

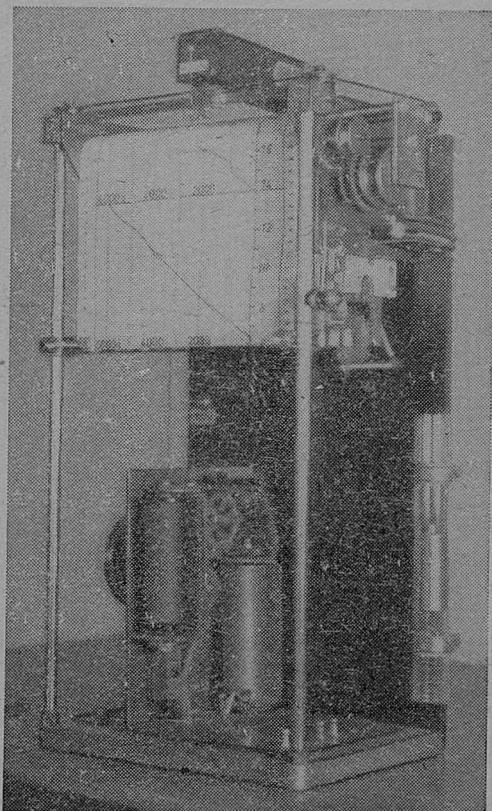
PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH
CENTRALNEGO ZARZĄDU ENERGETYKI, CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU MASZYN ELEKTRYCZNYCH
CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU KABLOWEGO

ROK XXVIII

ZESZYT 4

21.IV.1952



Tempograf Stanisława Śliwińskiego



SPIS RZECZY

- Elektrycy w hołdzie Prezydentowi Bolesławowi Bierutowi
- Czaplicki T. Kronika: Automatyka i miernictwo elektryczne.
- Browkin J. i Brodziak Cz. Automatyzacja procesów technologicznych i pomiary zdalne w przemyśle cukrowniczym.
- Wasilenko E. Kompensacja uchybów w mostku Scheringa.
- Walter J. Samoczynne kompensatory prądu stałego.
- Blocki F. Metoda pomiaru przenikalności magnetycznej blach transformatorowych bez wycinania próbek.
- Gajewski Z. Zagadnienie wzorców w elektrotermometrii.
- Keller J. Termostaty wysokiej klasy i dokładny pomiar temperatury.
- Sochor B. Pomiar i regulacja temperatury w przemyśle.
- Roliński J. Komórki fotoelektryczne i ich zastosowanie do kontroli i automatyzacji procesów technologicznych.
- Lampy fluoryzujące w obwodach trójfazowych.
- Przegląd Bibliograficzny Elektrotechniki.

СОДЕРЖАНИЕ

- Электрики чествуют Президента Болеслава Берута.
- Чаплицкий Т. Хроника: Автоматика и электрические измерения.
- Бровкин Я. и Бродзяк Ч. Автоматизация технологических процессов и измерения на расстоянии в сахарной промышленности.
- Василенко Е. Компенсация погрешностей моста Шеринга.
- Вальтер Я. Автоматические потенциометры постоянного тока.
- Блоцкий Ф. Методы измерения магнитной проницаемости трансформаторного листового железа без вырезывания образцов.
- Гаевский З. Вопросы эталонов в электро-термометрии.
- Келлер Ю. Термостаты высшего класса и точное измерение температуры.
- Сохор Б. Измерение и регулировка температуры в промышленности.
- Ролинский Ю. Фотоэлементы и их применение в области контроля и автоматизации технологических процессов.
- Люминесцентные лампы в трех-фазных цепях.
- Библиографический обзор электротехники.

CONTENTS

- Electrical engineers' tribute to President Boleslaw Bierut
- Czaplicki T. Chronicles: Automation and electric measuring.
- Browkin J. and Brodziak Cz. Automation of technological processes and telemetering in the sugar industry.
- Wasilenko E. Compensation of errors of the Schering bridge.
- Walter J. Automatic D. C. potentiometers.
- Blocki F. Method of measuring the permeability of steel transformer sheets without taking sample cuttings.
- Gajewski Z. The problem of standards in thermo-electric temperature measurement.
- Keller J. High-class thermostats and accurate temperature measurement.
- Sochor B. Temperature recording and control in industries.
- Roliński J. Photo-electric cells and their application for the control and automatization of technological processes.
- Fluorescent tubes in 3-phase circuits
- Electrical Bibliographic Review.

II TURNUS KURSU KORESPONDENCYJNEGO NA STOPIEŃ INŻYNIERA ELEKTRYKA I ŁĄCZNOŚCI

Stowarzyszenie Elektryków Polskich organizuje drugi turnus korespondencyjnego kursu przygotowawczego do egzaminu na stopień inżyniera elektryka i łączności dla kandydatów, odpowiadających warunkom ustawy o stopniu inżyniera z dn. 28 stycznia 1948 r. Rozpoczęcie kursu przewidziane jest pod koniec maja r. b.; okres trwania 1 rok.

Szczegółowe informacje uzyskać można w Sekretariacie Generalnym SEP, Warszawa, Czackiego 3/5, oraz we wszystkich oddziałach Stowarzyszenia Elektryków Polskich.

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH
CENTRALNEGO ZARZĄDU ENERGETYKI, CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU MASZYN ELEKTRYCZNYCH
CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU KABLOWEGO

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

Rok XXVIII

Warszawa, 21 kwietnia 1952 r.

Zeszyt 4

ELEKTRYCY W HOŁDZIE PREZYDENTOWI BOLESŁAWOWI BIERUTOWI

Z okazji 60-ej rocznicy urodzin Prezydenta Bolesława Bierutę świat elektrotechniczny polski łączy się z całym społeczeństwem w uznaniu jego wielkich zasług dla narodu i państwa w przełomowym okresie naszych dziejów.

Płomienny, niezlomny, ofiarny działacz rewolucyjny Bolesław Bierut od najwcześniejszej młodości walczył wytrwale o wyzwolenie społeczne i narodowe ludu polskiego. Gdy w końcowym okresie ostatniej wojny nadszedł moment odbudowy naszej państwowości na nowych podstawach, Bolesław Bierut został powołany na najwyższy urząd w państwie i pozostaje na nim do dziś z początku jako przewodniczący Krajowej Rady Narodowej, później jako Prezydent Rzeczypospolitej Polskiej. I na tych stanowiskach oddaje z niesłabnącą wytrwałością wszystkie swe siły na pożytek narodu, budząc podziw ogromem, wszechstronnością i wydajnością swej pracy.

Prezydent Bolesław Bierut, znając doskonale nasze potrzeby i drogi do zlikwidowania zacofania i słabości naszej gospodarki, do wszechstronnego i szybkiego rozwoju kraju, zespala wszystkie siły narodu w walce o utrzymanie pokoju, przypominając jednocześnie, że nie można przy tym zaniedbywać obronności kraju.

Prezydent Bolesław Bierut czuwa nad opracowywaniem i wykonywaniem naszych planów państwowych, w szczególności obecnego Planu 6-letniego, mającego za zadanie uprzemysłowienie Polski, przywiązując przy tym szczególną wagę do ścisłego wykonania trzeciego (tj. bieżącego roku Planu).

Wielki, bardzo wielki nacisk kładzie Prezydent Bolesław Bierut na zagadnienie wzrostu produkcji rolnej, na usunięcie niebezpiecznej dysproporcji między tą produkcją a produkcją przemysłową i żąda energicznej walki z dzisiejszym zacofaniem naszego rolnictwa w stosunku do przemysłu.

Prezydent Bolesław Bierut, walcząc z naszym zacofaniem gospodarczym, wskazuje nam również drogi kulturalnego rozwoju kraju i wspiera gorąco realizację naszych zadań w tej dziedzinie.

Prezydent Bolesław Bierut przewodzi Polskiej Zjednoczonej Partii Robotniczej. Kiedy nadszedł czas ujęcia obecnego ustroju naszej państwowości w ramy nowej ustawy zasadniczej, prezydent Bolesław Bierut osobiście objął kierownictwo pracami nad nową Konstytucją Rzeczypospolitej i jest autorem nie tylko jej podstawowych założeń, ale i wielu artykułów.

Objawem czci, którą naród otacza Prezydenta Bolesława Bierutę za Jego wszechstronną i płodną działalność, są zobowiązania — produkcyjne, oszczędnościowe, racjonalizatorskie — żywiołowo podejmowane we wszystkich kołach społeczeństwa polskiego z okazji 60-ej rocznicy Jego urodzin. Na tym miejscu godzi się podać po krótku, w jakiej formie polski świat elektrotechniczny — nauka, energetyka, przemysł elektrotechniczny — zaangażował wzmocnienie pracy swych mózgów i swych rąk dla uczczenia Prezydenta Bolesława Bierutę.

Instytut Elektrotechniki. Z liczby około 100 zobowiązań wymieniamy tutaj najważniejsze (w nawiasie podano przyspieszenie wykonania pracy w Instytucie).

1) Określenie warunków optymalnej pracy dla pieców łukowych w Hucie Baildon: pomiary pracy pieca, opracowanie instrukcji, przeszkolenie obsługi. Pozwoli to skrócić czas wytopu stali i zmniejszyć zużycie energii. (6 miesięcy).

2) Opracowanie dokumentacji na szkło mleczne do opraw oświetleniowych. Da to mniejsze zużycie energii na oświetlenie i poprawi warunki oświetlenia w zakładach przemysłowych. (6 miesięcy).

3) Opracowanie projektu specjalnego silnika do wirówek cukrowniczych. Osiągnie się mniejsze zużycie energii i mniejszą liczbę uszkodzeń silnika. (5 miesięcy).

4) Zbadanie prądów błądzących w Poznaniu i wskazanie środków zabezpieczających przed ich szkodliwym działaniem. Zmniejszy się straty w urządzeniach podziemnych miejskich, wywołane korozją elektrolityczną. (1 miesiąc).

5) Ustalenie optymalnych warunków pracy lokomotyw kopalnianych dla lepszego wyzyskania transportu dołowego i zmniejszenia liczby uszkodzeń silnika. (2 miesiące).

6) Wykonanie prostego w budowie czasowego przekładnika rtęciowego do produkcji krajowej na potrzeby techniki zabezpieczeniowej i automatyki. (3 tygodnie).

7) Opracowanie „Podstaw obliczania kompensacji prądowej w przekładnikach odległościowych” dla zwiększenia pewności ruchu układów energoelektrycznych. (1 miesiąc).

8) Poza planem: a) opracowanie sposobu ekranowania transformatorów mocy na 110 kV w polskich warunkach sieciowych, co pozwoli nam budować transformatory wytrzymałe na przepięcia atmosferyczne; b) ulepszenie konstrukcji transformatorów regulacyjnych dla rozwiązania polskiej konstrukcji transformatorów z regulacją pod obciążeniem; c) wykonanie pomiarów bezpieczeństwa pracy we wszystkich stoczniowych laboratoriach rentgenowskich; d) zaprojektowanie i wykonanie uniwersalnego aparatu rentgenowskiego na 100 kV i 100 mA do badania metali lekkich; e) zaprojektowanie i wykonanie prototypu samoczynnego regulatora elektromagnetycznego do spawarki punktowej; f) zaprojektowanie i wykonanie nowego stanowiska próżniowego do prac laboratoryjnych w dziedzinie badania prostowników rtęciowych.

Łączna wartość zobowiązań, podjętych przez pracowników Instytutu, przekracza 100 tys. zł, a po uwzględnieniu wtórnych korzyści eksploatacyjnych sumę kilku milionów złotych.

Energetyka. Na ogólnokrajowej naradzie remontowej energetyków w Chorzowie zobowiązano się skrócić w 1952 r. średni czas przestoju zespołów turbiny i kotłów o 12%, a urządzeń przesyłowych i rozdzielczych o 15%.

Założa budowy elektrowni w Miechowicach przyspieszy o 12 dni oddanie do ruchu próbnego największej turbiny w Polsce (o mocy 55 000 kW); uruchomienie jej nastąpiło już 18.IV.52.

W elektrowni warszawskiej brygada młodzieżowa skróci remont kotła nr 27 o 5 dni, pracując również w godzinach nocnej zmiany, a trzech palaczy utrzymają ten kocioł w ruchu bez remontu przez 1600 godzin zamiast dotychczasowych 900 godz. Maszyniści turbinowi przedłużą o 500 godz. okres międzyremontowy zespołów nr 8, 9, 10 i 11. Kadry inżynierskie wykonają ponad plan charakterystykę 2 kotłów, dokumentację techniczną rurociągu II oraz instalacji sygnalizacyjno-zabezpieczeniowej.

W elektrowni poznańskiej brygada remontowa skróci czas remontu kapitalnego turbiny IV z 30 do 25 dni i jednocześnie wyważy wirnik prądnicy. Sekcja rozbudowy elektrowni wykona poza normalną pracę inwentaryzację kotła.

W elektrowni Victoria palacze będą spalać w 4 kotłach wysokopiętnych miesięcznie 4000 t szlamu.

W elektrowni chorzowskiej palacze zwiększą miesięczne spalanie szlamu z 4300 do 6000 t, co da miesięcznie 232 000 zł oszczędności.

Przemysł maszyn elektrycznych. Wartość zobowiązań, podjętych przez zakłady podległe Centralnemu Zarządowi Maszyn Elektrycznych, wynosi około 19 mln. złotych. Zobowiązania te obejmują obok zmniejszenia kosztów produkcji i inwestycji również wykonanie ponad plan I półroczu przeszło 1000 silników i kilku tysięcy różnego rodzaju aparatów. Środkami do realizacji tych zobowiązań są: a) zwiększenie wydajności pracy, b) oszczędności w zużyciu materiałów, c) przyspieszenie uruchomienia nowych urządzeń produkcyjnych, d) podniesienie kwalifikacji zawodowych pracowników przez zorganizowanie doszkalanía ich. W chwili oddania sprawozdania do druku wartość zrealizowanych już zobowiązań wynosiła przeszło 10 mln. zł.

Realizacja zobowiązań przybrała w szeregu przypadków formę współzawodnictwa międzyzakładowego. Na przykład pięć zakładów, posiadających własne odlewnie żeliwa, podjęło na apel Zakładu M2 w Cieszynie współzawodnictwo w poprawieniu ich wskaźników techniczno-ekonomicznych.

W ramach zobowiązań zostało również rzucone przez Zakład M6 w Gliwicach hasło współzawodnictwa w przyspieszeniu realizacji trzeciego roku Planu 6-letniego. Większość zakładów zgłosiła już swój udział w tym współzawodnictwie.

Nie ograniczając się do własnego terenu, CZP Maszyn Elektrycznych podjął godną podkreślenia inicjatywę udostępnienia swych doświadczeń innym przemysłom: pion techniczny C. Z. i Zakład M1 w Żychlinie przekazał Fabryce Maszyn Rolniczych „Kraj” w Kutnie swe doświadcze-

nie w zakresie metod analizy technologii produkcji i wprowadzania nowych procesów technologicznych.

Przemysł kablówy. Załogi przemysłu kablowego zadeklarowały ogółem 4 mln. złotych oszczędności. W zobowiązaniach tych wzięły udział 3734 osoby.

W największych ZWME (Zakładach Wytwórczych Materiałów Elektrotechnicznych) zobowiązania oddziałów wynoszą: kablowego 597 564 zł oszczędności, gumonu 240 889 zł i skręcalni 303 144 zł, co czyni razem 74% wartości zobowiązań całego zakładu.

Zobowiązania Klubu techniki i racjonalizacji Pomorskich ZWME, dzięki powiększeniu wydajności na poszczególnych maszynach produkcyjnych — przez ich udoskonalenie techniczne oraz oszczędność surowców i robocizny — dadzą oszczędności 400 tys. zł (55% wartości zobowiązań całego zakładu).

W dziale słaboprądowym Warszawskich ZWME w Ożarowie wyrównanie produkcji za miesiąc styczeń i luty rb. da dodatkowe oszczędności w sumie 140 tys. zł, tj. 60% wartości zobowiązań zakładu.

Zobowiązania śląskich ZWME w Czechowicach dadzą dzięki obniżeniu zużycia surowców zł 22 476, a dzięki podniesieniu wydajności pracy zł 94 111 oszczędności.

W poznańskich Zakładach Elektrotechnicznych (Staroleka) dział szlifierni zobowiązał się do dnia 30 czerwca rb. przekroczyć normy produkcyjne o 20%.

Elektrotechniczne Zakłady Wytwórcze w Piastowie przez zwiększenie wydajności pracy oraz usprawnienie zaopatrzenia zlikwidują w kwietniu zaległości w wykonaniu planu produkcyjnego za luty.

Zorganizowanie 2 grup inżynieryjno-robotniczych w Elektrotechnicznych Zakładach Wytwórczych w Bielsku rozszerzy pracę Klubu Techniki i Racjonalizacji i umożliwi racjonalizatorom opracowanie tematyki usprawnień.

Zakłady Wytwórcze Ogniw i Baterii w Poznaniu podjęły się powołać aktyw Kowalewa.

58 000 zł dodatkowych oszczędności osiągnie się w Zakładach Wytwórczych Ogniw i Baterii we Wrocławiu przez przekroczenie norm i zmniejszenie odpadów produkcyjnych.

Zakł. Wytw. Ogniw i Baterii w Starogardzie Gdańskim oprócz podjęcia zobowiązań oszczędnościowych na ogólną wartość 233 889 zł zaciągnęły 3 warty Bierutowskie.

Zobowiązania pracowników Centralnego Zarządu (71 osób) dadzą 25 698 zł oszczędności. Centralne Biuro Konstrukcji Kablowych przyspieszy wykonanie kart konstrukcyjnych i norm zbiorczych, co da możliwość wprowadzenia w zakładach racjonalnej gospodarki materiałowej oraz skróci czas opracowywania planów zaopatrzenia.

Powyższy przegląd zobowiązań wskazuje, w jaki sposób elektrycy polscy pragną okazać swą wdzięczność Temu, który dziś kieruje kształtowaniem historycznych losów narodu polskiego.

KRONIKA

LXIX. Automatyka i miernictwo elektryczne.

Miernictwo elektryczne należy do ogólnych, podstawowych, działów elektryki współczesnej i to całej, a więc zarówno energoelektryki, jak i teleelektryki. Zrodzone przed stu kilkudziesięciu laty w pracowni fizycznej miernictwo elektryczne rozwijało się szybko, obejmując rozległe i coraz głębsze zagadnienia w dziedzinie metod pomiarowych i przyrządów pomiarowych, w dziedzinie jednostek i ich wzorców.

Okresy międzywojenny i powojenny przyniosły nam wielki postęp w rozwoju miernictwa elektrycznego. Postęp polega nie tylko na poważnym udoskonaleniu elektrycznych przyrządów mierniczych dzięki np. temu, że mamy obecnie do dyspozycji materiały o coraz lepszych własnościach; postęp polega nie tylko na bogactwie udoskonalonych metod pomiarowych i pomysłów konstruktorskich. Postęp współczesny polega przede wszystkim na tym, że elektryczne metody pomiarowe wtargnęły dziś niemal do wszystkich dziedzin miernictwa, że obecnie mierzy się na drodze elektrycznej wszelkie wielkości nieelektryczne, a więc mechaniczne, cieplne, akustyczne, chemiczne, biologiczne, świetlne, meteorologiczne i inne. Dzieje się to dlatego, że pomiary elektryczne są wszędzie rozwiązaniem pod każdym względem najdoskonalszym. Jako jaskrawy przykład dokonanych przemian

wystarczy porównać np. prymitywność dawnego chodzenia nad brzeg odległej rzeki w celu odczytywania poziomu wody na łacie wodowskazowej z dzisiejszym wskazywaniem stanu wody w rzece — każdej chwili i w dowolnym odległym od rzeki punkcie — przy pomocy przyrządu elektrycznego, mogącego od razu rysować wykres zmiany poziomu wody w funkcji czasu. Znosi się na to, że elektryczne metody pomiarowe ogarną wszystkie dziedziny miernictwa technicznego, podobnie, jak np. oświetlenie elektryczne wyparło już w wielu krajach inne sposoby oświetlenia, albo jak naped elektryczny szybko zdobywa wciąż nowe dziedziny zastosowania.

Ale widoczna już dziś tendencja do uniwersalności elektrycznych metod pomiarowych w technice jest nie jedyną cechą rozwoju nowoczesnego miernictwa elektrycznego. Zdobycze tego miernictwa sięgają dalej: z teorii i praktyki miernictwa elektrycznego wyłaniają się nowe i wyraźne już dziś dziedziny wiedzy i praktyki technicznej, mianowicie automatyka i telemekhanika.

Drogi takiego rozwoju są naturalne i zrozumiałe. Łatwość przystosowania miernictwa elektrycznego do pomiarów zdalnych i łatwość wywoływania i regulowania ruchów przy pomocy prądu elektrycznego są niezwykle: wszak np. w prostym amperomierzu mierząc prąd, wielkość elektryczną, wywołujemy zjawisko dyna-

m i c z n e, mianowicie odchylenie skazówki. Wskutek tych swych właściwości metody elektryczne pozwalają nie tylko dawać sygnały, ale również wprawiać w ruch, regulować według przepisanej wykresu i zatrzymywać wszelkie mechanizmy z odległości, jednym słowem pozwalają wprowadzić całkowicie samoczynną obsługę zdalną, nawet skomplikowaną. Dzieje się to w dużej skali przede wszystkim na terenie najbardziej fachowym, a mianowicie w ramach nowoczesnego rozrządu elektroenergetycznego, ale automatyka i telemechanika znajdują ją dziś zastosowanie we wszystkich procesach technologicznych i produkcyjnych, w potrzebach komunikacyjnych i w licznych potrzebach życiowych. Zastosowanie komórek fotoelektrycznych oddaje tutaj w wielu razach poważne usługi.

W zeszycie poprzednim i niniejszym Przeglądu zebrane są liczne prace nie tylko z dziedziny miernictwa elektrycznego (rozumianego już w szerszym zakresie), ale również z dziedziny automatyki. Prace te stanowią materiał, przygotowany na najbliższą ogólnokrajową konferencję. Poruszono w nich rozległy zakres zagadnień, począwszy od najogólniejszych i podstawowych, jak krótki przegląd dotychczasowych osiągnięć naszego przemysłu elektrycznych przyrządów pomiarowych i przegląd jego najbliższych zadań z podkreśleniem trudności, które przemysł ten ma do pokonania; jak zagadnienia normalizacji mierników elektrycznych w polskiej produkcji; jak programy nauczania miernictwa elektrycznego i automatyki w naszych szkołach elektrycznych wszystkich stopni.

Dalsza seria referatów poświęcona jest pomiarom wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi. Podany jest obraz ogólny zagadnienia i pewne przykłady konkretne, jak oznaczanie zawartości krzemu w stali, jak pomiary kwasowości i zasadowości roztworów wodnych oraz samoczynne regulowanie tych wielkości.

Obszernie podane jest bardzo ważne dla energetyki i będące u nas na dobie zagadnienie przesyłania pomiarów na dalekie odległości za pośrednictwem linii wysokiego napięcia.

Automatyzacja procesów technologicznych w polskiej praktyce przemysłowej i próby nasze kontroli pracy fabrycznej z odległości kilkudziesięciu kilometrów podane są na konkretnym przykładzie ważnej gałęzi polskiego przemysłu, mianowicie przemysłu cukrowniczego.

Z zakresu postępu w rozwoju metod pomiarowych znajdujemy w referatach: (a) nową metodę zwiększenia dokładności pomiaru mostkiem Scheringa; (b) charakterystykę samoczynnych kompensatorów prądu stałego i w szczególności możliwości stosowania ich w pomiarach przemysłowych oraz w automatyce przemysłowej; (c) szybką metodę pomiaru przenikalności blach transformatorowych; (d) szereg zagadnień z dziedziny pomiaru temperatury: wzorce elektrotermometryczne, termostaty, pomiary temperatury cisłe, pomiary i regulację temperatury w warunkach pracy przemysłowej.

Wreszcie podano w osobnym referacie charakterystykę komórek fotoelektrycznych i przegląd zastosowania ich w przemyśle do kontroli i automatyzacji procesów technologicznych.

Konferencje na tematy z dziedziny miernictwa elektrycznego mają już u nas pewne tradycje. Najbliższa konferencja — poświęcona, jak powiedziano wyżej, automatyce i miernictwu — jest organizowana po raz pierwszy przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich łącznie z Instytutem Elektrotechniki. Organizatorzy liczą, że konferencja ta w szczególności wyjaśni bliżej potrzeby oraz dzisiejsze i dalsze żądania naszego przemysłu w zakresie automatyki elektrycznej, przeznaczonej do obsługi procesów przemysłowych.

Tadeusz Czaplicki

AUTOMATYKA I MIERNICTWO ELEKTRYCZNE

Prace zgłoszone na Krajową Konferencję Automatyki i Miernictwa Elektrycznego, Warszawa, 1952 (ob. PE., 1952, z. 3, str. 92—138)

MGR INŻ. J. BROWKIN
MGR INŻ. CZ. BRODZIAK

Automatyzacja procesów technologicznych i pomiary zdalne w przemyśle cukrowniczym

Treść. Podano schemat produkcyjny cukrowni i przeanalizowano jej ważniejsze stacje, na których praca może być całkowicie lub częściowo zautomatyzowana, jak np. dyfuzja, defekacja, saturacja, błotniarki, wyparka, warniki, wirówki, suszarnia. Opisano próby kontroli pracy cukrowni z odległości kilkudziesięciu kilometrów przy pomocy fal radiowych i tempografu.

Автоматизация технологических процессов и измерения на расстоянии в сахарной промышленности. Дается производственная схема сахарного завода и обзор его важнейших отделений, в которых возможно полная или частичная автоматизация производственных процессов, как напр. диффузия, дефекация, сатурация, фильтрпрессы, выпарка, вакуум-аппараты, центрифуги, жомосушильный цех. Описан опыт контроля работы сахарного завода в Польше с расстояния нескольких десятков километров при помощи радиосвязи и темпograфа.

Automatisation of technological processes and telemetering in the sugar industry. The article contains a sugar works production diagram, as well as an analysis of the more important production stages which could be arranged, partially or completely, for automatic operation, such as diffusion, defecation, saturation, mud discharge, evaporation and centrifugals. It also describes trials made in Poland with remote control, over a distance of some tens of kilometres, of the operation of sugar works by means of electromagnetic waves and tempographs.

1. Wstęp.

Polski przemysł cukrowniczy w porównaniu z innymi przemysłami spożywczymi wysuwa się pod względem zarówno wytwarzanego produktu, jak i wielkości i ilości fabryk na pierwsze miejsce. W pierwszym roku wielkiego Planu Sześcioletniego przemysł ten, wykonywając plan w 115,5%, wyprodukował około 955 000 ton cukru białego, co stanowi średnio około 40 kg na głowę ludności. W 1938 r. produkcja cukru wynosiła tylko około 11 kg na każdego mieszkańca. W europejskiej produkcji cukru Polska w r. 1950 zajęła trzecie miejsce — po Związku Radzieckim i Francji.

Cukrownie należą do typu fabryk, które otrzymując czy przerabiając produkty nietrwałe, łatwo psujące się, z natury rzeczy muszą mieć pracę ciągłą.

W tego rodzaju fabrykach surowiec czy półfabrykat, przechodząc kolejno przez poszczególne stacje zakładu, nie powinien przebywać na nich dłużej, niż tego wymagają odpowiednie procesy technologiczne, gdyż wszelkie przejęte powodują powstawanie procesów nieodwracalnych, połączonych ze znacznymi stratami w produkcji.

Do racjonalnej pracy fabryki o ruchu ciągłym przyczynia się w dużym stopniu automatyczna kontrola również o charakterze ciągłym. Umożliwia ona dokładne zorientowanie się każdej chwili w warunkach pracy zarówno poszczególnych stacji, jak i całej fabryki. Lecz sama kontrola, prowadzona nawet w sposób ciągły i samoczynny, nie zapewnia racjonalnej pracy zakładu, jeżeli kierowanie przebiegiem procesów technologicznych odbywa się ręcznie, ponieważ decyduje tu czynnik subiektywizmu, zależny od stopnia zmęczenia robotnika, jego nastroju, uwagi, sumienności itp.

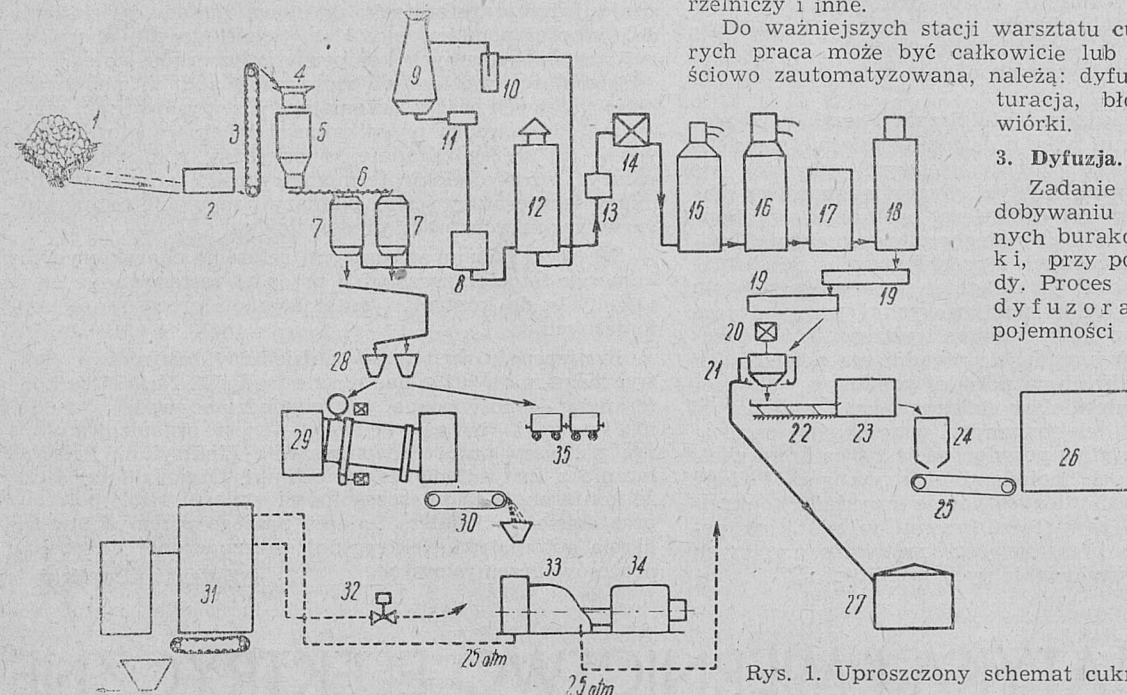
Dalszą — wyższą i doskonalszą — formą pracy jest zastąpienie regulacji ręcznej przebiegu procesu wytwórczego regulacją samoczynną. W tym przypadku czynnik subiektywizmu jest całkowicie wyeliminowany, rola zaś człowieka ogranicza się jedynie do kontrolowania od czasu do czasu działania urządzeń samoczynnych i — w razie potrzeby — do usunięcia zakłóceń, powstałych wskutek niewłaściwego ich działania.

Przemysł cukrowniczy, który jest przemysłem sezonowym, pracującym zaledwie 8—10 tygodni w roku, przed

ostatnią wojną prawie nie posiadał stacji prowadzonych automatycznie. Tłumaczy się to tym, że siła robocza była tania i nie zawsze opłacało się stosowanie regulacji samoczynnej. Poza tym odgrywał tu pewną rolę konserwatywizm.

2. Schemat produkcyjny (rys. 1).

Buraki cukrowe, dowożone koleją, wyladowywane są z wagonów silnym strumieniem wody do wielkich rowów, zwanych spławiakami. Stąd kanałami spływają one wraz z wodą do wnętrza fabryki. Po oddzieleniu od wody bur-



Rys. 1. Uproszczony schemat cukrowni

- | | | |
|---|---|--|
| 1 — spławiak buraków | 13 — zagrzewacz, szybkoprądowy soku | 25 — przenośnik cukru zaworkowanego |
| 2 — płuczka | 14 — filtry sokowe (błotniarki) | 26 — magazyn cukru |
| 3 — podnośnik kubekowy | 15 — wyparka (I dział) | 27 — zbiornik melasu |
| 4 — waga automatyczna | 16 — wyparka (IV dział) | 28 — prasy wysłodkowe |
| 5 — rozzdzielacz i krajalnica | 17 — zbiornik soku gęstego (syropu) | 29 — suszarnia bębnowa |
| 6 — przenośnik grabkowy krajanki | 18 — warnik (krystalizator) | 30 — przenośnik wysłodków suszonych i separator magnetyczny żelaza |
| 7 — bateria dyfuzyjna | 19 — mieszadło chłodzące i rozzdzielacz | 31 — kocioł wysokoprężny |
| 8 — urządzenie do nawapniania (defekacja) | 20 — silnik napędowy wirówki | 32 — zawór redukcyjny pary świeżej |
| 9 — piec wapienny | 21 — wirówka | 33 — turbina parowa |
| 10 — płuczka do gazu CO ₂ | 22 — przenośnik drgawkowy cukru | 34 — prądnica |
| 11 — aparat do lasowania wapna | 23 — suszarnia cukru | 35 — odbiór wysłodków prasowanych dla plantatorów na paszę |
| 12 — kocioł saturacyjny | 24 — silos na górze cukrowej | |

raki dostają się do płuczki, gdzie są dokładnie myte. Z płuczki podnośnik przenosi je do wagi automatycznej, która wyrzuca buraki po zważeniu do krajalnic. Stąd przenośniki grabkowe przenoszą krajankę do dyfuzorów, w których cukier odciąga się z krajanki przy pomocy gorącej wody, a następnie jest kierowany w postaci soku surowego do chemicznego oczyszczania.

Pozostała wysłodzona krajanka czyli tzw. wysłodki idą do pras celem usunięcia nadmiaru wody, a następnie transportery przenoszą je częściowo do wagonów i furmanek plantatorów jako paszę dla bydła, częściowo zaś do suszarni bębnowej, gdzie podlegają wysuszeniu. Suszone wysłodki magazynuje się; służą one również jako doskonała pasza dla bydła.

Z dyfuzji sok surowy idzie na tzw. defekację, gdzie dodaje się do niego mleka wapiennego i starannie miesza. Wapno dodaje się dla usunięcia z soku surowego niecukrów, które przeszły doń na dyfuzji.

Na następnej stacji — saturacji — do nawapnionego soku doprowadza się dwutlenek węgla celem strącenia wraz z wapnem niecukrów w postaci węglanów.

Stąd sok przetłaczany jest przez filtry zwane błotniarkami, na których osad zatrzymuje się, sok zaś zostaje skierowany do stacji wyparnej celem odparowania zeń nadmiaru wody i otrzymania soku gęstego. Z wyparki sok gęsty idzie do warników, gdzie po dalszym podgrzaniu soku zachodzi proces krystalizacji cukru.

Produkt wyjściowy z warników, tzw. cukrzyca, składająca się z cukru krystalicznego i syropu między-

krystalowego, spuszcza się do mieszadeł celem ostudzenia. Z mieszadeł przez rozzdzielacze kierujemy cukrzycę do wirówek, w których następuje mechaniczne oddzielenie kryształów cukru od syropu.

Cukier krystaliczny biały przenosi się spod wirówek transporterami na tzw. górę cukrową, gdzie po wysuszeniu i ostudzeniu segreguje się go, waży i po zaworkowaniu przewozi do magazynu. Otrzymany zaś z wirówek syrop poddaje się dalszym zabiegom w celu wydzielenia zeń cukru krystalicznego. Ostatni syrop, tzw. melas, jest cennym surowcem dla innych gałęzi przemysłu, jak gorzelniczy i inne.

Do ważniejszych stacji warsztatu cukrowniczego, których praca może być całkowicie lub przynajmniej częściowo zautomatyzowana, należą: dyfuzja, defekacja, saturacja, błotniarki, wyparka, wiórki.

3. Dyfuzja.

Zadanie jej polega na wydobywaniu cukru z pokrajanych buraków, tzw. krajanki, przy pomocy gorącej wody. Proces ten odbywa się w dyfuzorach, aparatach o pojemności kilkudziesięciu he-

kolitrów każdy. W zależności od wielkości przerobu cukrownia jest wyposażona w jedną lub kilka baterii dyfuzyjnych, złożonych przeciętnie z 12 dyfuzorów każda.

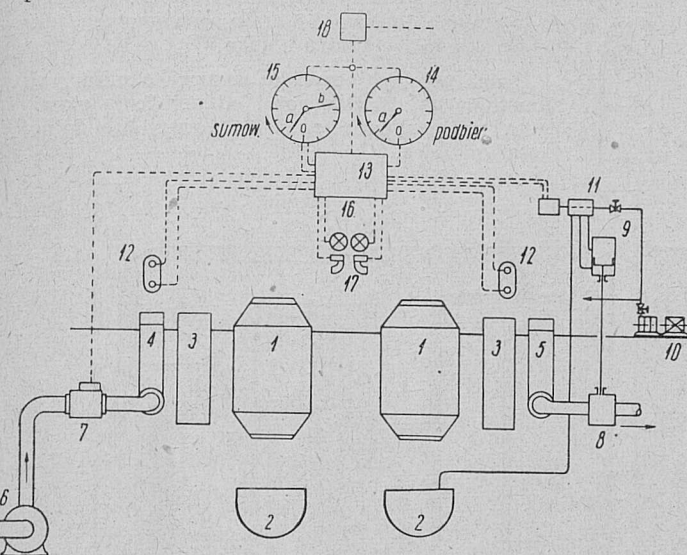
Dyfuzory baterii posiadają zawory, umożliwiające łącznie ich przez zagrzewacze z komunikacją bądź sokową, bądź wodną. Podczas pracy wszystkie dyfuzory baterii — z wyjątkiem dwóch, z których jeden jest wyladowywany, a drugi ładowany krajanką — są połączone w szereg.

Manipulacje zaworami przy włączaniu w szereg świeżo załadowanego dyfuzora, który jest napełniany sokiem, oraz wyłączanie z obiegu najwięcej wysłodzonego dyfuzora wymagają pewnej synchronizacji i uwagi. Niedostateczna kontrola tych czynności może być powodem wielkich strat cukru lub energii cieplnej, potrzebnej do odparowania nadmiaru wody wprowadzonej na warsztat, nie mówiąc już o zakłóceniach w ciągłości fabrykacji.

Jednym z przykładów zastosowania automatycznej kontroli i regulacji odciągu soku jest urządzenie Wintzell-Weibull-Cederborna pokazane na rys. 2. Prawy dyfuzor 1 baterii po naładowaniu go świeżą krajanką napełniamy, czyli — jak to się mówi — „podbieramy“ gorącym sokiem, który następnie odciąga się na warsztat do dalszej przeróbki. Równocześnie z podbieraniem odbywa się dopływ wody do dyfuzora najwięcej wysłodzonego (na schemacie lewego).

Zasada działania urządzenia jest następująca: przy podbieraniu sokiem dyfuzora napełnionego świeżą krajanką równocześnie z otwarciem zaworu sokowego naciska się przycisk 12, sterujący podbieranie dyfuzora. Przycisk ten

zamyka obwód prądu elektrycznego, powodując zapalenie się lamp sygnalizacyjnych, wskazujących początek podbierania.



Rys. 2. Samoczynna kontrola i regulacja odciagu soku

- 1 — dyfuzor
- 2 — koryto betonowe do spuszczenia wysłodzonej krajanki
- 3 — zagrzewacz soku lub wody
- 4 — komunikacja wodna, z którą łączymy najczęściej wysłodzony dyfuzor
- 5 — komunikacja sokowa łączona z dyfuzorem, z którego odciągamy sok na warsztat
- 6 — pompa wody zasilającej
- 7 — wodomierz typu Woltmana z elektrycznym stykiem na liczniku, dającym impuls np. co 1 hl
- 8 — zawór na rurze sokowej sterowany przy pomocy serwowymotoru
- 9 — serwowymotor hydrauliczny zasilany wodą z pompy 10
- 10 — pompa wodna
- 11 — elektromagnes sterujący serwowymotorem
- 12 — tabliczki z przyciskami przy każdym dyfuzorze do sterowania zaworami — sokowym i wodnym
- 13 — główna tablica rozdzielcza, wyposażona w przełączniki sterownicze od przycisków, przełączniki i przełączniki uruchamiające wskaźniki zegarowe (14 i 15), przełączniki obsługujące 11, 16, 17
- 14 — wskaźnik zegarowy podbierania soku
- 15 — wskaźnik zegarowy podbierania i odciągania soku (skazówki: a — ruchoma, b — nieruchoma, nastawiana jednocześnie przez głównego chemika fabryki)
- 16, 17 — sygnały świetlne i dźwiękowe, dające znać o początku i końcu odciagu
- 18 — prostownik zasilający

Jednocześnie z podbieraniem dyfuzora sokiem następuje dopływ wody do baterii dyfuzyjnej, powodujący działanie wodomierza Woltmana zainstalowanego na komunikacji wodnej. Wodomierz połączony jest z licznikiem, nadającym co 1 hl impuls do przełączników tarcz wskazujących 14 i 15. Po skończeniu podbierania dyfuzora wskaźniki na tarczach 14 i 15 zatrzymują się, wskazując ilość wody pobranej przez baterię dyfuzyjną.

W czasie pracy, natychmiast po zakończeniu podbierania dyfuzora, rozpoczyna się odciąganie soku dyfuzyjnego na mierniki bez wstrzymywania podawania wody na dyfuzję. W tym celu przestawia się zawory dyfuzora na odciąg, naciskając równocześnie przycisk 12, sterujący odciąg soku. Powoduje to zadziałanie elektromagnesu sterującego serwowymotorem, a tym samym otwarcie zaworu sokowego 8 i odpływ soku na warsztat do dalszej przeróbki.

W momencie rozpoczęcia odciagu soku naciśnięty odpowiedni przycisk sterujący 12 uruchamia równocześnie wskazówkę odciagu na tarczy 15, która przesuwa się dalej w kierunku wskazówki nieruchomej b.

W chwili zetknięcia się wskazówek a i b tarczy 15 zamyka się obwód elektryczny odpowiednich przełączników, dopływ wody do serwowymotoru 9 przełącza się, zawór 8 zamyka się, następuje zakończenie odciagu soku. Lampy sygnalizacyjne gasną, ruchome wskazówki na tarczach 14 i 15 wracają do położenia zerowego.

Po zakończeniu tych czynności cykl pracy powtarza się z kolejno napełnionymi krajanką następnymi dyfuzorami baterii.

Mechanizmy wskaźników 14 i 15 urządzone są analogicznie do wybieraków telefonicznych obrotowych.

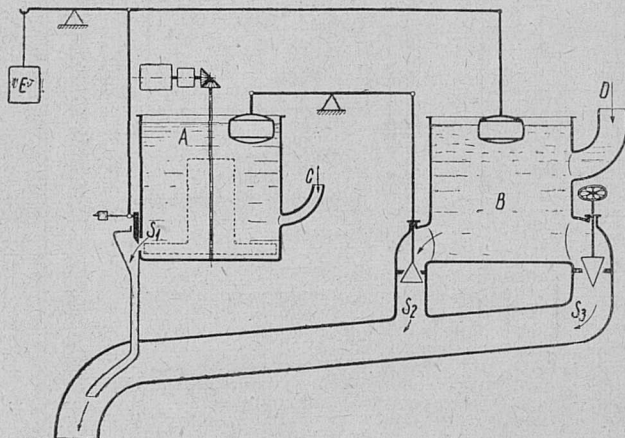
Bateria dyfuzyjna w cukrowni, zwana krótko „dyfuzją”, jest stacją o dość skomplikowanym przebiegu soku. Daleko prostsza byłaby dyfuzja ciągła, jako łatwiejsza do pełnego zautomatyzowania odbywających się w niej procesów technologicznych. Dotychczas dyfuzje tego typu nie znalazły szerszego zastosowania w cukrownictwie polskim.

4. Defekacja.

Sok otrzymany na dyfuzji, tzw. sok surowy, zawiera oprócz cukru szereg niecukrów, które należy usunąć.

W tym celu na następnej stacji, tzw. defekacji, do soku wprowadza się wodny roztwór wapna (mleko wapienne). Ilość dodawanego mleka powinna być w pewnym stosunku wagowym do ilości soku. Zautomatyzowanie tej stacji nastęrcza duże trudności z powodu zmiennej gęstości mleka wapiennego.

W polskim przemyśle cukrowniczym znajduje coraz większe zastosowanie automat mechaniczny polskiego pomysłu inż. Godwoda (rys. 3). Aparat składa się z dwóch



Rys. 3. Samoczynne regulowanie dopływu mleka wapiennego do defekacji (syst. Godwoda)

- | | |
|-------------------------------|--|
| A — zbiornik mleka wapiennego | S ₁ — odpływ mleka wapiennego |
| B — zbiornik soku surowego | S ₂ — odpływ soku surowego |
| C — dopływ mleka wapiennego | S ₃ — odpływ soku surowego |
| D — dopływ soku surowego | — samoczynny |
| E — przeciwwaga | — nastawiany ręcznie |

zbiorników: A do mleka wapiennego oraz B do soku. W celu utrzymania stałego poziomu mleka wapiennego zbiornik A jest zaopatrzony w odpowiedni przelew. Poza tym zbiornik ten posiada mieszadło zapobiegające osadzaniu się wapna na dnie.

W każdym ze zbiorników znajduje się pływak, umieszczony na końcu dwuramiennej dźwigni. Pływak umieszczony w soku reguluje odpływ mleka S₁ do wspólnej komunikacji, pływak zaś znajdujący się w mleku wapiennym reguluje odpływ soku S₂.

Sok surowy wypływa ze zbiornika B przez dwa zawory: S₃ nastawiany ręcznie na średnią ilość przepływającego soku oraz S₂, tzw. szczelinowy, regulowany automatycznie w zależności od gęstości mleka wapiennego. Zmianom poziomu soku w zbiorniku B towarzyszy odpowiednio przesunięcie zasuw S₁. Zastosowanie automatu przyczynia się do prawidłowej defekacji, co ma duży wpływ na właściwy przebieg procesów technologicznych dalszych stacji cukrowni.

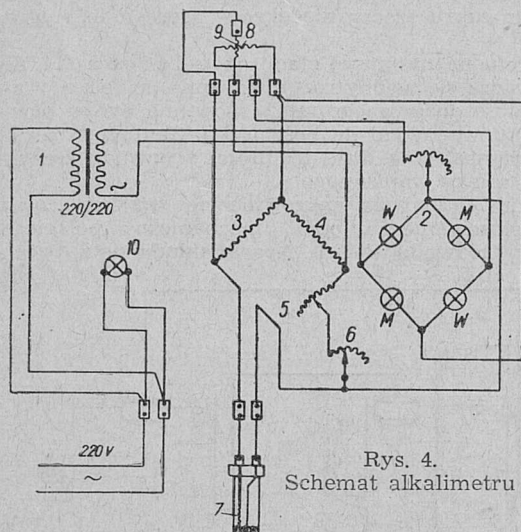
5. Saturacja pierwsza.

Saturacja jest jedną z najważniejszych stacji warsztatu cukrowniczego. Przez doprowadzenie do zmieszania z mlekiem wapiennym sok dwutlenku węgla CO₂ następuje wytrącenie osadu, składającego się z węglanów wapnia. Wraz z tymi solami usuwa się różne nieczystości, które przetrwały się do soku cukrowego na dyfuzji.

Doprowadzenie dwutlenku węgla do kotłów saturacyjnych powinno być tak regulowane, ażeby sok po wytrąceniu się osadu posiadał alkaliczność zawartą w granicach 0,03 — 0,11% wapna. Przekroczenie tych granic ogromnie utrudnia pracę na dalszych stacjach cukrowni.

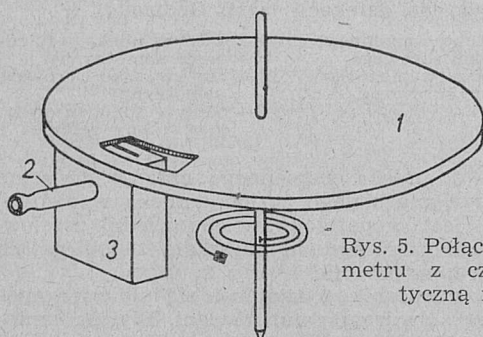
Do ciągłej kontroli alkaliczności soku po I-ej saturacji został skonstruowany w r. 1933 przez inż. S. Sliwińskiego i inż. S. Hulanickiego aparat tzw. alkalimetr, zbudowany na zasadzie zmiany przewodnictwa elektrycznego soku w zależności od ilości rozpuszczonego wapna.

W komunikacji sokowej instaluje się odpowiednie elektrody (7), stanowiące jedną z gałęzi mostku Wheatstone'a (rys. 4).



Rys. 4.
Schemat alkalimetru

- 1 — transformator izolujący
- 2 — stabilizator napięcia składający się z lamp węglowych i wolframowych
- 3 i 4 — gałęzie stałe mostka pomiarowego
- 5 i 6 — opory regulacyjne
- 7 — elektrody czołowe z oporem kompensacyjnym instalowane w komunikacji sokowej
- 8 i 9 — cewki galwanometru indukcyjnego
- 10 — żarówka wysyłająca promień świetlny na lusterko galwanometru



Rys. 5. Połączenie galwanometru z częścią pneumatyczną regulatora

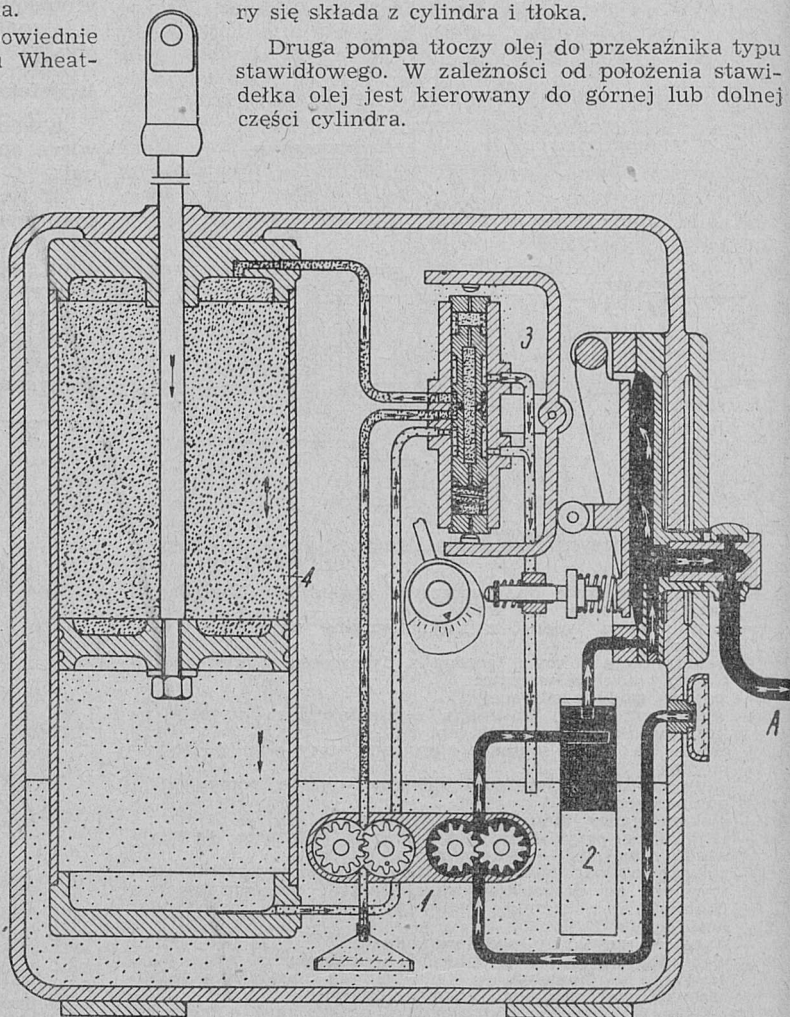
- 1 — tarcza aluminiowa galwanometru z wycięciem
- 2 — wlot powietrza do dyszy, połączony rurką z wylotem A na rys. 6
- 3 — dysza szczelinowa

Przyrządem wskazującym jest galwanometr indukcyjny, wykonany z licznika jednofazowego. Część ruchoma galwanometru składa się z tarczy aluminiowej, zaopatrzonej na osi w lusterko projektujące padający na nie promień świetlny na odpowiednią skalę transparentową.

