

Biblioteka Główna i OINT
Politechniki Wrocławskiej



100100212866

BIBLIOTEKA
Politechniki Wrocławskiej

~~7213~~ III

Archiwum



Dr inż. J. Skowroński

Prof. Uniwersytetu i Politechniki
we Wrocławiu

7213 III

Archiwum

ENCYKLOPEDIA ELEKTROTECHNIKI

w/g wykładów dla studentów Oddz.
Chemii Technicznej Uniwersytetu
i Politechniki we Wrocławiu

opracował T. Sulima

WROCLAW 1948



345441L/1

P R Z E D M O W A

Wykład encyklopedii elektrotechniki dla studiujących chemię techniczną ma na celu zapoznanie słuchacza z tymi pojęciami i zjawiskami z dziedziny ogólnie objętej nazwą elektrotechniki, z którymi w swoim zawodzie-jako inżynier chemik - będzie się najczęściej spotykać.

Wiadomości tą drogą nabyte mają mu ułatwić użytkowanie tych urządzeń elektrycznych, którymi będzie się musiał posługiwać oraz uprzystępnąć jak najcelowsze wykorzystanie aparatury elektroenergetycznej, pomiarowej, sygnalizacyjnej przy eksploatacji i budowie urządzeń chemicznych przemysłowych i laboratoryjnych; mają mu one ułatwić znalezienie wspólnego języka z elektrykiem, który mu te urządzenia lub przyrządy będzie dostarczać.

Dla tego w wykładzie możliwie krótko jest traktowana strona teoretyczna oraz te zjawiska elektryczne, z którymi student chemii spotyka się w wykładzie innych przedmiotów (fizyki, chemii fizycznej). Staramy się natomiast trochę więcej uwagi zwrócić na stronę praktyczną - ruchową urządzeń elektrycznych. Przykłady i zadania są traktowane osobno.

Należy się podziękowanie Kołu Chemików Studentów Uniwersytetu i Politechniki we Wrocławiu za inicjatywę wydawnictwa, a p. as. T. Sulimie za sumienne opracowanie skryptu.

Wrocław w grudniu 1948.

zy Skowroński

muw. 12-A



~~J. 7213.~~

P.

Alc. 1556/50 k.

1 . P R A D S T A Ł Y

1.0 Zjawiska podstawowe

Zasadniczym zjawiskiem w elektrotechnice jest prąd elektryczny, t.j. ruch ładunków elektrycznych . Rozróżniamy ruch elektronów i ruch jonów. Ruch elektronów jest właściwy metalom , mamy wtedy przewodzenie metaliczne albo elektronowe , struktura metalu pozostaje przy tym bez zmian . Ruch jonów jest właściwy elektrolitom , mamy wtedy przewodzenie elektrolityczne albo jonowe. Ruch jonów jest dwustronny : anionów (jony obdarzone ładunkiem ujemnym) i kationów (jony obdarzone ładunkiem dodatnim), przy czym elektrolit ulega zmianom chemicznym. Przewodzenie elektrolityczne jest właściwe także ciałom stałym , źle przewodzącym prąd (izolatorom) mamy wtedy najczęściej tylko ruch jonów dodatnich (np. Na^+ i K^+ w szkle i materiałach ceramicznych). Różnica między przewodnikiem i izolatorem polega przede wszystkim na różnej zdolności przewodzenia prądu oraz na wspomnianym mechanizmie przewodzenia . Np. stosunek przewodności miedzi do przewodności wody wodociągowej i porcelany będzie w przybliżeniu jak $1 : 10^{-8} : 10^{-20}$. Do przewodników należą wszystkie metale roztwory kwasów, zasad i soli oraz silnie zjonizowane gazy (np. rozżarzone w płomieniu , w łuku elektrycznym).

1.1 Prawo Ohma.

Warunkiem ruchu elektronów , t.j. powstawania prądu elektrycznego jest :

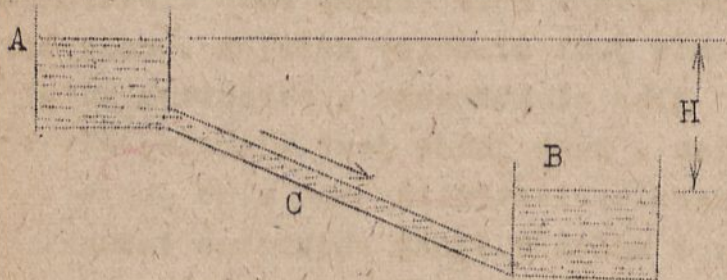
- 1) istnienie przyczyny wywołującej prąd (siła elektromotoryczna : SEM)
- 2) zamknięty obwód dla prądu elektrycznego z ciał prąd przewodzących.



Rys. 1

Prawa przepływu prądu rządzone są prawami wielkich liczb , dlatego są one bardzo ścisłe. Ruch elektronów mimo korpuskularności przyjąć możemy za ciągły ze względu na ich wielką ilość.

Istnieje wielka analogia z ruchem cieczy . Analogia hydrauliczna jest bardzo daleko idąca i można z niej wyciągnąć zupełnie ścisłe wnioski.



Rys. 2

Naczynie A i B (rys.2) połączone rurą C. Na skutek różnicy poziomów H z naczynia A do B popłynie ciecz, która będzie płynąć do chwili wyrównania ciśnień. Szybkość przepływu

cieczy z A do B jest proporcjonalna do oporu R :

$$q = k \cdot \frac{H}{R} \quad (1)$$

Wymiar $[q] = \frac{\text{litr}}{\text{sek.}}$

Nieprzerwany ruch wody nastąpi , gdy nadamy mu ruch obiegowy, stosując np. pompę , przenoszącą ciecz od dolnego do górnego poziomu .

W analogii elektrycznej :

$$q_{A \rightarrow B} = k \cdot \frac{\text{wysokość napięcia między A i B}}{R_{AB}}$$

q oznacza $\frac{\text{ilość elektryczności}}{\text{sek}}$

$$\frac{I}{t} = q$$

Przez właściwy dobór jednostek otrzymamy $k = 1$, wzór przyjmie postać :



Rys. 3

$$J_{A \rightarrow B} = \frac{U_{A \rightarrow B}}{R_{AB}} \quad (2)$$

J oznacza ilość ładunków elektrycznych przepływających przez przekrój poprzeczny przewodnika na sekundę . Chcąc zapewnić

nieprzerwany ruch elektronów, należy obieg uczynić zamkniętym, a rolę pompy spełni SEM. Powyższe prawo odkryte zostało przez Ohma i nosi nazwę prawa Ohma . W naszym przypadku można je tak

sformułować : Natężenie prądu płynącego w przewodzie AB jest wprost proporcjonalne do napięcia między A i B , a odwrotnie proporcjonalne do oporu przewodnika AB .

1.2 Jednostki podstawowe

[J] : Jednostką praktyczną natężenia prądu jest amper (symbol A) . Pochodnymi ampera są : miliamper mA = 10^{-3} ampera i mikroamper $\mu A = 10^{-6}$ ampera .

[U] : Jednostką praktyczną napięcia jest wolt (symbol V) . Pochodnymi jego są : miliwolt mV = 10^{-3} V i kilowolt kV = 10^3 V .

[R] : Jednostką oporu jest om (symbol Ω) . Pochodną jego jest megom M Ω = $10^6 \Omega$.

Definicja ampera : Amper jest to taki prąd o stałym natężeniu który przepływając przez roztwór azotanu srebra powoduje wydzielenie się 1,11815 mg srebra w ciągu 1 sek , lub ; natężenie prądu wynosi 1 amper , jeżeli przez przekrój poprzeczny przewodnika przepływa w ciągu sekundy ładunek 1 kulomba (1 C = 1 A.sek) .

Definicja oma : Om jest to opór słupa rtęci o przekroju 1 mm² i długości 106,25 cm (ściślejszej masie 14,4453 g) w temperaturze 0°C .

Definicja wolta : Volt jest to spadek napięcia na przewodniku o oporze 1 oma , przez który przepływa prąd o natężeniu 1A .

Prawo Ohma można napisać w innych postaciach :

$$U = J \cdot R \quad (1)$$

Napięcie na przewodniku jest proporcjonalne do natężenia prądu i oporu przewodnika , oraz :

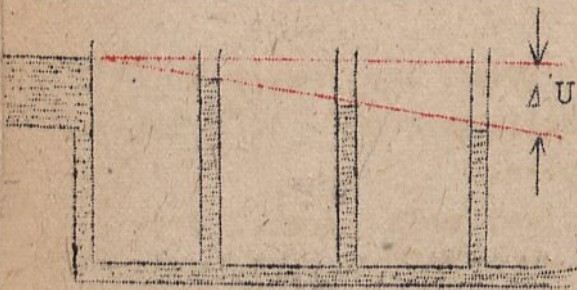
$$R = \frac{U}{J} \quad (2)$$

Opór przewodnika jest proporcjonalny do napięcia panującego na końcach przewodnika , a odwrotnie proporcjonalny do natężenia .

*notacja
for
anglia
dokładnie*

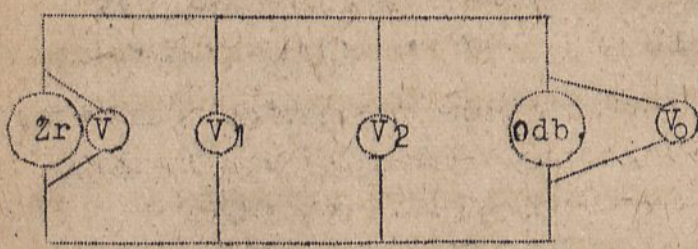
1.3 Spadek napięcia

Choć aby strumień wodny przepływał przez rurociąg musimy stworzyć różnicę poziomów (ciśnienie) na końcu i początku. Ilość wody przepływającej w jednostce czasu przez przekrój poprzeczny rurociągu zależy od różnicy poziomów na początku i końcu, oraz od wymiarów i gładkości ścianek rurociągu. Przepływ wody spowodowany jest różnicą poziomów, czyli spadkiem ciśnienia ΔU .



Rys. 4

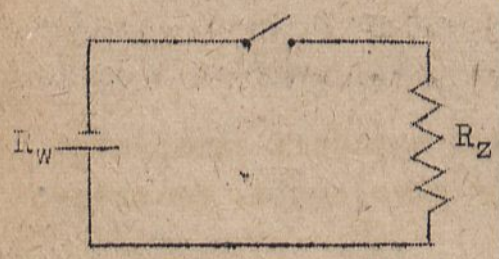
Zupełna analogia zachodzi w obwodach elektrycznych. Natężenie prądu elektrycznego (ilość elektryczności przepływającej przez przekrój poprzeczny przewodnika) zależne jest od różnicy potencjałów panującej na końcach danego przewodnika, oraz od oporu przewodnika, przy czym wzdłuż przewodnika da się stwierdzić spadek napięcia.



Rys. 5

1.4. Uogólnienie prawa Ohma dla obwodów zamkniętych

Prawo Ohma ważne jest również dla obwodu elektrycznego. Siłą elektromotoryczną (SEM) źródła prądu nazywamy napięcie na zaciskach źródła prądu przy obwodzie otwartym i oznaczamy ją przez E . Oprócz oporu zewnętrznego R_Z mamy także opór wewnętrzny R_W . Prawo Ohma dla obwodu zamkniętego ma postać:



Rys. 6

$$J = \frac{E}{R_Z + R_W} \quad (1)$$

Obwód jest otwarty, wówczas $R_z = \infty$ i prądu w obwodzie nie ma: $J = 0$, w tym wypadku $E = U$. Jeżeli zmniejszać opór zewnętrzny do zera, to prąd w obwodzie osiągnie wartość maksymalną.

$$J = \frac{E}{R_w} \quad (1.0)$$

Równanie (1) można napisać:

$$E = J \cdot R_z + J \cdot R_w \quad (2)$$

SEM jest sumą dwóch spadków napięć: spadku napięcia w obwodzie zewnętrznym i spadku napięcia na obwodzie wewnętrznym. Spadek napięcia na obwodzie zewnętrznym jest równoznaczny z napięciem na zaciskach źródła pracującego i oznaczamy go $J \cdot R_z = U$.

Otrzymamy:

$$U = E - J \cdot R_w \quad (3)$$

Napięcie na zaciskach źródła jest zawsze mniejsze od siły elektromotorycznej SEM jeżeli prąd jest ze źródła pobierany.

W motorach, gdzie prąd płynie z zewnątrz (z sieci) pokonując opór uzwojeń i SEM powstającą w silniku przy jego obrzuchu, SEM jest mniejsze od napięcia, mamy wtedy:

$$U = E + J \cdot R_w \quad (4)$$

Równanie (1) można również odnieść do obwodu z kilkoma SEM i kilkoma oporami:

$$J = \frac{\sum E}{\sum R} \quad (5)$$

1.5 Ilość elektryczności

Jako natężenie prądu przyjęliśmy ilość ładunków elektrycznych, przepływających przez przekrój poprzeczny przewodnika w jednej sekundzie.

$$di = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

Z pojęcia tego można określić ilość elektryczności:

$$Q = \int i \cdot dt \quad (2)$$

Jeżeli prąd jest stały, $i = J$, otrzymamy :

$$Q = J \cdot t \quad (3)$$

Natężenie prądu jest w amperach, czas w sekundach, więc :

$$[Q] = \text{As} \quad (\text{amperosekunda})$$

co jest równoznaczne z kulombem. W praktyce stosuje się jednostkę pochodną : amperogodziną Ah :

$$\text{Ah} = 3600 \text{ As}$$

6 Oporność i przewodność

Każdy przewodnik przeciwstawia płynącemu prądowi pewien opór R, który jest wprostproporcjonalny do długości, a odwrotnie proporcjonalny do przekroju przewodnika :

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (1)$$

R = opór w omach
 ρ = oporność właściwa przewodnika o długości 1 m, przekroju 1 mm²

$$[\rho] = \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

l = długość przewodnika w m.
 s = przekrój przewodnika w mm²

f dla elektrolitów i dużych oporności właściwych odnosi się do sześciennego boku 1 cm :

$$[\rho] = \frac{\Omega \cdot \text{cm}^2}{\text{cm}} = \Omega \cdot \text{cm}$$

Z wzoru (1) można obliczyć przekrój przewodnika :

$$s = \rho \cdot \frac{l}{R} \quad (1.0)$$

oraz długość przewodnika :

$$l = \frac{R \cdot s}{\rho} \quad (1.1)$$

Odwrotnością oporności jest przewodność :

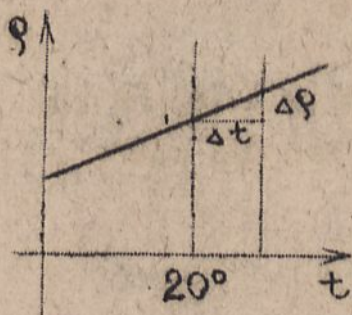
$$G = \frac{1}{R} \quad (2)$$

$$[G] = 1 \text{ Siemens (S)}$$

Przewodnik o oporze 1 Ω posiada także przewodność 1 S.

Przewodność właściwa przewodnika $\gamma = \frac{1}{\rho}$. Wymiar $[\gamma] = \frac{\text{S} \cdot \text{m}}{\text{mm}^2}$
 a w elektrolitach $[\gamma] = \frac{\text{S}}{\text{cm}}$ lub $\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} = 10^{-6} \frac{\text{S}}{\text{cm}}$.

Ze wzrostem temperatury atomy ciał stałych ulegają większym drganiom , każdy atom zajmuje większą przestrzeń i przepływ prądu czyli ruch elektronów jest utrudniony (wzrasta prawdopodobieństwo trafienia na przeszkodę) - opór materiału wzrasta . Zależność



Rys. 7

oporu od temperatury jest w pewnych granicach liniowa. Jeżeli przyjmiemy temperaturę 20°C za wyjściową , to oporność przy innej temperaturze obliczymy z wzoru :

$$R_t = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (t - 20)] \quad (3)$$

α = współczynnik cieplny oporności. Zależy jest od materiału i od temperatury

wyjściowej - wskazuje wzrost oporności przy podgrzaniu o 1°C

Metał .	$\gamma \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$ 20°C.	α 20°C	G.wł. kg/dcm ³
miedź elektrolityczna	58	0,00393	8,89
miedź przewodowa miękka	57	0,004	8,89
miedź twarda	56	0,004	8,9
aluminium	35	0,004	2,7
żelazo (czyste)	10	0,005	7,85
stal	6+9	0,004	2,7

dla szkła $\rho = 10^{12} + 10^{14} \Omega \text{cm}$

dla kwarcu topionego $\rho = 10^{16} + 10^{18} \Omega \text{cm}$

dla porcelany $\rho = 10^{14} \Omega \text{cm}$

dla wody destylowanej $\rho = 10^5 \Omega \text{cm}$

półprzewodniki $\rho = 10^5 + 10^{10} \Omega \text{cm}$

W przeciwieństwie do metali oporność węgla i ciał płynnych ze wzrostem temperatury maleje , α jest więc ujemne. W bardzo niskich temperaturach następuje zanik oporności (nadprzewodnictwo .

nie znalazło to jednak dotychczas praktycznego zastosowania.

1.7 Związek między energią elektryczną i mechaniczną

Doświadczalnie stwierdzono, że przy przemianie energii mechanicznej w elektryczną 1 kGm/sek równoważny jest 9,81 W :

$$1 \text{ kGm/sek} = 9,81 \text{ W} \quad \text{lub} \quad 1 \text{ W} = 0,102 \text{ kGm/sek}$$

$$1 \text{ kW} = 102 \text{ kGm/sek} \quad 1 \text{ kW} = 1,36 \text{ KM}$$

$$1 \text{ KM} = 75,9,81 = 736 \text{ W}$$

Przechodząc na pracę :

$$1 \text{ kGm} = 9,81 \text{ Wsek} \quad 1 \text{ W sek} = 0,102 \text{ kGm}$$

$$1 \text{ kWh} = 0,102 \cdot 10^3 \cdot 3600 = 367 \text{ 200 kGm}$$

Związek między energią elektryczną a ciepłem

Przepływowi prądu elektrycznego przez przewodnik towarzyszy zawsze nagrzanie się przewodnika. Następuje zamiana energii elektrycznej w ciepłą. Doświadczalnie stwierdzono, że 1 Ws odpowiada 0,293 kal :

$$1 \text{ Wsek} = 0,293 \text{ kal} \quad 1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$$

Jeżeli źródło prądu załączymy na opór omowy to wielkość pracy elektrycznej pobranej przez ten opór w czasie t wynosi :

$$A = U \cdot J \cdot t \quad \text{Wsek} \quad (1)$$

Praca ta zostaje przemieniona w ciepło :

$$Q = 0,239 U \cdot J \cdot t \quad \text{kal} \quad (1.1)$$

ale $U = J \cdot R$

$$Q = 0,239 \cdot J^2 \cdot R \cdot t \quad \text{kal} \quad (1.2)$$

Rozgrzanie się przewodników pod wpływem ciepła wydzielonego przez prąd elektryczny na oporze omowym ma liczne zastosowania do celów grzejnych, oświetleniowych i innych.

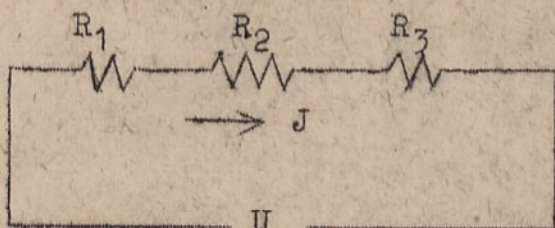
Tabela dopuszczalnych prądów dla przewodów izolowanych .

s mm ²	0,5	0,75	1,0	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	120	240
J _d Cu	7,5	9	11	14	20	25	31	43	75	100	125	160	200	280	450
J _d Al	-	-	-	-	17	22	28	38	53	72	90	110	140	205	320

s = przekrój w mm² , J_d = dopuszczalny prąd w A .

1.9 Łączenie szeregowe oporności

Jeżeli kilka oporów połączymy tak, że prąd przepływa po kolei przez każdy nie rozgałęziając się, to połączenie takie nazywamy szeregowym . Wartość natężenia prądu nie zmienia się . Suma spadków napięć na obwodzie zewnętrzny musi być równa napięciu przyłożonemu U :



Rys. 8

my szeregowym . Wartość natężenia prądu nie zmienia się . Suma spadków napięć na obwodzie zewnętrznym musi być równa napięciu przyłożonemu U :

$$U = JR_1 + JR_2 + JR_3 + \dots + JR_n \quad (1)$$

$$U = J \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) \quad (1.0)$$

$$J = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n} \quad (1.1)$$

Na miejsce oporów w obwodzie możemy wprowadzić opór zastępczy R_Z , który nie spowoduje żadnych zmian elektrycznych . Opór ten musi się równać sumie poszczególnych oporów :

$$R_Z = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (1.2)$$

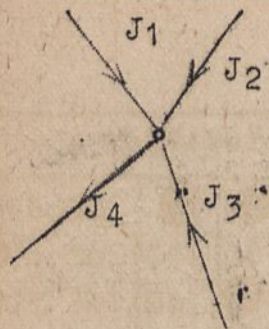
$$R_Z = \sum R \quad (1.3)$$

Przy połączeniu szeregowym opór zastępczy jest równy sumie oporów poszczególnych.

1.10 Prawa Kirchhoffa

I prawo : Dla każdego węzła suma algebraiczna prądów równa się zero :

$$\sum J = 0 \quad (1)$$



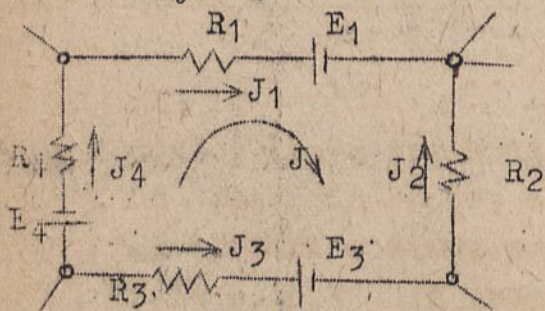
$$= 10 =$$

$$J_1 + J_2 + J_3 - J_4 = 0 \quad (\text{Rys. 9})$$

Prawo to można nazwać prawem niezniszczalności elektronów.

II prawo : W obwodzie zamkniętym suma sił elektromotorycznych oraz spadków napięć równa się zero :

Rys. 9



Rys. 10

$$\sum E = 0 \quad (1.0)$$

$$J_1 R_1 + E_1 - J_2 R_2 - E_3 - J_3 R_3 + E_4 + J_4 R_4 = 0$$

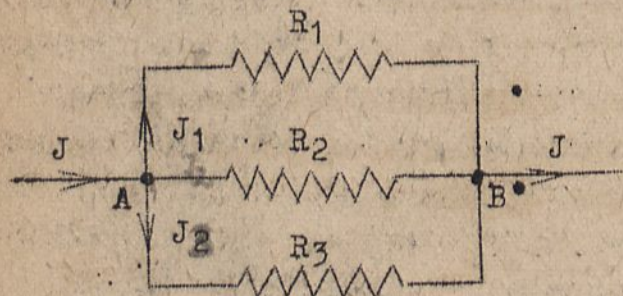
$$U_1 + E_1 - U_2 - E_3 - U_3 + E_4 + U_4 = 0$$

1.11 Łączenie równoległe oporności

Zakładamy, że przewody łączące opory nie mają oporów. Według I prawa Kirchhoffa :

$$J = J_1 + J_2 + J_3 + \dots + J_n \quad (1)$$

Napięcie na zaciskach AB (Rys, 11) wynosi U . Jest ono jednakowe dla wszystkich gałęzi.



$$U_{AB} = J_1 R_1 = J_2 R_2 = J_3 R_3 = \dots = J_n R_n \quad (1.0)$$

$$J_1 R_1 = J_2 R_2 \quad (1.1)$$

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (1.2)$$

Rys. 11

Przy połączeniu równoległym na-

tężenie prądu jest odwrotnie proporcjonalne do oporności .

$$J = \frac{U}{R}$$

Wracając do równania (1.1) :

$$\frac{U}{R_z} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots + \frac{U}{R_n} \quad (1.3)$$

= 11 =

$$\frac{1}{R_z} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1.4)$$

$$\frac{1}{R_z} = \sum \frac{1}{R} \quad (1.5)$$

Przy połączeniu równoległym odwrotność oporu zastępczego równa jest sumie odwrotności oporów poszczególnych, lub:

$$G_z = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n \quad (2)$$

Przewodność zastępcza równa jest sumie przewodności poszczególnych.

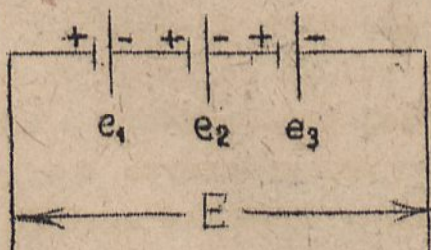
$$\frac{1}{R_z} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (3)$$

$$\frac{1}{R_z} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 \cdot R_2} \quad (3.0)$$

$$R_z = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.1)$$

1.12 Łączenie źródeł prądu

Podobnie jak opory można łączyć i źródła prądu. Przez połączenie pewnej ilości ogniw otrzymujemy baterię. Przy łączeniu szeregowym ogniw łączymy biegun ujemny



Rys. 12

pierwszego ogniwa z biegunem dodatnim drugiego ogniwa itd. Ł. czyli możemy źródła o różnej sile elektromotorycznej. Natężenie baterii jest takie jak poszczególnego ogniwa, natomiast SEM jest sumą poszczególnych SEM.

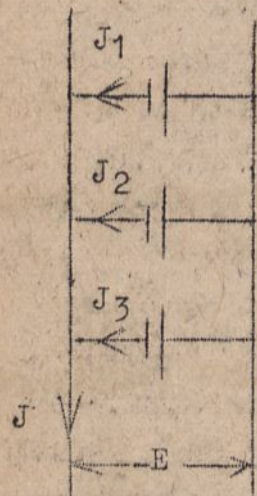
$$E = e_1 + e_2 + e_3 + \dots + e_n \quad (1)$$

$$E = \sum e_n \quad (1.0)$$

Opór wewnętrzny baterii R_{Oz} równy jest sumie oporów wewnętrznych poszczególnych ogniw r_o

$$R_{Oz} = \sum r_o \quad (2)$$

Przy połączeniu równoległym SEM pozostaje bez zmiany, natomiast natężenie prądu wydawanego przez całą baterię jest sumą natężeń prądów poszczególnych ogniw.



