ~ 15–20%, koszty obu linii mogą zrównać się przypuszczalnie już po 6 latach eksploatacji.

W rozważaniach powyższych zrezygnowano z dokładnych porównań z linią na słupach stalowych, gdyż, jak wynika z tabl. I, one w ogóle nie są opłacalne.

Przechodząc do linii 110-kilowoltowych (tabl. II), należy jeszcze raz podkreślić, że obecna pionierska dokumentacja dla linii na słupach strunobetonowych wykazuje usterki w związku z niedostatecznym oszczędnym zaprojektowaniem ustojów słupów. Można liczyć się z tym, że po przeprojektowaniu uzyska się oszczędność ok. 15–20% w zużyciu stali i ok. 40–50% w zużyciu cementu, koszt zaś ogólny linii zmniejszy się o ~ 20–25% szczególnie, jeżeli: zastępuje się masową prefabrykacyjną produkcję elementów słupów.

Porównanie linii na słupach strunobetonowych z linią na słupach drewnianych wykazuje, że ilość potrzebnej stali jest w drugim przypadku mniejsza. W łącznym koszcie obu linii jest niewielka różnica, przy czym koszt samego stawiania linii jest przy słupach drewnianych dwa razy mniejszy niż przy słupach strunobetonowych. Sprawa zatem zastąpienia słupów drewnianych słupami strunobetonowymi w liniach 110-kilowoltowych sprowadza się do zagadnienia oszczędzania drewna: budowa i eksploatacja w ciągu 50 lat 1 km linii na słupach drewnianych wymaga w ciągu 50 lat $\sim 44 \text{ m}^3$ drewna, a przy poprzecznikach drewnianych nawet $\sim 60 \text{ m}^3$. Prócz tego linia strunobetonowa będzie pewniejsza w ruchu, posiadając na całej długości przewody odgromowe i prawie nie wymagając konserwacji. Oba te czynniki przemawiają raczej na korzyść słupów strunobetonowych.

Natomiast porównanie linii 110-kilowoltowej na słupach strunobetonowych z taką linią na słupach stalowych przemawia wyraźnie na korzyść pierwszej. Stosunek zużycia stali wynosi już obecnie 1:2,6; należy oczekiwać, że przy oszczędniejszych fundamentach słupów strunobetonowych stosunek ten wzrośnie do ok. 1:3,1, a jednocześnie ilość zużytego cementu zmniejszy się z obecnego stosunku 1:0,04 mniej więcej do 1:0,1. Koszty budowy obu linii są prawie jednakowe, lecz w eksploatacji linia na słupach strunobetonowych jest korzystniejsza, zwłaszcza jeżeli weźmie się pod uwagę znaczny nakład pracy i koszt materiału przy częstym malowaniu słupów stalowych, które ponadto wymaga wyłączania linii przy pracy w pobliżu łańcuchów izolatorowych.

3. Wnioski.

1) Celowe jest przejście w ciągu najbliższych lat na masową produkcję strunobetonowych słupów dla linii 30-kilowoltowych na podstawie nowej dokumentacji uwzględniającej stosowanie typowych, oszczędnych elementów. Konieczność stałego rozszerzania udziału linii na słupach strunobetonowych w inwestycjach jest uzasadniona osiąganą oszczędnością materiałów, szczególnie

drewna, zmniejszeniem kosztów eksploatacyjnych oraz prac konserwacyjnych.

2) Produkcję słupów strunobetonowych dla linii 110-kilowoltowych należałoby rozwijać stopniowo, zastępując nimi słupy stalowe linii o najłżejszych typach słupów i mniejszym przekroju przewodów ($120 \text{ mm}^2 \text{ AFL}$). Celowe wydaje się już obecnie stosowanie konstrukcji strunobetonowych dla słupów przełotowych i odporowych z zachowaniem na razie konstrukcji stalowej dla słupów odporowo-naróżnych i krańcowych.

3) Sprawę stopniowego zastępowania w nowobudowanych liniach 110-kilowoltowych słupów drewnianych słupami strunobetonowymi powinien rozstrzygnąć względ wynikający z możliwości zaoszczędzenia wyrębu drewna oraz korzyści eksploatacyjnych.

4) Warunkiem właściwego zaprojektowania słupów, odpowiadających zarówno wymaganiom oszczędności materiałowych, jak i potrzebom budowy i eksploatacji, jest dokonanie badań wytrzymałościowych — laboratoryjnych i terenowych — oraz budowa już w najbliższym czasie próbnych odcinków linii dla zdobycia doświadczenia praktycznego. Budowa takich linii ponadto miałaby na celu szkolenie personelu oraz wybór najbardziej racjonalnych metod montażu i urządzeń montażowych.

5) Należy dążyć do produkcji słupów strunobetonowych wiro- wanych, dających dalsze oszczędności, szczególnie w zużyciu betonu, a więc zmniejszających ciężar elementów. Ponieważ technologia takich strunobetonów nie jest jeszcze opanowana w Polsce i brak jest urządzeń produkcyjnych, należy sprawą tą zainteresować odpowiednie czynniki.

6) Celowe jest rozciągnięcie produkcji słupów strunobetonowych również na linie niskiego napięcia oraz linie rolnicze 15-kilowoltowe, wymagające obecnie — ze względu na ich masowość — bardzo dużych ilości drewna. Konstrukcje strunobetonowe byłyby stosunkowo lekkie i tanie przy ich masowej produkcji, a koszty konserwacji linii byłyby bardzo małe.

MGR INŻ.-ELEKTR. WŁODZIMIERZ HELLMANN

Zasady projektowania urządzeń elektrycznych w elektrowniach wodnych, przewidywanych do realizacji w warunkach polskich

621.311.1:621.311.21(438)

Treść. Analiza podstawowych warunków, które wpływają na wybór najwłaściwszego rozwiązania. Względę ekonomiczne. Rola energetyczna elektrowni wodnych polskich w ogólnokrajowym układzie energetycznym. Wymagania pewności ruchu układu energetycznego i ich wpływ na rozwiązanie urządzeń elektrycznych. Projektowanie urządzeń elektrycznych — głównych i pomocniczych — w elektrowniach wodnych różnych kategorii. Współzależność z projektowaniem budowli wodnych i urządzeń maszynowych.

Основы проектирования электрических устройств в гидроэлектрических станциях, предусмотренных к постройке в польских условиях. Анализ основных условий, оказывающих влияние на выбор наиболее подходящего решения. Экономические соображения. Энергетическая роль гидравлических электростанций в государственной энергосистеме. Требования в отношении надежности работы энергосистемы и их влияние на выбор электрических устройств. Проектирование этих устройств — главных и вспомогательных — в электростанциях различных категорий. Связь с проектированием гидравлических сооружений и машинных устройств.

Principles of planning electrical equipment for hydroelectric power plants to be built under conditions obtaining in Poland. Review of cardinal conditions influencing the adoption of the most suitable solution. Economic considerations. The role of Polish hydro-electric plants in the national power system. Requirements as to the reliability in the functioning of power systems and their influence on the planning of electrical equipment. Designing electrical equipment — principal and auxiliary — for individual categories of hydro-electric plants. Correlation in the designing of hydro constructions and machinery equipment.

1. Wstęp.

Gwałtowny wzrost zapotrzebowania energii elektrycznej w Polsce, wywołany szybkim planowym uprzemysłowieniem kraju, nakazuje coraz pełniejsze i ekonomiczne wyzyskanie zasobów energetycznych kraju. Pomimo stosunkowo niewielkich możliwości wyzyskania energii wodnej naszych rzek zasada całościowości gospodarki socjalistycznej stwarza korzystne warunki ekonomicznej realizacji tego zagadnienia w ścisłym powiązaniu z problemami wodno-komunikacyjnymi, przeciwpowodziowymi i melioracyjnymi.

Właściwe rozwiązanie głównych i pomocniczych urządzeń elektrycznych w elektrowniach wodnych ma zasadnicze znaczenie zarówno dla koncepcji układów sieciowych, jak i dla racjonalnego pod względem technicznym i ekonomicznym rozwiązania samych elektrowni.

Stosunkowo niewielki udział polskich sił wodnych — zarówno pod względem mocy zainstalowanej, jak i pod względem produkcji energii — w przewidywanym rozwoju naszej energetyki nie pozwala nam na bezpośrednie przejmowanie wzorów z takich np. krajów, jak Związek Radziecki lub Szwecja, gdzie wielkie silownie wodne wywierają już obecnie decydujący wpływ na rozwiązanie techniczne i pracę całych układów energetycznych.

Metodyka projektowania urządzeń elektrycznych w elektrowniach wodnych odbiega całkowicie od szablonowej w pewnym stopniu pracy projektanta urządzeń energetycznych w elektrowniach cieplnych. Różnica wynika z powodu trudności ustalenia — w każdym etapie projektowania — współpracy z projektantami budowli wodnych i urządzeń hydro-mechanicznych. Również typ i rodzaj konstrukcji turbozespołów wodnych wpływa w inny sposób na decyzje projektanta urządzeń pomocniczych w elektrowniach wodnych.

Wnioski z niniejszej pracy mogą posłużyć do pogłębienia i rozszerzenia zakresu prac biur projektowych, które wykonują projekt zarówno elektrowni wodnych, jak i układów energetycznych.

2. Analiza podstawowych warunków, wywierających wpływ na wybór najbardziej racjonalnego rozwiązania urządzeń elektrycznych — głównych i pomocniczych.

Cel właściwego rozwiązania układu urządzeń elektrycznych polega na zapewnieniu elektrowni wodnej tej roli w układzie energetycznym, którą jej wyznaczają dane warunki hydrologiczne. Ogólnie można powiedzieć, że wybór racjonalnego rozwiązania urządzeń elektrycznych — głównych i pomocniczych — w elek-

trawniach wodnych zależy zarówno od warunków hydrologicznych, jak i od powiązania elektrowni z układem energetycznym.

Warunki hydrologiczne mają wpływ na ustalenie: 1) mocy, typu i liczby turbozespołów, 2) rocznego czasu wyzyskania mocy zainstalowanej, 3) wymaganej elastyczności ruchowej zakładu, 4) wymaganej pewności ruchu.

W założeniu jak największego i ekonomicznego wyzyskania rozporządzalnej energii wodnej rola i znaczenie elektrowni wodnych w danym układzie energetycznym zależy przede wszystkim od warunków hydrologicznych, a więc od zmienności przepływu i spadku w określonym czasie oraz od zadań, które elektrownia ma do spełnienia w skojarzonej gospodarce wodnej. Dla zakładów zbiornikowych, przeznaczonych do pracy szczytowej decydująca jest ponadto wielkość i użyteczna pojemność zbiornika, określona w niektórych przypadkach przez zadania przeciwpowodziowe.

Moc zainstalowaną i charakter zakładu po całkowitej rozbudowie zarówno danej elektrowni, jak i pozostałych stopni rzeki, powinno ustalać się z góry bez względu na bieżące potrzeby energetyczne układu, zasadnicze bowiem roboty wodno-budowlane powinny być wykonane od razu w pierwszym etapie budowy zakładu. Natomiast wybór układu urządzeń elektrycznych powinien uwzględnić potrzeby energetyczne w ostatniej fazie rozbudowy oraz przewidywany charakter pracy zakładu po jego uruchomieniu.

Moc, typ i liczba turbozespołów. Kryteria, według których ustala się moc, typ i liczbę turbozespołów w elektrowniach wodnych, oparte są przede wszystkim na danych warunkach hydrologicznych oraz na możliwości utrzymania jednostek maszynowych. W niektórych przypadkach na ustalenie mocy i liczby turbozespołów mogą mieć wpływ względy transportowe, zwłaszcza dla elektrowni położonych w okolicach górskich. Z zagadnieniem tym łączy się konieczność zapewnienia elektrowni wymaganej elastyczności ruchowej, przy czym różne wymagania wysuwa się w stosunku do szczytowych elektrowni wodnych z małym czasem rocznego wyzyskania mocy zainstalowanej i do wielkich przepływowych elektrowni o podstawowym charakterze pracy. W elektrowniach przepływowych konieczne jest uwzględnienie rocznych wahań przepływu i związanych z nimi wahań spadku. Nie należy zapominać, że podstawowego wyboru liczby i mocy jednostek turbinowych dokonuje się już w projekcie wodno-budowlanym, gdyż dane te zazwyczaj decydują o wyborze najkorzystniejszego pod względem ekonomicznym wariantu. Ale i projektant urządzeń elektrycznych powinien sprawę przeanalizować i stwierdzić, w jakim stopniu wybór oparty na kryteriach najmniejszych nakładów budowlanych odpowiada wymaganiom opartym na kryteriach energetycznych.

Określenie mocy turbiny wymaga wielostronnych rozważań. Istnieje pogląd, że moc turbozespołu ma odpowiadać najlepszej sprawności. Przyjmuje się również jako znamionową moc przy pełnym otwarciu łopatek kierowniczych. Praktyka wymaga kompromisu między tymi zasadami i ustalenia, że największa gwarantowana moc turbozespołu jest o 5% mniejsza od mocy, odpowiadającej pełnemu otwarciu łopatek kierowniczych.

Typ turbozespołów wybiera się zazwyczaj w fazie projektu wstępnego w zależności przede wszystkim od wielkości spadku. W warunkach polskich, gdzie spadek nie przekroczy 60 m, tj. granicy stosowania turbin Kaplana, wybór między turbiną Francis'a i Kaplana będzie zależał od następujących czynników: 1) zmienności rocznych wahań spadku, 2) przewidywanego stopnia obciążenia poszczególnych turbozespołów w przyjętym rocznym czasie ich pracy, 3) liczby turbozespołów i możliwości ich zatrzymywania w zależności od wielkości przepływu.

Wymagania pewności ruchu. Wymagania pewności ruchu w elektrowniach wodnych nie różnią się w zasadzie od wymagań, stawianych innym urządzeniom energetycznym, a w szczególności elektrowniom ciepłym. Jednak warunki, przy których wymagania te muszą być spełnione, są w elektrowniach wodnych inne, co wyraża się przede wszystkim w dążeniu do zmniejszenia personelu obsługi. Poza tym skutki zaburzeń w pracy mogą być w elektrowniach wodnych znacznie groźniejsze, gdyż nagłym zaburzeniom w urządzeniach elektrycznych mogą towarzyszyć w obiegu wodnym bardzo groźne zjawiska o charakterze udarowym. Znajomość współzależności odpowiednich przebiegów (zwłaszcza o charakterze niestabilnym) ma dla projektującego urządzenie elektryczne zasadnicze znaczenie.

Wymagania pewności ruchu muszą być rozszerzone w elektrowniach wodnych szczytowych przez wprowadzenie pojęcia pewności stanu gotowości do uruchomienia. Znaczenie i ważność szybkiego i niezawodnego uruchomienia turbozespołów wodnych, zwłaszcza dużej mocy, nie wymaga wyjaśnienia.

Wpływ mocy elektrowni wodnych i ich roli w układzie energetycznym na wybór rozwiązania urządzeń elektrycznych. Znaczenie danej elektrowni wodnej w układzie energetycznym zależy nie tylko od charakteru jej pracy związanego z określonymi warunkami hydrologicznymi, ale również od liczby i typów innych elektrowni istniejących lub przewidzianych w danym układzie energetycznym. Stąd wynika konieczność analizy rozwoju danego układu na dalszą przyszłość i właściwe określenie roli elektrowni w układzie w różnych etapach jego rozwoju. Niejednokrotnie zadania elektrowni wodnej już w pierwszym okresie jej eksploatacji są decydujące dla ostatecznego określenia rozwiązania urządzeń elektrycznych głównych i pomocniczych, chociażby to nawet było związane z pewnym początkowym przeinwestowaniem urządzeń. W szczególności należy zaprojektowany układ urządzeń elektrycznych elektrowni wodnej powinien zapewnić w zależności od bieżących potrzeb:

- 1) pracę turbozespołów przy najbardziej ekonomicznym obciążeniu;
- 2) możliwość zatrzymywania odpowiednich urządzeń bez poważnego ograniczenia mocy rozporządzalnej;
- 3) indywidualne synchronizowanie poszczególnych turbozespołów;
- 4) właściwą wybiórczość w pracy urządzeń oraz ograniczenie wpływu zaburzeń, powstających zarówno wewnątrz elektrowni, jak i w układzie energetycznym;
- 5) wymaganą w danych warunkach dużą stateczność współpracy;
- 6) możliwość rozdzielania układu sieciowego w pewnych warunkach ruchowych;
- 7) ograniczenie mocy zwarciowej w pewnych elementach obwodu;
- 8) możliwość stopniowej (etapami) rozbudowy wyposażenia elektrowni zarówno przy kolejnym instalowaniu nowych turbozespołów, jak i przy budowie nowych powiązań z układem sieciowym.

Bliższa analiza wymienionych wyżej wymagań nasuwa następujące uwagi:

1) Ekonomiczne obciążenie zespołów turbinowych opiera się na warunkach hydrologicznych przewidywanych w ciągu określonego czasu. Obciążenie to w danych warunkach przepływu i wielkości spadku zależy od wyboru typu turbin wodnych. Niezależnie jednak od doboru najlepszego dla danych warunków hydrologicznych typu turbin liczba turbozespołów powinna być dobrana w taki sposób, aby możliwy był ekonomiczny ruch elektrowni przy zmiennym przepływie i zmiennym spadzie.

W niektórych wypadkach konieczne jest uwzględnienie możliwości zmiany warunków hydrologicznych, wywołanych rozbudową dalszych stopni na danej rzece, i związanych z tym zmian sposobu wykorzystania danej elektrowni po wybudowaniu innych elektrowni wodnych.

Przy projektowaniu układu elektrycznego w elektrowni przepływowej należy uwzględnić, że poszczególne turbozespoły mogą być wyłączane z ruchu na dłuższy okres czasu, w którym przepływ nie wystarcza dla mocy wszystkich maszyn.

Przy ustalaniu liczby turbozespołów w elektrowniach zbiornikowych, przewidzianych częściowo do pracy szczytowej, należy uwzględnić możliwość, że programowo zatrzymywane turbozespoły mogą stanowić szybko uruchamianą rezerwę układu.

2) Rozwiązanie układu urządzeń elektrycznych powinno również zapewnić możliwość wyłączania pewnych urządzeń z pracy (dla naprawy lub przeglądu) bez poważnego ograniczenia mocy zakładu. Turbozespoły wodne należą, jak wiadomo, do najmniejszych urządzeń energetycznych — niewiele ustępując pod tym względem wielkim transformatorom, toteż na ogół nie należy się liczyć z możliwością zatrzymywania ich wskutek uszkodzeń. Natomiast właśnie ich wysoka niezawodność ruchowa oraz konieczność uniknięcia utraty energii jałowo przelewanej wody nakazują takie rozwiązanie układów urządzeń elektrycznych, aby uszkodzenie lub zaburzenie w poszczególnych elementach układu nie powodowało długotrwałego zatrzymywania turbozespołu.

3) Względ na zapewnienie możliwości indywidualnego synchronizowania poszczególnych jednostek z układem przesyłowym może decydować o doborze liczby i mocy transformatorów sprzęgających szyny generatorowe z szynami napięcia przesyłowego. Typowym układem spełniającym to wymaganie jest układ blokowy prądnic i transformatorów.

4) Właściwa wybiórczość i ograniczenie wpływu zaburzeń powstających zarówno w urządzeniach elektrowni, jak i w układzie energetycznym, będzie zapewniona nie tylko przez zastosowanie odpowiedniej ochrony, ale również przez zaprojektowanie właściwego układu głównych połączeń. Sekcjonowanie szyn zbiorczych przy pomocy dławików jest przykładem takiego rozwiąza-

nia. Niewyposażenie części układu energetycznego w odpowiednie wyłączniki z szybkim ponownym załączaniem może wymagać np. sekcjonowania szyn zbiorczych elektrowni w taki sposób, aby na wypadek zaburzeń ziemnozwarciowych w jednej części układu druga część była trwale oddzielona od źródeł powstawania zaburzeń.

5) Wymagania stateczności współpracy nakazują w wielu przypadkach obniżenie oporności biernej przejściowej w obwodzie współpracy, zależą jednak od rozwiązania układu i wzajemnego stosunku mocy poszczególnych zakładów. Wymagania stateczności współpracy elektrowni wodnych sprowadzają się do zapewnienia odpowiedniego szybko działającego wzbudzenia oraz do stworzenia takich układów współpracy, przy których w przypadku zaburzeń w urządzeniach elektrowni współpraca jej z układem nie dozna poważniejszych zakłóceń.

6) Niekiedy dla zapewnienia właściwej eksploatacji układu może się okazać konieczny podział układu sieciowego na części i przydzielenie im odpowiednich turbozespołów elektrowni wodnej. Na przykład przy okresowym braku mocy rozporządzalnej może okazać się konieczne obniżenie napięcia i częstotliwości w jednej części układu, aby druga część mogła z uwagi na wymagania odbiorców pracować przy znamionowych wartościach tych parametrów.

7) Ograniczenie mocy zwarciowej w pewnych elementach obwodów bywa — poza ograniczeniem wpływu zaburzeń zwłaszcza przy dużych mocach poszczególnych turbozespołów — decydujące dla ekonomicznego i oszczędnego pod względem surowcowym rozwiązania urządzeń rozdzielczych, pozwala bowiem na zastosowanie mniejszych przekrojów połączeń szynowych i kablowych oraz dobór tańszej aparatury o mniejszych mocach wyłączalnych.

8) Uwzględnienie stopniowej rozbudowy elektrowni wodnej omówiono już częściowo i ujęto w stwierdzeniu, że schemat główny należy opracować dla ostatecznej fazy rozbudowy zarówno samego zakładu, jak i jego powiązań w miarę rozwoju układu energetycznego, w którym dany zakład ma pracować. Instalowanie i przyłączenia zarówno nowych jednostek turbinowych, jak i nowych linii łączących elektrownię z układem, nie powinno powodować przerw w produkcji pozostałych istniejących jednostek.

Z rozważań powyższych można wysnuć ogólny wniosek, że w stosunku do elektrowni wodnych nie ma żadnych klasycznych reguł, narzucających jakieś ogólnie przyjęte rozwiązanie układu elektrycznego w oderwaniu od całokształtu zadań, które dana elektrownia ma spełniać w układzie energetycznym w istniejących lub przyszłych (po rozbudowie dalszych stopni) warunkach hydrologicznych.

3. Względy ekonomiczne i ich wpływ na rozwiązanie urządzeń elektrycznych — głównych i pomocniczych — elektrowni wodnych.

Nakłady inwestycyjne na budowę elektrowni wodnych wahają się — dla danej mocy zainstalowanej — w bardzo szerokich granicach, w zależności od miejscowych warunków geologicznych i hydrologicznych, od wielkości zalewów i związanych z tym nakładów na obiekty zastępcze, jak osiedla, mosty, drogi. Procentowy udział nakładów na urządzenia maszynowe i elektryczne w stosunku do całkowitych nakładów jest w elektrowniach wodnych znacznie niższy niż w elektrowniach ciepłych. Nawet przybliżone określenie tego udziału jest trudne, gdyż zależy on dla danej mocy zakładu od lokalnych warunków budowy. Orientacyjnie można go oceniać na 10—25% wobec 75% w elektrowniach ciepłych, udział zaś nakładów na urządzenia elektryczne jest jeszcze niższy i wynosi dla elektrowni wodnych orientacyjnie 3—8% wobec 10—15% w elektrowniach ciepłych.

Z powyższych uwag wypływa wniosek, że przy budowie elektrowni wodnych względ na oszczędność nakładów na urządzenia

T a b l i c a 1. Procentowy udział nakładów inwestycyjnych na poszczególne elementy elektrowni wodnych o różnych mocach zainstalowanych, spadach i współczynnikach wyzyskania

Moc zainstalowana (MW)	Liczba turbozespołów	Spad (m)	Współczynnik wyzyskania	Procentowy udział nakładów			
				zapo-ra	siłownia i urządzenia	drogi i koleje	uprawnienia
45	3	38	0,55	54	28	2	16
100	4	26	0,46	70	16	4	10
45	3	35	0,55	65	25	3	7
10	2	11	0,21	60	23	7	10
190	6	16	—	36	50	2	2
46	6	17	—	40	55	3	2

elektryczne nie powinien wywierać decydującego wpływu na wybór rozwiązania dla urządzeń elektrycznych elektrowni wodnych. Niejednokrotnie pozorne oszczędności na urządzeniach elektrycznych elektrowni wodnych mogą spowodować nieuzasadnione i znaczny wzrost nakładów na urządzenia przesyłowe i rozdzielcze w układzie energetycznym, do którego elektrownia wodna ma być włączona. Orientacyjny procentowy podział nakładów na poszczególne części elektrowni wodnych podaje tabl. 1.

Jednym z zasadniczych składników kosztów eksploatacyjnych w elektrowniach wodnych są koszty obsługi; dla zmniejszenia ich stosuje się urządzenia do samoczynnego sterowania i regulacji.

Uproszczenie schematu głównego — przy jednoczesnym zastosowaniu odpowiedniego systemu automatyzacji — nie tylko nie zmniejsza pewności pracy zakładu, ale obniża straty wskutek uszkodzenia urządzeń i przestojów spowodowanych błędnymi manewrami obsługi. Również w dążeniu do zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych należy rozpatrywać najkorzystniejszy wariant rozwiązania elektrowni na tle redukcji kosztów eksploatacyjnych układu energetycznego, w którym dana elektrownia ma pracować.

4. Rola energetyczna elektrowni wodnych przewidywanych do budowy w warunkach polskich.

W braku konkretnych danych co do możliwości pełnego i wszechstronnego wyzyskania zasobów energetycznych naszych rzek możemy z pewnym przybliżeniem określić zakres przewidywanych zamierzeń w dziedzinie budowy elektrowni wodnych w Polsce pod względem mocy zainstalowanej, typu elektrowni i ich ogólnego rozlokowania.

1) Elektrownie przepływowe i zbiornikowe na Wiśle będą zakładami o niskich spadach od 6 do 15 m, o mocy zainstalowanej od 40 do 150 MW przy dużych rocznych wahaniami przepływu i spadu. Orientacyjną ich liczbę można określić na 10 do 12, wzajemną odległość na 80 do 150 km. Ze względu na duże wahaniami przepływu i spadu będą zastosowane turbiny Kaplana w liczbie od 4 do 8 zespołów na zakład. Elektrownie te będą wyposażone w urządzenia dla skojarzonej gospodarki wodno-komunikacyjnej.

2) Zespoły elektrowni na drodze wodnej wschód-zachód będą składać się z zakładów o niskich spadach od 10 do 40 m, o mocy zainstalowanej około 10—40 MW i będą powiązane ze skojarzoną gospodarką komunikacyjną i melioracyjną. Liczbę elektrowni można określić orientacyjnie od 8 do 12, ich roczną produkcję na 200 do 300 GWh.

3) Zespoły elektrowni na dopływach górnej Wisły są już częściowo w realizacji; będą to zakłady szczytowe zaopatrzone w zbiorniki retencyjne z głównym zadaniem zatrzymywania fali powodziowej. Spady tych elektrowni będą wynosić od 10 do 40 m, moce instalowane od 5 do 50 MW. Liczba elektrowni w poszczególnych zespołach od 2 do 4, liczba turbozespołów w poszczególnych zakładach od 2 do 3.

4) Zespoły elektrowni na dopływach dolnej Wisły lub w pojezierzu mazurskim, znamienne stosunkowo małymi wahaniami przepływu w ciągu roku, będą składały się średnio z 4 do 10 zakładów na każdej rzece. Spady poszczególnych stopni od 8 do 40 m. Zbiorniki będą miały różną pojemność użyteczną, zależną od naturalnego, nieraz bardzo korzystnego ukształtowania terenu. Przeciętna moc zainstalowana zespołu kaskadowego będzie wynosić od 10 do 50 MW. Liczba turbozespołów w każdym zakładzie będzie wynosiła dwa, w wyjątkowych przypadkach trzy.

5) Na osobną wzmiankę zasługują elektrownie wodne pompowo-zbiornikowe. Z dotychczasowych wstępnych opracowań można wyciągnąć wniosek, że w warunkach polskich będą one należeć do odosobnionych zakładów, gdyż rentowność ich jest osiągalna jedynie dla stosunkowo wysokich spadów (powyżej 50 m) i ograniczonej odległości od źródeł energii potrzebnej do pompowania.

Z powyższej szkicowej analizy wielkości, typów i rozmieszczenia elektrowni wodnych w Polsce, obejmującej około 80% elektrowni wodnych, można wysnuć wniosek, że w miarę wzrostu i rozwoju zapotrzebowania energii elektrycznej główną podstawę energetyczną Polski będą stanowić w dalszym ciągu elektrownie ciepłe, skupione przy miejscach wydobycia węgla kamiennego lub brunatnego, a może nawet torfu.

Znaczenia elektrowni wodnych nie można jednak niedoceniać nawet przy ich nieznacznym procentowym udziale w ogólnej produkcji energii elektrycznej. Znaczenie to bowiem będzie stopniowo wzrastać zwłaszcza w przypadku szczytowych elektrowni zbiornikowych. Będzie również wzrastać rola elektrowni wodnych jako szybko uruchamianych rezerw dla elektrowni ciepłych — w miarę ich rozbudowy.

Przy projektowaniu urządzeń elektrycznych w elektrowniach wodnych oraz ich powiązania z krajowym układem elektroenergetycznym należy brać pod uwagę następujące zasady:

1) Zarówno moce planowanych elektrowni wodnych, przewidywanych do realizacji w Polsce, jak również rozproszenie, nie będą wywierać decydującego wpływu na rozwój koncepcji krajowego układu sieciowego, którego podstawą będą w dalszym ciągu wielkie siłownie ciepłe oraz rozmieszczenie wielkich ośrodków zużycia energii elektrycznej przewidziane w państwowych planach gospodarczych.

2) Przewidywany udział produkcji energii w elektrowniach wodnych po 40–50 latach wyniesie ok. 5 do 10% całkowitego zapotrzebowania energii.

3) Należy również uwzględnić możliwość późniejszej zmiany warunków pracy danego zakładu lub zespołu zakładów z powodu na przykład wyzyskania następnego stopnia na tej samej rzece lub zmian w układzie energetycznym.

4) Ze względu na trudności późniejszych zmian budowlanych w budynku siłowni, wynikające ze ścisłego powiązania fundamentów z wymiarami ssaków i komór ślimakowych turbin wodnych, słusze będzie niezależnienie przestrzenne rozdzielni górnego napięcia bądź przez umieszczenie jej w osobnym budynku, bądź też przez wykonanie jej jako napowietrznej z możliwością dalszej rozbudowy.

5. Wpływ wymagań pewności ruchu układu energetycznego na rozwiązanie urządzeń elektrycznych w elektrowniach wodnych.

Jednym z najważniejszych warunków, decydujących o właściwej pracy układu energetycznego, jest stateczność współpracy elektrowni zespolonych w danym układzie. Przy określaniu liczby i przekrojów linii elektrycznych najwyższych napięć, łączących wielkie elektrownie wodne z układem, konieczne jest rozpatrzenie warunków stateczności współpracy w warunkach zmiennych statycznych, jak i dynamicznych, które zależą w dużym stopniu od typu i konstrukcji prądnic wolnobieżnych z biegunami wydatnymi, od systemu ich wzbudzenia i typu zastosowanych regulatorów napięcia.

Zagadnienie właściwej regulacji napięcia jest szczególnie ważne w elektrowniach wodnych, które w większości powiązane są z układem przy pomocy długich linii. Zagadnienie to sprowadza się do odpowiedniej konstrukcji samych prądnic i ich wzbudzenia oraz do wyboru właściwego typu regulatora napięcia i sposobu połączenia go z układem regulowanym. Jedynie dla bardzo długich linii najwyższych napięć (powyżej 200 kV) stosuje się transformatory blokowe z regulacją napięcia pod obciążeniem. Regulatory napięcia dla prądnic napędzanych wolnobieżnymi turbinami wodnymi mają zadanie nie tylko zapewnić odpowiednią regulację napięcia, ale ponadto poprawić stateczność współpracy. Prądnice z wydatnymi biegunami wymagają dla polepszenia ich stateczności dużego napięcia zwarcia, co ze względów konstrukcyjnych połączone jest z obniżeniem ich sprawności. Dobór właściwego typu regulatora napięcia, zwiększającego stateczność pracy prądnicy, pozwala na konstrukcyjne wykonanie tańszych prądnic o niższej wartości napięcia zwarcia, a tym samym lepszej sprawności.