Próby zautomatyzowania pracy tej stacji, wykonane przez Instytut Cukrownictwa, dały wyniki pozytywne. W rozwinięciu Instytutu tarcza galwanometru posiada niewielki prostokątny wykrój (rys. 5), pod którym umieszczona jest szczelina powietrzna regulatora pneumatycznego, działającego na zasadzie widocznej z rys. 6. W dolnej części regulatora znajdują się dwie pompki „trybikowe“, napędzane przez wspólny silnik elektryczny. Jedna z nich zasysa powietrze z zewnątrz i tłoczy je do zbiornika, z którego wypływa ono następnie przez rurkę zakończoną szczeliną pod tarczą galwanometru. Szczelina stanowi w tym przypadku czujnik regulatora. Zmiany alkaliczności soku powodują ruch tarczy galwanometru, a więc większe lub mniejsze przysłonięcie szczeliny powietrznej czujnika przez otwór wykonany w tarczy (rys.

5). Wywołuje to zmianę ciśnienia wewnątrz części wypełnionej powietrzem, odkształcenie membrany i przedstawienie przełącznika stawidełkowego. Powoduje to zmianę dopływu oleju do serwowatora, który się składa z cylindra i tłoka.

Druga pompa tłoczy olej do przełącznika typu stawidełkowego. W zależności od położenia stawidełka olej jest kierowany do górnej lub dolnej części cylindra.



Rys. 6. Regulator pneumatyczno-hydrauliczny przy saturacji

- 1 — pompki trybikowe
- 2 — zbiornik
- 3 — przełącznik stawidełkowy
- 4 — serwowator

Ruch tłoka przez linkę przenosi się na zawór, umieszczony na komunikacji z dwutlenkiem węgla (rys. 7), a więc zmienia dopływ gazu do kotła saturacyjnego w zależności od alkaliczności soku.

6. Błotniarki.

Praca błotniarek polega na odfiltrowywaniu strąconego na poprzedniej stacji (saturacji) osadu, tzw. błota defekacyjnego.

Sok tłoczony wraz z osadem przez pompę do wspólnej komunikacji przepływa następnie przez pewną, zawsze jednakową, liczbę błotniarek przyłączonych do niej równolegle.

Błotniarki całkowicie wypełnione błotem wyłączają się kolejno do czyszczenia, a na ich miejsce włącza się, również kolejno, błotniarki oczyszczone.

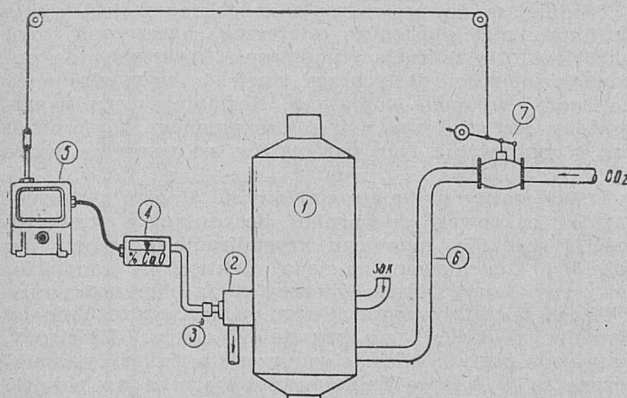
Ponieważ poszczególne błotniarki zaczynają pracę w różnym czasie, warstwy błota w każdej z nich są różnej grubości, wskutek czego i opór dla przepływu przez nie soku stale się zmienia. Opór całej stacji zwiększa się wraz z wzrostem grubości osadu.

Ze względu na wytrzymałość mechaniczną błotniarek należy po przekroczeniu pewnego ciśnienia włączać świeżą błotniarkę. Jeżeli zawór, łączący świeżą błotniarkę ze wspólną komunikacją, będzie od razu całkowicie otwarty, wówczas w pierwszej chwili — z powodu bardzo małego oporu włączonej błotniarki — zarówno opór, jak i ciśnienie na całej stacji znacznie zmniejszą się. Prawie cała ilość

soku będzie przepływała niemal wyłącznie przez świeżą błotniarkę, na której dość szybko powstanie warstwa osadu, powodująca wzrost oporu.

Tego rodzaju praca jest niewłaściwa z następujących powodów:

1) znaczny przepływ soku przez błotniarkę po jej włączeniu wpływa ujemnie na wytrzymałość tkaniny filtru-



Rys. 7. Schemat blokowy aparatury do automatycznej saturacji

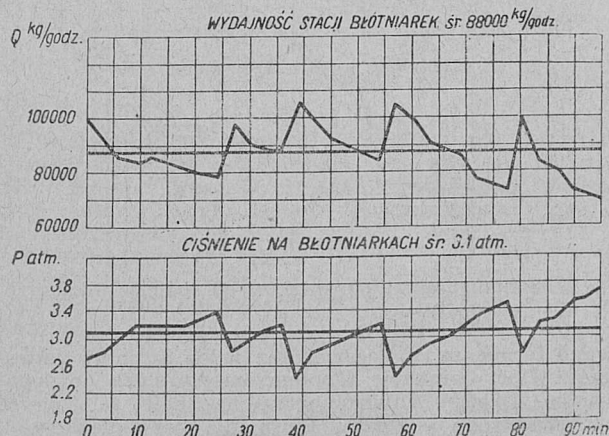
- 1 — kocioł saturacyjny
- 2 — skrzynka przelewowa do odpływu soku saturowanego
- 3 — elektrody alkalimetru
- 4 — alkalimetr
- 5 — regulator pneumatyczno-hydrauliczny
- 6 — rura dopływowa gazu saturacyjnego
- 7 — zawór dopływowy uruchamiany regulatorem

jącej oraz powoduje przedostawanie się przez nią, zwłaszcza w pierwszej chwili, znacznej ilości osadu (mętny sok); osad ten zatrzymuje się później na cedzidłach, co wymaga częstej ich wymiany;

2) silne wahania ciśnienia powodują powstawanie w błotniarkach, w których już utworzyła się warstwa błota, dalszego nierównomiernego uwarstwienia osadu i sprzyjają powstawaniu w warstwie błota rys i pęknięć, przez które podczas następnej operacji, tzw. wysładzania błota, przedostaje się do soku duża ilość wody, co jest połączone z nadmiernym zużyciem opału, potrzebnym na późniejsze jej odparowanie;

3) przy użyciu pompy wirowej wahania ciśnienia na błotniarkach powodują zmienną wydajność stacji błotniarek, a więc nierównomierny odpływ soku na dalsze stacje, co niekorzystnie odbija się na ich pracy.

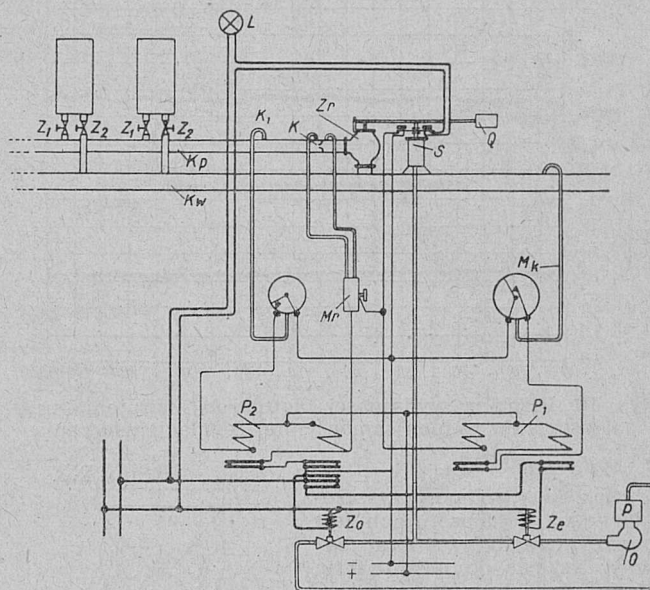
Na rys. 8 podane są zmiany wydajności oraz wahania ciśnienia na stacji błotniarek w jednej z cukrowni. Ażeby



Rys. 8. Przebieg wydajności błotniarek i ciśnienia na nich bez samoczynnej regulacji włączania

tym zjawiskom zapobiec, należy dążyć do utrzymywania ciśnienia na głównej komunikacji na pewnym stałym poziomie. Możemy to osiągnąć, jeżeli obsługa będzie włączać świeżą błotniarkę, której opór na początku jest bar-

dzo mały, stopniowo. Lecz w praktyce warunek ten nie zawsze jest spełniony. W celu uniezależnienia pracy stopniowego otwierania zaworu na świeżej błotniarce od czynnika ludzkiego opracowano specjalny układ, który tę pracę wykonywa samoczynnie (rys. 9).



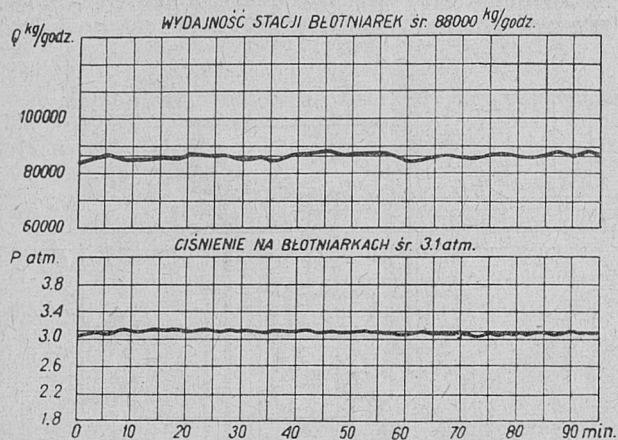
Rys. 9. Układ do samoczynnego regulowanego włączania błotniarek

Każda błotniarka łączy się dodatkowym zaworem Z_1 z pomocniczą komunikacją sokową K_p , która łączy się z komunikacją wspólną K_w przez zawór regulacyjny Z_r . Na początku świeżą błotniarkę łączy się tylko z komunikacją pomocniczą, zawór regulacyjny Z_r jest zamknięty, wszystkie zaś inne pracujące błotniarki połączone są z komunikacją wspólną K_w . Wraz ze wzrostem grubości warstwy błota w błotniarkach ciśnienie w komunikacji wspólnej wzrasta do pewnej wielkości, na którą nastawiony jest manometr kontaktowy M_h . Po osiągnięciu tej wartości manometr M_h zamyka obwód prawego przekaźnika P_1 . Zaworek elektryczny Z_e podnosi się i olej pod ciśnieniem wytworzonym przez pompę olejową P tłoczy się do serwomotoru S . Skutkiem tego zawór regulacyjny Z_r otwiera się póty, póki wywołany przez to spadek ciśnienia w komunikacji wspólnej nie spowoduje rozwarcia styków manometru kontaktowego M_h ; wystarczy do tego celu spadek ciśnienia o 0,1 atm.

Z chwilą kiedy zawór regulacyjny przestanie się otwierać, ciśnienie na błotniarkach znów wzrasta do wartości nastawionej na manometrze M_h , co spowoduje ponowne zamknięcie zaworka Z_e i dalsze otwarcie zaworu regulacyjnego Z_r . W ten sposób wahania ciśnienia nie większe niż 0,1 atm. powodują stopniowe otwieranie zaworu, aż w końcu będzie on otwarty całkowicie. Powoduje to zapalenie się lampki sygnałowej L lub włączenie dzwonka elektrycznego. Wówczas obsługa błotniarek powinna otworzyć zawór sokowy Z_2 , łączący błotniarkę z komunikacją wspólną, i zamknąć zawór Z_1 , łączący ją z komunikacją dodatkową. Sok w komunikacji sokowej przestanie płynąć, powoduje to zadziałanie manometru różnicowego M_r , który zamyka obwód elektryczny drugiego zaworka Z_0 . Pod działaniem ciężaru Q olej z pod tłoka serwomotoru S spływa do zbiornika O . Lampa sygnałowa gaśnie i obsługa na stacji błotniarek winna włączyć nową świeżą błotniarkę do komunikacji pomocniczej.

Jeżeli chcemy z jakichś powodów zmienić wydajność stacji błotniarek, wystarczy przesunąć odpowiednio styk na manometrze stykowym.

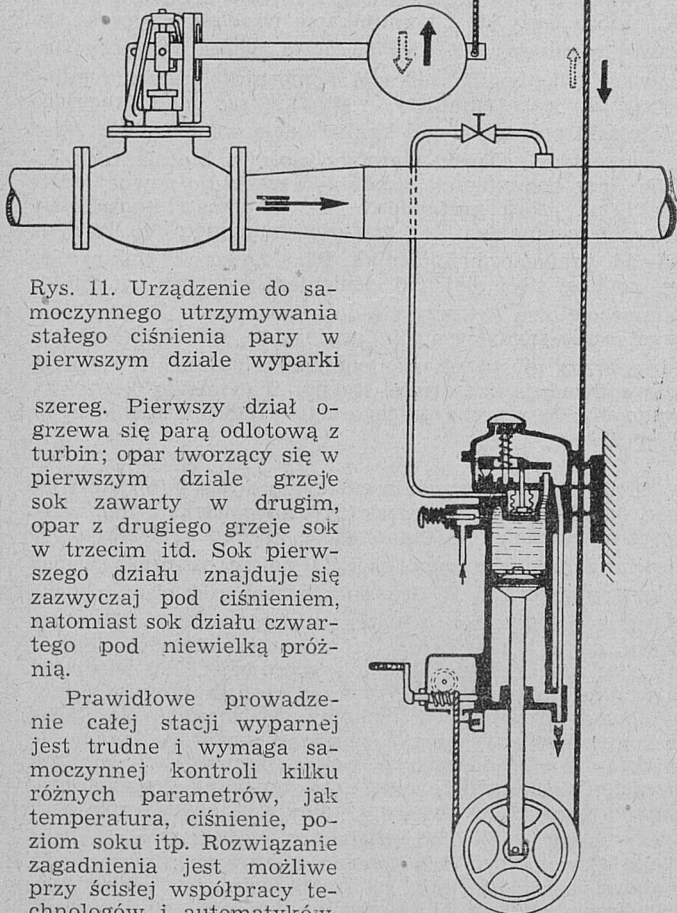
Rys. 10 ilustruje dodatni wpływ powyższego urządzenia na zmiany wydajności błotniarek i ciśnienia, a więc również na pracę dalszych stacji w cukrowni.



Rys. 10. Przebieg wydajności błotniarek i ciśnienia przy zastosowaniu w nich samoczynnej regulacji włączania

7. Wyparka.

Sok cukrowy po oczyszczeniu go na defekosaturacji jest bardzo rzadki, zawiera bowiem od 12 do 14% cukru. Nadmiar wody z niego usuwa się na stacji wyparnej, która w produkcji cukru zużywa największe ilości ciepła. Składa się ona przeważnie z czterech działów, połączonych w



Rys. 11. Urządzenie do samoczynnego utrzymywania stałego ciśnienia pary w pierwszym dziale wyparki

szereg. Pierwszy dział ogrzewa się parą odlotową z turbin; opar tworzący się w pierwszym dziale grzeje sok zawarty w drugim, opar z drugiego grzeje sok w trzecim itd. Sok pierwszego działu znajduje się zazwyczaj pod ciśnieniem, natomiast sok działu czwartego pod niewielką próżnią.

Prawidłowe prowadzenie całej stacji wyparnej jest trudne i wymaga samoczynnej kontroli kilku różnych parametrów, jak temperatura, ciśnienie, poziom soku itp. Rozwiązanie zagadnienia jest możliwe przy ścisłej współpracy technologów i automatyków.

Niektóre cukrownie posiadają urządzenie, służące do samoczynnego utrzymywania stałego ciśnienia pary grzejnej w pierwszym dziale wyparki (rys. 11). Jest ono oparte na następującej zasadzie: zmiany ciśnienia pary na dopływie wywołują odkształcenie membrany mieszkowej

(sylfonu) do góry lub na dół. Kołek połączony z sylfonem powoduje ruch dźwigni i większe lub mniejsze otwarcie wylotu rurki, przez który wypływa olej, tłoczony przez odpowiednią pompę. Zmiany ciśnienia oleju powodują ruch tłoka, a więc i liny połączonej z dźwignią zaworu regulującego dopływ pary grzejnej.

8. Warniki.

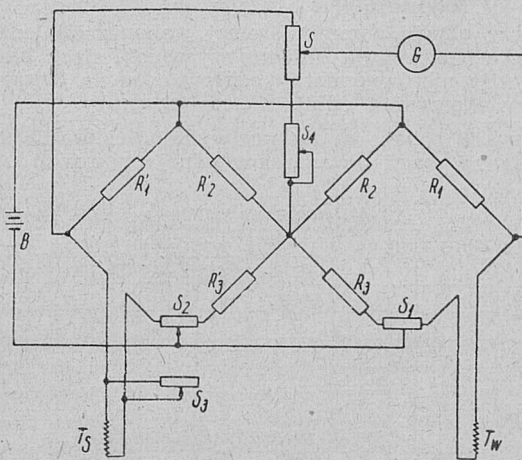
Trudniejsza do prowadzenia w cukrowni jest stacja warników, gdzie następuje ostateczne zagęszczanie soku cukrowego, krystalizacja i hodowanie kryształów do pożądanej wielkości. Dotychczas stacje te prowadzone są „na oko” i wyczuć bardzo wyraźny obraz przebiegu zmian w fazach początkowych cyklu gotowania, szczególnie od momentu zawiązania się kryształów cukru. Elektrody, przeważnie pręty miedziane zanurzone w cukrzycy, umieszczone są w ścianie dolnej części warnika na połowie wysokości i ewentualnie w części górnej (po dwie) odpowiednio odizolowane, z zaciskami na zewnątrz. Układ jest zasilany prądem zmiennym o napięciu około 20 voltów. Niektóre z tych przyrządów wykonywane są jako rejestrujące. Gotowacz z wychylenia wskazówki amperomierza (wyskalowanego np. w siemensach) orientuje się, kiedy należy rozpocząć i kiedy kończyć tzw. „dociąg” świeżej porcji soku gęstego.

A. L. Holven podaje inną metodę bezpośrednią pomiaru współczynnika przesycenia. Przy założeniu, że ciśnienie bezwzględne w czasie gotowania jest stałe, współczynnik przesycenia będzie funkcją punktu wrzenia wody i punktu wrzenia soku cukrowego według wzoru:

$$\operatorname{tg} \Theta = \frac{T_w - K}{T_s - K}$$

gdzie T_w — temperatura wrzenia wody, T_s — temperatura wrzenia soku, K — temperatura odniesienia.

Elektrycznym interpretatorem tego wzoru jest układ sprzężony dwu mostków do pomiaru temperatur wrzenia wody i soku w tych samych warunkach (rys. 12). Zasto-



Rys. 12. Schemat układu pomiarowego współczynnika przesycenia

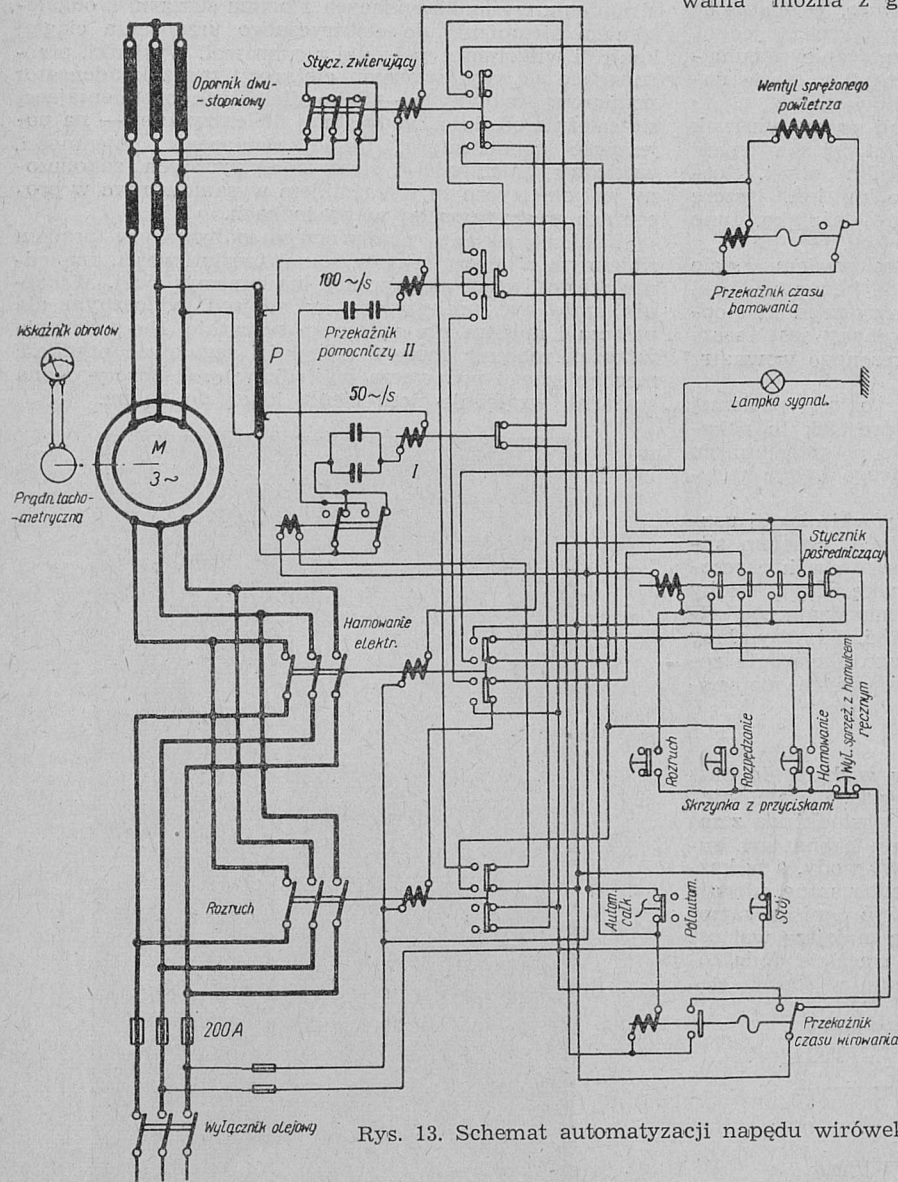
sowano termometry oporowe oraz jeden wspólny galwanometr. Opory zmienne i potencjometry służą do dopasowania wskazań galwanometru na skali zależnie od stopnia czystości cukrzycy i ciśnienia bezwzględnego.

9. Wirówki.

Stacją, która sprawia najwięcej kłopotu elektrykom w cukrowni, jest stacja wirówek. Ma ona za zadanie oddzielenie syropu międzykryształowego od cukru krystalicznego. Zasadniczym elementem wirówki jest bęben, zawieszony na pionowej osi, którą napędza silnik elektryczny, sprzężony na stałe lub za pośrednictwem sprzęgła poślizgowego z wirówką.

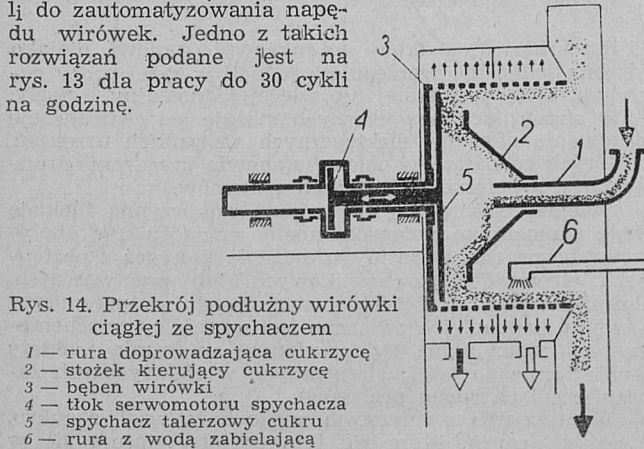
Nowoczesne wirówki, tzw. wysokosprawne, wykonywają do 30 cykli pracy na godzinę. W czasie każdego cyklu wirówkę najpierw napełnia się na niskich obrotach cukrzycą, a następnie rozpędza do ~ 960 obr./min. Po usunięciu syropu międzykryształowego wirówka podlega zahamowaniu, a po wyładowaniu cukru zaczyna się nowy cykl.

Silnik elektryczny napędowy pier. znamionowy o mocy rzędu 50 kW sprzężony jest bezpośrednio z osią wirówki. Uruchamianie odbywa się przez naciśnięcie na „rozruch”. Po napełnieniu wirówki i naciśnięciu na „rozpędzanie” dalsze fazy pracy napędu następują automatycznie, przy czym czas wirowania i hamowania można z góry nast-



Rys. 13. Schemat automatyzacji napędu wirówek

W większych cukrowniach, gdzie wirówki pracują bardzo intensywnie, prowadzenie ich wymaga dużego wkładu pracy fizycznej, szczególnie przy hamowaniu i opróżnianiu wirówek. Dlatego też konstruktorzy dążyli do zautomatyzowania napędu wirówek. Jedno z takich rozwiązań podane jest na rys. 13 dla pracy do 30 cykli na godzinę.



Rys. 14. Przekrój podłużny wirówki ciągłej ze spychaczem

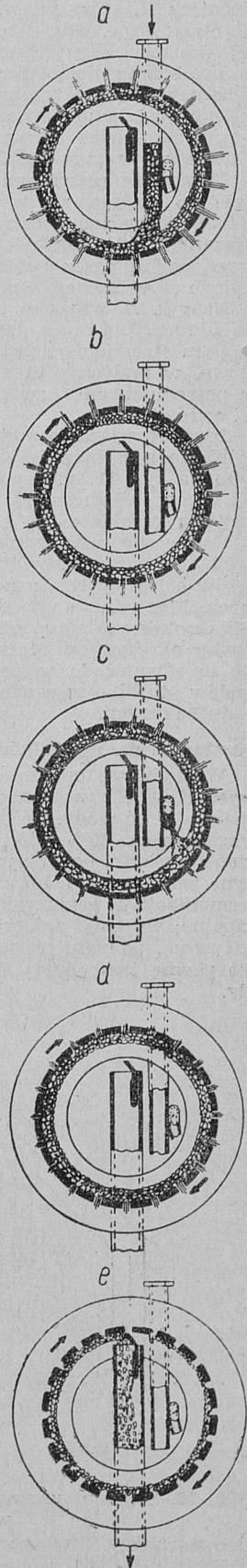
- 1 — rura doprowadzająca cukrzycę
- 2 — stożek kierujący cukrzycę
- 3 — bęben wirówki
- 4 — tłoek serwomotoru spychacza
- 5 — spychacz talerzowy cukru
- 6 — rura z wodą zabielającą

wie na odpowiednich przełącznikach czasowych.

Z chwilą osiągnięcia przez wirówkę obrotów znamionowych, czyli określonej częstotliwości prądu w wirniku, działa przełącznik pomocniczy I, zasilany z potencjometru

Rys. 15. Przekrój poprzeczny wirówki ciągłej z wygarniaczem w różnych fazach pracy

- a — napełnianie cukrzycą
- b — wirowanie wstępne
- c — zabielenie wodą
- d — dalsze wirowanie
- e — wygarnianie kryształów



P. Wówczas zadziała przełącznik czasu wirowania i odłączy stycznik rozruchowy oraz stycznik zwierający opory wirnika. Po upływie nastawionego „czasu wirowania”

utworzy się obwód dla elektromagnesu stycznika „hamowania elektrycznego”. Hamowanie prądem zwrotnym jest bardzo energiczne, w wirniku mamy wówczas częstotliwość prawie podwójną, zadziała wtedy przekaźnik pomocniczy II, który włącza lampę sygnalizującą hamowanie elektryczne. Gdy obroty wirówki zmniejszą się do określonej wielkości, częstotliwość w wirniku zmniejsza się na tyle, że przekaźnik pomocniczy II puści zworę, przełączając przed hamowaniem elektrycznego na pneumatyczne i jednocześnie gasi lampę sygnalizacyjną. Hamowanie pneumatyczne sprowadza obroty wirówki do zera w czasie nastawionym w „przekaźniku czasu hamowania”.

Najnowsze rozwiązania automatyzacji pracy wirówek dążą do zbudowania wirówki ciągłej, której nie trzeba byłoby rozpędzać i zatrzymywać co kilka minut. Rozwiązanie takie zaprojektowane zostało m. inn. jeszcze przed wojną przez polskiego inżyniera Żeleźniaka. Inne podane są w Escher Wyss Mitteilungen (rys. 14 i 15).

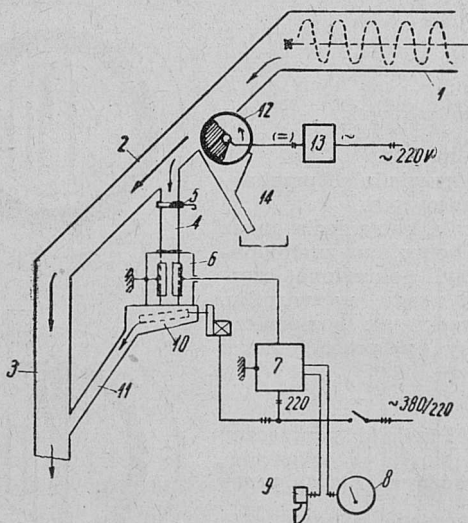
Na rys. 14 wirówka o wydrążonej osi poziomej stale się obraca. Cukrzyce doprowadza się do bębna wirówki ciągłym strumieniem przez rurę, a gotowy produkt stopniowo, w małych odstępach czasu, spychany jest tarczą za pośrednictwem serwomotoru, umieszczonego wewnątrz osi wirówki.

Inne rozwiązanie wirówki ciągłej o osi poziomej różni się sposobem jej opróżniania, które, jak to pokazano na rys. 15, następuje samoczynnie po przysunięciu do górnej wewnętrznej ścianki wirującego bębna rurowego wygarniacza.

Ostateczne rozwiązanie problemu wirówki ciągłej usunęłoby nierozwiązany dotychczas należyty problem silników napędowych, stosowanych przy wirówkach okresowych. Moc silnika napędzającego wirówkę ciągłą byłaby kilkakrotnie mniejszą, niż moc silnika napędzającego wirówkę okresową o tej samej wydajności. Przyczyniłoby się to również do więcej równomiernego obciążenia zespołów turbinowo-prądnicowych, stosowanych do napędu cukrowni.

10. Suszarnia wysłódków.

Wysłódki po opuszczeniu dyfuzorów wędrują do pras wysłódkowych (wyzymaczek), gdzie wyciska się z nich znaczną ilość wody. Do bębna suszarni wysłódki idą z zawartością ok. 85% wody. Po opuszczeniu bębna tzw. suszone wysłódki powinny zawierać ok. 8% wody, a w każdym razie poniżej 10%. Wysłódki niedosuszone ulegają fermentacji w magazynie i mogą tworzyć ogniska samozapalne; wysłódki zaś przesuszone mają mniejszą wartość odżywczą, ponadto na ich wysuszenie traci się dodatkowo pewną ilość ciepła. Suszarnie pracują w sposób ciągły.



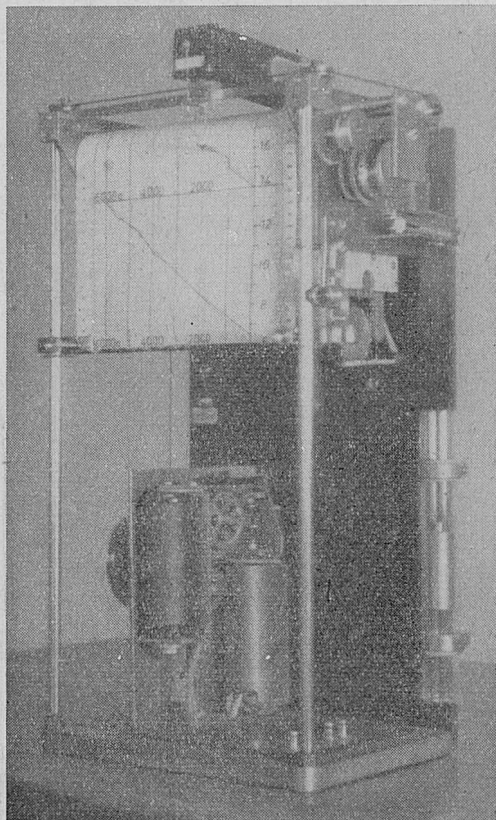
Rys. 16. Schemat usuwania żelaza i kontroli wilgotności wysłódków

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1 — przenośnik ślimakowy | 9 — sygnalizator dźwiękowy |
| 2 — rynnna pochyła | 10 — wytrząsacz napędzany silnikiem elektrycznym |
| 3 — rynnna pionowa | 11 — rura odprowadzająca |
| 4 — rura proboiercza | 12 — separator magnetyczny |
| 5 — zasuwa odcinająca | 13 — prostownik |
| 6 — kondensator pomiarowy | 14 — rynnna odprowadzająca części żelazne |
| 7 — aparatura pomiarowa | |
| 8 — wskaźnik % H ₂ O | |

Ciągła kontrola wilgotności suszonych wysłódków jest konieczna i normalnie jeden z robotników przeprowadza ją co pewien czas przez zbadanie ręką, a niezależnie od tego co parę godzin laboratorium przeprowadza kontrolę dokładną. Nie jest to jednak kontrola ciągła ani dostateczna.

Na rys. 16 pokazano schematycznie fragment drogi strumienia wysłódków idących z bębna suszarni z odgałęzieniem strumienia do elektrycznego urządzenia ciągłej kontroli wilgotności w jednej z cukrowni. Wysłódki, przesuwające się (pod własnym ciężarem) przez kondensator pomiarowy, wpływają — jako dielektryk o zmieniającej się zależności od ilości wody stałej dielektrycznej — na pojemność kondensatora. Układ pomiarowy pojemności, względnie pojemności i strat dielektrycznych, zakończony jest elektrycznym wskaźnikiem wyskalowanym w procentach wody zawartej w wysłódkach.

Zasilanie układu pomiarowego odbywa się prądem zmiennym z generatora wysokiej częstotliwości, względnie częstotliwości akustycznej lub przemysłowej. Wskaźnik może być umieszczony w miejscu widocznym dla palacza i majstra prowadzącego suszarnię. Na podstawie wskazań robotnik może z odległości regulować prędkość mechanicznego podawacza wysłódków oraz obroty bębna suszarni, względnie ilość ciepła idącą do bębna.



Rys. 17. Tempograf inż. Stanisława Śliwińskiego

Suszarnia wysłódków w cukrowni stanowi niejako odrębną jednostkę wprzęgniętą jednak w rytm pracy cukrowni, który jest mniej lub więcej jednostajny i ciągły.

W suszarniach nowoczesnych stosuje się centralizację sterowania napędów elektrycznych wszystkich urządzeń, z których co najmniej połowę stanowią urządzenia transportu wewnętrznego wszelkich systemów.

Schemat elektryczny przewiduje samoczynną blokadę wzgl. samoczynne unieruchamianie przenośników dopływowych surowca w razie uszkodzenia któregoś z następujących elementów przenośnikowych lub przetwórczych. Rozmieszczenie przycisków sterujących, amperomierzy i świateł kontrolnych związane jest na tablicy ze schematem fabrykacyjnym, uwidocznionym w formie makiety (analogicznie do tablic stosowanych w elektrycznych zabezpieczeniach ruchu pociągów).

Do usuwania z suszonych wysłódków, wzgl. z cukru, części żelaznych, które się tam dostały, stosuje się w

przemysle cukrowniczym separatory elektromagnetyczne typu stałego lub bębnowego (rys. 16). W typie bębnowym kierunek pola magnetycznego ustawiamy przez odpowiedni obrót osi, na której osadzone są elektromagnesy.

Części żelazne wyciągane są z wysłodków przez obracający się bęben i przenoszone do dolnej jego części, gdzie pole jest bardzo słabe; stąd pod wpływem własnego ciężaru części te opadają do odpowiedniej rury.

11. Pomiary zdalne.

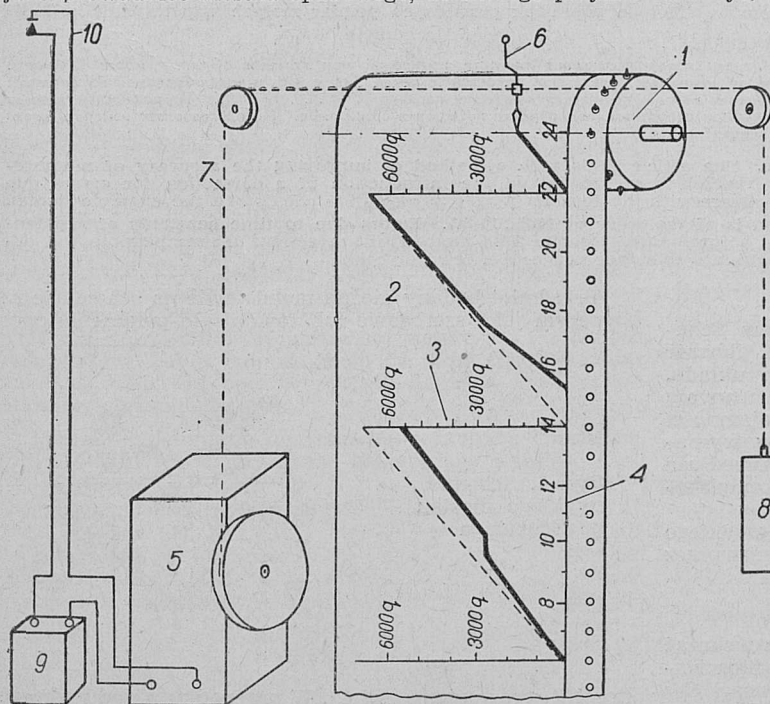
Pierwsze próby zdalnej kontroli dopływu surowca do fabryki, który ze względu na pracę ciągłą może służyć wskaźnikiem ruchu cukrowni, wykonano z odległości kilkudziesięciu kilometrów, stosując fale radiowe i aparat t e m p o g r a f, wynaleziony przez inż. S. Śliwińskiego (rys. 17).

Zasada działania tempografu polega na tym, że mechanizm zegarowy przesuwając taśmę papierową z góry na dół ruchem jednostajnym z prędkością np. 1 cm/h, piórko zaś otrzymujące impulsy od automatycznej wagi buraczanej przesuwającej się w kierunku poziomym (rys. 18). Jeśli dopływ surowca do fabryki jest jednostajny, wówczas jako wypadkową dwóch ruchów prostoliniowych i jednostajnych piórko wykreśli linię prostą, nachyloną do poziomu pod pewnym kątem, którego wielkość zależy tylko od tempa pracy cukrowni. Wszelkie przerwy i przestoje fabryki będą dawały na wykresie linie pionowe. Skala godzinowa, w którą jest zaopatrzona taśma papierowa, pozwala dokładnie zorientować się, kiedy przerwa się zaczęła i jak długo trwała.

Jako przyrząd samopiszzący tempograf tym się różni od wszelkich innych przyrządów tego rodzaju, że — znając normę przerobową cukrowni — możemy z góry wykreślić tzw. linię wzorcową, po której powinno poruszać się piórko w przypadku planowej i równomiernej pracy cukrowni.

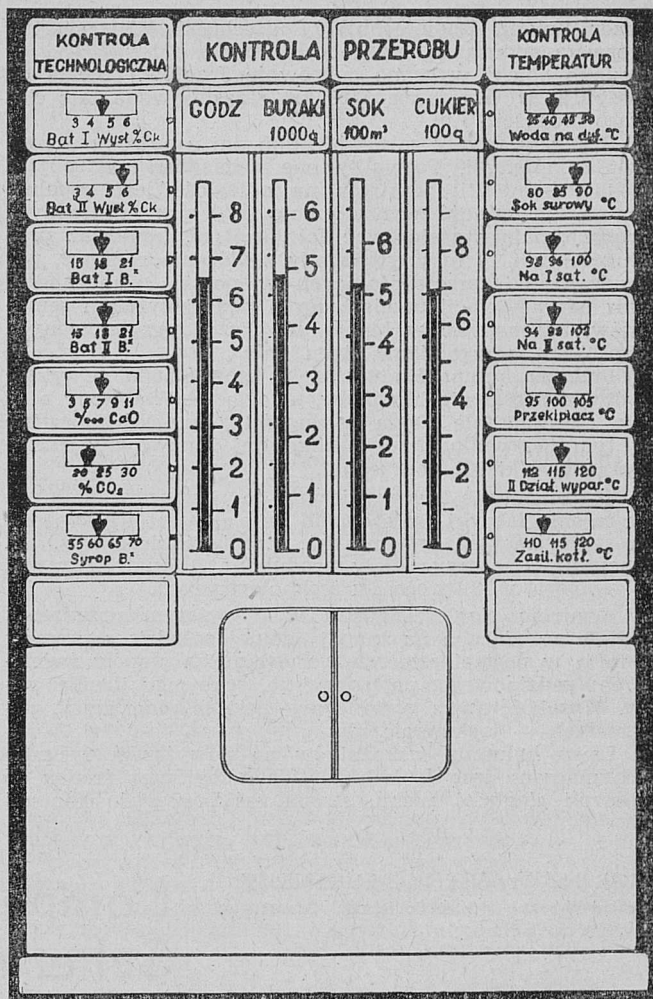
Jeden rzut oka na wykres tempografu pozwala zorientować się w każdej chwili, jak pracuje fabryka w stosunku do planu, jakie jest tempo pracy oraz czy były przestoje i jak długo trwały.

Na rys. 17 widzimy tempograf, wyjęty z szafki osłaniającej. U góry znajduje się rama, której część frontowa wspiera się na dwóch prętach; pręty te służą jednocześnie jako prowadnice mostka opadowego, do którego przymo-



Rys. 18. Schemat działania tempografu Śliwińskiego

- | | |
|--|---|
| 1 — wałek przesuwający taśmę papierową napędzany od zegara | 5 — windka przesuwająca piórko |
| 2 — taśma papierowa | 6 — piórko rejestrujące |
| 3 — skala przerobowa | 9 — prostownik zasilający na 24 V |
| 4 — skala czasu (godzinowa) | 10 — styk, nadający impulsy z wagi automatycznej lub innego miernika automatycznego |



Rys. 19. Centralna tablica kontrolno-sygnalizacyjna syst. S. Śliwińskiego

cowany jest początek taśmy papierowej. Z prawej strony ramy mieszczą się przekładnie zębate, przenoszące ruch osi zegara na oś walca poruszającego taśmę papierową z prędkością 1 cm/h.

W dolnej części tempografu ustawiona jest windka elektryczna służąca do poruszania piórka od impulsów przychodzących z zewnątrz. Windka ma przełącznik ruchowy — na fotografii prawy — ze zworą, zaopatrzoną w ruchomy wychwyt oparty na kółku wychwytowym. Każdy impuls, przychodzący z zewnątrz, powoduje działanie przełącznika ruchowego, przesuwającego wychwyt na kółko o jeden ząb. Po skończeniu impulsu zwora wraz z zapadką i kółkiem są odciągane za pomocą sprężyny, powodującej obrót osi kółka wychwytowego o pewien kąt. Przekładnie zębate (niewidoczne na fotografii) przenoszą ten ruch na oś kółka rowkowego, na które nawija się sznurek obciążony na drugim końcu ciężarkiem.

W górnej części ramy znajdują się bloczki do prowadzenia sznurka. Między nimi umocowany jest suwak z zawieszonym na nim piórkiem.

Idea przeprowadzenia prób kontrolowania pracy cukrowni przy pomocy fal radiowych w połączeniu z tempografem powstała w Wydziale Elektrycznym Instytutu Cukrownictwa i na kampanię 1946/47 r. została zmontowana

przez Zakład Radiotechniki Politechniki Warszawskiej pierwszej aparatura do tego celu.

Jako obiekt wybrano cukrownię Józefów, odległą od Instytutu w Warszawie o 25 km i zastosowano falę ciągłą o długości 10 m.

Próby te trwały zaledwie kilka dni z powodu zakończenia kampanii. Pozwoliły one wyciągnąć następujące ciekawe wnioski: kontrola na odległość jest zupełnie realna, dokładność wynosi około 2%; przy następnych próbach należy zastosować falę krótszą, ponieważ przy długości fali 10 m występowały zakłócenia radiowe, pochodzące od przejeżdżających w pobliżu samochodów oraz od radiostacji przelatujących nad Instytutem samolotów, zwiększając w ten sposób liczbę przyjmowanych impulsów, szczególnie w ciągu dnia.

Podczas kampanii 1947/48 r. powtórzono powyższe próby z cukrownią Michałów, odległą od Warszawy o 35 km, stosując falę ciągłą o długości 2 m. Doświadczenie w tym przypadku trwało kilka dni i uzyskano jeszcze lepsze wyniki niż poprzednio.

W przemyśle cukrowniczym do pomiarów zdalnych na terenie fabryki zastosowano centralną tablicę kontrolno-sygnalizacyjną systemu inż. S. Śliwińskiego (rys. 19). Obejmuje ona trzy działy produkcji: 1) kontroli ruchu, 2) temperatur, 3) procesów technologicznych.

Kontrola ciągłości ruchu w powyższym urządzeniu została rozwiązana na znanej ogólnej zasadzie wykresów Gantta w postaci czterech wzrastających słupów świetlnych: godzinowego, przerobowego, sokowego i cukrowego. Wysokość słupa godzinowego jest to plan pracy, pozostałych — wykonanie planu.

Lewa kolumna wskaźników na powyższym rysunku przeznaczona jest do kontroli technologicznej, środek do kontroli ciągłości ruchu, strona zaś prawa do kontroli

temperatur. Prawdopodobnie pracy cukrowni odpowiada ustawienie się wszystkich wskaźników w skrajnych szeregach — z lewej i prawej strony — w jednym pionie, wysokości zaś wszystkich czterech słupów pionowych w środkowej części na poziomie słupa godzinowego.

LITERATURA

- Podhoroński J. Sposoby pracy i regulacji pracy baterii dyfuzyjnej (Gaz. Cukrown., 1950, nr 4).
 Dębski S. i Pietrzykowski T. Zagadnienie automatyzacji nawapniania soku dyfuzyjnego (Prace Główn. Inst. Przem. Roln. i Spoż., zesz. 1).
 Śliwiński S. i Hulanicki S. Elektryczna ciągła kontrola saturacji (Gaz. Cukrown., 1949, nr 9).
 Hulanicki S. i Rosiński W. Zagadnienie racjonalnej pracy błotniarki (Gaz. Cukrown., 1938, nr 1-2).
 Cane Sugar Handbook, 1945, Spenger Meade.
 Ruegg N. Zentrifugen hoher Leistung (Escher Wyss Mitteilungen, 1948-49, nr 21-22).
 Śliwiński S. Rozwój urządzeń kontrolno-sygnalizacyjnych w cukrownictwie polskim (Gaz. Cukrown., 1947, nr 7-8).
 Browkin J. Opis konstrukcji i działania aparatu do automatycznej kontroli ciągłości ruchu urządzeń mechanicznych pod nazwą tempograf (Prace Główn. Inst. Przem. Roln. i Spoż., zesz. 1).
 Ryżko S. i Bzowski T. Doświadczalna aparatura nadawczo-odbiorcza do przesyłania impulsów sygnalizacyjnych na fali 2 m (Przegl. Telekom., 1948, nr 4).
 Werenthin M. Zastosowanie pomiarów przewodnictwa elektrycznego do kontroli gotowania cukrzycy (Gaz. Cukrown., 1937, nr 19-21).
 Becker D. Die automatische Wassergehaltskontrolle von getrockneten Schnitzeln (Zentralbl. für die Zuckerind., 1939, nr 16).
 Brodziański J. Zasady prototypu aparatu do szybkiego oznaczania wilgotności ciał sypkich metodą elektryczną (Prace Główn. Inst. Przem. Roln. i Spoż., zesz. 2).
 Śliwiński S. Mechanizacja kontroli produkcji w przemyśle cukrowniczym (Przegl. Techn., 1949, nr 9-10).

MGR INŻ. WASILENKO EUGENIUSZ

Zakład Wysokich Napięć Politechniki Gdańskiej

Kompensacja uchybów w mostku Scheringa

621.317.733:621.3.088

Treść. Opisana jest metoda zwiększenia dokładności pomiaru zwykłym mostkiem Scheringa. Metoda polega na wprowadzeniu poprawki na uchyb od pojemności doziemnych C_{d3} , C_{d4} , obliczonej według wzoru: $\Delta \lg \delta_1 = \omega R_3 C_{d3} - \omega R_4 C_{d4}$. W podanym przykładzie realizacji metody poprawka jest rzędu 10^{-3} ... $10^{-2}\%$. Uchyb od stałych czasowych oporników R_3 i R_4 można pominąć przy opornościach rzędu kilkuset omów. Metoda poprawek pozwala na pomiar współczynników strat (np. $\lg \delta = 0,01\%$) z dokładnością kilku procentów.

Компенсация погрешностей моста Шеринга. Описан метод увеличения точности измерений при помощи обычного моста Шеринга. Метод заключается во введении поправки для погрешности, возникающей вследствие емкостей к земле C_{d3} и C_{d4} , подсчитываемой по формуле: $\Delta \lg \delta_1 = \omega R_3 C_{d3} - \omega R_4 C_{d4}$. В приведенном примере применения метода получается поправка порядка 10^{-3} ... $10^{-2}\%$. Погрешностью в связи с постоянной времени сопротивлений R_3 и R_4 можно пренебречь при сопротивлении порядка нескольких сотен ом. Метод позволяет измерять коэффициенты потерь (например, $\lg \delta = 0,01\%$) с точностью нескольких процентов.

Compensation of errors of the Schering bridge. The article deals with a method of improving the accuracy of measurement by means of the common Schering bridge. The method is contingent on the introduction of a correction for errors due to earth capacitances C_{d3} and C_{d4} computed in accordance with the formula $\Delta \lg \delta_1 = \omega R_3 C_{d3} - \omega R_4 C_{d4}$. In the example quoted for the implementation of the method, the correction is of the order of 10^{-3} ... $10^{-2}\%$. Errors due to time constants of resistances R_3 and R_4 can be disregarded for resistances of a few hundred ohms. This method of corrections makes possible the determination of small loss factors (e. g. $\lg \delta = 0,01\%$) within a tolerance range of a few per cent.