Rys. 13

$$J = J_1 + J_2 + J_3 + \dots + J_n \quad (3)$$

$$J = \sum J_n$$

Oporność wewnętrzna ogniw połączonych równoległe będzie mniejsza od oporności wewnętrznej ogniwa.

$$\frac{1}{R_{oz}} = \sum \frac{1}{R_o} \quad (4)$$

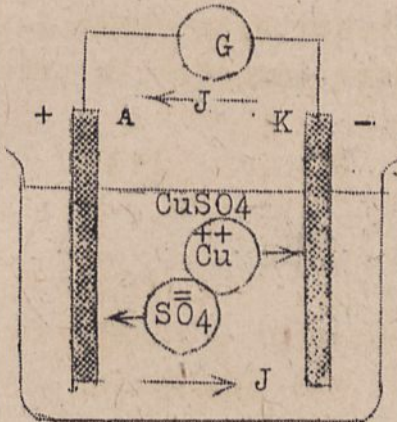
Równoległe łączyć można ogniwa jednakowe o jednakowej sile elektromotorycznej i jednakowej oporności wewnętrznej R_o , więc :

$$R_{oz} = \frac{R_o}{n} \quad (5)$$

1.13 Elektroliza

Przewodzenie prądu w metalach odbywa się - jak już wiemy - drogą ruchu elektronów. Istnieje również inny rodzaj przewodzenia, właściwy roztworom wodnym związków ulegających dysocjacji (soli, zasad, kwasów) przy którym przewodzenie polega na ruchu cząstek (jonów) obdarzonych ładunkami. Ten rodzaj przewodzenia właściwy jest wogóle wszystkim ciałom stałym źle przewodzącym. W wypadku tym przewodność rośnie wraz z temperaturą. Zjawiska występujące w czasie przepływu prądu przez elektrolity noszą nazwę elektrolizy. Dysocjacja na jony następuje w roztworze kwasu, zasady czy soli, przy czym woda jako dielektryk odgrywa rolę ośrodka dysocjującego, izolując cząstki obdarzone ładunkiem dodatnim (kationy) pozbawione jednego lub więcej elektronów zewnętrznych i ujemne (aniony). W wypadku $CuSO_4$ rozszczepienie nastąpi na Cu^{++} i SO_4^- . Z chwila przyłożenia napięcia do elektrod zanurzonych w roztworze zaobserwować można ruch jonów ku elektrodom. Jon Cu^{++} dąży do elektrody ujemnej (katody) - nazywamy go kationem,

Jon $\text{SO}_4^{=}$ dąży do elektrody dodatniej (anody) - nazywamy go kate-
nem (greckie : katodos = wyjście , anodos = wejście) . Ani-



Rys. 14

ma nadmiar elektronów , dlatego jest elektrycznie ujemnym, kation zaś ma za mało elektronów - jest więc elektrycznie dodatnim. Elektrolit nazewnątrz jest elektrycznie obojętny . Kationy ubogie w elektrony podążają do katody , tu przyjmują brakujące elektrony , stają się elektrycznie obojętne i pozostają na katodzie . W danym wypadku na katodzie dostajemy elektrolityczną miedź . Aniony , posiadające nadmiar elektronów podążają do anody , której oddają

swój nadmiar elektronów. Pozostają wówczas przy anodzie lub reagują z nią chemicznie. Jeśli w naszym przykładzie anoda składała się z miedzi , wtedy każdy jon $\text{SO}_4^{=}$ łączy się z miedzią anody dając CuSO_4 . Anoda staje się więc uboższa w miedź.

Jony spełniają rolę przenośników ładunków elektrycznych. Przy użyciu innych elektrolitów następuje analogiczne rozspie-
nienie na kationy i aniony , np. HCl rozszczepia się na H^+ i Cl^- , H_2SO_4 na 2H^+ i $\text{SO}_4^{=}$, KOH na K^+ i OH^- , NaOH na Na^+ i OH^- , NaCl na Na^+ i Cl^- , NH_4Cl na NH_4^+ i Cl^- itd. W przykła-
dach tych na pierwszym miejscu podane są kationy , na drugim aniony . Ogólnie biorąc : wodór i metale metale są kationami, wędrują więc do katody , podczas gdy reszty kwasowe i grupa wodorotlenowa są anionami , podążają więc do anody . Tu przechodzą natychmiast do roztworu lub łączą się z metalem anody. Wszystkie równowartościowe atomy posiadają jednakowe ładunki. A więc jon chloru jako jednowartościowy posiada nadmiar jed-
nego elektronu , jon zaś sodu , który utracił jeden elektron posiada przewagę jednego ładunku dodatniego . Podobnie trój-
wartościowy jon azotu posiadać będzie nadmiar trzech elektro-

nów itp. Badając zjawisko elektrolizy pod względem ilościowym Faraday określił stosunki występujące przy wydzielaniu się różnych ciał :

I prawo Faraday'a : Masa wydzielonego na elektrodzie ciała jest proporcjonalna do ilości elektryczności która przepłynęła przez elektrolit :

$$m = k \cdot Q \quad (1)$$

$$Q = J \cdot t$$

$$m = k \cdot J \cdot t \quad (1.0)$$

k - równoważnik elektrochemiczny danej substancji , podaje on masę wydzielonej substancji przy przepływie 1 kulomba. Wymiar [gr/c]

II prawo Faraday'a : Masy ciał wydzielonych przez ten sam prąd są proporcjonalne do ich chemicznych równoważników (względem wodoru) . Masa wydzielona przez ładunek 1 C wynosi :

$$\frac{m}{Q} = k = \frac{1}{96540} \cdot \frac{A}{W} \quad (2)$$

A/W = równoważnik chemiczny

A = ciężar atomowy

W = wartościowość

Jeśli np. prąd elektryczny przepływa przez 3 roztwory z których kolejno wydziela się wodór, srebro i miedź, to masy wydzielonych substancji tworzyć będą stosunek 1 : 107,7 : 31,6 . Ilość więc elektryczności potrzebna do wydzielenia równoważnika chemicznego dla różnych ciał jest ta sama . Doświadczalnie stwierdzić można , że do wydzielenia z elektrolitu równoważnika chemicznego danego ciała wyrażonego w gramach potrzeba 96540 kulombów. Liczba ta nosi nazwę stałej Faraday'a.

1.131 Zastosowania elektrolizy

Elektroliza znalazła obszerne zastosowanie w wielkiej gałęzi przemysłu elektrochemicznego , pozwalając na szereg zastosowań praktycznych jak :

- 1) otrzymywanie i rafinacja metali
- 2) galwanostegia
- 3) galwanoplastyka

Otrzymywanie i rafinacja metali na drodze elektrolizy czyli tzn. elektrometalurgia posługuje się elektrolizą w następujący sposób: jeżeli ruda jest dość przewodząca, to używa się jej jako anody, podczas gdy czysty metal osadza się na katodzie. W przeciwnym wypadku rozpuszcza się rudę w odpowiednim rozpuszczalniku (stopionym) i poddaje elektrolizie. Metale tak otrzymane odznaczają się wielką czystością, dochodząca do 99,99%. Częściej rudę poddaje się obróbce hutniczej (miedź) a potem drogą elektrolityczną (elektroliza CuSO_4) otrzymuje się rafinat. W przypadku, jeśli metal nie daje soli rozpuszczalnych w wodzie elektrolizę wykonuje się na gorąco ze stopionego z dodatkami odpowiednich topników tlenku przy użyciu elektrod węglowych (np. Al i Mg.).

Galwanizowanie ma na celu pokrywanie przedmiotów metalowych cienką warstewką innych metali, celem ochrony ich przed rdzewieniem lub nadania ładnego wyglądu (złocenie, niklowanie, chromowanie itp.). Polega na tym, że przy użyciu anody z metalu wchodzącego w skład soli elektrolizowanej, powodujemy wędrówkę metalu powlekającego do katody, którą stanowi powlekany przedmiot. Jeżeli przedmiot ten nie jest przewodzący, pokrywamy go warstewką przewodzącą rufitu.

Galwanoplastyka polega na zdejmowaniu kopij z płaskorzeźb, moń itp. W tym celu z oryginału odciska się formę z materiału plastycznego, naciera się ją warstwą przewodzącą i powleka warstwą metalu dowolnie grubą na drodze elektrolitycznej. Po odjęciu formy otrzymuje się dokładną kopię.

1.14 Polaryzacja

Tak jak przewodniki metalowe, tak i elektrolity posiadają pewien opór. Dla przykładu: Oporność właściwa 30% roztworu kwasu siarkowego wynosi $1,4 \text{ oma} \cdot \text{cm}$, podczas gdy opór takiej samej kostki miedzianej wynosi tylko $1,7 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$. Opór właściwy elektrolitów zależny jest od temperatury i od stężenia roztworu. Ze wzrostem temperatury oporność maleje. Wpływ stężenia jest bardziej skomplikowany. Dla danego elektrolitu przy pewnym określonym stę-

zeniu oporność jest najmniejsza . Im bardziej roztwór jest stężony , tym mniej jest zdysocjowany , gdyż ilość wody (czynnika dysocjującego) jest mniejsza . Z drugiej znów strony stężenie decyduje o całkowitej ilości cząsteczek w jednostce objętości . Zatem zbyt wielkie rozcieńczenie zwiększa oporność , gdyż elektrolit posiada za mało jonów . Istnieje więc pewne optimum stężenia . Współczynnik cieplny oporności elektrolitu ma wartość ujemną i liczbowo jest znacznie większy niż dla metali . Jeżeli do elektrod przyłożymy małe napięcie np. 1 V , to elektroliza trwa zaledwie krótką chwilę . Wydzielane produkty są absorbowane przez elektrody , wykazują jednak silną dążność do pierwotnego chemicznego połączenia się , powodując powstanie SEM na elektrodach , skierowanej przeciwnie do SEM przyłożonej . Powstała w ten sposób SEM nosi nazwę SEM polaryzacji .

Prąd przepływający przez elektrolit wykonuje pewną pracę , przesuując jony w różnych kierunkach , pokonując istniejącą między jonami siłę przyciągania . Proces elektrolizy jest nieodwracalny , gdy wydzielone produkty na elektrodach nie mogą się już połączyć . Proces elektrolizy można też poprowadzić tak , aby połączenie nastąpiło po odłączeniu źródła prądu . Przy zamknięciu obwodu popłynie wtedy prąd w przeciwnym kierunku do prądu powodującego elektrolizę . Praca włożona oddana jest z powrotem w postaci prądu . Proces taki nazywamy odwracalnym . SEM polaryzacji dla określonych warunków posiada wartość stałą , niezależną od wielkości przyłożonej SEM . W wypadku np. kwasu siarkowego wynosi ona 1,48 V .

Zmniejszenie więc prądu płynącego przez elektrolit spowodowane jest występowaniem SEM polaryzacji o kierunku przeciwnym do SEM przyłożonej . Powyższe zjawisko znalazło zastosowanie w akumulatorach .

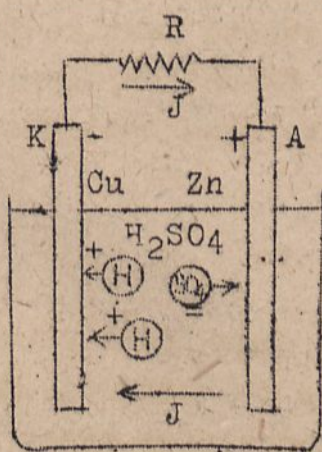
1.15 Ogniwa galwaniczne

Jeżeli w elektrolicie , np. H_2SO_4 zanurzymy dwie płytki z różnych metali , to zauważymy , że pomiędzy nimi powstaje SEM . Łącząc je przewodnikiem otrzymamy prąd . Wszystkie metale zanurzone w elektrolicie wykazują dążność do przechodzenia w stan jonowy . Dążność tą

nazywamy ciśnieniem roztwórczym . Zanurzając np. płytkę Zn do roztworu H_2SO_4 powodujemy oderwanie się atomów Zn od płytki i przejście ich do roztworu . Jednocześnie atomy cynku stają się jonami , każdy z nich pozostawia na płytce dwa elektrony, czyli ładuje ją ujemnie . Ciśnienie roztwórcze dla różnych metali jest różne . Uszeregować je można w tzw. szereg elektrochemiczny. Ciśnienie roztwórcze maleje przy posuwaniu się ku końcowi szeregu :

Mg , Zn , Fe , Pb , Cu , Hg., Ag , Pt

Przez zanurzenie w elektrolicie dwóch płytek otrzymujemy różne ich potencjały względem elektrolitu . Różnica potencjałów daje napięcie . Jeżeli jedną elektrodę zrobimy z węgla , który nie posiada ciśnienia roztwórczego , to napięcie będzie równe potencjałowi płytki metalowej . Jeżeli w roztworze kwasu siarkowego zanurzymy elektrodę cynkową , (której potencjał względem roztworu H_2SO_4 wynosi 1,35) i miedzianą (0,6) , to powstanie różnica potencjałów , czyli SEM równa 0,75 woltów . Jest to najstarsze ogniwo galwaniczne - ogniwo Volty .



Rys.15

W ogniwie powyższym występuje również SEM polaryzacji . Jest ona spowodowana wydzieleniem się wodoru na katodzie . Ta SEM zmniejsza SEM wytwarzaną na skutek początkowych procesów chemicznych. Poza tym , pęcherzyki H wydzielające się na elektrodzie (Cu) zmniejszają jej powierzchnię czynną, powodując tym zwiększenie oporu wewnętrznego ogniwa. Celem uniknięcia polaryzacji stosuje się środki depolaryzacyjne . Są to materiały bogate w tlen i wiążące wydzielające się atomy wodoru w cząsteczki wody. Materiały te otaczają katodę , zaś od H_2SO_4 oddzielone są porowatą ścianką , nie stanowiącą jednak przeszkody dla wodoru. Jako materiału depolaryzacyjnego używa się dwutlenku manganu , na-

ją jej powierzchnię czynną, powodując tym zwiększenie oporu wewnętrznego ogniwa. Celem uniknięcia polaryzacji stosuje się środki depolaryzacyjne . Są to materiały bogate w tlen i wiążące wydzielające się atomy wodoru w cząsteczki wody. Materiały te otaczają katodę , zaś od H_2SO_4 oddzielone są porowatą ścianką , nie stanowiącą jednak przeszkody dla wodoru. Jako materiału depolaryzacyjnego używa się dwutlenku manganu , na-

tlenku ołowiu i tp.

Ogniwa te, zwane mokrymi są rzadko używane. Duże zastosowanie mają tzw. ogniwa suche. Ogniwo Leclanche'go nadaje się do przenoszenia i transportu. Występuje jako suche i nalewne. W obu wypadkach zamknięte jest hermetycznie. Katodą jest węgiel, anodą cynk. Elektrolit stanowi nasiąkliwa masa przesycona roztworem salmiaku (NH_4Cl). W czasie przejścia prądu rozkłada się on na NH_4 i Cl . Chlor dąży do anody i tworzy ZnCl_2 . NH_4 dąży do katody i rozpada się na amoniak i wodór. Materiałem depolaryzacyjnym jest dwutlenek manganu MnO_2 otaczający katodę. Suchych ogniw Leclanche używa się do latarek kieszonkowych, w radiotechnice jako baterie anodowe, do przyrządów pomiarowych i t.p.

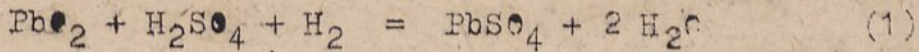
1.16 Akumulatory

Akumulatorami nazywamy przyrządy służące do gromadzenia i przechowywania energii elektrycznej w celu użytkowania jej we właściwym czasie. Zasada działania akumulatora oparta jest na prawach Faradaya dotyczących elektrolizy (p.). Obecnie w użyciu znajdują się 2 rodzaje akumulatorów: ołowiowe (kwasowe) oraz żelazo-niklowe (zasadowe).

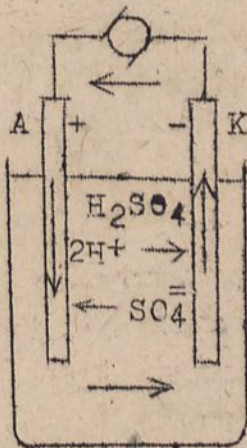
1.16.0 Akumulatory ołowiowe

Najprostszy akumulator ołowiowy składa się z dwóch płyt ołowiowych zanurzonych w roztworze kwasu siarkowego (elektrolit). Dwie elektrody ołowiane nie dają napięcia. Przepuszczając przez akumulator prąd powodujemy rozkład elektrolitu i wydzielanie się wodoru na płycie przyłączonej do ujemnego bieguna źródła prądu (katodzie), oraz wydzielanie SO_4 , który w reakcji z elektrolitem daje tlen na płycie przyłączonej do bieguna dodatniego (anodzie). Wydzielający się tlen daje z ołowiem dwutlenek ołowiu PbO_2 pokrywając anodę warstwą, wodór zaś redukuje katodę do czystego ołowiu (płyta ta posiada bowiem na swej powierzchni warstewkę tlenków ołowiu). Po takim przekształceniu płyt, przy połączeniu ich (uprzednio odłączony

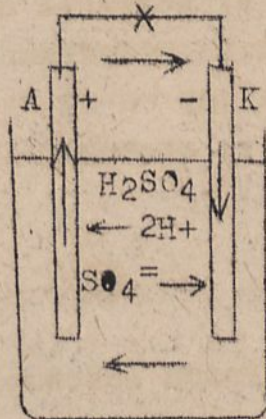
od źródła prądu) otrzymamy w obwodzie prąd (rys.16 b). Kierunek jego będzie odwrotny do kierunku prądu podczas procesu elektrolizy. Wodór łączy się teraz do anody i wraz z kwasem siarkowym przekształca ją na siarczan ołowiu, tworząc jednocześnie cząsteczkę wody :



Grupa SO_4 łączy się do katody i tworzy również siarczan ołowiu :

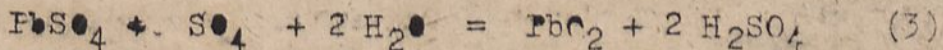


Rys. 16 a

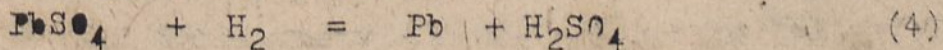


Rys. 16 b

Przeprowadzając powtórnie proces ładowania, przez przyłączenie płyt do źródła prądu jak poprzednio, spowodujemy znowu wędrówkę jonów. Anoda przekształci się znowu w płytę dwutlenkową :



Katoda przekształci się w ołów :



Z równań tych wynika, że przy ładowaniu wytwarzają się cząsteczki kwasu, czyli stężenie elektrolitu rośnie, przy wyładowaniu zaś maleje. Przepisowa gęstość przy ładowaniu wynosi 1,24 - 1,25, przy wyładowaniu 1,17 - 1,18. Biegunowość przy wyładowywaniu i ładowaniu pozostaje niezmienną, zmienia się tylko kierunek prądu wewnątrz akumulatora. W czasie ładowania energia elektryczna zamienia się w energię chemiczną. W postaci energii chemicznej przechowuje się energia elektryczna. Płyty w akumulatorze łatwo odróżnić. Anodę stanowi płytka

z czystego ołowiu w formie krat (szkielet), którą wypełnia się pastą, złożoną z tlenków ołowiu (minia i glejta). Płyta katodowa powinna być z czystego ołowiu w formie gąbczastej. Płytę dodatnią poznać więc można po czekoladowym zabarwieniu, ujemną zaś po czarnym. Dla zwiększenia pojemności płyty są montowane w zespoły. Płyt ujemnych daje się o jedną więcej - wypadają one jako zewnętrzne.

Pojemność akumulatora jest to ilość elektryczności wyrażona w amperogodzinach, którą akumulator przy wyładowaniu oddać może. Jest ona większa przy słabym prądzie wyładowania niż przy silnym, np. czas wyładowania akumulatora prądem 1 A jest 2,5 razy większy niż czas wyładowania prądem 2 A.

Sprawność rozróżniamy energetyczną i elektryczną. Sprawność elektryczna jest to stosunek ilości elektryczności wyładowania do ładowania:

$$\eta_{el} = \frac{Q_w}{Q_z} \quad (5)$$

Jest ona rzędu 0,7 - 0,8. Praca ładowania wynosi:

$$A_z = J \cdot U_z \cdot t_z \quad (6)$$

Praca wyładowania:

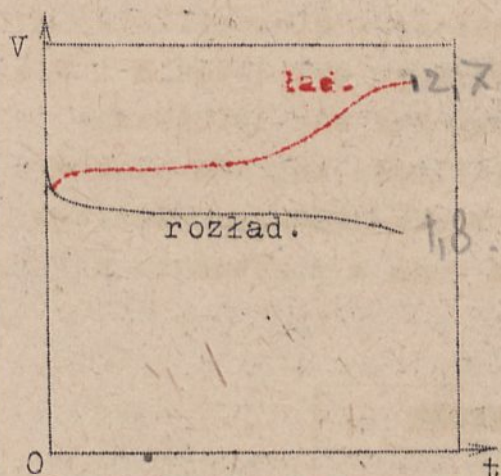
$$A_w = J \cdot U_w \cdot t_w \quad (7)$$

Czas i napięcie wyładowania są mniejsze od czasu i napięcia ładowania, przy tym samym prądzie. Stosunek pracy (ew. mocy) wyładowania do ładowania nazywamy sprawnością energetyczną:

$$\eta_{en} = \frac{A_w}{A_z} \quad (8)$$

Jest ona mniejsza od sprawności elektrycznej i jest rzędu 0,5 - 0,6.

Obie te sprawności zależą od natężenia prądu ładowania i wyładowania, oraz są mniejszymi przy długiej przerwie między ładowaniem a wyładowaniem. Przebieg ładowania i wyładowania podaje rys. 17.



Przebieg ładowania i rozładowania akumulatora.

Rys. 17

Napięcie przy ładowaniu normalnym prądem (podanym przez wytwórnice) podnosi się do 2,7 V. Wartości tej przekroczyć nie może, gdyż siarczan ołowiu został całkowicie przetworzony, przy dalszym zaś ładowaniu następuje jedynie wydzielanie się wodoru i tlenu z elektrolitu (gazowanie). Zbliżanie się z ogniem do gazującego akumulatora może spowodować wybuch. Przy ładowaniu prądem mniejszym niż normalny wielkość osiadczenia

tego napięcia jest mniejsza. Przy wyładowaniu napięcie utrzymuje się przez dłuższy czas na poziomie 2 V po czym szybko spada. Wyładowanie przy napięciu 1,3 V należy przerwać. Przy dalszym wyładowywaniu tworzy się na płytach szkodliwy nalot krystaliczny $PbSO_4$, który zmniejsza powierzchnię czynną płyt, przez co obniża pojemność akumulatora. Nalot ten przez częste ładowanie i wyładowywanie słabym prądem można czasem usunąć. Przy ładowaniu i wyładowywaniu zbyt silnym prądem płyty krzywią się i masa z płyt dodatnich wypada. SEM akumulatora mało się różni od napięcia ze względu na bardzo mały opór wewnętrzny.

Akumulator ołowiowy nie może pozostawać przez dłuższy czas w stanie nienaładowanym. W razie potrzeby dłuższego przechowywania (parę miesięcy) należy go naładować, usunąć elektrolit, akumulator przemyć dobrze wodą destylowaną i napełnić nią akumulator. Należy jeszcze wspomnieć o samowyładowywaniu się akumulatora. Samowyładowywanie akumulatora wynosi około 1 % jego pojemności na dobę i zależy od stanu jego utrzymania.

1.16.1 Akumulatory żelazo-niklowe

Płyty są w kształcie krat. Anoda nasycona jest proszkiem tlenku żelaza, katoda zaś zawiera sproszkowany tlenek niklu.

Elektrolitem jest żug potasowy . Napięcie przy wyładowaniu wynosi około 1,2 V . Zaletą ich jest trwałość , niewrażliwość na przeciążenie prądem , oraz możność zupełnego wyładowania i pozostawienia w tym stanie na czas dłuższy bez szkody. Używane są do samochodów elektrycznych, do oświetlania wagonów elektrycznych w czasie postoju (w czasie ruchu pracują równoległo z prądnicami). Wadą ich jest wysoka cena w porównaniu z ołowiowymi.

2. ZJAWISKA MAGNETYCZNE

2.0 Natężenie pola magnetycznego

Jeżeli między biegunami magnesu umieścić małe igły magnetyczne , ustawią się one wzdłuż

linii biegnących od bieguna północnego do południowego.

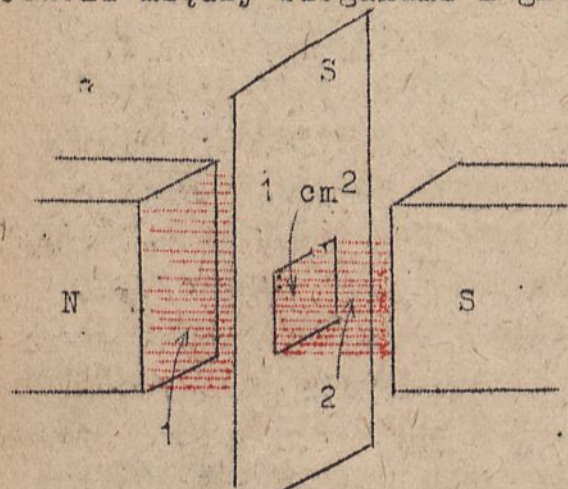
Linie te (t.j. odpowiednie położenie igły magnetycznej) nazywamy liniami sił magnetycznych .

Mogą być one poprowadzone przez wszystkie punkty przestrzeni otaczającej , zwanej polem magnetycznym . Miarą jego jest natężenie pola H , które wyraża

się graficznie gęstością linii sił , przypadających na 1 cm^2 powierzchni prostopadłej do ich kierunku i jednocześnie przedstawia siłę w dynach , z jaką pole magnetyczne działa na jednostkowy biegun magnetyczny dodatni umieszczony w danym punkcie.

Tak określoną jednostką natężenia pola magnetycznego jest oersted (oe) . Ilość linii sił przypadających na powierzchnię S nazywamy strumieniem magnetycznym Φ (rys. 18- 1) .

Jeżeli w polu magnetycznym w powietrzu na 1 cm^2 przekroju poprzecznego przypada H linii sił , to po umieszczeniu w polu żelaza ilość linii sił znacznie się zwiększy. Liczba linii sił na 1 cm^2 żelaza wyraża graficznie indukcję



Rys. 18

magnetyczną , oznaczamy ją B :

$$B = \frac{d\Phi}{dS} \approx \frac{\delta}{S} \quad (1)$$

Φ wyraża strumień magnetyczny przepływający przez rdzeń żelazny o przekroju $S \text{ cm}^2$. Jednostką indukcji magnetycznej jest gaus (G) . Indukcja magnetyczna jest równa gausowi , jeżeli na 1 cm^2 przekroju poprzecznego przypada 1 linia sił . Indukcja magnetyczna mówi nam o intensywności , z jaką pole magnetyczne działa w danym punkcie .