Własności regulatorów napięcia w przypadku zastosowania ich w wielkich elektrowniach wodnych, powiązanych z układem energetycznym przy pomocy długich linii najwyższych napięć, powinny różnić się zasadniczo od regulatorów spotykanych w elektrowniach parowych lub mniejszych siłowniach wodnych. Zasadniczym wymaganiem, któremu powinien odpowiadać regulator napięcia, jest jego zdolność do reagowania na pewną wypadkową wartość napięć trzech faz, a nie tylko na napięcie jednej fazy, jak dotychczas praktykowało się w zwykłych konstrukcjach regulatorów napięcia dla turboprądnicy. Zmiana jest konieczna, ponieważ przy niektórych zwarciać niesymetrycznych napięcie jednej fazy może wzrosnąć, gdy napięcia w pozostałych fazach zmniejszą się. Układ, umożliwiający reagowanie regulatora na wypadkową wartość napięć trzech faz, można uzyskać przez zastosowanie specjalnego silnika wielofazowego o momencie proporcjonalnym do różnicy kwadratów składowych symetrycznych napięć — zgodnej i przeciwnej. Stosuje się również odpowiednie układy prostownikowe, pozwalające uzyskać wypadkowy moment z średniej wartości wszystkich napięć fazowych.

Właściwe działanie regulatorów napięcia jest nierozłącznie związane z układem wzbudzenia i jego charakterystyką dostosowaną nie tylko do własności elektrycznych prądnic, ale również do wymagań współpracy elektrowni wodnych z układem energetycznym.

Układy wzbudzenia prądnicy w elektrowniach wodnych. Stosunek największego do najmniejszego napięcia wzbudnicy w zakresie zmienności obciążenia turbo-

T a b l i c a II. Zapotrzebowanie mocy na wzbudzenie prądnic turbozespołów wodnych

Moc prądnicy (kVA)	Prędkość obrotowa prądnicy (obr./min.)	Pobór mocy na wzbudzenie (kW)	
		$\cos \varphi = 1$	$\cos \varphi = 0,8$
1000	600	9	12
1000	150	15	20
2500	150	30	40
5000	600	25	35
5000	150	45	60
10000	375	48	64
10000	150	65	80
20000	375	75	100
20000	125	105	140
30000	333	95	125
30000	94	150	195

zespołu wynosi dla wielkich turbozespołów wodnych 20 : 1, natomiast dla turboprądnicy parowych nie przekracza 10 : 1. Zwiększony zakres zmienności napięcia wzbudzenia stanowi problem nie tylko dla omówionej wyżej automatycznej regulacji napięcia, ale wiąże się również z wyborem najwłaściwszego dla danych warunków ruchowych układu wzbudzenia prądnicy. Pewność ruchowa układu wzbudzenia ma doniosłe znaczenie. Dla układu energetycznego poważniejszym zaburzeniem jest utrata wzbudzenia prądnicy niż nagle jej wyłączenie.

Najczęściej spotykanym w elektrowni wodnej rozwiązaniem jest wzbudnica osadzona na wspólnym wale z prądnicą. Jak wynika z tabl. II, moc potrzebna na wzbudzenie prądnicy wolnobieżnych jest znacznie większa niż w przypadku prądnicy szybkoobrotowych. Dla wielkich wolnobieżnych jednostek mogą powstać trudności konstrukcyjne w utrzymaniu w granicach dopuszczalnych prędkości obrotowej na komutatorach wzbudnic. Zaczęli wtedy konieczność zastosowania niezależnych wzbudnic szybkoobrotowych napędzanych zazwyczaj silnikami indukcyjnymi.

Innym powodem stosowania wzbudnic niezależnie napędzanych silnikami elektrycznymi może być sprawa obniżenia wysokości maszynowni przez zmniejszenie długości montażowej wału turbozespołu. Do szczególnie ciekawych układów wzbudzenia, stosowanych niejednokrotnie w elektrowniach wodnych, należy układ syst. Bauera, wprowadzony przez Siemens. Ważną zaletą tego układu jest możliwość uzyskania większej prędkości wzbudzenia dzięki mniejszemu masom magnetycznym wzbudnic szybkoobrotowych oraz bardzo wysoka pewność ruchu i nieczułość na zaburzenia o charakterze zwarcia w sieciach, uzyskana przez odpowiedni układ zasilania silników indukcyjnych napędzających wzbudnice — główną i pomocniczą. Ten system wzbudzenia zastosowano już przed 2 lata w jednej z polskich elektrowni wodnych.

Zalety układu syst. Bauera mogą szczególnie uwydatnić się w określonych warunkach pracy przy powiązaniu kilku podobnych elektrowni kaskadowego zespołu z układem energetycznym, który z pewnych względów nie jest wyposażony w wyłączniki przystosowane do szybkiego ponownegołączenia.

W wielkich przepływowych elektrowniach wodnych, współpracujących w układzie energetycznym przy pomocy długich linii najwyższych napięć, na zagadnienie wyboru właściwego sposobu wzbudzenia wywierają wpływ nie tylko względy konstrukcyjne związane z budową wielkich wolnobieżnych turbozespołów, ale przede wszystkim wymagania osiągnięcia stateczności statycznej i dynamicznej w stanach przejściowych.

Forsowanie wzbudzenia wymaga — prócz doboru odpowiednich typów automatycznych szybkich regulatorów napięcia — również zastosowania układów wzbudzenia o odpowiednio wysokim „pulpie” napięcia wzbudzenia.

W zastosowaniu do turbozespołów wodnych należy odróżnić:

1) szybko działające układy wzbudzenia, przy których prędkość zmiany napięcia wzbudzenia osiąga wartość rzędu 400 — 600 V/s, a największa wartość napięcia wzbudzenia wynosi ok. 130% wartości znamionowej;

2) pośpieszne układy wzbudzenia, w których prędkość zmiany napięcia wzbudzenia osiąga wartość rzędu 6000—7000 V/s, a największa wartość napięcia wzbudzenia sięga 400% wartości znamionowej.

Stosowanie szybko działającej ochrony i wyłączników przystosowanych do szybkiego ponownegołączenia zmniejsza potrzebę stosowania układów pośpiesznego wzbudzenia.

Problem rezerwowego wzbudzenia dla poszczególnych turbozespołów w elektrowniach wodnych nie da się sprowadzić do ogólnie obowiązującej zasady i wymaga indywidualnego rozpatrzenia w poszczególnych przypadkach.

Urządzenia ochrony w elektrowniach wodnych prądnic, transformatorów i linii odchodzących. Ochrona głównych i pomocniczych urządzeń w elektrowniach wodnych nie różni się w zasadzie pod względem rozwiązań i typów urządzeń od ochrony w elektrowniach ciepłych. Należy jedynie zauważyć, że duży koszt wolnobieżnych prądnic w elektrowniach wodnych wymaga stosunkowo pełniejszej i bardziej pewnej ochrony już dla jednostek o mniejszej mocy znamionowej niż w przypadku szybkobieżnych prądnic w elektrowniach ciepłych tej samej mocy. Oprócz ochrony powszechnie stosowanej dla prądnic w turbozespołach parowych w przypadku prądnic wolnobieżnych, napędzanych turbinami wodnymi, stosuje się ochronę nadnapięciową, zabezpieczającą uzwojenie prądnicy i przyłączonych urządzeń od nadmiernego wzrostu napięcia wskutek rozbijania się turbozespołu w przypadkach nagłego odłączenia prądnicy od sieci.

Na wybór właściwej ochrony prądnic wpływa w pewnym stopniu również sposób uziemienia punktu zerowego prądnicy. Zasadnicza zaleta uziemienia punktu zerowego prądnicy pracujących w układzie blokowym z transformatorem, polegająca na przekształcaniu zwarć doziemnych w zwarcia międzyzwojowe wewnątrz prądnicy, podlega zakwestionowaniu w przypadku prądnic wolnobieżnych napędzanych turbinami wodnymi.

Ostatnio przyjmuje się powszechnie zasadę nieuziemiania punktu zerowego prądnicy przy jednoczesnym szerokim zastosowaniu układów sygnalizujących, bądź wskazujących zwarcia doziemne. Na wybór układu ochrony ziemnozwarciowej ma wpływ układ połączeń transformatorów blokowych, wysokość górnego napięcia i sposób uziemienia punktu zerowego sieci, na którą dana elektrownia ma pracować.

Ochrona głównych transformatorów w elektrowniach wodnych nie odbiega od ogólnie przyjętych zasad.

Sposób i typ ochrony linii odchodzących z elektrowni wodnych zależy w dużym stopniu od wymagań związanych z ochroną całego układu sieciowego. Konieczność koordynacji ochrony linii odchodzących z ochroną głównych urządzeń elektrowni wymaga całokształtowego rozwiązania zagadnień ochrony elektrowni.

6. Zasady projektowania urządzeń elektrycznych głównych i pomocniczych w elektrowniach wodnych różnych kategorii.

Przy opracowaniu założeń projektowych zasadniczą sprawą jest określenie warunków hydrologicznych, podanie sposobu wykonywania robót wodnობудowlanych obiektu i przybliżone określenie wskaźników techniczno-ekonomicznych, obejmujących zarówno nakłady inwestycyjne, jak i koszty eksploatacyjne. Już wtedy należy określić: 1) rolę elektrowni w układzie energetycznym, do którego będzie włączona, 2) moc zainstalowaną, liczbę jednostek oraz typ turbin, 3) główny schemat połączeń elektrowni i jej powiązanie z układem, 4) sposób rezerwowego zasilania potrzeb własnych, 5) najwyższy poziom mocy zwarciowej w układzie, 6) żądany sposób i zakres automatyzacji i wynikający stąd skład obsługi.

Dane powyższe powinny wynikać z analizy rozwoju układu energetycznego, do którego elektrownia ma być przyłączona i niejednokrotnie może okazać się konieczne uprzednie opracowanie założeń lub koncepcji dla innych elektrowni wodnych, należących do tego samego układu. Założenia projektowe jednej elektrowni, wchodzącej w skład kaskadowego zespołu kilku elektrowni wodnych na jednej rzece, powinny być z reguły poprzedzone opracowaniem koncepcji całego zespołu kaskadowego.

Przy opracowaniu projektu wstępnego dane hydrologiczne są oparte już na dokładnych pomiarach, a warunki wodnობudowlane na badaniach geologicznych i wytrzymałości gruntu. W dalszej pracy główny punkt ciężkości projektowania spoczywa w zagadnieniach wodnობudowlanych, jednak dla określenia najkorzystniejszych (zazwyczaj dwóch) alternatyw rozwiązania budowlanego zakładu projektanci urządzeń maszynowych i elektrycznych mogą już opracować szczegółowe zapytania ofertowe dla dostawców turbozespołów i urządzeń pomocniczych — hydromechanicznych i elektrycznych.

Na podstawie szeregu zebranych wstępnych ofert w projekcie wstępnym można opracować w paru alternatywach rozwiązania projektowe zakładu wraz ze wskaźnikami ekonomicznymi oraz kosztorysami. Po zatwierdzeniu jednej z alternatyw projektu wstępnego opracowuje się projekt techniczny, którego podstawą

zarówno dla części wodnობudowlanej, jak mechanicznej i elektrycznej, musi być szczegółowo opracowana oferta głównych urządzeń maszynowych i elektrycznych. W przypadku, gdy różne części głównych urządzeń są oferowane przez różnych dostawców, na głównego projektanta elektrowni spada obowiązek przeprowadzenia — już w fazie opracowywania ofert — pełnej koordynacji technicznej i uzgodnienia między dostawcami.

Opracowanie pełnej szczegółowej oferty na dostawę turbozespołów wodnych wymaga uprzedniego przygotowania dokładnych danych, które powinny objąć nie tylko odpowiedź na pytania konstruktorów, dotyczące wahań spadów, długości i średnicy rurociągów itp., ale również formułujące żądania przyszłego użytkownika zakładu. Żądania te powinny określić: 1) zakres wymaganej automatyzacji: uruchomienia i zatrzymywania turbozespołu, 2) zakres wymaganej regulacji automatycznej mocy i obrotów, 3) zakres żądanych pomiarów ruchowych i sygnalizacji, 4) wymagania co do wytwarzania mocy biernej, 5) wymaganą prędkość wzbudzenia i odwzbudzenia, 6) wymagane wyposażenie w urządzenia ochrony zarówno turbiny, jak i prądnicy.

Z praktyki wiadomo, że dostawcy turbozespołów wodnych często bronią się przed narzucaniem im żądań użytkownika niezgodnych z już opracowanymi, a często nawet wykonanymi dla innych odbiorców konstrukcjami maszyn, ważną więc sprawą dla projektanta jest dokładna znajomość nowoczesnych konstrukcji turbozespołów wodnych i umiejętność określenia koniecznego dla danego obiektu zakresu wymagań technicznych.

Projekt techniczny opracowuje się na podstawie dokładnie wyjaśnionych ofert całości wyposażenia zakładu. Ponieważ przebieg uzgadniania ofert wymaga wstępnych obliczeń, pomocniczych rysunków konstrukcyjnych itp., należy odróżnić fazę przygotowawczą projektu technicznego od fazy ostatecznej, do której przystępuje się już po wszystkich uzgodnieniach.

Całość projektu technicznego powinna być przedmiotem szerokiej dyskusji: zwłaszcza w zakresie urządzeń elektro-mechanicznych i pomocniczego wyposażenia elektrowni wodnej. W całokształtowej gospodarce socjalistycznej naczelnym założeniem co do jakości i kompletności projektu technicznego musi być szybkość realizacji budowy obiektu przy jak najmniejszym nakładzie środków finansowych, materiałowych i robocizny.

W projektowaniu elektrowni wodnych, w których skomplikowane budowle wodne stanowią główny składnik nakładów, zasada ta nie zawsze jest doceniana w stosunku do projektu urządzeń elektrycznych i mechanicznych. Należy jednak stwierdzić, że może w żadnym dziale budownictwa przemysłowego nie widzimy tak głębokich powiązań technologicznych między częścią budowlaną a maszynową i elektryczną, jak w elektrowniach wodnych.

7. Współzależność projektowania urządzeń elektrycznych w elektrowniach wodnych i budowli wodnych oraz urządzeń maszynowych.

Współzależność ta występuje we wszystkich fazach projektowania, najsilniej jednak musi być podkreślona w projekcie technicznym. Na ogół utrzymuje się przekonanie, że podstawowa kompozycja budowlana elektrowni wodnych jest określona warunkami geologicznymi i hydrologicznymi, a ponadto głównymi gabarytami podstawowych jednostek maszynowych, zadaniem zaś projektanta urządzeń elektrycznych jest jak najlepsze dostosowanie się do koncepcji wodnობudowlanej zakładu. Przykłady wielu wykonanych ostatnio wielkich budów elektrowni wodnych pozwalają stwierdzić, że jedynie ścisła współpraca projektantów budowlanych z projektantami urządzeń elektrycznych we wszystkich fazach projektu może doprowadzić do najkorzystniejszego rozwiązania projektu pod względem zarówno technicznym, jak i ekonomicznym.

Ograniczymy się tutaj do wymienienia węzłowych zagadnień, związanych z projektowaniem urządzeń elektrycznych i wymagających szczegółowej koordynacji z projektem budowlanym:

1) Wybór miejsca dla transformatorów pracujących na sieć, ważny ze względu na potrzebę uniknięcia połączeń kablowych od zacisków prądnicy do transformatora.

2) Wyznaczenie miejsca dla urządzeń elektrycznych przy wyznaczonym punkcie zerowym prądnicy, ważny ze względu na pożądaną zbliżenie tych urządzeń do stojana prądnicy.

3) Określenie sposobu wentylacji i chłodzenia prądnicy, ważne ze względu na duże przekroje kanałów wentylacyjnych i konieczność prowadzenia ich poprzez budowlane ustroje wsporcze lub w ich bezpośredniej bliskości.

4) Wyznaczenie miejsca na transformatory i rozdzielnie własnych potrzeb; w przypadku zastosowania tak zwanych transformatorów „jednostkowych”, przyłączanych do zacisków prądnicowych, odpowiednia kompozycja budowlana decyduje o wykonalności i racjonalności takiego rozwiązania.

5) Umieszczenie głównej nastawni elektrowni oraz pomocniczych nastawni przy poszczególnych turbozespołach oraz ustalenie tras i przekrojów kanałów kablowych dla kabli sterowniczych i pomiarowych. O umieszczeniu nastawni nie mogą decydować warunki budowlane, lecz muszą decydować względy funkcjonalne i techniczne zależne od typu i wielkości elektrowni i od zakresu automatyzacji zakładu.

6) Umieszczenie głównej rozdzielni wysokiego napięcia jest zależne od napięcia, na którym elektrownia jest związana z siecią, oraz od wybranego układu połączeń i typu rozdzielni — wewnętrznego czy napowietrznego. Ze względu na możliwość późniejszej rozbudowy rozdzielni pożądane jest także jej ułożenie w stosunku do budynku siłowni, żeby późniejsza rozbudowa nie powodowała konieczności przebudowy czynnych urządzeń elektrowni.

7) Ogrzewanie, oświetlenie i wentylacja oraz pomocnicze pomieszczenia ruchowe, jak magazyny podręczne, akumulatornia, gospodarka olejowa, stacja sprężarek itp.

8) Sprawy transportowe i montażowe — uzgodnienie poziomów transportu montażowego, nośności i obrysu pól pracy suwnic i dźwigów.

Do zagadnień specjalnych wymagających szczegółowej koordynacji należy wytrzymałość rurociągów głównych do turbin na naprężenia udarowe wywołane nagłym zanikiem obciążenia. Również wytrzymałość ustrojów budowlanych na wszelkie naprężenia dynamiczne, wywołane stanami niestabilnymi w turbozespołach natury hydraulicznej lub elektrycznej, wymagają starannej analizy, zwłaszcza w fazie projektu technicznego.

Oczywiście, trudności skoordynowania wymienionych wyżej zagadnień wystąpią w różnym stopniu w zależności od wielkości i specjalnych cech danej budowy. Znaczne trudności mogą wystąpić przy rozwiązaniach elektrowni odbiegających od kompozycji typowych np. wskutek trudnych warunków fundamentowania itp.

8. Wnioski końcowe.

Koszty projektowania elektrowni wodnych, przekraczające kilkakrotnie koszty projektowania siłowni cieplnych oraz szeroki zakres wstępnych studiów i prac badawczych wymagają bardzo starannego określenia najracjonalniejszej metody projektowania elektrowni wodnych. Jak wynika z treści niniejszego artykułu, problemy energetyczne i elektryczne stanowią wprawdzie niegłówny, ale zasadniczy element w projektowaniu elektrowni wodnych i dlatego rola projektanta urządzeń elektrycznych dla elektrowni wodnych musi być równorzędna zarówno w koncepcyjnej fazie projektu, jak i w jego szczegółowym opracowaniu, z rolą projektanta wodno-budowlanego.

Atrykuł niniejszy ma charakter dyskusyjny i nie wyczerpuje wielu problemów związanych z projektowaniem elektrowni wodnych w Polsce. Nie poruszono np. sprawy projektowania automatyzacji elektrowni wodnych, która będzie przedmiotem osobnego szczegółowego opracowania. Myślą przewodnią niniejszej pracy była chęć pewnego usystematyzowania zagadnień związanych z projektowaniem urządzeń elektrycznych w elektrowniach wodnych, które są przewidziane do realizacji w warunkach polskich.

LITERATURA

- Grudinski P. G. Schiemy komutacji elektriceskich stancij i podstancij, 1948
 Głazunow A. A. Elektriceskie czas'i stancij i podstancij, 1951.
 Zdanow P. S. O kriteriach staticzeskoj ustojczywosti elektriceskich system (MKWSE, 1948)
 Greager O. O. i Justin O. O. Hydroelectric Handbook, 1951.
 Frost A. C. H. i Brittlebank W. The control of hydroelectric plant (Proceed. of the I.E.E., Part I, Nr 111, 1951).
 Larsson B. The Hölleforsen Power Station (ASEA Journal, Nr 5-6, 1951).
 Cray S. Power system stability, t. 1 & 2, 1945-47
 Moraw K. Die elektrischen Einrichtungen der neuen Draukraftwerke (E. u. M., H. 5, 1946).
 ASEA. The Swed'sh Government Power Station at Vargön.
 Krzycki S. Elektrownie wodne pompowe i zbiornikowe w eksploatacji systemów energetycznych (Energetyka, nr 5/6, 1950).

Układy przesyłowe o napięciach ponad 220 kV (MKWSE, 1952)

Prof. WŁODZIMIERZ SZUMILIN

1. Uwagi ogólne.

Przesył elektroenergetyczny liniami bardzo wysokiego napięcia wkroczył po ostatniej wojnie w nową fazę swego rozwoju. Napięcie przesyłowe 220 kV, jako najwyższe napięcie znamionowe, jest stosowane od lat 30 (1923 r.). Jedna tylko linia o napięciu wyższym (287 kV) uruchomiona w 1937 r. nie była zapoczątkowaniem nowego etapu rozwojowego w dziedzinie przesyłu elektroenergetycznego, stanowiąc pod względem swych właściwości raczej szczytowe osiągnięcie wśród linii 220-kilowoltowych.

Powszechny wzrost zużycia energii, przebiegający według krzywej o charakterze wykładniczym, wysunął w ostatnich latach nowe — znacznie większe od dotychczasowych — wymagania ilościowe co do przesyłu elektroenergetycznego, wymagania, którym najwyższe nawet istniejące napięcia przesyłowe nie mogły sprostać. Zarysowały się dwie przyczyny, które spowodowały konieczność stosowania do przesyłu energii napięć wyższych od wymienionych wyżej.

Pierwsza to potrzeba przetransportu bardzo wielkich ilości energii na bardzo duże odległości z dalekich naturalnych (przede wszystkim wodnych) źródeł energii do odległych ośrodków jej spożycia. Druga to konieczność przesyłu bardzo wielkich ilości energii do ośrodków spożycia położonych w znacznych odległościach, jednak nie tak dużych, żeby mówić o dalekonośnym przesyśle w dzisiejszym tego słowa znaczeniu.

Do grupy pierwszej możemy zaliczyć układy przesyłowe, w których wielkość mocy przesyłanej jednym torem może wynosić 400 MW i więcej, a odległość przesyłu będzie rzędu 1000 km. Będą to linie przesyłowe o charakterze zasilowym, przeznaczone do jednokierunkowego przepływu energii. Napięcie, które wypadnie w nich zastosować, będzie rzędu 400 kV. Do tej kategorii mogą być zaliczone linie przesyłowe radzieckie biegnące z elektrowni wodnych Kujbyszewskiej i Stalingradzkiej w kierunku Moskwy; linie szwedzkie przesyłające energię z położonych daleko na północy elektrowni wodnych na południe kraju; po części linie francuskie mające dostarczać energię z elektrowni wodnych masywu górskiego położonego w centrum kraju do północnych jego połaci, skupiających główne ośrodki spożycia.

Do grupy drugiej można by zaliczyć układy przesyłowe, w których moc przesyłana jednym torem byłaby tego samego

rzędu, co w poprzednim przypadku, jednak długość linii przesyłowych nie przekraczałaby dotychczas stosowanych odległości tzn. 200—350 km. Będą to linie przesyłowe do wymiany energii, w których kierunku przepływu energii może być różny. Napięcie przesyłowe tych układów wypadnie rzędu 300 kV. Do tej kategorii można by zaliczyć projektowaną sieć przesyłową angielską, która ma być nałożona na istniejącą sieć państwową o napięciu 132 kV (na tzw. „grid”), oraz niektóre sieci przesyłowe amerykańskie, które mają być nałożone na istniejące sieci o napięciach od 132 do 165 kV.

Przytoczony podział nowopowstających układów przesyłowych o najwyższych napięciach pod kątem widzenia ich funkcjonalnego przeznaczenia może być słuszny tylko przez pewien okres czasu, gdyż w miarę rozwoju przesyłu elektroenergetycznego charakter i rola poszczególnych linii i całych sieci ulegają zmianom. Dawne linie o napięciu np. 30 czy 60 kV, które miały początkowo charakter przesyłowo-zasilowy, dziś — w miarę rozbudowy sieci na tych napięciach — stały się częściami składowymi układów sieciowych o charakterze rozdzielczo-wymiennym, stanowiąc podstawę do nadbudowy nad nimi układów przesyłowych o napięciach wyższych np. 110, 150 lub 220 kV. Z biegiem czasu i w miarę rozwoju elektryfikacji skala napięć przesuwa się w górę. Jesteśmy obecnie świadkami etapu rozwojowego, na którym sieci 220-kilowoltowe stają się sieciami rozdzielczymi; niebawem sieci 300-kilowoltowe będą miały charakter rozdzielczo-wymienny i jest tylko kwestią czasu, żeby dzisiejsze linie przesyłowe o napięciu 400 kV stały się podstawą rozdzielczą do nadbudowy linii zasilowych o wyższej skali napięć.

Czytelnicy „Przeglądu Elektrotechnicznego” byli już informowani o wspomnianych liniach radzieckich*) oraz o niektórych liniach innych państw**). Artykuł niniejszy ma na celu omówienie zagadnień naukowych, technicznych i gospodarczych wiążących się z wykonaniem tych linii, naświetlenie eksploatacyjnych przesłanek ich pracy oraz podanie wiadomości ogólnych co do obiektów, które nie były dotąd na łamach „Przeglądu” omawiane.

W zakresie problemów technicznych wyraźnie wyodrębnia się grupa zagadnień przewodowych, traktujących coraz głębiej

*) PE — 1950, z. 9/10/11, str. 390; 1951, z. 10, str. 394; 1952, z. 11, str. 427; 1953, z. 10, str. 397 i 409.

**) PE — 1950, z. 4/5/6, str. 141; 1952, z. 8, str. 317; 1952, z. 9, str. 359.

i wszechstronniej wciąż te same tematy: straty ulotowe i na upływność, zakłócenia radiofoniczne, przewody pojedyncze i bliźniacze (wiązkowe), wzmożenie zdolności przelotowej i zmiana parametrów elektrycznych linii. Zagadnienia te wymagają osobnego omówienia.

Inne tematy, jak np. ustalenie wysokości napięcia i poziomu izolacji, pewne zagadnienia transformatorowe i aparaturowe, wsporniki itp. będą poruszone niżej w toku omawiania poszczególnych układów przesyłowych.

2. Sieć na 275/300 kV.

a) Założenia ogólne. Najciekawszym z powstających obecnie układów o charakterze wymiennie-przesyłowym, który będzie nałożony na istniejącą sieć o napięciu niższego rzędu („grid”), jest tzw. „super-grid” angielski.

Zmiany pierwotnego „gridu” w ciągu 20 lat są podane w tabl. I. Cała sieć 132-kilowoltowa była podzielona na 7 niezależnych

Tablica I

		1930/31	1950/51
Elektrownie			
Moc zainstalowana (MW)		6 946	14 592
Liczba elektrowni		483	289
Średnia moc elektrowni (MW)		14,4	50,5
Średnia moc zespołów zainstalowanych w ciągu ostatnich 5 lat (MW)		11	38
Obciążenie szczytowe (MW)		3 550	13 448
Wytwórczość roczna (10^6 kWh)		10 275	52 445
Sprawność termiczna (średnia) (%)		15,5	21,5
Sieć na 132 kV			
Długość linii (km)		4 640	6 460
Liczba stacji transformatorowych i rozdzielczych		132	216
Moc zainstalowanych transformatorów (MVA)		6 520	12 597
Liczba wyłączników		504	783
Moc zwarciova (MVA)		1 500	3 500

okręgów eksploatacyjnych, z których każdy miał własne centrum kontrolne kierujące ruchem. Przyjęte okręgi łączyły się między sobą zwykłymi liniami, mającymi za zadanie nie masowy przesył energii, lecz tylko jej lokalną wymianę. Zasadą podstawową było wzajemne połączenie elektrowni wewnątrz każdego okręgu celem ograniczenia rezerw i skoncentrowania produkcji w elektrowniach najbardziej ekonomicznych. Cel ten osiągnięto, gdyż po 3 latach eksploatacji moc rezerw została zredukowana z 70% do 26%, a przeciętny koszt własny 1 kWh obniżono przeszło dwukrotnie.

Począwszy od zimy 1938 r. dała się wyraźnie odczuwać potrzeba użytkowania sieci 132-kilowoltowej w skali ogólnopolskiej, a nie regionalnej. Sumaryczna moc elektrowni mogła uczynić zadość całkowitemu zapotrzebowaniu, lecz rozkład tej mocy był niewłaściwy, powodując w pewnych okręgach jej nadwyżkę, w innych braki. Tymczasem przepływność międzyokręgowych linii przesyłowych 132-kilowoltowych nie mogła sprostać koniecznym wyrównaniom mocy. Miało to niekorzystny skutek pod względem zarówno technicznym, jak i gospodarczym. Co raz dobitniej odczuwała się konieczność znacznego wzmocnienia międzyokręgowej wymiany energii, a tym samym wybitnego zwiększenia przepływności przesyłu za pomocą nieznacznej liczby dostatecznie droższych linii.

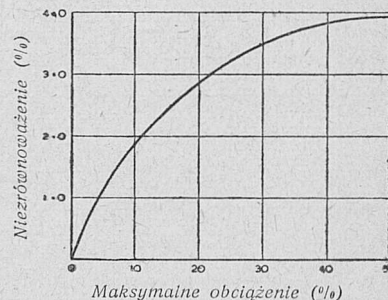
Nowa sieć ma spełniać 2 podstawowe zadania: 1) stworzyć wzajemne połączenia międzyokręgowe dla wspólnego wykorzystania wytwórczości oraz 2) umożliwić masowy przesył energii celem ograniczenia transportu węgla.

Pierwszy etap budowy nowej sieci jest obecnie w toku wykonania i ma być ukończony do 1955 r. Studia i obliczenia dotyczące tej sieci oparto na przewidywanym zapotrzebowaniu za lat 15, a więc w 1970 r. Szczytowe obciążenie ma wynosić wówczas 30 000 MW, roczna wytwórczość 114,2 mld. kWh, co odpowiadałoby rocznemu spożyciu 2100 kWh na 1 mieszkańca (w 1949 r. liczba ta wynosiła 845 kWh). Energia będzie wytwarzana przede wszystkim w elektrowniach ciepłych (112 mld. kWh). W założeniu średniej sprawności termicznej 27% roczne zapotrzebowanie węgla wyniesie około 58 mln. ton (w 1949 r. przy sprawności 21,3% wynosiło ono 29,5 mln. ton).

Przeprowadzono studia nad geograficznym rozmieszczeniem: 1) obciążań elektrycznych, 2) wydobycia węgla dla potrzeb elektrowni, 3) nowych elektrowni. Biorąc pod uwagę te czynniki ustalono przepływność przesyłu elektroenergetycznego, mającego spełniać dwa wspomniane podstawowe zadania, na podstawie następujących rozważań.

W każdym okręgu występują w różnych okresach roku pewne indywidualne nadwyżki lub braki mocy, wynikające z układu warunków lokalnych. Należy te różnice wyrównać w skali ogólnokrajowej za pomocą przesyłu elektroenergetycznego. W przeciwnym przypadku dla uniknięcia lokalnych braków energii, zachodziłaby konieczność zainstalowania dodatkowej mocy.

Jako podstawę do oszacowania stosunków, które powstaną pod tym względem w przyszłości pomiędzy poszczególnymi okręgami i grupami okręgów, wzięto pod uwagę odnośne stosunki nierównoważenia energetycznego, które



Rys. 1. Krzywa nierównoważenia energetycznego pomiędzy okręgami i grupami okręgów

występowało w okresie 6 lat — od 1943 do 1949 r. i które ilustruje krzywa na rys. 1. Krzywa ta podaje (w %) największe wartości nierównoważenia w funkcji maksymalnego obciążenia danego okręgu lub grupy okręgów, wyrażonego w procentach największego obciążenia ogólnokrajowego. Jeżeli np. obciążenie pewnego okręgu stanowi 10% obciążenia ogólnego, to występuje w nim nierównoważenie (brak lub nadmiar mocy) wynoszące 1,8% obciążenia ogólnego, tzn. jeżeli największe obciążenie ogólnokrajowe wynosi 10 000 MW, a największe obciążenie pewnego okręgu 1000 MW (10%), to jego potrzeby co do przesyłu elektroenergetycznego w stosunku do innych okręgów, tj. nierównoważenie, będzie wynosić 180 MW (1,8%). Z krzywej wynika, że grupa okręgów, w których największe obciążenie stanowi 50% największego obciążenia ogólnego wykazuje nierównoważenie wynoszące 3,9% tego ostatniego. W tych warunkach, dzieląc kraj na dwie części i zakładając w każdej największe obciążenie 5000 MW, otrzymamy, że przepływność linii przesyłowych pomiędzy tymi częściami powinna wynosić 390 MW.