1. Wstęp.

Pomiar współczynnika strat zwykłym mostkiem Scheringa jest obciążony uchybami, powstającymi głównie wskutek pojemności doziemnych różnych gałęzi układu. Istniejące układy mostkowe [1, 4, 5, 6, 10, 11] usuwają w znacznym stopniu uchyby, pochodzące od pojemności szkodliwych, jednakże stosowanie tych układów wymaga dodatkowych czynności przy pomiarze, co przedłuża czas pomiaru. Poza tym układy te są na ogół skomplikowane.

Celem niniejszej pracy jest przystosowanie zwykłego mostka Scheringa do bardziej dokładnych pomiarów przez wprowadzanie poprawek.

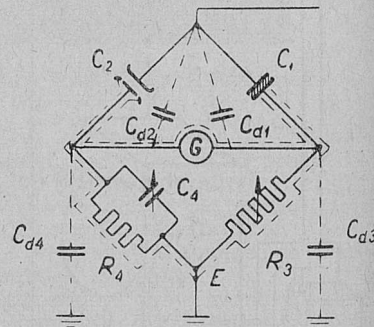
2. Zasada wprowadzania poprawek.

W zwykłym mostku Scheringa (rys. 1) można wskazać cztery pojemności szkodliwe: C_{d1} , C_{d2} , C_{d3} , C_{d4} . Stosowanie uziemionego ekranu E usuwa wpływ pojemności C_{d1} i C_{d2} , zwiększa jednak wyraźnie uchyby wskutek pojemności C_{d3} i C_{d4} .

Metoda poprawek opiera się na założeniu, iż pojemności C_{d3} i C_{d4} są stałe. Składają się na nie pojemności doziemne przewodów, łączących przedmiot badany i kondensator wzorcowy z częścią niskonapięciową mostka, oraz pojemności doziemne przyrządów niskonapięciowych.

Przedmiot badany można przedstawić na schemacie zastępczym jako szeregowy lub równoległy połączenie opor-

Rys. 1. Schemat zwykłego mostka Scheringa



ności R_1 oraz pojemności C_1 . W przypadku układu szeregowego znajdujemy wzór dla współczynnika strat

$$(1) \quad \lg \delta_1 = \omega R_1 C_1.$$

Przy równowadze mostka jest spełniona zależność

$$(2) \quad \frac{Z_1}{Z_3} = \frac{Z_2}{Z_4}$$

Po podstawieniu wyrażeń na oporności pozorne do wzoru (2), oraz po przekształceniu i przyrównaniu stronami części czynnych i biernych otrzymuje się dwa równania:

$$(3) \quad R_1 = R_3 \left(\frac{C_4}{C_2} + \frac{C_{d4}}{C_2} - \frac{C_{d3}}{C_1} \right),$$

$$(4) \quad C_1 = C_2 \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{1 + \omega^2 C_{d3} C_2 R_1 R_4} \approx C_2 \frac{R_4}{R_3}.$$

Wyraz $\omega^2 C_{d3} C_2 R_1 R_4$ w mianowniku zależności (4) można pominąć jako bardzo mały w porównaniu z jednością. Podstawienie tych wyników we wzorze (1) daje:

$$(5) \quad \operatorname{tg} \delta_1 = \operatorname{tg} \delta_{10} + \Delta \operatorname{tg} \delta_1,$$

gdzie $\operatorname{tg} \delta_1$ — dokładniejsza wartość współczynnika strat, $\operatorname{tg} \delta_{10} = \omega R_4 C_4$ — wartość obliczona przy pominięciu wpływu pojemności szkodliwych C_{d3} i C_{d4} , wreszcie

$$(6) \quad \Delta \operatorname{tg} \delta_1 = \omega R_4 C_{d4} - \omega R_3 C_{d3}$$

to poprawka uwzględniająca uchyby od pojemności szkodliwych.

Dla schematu równoległego R_1 , C_1 współczynnik strat można wyrazić według wzoru

$$(7) \quad \operatorname{tg} \delta_1 = \frac{1}{\omega R_1 C_1}.$$

Łatwo wykazać, że i w tym przypadku poprawka odpowiada zależności (6).

Istnieje możliwość kompensacji uchybu przez odpowiedni dobór pojemności

$$(8) \quad C_1 C_{d4} = C_2 C_{d3}.$$

3. Przykład zastosowania metody poprawek.

Stosowany kondensator wzorcowy C_2 jest walcowy powietrzny, ma pojemność 55,5 pF i pozwala na pomiary do napięcia 150 kV. Galwanometr wiracyjny ma oporność wewnętrzną 86 Ω i czułość $4 \cdot 10^{-9}$ A/mm przy odległości skali 1 m. Opornik R_3 jest dekadowy do 11111,1 Ω , nie ma ekranu. Do dokładniejszej regulacji jest przewidziany drut ślizgowy o oporności około 0,2 Ω . Kondensator C_4 jest mikowy o trzech dekadach do 1 μ F. Przy badaniu materiałów o małym współczynniku strat dodaje się kondensator obrotowy powietrzny o pojemności 1200 pF.

Opornik R_4 ma dwa stopnie: $\frac{1000}{\pi} \Omega$ i $\frac{10000}{\pi} \Omega$, co daje

obszar pomiarów $\operatorname{tg} \delta$ do 10% oraz do 100%. Opornik

$R_4 = \frac{100}{\pi} \Omega$ dałby małą czułość układu [7, 8] i groziłby

dużymi uchybami od stałych czasowych (punkt 4).

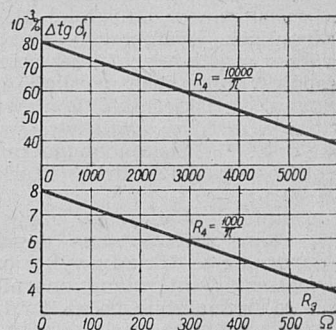
Opornik R_4 , bocznik do galwanometru, ochronniki gazowe i zaciski są umieszczone w osobnej skrzynce. Połączenia przedmiotu badanego i kondensatora wzorcowego z częścią niskonapięciową mostka są wykonane kablem jednożyłowym ekranowanym, z izolacją przeważnie powietrzną (przekładki ze sztucznej żywicy). Pojemność jednostkowa kabla wynosi około 50 pF/m. Długości obu kabli są stałe. Od pola wysokiego napięcia mostek jest osłonięty uziemioną siatką.

Pomiar pojemności doziemnych wykonano mostkiem Philipsa-Philoscope, uzyskując następujące wyniki:

a) pojemność C_{d4}	
kabel doprowadzający od kondensatora wzorcowego	290 pF
połączenia w skrzynce	330 pF
kondensatory C_4	80 pF
opornik R_4 (obydwa stopnie)	100 pF
razem C_{d4}	800 pF

b) pojemność C_{d3}	
kabel doprowadzający od przedmiotu badanego	105 pF
połączenia w skrzynce	70 pF
opornik R_3 (pojemność zastępcza według punktu 6)	30 pF
przedmiot badany (ocena przybliżona)	15 pF
razem C_{d3}	220 pF

Rys. 2 przedstawia wykresy poprawek sporządzone na podstawie zależności (6) w funkcji oporności R_3 dla różnych R_4 .



Rys. 2. Wykres poprawek $\Delta \operatorname{tg} \delta_1 = f(R_3)$

4. Ocena metody poprawek.

Metoda poprawek opiera się na założeniu stałych pojemności szkodliwych C_{d3} i C_{d4} .

Niewielkie wahania ich wartości mogą powstać skutkiem zmian stałej dielektrycznej izolacji w funkcji temperatury. Wahanie temperatury w warunkach laboratoryjnych (od 15°C do 20°C) daje tylko nieznaczne zmiany stałej dielektrycznej, a poza tym w naszym rozwiązaniu izolacja stała odgrywa bardzo niewielką rolę i głównie mamy do czynienia z izolacją powietrzną. Wpływ temperatury można więc zupełnie pominąć.

Ponadto C_{d3} może się zmieniać wskutek różnic między przedmiotami badanymi. Różnice te oceniamy w naszych warunkach na około 5 pF, tj. około 2% pojemności C_{d3} . Pomiary pojemności szkodliwych wykonano z dokładnością $\pm 2\%$. Pojemność C_{d3} jest więc obciążona uchybem całkowitym $2 + 2 = 4\%$, a pojemność C_{d4} uchybem 2%. Całkowity uchyb określonej poprawki nie powinien przekraczać $\pm 6\%$ wartości poprawki.

Obok uchybu od pojemności doziemnych występują również uchyby związane ze stałymi czasowymi oporników R_3 i R_4 . Podobnie jak w p. 2 można wyprowadzić wzór na współczynnik strat z uwzględnieniem tych stałych czasowych:

$$(9) \quad \operatorname{tg} \delta_1 = \operatorname{tg} \delta_{10} + \omega R_4 C_{d4} - \omega R_3 C_{d3} - \frac{\omega L_4}{R_4} + \frac{\omega L_3}{R_3},$$

gdzie: $\frac{L_4}{R_4}$ stała czasowa opornika R_4 , $\frac{L_3}{R_3}$ stała czasowa opornika R_3 .

Wartość $\frac{L_4}{R_4}$ jest stała dla pojedynczego stopnia opor-

nika R_4 , natomiast wartość $\frac{L_3}{R_3}$ zależy od oporności R_3 regulowanego opornika, na przykład w naszym mostku według tabl. I, która wskazuje, że należy dążyć do war-

Tablica I

$R [\Omega]$	$L/R [\mu s]$		
	1	5	10
0,1	+2,6	+1,0	+0,85
1	+0,3	+0,14	+0,12
10	+0,047	+0,032	+0,03
100	-0,003	-0,008	-0,01
1000	-0,006	-0,03	-0,07

tości R_3 znacznie powyżej 100 Ω . W przeciwnym razie występowałyby uchyby od oporników większe niż poprawki od pojemności doziemnych. Kompensowanie uchybu od

stałej czasowej $\frac{L_3}{R_3}$ w postaci drugiej poprawki byłoby

kłopotliwe wobec zmian w funkcji wartości R_3 . Dlatego zrezygnowano w mostku ze stopnia $R_4 = \frac{100}{\pi} \Omega$, który

wymagałby przeważnie wartości R_3 znacznie poniżej 100 Ω . Ponadto stopień ten dawałby stosunkowo małą czułość. Przy wartościach R_3 równych co najmniej kilkuset omom uchyb od stałej czasowej opornika jest rzędu $10^{-4} \%$ i może być pominięty w porównaniu z poprawką od pojemności szkodliwych. Dochodzimy do wniosku, że metoda poprawek pozwoli na pomiary współczynnika strat rzędu 0,01% z wystarczającą dokładnością.

5. Przykład pomiarów.

Jako przedmiot badany służył iskiernik kulowy o średnicy 500 mm w odległości około 2 m od ściany. W tych warunkach występowały straty wskutek przechodzenia prądów cząstkowych przez ścianę. Dodatkowe zwiększenie współczynnika strat uzyskano przez zbliżenie arkusza preszpanu do iskiernika. Ponieważ rozporządzalny kondensator wzorcowy wykazał współczynnik strat około 0,07%, zastąpiono go prowizorycznie woltomierzem elektrostacyjnym firmy Starke & Schröder o pojemności 30 pF.

Pomiary powtarzano zamieniając rolę oporników R_3 , R_4 , ażeby uzyskać dwa wyniki z różnymi poprawkami i porównać je. Układ zwykły oznaczony numerem I, układ z zamienionymi rolami oporników numerem II; w układzie II przełączono tylko kondensator C_4 na inny opornik i zamieniono na zaciskach przewody od przedmiotu badanego i od kondensatora wzorcowego. Wyniki są podane w tabl. II. Pomiary 1, 2 wykonano bez sztucznego

Tablica II

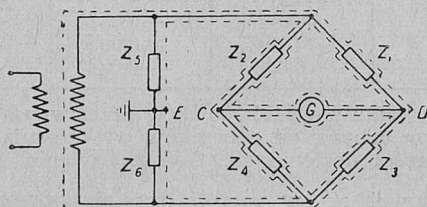
Lp.	Układ	R_3 Ω	R_4 Ω	C_4 μF	$tg\delta_{10}$ %	C_{d4} pF	C_{d3} pF	$\Delta tg\delta_1$ $10^{-3} \%$	$tg\delta_1$ %
1	I	499,2	$\frac{1000}{\pi}$	0,002	0,020	800	220	+ 4,55	0,0246
2	II	$\frac{1000}{\pi}$	202,4	0,0042	0,0267	470	550	- 2,5	0,0242
3	I	499,9	$\frac{1000}{\pi}$	0,010	0,100	800	220	+ 4,55	0,1046
4	II	$\frac{1000}{\pi}$	201,7	0,017	0,1074	470	550	- 2,5	0,1049
5	I	4993,0	$\frac{10000}{\pi}$	0,0006	0,06	800	220	+ 45,5	0,1055
6	II	$\frac{10000}{\pi}$	2017,5	0,002	0,127	470	550	- 25,0	0,1020

zwiększenia strat, pomiary 3, 4, 5, 6 z dodatkowym arkuszem preszpanu. Wyniki 1, 2 z poprawkami wykazują dobrą zgodność: $0,0246 \approx 0,0242$, natomiast wyniki bez poprawek 0,02 oraz 0,0267 wykazują znaczną różnicę. Widać, że bardzo znaczna część uchybu została usunięta. Wyniki 3, 4, otrzymane przy mniejszych opornościach, wskazują na podobną zgodność: $0,1046 \approx 0,1049$. Wyniki 5, 6, otrzymane przy większych opornościach wykazują już gorszą zgodność: 0,1055... 0,1020, ale w przypadku tym wyniki bez poprawek są zupełnie rozbieżne: 0,06 ... 0,127, a więc skuteczność poprawek jest i tutaj wyraźna.

6. Inne sposoby kompensacji uchybów i porównanie.

Porównajmy opisaną metodę z dwiema znanymi metodami mostkowymi, które usuwają wpływ pojemności doziemnych: a) metodą gałęzi dodatkowych i b) metodą podwójnych ekranów i pomocniczego napięcia.

Spśród układów z gałęziami dodatkowymi [1, 5, 6, 10] przypominamy jako typowy układ Wagnera (rys. 3). Z_1 ,



Rys. 3. Schemat mostka z gałęziami Wagnera Z_5 , Z_6

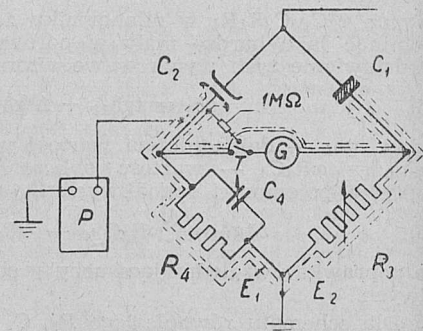
Z_2 , Z_3 , Z_4 są zwykłymi gałęziami mostka, Z_5 i Z_6 gałęziami dodatkowymi. Ekran jest uziemiony, a ponadto uziemienia się punkt między gałęziami dodatkowymi Z_5 , Z_6 .

Przy pomiarach równoważy się najpierw układ Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 . Następnie przerzuca się galwanometr z punktu C lub D na punkt E i doprowadza się do nowego stanu równowagi z gałęziami dodatkowymi. Powtarza się kolejno opisane czynności kilkakrotnie, aż do uzyskania równowagi w obu położeniach. W ten sposób punkty C i D uży-

skują potencjał ziemi, przez pojemności C_{d3} i C_{d4} (ściślej przez pojemności cząstkowe skupione w tych punktach C i D) nie płynie prąd. Uchyby od pojemności dodatkowych zostają w znacznym stopniu usunięte.

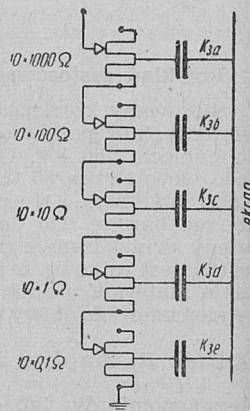
Dla kompensacji uchybów nie jest konieczne, aby punkty C i D miały potencjał ziemi; wystarczy utrzymać na ekranie potencjał punktów C i D. Na tej zasadzie działa układ z podwójnym ekranowaniem i regulacją potencjału, spotykany w wykonaniu firmy Trüb & Täufer (rys. 4). Ekran E_1 jest połączony z regulatorem napięcia

Rys. 4. Schemat mostka z podwójnym ekranami i kompensacją napięcia



pomocniczego P. Ekran E_2 jest uziemiony. Z regulatora P doprowadza się na ekran E_1 napięcie zgodne co do wielkości i fazy z napięciem przekątnej mostka; sprawdza się tę zgodność galwanometrem, który przełączamy w tym celu przyciskiem T. Powtarza się kolejno regulację mostka i regulację napięcia na ekranie E_1 , aż do osiągnięcia równowagi w obu położeniach przycisku T.

Pozostaje do omówienia wpływ pojemności poszczególnych dekad opornika R_3 . Dla uproszczenia rozważań przyjmujemy, że poszczególne dekadę mają skupione pojemności doziemne K_{3a} , K_{3b} , K_{3c} , K_{3d} , K_{3e} według rys. 5. Rozpatrujemy wpływ dowolnej spośród tych pojemności, K_{3n} , wprowadzając oznaczenia według rys. 6. Łatwo stwierdzić, że uchyb cząstkowy od pojemności K_{3n} zmienia się w funkcji oporności cząstkowej r_{3n} (oporność od strony zacisku nieziemionego) liniowo od $-\varphi R_3 K_{3n}$ dla $r_{3n} = 0$ do zera przy $r_{3n} = R_3$. Główną rolę w uchybie odgrywają więc pojemności członów opornika zbliżonych do zacisku nieziemionego. Dlatego wybrano kolejność dekad od zacisku uziemionego według



Rys. 5. Skupione pojemności opornika R_3

rys. 5. Przeciwna kolejność dawałaby silniejszy udział pojemności K_{3b} , K_{3c} ... w uchybie. Rozważając w wybranej alternatywie możliwe warunki pracy przy R_3 od kilkuset omów do około 3000 omów, dochodzimy do przybliżonej oceny średniej pojemności zastępczej opornika R_3 według wzoru $K_{3z} = K_{3a} + 0,5 K_{3b}$.

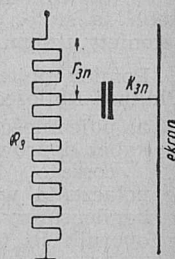
W opisanym urządzeniu pojemności doziemne poszczególnych dekad opornika R_3 wynoszą:

$$\begin{aligned} 10 \times 1000 \quad K_{3a} &= 27 \text{ pF} \\ 10 \times 100 \quad K_{3b} &= 6 \text{ pF} \\ 10 \times 10 \quad K_{3c} &= 2 \text{ pF} \\ 10 \times 1 \quad K_{3d} &= 2 \text{ pF} \\ 10 \times 0,1 \quad K_{3e} &= 5 \text{ pF} \end{aligned}$$

Pojemność zastępcza K_{3z} wynosi więc 30 pF.

Takie wzięcie w rachubę pojemności dekad opornika R_3 zwiększa trochę dokładność pomiaru. Ponieważ pojemność jednej pojemności skupionej części (około 10%) całej pojemności C_{d3} , przeto przybliżony charakter obliczeń tego szczegółu nie przedstawia niebezpieczeństwa dla dokładności całej metody.

Metody kompensacji elektrycznej (układ Wagnera lub układ z podwójnym ekranowaniem) nie usuwają całkowi-



Rys. 6. Układ zastępczy opornika R_3

cie wpływu pojemności dodatkowych rozłożonych wzdłuż oporników. Pozostają tam więc nieskompensowane uchyby, które w naszej metodzie udaje się częściowo usunąć.

LITERATURA

- [1] B e l d i F. Eine Hochspannungsbrücke für Verlustmessungen an Isolierstoffen (Bull. Schw. El. Ver., 1930, str. 197).
- [2] B l e c h s c h m i d t E. Präzisionsmessungen von Kapazitäten, dielektrischen Verlusten und Dielektrizitätskonstanten (Vieweg u. Sohn, Braunschweig, 1940).
- [3] Ł u r i e A. Elektrizieskie izmierienja w sieciach silno-wo toka (GEL, Moskwa, 1948).
- [4] M a u H. Neue Wechselstrombrücke zur Feinmessung dielektrischer Verluste (Arch. f. Elektr., 1937, str. 473).
- [5] M e n s e L. Eine abgeschirmte Schleifdrahtbrücke zur Feinmessung von Verlustwinkeln an hochwertigen flüssigen Isolierstoffen (Arch. f. Elektr., 1940, str. 569).

- [6] R a y n e r, W i l m e r. A Method of Decreasing the Effect of Earth Admittances in a. c. Bridges (Journ. of Scientific Instruments, 1950, str. 103).
- [7] S c h e r i n g H. Die Empfindlichkeit einer Wechselstrombrücke (ETZ, 1931, str. 1133).
- [8] T s c h i a s s n y T. Die Messgenauigkeit der Scheringsbrücke (Arch. f. Elektr., 1927, str. 397).
- [9] W a l c h e r t. Über die Verwendung von Ein- und Ausgangstransformatoren bei genauen Brückenmessungen (E. u. M., 1933, str. 397).
- [10] W a g n e r K. Zur Messung dielektrischer Verluste mit der Wechselstrombrücke (ETZ, 1911, str. 1001).
- [11] Publikacja nr 806 firmy Trüb-Täuber.
- [12] K a r a n d i e j e w, Z e l i k o w s k i. Mostowyje izmierieliyje schiemy (Elektrizestwo, 1951, nr 6, str. 59).
- [13] K r o t k o w I. N. Raszczot najbolšej czuwestwitielności elektrizieskich izmierielielnych cepiej (Elektrizestwo, 1951, nr 10, str. 59).

INŻ. JAN WALTER

Samoczynne kompensatory prądu stałego

621.316.761.2.078

Treść. Samoczynne kompensatory prądu stałego znajdują szerokie zastosowanie w pomiarach przemysłowych i laboratoryjnych, zwłaszcza w zastosowaniu do pomiaru wielkości nieelektrycznych na drodze elektrycznej. W referacie omówiono zasadę działania i niektóre szczegóły konstrukcyjne typowych kompensatorów o urządzeniu równoważącym, działającym skokami i w sposób ciągły. Podano zalety i wady różnych typów, jak również główne przypadki ich zastosowania w układach pomiarowych i automatach przemysłowej.

Автоматические потенциометры постоянного тока. Эти приборы находят широкое применение в промышленной и лабораторной практике, в особенности для измерения незлектрических величин электрическими методами. В статье изложены принцип действия и некоторые детали конструкционного характера для типичных потенциометров, приводимых в равновесие скачками либо непрерывным способом. Указаны достоинства и недостатки различных типов, а также важнейшие случаи их применения в измерительных схемах и в промышленной автоматике.

Automatic D. C. potentiometers. Automatic D. C. potentiometers are widely used in industrial and laboratory measurement practice, particularly for measuring non-electric quantities by electrical means. The paper deals with the principles of operation and with certain details in the design of typical potentiometers with a balancing device operating continuously or by steps. The merits and demerits of various types are also referred to, as well as the main instances in which they are used in measuring schemes and industrial automatics.

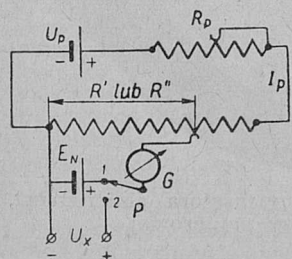
1. Wstęp.

Metoda kompensacyjna pomiaru napięcia znalazła bardzo szerokie zastosowanie w elektrycznych pomiarach laboratoryjnych przede wszystkim jako metoda dokładniejsza, pozwalająca porównywać napięcie mierzone z napięciem wzorcowym, np. z siłą elektromotoryczną ogniwa wzorcowego. Dokładność, osiągana w każdej metodzie pomiaru napięcia, prądu lub mocy, zależy z jednej strony od dokładności przyrządu pomiarowego, z drugiej strony od zmiany wielkości elektrycznych obwodu, spowodowanej wtrąceniem do niego przyrządu pomiarowego. Metoda kompensacyjna pozwala na uzyskanie dużej dokładności pomiaru przy całkowitym wyeliminowaniu wpływu samego kompensatora na wielkości elektryczne obwodu, w którym napięcie jest mierzone. Z tych względów od dawna starano się przystosować skomplikowaną metodę Poggendorfa do wymagań stawianych przez przemysł, tzn. do szybkiego i samoczynnego pomiaru. Metoda kompensacyjna znalazła szerokie zastosowanie w pomiarach technicznych, zwłaszcza przy pomiarze wielkości nieelektrycznych na drodze elektrycznej. Dokładność pomiarów technicznych jest, oczywiście, dużo mniejsza niż pomiarów laboratoryjnych.

2. Zasada pomiaru.

Wszystkie układy kompensacyjne można podzielić na trzy zasadnicze grupy: a) metoda Poggendorfa i Du Bois-Raymonda, b) metoda Lindecka i Rothego, c) metoda Dieselhorsta.

Najstarsza jest metoda kompensacyjna Poggendorfa [1], uzupełniona później przez Du Bois-Raymonda. Jej



Rys. 1. Zasadniczy schemat kompensatora typu Du Bois-Raymonda

U_p — pomocnicze źródło prądu
 R_p — opornik regulacyjny
 E_N — ogniwo wzorcowe
 G — galvanometr
 P — przełącznik (1 — cechowanie, 2 — pomiar)

zasadniczy schemat obecnie stosowany podany jest na rys. 1. Dla dokonania pomiaru potrzebne są dwie zasadnicze czynności. Pierwsza: przy pewnej wartości oporu R'

regulujemy opór w obwodzie pomocniczego źródła prądu U_p tak, aby galvanometr nie dawał odchylenia, gdy przełącznik P jest w położeniu 1. Wtedy

$$(1) \quad I_p R' = E_N,$$

co znaczy, że spadek napięcia na części oporu kompensacyjnego (R') jest równy sile elektromotorycznej ogniwa wzorcowego (normalnego) E_N . Druga czynność: przestawiamy suwak kompensatora do położenia, odcinającego opór R'' , przy którym nie płynie prąd przez galvanometr, gdy przełącznik P znajduje się w położeniu 2. Wtedy

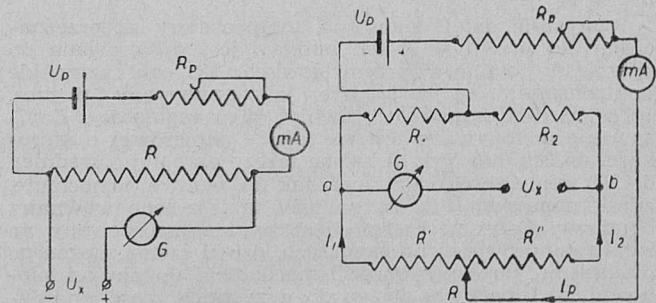
$$(2) \quad U_x = I_p R''.$$

Z równań (1) i (2) wyznaczamy

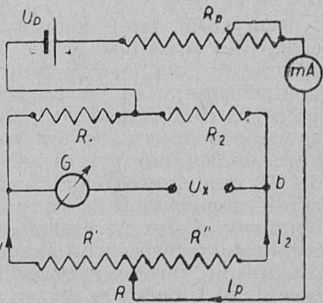
$$(3) \quad U_x = \frac{R''}{R'} \cdot E_N.$$

Cechą charakterystyczną metody jest to, że zmianę spadku napięcia uzyskuje się przez zmianę oporu (R' na R'') przy niezmiennym prądzie I_p .

Druga metoda zaproponowana przez Lindecka i Rothego [2] polega na uzyskaniu odpowiedniego spadku napięcia na znanym stałym oporze przez zmianę prądu w obwodzie pomocniczym (rys. 2). Prąd w obwodzie po-



Rys. 2. Zasadniczy schemat kompensatora typu Lindecka-Rothego



Rys. 3. Zasadniczy schemat kompensatora typu Dieselhorsta

moocnym reguluje się tak, aby galvanometr wskazywał zero; wtedy $U_x = R \cdot I_p$. Pomiar sprowadza się do pomiaru prądu w obwodzie pomocniczym przy pomocy miliamperomierza. Przy dokładnych pomiarach prąd I_p

można mierzyć drugim kompensatorem; w niektórych wypadkach taki układ (Krukowski) jest korzystniejszy od prostego kompensatora typu pierwszego [3].

Trzeci rodzaj układów kompensacyjnych to układy typu Diesselhorsta [4]; jest to w zasadzie niezrównoważony mostek Wheatstone'a (rys. 3). Prąd I_p płynący w obwodzie źródła pomocniczego U_p rozgałęzia się na prądy I_1 i I_2 . Pomiedzy punktami a i b powstaje różnica potencjałów równa

$$U_p = I_1 R' - I_2 R'' = I_2 R_2 - I_1 R_1$$

i zależna od położenia suwaka opornika R to jest od stosunku R'/R'' . Zaletą tej metody jest uniknięcie ruchomych styków w obwodzie galwanometru.

Wszystkie trzy metody z pewnymi modyfikacjami są stosowane w schematach samoczynnych kompensatorów prądu stałego.

3. Zasady kompensacji samoczynnej.

Istnieją trzy sposoby samoczynnego zrównoważenia kompensatora, tj. doprowadzenia prądu w obwodzie galwanometru do zera.

a) Metoda równoważenia skokami, polegająca na tym, że odchylenie galwanometru od położenia zerowego jest sprawdzane co pewien określony odstęp czasu przez urządzenie równoważące i powoduje zmianę położenia suwaka kompensatora dla osiągnięcia równowagi. Na ogół skok suwaka jest zależny od odchylenia galwanometru, tzn. jest większy, im to odchylenie jest większe. Typowym przedstawicielem tej grupy kompensatorów samoczynnych jest opisany niżej „Micromax”.

b) Metoda o równoważeniu w sposób ciągły, polegająca na tym, że nierównowaga w obwodzie mierzonego napięcia powoduje zmianę napięcia kompensującego bądź przez przesunięcie suwaka na kompensatorze, bądź przez zmianę prądu w obwodzie pomocniczym w sposób ciągły póty, póki nie nastąpi równowaga. Do tej grupy kompensatorów należą radzieckie typy BP-102, EP-120 oraz „Celestray” i inne.

c) Trzecia metoda, opracowana przez Keinatha i zastosowana w jego kompensatorze „sweep balance recorder”, polega na tym, że suwak porusza się wzdłuż potencjometru tam i z powrotem od początku do końca, a w chwili, kiedy przez galwanometr nie płynie prąd, dokonuje się zapis wartości mierzonej przez wybite punktu na przesuwającej się taśmie [5, 6].

Na ogół biorąc pierwszą metodą — równoważenia skokami — jest najdokładniejsza, ale jednocześnie najpowolniejsza. Tolerancja błędów kompensatora wynosi 0,3 do 0,5% zakresu pomiarowego, czas przejścia wskazówki przez całą skalę wynosi 20 do 50 sekund. Druga metoda — równoważenia ciągłego — jest na ogół znacznie szybsza, gdyż czas ustalenia wskazań dla przejścia wskazówki przez całą skalę wynosi od 1 do 5 sekund. Dokładność wskazań jest na ogół mniejsza i jest rzędu 1%. Kompensator Keinatha pozwala na bardzo szybkie zapisywanie, gdyż czas przejścia wskazówki przez skalę wynosi 0,1 sek. lub nawet mniej; dokładność pomiaru autor ocenia na 0,3 do 0,5% zakresu.

4. Ogólne cechy budowy kompensatorów.

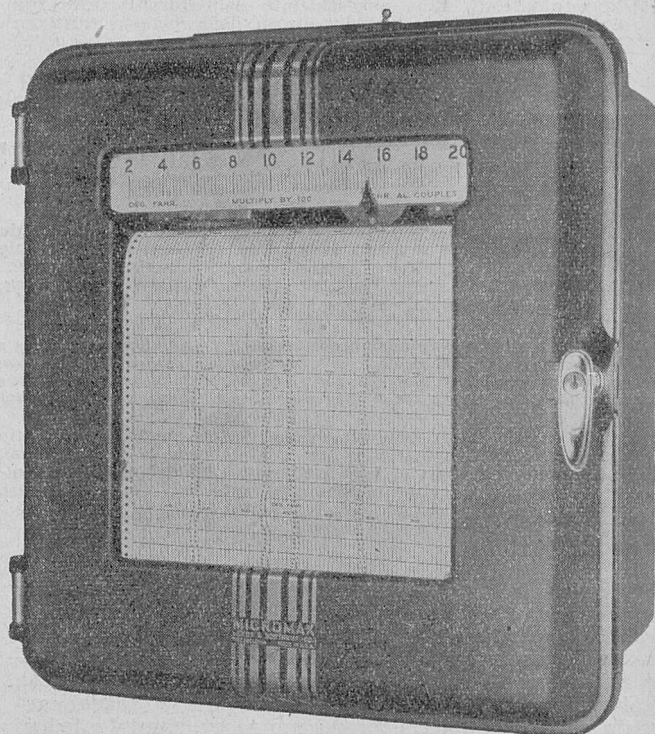
Wszystkie dalej omówione kompensatory są przeznaczone dla przemysłu i ich budowa jest dostosowana do wymagań pomiarów przemysłowych. Na ogół wszystkie kompensatory są wykonane jako przyrządy piszące, w większości wypadków również jako regulatory. Zapisywanie dokonywane jest na taśmie papierowej o szerokości do 300 mm (rys. 4) lub na tarczy okrągłej o średnicy do 300 mm. Części dodatkowe, jak np. ogniwo pomocnicze, silnik napędowy itd., są na ogół umieszczone wewnątrz obudowy. Cały mechanizm jest zwykle zmontowany na ramie zamocowanej na zawiasach, dzięki czemu można po otworzeniu pokrywy obrócić mechanizm dokoła osi pionowej, co umożliwia dostęp do wszystkich części znajdujących się z przodu i z tyłu ramy.

Zasadniczymi częściami kompensatora samoczynnego są: przyrząd zerowy (na ogół galwanometr), urządzenie równoważące, opór kompensacyjny (ślizgowy), napęd taśmy lub tarczy, urządzenie zapisujące i — w wypadku zastosowania kompensatora do regulacji samoczynnej — urządzenie regulujące. W wielu wykonaniach poszczególne części mechanizmu są tak skonstruowane, że można je łatwo wyjmować do naprawy lub wymiany.

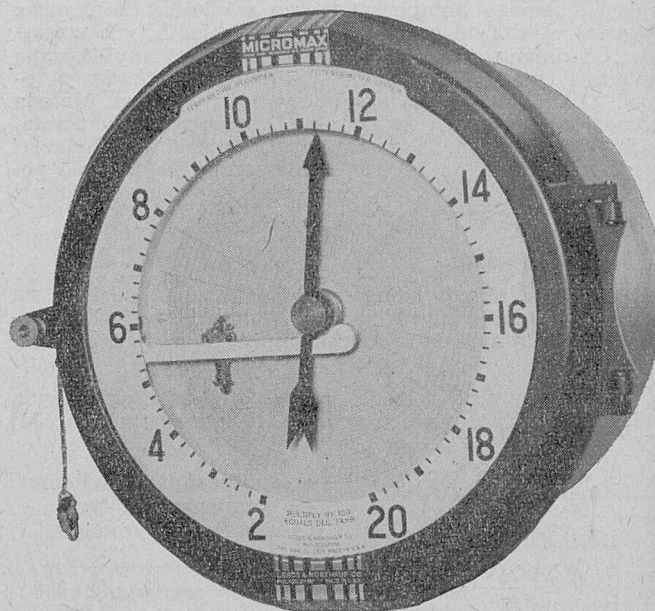
Kompensatory samoczynne stosuje się często do pomiaru i zapisywania kilku, nawet kilkunastu wielkości; w tym wypadku mechanizm jest zaopatrzony w przełącznik uruchamiany mechanizmem napędowym taśmy.

5. Kompensatory pracujące skokami o urządzeniu równoważącym mechanicznym.

a) „Micromax”. Najstarszym i typowym przedstawicielem tej grupy kompensatorów jest „Micromax” firmy Leeds and Northrup [8]. Przyrząd ten bywa wykonywany w różnych postaciach o różnych przeznaczeniach, za-



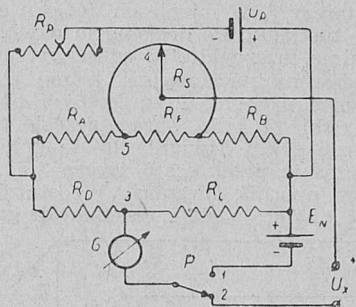
Rys. 4. Wygląd zewnętrzny kompensatora „Micromax”, zapisującego na taśmie papierowej



Rys. 5. Wygląd zewnętrzny kompensatora „Micromax”, zapisującego na tarczy papierowej

sada działania jest jednak zawsze ta sama. Wygląd zewnętrzny dwóch typowych wykonania jest przedstawiony na rys. 4 i 5. Zasadniczy schemat elektryczny jest pod-

ny na rys. 6. Jest to właściwie niezrównoważony mostek Wheatstone'a, różni się jednak tym od układu Diesselhorsta, że suwak jest połączony z galwanometrem, a nie z baterią.



Rys. 6. Schemat kompensatora „Micromax“

- U_D — pomocnicze źródło prądu (ogniwo suche)
- U_x — napięcie mierzone
- R_D — opornik regulacyjny
- R_A, R_B, R_C — oporniki stałe
- R_s — opornik ślizgowy
- R_F — opornik do zmiany zakresu
- R_D — opornik kompensujący wpływ zmian temperatury zimnego złącza
- E_N — ogniwo wzorcowe (normalne)
- G — galwanometr
- P — przełącznik (1 — cechowanie, 2 — pomiar)

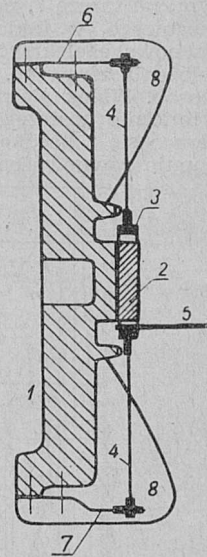
Działanie układu elektrycznego kompensatora „Micromax“ jest następujące. Po włączeniu ogniwa pomocniczego U_D (ogniwo wzorcowe E_N jest wbudowane na stałe) przełącza się ręcznie przełącznik P w pozycję 1. Jeśli spadek napięcia na oporze R_C nie jest równy sile elektromotorycznej E_N , galwanometr wychyli się i zadziała urządzenie równoważące (opisane dalej) zmieniając opór R_D póty, póki galwanometr nie stanie w położeniu zerowym. Wtedy spadek napięcia w oporze R_C równy jest E_N , a w oporniku ślizgowym R_s powstaje spadek napięcia ściśle odpowiadający zakresowi pomiarowemu przyrządu.

Po przestawieniu przełącznika P w pozycję 2 napięcie mierzone jest doprowadzone przez galwanometr do punktów 3 i 4 i — jeżeli napięcie U_{34} nie jest równe U_x — przez galwanometr płynie prąd, powodujący działanie urządzenia równoważającego, które przestawia suwak opornika R_s w takim kierunku, aby nastąpiło zrównanie $U_{34} = U_x$. Wskazówka przyrządu i pióro są połączone mechanicznie z suwakiem opornika R_s . Podczas pracy kompensatora przełącznik P przestawia się samoczynnie w położenie 1, raz na 48 minut, na przeciąg czasu wystarczający do skorygowania prądu w obwodzie kompensatora, po czym wraca do położenia 2.

Opory R_A, R_s, R_B, R_C i R_D są w zasadzie tak dobrane, że pomiędzy punktami 3 i 5 różnica potencjałów jest równa zero. W pewnych układach, w których zakres pomiarowy kompensatora zaczyna się nie od $U_x = 0$, stosunek oporów R_D/R_C jest dobrany tak, że napięcie U_{35} posiada pewną określoną wartość. W układach pomiarowych temperatury przy pomocy termoelementów siła termoelektryczna mierzona na zaciskach U_x jest, jak wiadomo, funkcją różnicy temperatury gorącego złącza termoelementu i tzw. zimnego złącza, w tym przypadku zacisków U_x . W kompensatorze przeznaczonym do pracy z termoelementem opornik R_D jest wykonany z materiału o dużym współczynniku cieplnym oporu i jest umieszczony w bezpośrednim sąsiedztwie zacisków U_x . Przy wzroście temperatury zacisków U_x , a zatem i temperatury opornika R_D , opór tego ostatniego rośnie, wskutek czego napięcie U_{35} zmienia się zgodnie z charakterystyką termometryczną termoelementu, a więc przy $U_x = 0$ suwak opornika R_s przestawia się, a wskazówka kompensatora podaje temperaturę „zimnego złącza”. Działanie to jest prawidłowe w założeniu, że połączenie termoelementu z zaciskami U_x jest wykonane przewodami kompensacyjnymi (zasady pomiaru temperatury ob. pod [7]).

Galwanometr kompensatora „Micromax“ jest magnetoelektryczny z cewką zawieszoną na dwóch naciąganych tasiemkach. Magnes jest kształtu podkowy, nabiegunkami i rdzeń — wykonane z miękkiego żelaza — są ścięte tak, że ich szerokość niewiele przekracza szerokość ramki. Pozwala to na uzyskanie dużej indukcji w szczelini oraz zabezpiecza galwanometr przed uderzeniami przy przeciążeniu. Układ ruchomy galwanometru, składający

się z cewką, wskazówki i regulacji wyważenia — wraz z trzymaczem rdzenia, rdzeniem, tasiemkami i ich zamocowaniem — stanowi jedną całość, dającą się łatwo wysunąć z magnesu z nabiegunkami. Wskazówka jest dość gruba i wykonana jest z płótna bakielizowanego. Dużo uwagi poświęcono w konstrukcji tego galwanometru łatwości dobrego wyważenia układu ruchomego i zamianie tasiemek w wypadku ich uszkodzenia. Galwanometr nie posiada żadnej skali, gdyż położenie wskazówki jest sprawdzane w sposób mechaniczny przez urządzenie równoważące. Na rys. 7 pokazany jest przekrój przez część wyjmowaną galwanometru. Przez zastosowanie stosunkowo mocno naciągniętych



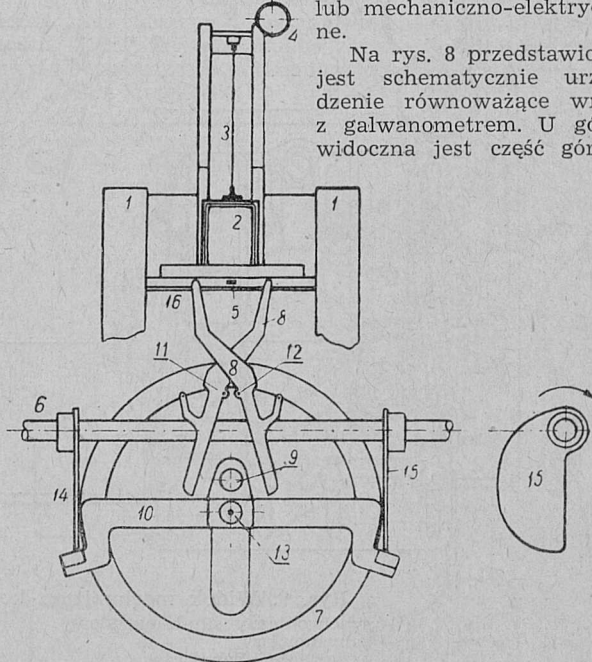
Rys. 7. Przekrój wyjmowanej części galwanometru kompensatora „Micromax“

- 1 — kadłub
- 2 — rdzeń żelazny
- 3 — cewka ruchoma
- 4 — tasiemki, na których jest zawieszona cewka
- 5 — wskazówka
- 6, 7 — sprężyny naciągające tasiemki
- 8 — osłony boczne zabezpieczające tasiemki przed uszkodzeniem

tasiemek i dobrego sposobu wyważania uzyskano to, że galwanometr działa prawidłowo w pozycji różniącej się od pionowej o 5 do 10°.

Urządzenie równoważące kompensatora „Micromax“ działa stopniowo, w równych odstępach czasu i jest całkowicie mechaniczne w odróżnieniu od szeregu innych kompensatorów, w których są urządzenia równoważące elektryczne lub mechaniczno-elektryczne.

Na rys. 8 przedstawione jest schematycznie urządzenie równoważące wraz z galwanometrem. U góry widoczna jest część górna

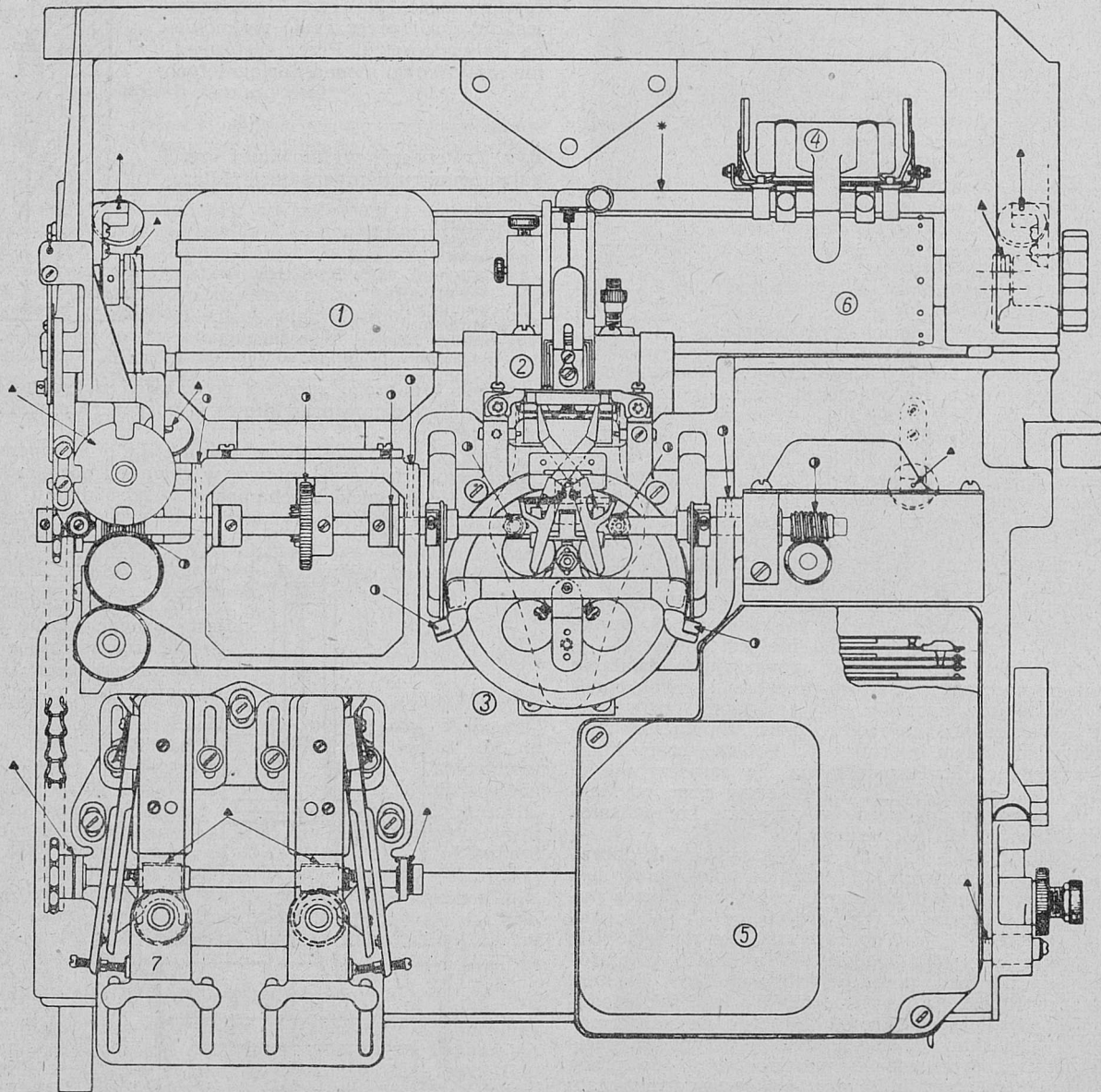


Rys. 8. Urządzenie równoważące kompensatora „Micromax“ (rysunek uproszczony)

- 1 — magnes galwanometru
- 2 — cewka ruchoma galwanometru
- 3 — górna tasiemka
- 4 — śruba regulująca położenie zerowe
- 5 — wskazówka galwanometru
- 6 — główny wałek napędowy
- 7 — tarcza bezpośrednio sprężona z opornikiem ślizgowym
- 8 — szczytkę kontrolującą
- 9 — rolka
- 10 — dźwignia
- 11, 12 — osie obrotu części szczytków
- 13 — osie obrotu dźwigni 10
- 14, 15 — krzywki sprężające dźwignię 10 do położenia poziomego
- 16 — beleczka

galwanometru: magnes 1, cewka ruchoma 2, górna tasiemka 3, śruba do nastawiania galwanometru na zero 4, wskazówka w widoku z przodu 5. Zadaniem urządzenia równoważącego jest przenoszenie ruchu z wałka głównego 6, napędzanego silnikiem synchronicznym, na tarczę 7, połączoną bezpośrednio z osią opornika ślizgowego, w takim stopniu i kierunku, aby otrzymać równowagę elektryczną, tzn. sprowadzić galwanometr do położenia zerowego. Cel ten osiągnięty jest w następujący sposób. Wałek główny 6 posiada krzywki, uruchamiające rytmicznie poszczególne części urządzenia. Wałek główny obraca się z prędkością 30 obr./min. i w tym rytmie następuje równoważenie układu. Na początku cyklu wska-

wanometru jest z prawej strony, dźwignia 10 ustawia się po zaciśnięciu szczypec lewym ramieniem w dół, prawym do góry. W następnej fazie cyklu dźwignia 10 jest dociśnięta do tarczy 7. W miejscach docisku dźwigni posiada korkowe nakładki. Po dociśnięciu dźwigni do tarczy następuje ostatnia faza cyklu, tj. właściwy ruch obrotowy tarczy, spowodowany naciśnięciem jednej z krzywek 14 lub 15 na koniec dźwigni. Przy każdym obrocie wałka głównego krzywki 14 i 15 obracając się sprowadzają w ostatniej fazie cyklu dźwignię 10 do położenia poziomego i jednocześnie przekręcają tarczę 7 i zamocowany na wspólnej osi opornik ślizgowy. W ostatniej fazie cyklu szczypcy 8 otwierają się i wskazówka galwanometru



Rys. 9. Widok mechanizmu kompensatora „Micromax“ od wewnątrz

- 1 — synchroniczny silnik napędowy
- 2 — galwanometr
- 3 — urządzenie równoważące
- 4 — wózek z piórkiem i zbiornikiem tuszu

- 5 — osłona ogniwa wzorcowego
- 6 — wałek napędzający taśmę papierową
- 7 — przełączniki pomocnicze

zówka galwanometru 5 jest swobodna i ustawia się w położeniu zależnym od kierunku prądu przepływającego przez cewkę, tj. od tego, czy napięcie mierzone jest większe lub mniejsze od napięcia kompensującego. Po ustaleniu położenia wskazówki (galwanometr posiada krótki okres wahań) zaciska ją beleczka 16, uruchamiana jedną z krzywek wałka głównego 6. Potem następuje sprężenie położenia wskazówki przy pomocy szczypców 8, które górnymi szczękami zaciskają się na końcu wskazówki, a dolnymi na rolce 9 przymocowanej do dźwigni 10. Połówki szczypec obracają się na osiach 11 i 12 i są zaciskane przy pomocy sprężyny (nie zaznaczonej na rysunku). Dźwignia obraca się na osi 13 w tym okresie cyklu zupełnie swobodnie. W wypadku, gdy wskazówka gal-

zostaje zwolniona. Urządzenie równoważące działa jak sprzęgło, przenosząc ruch z wałka głównego 6 na tarczę 7, przy czym kąt i kierunek obrotu tarczy 7 są sterowane położeniem wskazówki galwanometru.