Miarą strumienia magnetycznego jest 1 maxwell . Strumień magnetyczny równy 1 maxwellowi , oznacza się 1 linią sił . Zależność między indukcją i natężeniem pola :

$$B = \mu \cdot H \quad (2)$$

μ oznacza przenikliwość magnetyczną , która dla różnych ciał jest różna . μ dla powietrza i próżni wynosi 1 . Ciała dla których μ jest mniejsze od 1 nazywamy diamagnetycznymi

(rys 19 a) . Ciała dla których μ jest większe od jednościi nazywamy paramagnetycznymi (rys 19 b) . Oddzielną grupę stanowią ciała ferro magnetyczne (żelazo, kobalt, nikiel i niektóre stopy Cu-Mn) dla których μ jest bardzo wielkie i zależne od natężenia pola magnetycznego H . Zależność indukcji od natężenia pola przedstawia nam krzywa magnetyzowania, która jest różna dla różnych gatunków żelaza. (str. 25)



Rys.19

2.1 Pole magnetyczne prądu

Pole magnetyczne powstaje także w otoczeniu przewodnika, przez który płynie prąd . Linie sił są liniami zamkniętymi i współśrodkowymi z przewodnikiem . Kierunek linii określa reguła korkociągu (śruba o gwincie prawoskrętnym) ; jeżeli wkręcać korkociąg w kierunku prądu , to kierunek obrotu zgodny

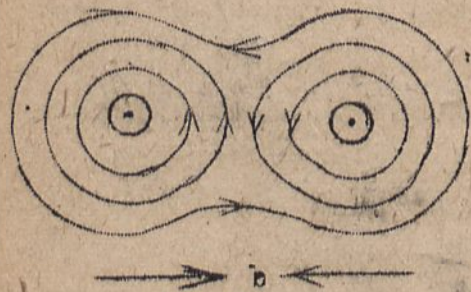
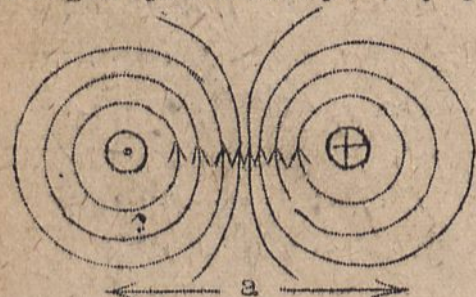
jest z kierunkiem linii sił. Im dalej od przewodnika, tym natężenie pola jest słabsze. Prąd idący w naszym kierunku oznaczamy kropką (ostrze strzałki), idący od nas - krzyżykiem.



Rys.20

Jeżeli mamy obok siebie dwa przewodniki przez które płynie prąd w kierunkach przeciwnych, to linie sił między nimi się zagęszczają - przewody będą się odpychać. Jeżeli natomiast prądy będą miały kierunki zgodne, to przewody będą się przyciągały. Linie sił pola magnetycznego nigdy się nie przecinają. Jeżeli przez spiralnie zwinięty przewodnik przepuścimy prąd elektryczny, to układ taki, zwany cewką, będzie posiadał własności zwykłego magnesu.

Na jednym końcu cewki otrzymamy biegun północny, a na drugim biegun południowy. Gdy prawą rękę położymy łkonią na zwojnicy,



Rys.21

końcami palców wskazując kierunek prądu płynącego w zwojach, to odchyłony kciuk wskazuje biegun północny.

Wewnątrz cewki otrzymujemy dość jednostajne pole magnetyczne, którego linie sił układają się podobnie jak w magnesie stałym. Natężenie pola magnetycznego w cewce jest tym większe im większa jest ilość zwojów cewki (z) i im większy jest prąd przepływający przez jej zwoje (J):

Iloczyn natężenia prądu w amperach przez ilość zwojów nazywamy amperozwojami (Az)

$$J \cdot z = Az \quad (1)$$

Ilość linii na 1 cm^2 przekroju wewnętrznego cewki obliczamy

z wzoru :

$$H = \frac{k \cdot J \cdot z}{l} \quad (2)$$

$$[H] = \frac{Az}{cm} \quad (l = \text{długość cewki w cm})$$

Przyjmijmy $1 \text{ Az/cm} = 1,256 \text{ oe.}$, więc :

$$H = \frac{1,256 \cdot J \cdot z}{l} \quad [oe] \quad (3)$$

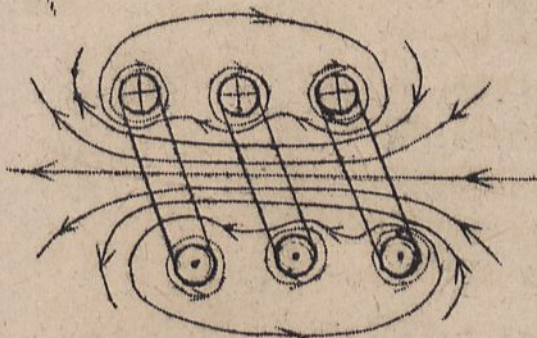
lub :

$$H = \frac{0,4 \pi \cdot J \cdot z}{l} \quad [G] \quad (4)$$

Jeżeli do cewki włożymy rdzeń żelazny, to strumień magnetyczny zwiększy się μ razy. Cewka z rdzeniem nazywa się elektromagnesem.

2.2 Obwód magnetyczny

Drogę wzdłuż której przechodzi strumień magnetyczny nazywamy



Rys 22.

obwodem magnetycznym. Obwód magnetyczny jest doskonały, jeżeli strumień magnetyczny całą drogę przebywa w żelazie. Oznaczywszy strumień, indukcję i przekrój żelaza przez Φ , B i S, mamy :

$$\Phi = B \cdot S \quad (1)$$

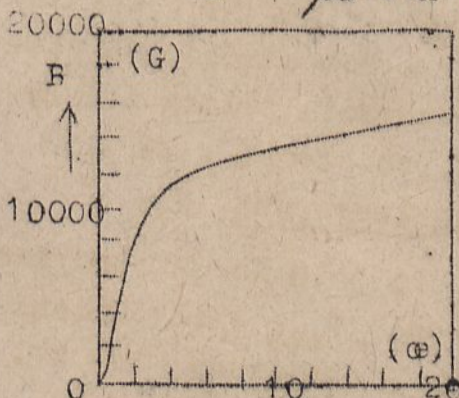
$$B = \mu \cdot H$$

$$\Phi = \mu \cdot H \cdot S = \mu \cdot S \cdot \frac{0,4 \cdot \pi \cdot J \cdot z}{l}$$

$$\Phi = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot J \cdot z}{\frac{l}{\mu \cdot S}}$$

Przez R oznaczamy $l/\mu \cdot S$:

$$\Phi = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot J \cdot z}{R} = \frac{M}{R} \quad (1.1)$$



Rys.22 → H

Jest to prawo Ohma dla obwodu magnetycznego. Strumień magnetyczny jest

proporcjonalny do siły magnetomotorycznej, odwrotnie proporcjo-

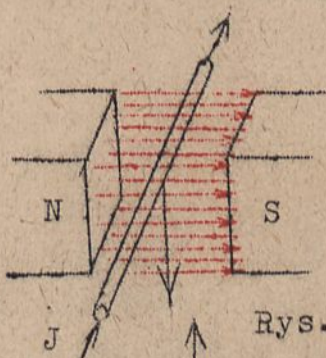
pierwszego magnesowania . Praca zużyta przy jednym całkowitym cyklu histerezy jest proporcjonalna do pola objętego pętlą.

Szerokość pętli jest różna dla różnych materiałów. Pętla jest szeroka dla materiałów twardych , np. stali hartowanej , które stosuje się dla uzyskania magnesów trwałych, wąska zaś dla materiałów miękkich np. blachy transformatorowej, które stosuje się , jeżeli zależy nam na częstym przemagnesowywaniu.

W ciałach ferromagnetycznych istnieją elementarne cząstki magnetyczne , które dopiero w polu magnetycznym orientują się i wtedy ciała te wykazują własności magnetyczne. Z chwilą usunięcia pola , drgania atomów naruszają porządek i działanie magnetyczne ciała zanika . Nowoczesna metalurgia daje ciała, które trudno się magnesują i rozmagnesowują - posiadają dużą siłę koercji . Stale magnesowe mają siłę koercji powyżej 50 oer , stale wysokowartościowe powyżej 100 oer , stale wolframowe około 200 oer , a spieki do 600 oer

2.4 Działanie dynamiczne pola magnetycznego na prąd .

Między biegunami magnesu umieszczamy prostopadle przewodnik, przez który płynie prąd o natężeniu J . Stwierdzono doświad-



Rys.24

czalnie , że na prąd oddziaływa siła (F) . Kierunek siły określa reguła trzech palców lewej ręki (rys 25) .

Kierunki prądu , linii sił pola magnetycznego i działania siły są do siebie wzajemnie prostopadłe.

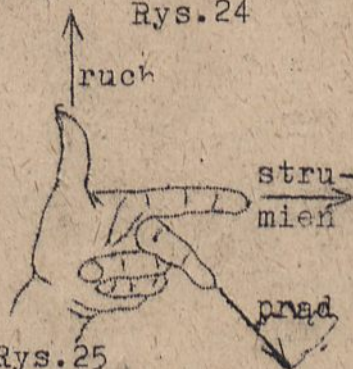
Wielkość działającej siły wylicza się z waru :

$$F = B \cdot J \cdot l \quad (\text{dyn}) \quad (1)$$

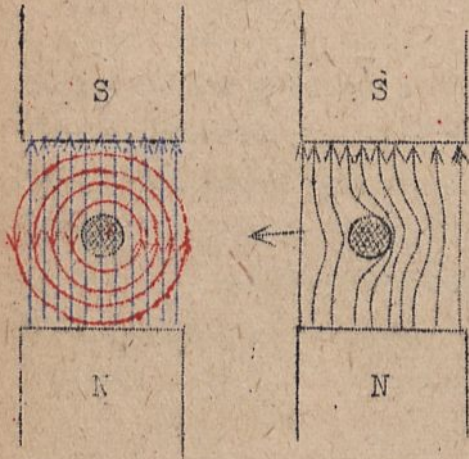
lub :

$$F = B \cdot J \cdot l \cdot 1,02 \cdot 10^{-7} \quad (\text{kg}) \quad (1.0)$$

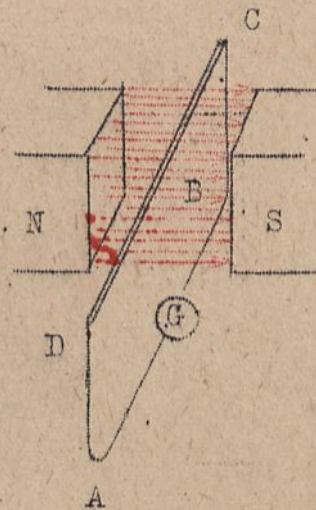
Rys.25



Wymiary : $[B]$ = gausów , $[J]$ = amperów , $[l]$ = cm = długość czynna przewodu (część znajdujaca się w polu magnetycznym. Jako jednostkę indukcji B przyjmuje się indukcję , przy której pole magnetyczne odizialuje na prąd o długości = 1 cm, wiodący prąd 10 A , z siłą 1 dyży - jednostka taka nazywa się gaus.



Rys.26



Rys.27

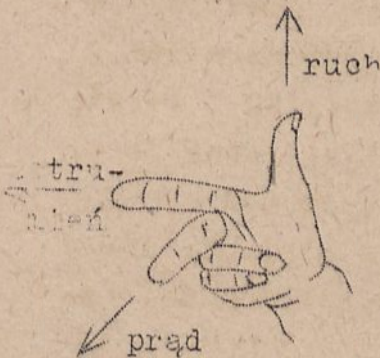
Przewodnik przez który płynie prąd elektryczny, wytwarza własne pole magnetyczne, które z prawej strony wzmacnia pole magnetyczne wytworzone przez magnesy, z lewej zaś osłabia .

Linie zagęszczone starają się przewodnik wypchnąć w kierunku oznaczonym strzałką (rys. 26). Powyższe własności magnetyczne są podstawą działania silników elektrycznych.

2.5 Ruch przewodu w polu magnetycznym

Jeżeli w polu magnetycznym porusza się przewodnik zamknięty, przecinający linie sił , to powstaje w nim siła elektromotoryczna indukowana i popłynie w nim prąd indukowany. Jeśli przewodnik porusza się w dół (rys.27) to ilość linii sił przechodzących przez obwód ABCD się zwiększa , prąd popłynie w kierunku oznaczonym strzałką . Jeśli przewodnik porusza się w górę , linii ubywa i prąd popłynie w kierunku przeciwnym. Prąd indukowany powstaje , jeśli się zmienia ilość linii sił przecinających obwód przewodnika. Jeśli przewodnik przecina 1 linię sił w czasie 1 sek , powstaje w nim siła elektromoto-

ryczna równa 1 V . Kierunek powstającego prądu określa reguła trzech palców prawej ręki (rys.28) . SEM indukowana w poruszającym się przewodniku jest proporcjonalna do ilości linii sił magnetycznych przeciętych przez ten przewodnik w jednostce czasu :



Rys.28

$$E = - \frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8} \quad (V) \quad (1)$$

Znak minus wyjaśnia reguła przekory Le Chatelier'a : Jeżeli podczas ruchu obwodu płynie w nim prąd indukowany, to powstające przy tym siły są skierowane tak , że przeciwdziałają ruchowi obwodu.

$$\Phi = B \cdot s \quad (z 1) \quad (\text{rozd.2.2})$$

$$d\Phi = B \cdot ds \quad (2)$$

$$ds = l \cdot dx \quad (\text{element powierzchni}) \quad (2.0)$$

Podstawiając do wzoru (1) otrzymamy :

$$E = - \frac{B \cdot ds}{dt} \cdot 10^{-8} = - \frac{B \cdot l \cdot dx}{dt} \cdot 10^{-8} \quad (2.1)$$

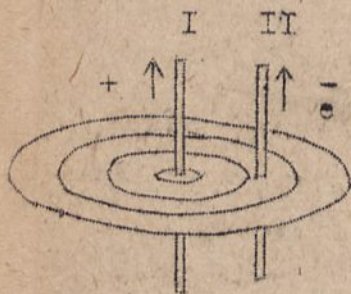
ale $dx/dt = v =$ prędkość poruszającego się przewodnika :

$$E = B \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8} \quad (V) \quad (2.2)$$

Wymiary : $[E] = V$, $[B] = G$, $[l] = cm$, $[v] = cm/sek$

Wzór ten stosuje się do obliczania SEM w maszynach elektrycznych . Zjawisko SEM występuje nie tylko przy poruszaniu się przewodnika w polu magnetycznym . Może być i odwrotnie - przewodnik może mieć położenie niezmiennie , a pole magnetyczne może się poruszać . Może też przewodnik mieć położenie stałe i zmieniać się w czasie natężenie pola magnetycznego , co jest charakterystycznym dla transformatorów . Prąd płynący w przewodniku I wytwarza pole magnetyczne . Część linii tego pola opasuje przewodnik II . Jeżeli prąd płynący jest stały i niezmienny to w przewodniku II żadnych zmian nie dostrzeżemy . Jeśli natomiast w przewodniku I natężenie ($i+$) rośnie,

t. ilość linii sił pola magnetycznego przecinających przewo-
dnik II rośnie . (rys. 29) . Jeśli linie magnetyczne przesuwają



Rys. 29

Są to elementarne
zjawiska indukcji.
Działanie indukcji
rozciąga się i na
sam przewo-
dnik w
którym płynie prąd.

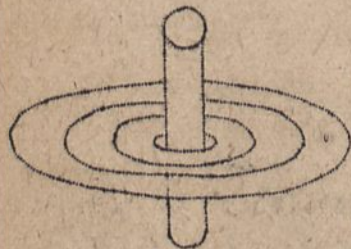
Mamy wtedy do czynie-
nia ze zjawiskiem zwanym samoindukcją.

się w prawo , to jest to to samo, jakby
przewo-
dnik II przesuwiał się w lewo .
W myśl reguły prawej ręki powstanie w
nim SEM indukcyjna skierowana w dół .
Jeśli natomiast w przewodniku I i+ się
zmniejsza , ilość linii sił zmniejsza
i w drugim przewodniku powstanie SEM
indukcyjna skierowana w górę. Dla po-
szczególnych wypadków ułożyć można ta-
belkę :

Przewo- dnik I	Przewo- dnik II
↑ i+	e-
↑ i+	e+
↓ i-	e+
↓ i-	e-

2.6 Samoindukcja

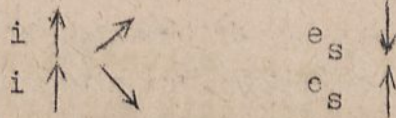
Samoindukcją nazywamy działanie indukcyjne ujawniające się w
obwodzie przy zmianach własnego prądu.



Rys. 30

Powstaje ona , gdy prąd w przewodzie ule-
ga zmianie . Jeżeli prąd rośnie , wewnątrz
przewo-
dnika dookoła osi powstaną linie sił
które rozszerzając się ze środka, wychodzą
nazewnątrz , przecinając obwód przewo-
du. Powstaje więc w nim SEM samoindukcji .
Najbardziej charakterystyczną własnością
siły elektromotorycznej jest jej kierunek,
który jest zawsze taki , że przeciwnie-
zmianom zachodzącym w prądzie . Gdy prąd wzrasta , kierunek
siły elektromotorycznej samoindukcji jest taki , że powstały
wskutek niej prąd znosi częściowo płynący w przewodniku .

(zamykanie obwodu). Gdy natomiast prąd się zmniejsza, powstaje wskutek SEM samoindukcji prąd wzmacniający (otwieranie obwodu).



Zjawisko samoindukcji porównać można ze zjawiskiem bezwładności w mechanice. Samoindukcja jest bezwładnością obwodu elektrycznego. Jeżeli przewód nasz będzie w kształcie spirali (cewki), to rozprzestrzeniające się linie magnetyczne będą przecinać zwoje cewki (pominąwszy rozproszenie), a SEM samoindukcji będzie większa tyle razy, ile zwojów ma cewka:

$$E_s = z \cdot \epsilon_s \quad (1)$$

z = ilość zwojów cewki

Jeżeli w cewce umieścimy rdzeń żelazny, to zjawisko to będzie wzmocnione na skutek przenikalności magnetycznej, bo jak wiemy: $B = \mu \cdot H$

W najprostszym wypadku SEM samoindukcji wyraża się wzorem (1) rozdziału (2.5):

$$E_s = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (10^{-8} \text{ opuszczamy, bo jest to tylko współczynnik przejścia z jednostek magnetycznych układu CGS na jednostki układu praktycznego}).$$

Strumień magnetyczny wywołwany przez prąd jest proporcjonalny do natężenia prądu:

$$d\Phi = L \cdot di \quad (2)$$

Podstawiając do poprzedniego wzoru otrzymamy:

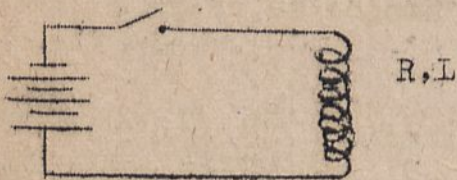
$$E_s = -L \cdot \frac{di}{dt} \quad (3)$$

Współczynnik proporcjonalności L nazywamy współczynnikiem samoindukcji. Zależy on od kształtu przewodnika, od przenikalności ośrodka (jeżeli wewnątrz cewki umieścimy rdzeń żelazny, to przenikalność obwodu magnetycznego się zwiększy, a tym samym zwiększy się współczynnik samoindukcji). L jest charakterystyczne dla danego układu, prązarządu, maszyny itd. Wymiar współczynnika samoindukcji:

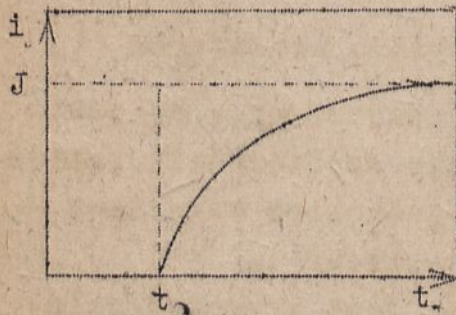
$$[V] = [L] \cdot \left[\frac{A}{\text{sek}} \right]$$

$$[L] = \frac{V \cdot \text{sek}}{A} = 1 \text{ Henr}$$

Jeżeli zmiana natężenia prądu o 1 A na sekundę wywołuje powstanie SEM samoindukcji 1 V, to współczynnik samoindukcji obwodu równy jest 1 H. Współczynnik samoindukcji ma wartość stałą, jeżeli przenikliwość magnetyczna ośrodka nie zależy od natężenia prądu. Zachodzi to w próżni oraz w ośrodkach para- i dia- magnetycznych - W ośrodkach ferro magnetycznych L jest zmienne.



Rys. 31 .



Rys. 32 .

Zjawisko samoindukcji zaobserwować można przy założeniu obwodu. Natężenie prądu nie osiąga od razu swej wartości, lecz do osiągnięcia jej potrzeba pewnego czasu. Na rys. 32 t_0 oznacza chwilę włączenia. Chwilową wartość natężenia prądu otrzymujemy z wzoru :

$$i = J \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad (4)$$

gdzie $T = L/R =$ tzw. stała czasowa. Jeżeli L obwodu = 0, to wyraz w nawiasie wynosi 1, i wartość prądu wypada normalna wartość J. Analogicznie przy wyłączaniu obwodu - prąd

nie zanika odrazu, lecz dopiero po pewnym czasie. Przy przerywaniu obwodu przeskakuje iskra. Im szybsze będzie przerywanie, tym wyższe powstanie napięcie i tym większa będzie iskra. Dlatego też wyłączanie prądu w maszynach odbywa się bardzo powoli przy pomocy oporów.

2.7 Zjawisko prądów wirowych

Podobnie jak w przewodach, tak i we wszelkich masach przewodzących będących w ruchu względnym w stosunku do pola magnetycznego powstaje prąd indukowany, zwany prądem wirowym. Linie sił, zmiennego w czasie strumienia magnetycznego przebiegając wzdłuż rdzenia indukują w nim SEM w płaszczyźnie prostej.

paralelnej do kierunku strumienia . Prądy wirowe działają hamująco na przewód poruszany , oraz rozgrzewają przewodnik . Celem osłabienia wpływów prądów wirowych , części żelazne sporządza się z cienkich izolowanych blach . W ten sposób droga dla prądów wirowych zostaje wielokrotnie przzerwana . Przy dużych częstotliwościach sposób ten nie jest wystarczający i dlatego poza tym stosuje się dla zwalczania prądów wirowych blachy stopowe . Blachy te dzięki przymieszce krzemu mają duży opór właściwy . Dzięki temu natężenie prądów wirowych wypada mniejsze . W praktyce straty na prądy wirowe łączy się ze stratami na histerezę . Są to straty powstałe przy przemagnesowywaniu żelaza . Przy systemie cienkich blach straty na histerezę zmniejszają się także .

Miarą jakości żelaza jest stratność . Jest to strata w watach , która występuje w 1 kg żelaza przy indukcji 10 000 G , jeśli żelazo w czasie 1 sek jest przemagnesowywane 100 razy . Dla zwykłych blach transformatorowych grubości 0,4 mm stratność wynosi około 1,7 W/kg . Grzanie się żelaznych rdzeni powodowane jest stratami na prądy wirowe i na histerezę . Rozdrobnienie rdzeni na drobniejsze przekroje - blachy , druty lub nawet sproszkowanie prowadzi do zmniejszenia strat . Stosuje się to przy wielkich częstotliwościach - w tele- i radio-technice .

2.8 Zjawisko naskórkowości

Zjawiskiem pokrewnym ze zjawiskiem prądów wirowych jest tzw. naskórkowość przewodów . Gęstość prądu w przewodniku jest jednaka , gdy płynie prąd stały . Przy prądzie zmiennym gęstość prądu jest różna . Najmniejszy opór rzeczywisty przewodnika mamy wówczas , gdy prąd rozkłada się równomiernie w jego przekroju . Jednakże w przewodniku załączonym do źródła prądu zmiennego prąd nie będzie rozkładał się równomiernie . Przyczynę tego łatwo zbadać . Każdy przewodnik z prądem elektrycznym tworzy własne pole magnetyczne , którego linie się przebiegają w postaci kół koncentrycznych . Rozpatrując poszczególne elementy przewodnika , można zauważyć , że bliżej środka

położone elementy obejmowane są przez większą ilość linii sił i posiadają większą SEM samoindukcji. Wynika z tego, że prąd będzie większy bliżej powierzchni. Nierównomierność rozkładu prądu powiększa straty na ciepło i zwiększa opór rzeczywisty przewodnika (jakgdyby przewodnik był pusty.). Zjawisko to nosi nazwę naskórkowości, gdyż powoduje wyparcie prądu ze środka ku powierzchni, a więc tak



Rys. 33

jakgdyby w przewodzeniu brała udział tylko powłoka zewnętrzna (dlatego w radiotechnice czasem stosujemy przewody srebrzone). Zjawisko naskórkowości występuje wyraźniej im większy jest przekrój przewodnika, oraz im większa częstotliwość prądu zmiennego. Dla przewodów miedzianych o małym przekroju i częstotliwości 50 okr./sek zjawisko naskórkowości nie odgrywa praktycznie żadnej roli.

3. PRĄD ZMIENNY

3.0 Pojęcia ogólne

W technice stosowane są do celów energetycznych przeważnie prądy zmienne, t.j. zmieniające okresowo kierunek (znak). Powstawanie prądu zmiennego można objaśnić na poniższym modelu (rys, 34)



Rys, 34

Przewodnik zamknięty w jeden zwój obraca się w jednostajnym polu magnetycznym dookoła osi prostopadłej do kierunku linii, z jednostajną prędkością kątową ω :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (1)$$

W czasie t sek. przewodnik, okręśli kąt α

$$\alpha = \omega \cdot t \quad (2)$$

Przy poruszaniu się, przewodnik przecina linie sił i powstaje w nim SEM indukowana.

Kierunek jej łatwo można ustalić przy pomocy reguły prawej ręki.

Rys. 35. W górnej części od linii AE kierunek SEM skierowany jest od nas (ostrze strzałki = punkt) w dolnej zaś od nas (+). SEM indukowana zmienia ciągle swój kierunek co każde pół-obrotu. W położeniu AE przewodnik nie przecina linii sił, gdyż w krótkim momencie przebiega równoległe do linii sił ($d\Phi/dt = 0$)



Rys. 35

nie powstaje więc w nim żadna SEM. Płaszczyzna AE nazywa się strefą neutralną. Im przewodnik znajduje się punktu O i G tym prędy przecina linie sił (większe $d\Phi/dt$), tym większa powstaje w nim siła elektromotoryczna.