Powstało pytanie, czy krzywą tę można będzie uważać za miarodajną dla warunków energetycznych, które powstaną w przyszłości (tj. w okresie, na którego potrzeby projektowana jest nowa sieć), gdy przewidywane obciążenia będą znacznie większe niż w okresie badań. Na pytanie to dano odpowiedź twierdzącą, wychodząc z założenia, że nierównoważenie energetyczne zależy w znacznej mierze od wielkości zespołów prądowociowych i kotłów oraz całych elektrowni, a wielkości te wzrastają w znacznym stopniu proporcjonalnie do obciążeń. Poza tym niedokładność co do przewidywanych obciążeń oraz odchy-



Rys. 2. Podział obszaru na okręgi energetyczne

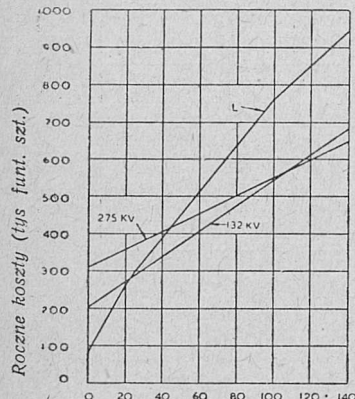
Tablica II

Okręg	Największe obciążenie (MW)		Przepływność przesyłu (MW)	
	okręgu	grupy okręgów	okręgu	grupy okręgów
I	2 290	4 120	450	670
II	1 830		380	
III	4 440	4 440	700	700
IV	3 630	8 600	620	1 010
V	4 970		750	
VI	4 780	12 840	730	1 150
VII	3 950		650	
VIII	4 110		670	
Razem	30 000	30 000	—	—

nia, które mogą powstać, z przyczyn lokalnych lub warunków atmosferycznych, pozwalają przyjąć te wielkości również jako proporcjonalne do obciążeń.

Cały kraj podzielono na 8 okręgów energetycznych (rys. 2). Tabl. II podaje maksymalne obciążenia okręgów i grup okręgów oraz wymagane przenośności odpowiednich linii przesyłowych, obliczone na podstawie krzywej z rys. 1.

Stwierdzono, że w razie braku nowej sieci przesyłowej należałoby zrezygnować z gospodarki elektroenergetycznej o zasięgu ogólnokrajowym i utworzyć co najmniej trzy oddzielne grupy okręgów. Zakładając w tych trzech grupach okręgów jednakową wielkość obciążeń tj. 33 1/3% obciążenia ogólnego w każdej, widzimy z krzywej rys. 1, że niezrównoważenie energetyczne w każdej grupie będzie wynosiło 3,6% obciążenia ogólnego.



Odległość w milach (1 mila = 1,6 km)

Rys. 3. Koszty transportu węgla i przesyłu elektroenergetycznego.

L — transport węgla

liczyć nawet bardzo ostrożnie i wziąć pod uwagę tylko połowę kosztu zainstalowania wymaganej mocy (tj. odpowiadającej 5% największego obciążenia ogólnego), jasne jest, że w przypadku pobudowania odpowiedniej sieci przesyłowej osiągnię się poważnie oszczędności, nie mówiąc już o innych korzyściach gospodarczych i technicznych, jakie daje taka sieć.

W sprawie porównania kosztów przesyłu elektroenergetycznego pomiędzy poszczególnymi okręgami z równoważnym energetycznie transportem kolejowym węgla obliczenia wykazały, że można będzie uzyskać oszczędności stosując w szerszym zakresie przesył. Stwierdzono jednak, że przesył na drodze elektrycznej nie może pod względem kosztów rywalizować z morskim transportem węgla, gdy odległość kopalni od portu załadunku jest krótka i gdy węgiel w porcie przeznaczenia jest wyładowywany bezpośrednio ze statków do zasobników elektrowni, położonej w pobliżu środka obciążenia.

Krzywe na rys. 3 podają porównawczo koszty energii oraz odpowiedniego transportu kolejowego węgla w zależności od odległości, w założeniu elektrowni o mocy 360 MW pracującej w przeciętnych warunkach. Z wykresu widzimy, że przy odległościach przekraczających 40 km dla 132 kV oraz 75 km dla 275 kV przesył elektryczny kalkuluje się taniej od kolejowego transportu węgla. Należy zaznaczyć, że ten ostatni powoduje często zakorkowanie w ruchu kolejowym Anglii.

Biorąc pod uwagę wszystkie wymienione okoliczności usiłowano określić górny pułap masowego przesyłu energii. Najbardziej zasobnymi energetycznie są okręgi IV i V, które mogłyby eksportować do 4000 MW. Jeśli wziąć pod uwagę nieuniknione odchylenia w oszacowaniu pomiędzy wytwórczością a spożyciem w okresach szczytu, przewidywana zdolność eksportowa wymienionych okręgów mogłaby się zmieniać w tę lub inną stronę zgodnie z danymi tabl. II, co dla tych okręgów wyniosłoby 1010 MW. A zatem górny pułap masowego eksportu energii elektrycznej z tych okręgów należałoby ustalić na ~ 5000 MW. Co do ustalenia dolnej granicy przesyłu miarodajne będą dane zawarte w tabl. II.

b) Wybór napięcia. Po ustaleniu granicznych wartości mocy przesyłanych najważniejszym zagadnieniem był wybór napięcia. Możliwość zastosowania do wielkiego przesyłu energii istniejącego napięcia 132 kV nie była z góry wykluczona. Jednakże — przyjmując przenośność jednego 132-kilowoltowego toru z przewodami stalowo-aluminiowymi o przekroju 258 mm² na 135 MVA — otrzymano znaczną liczbę torów nawet dla minimalnych warunków przesyłu (wg tabl. II). Z tego względu wybrano napięcie wyższe, właściwe dla warunków minimalnych i wręcz nieodzowne dla warunków maksymalnych. Obliczenia

szczegółowe wykazały, że koszt sieci o napięciu roboczym 275 kV (osiągającym wartość najwyższą 300 kV), odpowiadającej warunkom minimalnym, nie byłby wyższy, lecz raczej niższy od równoważnej sieci 132 kV.

Decyzja na rzecz napięcia wyższego była w danym przypadku zgodna z ogólną zasadą, w myśl której przejście do wyższej skali napięć jest z pewnością uzasadnione gdy zastosowanie wyższego napięcia daje kalkulację kosztów porównywalnych z kosztami odpowiadającymi napięciu istniejącemu. W ten sposób zostało ustalone napięcie 275/300 kV.

Nie pominięto w rozważaniach i tej okoliczności, że wymagania masowego przesyłu, gdy zbliży się on do warunków maksymalnych, nakazywałyby zastosowanie napięcia 380 kV jako bardziej ekonomicznego od 275 kV. Jednakże ogólnokrajowa sieć brytyjska najwyższego napięcia winna służyć raczej do międzyokręgowej wymiany energii niż do dalekiego przesyłu. W planie na 1960 r. przewiduje się pobudowanie 1850 km linii i 22 stacji rozdzielczych i transformatorowych, co daje przeciętną długość linii zaledwie 84 km. Koszt wszystkich linii nie przekroczy 40% ogólnych kosztów inwestycyjnych.

W tych okolicznościach ekonomika dalekonośnego przesyłu energii elektrycznej, w znaczeniu przyjętym ogólnie, nie znajduje właściwego uzasadnienia w warunkach Wielkiej Brytanii. Wydaje się, że tutaj każde napięcie wyższe od 275/300 kV nie znajduje należytego uzasadnienia. Poza tym w dzisiejszym stanie techniki budowy urządzeń na 380 kV należałoby przeprowadzić daleko idące badania w kierunku zapewnienia należytego stopnia bezpieczeństwa pracy tych urządzeń w szczególnych warunkach atmosferycznych i lokalnych panujących w Wielkiej Brytanii. Niemniej jednak, aby nie zamykać drogi na przyszłość zaprojektowano słupy niektórych linii 275/300-kilowoltowych w taki sposób, żeby można było zawiesić na nich tory linii 380-

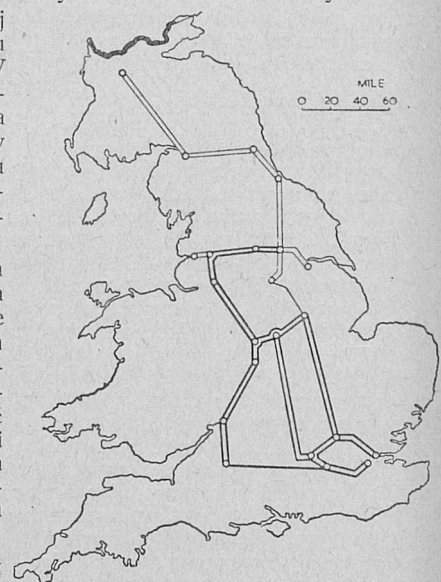
Przytoczone wyżej obiekty w stosunku do napięcia 880 kV dla obecnie realizowanego planu można wysunąć również w stosunku do przesyłu za pomocą prądu stałego bardzo wysokiego napięcia.

Przewidywany na 1960 r. plan sieci na 275/300 kV podaje rys. 4. Sieć ta sprostą największemu obciążeniu 22 500 kW, zapewniając możliwość dalszego rozwoju i szybkiego osiągnięcia obciążenia dla warunków krańcowych 30 000 MW.

Szacunkowe obliczenia oszczędności, które będą osiągnięte w 1960 r., dadzą się wyrazić w kosztach rocznych w następujący sposób:

oszczędność wynikająca z niezainstalowania dodatkowej mocy wytwórczej w wysokości 5% ogólnej mocy zainstalowej	5,1.10 ⁶ f. sz.
oszczędność na transporcie węgla po odjęciu strat przesyłu elektroenergetycznego	3,2.10 ⁶ „
razem	8,3.10 ⁶ f. sz.
roczne koszty stałe i odpisy dla urządzeń przesyłowych	4,6.10 ⁶ „
roczne oszczędności netto	3,7.10 ⁶ f. sz.

Zasadnicze założenia omówionego układu przesyłowego mogą posłużyć jako przykład koncepcji sieci przesyłowej najwyższego napięcia w kraju wysoko uprzemysłowanym, stosunkowo mało rozległym, o znacznej gęstości obciążeń, w którym wytwórczość energii elektrycznej jest oparta niemal wyłącznie na węglu. Jedynie w skali ogólnokrajowej, obejmując całokształt zagadnień wytwarzania, przesyłu i spożycia energii elektrycznej, można było znaleźć gospodarczo najwłaściwsze rozwiązanie.



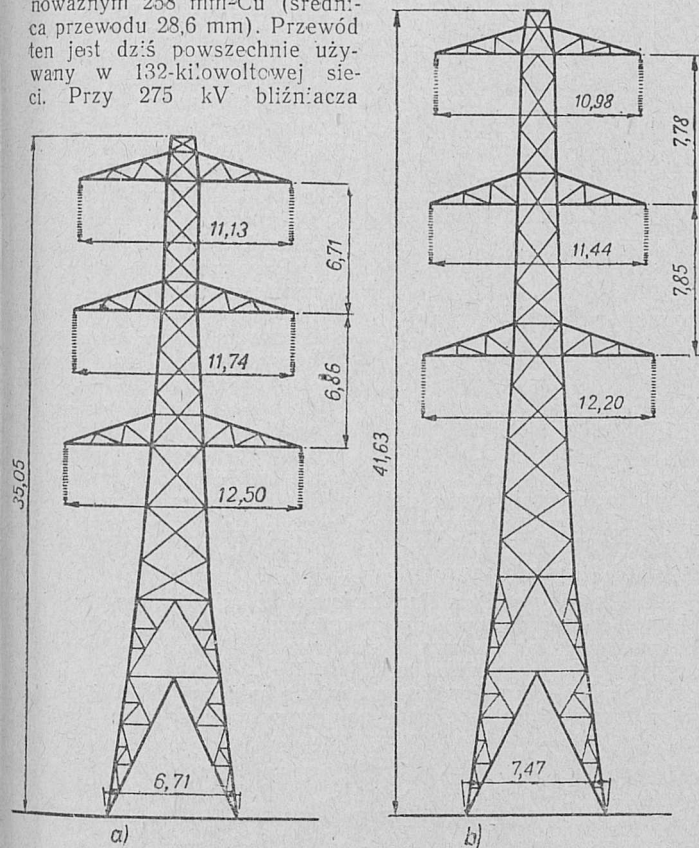
Rys. 4. Plan sieci o napięciu 275/300 kV na rok 1960

— Przewody wiązkowe 2 x 113 mm²
 — Przewody wiązkowe 2 x 258 mm²
 o Stacja transformatorowa

c) Charakterystyki techniczne ważniejszych elementów linii 275-kilowoltowych. W zasadzie wszystkie linie będą 2-torowe z wyjątkiem jednego 65-kilometrowego odcinka linii jednotorowej, służącej obecnie do badań.

Dla linii, które będą przede wszystkim służyły do międzyokręgowej wymiany energii, zastosowano stalowo-aluminiowe przewody wiązkowe (bliźniacze) o przekroju równoważnym $113 \text{ mm}^2\text{Cu}$ (średnica przewodu 19,6 mm). Dwa przewody na fazę będą zmontowane poziomo we wzajemnej odległości 305 mm. Przy obciążeniu 800 A tj. 375 MVA nagrzewanie przewodów będzie wynosiło 300°C przy temperaturze otoczenia 20°C .

Dla linii, które będą służyły do masowego przesyłu energii, zastosowano podobne przewody wiązkowe, lecz o przekroju równoważnym $258 \text{ mm}^2\text{Cu}$ (średnica przewodu 28,6 mm). Przewód ten jest dziś powszechnie używany w 132-kilowoltowej sieci. Przy 275 kV bliźniacza



Rys. 5. Słupy linii na 275/300 kV (wymiary w metrach)

wiązka przewodów daje analogiczne do poprzednich warunki termiczne przy 1200 A tj. 750 MVA.

Jest bardzo prawdopodobne, że te same przewody będą mogły być zastosowane w przyszłości przy ewentualnym przejściu na 380 kV. Straty wynosiłyby wówczas w linii 3-fazowej: średnie roczne $3,1 \text{ kW/km}$, największe 44 kW/km . Dla zmniejszenia strat rozważono ewentualność zastosowania przewodów bliźniaczych o przekroju równoważnym $290 \text{ mm}^2\text{Cu}$. Przy 380 kV straty analogiczne wynosiłyby: średnie roczne $2,5 \text{ kW/km}$, największe 28 kW/km . Z uwagi na przyjęte napięcie 275 kV, dla którego przekrój 258 mm^2 jest w zupełności wystarczający, oraz gwoździ ujednolicienia przewodów i osprzętu zatrzymano się na tym właśnie przewodzie.

Każda linia będzie miała jeden stalowo-aluminiowy przewód odgromowy o przekroju 113 mm^2 , tworzący kąt ochronny 45° .

Koszty linii 275-kilowoltowej niewiele wahają się przy zmianach rozpiętości w granicach od 300 do 435 m. Przyjęto jako rozpiętość normalną 305 m przy przewodach bliźniaczych $2 \times 113 \text{ mm}^2$ oraz 366 m przy przewodach bliźniaczych $2 \times 258 \text{ mm}^2$.

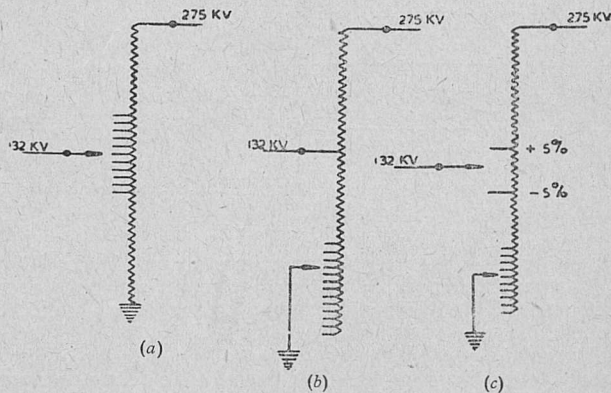
Izolatory będą typu kołpakowego, porcelanowe i szklane. Dla linii o przewodach bliźniaczych (258 mm^2), gdzie największy nacisk będzie wynosił 5450 kG , zdecydowano dać wszędzie izolatory szklane, dla których naprężenie niszczące wynosi 13600 kG ; normalna liczba izolatorów w łańcuchu 18 szt., co daje ogólną jego długość 3,81 m.

Rys. 5 przedstawia porównawczo normalne słupy przelotowe linii 275-kilowoltowej o przewodach bliźniaczych $2 \times 113 \text{ mm}^2$ (a) oraz o przewodach bliźniaczych $2 \times 258 \text{ mm}^2$ (b). Te ostatnie będą mogły być zastosowane również dla napięcia 380 kV.

d) Transformatory. Połączenie nowej sieci 275-kilowoltowej z dawną siecią 132-kilowoltową będzie dokonane za pośrednictwem autotransformatorów trójfazowych na 132/275 kV o układzie gwiazdowym, z bezpośrednio uziemionym punktem zerowym wszystkich transformatorów. Przewidziane jest również uzwojenie w trójkąt, głównie dla ułatwienia prób; w warunkach normalnego ruchu jeden z wierzchołków trójkąta będzie uziemiony.

Transformatory będą o mocach 120, 180 i 240 MVA. Gwoli ograniczenia prądów zwarciovych napięcie zwarcia transformatorów będzie dość znaczne — rzędu 15%. Dzięki temu moc zwarcia w sieci 132-kilowoltowej zasilanej od strony 275 kV będzie ograniczona do 1200 MVA przy dwóch transformatorach po 120 MVA oraz do 1950 MVA przy dwóch transformatorach po 240 MVA.

Transformatory będą miały zaczepty regulacyjne w granicach $\pm 15\%$. Rozważono trzy możliwe układy autotransformatorów pod względem umiejscowienia zaczeptów. Rys. 6 przedstawia schematy tych układów. Układ a: zaczepty na 132 kV do zmiany napięcia pod obciążeniem w granicach $\pm 15\%$; układ b: zaczepty w punkcie zerowym do zmiany napięcia pod obciążeniem w granicach $\pm 15\%$; układ c: zaczepty $\pm 5\%$ na 132 kV do przełączania bez obciążenia oraz zaczepty $\pm 10\%$ w punkcie zerowym do przełączania pod obciążeniem.



Rys. 6. Układy zaczeptów autotransformatorów na 132/275 kV

Tabl. III podaje ważniejsze dane charakterystyczne autotransformatorów na 132/275 kV, 120 MVA.

Jako ochronę od fal udarowych przewidziano na transformatorach iskierniki prętowe o rozstawieniu 124 cm.

W niektórych większych elektrowniach będą zainstalowane transformatory o mocy 120 MVA i przekładni 15/275 kV do bezpośredniego sprzężenia generatorów z siecią najwyższego napięcia.

Tablica III. Autotransformatory trójfazowe na 132/275 kV, 120 MVA

	Układ zaczeptów według rys. 6		
	a	b	c
Waga całkowita (t)	263	380	262
Objętość oleju (l)	98 520	92 615	87 530
Straty w miedzi (kW)	497	521	552* — 502*
Straty w żelazie (kW)	129	116	103* — 129*

*) Zależnie od zaczeptu

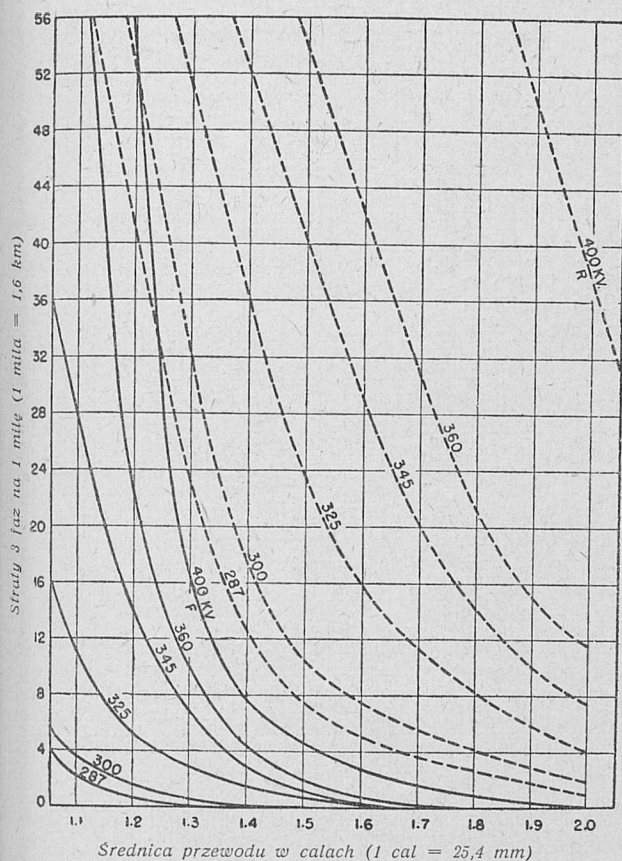
Pięciordzeniowe transformatory prądowe o przekładni 600/1A będą dwóch typów; przy wyłącznikach pełnoolejowych zmontowane w ich przepustach, przy wyłącznikach powietrznych — oddzielne.

Transformatory napięciowe typu kondensatorowego będą miały przekładnię $275000 : \sqrt{3/110} : \sqrt{3} \text{ V}$.

e) Wyłączniki. Ustalono dla pierwszych lat pracy sieci 275-kilowoltowej poziom mocy zwarcia dla wyłączników na 7500 MVA przewidując, że w przyszłości może on wzrosnąć do 10 000 MVA. Warunki termiczne pracy linii przewidują zastosowanie wyłączników na prądy znamionowe 800 A i 1200 A. Każdy z wyłączników będzie musiał wytrzymać w ciągu 3 sekund prąd odpowiadający mocy zwarcia 7500 MVA. Wyłączniki są przewidziane do zastosowania samoczynnego ultra-szybkiego ponownego 3-fazowego włączania.

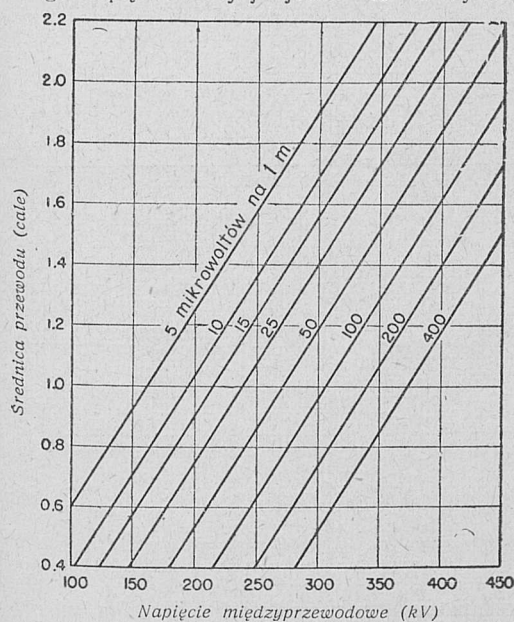
Studia teoretyczne nad prędkością wzrostu napięcia w stacjach nieustalonych przy zwiarcach w sieci 275-kilowoltowej wy-

czątkowym okresie istnienia sieci 132-kilowoltowej i którą z biegiem lat w znacznej mierze utracił skutek wzrostu obciążeń i mocy turbozespołów. Na początku eksploatacji sieci 132-kilowoltowej moc największego zespołu wynosiła 30 MW, obecnie zaś są tam zespoły po 200 MW, a wkrótce będą po 250 MW.



Rys. 9. Krzywe strat ulotowych
R — deszcz F — pogoda

Przy wyborze nowego napięcia sieci jednym z założeń było, aby napięcie to sprostało wymogom sieci również w ciągu 30 lat. Postulat ten przemawiał za zastosowaniem możliwie jak najwyższego napięcia. Decyzja jednak co do wyboru napięcia



Rys. 10. Krzywe zakłóceń radiofonicznych

w takich przypadkach idzie zazwyczaj po linii kompromisu sprzecznych niekiedy wymagań natury technicznej, gospodarczej i praktycznych konieczności eksploatacyjnych.

Dla nowoprojektowanej sieci przeprowadzono daleko idące badania i obliczenia warunków jej pracy normalnej i podczas zakłóceń za pomocą analizatora sieciowego dla napięć w granicach od 287 kV do 360 kV, a w niektórych przypadkach nawet dla napięć wyższych.

Wielkość mocy przesyłanej waha się dla różnych napięć w granicach od 1,5-krotnej mocy naturalnej (przy dłuższych odległościach przesyłu) do 2,5-krotnej (przy odległościach krótszych). W ten sposób można było przesyłać jednym torem moc rzędu od 300 do 500 MW przy napięciu 287 kV oraz 450 do 750 MW przy napięciu 345 kV.

Wyniki tych obliczeń nie były jednak decydujące w wyborze nowego napięcia. Wybór ostateczny był uzależniony poza tym od czynników następujących: 1) strat na ulot, 2) zakłóceń radiofonicznych, 3) warunków topienia osadów lodowych na przewodach, 4) konserwacji linii pod napięciem, 5) względów gospodarczych. Szczegółowe badania pod kątem widzenia wymienionych czynników wykazały zgodnie, że najkorzystniejszym w danych warunkach napięciem roboczym będzie 315 kV, dochodzącym powyżej do 330 kV. Omówimy pokrótce ważniejsze wnioski, które doprowadziły do wyboru tego napięcia.

Wyniki badań strat ulotowych streszczają się w krzywych na rys. 9, które podają wielkości strat dla różnych napięć w zależności od średnicy przewodu. Wartość gospodarcza strat była ustalona na podstawie obliczenia strat rocznych właściwych dla warunków atmosferycznych danego terenu.

Stwierdzono, że zakłócenia radiofoniczne powodowane ulotem stanowiły w wyborze poziomu napięcia i średnicy przewodu czynnik bardziej decydujący niż straty ulotowe. Dla danego napięcia stopień zakłóceń radiofonicznych zmuszał do przyjęcia większej średnicy przewodu niż ta, która wynikała z gospodarczo dopuszczalnych strat na ulot.

Wyniki badań nad zakłóceniami radiofonicznymi, które występują w odległości 30 m od przewodu, podaje rys. 10. Wprawdzie trudno jest dziś ustalić ściśle kryterium dopuszczalnych zakłóceń radiofonicznych, jednakże z przeprowadzonych badań jasno wynika, że średnica, którą należy nadać przewodom, aby utrzymać zakłócenia na danym poziomie, wzrasta szybko wraz z napięciem, w szczególności w zakresie zakłóceń od 15 do 50 $\mu\text{V/m}$. Wynika z tego, że poziom napięcia wyższy od 300 — 330 kV powodowałby poważne zakłócenia radiofoniczne, jeżeli nie zdecydowano by się zastosować średnic przewodów wyraźnie większych niż 38 — 41 mm, które z różnych innych względów wchodziły tu w rachubę. Rozważano także ewentualność zastosowania przewodów wiązkowych, jednak zaniechano tego rozwiązania z uwagi na komplikacje i koszty zawieszenia tych przewodów, na topienie osadów lodowych, konserwację pod napięciem, wysokości słupów itd. W wyniku powyższych rozważań uznano, że najwłaściwszym napięciem roboczym będzie 315 kV przy zastosowaniu przewodów o średnicy od 38 do 41 mm.

Dwa następne czynniki, które brano pod uwagę przy wyborze napięcia, są natury praktyczno-eksploatacyjnej, a mianowicie: topienie sadzi i osadów lodowych na przewodach oraz konserwacja linii pod napięciem.

Warunki sadyzowe na omawianym obszarze są bardzo ciężkie. W istniejącej sieci 132-kilowoltowej topienie częstych osadów lodowych było dokonywane bezpośrednim nagrzewaniem przewodów przez prąd. Przyjęto, że nowa sieć wyższego napięcia powinna mieć pod tym względem podobne możliwości. Jest zrozumiałe, że problem topienia sadzi przemawia za obniżeniem napięcia, gdyż ze wzrostem napięcia należy stosować większe wymiary przewodów, bardziej co do średnicy niż przekroju.

Zagadnienie było przestudiowane w drodze bezpośrednich prób topienia sadzi i osadów lodowych na przewodach o różnych średnicach w granicach od 28 do 45 mm i o przekrojach od 370 do 670 mm^2 (przewody stalowo-aluminiowe). Do topienia będą używane te same źródła prądu co dotychczas. Linie 315-kilowoltowe będą w tym celu zwierane odcinkami po 100 do 120 km. Wyniki, jak przy badaniach zakłóceń radiofonicznych, przemawiają za napięciem poniżej 345 kV gwoźli uniknięcia średnic przewodów, które czyniłyby topienie sadzi praktycznie niemożliwym.

W obecnej sieci na 132 kV prowadzona jest konserwacja linii napowietrznych pod napięciem, co jest nieodzownym warunkiem zapewnienia do maksymalnych granic ciągłości dostawy energii. Warunek ten musi być spełniony również w przyszłej sieci najwyższego napięcia. Przemawia więc on także za napięciem niższym od 345 kV, jeśli pragnie się uniknąć znacznych odległości na słupach i dużych długości łańcuchów izolatorowych, które utrudniają konserwację linii pod napięciem.

Jak nadmieniono wyżej, masowy dalekonośny przesył energii elektrycznej nie stanowi zasadniczego problemu w omawianej sieci, niemniej jednak w obliczeniach technicznych i kalkulacjach gospodarczych brano pod uwagę możliwość przesyłu kilkuset megawatów na odległości do 360 km, a w dalszej przyszłości nawet większych mocy i na dalsze odległości. Kalkulacje gospodarczą przeprowadzono dla odległości 160, 320, 480, 640 i 960 km i dla napięć 230, 287, 315 i 345 kV.

Dwa podstawowe elementy w przeważającej mierze decydują o kosztach przesyłu: koszt samych linii oraz koszt urządzeń znajdujących się na ich krańcach. Właściwa proporcja długości

Tablica IV

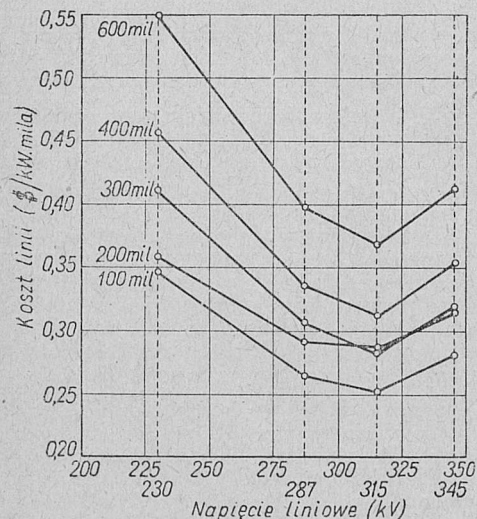
Napięcie (kV)	230	287	315	345
Przekrój przewodów stalowo-aluminiowych (mm ²)	443	536	644	684
Równoważny przekrój miedzi (mm ²)	278	337	405	430
Średnica przewodów (mm)	28	35,5	40,7	44,5
Liczba izolatorów w łańcuchu (szt.)	14	16	18	20
Odległość między przewodami w linii jedno-orowej (cm)	778	839	900	930
Odległość między przewodami w linii dwu-orowej (cm)	625	656	725	—

linii, wielkości krańcowych stacji transformatorowych i mocy możliwej do przesłania — w skali różnych napięć — daje gospodarstwo racjonalne rozwiązanie. Rodzaj przewodu jest tutaj elementem drugorzędny, koszty przesyłu mogą więc być wyrażone jedynie w funkcji napięcia i odległości.

W tabl. IV zestawione są ważniejsze dane linii dla rozpatrywanych napięć. Dla trzech niższych napięć przewidywano linie dwutorowe, dla napięcia zaś 345 kV linie jednotorowe, ponieważ bowiem linie dwutorowe 345-kilowoltowe przy wchodzących w grę odległościach przesyłu wypadła nadmierna. Tak na przykład przy odległościach do 160 km przelotność linii dwutorowej 345-kilowoltowej wypadła rzędu 1000 MW, co znacznie przekraczało przelotność 600 do 750 MW przy 315 kV.

Wyniki obliczenia kosztów inwestycyjnych ujęto w postaci krzywych, obrazujących te koszty (według cen 1950 r.) na 1 kW mocy przesyłanej i na 1 milę (1,6 km) odległości przesyłu (rys. 11).