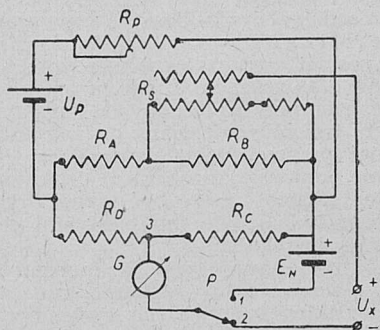
Opornik ślizgowy jest wielozwojowy w postaci uzwojenia pierścieniowego na krążku; całkowita długość opornika (na obwodzie) wynosi około 40 cm; ma on około 1000 zwojów. Ślizgacz jest nieruchomy — urządzenie równoważące obraca cały opornik. Na tej samej osi co opornik są zamocowane tarcze z odpowiednimi wycięciami, które uruchamiają styki służące do regulacji lub sygnalizacji. Opornik ślizgowy jest połączony napędem linkowym ze wskazówką kompensatora i piórkiem.

Urządzenie kontrolujące prąd pomocniczy kompensatora działa samoczynnie co 48 minut, przełączając galwanometr do obwodu ogniwa wzorcowego (poz. 1 przełącznika P na rys. 6), i jednocześnie sprzega urządzenie równoważące z opornikiem R_p (rys. 6) na okres kilkunastu sekund, wystarczający do podregulowania prądu kompensatora. Czynność tę można wykonać w dowolnym czasie w sposób na pół samoczynny przez pokręcenie gałki, powodujące przełączenie obwodów i sprężgnięcie urządzenia równoważącego z opornikiem R_p .

Całkowity widok wewnętrzny kompensatora „Micromax” jest przedstawiony na rys. 9. Silnik napędowy 1 jest synchroniczny, samostartujący typu reluktancyjnego [9]; urządzenie równoważące 3 jest sterowane przez galwanometr 2. Oporniki stałe i ogniwo wzorcowe są umieszczone pod przykrywką 5. Opornik ślizgowy jest połączony linką z wózkem 4, do którego są przymocowane piórko i wskazówka. Taśma papierowa jest napędzana za pośrednictwem wałka 6, uruchamianego od silnika napędowego przez przekładnię zębatą. Kompensator może być zaopatrzony w dodatkowe urządzenia jak np. przełączniki 7, przestawiające w określonych odstępach czasu wentylator w piecu, przełącznik na kilka do kilkunastu termoelementów i urządzenie drukujące, punktowe wielobarwne. Poza tym „Micromax” może być wyposażony w pneumatyczne urządzenie do regulacji, co w wielu wypadkach daje lepsze wyniki od regulacji elektrycznej. Taśma papierowa w kompensatorze „Micromax” jest ze specjalnego gatunku impregnowanego papieru, nie zmieniającego wymiarów pod wpływem wilgoci.

b) Kompensator radziecki typu SP. Kompensator ten [15, 16, 17] posiada również urządzenie równoważące, działające na zasadzie czysto mechanicznej, jednak sposób przenoszenia ruchu na opornik ślizgowy oraz sposób kontrolowania położenia wskazówki galwanometru są zupełnie odmienne od rozwiązania w kompensatorze „Micromax”.

Schemat elektryczny podany jest na rys. 10. Zasadnicza różnica pomiędzy tym układem a schematem z rys. 6



Rys. 10. Zasadniczy schemat radzieckiego kompensatora typu SP

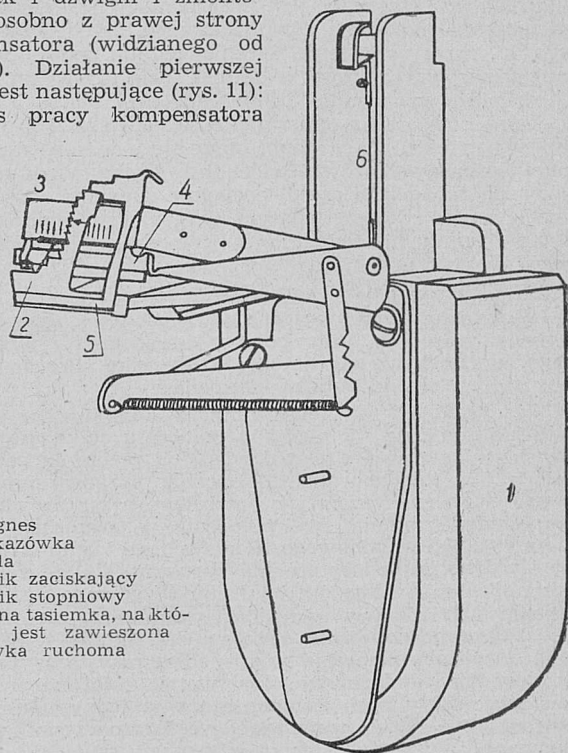
- U_D — pomocnicze źródło prądu (ogniwo suche)
- U_X — napięcie mierzone
- R_p — opornik regulacyjny
- R_A, R_B, R_C — oporniki stałe
- R_s — opornik ślizgowy
- R_D — opornik kompensujący wpływ zmian temperatury zimnego złącza
- E_N — ogniwo wzorcowe (normalne)
- G — galwanometr
- P — przełącznik (1 — cechowanie, 2 — pomiar)

polega na tym, że w obwodzie pomiarowym znajduje się stały opór bez względu na położenie opornika ślizgowego. Pozwala to na dobranie najkorzystniejszego tłumienia galwanometru, dzięki czemu osiąga się najkrótszy czas ustalania wskazań galwanometru. Stały opór uzyskano przez specjalną konstrukcję podwójnego opornika ślizgowego. Poza tym działanie jest analogiczne do podanego w opisie rys. 6, sprawdzanie i regulacja prądu I_p nie są jednak samoczynne.

Budowa galwanometru jest podobna do galwanometru „Micromax”, ze względu jednak na to, że kompensator SP nie posiada samoczynnej kontroli i regulacji prądu pomocniczego I_p , galwanometr posiada krótką skalę i oznaczenie położenia zerowego. Na rys. 11 jest przedstawiony galwanometr wraz z częścią urządzenia równoważającego, zasłaniającą cewkę ruchomą.

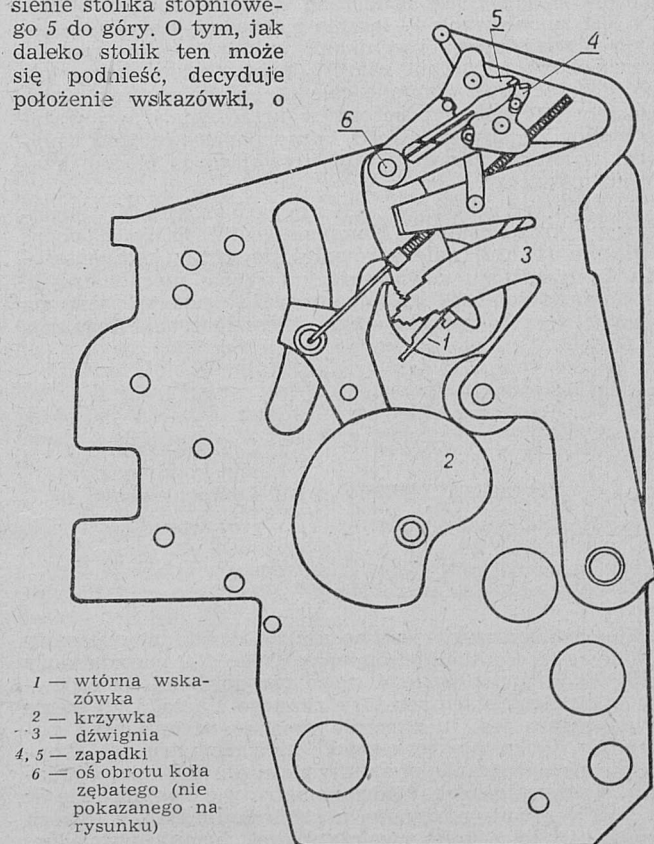
Urządzenie równoważące składa się z dwóch części połączonych ze sobą dźwignią. Jedną z nich, zamo-

cowaną na galwanometrze, jest urządzenie kontrolujące położenie wskazówki galwanometru, drugą zaś — właściwe urządzenie równoważące, składające się z szeregu krzywek i dźwigni i zmontowane osobno z prawej strony kompensatora (widzianego od przodu). Działanie pierwszej części jest następujące (rys. 11): podczas pracy kompensatora



Rys. 11. Galwanometr kompensatora radzieckiego typu SP

odbywa się rytmiczne wstrzymywanie wskazówki galwanometru 2 przy pomocy stolika zaciskającego 4, po czym następuje sprawdzenie położenia wskazówki przez podniesienie stolika stopniowego 5 do góry. O tym, jak daleko stolik ten może się podnieść, decyduje położenie wskazówki, o



Rys. 12. Urządzenie równoważące kompensatora radzieckiego typu SP

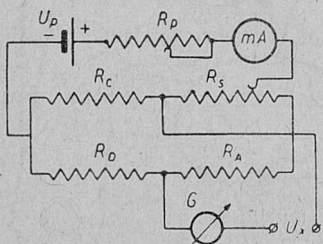
którą zaczeplia jeden ze stopni stolika. Na stoliku stopniowym zaznaczony jest strzałką stopień, odpowiadający położeniu zerowemu galwanometru. Położenie stolika stopniowego przekazywane jest przy pomocy dźwigni do drugiej części urządzenia równoważącego, przedstawionej na rys. 12, przez ustawienie w odpowiednim położeniu wtórnej wskazówki 1, która w dalszej fazie cyklu jest w tym położeniu zamocowana. Silnik napędowy obraca krzywkę 2, która pozwala na opuszczenie się dźwigni 3 do punktu, w którym jeden z jej stopni oprze się o wskazówkę wtórną. Położenie wskazówki wtórnej 2 określa ponadto, którą z dwóch zapadek (4 czy 5) pociągnie dźwignia. Zapadki te zazębiają się z kołem zębatym, obracającym się dookoła osi 6 (na rysunku nie zaznaczone). Koło zębate jest pośrednio sprzężone z opornikiem ślizgowym. Zapadka nieczynna unosi się i wychodzi z zazębienia.

W opisany sposób położenie wskazówki galwanometru określa pośrednio, przy pomocy urządzenia równoważącego, kierunek i wielkość obrotu opornika ślizgowego tak, aby zbliżyć się do punktu kompensacji.

Przyrząd jest tak zbudowany, że kompensator właściwie nie znajduje się nigdy w położeniu całkowitej kompensacji. Zależność ruchu dźwigni od położenia galwanometru jest tak dobrana, że opornik ślizgowy wykonuje ciągle małe ruchy tam i z powrotem, a wskazówka galwanometru zmienia swe położenie w granicach dwóch stopni stolika stopniowego. Podczas tego ruchu wskazówka i piórko kompensatora nie poruszają się, gdyż między ich napędem a napędem opornika ślizgowego jest dostatecznie duży martwy ruch. Taki wahadłowy ruch opornika ślizgowego zapewnia dużą czułość układu i jednocześnie daje zabezpieczenie w wypadku powstania przerwy w obwodzie pomiarowym, gdyż w tym ostatnim wypadku następuje stały ruch kompensatora w jednym kierunku, co może być łatwo zauważone, wzgl. samoczynnie sygnalizowane.

Opornik ślizgowy kompensatora SP posiada kształt skłębki o całkowitej długości 1 m, nawiniętej w kilku zwojach linią śrubową na kadłub izolacyjny. Mechanizm napędowy urządzenia równoważącego obraca cały opornik, ślizgacz natomiast porusza się tylko w nieruchomej szczelinie równoległej do osi opornika. Cały opornik ślizgowy jest zanurzony w oleju. Opornik ślizgowy jest zmontowany — łącznie z zębatym kołem napędowym i pozostałymi opornikami układu pomiarowego — w zespół tak, że zmianę zakresu kompensatora można łatwo dokonać przez zamianę całego zespołu na inny. Kompensator SP jest wyposażony w urządzenia, równoważące wpływ zmiany szerokości taśmy papierowej pod wpływem zmian wilgotności i oddziaływające na piórko urządzenia piszącego.

c) Kompensator „Kompensograf”. Samoczynny kompensator „Kompensograf” firmy Siemens i Halske [11, 12] należy również do grupy kompensatorów o urządzeniu równoważącym czysto mechanicznym. Zasadniczy schemat „Kompensografu” podany jest na rys. 13. Jest to typowy układ Diesselhorsta. Regulacja



Rys. 13. Zasadniczy schemat kompensatora „Kompensograf”

prądu pomocniczego jest ręczna. Odczyt przy pomocy wbudowanego miliamperomierza. Opór R_a posiada duży współczynnik cieplny o wartości tak dobranej, że zapewnia kompensację temperatury zimnego złącza. Urządzenie równoważące jest tu znacznie prostsze od opisanych poprzednio. Położenie wskazówki galwanometru jest kontrolowane rytmicznie przez urządzenie z beleczką opadającą. Jeśli wskazówka galwanometru nie znajduje się w pozycji zerowej, następuje naciśnięcie jednej z dwóch dźwigni, a ta z kolei zwalnia klocek hamulcowy jednej z dwóch tarcz napędu różnicowego i powoduje obrót opornika ślizgowego i przesunięcie połączonych z nim wskazówki i piórka.

Osobliwością „Kompensografu” jest opornik ślizgowy odmiennie wykonany niż w innych kompensatorach. Opornik ten jest wykonany w postaci pojedynczego drutu platyno-irydowego wtopionego w pierścieniową rurkę szklaną. Część rurki jest wypełniona rtęcią. Przy obrocie całego opornika rtęć przelewa się i w ten sposób zmienia się stosunek oporów pomiędzy końcami i odprowadzeniem środkowym.

d) Kompensator firmy „Cambridge Instrument Co” posiada urządzenie równoważące, działające podobnie do opisanego poprzednio.

Wszystkie samoczynne kompensatory o urządzeniu równoważącym mechanicznym są napędzane silnikami elektrycznymi na ogół synchronicznymi o dość dużej mocy ok. 100 do 200 W.

6. Kompensatory pracujące skokami o urządzeniu równoważącym elektro-mechanicznym.

Schemat elektryczny kompensatora „Bristol” [11] różni się od poprzednio podanych tym, że posiada podwójny opornik ślizgowy, posiadający dwie równoległe gałęzie.

Galwanometr kompensatora nie różni się w zasadzie od poprzednio opisanych. Urządzenie równoważące składa się z mechanicznego urządzenia, kontrolującego położenie wskazówki galwanometru, i silnika elektrycznego równoważącego, który napędza suwak opornika ślizgowego. Wskazówka galwanometru jest wstrzymywana beleczką dociskającą, po czym unoszą się dwie dźwignie sprawdzające. Zależnie od położenia wskazówki galwanometru lewa lub prawa dźwignia w ruchu do góry napatyka wskazówkę, a drugie ramie tej dźwigni powoduje połączenie styków włączających silnik równoważący. W położeniu zerowym galwanometru żadna z dźwigni nie opiera się o wskazówkę i silnik równoważący pozostaje w spoczynku.

Drugi silnik większej mocy (synchroniczny) uruchamia napęd taśmy papierowej i urządzenia równoważącego oraz przełącza co 45 minut galwanometr do obwodu ogniwa wzorcowego i sprzęga mechanicznie opornik regulujący prąd pomocniczy z silnikiem równoważącym.

Opornik ślizgowy kompensatora „Bristol” jest wykonany w postaci dwóch równoległych połączonych płaskich oporników o długości około 300 mm, położonych bezpośrednio za skalą przyrządu. Suwak, ślizgający się po obu opornikach, jest przymocowany do wózek, do którego są również przymocowane wskazówka i piórko piszące, względnie punktowy mechanizm drukujący.

Kompensator „Bristol” może być wyposażony w urządzenie zapisujące linią ciągłą lub punktami oraz w wyłączniki rtęciowe do regulacji.

Cztery omówione wyżej typy kompensatorów samoczynnych o równoważeniu skokami nie wyczerpują wprawdzie wszystkich spotykanych systemów, ale należą do najbardziej typowych.

7. Kompensatory o równoważeniu ciągłym.

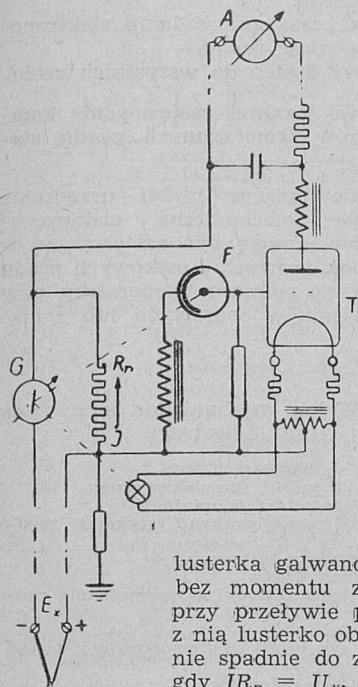
Kompensatory o równoważeniu ciągłym są na ogół bio-rze dużo szybsze od pracujących skokami. Znajdują zastosowanie wszędzie tam, gdzie wielkość mierzona zmienia się szybko, a ogniwo pierwotne (termoelektryczne, fotoelektryczne itd.) posiada dość małą bezwładność. Kompensatory tego typu stosuje się między innymi w walcownikach do pomiaru temperatury walcówki przy pomocy pirometrów fotoelektrycznych lub całkowitego promieniotwórczości.

Ze względu na wymaganą szybkość i ciągłość działania kompensatory tego typu posiadają urządzenie równoważące, działające na drodze czysto elektrycznej, przy czym rozróżnia się dwie zasadnicze grupy: a) kompensatory o urządzeniu równoważącym elektrycznym prostym i b) kompensatory elektronowe. Te ostatnie wyróżniają się dużą prędkością działania i zdobyły sobie w ostatnim dziesięcioleciu popularność.

Kompensatory elektryczne proste. Najstarszym tego typu kompensatorem jest „Callendar-Recorder” firmy Cambridge Instrument Co [11]. Urządzenie równoważące jest bardzo proste. Galwanometr posiada styki, które się łączą przy wychyleniu galwanometru w jedną lub drugą stronę. Styki te włączają za pośrednictwem przekładników silnik równoważący, który przesuwa ślizgacz opornika kompensatora. Opornik ślizgowy jest wykonany w postaci drutu naciągniętego równoległe do skali, przy czym ślizgacz jest połączony mechanicznie bezpośrednio z piórkiem. Proste to urządzenie posiada jednak

szereg wad i ustąpiło miejsca bardziej skomplikowanym, ale lepszym i szybszym.

Kompensatory elektroniczne. a) Kompensator fotoelektryczny „Potentiolux” firmy Hartmann i Braun [13]. Schemat tego kompensatora podany jest na rys. 14. Zasadniczymi częściami kompensatora są galvanometr G , komórka fotoelektryczna F , lampa trójelektrodowa T i miliamperomierz. Kompensator pracuje w układzie Lindecka-Rothe-go. Napięcie kompensujące powstaje na oporze R_n ; oporem regulującym prąd jest lampa trójelektrodowa sterowana komórką fotoelektryczną, która jest oświetlona światłem odbitym od

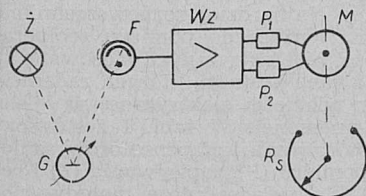


Rys. 14. Schemat kompensatora fotoelektrycznego „Potentiolux”

F — komórka fotoelektryczna
 T — lampa katodowa (trioda)
 G — galvanometr lusterkowy
 A — miliamperomierz

lusterka galvanometru. Galwanometr jest bez momentu zwrotnego; znaczy to, że przy przelwywie prądu cewka ruchoma, a z nią lusterko obracają się póty, póki prąd nie spadnie do zera, to znaczy do chwili, gdy $IR_n = U_x$. Wahania napięcia zasilającego, ani zmiany własności komórek fotoelektrycznej i lampy nie mają wpływu na dokładność pomiaru. Najmniejszy zakres pomiaru dla normalnego wykonania jest 0 do 5 mV. Dla specjalnego wykonania może być mniejszy.

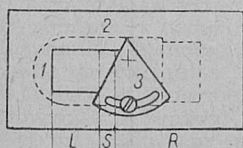
b) Kompensator fotoelektryczny „Celec-ray” Westona (Tagliabue) [11, 14]. Zasadniczy schemat urządzenia równoważającego podano na rys. 15.



Rys. 15. Zasadniczy schemat urządzenia równoważającego kompensatora „Celec-ray”

Z — żarówka
 G — galvanometr lusterkowy
 F — komórka fotoelektryczna
 W_z — wzmacniacz
 P_1, P_2 — przełączniki
 M — silnik obracający ślizgacz opornika R_n
 R_n — opornik ślizgowy

Składa się ono z żarówki Z , komórki fotoelektrycznej z przesłoną F , jednostopniowego wzmacniacza lampowego W_z , dwóch przełączników P_1 i P_2 oraz silnika elektrycznego na prąd zmienny o przełączanym kierunku obrotów. Silnik jest tak połączony, że gdy oba przełączniki są zamknięte — silnik obraca ślizgacz opornika R_n do zera, a gdy oba są otwarte do maksimum lub gdy przełącznik P_1 jest zamknięty, a P_2 otwarty — silnik stoi. Sterowanie przełączników jest uwarunkowane oświetleniem komórki fotoelektrycznej przez strumień świetlny odbity od lusterka galvanometru. Przed komórką jest umieszczona przesłona schematycznie przedstawiona na rys. 16.



1 — komórka fotoelektryczna
 2 — przesłona stała
 3 — przesłona nastawialna
 L, S, R — strefy padania światła

Rys. 16. Przesłona komórki fotoelektrycznej kompensatora „Celec-ray”

Jeżeli światło pada w obszarze L , komórka jest mocno oświetlona, oba przełączniki są przyciągnięte i silnik porusza ślizgacz opornika R_n w kierunku do zera. W strefie środkowej S na komórkę pada połowa światła, przełącznik P_1 jest zamknięty, a P_2 otwarty, silnik stoi w miejscu. Gdy strumień świetlny przejdzie dalej do strefy R , oba przełączniki są otwarte, silnik porusza ślizgacz R_n w kierunku do maksimum. Ten krótki opis nie wyjaśnia szczegółowo działania wzmacniacza i przełączników. Rzeczywisty schemat jest dość skomplikowany; zawiera kilka rozwiązań, mających na celu uniezależnienie pracy przełączników od stopnia zużycia komórki fotoelektrycznej lub lampy wzmacniającej.

Widok mechanizmu kompensatora „Celec-ray” przedstawiony na rys. 17. Kompensator „Celec-ray” posiada urządzenia zapisujące linią ciągłą lub punktami (wielopunktowe), może być wyposażony w urządzenie do samoczynnej regulacji elektrycznej lub pneumatycznej, nie posiada jednak urządzenia do samoczynnej regulacji prądu pomocniczego.

c) Radziecki kompensator elektroniczny w typie BP-102 [17]. Kompensator BP-102 jest typowym przedstawicielem kompensatorów elektronicznych, w których galvanometr został zastąpiony synchronicznym przerywaczem zmieniającym napięcie stałe na zmiennie. Zasadniczy uproszczony schemat kompensatora BP-102 jest podany na rys. 18. Działanie kompensatora jest następujące. Jeżeli istnieje różnica pomiędzy napięciem U_x a napięciem kompensującym, powstaje zmienne napięcie na pierwotnym uzwojeniu transformatora Tr . Przerywacz P pracuje bez przerwy. Indukowane napięcie wtórne jest wzmocnione przez wielostopniowy wzmacniacz, którego napięcie wyjściowe jest doprowadzone do silnika równoważającego. Silnik ten posiada dwa uzwojenia: jedno zasilane z sieci, drugie sterujące zasilane ze wzmacniacza. Kierunek obrotu silnika zależy od przesunięcia fazowego napięć na obu uzwojeniach i jest tak dobrany, że ruch silnika przesuwają ślizgacz opornika R_n w kierunku uzyskania równowagi. Z chwilą zrównania napięcia U_x i napięcia kompensującego silnik zatrzymuje się. Wiele części składowych, jak np. cały mechanizm napędowy taśmy papierowej, opornik ślizgowy, urządzenia stykowe regulatora, są analogiczne do tych, które zawiera kompensator SP. Czas przesunięcia suwaka opornika R_n od zera do maksimum wynosi około 2 sek.

d) Kompensator radziecki typu EP-120 [17]. Ten kompensator jest zbudowany na tej samej zasadzie, co typ BP-102. Posiada również przerywacz synchroniczny, wzmacniacz i silnik równoważający. Szybkość przejścia wskazówki od 0 do maksimum jest jednak dużo mniejsza niż w kompensatorze BP-102 i wynosi zależnie od typu 20 lub 7 sek. Kompensator EP-120 posiada skalę okrągłą i urządzenie do zapisywania na tarczy.

8. „Najlepszy” kompensator.

Jak widać z powyższych opisów, istnieje szereg dość różnych konstrukcji kompensatorów samoczynnych. Każda z tych konstrukcji ma pewne zalety w porównaniu z innymi, ale ma też i wady. Nie można powiedzieć, że któraś z konstrukcji jest najlepsza. Jeśli podzielić kompensatory na dwie grupy — powolne i szybkie, to najlepszy kompensator w każdej z tych grup powinien posiadać następujące własności.

A) Ideał kompensatora powolnego dokładnego.

- 1) Duża pewność ruchu — prosty mechanizm równoważający (jak np. Micromax).
- 2) Wielozwojowy opornik ślizgowy zanurzony w oleju, zapewniający stały opór w obwodzie galvanometru (radziecki typ SP).
- 3) Samoczynna regulacja prądu pomocniczego w odstępach czasu około 1 godziny (Micromax, Bristol).
- 4) Samoczynna kompensacja temperatury zimnego złącza.
- 5) Długość skali 250 do 300 mm.
- 6) Czas przejścia przez zakres pomiarowy 20—30 sek.
- 7) Łatwa zamiana części składowych, np. zespołu opornika ślizgowego z innymi opornikami (radziecki typ SP).
- 8) Łatwa zmiana szybkości posuwu papieru (Celec-ray).
- 9) Odporność na wstrząsy.
- 10) Taśma papierowa odporna na wpływ wilgotności (Micromax).

11) Możliwość stosowania znormalizowanych części dla różnych wykonń (np. zamiana zapisywania ciągłego na wielopunktowe lub zamiana urządzenia regulatora z jednostopniowego na trzystopniowy, wzgl. na inny system regulacji).

7) Odporność na wstrząsy (radzieckie typy BP-102, EP-120).

8) Taśma papierowa odporna na wpływ wilgotności.

9) Możliwość stosowania znormalizowanych części dla różnych wykonń.

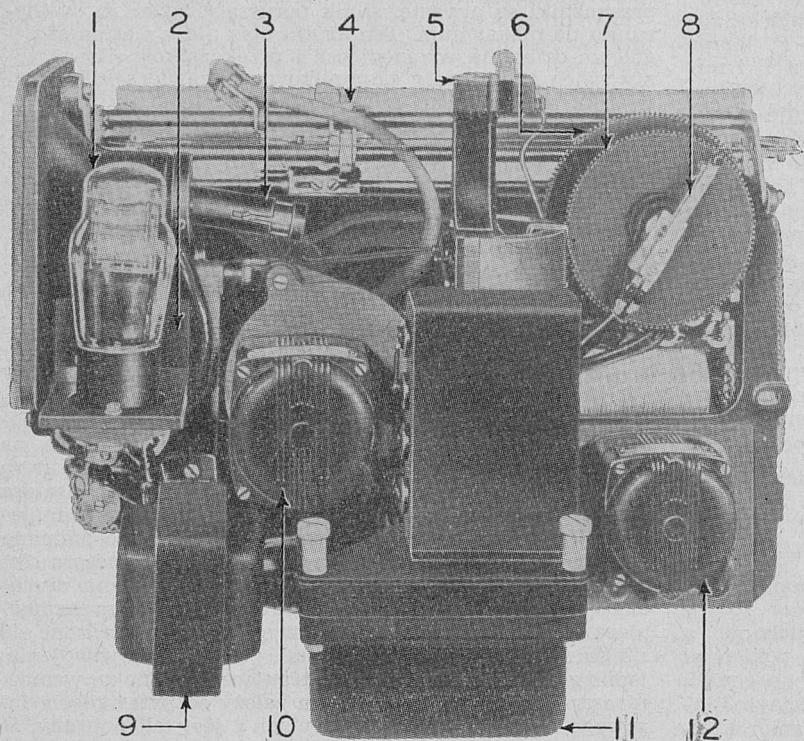
10) Tolerancja błędów 0,5—0,7% zakresu pomiarowego.

11) Długi czas pracy lamp elektronowych — pewność ruchu.

12) Łatwy dostęp do wszystkich części.

9. Możliwość i zakres zastosowania kompensatorów samoczynnych prądu stałego.

Wszystkie opisane wyżej urządzenia równoważące (mechaniczne, elektryczne i elektronowe) mogą być zastosowane w układach pomiarowych mostkowych prądu stałego, np. do pomiaru temperatury przy pomocy czujników oporowych lub z ma-



Rys. 17. Widok mechanizmu kompensatora „Celec tray”

- 1 — lampa wzmacniająca
- 2 — osłona komórki fotoelektrycznej
- 3 — osłona soczewki skupiającej
- 4 — wózek z zamocowanymi stykami regulatora
- 5 — galvanometr lusterkowy
- 6, 7 — przekładnie zębate
- 8 — przełącznik służący do sprawdzania prądu pomocniczego
- 9 — transformator
- 10 — silnik synchroniczny, napędzający taśmę papierową
- 11 — osłona przekaźników
- 12 — silnik poruszający opornik ślizgowy

12) Tolerancja błędów 0,2—0,3% zakresu pomiarowego.

13) Łatwy dostęp do wszystkich części.

B) Ideał kompensatora szybkiego.

1) Czas przejścia przez zakres pomiarowy 2—4 sek. (radziecki typ BP-102).

2) Samoczynna regulacja prądu pomocniczego w odstępach czasu ok. 1 godz.

3) Samoczynna kompensacja temperatury zimnego złącza.

4) Długość skali 250—300 mm.

5) Łatwa zamiana części składowych np. oporników (radziecki typ BP-102).

6) Łatwa zmiana szybkości posuwu papieru (Celec tray).

lymi modyfikacjami w układach prądu zmiennego np. w pomiarach przewodności.

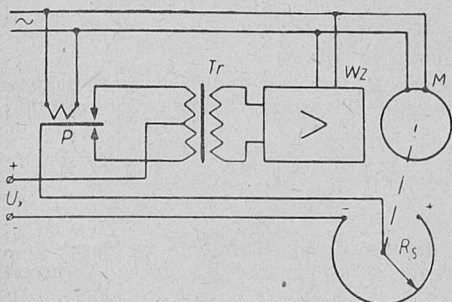
Zakres stosowania przyrządów pomiarowych, opartych na zasadzie samoczynnego równoważenia układu elektrycznego, jest bardzo szeroki. Kompensatory oraz mostki prądu stałego i zmiennego znajdują zastosowanie w wielu pomiarach przemysłowych. Najbardziej rozpowszechnione są kompensatory i mostki służące do pomiaru temperatury. Do pomiaru wielkości nieelektrycznych stosowane są elementy pierwotne, tak zwane czujniki, których zadaniem jest wytwarzanie zmiany wielkości elektrycznej w ścisłej zależności od wielkości mierzonej. W tabl. I zestawione są typowe przypadki zastosowania kompensatorów samoczynnych i mostków do pomiaru (P), zapisywania (Z) i regulacji samoczynnej (R). Są to zasadnicze metody spo-

Tablica I

Typowe przypadki zastosowania samoczynnych kompensatorów i mostków w pomiarach przemysłowych (P — pomiar, Z — zapisywanie, R — regulacja samoczynna)

Wielkość mierzona	Element pierwotny (czujnik)	Wielkość elektryczna	Kompensator samoczynny	Mostek samoczynny pr. st.	Mostek samoczynny pr. zm.
Temperatura	ogniwo termoelektryczne	sem.	P—Z—R	—	—
„	opornik	opór	—	P—Z—R	—
„	ogniwo termoelektryczne całkowitego promieniowania	sem.	P—Z—R	—	—
„	pirometr fotoelektryczny	napięcie	P—Z—R	—	—
Prędkość wirowania	prądniczka	sem.	P—Z—R	—	—
Wilgotność	układ oporników	opór	—	P—Z—R	—
Przewodność elektrolitów	elektrody	opór	—	—	P—Z—R
Stężenie jonów wodorowych pH	elektrody	sem.	P—Z—R	—	—
Analiza gazów	układ oporników	napięcie	P—Z—R	—	—
Gęstość dymu	żarówka — ogniwo fotoelektryczne	sem.	P—Z	—	—
Wielkości elektryczne:					
napięcie prądu stałego	dzielnik napięcia	napięcie	P—Z	—	—
natężenie prądu stałego	bocznik	napięcie	P—Z	—	—
napięcie prądu zmiennego	żarówka — ogniwo fotoelektryczne	napięcie	P—Z	—	—
moc prądu zmiennego	układ ogniwo termoelektrycznych	sem.	P—Z	—	—
częstotliwość	mostek prądu zmiennego	opór bierny	—	—	P—Z—R

tykane w pomiarach przemysłowych; w laboratoriach przyrządy te mogą znaleźć jeszcze bardziej różnorodnie zastosowanie.



Rys. 18. Zasadniczy schemat kompensatora elektronicznego radzieckiego typu BP-102

P — synchroniczny przerywacz-wibrator
 T_r — transformator
 W_z — wzmacniacz
 M — silnik poruszający opornik ślizgowy
 R_s — opornik ślizgowy

Bez przesady można powiedzieć, że samoczynny kompensator prądu stałego stanowi najważniejszy podstawowy element większości przemysłowych urządzeń pomiarowych i regulujących i z tego względu powinien być lepiej poznany przez ogół techników. Dla upowszechnienia zastosowania samoczynnych kompensatorów konieczne jest rozpoczęcie produkcji tych przyrządów w kraju. Re-

ferat niniejszy ma na celu dać podstawy do dyskusji nad celowością uruchomienia u nas takiej produkcji.

LITERATURA

- [1] Poggendorf J. C. (Pogg. Ann., 54, 1841, str. 161).
- [2] Lindeck St., Rothe R. (Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 19, 1899, str. 242 i 20, 1900, str. 293).
- [3] Krukowski W. (Annales de l'Académie des Sciences Techniques à Varsovie, 1, 1935, str. 123).
- [4] Diesselhorst H. (Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 26, 1906, str. 297 i 28, 1908, str. 1).
- [5] Keinath G. The Keinath Recorder (Instruments, 19, 4, 1946, str. 200; streszczenie Przegl. Elektr., 1950, nr 1/2/3, str. 114).
- [6] Keinath G. Der Keinath Recorder (ATM, 8, 1949, I 031—15).
- [7] Sondij F. Elektryczne pomiary temperatury (Przegl. Elektr., 1950, nr 4/5/6, str. 217—220).
- [8] Opis firmowy kompensatora „Micromax” firmy „Leeds and Northrup”.
- [9] Wdowiak B. Silnik synchroniczny bez wzbudzenia — silnik reluktancyjny (Przegl. Elektr., 1950, nr 9/10/11, str. 501—510).
- [10] Publikacje firmy The Brown Instruments Co.
- [11] Eichler F. Kompensations-Messgeräte mit selbsttätiger Abgleichung (ATM, J 034-1, 12/1936 i J 034-4, 6/1937).
- [12] Siemens Kompensograph (ATM, J 034-2, 1/1933).
- [13] Wärmetechnische Messgeräte, Sammeliste 39, Bd. II, Hartmann und Braun.
- [14] Tag Celestray, Electric Thermometers Pyrometers, Catalog No 1101 J.
- [15] Gutop W. G. Automatyzacja regulowania i kontrol procesów w przemyśle stali (Moskwa, 1949).
- [16] Nikitin W. A. Kontrolno - izmeritelnyye pribory v neftiepererabotke.
- [17] Topierwierz N. I., Szerman M. J. Tieplotekhnicheskije izmeritelnyye i regulirujuszczije pribory na metalurgicheskich zavodach (Moskwa, 1951).

FELIKS BŁOCKI
 Państw. Inst. Telekom.

Metody pomiaru przenikalności magnetycznej blach transformatorowych bez wycinania próbek

621.3.08:621.317.4:621.318.42

Treść. Podana jest opracowana przez autora metoda pomiaru przenikalności magnetycznej blach żelaznych bez potrzeby wycinania próbných skrawków. Metoda polega na pomiarze przyrostu indukcji cewki, nawiniętej na jarzmie kształtu litery U, po postawieniu jarzma na badanej blasce.

Метод измерения магнитной проницаемости трансформаторного листового железа без вырезывания образцов. Изложен разработанный автором способ измерения магнитной проницаемости листового железа, не требующий вырезывания кусков для измерительных целей. Метод основан на измерении приращения индуктивности катушки, насаженной на U-образное ярмо, после того, как ярмо было поставлено на исследуемом листе.

Method of measuring the permeability of steel transformer sheets without taking sample cuttings. The article quotes a method, devised by the author, for measuring the magnetic permeability of transformer sheets without the necessity of taking sample cuttings. The method is contingent on measuring the inductance increase of a coil wound on a U-shaped yoke, after placing the latter on the sheet tested.

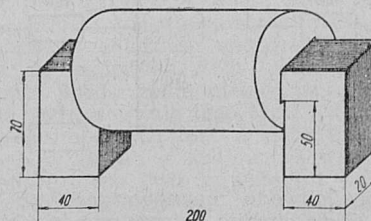
1. Wstęp.

Przy produkcji różnego rodzaju transformatorów teletechnicznych, dławików itp. konieczne jest — dla uzyskania w przybliżeniu tych samych właściwości elektrycznych — użycie do budowy rdzeni blach o określonej i w przybliżeniu jednakowej przenikalności magnetycznej¹⁾. Niestety, otrzymywane z hut blachy żelazo-krzemowe wykazują dość duży rozrzut przenikalności i przynajmniej na razie nie można liczyć na większą poprawę w tej dziedzinie (jednorodność blach zagranicznych również nie jest zadowalająca). Dlatego jedyną drogą do poprawienia jakości produkcji transformatorów, dławików itp. jest segregowanie produkowanych blach według ich przenikalności magnetycznej na grupy i przeznaczenie każdej z tak uzyskanych grup do produkcji określonych typów rdzeni. Niestety, dotychczasowe metody pomiaru przenikalności magnetycznej wymagają pobrania z badanego materiału pewnej ilości próbek i dokonania na nich pomiarów, które dopiero pozwalają określić przenikalność magnetyczną materiału. Oczywiście, tego rodzaju metody pomiarowe, jako zbyt skomplikowane, a ponadto powodujące zniszczenie pewnej części materiału, nie mogły być zastosowane w hutach lub wytwórniach do masowego segregowania blach. Do

tego celu nadaje się natomiast metoda określania przenikalności magnetycznej blach bez pobierania próbek, opracowana przez autora²⁾.

2. Metoda badania i urządzenie do badania przenikalności magnetycznej blach.

Jarzmo i jego zastosowanie. Główną częścią urządzenia do badania przenikalności magnetycznej blach jest pokazane na rys. 1 jarzmo, złożone z wza-



Rys. 1. Jarzmo z cewką

jemnie odizolowanych blach z żelaza krzemowego. Na jarzmie tym osadzona jest cewka mająca zwojów dru-

¹⁾ Wszędzie, gdzie mowa jest o przenikalności magnetycznej, należy rozumieć jej wartość początkową.

²⁾ Patent polski nr 34165.

tu izolowanego. Niech indukcyjność tej cewki — w przypadku ustawienia jarzma na podstawie niemagnetycznej — wynosi L henrów. Jeśli jarzmo ustawimy na badanej blasze, wtedy indukcyjność cewki wyniesie $(L + \Delta L)$ henrów. Można dowiedzieć, że jeżeli opór magnetyczny jarzma i szczelin powietrznych jest znikomo mały w porównaniu z oporem magnetycznym badanej blachy, wtedy

$$(1) \quad \Delta L \cong C \mu \delta,$$

gdzie C — wielkość stała, δ — grubość badanej blachy, μ — jej przenikalność magnetyczna.

Wymiary rdzenia podane na rys. 1 dobrano w ten sposób, ażeby uzyskać możliwie mały opór magnetyczny rdzenia i szczelin powietrznych oraz możliwie duży opór magnetyczny w blasze, na której spoczywa jarzmo.

Obliczmy opór magnetyczny obwodu złożonego z dwu słupków pionowych o przekroju $2 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ i sumarycznej wysokości 12 cm, rdzenia poziomego o przekroju $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ i długości 16 cm, dwu szczelin powietrznych o przekroju $2 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ i łącznej długości 0,05 cm oraz blachy o oszacowanym przekroju $4 \text{ cm} \times 0,035 \text{ cm}$ i długości 16 cm. Przypuszczamy, że współczynnik wypełnienia rdzenia wynosi 0,95, a przenikalność magnetyczna rdzenia i blachy badanej 500.

Przy obliczaniu oporu magnetycznego w blasze badanej przyjęto, że szerokość blachy, przez którą przechodzi prawie cały strumień magnetyczny, jest równa podwójnej szerokości słupka pionowego, tj. wynosi 4 cm. Śluszość powyższego założenia została sprawdzona doświadczalnie w ten sposób, że zmierzono przyrost indukcyjności ΔL raz po położeniu jarzma na środku arkusza blachy, a drugi raz po położeniu go na wyciętym z tego arkusza pasku o szerokości 4 cm. Przyrost w drugim przypadku był nieznacznie mniejszy od przyrostu w pierwszym przypadku.

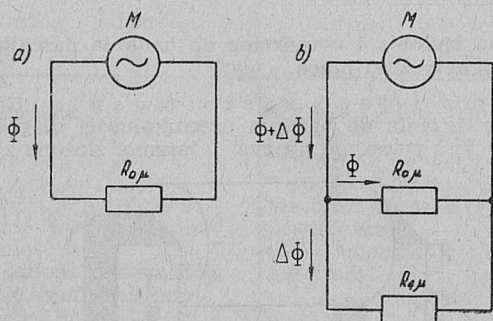
Opory magnetyczne obu słupków pionowych $R_{1\mu}$, słupka poziomego $R_{2\mu}$, obu szczelin powietrznych $R_{3\mu}$ i blachy badanej $R_{4\mu}$ wynoszą:

$$R_{1\mu} = \frac{12}{500 \cdot 8 \cdot 0,95} = 0,00316 \quad R_{2\mu} = \frac{16}{500 \cdot 4 \cdot 0,95} = 0,00832$$

$$R_{3\mu} = \frac{0,05}{8} = 0,00625 \quad R_{4\mu} = \frac{16}{500 \cdot 0,035 \cdot 4} = 0,229$$

Stąd $R_{1\mu} + R_{2\mu} + R_{3\mu} + R_{4\mu} \cong 0,247$. Widzimy stąd, że opór magnetyczny blachy stanowi około 93% oporu całego obwodu magnetycznego, można zatem uważać, że przyrost ΔL jest ze znacznym przybliżeniem zależny wyłącznie od oporu magnetycznego blachy, a zatem od iloczynu $\mu \delta$.

Obwody magnetyczne możemy sobie wyobrazić w sposób pokazany na rys. 2. Rys. 2a przedstawia obwód ma-



Rys. 2. Schemat obwodu magnetycznego: a) w samym jarzmie, b) w jarzmie ustawionym na blasze

gnetyczny jarzma ustawionego na materiale niemagnetycznym. Wytworzona przez płynący w cewce prąd siła magnetomotoryczna M wytwarza strumień magnetyczny Φ . Opór magnetyczny tego układu jest równy $R_{0\mu}$. Jeśli jarzmo położymy na blasze żelaznej, to równoległe do

oporu magnetycznego $R_{0\mu}$ zostanie włączony opór równy w przybliżeniu oporowi $R_{4\mu}$ (rys. 2b). W nowo utworzonej gałęzi wytworzy się dodatkowy strumień

$$(2) \quad \Delta \Phi = \frac{M}{R_{4\mu}}.$$

Wartość oporu $R_{4\mu}$ w przypadku jarzma pokazanego na rys. 1. obliczono już wyżej. Ogólny wzór na opór $R_{4\mu}$ ma postać:

$$(3) \quad R_{4\mu} = \frac{l}{\mu \delta b} = \frac{A}{\mu \delta},$$

gdzie l — długość drogi strumienia w blasze, b — szerokość tej drogi, δ — grubość blachy, μ — przenikalność magnetyczna blachy, A — stała wielkość $\frac{l}{b}$, zależna tylko od wymiarów jarzma.

Jeżeli pracujemy przy małym prądzie I w cewce i przy bardzo małym natężeniu pola magnetycznego (rzędu 20 mOe), to można uważać, że:

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta I} \cong \frac{\Phi}{I},$$

a więc dla dwu przypadków według rys. 2a i 2b otrzymujemy

$$L \cong z \frac{\Phi}{I} \quad \text{ i } \quad L + \Delta L \cong z \frac{\Phi + \Delta \Phi}{I},$$

skąd

$$(4) \quad \Delta L \cong z \frac{\Delta \Phi}{I},$$

a na podstawie równań (2) i (3)

$$(4') \quad \Delta L \cong z \frac{bM}{II} \cdot \mu \delta.$$

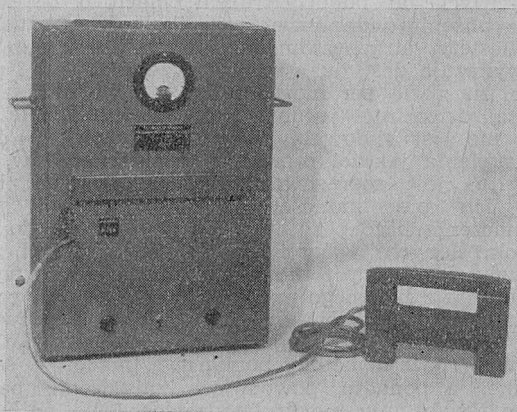
Ponieważ $M = 0,4 \pi z I$, przeto

$$(4'') \quad \Delta L = \frac{0,4 \pi b z^2}{l} \mu \delta,$$

otrzymaliśmy więc potwierdzenie równ. (1) przy

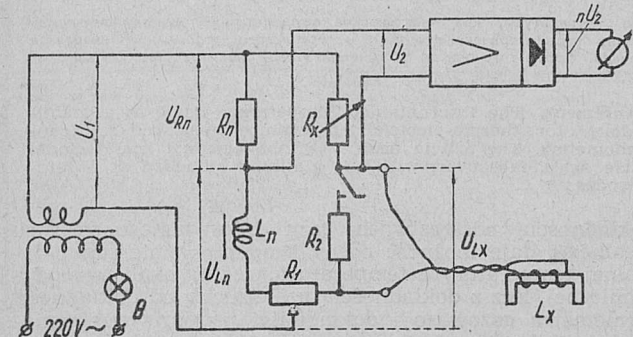
$$C = \frac{0,4 \pi b z^2}{l}.$$

Przyrząd i jego schemat. Wykonany w Państwowym Instytucie Telekomunikacyjnym przyrząd do pomiaru iloczynu $\mu \delta$ pokazany jest na rys. 3, a jego schemat na rys. 4.



Rys. 3. Przyrząd do pomiaru przenikalności magnetycznej wykonany w PIT

Napięcie sieciowe (220 V) obniża się w transformatorze do wartości $U_1 = 10$ V. W obwód pierwotny transformatora jest włączony bareta B celem stabilizowania napięcia pomiarowego U_1 . Napięcie U_1 doprowadza się do mostka, złożonego z oporników R_n , R_x i R_1 , z cewki L_x umieszczonej na jarzmie oraz z cewki porównawczej L_n . W drugiej przekątnej mostka umieszczony jest wzmac-



Rys. 4. Schemat przyrządu do pomiaru przenikalności magnetycznej

niacz rezonansowy, dostrojony do częstotliwości 50 Hz i zaopatrzony na wyjściu w przyrząd prostownikowy do pomiaru napięcia wyjściowego.

Indukcyjność L_x cewki umieszczonej na jarzmie, które spoczywa na materiale niemagnetycznym, wynosi około 26 H. Indukcyjność L_n cewki porównawczej winna być w przybliżeniu równa indukcyjności L_x . Opory R_n i R_x są w przybliżeniu równe i muszą być duże w porównaniu z oporami pozornymi cewek dla częstotliwości 50 Hz. Ponadto wartości oporów muszą być tak obliczone, aby amplituda sinusoidalnie zmiennego natężenia pola magnetycznego była równa 20 mOe. W wykonanym mostku opory R_n i R_x mają po 0,5 MΩ, przy czym opór R_x składa się ze stałego opornika o wartości 450 kΩ i połączonego z nim szeregowo opornika regulowanego o wartości największej 100 kΩ. Potencjometr R_1 służy do wyrównania składowej czynnej w obu cewkach.

Jeżeli dla jarzma, spoczywającego na podstawie niemagnetycznej, zrównoważymy mostek — przez zmianę wartości oporu R_x i położenia styku w potencjometrze R_1 — tak, że napięcie na wejściu wzmacniacza jest równe zeru (wskaźówka przyrządu znajduje się wtedy na zerze), to po położeniu jarzma na blachę, które przenikalność chcemy zbadać, napięcie na wejściu wzmacniacza U_2 osiągnie wartość w przybliżeniu proporcjonalną do wartości ΔL , a zatem, jak to wynika z równania (4''), proporcjonalną również do wartości $\mu\delta$.