Wielkość strumienia magnetycznego w czasie t :

$$\Phi_t = \Phi_{\max} \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

$$\Phi_t = \Phi_{\max} \cdot \cos \omega \cdot t \quad (3.0)$$

Stąd SEM :

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8} \quad (V) \quad (4)$$

$$e = - \frac{d(\Phi_{\max} \cdot \cos \omega \cdot t)}{dt} \cdot 10^{-8} \quad (V) \quad (4.0)$$

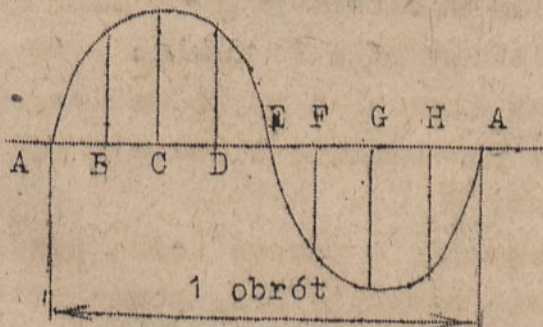
po zróżniczkowaniu :

$$e = \Phi_{\max} \cdot \omega \cdot 10^{-8} \cdot \sin \omega t \quad (5)$$

Wielkość stałą $\Phi_{\max} \cdot \omega \cdot 10^{-8}$ oznaczamy przez E_{\max} .

$$e = E_{\max} \cdot \sin \omega t \quad (6)$$

Dla zobrazowania zmiany SEM robimy jej wykres (rys. 36). Odcinek AA przedstawia kąt lub czas pełnego obrotu. Każdy punkt tego odcinka odpowiada określonemu położeniu przewodu.



Rys. 36

Nanosząc odpowiadające każdemu punktowi napięcie otrzymamy sinusoidę. Ponieważ SEM jest zmienna sinusoidalnie, prąd jaki popłynie przez obwód

będzie też zmienny sinusoidalnie. Natężenie prądu od 0 rośnie do swego maximum, spada do 0, przyjmuje znak minus, osiąga minimum, następnie rośnie do 0. Czas odpowiadający tej przemianie nazywamy okresem T . Ilość okresów w 1 sek. zwiemy częstotliwością f :

$$f = 1/T \quad (7)$$

Jednostką częstotliwości jest herz (Hz) - odpowiada 1 okresowi na sekundę.

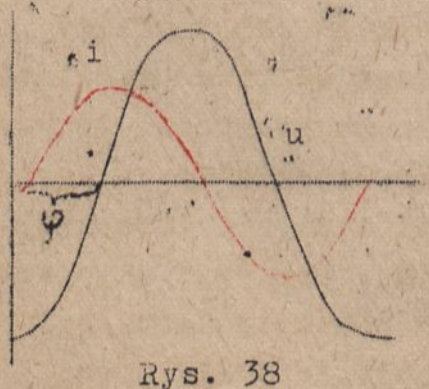
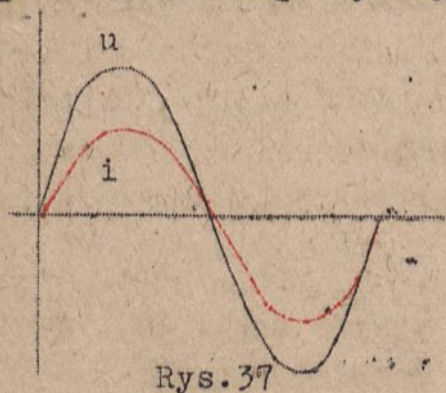
W Europie częstotliwość techniczna wynosi 50 Hz.

Związek między prędkością kątową i częstotliwością znajdziemy z proporcji:

$$\frac{\alpha}{t} = \frac{2\pi}{T} \quad \frac{\omega \cdot t}{t} = \frac{2\pi}{T} \quad \frac{1}{T} = f$$

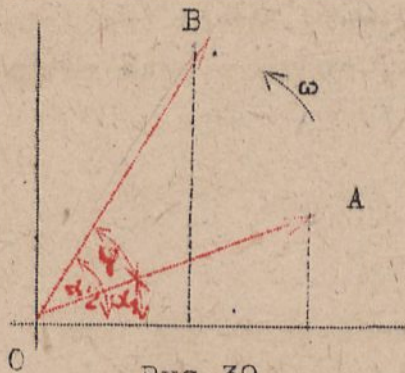
$$\omega = 2\pi \cdot f \quad (8)$$

ω nosi nazwę pulsacji. Prąd zmienny sinusoidalnie płynie także jeżeli cewka jest nieruchoma a zmianie sinusoidalnej ulega strumień magnetyczny.



Jeżeli sinusoida natężenia prądu przechodzi przez 0 i przez maksimum jednocześnie z sinusoidą napięcia, to mówimy że prąd i napięcie są w fazie (rys.37). Jeżeli nie występuje 0 oraz maksimum jednocześnie dla obu sinusoid, to mówimy, że jedna sinusoida względem drugiej jest przesunięta w fazie o kąt fazowy φ . Przesunięcie fazowe można przedstawić wyraźnie przy pomocy metody wektorowej. Założmy, że wektor OA, odpowiadający maksy-

malnej wartości natężenia prądu - amplitudzie (J_m) wiruje z



Rys. 39

prędkością ω dookoła punktu O i w chwili t tworzy kąt α_1 z osią x. Dookoła osi O wiruje z tą samą prędkością amplituda SEM $OB = U_m$ i w chwili t_1 tworzy z osią x kąt α_2 . Kąt jaki tworzą ze sobą amplitudy stanowi kąt przesunięcia faz φ . Chwilową wartość natężenia prądu przedstawia rzut amplitudy na oś y.

$$i = J_m \cdot \sin \alpha \quad (9)$$

$$i = J_m \cdot \sin \omega t \quad (9.0)$$

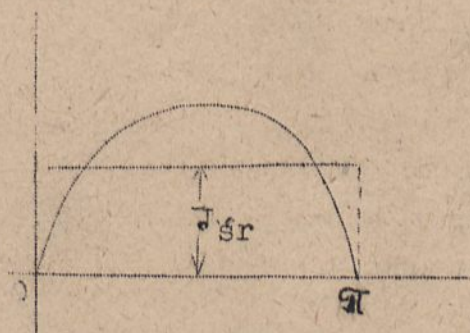
analogicznie :

$$u = U_m \cdot \sin (\omega t + \varphi) \quad (10)$$

3.1 Wartość średnia prądu zmiennego.

$Q = E_{max} \sin \omega t$
 $E_{gr} = \Phi \sin \omega t$

Sredniej wartości prądu zmiennego odpowiada taki prąd stały o niezmiennym się natężeniu, który w ciągu czasu równego półokresowi danego prądu zmiennego przenosi ładunek równy ładunkowi przeniesionemu przez prąd zmienny. Ze względu na zmianę kierunku prądu co pół okresu, średnia wartość prądu za okres równa się zero i dlatego obliczamy ją za 1/2 okresu.



Rys. 40

$$J_{sr} = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} J_m \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha =$$

$$J_{sr} = \frac{J_m}{\pi} \cdot \left[-\cos \alpha \right]_0^{\pi} =$$

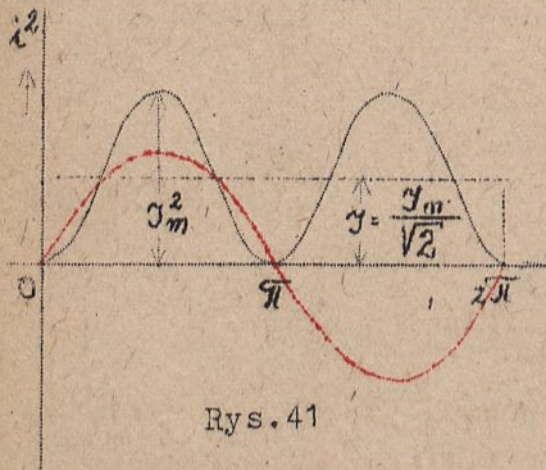
$$J_{sr} = \frac{J_m}{\pi} \cdot \left[1 - (-1) \right] = \frac{2}{\pi} J_m$$

$$J_{sr} = \frac{2}{\pi} \cdot J_m \approx 0,637 \cdot J_m \quad (1)$$

Wykreślnic (rys.40) , średnią wartość natężenia prądu przedstawi nam wysokość prostokąta o podstawie π , którego pole równe jest polu połowy sinusoidy.

3.2 Wartość skuteczna prądu zmiennego.

Barziej praktyczne znaczenie posiada wartość skuteczna prądu zmiennego. Jako wartość skuteczną natężenia prądu zmiennego rozumiemy takie natężenie prądu stałego , który powoduje takie samo działanie cieplne jak dany prąd zmienny..



Rys.41

Ilość ciepła wydzielonego przez prąd zmienny równoważna jest pracy elektrycznej , wyrażonej równaniem :

$$dA = i^2 \cdot R \cdot dt \quad (1)$$

Praca wykonana podczas jednego okresu

$$A = \int_0^{2\pi} i^2 R d\alpha = R \cdot \int_0^{2\pi} i^2 \cdot d\alpha \quad (1.0)$$

W tym samym czasie prąd stały o natężeniu J_{sk} wykona pracę :

$$A = J_{sk}^2 \cdot R \cdot T \quad (1.1)$$

T odpowiada 2π :

$$A = J_{sk}^2 \cdot R \cdot 2\pi$$

Porównując obie prace :

$$\int_0^{2\pi} i^2 \cdot d\alpha = J_{sk}^2 \cdot 2\pi$$

$$J_{sk}^2 = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} i^2 \cdot d\alpha$$

Wstawiając na miejsce $i = J_m \cdot \sin \alpha$ otrzymamy :

$$J_{sk}^2 = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} J_m^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot d\alpha =$$

$$J_{sk}^2 = \frac{J_m}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} \sin^2 \alpha \, d\alpha$$

K związując całkę otrzymamy :

$$\int_0^{2\pi} \sin^2 \alpha \, d\alpha = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} d\alpha - \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \cos 2\alpha \, d\alpha =$$

$$\left[\frac{1}{2} \alpha \right]_0^{2\pi} - \frac{1}{4} \left[\sin 2\alpha \right]_0^{2\pi} = \pi$$

Podstawiając :

$$J_{sk}^2 = \frac{1}{2\pi} \cdot \pi \cdot J_m^2$$

$$J_{sk}^2 = \frac{1}{2} \cdot J_m^2 \quad (1.2)$$

$$J_{sk} = \frac{J_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 J_m \quad (2)$$

analogicznie :

$$U_{sk} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

Wartość skuteczną prądu i napięcia zmiennego oznaczać będziemy I , U (bez indeksów). Stosunek wartości maksymalnej do skutecznej wynosi $\sqrt{2}$ tylko dla sinusoidalnego przebiegu. Jeżeli zaś sinusoida ulega deformacji, stosunek ten ulega zmianie, lecz praktycznie w niedużych granicach.

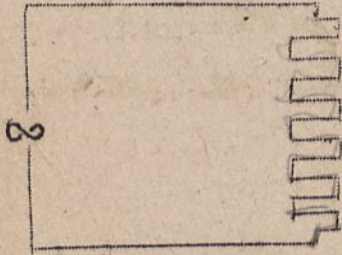
3.3 Proste obwody prądu zmiennego

3.3.0 Obwód zawierający tylko oporność rzeczywistą R

Chwilowa wartość prądu w obwodzie takim (rys.42) wyraża się równaniem :

$$i = J_m \cdot \sin \omega \cdot t \quad (1)$$

Dla wartości chwilowej ważne jest prawo Ohma :



Rys.42

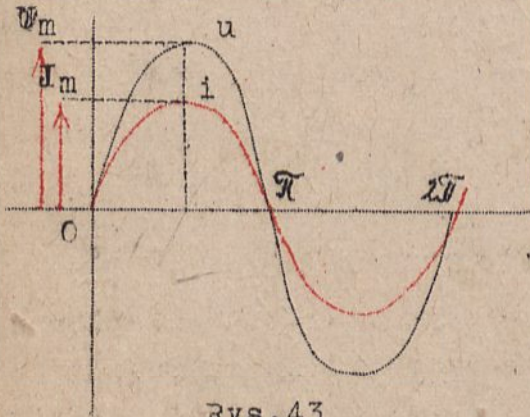
$$u = i \cdot R \quad (2)$$

$$u = J_m \cdot R \cdot \sin \omega t \quad (2.0)$$

Z wzoru tego wynika , że i napięcie zmienia się sinusoidalnie , a wielkość maksymalną U_m osiągnie dla $\pi/2$.

$$U_m = J_m \cdot R \quad (2.1)$$

Wprowadzając wartość skuteczną otrzymamy :



Rys.43

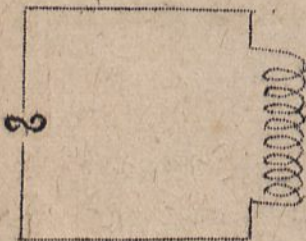
$$\frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{J_m}{\sqrt{2}} \cdot R$$

$$U = J \cdot R \quad (2.2)$$

W wypadku więc gdy przewodnik posiada tylko oporność omową prawo Ohma pozostaje to samo co dla prądu stałego . Mówimy wtedy , że napięcie jest w fazie z natężeniem.

3.3.1 Obwód zawierający tylko indukcję

W obwód prądu zmiennego włączamy cewkę (rys.44) . Zakładamy oporność rzeczywistą całego obwodu równą zero. Prąd zmienny , zmieniający się w czasie dt o wielkość di wywoła powstanie SEM samoindukcji, której wartość chwilowa wynosi :



Rys.44

$$e_s = - L \cdot \frac{di}{dt} \quad (1)$$

Sem samoindukcji sprzeciwia się wzrostowi prądu i sprzeciwia się zmniejszaniu prądu w ciągu całego

półokresu. Cewka naprzemian pobiera energię i zwraca ją bez uszczerbku do źródła prądu. Indukcyjność nie rozprasza energii pobranej ze źródła prądu. Napięcie przyłożone do obwodu w każdej chwili równoważy się z SEM samoindukcji. Według drugiego prawa Kirchhoffa :

$$u + e_s = 0 \quad (2)$$

$$u = - e_s$$

$$u = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (\text{z wzoru 1})$$

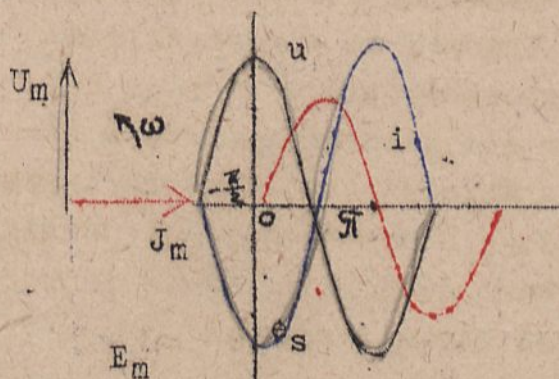
$$i = J_m \cdot \sin \omega t \quad (\text{z wzoru 3, rozdz. 3.0})$$

$$u = L \cdot \frac{d(J_m \cdot \sin \omega t)}{dt} = J_m \cdot \omega \cdot L \cdot \cos \omega t \quad (3)$$

Ponieważ $\cos \omega t = \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$, więc :

$$u = J_m \cdot \omega \cdot L \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (3.c)$$

Napięcie przyłożone i prąd nie są w fazach zgodnych. Napięcie



Rys. 45

w obwodzie wyprzedza prąd o 90° . Przebieg krzywej napięcia jest sinusoidalną (rys. 45). Częstotliwość napięcia jest taka sama jak prądu, wartość zaś maksymalna :

$$U_m = J_m \cdot \omega L \quad (4)$$

Skąd :

$$J_m = \frac{U_m}{\omega L} \quad (5)$$

W wyrażeniu tym wyrażenie ωL jest analogiczne do oporności R w prawie Ohma dla prądu stałego. Wyrażenie ωL nazywamy opornością indukcyjną i oznaczamy przez x :

$$x = \omega \cdot L \quad (6)$$

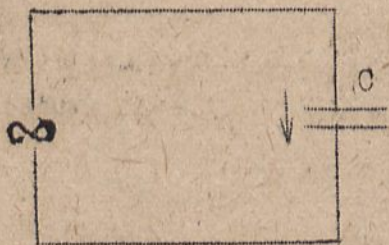
Jednostka jest taka sama jak dla oporności rzeczywistej, a więc Ω . Wyrażenie $J \cdot \omega \cdot L$ nazywamy indukcyjnym spadkiem napięcia.

3.3.2 Obwód zawierający tylko pojemność

W obwodzie posiadamy tylko kondensator o pojemności C. Jeśli w obwód włączone jest źródło prądu stałego, popłynie prąd trwający dośad, dopóki okładki kondensatora nie przyjmą pewnego określonego ładunku elektrycznego. Po tym krótkim czasie kondensator stanowi przerwę w obwodzie, gdyż obecność dielektryku przedzielającego okładki kondensatora nie pozwala na przepływ prądu. Ładunek jaki przyjął kondensator jest proporcjonalny do przyłożonego napięcia U :

$$Q = C \cdot U \tag{1}$$

Współczynnik proporcjonalności C nosi nazwę pojemności. Jednostką pojemności jest farad. Kondensator posiada pojemność 1 F, jeżeli przy napięciu 1 V gromadzi ładunek 1 C. Mniejszymi jednostkami są : mikrofarad = 10^{-6} F i pikofarad = 10^{-12} F. Pikofarad jest nieco mniejszy od 1 cm (jednostki pojemności w układzie CGS, stosowanej często w radiotechnice) $1 \text{ pF} = 0,9 \text{ cm}$. Jeżeli obie okładki zewrzymy popłynie krótki prąd, kondensator się wyładowuje. Inaczej ma się rzecz dla



Rys.46

prądu zmiennego, dla którego kondensator nie stanowi przerwy w obwodzie. Okładki kondensatora naprzemian ładują i rozładowują się. Gwilo- wą wartość ładunku na okładkach kondensatora określa równanie :

$$q = C \cdot u \tag{2}$$

$$u = \frac{1}{C} \cdot q$$

Z drugiej strony :

$$dq = \int i \cdot dt \tag{2a0}$$

$$u = \frac{1}{C} \cdot \int i \cdot dt$$

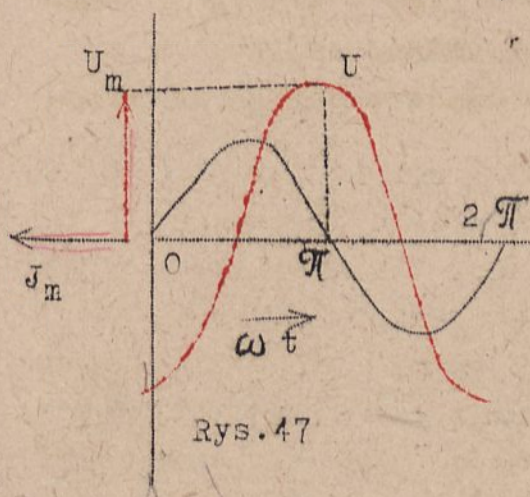
$$J = J_m \cdot \sin \omega t$$

$$u = - \frac{J_m}{\omega C} \cdot \cos \omega t \quad (2.1)$$

$$\cos \omega t = - \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$u = \frac{J_m}{\omega C} \cdot \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.2)$$

Napięcie względem prądu pojemnościowego jest przesunięte o $\pi/2$ w tył - spóźnia się względem prądu o ówierzó okresu (rys 47).



Rys.47

Napięcie osiąga maksimum dla $\omega t = \pi$
wtedy :

$$U_m = \frac{J_m}{\omega C} \quad (3)$$

$$U_m = J_m \cdot \frac{1}{\omega C} \quad (3.0)$$

Wyrażenie $1/\omega C$ analogiczne jest z oporem R dla prądu stałego, nazywa się opornością pojemnościową i posiada wymiar oma.

$$x = \frac{1}{\omega C} \quad (3.1)$$

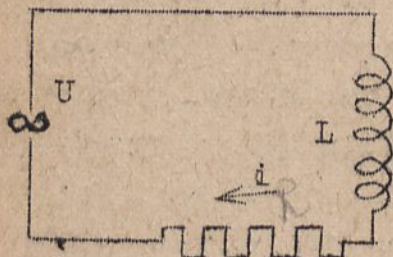
Wyrażenie $J_m \cdot \frac{1}{\omega C}$ nosi nazwę spadku napięcia na oporności pojemnościowej. X dla obu powyższych przypadków nosi ogólną nazwę oporności biernej.

Tak jak przy czystej indukcyjności, tak i tutaj układ nie rozprasza energii ze źródła prądu. W I ówiartce napięcia kondensator pobiera energię, zamieniając ją na energię swego pola elektrycznego. W II ówiartce znaki prądu i napięcia są różne, energia jest zwrócona w ilości równej pobranej. Jest więc bezustanna wymiana energii pomiędzy źródłem prądu a kondensatorem.

Omówione powyżej trzy typy najprostszyc obwodów prądu zmiannego przedstawiają wypadki czysto teoretyczne. Wnioski wyciągnięte z nich mają znaczenie dla wypadków wziętych z praktyki. Np. nieobciążony kabel przedstawia obwód z pojemnością, transformator obwód z indukcyjnością a lampy oświetleniowe obwód z opornością.

3.3.3 Obwód z opornością omową i indukcyjnością.

Rozpatrywane dotąd obwody z pojedynczymi obciążeniami w praktyce rzadko są spotykane. Najczęściej spotykane są obciążenia



Rys.48

mieszane, przy czym możliwe są wszelkie kombinacje. Najczęściej spotykanym jest obwód zawierający oporność omową i indukcyjność np. w uzwojeniach maszyn, transformatorów i t.p. Według II prawa Kirchhoffa przyłożone napięcie musi być równe sumie spadków napięć na odpor-

ności rzeczywistej i indukcyjnej.

$$u = i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt} \quad (1)$$

$$i = J_m \cdot \sin \omega t \quad \text{więc}$$

$$i \cdot R = J_m \cdot R \cdot \sin \omega t$$

$$L \cdot \frac{di}{dt} = J_m \cdot \omega L \cdot \cos \omega t$$

Przez podstawienie do równania (1) otrzymujemy:

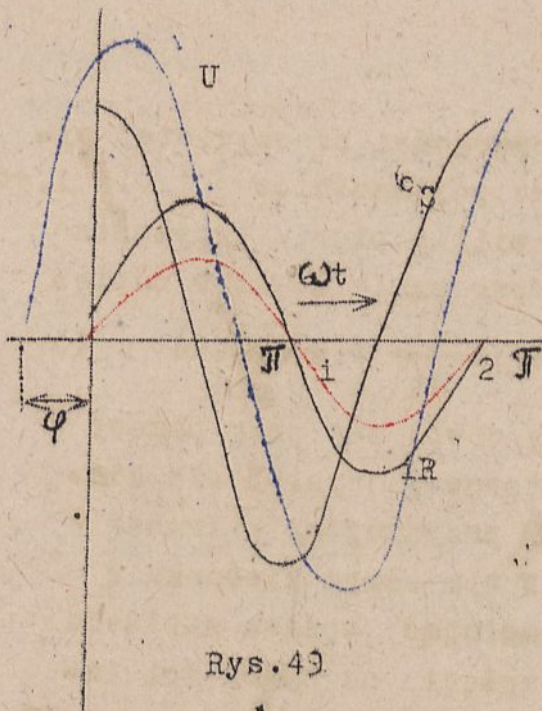
$$u = J_m \cdot R \cdot \sin \omega t + J_m \cdot \omega L \cdot \cos \omega t \quad (1.0)$$

$$\text{lub} \quad u = J_m \cdot R \cdot \sin \omega t + J_m \cdot \omega L \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (1.1)$$

Napięcie przyłożone składa się z dwóch części sinusoidalnych. Pierwsza część przedstawia spadek napięcia na oporności rzeczywistej, który jak widzimy jest w fazie z prądem. Druga część przedstawia spadek napięcia na oporności indukcyjnej, który przesunięty jest względem prądu o 90° wprzód. Graficznie przedstawione jest to na rysunku 49.

Przez dodanie dwóch sinusoid, jak łatwo jest wykazać trygonometrycznie, otrzymamy tak samo sinusoidę, o tej samej częstotliwości, lecz przesuniętą względem prądu o kąt φ . Obwód ten rozpatrzmy teraz przy pomocy metody wektore-

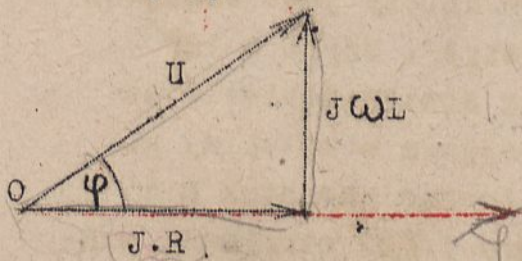
wej (rys.50). Przyjmijmy dowolny kierunek , np. poziomy ,



Rys. 49

za początek liczenia czasu i różny skuteczną wartość prądu J w obrębie dla amperów skali. W tym samym kierunku , poczynając od punktu O odkładamy wektor spadku napięcia na oporności rzeczywistej JR . Wektor spadku napięcia na oporności indukcyjnej przesunięty jest względem prądu o 90° w przód. Ponieważ mamy dostać sumę tych wektorów , zaczepiamy ten wektor nie w punkcie O lecz do końca wektora JR . Łącząc początek układu z końcem wektora $J\omega L$ dostaniemy sumę spadków napięć , a więc przyłożone napięcie.

(trzymany wykres jest trójkątem napięć. Stosując twierdzenie Pitagorasa otrzymujemy związek pomiędzy wartościami skutecznymi:



Rys. 50

mi.:

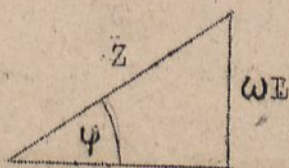
$$U^2 = J^2 R^2 + J^2 \omega^2 L^2 \quad \text{skąd}$$

$$J = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \quad (2)$$

Wyrażenie w mianowniku przedstawia opór zastępczy całego układu i nosi nazwę oporności pozornej:

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (2.C)$$

Wzór (2.C) otrzymać można z trójkąta oporności , który otrzymamy z trójkąta napięć , dzieląc przez J .