Właściwym kryterium gospodarczym jest wysokość kosztów przesyłania energii. Zostały one obliczone w centach na 1 kWh



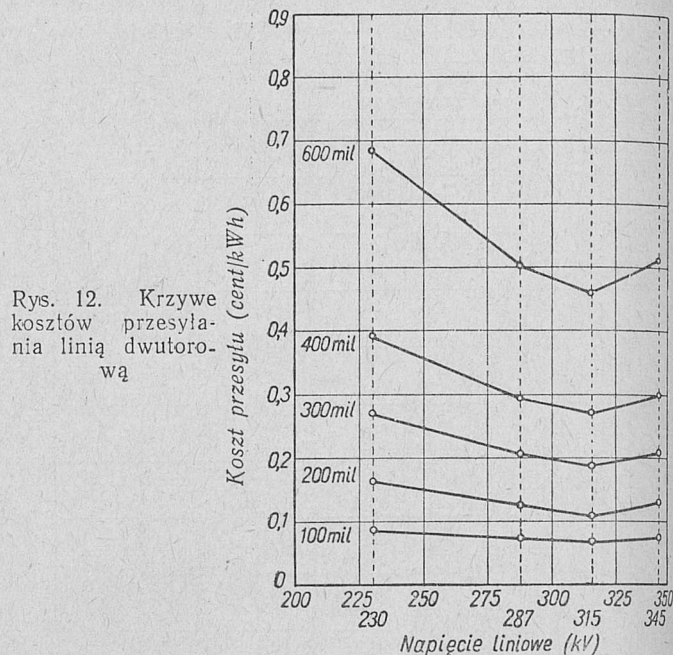
Rys. 11. Krzywe kosztów inwestycyjnych linii dwutorowych

przy założeniu stopy kosztów kapitałowych 13,75%, strat energii w wysokości 0,3 centa oraz kosztów zainstalowania mocy odpowiadającej stratom w wysokości 125 dol/kW (rys. 12).

Przebieg krzywych na ostatnich dwóch rysunkach przemawia wyraźnie za obraniem napięcia liniowego 315 kV.

b) Dane techniczne wykonywanych urządzeń. Rys. 13 przedstawia stalowo-aluminiowy przewód roboczy o przekroju 642 mm² równoważnym przekrojowi miedzi 404 mm². Wymaganą średnicę zewnętrzną 40,65 mm uzyskano

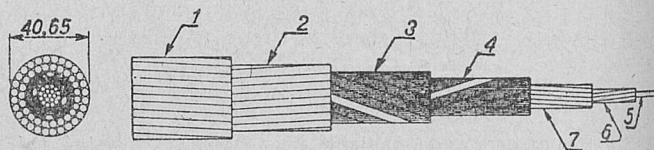
przez umieszczenie pomiędzy duszą stalową a opłotem aluminiowym dwóch warstw, złożonych z nasączonego papieru, skróconego w postaci sznurków: 12 w warstwie zewnętrznej, 8



Rys. 12. Krzywe kosztów przesyłania linią dwutorową

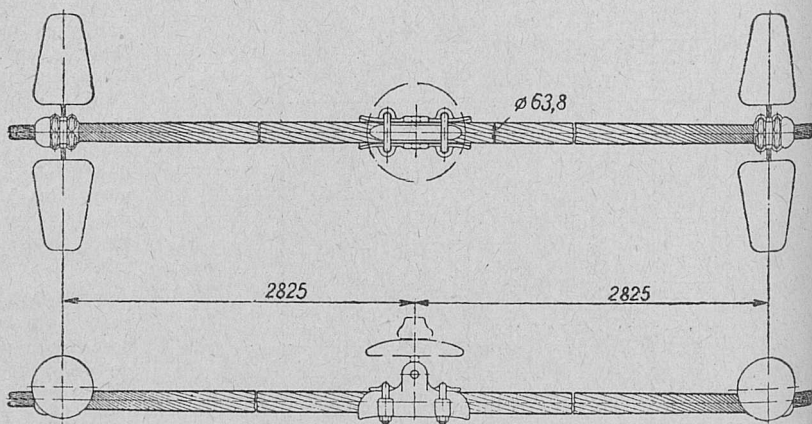
w wewnętrznej; poza tym w warstwie tę wpleciono po 2 druty aluminiowe dla wzmocnienia przewodu na ściskanie. Ciężar przewodu wynosi 2 kg/m, wytrzymałość na zerwanie 19 000 kG.

Przewody będą zabezpieczone od drgań przez ochronne oplecenie w miejscu zawieszenia skróconymi prętami zbrojeniowymi na długości 5,65 m oraz przez poprzecznie zawieszane tłumiki Stockbridge'a o długości 736 mm i wadze 11,3 kG (rys. 14).



Rys. 13. Przewód roboczy stalowo-aluminiowy o średn. zewn. 40,65 mm na napięcia 315 kV

1 — 28 × Ø 3,9 mm Al 3, 4 — 2 druty Al + papier 6 — 6 × Ø 2,2 mm Fe 2 — 22 × Ø 3,9 mm Al 5 — 1 × Ø 2,2 mm Fe 7 — 12 × Ø 2,2 mm Fe



Rys. 14. Zabezpieczenie przewodów od drgań (wymiar w milimetrach)

Linka odgromowa pojedyncza stalowo-aluminiowa o przekroju 80 mm².

Izolatory liniowe typu kołpakowego o średnicy 254 mm i wysokości 146 mm będą zawieszane po 18 szt. w łańcuchu.

W tabl. V zestawione są dane charakterystyczne dotyczące izolacji trzech linii bardzo wysokiego napięcia: linii Boulder Dam-Los Angeles na 287 kV, omawianej linii na 315 kV i szwedzkiej linii na 380 kV.

Tablica V

Napięcie znamionowe (kV)	287	315	380
Liczba izolatorów ($\emptyset$ 254, $h = 146$ mm)	21 ¹⁾	18	23 ¹⁾
Napięcie przeskoku na sucho przy częstotliwości przemysłowej (kV)	1100	965	940 ²⁾
To samo na mokro (kV)	780	690	760 ²⁾
Udarowe napięcie przeskoku (kV)	1825	1585	1560 ²⁾
Kąt ochronny	38°	33,5°	—
Odległość między przewodami:			
pionowa (cm)	747	656	—
pozioma (cm)	991	1086 ³⁾	1190

¹⁾ Liczba równoważna izolatorów typu $\emptyset$ 254/h = 146 mm.

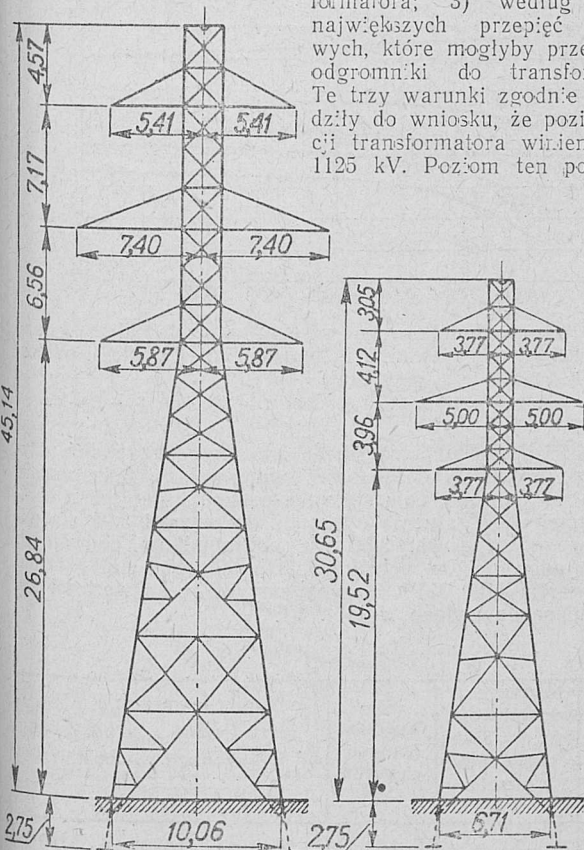
²⁾ Napięcie wytrzymałości, przeskoku nie ma.

³⁾ Między torami.

Siatki słupów przelotowych nowobudowanych linii na 315 kV oraz istniejących na 132 kV pokazane są na rys. 15. Całkowita wysokość słupa 45 m może być skrócona o 6 m, jeśli warunki terenowe na to pozwalają. Słupy będą ze stali nakręmionej (granica płynności 31,5 kG/mm²). Słupy przelotowe przewidziane są dla normalnej rozpiętości 335 m z kątem załamania trasy 5°, lub 520 m bez załamania. Oporność uziemienia słupów przewiduje się do 20 omów.

Wylłączniki na 315 kV będą typu małoolejowego, o dużej szybkości działania (w ciągu 3 okresów), do samoczynnego ponownego włączania (w ciągu 15 do 20 okresów), o mocy wyłączalnej 15 000 MVA. Tak znaczna moc, przewyższająca dwukrotnie obecne potrzeby, została ustalona z uwagi na przyszły rozwój układu. Rys. 16 podaje ważniejsze wymiary wyłącznika. Zbiorniki są kształtu soczewkowego.

Poziom izolacji transformatorów ustalono pod kątem widzenia: 1) poziomu zabezpieczenia przez odgromniki statyczne (typu zaworowego) przepięć o częstotliwości przemysłowej; 2) wartości napięcia przy jednoczesnej próbie kompletnego transformatora; 3) według wartości największych przepięć łączeniowych, które mogłyby przejść przez odgromniki do transformatorów. Te trzy warunki zgodnie doprowadziły do wniosku, że poziom izolacji transformatora winien wynosić 1125 kV. Poziom ten podniesiono



Rys. 15. Słupy linii na 315 i 132 kV (wymiar w metrach)

do 1175 kV, aby umożliwić ewentualną eksploatację sieci przy napięciu znamionowym 330 kV.

Budowa trzech pierwszych odcinków sieci 315-kilowoltowej jest już ukończona.

4. Rozbudowa szwedzkiej sieci na 380 kV*).

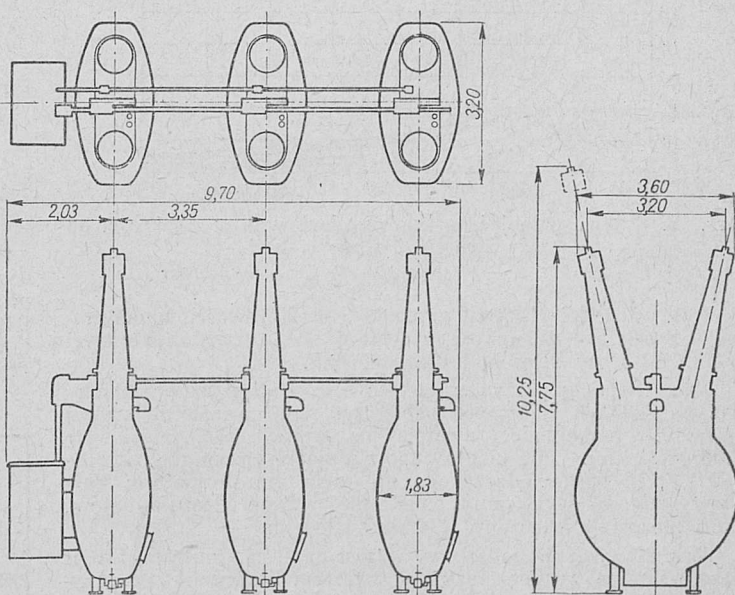
a) Dane ogólne. Szwedzką sieć najwyższego napięcia można zaliczyć do pierwszej grupy układów przesyłowych, o których była mowa na początku niniejszego artykułu. Szwedzkie linie na 380 kV mają wyraźnie charakter zasilowy i są o jednokierunkowym przepływie energii. Do eksploatacji weszły w 1952 r. na napięciu 380 kV.

Wobec bardzo znacznego wzrostu spożycia energii na południu kraju sieć przesyłowa, która zasila te obszary, będzie musiała być w ciągu najbliższych lat wzmocniona. Zdecydowano więc rozbudować linie 380-kilowoltowe ze środkowej Szwecji (okolice Sztokholmu) w kierunku południowym (Göteborg, Häl-singborg). Długość linii na 380 kV już wybudowanych lub znajdujących się w budowie wynosi ponad 2000 km, moc ogólna transformatorów 3500 MVA. Ponadto powstała już potrzeba wzmocnienia przesyłu energii z dalekiej północy do środkowej Szwecji, będzie więc wybudowana trzecia linia na 380 kV z północy na południe o długości 700 km; uruchomienie jej przewiduje się z końcem 1956 r.

Celem wzmocnienia przelotności linii przesyłowych o kierunku północ-południe przewiduje się szeregowe włączenie w linie 380-kilowoltowe kondensatorów, jak to już uczyniono w innych liniach. Zabieg ten pozwoli zwiększyć moc przesyłaną z 400 MW do ok. 800 MW. Pierwsza bateria kondensatorów o mocy 160 MVA będzie włączona do ruchu na 380 kV z końcem 1954 r.

Większość dotychczasowych transformatorów na 380 kV to jednostki jednofazowe. Nowa jednak centrala na dalekiej północy będzie wyposażona w transformatory 3-fazowe na 14/380 kV o mocy 100 MVA. Ciekawe, że gdy Anglicy przy budowie „super-gridu” ograniczają ciężar wielkich transformatorów względami transportu drogowego do 150 t (łącznie z wagą wchłuku), co daje przy 275 kV największą moc jednostki 3-fazowej 120 MVA, Szwedzi dopuszczają największy ciężar transformatorów 225 t. Rys. 17 przedstawia transport drogowy na specjalnie zbudowanej w tym celu platformie transformatora 1-fazowego na 110 MVA, 380/220/30 kV.

W budowie nowych linii 380-kilowoltowych będą poczynione pewne modyfikacje. Najważniejsza z nich to obniżenie poziomu izolacji z 1775 kV do 1500 kV. Poza tym z uwagi na zamierzone szerokie stosowanie w liniach 380-kilowoltowych kondensatorów szeregowych, prowadzone są studia dla zdecydowania, czy należy przewidywać w konstrukcji nowych linii zwiększenie w przyszłości przekroju przewodów. W nowych stacjach transformatorowych obniżenie napięcia z 380 kV na 132 kV będzie dokonane za pomocą autotransformatorów 1-fazowych w grupach 3 × 155 MVA, 380/132 kV. Przewody północnego odcinka linii na 380 kV będą służyły jako antena nadawcza dla audycji ra-



Rys. 16. Wylłącznik na 315 kV (wymiar w metrach)

diowych. W większości przypadków słupy nowych linii będą uziemione za pomocą ciągłej przeciwwagi.

b) Obniżenie poziomu izolacji. Dla pierwszych

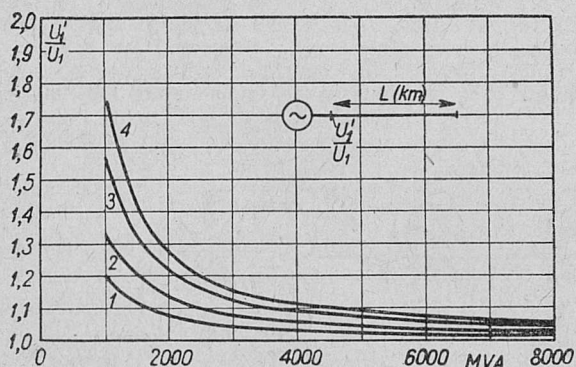
* Por. Przegl. Elektr., 1950, z. 4/5/6, str. 141 i 1952, z. 9, str. 359.



Rys. 17. Transport transformatora na 110 MVA, 380/220/30 kV

układów przesyłowych na 380 kV — z uwagi na przepięcia w stanach nieustalonych — uznano za konieczne przyjęcie bardzo wysokiego poziomu izolacji, a mianowicie 1775 kV. Jednak licząc na możliwość późniejszego obniżenia tego poziomu, gdy moce zwarcia w sieci wzrosną i gdy linie będą podzielone na odcinki krótsze. Obecnie, opierając się na studiach tego zagadnienia, zdecydowano obniżyć poziom izolacji w tych częściach sieci, które wejdą do ruchu poczynając od końca 1954 r.

Przepięcia w stanach nieustalonych, które następują po wyłączeniu linii na jednym z jej krańców, zostały obliczone w funkcji długości linii i mocy zwarcia na szynach zbiorczych na odejściu linii. Obliczenia te były dokonane w założeniu, że obciążenie linii przed wyłączeniem wynosiło 400 MW. Należy dopuścić dość znaczną redukcję wyższej napięcia, spowodowaną nasyceniem transformatora w stanie jałowym, który pozostaje przyłączony na przyjęciu linii, gdy wyłączenie na tym krańcu następuje po wtórnej stronie transformatora.



Rys. 18. Krzywe przepięć na krańcu odsyłowym w zależności od mocy zwarcia i długości linii

1 — 200 km; 2 — 400 km; 3 — 600 km; 4 — 700 km

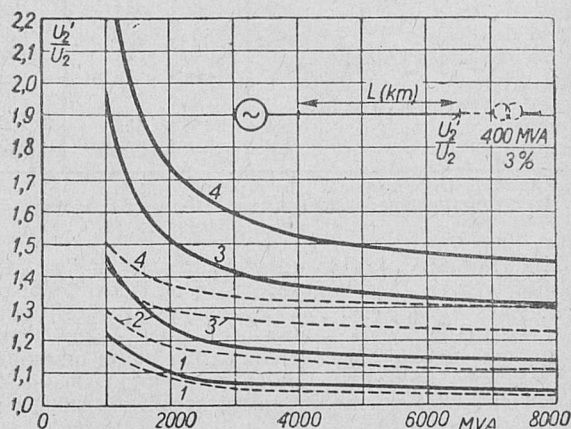
Rys. 18 podaje krzywe przepięć o częstotliwości przemysłowej na szynach zbiorczych odsyłowej stacji transformatorowej w funkcji mocy zwarcia i długości linii.

Rys. 19 podaje krzywe przepięć o częstotliwości przemysłowej na szynach zbiorczych odbiorczej stacji transformatorowej również w funkcji mocy zwarcia (na szynach stacji odsyłowej) i długości linii. Linie ciągle odpowiadają wyłączeniu po stronie 380 kV, tj. bez przyłączonego na końcu transformatora; linie przerywane — wyłączeniu po stronie wtórnej transformatora, który pozostaje włączony w stanie jałowym.

Rys. 20 pokazuje dodatkowy wzrost napięcia (o częstotliwości przemysłowej) zdrowej fazy na otwartym krańcu linii w przypadku jednofazowego zwarcia z ziemią w najbardziej niekorzystnym miejscu.

Poziom izolacji ustala się na podstawie danych odgromników. Dla określenia największego napięcia o częstotliwości przemysłowej, które posłużą za podstawę do wyboru poziomu izolacji, konieczne jest znalezienie najbardziej niekorzystnej kombinacji znacznej długości linii oraz małej mocy zwarcia, kombi-

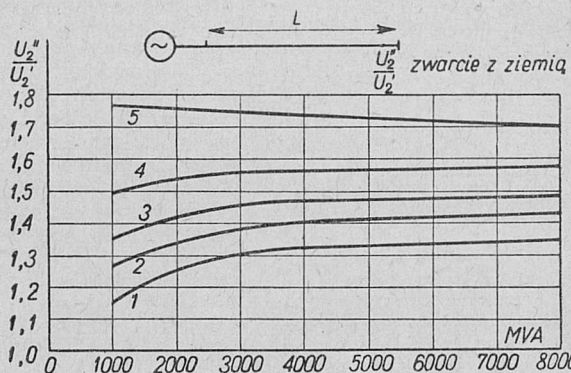
nacji jaka może zdarzyć się w praktyce eksploatacyjnej. Kombinację tę daje długość 700 km i moc 1700 MVA. W tym przypadku na stacji odsyłowej występuje 130% napięcia roboczego, gdy w sieci nie ma żadnego uszkodzenia, oraz 150%, gdy jest zwarcie z ziemią. Dla transformatora w stanie jałowym, przyłączonego na odbiorczym krańcu linii, analogiczne wartości napięcia wynoszą 139% i 160%, dla otwartego zaś krańca linii 180% i 305%.



Rys. 19. Krzywe przepięć (na stacji odbiorczej) w zależności od mocy zwarcia i długości linii

1 — 200 km; 2 — 400 km; 3 — 600 km; 4 — 700 km

Napięcie gaszenia odgromników powinno być wyższe od obliczonych wyżej napięć o częstotliwości przemysłowej. Napięcia te zostały określone dla największej wartości napięcia roboczego 400 kV, które powiększono o 5% z uwagi na skutki wzrostu



Rys. 20. Krzywe dodatkowego wzrostu napięcia zdrowej fazy w zależności od mocy zwarcia i długości linii (na stacji odbiorczej)

1 — 200 km; 2 — 400 km; 3 — 500 km; 4 — 600 km; 5 — 700 km

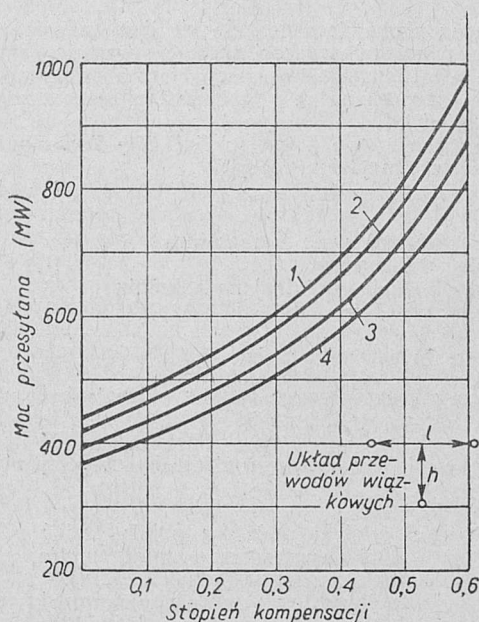
częstotliwości itd. W najbardziej niekorzystnym przypadku przyjęto wartość prądu płynącego przez odgromnik 8 kA i stromość 5 kA/μs. Przy tym założeniu stosunek pomiędzy napięciem obniżonym i napięciem gaszenia odgromników wynosi 3,95 dla odgromników pojedynczych, 3,50 dla odgromników podwójnych i 3,30 dla odgromników potrójnych. Dla długości linii 700 km i mocy zwarcia 1700 MVA otrzymujemy wówczas wartości napięcia obniżonego podane w tabl. VI.

Tablica VI

Przypadek	Napięcie o częstotliwości przemysłowej względem ziemi (kV)	Największe napięcie gaszenia (kV)	Napięcie obniżone (kV) przy liczbie odgromników włączonych równolegle		
			1	2	3
A	347	365	1440	1280	1210
B	370	388	1530	1360	1280
C	705	740	2920	2590	2440

Przypadek A dotyczy stacji transformatorowej na krańcu odsyłowym, przypadek B na tejże stacji przy włączonym na końcu transformatorze w stanie jałowym, przypadek C przy linii

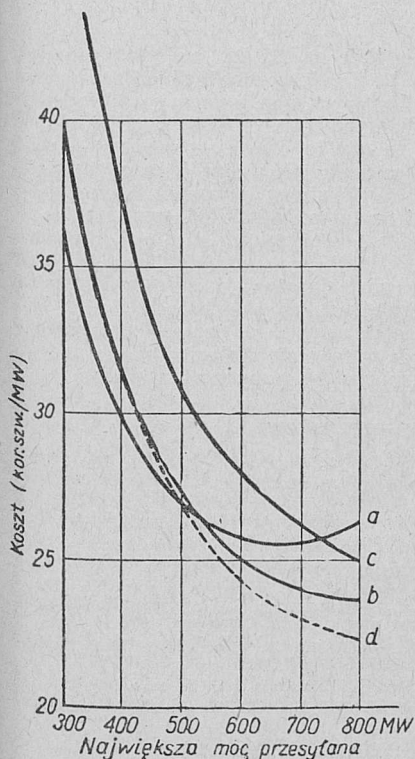
kompletnie otwartej na końcu. Ponieważ można założyć, że przypadek B będzie się zdarzał w praktyce eksploatacyjnej — przynajmniej w początkowym okresie, przyjęto go jako punkt wyjściowy przy wyborze poziomu izolacji. Dane przypadku C są zbyt wysokie, aby brać je pod uwagę.



Rys. 21. Przelotność linii 380-kilowoltowej w zależności od stopnia kompensacji

1 — $3 \times 592 \text{ mm}^2$, $l = 45 \text{ cm}$, $h = 70 \text{ cm}$ 3 — $2 \times 755 \text{ mm}^2$, $l = 70 \text{ cm}$
2 — $3 \times 592 \text{ mm}^2$, $l = 45 \text{ cm}$, $h = 40 \text{ cm}$ 4 — $2 \times 592 \text{ mm}^2$, $l = 45 \text{ cm}$

Przy ustalaniu poziomu izolacji należy dodać do napięcia obniżonego pewną wartość z uwagi na odległość pomiędzy elementem chronionym a odgromnikiem. Odgromniki podwójne będą zainstalowane w odległości 20 m od transformatorów. Poza



Rys. 22. Zależność rocznych kosztów przesyłania od największej mocy przesyłanej

a — $2 \times 592 \text{ mm}^2$
b — $2 \times 755 \text{ mm}^2$
c — $3 \times 592 \text{ mm}^2$
d — $3 \times 592 \text{ mm}^2$ (słupy jak dla a)

tym dwa zespoły odgromników będą przyłączone do głównych szyn zbiorczych. Obliczenia wykazały, że poziom izolacji 1500 kV dla transformatorów i stacji jest uzasadniony ze względów gospodarczych.

Zdecydowano zachować dotychczasową klasę izolacji 1775 kV w stosunku do wyłączników oraz transformatorów prądowych i napięciowych.

Omówione obniżenie poziomu izolacji zmniejsza o $\sim 8\%$ kosztą stacji, zawierającej dwie grupy transformatorów (jednofazowych) oraz 3 odcinka linii 380-kilowoltowej.

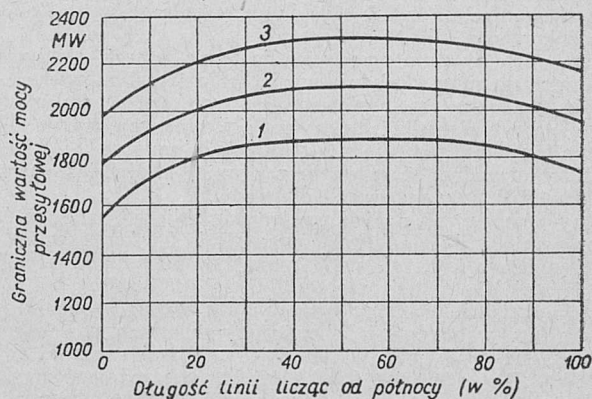
c) Zastosowanie potrójnych przewodów wiązkowych. W istniejących liniach na 380 kV zastosowano stalowo-aluminiowe przewody wiązkowe bliźniacze $2 \times 592 \text{ mm}^2$). Obliczenia wykazały, że ten rodzaj przewodów jest gospodarczo najkorzystniejszy przy obciążeniach przewidywanych w okresie najbliższych 10 lat.

Zastosowanie kondensatorów szeregowych w liniach 380-kilowoltowych znacznie wzmoże ich przelotność. Z tego względu rozpoczęto studia mające na celu wyjaśnienie, czy byłoby słuszne przy projektowaniu nowych linii na 380 kV przewidywać powiększenie w przyszłości przekroju przewodów.

Przewiduje się, że moc, która będzie musiała być przesyłana z północy na południe Szwecji, będzie rzędu 6500 MW, z czego 5500 MW będzie przesyłane liniami 380-kilowoltowymi. Jak już wspomniano, zastosowanie kondensatorów szeregowych wzmoże przelotność linii z 400 MW do ~ 800 MW. W końcowym etapie sieć będzie zawierała 8 linii na 380 kV licząc, że jedna z nich będzie w rezerwie.

Zrobiono porównanie gospodarcze kilku typów linii zaopatrzonej w różne przewody. Przyjęto, że przelotność linii będzie się zmieniała w zależności od stopnia kompensacji według krzywych na rys. 21. Wyniki porównania przedstawia rys. 22, na którym krzywe podają zależność rocznych kosztów przesyłania od największej mocy przesyłanej.

Wymagana przelotność będzie mniejsza w początkowym okre-



Rys. 23. Graniczne wartości równowagi dynamicznej przy 3-fazowym zwarciu w linii 220-kilowoltowej dla różnych miejsc zwarcia

1 — dwie linie 380-kilowoltowe
2 — trzy linie 380-kilowoltowe
3 — cztery linie 380-kilowoltowe

sie eksploatacji, wydaje się więc, że najkorzystniejszym rozwiązaniem będzie zastosowanie w tym okresie przewodów wiązkowych podwójnych $2 \times 592 \text{ mm}^2$ (krzywa a), a następnie przejście na przewody wiązkowe potrójne $3 \times 592 \text{ mm}^2$ (krzywa d). Można przypuszczać, że da się to uczynić na tych samych słupach. Gdyby nawet zaszła potrzeba częściowego wzmocnienia słupów, pociągnęłoby to za sobą umiarkowane wydatki (nieznaczne podwyższenie krzywej d).

d) Wpływ kosztów przerw w ruchu na budowę sieci. Sieć elektryczna może być zbudowana z większym lub mniejszym stopniem bezpieczeństwa zapewniając ciągłość dostawy energii. Wybór stopnia bezpieczeństwa zależy od wagi, którą się doń przywiązuje, i od wysokości rocznych kosztów eksploatacyjnych dla różnych stopni bezpieczeństwa. W rozbudowie szwedzkich sieci bardzo wysokich napięć brane są pod uwagę koszty przerw w ruchu. Ciekawą rzeczą z punktu widzenia metody obliczeń będzie poznanie, które z rozwiązań przy projektowaniu jest gospodarczo korzystniejsze, gdy ciągłość ruchu jest również brana w kalkulacji pod uwagę.

Praktycznie rzecz biorąc, nie jest możliwe wybudowanie urządzenia przesyłowego ze stuprocentowym stopniem bezpieczeństwa eksploatacji. Należy więc spróbować obliczyć wysokość kosztów przerw w ruchu i inwestować w urządzeniach tyle pieniędzy, ile jest to gospodarczo uzasadnione pod kątem widzenia zmniejszenia częstości zakłóceń ruchowych. Czynniki, które wchodzi do obliczeń, są to koszty inwestycyjne i straty normalnego

ruchu — z jednej strony oraz liczba przewidywanych zakłóceń i ich koszt — z drugiej strony.

Jak wiemy, w Szwecji istnieje konieczność przesyłania wielkich ilości energii z północy na południe kraju. Jest to dokonywane za pomocą linii 380- i 220-kilowoltowych. Jako napięcia zbiorcze i rozdzielcze stosuje się 132 i 77 kV. Wszystkie sieci elektroenergetyczne w Szwecji są ze sobą połączone.

Sieć 220-kilowoltowa obejmująca ok. 30 siłowni i ok. 4000 km linii, wykazuje średnio 40 zakłóceń rocznie. Połowa z tych zakłóceń jest wywoływana uderzeniami pioruna w linie, druga połowa różnymi innymi przyczynami. 50% zakłóceń jest jednofazowych, 25% — dwufazowych, 25% — trójfazowych.

Wszystkie linie na 220 kV mają linki odgromowe. Częstość zakłóceń wywoływanych przez piorun wynosi ok. 0,45 na 100 km i na rok.

Pewna sieć 132-kilowoltowa o rozciągłości ok. 1200 km wykazuje średnio 50 do 60 zakłóceń rocznie. Sieć jest zaopatrzona w cewki Petersena, słupy są w zasadzie drewniane bez linek odgromowych. 20 do 25% zakłóceń jest jednofazowych, 75 do 80% dwu- i trójfazowych. Częstość zakłóceń wywołanych przez piorun wynosi ok. 2,6 na 100 km i na rok.

Zakłócenia w szwedzkiej sieci bardzo wysokiego napięcia, które powodują skutki u odbiorców, odpowiadają zazwyczaj spadkowi częstotliwości ponad 1,0 Hz i wyłączeniu mocy od 70 do 150 MW. Średnia moc wyłączenia sieci 220-kilowoltowej odpowiada mocy 100 MW i energii 20 000 kWh. Dla sieci 132-kilowoltowej wielkości te wynoszą od 5 do 10 MW i do 1000 kWh.

Cena energii elektrycznej w Szwecji waha się dla przemysłu od 0,02 do 0,07 kor. szw./kWh zależnie od wielkości mocy i czasu użytkowania; dla celów użytku domowego cena wynosi od 0,10 do 0,15 kor. szw./kWh.