Zależność powyższą najlepiej można sprawdzić na wykresie wektorowym (rys. 5). W stanie równowagi spadek napięcia na cewce L_x jest równy co do amplitudy i fazy spadkowi napięcia na cewce L_n :

$$U_{Lx} = U_{Ln}$$

Gdy jarzmo położymy na blasze badanej, indukcyjność cewki na jarzmie wzrośnie o wielkość ΔL , przy czym równocześnie wzrośnie spadek napięcia na tej cewce do wartości U'_{Lx} , która jak to widać z wykresu, tylko bardzo nieznacznie różni się (co do fazy) od wartości U_{Lx} , praktycznie można więc przyjąć, że

$$\hat{U}_2 = \hat{U}'_{Lx} - \hat{U}_{Lx} \cong |\hat{U}'_{Lx}| - |\hat{U}_{Lx}|$$

Ponieważ $R_x \gg \omega L_x$, gdy $\omega \leq 314$, przeto można uważać, że płynący w cewce prąd I ma wartość w przybliżeniu stałą, wobec czego możemy napisać:

$$(5) \quad U_2 \cong |I| (L_x + \Delta L) - |I| L_x \cong |I| \Delta L = |I| C_p \delta,$$

tzn., że napięcie U_2 , a więc i wychylenie wskaźówki przyrządu są wprost proporcjonalne do iloczynu $\mu\delta$. Jeżeli będziemy mierzyli blachy o grubości δ , stałej w przybliżeniu, to wychylenie wskaźówki przyrządu możemy uważać za proporcjonalne do μ .

Cechowanie przyrządu. Przyrząd przed użyciem do bezpośredniego odczytywania wartości μ należy wycechować. W tym celu w przyrządzie, który zasilamy napięciem znamionowym sieci 220 V, zrównoważymy mostek przy jarzmie, ustawionym na niemagnetycznej podstawie. Następnie ustawiamy jarzmo na blasze żelaznej o grubości 0,35 mm i oznaczamy na skali za pomocą czerwonej kreski rzeczywiste położenie wskaźówki. Następnie odłączamy mostek od wzmacniacza i doprowadzamy na wejście tego ostatniego, z dokładnie skalowanego dzielnika napięć, takie napięcie, które wywoła wychylenie wskaźówki przyrządu do poprzednio oznaczonej czerwonej kreski. Notujemy wartość U_{20} tego napięcia. Oczywiście, w czasie tej manipulacji nie zmieniamy wzmocnienia wzmacniacza. Następnie z blachy, na której ustawiliśmy poprzednio jarzmo, pobieramy próbki i za pomocą jednej z dotychczasowych metod określamy jej przenikalność μ_0 , po czym już łatwo można wycechować przyrząd. Jeśli bowiem założymy, że grubość blachy jest stała i równa 0,35 mm, to napięcie U_2 na wejściu wzmacniacza jest proporcjonalne do przenikalności magnetycznej zgodnie z równaniem (5). Chcąc oznaczyć na skali dowolną wartość przenikalności, np. μ' , określamy odpowiadającą jej wartość U'_2 z równania:

$$U'_2 = U_{20} \frac{\mu'}{\mu_0}$$

Tak obliczone napięcie U'_2 doprowadzamy na wejście wzmacniacza i miejsce, na którym zatrzyma się wskaźówka przyrządu, oznaczamy jako odpowiadające przenikalności μ' . W analogiczny sposób zaznaczamy inne wartości μ na skali przyrządu. Oczywiście, skalowanie to jest ważne tylko dla blach o grubości 0,35 mm. Można jednak bardzo łatwo wykorzystać tak wyskalowany przyrząd do pomiaru blach o dowolnej grubości δ . Wystarczy wtedy odczytany na przyrządzie wynik pomnożyć przez współ-

$$\text{czynnik } k = \frac{0,35}{\delta}$$

Ponieważ ze zmianą napięcia sieci ulegają pewnym wahaniom zarówno napięcie U_1 , jak i wzmocnienie wzmacniacza, przeto przewidziano możliwość sprawdzania przyrządu od czasu do czasu³⁾. W tym celu równolegle do cewki L_x umieszczamy włączany za pomocą niestabilizowanego przycisku opornik R_2 , który zakłóca równowagę mostka i powoduje wychylenie wskaźówki przyrządu. Wartość oporu R_2 dobieramy tak, aby przy znamionowym napięciu sieci 220 V jego włączenie wywołało wychylenie wskaźówki do czerwonej kreski. Tak dobrany opornik służy do sprawdzania przyrządu, jeżeli bowiem wskutek zmiany napięcia U_1 wskaźówka przyrządu — po naciśnięciu przycisku włączającego opornik R_2 — nie zatrzyma się na czerwonej kresce, doprowadzamy ją do tego położenia przez pokręcenie potencjału regulującego wzmocnienie wzmacniacza.

Zalety i wady nowej metody pomiaru współczynnika przenikalności magnetycznej. Nowa metoda oprócz niewątpliwych zalet, jak łatwość i szybkość pomiarów bez potrzeby pobierania próbek, ma też pewne wady, które można ująć w dwa główne punkty: 1) stosunkowo mała dokładność (rzędu 10%) oraz 2) zależność wskazań przyrządu od grubości blachy. Są to jednak wady mniejszego znaczenia wobec znacznego uproszczenia metody pomiarowej. Można więc uważać, że stosowanie tego typu przyrządów w produkcji jest uzasadnione, co zresztą potwierdziły próby przeprowadzone w jednej z krajowych wytwórni sprzętu telekomunikacyjnego oraz w jednej z hut. Ponadto należy uwzględnić też okoliczność, że można na tej samej zasadzie opracować przyrząd, którego wskazania będą niezależne od grubości blachy. Według przewidywań przyrząd taki będzie mógł być gotów z końcem 1952 r.

³⁾ Opisaną niżej metodę zaprojektował inż. Edward Bołbiński.

MGR ZDZ. GAJEWSKI
Laboratorium termometryczne
Głównego Urzędu Miar

Zagadnienie wzorców w elektrotermometrii

621.36:536.5.081:536.5

Treść. Międzynarodowa skala temperatury jako praktyczna realizacja skali termodynamicznej ustala dla elektrotermometrii wzorce temperatury (stałe punkty termometryczne) oraz termometrów — oporowego i termoelektrycznego. Najważniejsze wymagania normy międzynarodowej co do realizacji tych wzorców. Ponadto omówiono wzorec platynowy jako odniesienie pomiarów termometrycznych charakterystyk termoelektrod.

Вопросы эталонов в электротермометрии. Международная шкала температуры, как практическое осуществление термодинамической шкалы, устанавливает для электро-термометрии эталоны температуры (постоянные термометрические точки) и термометры эталоны. Приводятся важнейшие требования международной нормы в отношении изготовления этих эталонов. Кроме того описан платиновый эталон, как средство для измерения термометрических характеристик термоэлектродов.

The problem of standards in thermo-electric temperature measurement. The International Temperature Scale as a practical implementation of the thermodynamic scale determines standards for thermo-electric temperature measurement (constant thermometric points) and for resistance and platinum thermometers. The article deals with the cardinal international requirements for the implementation of these standards. The article deals, moreover, with the platinum standard as a reference for measuring thermometric characteristics of thermo-electrodes.

Podstawą pomiarów każdej wielkości jest ustalenie jednostki miary albo skali stanów tej wielkości. Zagadnienie to współczesna metrologia rozwiązuje: a) przez podanie definicji ustalającej teoretycznie niezmienną jednostkę miary albo skalę, b) przez ustalenie wzorców, które w danym stadium rozwoju techniki pomiarowej są najdokładniejszą praktyczną realizacją jednostki miary albo skali stanów danej wielkości.

W pomiarach termometrycznych powyższy schemat jest zachowany wobec przyjęcia: a) skali termodynamicznej jako podstawy teoretycznej oraz b) Międzynarodowej Skali Termometrycznej jako praktycznej realizacji skali termodynamicznej.

Pomiar temperatury jest możliwy wobec istnienia zależności pomiędzy określonymi i reprodukcyjnymi stanami cieplnymi równowag międzyfazowych ciał chemicznie czystych a przyporządkowanymi tym stanom miarami temperatury. Zbiór tych wartości, uporządkowany według zależności termodynamicznych (gdyż ściśle określenie temperatury, jako wielkości, daje nam termodynamika), tworzy skalę temperatur. Bezwzględna skala termodynamiczna jest oparta na równaniu:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$$

wiążącym temperatury (bezwzględne) T_1 i T_2 dwóch stanów cieplnych z ilościami ciepła Q_1 i Q_2 pochłanianymi (lub wydzielanymi) przez idealny silnik Carnota, pracujący pomiędzy temperaturami tych dwóch stanów cieplnych. Ilościowo skalę temperatur ustala się przez przyjęcie, że odstęp pomiędzy temperaturami dwóch tzw. podstawowych punktów termometrycznych jest równy stu stopniom¹⁾ oraz wyznaczenie jednej z tych temperatur określonej miary. Jako podstawowe punkty termometryczne przyjmuje się²⁾:

- 1) temperaturę równowagi pomiędzy lodem a wodą nasyconą powietrzem (punkt topnienia lodu) pod ciśnieniem jednej atmosfery normalnej³⁾,
- 2) temperaturę równowagi pomiędzy wodą a jej parą (punkt wrzenia wody) pod ciśnieniem jednej atmosfery normalnej.

Przyporządkowując nadto punktowi topnienia lodu wartość 0,000°C określamy skalę stustopniową (Celsjusza), przyporządkowując zaś mu wartość 273,15°K⁴⁾, określamy skalę bezwzględną (Kelvina).

Skali termodynamicznej (i takiej samej skali gazu idealnego) nie można zrealizować. Obecnie jedynie termometria gazowa⁵⁾, opierając się na określonych ze znaną

dokładnością odstępstwach gazu rzeczywistego od gazu idealnego, daje możliwość oceny zgodności zmierzonej dowolnej temperatury z temperaturą według skali termodynamicznej, lecz z dokładnością uzależnioną od dokładności termometru gazowego i dokładności pomiaru wspomnianych wyżej odstępstw danego gazu od gazu idealnego.

By uniknąć trudności związanych z realizacją skali termodynamicznej za pomocą termometrów gazowych, metrologia współczesna w zakresie temperatur od — 183°C do 1063°C opiera się na metodach elektrotermometrii, ustalając Międzynar. Skalę Temperatur jako praktyczną realizację skali termodynamicznej⁶⁾. Należy podkreślić, że ta skala międzynarodowa jest, ściśle biorąc, normą międzynarodową uchwaloną przez Konferencję Generalną Wag i Miar i mogącą podlegać rewizji w miarę postępu prac w tej dziedzinie. Ostatnio rewizja taka nastąpiła w 1948 roku (IX Konferencja Generalna Wag i Miar), zmieniając tekst pierwotnie ustalony w 1927 r. (przez VII Konf. Gen. Wag i Miar).

W zakresie od — 183 do 1063°C tekst Międzynarodowej Skali Temperatur ustala:

- a) główne i wtórne punkty termometryczne⁷⁾, tj. temperatury równowag międzyfazowych ciał chemicznie czystych oraz miary temperatur tych punktów;
- b) przyrządy interpolacyjne, tj. termometry normalne (wzorcowe) wzorcowane w określonych punktach termometrycznych i równania interpolacyjne, których współczynniki oblicza się wg wyników tego wzorcowania;
- c) specyfikacje, tj. wymagania w sprawie stopnia czystości ciał i sposobów postępowania, które powinny być spełnione przy realizacji punktów termometrycznych;
- d) specyfikacje dla termometrów normalnych.

Z punktu widzenia wzorców w elektrotermometrii mamy więc ustalone:

- a) stałe punkty termometryczne i warunki ich realizacji; punkty te stanowią zbiór wzorców temperatur, który w dużym zakresie rozwiązuje zagadnienie wzorcowania i sprawdzania termometrów oporowych i termoelektrycznych;
- b) wzorec platynowego termometru oporowego, umożliwiający pomiary temperatury z największą (metrologiczną) dokładnością;
- c) wzorec termoelementu platynorod-platyna (PtRh 10-Pt), umożliwiającego pomiary temperatury z największą dokładnością;
- d) pośrednio warunki, którym powinien odpowiadać wzorec termoelektrody platynowej, tzn. wzorec, względem którego powinny być dokonywane pomiary sił termoelektrycznych i sił termoelektrycznych właściwych poszczególnych termoelektrod.

Stale punkty termometryczne w zakresie objętych elektrotermometrią praktyczną, tj. od — 200°C (termometry oporowe, termoelementy Cu—Konst.) do 2000°C (ter-

1) Skala Fahrenheita (°F) i odpowiadająca jej bezwzględna skala Rankina (°Rank) są obecnie arytmetycznymi odpowiednikami skal Celsjusza i Kelvina. Skala Réaumura jest obecnie wyrugowana z praktyki pomiarowej.

2) Guillaume W. F. proponuje oparcie definicji skali termometrycznej na temperaturze zera bezwzględnego i temperaturze punktu potrójnego wody. Pomimo podkreślenia teoretycznych zalet takiej definicji, zwłaszcza dla termometrii niskich temperatur, Doradczy Komitet Termometryczny przy Międzynarodowym Komitecie Wag i Miar zachował w określeniu skali termometrycznej klasyczne punkty podstawowe.

3) 1 Atm = 1 013 250 dyn/cm².

4) Wartość zalecana w tekście Międzynarodowej Skali Temperatur dla ujednolajnienia przeliczeń.

5) Termometria gazowa nazywamy tu termometrią o dużej dokładności, wykorzystującą jako własności termometryczne rozprężalność gazów rzeczywistych przy $v = \text{const}$ albo rozszerzalność tych gazów przy $p = \text{const}$.

6) Omówienie Międzynarodowej Skali Temperatur zwięźle tu do zakresu objętego metodami elektrotermometrii. Zakres powyżej 1063°C oparty jest na prawach promieniowania ciała czarnego, a mianowicie: a) wg tekstu z 1927 r. na prawie Wiena, b) wg tekstu z 1948 r. na prawie Plancka, oraz na założeniach: (1927) temp. topn. złota $t_{\text{Au}} = 1063,0^\circ\text{C}$ i $C_2 = 1,432 \text{ cm. stop. C.}$ (1948) temp., topn. złota $t_{\text{Au}} = 1063,0^\circ\text{C}$ i $C_2 = 1,438 \text{ cm. stop. C.}$

7) Zasadnicza różnica pomiędzy głównymi a wtórnymi punktami termometrycznymi polega na tym, że temperatury pierwszych są to umownie ustalone wartości, drugich zaś są to temperatury wg Międzynarodowej Skali Temperatur, a więc zmierzane za pomocą ustalonych przez nią termometrów normalnych.

moelementy SiC—C) podane są w tabl. I. W tablicy tej temperatury wrzenia i krzepnienia podano dla ciśnienia 1 Atm; tablica zawiera ustalone wzory, które ujmują za-

W tablicy jako temperaturę krzepnienia srebra podano 960,8°C, natomiast według tekstu z 1927 r. temperatura ta wynosiła 960,5°C. Zmiana ta, jak również zmiana war-

Tablica I. Główne i wtórne stałe punkty termometryczne Międzynarodowej Skali Temperatur 1948

P u n k t	Temperatura punktu termometrycznego		Temperatura wrzenia w zależności od ciśnienia	
	głównego (°C)	wtórnego (°C)	w z ó r	dla zakresu ciśnień (mm Hg)
Wrzenie tlenu	— 182,970	—	$t_p = -182,97 + 9,53 (p/p_0 - 1) - 3,72 (p/p_0 - 1)^2 + 2,2 (p/p_0 - 1)^3$	660 — 860
Sublimacja dwutlenku węgla	—	— 78,5	$t_p = -78,5 + 12,12 (p/p_0 - 1) - 6,4 (p/p_0 - 1)^2$	680 — 780
Krzepnienie rtęci	—	— 38,87		
Topnienie lodu	0			
Punkt potrójny wody	—	0,0100		
Przemiana Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	—	32,38		
Wrzenie wody	100	—	$t_p = 100 + 28,012 (p/p_0 - 1) - 11,64 (p/p_0 - 1)^2 + 7,1 (p/p_0 - 1)^3$	660 — 860
Punkt potrójny kwasu benzoowego	—	122,36		
Wrzenie naftalenu	—	218,0	$t_p = 218,0 + 44,4 (p/p_0 - 1) - 19 (p/p_0 - 1)^2$	680 — 780
Krzepnienie cyny	—	231,9		
Wrzenie benzofenonu	—	305,9	$t_p = 305,9 + 48,8 (p/p_0 - 1) - 21 (p/p_0 - 1)^2$	680 — 780
Krzepnienie kadmu	—	320,9		
Krzepnienie ołowiu	—	327,3		
Wrzenie rtęci	—	356,58	$t_p = 356,58 + 55,552 (p/p_0 - 1) - 23,03 (p/p_0 - 1)^2 + 14 (p/p_0 - 1)^3$	680 — 780
Krzepnienie cynku	—	419,5		
Wrzenie siarki	444,600	—	$t_p = 444,6 + 69,01 (p/p_0 - 1) - 27,48 (p/p_0 - 1)^2 + 19,14 (p/p_0 - 1)^3$	660 — 800
Krzepnienie antymonu	—	630,5		
Krzepnienie glinu	—	660,1		
Krzepnienie srebra	960,8	—		
Krzepnienie złota	1063,0	—		
Krzepnienie miedzi w atmosferze redukcyjnej	—	1083		
Krzepnienie niklu	—	1453		
Krzepnienie kobaltu	—	1492		
Krzepnienie palladu	—	1552		
Krzepnienie platyny	—	1769		
Krzepnienie rodu	—	1960		
Krzepnienie irydu	—	2443		
Topnienie wolframu	—	3380		

U w a g a. W tablicy powyższej ostatnia cyfra znacząca wartości głównych punktów termometrycznych oznacza tylko dokładność reprodukcji danego punktu (nie zaś jego zgodność ze skalą termodynamiczną).

leżność pomiędzy odpowiednimi temperaturami wrzenia a ciśnieniem p i które można stosować w granicach ciśnień podanych w ostatniej kolumnie tablicy.

Tablica II. Odpowiadające sobie temperatury, wyrażone w stopniach Międzynarodowych Skal Temperatur z 1948 i 1927 r.

°C Int 48	°C Int 27	°C Int 48	°C Int 27
630,5	630,5	2100	2107
650	649,92	2200	2208
700	699,76	2300	2310
750	749,65	2400	2411
800	799,58	2500	2512
850	849,57	2600	2613
900	899,60	2700	2715
950	949,68	2800	2816
960,8	960,5	2900	2918
1000	999,80	3000	3020
1050	1049,95	3100	3122
1063	1063	3200	3223
1100	1100,2	3300	3325
1200	1200,6	3400	3428
1300	1301,1	3500	3530
1400	1401,7	3600	3632
1500	1502,3	3700	3735
1600	1603,0	3800	3837
1700	1703,8	3900	3940
1800	1804,6	4000	4043
1900	1905,5	4100	4146
2000	2006,4	4200	4249

tości stałej promieniowania C₂ (ob. wyżej odsyłacz⁶⁾), oraz przyjęcie równania Plancka zamiast wzoru Wiena powodują różnice pomiędzy temperaturami, wyznaczonymi w stopniach skali z 1927 r. (°C Int 27), a temperaturami, wyznaczonymi w stopniach skali 1948 r. (°C Int 48). Różnice te zestawione są w tabl. II, pozwalającej przeliczać wyniki dawnych odczytów (w °C Int 27) na obecnie obowiązujące (°C Int 48).

Temperatura wrzenia tlenu jest realizowana przeważnie metodą statyczną. Opornik czujnika termometru oporowego i powierzchnia swobodna czystego tlenu w zbiorniku powinny mieć jednakową temperaturę, co można osiągnąć umieszczając je np. w bloku metalowym zanurzonym w energicznie mieszanej kąpieli ze skroplonego ciekłego tlenu (o czystości nieokreślonej). Rurka, łącząca zbiornik czystego tlenu z manometrem, powinna być ochroniona od możliwości zetknięcia się z ciałami o temperaturach niższych niż temperatura czystego ciekłego tlenu. Schemat takiej aparatury podaje rys. 1.

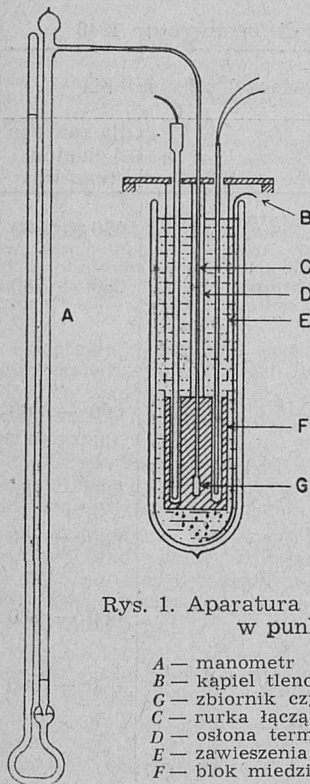
Punkt topnienia lodu jest realizowany z zadowalającą dokładnością za pomocą mieszaniny dobrze rozdrobnionego lodu i wody nasyconej powietrzem (w temp. 0°C), umieszczonych w naczyniu dobrze izolowanym termicznie (np. w naczyniu Dewara). Rys. 2 przedstawia urządzenie stosowane w Biurze Międzynarodowym Miar.

Punkt potrójny wody zalecany jest do stosowania w pracach najwyższej dokładności⁸⁾. Punkt ten otrzymuje się w naczyniach szklanych o średnicy 4—7 cm

⁸⁾ Doradczy Komitet Termometryczny nawet zalecał definicję punktu zero skali termometrycznej, jako temperatury o 0,0100 stopnia niższej od temperatury punktu potrójnego wody.

z współśrodkową rurką do umieszczenia termometru (rys. 3). Zastosowana woda powinna być b. czysta. Ilość jej w naczyniu powinna być taka, by termometr był należycie zanurzony i by była możliwość współistnienia trzech faz. Takie naczynia należy przygotować i umieszczone jak na rys. 3 utrzymują stałą temperaturę z dokładnością do $0,0001^{\circ}\text{C}$ w przeciągu kilku dni.

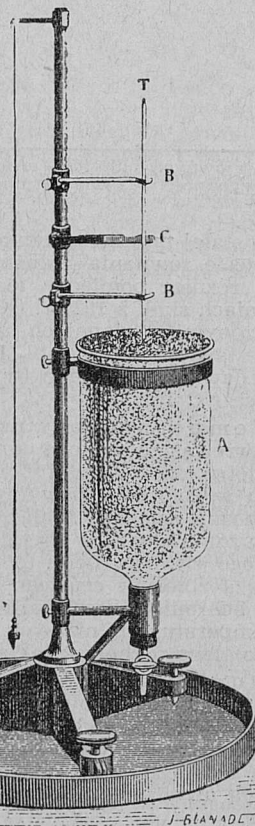
Wytworzenie stanu równowagi pomiędzy lodem, wodą i parą wodną polega na ochłodzeniu zamkniętej wody (np. za pomocą suchego lodu) przez ściankę zewnętrzną lub rurki współśrodkowej, póki nie powstanie lód w postaci kryształków lub powłoki lodowej przy rurce.



Rys. 1. Aparatura do wzorcowania termometrów w punkcie wrzenia tlenu

- A — manometr
- B — kapiel tlenowa
- C — zbiornik czystego tlenu
- D — rurka łącząca zbiornik z manometrem
- E — zawieszenia
- F — blok miedziany

Temperaturę wrzenia wody otrzymuje się najczęściej metodą dynamiczną umieszczając termometr wzorcowany w parze nasyconej. Zaleca się stosować aparaty, w których woda i jej para nie stykają się z otaczającą atmosferą. W aparatach tych ebullioskop i manometr są połączone z dużym manostatem napełnionym helem (urządzenie niemożliwe do zrealizowania w naszych warunkach, wystarczy gaz obojętny np. azot). Wymaga się, by konstrukcja ebullioskopu zabezpieczała przed możliwością przegrzania pary w otoczeniu wzorcowanego termometru,



Rys. 2. Sprawdzanie termometru w punkcie lodu

termometrem a parą wodną będzie stałość wskazywanej temperatury (z uwzględnieniem ewentualnego wpływu zmian ciśnienia) i jej niezależność od szybkości parowania wody oraz od głębokości zanurzenia termometru.

Doskonale do realizacji tego punktu nadaje się ebulliometr Świętosławskiego (rys. 4), jak to wykazały pomiary Zmaczyńskiego, dokonane w Biurze Międzynarodowym Miar i w Physikalisches Reichsanstalt.

Temperatura wrzenia siarki. Siarka stosowana do pomiarów powinna zawierać mniej niż $0,005\%$ domieszek. Zwraca się uwagę na selen i arsen, które są najczęstszymi zanieczyszczeniami siarki.

W zwykłym typie przyrządu (rys. 5), zapewniającym dokładność rzędu $0,01$ do $0,02^{\circ}$, siarka znajduje się w rurze kwarcowej (lub ze szkła trudnotopliwego, porcelany itp.) o średnicy wewnętrznej $4-5$ cm. Długość rury powinna być taka, by wysokość słupa pary siarki była dostateczna do wprowadzenia ekranu zabezpieczającego termometr od strat ciepła przez promieniotę i do zmian głębokości zanurzenia termometru o $2-3$ cm. Zaleca się stosowanie grzejnika elektrycznego. Powyżej grzejnika rurę osłania się materiałem izolacyjnym.

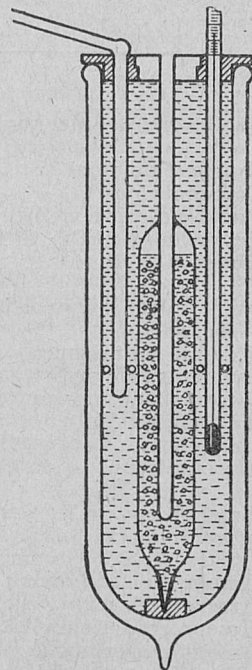
W pracach dokładności rzędu $0,001^{\circ}$ zastosowano rurkę glinową osłaniającą termometr. Rurka ta z kolei była osłonięta ekranami tak zbudowanymi, że wewnątrz ich w przybliżeniu realizowało ciało czarne, ekrany te jednak posiadały dostatecznie duże otwory zabezpieczające swobodne krążenie pary siarki. Zastosowano nadto grzejnik elektryczny, wyrównujący straty ciepła przez ścianki rury.

Kryteria wyrównania temperatur pomiędzy wzorcowanym termometrem a parą siarki są podobne jak w przypadku punktu wrzenia wody.

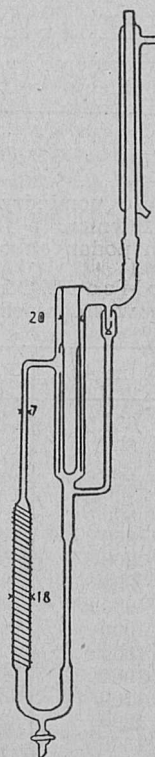
Temperatury krzepnięcia złota i srebra. Dotychczasowe dane wskazują, że domieszki metaliczne, wynoszące w przypadku srebra $0,01\%$ wag., w przypadku zaś złota $0,005\%$ wag., co najwyżej zmieniają temperatury krzepnięcia tych metali o $0,1^{\circ}$.

Metal topi się w tyglach z czystego grafitu lub innego materiału odpornego na temperaturę i nie zanieczyszczającego metalu. Zaleca się tygły ze sztucznego grafitu o średnicy wewnętrznej 3 cm i głębokości 15 cm. Grubość ścianki 1 cm. Do napełnienia takiego tygla potrzeba około 1600 g złota lub około 900 g srebra. Gorące srebro powinno być zabezpieczone przed oddziaływaniem tlenu.

Piec stosowany powinien zapewniać jednolitą temperaturę. Metal topi się i doprowadza do temperatury o parę stopni wyższej od temperatury jego krzepnięcia,



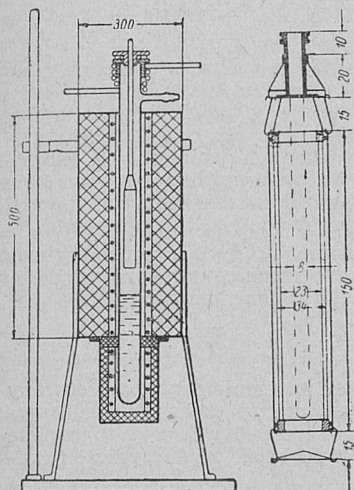
Rys. 3. Przyrząd do otrzymania punktu potrójnego wody



Rys. 4. Ebulliometr barometryczny prof. Świętosławskiego

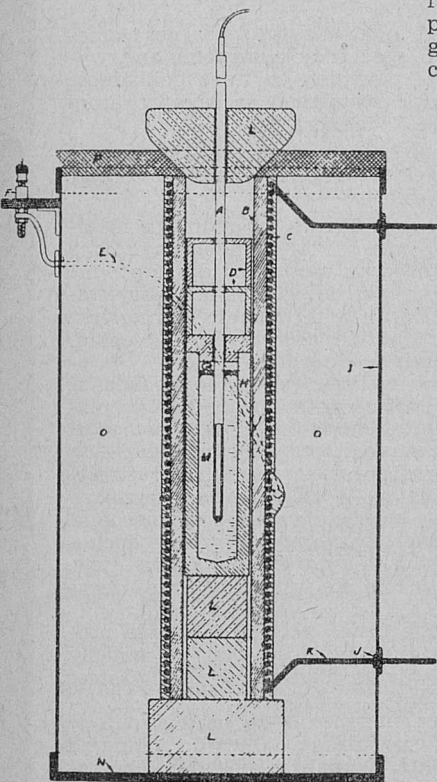
uniemożliwiła zanieczyszczenie pary powietrzem lub innymi substancjami oraz eliminowała możliwość obniżenia się temperatury termometru wskutek promieniowania. Kryterium osiągnięcia równości temperatur pomiędzy

po czym studzi się go powolnie. Termoelement w osłonie porcelanowej umieszcza się przez otwór w środku pokrywki współosiowo względem tygla. Głębokość zanurzenia powinna być taka, by zmiany zanurzenia o 1 cm nie po-



Rys. 5. Schemat aparatu do punktu wrzenia siarki; obok ekran do termometru

wodowały zmian siły elektromotorycznej termoelementu większych niż $1 \mu V$. Podczas krzepnięcia, siła elektromotoryczna termoelementu powinna być stała w granicach $1 \mu V$ w przeciągu co najmniej 5 minut.



Rys. 6. Piec do wzorcowania termoelementów w punktach krzepnięcia metali (średn. pieca 250 mm)

Rys. 6 przedstawia schemat pieca stosowanego do wzorcowania termoelementów w temperaturach krzepnięcia metali. W przypadku pomiarów mniejszej dokładności (rzędu $0,5-10^\circ C$) wystarczy, wykorzystując prawo trzeciego metalu, połączyć termoelektrody badane za pomocą

jest w zasadzie podobny, jak w przypadkach złota i srebra. Zwraca się tylko uwagę na przechładzanie antymonu, które zresztą nie będzie znaczne, gdy ciekły metal ogrzeje się tylko o parę stopni powyżej jego temperatury krzepnięcia i jeżeli miesza się go podczas ochładzania. I w tym przypadku podczas krzepnięcia siła elektromotoryczna termoelementu powinna być stała w granicach $1 \mu V$ w przeciągu co najmniej 5 minut.

Stosowanie jako punktów termometrycznych innych temperatur równowagi międzyfazowej lub ciał o nieznanym stopniu czystości w pracach o dużej dokładności wymaga pomiaru i kontroli temperatury danego punktu za pomocą termometrów interpolacyjnych (tj. oporowego platynowego i termoelektrycznego), odpowiadających specyfikacjom ustalonym przez Międzynarodową Skalę Temperatur.

Wzorcowy termometr oporowy. Jako normalny (wzorcowy) termometr interpolujący do pomiaru temperatur w zakresie od $-183^\circ C$ do $630,5^\circ C$ ustalono platynowy termometr oporowy (rys. 8). Termometr ten należy wzorcować:

a) dla zakresu od 0° do $630,5^\circ C$ w temperaturach topnienia lodu, wrzenia wody i wrzenia siarki. W wyniku tego wzorcowania otrzymuje się równania:

$$R_0 = R_0,$$

$$R_{100} = R_0 (1 + 100 A + 100^2 B),$$

$$R_{444,6} = R_0 (1 + 444,6 A + 444,6^2 B),$$

które w równaniu interpolacyjnym termometru

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

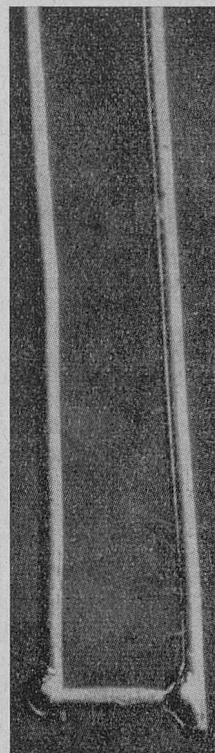
pozwalają obliczyć R_0 , A i B indywidualnie dla danego termometru;

b) dla zakresu od -190° do $0^\circ C$ dodatkowo w temperaturze wrzenia tlenu, co w równaniu interpolacyjnym dla tego zakresu:

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3]$$

pozwała obliczyć współczynnik C (R_0 , A i B są te same, co dla zakresu $0-630,5^\circ C$).

Platynowy termometr oporowy powinien być tak zbudowany, żeby drut oporowy był możliwie wolny od mechanicznych naprężeń w całym obszarze termicznym jego stosowalności. Zaleca się stosować druty ciągnięte z platyny lanej. Średnica drutu nie powinna być mniejsza niż $0,05 \text{ mm}$ i większa niż $0,5 \text{ mm}$. Krótkie końcówki opornika powinny być wykonane z platyny i powinny być połączone z zaciskami w głowicy za pomocą złotych przewodów (drutów). Opornik platynowy powinien być wyżarzony w powietrzu w temperaturze nie niższej niż ok. $450^\circ C$, bądź w temperaturze wyższej, niż wynosi górna granica jego stosowania. Zaleca się osłone termometru napełniać gazem zawierającym domieszkę tlenu.



Rys. 7. Termoelement ze wzorcowym metalem w spoinie



Rys. 8. Czujnik termometru oporowego

drutu złotego bądź srebrnego (rys. 7) i umieścić tak uformowaną spoinę w dobrym piecu, zapewniającym równość temperatur na końcach tego drutu. Przerwa obwodu sygnalizuje osiągnięcie temperatury topnienia metalu łączącego.

Temperatura krzepnięcia antymonu. Przebieg wzorcowania w temperaturze krzepnięcia antymonu

Kryteriami czystości platyny opornika i prawidłowej budowy termometru będą warunki:

$$\frac{R_{100}}{R_0} \geq 1,3910, 4,2165 \leq \frac{R_{444,6} - R_0}{R_{100} - R_0} \leq 4,2180,$$

$$6,143 \leq \frac{R_{-182,97} - R_0}{R_{100} - R_0} \leq 6,144,$$

gdzie R opór termometru w temperaturach zaznaczonych w indeksach.

Stołość oporu termometru w przyjętym punkcie kontrolnym, np. w punkcie potrójnym wody lub punkcie topnienia lodu, przed i po pomiarze pewnej temperatury jest najlepszym kryterium należytego wyżarzenia i niezmienności charakterystyki termometru.

Należy nadto zwrócić uwagę, że w specyfikacji pomija się sprawę dokładności pomiaru oporu. Jest to zagadnienie bardzo istotne i bardzo trudne w pomiarach metrologicznych, bowiem czułości 0,001°C odpowiada czułość pomiaru oporu rzędu 0,0004%. Osiągnięcie odpowiednich dokładności wymaga zastosowania mostków bądź kompensatorów o najwyższej dokładności i kalibrowania ich oporników (nawet zaleca się kalibrowanie powtarzać okresowo co 1/2 roku). Stosowane są mostki: różnicowy Smitha, Muellera lub też kompensator Diesselhorsta. Dopiero odpowiedni i dobrze skalibrowany mostek lub kompensator wraz z czujnikiem termometru oporowego (zwanym zresztą zwykle termometrem oporowym) tworzy wzorcową aparaturę pomiarową.

Termometry oporowe odpowiadające powyższemu warunkom stanowią aparaturę wzorcową, realizującą Międzynarodową Skalę Temperatur w zakresie od -183 do 630,5°C. Zaznaczyć należy, że National Bureau of Standards proponowało rozszerzenie zakresu pomiarów platynowego termometru oporowego do punktu wrzenia wodoru, wzorcując dodatkowo termometr w temperaturze równowagi wodoru i stosując hel jako atmosferę otaczającą opornik platynowy. Platyna nadto odpowiadała warunkowi $R_{100}/R_0 > 1,3920$. Temperaturę obliczono przez interpolację wartości stosunku

$$\frac{R_T - R_{H_2}}{R_{O_2} - R_{H_2}}$$

gdzie R_{H_2} — opór w temp. wrzenia wodoru, R_{O_2} — w temp. wrzenia tlenu. W tabl. III zestawiono ustalone przez NBS wartości.

Tablica III

t °K	$\frac{R_T - R_{H_2}}{R_{O_2} - R_{H_2}}$	t °K	$\frac{R_T - R_{H_2}}{R_{O_2} - R_{H_2}}$	t °K	$\frac{R_T - R_{H_2}}{R_{O_2} - R_{H_2}}$
20,273	0,000 00	44	0,208 38	68	0,599 61
21	002 41	45	222 35	69	617 37
22	006 10	46	236 63	70	635 17
23	010 25	47	251 19	71	653 02
24	014 87	48	266 02	72	670 90
25	019 98	49	281 11	73	688 81
26	025 59	50	296 43	74	706 76
27	031 70	51	311 98	75	724 73
28	038 31	52	327 75	76	742 73
29	045 44	53	343 70	77	760 76
30	053 07	54	359 84	78	778 80
31	061 21	55	376 15	79	796 88
32	069 85	56	392 62	80	814 97
33	078 99	57	409 24	81	833 08
34	088 61	58	426 01	82	851 21
35	098 71	59	442 90	83	869 35
36	109 26	60	459 93	84	887 51
37	120 27	61	477 07	85	905 67
38	131 70	62	494 32	86	923 85
39	143 54	63	511 67	87	942 03
40	155 78	64	529 11	88	960 21
41	168 40	65	546 64	89	978 39
42	181 39	66	564 23	90	996 55
43	194 72	67	581 89	90,19	1,000 00

Wzorcowy termoelement platynorodplatyna. W zakresie od 630 do 1063°C jako normalny termometr interpolujący ustalono termoelement wzorcowy platynorodplatyna, pozwalający obliczyć temperaturę t według równania: $E_t = a + bt + ct^2$, gdzie E_t jest siłą termoelektryczną, gdy spoina mierząca termoelementu ma temperaturę t , a spoina odniesienia temp. 0°C. Stałe a , b i c danego termoelementu wzorcowego oblicza się według wyników wzorcowania w punktach krzepnięcia antymonu (E_{Sb}), srebra (E_{Ag}) i złota (E_{Au}).

Termoelektroda platynowa powinna być z platyny o takim stopniu czystości, by po wyżarzeniu wykazywała stosunek oporów R_{100}/R_0 większy od 1,3910. Druć platy-

norodowy powinien być stopem o zawartości 90% platyny i 10% rodu⁹⁾. Termoelement wykonany z odpowiednich drutów powinien wykazywać w badanych punktach termometrycznych siły termoelektryczne spełniające warunki:

$$\begin{aligned} E_{Au} &= [10300 \pm 50] \mu V, \\ E_{Au} - E_{Ag} &= [1185 \pm 0,158 (E_{Au} - 10310) \pm 3] \mu V, \\ E_{Au} - E_{Sb} &= [4776 \pm 0,631 (E_{Au} - 10310) \pm 5] \mu V. \end{aligned}$$

Zadawalające termoelementy są z drutów o średnicy nie mniejszej niż 0,35 mm i nie większej niż 0,65 mm. Przed wzorcowaniem obie termoelektrody powinny być wyżarzone w powietrzu w temperaturze ok. 1100°C. Druty powinny być umieszczone w osłonach izolacyjnych (najlepiej dwuotworowych) tak, by było wykluczone powstanie naprężeń mechanicznych w obszarach dużych spadów temperatur, które mogłyby spowodować te naprężenia.

Oprócz podanych stosowane są jeszcze inne kryteria przydatności termoelementu. Termoelement normalny według NBS powinien odpowiadać warunkowi:

$$4,020 \leq \frac{E_{Au} - E_{Sb}}{E_{Au} - E_{Ag}} \leq 4,035.$$

Nadto uważa się, że jeżeli termoelement, wzorcowany w punkcie złota przed wyżarzeniem i po wyżarzeniu, wykaże większą różnicę wskazań niż 5 μV , jest to oznaką zanieczyszczenia drutów, bądź też zanieczyszczeń zewnętrznych.

Termoelementy wzorcowe nie powinny być przegrzewane powyżej 1100°C.

W sprawie dokładności miernika wzorcowego termometru termoelektrycznego specyfikacje wspomniane wyżej wyraźnie wskazują, że powinien on mieć dokładność większą niż 1 μV . Zwykle stosowane są kompensatory małoporowe: Diesselhorsta, Wannera itd.

Wreszcie wspomnieć należy, że w połączeniach wzorcowego termometru termoelektrycznego nie należy stosować przewodów kompensacyjnych.

Wzorzec platynowy. Prawo pośredniego metalu pozwala na ustalanie pomiarów sił termoelektrycznych poszczególnych termoelektrod w stosunku do umownie ustalonego metalu. Wzorzec taki dotychczas nie jest ustalony międzynarodowo, jednakże w termometrii termoelektrycznej z reguły charakterystyki poszczególnych termoelektrod podaje się w stosunku do platyny.

Platyna stosowana jako wzorzec powinna odpowiadać wszystkim wymaganiom stawianym termoelektrodzie platynowej termoelementu wzorcowego. Na ogół warunek ten wprawdzie uważa się za dostateczny, jednakowoż National Bureau of Standards po stwierdzeniu, że poszczególne druty platynowe nie są — zależnie od warunków oczyszczania platyny — termoelektrycznie jednorodne, wykazując względem siebie siły termoelektryczne dochodzące do 100 μV , wprowadziło wzorzec platynowy, tzw. Pt 27, względem którego ustala się wszystkie charakterystyki termoelektrod.

Jako wzorzec należałoby uznać platynę możliwie najczystsza. Jeżeli jako kryterium czystości platyny uznamy stosunek R_{100}/R_0 , to dotychczas jako najwyższą wartość uzyskano $R_{100}/R_0 = 1,3925$.

Dla porównania należy nadmienić, że oczyszczona w Instytucie Ogólnej i Nieorganicznej Chemii Akademii Nauk ZSRR platyna, w której analiza spektralna wykazała brak nawet śladów linii irydu, palladu i żelaza i której czystość oceniono powyżej 99,9998%, wykazała R_{100}/R_0 pomiędzy wartościami 1,39248 a 1,39237 (średnio 1,3924).

Zrealizowanie wszystkich wymienionych wzorców stanowi podstawę metrologiczną termometrii praktycznej, zapewniającą jedność miary. Obowiązek wykonania tej pracy obciąża przede wszystkim pracowników termometryczną Głównego Urzędu Miar.

LITERATURA

- Malikow M. F. Osnovy metrologii (Moskwa, 1949).
Comité Consultatif de Thermométrie, Session de 1939, Procès-Verbaux des Séances (Gauthier-Villars, Paris, 1939).
Comité International des Poids et Mesures, Session de 1948, Procès-Verbaux des Séances (Gauthier-Villars, Paris, 1948).
Temperature — Its Measurement and Control in Science and Industry (Reinhold Publ. Corp., New York, 1941).
Hennig F. Temperaturmessung (Barth Verlag, Lipsk, 1951).
Griffiths E. Methods of Measuring Temperature (Griffin, Londyn, 1947).

⁹⁾ Według National Physical Laboratory do realizacji Międzynarodowej Skali Temperatur nadaje się również dobrze termoelement PtRh 13 — Pt tj. taki, którego termoelektroda dodatnia jest stopem zawierającym 13% rodu i 87% platyny.

MGR INŻ. JULIUSZ KELLER

Przem. Inst. Telekom.

Termostaty wysokiej klasy i dokładny pomiar temperatury

621.316.74:621.3.088

Treść. Omówiono znaczenie urządzeń termostatowych dla produkcji przemysłowej. Przedyskutowano właściwości czujników temperatury (bimetały, termoelementy, termometrów stykowych i mostków oporowych) z punktu widzenia zastosowania w termostatach wysokiej stałości oraz rozpatrzone układy termoregulatorów i komór termostatowych. Właściwości techniczne urządzenia termostatowego określono przez zakres regulacji, wielkość tętnień temperatury, przekładnię temperatury, rozkład temperatur i stałość bezwzględna temperatury. Podano dodatkowe sposoby polepszenia stałości temperatury przez specjalne rozmieszczenie grzejników i czujnika, przez kompensację termiczną mostka oraz za pomocą dodatkowego grzejnika. Omówiono zalety i wady pomiaru temperatury przy pomocy termometru Beckmanna i termistoru. Podano rysunki termistorów, przeznaczonych do pomiaru temperatury, i prosty układ pomiarowy, pozwalający na pomiar zmian i rozkładu temperatur z dokładnością $\pm 0,0005^\circ\text{C}$.

Термостаты высшего класса и точное измерение температуры. Роль термостатных устройств в промышленном производстве. Обсуждаются свойства чувствительных элементов (биметаллы, термоэлементы, контактные термометры и мосты сопротивлений) с точки зрения применения их в термостатах высшего класса, а также устройств терморегуляторов и термостатных камер. Технические свойства термостатного устройства определяются диапазоном регулировки, пульсацией температуры, коэффициентом отношения перемен температур и постоянством температуры. Приводятся дополнительные способы улучшения постоянства температуры путем особого размещения нагревателей и чувствительного элемента, путем термической компенсации моста, путем добавочного нагревателя. Обсуждаются преимущества и недостатки измерения температуры при помощи термометра Бекмана и термистора. Даются рисунки термисторов, предназначенных для измерения температуры, и простая измерительная схема, позволяющая измерять изменение и распределение температур с точностью $\pm 0,0005^\circ\text{C}$.

High-class thermostats and accurate temperature measurement. The article deals with the importance of thermostatic equipment for industrial processes. Review of the properties of temperature sensitive elements (bimetals, thermo-couples, contact thermometers and resistance bridges) from the point of their applicability in high-constancy thermostats, as well as of thermo-controller and thermostatic chamber systems. The technical properties of thermostatic equipment have been determined by hunting of temperatures, magnitude of temperature pulsations, ratio of the interior to the external temperature rise, temperature distribution and absolute temperature constancy. Supplementary methods of improving temperature constancy by special lay-out heaters and temperature sensitive elements, by thermal compensation of the resistance bridge and by means of additional heaters, are quoted. The author also deals with the merits and shortcomings of temperature measurement by means of the Beckmann thermometer and thermistor. The article includes sketches of thermistors intended for temperature measurement, as well as a simple measurement diagram for measuring temperature fluctuations and distribution within a tolerance of $0,0005^\circ\text{C}$.

1. Wstęp.

Z zebranej statystyki urządzeń elektronowych, znajdujących zastosowanie w przemyśle, okazało się, że jedną z czołowych pozycji zajmują najrozmaitsze urządzenia do regulacji i pomiaru temperatury. Spośród nich wysuwają się na pierwsze miejsce następujące urządzenia: urządzenia klimatyzacyjne; programowe regulatory temperatury; regulatory temperatury w odwierciach i piecach metalurgicznych, temperatury metalu przed walcowaniem, kąpielą cynującą, bielącą, pralni i itp., a dalej różne urządzenia do pomiaru temperatury, samopisy, zabezpieczenia itd. Nie ma dziedziny produkcji, w której nie byłoby potrzebne urządzenia termostatowe; są one stosowane w górnictwie, hutnictwie, w obróbce cieplnej, w przemyśle chemicznym, papierniczym, spożywczym, włókienniczym i inn.

Wymagania stawiane urządzeniom termostatowym są różne, zależnie od procesu, w którym urządzenia te znajdują zastosowanie. W zależności od rozwiązania technicznego odróżniamy np. (a) urządzenia na temperaturę niższą od temperatury otoczenia, na zakres od temperatury otoczenia do $\sim 80^\circ\text{C}$ i na temperatury wyższe — do tysiąca i więcej stopni; (b) termostaty wodne (cieczowe), termostaty z komorą użytkową lub z obiektem stałym; (c) urządzenia o stałej lub regulowanej temperaturze; (d) urządzenia o technicznej lub dużej dokładności regulacji itd. Możliwych odmian jest dużo.

Od zadania, które urządzenie ma spełnić, zależy wybór środków technicznych, którymi można najracjonalniej uczynić zadość postawionym wymaganiom. Termostaty należą do urządzeń samoczynnych; w związku z tym w każdym urządzeniu termostatowym można wyodrębnić trzy elementy: 1) czujnik temperatury, 2) układ przekazujący i 3) regulator przepływu energii; tworzą one tzw. termoregulator; poza tym w skład urządzenia wchodzi komora, warstwy izolacyjne lub wanna z mieszałem. W przypadku termostatów programowych, w przypadku rejestracji lub specjalnych zabezpieczeń układ urządzenia jest, oczywiście, bardziej rozbudowany.

Jako czujnik temperatury może znaleźć zastosowanie termoelement, bimetal, termometr stykowy (ze stykiem stałym lub ruchomym) oraz opornik. Układ przekazujący może być sprowadzony do jednego przekaźnika lub zawierać czuły wielostopniowy wzmacniacz z lampami próżniowymi i gazowanymi. Regulator grzania składa się ze źródła mocy, grzejników, przekaźnika elektromagnetycznego lub lampowego, ewentualnie przełącznika napędzanego silnikami.

Jednym z podstawowych wymagań technicznych stawianych termostatowi jest stałość temperatury; w zależ-

ności od przeznaczenia urządzenia wymagania mogą być skromne: stałość rzędu 1°C (lub kilku stopni przy wysokich temperaturach), stałość przeciętna $0,1^\circ\text{C}$ lub duża $0,01^\circ\text{C}$ (w zakresie temperatur do $\sim 80^\circ\text{C}$).

Artykuł niniejszy omawia przede wszystkim termostaty dobrej jakości na temperaturę $30-60^\circ\text{C}$, zarówno suche jak i cieczowe, jednak szereg wyników i wniosków dotyczących budowy tych termostatów ma zastosowanie również przy budowie termostatów niższej klasy.

2. Czujniki temperatury.

W przypadku termostatów wysokiej klasy podstawowe znaczenie ma wybór czujnika temperatury.

Termoelementy stosowane są do wysokich temperatur i małych dokładności regulacji. Siła elektromotoryczna termoelementu zależy od różnicy temperatur styku czynnego i styku znajdującego się w temperaturze odniesienia (zwykle w temperaturze pokojowej lub w temperaturze topniejącego śniegu), wobec czego stosowanie termoelementu wymaga drugiego termostatu wysokiej klasy do stabilizacji temperatury styku odniesienia.

Czujnik bimetaliczny jest najprostszy w użyciu, ale nie pozwala na uzyskanie stałości większych od $0,1-0,5^\circ\text{C}$ przede wszystkim ze względu na stan styku i wpływy mechaniczne.