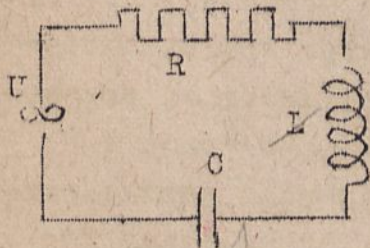
Rys. 51

Kąt przesunięcia faz między przyłożonym napięciem a prądem określić można z wzoru :

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad (3)$$

3.3.4. Obwód zawierający oporność indukcyjność i pojemność. Rezonans napięcie.

Dla danego czasu spadek napięcia na oporności rzeczywistej wynosi $i \cdot R$, na indukcyjnej $L \cdot di/dt$, na pojemnościowej $1/C \cdot \int i \cdot dt$

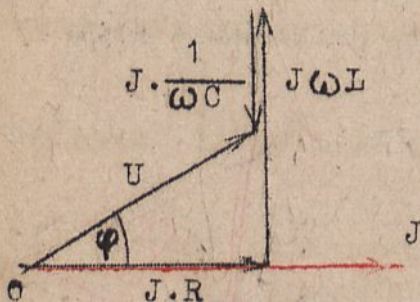


Rys.52

W każdej chwili napięcie przyłożone musi być równe sumie spadków napięć

$$u = i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i \cdot dt \quad (1)$$

Rozpatrzmy obwód ten przy pomocy metody wektorowej (rys.53). Za kierunek prądu przyjmujemy kierunek poziomy. W tym samym kierunku z punktu O kreślimy wektor $J \cdot R$ przedstawiający spadek napięcia na oporności rzeczywistej. Spadek napięcia na oporności indukcyjnej $J \cdot \omega \cdot L$ przesunięty jest względem prądu o 90° wprzód, kreślimy go z końca wektora $J \cdot R$ prostopadle w górę. Spadek napięcia na oporności pojemnościowej $J \cdot 1/\omega C$ przesunięty jest względem prądu o 90° wtył, czyli o 180° wtył względem spadku napięcia na oporze indukcyjnym - kreślimy go więc w dół. Łącząc początek O z końcem wektora $J/\omega C$ otrzymamy sumę spadków napięć, czyli przyłożone napięcie. Związek między wartościami skutecznymi znajdziemy stosując twierdzenie Pitagorasa:



Rys.53

skutecznymi znajdziemy stosując twierdzenie Pitagorasa:

$$U^2 = (J \cdot R)^2 + \left(J \cdot \omega \cdot L - J \cdot \frac{1}{\omega C} \right)^2$$

$$\text{stad : } J = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \quad (2)$$

Wzór (2) nosi nazwę prawa Ohma dla prądu zmiennego. Mianownik przedstawia opór zastępczy:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (2.0)$$

Wyrażenie $\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$ zwiemy oporem urojonym i oznaczamy przez x :

$$x = \omega L - \frac{1}{\omega C} \quad (3)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + x^2} \quad (4)$$

Kąt przesunięcia faz określa wzór :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (4)$$

Możliwe są tu trzy wypadki :

a) Jeśli x przedstawia wartość dodatnią to w obwodzie indukcyjność przeważa nad pojemnością (rys.53).



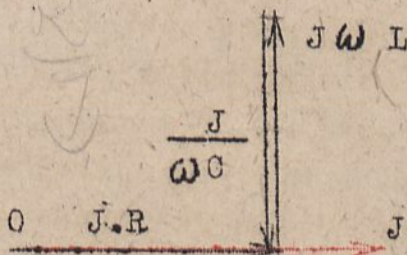
Rys.54.

Kąt przesunięcia faz jest dodatni.

b) Jeśli x przedstawia wartość ujemną, to w obwodzie przeważa pojemność. Kąt przesunięcia faz φ jest ujemny, prąd wyprzedza więc przyłożone napięcie (rys.54).

c) Jeśli $x = 0$, czyli :

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$



Rys. 55

wtedy napięcie i prąd są w fazie $\varphi = 0$. Opór w obwodzie redukuje się do oporu rzeczywistego. W obwodzie powstaje rezonans napięć (rys. 55).

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (5)$$

$$\omega^2 = \frac{1}{L \cdot C}$$

$$\omega = 2\pi f$$

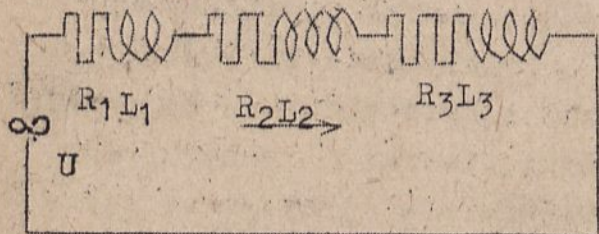
$$4.\pi^2.f^2 = \frac{1}{L.C}$$

$$f = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{L.C}} \quad (5.0)$$

Rezonans napięcia wywołać można w każdym obwodzie, w którym mamy połączone w szereg R, L i C. Należy go tylko załączyć do źródła prądu zmiennego o częstotliwości określonej równaniem (5.0). Dla częstotliwości rezonansowej otrzymamy największy prąd w obwodzie. Zjawisko rezonansu wykorzystywane jest w radiotechnice. *wmy eliminatorach*

3.4 Łączenie szeregowe odbiorników

Rys. 57 pokazuje 3 odbiorniki o danych R_1L_1 , R_2L_2 , R_3L_3 połączone w szereg. Układ ten



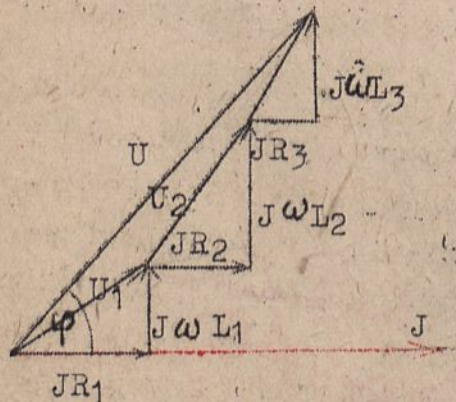
Rys. 57

Układ ten najlepiej rozwiązać metodą wektorową. Prąd J wspólny jest dla wszystkich odbiorników. Za kierunek prądu przyjmujemy kierunek poziomy (rys. 58)

Spadek napięcia JR_1 , będący w fazie z prądem odkładamy na kierunku prądu. Z końca wektora JR_1 wykreślamy prostopadłe w górę

$J\omega L_1$. Suma tych dwóch wektorów daje spadek napięcia na pierwszym odbiorniku U_1 , oraz kąt przesunięcia tego spadku napięcia względem prądu.

Analogicznie postępujemy z następnymi odbiornikami, których spadki napięcia na opornościach rzeczywistych są w fazie z prądem. Początek wektora JR_2 zaczepiamy w końcu wektora $J\omega L_1$. Postępując tak dalej otrzymamy spadki napięć na pozostałych odbiornikach U_2 i U_3 . Suma geometryczna tych spadków daje spadek



Rys. 58

napięcia całkowite, czyli przyłożone napięcie, oraz kąt przesunięcia faz między przyłożonym napięciem a prądem. Skracając przez J otrzymamy układ złożony z samych oporności. Oporność zastępczą Z znajdujemy z wzoru:

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2 + L_3)^2} \quad (1)$$

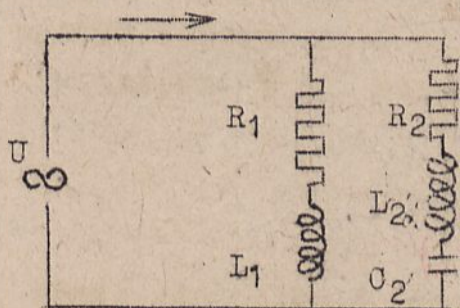
Oporność zastępcza całego układu równa jest sumie geometrycznej oporności zastępczych poszczególnych odbiorników:

$$\hat{Z} = \hat{Z}_1 + \hat{Z}_2 + \hat{Z}_3 \quad (2)$$

Taszek oznacza dodawanie geometryczne. Ze wzoru 31 widzimy, że moglibyśmy połączyć wszystkie oporności rzeczywiste i wszystkie oporności indukcyjne osobno.

3.5 Łączenie równoległe odbiorników

Rysunek 59 przedstawia dwa odbiorniki połączone równoległe.



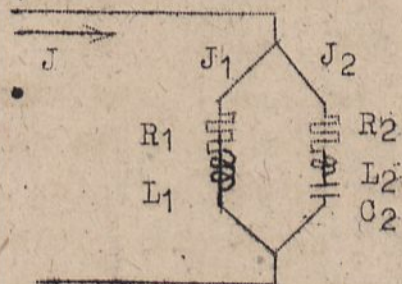
Rys.59

Pierwszy odbiornik zawiera opór rzeczywisty i indukcyjny, drugi zawiera opór rzeczywisty, indukcyjny i pojemnościowy. Zakładamy, że opór pojemnościowy przeważa nad indukcyjnym. Napięcie na obu odbiornikach, jak wykazane jest wyraźnie na rys.60, jest jednakowe, natomiast prądy w obu odbiornikach są różne. Według I

prawa Kirchhoffa:

$$\hat{J} = \hat{J}_1 + \hat{J}_2 \quad (1)$$

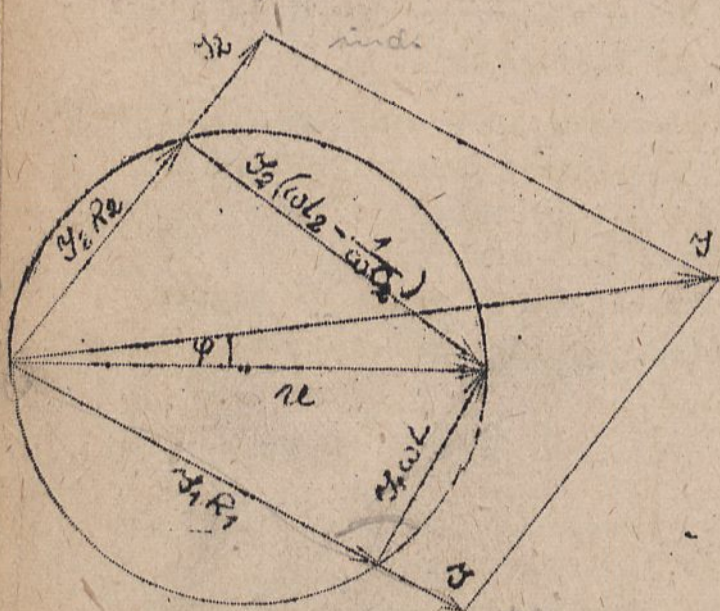
Do wykresu wektorowego przystąpimy pamiętając, że napięcie na obu odbiornikach jest jednakowe i że wektory spadków napięcia na oporności rzeczywistej i urojonej tworzą kąt prosty. Kreślimy wektor napięcia U na przyjętym poziomym kierunku i na nim, jako na średnicy zataczamy koło. Ponieważ odbiornik pierwszy zawiera



Rys.60

Ponieważ odbiornik pierwszy zawiera

indukcyjność , czyli że napięcie wyprzedza prąd , odcinamy wiel-
kość $J_1 R_1$ z punktu O na okrąg w dół . Otrzymany na okręgu punkt



łączymy z końcem wektora U i dostajemy spadek napięcia na oporności indukcyjnej. W

odbiorniku drugim przeważa pojemność , prąd więc wy-
przedza napięcie , przeto

$J_2 R_2$ odcinamy na okrąg w
górze . Otrzymany na okręgu

punkt łączymy z końcem wek-
tora U i otrzymujemy spadek

napięcia na oporności uro-
jonej . Mając kierunki prą-
dów J_1 i J_2 наносimy je w

Rys.61

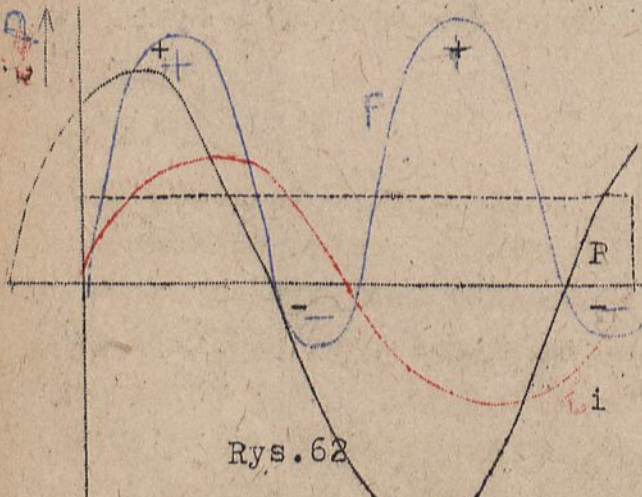
odpowiedniej skali , a przez
dodanie geometryczne otrzy-
mamy prąd całkowity J , oraz kąt przesunięcia faz φ między
prądem J a napięciem U .

3.6 Moc prądu zmiennego

Przy prądzie sinusoidalnie zmiennym napięcie i natężenie prądu
mogą się różnić w fazie o kąt φ . Mnożąc dla każdej chwili na-
pięcie chwilowe przez natężenie

chwilowe otrzymamy moc
chwilową :

$$p = u \cdot i \quad (1)$$



Z kształtu krzywej mocy zau-
ważyć można , że moc jest
okresowo zmienna , przy czym
okres jej zmian jest dwa ra-
zy krótszy od okresu zmian
napięcia i natężenia . Połąc-

Rys.62

zenie krzywej mocy wykazuje , że moc jest dodatnia , gdy prąd
i napięcie mają znaki zgodne , a ujemna gdy mają znaki przeciw-
ne . Energia jednego okresu A^T odpowiada sumie pól , jakie two-

rzy krzywa mocy z osią x-ów :

$$A^T = [A + B - C - D]$$

Moc średnią dostaniemy dzieląc energię okresu przez czas okresu T :

$$P = \frac{A + B - C - D}{T}$$

Sumę pól znajdziemy całkując $p = u \cdot i$:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt \quad (2)$$

$$i = J_m \cdot \sin \omega t$$

$$u = U_m \cdot \sin (\omega t + \varphi)$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T J_m \cdot U_m \cdot \sin \omega t \cdot \sin (\omega t + \varphi) \cdot dt$$

$$P = \frac{J_m \cdot U_m}{T} \int_0^T \sin \omega t \cdot \sin (\omega t + \varphi) \cdot dt$$

$$\sin \omega t \cdot \sin (\omega t + \varphi) = \frac{1}{2} \cos \varphi - \frac{1}{2} \cos (2\omega t + \varphi)$$

$$P = \frac{J_m \cdot U_m}{2T} \left[\int_0^T \cos \varphi \cdot dt - \int_0^T \cos (2\omega t + \varphi) \cdot dt \right]$$

$$P = \frac{J_m \cdot U_m}{2T} \left(t \cdot \cos \varphi \Big|_0^T - \frac{1}{2\omega} \cdot \sin (2\omega t + \varphi) \Big|_0^T \right)$$

$$P = \left[T \cdot \cos \varphi - \left(\frac{1}{2\omega} \cdot \sin (2\omega t + \varphi) - \frac{1}{2\omega} \cdot \sin \varphi \right) \right]$$

ponieważ $\omega = \frac{2\pi}{T}$, więc wyrażenie w nawiasie $\left(\right) = 0$

pozostaje :

$$P = \frac{J_m \cdot U_m}{2} \cdot \cos \varphi \quad (2.0)$$

podstawiając $J_m = J \cdot \sqrt{2}$ i $U_m = U \cdot \sqrt{2}$ otrzymamy :

$$P = U \cdot J \cdot \cos \varphi \quad (2.1)$$

Wzór na moc prądu zmiennego różni się od wzoru na moc prądu stałego czynnikiem $\cos \varphi$, który nosi nazwę współczynnika mocy. Widzimy, że przesunięcie fazowe między prądem a napięciem odbija się w sposób niekorzystny na mocy prądu zmiennego. Jedynie wówczas gdy napięcie i prąd są w fazie ($\varphi = 0$), t.j. dla obwodu zawierającego tylko opór rzeczywisty (np. żarówki, kuchenki, piece elektryczne), $\cos \varphi = 1$ i moc osiąga taką samą wartość jak moc prądu stałego dla tych samych napięć i prądów.

Jasnym jest teraz, że obwód zawierający samą tylko indukcyjność lub samą tylko pojemność, mocy rzeczywistej nie pobiera, gdyż kąt przesunięcia faz $= 90^\circ$ a $\cos \varphi = 0$.

Na rysunku 63 pokazany jest wektor prądu J spóźniający się względem wektora U o kąt φ . Iloczyn napięcia, natężenia i $\cos \varphi$ przedstawia moc rzeczywistą lub czynną :

$$P = U \cdot J \cdot \cos \varphi \quad (3)$$

Czynnik $J \cdot \cos \varphi$ przedstawia nam składową wektora J na wektor U , nosi on nazwę prądu wataowego. Druga składowa prądu $J \cdot \sin \varphi$

zwana bezwataową albo urojoną pomnożona przez napięcie daje moc bierną :

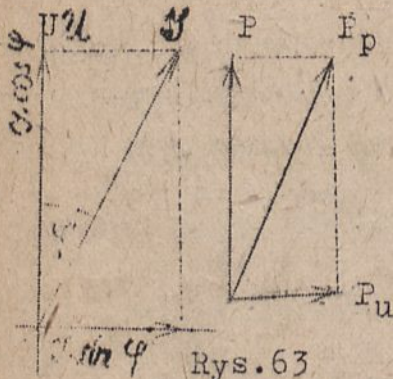
$$P_u = U \cdot J \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

Iloczyn napięcia i natężenia daje moc pozorną :

$$P_p = U \cdot J \quad (5)$$

Moc czynna wyraża się w watach, bierna w VAR-ach, pozorna w VA (wolto-amperach).

Moc pozorna jest sumą geometryczną mocy rzeczywistej i urojonej. Składową urojoną staramy się uczynić jak najmniejszą, ponieważ jest ona dla nas bezużyteczna. Odpowiada jej ener-

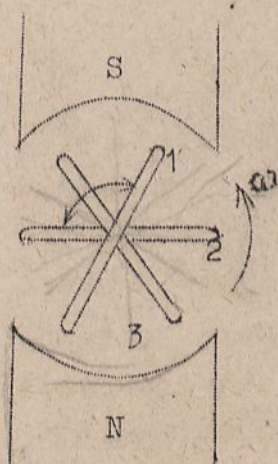


Rys. 63

gia wymienna między polem elektrycznym lub magnetycznym a źródłem prądu i odwrotnie.

3.7 Prądy trójfazowe

Zespół sił elektromotorycznych prądu zmiennego, przesuniętych w fazie względem siebie, jest źródłem prądu wielofazowego. Warunkiem współpracy tych sił jest ta sama częstotliwość. Bywają układy w których połączone są dwie siły elektromotoryczne zmiennie w czasie. Układy te, zwane dwufazowymi, obecnie właściwie są w zaniku. Najczęściej z układów wielofazowych stosowane są układy trójfazowe. Układem trójfazowym zwiemy zespół trzech sił elektromotorycznych, przesuniętych względem siebie o 120° o równych amplitudach i częstotliwościach. Rys.64



Rys.64

przedstawia nam układ trzech cewek izolowanych od siebie, sprzężonych mechanicznie, przesuniętych względem siebie o 120° ($= \frac{3}{2}\pi$), wirujących w polu magnetycznym z prędkością kątową ω . Wartości chwilowe sił elektromotorycznych jakie w poszczególnych cewkach powstaną, wyrażają się równaniami :

$$e_1 = E_m \cdot \sin \omega t \quad (1)$$

$$e_2 = E_m \cdot \sin (\omega t - \frac{2}{3}\pi) \quad (1)$$

$$e_3 = E_m \cdot \sin (\omega t - \frac{4}{3}\pi) \quad (1)$$

Przebieg sił elektromotorycznych podaje rysunek 65. Wykres wektorowy sił elektromotorycznych przedstawia rysunek 66, zwany gwiazdą napięć fazowych. Suma tych trzech sił elektromotorycznych w każdej chwili = 0:



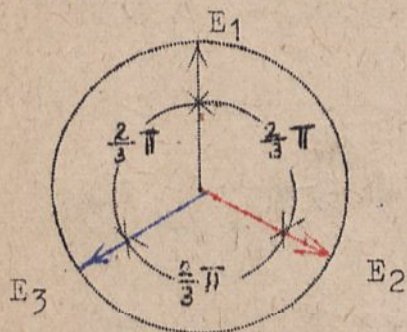
Rys.65

Jeżeli takie trzy niezależne uzwojenia załączylibyśmy na trzy równe opory omowe (rys. 67), otrzymalibyśmy układ trój-

$$e_1 + e_2 + e_3 = 0 \quad (2)$$

Przebieg sił elektromotorycznych podaje rysunek 65. Wykres wektorowy sił elektromotorycznych przedstawia rysunek 66, zwany gwiazdą napięć fazowych. Suma tych trzech sił elektromotorycznych w każdej chwili = 0:

fazowy nieskojarzony (każda siła elektromotoryczna pracuje od-

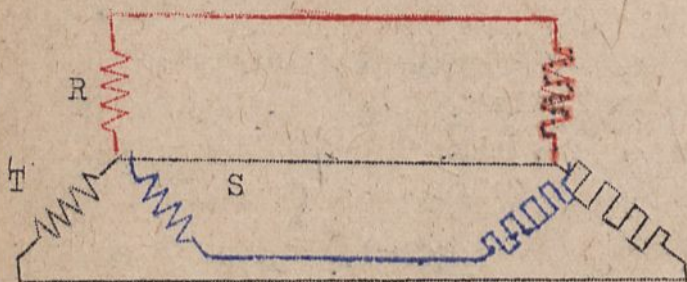


Rys.66

dzielnie), w którym prądy płynące wyrażałyby się takim samym wykresem jak na rysunku 66, jedynie jego skala byłaby zmieniona.

Poszczególne uzwojenia układu trójfazowego narysowane są pod kątami 120° (rys.67) odpowiadającymi kątom przesunięć fazowych odpowiednich sił elektromotorycznych.

W wypadku równych obciążeń indukcyjnych otrzymalibyśmy wektory prądów przesunięte o kąt fazowy φ w tył (rys.68). Suma prądów w każdej chwili = 0.

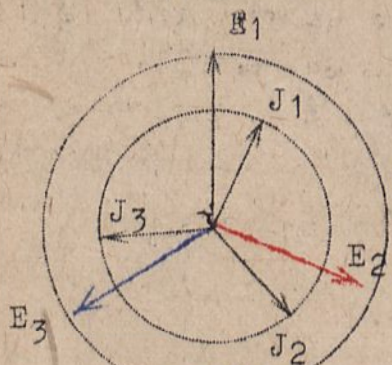


Rys.67

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad (3)$$

Jednakże taki sposób przyłączania odbiorników nie jest zupełnie stosowany w praktyce. Okazuje się, że

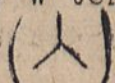
przez odpowiednie połączenie poszczególnych cewek możemy uzyskać znaczne oszczędności na przewodach doprowadzających prąd do odbiorników. Takie układy wielofazowe zwiemy układami skojarzonymi i z nimi wyłącznie spotykamy się w praktyce.



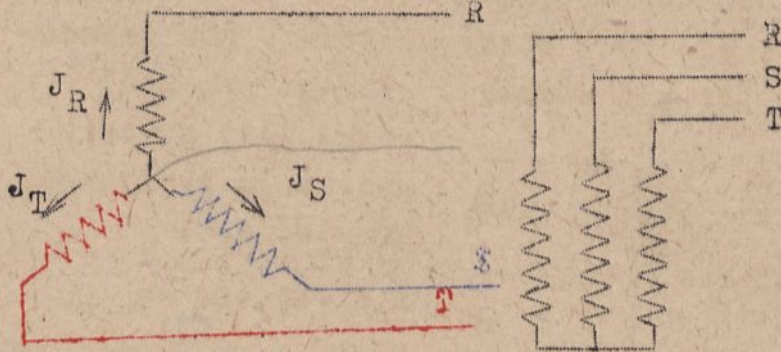
Rys.68

3.7.0 Układy trójfazowe połączone w gwiazdę.

Układ trzech niezależnych uzwojeń prądnicy wytwarzającej trzy siły elektromotoryczne przesunięte w fazie o 120° przekształcamy w jeden układ, łącząc w jednym punkcie końcówki trzech uzwojeń. Otrzymujemy w ten sposób tzw. układ trójfazowy skojarzony w gwiazdę (rys.69).



Przy obciążeniu równomiernym przewód wychodzący ze środka układu,



Rys. 69

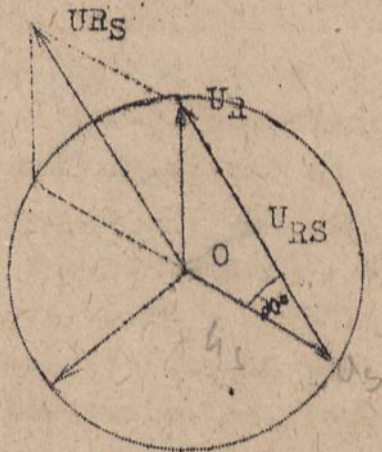
du, t.zw.zerowy można pominąć, gdyż nie płynie przez niego żaden prąd. Napięcie fazowe skuteczne :

$$U_R = U_S = U_T = U_f$$

Napięcie przewodowe skuteczne :

$$U_{RS} = U_{ST} = U_{TR} = U_p$$

Chcąc znaleźć wielkość napięcia przewodowego musimy wziąć różnicę potencjałów między punktami R i S.



Rys. 70

$$\begin{aligned} \hat{U}_{RS} &= \hat{U}_R - \hat{U}_S \quad \text{lub} \\ \hat{U}_{RS} &= \hat{U}_R + (-\hat{U}_S) \end{aligned}$$

Wykonanie tego działania uwidocznione jest na gwiazdzie napięć (rys. 70). Do wektora U_R dodajemy wektor $-U_S$. Otrzymany wektor U_{RS} przenieść można między końce wektorów U_S i U_R .

Z trójkąta ROS znajdziemy :

$$\frac{U_{RS}}{2} = U_R \cdot \cos 30^\circ$$

$$\frac{U_{RS}}{2} = U_R \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

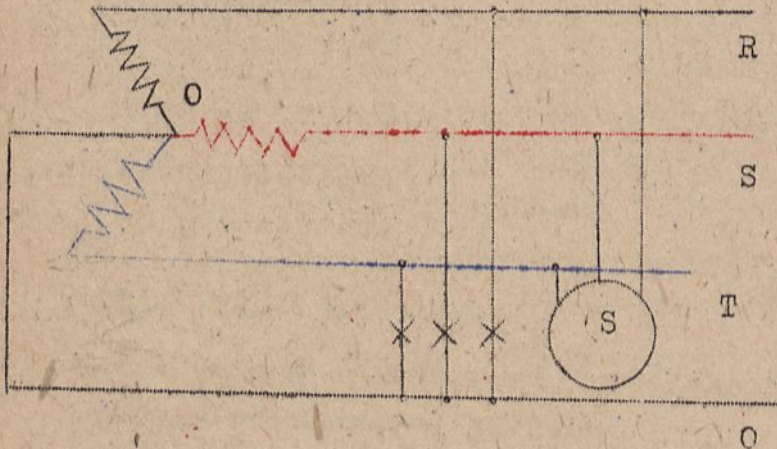
$$U_{RS} = \sqrt{3} \cdot U_R$$

czyli $U_p = \sqrt{3} \cdot U_f$ (1)

Napięcie przewodowe jest $\sqrt{3}$ razy większe od fazowego. Prąd płynący w każdej fazie równy jest prądowi przewodowemu :

$$J_f = J_p \quad (2)$$

W układzie niesymetrycznym, t.j. obciążonym nierównomiernie suma prądów w każdej chwili będzie także równa zero, jednak prądy jak i napięcia przewodowe nie będą równe. Gwiazda napięć jak i gwiazda prądów nie będą wtedy słuszne. Dla zrównoważenia prowadzimy wtedy przewód zerowy, którego przekrój



Rys.71

równy jest połowie przekroju skrajnego.