Oczywiście, koszt przerwy w dostawie energii elektrycznej dla przemysłu mają decydujące znaczenie i to tym większe, im wartość produktu przemysłowego jest większa w stosunku do zużycia przy tym energii elektrycznej. Uznano za celowe kalkulowanie tych kosztów z jednej strony jako ceny w kor. szw./kW przy krótkotrwałych przerwach, z drugiej strony jako ceny w kor. szw./kWh przy przerwach dłuższych.

Przy pomocy ankiety i odpowiednich obliczeń ustalono średnie wartości tych cen jak następuje: 0,5 do 0,6 kor. szw./kW dla każdej przerwy krótszej niż 3 min., 1,0 do 1,2 kor. szw./kWh jako dodatek dla każdej przerwy dłuższej niż 3 min.

Zachodzą duże wahania tych cen dla różnego rodzaju przemysłów, np. w przemyśle chemicznym wynoszą one zaledwie 0,25 kor. szw./kWh, gdy w fabrykach mechanicznych aż 5 kor. szw./kWh. Dla odbiorów średnich i małych ustalono następujące ceny: 0,5 kor. szw./kW dla każdej przerwy dłuższej niż 3 min., 1,0 kor. szw./kWh jako dodatek dla przerwy dłuższych.

Mając na uwadze powyższe liczby obliczono, że średni koszt zakłócenia wywołanego przez piorun w sieci 220-kilowoltowej jest równoważny sumie 70 000 kor. szw., w sieci zaś 132-kilowoltowej od 3000 do 6000 kor. szw.

Spożycie energii elektrycznej w Szwecji wzrasta przeciętnie o 6,5% rocznie. Potrzeba nowych linii przesyłowych z północy na południe może być przewidziana bez większych trudności. Zostało wprowadzone napięcie 380 kV. Chodzi jednak o to, aby określić czas, w którym korzyści gospodarcze nowej linii zrównoważą jej roczne koszty eksploatacyjne.

Rys. 23 przedstawia krzywe granicznych wartości równowagi dynamicznej (wielkości mocy przesyłanej) przy trójfazowym zwarciu metalicznym w jednej z linii „północ-południe” na 220 kV dla różnych miejsc zwarcia. Krzywe są ważne dla stanu rozbudowy, gdy w ruchu znajduje się sześć linii 220-kilowoltowych oraz 2, 3 lub 4 linie 380-kilowoltowe. Czas wyłączenia 0,15 sek. Zakłada się stałe obciążenie sieci w wysokości 1800 MW. Z rysunku wynika, że ryzyko wypadnięcia z synchronizmu jest całkowicie wyeliminowane przy czterech liniach na 380 kV. Krzywe dotyczą zwarć 3-fazowych w liniach zarówno na 220 kV, jak i na 380 kV. Skutki zwarć 1-fazowych i 3-fazowych nie są tu rozróżniane. Roczna częstość zakłóceń wskutek zwarć 3-fazowych w linii 220-kilowoltowej wynosi 0,5, dla linii zaś 380-kilowoltowej jest szacowana na 0,1. Ryzyko wypadnięcia sieci z synchronizmu maleje zgodnie z rys. 23 poczynając od

położenia zwarcia w 25% długości linii w przypadku dwóch linii 380-kilowoltowych, do 5% przy trzech liniach i do 0% przy czterech liniach 380-kilowoltowych. Według przyjętych założeń trzecia linia 380-kilowoltowa zmniejsza o 0,25 (0,5·0 + 0,1·2) — 0,05 (0,5·6 + 0,1·3) $\cong$ 0,6 liczbę wypadnięć z synchronizmu rocznie.

Do bilansu ekonomicznego nowych linii wchodzi — poza wartością zwiększenia pewności ruchu — wartość zmniejszenia strat czynnych i zwiększenia mocy biernej osiągalnej na południu kraju (moc bierna na północy jest zero) oraz koszty linii, aparatury, celek itd.

Bilans ekonomiczny dla trzeciej linii 380-kilowoltowej przedstawiałyby się zatem jak następuje:

	Mln. kor. szw. rocznie	
Nowa linia (500 km) wraz z aparaturą	1,4	4,3
Zmniejszenie strat czynnych		
Wzrost mocy biernej osiągalnej na południu kraju	0,8	2,2
Wartość wzrostu pewności ruchu		2,1

Aby więc z gospodarczego punktu widzenia było uzasadnione budowanie trzeciej linii na 380 kV, potrzeba, żeby koszt za-

$$\text{klócenia i wypadnięcia z synchronizmu był większy niż } \frac{2,1}{0,6} = 3,5 \text{ mln. kor. szw.}$$

Przy bardziej ścisłym rachunku należy wziąć pod uwagę zwarcia jedno- i dwufazowe, zmiany obciążenia i czas wyłączenia. Zasady obliczenia pozostają jednak te same.

W podobny sposób można ustalić gospodarcze kryterium konieczności rozbudowy również linii na 220 i 132 kV, a także sieci niższych napięć, aż do lokalnych sieci rozdzielczych włączając.

za pomocą tejże metody można dokonać obliczeń gospodarczego uzasadnienia pewnych konstrukcyjnych rozwiązań dotyczących linii, podstacji i elektrowni. Tak np. obliczono, że dla warunków szwedzkich stosowanie linek odgromowych w liniach 132-kilowoltowych nie znajduje gospodarczego uzasadnienia, gdyż koszt jednego zakłócenia wskutek uderzenia pioruna musiałby wynosić średnio 22 000 kor. szw., natomiast, jak wspomniano wyżej, wynosi on dla tych linii zaledwie od 3000 do 6000 kor. szw.

Inny przykład: szwedzkie linie na 220 kV mają słupy portallowe i linki odgromowe są tam umieszczone bądź bezpośrednio na trawersie, bądź na przedłużonych nad trawersą wieżyczkach. Kąt ochronny w pierwszym przypadku wynosi 50 do 55°, w drugim 30 do 40°. Obliczono, że aby to drugie — droższe — rozwiązanie było gospodarczo uzasadnione, koszt jednego zakłócenia w linii 220-kilowoltowej powinien wynosić co najmniej 270 000 kor. szw., a wynosi on tylko 70 000 kor. szw. Montowanie więc linek odgromowych na wieżyczkach nie jest gospodarczo uzasadnione.

Inne obliczenie w świetle gospodarczych korzyści wykazuje, że jeśli chcemy zwiększyć bezpieczeństwo eksploatacji linii z linkami odgromowymi, to lepiej uczynić to przez zmniejszenie oporności uziemień niż przez wzmocnienie izolacji linii.

Podobnych przykładów można by przytoczyć wiele.

SPIS REFERATÓW

- Sporn Ph. Travaux du Comité International d'Études Nr 9 concernant le transport par courant alternatif à très hautes tensions. (Ref. 407).
- Sayers D. P., Cash P. W. Les bases du développement des très hautes tensions en Grande-Bretagne. (Ref. 401).
- Lane F. J., Gibbons A. J. Caractéristiques du réseau britannique de transport à 275 kV. (Ref. 229).
- Sporn Ph., St. Clair H. P., Peterson E. L. Réseau de transport à 330 kV de l'American Gas and Electric Company. (Ref. 402).
- Rusek A., Rathsmann B. G., Jancke G. Le réseau suédois à 380 kV. (Ref. 404).
- Lalander S., Söndström U. Les frais relatifs aux incidents de service et leur influence sur la construction des réseaux et des centrales électriques. (Ref. 329).

Kościem i siłą napędową naszych przeobrażeń rewolucyjnych był i jest sojusz robotniczo-chłopski, którego przewodniczką jest klasa robotnicza.

B. BIERUT

DR INŻ. M. MAZUR

Nowe idee w elektrotermii

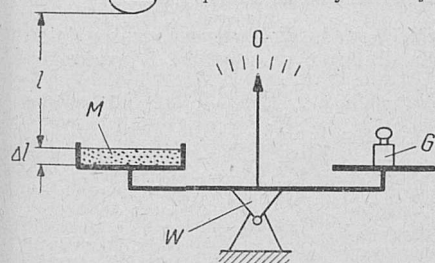
W ramach współpracy kulturalnej z Czechosłowacją bawił w Polsce w listopadzie 1953 r. dr Zdeněk Ryska, docent Politechniki Praskiej, wybitny elektrotermik czechosłowacki. Z jego udziałem odbyły się w Politechnice Warszawskiej (katedra grzejnictwa elektrycznego), w Instytucie Elektrotermiki (Zakład elektrotermii) i w Politechnice Łódzkiej (Zakład grzejnictwa elektrycznego) konferencje, których tematem była wymiana poglądów na programy nauczania i postępy osiągnięte w obu krajach w zakresie elektrotermii. Ponadto dr Ryska wygłosił w Warszawie i Łodzi odczyty, poświęcone grzejnictwu elektrycznemu i elektrotermometrii.

Tematem pierwszego odczytu p. t. „Przemysłowe zastosowanie promieniowania podczerwonego” było głównie zagadnienie dostosowania własności promienników do własności suszonego materiału, przy czym dr Ryska omówił własną metodę określania najkorzystniejszych warunków suszenia promiennikowego. Temat wzbudził znaczne zainteresowanie, gdyż nad rozwiązaniem omawianego zagadnienia pracuje się u nas od dwóch lat, stosując jednak inną metodę.

Zasada metody dr Ryski jest następująca. Wychodząc z założenia, że w przemianie energii promienistej w ciepłą istotną rolę odgrywają zjawiska rezonansu między długością fali promieniowania a własnościami naprominianego materiału, opracowano układ pomiarowy, którego działanie objaśnia rys. 1.

Zródłem promieniowania jest promiennik lampowy P_r , którego prąd i napięcie mierzą przyrządy A i V . Na jednej szalce wagi zerowej W mieści się próbka materiału M , na drugiej — odważnik G . Próbkę M ma grubość warstwy Δl (w zastosowaniu oryginalnym materiałem badanym były ziarna zbożowe).

Po doprowadzeniu wskazówki wagi do położenia zerowego włącza się promiennik pod napięcie. W miarę odparowywania wilgoci z próbki należy zmniejszać ciężar odważników



Rys. 1. Układ do pomiaru ubytku wilgoci przy suszeniu promiennikowym

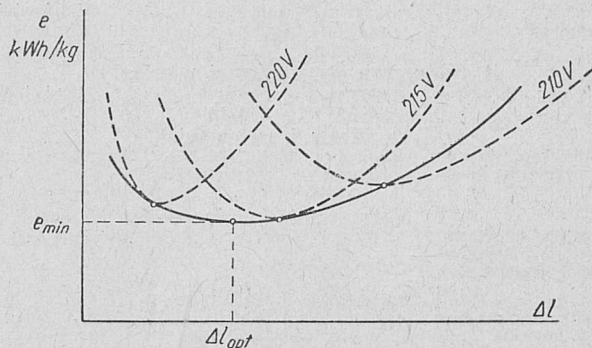
G tak, żeby wskazówka wagi pozostawała stale w położeniu zerowym, tzn. żeby odstęp l promiennika od powierzchni próbki nie ulegał zmianie w czasie pomiaru. Nagrzewanie przerywa się, gdy ważenie wykaże określony ubytek wilgoci (np. w zastosowaniu oryginalnym 3%) i oblicza się zużycie energii w kWh/kg próbki.

Powtarzając próbę, przy niezmiennym napięciu, dla różnych grubości warstwy Δl i obliczając zużycie energii na 1 kg dla każdej wartości Δl , otrzymuje się przebieg wykazujący minimum (krzywe kreskowe na rys. 2). Powtarzając pomiary przy innych wartościach napięcia zasilania promiennika, otrzymujemy rodzinę podobnych krzywych, przedstawiających zależność zużycia energii (w kWh/kg) od grubości warstwy materiału (cm). Łącząc minima tych krzywych otrzymuje się krzywą (linia ciągła na rys. 2), pozwalającą określić, przy jakim napięciu jednostkowe zużycie energii jest najmniejsze i jaka powinna być wówczas grubość warstwy materiału. Wpływ napięcia tłumaczy się tym, że z jego zmianą zmienia się temperatura żarnika, a więc również rozkład długości fali promieniowania, co zwiększa lub zmniejsza wpływ zjawisk rezonansowych w naprominianym materiale.

Niewątpliwą zaletą opisanej metody jest jej prostota i bezpośrednia przydatność w przemyśle w doraźnym zastosowaniu do określonego materiału.

W związku z powyższym odczytem prelegent zapoznał się z zasadą badań prowadzonych w Zakładzie Elektrotermii Instytutu Elektrotermiki, a zmierzających do podobnego celu. Badania Instytutu polegają na mierzeniu przezroczystości materiałów dla promieniowania wysyłanego przez promienniki w zależności od grubości warstwy i zmierzają do ustalenia zależności między sprawnością i prędkością suszenia promiennikowego oraz analitycznego określenia wpływu poszczególnych czynników na tę zależność.

Z innych spraw, poruszonych przez prelegenta w odczycie bądź w dyskusji, należy wymienić zastosowanie pola elektrostatycznego przy lakierowaniu powłok na podłożu metalowym oraz — co zasługuje na szczególną uwagę — suszenie oporowe włókien. Dotychczas stosowane suszenie włókien, polegające na przewijaniu ich na dwóch nagrzanach walcach metalowych, jest kłopotliwe i długotrwałe, a suszenie promiennikowe wykazuje zbyt małą sprawność z powodu istnienia szczelin między poszczególnymi nitkami. Przy suszeniu oporowym (bezpośrednim) walce metalowe (nie nagrzane) znajdują się pod napięciem, przy czym prąd płynie przez suszone włókna, rozpięte na tych walcach. W miarę odparowywania wilgoci oporność elek-



Rys. 2. Zależność zużycia energii od grubości próbki i napięcia zasilającego przy suszeniu promiennikowym

tryczna włókien wzrasta, co praktycznie doprowadza wreszcie do przerwania przepływu prądu. Jak widać, proces ma charakter samoregulacyjny, nie zachodzi więc obawa przepalenia włókien.

Drugi odczyt dr Ryski p. t. Mierzenie temperatur szybkozmiennych” był poświęcony zastosowaniu pirometrów fotoelektrycznych do mierzenia i regulacji temperatury. Pirometry fotoelektryczne wykazują najkrótszy czas działania spośród stosowanych w technice termometrów. Dr Ryska, opierając się na tej ich właściwości, opracował prototyp przyrządów (obecnie produkowanych już w Czechosłowacji), przeznaczonych do mierzenia szybkozmiennych temperatur powierzchniowych, z zastosowaniem siarczku ołowiu (dla niższych temperatur) bądź cedu (dla wyższych temperatur), w komórce fotoelektrycznej, stanowiącej istotny element przyrządu. Czas działania wynosi od 0,5 do 20 ms, dokładność zaś $\pm 2^\circ\text{C}$ (przy 1000°C). Odczyt był zilustrowany przezroczymi przedstawiającymi, w ujęciu rysunkowym bądź fotograficznym, zastosowania pirometru fotoelektrycznego do mierzenia temperatur w piecach indukcyjnych (w tym również próżniowych), nagrzewnicach do hartowania i lutowania oraz innych celów.

Odczyty dr Ryski, na których prelegent zetknął się z profesurą i studentami kierunku grzejnictwa elektr. na wydziale elektrycznym Politechniki Warszawskiej oraz z pracownikami naukowymi Zakładu Elektrotermii Instytutu Elektrotermiki, były uzupełnione szczegółową dyskusją, w której — co należy podkreślić — duży udział wzięli przedstawiciele różnych gałęzi przemysłu, zainteresowanych w korzystaniu z procesów elektrotermicznych. Pobyt dr Ryski w Polsce wykazał doniosłość bezpośredniego kontaktu między specjalistami z różnych krajów, należałoby więc dążyć do wzmocnienia tego rodzaju współpracy.

Uprzemysłowienie Polski — oto ta niewzruszona opoka, na której oparte zostały fundamenty socjalizmu w naszym kraju.

B. BIERUT

PRZEGLĄD CZASOPISM

ZASTOSOWANIE ELEKTRONIKI W PRZEMYŚLE

Kaganow I. L. Primenienie elektroniki w promyslenosti (Elektrichestwo, 1953, 7, str. 27—40)

Autor rozpatruje pracę kilku najbardziej typowych układów elektronowych, które odgrywają dziś przodującą rolę w rozwoju automatyzacji procesów produkcyjnych dzięki cechującej je małej bezwładności i łatwości przekształcania różnorodnych wielkości nieelektrycznych na wielkości elektryczne. Zakres stosowania elektroniki, bynajmniej nie wyczerpujący, można ująć w formie następującego zestawienia:

KLASYFIKACJA ZASTOSOWANIE ELEKTRONIKI W PRZEMYŚLE

- | | | |
|---|---|---|
| Przebiegnienniki
(częstotliwości) | 1) Przekształcanie prądu
Falowniki | Prostowniki |
| Kaskady zaworowe | 2) Napęd elektryczny
Z silnikami prądu zmiennego | Z silnikami prądu stałego |
| Urządzenia sterownicze odległościowe | 3) Napęd sterowaniem odwzorującym
Obrabiarki kopiujące z fotokomórkami | Obrabiarki kopiujące z czujnikami elektrycznymi |
| Urządzenia wibracyjne | 4) Sterowanie spawaniem i wibratory
Przerywacze spawania punkowego i ciągłego | Przełącznik kolejności operacji |
| Mikrokontrola i sortowanie wyrobów | 5) Kontrola i sortowanie
Kontrola składu chemicznego i czystości substancji | Kontrola cieplna |
| Indukcyjne nagrzewanie metali, półprzewodników i dielektryków | 6) Nagrzewanie indukcyjne
Piecze hutnicze | Spawanie metali |
| Stabilizatory prądu i napięcia | 7) Regulatory i stabilizatory
Regulatory prądu i napięcia | Regulatory temperatury, prędkości itd. |
| Przełączniki napięciowe, prądowe, czasowe i częstotliwościowe | 8) Technika przełącznikowa i urządzeń do liczenia
Urządzenia liczące o działaniu ciągłym | Urządzenia liczące o działaniu przerywanym |
| Elektrochowe przyrządy pomiarowe i oscylografy | 9) Mierniki i analizatory
Mikroskopy elektroniczne i spektroskopy | Rentgenowska analiza struktury i defektoskopia |
| Katodowe rozpylanie metali | 10) Obróbka elektroforezyjna
Elektroerozyjna obróbka metali | Elektroforezyjne pokrywanie metali |

Niniejsze streszczenie ogranicza się głównie do zastosowania elektroniki w napędzie elektrycznym, który — zależnie od rodzaju maszyny napędzanej i silnika napędowego — stawia różnorodne wymagania układowi zasilającemu i sterowniczemu.

Najczęściej wymaga się od napędu: 1) zapewnienia stałej prędkości wirowania silnika napędowego niezależnej od zmian obciążenia i wahań napięcia lub częstotliwości w sieci zasilającej; 2) umożliwienia regulacji prędkości w szerokim zakresie w celu stworzenia najkorzystniejszych warunków pracy maszyny napędzanej. Oba te warunki mogą być spełnione w układach napędowych ze sterowaniem elektronowym przy zastosowaniu silników prądu zarówno stałego, jak i zmiennego.

W układach przetwarzających i regulacyjnych małej mocy stosuje się tyratrony, prostowniki stykowe i lampy elektronowe, przy dużej mocy — prostowniki rтсiowe zaworowe.

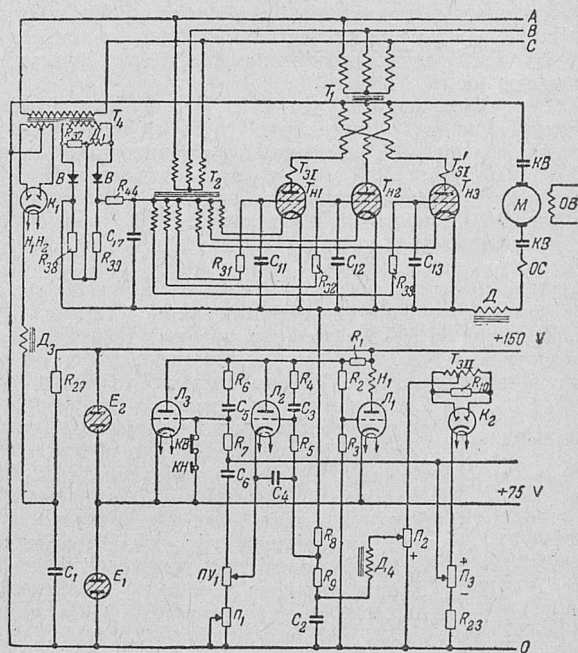
Dla małych mocy (do 3—5 kW) radziecki instytut naukowo-badawczy ENIMS opracował układy napędowe z silnikami prądu stałego, zasilanymi z układów prostownikowych jedno- lub wielofazowych z regulacją systemu ELIR.

Na rys. 1 przedstawiono uproszczony schemat napędu wyposażony w 3-fazowy układ prostownikowy zasilający silnik. Napięcie wyprostowane przez tyratrony T_{H1} , T_{H2} i T_{H3} reguluje się przy pomocy siatek. Układ sterowania siatkami tyratronów składa się z 3-fazowego transformatora T_2 , dostarczającego do siatek napięcie zmienne o stałej amplitudzie, przesunięte względem napięcia anodowego tyratronów o kąt 90°, oraz z układu mostkowego (transformator T_4 , dławik D_1 , oporniki R_{37} , R_{38} , i R_{39} , prostowniki B , B), dostarczającego składową stałego napięcia siatkowego.

Napięcie stałe na wyjściu układu mostkowego jest regulowane przy pomocy dławika D_1 , którego rdzeń jest magnesowany prądem stałym, płynącym w jednym z jego uzwojeń H_1 . Wartość prądu w tym uzwojeniu warunkuje wartość kąta zapłonu tyratronów, a więc i wartość średniego napięcia wyprostowanego

oraz prędkość wirowania silnika. Gdy prąd w uzwojeniu H_1 dławika wzrasta, maleje kąt zapłonu tyratronów, napięcie zaś wyprostowane i prędkość obrotowa silnika wzrastają.

Regulacja prądu w uzwojeniu H_1 , tzn. prądu nasycającego dławik, odbywa się w układzie elektronowym. Uzwojenie H_1 jest włączone w obwód anodowy triody J_1 , w której potencjał siatki może być zmieniany przy pomocy lamp J_2 i J_3 . Trioda



Rys. 1. Podstawowy układ napędu elektrycznego z regulatorem ELIR przy zasilaniu silnika z prostownika 3-fazowego

- | | |
|---|---|
| M — silnik | K ₁ , K ₂ — kenotrony |
| OB — uzwojenie wzbudające silnika | B, B — prostowniki stykowe |
| T ₁ — transformator prostownika | E ₁ , E ₂ — stabilizatory lampowe |
| T ₂ — transformator siatkowy i żarzeniowy | KB, KH — styczniki i ich styki |
| T _{3I} , T _{3II} — przekładniki prądowe | R ₄₄ , C ₁₇ — filtr mostka sterującego |
| J ₁ , J ₂ , J ₃ — dławiki wygładzające | R ₂₇ , C ₁ — filtr zasilacza układu elektronowego |
| J ₁ — dławik magnesowany prądem stałym | R ₁ — opornik anodowy |
| T ₄ — transformator pomocniczy | R ₅ , R ₇ — oporniki siatkowe lamp |
| TH ₁ , TH ₂ , TH ₃ — tyratrony | K ₁₀ — opornik bocznikujący przekładnik prądowy |
| J ₁ , J ₂ , J ₃ — lampy elektronowe | R ₂₃ — opornik ograniczający |
| R ₃₁ , R ₃₂ , R ₃₃ — oporniki siatkowe | |
| C ₂ , C ₄ , C ₆ , C ₁₁ , C ₁₂ , C ₁₃ — pojemności stabilizujące | |
| R ₃₇ , R ₃₈ , R ₃₉ — oporniki mostka sterującego | |
| R ₆ , C ₅ i R ₄ , C ₃ — elementy ujemnego sprzężenia zwrotnego | |
| R ₂ , R ₃ i R ₈ , R ₉ — dzielniki napięcia | |
| II ₁ , II ₂ , II ₃ — oporniki regulowane (potencjometry) | |

J_2 umożliwia nastawianie prędkości wirowania silnika (przy pomocy potencjometrów II_1 i II_2) oraz stabilizację nastawionej prędkości przez uzależnienie potencjału siatki tej lampy od napięcia i prądu silnika.

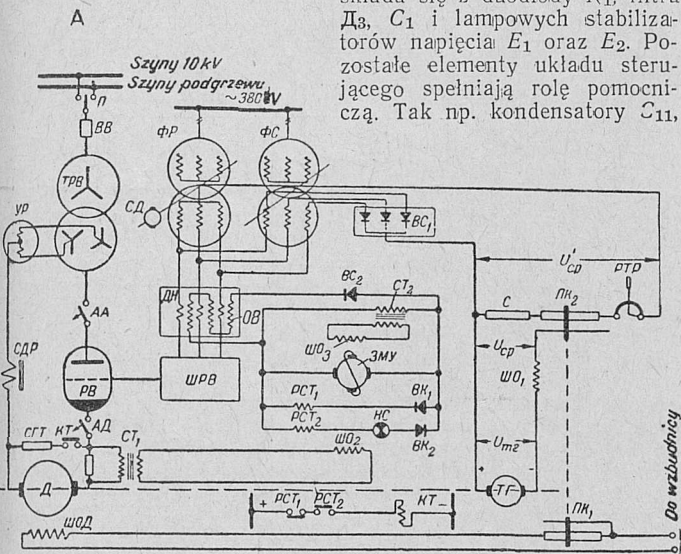
Składową napięcia siatkowego, proporcjonalną do wielkości napięcia twornika silnika, doprowadza się do siatki triody J_2 z dzielnika napięcia składającego się z oporów R_8 , R_9 i potencjometru II_2 .

Drugą składową napięcia siatkowego — proporcjonalną do prądu silnika — uzyskuje się z układu, składającego się z przekładnika prądowego T_3 , którego uzwojenia pierwotne są włączone w obwody anodowe tyratronów, kenotronu K_2 , opornika R_{23} oraz potencjometrów II_2 i II_3 . Ta składowa napięcia siatkowego lampy J_2 ma kierunek przeciwny do składowej proporcjonalnej do napięcia silnika. Prąd anodowy triody J_2 zmienia się więc przy zmianach sem. silnika, dzięki czemu układ utrzymuje nastawioną prędkość obrotową niezależnie od zmian napięcia zasilającego i wielkości obciążenia silnika.

Trioda J_3 służy do ochrony układu w przypadku nadmiernego przeciążenia silnika. Siatka tej lampy jest przyłączona do potencjometru II_3 . Przy wzrastaniu prądu silnika napięcie w obwodzie siatki triody J_3 szybko wzrasta, co prowadzi do powiększenia prądu anodowego lampy J_3 i do zmniejszenia prądu w obwodzie lampy J_1 . W rezultacie — przy określonej wartości

prądu silnika — napięcie na wyjściu układu mostkowego sterującego siatkami tyratronów jest dostatecznie duże dla zgaszenia tyratronów.

Obwody sterownicze napędu podanego na rys. 1 są zasilane z układu trójprzewodowego prądu stałego. Zasilacz tego układu składa się z duodiody K_1 , filtru D_3 , C_1 i lampowych stabilizatorów napięcia E_1 oraz E_2 . Pozostałe elementy układu sterującego spełniają rolę pomocniczą. Tak np. kondensatory C_{11} ,

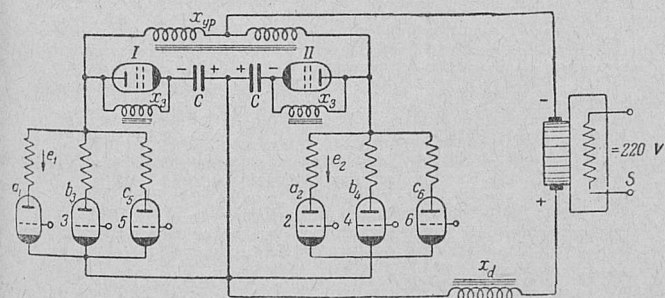


Rys. 2. Podstawowy schemat głównego napędu walcarki z silnikiem prądu stałego, zasilanym z prostowników jonowych, z regulatorem prędkości

- | | |
|---|---|
| TPB — transformator zasilający | ΦP — rozruchowy regulator indukcyjny |
| YP — uzwojenie wyrównawcze | ΦC — dodatkowy regulator indukcyjny, pracujący jako źródło napięcia odniesienia |
| CDP — dławik wygładzający | BC ₁ — prostownik napięcia odniesienia |
| AA — wyłącznik szybkozłapiący | DH — dławik magnesowany prądem stałym |
| PB — zespół rzeźbionych prostowników zaworowych | DM — szafa sterownicza |
| AD — wyłącznik samoczynny | OB — uzwojenie wzbudzące |
| CTT — opornik ochronny | 3MY — wzmacniacz maszynowy |
| KT — stycznik i jego styki | ΠO_1 — uzwojenia wzbudzące wzmacniacza maszynowego |
| D — główny silnik napędu | CT ₁ , CT ₂ — transformatory stabilizacyjne |
| ΠO_2 — uzwojenie wzbudzące silnika | PCT ₁ , PCT ₂ — przełączniki sterujące i ich styki |
| | BC ₂ , BK ₁ — prostowniki stykowe |
| | HC — lampa sygnalizacyjna |
| | TT — prądniczka tachometryczna |
| | ΠK_1 , ΠK_2 — oporniki sprzężone |
| | PTP — opornik do podregulowania |

C_{12} , C_{13} podwyższają stateczność pracy siatek tyratronów, a kondensatory C_3 , C_4 , C_5 i C_6 włączone w szereg z opornikami R_4 , R_5 , R_6 i R_7 podwyższają stateczność pracy wzmacniacza lampowych.

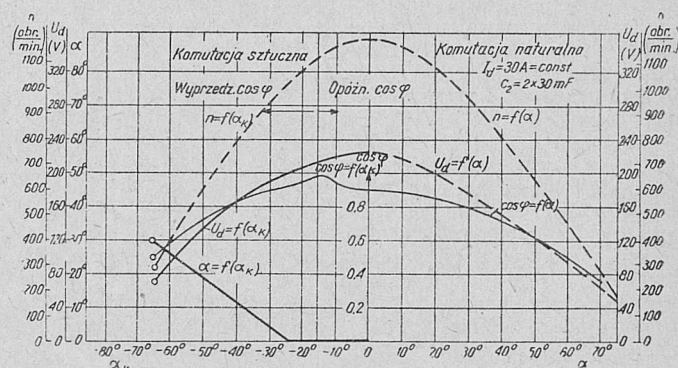
W układach napędowych o szerokim zakresie regulacji prędkości obrotowej uzwojenie wzbudzące zasila się również z tyratronów sterowanych w analogicznym układzie elektronowym. Układ ELIR z elektronowymi regulatorami napięcia w obwo-



Rys. 3. Schemat zasilania napędu elektrycznego przez sześciopiętrowy prostownik z komutacją sztuczną

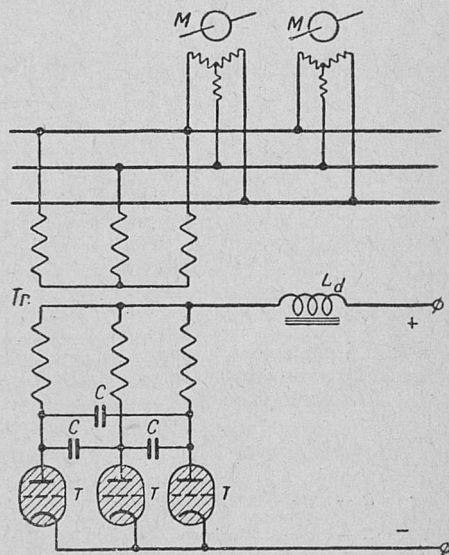
- | | |
|---|--|
| ABC — pierwotne uzwojenie transformatora | D — silnik |
| a ₁ , b ₁ , c ₁ , a ₂ , b ₂ , c ₂ — wtórne uzwojenie transformatora | I, II — zawory główne |
| x _{yp} — dławik rozdzielczy | C — pojemność komutacyjna |
| x _d — dławik wygładzający | x ₃ — indukcyjność zapalająca |

dzie twornika i wzbudzenia silnika jest stosowany do napędu szeregu typów szlifierek, tokarko-gwinciarek, frezarek i innych obrabiarek produkowanych przez moskiewskie i leningradzkie zakłady wytwórcze.