Powszechne zastosowanie w termostatach wysokiej klasy znalazł termometr stykowy ze stykiem platynowym. Osiągana stałość temperatury w otoczeniu termometru stykowego (a w termostatach cieczowych w całej wannie) sięga kilku tysięcznych stopnia. Dla otrzymania takiej dokładności potrzebny jest dodatkowy układ lampowy, mający na celu ograniczenie do minimum prądu, który przepływa przez styk termometru przy zamykaniu i otwieraniu obwodu regulacyjnego. Dalej wymagane jest dodatkowe podgrzewanie górnego końca kapilary termometru w celu zapobieżenia przedestylowaniu rtęci ponad styk. Oprócz tego konstrukcja komory użytkowej musi być wielowarstwowa (na zmianę warstwy przewodzące i izolacyjne) w tym celu, aby temperatura, w której znajduje się termometr była temperaturą stałej powierzchni izotermicznej, oraz aby wahania temperatury spowodowane włączaniem i wyłączaniem grzania nie dochodziły do wnętrza komory. Jedną z wad czujników termometrycznych jest „sztywność” temperatury, która nie może być regulowana inaczej jak przez wymianę termometru. Termometry stykowe o przesuwanym magnetycznie styku dają znacznie mniejszą dokładność regulacji.

Powyższych wad nie posiadają termoregulatory oporowe ostatnio coraz powszechniej używane. Jest ich szereg odmian; wspólną ich cechą jest stosowanie mostka Wheat-

stone'a, zawierającego jedno lub dwa ramiona z materiału o dużym współczynniku cieplnym oporu, wykonane np. z termistorów*) lub z drutu żelaznego, niklowego, miedzanego lub platynowego. Termoregulatory mogą różnić się: a) częstotliwością prądu zasilającego mostek (mostek prądu stałego, mostek zasilany z sieci lub napięciem o częstotliwości akustycznej), b) budową wzmacniacza, c) sposobem regulacji mocy w grzejnikach — skokami lub w sposób ciągły. W zależności od przyjętego systemu spotyka się układy od dwu- do siedmiolampowych.

3. Wielkości charakterystyczne termostatu.

Od typu termoregulatora, od obudowy i pojemności cieplnej komory zależą następujące wielkości charakterystyczne termostatu: 1) zaskok regulacji, 2) wielkość wahań temperatury, 3) przekładnia temperatur, 4) rozkład temperatur w komorze, 5) bezwzględna stałość temperatury. Wielkości te charakteryzują dobroć działania termostatu.

Zaskok regulacji. Tolerancja czujnika, tj. różnica między temperaturą czujnika, przy której termoregulator włącza grzanie, a temperaturą czujnika, przy której wyłącza grzanie, oraz odległość i izolacja termiczna między grzejnikiem a czujnikiem są źródłem opóźnienia, które powoduje tzw. „zaskok regulacji”. Wskutek zaskoku temperatura wnętrza termostatu ulega zmianom wraz ze zmianami temperatury otoczenia, choć czujnik pracuje przy tych samych temperaturach.

Przekładnia temperatur. Zależność temperatury komory użytkowej termostatu T_w od temperatury otoczenia T_o jest zasadniczą wielkością charakteryzującą termostat; pochodna dT_w/dT_o , tzw. przekładnia temperatur, jest dla pewnego zakresu temperatur otoczenia wielkością stałą. Wielkość ta zależy przede wszystkim od tolerancji czujnika i czułości termoregulatora, a następnie od wzajemnego rozmieszczenia czujnika i grzejników.

Przy dużej czułości termoregulatora i przy niewłaściwym rozmieszczeniu grzejników i czujnika w termostacie powstają oscylacje termiczne i związane z tym fale ciepłe, które zakłócają prawidłową pracę urządzenia.

Rozkład temperatury w komorze. Zależnie od przeznaczenia termostatu może być ważna nie tylko stałość temperatury, ale i jej rozkład, wartość bezwzględna w określonym miejscu oraz możliwość jej regulacji w sposób ciągły lub skokami. Jako przykład może służyć termostat do krystalizacji, w którym wystarczy znajomość i stałość temperatury z dokładnością rzędu $0,1^\circ\text{C}$, natomiast nabiera znaczenia rozkład temperatury.

W termostatach suchych najwyższej klasy, używanych do wzorców kwarcowych, wymagana stałość temperatury wynosi $0,01^\circ\text{C}$, gdy wartość temperatury może być znana z dokładnością rzędu $0,1^\circ\text{C}$ i to tylko dla kwarców, których współczynnik termiczny wyraźnie przechodzi przez wartość krańcową, lub gdy zachodzi konieczność doregulowania częstotliwości kwarcu oscylującego w rezonansie szeregowym. W innych przypadkach wystarczy jeszcze mniejsza dokładność bezwzględna temperatury.

Osobne zagadnienie stanowi równomierność rozkładu temperatur; wiąże się ono ściśle z warunkiem stałości. W nieprawidłowo zbudowanym termostacie punkty komory użytkowej stosunkowo blisko siebie położone mogą mieć przekładnie temperatury znacznie różniące się, nawet o przeciwnych znakach. Nierównomierność rozkładu temperatur w komorze występuje na ogół w większym stopniu przy czujniku punktowym (termometr stykowy, termistor) niż przy czujniku o dużej powierzchni (rozłożone uzwojenie oporowe), ponieważ wtedy wyraźniej zaznaczają się błędy w rozmieszczeniu uzwojeń grzejnych.

Typowym środkiem zaradczym na nierównomierność rozkładu temperatur jest stosowanie wielowarstwowej izolacji termicznej na zmianę z warstwami dobrze przewodzącymi, stosowanie komór o symetrycznym kształcie i staranne rozmieszczenie grzejników. Termostaty wielowarstwowe są konstrukcyjnie trudniejsze, kłopotliwe przy montażu, uruchomieniu, próbach i pomiarach zarówno ze względów mechanicznych (nieodgodny dostęp do środka), jak i z uwagi na długotrwałe ustalanie się temperatury wnętrza. Wielowarstwowość zmniejsza, ale nie usuwa całkowicie wpływu przewodników przechodzących przez ścia-

ny termostatu, wskutek czego niejednokrotnie korzyść ze stosowania wielu warstw jest iluzoryczna.

W związku z powyższym wynikają ważne wnioski dla konstruktora termostatów wysokiej klasy (np. dla wzorca kwarcowego częstotliwości): 1) wyprowadzenia z wnętrza komory użytkowej powinny być ograniczone do minimum (np. nie należy stosować termometru kontrolnego, wyprobowadzenia wykonać z cienkiego drutu oporowego) i 2) w termostatach podwójnych (dwustopniowych) temperatura termostatu wewnętrznego powinna niewiele różnić się od temperatury termostatu zewnętrznego (rzędu 1°C).

Stać temperatury termostatu. Wymienione wyżej czynniki, jak przekładnia temperatur, nierównomierność rozkładu oraz fale ciepła, składają się na niestałość temperatury w różnych punktach komory użytkowej. W termostatach wysokiej klasy wymienione czynniki są tak zredukowane, że uwidacznia się wpływ czynników drugiego stopnia, pochodzący od niestałości zastosowanych układów i użytych elementów. Czynniki te można podzielić na dwie grupy: 1) zmieniające się nieregularnie w czasie (np. zmiany napięć zasilających, emisji lamp) oraz 2) zmiany występujące stosunkowo równomiernie w czasie („płynące w czasie”), pochodzące np. ze starzenia się materiału uzwojeń mostka, zmian w izolacji termostatu, zmiany punktu zapłonu tytronu itd. Czynniki te mają małe znaczenie np. w termostatach do krystalizacji, do badań biologicznych itp., w których temperatura zmienia się w sposób ciągły lub które pracują przez krótki okres czasu; natomiast nie można nie liczyć się z nimi w termostatach wzorca częstotliwości, gdy chodzi o stałość w długim okresie czasu. Przy małych zmianach temperatury otoczenia (np. przy umieszczeniu w drugim termostacie lub w pokoju o regulowanej temperaturze), stałość elementów i zasilania określa bezwzględną granicę stałości temperatury możliwej do uzyskania.

Dobroć termostatu. Niejednokrotnie zachodzi potrzeba porównania ze sobą termostatów i termoregulatorów różnej konstrukcji głównie pod względem uzyskania stałości temperatury w komorze wewnętrznej. Jednak bezpośredni pomiar stałości temperatury jest niejednokrotnie trudny, zwłaszcza przy termostatach wysokiej klasy. Możliwe jest jednak oszacowanie pośrednie stałości za pośrednictwem wielkości dających się łatwo mierzyć, jak okres grzania i stygnięcia termostatu. Okres ten zależy od zaskoku elektrycznego i mechanicznego termoregulatora, jak i od izolacji termicznej i bezwładności cieplnej (pojemności cieplnej) komory. Zespół dwóch ostatnich cech może być określony przez czas potrzebny do wystygnięcia termostatu.

Dla znalezienia współczynnika charakteryzującego termoregulator należy: 1) doregulować moc grzania tak, aby okres grzania równał się okresowi stygnięcia ($t_g = t_s$), oraz 2) zmierzyć czas t potrzebny do tego, aby przy wyłączonym grzaniu różnica temperatur wewnętrznej T_w (mierzonej przy czujniku) i otoczenia T_o zmalała o 10%. Współczynnik termoregulatora wyrazi się w następujący sposób:

$$h = 0,1 (T_w - T_o) \frac{t_s}{t}$$

Współczynnik ten określa również dobroć termostatu (tj. stałość temperatury wewnętrznej) w prostszych układach, w których temperatura komory i czujnika są jednakowe, tj. wówczas, kiedy nie zastosowano dodatkowych sposobów na polepszenie stałości temperatury.

4. Dodatkowe sposoby polepszenia stałości termostatu.

Przekładnia temperatury termostatu zależy w znacznym stopniu od wzajemnego położenia czujnika i grzejników. Jeżeli między ścianą komory użytkowej a warstwą izolacji cieplnej umieścimy grzejnik i czujnik w ten sposób, że grzejnik będzie bliżej komory niż czujnik, to wahania temperatury zewnętrznej wywołają mniejsze wahania temperatury wewnętrznej, niż przy odwrotnym rozmieszczeniu grzejnika i czujnika.

Już przy stosunkowo nieznacznej warstwie izolacyjnej między grzejnikiem a czujnikiem (niekiedy wystarczy szelina powietrza) przekładnia termostatu może zmienić znak, tj. obniżaniu się temperatury otoczenia będzie towarzyszył wzrost temperatury wewnętrznej komory. Pochodzi to stąd, że czujnik reguluje moc grzania tak, aby jego temperatura była możliwie stała, przy ob-

*) Materiały oporowe o stosunkowo dużym (przeważnie ujemnym) współczynniku cieplnym oporu.

niżeniu się temperatury otoczenia moc grzejników wzrasta, większa zaś ilość ciepła popłynie z grzejników na zewnątrz wtedy, gdy temperatura grzejnika wzrośnie w stosunku do stałej (w przybliżeniu) temperatury czujnika. Przez odpowiednie rozmieszczenie grzejnika i czujnika można znacznie zredukować przekładnię termostatu.

Drugi sposób polepszenia stałości polega na umieszczeniu dodatkowego małego grzejnika bezpośrednio na czujniku. Pozwala to zmniejszyć okres grzania i stygnięcia termostatu przez skrócenie czasu potrzebnego na przepływ fali ciepła od grzejników do czujnika.

W termostatach z czujnikiem mostkowym można dogodnie poprawić przekładnię temperatury przez tzw. kompensację mostka. Temperatura mostka i komory użytkowej waha się w takt pracy grzejników, przy czym średnia jej wartość w czasie zmienia się w zależności od temperatury otoczenia i przekładni temperatur. Termoregulator reguluje moc grzania tak, aby opór gałęzi czułych na temperaturę doregulować do wartości, przy której mostek jest w równowadze, przy czym w danej chwili decyduje wartość wypadkowa oporu gałęzi. Temperatura i opór drutu może być różny w różnych częściach gałęzi, a o włączeniu lub wyłączeniu grzania decyduje wartość wypadkowa oporu gałęzi.

Jeżeli odseparować część oporu czułego na temperaturę przez usunięcie jej z komory, to temperatura części odseparowanej nie będzie doregulowywana, ale będzie podążać za temperaturą otoczenia. W konsekwencji termoregulator, aby utrzymać stały opór całej gałęzi, będzie musiał doregulować grzanie tak, aby część główna oporu gałęzi związana z komorą i grzejnikami zmieniała temperaturę w kierunku przeciwnym niż temperatura otoczenia. Wielkość tej zmiany zależy od stosunku oporu odseparowanego do głównego. W rezultacie, przy prawidłowym doborze wielkości oporu odseparowanego*) (choć wypadkowa temperatura mostka maleje nieco przy obniżaniu się temperatury otoczenia) temperatura części głównej mostka i temperatura komory pozostaje stała.

Odseparowana część uzwojenia powinna być tak izolowana termicznie, aby zmiany temperatury otoczenia dochodziły do niej z takim samym opóźnieniem, jak i do głównej części mostka. W przeciwnym razie w stanach przejściowych (w czasie zmian temperatury otoczenia) powstaną wahania temperatury wewnątrz komory.

Uzyskanie dużej czułości termoregulatora jest trudne i wymaga rozbudowania układu. Duża czułość może wydać się rzeczą niecelową, ponieważ stosując wyżej wymienione sposoby można dowolnie doregulować przekładnię termostatu**). W rzeczywistości tak nie jest i dla uzyskania szczytowych stałości temperatur (0,01°C i lepiej) konieczne jest stosowanie czułego termoregulatora oraz czujnika i obudowy dobrej jakości ze względu przede wszystkim na stałość elementów urządzenia. Granice kompensacji w takich układach wyznacza z reguły stałość wielkości kompensowanej i kompensującej, a ta z kolei jest związana z dobrocią części składowych (np. statecznością zasilania).

W rezultacie przekładnia temperatur może być za pomocą kompensacji poprawiona kilkakrotnie, nie może jednak zmienić klasy termostatu***).

5. Dokładny pomiar temperatury.

Do dokładnych pomiarów temperatury w komorach termostatowych wysokiej klasy nadają się wyłącznie termometry rtęciowe, termometry z oporem platynowym i termometry termistorowe, przy czym te ostatnie powinny być skalowane przy pomocy termometrów rtęciowych lub platynowych.

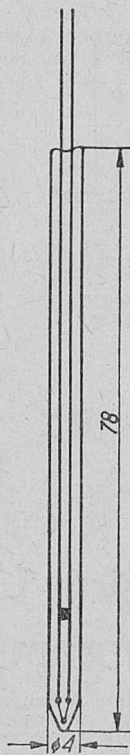
*) W praktyce część nieznaczną, rzędu 1% całego uzwojenia.

**) Podobnie rozumując należałoby uznać za niecelowe stosowanie w autodynie obwodów o dużej dobroci.

***). Szczegółowe rozważania w sprawie budowy termostatów i niektórych typów termoregulatorów oraz ich obliczania i osiaganych wyników znajdują się w opracowaniu i ukażą się w Prac. P. I. T. w artykule, dotyczącym budowy wzorców czułościowości pierwszej klasy.

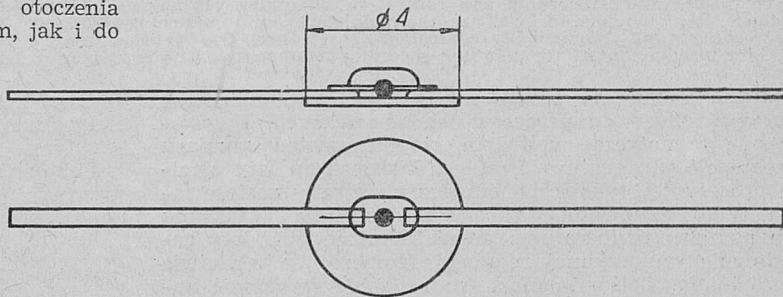
wych lub platynowych. Przy pomiarach niewielkich różnic i zmian temperatury przewaga metody termistorowej jest uderzająca.

Termometr Beckmanna może mieć podziałkę 0,001°C, dokładność ta jest jednak z reguły iluzoryczna. Stosując ostrożne „pukanie” w termometr przed każdym odczytem można liczyć na dokładność około 0,002–0,005°C, zależnie od wykonania termometru. Termometr Beckmanna jest niewygodny w użyciu, wymaga dużo miejsca i wprowadza zaburzenia do pola temperatur. Część wystająca na zewnątrz powoduje błędy, które przy parostopniowej zmianie temperatury otoczenia mogą przekroczyć dokładność odczytu. Zasadniczą wadą termometru rtęciowego jest trudność zdjęcia rozkładu temperatur punkt po punkcie; wynika to z dużych wymiarów zbiornika rtęci oraz związanej z tym ospałości wskazań. Nawet w termostacie wodnym, gdzie styk z ośrodkiem i przewodzenie ciepła do zbiornika termometru są najlepsze, widać zdecydowaną przewagę metody termistorowej. Okresowe



Rys. 1. Termistor do pomiaru temperatury, typ F 2311/30, Stand. Tel. Cabl. (skala 1:1)

wahania temperatury (związane z włączaniem i wyłączaniem grzania) mierzone termometrem Beckmanna wydają się znacznie mniejsze niż przy pomiarze termistorem. Termistor



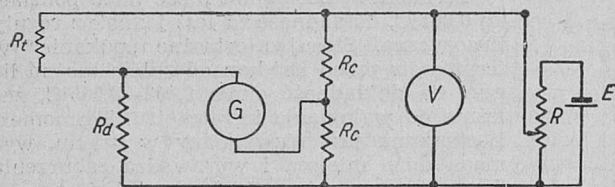
Rys. 2. Termistor do pomiaru temperatury, typ M 2442/300, (skala 5:1) Stand. Tel. Cabl.

mistor pozwala obserwować nawet chwilowe chaotyczne wahania temperatury cieczy wywołane zmianami rozprzężu wody poruszanej mieszałem.

Do pomiaru temperatury cieczy przeznaczony jest specjalny typ termistoru pokazany na rys. 1. Opór włożony od temperatury, o wymiarach łebka szpilki, wtopiony jest w czubku rurki szklanej, przez którą przechodzą odprowadzenia. Do pomiaru punktowego temperatury w powietrzu najlepiej nadaje się termistor typu „mikro” przedstawiony na rys. 2. Opór wtopiony w perełce szklanej o wymiarach nie przekraczających 1 × 2 mm jest przyklejony do tarczki utrzymującej doprowadzenia. Aby przepływ ciepła przez doprowadzenia nie wpływał na wielkość oporu termistora, samo przyłączenie oporu czułego na temperaturę wykonane jest za pośrednictwem krótkich (2 mm) drucików o średnicy mniejszej od 0,2 mm.

Najdogodniej jest posługiwać się termistorem o oporze kilku kiloomów w temperaturze mierzonej. Pozwala to przy napięciu zasilającym mostek 1,5 V i przy galvanometrze o czułości 10⁻⁹ A/mm mierzyć stałość temperatury lub zdejmovać rozkład pola temperatur z do-

kładnością $\pm 0,0005^\circ\text{C}$, jeżeli posługiwać się opornikiem o pięciu dekadach i oporze łącznym 11111 omów. Napięcie zasilające mostek powinno być regulowane z dokład-



Rys. 3. Układ do pomiaru temperatury z dokładnością $\pm 0,0005^\circ\text{C}$

- R_t — termistor
 R_d — opór dekadowy $10 \times 1 \text{ k}\Omega \ 10 \times 100 \Omega \ 10 \times 10 \Omega \ 10 \times 1 \Omega \ 10 \times 0,1 \Omega$
 R_c — opór 5 kΩ
 R — opór 100 Ω
 E — ogniwo (2 V)
 G — galwanometr (1 mm/10–9 A)
 V — woltomierz do 2 V (1 mm/0,01 V)

nością większą niż 0,1%, aby nie powodować błędów wynikłych ze zmiany mocy zużywanej w termistorze (rys. 3).

MGR INŻ. SOCHOR BRONISŁAW

Pomiar i regulacja temperatury w przemyśle

621.317.39

Treść. Zasady działania i zalety w zastosowaniu przemysłowym termometrów oporowych, termometrów termoelektrycznych oraz elektrycznych pirometrów optycznych. Regulacja i regulatory temperatury. Pewność ruchu elektrycznych urządzeń grzejnych z samoczynną regulacją temperatury. Termometry piszące. Kierunki, w których powinna zdążyć produkcja przyrządów do pomiaru i regulacji temperatury celem zaspokojenia potrzeb przemysłu.

Измерение и регулировка температуры в промышленности. Принципы действия и преимущества промышленного применения электрических термометров с сопротивлением, термоэлектрических термометров и электро-оптических пирометров. Регулировка и регуляторы температуры. Надежность действия электрических нагревательных устройств с автоматической регулировкой температуры. Пишущие термометры. Цели, к которым должно быть направлено производство приборов для измерения и регулировки температуры для того, чтобы были удовлетворены нужды промышленности.

Temperature recording and control in industries. Principles of operation and advantages of the industrial use of resistance thermometers, as well as thermo-electric and optical pyrometers. Temperature control and controllers. Reliability of operation of automatically controlled electric heat treatment equipment. Recording thermometers. Trends to be followed in the production of temperature recording and control equipment, in order to meet industrial requirements.

Postęp techniczny polega m. inn. na udoskonaleniach wprowadzanych do procesów technologicznych. Udoskonalenia te dotyczą w dużym stopniu metod pomiaru i regulacji temperatury. Przed kilkudziesięciu laty ciepłe procesy technologiczne odbywały się przy zastosowaniu tylko najprymitywniejszych sposobów określania lub pomiaru temperatury; przed kilkudziesięciu laty zagadnienie samoczynnej regulacji temperatury właściwie nie istniało. Dziś natomiast trudno sobie wyobrazić należycie postawiony zakład produkcyjny (hartownię, odlewnię, walcownię itp.) bez elektrycznych urządzeń grzejnych, pozwalających ściśle sprawdzać i dokładnie regulować temperaturę w procesach cieplnych.

Pomiar temperatury w urządzeniach przemysłowych opiera się — jeżeli pominiemy przyrządy o mniejszym dla przemysłu znaczeniu — na trzech zasadniczych typach termometrów elektrycznych. Są to w zależności od sposobu działania:

- termometry oporowe, służące do pomiaru temperatur od najniższych do 500°C ,
- termometry termoelektryczne, stosowane najczęściej od 500° do 1500°C ,
- pirometry optyczne — od 1000° do 3000°C .

Powyższe typy termometrów i pirometrów pokrywają cały zakres temperatur używanych w przemyśle.

Zajęcie zdecydowanie pierwszego miejsca — w przemysłowej technice pomiaru temperatur — przez termometry elektryczne jest spowodowane przede wszystkim tym, że pozwalają one na pomiar zdalny. Usprawnienie procesów technologicznych, ułatwienie obsługi, szybkie reagowanie na występujące zakłócenia w pracy — wszystko to wymaga centralizacji przyrządów pomiarowych. Centralizacja taka jest możliwa przy zastosowaniu termometrów zdalnych, to znaczy pozwalających na umieszczenie miernika w znacznej odległości od miejsca pomiaru, w którym znajduje się tylko organ reagujący na

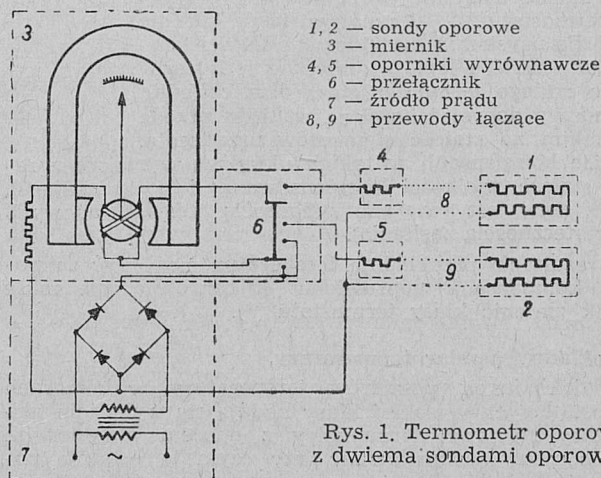
Termometr platynowy ustępuje termistorowemu przy pomiarach zmian lub rozkładów temperatur w zakresie do $200\text{--}300^\circ\text{C}$. Wynika to z dziesięciokrotnie mniejszego współczynnika termicznego oporu i ze znacznie większej bezwładności cieplnej termometru platynowego. Z drugiej strony z termometrem platynowym związana jest obowiązująca skala temperatur, dzięki czemu daje on najbardziej miarodajny pomiar bezwzględnej wartości temperatury w zakresie aż do 1200°C .

LITERATURA

- Griffiths R. Thermostats and temperature-regulating instruments (London, 1943).
 Dickinson R. Thermistor continuous temperature control for biological research (Electronic Eng., 1949, t. 21, str. 408).
 Mouzon A. A simple temperature controller (Rev. Scient. Instr., 1948, t. 19, str. 659).
 Aumont M. Un régulateur de température à action continue par thyatron (Rev. Gén. Electr., 1950, t. 59, str. 175).
 Kołomieć B. Termistory (Elektryczestwo, 1947, nr 3).
 Alpert W. Półprzewodniki i ich zastosowanie (Przegl. Telekom., 1949, nr 2–3, str. 63).
 Hennig K. Temperatur-Messung (1951).

zmiany temperatury, tj. sonda oporowa, sonda termoelektryczna lub luneta pirometru o promieniowaniu całkowitym.

Termometry oporowe w układzie logometrycznym (dwie skrzyżowane zwojnice), podanym na rys. 1, pozwalają mierzyć temperaturę przy odległo-



Rys. 1. Termometr oporowy z dwiema sondami oporowymi

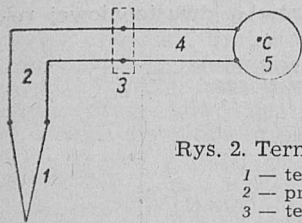
ściach sondy oporowej od miernika, wynoszących do 200 m. Termometry te wykazują oprócz tego dalsze zalety, a mianowicie:

- a) możliwość osiągnięcia dużych dokładności pomiaru pomimo zasilania prądem zmiennym o zmiennej wysokości napięcia,
- b) możliwość łączenia pomiaru temperatury z jej zapisywaniem i regulacją,

c) możliwość zastosowania dowolnie wybranego zakresu temperatur w dopuszczalnych granicach,
d) możliwość wykonania miernika o dużej wyrażnej skali temperatur,
e) możliwość użycia jednego miernika z kilkoma sondami oporowymi, umieszczonymi w różnych miejscach.

Zalety te sprawiają, że termometry oporowe w zakresie temperatur od -50° do 500°C stały się przyrządami o największym zastosowaniu.

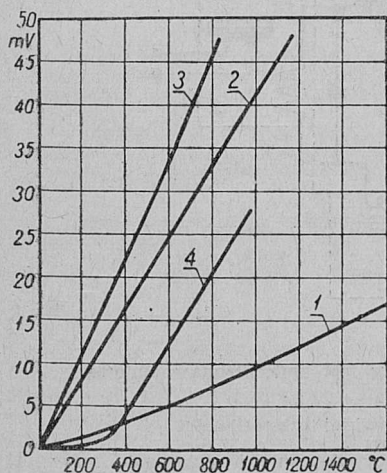
Termometry termoelektryczne, w układzie jak na rys. 2, również wykazują w pewnym stopniu zalety podane przy omawianiu termometrów oporowych. Zastosowanie ich w przemyśle — w zakresie temperatur od 500°C do 1500°C — jest bardzo sze-



Rys. 2. Termometr termoelektryczny

- 1 — termoelement
- 2 — przewody kompensacyjne
- 3 — termostat
- 4 — przewody łączące
- 5 — miernik temperatury

rokie. Zasadniczą różnicę, ze względów eksploatacyjnych, między termometrami oporowymi a termometrami termoelektrycznymi stanowi brak w tych ostatnich osobnego źródła zasilania. Jest to cecha dodatnia termometru. Z drugiej jednak strony w obwodzie termometru termoelektrycznego płynie bardzo mały prąd, a tym samym występują małe siły działające na układ ruchomy miernika, co wymaga bardzo dokładnego wykonania tego miernika oraz umiejętnej montażu i konserwacji termometru. Dokładność pomiaru temperatury przy pomocy termometru termoelektrycznego jest dla celów przemysłowych wystarczająca, jeżeli są zastosowane przewody kompensacyjne, termostaty lub mierniki w specjalnym wykonaniu, niezależniącym wskazania od wahań temperatury otoczenia, a tym samym od wahań temperatury odniesienia termoelementu. Pewne uproszczenie w budowie termometrów termoelektrycznych pod względem niezależnienia się od wpływów wahań temperatury otoczenia uzyskuje się przez zastosowanie termoelementów o specjalnej charakterystyce temperaturowej. Termoelement taki powinien — w zakresie temperatur, w którym występują wahań temperatury otoczenia, np. od -50°C do 100°C — wykazywać znikomo małą siłę termoelektryczną. Charakterystykę temperaturową termoelementu, złożonego ze stopów $80\% \text{ Ni} + 20\% \text{ Fe}$ i $78\% \text{ Ni} + 20\% \text{ Cu} + 2\% \text{ Mn}$, podaje krzywa 4 na rys. 3; charakterystyka ta odbiega



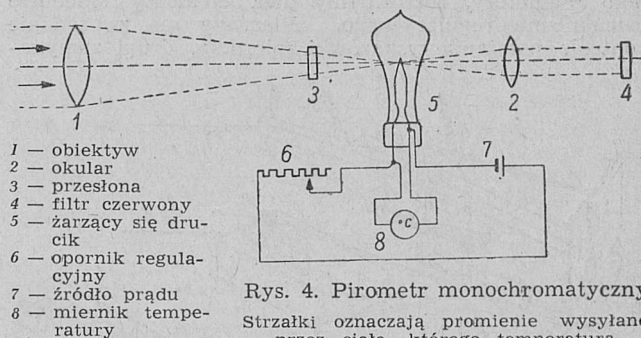
Rys. 3. Charakterystyki temperaturowe termoelementów

- 1 — platynorod — platyna
- 2 — chromel — alumel
- 3 — żelazo — konstantan
- 4 — $(80\% \text{ Ni} + 20\% \text{ Fe})$
— $(78\% \text{ Ni} + 20\% \text{ Cu} + 2\% \text{ Mn})$

wyrażnie od prawie prostoliniowych charakterystyk najczęściej dotychczas używanych termoelementów: platynorod — platyna, chromel — alumel i żelazo — konstantan.

Pirometry optyczne są używane w przemyśle najczęściej w dwóch wykonaniach, jako pirometry monochromatyczne i pirometry całkowitego promieniowania. Pirometry monochromatyczne pozwalają na większą dokładność pomiaru temperatury niż pirometry całkowitego promieniowania, wykazują jednak dużą niedogodność, gdyż wymagają przed odczytem temperatu-

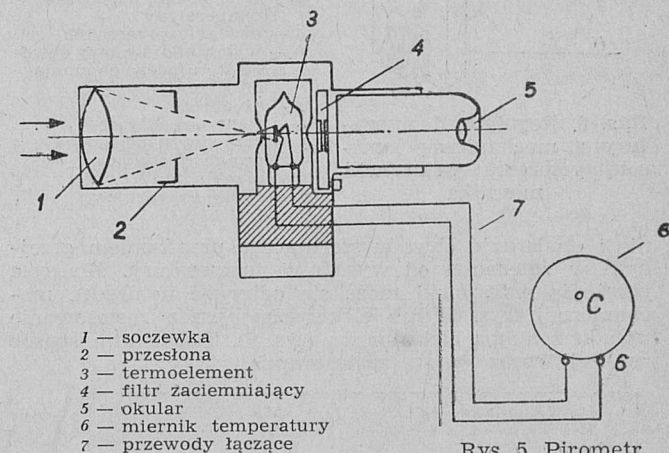
ry każdorazowego wyrównania jasności drucika żarówki z jasnością ciała badanego. Z tego powodu pirometry monochromatyczne są ograniczone w użyciu, gdyż nie mogą służyć do regulacji i rejestracji temperatury.



Rys. 4. Pirometr monochromatyczny

Strzałki oznaczają promienie wysyłane przez ciało, którego temperatura jest mierzona

Oprócz tego dokładny pomiar temperatury za pomocą pirometru monochromatycznego na drodze fotometrycznej, tj. przez porównanie jasności, jak to podaje rys. 4, wymaga wprowadzania dodatkowych poprawek uwzględniających emisyjność (stopień czerni) ciała badanego. Z tych powodów pirometry monochromatyczne zastępuje



Rys. 5. Pirometr całkowitego promieniowania

Strzałki oznaczają promienie wysyłane przez ciało, którego temperatura jest mierzona

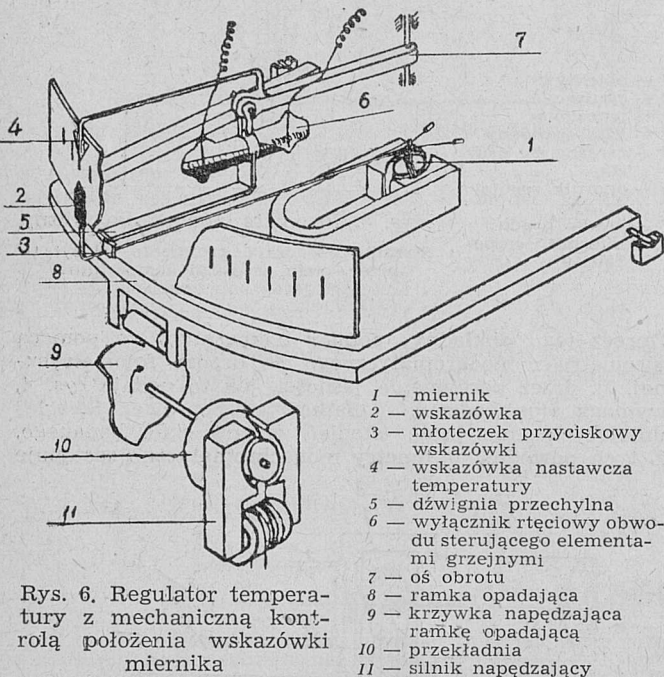
się mniej dokładnymi pirometrami całkowitego promieniowania, zbudowanymi najczęściej, jak to wyjaśnia rys. 5, na zasadzie termoelektrycznej i umożliwiającymi zapisywanie i regulację temperatury. Dokładność pomiaru temperatury dokonywanego pirometrami całkowitego promieniowania jest mała. Błąd wskazania może wynosić nawet 200°C ; jest on przy tym trudny do ustalenia, najczęściej więc pirometry całkowitego promieniowania służą do wskazywania najkorzystniejszych warunków pracy urządzeń grzejnych.

W zakresie obróbki cieplnej metali wymagania przemysłu co do dokładności wskazań termometrów zawierają się przeważnie w granicach $\pm 5^{\circ}\text{C}$, co na ogół jest z łatwością osiągalne. Poza tym termometry elektryczne umożliwiają osiągnięcie znacznie większych dokładności. Najczęściej trudności dokładnego pomiaru temperatury są związane z zagadnieniami konstrukcyjnymi sond oporowych lub sond termoelektrycznych oraz z zagadnieniami prawidłowego ich umieszczenia w urządzeniach grzejnych.

W budowie regulatorów temperatury wyzyskujemy przede wszystkim zasadę działania termometrów oporowych i termoelektrycznych oraz pirometrów całkowitego promieniowania. Oprócz tego do regulacji niskich temperatur są używane w dużym stopniu termometry rozszerzalnościowe i ciśnieniowe, np. rtęciowe, bimetalowe itp. Mechanizm służący do regulacji temperatury może być wykonany w różny sposób. Bardzo proste rozwiązania są zastosowane w regulatorach

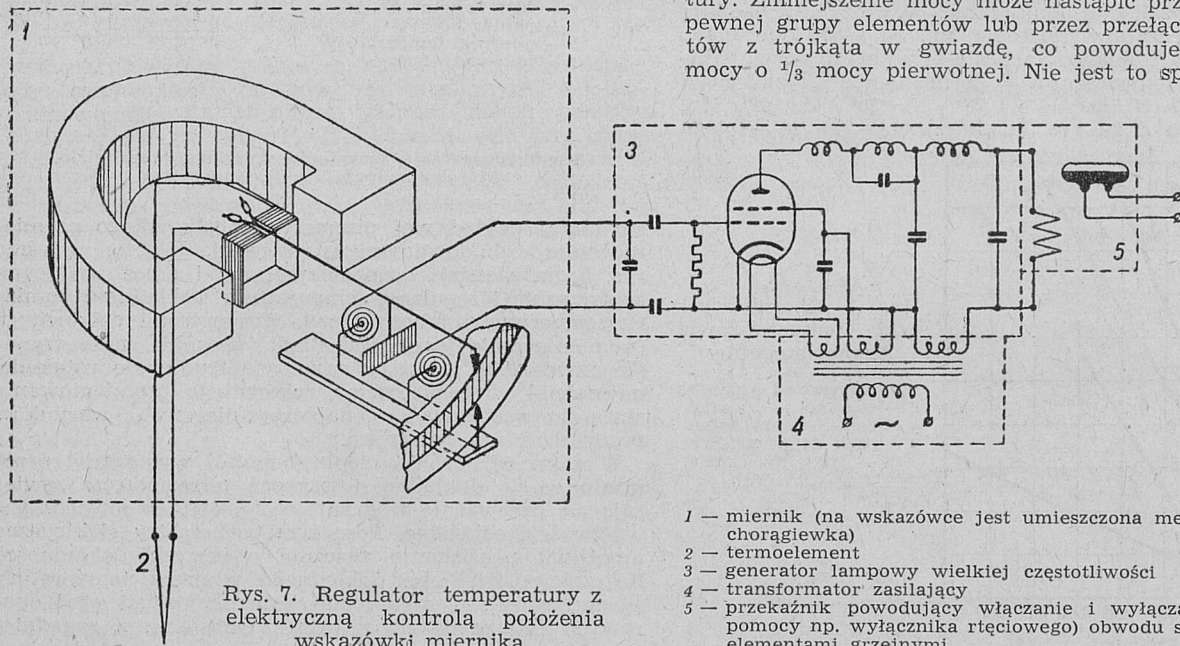
rozszerzalnościowych: są to styki lub wyłączniki rtęciowe umieszczone na układach dźwigniowych.

W termometrach oporowych i termoelektrycznych oraz pirometrach całkowitego promieniowania, użytych jako regulatory, rozróżniamy dwa elementy składowe mechanizmu regulacyjnego. Pierwszy ma za zadanie kontrolę położenia wskazówki miernika, drugi zamyka-



Rys. 6. Regulator temperatury z mechaniczną kontrolą położenia wskazówki miernika

nie i otwieranie obwodu sterującego urządzeniem grzejnym w zależności od wysokości temperatury. Kontrola położenia wskazówki może się odbywać w drodze mechanicznej (rys. 6) lub elektrycznej przez zastosowanie układu z lampą elektronową (rys. 7). Ten ostatni sposób znajduje coraz szersze zastosowanie.

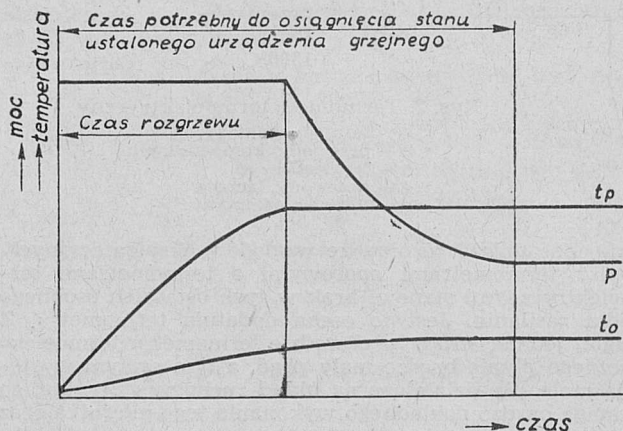


Rys. 7. Regulator temperatury z elektryczną kontrolą położenia wskazówki miernika

Odmienne rozwiązania posiadają regulatory temperatury budowane w układach kompensacyjnych; są to regulatory o dużej dokładności pomiaru i regulacji temperatury.

Zasadniczym zagadnieniem regulacji temperatury jest dostosowanie metody pomiaru i regulacji do konstrukcji urządzenia grzejnego. Wykres podany na rys. 8 przedstawia przebieg zmiany mocy urządzenia grzejnego w zależności od czasu na tle zmiany temperatury przestrze-

ni nagrzewanej. Z wykresu tego wynika, że z chwilą osiągnięcia przez przestrzeń nagrzewaną wymaganej temperatury moc urządzenia powinna się w sposób ciągły zmniejszać, aż nastąpi ustalony stan cieplny całego urządzenia grzejnego. Zmniejszanie mocy grzejnika w sposób ciągły jest jednak w praktyce trudne do osiągnięcia. Najczęściej stosujemy przy małych mocach całkowite wyłączenie elementów grzejących i ponowne włączanie, prowadzi to jednak do wahań temperatury przestrzeni nagrzewanej. Wahania te w dużym stopniu zależą od konstrukcji urządzenia grzejnego i użytych materiałów i mogą być niekiedy bardzo znaczne. Przeciwdziałamy temu używając regulatorów o dwustopniowej re-



Rys. 8. Zmiana temperatury przestrzeni nagrzewanej i mocy grzejnika w zależności od czasu

t_p — temperatura przestrzeni nagrzewanej
 t_o — temperatura obudowy grzejnika
 P — moc grzejnika

gulacji. Pozwala to na zmniejszenie mocy grzejnika z chwilą osiągnięcia przez niego wymaganej temperatury. Zmniejszenie mocy może nastąpić przez wyłączenie pewnej grupy elementów lub przez przełączenie elementów z trójkąta w gwiazdę, co powoduje zmniejszenie mocy o $1/3$ mocy pierwotnej. Nie jest to sposób zupełnie

zadowalający, lecz daje już pewne zbliżenie do warunków przedstawionych na wykresie.

Dalszym zagadnieniem jest pewność ruchu urządzeń grzejących. Termometry i regulatory są narażone na uszkodzenia, które mogą spowodować ich błędne działanie. Przy pomiarze temperatury może to wywołać trudności ruchowe, przy regulacji zaś temperatury prowadzi najczęściej do całkowitego zniszczenia grzejnika.

Przerwa w dopływie prądu do regulatora oporowego powoduje zatrzymanie się wskazówki w miejscu osiągniętego poprzednio wychylenia. Z tego powodu w miernikach musi być stosowane urządzenie, cofające wskazówkę do początku skali z chwilą powstania przerwy w zasilaniu. Przerwa w obwodzie pomiarowym w regulatorach termoelektrycznych, występująca najczęściej wskutek zniszczenia termoelementu, oraz w pirometrach całkowitego promieniowania powoduje powrót wskazówki do początku skali. W tych wszystkich przypadkach regulatory przestają reagować na zmiany temperatury i wobec tego urządzenia grzejne mogą osiągnąć zbyt wysoką temperaturę, co ostatecznie prowadzi do zniszczenia grzejnika. By temu zapobiec, stosuje się dwa sposoby: pierwszy powoduje wyłączenie elementów grzejnych z chwilą cofnięcia się wskazówki do początku skali, drugi powoduje pełne wychylenie wskazówki z chwilą powstania przerwy w obwodzie pomiarowym i — co za tym idzie — również wyłączenie elementów grzejnych.

Wymagania stawiane urządzeniom grzejnym, wynikające z racjonalizowania procesów technologicznych, prowadzą do stosowania przyrządów dających coraz lepszą kontrolę zmian temperatury. Przyrządami takimi są termometry piszące, bardzo często wielopunktowe i połączone z regulacją temperatury. W termometrach o dużym momencie obrotowym, działającym na układ ruchomy, mechanizm zapisujący jest stosunkowo prosty; w termometrach o małym momencie obrotowym, np. termoelektrycznych, mechanizm zapisujący musi być rozwiązany w taki sposób, by nie wpływał ujemnie na dokładność wskazań. Rozwiązania te idą obecnie w kierunku stosowania wzmacniaczy elektro-nych.

Odmienne rozwiązania mechanizmów piszących spotykamy w termometrach i regulatorach połączonych z kompensatorami. Ponieważ wskazówka miernika ustawia się za każdym razem, po uzyskaniu stanu kompensacji, w położenie zerowe, mechanizm zapisujący jest powiązany ze stykiem opornika regulacyjnego układu kompensacyjnego.

Na podstawie przytoczonych uwag możemy zagadnienie pomiaru i regulacji temperatury w przemyśle ująć w następujące punkty, podające wymagania i kierunki, w których produkcja tych przyrządów powinna zdyktować dla całkowitego zaspokojenia potrzeb przemysłu.

1) Produkowane termometry elektryczne muszą pozwalać na mierzenie temperatur w zakresie interesującym przede wszystkim przemysł, tj. od -50°C do 2000°C przy zachowaniu wymaganych dokładności wskazań; poza tym muszą umożliwiać pomiar zdalny i dawać dużą pewność wskazań; warunkom tym odpowiadają termometry oporowe i termoelektryczne oraz pirometry monochromatyczne.

2) Regulatory temperatury, będące podstawą automatyzacji procesów cieplnych, muszą spełniać warunki wymienione dla termometrów, a prócz tego dawać gwarancję pewności ruchu, tj. nieprzekraczania przez grzejnik nastawionej temperatury. Dokładność regulacji temperatury jest zależna od konstrukcji regulatora i urządzenia grzejnego oraz od zastosowania metody regulacji. Budowane regulatory muszą uwzględniać te zagadnienia i mogą być oparte na zasadzie działania termometrów rozszerzalnościowych, ciśnieniowych, oporowych, termoelektrycznych i pirometrów całkowitego promieniowania.

3) Termometry i regulatory powinny być w ten sposób budowane, by istniała możliwość produkowania ich również jako przyrządów piszących.

4) Przy produkcji termometrów i regulatorów należy brać pod uwagę zagadnienie konserwacji i wiążącą się z tym sprawę części zamiennych.

5) Należy stworzyć warunki, umożliwiające sprawdzanie termometrów i regulatorów zarówno w powołanych do tego instytucjach, jako też przez użytkowników.

6) Dalszy postęp w dziedzinie pomiaru i regulacji temperatury powinien iść w kierunku budowy przyrządów w układach kompensacyjnych, zapewniających większą dokładność wskazań i wyposażonych w wielopunktowe urządzenia do zapisywania zmian temperatury.

JÓZEF ROLIŃSKI

Komórki fotoelektryczne i ich zastosowanie do kontroli i automatyzacji procesów technologicznych

621.383;621.317.087;621.312

Treść. Opisano komórki fotoelektryczne stosowane w praktyce, podano ich charakterystyki prądowo-napięciowe oraz rozkład widmowy czułości fotoelektrycznej. Przedstawiono najprostsze obwody wzmacniające lamp elektronowych oraz szereg zastosowań do kontroli i automatyzacji procesów technologicznych w różnych działach przemysłu.

Фотоэлементы и их применение в области контроля и автоматизации технологических процессов. Описаны фотоэлементы, применяемые на практике, даны их характеристики „ток-напряжение” и спектральное распределение их чувствительности. Представлены простейшие усилительные цепи электронных ламп и ряд применений фотоэлементов для контроля и автоматизации технологических процессов в различных отраслях промышленности.

Photo-electric cells and their application for the control and automatization of technological processes. Description of types of photoelectric cells used in practice, with reference to their current and voltage characteristics and spectral distribution of photo-electric sensitivity. The article also deals with the simplest amplification circuits of thermionic valves and with a number of uses of photo-electric cells for the control of technological processes in various industrial branches.

1. Wstęp.

Komórki fotoelektryczne, działające na zasadzie tzw. zjawiska fotoelektrycznego, znajdują obecnie szerokie zastosowanie. Stają się one przyrządami niemal tak szeroko rozpowszechnionymi, jak np. lampy elektronowe. Mimo różnorodnych typów i konstrukcji istniejących komórek łatwo jest orientować się w ich działaniu, gdyż zjawisko fotoelektryczne jest dziś dość dobrze wyjaśnione, szczególnie w odniesieniu do tzw. zewnętrznego zjawiska.

W licznych zastosowaniach komórek fotoelektrycznych zarówno do celów pomiarowych, jak i do celów rejestracji, przekazywania sygnałów, kinotechniki dźwiękowej, telewizji i innych, a w szczególności do automatyzacji i kontroli procesów technologicznych w różnych gałęziach przemysłu, rola tych komórek wraz z układami lamp elektronowych jest niezwykle ważna dziś i będzie wra- stać w przyszłości.

Zakres zastosowania komórek fotoelektrycznych, jakkolwiek bardzo szeroki obecnie, może być jeszcze znacz-

nie rozszerzony na rozmaite dziedziny, w których dotychczas komórki nie znalazły zastosowania. Stoją tu otworem szerokie możliwości do pracy twórczej techników, w szczególności elektrotechników, nad zastosowaniem komórek w tak ważnych zagadnieniach, jak np. zwiększenie kontroli w różnych procesach technologicznych oraz ich automatyzacja. Jest to dziedzina, w której mogą mnożyć się różne pomysły nowatorskie i racjonalizatorskie, prowadzące do konkretnych osiągnięć, których wynikiem może być potanie i zwiększenie produkcji przy jednoczesnym podniesieniu jakości wyrobów przemysłowych. Potwierdzają to liczne przykłady istniejących już obecnie zastosowań.

W zjawiskach wyzwalania elektronów wskutek działania światła rozróżniamy 3 grupy zjawisk fotoelektrycznych: 1) powierzchniowe, 2) objętościowe (komórki oporowe), 3) fotoelektromotoryczne (ogniwa fotoelektryczne).

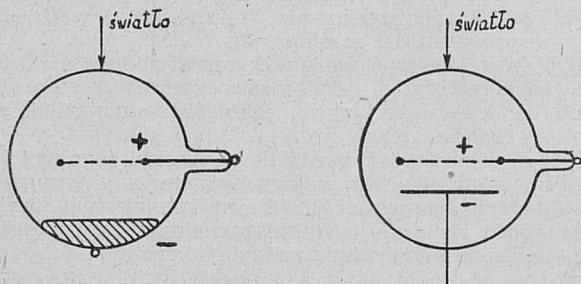
Powierzchniowe zjawisko fotoelektryczne polega na wytrąceniu elektronów z ciał stałych i ciekłych do otoczenia, którym może być próżnia, lub gaz; nazywamy je zjawiskiem zewnętrznym.

Objętościowe zjawisko fotoelektryczne polega na oddzieleniu elektronów od więzi atomowej wewnątrz pewnej objętości danej substancji. Wywołuje to zmianę oporności elektrycznej. Nie możemy oczekiwać znacznych jej zmian wewnątrz metali pod wpływem jedynie działania zjawiska fotoelektrycznego, gdyż przewodność metali jest na ogół bardzo duża; ze względu na małą liczbę elektronów wyzwanych w stosunku do liczby elektronów swobodnych, znajdujących się w metalu, gdy jest on w fazie stałej lub ciekłej, procentowe zmiany oporności nie mogą być duże. Najłatwiej daje się stwierdzić zwiększenie przewodności elektrycznej, spowodowane naświetlaniem, w półprzewodnikach, a także w gazach i dielektrykach.