Mamy wtedy :

$$i_0 + i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

w układzie symetrycznym $i_0 = 0$.

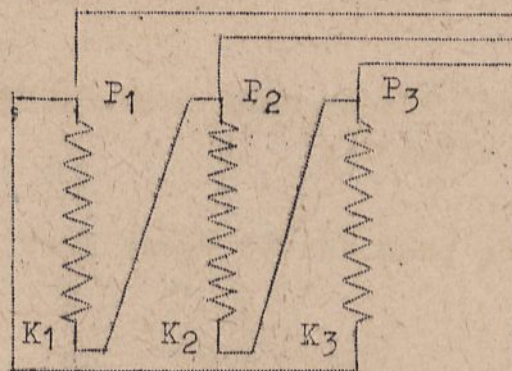
W układzie na rys.71 mamy do czynienia nie tylko z napięciami przewodowymi.

Między przewodami R,S,T a przewodem zerowym mamy jeszcze napięcie fazowe. Układ taki pozwala więc na otrzymanie dwu napięć. Jeżeli napięcie fazowe wynosi np. 220 V, to napięcie przewodowe $= \sqrt{3} \cdot 220 = 380$ V. Oznaczenie, z którym często spotykamy się w praktyce: 220/380 V staje się teraz zrozumiałe. Napięcie niższe stosujemy do oświetlenia, gdyż napięcie 380 V jest niebezpieczne dla życia, natomiast silniki pracują wybornie przy 380 V. Układ trójfazowy połączony w gwiazdę poza dogodnym rozdziałem napięć jest niezbędny dla silników prądu zmiennego. Trójfazowy silnik prądu zmiennego zwrotny jest w obie strony, ma dużą sprawność i nie wymaga prawie żadnej konserwacji.

3.7.1 Układy trójfazowe połączone w trójkąt

Układ trzech niezależnych uzwojeń prądnic daje się połączyć nie tylko w gwiazdę ale jeszcze w inny sposób. Początek pierwszej fazy można połączyć z końcem drugiej, początek drugiej z końcem trzeciej i początek trzeciej z końcem pierwszej. (rys. 72). Ten sam układ pokazany jest jeszcze na ry-

sanku 73 w inny, bardziej poglądowy sposób. Taki układ trój-



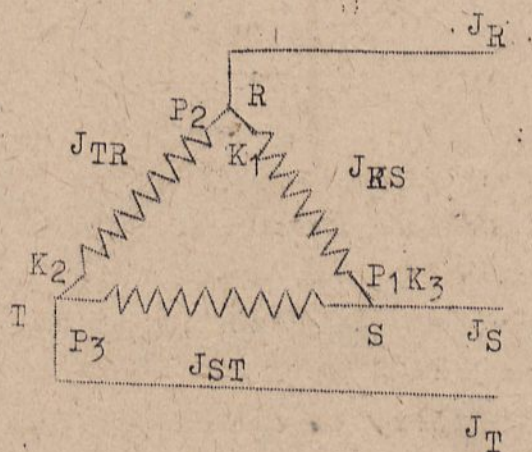
Rys. 72

fazowy zwiemy układem skojarzo-
nym w trójkąt (Δ). Uzwojenie
prądnicy tworzy tu układ zamknię-
ty, nawet gdy układ zewnętrzny
jest otwarty. Zachodzi więc oba-
wa, że mogą w nim płynąć prądy
powodujące bezużyteczną stratę
mocy i nagrzewanie uzwojeń.

Jednakże wypadkowa siła elektro-
motoryczna równa się wtedy zero, gdyż siły elektromotorycz-
ne fazowe są równe i przesunięte o 120° . Napięcie przewodowe
równe tu jest napięciu fazowemu:

$$U_p = U_f \quad (1)$$

Prądy natomiast fazowe nie są
równe przewodowym. Prąd w prze-
wodzie R równy jest geometrycz-
nej sumie dwóch prądów fazowych



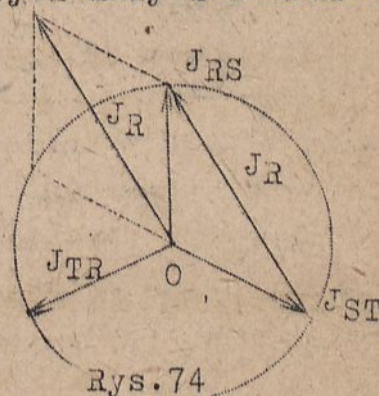
Rys. 73

$$\begin{aligned} \hat{J}_R &= \hat{J}_{RS} - \hat{J}_{TR} \\ \hat{J}_R &= \hat{J}_{RS} + (-\hat{J}_{TR}) \end{aligned}$$

W sposób analogiczny jak dla napięć w układzie gwiazdowym
znajdziemy:

$$J_p = \sqrt{3} \cdot J_f \quad (2)$$

Prąd przewodowy jest $\sqrt{3}$ razy większy od fazowego. Połączenie
to stosowane jest dla silników krótkozwartych małych i śred-
nich. Przy rozruchu silniki te mogą być
poŁ.czone w gwiazdę, przez co na
uzwojenie przypada 58% napięcia
sieci ($U/\sqrt{3}$), dopiero po roz-
ruchu przy pomocy przeŁącznika
trójkąt-gwiazda przerzuca się na
trójkąt - wtedy uzwojenia faz są
pod pełnym napięciem roboczym.



Rys. 74

3.7.2 Moc prądu trójfazowego

Moc całkowita jest sumą algebraiczną trzech mocy jednofazowych. Rozpatrzmy moce dwóch poznanych układów :

a) połączenie w gwiazdę

Przy układzie trójfazowym w gwiazdę prąd fazowy równy jest prądowi przewodowemu :

$$J_f = J_p = J$$

Moce poszczególnych faz wynoszą :

$$\left. \begin{aligned} P_R &= J_1 \cdot U_{f1} \cdot \cos \varphi_1 \\ P_S &= J_2 \cdot U_{f2} \cdot \cos \varphi_2 \\ P_T &= J_3 \cdot U_{f3} \cdot \cos \varphi_3 \end{aligned} \right\} (1)$$

Moc całkowita wynosi :

$$P = P_R + P_S + P_T \quad (2)$$

Przy obciążeniu równomiernym :

$$\begin{aligned} J_1 &= J_2 = J_3 = J \\ U_{f1} &= U_{f2} = U_{f3} = U_f \\ \cos \varphi_1 &= \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3 = \cos \varphi \end{aligned}$$

Podstawiając do równania (2) otrzymamy :

$$P = 3 \cdot J \cdot U_f \cdot \cos \varphi \quad (3)$$

Ponieważ moc mierzymy nie na uzwojeniach maszyny lecz w przewodach, musimy więc przejść z wartości fazowych na przewodowe :

$$U_f = \frac{U_p}{\sqrt{3}} = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

Podstawiamy do równania (3) :

$$P = \frac{3}{\sqrt{3}} \cdot J \cdot U \cdot \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot J \cdot \cos \varphi \quad (3.0)$$

gdzie U i J oznaczają wartości przewodowe.

b) połączenie w trójkąt

Przy układzie w trójkąt napięcie fazowe równe jest napięciu przewodowemu :

$$U_f = U_p = U \quad (4)$$

Moc poszczególnych faz wynosi :

$$\left. \begin{aligned} P_{RS} &= J_{f1} \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_1 \\ P_{ST} &= J_{f2} \cdot U_2 \cdot \cos \varphi_2 \\ P_{RT} &= J_{f3} \cdot U_3 \cdot \cos \varphi_3 \end{aligned} \right\} (5)$$

Moc całkowita wynosi :

$$P = P_{RS} + P_{ST} + P_{RT} \quad (6)$$

Przy obciążeniu równomiernym otrzymamy :

$$P = 3 \cdot J_f \cdot U \cdot \cos \varphi \quad (7)$$

Przechodząc na wartości przewodowe :

$$J_f = \frac{J_p}{\sqrt{3}} = \frac{J}{\sqrt{3}}$$

otrzymamy :

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot J \cdot \cos \varphi \quad (7.0)$$

Porównując wzór (3.0) i (7.0) widzimy, że moc prądu trójfazowego wyraża się tym samym wzorem dla obydwu rodzajów układów. Moc układu trójfazowego, odniesiona do przewodów zewnętrznych niezależna jest od układu połączeń faz i do pomiaru jej wystarczy włączyć przyrządy pomiarowe w przewody doprowadzające prąd trójfazowy.

4. MASZYNY ELEKTRYCZNE

4. Wstęp.

Maszyny elektryczne służą do przetwarzania energii mechanicznej w elektryczną - prądnice, albo do przetwarzania energii elektrycznej w mechaniczną - silniki. Prądnice i silniki są maszynami o ruchu obrotowym, składają się z części stałej i wirującej.

Aparaty nieruchome - transformatory i prostowniki - przetwarzają energię elektryczną jednego rodzaju w energię elektryczną o innych wielkościach. Przetwarzanie energii elektrycznej na elektryczną może się odbywać także i w maszynach wirujących. Do tego celu służą przetwornice (prąd zmienny na stały lub odwrotnie), przesuwniki faz, przetwornice częstotliwości i inne.

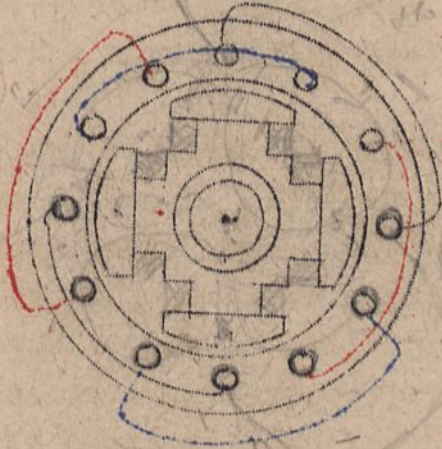
W maszynie elektrycznej rozróżniamy część stałą zwaną stojanem i część wirującą zwaną wirnikiem. W maszynie prądu stałego nieruchomą jest magnesnica a wiruje twornik. W maszynie prądu zmiennego jest odwrotnie: nieruchomy jest twornik, wiruje zaś magnesnica.

4.1 Maszyny prądu zmiennego

4.10. Prądnice prądu zmiennego

Dla wytwarzania prądu jest rzeczą obojętną, czy wiruje twornik a magnesnica jest częścią nieruchomą maszyny, czy też odwrotnie. Ponieważ w większości wypadków przez uzwojenie magnesnicy płyną tylko niewielkie prądy, prościej jest zrobić magnesnicę częścią wirującą, a twornik wytwarzający zwykle wysokie napięcie - częścią stałą. Jest to też układ normalny: część wirująca, czyli wirnik stanowi magnesnica, część nieruchoma czyli stojan, wytwarzająca prąd stanowi twornik.

4.10.3. Magnesznica zbudowana ze żeliwa, a przy większych obrotach ze staliwa, osadzona jest na wale i ma bieguny wystające na zewnątrz. Rdzenie



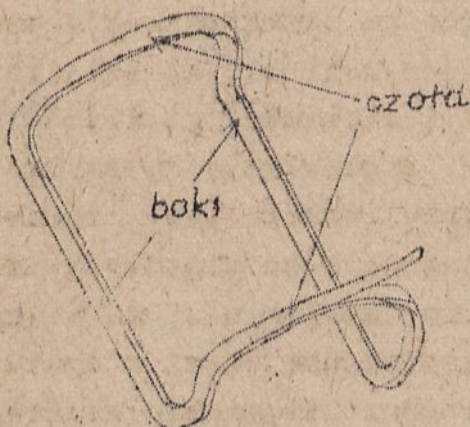
rys. 75

biegunów robi się ze staliwa lub stali, nabiegunki zwykle z blach. W generatorach szybko-bieżnych (turbinowych) magnesznica stanowi blok stalowy ze żłobkami na uzwojenia. Na biegunach są magnesujące cewki z drutu izolowanego. Strumienie magnetyczne mają tu stały kierunek, a więc i bieguny mają stałe znaki N i S. Magnesznicę może namagne-

sować tylko prąd stały, to też przy prądnicach prądu zmiennego mamy obok małą prądnicę prądu stałego, sprzężoną bezpośrednio z wałem prądnicy, tzw. wzbudnicę, która dostarcza prądu do magnesowania magnesznicy. Prąd z wzbudnicy dostaje się do uzwojeń wirującej magnesznicy przez szczotki i pierścienie ślizgowe osadzone na wale i odizolowane od niego. Moc wzbudnicy wynosi około 5% mocy prądnicy, zaś napięcie wzbudzania 65 - 220 V.

4.10.4 Twornik: prądnicy prądu zmiennego jest nieruchomy, stanowi go rdzeń żelazny w kształcie pierścienia, umocowany w żelaznej ramie. Rdzeń stojana tworzy część drogi strumieni magnetycznych maszyny, musi więc posiadać dobre własności magnetyczne: dużą przenikalność i małą stratność magnetyczną (hist. i pr. wirowe). Składa się on z blach 0,35 do 0,5 mm grubości dla zmniejszenia strat na prądy wirowe. Blachy powleka się jednostronnie warstwą izolacyjną. Na wewnętrznym obwodzie stojana znajdują się żłobki wyłożone preszpanem lub mikanitem, w których znajduje się uzwojenie z profilowego drutu miedzianego izolowanego, połączone z zaciskami prądnicy, od których przewody prowadzą prąd do odbiorników. Uzwojenie może składać się z kilku do kilkudziesięciu zwojów drutu, w zależności od wielkości siły elektromotorycznej.

Uzwojenie takie zwiemy zezwojem (rys.76). Przy wielkich natężeniach prądu może być zezwój jednozwojowy (uzwojenie prętowe). Dla lepszej wentylacji dajemy twornikowi szczeliny powietrzne, tak, że twornik składa się z pakietów blach.



Rys. 76

W zależności od uzwojenia różniamy prądnice jedno-, dwu-, i trójfazowe. Przy uzwojeniu jednofazowym na każdą parę biegunów wypada jeden zezwój. Uzwojenia dwufazowe występują rzadko, mamy przy nich dwa zezwoje na każdą parę biegunów. Uzwojenia trójfazowe wymagają na jedną parę

biegunów trzech zezwojów - jeden na każdą fazę. Prądnice jedno-, dwu- i trójfazowe nie różnią się w budowie między sobą.

4.10.2 Częstotliwość wytwarzanego przez prądnicę prądu zmiennego jest ściśle zależna od ilości obrotów prądnicy i ilości jej biegunów. W zezwoju dwubiegunowej prądnicy w czasie pierwszej połowy obrotu płynie prąd w jednym kierunku, w czasie drugiej połowy w przeciwnym. Jeden obrót odpowiada więc całkowitemu okresowi prądu. W prądnicy czterobiegunowej jeden obrót odpowiada dwóm okresom. Krótko mówiąc, ilość okresów odpowiada ilości par biegunów. Ilość okresów na sekundę, czyli częstotliwość prądu zmiennego wyraża się więc wzorem

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad (1)$$

gdzie p oznacza liczbę par biegunów, zaś n liczbę obrotów na minutę.

4.10.3 : Prądnice szybko- i wolnobieżne. Przy przyjętej częstotliwości 50 Hz liczba obrotów, jak wynika ze wzoru (1) nie może przekraczać 3000 obrotów na minutę, gdyż najmniej-

sz: liczba par biegunów wynosi 1 . Na 3000 obrotów na minutę budowana jest większość prądnic napędzanych turbinami parowymi . Nazywamy je prądnicami turbinowymi lub turbogeneratorami . Prądnice napędzane turbinami wodnymi i silnikami spalinowymi należą do maszyn wolnobieżnych , robiących nieraz 100 - 200 obrotów na minutę . W budowie prądnic szybkobieżnych i wolnobieżnych różnice są duże . Odpowiednio do liczby biegunów i szybkości biegu , prądnice mają różne średnice , im wolniejszy jest bieg , tym większa jest średnica . Maszyna szybkobieżna jest więc lżejsza i tańsza od wolnobieżnej . Dlatego obecnie budujemy przeważnie turbogeneratory napędzane przez turbiny parowe o 3000 lub 1500 obr/min . Magnesnica maszyn szybkobieżnych ma kształt walca bez wystających biegunów , w którym frezuje się żłobki . W żłobkach leży uzwojenie wzbudzające . Aby uniknąć zbyt wielkich sił odśrodkowych magnesnica jest stosunkowo długa , ale o średnicy małej .

4.10.4 : Tworniki prądnic prądu 3-fazowego : tworniki współczesnych prądnic prądu zmiennego dostarczają tzw. prądu trójfazowego . Jest to prąd wytworzony w trzech uzwojeniach jednocześnie czynnych , znajdujących się na tym samym tworniku (rys.75) . Powstające w nich prądy różnią się fazą . Zwykle uzwojenia te nazywamy pierwszej , drugiej i trzeciej fazy . Najlepsze uzyskanie uzwojenia mamy wtedy , gdy boki zezwojów oddalone są od siebie o podziałkę biegunową . Odpowiednią różnicę faz otrzymuje się przez różne położenie uzwojeń względem biegunów magnesnicy . Odległość środków biegunów jednoimiennych liczymy jako 360 stopni elektrycznych . Przy uzwojeniu trójfazowym odległość pomiędzy środkami zezwojów równa się trzeciej części odległości między środkami jednoimiennych biegunów , a więc o 120 stopni elektrycznych . W ten sposób prądy uzwojenia drugiej fazy są opóźnione w zmienności swej względem prądu w uzwojeniu pierwszej fazy o trzecią część okresu . O tyleż są opóźnione prądy uzwojenia trzeciej fazy względem prądów w uzwojeniu fazy drugiej . Trzy odrębne uzwojenia prądnic trójfazowej mają 6 końcówek , wypadłoby więc poprowadzić 6 przewodów . W ten sposób jednak prądu trójfazowego

tego nie prowadzi się. Przez odpowiednie połączenia końcówek dostajemy układy trójfazowe skojarzone w trójkąt lub w gwiazdę.

4.10.5. Współczynnik sprawności. Prądnice, jak wogóle wszystkie maszyny posiadają straty, np. w żelazie, miedzi, tarcie. Częściowo zależą one od obciążenia i współczynnika mocy. Straty te mogą być pokrywane przez moc doprowadzoną - dlatego maszyna napędowa musi dostarczyć więcej mocy, aniżeli odda jej prądnicą. Stosunek mocy oddanej (elektrycznej) do doprowadzonej (mechanicznej) nazywamy sprawnością maszyny:

$$\eta = \frac{P \text{ (oddana)}}{P \text{ (pobrana)}} \quad (1)$$

Współczynnik sprawności jest zawsze mniejszy od 1 i dla małych prądnic wynosi ok. 0,85, dla dużych 0,95-0,96. Straty maszyny prądu zmiennego zależą częściowo od współczynnika mocy. Najmniejsze są przy $\cos \varphi = 1$. Dlatego też przy podawaniu sprawności należy podać do jakiego współczynnika się odnosi.

4.10.6 : Własności prądnic : Wiemy już, że udział w pracy prądu bierze tylko ta składowa prądu, która jest w fazie z napięciem ($J \cdot \cos \varphi$) - nazywamy ją mocną (watomą). Prądnica musi jednak wytworzyć prąd J , dlatego też moc prądnic podana jest jako moc pozorna ($P_p = U \cdot J$) w kilowoltoamperach. Znajomość mocy czynnej ($P = U \cdot J \cdot \cos \varphi$) potrzebna jest do określenia mocy silnika napędzającego prądnicę. Ponieważ druga składowa prądu nie bierze udziału w pracy i tylko obciąża uzwojenie generatora i sieć, dlatego staramy się zredukować ją do zera, co nastąpi, gdy $\cos \varphi = 1$.

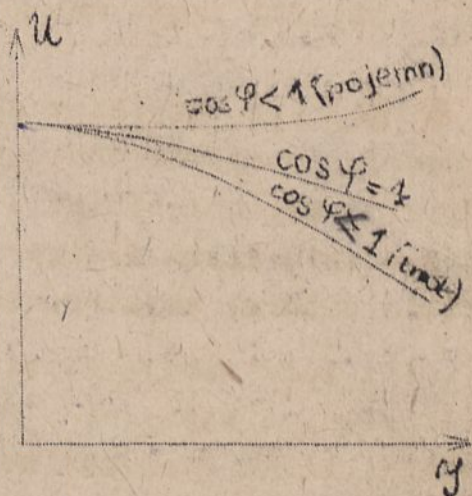
4.10.7 : Charakterystyka zewnętrzna $U = f(J)$. (Rys. 77). Gdy przez uzwojenie twornika płynie prąd, wytwarza on pole magnetyczne, które z polem magnesnicy tworzy pole wypadkowe. Przy prądzie indukcyjnym (napięcie wyprzedza prąd) powstały strumień magnetyczny osłabia pole magnesnicy. Prąd bezwatomowy (prąd wyprzedza napięcie) wytwarza zaś strumień magnetyczny wzmacniający pole magnetyczne magnesnicy.

Siła elektromotoryczna prądnicy proporcjonalna jest do trumienia magnetycznego przenikającego uzwojenie twornika. Zjawiskiem oddziaływania twornika tłumaczy się różny przebieg charakterystyk prądnicy przy różnych rodzajach wytwarzanego przez nią prądu. Przy $\cos \varphi = 1$ charakterystyka ta, przedstawiająca zależność napięcia na zaciskach prądnicy od prądu płynącego przez twornik, przy stałej ilości obrotów i stałym prądzie wzbudzenia, ze wzrostem obciążenia nieznacznie maleje. Krzywa napięcia przy obciążeniu pojemnościowym może nawet wzrastać ze wzrostem obciążenia. Zmienność napięcia ze wzrostem obciążenia wymaga stosowania samoczynnych regulatorów napięcia.

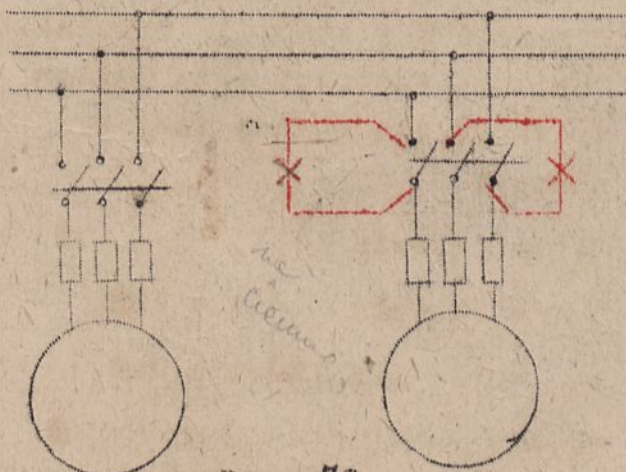
4.10.3. Synchronizacja.

Prądnica prądu zmiennego rzadko pracuje samotnie zasilając sieć. Zwykle mamy do czynienia z prądnicami równoległymi z innymi prądnicami. Aby przyłączyć prądnicę do sieci zasilanej prądem zmiennym albo przyłączyć ją równolegle do innej już pracującej, trzeba ją z siecią lub inną prądnicą zsynchronizować t.j. zrównać ich częstotliwości co do wiel-

kości i fazy. Przed przystąpieniem do synchronizacji należy zrównać napięcie, oraz sprawdzić czy napięcia są skierowane przeciw sobie. Synchronizacji dokonujemy przy pomocy żarówek



Rys. 77



Rys. 78

lampami żarowymi. Jeżeli częstotliwości obu prądnic nie są zrównane, istnieją chwile kiedy każda z lamp ma na swych końcówkach to samo napięcie i wówczas prąd przez nią nie płynie (rys. 78), to znów napięcia zaczynają się różnić, przez lampę zaczyna prąd przepływać,

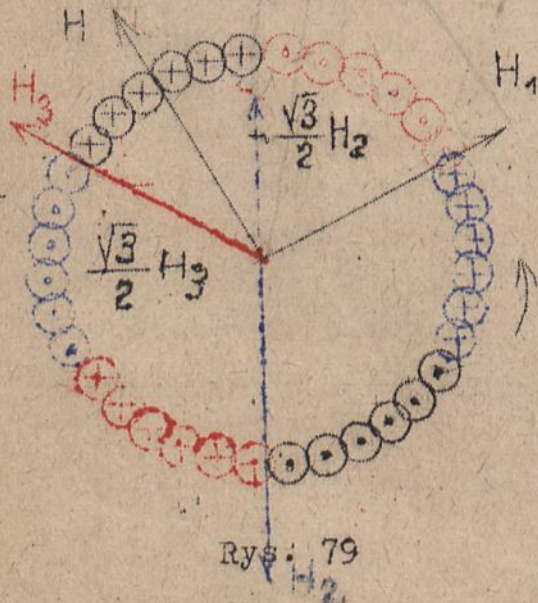
i zaczyna ona świecić. Częstota świecenia i ciemności jest tym większa im większa jest różnica częstotliwości. Regulując obroty prądnicy doprowadzamy do ciemności (synchronizacja na ciemno). Lampy mogą być także załączone inaczej (rys. 78), wtedy w chwili synchronizacji żarówki świecą najjaśniej (synchronizacja na jasno).

4.11 Silniki prądu zmiennego

4.11.0 Silniki trójfazowe, asynchroniczne, klatkowe.

Najbardziej rozpowszechnionym rodzajem maszyn elektrycznych są silniki asynchroniczne. Na jedną prądnicę prądu zmiennego wypada często kilka tysięcy silników z czego przeważną część stanowią silniki asynchroniczne 3-fazowe.

4.11.01 : Pole wirujące. Wirujący magnes wytwarza pole magnetyczne również wirujące. Zaletą prądu trójfazowego jest to, że dzięki niemu otrzymać można pole magnetyczne wirujące, bez ruchu wirowego jakichkolwiek części maszyny. Stojan silnika asynchronicznego uzwojony jest tak samo jak stojan prądnicy trójfazowej prądu zmiennego. Prąd przepływający przez każdą fazę wytwarza pola magnetyczne, których wartości maksymalne (amplitudy) uwidocznione są na rys. 79. Rysunek 80 podaje nam wykres pola magnetycznego jednej fazy. Powstające pole magnetyczne jest zawsze w fazie z prądem, który je wywołał.