Rys. 4. Charakterystyki pracy napędu z prostownikami przy komutacji naturalnej i sztucznej

W napędach dużej mocy układy silnik-prądnica są obecnie wypierane przez układy z prostownikami rzeźbionymi. Zaletą ich w stosunku do układów silnik-prądnica są: 1) znacznie mniejsze straty, 2) większa niezawodność w eksploatacji, 3) większa elastyczność układu sterowniczego. Schemat elektryczny głównego napędu walcarki jest przedstawiony na rys. 2. Układ jest wyposażony w silnik D , rzeźbiony zespół zaworowy PB , składający się z kompletu jednokomutowych prostowników zaworowych t . $PMBH$ 500/12, transformatora TPB , pracującego w układzie gwiazda — podwójna gwiazda, z uzwojeniem wyrównawczym YP , dławik CDP i układ sterowania siatkami prostowników zaworowych. Transformatory zasilające siatki prostowników są umieszczone w szafie sterowniczej ΠPB .



Rys. 5. Podstawowy układ przemiennika z pośredniczącym ogniwem prądu stałego

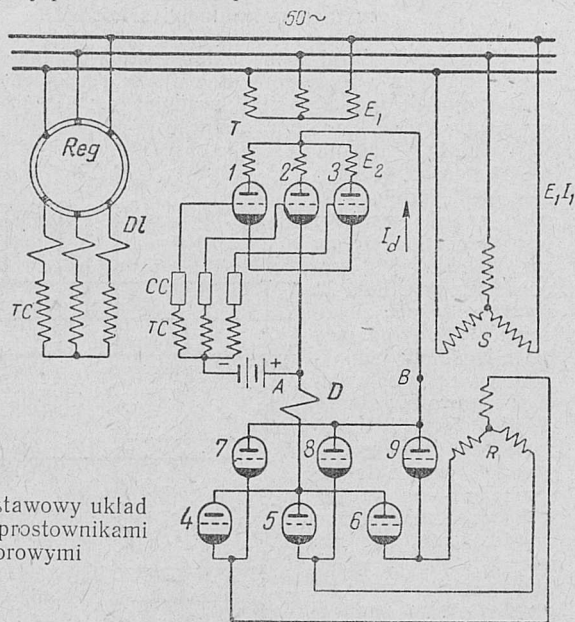
- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| M — silnik z wirnikiem zamkniętym | T — tyratrony |
| Tr — transformator falownika | C — pojemność komutacyjna |
| | Ld — dławik wygładzający |

Przy rozruchu silnika zmiana kąta zapłonu prostowników jest regulowana przy pomocy regulatora indukcyjnego ΦP sterowanego serwowotorem CD . W procesie samoczynnego utrzymywania stałej prędkości wirowania silnika zmianę kąta zapłonu uzyskuje się za pośrednictwem dławików DH nasycanych prądem stałym.

Pracę automatyczną układu umożliwia regulator prędkości, w którego skład wchodzi: prądniczka tachometryczna TT osadzona na jednym wale z silnikiem D , źródło napięcia odniesienia U_{cp} , którym w danym układzie jest regulator indukcyjny ΦC sprzężony elektrycznie z regulatorem rozruchowym ΦP , dzielnik napięcia składający się z oporników C , ΠK_2 i PTP oraz wzmacniacz maszynowy $3MY$ zasilający uzwojenie OB prądu stałego dławika DH . Wzmacniacz maszynowy ma trzy uzwojenia wzbudzące. Uzwojenie ΠO_1 jest włączone na różnicę napięcia odniesienia U_{cp} i napięcia prądniczki tachometrycznej U_{mr} , wzbudzając wzmacniacz maszynowy w przypadku odchylenia się prędkości obrotowej silnika D od wartości nastawionej. Uzwojenia ΠO_2 i ΠO_3 wzmacniacza służą do stabilizacji jego pracy. Prąd w uzwojeniu ΠO_3 jest proporcjonalny do pochodnej napięcia wzmacniacza maszynowego, a prąd w uzwojeniu ΠO_2 — proporcjonalny do pochodnej prądu silnika.

Po nastawieniu regulatorem ΦP pewnej prędkości obrotowej silnika D powstaje — dzięki sprzężeniu elektrycznemu regulatorów ΦP i ΦC — określone napięcie stałe U'_{cp} . Dla umożli-

wienia porównywania tego napięcia z napięciem prądniczki tachometrycznej zastosowano dzielnik napięcia, składający się z opornika stałego C i oporników regulowanych ΠK_2 i PTP . Gdy napięcie U_{cp} występujące na suwaku opornika regulowanego ΠK_2 nie jest równe napięciu prądniczki tachometrycznej, popłynie prąd w uzwojeniu wzbudzącym ΠO_1 i nastąpi wzbudzenie wzmacniacza maszynowego ΣMY , którego prąd nasyci dławik DL zmieniając kąt zapłonu prostowników, a więc i napięcie doprowadzone do twornika silnika D . Wartość prądu nasycającego dławik, a więc i wartość napięcia silnika są uwarunkowane stopniem odchylenia wartości napięcia prądniczki tachometrycznej od wartości napięcia odniesienia. Wobec dużej czułości działania układu największe nasycenie dławika, dające najmniejszy kąt zapłonu prostowników rzędu 40–50°, występuje przy różnicy napięć U_{cp} i U_{mr} nie przewyższającej 1–2 V. W przypadku regulacji prędkości obrotowej silnika przez osłabienie pola regulator wzbudzenia musi być sprężony mechanicznie z suwakiem opornika regulowanego ΠK_2 . Zmiana prądu wzbudzającego silnika powoduje zmianę wielkości napięcia odniesienia U_{cp} , co umożliwia automatyczne utrzymywanie stałej prędkości wirowania silnika również w zakresie regulacji prędkości obrotowej przez osłabianie pola.



Rys. 6. Podstawowy układ kaskady z prostownikami zaworowymi

R — wirnik silnika synchronicznego
 S — zawory sieciowe
 $1, 2, 3$ — stojan silnika synchronicznego
 $4, 5, 6$ — zawory obwodu wirnika
 7 — transformator

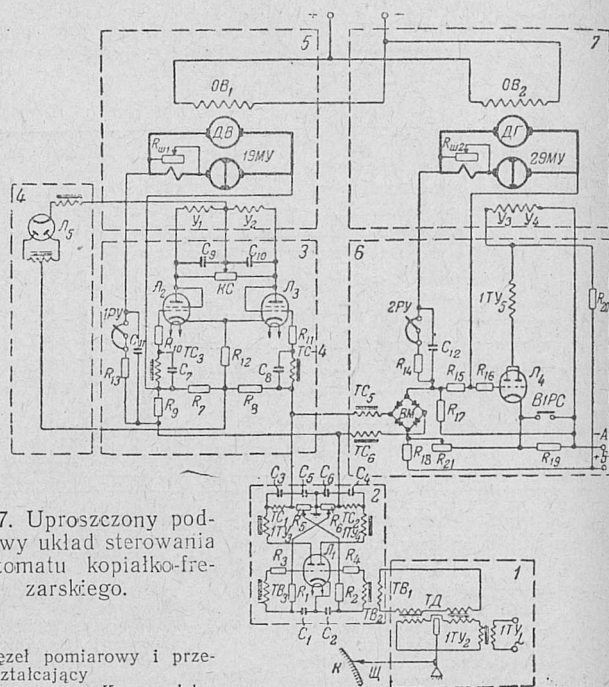
D — dławik wygładzający
 Reg — regulator indukcyjny
 DL — dławik liniowy
 TC — transformator siatkowy
 CC — oporniki siatkowe
 A — źródło przesunięcia napięcia siatkowego

W układach napędowych z silnikiem prądu stałego, w których napięcie doprowadzone do silnika jest regulowane w układach prostownikowych, transformator zasilający układ pracuje przy niskim współczynniku mocy. Współczynnik mocy transformatora jest tym mniejszy, im szerszy jest zakres regulacji prędkości obrotowej silnika. Pod kierownictwem I. Ł. Kaganowa i M. G. Czylikina został zbudowany układ umożliwiający pracę przy znacznie wyższym współczynniku mocy. W układzie tym (rys. 3) transformator zasilający napęd jest wyposażony w uzwojenie wyrównawcze, włączone między punkty zerowe 3-fazowych uzwojeń wtórnych transformatora. Równolegle do tego uzwojenia włączone są dwa sprzężone szeregowo ogniwa, z których każde składa się z pomocniczego prostownika zaworowego (I, II), dławika (X_3) oraz kondensatora C . Przez zastosowanie tych ogniw osiąga się sztuczne przyspieszenie zapłonu prostowników w stosunku do punktu naturalnego zapłonu, dzięki czemu zmniejsza się kąt przesunięcia fazowego między prądem i napięciem transformatora. Na rys. 4 są przedstawione wykresy napięciowe wyprostowanego U_d , prędkości obrotowej silnika n i współczynnika mocy w funkcji kąta zapłonu prostowników dla warunków komutacji naturalnej i sztucznej przy zastosowaniu układu z rys. 3.

Układy ze sterowaniem elektronicznym nie ograniczają się tylko do napędów prądu stałego. Ostatnio znajdują one coraz szersze zastosowanie w napędach z silnikami indukcyjnymi, a nawet synchronicznymi w przypadkach, gdy konieczne jest

regulowanie prędkości obrotowej tych silników w dość szerokich granicach. W napędach z silnikami zwartymi układy prostownikowe umożliwiają regulację prędkości obrotowej przez zmianę napięcia doprowadzonego do uzwojenia stojana lub przez zmianę częstotliwości napięcia zasilającego.

Podstawowy układ napędu z przemiennikiem (zmiana częstotliwości) jest przedstawiony na rys. 5. Szereg silników zwartych, włączonych równolegle, zasilają się z uzwojenia wtórnego



Rys. 7. Uproszczony podstawowy układ sterowania półautomatu kopiałko-frezarskiego.

1 — węzeł pomiarowy i przekształcający

- K — model
- III — czujnik
- TY — transformator zasilający obwody pomiarowych i siatkowych tyratronów
- TD — transformator różniczkujący
- 2 — pierwszy węzeł wzmacnienia z elementami różniczkującymi i całkującymi
 - J_1 — podwójna trioda
 - TB — transformator wejściowy
 - ITY_2, ITY_4 — uzwojenia wtórne transformatora
 - TY, TC_1, TC_2 — pierwotne uzwojenia transformatorów różniczkujących
 - R_5, R_6 — oporniki obciążeniowe
 - C_1, C_2 — pojemności całkujące w obwodzie sprzężenia zwrotnego
 - R_1, R_2 — oporności czynne w obwodach sprzężenia zwrotnego
 - C_3, C_6 — pojemności przepuszczające częstość 50 Hz
- 3 — drugi węzeł wzmacnienia dla przesuwu odwzorowującego
 - J_1, J_2 — lampy elektronowe
 - TC_3, TC_4 — wtórne uzwojenia transformatorów różniczkujących
 - KC — oporność korekcyjna
 - $C_7 \dots C_{11}$ — pojemności stabilizujące
 - R_7, R_8, R_{10}, R_{11} — oporniki siatkowe
 - R_{12} — opornik w obwodzie katod tyratronów
 - R_9 — opornik sprzężenia zwrotnego
 - IRY — opornik do nastawiania przesuwu odwzorowującego
 - R_{13} — opornik ograniczający w obwodzie sprzężenia zwrotnego
- 4 — węzeł zasilania węzła 3
 - J_2 — prostownik kenotronowy
- 5 — węzeł wzmacniacza maszynowego i silnika przesuwu pionowego
 - $13MY$ — wzmacniacz maszynowy
 - Y_1, Y_2 — uzwojenia wzbudzające wzmacniacza maszynowego
 - R_{m1} — opornik włączony równolegle do szeregowego uzwojenia wzmacniacza
 - DB — silnik przesuwu odwzorowującego (pionowego)
- 6 — drugi węzeł wzmacnienia dla silnika przesuwu stołu
 - J_1 — lampa elektronowa
 - BM — mostek prostowniczy
 - TC_5, TC_6 — wtórne uzwojenia transformatorów różniczkujących
 - ITY_5 — wtórne uzwojenie transformatora TY
 - R_{18}, R_{19}, R_{21} — oporniki na wyjściu mostka BM
 - $BIPC$ — styk blokujący do opornika R_{19}
 - R_{17} — opornik obciążający mostek prostowniczy
 - R_{15} — opornik sprzężenia zwrotnego
 - R_{16} — opornik obwodu siatkowego
 - $2RY$ — opornik regulacyjny w obwodzie przesuwu stołu (zadającego przesuwu)
 - R_{14} — opornik ograniczający w obwodzie sprzężenia zwrotnego
 - C_{12} — pojemność stabilizacyjna
 - R_{20} — opornik do korekty prądu jałowego w obwodach wzbudzenia Y_3, Y_4 wzmacniacza maszynowego $23MY$
- 7 — wzmacniacz maszynowy i silnik przesuwu poziomego
 - 17 — silnik przesuwu stołu (przesuwu zadającego)
 - OB_2 — uzwojenie wzbudzające silnika
 - R_{m2} — opornik włączony równolegle do uzwojenia szeregowego $23MY$

transformatora, którego częstotliwość zmienia się odpowiednio do zmiany częstotliwości napięcia siatek tyratronów T . Dla komutacji prądu zastosowano kondensatory C . Energia do falownika jest doprowadzona z prostownika nie pokazanego na schemacie.

Pod kierownictwem I. L. Kaganowa zbudowano w laboratorium elektroniki przemysłowej MEI układ napędowy z jonowym przemiennikiem dla zakresu 110–170 Hz, służącym do zasilania większej liczby równolegle włączonych silników zwartych. Uzyskany zakres regulacji prędkości obrotowej wynosił 6000–10 000 obr./min.

W napędach większej mocy, gdzie zwykle stosuje się asynchroniczne silniki pierścieniowe, zastosowanie prostowników umożliwiło ekonomiczną regulację prędkości obrotowej. Układy kaskadowe z maszynami komutatorowymi i bezkomutatorowymi można zastąpić kaskadami złożonymi z asynchronicznego silnika pierścieniowego i jonowych przemienników prądu. Na rys. 6 przedstawiono przykład takiej kaskady, przekształcającej prąd o częstotliwości poślizgu w prąd o częstotliwości przemysłowej. Przemiennik zawiera prostownik (lampa 4 — 9) i falownik (lampa 1 — 3). Falownik wprowadza dodatkowe napięcie w obwód układu prostownikowego, umożliwiające zmianę prędkości obrotowej silnika. Im napięcie to jest wyższe, tym napięcie zasilania prostowników musi być wyższe, tzn. musi być większy poślizg silnika. Wielkość napięcia w obwodzie układu prostownikowego jest regulowana siatkami prostowników zaworowych 1 — 3. Przy prędkościach wirowania silnika niższych od prędkości synchronicznej energia z obwodu wirnika jest oddawana za pośrednictwem falownika do sieci, przy prędkościach ponad synchronicznych następuje przepływ energii z sieci do obwodu wirnika.

Szerokie zastosowanie znalazła elektronika w układach napędowych ze sterowaniem odwzorowującym. Przykładem takiego napędu jest układ sterowania frezarki-kopiarki. Praca tej obrabiarki polega na samoczynnej obróbce przedmiotów według modeli. Przedmiot obrabiany i model są umocowane na stole frezarki-kopiarki, który porusza się ruchem prostoliniowym. Po powierzchni modelu przesuwają się czujnik, którego ruchy są przekazywane do głowicy freza obrabiającego przedmiot. Frez wykonuje więc ruchy analogiczne nadając przedmiotowi obrabianemu kształt modelu.

Układ sterujący frezarki-kopiarki jest przedstawiony na rys. 7. Układ zawiera 7 węzłów sterowniczych. Węzeł 1 stanowi układ pomiarowy i przetwarzający, węzeł 2 — pierwszy stopień wzmacnienia, węzły 3, 4 i 5 spełniają funkcję drugiego i trzeciego stopnia wzmacnienia oraz sterowania przesuwem freza, węzły 6 i 7 — obejmują drugi i trzeci stopień wzmacnienia oraz układ sterujący przesuwem stołu.

Czujnik III poruszający się po powierzchni modelu K jest sprzęgnięty mechanicznie z rdzeniem transformatora TD , którego dwa pierwotne uzwojenia są włączone różnicowo, dzięki czemu, przy położeniu neutralnym rdzenia, strumienie tych uzwojeń znoszą się, nie powodując powstania napięcia w uzwojeniu wtórnym. Przesuwanie się rdzenia powoduje modulowanie amplitudy napięcia wtórnego, które jest przekazywane do pierwszego stopnia wzmacnienia. W lampie J_1 następuje wzmożenie przekazanych impulsów. Na wyjściu z węzła 2 włączony jest filtr złożony z oporności R_5 i R_6 , indukcyjności TC_1 i TC_2 oraz pojemności C_3 — C_6 , uniemożliwiający przejście częstotliwości przemysłowej do następnego stopnia wzmacnienia.

W węźle pierwszym — oprócz wzmożenia impulsów proporcjonalnych do przesunięcia czujnika — następuje również skalowanie tych impulsów w czasie i zróżniczkowanie ich względem czasu. Składowa całkowita, powstająca wskutek wprowadzenia sprzężenia zwrotnego przez kondensatory C_1 i C_2 , zmniejsza uchyby przy frezowaniu. Pochodna napięcia wyjściowego węzła 1, uzyskiwana za pośrednictwem transformatorów TC_1 i TC_2 , zwiększa stateczność układu przy dużych zmianach kształtu modelu. Wielkości proporcjonalne do tej pochodnej są wprowadzone do następnych stopni wzmacnienia przez wtórne uzwojenie transformatorów TC_3 — TC_6 . Drugi stopień wzmożenia układu sterującego przesuwem freza, wchodzący w skład węzła 3 zasilany wzbudzenie wzmacniacza maszynowego 1 ΣMY , który daje napięcie na zaciski twornika silnika JB . Gdy prądy anodowe lamp J_2 i J_3 drugiego stopnia wzmacniacza są sobie równe, przepływy uzwojeń wzbudzących Y_1 i Y_2 znoszą się i na zaciskach twornika wzmacniacza nie wystąpi wtedy napięcie.

Wielkość napięcia dostarczanego przez wzmacniacz 1 ΣMY do silnika przesuwu freza zależy od różnic prądów anodowych lamp J_1 i J_2 , tzn. od różnic potencjałów siatek tych lamp. Silnik JB może wirować w jednym lub drugim kierunku zależnie od tego, czy przeważa prąd anodowy lampy J_2 , czy też

J_3 . Dla zwiększenia stateczności pracy układu zastosowano napięciowe sprzężenie zwrotne za pośrednictwem opornika R_9 . W obwodzie sprzężenia zwrotnego włączony jest regulowany opornik 1 PY , który umożliwia nastawianie największej prędkości przesuwu freza, wynikający ze względów technologicznych. Węzły 6 i 7 służą do uzależnienia prędkości stołu od przesuwania się czujnika K .

Prąd wzbudzący wzmacniacza maszynowego 2 ΣMY zasilającego silnik DT przesuwu stołu zależy od wielkości prądu anodowego lampy J_4 . Do siatki tej lampy doprowadzone są za pośrednictwem prostownika BM składowe (napięcie wyjściowe węzła 2) napięcia, proporcjonalne do przesuwu czujnika pochodnej tego przesuwu względem czasu (uzwojenie wtórne TC_5 i TC_6 transformatora TC_2). Zmiana położenia czujnika powoduje więc zmniejszenie prędkości przesuwu stołu i to tym większe, im szybsza jest ta zmiana. Podobnie jak w węzłach 3 i 5 zastosowano również w węzłach 6 i 7 napięciowe sprzężenie zwrotne i potencjometr 2 PY do nastawienia największej prędkości przesuwu stołu.

Oprócz wyżej podanych zastosowań elektroniki w napędzie elektrycznym autor omawia na przykładach konkretnych rozwiązań układy sterowania maszynami spawalniczymi, elektrowibratorem, układy stosowane przy mikrokontroli i sortowaniu wyrobów. Specjalną uwagę poświęcono układom przekazywania lampowych, stosowanych do przerywania procesu spawania przy spawkach punktowych i ciągłych. W rozdziale, dotyczącym układów stosowanych w urządzeniach do sortowania wyrobów, rozpatrzono układ elektronowy służący do sortowania rolek.

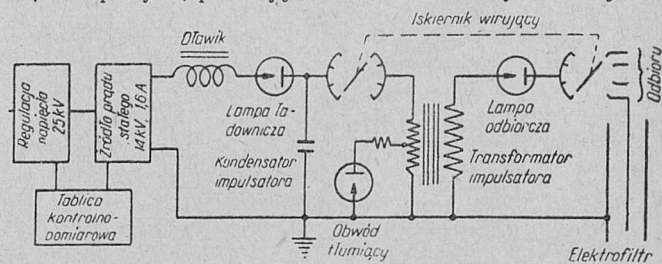
B. W.

IMPULSOWE ZASILANIE ELEKTROFILTRÓW

White H. J. Electrostatic Precipitator Pulse Power Supply (Electr. Engineering, 1953, III, str. 236).

Podstawą zwiększenia sprawności elektrofiltrów jest ulepszenie sposobu dostawy energii elektrycznej po stronie wysokiego napięcia. Sprawność filtru jest tym wyższa, im większe siły działają na cząstki, a więc im wyższe napięcie doprowadzono do elektrod ulotowych. Podnoszenie napięcia ograniczone jest wyładowaniami iskrowymi, które przy dotychczasowym sposobie zasilania (transformator — prostownik mechaniczny) powstawały przy stosunkowo niskim napięciu. Podwyższenie napięcia przekroku, a zatem i możliwość uzyskania wyższych sprawności odpylania daje stosowanie zasilania impulsowego.

W skład nowego urządzenia wchodzi generator udarowy wysokiego napięcia o dużej mocy, wytwarzający kilkadziesiąt impulsów napięciowych na sekundę; czas trwania impulsu jest rzędu 100 μs . Impulsy te, powstające wskutek rozładowywania się kon-



Rys. 1. Układ impulsatora do zasilania elektrofiltru.

densatora, podaje się kolejno na kilka sekcji filtru. Regulacja częstotliwości odbywa się przy pomocy wirującego iskiernika, napędzanego silnikiem o zmiennej liczbie obrotów.

Układ ten zbliżony jest do układu mikrofalowego urządzenia radarowego dużej mocy.

Dane znamionowe produkowanych „impulsatorów” (rys. 1):

napięcie szczytowe	70 kV,
średnie natężenie prądu	300 mA,
średnia moc	15 kW,
częstotliwość impulsów	480 s ⁻¹ ,
czas trwania impulsu	150 μs ,
liczba wyjść dla zasilania poszczególnych sekcji filtru dużym prądem	4 szt.

Dokonane w ciągu jednorocznego okresu badania ruchowych filtrów energetycznych zasilanych napięciem impulsowym dały następujące wyniki w stosunku do dawnego układu zasilania: 1) zwiększenie sprawności odpylania elektrofiltrów, 2) zwiększenie napięcia szczytowego o wiele kilowoltów, 3) zwiększenie prądu ulotowego o 20...35%, 4) zmniejszenie strat w filtrze o 50...60%.

J. L.

BIULETYN INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI

Rok VIII — nr 49

Warszawa, Piękna 68

Kwiecień 1954 r.

Zakład Wysokich Napięć

O PRZYZYNNACH USZKODZEŃ TRANSFORMATOROWYCH IZOLATORÓW PRZEPUSTOWYCH DO 30 kV

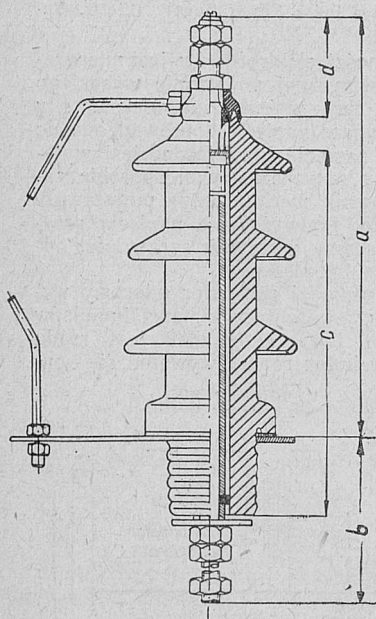
Eksploatacja transformatorowych izolatorów przepustowych typu PTU 10, 20, 30 kV, produkowanych obecnie w kraju, konstrukcji opartej na normach niemieckich DIN wykazuje, iż izolatory te nie są pewne w ruchu. Często są przypadki przebicia izolatorów spowodowane zwłaszcza przepięciami atmosferycznymi, co z kolei prowadzi do uszkodzeń transformatorów. Przeprowadzone w Zakładzie Wysokich Napięć Instytutu Elektrotechniki w latach 1951—1952 badania pozwoliły ustalić przyczyny uszkodzeń izolatorów oraz skorygować ich konstrukcję.

Konstrukcja izolatorów.

Izolatory przepustowe typu PTU według projektu Polskiej Normy PN/E-81414 wykonywane są na znamionowe napięcia izolacji 10, 20, 30 kV oraz prądy 200 i 600 A. Na rys. 1 przedstawiono ich konstrukcję.

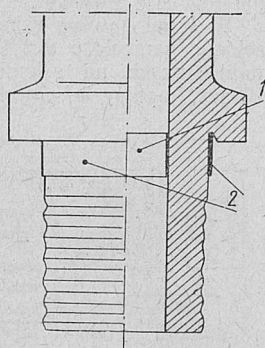
Dla prądów znamionowych 200 A stosuje się w izolatorach sworznie przewodzące o średnicy 12 mm, dla prądów znamionowych 600 A sworznie o średnicy 20 mm. Na sworzniu założone są tuleje izolacyjne wykonane z papieru bakielizowanego.

Wymiary średnic zewnętrznych tulei wynoszą odpowiednio 18 lub 28 mm w zależności od średnicy sworznia. Krążek izolacyjny umieszczony na sworzniu w olejowej części przepustu ma na celu niedopuszczenie do uchodzenia przez izolatory gazów powstających wewnątrz kadzi transformatora. Jest to konieczne dla zapewnienia prawidłowej pracy przekątników gazowych.



Rys. 1. Konstrukcja transformatorowych izolatorów przepustowych typu PTU

Wymiary izolatorów typu PTU zestawiono w tabl. I



Rys. 2. Sposób naklejania elektrod do pomiaru napięcia przebicia osłony porcelanowej

1 — elektroda wewnętrzna
2 — elektroda zewnętrzna

Tablica I. Zakres stosowania i główne wymiary

Oznaczenie izolatora	Zastosowanie		Liczba kłosów	Wymiary					Odstęp iskierników koordynac.	
	dla napięć (kV)	dla prądów (A)		mm					dla napięć <i>e</i>	
									kV	mm
PTU 10/200	10	200	2	310	130	260	76	72	10	110
PTU 10/600		600	2	330	135	260	100	86		
PTU 20/200	20	200	3	385	145	350	76	72	20	170
PTU 20/600		600	3	405	150	350	100	86		
PTU 30/200	30	200	4	510	170	475	100	86	30	235
PTU 30/600		600	4	510	170	475	100	86		

Badania przepustów napięciem o częstotliwości sieciowej.

Próby napięciem wolnozmennym miały na celu zbadanie wpływu tulei izolacyjnych na wytrzymałość na przebicie izolatorów.

Badaniom poddano partię izolatorów składającą się z 20 szt. na każdy rząd napięcia. Do prób zmontowano izolatory jak w eksploatacji. Próby przeprowadzono z izolatorami zarówno zaopatrzonymi w iskierniki koordynacyjne, jak i bez iskierników. Wnętrze izolatora wypełniał całkowicie olej o wytrzymałości około 100 kV/cm. Izolatory poddano próbie napięciowej 1-minutowej przy napięciu probierczym określonym ze wzoru: $U_p = 2,2 U_n + 20$ kV, następnie zmierzono napięcie przeskoku na sucho.

Stwierdzono, że wszystkie izolatory wytrzymują napięcie probiercze o częstotliwości sieciowej. Izolatory bez iskierników zmontowane z tulejami izolacyjnymi mają napięcia przebicia

Tablica II

Nr	Typ izolatora	Napięcie przeskoku w warunkach normalnych	
		izolatory bez iskierników kV	izolatory z iskiernikami kV
1	PTU 10/200	87,5	50,0
2	PTU 10/600	87,5	50,0
3	PTU 20/200	111,0	92,0
4	PTU 20/600	100,0	88,1
5	PTU 30/200	142,0	111,0
6	PTU 30/600	136,0	103,0

większe od napięcia przeskoku; wyjątek stanowi izolator typu PTU 30/200 A, w którym przebicie następuje przed przeskakiem. Napięcia przeskoku na sucho transformatorowych izolatorów przepustowych z wmontowanymi iskiernikami i bez iskierników zestawiono w tabl. II.

Pomiary wykazały, iż izolator typu PTU 30/200 — przy wymiarach tulei zgodnych z projektem PN/E-81414 — nie ma zachowanej wewnętrznej koordynacji izolacji przy wytrzymałości

Tablica III

Nr	Typ izolatora	Napięcie przebicia
1	PTU 20/200	91
2	PTU 20/600	94
3	PTU 30/200	93
4	PTU 30/600	113

oleju równej 100 kV/cm. Aby umożliwić pomiar napięcia przeskoku tego izolatora, zastosowano tuleję z papieru bakielizowanego o średnicy zewnętrznej zwiększonej do 26 mm.

Pomiary napięcia przeskoku dokonano również na izolatorach typu PTU 20 i 30 kV, lecz pozbawionych tulei z papieru bakielizowanego na sworzniu.

W układzie tym okazało się, że wszystkie izolatory zostały przebite przed wystąpieniem przeskoku w powietrzu. Droga przebicia przebiegała jak w izolatorze PTU 30/200. Wartości napięć, przy których występowało przebicie izolatorów pozbawionych tulei izolacyjnej, są podane w tabl. III.

Ustalono również maksymalne niszczące natężenie pola elektrycznego dla osłony porcelanowej, wykonując pomiar napięcia przebicia samej osłony. Pomiaru doko-

Tablica IV

Nr	Typ izolatora	Napięcie przebicia (kV)
1	PTU 20/200	82
2	PTU 20/600	93
3	PTU 30/200/600	93

nano zamurzając osłony w oleju. Napięcie doprowadzono do naklejonych na zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni pasków folii o szerokości około 2 cm. Sposób naklejania elektrod przedstawiono na rys. 2. Napięcia przebicia osłon porcelanowych zestawiono w tabl. IV.

Badania napięciem udarowym.

Do prób izolatory zmontowano jak przy badaniach napięciem wolnozmiennym. Wytrzymałość udarową izolacji sprawdzano zgodnie z normą na koordynację PN/E-05001. Kształt udarów doprowadzanych do izolatorów: 1/50 μ s. Zdjęto również charakterystyki udarowe dla udarów ujemnych. Badaniom poddano izolatory z wmontowanymi iskiernikami i bez iskierników ochronnych. Próby zdjęcia charakterystyk udarowych izolatorów pozbawionych tulei izolacyjnych nie dały wyników, izolatory te uległy bowiem przebiciu już przy 50-procentowym napięciu przeskoku.

Wnioski z pomiarów.

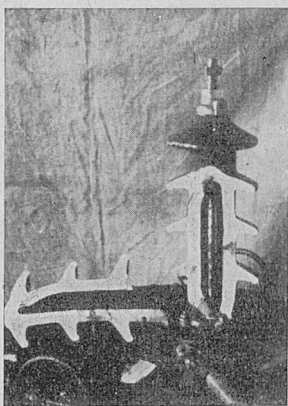
W układach izolacyjnych, złożonych z dielektryków ciekłych, stałych i gazowych należy dążyć do uniknięcia wyładowań w dielektryku stałym lub ciekłym, a przenieść je do dielektryku gazowego, mającego właściwość szybkiej regeneracji. Stanowi to zasadę wewnętrznej koordynacji izolacji.

Izolatory przepustowe, wykonane zgodnie z projektem polskiej normy PN/E-81414 typu 10, 20 i 30/600 przy wytrzymałości oleju, wypełniającego wnętrze izolatora, równej około 100 kV/cm, mają zachowaną wewnętrzną koordynację izolacji nawet bez zastosowania iskierników koordynacyjnych; natomiast izolator typu PTU 30/200 przy tej samej wytrzymałości oleju nie ma zachowanej koordynacji.