Przepływ prądu w obwodzie zewnętrznym otrzymujemy w dwu wyżej rozpatrzonych przypadkach (zjawisko powierzchniowe i objętościowe), jeżeli wytworzymy różnicę potencjałów pomiędzy katodą a anodą. Natomiast w trzecim przypadku, gdy mamy metal pokryty błoną półprzewodnika, np. Cu_2O lub Se, prąd w zamkniętym obwodzie zewnętrznym płynie bez osobnego źródła sem. Jedynie pod wpływem naświetlania powstaje różnica potencjałów pomiędzy metalem a półprzewodnikiem. W przypadkach pierwszym i drugim układy, w których występuje zjawisko fotoelektryczne, nazywamy komórkami fotoelektrycznymi, w przypadku trzecim — ogniwami fotoelektrycznymi.

2. Opis zasadniczych konstrukcji komórek fotoelektrycznych o zjawisku zewnętrznym.

Schemat najprostszej komórki przedstawiony jest na rys. 1. Widzimy tam bańkę szklaną z umieszczoną na jej



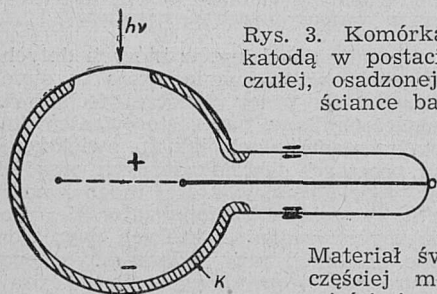
Rys. 1. Schemat najprostszej komórki fotoelektrycznej o zjawisku zewnętrznym

Rys. 2. Komórka fotoelektryczna z katodą w postaci płytki

wewnętrznej powierzchni w dolnej części katodą z substancji światłoczułej. W środkowej części komórki znajduje się siatka metalowa na pierścieniu metalowym, stanowiąca anodę. Osadzona na szkle katoda jest wykonana z metalu alkalicznego.

Komórka, przedstawiona schematycznie na rys. 2, tym różni się od komórki z rys. 1, że katoda składa się z płytki metalowej, stanowiącej podłoże dla osadzenia na niej substancji światłoczułej, wykonanej odpowiednio dla osiągnięcia większej czułości.

Typ komórki, odmienny od wyżej opisanych, ma elektrodę ujemną (katodę) o dużej powierzchni, która niemal całkowicie otacza elektrodę dodatnią (anodę). Komórka tego typu w układzie kulistym jest pokazana na rys. 3.

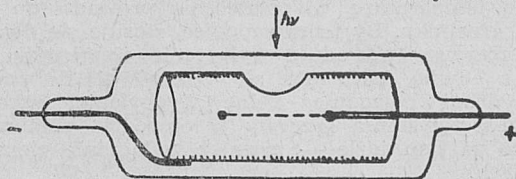


Rys. 3. Komórka fotoelektryczna z katodą w postaci warstwy światłoczułej, osadzonej na wewnętrznej ścianie bańki szklanej

Materiał światłoczuły — najczęściej metal alkaliczny — mieści się na wewnętrznej powierzchni bańki szklanej i pokrywa prawie całkowicie jej powierzchnię z wyjątkiem okienka, przez które przenika do wnętrza światło, i miejsca przyłączenia bocznej rurki. Taka konstrukcja stwarza korzystniejsze warunki do pracy, albowiem powierzchnia katody jest tu większa, a także lepsza jest tu izolacja pomiędzy anodą a katodą. W komórkach, używanych do dokładniejszych prac pomiarowych, stosuje się —

w celu wyeliminowania prądów upływowych na powierzchni bańki szklanej — tzw. pierścienie ochronne. Na rys. 3 widoczne są takie pierścienie metalowe na rurce bocznej wewnątrz i zewnątrz. Dla wyeliminowania prądów upływowych w takiej komórce należy je skompensować przy całkowitym zasłonięciu komórki od światła padającego i przy doprowadzeniu do elektrod normalnego napięcia, przy jakim zazwyczaj odbywa się pomiar. Dla skompensowania prądu upływowego doprowadzamy do pierścieni ochronnych napięcie odpowiedniej wielkości i odpowiedniego znaku.

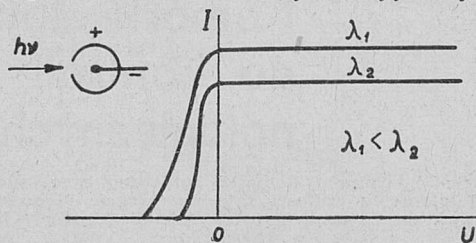
Na rys. 4 przedstawiona jest komórka fotoelektryczna, w której elektroda katodowa w kształcie cylindra otacza



Rys. 4. Komórka z katodą cylindryczną otaczającą anodę, umieszczoną w środku

anodę umieszczoną w środku. Światło wchodzi do tej komórki tylko przez niewielki otwór w elektrodzie cylindrycznej, która jest katodą. Wewnętrzna powierzchnia tej katody cylindrycznej jest pokryta warstwą światłoczułą metalu alkalicznego. Powierzchnia wewnętrzna szkła po wyżarzeniu, a więc i odgazowaniu, jest zazwyczaj doskonałym izolatorem, oczywiście, pod warunkiem, że na tej powierzchni odparowanej nie ma niewidocznej warstewki metalu alkalicznego. Natomiast zewnętrzna powierzchnia szkła jest na ogół złym izolatorem.

Dla polepszenia własności izolacyjnych komórek należy je przechowywać w suchym powietrzu. Często dla polepszenia własności izolacyjnych komórek pokrywa się ich zewnętrzną powierzchnię specjalnym woskiem po uprzednim lekkim ogrzaniu bańki szklanej. Wspomniane tu duże wymagania doskonałej izolacji stawia się tylko wtedy, kiedy mamy do czynienia ze słabymi prądami fotoelektrycznymi, mierzonymi przy użyciu b. czułych galwanometrów lub elektrometrów. Powyższe zabezpieczenia nie są potrzebne w przypadkach, gdy mamy silniejsze prądy (np. większe od $\sim 10^{-10}$ A), mierzone mniej czułymi galwanometrami. Dobrą izolację otrzymuje się



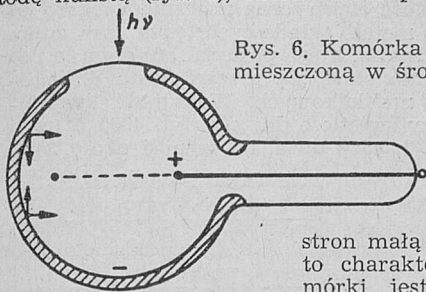
Rys. 5. Charakterystyki prądowo-napięciowe komórki z centralną katodą kulistą

przy użyciu „pyrexu” jako materiału do wykonania bańki komórkowej. Większość komórek fotoelektrycznych spotykanych w handlu nie posiada pierścieni ochronnych. Szkło bańki stanowi w nich wystarczającą izolację.

Zatrzymajmy się na razie na charakterystykach dwóch zasadniczych typów komórek fotoelektrycznych kształtu kulistego.

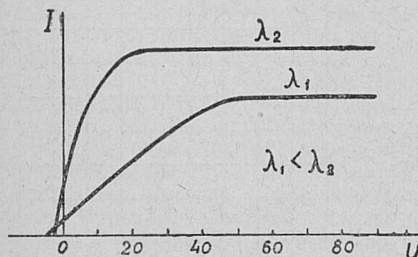
Jeżeli za katodę służy mała kulka, umieszczona wewnątrz kulistej komórki o dużej próżni, a anoda otacza ją ze wszystkich stron, jak przedstawiono na rys. 5, wówczas prąd fotoelektryczny osiąga wartość największą (stan nasycenia) przy zerowym napięciu na elektrodach. Na rysunku widzimy dwie charakterystyki, otrzymane dla światła monochromatycznego o dwu różnych długościach λ_1 i λ_2 . Z przebiegu krzywych widać, że przy krótszej fali λ_1 prąd fotoelektryczny w stanie nasycenia jest większy od prądu przy dłuższej fali λ_2 . Jest rzeczą charakterystyczną dla komórki tego typu (mała katoda w środku kuli), że stan nasycenia otrzymuje się wtedy, kiedy między elektrodami nie ma żadnego pola elektrycznego. Dzieje się tak wskutek tego, że żaden elektron, który wychodzi z centralnej katody pod wpływem światła, nie powraca do niej, a nawet najsłabsze pole elektryczne kieruje go ku anodzie, osadzonej na powierzchni kuli. Po-

dobny w zasadzie przebieg charakterystyki uzyskuje się dla płaskich elektrod katodowych, umieszczonych w środkowej części komórki. Jeżeli natomiast komórka ma katodę kulistą (rys. 6), która otacza prawie ze wszystkich



Rys. 6. Komórka z kulistą anodą, umieszczoną w środku bańki szklanej

stron małą anodę wewnętrzną, to charakterystyka takiej komórki jest inna, jak widać z rys. 7. Z przebiegu charakterystyk wynika, że przy rozmieszczeniu środkowym anody słabe pole przyspieszające nie zdoła odprowadzić wszystkich fotoelektronów z katody do anody, wskutek



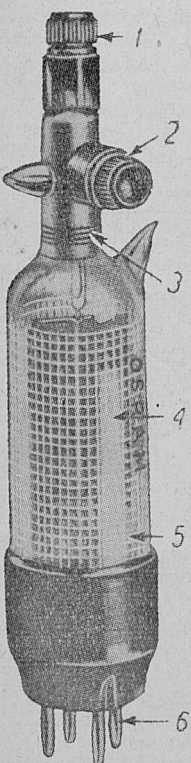
Rys. 7. Charakterystyki prądowo-napięciowe komórki z kulistą anodą, osadzoną w środku bańki szklanej

czego prąd nasycenia otrzymuje się dopiero przy silniejszym polu przyspieszającym. Napięcie przyspieszające powinno być tym wyższe, im większa jest początkowa energia elektronów, przebiegających w pobliżu anody, a więc im krótsza jest fala (λ_1), a wyższa częstotliwość (ν_1). Porównanie krzywych dla dwu różnych długości fal światła padającego potwierdza powyższe, albowiem przy fali λ_1 krótszej od λ_2 stan nasycenia uzyskuje się przy silniejszym polu elektrycznym przyspieszającym.

Komórki fotoelektryczne wyższych typów składają się z elektrod, osadzonych w bańce przepuszczającej światło, najczęściej wykonanej ze szkła. Wewnątrz bańki istnieje wysoka próżnia, bądź też bańka jest wypełniona gazem szlachetnym przy niewielkim ciśnieniu rzędu kilku torów. Użycie takich gazów, jak tlen lub powietrze, jest niedopuszczalne ze względu na utlenianie warstwy światłoczułej. Katoda zawiera na swojej powierzchni warstwę światłoczułą. Anodę wykonywa się często w postaci pręcika lub siatki. Dodatni potencjał anody wywołuje pole elektryczne, przyspieszające elektrody i kierujące je ku anodzie. Wytwarza się w ten sposób prąd w obwodzie komórki. Powierzchnię katody tworzy się bądź na wewnętrznej ścianie szklanej bańki, bądź na płytce metalowej, osadzonej w środkowej części bańki. Na ogół spotykamy bardzo różnorodne kształty elektrod i bańek. Płytki, użyte na katodę, często mają kształt półcylindrów lub litery V.

Komórka fotoelektryczna próżniowa z katodą czesową przedstawiona jest na rys. 8. Jest ona przeznaczona głównie do

Rys. 8. Komórka próżniowa z katodą czesową

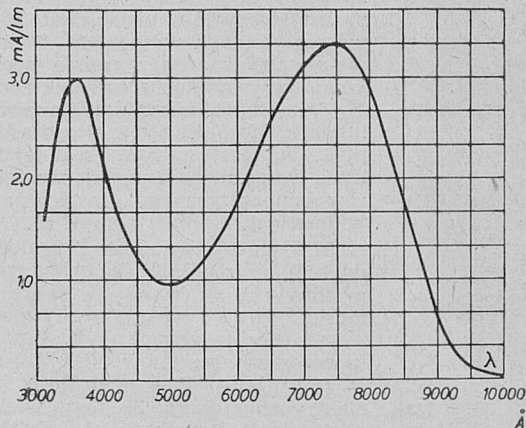


- 1 — zacisk katodowy
- 2 — zacisk pierścienia ochronnego wewnętrznego
- 3 — pierścień ochronny zewnętrzny
- 4 — katoda
- 5 — anoda siatkowa
- 6 — kolek anodowy

prac pomiarowych w zakresie dłuższych fal światła w obszarze widzialnym widma oraz w bliskiej podczerwieni. Katoda wykonana jest z płytki srebrnej, uczulonej war-

stwą złożoną z tlenku srebra, na którym osadzony jest czes w postaci warstewki monoatomowej.

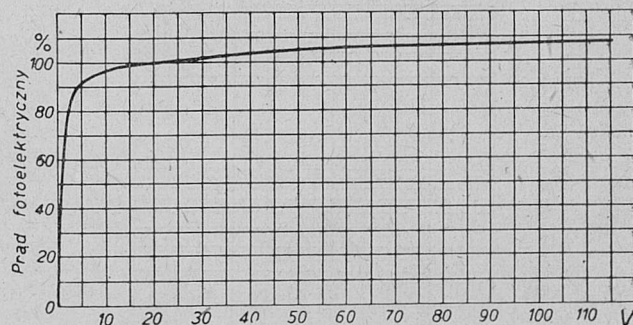
Katoda ma odprowadzenie do zacisku w górnej części bańki szklanej. Anoda w postaci cylindrycznie zwiniętej siatki jest połączona metalicznie z jednym z kołków oprawy znormalizowanej, jak w zwykłej lampie elektronowej. Taki sposób osadzenia elektrod jest korzystny z tego względu, że zapewnia on dobrą izolację na ściankach bańki komórki, gdyż droga dla prądów upływowych jest tu długa. Boczny zacisk widoczny w górnej zwężonej szyjce komórki jest połączony z wewnętrznym pierścieniem osłonnym. Zewnętrzny pierścień osłonny tworzy się przez nawinięcie kilku zwojów gołego drutu miedzianego. Emisja elektronowa opisywanej komórki wynosi ok. 7,5 mA/lm. Przy użyciu źródła światła w postaci gazowej żarówki wolframowej o temperaturze drucika 2848°K średnia wartość prądu fotoelektronów dochodzi do 15 mA/lm. Krzywą czułości w rozkładzie widmowym podaje rys. 9 dla źródła



Rys. 9. Rozkład widmowy czułości komórki próżniowej z katodą czesową

dla światła o równej energii w obszarze widzialnym widma, tj. dla takiego źródła, które wysyła w jednostce czasu jednakowe ilości energii w równych przedziałach długości fal (źródło takie oznacza się często symbolem E).

Rys. 10 przedstawia charakterystykę powyższej komórki. Komórka próżniowa z fotokatodą o warstwie zło-

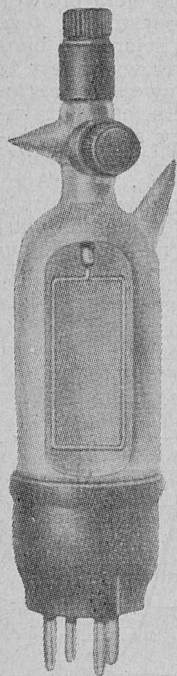


Rys. 10. Charakterystyka napięciowo-prądowa komórki próżniowej z katodą czesową

żonej, składającej się z potasu osadzonego na tlenku srebra, ma kształt i budowę podobną do opisanej komórki czesowej (rys. 8). Odnacza się ona znaczną czułością w całym obszarze widzialnym widma. Katoda ma kształt prostokątnej płytki, umieszczonej w środku bańki i jest otoczona cylindryczną siatkową anodą. Czułość komórki na światło złożone wynosi ok. 2 mA/lm przy oświetleniu żarówką wolframową o temperaturze żarzącego się drucika 2360°K. Ten typ komórki nadaje się do pomiarów z zakresu fotometrii i to zarówno w obszarze widzialnym widma, jak i w nadfiolecie.

Typ komórki fotoelektrycznej potasowej gazowanej jest przedstawiony na rys. 11. Komórka ta może służyć zarówno do wykrywania promieniowania w obszarze widzialnym w krótkofalowej części widma, jak i do celów pomiarowych, szczególnie dla zakresu długości fal od 4000 do 5000 Å. Warstwa światłoczuła na fotokatodzie jest

uczulona wodorem. Anoda ma kształt prostokątnej pętli, z drutu niklowego, osadzonej symetrycznie w stosunku do katody, która pokrywa prawie całkowicie powierzchnię wewnętrzną bańki z wyjątkiem prostokątnego okienka do naświetlania. Do elektrod doprowadza się napięcie od 15 do 20 V. W tym zakresie napięcie przebieg charakterystyki prądowo-napięciowej komórki jest prawie identyczny z przebiegiem komórki próżniowej. Podczas pracy z tą komórką należy wystrzegać się jej ogrzewania, gdyż może to spowodować oddestylowanie potasu i zniszczenie komórki. Początkowa emisja fotoelektronowa tej komórki waha się w granicach od 0,1 do 0,8 mA/lm przy naświetleniu żarówką wolframową o temperaturze drutu 2848°K. Dla czułości największej można stosować napięcie około 250 V; wówczas emisja wzrasta 40–50-krotnie w porównaniu z emisją początkową przy napięciu na elektrodach 17 V. Charakterystyka gazowanej komórki fotoelektrycznej potasowej pokazana jest na rys. 12, a jej rozkład widmowy czułości względem równoenergetycznego w rozkładzie widmowym źródła*) na rys. 13.

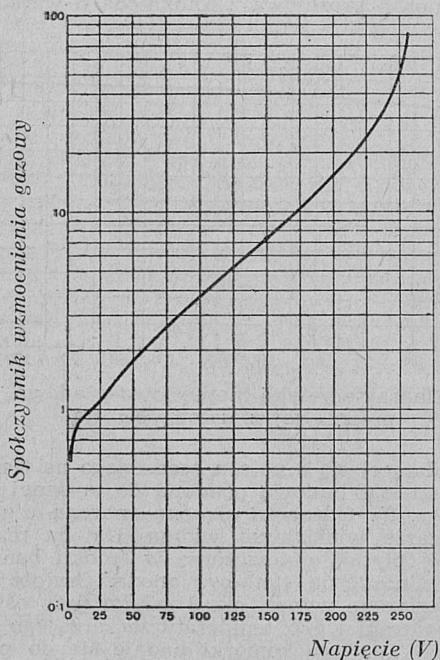


Rys. 11. Gazowana komórka fotoelektryczna potasowa (GEC)

Długość całkowita (bez kotików) 155 mm

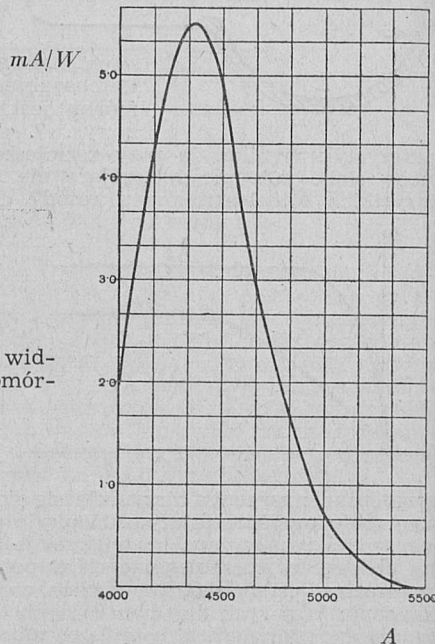
W zastosowaniach praktycznych**), szczególnie do celów przemysłowych, używane są także komórki cezowo-antymonowe i cezowo-bismutowe. Komórki cezowo-antymonowe (Cs-Sb) mają przy $\lambda = 4600 \text{ \AA}$ czułość fotoelektryczną około 50 razy większą od czułości komórki typu Cs-AgO, natomiast praktycznie są one zupełnie niewrażliwe na światło o długości fali 6500 $\text{\AA}$.

Sposób sporządzania katody światłoczułej Cs-Sb jest podobny do sposobu dla komórki fotoelektrycznej Cs-AgO. Największą czułość błonki światłoczułej uzyskuje się wówczas, gdy ilości tych dwu metali (antymon i cez)



Rys. 12 Charakterystyka komórki gazowanej

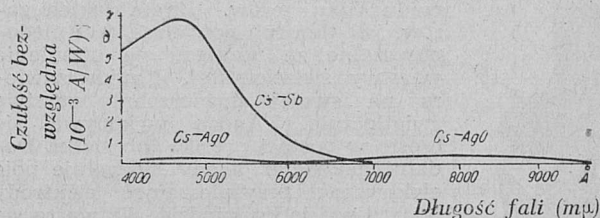
znajdują się w produkcji, odpowiadającej wzorowi chemicznemu SbCs (stosunek stechiometryczny), co dowodzi, że w tym przypadku uzyskuje się raczej związek chemiczny niż stop dwóch metali. Taka złożona warstwa światłoczuła posiada oporność elektryczną znacznie większą od oporności każdego z metali składowych; przy tym znika tu zdolność odbicia światła, którą posiadał antymon, a powierzchnia światłoczuła staje się przezroczysta dla promieni czerwonych i nadfioletowych. Wydajność kwantowa katody Cs-Sb przy świetle o długości fali 4060 $\text{\AA}$ (największa czułość) jest bardzo duża, bo wynosi około 20%,



Rys. 13. Rozkład widmowy czułości komórki gazowanej

to znaczy, że jeden elektron jest wyrzucany na każde 5 kwantów światła padającego. Prąd ciemny jest w przypadku katody Cs-Sb znikomy, mamy więc pod tym względem korzystniejszą własność aniżeli przy katodzie typu Cs-AgO.

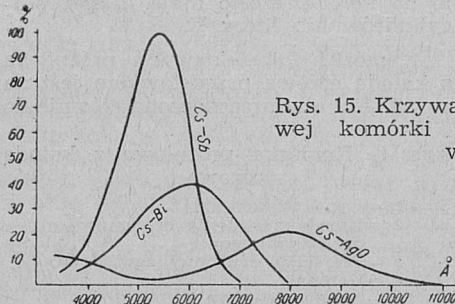
Na rys. 14 podano dwie krzywe czułości fotoelektrycznej dla komórek typu Cs-AgO oraz Cs-Sb. Widoczne jest



Rys. 14. Krzywe czułości komórek typu Cs-AgO i Cs-Sb

znaczne zwiększenie czułości fotokatody Cs-Sb w części niebieskiej widma.

Komórka fotoelektryczna cezowo-bismutowa (Cs-Bi) ma własności podobne do fotokomórki cezowo-



Rys. 15. Krzywa czułości widmowej komórki cezowo-bismutowej

*) Jest to źródło światła, które daje jednakową energię promieniowania dla wszystkich fal w obszarze widzialnym widma.

**) Materiał o praktycznych zastosowaniach komórek fotoelektrycznych, w szczególności ilustracyjny, został przez autora zaczerpnięty głównie z podstawowej i wyczerpującej monografii R. C. Walkera (ob. Literature).

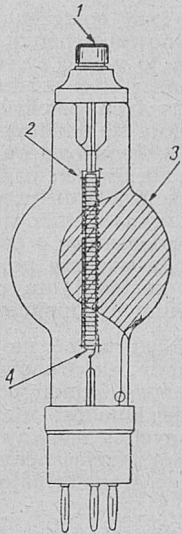
antymonowej (Cs-Sb), gdyż także nie jest wrażliwa na promienie podczerwone, lecz czułość jej jest mniejsza od czułości komórki Cs-Sb, jak to widać z krzywych na rys. 15, i inny jest jej rozkład widmowy. Cenną zaletą komór-

ki czewo-bizmutowej jest to, że jej krzywa czułości widmowej prawie pokrywa się z krzywą czułości oka ludzkiego, czego nie mają żadne inne komórki. Dlatego komórka czewo-bizmutowa znajduje coraz liczniejsze zastosowania w fotometrii naukowej i praktycznej.

Na przedstawionych wykresach czułość jest wyrażona w jednostkach względnych. Z wykresów wynika, że komórka Cs-AgO jest mało czuła w środkowej części widma widzialnego. Komórka Cs-Sb nadaje się lepiej dla rozproszonego światła dziennego, dochodzącego od strony sklepienia nieba, a także dla każdego źródła światła, w którym występuje przewaga barwy niebieskiej, jak np. do rejestracji fotograficznej śladów promieni katodowych w rurze katodowej itp.

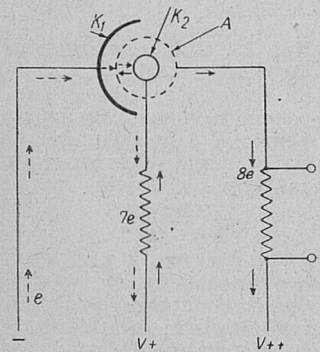
W wielu przypadkach pożyteczne okazały się komórki o wtórnej emisji elektronowej. Jak wiadomo, elektrony mogą być wyzwalane z katody nie tylko pod działaniem światła, lecz także pod działaniem dodatnich jonów lub elektronów bombardujących elektrodę. Emisja elektronowa, wywołana bombardowaniem cząsteczkowym, nazywa się emisją elektronową wtórną. Wtórna emisja na ogół jest stosunkowo mała, lecz przy wyborze odpowiedniej powierzchni światłoczułej można otrzymać tę wtórną emisję elektronową 8–10 razy większą od emisji elektronowej pierwotnej. Na ogół powierzchnie dobrze emitujące fotoelektrony dają także dobrą emisję elektronową wtórną. Własność ta została potwierdzona w wielu pracach doświadczalnych.

Na rys. 16 przedstawiony jest ogólny widok komórki fotoelektrycznej o wtórnej emisji elektronowej, a rys. 17 zawiera schemat rozmieszczenia elektrod oraz części obwodów elektrycznych. Na tym ostatnim rysunku oznaczono przy pomocy strzałek kreskowanych kierunki pierwotnych fotoelektronów. Strzałki oznaczone liniami ciągłymi wskazują kierunek elektronów wtórnych. Spółczynnik elektronowej emisji wtórnej wynosi w danej komórce 8. Katoda pierwotna (fotokatoda) jest w niej wykonana z warstwy światłoczułej, osadzonej bezpośrednio na bańce szklanej. Katoda wtórna jest tu rurką srebrną, umieszczoną w środkowej części bańki, przy czym podczas pracy utrzymywany jest na niej potencjał dodatni względem katody pierwotnej. Anoda ma kształt spiralki i jest wykonana z drutu molib-



Rys. 16. Ogólny widok komórki fotoelektrycznej o wtórnej emisji elektronowej

- 1, 2 — anoda
- 3 — katoda pierwotna
- 4 — katoda wtórna



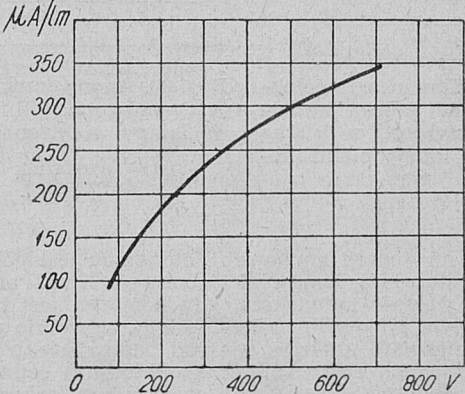
Rys. 17. Schemat obwodów elektrycznych w komórce o wtórnej emisji elektronowej

- A — anoda
- K₁ — katoda pierwotna
- K₂ — katoda wtórna

denowego. Przyłącza się ją do źródła sem. w taki sposób, by miała potencjał dodatni względem katody tak pierwotnej, jak i wtórnej. Każdy fotoelektron, wydobyty z katody pierwotnej pod wpływem światła, wyzwala podczas bombardowania katody wtórnej kilka elementów. Ta zwiększona liczba elektronów dochodzi do anody i powoduje wzrost prądu w obwodzie zewnętrznym komórki. W obwodzie anody znajduje się opór R_a, na którego zaciskach powstaje różnica potencjałów, gdy w obwodzie anodowym płynie prąd spowodowany zjawiskiem fotoelektrycznym. Stosunek emisji elektronowej wtórnej do emisji pierwotnej nazywa się współczynnikiem emisji wtórnej i wyraża stopień wzmocnienia emisji pierwotnej. Jest on podobny

do współczynnika amplifikacji, jaki otrzymuje się w komórkach fotoelektrycznych gazowych. W opisywanej komórce o emisji wtórnej we wnętrzu bańki szklanej znajduje się wysoka próżnia. Czułość komórek tego typu jest nawet większa od czułości komórek gazowanych, a nie ma tu tych wszystkich niedogodności i wad, które są związane z procesem jonizacji w komórkach gazowanych. Stosunek wielkości potencjału V++ do potencjału V+ wynosi 1,3 dla komórki opisywanej, a współczynnik emisji wtórnej wynosi 8. W obwodzie katody płynie prąd elektronowy proporcjonalny do 8e—e = 7e. Prąd płynący przez przewód, łączący katodę wtórną, jest w ogólności n-1 razy większy od prądu fotoelektronów pierwotnych; n oznacza tu współczynnik emisji wtórnej. Wadą komórki o emisji wtórnej jest wymagane stosunkowo wysokie napięcie na elektrodach, wynoszące kilkaset woltów. Jednakże w zastosowaniu do wielu celów praktycznych można pracować z komórkami tego typu przy niższym (niż najkorzystniejszej) napięciu.

Rys. 18 podaje prądowo-napięciową charakterystykę powyższej komórki o emisji wtórnej. Na osi rzędnych podane są wartości prądu fotoelektrycznego na jednostkę strumienia światła (mA/lm). Wzmacniające działanie komórki o emisji wtórnej polega na tym, że tu każdy fotoelektron przy zderzeniu z katodą wtórną wyzwala jeden lub większą liczbę elektronów. Takie tłumaczenie, oczywiście, jest tylko znacznym uproszczeniem. Zasada zachowania energii wymaga pełniejszego i bardziej wy-



Rys. 18. Charakterystyka prądowo-napięciowa komórki fotoelektrycznej o emisji wtórnej

1 — przekątnik

czepującego tłumaczenia tego procesu. Jak wynika z przebiegu charakterystyki komórki o emisji wtórnej, wzrost prądu ustaje od pewnej wartości napięcia. Współczynnik emisji wtórnej zaczyna maleć od pewnego punktu pracy komórki. Pochodzi to prawdopodobnie stąd, że prędkość fotoelektronów, wysyłanych z pierwszej katody, jest tak duża, że przenikają one w głąb do wnętrza elektrody wtórnej i wyzwalają tam elektrony, które jednakże nie dochodzą do warstwy powierzchniowej, a zatem nie mogą również wyjść na zewnątrz powierzchni tej katody wtórnej. Wiele z tych elektronów zatrzymuje się wewnątrz siatki krystalicznej metalu, ulegając rekombinacji. W wyniku tego następuje spadek wtórnej emisji elektronowej.

3. Obwody sterujące.

Typ komórki fotoelektrycznej oraz wybór obwodu, potrzebnego do realizacji określonych celów praktycznych, zależą od źródeł elektrycznych, którymi dysponujemy, i od natężeń światła padającego. W ostatnim przypadku najczęściej chodzi o zmierzenie zmian padającego strumienia świetlnego.

Komórki fotoelektryczne mogą w zasadzie mieć zastosowanie praktyczne dwojakie, służące bądź do wykrywania zmian strumienia świetlnego i do przekazywania tych zmian dodatkowym obwodom elektrycznym, bądź też do pomiaru zarówno natężeń światła, jak i ich zmian. Nas interesuje obecnie pierwszy sposób tj. zastosowanie komórek do sterowania urządzeniami technicznymi. Zajmiemy się obwodami, które mają ogólne znaczenie dla komórek ogniów fotoelektrycznych.

Zmiany prądu fotoelektrycznego w komórkach są na ogół zbyt małe i nie wystarczające do tego, aby można było bezpośrednio włączać i wyłączać przełączniki elektromagnetyczne. Lecz charakterystyki komórek są na ogół

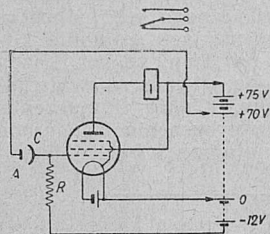
korzystne z tego względu, że pozwalają sprzęgać komórki bezpośrednio ze wzmacniaczami lampowymi.

Wzmacniacze lampowe. Jeśli mamy do czynienia z dużymi zmianami światła padającego na komórkę fotoelektryczną, wystarczy bezpośrednie sprzężenie komórki z siatką lampy elektronowej w celu uzyskania wystarczającego wzmocnienia. Jeśli natomiast zmiany strumienia światła padającego są małe, należy stosować wzmocnienie wielostopniowe. W takich przypadkach zarówno urządzenia optyczne, jak i obwody wzmacniające są bardziej złożone niż w przypadku prostym, wymiennym poprzednio.

Przy opisie komórek fotoelektrycznych i ich zastosowań rozpatrzmy przede wszystkim obwody najprostsze, w których komórka jest sprzęgnięta bezpośrednio z siatką lampy elektronowej.

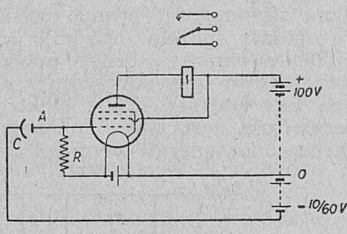
Istnieją dwa typowe sposoby łączenia komórki z obwodem siatki lampy elektronowej.

Sposób pierwszy przedstawiony jest na rys. 19. Mamy tu obwód komórki fotoelektrycznej z prostym jednostopniowym wzmacniaczem lampowym, zasilany z pro-



Rys. 19. Komórka fotoelektryczna, w której katoda jest połączona z siatką sterującą lampy elektronowej

1 — przełącznik



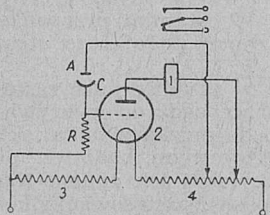
Rys. 20. Anoda fotokomórki jest połączona z siatką lampy elektronowej

1 — przełącznik

stownika lub baterii anodowej. Fotokatoda jest połączona z siatką sterującą lampy elektronowej. Prąd anodowy uzyskuje wartość największą, gdy komórka jest naświetlona. W tym przypadku wzrost światła wywołuje zmniejszenie potencjału ujemnego siatki lampy elektronowej, gdyż przy emisji elektronów z fotokatody ta ostatnia ładuje się dodatnio, sprzęgnięta więc z nią galwanicznie siatka również uzyskuje potencjał dodatni, a zatem następuje wzrost prądu anodowego w obwodzie amplifikatora. Spowoduje to zadziałanie przełącznika, umieszczonego w tym obwodzie, i zwarcie lub rozwarcie odpowiednich styków.

Sposób drugi uwidoczniiony jest na rys. 20. Tutaj siatka lampy elektronowej jest połączona z anodą komórki fotoelektrycznej. Przy tym drugim sposobie włączenia komórki do siatki obwód wzmacniający działa w przeciwnym kierunku niż przy pierwszym. Prąd anodowy w obwodzie lampy elektronowej otrzymuje wówczas wartość największą, gdyż komórka nie jest naświetlona. Przy naświetlaniu katody zwiększa się potencjał ujemny siatki, co powoduje zmniejszenie prądu anodowego i skutkiem tego przełącznik zostaje zwolniony. Układ drugi jest mniej korzystny od pierwszego ze względu na duży prąd, płynący stale w obwodzie anodowym lampy elektronowej wtedy, gdy komórka nie jest naświetlona. Ten sam efekt końcowy można uzyskać w układzie pierwszym przez odpowiednie ustawienie styków przełącznika.

Czułością pierwszego układu jest stosunek przyrostu prądu anodowego do przyrostu strumienia świetlnego, pa-



Rys. 21. Układ wzmacniający komórkę fotoelektryczną — lampę elektronową (gdy fotokatoda jest połączona z siatką), zasilany z sieci ogólnej prądu stałego

dającego na katodę komórki. Zazwyczaj chodzi tu o ustalenie takich warunków pracy, przy których uzyskuje się największą czułość.

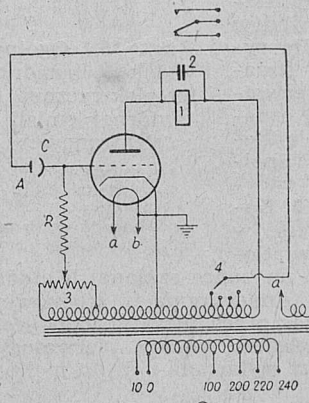
Zasilanie komórek z sieci ogólnej prądu stałego. Zamiast baterii akumulatorów prze-

nośnych lub ogniów można w wielu wypadkach wykorzystać do pracy komórki ogólną sieć prądu stałego, jak to przedstawiono na rys. 21. W porównaniu z obwodem na rys. 19 schemat został zmieniony w taki sposób, by można było zasilac niniejszy układ wzmacniający prądem stałym z sieci. Żarzenie lampy elektronowej odbywa się tu przy włączeniu w szereg oporów 3 i 4. Napięcie na anodzie komórki i na anodzie lampy elektronowej może być regulowane za pomocą przesuwania odpowiednich styków ruchomych wzdłuż opornika 4.

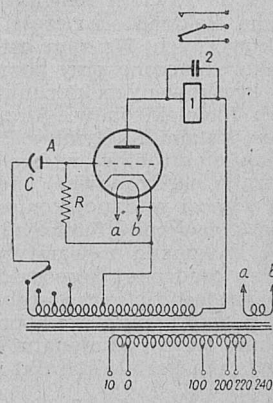
Zasilanie fotokomórek z sieci prądu zmiennego. Nieco zmieniony w stosunku do poprzedniego schemat zasilania układu wzmacniającego z sieci prądu zmiennego przedstawiony jest na rys. 22. Mamy tu katodę połączoną z siatką lampy elektronowej. Schemat jest prosty i nie wymaga wyjaśnień.

Przy sprzężeniu anody komórki z siatką lampy elektronowej schemat jest nieco odmienny od poprzedniego, jak to widać z rys. 23. Przy zasilaniu układów z komórkami z sieci prądu zmiennego obwody pracują tylko podczas tych półokresów, kiedy anoda lampy elektronowej ładuje się dodatnio. Tu mamy układ samoprostujący, gdzie rola kondensatora 2 jest ważna przy zasilaniu układów komórkowych prądem zmiennym. Bez takiego kondensatora działanie przekładnika byłoby zakłócone i niepewne. Dla przekładników telefonicznych najczęściej stosowane są kondensatory o pojemności około 4 μF . Może być również użyta większa pojemność, lecz trzeba mieć na względzie, że następuje tu pewne opóźnienie procesu wzrastania strumienia magnetycznego w przekładniku.

Jak widać na schemacie (rys. 22) napięcie na siatce lampy elektronowej może być odpowiednio dobrane za pomocą układu potencjometrycznego 3. Napięcie na anodzie komórki może być dostosowane najkorzystniej do danych warunków pracy przez wybranie ruchomym stykiem przełącznika 4 jednego z zaczerwów uzwojenia wtórnego transformatora sieciowego.



Rys. 22. Układ wzmacniający komórkę fotoelektryczną — lampę elektronową (gdy fotokatoda jest połączona z siatką lampy elektronowej), zasilany z sieci ogólnej prądu zmiennego



Rys. 23. Układ samoprostujący wzmacniający: komórkę fotoelektryczną — lampę elektronową (gdy anoda komórki jest połączona z siatką lampy elektronowej), zasilany z sieci prądu zmiennego

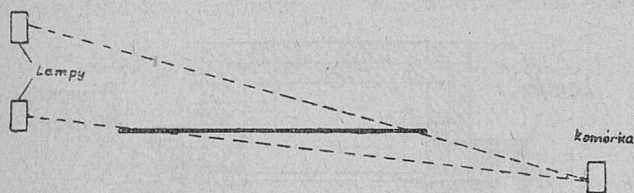
Schematy przekładnikowe z ogniwem fotoelektrycznym. Ogniwa fotoelektryczne w ogóle gorzej nadają się do użycia w obwodach przekładnikowych niż komórki o zewnętrznym zjawisku fotoelektrycznym. Jakkolwiek osiągnąć wartość natężenia prądu w ogniwach jest na ogół większa niż w komórkach, jednakże prąd ten jest nie wystarczający do bezpośredniego uruchomienia większego przekładnika. Największe natężenie prądu przy użyciu ogniwa wynosi kilkaset mikroamperów. Warunkiem koniecznym przy amplifikacji za pomocą lamp elektronowych jest to, żeby lampa miała możliwie największy opór siatka-katoda. Opór przekładnika powinien być dopasowany odpowiednio do oporu wewnętrznej lampy. Można jednakże stosować wzmocnienia lampami elektronowymi i przy małoporowych ogniwach fotoelektrycznych z zachowaniem jednakże pewnych warunków. Tak np. należyte działanie przekładnika można uzyskać przy bezpośrednim przyłączeniu ogniwa do prze-

każnika typu Weston. Także jeden z lepszych sposobów polega na użyciu galwanometru przekątnikowego, szczególnie przy słabym strumieniu światła, padającego na katode.

4. Różnorodne zastosowania komórek fotoelektrycznych w przemyśle.

Zastosowanie komórek w drukarni i papierni. Gotowy papier zwykle bywa nawijany w papierni na bębny i w tej formie jest używany w drukarni. Cięcie odbywa się dopiero po wydrukowaniu. Zarówno wyrób papieru, jak i drukowanie są to procesy ciągłe, w których stosuje się duże szybkości posuwu papieru dla uzyskania dużych wydajności maszyn. Jeśli rozdarcie pasa papieru biegnącego między rolkami maszyny nie jest od razu dostrzeżone, powstaje zator i przerwa w pracy maszyny. Koszt zniszczonego przy tym papieru nie jest wprawdzie wielki, ale straty wskutek przestoju maszyny są dotkliwe.

Dla zapobieżenia temu stosuje się samoczynne urządzenia, kontrolujące całość brzegów pasa, gdzie najczęściej występują uszkodzenia. Urządzenie, działające na podstawie styku mechanicznego, zostawia na papierze śla-



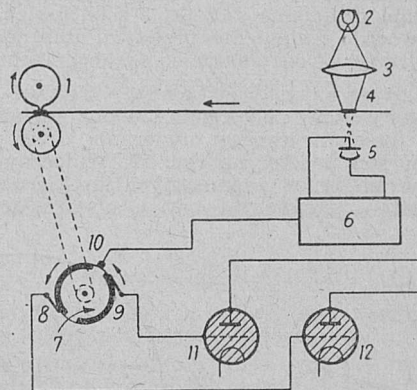
Rys. 24. Schemat urządzenia do kontroli miejsc pęknięcia taśmy papierowej na maszynie

dy i samo niejednokrotnie jest przyczyną uszkodzenia papieru. Natomiast idealnym rozwiązaniem jest zastosowanie urządzenia z komórką fotoelektryczną. Na rys. 24 jest podany schemat urządzenia opartego na bardzo prostej zasadzie: posuwający się nieuszkodzony papier odgradza komórkę od źródła światła. W wypadku naderwania brzegu taśmy papierowej wiązka światła pada na komórkę. Za pośrednictwem wzmacniacza wprowany jest w ruch odpowiedni przełącznik. Wobec dużej szerokości pasa kontrolowany jest jednocześnie i drugi brzeg taśmy przez wiązkę światła, wychodzącą z drugiego źródła, umieszczonego na innej wysokości. Przełącznik może wprawić w ruch sygnał alarmowy (światłny lub dźwiękowy), albo jakiegoś urządzenie zapobiegawcze, chroniące produkcję od strat.

Rozcinanie pasów w zadrukowanego papierni. Przy rozcinaniu zadrukowanej taśmy papierowej na odcinki jednakowej długości, należy zsynchronizować posuw taśmy z pozycją mechanizmu rozcinającego. Zagadnienie to może być rozwiązane przy użyciu komórki fotoelektrycznej, jak przedstawiono na rys. 25. Sposób ten nadaje się do kontrolowania pracy maszyn do pakowania, do pras wykonywających nadruki, do maszyn wyrabiających torebki papierowe, słowem wszędzie tam, gdzie na taśmie papierowej wykonane są nadruki. Rozcinanie odbywa się najczęściej przy pomocy gilotyny lub noża, tnącego papier na części o ściśle określonych wymiarach, przy czym przy przecinaniu należy utrzymywać dokładnie położenie nadrukowanego rysunku względem brzegów. Np. w maszynie wyrabiającej torebki papierowe rysunek powinien być umieszczony zawsze w środkowej części arkusza, z którego robią się boki torebki, a wszak podczas pracy maszyny zdarzają się rozciąganie lub kurczenie się papieru, poślizg taśmy na rolkach, luzu w przekładni kół zębatych, które powodują przesunięcia w położeniu taśmy. Nawet małe początkowo przesunięcie pomiędzy miejscem rozcięcia a brzegiem nadrukowanego arkusza silnie wpływa na dalszy przebieg pracy: jednorazowe odchylenie o $\frac{1}{4}$ mm daje po stu operacjach różnicę wynoszącą 25 mm, gdy największe dopuszczalne odchylenie może wynosić najwyżej np. 2,5 mm.

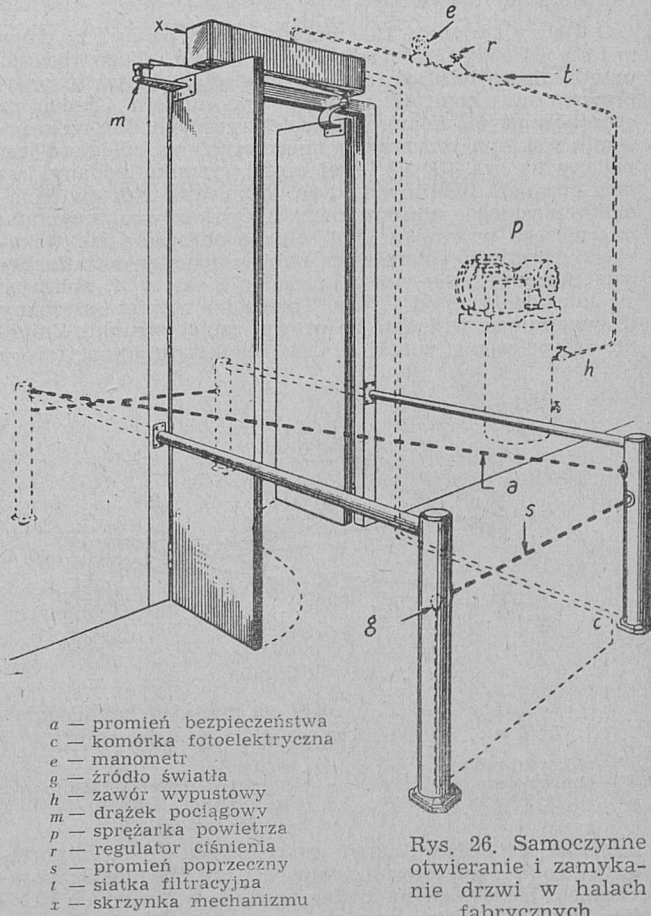
W celu zapewnienia należytego działania maszyny wykonywa się na marginesie papieru, który należy rozciąć, małe otworki (perforację) lub nieprzezroczyste kreski długości około 12 mm. Na te miejsca działa światło, które po przejściu lub odbiciu, trafia na komórkę fotoelektryczną. Odpowiednio wzmacnione impulsy prądu kierowane

są na siatki dwu gazowanych triod (tyratronów). Jedna z triod działa wówczas, gdy znak na taśmie papieru występuje zbyt późno, druga — gdy za wcześnie. Na rysun-



Rys. 25. Urządzenie do samoczynnego rozcinania pasów
zadrukowanego papieru

ku widoczny jest bieg promieni od lampy 2 przez soczewkę 3 na znak 4 na taśmie. Komórka fotoelektryczna 5 jest połączona ze wzmacniaczem 6. Mechanizm obrotowy 1, przecinający papier, jest połączony za pomocą przekładni łańcuchowej z obrotowym przełącznikiem 7, zbudowanym jak komutator o dwu segmentach metalowych, oddzielonych od siebie masą izolacyjną. Szczotka 10, stykając się z segmentami, włącza lub wyłącza odpowiednio połączenia wzmacniacza 6 to z jedną, to z drugą triadą. Ustawienie wzajemne szczotki i kolektora, przedstawione na rysunku, wskazuje na normalne działanie maszyny i urządzenia. Szczotka 10 jest odizolowana od odcinków komutatora, gdy znak 4 przesłania wiązkę

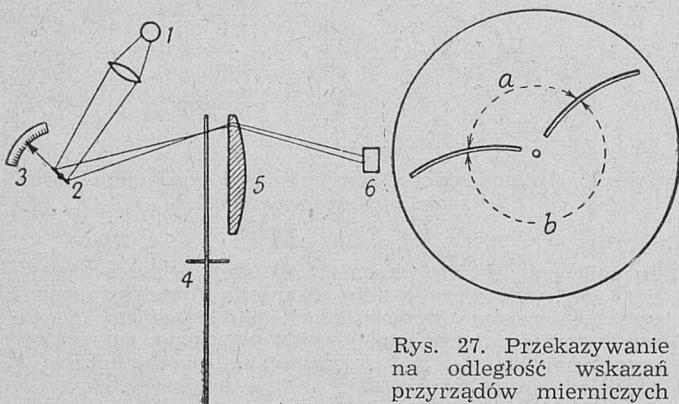


Rys. 26. Samoczynne otwieranie i zamykanie drzwi w halach fabrycznych

światła. Jeśli taśma papierowa porusza się zbyt wolno, wskutek czego znak 4 przybywa zbyt późno do punktu naświetlonego, wówczas szczotka 10 będzie połączona

metalicznie z odcinkiem 9 wtedy, gdy znak 4 wkroczy w wiązkę światła i zadziała trioda 12 wskutek przesłonięcia światła i „odetkania“ jej przez impuls ze wzmacniacza. Podobnie przy zbyt szybkim biegu taśmy papierowej nastąpi połączenie szczotki 9 z odcinkiem 8 i trioda 11 spowoduje zwolnienie przesuwu biegnącej taśmy papieru.

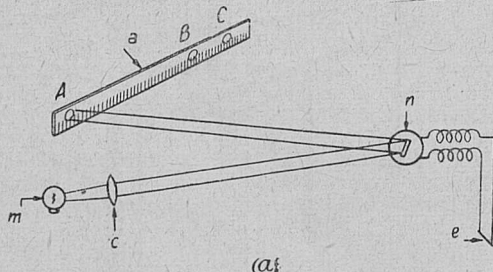
Samoczynne otwieranie drzwi w halach fabrycznych. Ogólny widok instalacji urządzenia do fotoelektrycznego otwierania drzwi w lokalu fabrycznym jest podany na rys. 26. Widoczny jest bieg promieni w kierunku poprzecznym do kierunku ruchu z dwóch stron, przedniej i tylnej, otworu drzwiowego.