Rys. 79

Chwilowe wartości pola magnetycznego dla każdej fazy wynoszą :

$$h_1 = H_1 \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (1)$$

$$h_2 = H_2 \cdot \sin(\omega \cdot t + 120)$$

$$h_3 = H_3 \cdot \sin(\omega \cdot t + 240)$$

$$H_1 = H_2 = H_3 \quad (2)$$

Zbadajmy wartości pola wypadkowego dla poszczególnych czasów.

1) dla $t = 0$ będzie :

$$= 67 =$$

$$h_1 = 0$$

$$h_2 = H_2 \cdot \sin(-120) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot H_2$$

$$h_3 = H_3 \cdot \sin(-240) = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot H_3$$

Przez dodanie geometryczne dostajemy wartość wypadkową :

$$\hat{H} = \hat{h}_1 + \hat{h}_2 + \hat{h}_3$$

z rysunku 79 :

$$H = 2 H_1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \cos 30^\circ =$$

$$= \frac{3}{2} H_1 \quad (3)$$

2) dla czasu $t = 1/4 \cdot T$

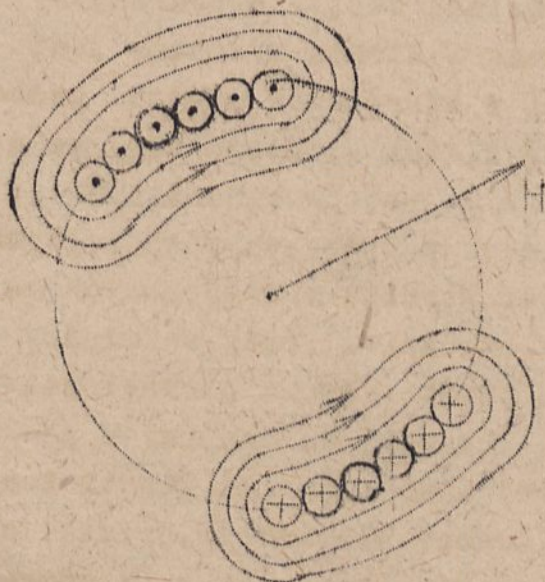
$$h_1 = H_1$$

$$h_2 = -\frac{1}{2} H_2$$

$$h_3 = -\frac{1}{2} H_3$$

Z wykresu otrzymamy :

$$H = \frac{3}{2} H_2 \quad (4)$$



Rys. 80

3) Dla czasu $t = 1/2 \cdot T$:

$$h_1 = 0$$

$$h_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot H_2$$

$$h_3 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot H_1$$

Z wykresu otrzymamy : $H = \frac{3}{2} H_1 \quad (5)$

4) wreszcie dla czasu $3/4 \cdot T$:

$$h_1 = -H_1$$

$$h_2 = \frac{1}{2} \cdot H_2$$

$$h_3 = \frac{1}{2} H_3$$

z wykresu otrzymamy :

$$H = \frac{3}{2} \cdot H_1 \quad (6)$$

Z równań 3,4,5,6 widzimy, że 3 pola zmienne sinusoidalnie w czasie i przestrzeni o 120° dają wypadkową stałą o wartości $\frac{3}{2} \cdot H_{\max}$, wirującą w kierunku przeciwnym niż przesunięcie faz. Pole wiruje z szybkością synchroniczną, wynikającą z wzoru:

$$n = \frac{f \cdot 60}{p} \quad (7)$$

Silnik asynchroniczny trójfazowy posiada stojan wytwarzający wirujące pole magnetyczne oraz wirnik. Wirnik wykonany jest w postaci walca z blach ze żłobkami w których są ułożone przewody. Uzwojenie wirnika ma postać klatki. Składa się ona z



Kys. 81

okrągłych prętów miedzianych, leżących w żłobkach równoległych do osi wirnika i rozłożonych na jego obwodzie. Pręty są między sobą zwarte. dwoma pierścieniami, leżącymi na czołowych powierzchniach wirnika. Wirnik ten nosi nazwę klatkowego. Silniki z takimi wirnikami nazywamy zwar-

tymi. Rys 81.

Wirujący strumień magnetyczny przecina uzwojenie wirnika, powodując powstanie w nim prądów wirowych. Przez oddziaływanie między prądami i liniami sił magnetycznych, wirujące pole magnetyczne pociąga za sobą wirnik. Wirnik i wirujące pole magnetyczne mają więc ten sam kierunek. Gdyby jednak wirnik obracał się z tą samą szybkością co strumień, linie sił nie przecinałyby uzwojeń wirnika, zaniknąłby prąd i bieg wirnika musiałby zwolnić. Szybkość wirnika musi być mniejsza od szybkości pola, może osiągnąć szybkość bliską synchronicznej, ale przekroczyć jej nie może. Ruch obrotowy wirnika jest więc asynchroniczny w stosunku do ruchu pola.

4.11.02. : Poślizg. Opóźnianie wirnika względem pola wirującego nazywamy poślizgiem:

$$s = \frac{n_s - n_w}{n_s} \quad (1)$$

n_s = ilość obr./min strumienia , n_w = ilość obr./min wirnika .
Poślizg oblicza się zwykle w procentach :

$$s \% = \frac{n_s - n_w}{n_s} \cdot 100 \quad (2)$$

Wielkość poślizgu zależy od obciążenia . Jeżeli silnik jest słabo obciążony , albo biegnie luzem t.j. bez obciążenia , liczba jego obrotów jest bliska liczby obrotów pola . Ze zwiększeniem obciążenia różnica tych obrotów rośnie , aż wreszcie przy nadmiernym obciążeniu wirnik zatrzymuje się . Przy obciążeniu nominalnym poślizg wynosi od 3 % dla silników dużych do 6 % dla małych .

4.11.03 . Częstotliwość prądu w wirniku równa jest iloczynowi częstotliwości stojana przez poślizg (nie w procentach) :

$$f_w = f_s \cdot s \quad f_w = f_s \frac{n_s - n_w}{n_s} \quad (1)$$

W normalnych warunkach ruchu silnika częstotliwość wirnika jest mała , maleje w miarę wzrostu liczby obrotów .

4.11.04 . Moment obrotowy . Przy obciążeniu silnika rozwija on moment obrotowy , który jest proporcjonalny do prądu wirnika i strumienia magnetycznego :

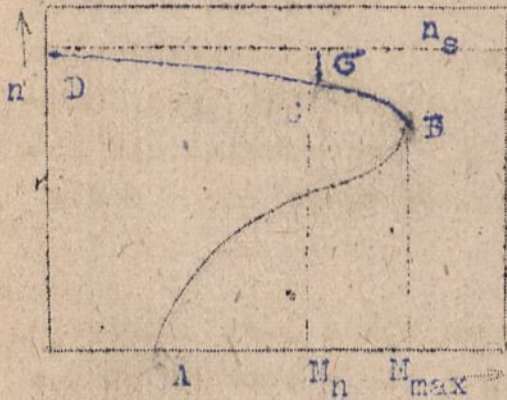
$$M = J_w \Phi_s \cdot \cos \varphi \quad \begin{matrix} w - \text{wirnik} \\ s - \text{stojan} \end{matrix} \quad (1)$$

gdzie φ jest kątem między strumieniem stojana i prądem wirnika . Prąd ten współdziałając z polem stojana wytworzy odpowiedni moment obrotowy . Aby natężenie prądu wirnika wzrosło musi wzrosnąć w wirniku SEM , co nastąpi ze wzrostem poślizgu , bo wówczas szybkość zmian strumienia magnetycznego przecinającego uzwojenia wirnika wzrasta .

Ważną rzeczą jest znajomość przebiegu momentu obrotowego przy rozruchu silnika . Najlepiej charakteryzują własności silnika w tym okresie krzywe , przedstawiające zależność momentu obrotowego od liczby obrotów . Rys. 82 przedstawia tę zależność . Punkt A jest momentem przy $n = 0$, czyli momentem rozruchowym . W stosunku do momentu nominalnego , rozwijanego przez silnik

(A = 0)

przy normalnym obciążeniu, jest on mały (bo φ jest duże, kiedy wirnik jest nieruchomy). W miarę wzrostu liczby obrotów, moment jaki silnik jest w stanie rozwinąć rośnie i osiąga



Rys. 82

ga w punkcie B swoją wartość maksymalną, następnie spada i zanika zupełnie w punkcie D. Punkt maksymalnego momentu B dzieli krzywą na dwie części. Górna część jest częścią odpowiadającą ustalonym warunkom pracy. Na części AB silnik trwale pracować nie może. Liczba obrotów ustala się na jednym punkcie między B i D wtedy, gdy moment sil-

nika zrówna się z obciążeniem t.j. z momentem sił zewnętrznych, pokonywanym przez silnik. Jeżeli obciążenie silnika wzrośnie, to punkt pracy silnika przesunie się w kierunku B, prąd pobierany przez silnik wzrośnie, a liczba obrotów zmaleje. Jeżeli dojdziemy do punktu B i silnik obciążymy jeszcze bardziej, to silnik nie będzie już w stanie rozwinąć odpowiedniego momentu, praca jego przerzuci się na dolną część charakterystyki i liczba obrotów spadnie do zera.

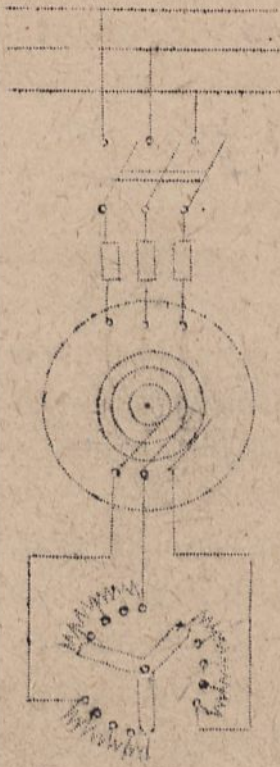
Wartość momentu maksymalnego musi być znacznie większa od momentu nominalnego, aby uniknąć zahamowania silnika przy chwilowym przekroczeniu obciążenia nominalnego. Zwykle dla silników o pracy ciągłej $M_{max} = 1,6 M_{nom}$, zaś dla pracy przerywanej $M_{max} = 2 M_{nom}$.

Wadą silnika asynchronicznego zwartego jest to, że nie ruszy przy pełnym obciążeniu. Moment rozruchu jest zawsze mniejszy od momentu nominalnego.

4.11.1: Trójfazowe silniki asynchroniczne pierścieniowe.

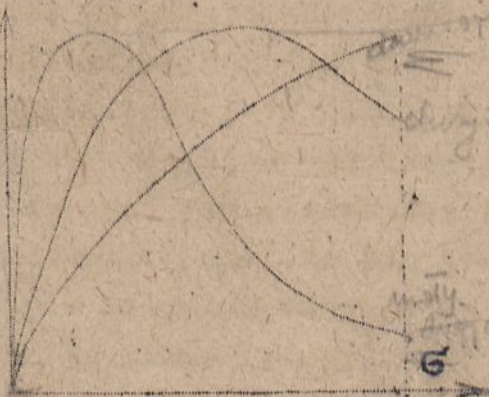
Silnik klatkowy jest bardzo dogodny dla stosunkowo niewielkich mocy, zawodzi jednak w przypadku gdy potrzebny jest rozruch pod większym obciążeniem. W tym wypadku stosowane są silniki pierścieniowe z uzwojenymi wirnikami. Wirnik silnika tego typu posiada uzwojenie trójfazowe wyprowadzone do trzech pierścieni

ślizgowych . Uzwojenie wirnika łączy się w gwiazdę . Pierścieni-



Rys. 83

ni ślizgowych dotykają szczotki , t.j. styki ślizgowe , przy pomocy których możemy włączyć w obwód wirnika rozrusznik , składający się z trzech oporników . Przy uruchamianiu silnika włączone są całe opory, Gdy silnik nabiera szybkości opory są stopniowo zmniejszane a w końcu zostają całkowicie zwarte. Uzwojenie zostaje następnie wewnątrznie zwarte i, a szczotki na pierścieniach podniesione. Maszyna zachowuje się wówczas jak silnik z uzwojeniem zwartym . Rys. 84 przedstawia nam jaką przewagę mają takie silniki nad silnikami z wirnikami krótko zwartymi . Przedstawia on wykres momentu obrotowego w zależności od poślizgu dla różnych oporów włączonych w obwód wirnika. Jeśli wirnik ma mały opór , to przy rozruchu (poślizg 100 %) mamy mały moment obrotowy , a przy pełnych obrotach (mały poślizg) ma duży moment obrotowy. Jeżeli wirnik ma duży opór , silnik zachowuje się odwrotnie , moment obrotowy przy rozruchu jest duży a przy pełnych obrotach mały. Aby otrzymać silnik , który zarówno przy rozruchu jak i przy pełnych obrotach posiada duży moment obrotowy, wybieramy wirnik o małym oporze , przy rozruchu dajemy jednak dodatko-



Rys. 84

we opory za pomocą opornicy rozrusznikowej, wyłączając je stopniowo ze wzrastającą ilością obrotów.

Podczas rozruchu przy małych silnikach (krótko zwartych) prąd rozruchu w stanie pobierany z sieci osiąga wartość kilkakrotną prądu nominalnego , powodując zakłócenia w sieci. Dodanie rozrusz-

nika do silnika asynchronicznego pierścieniowego zmniejsza prąd rozruchu oraz utrzymuje przez cały czas maksymalny moment obrotowy, tak że silnikiem tym posługiwać się można przy najcięższych warunkach napędów maszyn.

4.11.2 : Trójfazowe silniki asynchroniczne dwuklatkowe .

Tanym i prostym w obsłudze jest silnik krótko zwarty. Szukano więc dróg do pozostawienia tych zalet wirnika z równoczesnym usunięciem wad (mały moment rozruchu i duży prąd rozruchu) . Rozwiązanie znaleziono w tzw. uzwojeniu dwuklatkowym . Uzwojenie stanowią dwa rodzaje prętów , połączone po obu stronach wirnika pierścieniami krótkozwierającymi (rys.85). Uzwojenie zewnętrzne posiada większy opór , wewnętrzne mniejszy. W czasie rozruchu prąd płynie przeważnie w prętach zewnętrznych o więk-



Rys. 85

szym oporze ze względu na większy opór indukcyjny klatki głębiej w żelazie umieszczonej. Silnik pobiera więc w czasie rozruchu mały prąd a posiada duży moment obrotowy. W miarę rozruchu częstotliwość prądu w wirniku maleje , opór indukcyjny prętów maleje , prąd rozkłada się równomiernie na oba uzwojenia. Przy

takich silnikach uderzenie prądu przy rozruchu jest małe i wynosi przy bezpośrednim włączeniu trzykrotną wartość nominalną prądu . Moment obrotowy jest wtedy około 2 razy większy od nominalnego.

Obniżenie prądu rozruchu osiągnąć można przez zastosowanie przełącznika trójkąt-gwiazda . Przełączniki te stosujemy dla silników od 1 do paru kW , ruszających bez obciążenia. Przełącznik ten przy jednym położeniu łączy uzwojenie stojana w gwiazdę , a przy drugim w trójkąt . Jeżeli obniżymy napięcie przyłożone do statora , to obniżymy też prąd rozruchu , ale także i moment rozruchowy . Przy rozruchu uzwojenia stojana połączone jest w gwiazdę , napięcie fazowe osiąga wartość mniejszą $U/\sqrt{3}$, prąd rozruchu i moment rozruchowy spada do około $1/3$ swej wartości przy bezpośrednim załączeniu. Przy przełączeniu

na trójkąt mamy jeszcze jeden wzrost prądu tak , że udarowy wzrost prądu rozkłada się na 2 części . Dopiero po przełączeniu na trójkąt jest możliwe pełne obciążenie motoru . Należy zaznaczyć , że uzwojenie takiego silnika pracuje normalnie przy połączeniu w trójkąt .

4.11.3 Jednofazowe silniki asynchroniczne.

Silnik jednofazowy w czasie spoczynku nie posiada polawirującego , posiada tylko pole pulsujące t.zn. pole magnetyczne o zmiennym natężeniu i niezmiennym kierunku . Jeżeli przez działanie zewnętrzne wprowadzimy wirnik w ruch obrotowy , otrzymamy w nim pole wirujące , które później utrzymuje się samo dalej. Rozruch może być samoczynny . Przez dodanie fazy pomocniczej, włączonej przez dodatkową indukcyjność otrzymujemy pole wirujące . W niektórych silnikach faza pomocnicza odłącza się samoczynnie po osiągnięciu pewnej ilości obrotów . Silniki bez fazy pomocniczej mogą pracować w obie strony w zależności od początkowego impulsu . Silniki jednofazowe mają trudniejszy rozruch , mniejszą sprawność , większy poślizg. Jednofazowe silniki większej mocy są rzadko budowane.

4.11.4 : Silniki synchroniczne .

Magneśnica , będąc wirnikiem zasilana jest prądem stałym. Uzwojenie statora , załączone na sieć prądu trójfazowego wytwarza pole magnetyczne wirujące . Budowa silniki synchronicznego jest taka sama jak prądnicy prądu zmiennego. Jeżeli nadamy magneśnicy synchroniczną ilość obrotów , to bieguny różnoimienne stoją wtedy stale nad sobą i przyciągają się tak , że magneśnica obraca się z szybkością synchroniczną . Silnik może być obciążony po rozruchu i zsynchronizowaniu . Magneśnica zachowuje synchroniczną ilość obrotów , dlatego silnik ten nazywamy synchronicznym . Poślizgu przy tym silniku nie ma. Jeżeli jednak przez zbyt silne obciążenie wywołamy poślizg , to bieguny różnoimienne wychodzą ze swego właściwego położenia i silnik wypadający z synchronizmu natychmiast staje . Silnik synchroniczny może się obracać tylko z synchroniczną ilością obrotów :

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (1)$$

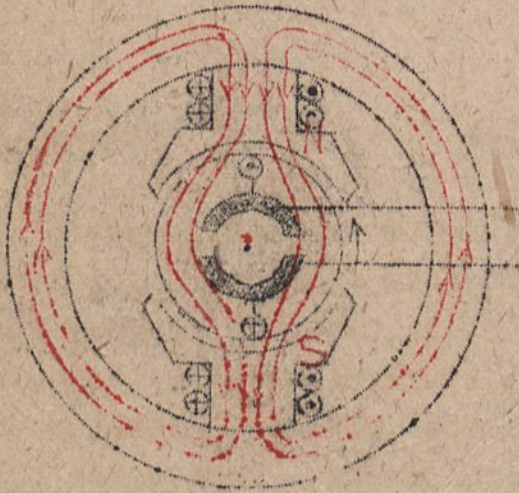
Ze względu na trudny rozruch silników synchronicznych używa się je do napędów maszyn rzadko zatrzymywanych.

Małe silniki synchroniczne (do napędu zegarów i t.p.) mają nieco inną budowę, a mianowicie wirnik wykonany bywa z miękkiej stali bez uzwojenia, z wydatnymi piórkami, które w polu wirującym same "chwytają" biegunowość. Rozruch ich też wymaga impulsu z zewnątrz, bądź mogą ruszać samoczynnie i samoczynnie synchronizować się z ruchem pola stojana.

4.2. Maszyny prądu stałego

4.2.0. Prądnicę prądu stałego

Normalnie maszyny prądu stałego wykonywane są w ten sposób, że magnesnica jest nieruchoma, wiruje natomiast twornik. Magnesnica posiada pińki uzwojone elektromagnesów. Prąd przepływają



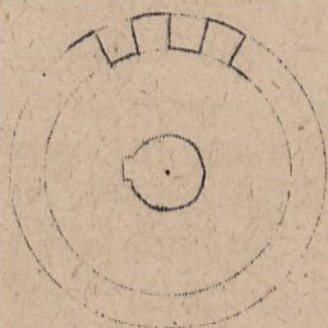
Rys. 86

cy przez uzwojenie magnesnicy wytwarza strumień magnetyczny zamykający się przez twornik i magnesnicę. Aby otrzymać jak najsilniejszy strumień magnetyczny przy użyciu jak najmniejszej ilości amperozwojów buduje się magnesnicę z materiału o dużej przenikalności magnetycznej - ze stali lanej. Rdzenie magnesów (pińki) wykonuje się ze stali albo z blachy żelaznej. Aby magnes objął większą część twornika otrzymuje nabiegunniki (rys. 86), które dla uniknięcia strat spowodowanych prądami wirowymi, są wykonane z blach. Uzwojenie magnesu wykonane jest z drutu miedzianego, izolowanego lakierem, papierem, sztucznym jedwabiem lub bawełną. Dla zmniejszenia szczeliny powietrznej między nabiegunnikami a twornikiem,

Aby otrzymać jak najsilniejszy strumień magnetyczny przy użyciu jak najmniejszej ilości amperozwojów buduje się magnesnicę z materiału o dużej przenikalności magnetycznej - ze stali lanej. Rdzenie magnesów (pińki) wykonuje się ze stali albo z blachy żelaznej. Aby magnes objął większą część twornika otrzymuje

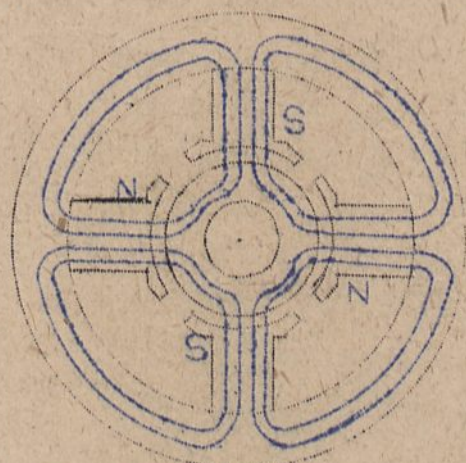
uzwojenie układa się w żłobkach twornika , równoległych do jego osi.

Ponieważ cały twornik wiruje , przecinają go więc linie pola magnetycznego , wzbudzając w żelazie prądy wirowe. Aby zapobiec temu budujemy twornik z blach grubości 0,5 mm , pokrytych z jednej strony materiałem izolującym (papier, lakier) . Blachy sciskane są z obu stron tarczami . Rysunek 87 pokazuje blachę twornikową. Tworniki o mocy ponad 4 kW otrzymują kanały wentylacyjne o szerokości 1 cm . Twornik składa się więc z oddzielnych pakietów blach , podzielonych kanałami wentylacyjnymi. Dotąd



Rys.87

Zezwoje wykonywa się przeważnie przy pomocy szablonów , następnie bandażuje się je taśmą bawełnianą i układa w żłobkach, które



Rys.88

mówiliśmy o prądnicach dwubiegunowych. Budowa większych maszyn dwubiegunowych nastroczałaby trudności. Buduje się więc prądnice wielobiegunowe o 4,6 i więcej biegunach . Rysunek 88 przedstawia schemat prądnicy czterobiegunowej . Uzwojenie twornika składa się z zezwojów ułożonych w żłobkach. Zezwój składa się z drutów lub prętów.

Zezwoje uprzednio wykłada się preszpanem lub czasem mikanitem . Dla zabezpieczenia zezwojów od wypadnięcia ze żłobków wskutek siły odśrodkowej , zamyka się żłobki klinami drewnianymi . Systemów uzwojeń jest dużo, stosowanie danego systemu zależne jest od natężenia prądu i wielkości maszyny .

Przy prądnicach prądu stałego, prąd zmienny wytworzony w tworniku musi być wyprostowany przed opuszczeniem prądnicy. Prostowanie prądu odbywa się przy pomocy komutatora , składającego się z wycinków pierścieni z twardej miedzi , odizolowanych od siebie jak i od korpusu . Za izolację służy wyłącznie mika i mikanit.

Każdy wycinek połączony jest z odpowiednim punktem uzwojenia. W momencie kiedy w cewce prąd zmienia kierunek (gdy boki cewek wchodzi pod inne bieguny) zmieniają się także wycinki komutatora pod szczotkami.

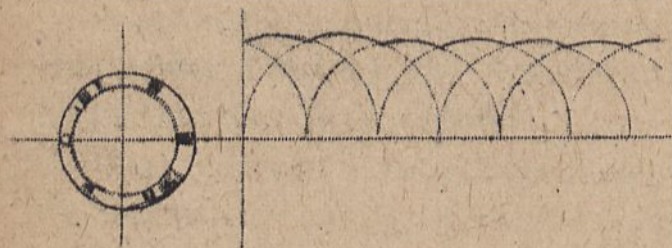
W obwodzie zewnętrznym otrzymamy zatem prąd tętniacy (rys.89).



Rys.89

ilość wycinków . Prądy tętniace , wytwarzane przez poszczególne zewwoje będą się dodawały i dostaniemy prąd o bardziej równomiernym natężeniu.

Dla otrzymania prądu o bardziej wyrównanym przebiegu używamy uzwojenia składającego się nie z jednego zewwoju lecz z wielu , komutator otrzymuje wtedy odpowiednio większą



Rys.90

Prądy o ściśle jednostajnym natężeniu nie można otrzymać z prądnic prądu stałego . Źród-

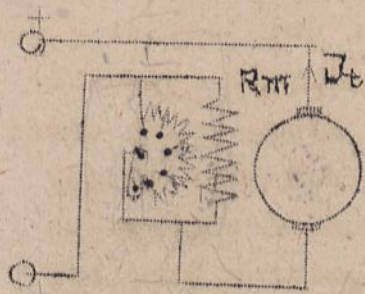
kiem takiego prądu może być tylko akumulator lub ogniwo galwaniczne.

Wytwarzanie pola magnetycznego magnesnicy przez prąd płynący w uzwojeniach magnesów nazywamy wzbudzeniem maszyny. Wzbudzenie może pochodzić z obcego źródła albo może być wytwarzane przez odgałęzienie prądu z twornika tej samej prądnicy. Rozróżniamy więc prądnice obcowzbudne i samowzbudne - te ostatnie najczęściej używane. Samowzbudzenie polega na tym , że w rdzeniach elektromagnesów , które raz już zostały namagnesowane przez przepuszczenie prądu przez ich uzwojenie , pozostaje niewielki magnetyzm szczątkowy, wytwarzający słabe pole magnetyczne. Jeżeli zaczniemy twornik obracać , to w zewwojach jego pod wpływem tego słabego pola magnetycznego powstaje pewna niewielka SEM , wywołująca słaby prąd . Jeśli więc uzwojenie magnesów włączone jest w obwód twornika , prąd ten wzmacni pole magne-

tyczne , co wywoła znów większy wzrost napięcia . Stopniowo prąd magnesujący osiąga normalną wartość , a maszyna normalne napięcie . Uzwojenie magnesów może być połączone z uzwojeniem twornika w różny sposób . Ze względu na rodzaj tych połączeń rozróżniamy prądnice szeregowe , bocznikowe i szeregowo-bocznikowe .