Rozpatrując rozkład naprężeń promieniowych, które występują na izolatorze PTU 30/200 po doprowadzeniu napięcia, równego napięciu przeskoku w warunkach normalnych wynika, iż



Rys. 3. Izolator PTU 30/200 bez tulei izolacyjnej



Rys. 4. Izolator PTU 30/600 bez tulei izolacyjnej



Rys. 5. Izolator PTU 30/200; poziom oleju był na wysokości drugiego kłosa, licząc od dołu

Rys. 3, 4 i 5. Izolatory przebite podczas zdejmowania charakterystyki udarowej

natężenie pola w tulei z papieru bakielizowanego wynosi około 112 kV/cm, w oleju około 110 kV/cm, w porcelanie 16,8 kV/cm. Widać wyraźnie, iż wytrzymałość oleju w tym przypadku jest przekroczona, przebicie zaś warstwy oleju powoduje pojawienie się pełnego napięcia na części porcelanowej i przebicie jej.

Pomiar napięcia przeskoku na sucho na izolatorach bez tulei izolacyjnej wykazuje, że w tym wykonaniu izolatory nie mają zachowanej koordynacji nawet przy zastosowaniu iskierników koordynacyjnych.

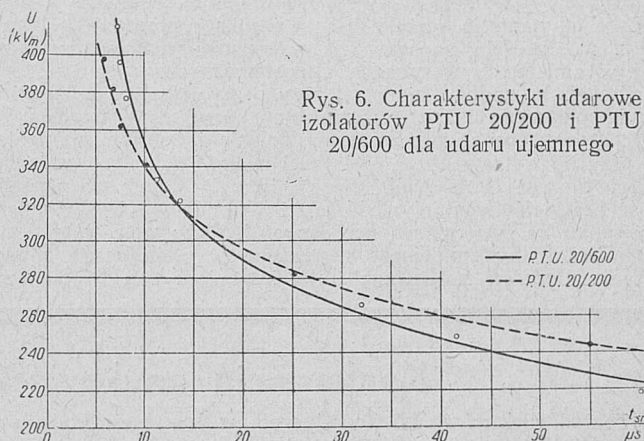
Pomiary napięciem udarowym wykazują, że izolatory o konstrukcji zgodnej z projektem polskiej normy PN/E-81414 wytrzymują udarowe napięcie probiercze o wartości szczytowej U , które po przeliczeniu na normalne warunki atmosferyczne jest równe napięciu probierczym wymaganym przez polską normę na koordynację izolacji dla poziomu podstawowego i wyższego.

Przy zdejmowaniu charakterystyk udarowych izolatorów mających tuleję izolacyjną żaden ze zbadanych obiektów nie został

przebity ani uszkodzony, nawet przy najkrótszych czasach rzędu 0,5 μ s. Natomiast izolatory bez tulei izolacyjnej mają bardzo małą wytrzymałość udarową: uległy przebiciu przy 50%-owym udarowym napięciu przeskoku.

Na rys. 3 przedstawiono przebiegi izolator PTU 30/200. Droga przebicia przebiega od sworznia do pokrywy. Widoczne są wyraźne otwory, powstałe na skutek kilku kolejnych przebiegów. Na rys. 4 przedstawiono izolator PTU 30/600, który skutkiem kilku kolejnych udarów rozpadł się na części. Podczas prób stwierdzono, iż w przypadku obniżenia poziomu oleju w izolatorze nie wytrzymuje on próby udarowej. Na rys. 5 przedstawiono uszkodzony izolator, który podczas prób był niecałkowicie wypełniony olejem.

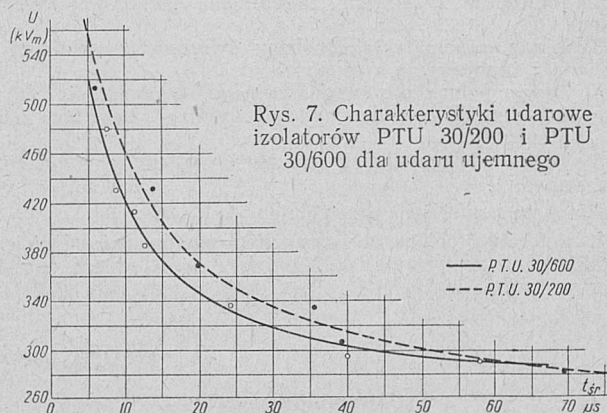
Charakterystyki udarowe izolatorów przepustowych typu PTU podane są na rys. 6 i 7.



Rys. 6. Charakterystyki udarowe izolatorów PTU 20/200 i PTU 20/600 dla udaru ujemnego

Sposób poprawy konstrukcji transformatorowych izolatorów przepustowych typu PTU.

Poprawa konstrukcji izolatorów typu PTU winna iść w kierunku zapewnienia koordynacji między wytrzymałością wewnętrzną izolatora a wytrzymałością przerwy powietrznej między elektrodami iskiernika.



Rys. 7. Charakterystyki udarowe izolatorów PTU 30/200 i PTU 30/600 dla udaru ujemnego

Uzyskać to można drogą zmniejszenia naprężeń oleju. Naprężenie zależne jest przede wszystkim od promienia krzywizny, na której znajduje się naprężana warstwa oleju. Powiększając promień, powodujemy zmniejszenie naprężenia. W tabl. V zestawiono wartości maksymalnych naprężeń w oleju, panujących

Tablica V

Typ izolatora	Naprężenie w oleju (kV/cm)		
	przy napięciu probierczym	przy napięciu przeskoku z iskiernikiem	przy napięciu przeskoku bez iskiernika
PTU 10/200	38,5	50,5	84,0
PTU 10/600	33,6	43,8	77,0
PTU 20/200	58,6	92,5	111,2
PTU 20/600	51,0	77,3	95,0
PTU 30/200	69,2	92,5	127,0
PTU 30/600	68,5	90,5	119,5

Tablica VI

Typ izolatora	Średnica zewnętrzna rurki z papieru bakielizowanego (mm)	Średnica wewnętrzna rurki z papieru bakielizowanego (mm)
PTU 20/200	26	12
PTU 20/600	30	20
PTU 30/200	26	12
PTU 30/600	38	20

w izolatorach PTU przy napięciu probierczym i napięciu przeskoku na izolatorach z iskiernikami oraz na izolatorach bez iskierników.

Napięcie przeskoku przyjmowano w obu przypadkach o 10% wyższe od napięcia przeskoku w warunkach normalnych licząc się z możliwością powiększenia wytrzymałości przerwy iskrowej w zmiennych warunkach atmosferycznych.

Z tabl. V wynika, że nawet przy pracy izolatora z iskiernikami podstawowymi napięcie oleju przekracza wartość 77 kV/cm dopuszczoną przez normy polskie i koordynacja izolacji przy tej wytrzymałości oleju zachowana jest jedynie w izolatorach typu PTU na rzad napięcia 10 kV. Istnieje więc możliwość przebicia izolatorów PTU 20 i 30 kV przed wystąpieniem przeskoku na iskiernikach ochronnych. Należy więc w tych typach izolatorów zmniejszyć napięcia w oleju drogą powiększenia średnicy zewnętrznej tulei z papieru bakielizowanego.

Obliczenia średnic zewnętrznych wykonano w założeniu, iż izolatory używane będą w eksploatacji jedynie z iskiernikami podstawowymi. Gdyby dopuścić możliwość pracy izolatora bez iskierników, osiągnięcie zewnętrznej koordynacji wymagałoby zbyt znacznego powiększenia średnicy tulei, co byłoby trudne ze względu na brak miejsca. Napięcia w oleju liczone przy napięciu przeskoku na suchu izolatorów z iskiernikami w warunkach normalnych powiększonym o 10%. Średnice tulei obliczane na tej zasadzie zestawiono w tabl. VI. Należy zaznaczyć, że obliczone teoretycznie napięcia promieniowe w oleju są nieco wyższe od napięć rzeczywistych z powodu niejednostajnego rozkładu pola koło pokrywy.

Wnioski końcowe.

1) Izolatory zmontowane z tulejami zaopatrzone w iskierniki przy wytrzymałości oleju 100 kV/cm wytrzymują przepisane napięcia probiercze; izolatory bez tulei pracować nie mogą.

2) Izolatory muszą być całkowicie wypełnione olejem. W przypadku niecałkowitego wypełnienia olejem przy napięciach udarowych następuje przebicie.

3) Ze względu na to, iż w praktyce na ogół nie można gwarantować wytrzymałości 100 kV/cm nawet dla oleju świeżo nalanego do transformatora, wydaje się, iż omawiane izolatory mają zbyt mały stopień pewności ruchu i że wskazane jest zastosowanie tulejek o grubości zwiększonej o ~ 40%. Liczne wypadki, których przyczyną były omawiane izolatory, potwierdzają te wnioski.

J. R.

Konferencja naukowa elektrotechniki teoretycznej

Zakład Elektrotechniki Teoretycznej w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk organizuje w początku września r.b. dwutygodniową konferencję połączone z wykładami i poświęconą następującym działom elektrotechniki teoretycznej:

1) Zagadnienia elektrycznych obwodów liniowych (zagadnienia analizy i syntezy obwodów telekomunikacyjnych, macierzowa teoria sieci elektrycznych i inne).

2) Zagadnienia elektrycznych obwodów nieliniowych (zagadnienia obwodów z żelazem, zagadnienia nieliniowej generacji i inne).

3) Teoria automatyki (problemy związane z układami naddźwiękowymi i inne).

4) Teoria pola elektromagnetycznego (zagadnienia falowodów, linii długich oraz zagadnienia dyfrakcji związane z techniką antenową).

5) Teoria telekomunikacji (np. teoria systemów modulacji, teoria szumów).

Program konferencji przewiduje:

I. Referaty problemowe poświęcone przeglądowi ważniejszych zagadnień elektrotechniki, do których m. inn. należą zagadnienia wymienione wyżej. Referaty te mają przedstawić zarys obecnego stanu wiedzy w określonej dziedzinie, jak również scharakteryzować jej tendencje rozwojowe.

II. Referowanie przez uczestników konferencji własnych prac naukowych.

III. Dwa lub trzy krótkie (po 6—8 godzin) cykle wykładów monograficznych, których temat i zakres będzie ostatecznie ustalony po uwzględnieniu dezyderatów osób zamierzających brać udział w konferencji. Jednym z wykładów może być np. wykład poświęcony przeglądowi niektórych metod matematycznych w zastosowaniu do elektrotechniki teoretycznej.

Ważnym zadaniem konferencji jest rozszerzenie współpracy naukowej przez nawiązanie kontaktów i wymianę doświadczeń między pracownikami nauki. W związku z tym program konferencji będzie przewidywał niewielkie obciążenie uczestników zajęciami planowymi (ok. 4—5 godzin dziennie), co zapewni możliwość nawiązania bliższej współpracy między uczestnikami.

Zakład Elektrotechniki Teoretycznej zaprasza do udziału w zjeździe samodzielnych pracowników nauki oraz pracowników mających własny dorobek w dziedzinie elektrotechniki teoretycznej.

Zgłoszenia przyjmuje oraz udziela informacji sekretariat Zakładu Elektrotechniki Teoretycznej PAN (Warszawa, Pałac Staszica, Nowy Świat 2, tel. 652—31; wewn. 155).

Wydawnictwa nadesłane

Archiwum Elektrotechniki

Tom II, zes. 1—2, rok 1953, zawiera następujące prace: Osiołowski J. Stany nieustalone w układach pobudzanych ciągami impulsów. — Malecki I. Rozszerzenie poprawionego systemu analogii elektromechanicznych na ośrodki ciągle izotropowe. — Zagajewski T. Liniowe i nieliniowe efekty reakcyjne w generatorach ze sprzężeniem zwrotnym. — Jaworski Cz. Metoda analityczna obliczenia jednostkowego zużycia energii trakcyjnej. — Rajski Cz. Teoria skośnika. — Jakubowski J. L. Wpływ światła na strefę chronioną piorunochronów prętowych. — Szpor S. Uzupełnienie teorii przepięć atmosferycznych indukowanych dla linii z przewodami odgromowymi.

BERSON LUCJAN. ZARYS FIZYKI LAMP ELEKTRYCZNYCH. 1953, Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Szkolnictwa Zawodowego. Format A5, str. 244, rys. 106, tabl. 29, cena zł 14,10. — Spis rzeczy: Promieniowanie i światło. Promieniowanie. Światło. Wrażenia wzrokowe. Wielkości i jednostki nauki o świetle. — Wytwarzanie światła. Rodzaje źródeł światła. Prawa promieniowania temperaturowego. Promieniowanie wyładowań elektrycznych. Promieniowanie fluorescencyjne. — Pomiar lamp elektrycznych. Pomiar światła i elektryczne oraz pomiar trwałości. — Wy-

soka próżnia. Wiadomości wstępne. Wytwarzanie wysokiej próżni. — Żarówki. Ogólne warunki pracy żarówek. Dobroć żarówek. Powody przepalania się żarówek. Warunki uzyskania wysokiej dobroci żarówek. Własności świetlne żarówek. Wpływ wahań napięcia na własności świetlne i elektryczne żarówek. Bilans energetyczny żarówek. — Lampy wyładowcze i fluoryzujące (światłówki). Przepływ prądu przez lampy wyładowcze. Obwód lampy ze stabilizatorem. Lampy wyładowcze. Lampy fluoryzujące. Znaczenie fizyki dla wyrobu lamp elektrycznych. — Informacje wydawcy: Książka mgr inż. L. Bersona zawiera podstawowe wiadomości o promieniowaniu i świetle, fizyce widzenia i zasadniczych wielkościach techniki świetlnej. Omówiono szczegółowo wytwarzanie promieniowania, technikę wysokiej próżni oraz właściwości żarówek, lamp wyładowczych i świetłówek (lamp fluoryzujących). Książka znajdzie odbiorców w uczniach zasadniczych szkół zawodowych, technikach z kierunków techniki próżniowej w technikum budowlanych z przedmiotem wyładowym oświetlenie oraz w fabrykach żarówek i świetłówek, w majstrach, technikach i inżynierach pracujących w przemyśle elektrotechnicznym. Może być również przydatna dla studentów wyższych zakładów naukowych Politechniki i Uniwersytetów oraz pracowników Instytutów Naukowo-Badawczych.

PRZEGLĄD DOKUMENTACYJNY ELEKTROTECHNIKI

opracowany przez OŚRODEK DOKUMENTACJI ELEKTROTECHNIKI

Dodatek do miesięcznika PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

Rocznik 6

Warszawa, kwiecień 1954 r.

Nr 4

Gwiazdkami obok porządkowych liczb artykułów, oznaczone są publikacje znajdujące się w bibliotece Instytutu Elektrotechniki

Wiadomości ogólne

- 168* 621.3.011.537.713 D1
Jegierman A. P.: Praktyczna jednostka miary prądu w układzie MKSA. „O praktycznej jednostce miary prądu w układzie MKSA”. Elektryczestwo, Moskwa, mies., Nr 3, marz. 52, s. 68; A4, 1,5 str. — Omówienie określenia ampera w układzie MKSA (metr, kilogram, sekunda, amper), jako podstawowej jednostki wprowadzonej zamiast kolumba. Definicja ampera, sformułowana przez Komitet nie daje możliwości sporządzania dokładnego wzorca. Podano inne sformułowanie definicji ampera.

Układy elektroenergetyczne

- 169* 621.311.161:621.316.26:621.316.57 D1
Billon-Galland R.: Samoczynne ponowne podjęcie pracy stacji sprzęgającej i transformatorowej. „Reprise automatique du service dans un poste d'interconnexion et de transformation”. Bull. Soc. franc. Electr., Paris, mies., Nr 21, wrzes. 52, s. 526; A4, 6 str., 3 rys. — Problemy zachodzące przy ponownym podjęciu pracy po wyłączeniu dla linii sprzęgających oraz rozdzielczych. Opis układu stacji oraz podanie schematu urządzeń do samoczynnego ponownego włączania oraz przekazników stacji będącej obecnie w eksploatacji.

Maszyny elektryczne

- 170* 621.313.017.71:526.5 D1
Zozowskij Ja. I., Rywkin A. M.: Ciągły pomiar temperatury uzwojenia wirnika generatora. „Niepriemierowoje izmierienie temperatury obmotki rotora genieratora”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 4, kw. 53, s. 41; A4, 2 str., 1 rys. — Opis schematu pomiarowego i zastosowanego logometra. Wpływ stanów nieustalonych w obwodzie wirnika, przy zastosowaniu automatycznego regulatora napięcia, na przebieg pomiaru. Kompensacja wpływu stanów nieustalonych drogą zastosowania kondensatora w obwodzie pomiarowym. Określenie wymaganej pojemności kondensatora. Sposoby łączenia obwodu pomiarowego z pierścieniami wirnika.
- 171* 621.313.043.3-755 D1
Azbukin Ju. J.: Wyważanie ciężkiego wirnika na stanowisku z ruchomymi łożyskami. „Balansirovka tiazolowo rotora na stankie s kaczajuszczimisia podszipnikami”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 1, stycz. 53, s. 55; A4, 1,5 str., 1 fot., 2 rys. — Okoliczności w jakich poleca się wyważanie wirnika o ciężarze 60 ton wg projektu autora artykułu. Zastosowanie sprzęgła kulowego specjalnej konstrukcji, umożliwiającego dogodne uruchomienie i automatyczne odłączanie go od silnika napędowego. Wyniki przeprowadzonego wyważania wirnika.

- 172* 621.313.048.1:621.317.333.1 D1
Kozyriow H. A.: O wyborze wielkości próbnych naprężeń izolacji maszyn elektrycznych. „O wyborie wieliczin i spytatielnych napriazienij izolacji elektriczeskich maszin”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 3, marz. 53, s. 31; A4, 3 str., 3 wykry., 2 tabl. — Zalety badań wytrzymałości izolacji podwyższonym napięciem. Doświadczenia wykazują obniżenie wielkości stosowanego napięcia. Wyniki badań zestawione w tabeli i ich objaśnienie. Korzystniejsze stosowanie w badaniach napięcia wyprostowanego niż zmiennego. Określenie bezpiecznych wielkości napięcia stosowanych przy próbach, nie powodujących pogorszenia wytrzymałości izolacji. Zwięzłe i wyczerpujące wnioski z przytoczonych rozważań.

- 173* 621.313.048.1:621.317.333.1 D1
Izraelit G. B., Kalantarow A. B.: Zapobiegawcze badania podwyższonym napięciem izolacji maszyn elektrycznych. „Profilakticzeskije ispytania izolacji elektriczeskich maszin powyszennym napriazienjem”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 3, marz. 53, s. 34; A4, 2,5 str. — Badania izolacji mające na celu wykrycie jej słabych miejsc, dzięki czemu znacznie zmniejsza się liczba późniejszych awarii. Przykłady wykazywania defektów izolacji podczas badań różnych maszyn. Przyczyny częstszych przebiegów izolacji w połączeniach czolowych przy badaniach prądem stałym, a izolacji zlobkowej przy badaniach prądem zmiennym. Zalecenie przeprowadzania badań w warunkach najbardziej zbliżonych do eksploatacyjnych.

- 174* 621.313.226.3 D1
Budowa i zasada działania wzmacniaczy maszynowych, (Amplidyne). „Aufbau und Wirkungsweise von Verstärkermaschinen (Amplidyne)”. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., Nr 5, maj 53, s. 214; A4, 6 str., 7 rys., 4 wykry., 9 poz. bibl. — Zasada działania amplidyne. Budowa. Uzwojenia — rozłożenie i ich działanie. Rozkład prądu w tworniku. Wzmocnienie statyczne. Stałe czasowe. Wykresy przebiegu stanów nieustalonych prądu wzbudzenia i napięcia wyjściowego. Wzmocnienie dynamiczne. Przykład zastosowania — amplidyna sterująca wzbudzeniem silnika synchronicznego napędzającego generator Leonarda przy napędzie walcarki.

- 175* 621.313.32.044.3:536.53 D1
Prignic G. W.: Zdalny pomiar temperatury uzwojenia wirnika generatora. „Distancjonnoje izmierienie tiempieratury obmotki rotora genieratora”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 4, kw. 53, s. 43; A4, 1 str., 1 rys. — Sposób łączenia obwodu i zasada działania logometra przy pomiarze. Przeprowadzenie skalowania przyrządu. Tablica wartości temperatury w °C w zależności od napięcia i oporności uzwojeń wirnika.

- 176* 621.313.322.043.2:621.317.333.1 D1
Fajnsztiejn E. G.: Zapobiegawcze badania izolacji uzwojeń w stojanach generatorów. „Profilakticzeskije ispytania izolacji statornych obmotok genieratorow”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 3, marz. 53, s. 36; A4, 2,5 str. — Możliwości podwyższenia efektywności badań zapobiegawczych. Powody przebiecia izolacji w okresie pracy generatora, pomimo wytrzymania próby napięciem probierczym. Nieniszcząca metoda badania izolacji, tj. metoda zdjęcia krzywych samowyladowania i zmierzenia prądów stratności. Różnice wykazanych parametrów poszczególnych faz, jako podstawowy wskaźnik istnienia uszkodzeń izolacji. Sposoby usuwania uszkodzeń izolacji i zapobieganie ich powstania.

- 177* 621.3.024:621.313.322.048.001.4 D1
Kolin Ja. S.: Zastosowanie wyprostowanego napięcia przy badaniach izolacji generatorów. „Primienienie wypramlennogo napriazienija pri ispytanjach izolacji genieratorow”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 3, marz. 53, s. 38; A4, 2 str. — Pomiar oporności izolacji. Zależność prądów stratności od wielkości przyłożonego napięcia. Przykłady przeprowadzanych badań generatorów wyprostowanym napięciem i wyniki tych badań. Uzasadnienie stosowania do badań wytrzymałości izolacji napięcia co najmniej 1,4 napięcia nominalnego.

- 178* 621.313.322.1:621.3.072.9 D1
Wasilew A. F.: Zastosowanie samosynchronizacji turbogeneratorów. „Primienienie samosinchronizacji turbogienieratorow”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 4, kw. 53, s. 58; A4, 2 str., 1 rys., 2 wykry. — Analiza przebiegu synchronizacji przy forsowaniu wzbudzenia. Zastosowanie automatycznych regulatorów wibracyjnych. Przebieg prądu i napięcia stojana generatora, ilustrowany wykresami w chwili włączenia. Zabezpieczenie od mylnych połączeń przez blokowanie układu. Uzasadnienie zalet i pewności działania metody samosynchronizacji.

- 179* 621.313.323 D1
Pietrosjan A. N.: Niektóre zagadnienia związane z zastosowaniem silników synchronicznych. „Niekotoryje woprosy primienienija sinchronnych elektrodwigatielej”. Energet. Biull., Moskwa, mies., Nr 4, kw. 1953, s. 18; B5, 9 str., 6 rys., 6 poz. bibl. — Silnik synchroniczny przy pracy i w czasie rozruchu asynchronicznego. Wzbudnica połączona na stałe. Przez dobór oporu w obwodzie wzbudzenia wzbudnicy opóźnia się samowzbudzenie. Ochrona silnika synchronicznego z uwzględnieniem samoczynnego powtórnego rozruchu. Forsowanie wzbudzenia przy spadku napięcia.

Transformatory

- 180* 621.314.21:621.316.933 D1
Aeschlimann H.: Ochrona transformatorów od przepięć za pomocą odgromników i iskierników. „Schutz von Transformatoren gegen Überspannung durch Ableiter oder Stabfunkenstrecken”. Bull. SEV, Zürich, dwutyg., Nr 3, luty 53, s. 88; A4, 7,5 str., 15 rys., 4 poz. bibl. — Źródłowo opracowane zagadnienie koordy-

nacji izolacji układu transformator-iskiernik lub transformator-odgromnik. Wyniki badań własnych. Przepięcia pozostałe na transformatorze przy nadejściu fali obniżonej przez odgromnik lub uciętej przez iskernik. Zależność od lokalizacji odgromnika. Wpływ ucięcia udaru na napięcia cewkowe. Szereg oscylogramów. Wnioski prowadzą do konieczności ustawiania odgromników przy transformatorze.

181* 621.314.21:621.365:621.3.048

D1

Zagoskin E. J.: **Suszenie transformatorów prądami zerowymi.** „Suszka silowych transformatorów tokami nulewej posładowatelnosti”. Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 10, paźdz. 52, s. 41; A4, 3 str., 4 rys. — Krótka charakterystyka metody suszenia transformatorów prądami zerowymi. Wyniki prób suszenia opisaną metodą i jej porównanie ze zwykłą metodą nagrzewania indukcyjnego przy pomocy wzbudnika umieszczonego na kadzi transformatora. Opis i warunki prób, zalety i wady opisaney metody.

182* 621.314.21:621.365.5:621.3.048

D1

Matienko A. S.: **Suszenie transformatorów mocy metodą strat indukcyjnych przy zastosowaniu prądu trójfazowego.** „Suszka silowych transformatorów metodom indukcyjnych potier s primienieniem triochfaznowo toka”. Energ. Biull., Moskwa, mies., Nr 2, luty 52, s. 28; B5, 1,5 str., 1 rys. — Wady suszenia transformatorów metodą indukcyjną przy zastosowaniu prądu jednofazowego. Sposób rozmieszczenia wzbudnika zasilanego prądem trójfazowym. Wyniki prób suszenia wykonanych przy zastosowaniu prądu jedno- i trójfazowego. Zalety suszenia przy zastosowaniu prądu trójfazowego.

183* 621.314.212.004.5

D1

Dietsch Ch.: **Konserwacja i kontrola transformatorów w eksploatacji. Ochrona transformatorów.** „Entretien et controle en service des transformateurs. Protection d'ensemble des transformateurs”. Bull. Soc. franc. Electr., Paris, mies., Nr 20, sierp. 52, s. 436; A4, 1,5 str. — Wytyczne metod oraz okresów sprawdzenia stanu poszczególnych części składowych (uzwojenia, stanu oleju itd.) transformatora będącego w eksploatacji. Typy ochrony przepięciowej i przetężeniowej transformatorów stosowane w stacjach francuskich sieci elektroenergetycznych.

Wzmacniacze

184* 621.314.3

D1

Braun H.: **Wzmacniacze magnetyczne i dielektryczne.** „Magnetische und dielektrische Verstärker”. Z. VDI, Düsseldorf, tyg., t. 95, Nr 11/12, kw. 53, s. 335; A4, 6 str., 2 fot., 12 rys., 6 wyk., 11 poz. bibl. — Przegląd wzmacniaczy wielkości elektrycznych. Zasady działania wzmacniaczy magnetycznych. Konstrukcje wzmacniaczy magnetycznych z rdzeniem płaskowym i pierścieniowym, stosowane materiały. Osiągane wzmocnienia i stałe czasu, sprzężenia zwrotne. Zastosowanie do napędu o stałej ilości obrotów do regulacji wzbudzenia dużych maszyn elektrycznych oraz inne. Wzmacniacze dielektryczne; analogie i różnice ze wzmacniaczem magnetycznym.

Prostowniki

185* 621.314.63:621.315.59

D1

Radionyme: **O prostownikach przemysłowych z germanium.** „Vers les redresseurs industriels au germanium”. Electromagazine, Paris, dwumies., Nr 22, maj-czerw. 53, s. 23; A4, 1,5 str., 3 rys., 1 wyk. — Zasada działania prostowników zbudowanych z półprzewodników, wprowadzenie w budowę cząsteczkową. Prostowniki przemysłowe, wyniki eksploatacyjne.

Linie napowietrzne

186* 621.315.1:621.3.017.1.001

D1

Cochet R.: **Chwytnie cząstek mgły przez linie przesyłowe wysokiego napięcia.** „Captation des gouttelettes de brouillard par les lignes de transport d'énergie électrique à haute tension”. Rev. gen. Electr., Paris, mies., Nr 3, marz. 53, s. 113; A4, 16,5 str., 8 fot., 24 rys., 13 poz. bibl. — Istota strat w liniach przesyłowych wysokiego napięcia, spowodowanych warunkami atmosferycznymi (mgła, deszcz). Określenie i sposoby obliczania (graficzne i analityczne) „współczynnika chwytności”. Zachowanie się cylindra w polu elektrycznym. Założenia upraszczające. Wpływ napięcia na chwytnie kropielek zwiększa się wraz z szybkością przepływu powietrza do pewnej granicy — później staje się pomijalny. Opis i wyniki przeprowadzonych doświadczeń.

187* 621.315.1.004.5:621.317.333.8

D1

Chevallier A.: **Lokalizacja uszkodzeń nietrwałych w liniach bardzo wysokich napięć metodą fal udarowych.** „La localisation des défauts fugitifs sur les lignes à très haute tension au moyen d'ondes de choc”. Bull. Soc. franc. Electr., Paris, mies., Nr 20,

sierp. 52, s. 457; A4, 6,5 str., 8 rys., 7 wyk., 13 poz. bibl. — Przegląd dotychczas stosowanych typów lokalizatorów uszkodzeń nietrwałych: a) rejestrujących fale udarowe powstałe przy powstaniu łuku na linii, b) zaopatrzone we własne generatorki fal udarowych. Rozchodzenie się fal w linii oraz wpływ łuku na fale dużych częstotliwości. Systemy kojarzenia lokalizatorów linii. Opis pomiarów wykonanych na linii 220 kV przy pomocy lokalizatora oraz ich wyniki.

188* 621.315.14.001.24

D1

Protzenko P.: **Uniwersalny wykres do mechanicznego obliczania przewodów linii napowietrznych.** „Abaque universel pour le calcul mécanique des conducteurs des lignes aériennes”. Rev. gen. Electr., Paris, mies., t. 62, Nr 1, stycz. 52, s. 47; A4, 5 str., 7 wyk., 1 tabl., 2 poz. bibl. — Zasada graficznego wyznaczania zwińsów i naprężeń w przewodach linii napowietrznych w zależności od charakteru materiału przewodowego i temperatury. Sposób użycia, zastosowanie. Rozwiązany przykład obliczeniowy dla linii napowietrznej 220/380 kV przewód St-al 411 mm².

Materiały izolacyjne

189* 621.315.616

D1

Plastiki stosowane w przemyśle elektrotechnicznym. „Electroplastics”. Electr. Rev., London, tyg., t. 152, Nr 23, czerw. 53 s. 1307; A5, 6 str., 7 fot. — Różne rodzaje plastyków wyprodukowanych w Wielkiej Brytanii z podaniem ich własności i zastosowań. Omówione różne typy urządzeń do obróbki materiałów plastycznych między innymi spajarki pojemnościowe, podgrzewacze promiennikowe itp. Fotografie urządzeń. Wskaźniki.

190* 621.315.616.001.5

D1

Dubois P., Hérou R.: **Studia nad różnymi próbami elektrycznymi głównych materiałów plastycznych izolujących.** „Recherches sur les différents essais électriques des principaux isolants en matières plastiques”. Rev. gen. Electr., Paris, mies., t. 61, Nr 9, wrzes. 52, s. 383; A4, 4,5 str., 7 tabl., 7 poz. bibl. — Wyniki badań, których przedmiotem jest ustalenie możliwości systematycznego stosowania zwykłych metod określania elektrycznych wielkości charakterystycznych do oceny wartości materiałów plastycznych izolacyjnych. Ocena wartości prób oraz dane liczbowe dotyczące materiałów powszechnie stosowanych. Ustalenie najlepszych metod i normalnych tolerancji prób.

Izolatory

191* 621.315.652:620.198

D1

Schuepp P., Gion L.: **Kilka uwag o sprawdzaniu galwanizacji części żelaznych izolatorów liniowych.** „Quelques remarques sur le contrôle de la galvanisation des ferrures d'isolateurs de ligne”. Rev. gen. Electr., Paris, mies., t. 61, Nr 4, kw. 52, s. 184; A4, 11 str., 7 wyk., 9 tabl. — W normach dotyczących sprawdzania grubości i równomierności warstwy zabezpieczającej brak jest danych doświadczalnych o czynnikach, które zasadniczo mogą zmienić wyniki prób, przeprowadzonych przy użyciu siarczanu miedzi. Szczegółowa analiza wpływu tych czynników (stężenie roztworu, jego temperatura i stopień zakwaszenia) na wyniki prób, podają opis metody zastosowanej oraz szczegółowe wyniki przeprowadzonych prób. Porównanie różnych norm dotyczących prób przy użyciu siarczanu miedzi.

Stupy

192* 621.315.668.1.004.4:674.038.4

D1

Weilenmann E.: **Sposoby impregnowania słupów drewnianych i doświadczenia eksploatacyjne.** „Die Imprägnierverfahren für Holzmasten und die damit gemachten Erfahrungen”. Bull. SEV, Zürich, dwutyg., Nr 2, stycz. 53, s. 43; A4, 5 str., 9 poz. bibl. — Odpowiednie konserwowanie drewna zabezpiecza je przed działaniem czynników biologicznych (grzyby) i znacznie przedłuża okres pracy. Również konieczna jest ochrona przed wpływami natury fizyko-chemicznej (wpływ wilgoci, temperatury, kwasów itp.). Opis różnych sposobów impregnowania drewna świeżego i suchego. Różne substancje impregnujące. Porównanie z wynikami eksploatacyjnymi drewna impregnowanego za granicą (Niemcy, Francja, Anglia, Austria).