Rys. 27. Przekazywanie na odległość wskazań przyrządów mierniczych

Trzeci bieg promieni w kierunku (ukośnym) po przekątnej służy do zabezpieczenia i kontroli stanu pełnego rozwarcia skrzydeł drzwiowych. Układ przekazywania od komórek fotoelektrycznych działa na instalację pneumatyczną, którą wprawia w ruch mechanizm zamykający i otwierający drzwi.

Odczytywanie wskazań przyrządów mierniczych na odległość. Tego rodzaju urządzenia są bardzo ważne ze względu na łatwość przeprowadzenia kontroli z centralnego miejsca. Jeden ze sposobów użycia komórek fotoelektrycznych do przekazywania wskazań przyrządów mierniczych na odległość jest podany na rys. 27. W lewej części rysunku podany jest bieg promieni świetlnych od źródła światła 1 do zwierciadła płaskiego, umocowanego na wskazówce przyrządu mierniczego w miejscu 2. W miarę obracania się wskazówki przyrządu mierniczego odbity strumień światła będzie przesuwawać się wzdłuż promienia tarczy 4, zbliżając się lub oddalając od jej osi. Tarcza ma wycięte szczeliny krzywoliniowe widoczne na prawej części rysunku. Zależnie od położenia wiązki światła wzdłuż promieni tarczy



Rys. 28. Schemat urządzenia do regulacji temperatury pieców

(a) — Układ skali galwanometru

(b) — Obwód do regulacji temperatury pieca

c — układ optyczny
e — ogniwo termoelektryczne
g — skala galwanometru

m — lampa
n — lustro galwanometru
y — do obwodu komórki fotoelektrycznej

A — zero na skali
B — temperatura najniższa
C — temperatura najwyższa

D — wyłącznik główny
K — wyłącznik
M — cewka wyłącznika k

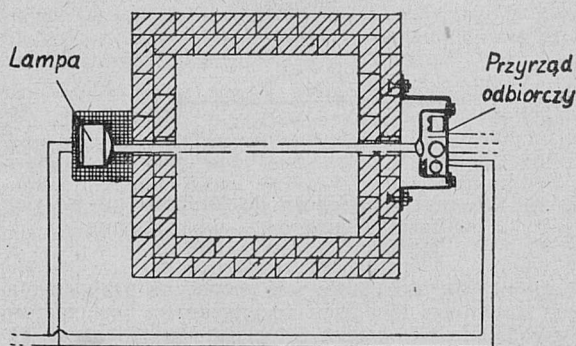
zmieniać się będzie długość części okręgu a i b, co pociąga za sobą różne stosunki długości czasów między pojawieniem się dwóch impulsów prądów, wywołanych krótkim naświetleniem komórki 6, gdy światło będzie się przedostawać przez wąskie otworki w szczelinach tarczy.

Kontrola temperatury pieców przemysłowych. Prosta stosunkowo zasadą zastosowano do utrzymywania temperatury pieców prze-

mysłowych w pewnych granicach temperatur. Na rys. 28 podano zasadę działania. Promienie światła odbijają się od zwierciadła galwanometru połączonego z ogniwo termoelektrycznym. Odbita wiązka światła trafia na skalę galwanometru. Regulacja temperatury pieca odbywa się za pomocą układu komórka fotoelektryczna — przełącznik. Miejsce B na skali odpowiada najniższej temperaturze, miejsce C — najwyższej temperaturze pieca. Odpowiednie obwody elektryczne przedstawione są na dolnej części rysunku.

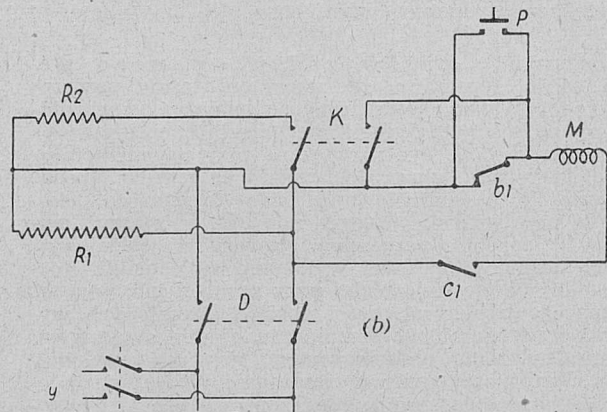
Kontrola dymu w przewodzie kominiowym. To zagadnienie może być rozwiązane bądź przez pochłanianie strumienia światła, gdy strumień przechodzi przez warstwę dymu, bądź też przez wyzyskanie światła, rozproszonego od zawieszin dymu i działającego na komórkę fotoelektryczną. Rys. 29 pokazuje przekrój poprzeczny komina, przez który przechodzi wiązka światła od lampy do komórki. Zależnie od gęstości dymu wiązka będzie osłabiana w stopniu większym lub mniejszym, co spowoduje zmiany w natężeniu prądu elektronów w komórce. Można rejestrować przebieg stanu zadymienia w kominie, jak to przedstawiono na taśmie na rys. 30.

Sygnalizacja pożarowa. Na rys. 31 podano schemat obwodów dwu komórek fotoelektrycznych

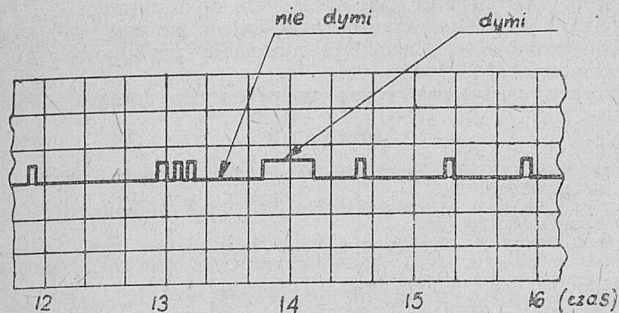


Rys. 29. Przekrój komina fabrycznego z zastosowaniem komórki fotoelektrycznej do rejestracji przepływu dymu

z lampą elektronową w układzie mostkowym przeznaczonych do sygnalizacji na wypadek pożaru. Każda komórka mieści się w innej części lokalu i praktycznie nie zachodzi nigdy wypadek, by nastąpiła jednocześnie zmiana pochłaniania z powodu dymu. Obecność dymu jest

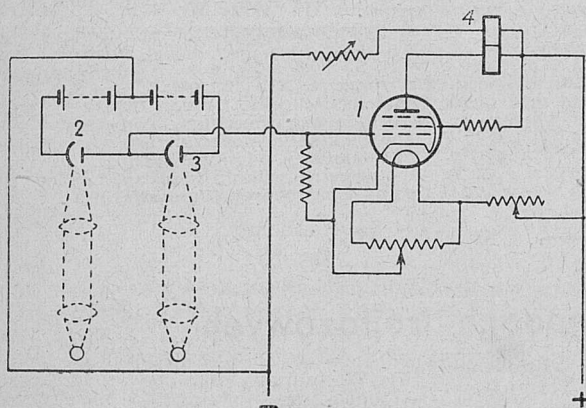


trafia na komórkę fotoelektryczną. Na umieszczoną obok drugą komórkę trafiają promienie od lampy, umieszczonej wewnątrz pirometru, jak pokazano na rysunku. Mały górny otwór w przedniej przykrywce pirometru służy do



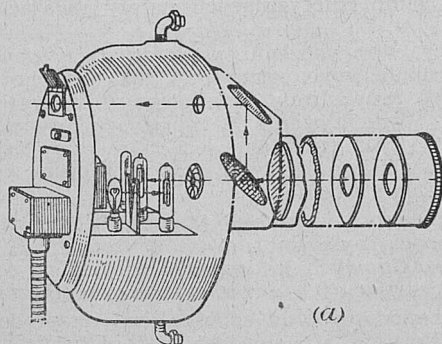
Rys. 30. Rejestracja przepływu dymu na taśmie

pomiarów temperatury metodą subiektywną, używaną w pirometrii optycznej, a schemat aparatury pirometru optycznego, przeznaczonej do samoczynnej rejestracji



Rys. 31. Schemat obwodów 2 komórek fotoelektrycznych w układzie mostkowym, przeznaczonych do celów alarmowych na wypadek pożaru

przebiegu temperatury w czasie, jest przedstawiony na rys. 33b. Pokazane są tam dwie komórki fotoelektryczne; do prawej kierowane są promienie od pieca, do lewej —



Rys. 32a i 32b. Pirometr optyczny z dwiema komórkami fotoelektrycznymi do pomiarów okiem oraz do rejestracji i odczytywania temperatury pieców przemysłowych

5. Przykłady zastosowania praktycznego komórek fotoelektrycznych.

Urządzenia liczące

- Liczenie osób i pojazdów
- Liczenie przedmiotów na przenośniku
- Liczenie nadrukowanych znaczków pocztowych
- Liczenie ryb w przenośniku rybnym
- Liczenie odlotu i przylotu pszczół w otworze ula

Narzędzia do kontroli oświetlenia

Automat do włączania i wyłączania źródeł sztucznego oświetlenia i świateł sygnalowych o zmierzchu i o świcie

Samoczynna regulacja ciśnienia gazu świetlnego w zależności od stanu oświetlenia dziennego

Sygnalizacja o wyłączeniu instalacji oświetleniowej i źródeł światła i regulacja stanu oświetlenia

Samoczynne utrzymywanie stałości rozkładu widmowego źródeł światła, w szczególności lamp łukowych

Zabezpieczenia od pożarów i innych wypadków

Instalacje alarmowe do zabezpieczenia lokali, działające przy pomocy promieni podczerwonych

Urządzenia alarmowe na wypadek wejścia osób niepowołanych do lokali i na tereny otwarte

Samoczynne fotografowanie

Włączanie sygnałów w komunikacji na skrzyżowaniach torów kolejowych

Samoczynne włączanie i wyłączanie oświetlenia przez poruszające się osoby lub pojazdy mechaniczne

Ochrona ludzi przed niebezpiecznym zetknięciem się z maszynami, w szczególności z prasami i tłoczniami

Zabezpieczenie z odległości przed procesami, wywołującymi niebezpieczeństwo

Kontrola pewnych stanów technologicznych w urządzeniach niebezpiecznych pod względem wybuchowym

Kontrola dymu, jako ochrona, z większych odległości

Kontrola stanu wody do picia

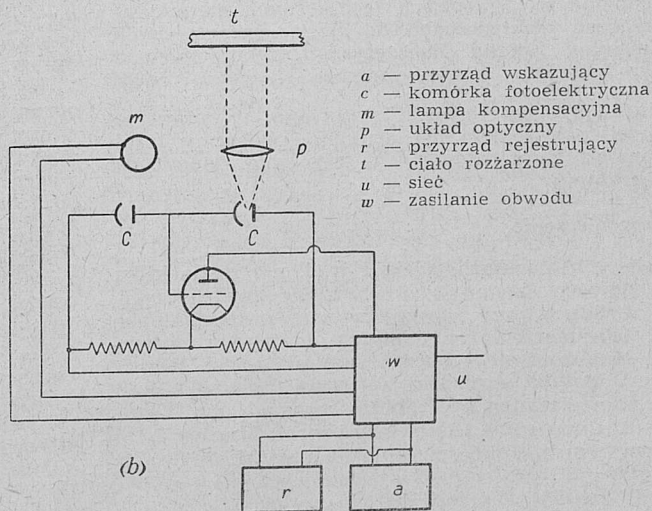
Sygnalizacja na wypadek zjawienia się mgły

Komunikacja

Pomiar samoczynny prędkości ruchu pojazdów mechanicznych

Urządzenia sygnalizacyjne do semaforów

Rozrząd samoczynny schodów ruchomych i wind



od lampy kompensacyjnej. Zależnie od temperatury pieca występują wahania potencjału fotokatody prawej komórki, przekazywane na siatkę lampy elektronowej, podanej na rysunku. Prąd anodowy przekazywany jest do przyrządu rejestrującego lub wskazującego.

Samoczynne włączanie i wyłączanie urządzeń reklamowych świetlnych

Kontrola procesów technologicznych

Włączanie i wyłączanie maszyn w zależności od dowozu materiałów

Sygnalizacja uszkodzenia materiału lin kopalnianych w czasie ich wykonywania
 Utrzymywanie stałości zaopatrzenia automatów w materiale
 Regulacja stanu napełnienia zbiorników cieczą i ciałami sypkimi
 Kontrola i sygnalizacja alarmująca o stanie wypełnienia zbiorników do cieczy
 Rozrząd przy procesie walcowania w rozmaitych fazach
 Samoczynne uruchamianie nożyc do ucinania przedmiotów o jednakowej długości
 Rozrząd pracy obrabiarek w zależności od jakości materiałów
 Samoczynne otwieranie drzwi, zaworów, drzwiczek do pieców itp. dla ruchu osób, wózków i materiałów
 Kontrola i regulacja procesów obróbki, związanych ze zmętnieniem i zabarwieniem (szczególnie w przemyśle chemicznym)
 Pomiary dymu i sygnały alarmowe o ukazaniu się dymu dla kontroli spalania paliw
 Sortowanie według barwy i stanu powierzchni
 Samoczynna kontrola należytej masy przedmiotów przy produkcji masowej
 Samoczynna kontrola ilości zużytej wody
 Przekazywanie na odległość i rozrząd w dziedzinie ruchów samoczynnych
 Przekazywanie na odległość i rejestracja zmierzonych wartości liczbowych
 Wzajemnie samoczynne
 Licznik obrotów i przekazywanie jego wskazań na odległość przy zbyt małych i zbyt dużych obrotach
 Przekazywanie i rejestracja synchronizacji
 Odczytywanie wskazań wskazówek i stanów mechanicznych w procesach technologicznych

Pomiary i rejestracja niskich napięć elektrycznych i małych natężeń prądu
 Mikromanometri fotoelektryczne
 Pomiary gęstości gazu
 Pomiary temperatur ciał żarzących się i płomieni
 Kontrola i przekazywanie na odległość zmiany barw (np. dla zapobieżenia zepsuciu materiału produkcyjnego)
 Fotometria obiektywna
 Pomiary sensytometryczne w przemyśle fotograficznym

LITERATURA

- Pohl R., Pringsheim P. Die Lichtelektrischen Erscheinungen, 1913.
 Becker A. Lichtelektrische Wirkung. Handb. d. Exper. Physik, XXIII, 1928.
 Gudden B. Lichtelektrische Erscheinungen, 1928.
 Anderson J. S. Photoelectric Cells and Their Applications, London, 1930.
 Zwoykin V. K., Wilson E. D. Les cellules photo-électriques et leurs applications, Paris, 1931.
 Fleischer R., Teichmann H. Die lichtelektrische Zelle und ihre Herstellung, Dresden-Leipzig, 1932.
 Hughes A. L., Bridge L. A. Photoelectric Phenomena, New York, London, 1932.
 Łukirski P. I. O fotoefekcie, 1933.
 Sawostianowa M. W. Selektivnyj fotoefekt (Uspiechi Fiz. Nauk, t. XIV, 1, 1934).
 Moskwin A. W. Fotoelementy, Leningrad, 1934.
 Geffcken H., Richter H. Die Photozelle in der Technik, Berlin, 1936.
 Chalfin A. M. Fotoelementy i ich primienjenje, Moskwa, 1936.
 Chlebnikow N. S. i Zajcew N. S. Nowyje katody (Uspiechi Fiz. Nauk, t. XIX, 2, 1938).
 Sommer A. Photoelectric cells, London, 1946.
 Terrien J. La cellule photoélectrique, Paris, 1947.
 Gierlich P. Fotoelementy, Moskwa, 1948.
 Łukjanow. Fotoelementy, Moskwa, 1948.
 Walker R. C. Photoelectric cells in industry, London, 1948.
 Własow W. Lampy elektronowe, Warszawa, 1951.

Lampy fluoryzujące w obwodach trójfazowych

Komunikat Polskiego Komitetu Oświetleniowego

I Krajowa Konferencja Oświetleniowa poleciła Polskiemu Komitetowi Oświetleniowemu rozważenie sprawy dopuszczalności stosowania obwodów trójfazowych światła oraz opraw trójfazowych do lamp fluoryzujących.

Komisja Oświetlenia Przemysłowego PKOśw. powołała w tym celu rzeczoznawców, którzy uznali stosowanie w urządzeniach przemysłowych wymienionych obwodów i opraw za usprawiedliwione względami gospodarczymi i technicznymi i opracowali warunki, którym te urządzenia powinny odpowiadać. Opinia Komisji została uwzględniona w „Przepisach technicznych na przyłączenie urządzeń elektrycznych do sieci”, opracowanych przez Centralny Zarząd Energetyki i uzgodnionych z Państwową Inspekcją Energetyczną.

Ponieważ przepisy te będą stosowane w praktyce jeszcze przed ogłoszeniem ich drukiem, podajemy tutaj do wiadomości zainteresowanych brzmienie odpowiednich paragrafów.

„5.1.4. Zabezpieczenie.

W większych obiektach, gdzie 1 w. l. z.*) zasilą kilka wieloobwodowych (ponad 3 obw.) tablic rozdzielczych, należy przewidzieć poza zabezpieczeniem poszczególnych obwodów zabezpieczenia na dopływie do tablicy, pozwalające na lokalizowanie zaburzeń przy zwarcia. Każdy odchodzący od tablicy rozdzielczej obwód oświetleniowy dwuprzewodowy winien być zabezpieczony na obu biegach (dwu faz względnie jednej fazy i zera). Obwody 3-fazowe winny posiadać zabezpieczenia na wszystkich fazach. Nominalny prąd bezpieczników topikowych winien być dobrany do przekroju przewodu.

5.2. URZĄDZENIA ODBIORCZE.

5.2.1. Sposób wykonania.

f. Dla instalacji oświetleniowych pomieszczeń przemysłowych oraz większych pomieszczeń niemieszkalnych

*) Wewnętrzna linia zasilająca.

(powyżej 100 m²) dopuszcza się stosowanie obwodów trójfazowych, jednak pod następującymi warunkami:

f₁) Urządzenie oświetleniowe będzie konserwowane wyłącznie przez fachową obsługę.

f₂) Przewody obwodów wielofazowych nie mogą być przecinane w miejscach odgałęzienia.

f₃) Oprawy z przewodzonymi przewodami o napięciu międzyprzewodowym przekraczającym 250 V będą zaopatrzone w trwałe napisy „Baczność — 380 V” tak umieszczone, aby były widoczne dla osób manipulujących przy zawieszonych oprawach. Belki montażowe przy oprawach do lamp fluoryzujących należy uważać za części opraw.

f₄) Przy wprowadzeniu wielofazowych obwodów do opraw jednofazowych przewody faz niewykorzystanych winny być prowadzone przelotowo (bez przecinania w oprawie). Wykorzystanie w oprawach oświetleniowych więcej niż 1 fazy dozwolone jest tylko przy zastosowaniu oprawy wielofazowej typu dopuszczonego do użytku przez właściwe władze.

f₅) Zapalanie i wygaszanie światła będzie się odbywało za pomocą wyłącznika o takiej liczbie biegunów, ile przewodów fazowych jest wprowadzonych do oprawy lub opraw obsługiwanych przez wspólny wyłącznik.

f₆) Znamionowy prąd zabezpieczeń nadprądowych nie może przekraczać: w obwodach z oprawkami do rur fluoryzujących lub z oprawkami z gwintem E 27 — 10 A, a przy oświetleniu zewnętrznym — 15 A, w obwodach z samymi tylko oprawkami E 40 — 15 A. Podane prądy znamionowe odnoszą się do prądów przewodowych w układach wielofazowych.

f₇) Środki ochrony od porażeń w wielofazowych obwodach oświetleniowych będą zastosowane w tym samym zakresie, jaki obowiązuje w stosunku do innych odbiorników trójfazowych.

f₈) Połączenie pomiędzy świetlówkami a dławkami i starterami przy oświetleniu fluoryzującym mogą być wykonywane przewodem „DYS” 0,5 mm² (izolacja cystofleksowa).“

PRZEGLĄD BIBLIOGRAFICZNY ELEKTROTECHNIKI

opracowany przez OŚRODEK DOKUMENTACJI ELEKTROTECHNIKI

Dodatek do miesięcznika PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

Rocznik 4

Warszawa, kwiecień 1952 r.

Nr 3

Gwiazdkami, obok porządkowych liczb artykułów, oznaczone są publikacje znajdujące się w bibliotece Instytutu Elektrotechniki

Napęd elektryczny

77* 621.34.016.1:621.03 D1—3.52

Pietrow W. I., Pietrow I. I.: **O rozwiązaniu równania ruchu napędu elektrycznego z uwzględnieniem strat energii w części mechanicznej napędu.** „O rieszenji urawnienja dwizenja elektropriwoda s ucetom potier' eniergii w miechaniczskoj czasti”. Wiestn. Elektroprom., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 48, s. 8; A 4, 6 str., 3 rys., 2 wykry. — Dodatkowo warunki brzegowe, niezbędne do rozwiązania równania ruchu z uwzględnieniem strat energii w części mechanicznej. Metoda wyznaczania strat energii przenoszonej przez dowolne części przekładni zębatych w stanach nieustalonych. Redukcja z równania ruchu-momentów oporowych pochodzących od strat energii w mechanizmie napędowym przy obciążeniu. Całkowanie równania ruchu. Metody przybliżone uwzględnienia strat energii w częściach mechanicznych napędu. S. B.

Akumulatory

78* 621.356 D1—3.52

Lubimowa E. M.: **Remont stacyjnych baterii akumulatorowych.** „Remont akkumulatornych batarej stacionarnogo tipa”. Elektr. Stan., nr 1, stycz. 50, s. 56; 1 str. — Remont baterii akumulatorów bez wyłączania jej z pracy (remont grup po kilka ogniw). Wady metody remontu. Opis nowego sposobu, polegającego na dodaniu 15—20 ogniw i remontu wyłączonych grup rzędu 20—25 ogniw. A. M.

Elektrochemia

79* 621.357.035.224:621.3.017.6 D1—3.52

Trojanowski A. W.: **Straty energii na stykach elektrod w wannach do elektrolizy cynku.** „Potieri w elektrodnych kontaktach wann dla elektroliza cynka”. Promyszl. Energ., Moskwa, mies., nr 7, lip. 50, s. 12; A4, 2 str., 7 poz. bibl. — Straty energii wskutek oporów przejścia elektrod. Opis katod i anod, stosowanych przy elektrolizie cynku. Wytyczne właściwego wykonania elektrod. Stosowanie jednorodnych katod. B. S.

80* 621.357.1:541.13 D1—3.52

Wiachiriew D. A.: **Przyrząd do kontroli stężenia jonów wodorowych (pehametr) w wannach elektrolitycznych.** „Pribor dla korrekcirowki pH w galwanicznych wanach”. Zawodskaja Laboratorija, t. XVI, nr 5, 1950, s. 625; 3,6 str., 1 fot., 1 rys., 3 poz. bibl. — Konstrukcja i działanie przenośnego przyrządu do kontroli wartości pH (dla wartości 2—7) dla elektrolitów o dobrej przewodności elektrycznej. Zastosowano elektrody z chloru srebra i antymonu. Wartość siły elektromotorycznej mierzona jest miliwoltomierzem o dużej oporności, wycechowanym w jednostkach pH. W celu zapobiegania polaryzacji elektroda antymonowa podczas pomiaru czyszczona jest za pomocą szczotek poruszanych motorkiem elektrycznym. Dokładność pomiaru $\pm 0,4$ pH. Przyrząd wygodny w eksploatacji i tani. M. P.

Elektrotermia

81* 621.365:621.311.153.003 D1—3.52

Ekonomia zużycia energii w piecach elektrycznych. „Ekonomija elektroenergii w elektricznych piecach”. Promyszl. Energ., Moskwa, mies., nr 8, sier. 50, s. 1; A4, 3 str. — Wytyczne zwiększenia ekonomii zuży-

cia energii elektrycznej na grzejnictwo przemysłowe. Przykłady oszczędności osiągniętych w zakładach przemysłowych ZSRR. B. S.

82* 621.365:629.119 D1—3.52

Skworcow W. W.: **Elektryczne ogrzewanie samochodów w czasie postoju.** „Elektropodogriew awtomaszin pri otkrytoj stojankie”. Elektr. Stan., Moskwa, mies., nr 7, lip. 50, s. 47; A4, 0,25 str., 1 rys. — Wykorzystanie sieci 65 V do ogrzewania silników samochodowych w czasie postoju w elektrowni. Montaż spirali chromoni-kielinowej w silniku. Zużycie energii elektrycznej na ogrzewanie silników. B. J.

83* 621.365.3+621.365.4 D1—3.52

Hynes L. P.: **Przemysłowe grzejnictwo oporowe.** „Industrial Electric Resistance Heating”. Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs., t. 67, 1948, s. 1359; 2,5 str., 1 tabl. — Wady i zalety oporowego grzejnictwa przemysłowego. Zagadnienia technologiczne. Zakres zastosowań. A. P.

84* 621.385.38.032.191:621.365.5 D1—3.52

Durand S. R. i Rice J. B.: **Rtęciowa lampa prostownicza jako przetwornica częstotliwości w zastosowaniu do indukcyjnego grzejnictwa metali.** „Mercury-Arc Frequency Converter for Induction Heating of Metals”. Trans. amer. Inst. electr. Engrs., New York, t. 67, cz. II, 1948, s. 1592; A 4, 7,5 str., 1 fot., 2 rys., 7 wykry., 12 poz. bibl. — Analiza teorii działania urządzenia zawierającego rtęciową lampę prostowniczą z siatkami sterującymi, służącej jako przetwornica częstotliwości z 60 c/s do 1 kc/s. Zasilanie pieców indukcyjnych o mocach setek kW. Sposób regulacji napięcia. Dostrajanie układu w miarę zmian częstotliwości obwodu drgającego wskutek zmiany indukcyjności wsadu pieca. Moc wydzielana w obwodzie obciążenia. Sprawność układu. Techniczne dane urządzenia. A. P.

85* 621.365.92 D1—3.52

Czudinow W. W.: **Zastosowanie prądów wielkiej częstotliwości w przemyśle szwalniczym.** „Ispolzowanie tokow vysokoj czastoty w szwiejnomo proizvodstwie”. Logk. Promyszl., Moskwa, mies., nr 3, marz. 50, s. 18; A4, 2 str., 4 rys. — Zastosowanie prądów wielkiej częstotliwości do łączenia materiałów na płaszcze i narzuty nieprzemakalne wykonane z mas plastycznych. Schemat, opis aparatury i technika wkonywania łączeń, zastępująca zszywanie nimi. Metoda jest nowością w szwalnictwie i stanowi nową dziedzinę zastosowania w elektrotermii wielkiej częstotliwości. A. S.

86* 621.365.92 D1—3.52

Szysztier A. B.: **Własności elektryczne niektórych materiałów w polu elektrycznym wielkiej częstotliwości.** „Elektricheskie swojstwa niekotorych matieriałow w polach vysokoj czastoty”. Elektriczestwo, nr 5, 1950, s. 19; 4,3 str., 12 wykry., 7 poz. bibl. — Analiza wyników badań przy nagrzewaniu dielektrycznym drzewa, płytek azbestowo-cementowych, materiałów włókienniczych w zależności od wilgotności, temperatury i budowy włókna, częstotliwości i stosowanych elektrod. M. P.

87* 621.367:621.79 D1—3.52

Sosnin N. W. i Jakobson S. S.: **Obróbka termiczna spawanych połączeń rur.** „Tiermoobrabotka swarnych stykow truboprowodow”. Elektr. Stan., Moskwa, mies.,

nr 12, grudz. 50, s. 40; A4, 1 str., 1 rys., 1 wyk. — Warunki montażu przewodu parowego. Podgrzewanie spójnych łączonych rur na drodze indukcyjnej. Transformator spawalniczy jako źródło prądu. Prostota omawianego przyrządu i oszczędność czasu. A. P.

Radiologia

88* 621.384.6 D1—3.52

Kerst D. W., Adams G. D., Koch H. W. i Robinson C. S.: **Betatron na 300 MeV — model pracujący przy 80 MeV.** „An 80-MeV Model of a 300 MeV Betatron”. The Review of Scient. Instrum., t. 21, nr 5, 1950, s. 462; 18,5 str., 16 rys., 8 wyk., 14 poz. bibl. — Opis budowy i działania betatronu na 80 MeV. Betatron ten zbudowano celem zbadania zachowania się konstrukcji wykorzystanej następnie przy budowie betatronu na 300 MeV. Specjalną uwagę poświęcono budowie obwodu magnetycznego, jednakowego dla betatronów i synchrotronów. Zbadano budowę magnesów, sprawdzono pola magnetyczne przy wlocie elektronów, zbadano mechanizm wychwytywania elektronów oraz wpływ niejednorodności pola. J. D.

89* 621.384.6 D1—3.52

Packh D. C. i Birnbaum M.: **Teoria wychwytywania elektronów w synchrotronie zasilanym jako betatron.** „Theory of the Capture Process in a Betatron-Injected Synchrotron”. The Review of Scient. Instrum., t. 21, nr 5, 1950, s. 451; 5 str., 2 rys., 1 wyk., 5 poz. bibl. — Przeprowadzono badanie zachowania się elektronów we wszystkich możliwych początkowych fazach: prędkościach przy przechodzeniu synchrotronu z pracy betatronowej na synchrotronową. Znalezione, że dla przeciętnego przyspieszacza najkorzystniejszą jest stopniowo i powoli zwiększać napięcie od zera do wartości końcowej. J. D.

90* 621.384.6 D1—3.52

Dazey M. H., Franck J. V., Helmholz A. C., Nunan C. S., Peterson J. M.: **Układ przyspieszający synchrotronu pracujący przy częstotliwości radiowej.** „Synchrotron Radio-frequency System”. The Review of Scient. Instrum., t. 21, nr 5, May 50, s. 436; 4 str., 1 fot., 2 rys., 1 poz. bibl. — Strumień elektronów synchrotronu z Berkeley przyspieszany jest do 335 MeV. Elektrony są dostarczane przy napięciu 100 kV, przyspieszane do ok. 2 MeV przez działanie betatronowe, a następnie przyspieszane do 335 MeV przez napięcie o częstotliwości radiowej doprowadzone do szczeliny na orbicie elektronów. Artykuł podaje schemat, opis konstrukcji i działania układu przyspieszającego. J. D.

91* 621.386.1:620.179 D1—3.52

Segal L., Creely J. J.: **Urządzenie do obracania próbki w spektrometrze rentgenowskim stosowane przy badaniach orientacji kryształów włókien celulozy i innych włókien.** „A Rotating Specimen Mount for Use with X-Ray Spectro-Meter in Measuring Crystallite Orientation of Cellulosic and Other Textile Fibers”. The Review of Scient. Instrum., t. 21, nr 5 May 1950, s. 431; 4 str., 4 rys., 4 wyk., 10 poz. bibl. — Omówienie ilościowych metod rentgenowskiego określenia orientacji włókien tkackich. Wykazano, że dotychczasowy sposób wykonywania zdjęć i mierzenia ich zaczerpień w fotometrze może być zastąpiony samoczynnym urządzeniem zapisującym, posługującym się spektrometrem rentgenowskim i licznikiem Geigera-Müllera. Opis uchwytu na próbkę, pozwalającego na należyte jej ustawienie i obracanie w czasie badania. Podano sposób wykorzystania wyników otrzymanych dla celulozy. J. D.

92* 621.386.8.535 D1—3.52

Baron L. M. i de Bretville A.: **Połączenie goniometru optycznego ze spektrometrem rentgenowskim.** „Combination Two-Circle Goniometer and X-Ray Spectrometer”. The Review of Scient. Instrum., t. 21, nr 5, May 1950, s. 458; 3,5 str., 2 fot., 1 rys., 2 wyk.,

2 poz. bibl. — Opis przyrządu składającego się z goniometru optycznego i spektrometru rentgenowskiego, przeznaczanego do badania kryształów. Kryształ ustawia się przy pomocy goniometru optycznego, po czym przeprowadza się badanie rentgenowskie zastępując kolimator i lunetkę optyczną szczelinowym kolimatorem i licznikiem Geigera. J. D.

93* 621.386.84 D1—3.52

Czygan W.: **Izotop „kobalt 60” jako tani materiał radiograficzny.** „Cobalt 60 for Low Cost Radiography”. Iron Age, t. 166, nr 8, 1950, s. 68; 5 str., 4 fot., 1 rys., 1 wyk. — Radioaktywny izotop „kobalt 60” okazał się łatwy i wygodny w zastosowaniu do radiografii przemysłowej. Wyniki są takie same jak przy użyciu droższego radu. Opis posługiwania się i przechowywania izotopu oraz techniki zdjęć. J. D.

Elektronika

94* 621.385.833 D1—3.52

Bonfiglioli G.: **Mikroskop elektronowy i jego zastosowania.** „Il microscopio elettronico e le sue applicazioni”. Elettrotecnica, Milano, mies., t. 37, nr 11, list. 50, s. 497; A4, 5,5 str., 7 fot., 1 rys., 15 poz. bibl. — Podstawy optyki elektronowej. Zasada działania mikroskopu elektronowego. Przygotowanie preparatów. Zastosowanie i możliwości rozwojowe. Literatura. A. B.

Telekomunikacja

95* 621.392.5 D1—3.52

Puchow G. E.: **O równaniach czwórnika, włączonego w złożony obwód elektryczny.** „Ob urawnienjach czetyriochpolusnika, wklucennowu w sloznuju elektriczeskiju cep’”. Elektrichestwo, Moskwa, mies., nr 5, maj 50, s. 55; A4, 3 rys., 6 poz. bibl. — Analiza stosowności równań czwórnika w układzie złożonym z wielu czwórników. Układ ogólniony równań czwórnika. Macierz przewodności czwórnika. Przykłady uzasadniające potrzebę uogólnienia teorii czwórników. B. S.

Rozrząd zdalny

96* 621.398:621.311.21 D1—3.52

Żdanow W. S.: **Sterowanie samoczynne elektrowni wodnych.** „Awtomatizieskoje upravlenie GES po wodotoku”. Elektr. Stanc., nr 7, 1948, s. 33; 7 str., 3 fot., 8 rys. — Opis zautomatyzowanej elektrowni wodnej. Całkowita automatyzacja uruchamiania i zatrzymywania zespołów turbinowo-prądnicowych. Samoczynna kontrola pracy urządzeń. Personel dyżuruje w mieszkaniach. Moc elektrowni 2×1400 kW. Hydrauliczne sterowanie zespołów turbinowych oraz regulacja ich mocy. B. K.

97* 621. 317.083.7+621.316.728:621.391.6 D1—3.52

Beckwith R. W.: **Charakterystyczne dane nowego wyposażenia do pomiarów zdalnych i regulacji obciążenia na częstotliwości nośnej.** „Characteristics of New Carrier-Current Equipment for Telemetry and Load Control”. Trans. amer. Inst. electr. Engrs., New York, t. 67, cz. II, 1948, s. 1649; A4, 4,5 str., 1 fot., 5 rys., 1 wyk., 1 tab., 4 poz. bibl. — Rozwój urządzeń rozrządu mocy pracujących na częstotliwości nośnej. Wymagania stawiane urządzeniom teletechnicznym. Urządzenia odbiorcze. Urządzenia przesyłowe. Zagadnienia prawidłowego przesyłania sygnałów. A. P.

Spawanie elektryczne

98* 621.791.7:621.18 D1—3.52

Jakobson S. S.: **Spawanie kotłów i rur wysokiego ciśnienia.** „O swarkie kotłow i truboprowodow vysokogo dawlenja”. Elektr. Stanc., nr 8, sierp. 50, s. 23; 4 str., 4 rys., 4 poz. bibl. — Wyniki długoletnich doświadczeń przy spawaniu urządzeń cieplnych wysokiego ciśnienia (kotły, rury i in.) podczas ich montażu. Konstrukcje styków spawalniczych. Upřednie podgrzewanie miejsca spawania. Elektrody spawalnicze, Wnioski. B. K.

Kandydatury na członków Stowarzyszenia Elektryków Polskich

W myśl § 12 Statutu SEP ogłasza się następującą listę kandydatów na członków zwyczajnych Stowarzyszenia:

ODDZIAŁ KIELECKI

Bischoff Jerzy, Radom, Kilińskiego 19
Gralak Bogdan, Kielce, Słowackiego 8a
Jackowski Leszek, Kielce, Słowackiego 8a
Kalcwicz Jerzy, Kielce, Targowa 2
Kopeć Daniel, Jędrzejów, Piaski 1
Machejko Leon, Kielce, Czerwonego Krzyża 5
Miernik Ludwik, Łączno, pow. Kielce, Kamionki 33
Nawrot Wiesław, Kielce, Czarnieckiego 44
Pol Marian, Jędrzejów, Armii Czerwonej 67
Wężyk Wawrzyniec, Kielce, Miła 19
Włodarski Zdzisław, Kielce, Sienkiewicza 23

ODDZIAŁ KRAKOWSKI

Dekański Stefan, Nowy Targ, Nadmłynówka 14
Filipek Tadeusz, Kraków, Manifestu Lipcowego 11
Kaznowski Mieczysław, (T), Kraków, Wielopole 2
Kokoszka Antoni, Kraków, Traugutta 12 m. 23
Kosobudzki Stanisław, Trzebinia, Świerczewskiego 156
Kułakowski Ryszard, Kraków, Kolonia XIII
Kuźma Zbigniew, (T), Kraków, Al. Dembowskiego 7 m. 6
Langer Andrzej, Kraków, Bohat. Stalingradu 39/5
Leśniak Henryk, Kraków, Czepca 20
Lisowski Czesław, (T), Kraków, Waryńskiego 23 m. 8
Nowiński Piotr, Kraków, Bohat. Stalingradu 69/10
Odzienkowski Konrad, Kraków, Al. Daszyńskiego 19/45
Passakus Zdzisław, Kraków, Józefa Sarego 7
Pieszczyński Zbigniew, Nowa Huta, blok 31/14
Prokopek Mieczysław, Kraków, Dietla 107
Wesołowski Jerzy, Zakopane, Chramcówki 4

ODDZIAŁ LUBELSKI

Chorodowski Wincenty, Lublin, Szopena 8
Kokowicz Jerzy, Lublin, Kunickiego 38 m. 6

ODDZIAŁ ŁÓDZKI

Balewski Tadeusz, Łódź, Legionów 17
Bartoz Andrzej, Łódź, Limanowskiego 134 m. 9
Chęciński Henryk, Łódź, Więckowskiego 68 m. 7
Ciecierski Ewaryst, Łódź, Brzeźna 6 m. 4
Cieśliski Stanisław, Łódź, Wschodnia 42 m. 13
Florek Stanisław, Łódź, Wschodnia 67
Goszczyński Mieczysław, Łódź, Srebrzyńska 85 m. 11
Gwizdka Stanisław, Łódź, Demokratyczna 66
Iwanowski Tadeusz, Łódź, Kilińskiego 77 m. 7
Jachimiec Ryszard, Łódź, Starogardzka 46
Jakubowski Stanisław, Łódź, Magistralca 23
Józwiak Zbigniew, Łódź, Kaliska 21
Kryszczyński Leon, Piotrków Tryb., Cegielniana 10
Kucharski Jan, Łódź, Matejki 24
Latos Karol, Łódź, Pogonowskiego 31
Lenarczyk Zygmunt, Łódź, Nicimianina 30
Maciaszek Wojciech, Łódź, Karolewska 9
Majda Zbigniew, Łódź, Narutowicza 112
Majewski Tadeusz, Łódź, Bielawska 6 m. 5
Makowski Zdzisław, Łódź, Hotel „Savoy”
Markut Zdzisław, Łódź, Ziółowa 7c
Matys Remigiusz, Łódź, Fabryczna 21 m. 32
Matyskiewicz Stanisław, Łódź, Gdańska 45
Mordas Stanisław, Łódź, Południowa 28
Myszka Antoni, Łódź, Jaracza 57
Niemczyński Remigiusz, Łódź, Stalina 7 m. 8
Ostrowski Stanisław, Łódź, Piotrkowska 117 m. 5
Pakulski Eugeniusz, Łódź, Dubois 3
Romanowski Zygmunt, Łódź, Wschodnia 55
Smierchalowski Jerzy, Łódź, Piotrkowska 15
Sroka Wiesław, Łódź, Hrubieszowska 8
Starczewski Jan, Łódź, Budziszyńska 35
Stasiak Stanisław, Łódź, Warmińska 34
Szaliński Stefan, Łódź, Więckowskiego 31
Szczucki Franciszek, Golomin Nowy, pow. Ciechanów
Szołtysek Wincenty, Łódź, Pryncypalna 38
Szulc Stefan, Łódź, Narutowicza 69/2
Szymański Wacław, Łódź, Narutowicza 56/48
Szymczyk Tadeusz, Łódź, Piotrkowska 26
Świątaszczyk Jerzy, Łódź, Narodowa 9
Tatarewicz Kazimierz, Łódź, Zamenhoffa 1 m. 12
Warecki Wiesław, Łódź, Nowy Świat 32 m. 1
Wieczorek Jerzy, Zgierz, Projektowana 15
Wielgorz Leon, Łódź, Rybacka 9 m. 5
Witczak Edward, Zgierz, Gen. Świerczewskiego 4
Włodarski Kazimierz, Łódź, M. Buczka 21
Włodarski Władysław, Łódź, Żeromskiego 45
Wojciechowski Stefan, Łódź, Nowotki 26
Zakrzewski Feliks, Łódź, Kopernika 70
Zerański Ryszard, Łódź, Sienkiewicza 115 m. 1
Żurawski Mieczysław, Łódź, Nowotki 123/41

ODDZIAŁ MAZOWIECKI

Adamski Władysław, Rawa Mazowiecka, Zamkowa Wola 14
Baryła Stanisław, Płock, Kościuszki 17 m. 5
Chojnacki Feliks, Płock, Kochanowskiego 22 m. 2
Jankowski Zbigniew, Płock, Pl. Obrońców Warszawy 1 m. 5
Krzeszewski Stanisław, Płock, Sienkiewicza, 14a m. 4
Zienkiewicz Marian, Skierniewice, Długa 1

ODDZIAŁ MAZURSKI

Białoszewski Józef, Olsztyn, Słowackiego 22/2
Chlebowski Tadeusz, (T), Giżycko, Pl. Pocztowy
Duda Zdzisław, (T), Olsztyn, Grunwaldzka 21 m. 3
Gajdzis Aleksander, Olsztyn, Żeromskiego 1
Garbino Tadeusz, (T), Giżycko, Mickiewicza 32
Grochowski Jan, (T), Giżycko, Pl. Pocztowy
Jurkiewicz Czesław, (T), Giżycko, Pl. Pocztowy
Królikowski Stefan, (T), Olsztyn, Kościuszki 119/10
Lewandowski Lucjan, (T), Biskupiec, Stalina 10
Lubachowski Ryszard, Olsztyn, Sienkiewicza 8
Łanocna Franciszek, (T), Mrągowo, Obw. Urz. Pocz. i Telegr.
Millo Mieczysław, (T), Olsztyn, Mickiewicza 33
Perczyński Lechnosiaw, Olsztyn, Przyjaciół 41/3
Piątkowski Krystyn, Olsztyn, Kossaka 12
Radek Zbigniew, Sempopol, Boh. Stalingradu 18
Stasiński Edward, (T), Kętrzyn, Ogrodowa 7
Subocz Mieczysław, (T), Bartoszyce, Marksa 29
Szczypa Bronisław, (T), Bartoszyce, Lenina 29
Wiszniewski Ignacy, (T), Olsztyn, Bałtycka 1/6

ODDZIAŁ POZNAŃSKI

Banaszek Mieczysław, (T), Poznań, Sucha 3 m. 7
Barełkowski Benjamin, Poznań, Palacza 3
Bittner Edmund, Poznań, Grochowe Łąki 1 m. 23
Borak Albin, (T), Poznań, Ostrobramska 30/5
Bójko Tadeusz, Poznań, Rybaki 19
Bukczyński Gwidon, Poznań, Pstrowskiego 63 m. 6
Burdyński Henryk, (T), Poznań, Palacza 3
Ceglarek Augustyn, Zabikowo k/Poznań, Kopernika 2
Chmiel Stanisław, (T), Poznań, Palacza 3
Czech Tadeusz, Poznań, Grottgera 4 m. 3
Czernik Maria, (T), Poznań, Jeżycka 48
Dondojewski Włodzimierz, Poznań, Al. Przybyszewskiego 5 m. 4
Drajerzak Marian, (T), Zabikowo, Kolejowa 1 m. 1
Durkowski Hieronim, (T), Poznań, Jeżycka 48 m. 6
Dworczak Jerzy, Poznań, Łukaszczyka 15 m. 14
Gajewski Czesław, (T), Poznań, Palacza 3 m. 6
Gałązka Ludomir, (T), Poznań, Jeżycka 48
Groenwald Zbigniew, (T), Poznań, Dzierżyńskiego 66 m. 9
Grzesiak Wincenty, Poznań, Maleckiego 13
Hauptmann Tadeusz, Poznań, Łąkowa 20 m. 4
Hoffmann Edward, (T), Poznań, Kwiatowa 2
Jankiewicz Edward, (T), Poznań, Palacza 3 m. 7
Jankowski Jan, Poznań, Dyr. Okr. Pocz. i Telegr.
Jarczykowski Henryk, (T), Poznań, Długa 13 m. 9
Jodłowski Franciszek, Poznań, Grottgera 4 m. 3
Kaczalek Gracjan, (T), Poznań, Wspólna 45 m. 1
Kędzior Józef, Poznań, Wierzbicice 23 m. 5
Kołaczyk Karol, Poznań, Grunwaldzka 43 m. 4
Kołodziejczak Czesław, Sulęcinek, pow. Środa, nr domu 62
Konarski Julian, Poznań, Dzierżyńskiego 39/7
Konopka Edward, (T), Poznań, Palacza 3
Kopras Aleksy, (T), Poznań, Palacza 3 m. 6
Krupa Jerzy, (T) Poznań, Krauthofera 36 m. 3
Krzyżanowski Czesław, Ostrów Wlkp. Brykzyńskiego 19
Łozowska Barbara, (T), Poznań, Jeżycka 48 (bursa)
Marszałek Henryk, Poznań, Mostowa 14 m. 1
Matuszak Stanisław, Poznań, Grobla 9 m. 7
Mąka Włodzimierz, Poznań, Jarachowskiego 49
Odachowski Wacław, (T), Poznań, Jeżycka 48
Olejniczak Stefan, Poznań, Chelmońskiego 8 m. 10
Palaczek Józef, (T), Stęszew, Wojska Polskiego 6
Podbielski Jerzy, Poznań, Pamiątkowa 21 m. 9
Poprawski Stefan, Poznań, Traugutta 23 m. 9
Powązka Kazimierz, Poznań, Chwałkowskiego 10
Przybyła Michał, (T), Poznań, Jeżycka 48
Pusz Zdzisław, (T), Poznań, Jeżycka 48
Samolczyk Mieczysław, (T), Poznań, Bojanowska 22 m. 1
Schulz Antoni, Poznań, Dąbrowskiego 275
Sobański Adam, Poznań, Dąbrowskiego 41 m. 10
Szczeński Bolesław, (T), Poznań, Rokossowskiego 276/7
Stankiewicz Józef, (T), Poznań, Jeżycka 48 (bursa)
Szkudlarek Bogdan, Kostrzyn Wlkp. Dworcowa 21 m. 5
Szukalski Stanisław, (T), Środa Wlkp. 20 Października 18
Świąta Kazimierz, (T), Poznań, Palacza 3
Tomczyk Władysław, (T), Poznań, Jeżycka 48 (bursa)
Tuszkiewicz Marian, (T), Poznań, Jeżycka 48 (bursa)
Wąsowicz Henryk, (T), Poznań, Palacza 3/6
Wojkiewicz Walenty, (T), Poznań, Rolna 48/17
Woźniak Zdzisław, Mosina, poczta Śrem, Graniczna 6
Ziętkowiak Alfred, Poznań, Śniadeckich 13 m. 8

Sprostowanie do zeszytu 2 Przeglądu Elektrotechnicznego z r. b.

Na str. 68 w lewym łamie w wierszu 23 od góry zamiast:

Poza tym gatunkiem huta zamierza produkować drugi

powinno być:

Prof. PODLACHA. W latach 1944—1945 widziałem w

Warunki prenumeraty PRZEGŁĄDU ELEKTROTECHNICZNEGO na 1952 r.

I. PRENUMERATA NORMALNA

Prenumerata **normalna** wynosi: roczna 108 zł, półroczna 54 zł, kwartalna 27 zł.

Prenumeratę należy wpłacać co najmniej na 15 dni przed rozpoczęciem okresu prenumeraty, a więc na III kwartał 1952 r. do 15 czerwca r. b., na IV kwartał 1952 r. do 15 września r. b.

Najtańszym i najpraktyczniejszym sposobem zapewnienia sobie regularnego otrzymywania pisma jest wpłacanie należności (w podanych wyżej terminach) listonoszom lub w placówkach pocztowych w trybie tzw. prenumeraty zleconej. Przy tym sposobie opłacania prenumeraty nie trzeba wypełniać blankietu przekazowego i nie ponosi się dodatkowych kosztów przesyłki pieniędzy.

Możliwy jest również poprzedni sposób przekazywania należności za prenumeratę przez wpłacanie jej w podanych wyżej terminach do PPK „Ruch” na konto PKO 1-20165/10.

U w a g a. Prenumerata „zlecona” nie ma zastosowania do prenumeraty ulgowej.

II. PRENUMERATA ULGOWA

Prenumerata **ulgowa** wynosi: roczna 54 zł, półroczna 27 zł.

Do korzystania z prenumeraty **ulgowej** są uprawnieni:

- 1) członkowie stowarzyszeń inżynierów i techników, zrzeszonych w NOT, przy abonowaniu **przez oddziały stowarzyszeń** inżynierów i techników i przy dokonaniu wpłat **do oddziału stowarzyszenia**;
- 2) studenci wyższych uczelni przy abonowaniu **zbiorowym** i opłacie prenumeraty przez **koła naukowe**.

Członkowie stowarzyszeń, pragnąc zapewnić sobie regularne otrzymywanie Przeglądu Elektrotechnicznego w drugiej połowie 1952 r., powinni **najpóźniej do dnia 10 czerwca r. b.** wpłacić należność **do właściwego oddziału swego stowarzyszenia (nie do „Ruchu”)**. Niedotrzymanie wymienionego terminu pozbawi członka stowarzyszenia prawa do prenumeraty ulgowej w drugim półroczu 1952 roku.

Członkowie stowarzyszeń inżynierów i techników oraz członkowie studenckich kół naukowych, abonujący czasopisma przez oddziały stowarzyszeń lub studenckie koła naukowe, będą otrzymywać czasopisma bezpośrednio z PPK „Ruch” według podanych adresów.

Indywidualne zgłoszenia na prenumeratę ulgową nie są przyjmowane przez PPK „Ruch”.

U w a g a. Przedsiębiorstwa, instytucje i urzędy nie są uprawnione do abonamentu ulgowego i powinny opłacać prenumeratę normalną w sposób podany wyżej w p. I.