193* 621.315.668.1.004.4:674.038.4

D1

Carlo L.: **Wyniki eksploatacyjne impregnowanych słupów drewnianych w „Service de l'électricité de Genève”.** „Erfahrungen mit imprägnierten Holzmasten beim Service de l'électricité de Genève”. Bull. SEV, Zürich, dwutyg., Nr 2, stycz. 53, s. 48; A4, 5 str., 5 fot., 6 rys., 1 tabl., 2 poz. bibl. — Wykresy czasu pracy słupów drewnianych impregnowanych. Wyniki statystyk czeskich, niemieckich i szwajcarskich na przeciąg ostatnich 50 lat. Zależność od sposobu impregnowania. Dobre wyniki pracy słupów

nasycanych smołą. Wyjaśnienie charakterystycznego przebiegu krzywej życia słupów przez podział na grupy dobrze i źle chronionych od wpływów zewnętrznych. Opis różnych sposobów impregnacji (za pomocą karbolineum, smoły, siarczanu miedzi i innych). Przekroje słupów impregnowanych. Ocena ekonomiczna celowości impregnowania.

Wyłączniki

194* 621.316.54.064.25:621.398.2:621.54 D1
Mowsiesow N. S., Bilmies I. S.: **Zdalne sterowanie wyłącznikami olejowymi na stacjach kompresorowych.** „Distancjonnoje uprawlenje maszynami wykluczatielami na kompiessornych stanциях“. Energet. Biull., Moskwa, mies., Nr 2, luty 53, s. 6; B5, 6,5 str., 5 rys., 4 poz. bibl. — Schematy i opisy działania układów sterowania za pomocą elektromagnesów. Gospodarczo celowe zastosowanie zasilania cewek napięciem stałym z akumulatorów.

195* 621.315.1.051.2:621.311.161:621.316.57 D1
Robert R.: **Porównanie z punktu widzenia stateczności różnych typów samoczynnego ponownego włączania w sieciach przesyłowych i sprzęgających.** „Comparaison sous l'angle de la stabilité des divers de réenclenchement sur les réseaux de transport et d'interconnexion“. Bull. Soc. Franc. Electr., Paris, mies., Nr 21, wrzes. 52, s. 516; A4, 9,5 str., 21 wykr., 1 tabl. — Wyniki badań przeprowadzonych na analizatorze sieciowym nad zagadnieniem samoczynnego ponownego włączania z punktu widzenia stateczności pracy linii. Pomiar przeprowadzone dla samoczynnego ponownego włączania o działaniu: a) ultraszybkim, b) średnioszybkim, c) z dużym opóźnieniem. Badano linie przesyłowe i sprzęgające jedno- lub więcej torowe.

196* 621.315.1.051.2:621.316.57 D1
Pétard M.: **Wyniki eksploatacji urządzeń do samoczynnego ponownego włączania we francuskich sieciach 150 i 220 kV w latach 1950 i 1951.** „Résultats d'exploitation des systèmes de réenclenchement automatique sur les réseaux à 220 et 150 kV de l'E.D.F. en 1950 et 1951“. Bull. Soc. franc. Electr., Paris, mies., Nr 21, wrzes. 52, s. 513; A4, 3 str. — Artykuł statystyczny z działania urządzeń samoczynnego ponownego włączania jedno- i trójfazowego o działaniu: a) bardzo szybkim, b) średnioszybkim, c) wolnym, wraz z krótkim opisem cech charakterystycznych linii, na której zostały one zainstalowane. Wnioski z punktu widzenia poprawienia pracy linii przy zastosowaniu samoczynnego ponownego włączania, oraz jego wpływ na pracę maszyn elektrycznych oraz przekładników ochronnych znajdujących się w sąsiedztwie.

197* 621.315.1.051.2:621.316.57 D1
Roche L.: **Samoczynne ponowne włączanie we francuskich sieciach przesyłowych.** „Le réenclenchement automatique sur le réseau français de transport d'énergie“. Bull. Soc. franc. Electr., Paris, mies., Nr 21, wrzes. 52, s. 501; A4, 11,5 str., 7 rys., 1 tabl., 9 poz. bibl. — Urządzenie stosowane na liniach 150 i 220 kV dla samoczynnego ponownego włączania jednofazowego przy uszkodzeniach jednofazowych oraz trójfazowego przy uszkodzeniach dwu- lub trójfazowych. Warunki ogólne pracy oraz konstrukcji. Opis urządzeń samoczynnego ponownego włączania konstrukcji BBC (Electricité de France). Projekt rozwoju stosowania samoczynnego ponownego włączania we francuskich sieciach przesyłowych.

198* 621.316.027.3:621.316.57 D1
Vadi J.: **Wyniki eksploatacji wyłącznika o szybkim ponownym włączaniu.** „Résultats d'exploitation d'un disjoncteur à réenclenchement rapide“. Bull. Soc. franc. Electr., Paris, mies., Nr 21, wrzes. 52, s. 548; A4, 3,5 str. — Zastosowanie samoczynnego ponownego włączania w sieci rozdzielczej 30 kV. Opis badanego systemu. Stosowane urządzenia: wyłączniki i przekładniki. Przeprowadzone próby. Próby przeprowadzone u użytkowników (na niskim napięciu) przy samoczynnym ponownym włączaniu. Statystyka z pracy sieci w ciągu dwóch lat eksploatacji.

199* 621.316.57.025.3 D1
Ginouze P.: **Wyniki eksploatacji wyłącznika o szybkim ponownym trójfazowym włączaniu w linii napowietrznej 10 kV.** „Résultats d'exploitation d'un disjoncteur à réenclenchement rapide triphasé sur un réseau aérien 10 kV“. Bull. Soc. franc. Electr., Paris, mies., Nr 21, wrzes. 52, s. 537; A4, 8 str., 1 tabl. — Zwiększenie pewności ruchu starej linii rozdzielczej 10 kV przez zastosowanie wyłączników o szybkim samoczynnym ponownym włączaniu. Wyniki eksploatacji ulepszonego systemu.

Regulacja

200* 621.316.7:621—578.3 D1
Otto A.: **Elektryczne sprzęgła poślizgowe.** „Elektrische Schlupf-kupplungen“. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., t. 7, Nr 7, lip. 53, s. 339; A4, 2 str., 1 rys., 3 wykr. — Budowa sprzęgła poślizgowego. Sposób działania i charakter pracy. Sprawność. Wykresy umożliwiające określenie czasu rozruchu. Sposoby polepszenia warunków rozruchu. Zakres zastosowania sprzęgieł poślizgowych.

201* 621.316.722.027.5 D1
Serny J.: **Stabilizator napięcia prądu stałego o wysokim napięciu.** „Étude d'un stabilisateur permettant la régulation des hautes tensions continues“. Rev. gen. Electr., Paris, mies., t. 61, Nr 9, wrzes. 52, s. 411; A4, 10 str., 3 rys., 15 wykr. — Opis stabilizatora napięcia prądu stałego dla napięć o wartości do kilku tysięcy woltów. Układ stabilizatora wyróżnia się zastosowaniem kilku szeregowo połączonych triod do nastawiania oporności szeregowego obwodu oraz użyciem w układzie pomiarowym (czujniku) napięcia, elektrometru z okresowo zmienną pojemnością. Układ stabilizuje napięcie bez widocznych odchyłań wartości napięcia stabilizowanego przy zmianach napięcia zasilającego w granicach $\pm 20\%$.

202* 621.316.74:621.385 D1
Jarofiejew A. W.: **Przyrządy elektronowe do kontroli i regulowania procesów cieplnych.** „Elektronnyje pribory awtomaticheskowo kontrola i riegulirowanja tiepłowych procesow“. Promysl. Energ., Moskwa, mies., Nr 2, luty 53, s. 4; A4, 4 str., 2 tabl., 3 poz. bibl. — Przegląd możliwych zastosowań przyrządów elektronowych do kontroli i regulowania procesów cieplnych. Zalety przyrządów elektronowych różnych typów. Klasyfikacja zasadniczych typów przyrządów. Wskaźniki techniczne zapisujących elektronowych potencjometrów i mostków. Schemat układu bezpośredniej zamiany SEM temperatury w odpowiedni kąt przesunięcia fazy napięcia sterującego tyratronowy regulator równowagi potencjometru.

Urządzenia zabezpieczające

203* 621.316.9:621.313.12 D1
Wytyczne do zabezpieczenia generatorów. „Richtlinien für den Generatorschutz“. Elektrizitätswirtsch., Frankfurt/Main, dwutyg., Nr 13, lip. 53, s. 345; A4, 3,5 str., 1 tabl. — Projekt opracowany przez Komisję VDE. Zadaniem ochrony generatorów jest chronić od wszelkich możliwych zakłóceń. Przegląd różnych sposobów ochrony z uwzględnieniem wymagań dla elektrowni wodnych i parowych. Ochrona generatorów przed zwarciem doziemnym i zwarciem międzyzwojowym, przed przeciążeniem, podskokiem napięcia itd. Ochrona generatora przed przejściem w stan pracy silnikowej oraz ochrona transformatora blokowego przekładnikiem Buchholza. Uwagi o przyborach pomocniczych ochrony (przekładniki, regulatory, obwody sterownicze).

204* 621.316.925.43:621.314.21 D1
Ozoł P. Z.: **Obliczanie ochrony nadprądowej transformatora, zasilającego silniki z samoczynnym rozruchem.** „Rasczot maksimalnoj tokowej zaszczyty transformatora, pitajuszczego elektrodwigateli s samozapuskom“. Energet. Biull., Moskwa, mies., Nr 2, luty 53, s. 13; B5, 3 str., 4 rys. — Schematy włączenia przekładników nadprądowych. Omówione zmiany, które należy wprowadzić w układzie zabezpieczającym transformator przy przejściu na rozruch samoczynny silników. Metody obliczania prądów rozruchu.

205* 621.316.1/2:621.316.99 D1
Erich M.: **Uziemienia robocze i ochronne w sieciach rozdzielczych i podstacjach.** „Betriebs und Schutzterdung in Verteilernetzen und Stationen“. Elektrizitätswirtsch., Frankfurt/Main, dwutyg., Nr 13, lip. 53, s. 340; A4, 2,5 str., 3 rys., 1 tabl. — Zestawienie oporności uziemień około tysiąca stacji średnich napięć. Porównanie prądów ziemnozwarciowych. Celowość przejścia oporności nieprzekraczającej 5 omów. Rozważanie celowości oddzielnego lub łącznego uziemienia urządzeń niskiego i wysokiego napięcia oraz urządzeń ochrony odgromowej (zagadnienie przerzutu napięcia). Połączenie uziołów odgromników i skrzyni transformatora jest celowe przy dużej wartości oporności uziemienia. W przypadku dużych prądów ziemnozwarciowych przyłączony do wysokiego uziemienia odgromnik niskiego napięcia może eksplodować.

Miernictwo elektryczne

206* 621.317.725:621.385 D1
Donakoj A. W., Iwienki G. W.: **Woltomierz lampowy do pomiaru wielkiej częstotliwości w urządzeniach elektrotechnicznych.** „Wysokoczastotnyj woltomierz dla elektrotechnicheskich ustanowok“. Promysl. Energ., Moskwa, mies., Nr 4, kw. 53, s. 13; A4, 3 str., 1 fot., 1 rys., 1 wykr. — Prosty woltomierz lampowy

do pomiaru napięcia wielkiej częstotliwości do 10^6 Hz w przemysłowych urządzeniach grzejnych. Prostownik posiada podwójną diodę w symetrycznym układzie. W woltomierzu użyto pojemnościowego dzielnika napięcia. Metody obliczenia elementów układu woltomierza. Dokładność pomiaru 3–4% jest wystarczająca do strojenia przemysłowych generatorów lampowych. Dzięki swej prostocie można woltomierz wykonać w każdym laboratorium fabrycznym.

207* 621.317.7:621.316.7 D1

Kilka nowych przyrządów. „Quelques appareils nouveaux“. Mesures, Paris, mies., Nr 188, stycz. 53, s. 33; A4, 9 str., 6 fot., 7 rys. — Zasada działania i budowa regulatora elektrycznego, pozwalającego na stopniową regulację impulsami, np. zasilania pieców gazowych. Charakterystyka obwodu elektrycznego, zakresy i dokładność działania. Regulator temperatury dla małych i średnich mocy grzejników. Przyrządy do pomiaru alkalizności wody zasilającej w urządzeniach cieplnych. Zasada działania, schemat urządzenia. Automatyczna kontrola zawartości jonów wodorowych (pH-metry). Regulatory pneumatyczne (zasada działania, budowa, zastosowanie urządzenia). Przyrząd do kontroli małych ciśnień. Inne urządzenia regulacyjno-kontrolne dla pieców.

208* 621.317.79:621.389:531.113 D1

Gonczański Ł. A.: Elektronowe mierniki przyspieszenia (Przegląd). „Elektronnyje akselerometrii (Obzor)“. Elektricestwo, Moskwa, mies., Nr 1, stycz. 52, s. 81; A4, 1,5 str., 5 rys., 9 poz. bibl. — Przegląd mierników przyspieszenia stosowanych w Ameryce. Wskaźniki termoelektronowe — szkic i schematy. Szkic wibrometru RCA-5734. Schemat wskaźnika z polem jednorodnym. Szkic dwuanodowego miernika przyspieszenia. Objaśnienia.

Kondensatory

209* 621.319.4:621.3.054.42 D1

Dormont J.: Technika i konstrukcja kondensatorów statycznych. „Technique et construction des condensateurs statiques“. Bull. Soc. franc. Electr., Paris, mies., Nr 21, wrzes. 52, s. 493; A4, 7,5 str., 8 rys. — Teoria i metody obliczeń kondensatorów statycznych stosowanych w sieciach elektroenergetycznych. Technika oraz metody produkcji kondensatorów o izolacji papierem impregnowanym — stan obecny. Stosowane typy konstrukcji kondensatorów mocy dla użytkowników (niskie napięcie), sieci przesyłowych i rozdzielczych oraz kondensatorów sprzęgających (dla obwodów wielkiej częstotliwości w sieciach elektroenergetycznych).

Oświetlenie elektryczne

210* 628.95:621.328.43 D1

Schmidt K.P.R.: Nowe lampy i oprawy oświetleniowe. „Neue Lampen und Leuchten“. Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., Nr 9, wrzes. 52, s. 458; A4, 3,5 str., 9 fot., 4 rys., 5 wyk. — Nowe typy opraw do świetlówek przystosowane do różnych miejsc pracy. Oprawy wodo- i pyłoszczelne. Oprawy przeciwybuchowe. Oprawy wnękowe i nowe elementy oświetleniowe w architekturze wnętrz. Wykresy biegunowe światłości opraw.

Elektrochemia

211* 621.3.016.3:621.357 D1

Ott F.: Zapotrzebowanie energii elektrycznej w elektrochemii. „Elektrizitätsbedarf der Elektrochemie“. Elektrizitäts Verw., Zürich, mies., r. 28, Nr 3–5, czerw., lip., sier. 53, s. 70; A4, 11,5 str., 9 rys., 1 tabl., 27 poz. bibl. — Znaczenie energii elektrycznej w przemyśle chemicznym. Wzrost zużycia energii elektrycznej dla potrzeb przemysłu elektrotechnicznego w skali światowej. Główni odbiorcy energii elektrycznej w przemyśle chemicznym: produkcja wodoru, tlenu, chloru i jego związków; produkcja i rafinacja elektrolityczna miedzi, cynku. Elektroliza ogniova aluminium i jego oczyszczanie, produkcja magnezu, wapnia, metali alkalicznych — potasu, litu, sodu. Wskaźniki obrazujące wzrost zużycia energii do tej produkcji, na przestrzeni ostatnich lat. Średnie zużycie energii elektrycznej na jednostkę produkcji. Wydajność produkcji, wskaźniki ekonomiczne wymienionych metod. Wnioski gospodarcze.

Napędy elektryczne

212* 621.316.727:621.34:621.512 D1

Rajewska E. S.: Przyczynę do zagadnienia silnika napędo-

wego dla kompresorów tłokowych. „K woprosu o priwodnom dwigatelie dla porszniewych kompiressorow“. Energet. Biull., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 53, s. 23; B5, 4 str., 2 rys., 1 tabl., 5 poz. bibl. — Ograniczenie zdolności kompensacji współczynnika mocy przez przewzbudzenie silnika synchronicznego napędzającego kompresor tłokowy. Ze wzrostem wzbudzenia rośnie częstotliwość drgań własnych silnika, co może doprowadzić do rezonansu z drganiami wymuszonymi. Wyniki pomiarów na modelu.

Elektrotermia

213* 621.365:621.3.016.3 D1

Volkert G.: Zapotrzebowanie energii elektrycznej w procesach elektrotermicznych. (Metalurgia i inne technologie). „Elektrizitätsbedarf elektrothermischer Verfahren (Metallurgie und sonstige Verfahren)“. Elektrizitäts Verw., Zürich, mies., t. 28, Nr 3–5, czerw.-lipiec-sierp. 53, s. 82; A4, 6,5 str., 8 rys., 2 tabl., 6 poz. bibl. — Wzrost zużycia energii elektrycznej w zastosowaniach elektrotermicznych. Klasyfikacja i charakterystyka pieców elektrycznych. Różnica między piecami na pracę ciągłą i przerywaną. Zastosowania pieców na pracę ciągłą: produkcja węglików, a w szczególności karbidu, fosforanów, niektórych stopów metali. Zastosowanie pieców na pracę przerywaną: produkcja stali elektrycznej, stopy żelazochromu i żelazomanganu, karborundu, korundu itp. Typowe moce jednostek przemysłowych, dane konstrukcyjne i eksploatacyjne, bilans energetyczny niektórych pieców. Dane dotyczące zużycia energii na jednostkę produkcji, wydajności, przełotności pieców itp. Wnioski gospodarcze.

214* 621.365:643.352.32 D1

Fischer-Schlemm, Krepela W.: Badania parnika ogrzewanego elektrycznie. „Untersuchungen am Elektro-Futterdämpfer“. Elektrowärme Techn., Hannover, dwumies., Nr 1, kw. 53, s. 16; A4, 3 str., 3 rys., 2 tabl. — Zalety stosowania energii elektrycznej do ogrzewania parników. Badania nad możliwościami zastosowania cynkowania wnętrza kotła, badanie wpływu czasu „parowania“ na składniki pokarmu; oszczędność zużycia energii przez wykorzystanie ciepła zakumulowanego w kotle i paszy. (Dogotowywanie bez dalszego zasilania prądem elektrycznym). Wypożyczenie parników zasilanych prądem elektrycznym.

215* 621.365:669 D1

Blackwell A. J.: Elektryczne piece do topienia. „Electric melting furnaces“. Electr. Rev., London, tyg., t. 152, Nr 19, maj 53, s. 1041; A5, 4 str., 2 fot., 3 rys. — Zalety pieców elektrycznych do topienia metali. Piece łukowe, bezrdzeniowe piece indukcyjne wielkiej częstotliwości. Opis pracy pieca łukowego, jego zalety i zakres stosowności. Opis pracy i zasada działania indukcyjnego pieca bezrdzeniowego, zakres stosowności. Rozruch pieca. Porównanie obu pieców.

216* 621.365:669.14 D1

Blackwell A.: Piece do obróbki cieplnej. „Heat treatment furnaces“. Electr. Rev., London, tyg., Nr 21, maj 53, s. 1149; A5, 5,5 str., 2 fot., 5 rys. — Budowa i zasada działania kilku typów pieców elektrycznych do hartowania, temperowania i odprężenia wyrobów ze stali. Zakres stosowności. Piece oporowe z atmosferą ochronną, z wymuszonym obiegiem atmosfery, elektrodowe wanny solne. Regulacja temperatury pieców.

217* 621.365.2:669.14 D1

Koczko W. S.: Warunki cieplne metalu i szlaki oraz strumienie cieplne w elektrycznych piecach do topienia stali. „Tiempieraturnyj rieziem metalia i szlaka i tieplovyje potoki w elektriczeskich staleplawilnych pieczach“. Izv. Akad. Nauk SSSR, Moskwa, mies., Nr 7, lip. 52, s. 1045; B5, 15 str., 10 rys., 2 tabl., 5 poz. bibl. — Opis i wyniki badań cieplnych warunków metalu i szlaki oraz cieplnych strumieni występujących w elektrycznych piecach łukowych w czasie pracy. Opis i dane urządzenia, na którym wykonano badania. Opis metody i aparatury zastosowanej do pomiaru temperatury i strumieni cieplnych, sposób wykonania pomiarów, wyniki pomiarów podane w formie krzywych oraz zestawione w tablicach. Dyskusja wyników pomiarów oraz wnioski odnośnie zjawisk cieplnych występujących w piecach łukowych. Wniosek o celowości stosowania w przemyśle opisanych pomiarów i aparatury.

Niniejszy Przegląd Bibliograficzny zawiera jedynie część analiz dokumentacyjnych publikacji z zakresu elektrotechniki. Pełna dokumentacja ukazuje się w postaci kart dokumentacyjnych, wydawanych przez Centralny Instytut Dokumentacji Naukowo-Technicznej (Warszawa, Al. Niepodległości 188). CINDT przyjmuje prenumeratę kart dokumentacyjnych, która może obejmować zarówno całą dokumentację naukowo-techniczną, jak i działy lub poszczególne zagadnienia i tematy techniczne. Cena karty dokumentacyjnej wynosi w prenumeracie 10 groszy.

CINDT wykonuje za zwrotem kosztów fotokopie i mikrofilmy publikacji objętych przeglądem bibliograficznym jak i kartami dokumentacyjnymi.

Warunki prenumeraty PRZEGLĄDU ELEKTROTECHNICZNEGO na 1954 r.

I. Prenumerata normalna

Prenumerata normalna wynosi: roczna 108 zł, półroczna 54 zł, kwartalna 27 zł.

Zgłoszenia na prenumeratę normalną przyjmują wyłącznie urzędy pocztowe oraz listonosze miejscy i wiejscy w tym rejonie doręczeń, gdzie zamieszkuje prenumerator.

Termin zgłaszania prenumeraty normalnej na okres roczny, półroczny lub kwartalny upływa z dniem 10 każdego miesiąca, poprzedzającego okres prenumeraty.

II. Prenumerata ulgowa

Prenumerata ulgowa wynosi: roczna 54 zł, półroczna 27 zł, kwartalna 13,50 zł.

Z prenumeraty ulgowej mogą korzystać w 1954 r. jedynie członkowie stowarzyszeń naukowo-technicznych zrzeszonych w NOT oraz członkowie klubów techniki i racjonalizacji przy zamawianiu zbiorowym przez koła zakładowe.

Członkowie stowarzyszeń nie zrzeszeni w kołach zakładowych korzystają z prenumeraty ulgowej przy zamawianiu zbiorowym przez oddziały stowarzyszeń.

Prenumeratę można zgłaszać na okres kwartalny, półroczny i roczny.

Koła zakładowe i oddziały stowarzyszeń przekazują zamówienia zbiorowe w podanych niżej terminach do PPK „Ruch”, Warszawa, Centralna Ekspedycja, ul. Srebrna 12, wpłacając jednocześnie należność do PKO na konto nr I-14000/110.

Terminy zgłaszania prenumeraty ulgowej w kołach zakładowych i oddziałach Stowarzyszeń:

na I kwartał 1954 r.	—	do 30 listopada 1953 r.
„ II	„	— do 28 lutego 1954 r.
„ III	„	— do 31 maja 1954 r.
„ IV	„	— do 31 sierpnia 1954 r.

Terminy powyższe powinny być ściśle przestrzegane.

Wydawnictwa nadesłane

RAKOWSKI M. i ZIÓLKOWSKI E. SOCJALISTYCZNA ELEKTRYFIKACJA POLSKI. 1953, Warszawa, Polskie Wydawnictwa Gospodarcze. Format A5, str. 196, cena zł 12. — Spis rzeczy: Osiągnięcia w dziedzinie socjalistycznej elektryfikacji Polski Ludo we j. Stan elektryfikacji w Polsce kapitalistyczno-obszar niczej. Elektryfikacja w okresie odbudowy gospodarczej (1945—1949). Okres budowy podstaw socjalizmu (1950—1955). Perspektywy rozwoju elektryfikacji. Nowoczesne rozwiązania techniczno-ekonomiczne w energetyce — podstawą dalszego rozwoju elektryfikacji. Kierunki rozwoju elektryfikacji. — Informacje wydawcy: Książka zawiera charakterystykę osiągnięć i perspektyw rozwoju elektryfikacji Polski, jako zasadniczego czynnika przemysłowego kraju i rozwoju budownictwa socjalistycznego oraz jako jednego z czynników zapewniających — zgodnie z podstawowym prawem socjalizmu — coraz lepsze zaspokajanie potrzeb materialnych i kulturalnych społeczeństwa. Praca przeznaczona jest dla aktywu gospodarczego, stykającego się w praktyce z zagadnieniami elektryfikacji, oraz dla licznych czytelników interesujących się techniczno-ekonomicznymi problemami rozwoju naszej gospodarki narodowej.

KRZYWICKI MIECZYSLAW, mgr inż. MASZYNY ELEKTRYCZNE. 1954, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 400, cena zł 17,80. — Spis rzeczy: Maszyny prądu stałego. Transformatory. Uzwojenia maszyn prądu zmiennego. Maszyny synchroniczne. Maszyny indukcyjne. Maszyny komutatorowe. Porównanie różnych rodzajów silników. Konstrukcja maszyn elektrycznych. Przetwornice i prostowniki. — Informacje wydawcy: W książce omówiono zasadę działania, budowę i pracę maszyn elektrycznych prądu stałego i zmiennego, transfor-

matorów i prostowników. Książka została zatwierdzona jako podręcznik dla wszystkich wydziałów techników energetycznych i elektrycznych, w których występuje przedmiot „Maszyny elektryczne”, z wyjątkiem wydziału maszyn elektrycznych.

WOŁKOWINSKI K., mgr inż. UZIEMIENIA W URZĄDZENIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH. 1954, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 132, cena zł 9,70. — Spis rzeczy: Podstawowe wiadomości o przepływie prądów elektrycznych w ziemi. Cel stosowania uzemień i wymagane oporności uzziemienia. Budowa urządzeń uzimających. Pomiar oporności uzziemienia i oporności właściwej gruntu. Projektowanie urządzeń uzimających. Eksploatacja urządzeń uzimających. — Informacje wydawcy: Książka zawiera zasady projektowania, zasady obliczania oraz wykonawstwo i eksploatację uzemień w urządzeniach elektroenergetycznych. Przeznaczona jest dla techników zajmujących się budową i eksploatacją urządzeń elektroenergetycznych.

ZOLEDZIOWSKI STANISŁAW, mgr inż. PRÓBY STANU IZOLACJI KABLI ELEKTROENERGETYCZNYCH. 1954, Warszawa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Format A5, str. 44, rys. 15, cena zł 3. Spis rzeczy: Wiadomości wstępne. Uszkodzenia izolacji linii kablowych. Rodzaje i zakres prób stanu izolacji. Próba napięciowa i pomiar prądu przewodzenia. Pomiar oporności izolacji. Ocena stanu izolacji. — Informacje wydawcy: W książce podany jest opis uszkodzeń izolacji w elektroenergetycznych liniach kablowych, prób stanu izolacji kabli (próba napięciowa), pomiar prądu przewodzenia, pomiar oporności izolacji oraz sposób oceny stanu izolacji na podstawie wyników prób. Książka jest przeznaczona dla monterów zatrudnionych w eksploatacji elektroenergetycznych linii kablowych.

PRZEGLĄD TECHNICZNY, organ główny NOT, nr 3/54, zawiera następujące artykuły: Ku czci II Zjazdu Polskiej Zjednoczonej Partii Robotniczej. — B o r e j d o J. Wzmocnić rolę nauki w rozwoju polskiej metalurgii. — C z a r n o w s k i J. W. O rozwój twórczej krytyki piśmiennictwa technicznego. — P a z d u r J. Technika polska okresu Odrodzenia. — K a c z m a r e k J. Skrawanie szybkościowe i skrawanie narzędziami typu Kolesowa. — P i e ś l a k W. Nowoczesne metody określania stopnia zanieczyszczenia powietrza i gazów w ośrodkach

przemysłowych. — T u r k o w s k i Z. Szybkościowa metoda wiercenia obrotowego w polskim przemyśle naftowym. — P l e w k o W. Higiena produkcji w przemyśle spożywczym. — Z b i c h o r s k i Z. Ogólnokrajowa konferencja planowania i rozrachunku wewnątrzzakładowego. — L a s k o w s k i W. Uwagi pracownika przemysłu na tle obrad nad sprawami organizacji przedsiębiorstwa. — Nowiny techniczne i z prasy zagranicznej. — Wolna trybuna. — Sprawy organizacyjne NOT i stowarzyszeń. — Krytyka i bibliografia.

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE

Nowości wydawnicze

BADER J.: **Odgromniki zaworowe. Konstrukcja, eksploatacja, próby.** S. 88, zł 6.20

BIELAJEW A.: **Metalurgia metali lekkich.** Tłum. z ros. W. Ryży. S. 312, zł 31.— (w oprawie)

BLOM A. V. **Organiczne powłoki ochronne. Teoria i praktyka.** Tłum. z ang. A. Szuchnik. S. 119, zł 23.50 (w oprawie)

CHRZANOWSKI S.: **Wiadomości z budownictwa dla oficerów i podoficerów straży pożarnych.** S. 168, zł 10.50

DZIKOWSKI A.: **Bezpieczeństwo i higiena pracy w rzemiośle brązowniczym, galwanizerskim i odlewniczym.** S. 64, zł 4.—

Izolacje cieplne. Poradnik izolatora. Praca zbiorowa. Tłum. z ros. W. Kulikowski. S. 440, zł 42.50 (w oprawie)

JABŁOŃSKI M., SAPAŁA C.: **Próby przemysłowe transformatorów.** S. 154, zł 11.30

KOMAROW A. M., ŁUKNICKI W. W.: **Poradnik dla energetyków. Zagadnienia cieplne i obsługa elektrosiłowni.** Tłum. z ros. W. Czaplicki, S. Hahn i A. Neyman. S. 520, zł 38.50 (w oprawie)

KOSIERADZKI P.: **Obróbka cieplna metali.** S. 172, zł 42.50 (w oprawie)

KRZYWICKI M.: **Maszyny elektryczne.** S. 400, zł 17.80

Lejkin W. E.: **Wytapianie stali w piecach elektrycznych.** Tłum. z ros. K. Radźwicki. S. 316, zł 33.— (w oprawie)

NECHAY J.: **Betonowanie. Seria „Będe fachowcem”.** S. 55, zł 3.—

NECHAY J.: **Deskowanie i zbrojenie. Podstawowe wiadomości dla betoniarza. Seria „Będe fachowcem”.** S. 56, zł 3.20

PALUCH E.: **Toksykologia przemysłowa.** S. 380, zł 47.— (w oprawie)

PIETRZYK T.: **Racjonalizatorstwo w mojej pracy zawodowej.** S. 28, zł 1.—

PRZESTĘPSKI W.: **Cieplaki. Konstrukcja i zastosowanie do robót budowlanych.** S. 119, zł 12.60

PYSZKOWSKI L.: **Instalacje elektryczne przewodem kabelkowym.** S. 43, zł 3.—

RODDATIS K. F., RUBINOW J. S.: **Modernizacja kotłów parowych małej wydajności.** S. 115, zł 19.40

SCHNEIDER E.: **Winidur. Własności, obróbka, zastosowanie.** S. 54, zł 4.50

Technologia kauczuku i materiałów pokrewnych. Opracowali: BOSTROM S., LANGE K., SCHMIDT H., STOCKLIN P. Tłum. z niem. W. Zieliński i J. Żurakowska-Orszagh. S. 404, zł 50.— (w oprawie)

TROSKOLAŃSKI J.: **Matematyka w zarysie.** Wyd. 2 poprawione i uzupełnione. S. 380. zł 28.40

WOŁKOWIŃSKI K.: **Uziemienia w urządzeniach elektroenergetycznych.** S. 132, zł 9.70

Do nabycia w księgarniach technicznych Domu Książki i u kolporterów zakładowych