4.20.0 : Prądnica szeregową

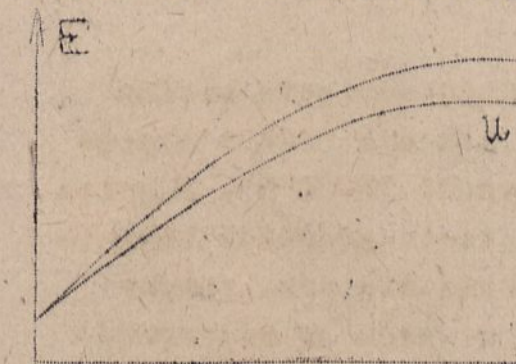
Twornik, uzwojenie magnesów i obwód zewnętrzny połączone są w szereg , wskutek czego całkowity prąd twornika płynie także i przez uzwojenie magnesów . Ponieważ prąd magnesujący ma wielkie



Rys. 01

natężenie, więc ilość zwojów elektromagnesów musi być mała , ale o znacznym przekroju , odpowiadającym dużemu natężeniu prądu . Samowzbudzenie może nastąpić tylko przy zamkniętym obwodzie zewnętrznym . Gdy prądnica jest silnie obciążona , to znaczy gdy oporność obwodu zewnętrznego jest mała (np. wskutek załączenia dużej ilości odbiorników równoległe) , to przez

uzwojenie magnesów prądnicy płynie wielki prąd , pole magnetyczne jest duże . Przy stałej liczbie obrotów twornika napięcie



Rys. 92

prądnicy zależy od natężenia pola magnetycznego . Przy dużym obciążeniu napięcie jest znaczne , przy małym niewielkie .

Charakterystyka zewnętrzna $U=f(J)$ SEM zależna jest od prądu magnesującego w sposób ciągły . Ze wzrostem prądu magnesującego ,

czyli ze wzrostem obciążenia prądnicy , wzrasta SEM . Napięcie U na zaciskach prądnicy jest mniejsze od SEM o spadek napięcia w tworniku i magnesicy . Wskutek magnetyzmu szczątkowego SEM posiada odrazu pewną wartość .

$$U = E - J \cdot R_t$$

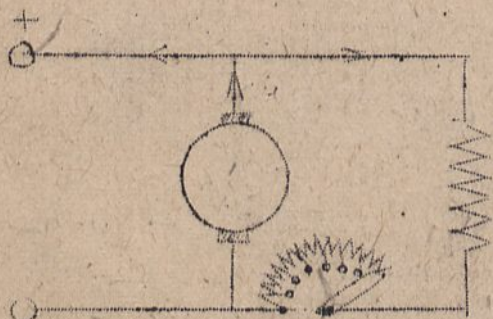
(1)

Im większy prąd, tym spadek napięcia w tworniku jest większy. Regulacja napięcia może zachodzić tylko w ten sposób, że równolegle do uzwojenia twornika, włączamy opór regulacyjny, który bocznikuje część prądu magnesów.

Z powodu silnych wahań napięcia przy zmiennym obciążeniu prądnica szeregowo stosuje się tylko w wyjątkowych przypadkach.

4.20.1 Prądnica bocznikowa.

Uzwojenia magnesów tworzą bocznik, to znaczy są połączone równolegle do uzwojenia twornika. W tym wypadku prąd twornika

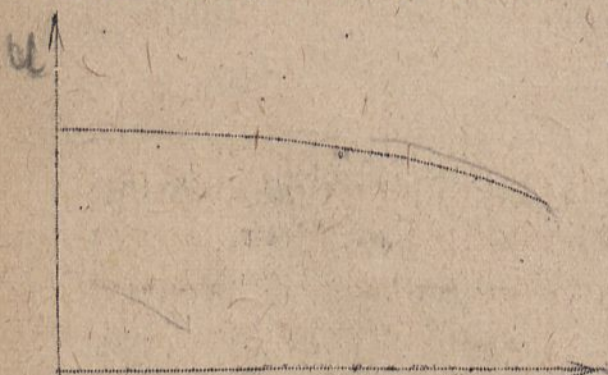


Rys.92

dzieli się na dwie części: jeden przepływa przez uzwojenie magnesnicy, drugi przez obwód zewnętrzny. Prąd magnesujący jest dla obwodu zewnętrznego stracony, powinien więc być jak najmniejszy. Natężenie jego wynosi zwykle 2 - 3 % natężenia prądu twornika. Ze względu na małe natężenie prądu magnesującego przekrój uzwojenia magnesów jest mały, a potrzebną ilość amperozwojów osiąga się przez dużą ilość zwojów.

dzieli się na dwie części: jeden przepływa przez uzwojenie magnesnicy, drugi przez obwód zewnętrzny. Prąd magnesujący jest dla obwodu zewnętrznego stracony, powinien więc być jak najmniejszy. Natężenie jego wynosi zwykle 2 - 3 % natężenia prądu twornika. Ze względu

Charakterystyka zewnętrzna $U = f(J)$. Zmiana napięcia między



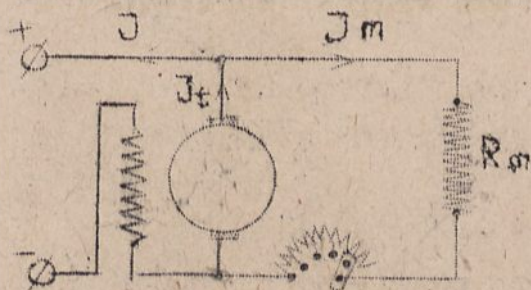
Rys.93

biegiem luzem a pełnym obciążeniem wynosi 15-20 %. Regulowanie napięcia prądnicy bocznikowej odbywa się przy pomocy opornika włączonego szeregowo w obwód wzbudzenia. Przy zwiększeniu oporności opornika natężenie prądu wzbudzenia maleje, wskutek czego maleje

pole magnetyczne, a co za tym idzie - maleje napięcie prądnicy. Prądnica bocznikowa jest szeroko stosowana i to zarówno jako prądnica elektrowni jak również jako prądnica do ładowania akumulatorów.

4.20.2 Prądnicą szeregowo-bocznikowa (dozwojona-kompound)

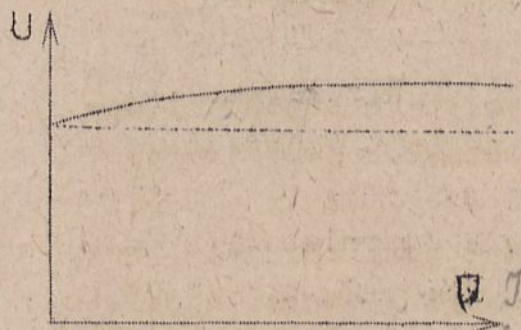
Prądnicą szeregowo-bocznikowa posiada na biegunach dwa uzwoje-
nia : bocznikowe o wielu zwojach cienkiego drutu i szerego-



Rys.94

o niewielu zwojach grubego dru-
tu . Większą część pola magne-
tycznego wytwarza uzwojenie
bocznikowe , uzwojenie szerego-
we jest uzwojeniem dodatkowym.
Uzwojenie szeregowe wytwarza
dodatkowe pole magnetyczne i
to tym większe im prądnicą jest
bardziej obciążona - tak , że

powstałe wskutek tego napięcie twornika wyrównywa spadek na-
pięcia w sieci powstały wskutek obciążenia . Prawidłowo obli-



Rys.95

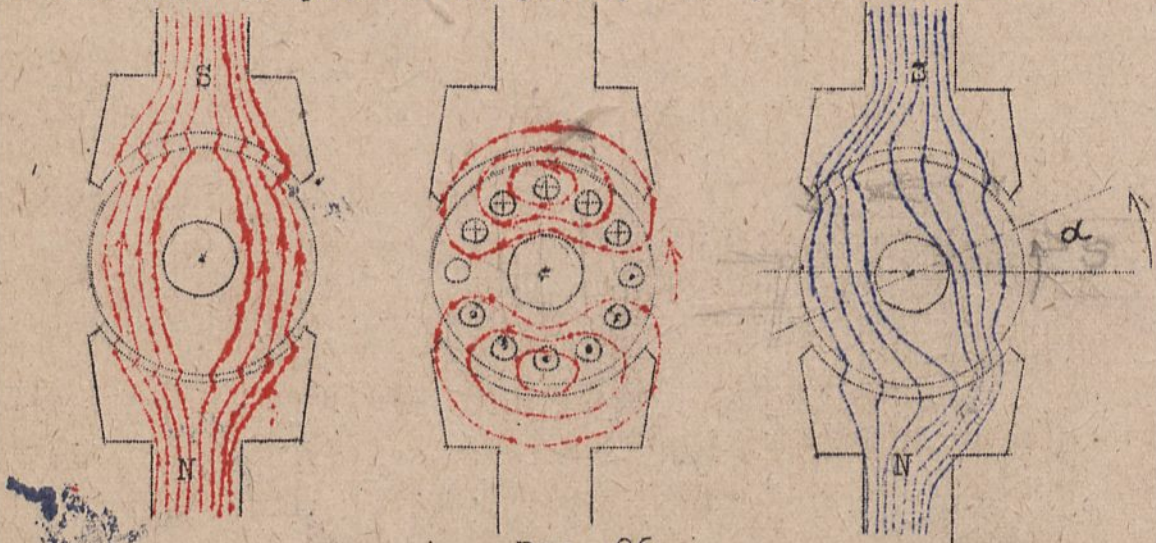
czona prądnicą daje napięcie w przy-
bliżeniu stałe, niezależne od obciąż-
zenia . Przez zastosowanie uzwoje-
nia szeregowego napięcie prądnic
wzrasta z obciążeniem o tyle ile
wynosi spadek na sieci . Charakte-
rystykę zewnętrzną prądnic
szeregowo-bocznikowej przedstawia rys.95.

Napięcie prądnic szeregowo-bocznikowej daje się regulować przy
pomocy regulatora bocznikowego , połączonego tak , jak przy
prądnicach bocznikowych.

4.20.3 Oddziaływanie twornika

Przez twornik obciążonej prądnic płynię prąd , który wytwarza
własne pol. magnetyczne . Kierunek tego pola znajdziemy z re-
guły korkociąga . Linie pola magnetycznego wszystkich przewo-
dów tworzą razem tzw. pole poprzeczne . Strumień magnesów i
strumień twornika dają w wyniku strumień wypadkowy . Biegun
połączony z lewej strony zostaje osłabiony a z prawej wzmocniony.
Pole główne deformuje się i przesuwają w kierunku obrotu prąd-
nicy o kąt α . Przez to przesuwają się strefa neutralna i musi-
my przesuwają szczotki w kierunku obrotu twornika , także o

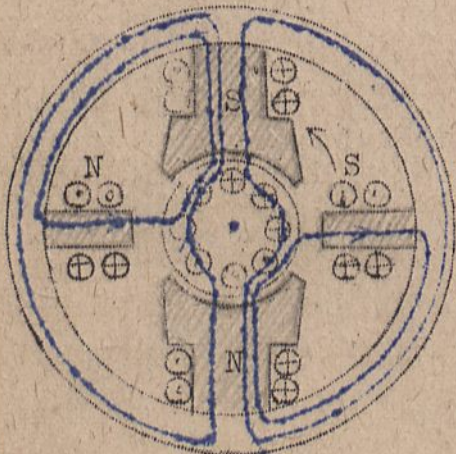
kąt α , gdyż w przeciwnym razie nastąpiłoby opóźnione odwrócenie kierunku prądu . Szczotki odprowadzają prąd , przyczem szczotka musi obejmować conajmniej dwa wycinki komutatora .



Rys. 96

Szczotki wyrabia się z grafitu . Przy małych maszynach i małych szybkościach obwodowych materiał szczotek jest twardy , przy większych zaś miękki .

Aby uniknąć ciągłego przesuwania szczotek przy zmiennym obciążeniu umieszczamy pośrodku między biegunami głównymi wąskie bieguny , zwane pomocniczymi , których zadaniem jest znosić pole magnetyczne poprzeczne. Aby to zachodziło , bieguny pomocnicze muszą wytwarzać pole o tej samej sile , lecz o odwrotnym kierunku . Cewki biegunów pomocniczych muszą być zasilane prądem twornika . Biegunowość bieguna pomocniczego musi być taka , że po biegunie głównym w kierunku obrotu następuje biegun pomocniczy znaku przeciwnego



Rys. 97

4.21 Silniki prądu stałego

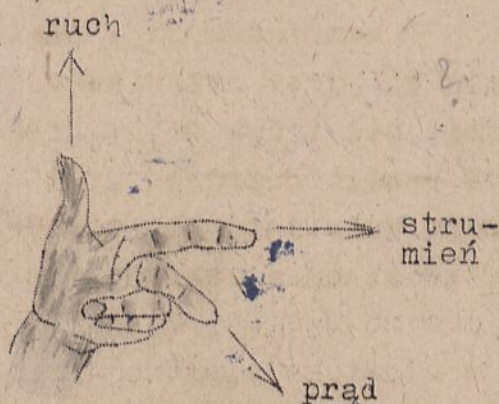
Zasada budowy silnika i prądnicy jest identyczna, można więc maszyny prądu stałego używać dowolnie jako silnika lub prądnicy. Różnica polega na tym, że w prądnicy SEM samoindukcji twornika pokonują napięcie w sieci, czyli dostarcza sieci prądu (prównaj wzór 1), w silniku zaś napięcie zewnętrzne pokonywa SEM samoindukcji i opór twornika, zamieniając energię elektryczną na mechaniczną.

$$E = U - J_{tw} \cdot R_{tw} \quad (1)$$

E = SEM samoindukcji

U = przyłożone napięcie

Jeśli w polu magnetycznym znajduje się przewodnik przez który płynie prąd, to przez współdziałanie danego pola z polem wytworzonym przez przepływający prąd powstaje siła, starająca się przesunąć przewodnik w kierunku prostopadłym do linii pola magnetycznego i przepływającego prądu. Kierunek działającej siły określa reguła trzech palców lewej ręki: Ustawiamy



Rys. 98

3 palce w trzech prostopadłych kierunkach (jak osi x, y i z). Wtedy kciuk wskazuje ruch silnika, jeżeli wskazujący leży w kierunku strumienia, a środkowy - prądu. (Rys. 98).

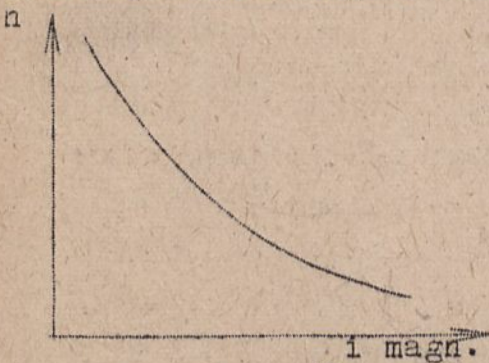
Opisane zjawisko jest zasadą działania silników prądu stałego. Wszystkie przewody znajdujące się na tworniku podlegają

działaniu tej siły i razem powodują obrót twornika. Momenty obrotowe działają zgodnie, gdyż w prętach znajdujących się pod biegunem N płynie prąd w kierunku przeciwnym niż pod biegunem S.

Wartość momentu obrotowego, występującego na wale silnika określić można ze wzoru:

$$M_{obr} = \frac{975 \cdot N}{n} \quad (2)$$

gdzie N oznacza moc wyrażoną w kW, a n ilość obrotów na min. wału silnika. Z wzoru 2 wynika, że silniki wolnobieżne mają większy moment obrotowy, a tym samym siłę pociągową niż silniki szybkobieżne. Są też dla tego większe. Przez użycie

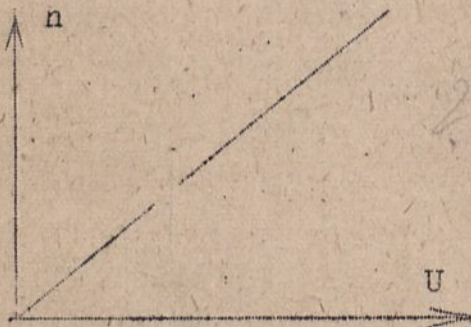


Rys.99

przekładni pasowych lub zębatych, możemy duże i drogie wolnobieżne silniki zastąpić mniejszymi szybkobieżnymi (przy tej samej mocy).

Wpływ pola magnetycznego na ilość obrotów, przy stałym napięciu podaje rys. 99. Przy silnym polu wystarcza mniejsza ilość obrotów

na minutę, aniżeli przy słabym polu. Wpływ napięcia na ilość obrotów przy stałym polu magnetycznym podaje rysunek 100.



Rys.100

SEM samoindukcji (wzór 1) zmniejsza prąd płynący przez twornik.

Przy włączaniu silnika nie mamy na początku SEM samoindukcji, gdyż przewodnik nie jest przecinany przez linie sił ($E = 0$). Prąd płynący w chwili rozruchu jest więc bardzo duży i mógłby uszkodzić uzwojenie.

Wartość jego określić można ze wzoru (1)

Zakładając $E = 0$:

$$J = \frac{U}{R_{tw}} \quad (3)$$

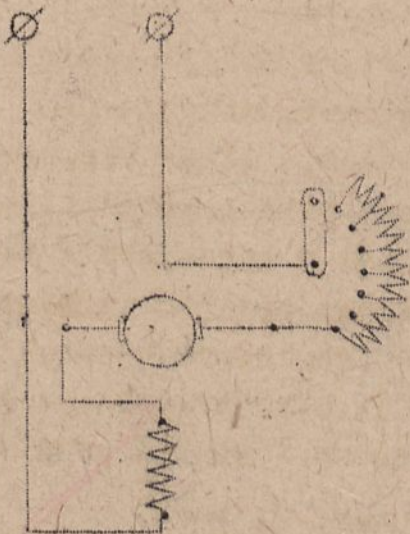
Aby zmniejszyć prąd należy włączyć w obwód twornika opór dodatkowy. Ze wzrostem obrotów opór należy zmniejszać. Opór ten nazywa się rozrusznikiem. Używamy go tylko przy rozruchu, w czasie pracy silnika musi być wyłączony, gdyż powoduje stratę energii na wydzielane ciepło. Rozrusznik połączony jest zawsze z twornikiem szeregowo.

Oddziaływanie twornika: Prąd w uzwojeniu twornika wytwarza własny strumień magnetyczny, który oddziaływając na strumień magnetyczny skręca go o pewien kąt, tak jak w prądnicach, tylko

tylko w przeciwnym kierunku . Aby więc uniknąć iskrzenia komutatora , należy przesunąć szczotki w kierunku przeciwnym do obrotu twornika (odwrotnie niż w prądnicach) . Dla uniknięcia przesuwania szczotek stosuje się bieguny pomocnicze . Kolejność biegunów głównych i pomocniczych jest inna niż w prądnicach . Idąc w kierunku obrotu , po biegunie północnym spotykamy również biegun północny pomocniczy .

4.21.0 : Silniki szeregowe

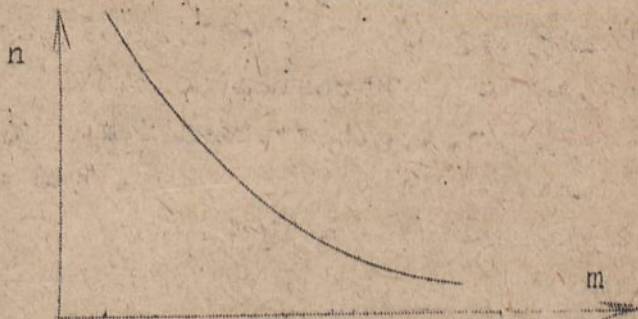
Silnik szeregowy , tak jak prądnicą szeregową posiada uzwojenie magnetyczne i twornika połączone w szereg (rys. 401) .



Rys. 401

Prąd twornika jest jednocześnie prądem wzbudzającym . Ze wzrostem obciążenia wzrasta nie tylko prąd twornika , ale i strumień magnetyczny wzbudzenia . Jak wynika więc ze wzoru (1) q rozdziale 4.11.04 przy dwukrotnym wzroście prądu, moment obrotowy wzrasta czterokrotnie . Silnik szeregowy rozwijając duży moment obrotowy przy stosunkowo niewielkim poborze prądu nadaje się do najcięższych napędów jak tramwaje , koleje elektryczne, dźwigi i t.p. Zadanie te spełnia silnik szeregowy lepiej niż każdy inny. Silnik szeregowy nie może pracować nieobciążony, gdyż

przy biegu luzem rozwija dużą szybkość mogącą spowodować uszkodzenie silnika. Dlatego większe silniki szeregowe są na stałe sprzężone z maszyną roboczą. Przy obciążeniu pole magnetyczne i prąd twornika są duże i motor osiąga niskie obroty (p.rys.99) .

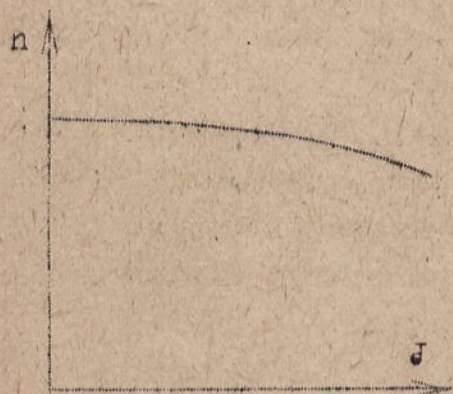


Rys. 402

Ilość obrotów silnika wzrasta z malejącym obciążeniem, a spada z rosnącym obciążeniem (Rys. 402). Regulacji obrotów w dół (poniżej nominalnej wartości) dokonywa się przy pomocy regulatora, który musi być obliczony na długotrwałe obciążenie (dlatego rozrusznikiem nie można regulować obrotów). Powyżej nominalnej ilości obrotów regulacja następuje przez bocznikowanie oporem regulacyjnym magnesu. Oporność boczników dobiera się tak, aby przez nie płynęło 25 - 50 % prądu twornika. Przez osłabienie strumienia liczba obrotów silnika wzrasta z jednoczesnym zmniejszaniem się momentu obrotowego.

4.21.1 Silniki bocznikowe

W silniku bocznikowym magnesia jest włączona równolegle do twornika. Uzwojenie magnesu składa się z dużej ilości zwojów



Rys. 403

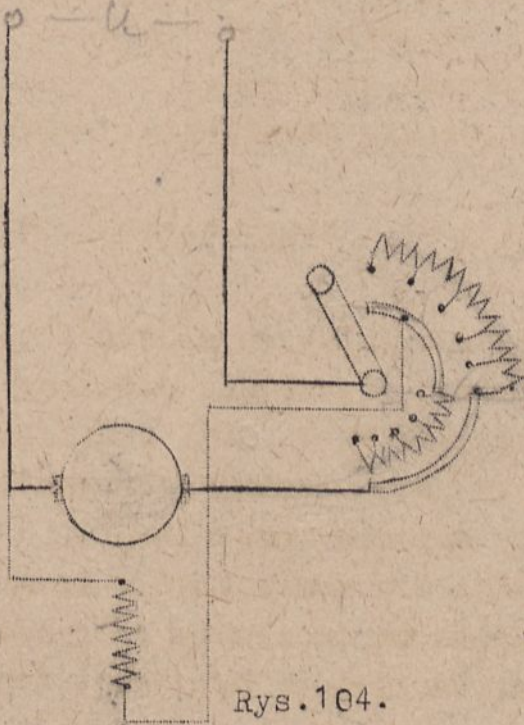
cienkiego drutu miedzianego. Ze wzrostem obciążenia ilość obrotów silnika spada o pewien procent. Dopóki silnik jest w spoczynku w tworniku nie wytwarza się SEM indukowana. Gdybyśmy więc przy rozruchu włączyli silnik do sieci bezpośrednio, popłynąłby do twornika zbyt wielki prąd:

$$J_{tw} = \frac{U_s - (E_t = 0)}{R_{tw}} \quad (1)$$

mogący uzwojenie uszkodzić. Aby temu zapobiec uruchamia się silniki przy pomocy rozrusznika, włączonego szeregowo w obwód twornika. Uzwojenie wzbudzenia przy rozruchu załączane jest od razu na pełne napięcie sieci. Regulacji obrotów dokonywać można albo przy pomocy zmiany napięcia doprowadzonego do twornika (regulacja w dół) albo przez zmianę wielkości strumienia magnetycznego (regulacja w górę).

Zmiany napięcia dokonywa się przy pomocy regulatora (opornika) w obwodzie twornika, dostosowanego do obciążenia ciągłego. Ma to jednak tę wadę, że traci się przy tym wiele energii w regulatorze (cały prąd twornika płynie przez opór).

Powyżej nominalnej ilości obrotów regulacja następuje przez osłabienie pola magnetycznego opornicą regulacyjną, włączoną w szereg do obwodu magnetyczny. Przez włączenie więc regulatora bocznikowego można



Rys. 104.

tylko powiększać liczbę obrotów w stosunku do nominalnej. Odbywa się to niemal bez strat. Regulator bocznikowy może być samoistnym przyrządem (np. albo też może być połączony z rozrusznikiem (rys. 104)). W przypadku tym przy pomocy jednego tylko przyrządu liczba obrotów daje się regulować w szerokich granicach, poniżej i powyżej nominalnej.

Zmiany kierunku obrotów dokonuje się przy pomocy zmiany kierunku prądu w tworniku. Silnik bocznikowy używany jest normalnie do napędu maszyn o niezbyt wielkim momencie obrotowym i prawie stałych obrotach. Jest on najczęściej używanym silnikiem prądu stałego

4.3 Sprawność i straty

Sprawność silnika nazywamy stosunek mocy mechanicznej oddanej na wale silnika do mocy elektrycznej pobranej :

$$\eta = \frac{P_{\text{odd}}}{P_{\text{pob}}} \quad (1)$$

Moc wykorzystana : $P_{\text{odpr.}} = P_{\text{pob}} - P_{\text{straty}}$

Odprowadzona moc jest mniejsza od mocy pobranej o moc zużytą na straty. Straty w maszynach dzielimy :

a) straty ciepłne (ciepło Joule'a) w uzwojeniu. Im mniejsza oporność obwodu, tym mniejsze straty na ciepło, dlatego uzwojenie sporządza się z miedzi elektrolitycznej, rzadziej z aluminium.

- b) straty w żelazie - energia stracona na przemagnesowywanie blach (straty histerezy) i na ich ogrzanie prądami wirowymi. Straty te wzrastają, nieznacznie ze wzrostem obciążenia.
- c) straty tarcia w łożyskach i tarcia powietrza.
- d) straty wentylacji - przy przepędzaniu strumienia powietrza celem schłodzenia silnika
- e) straty w uzwojeniach wzbudzających (magneśnicach) - jeżeli są.

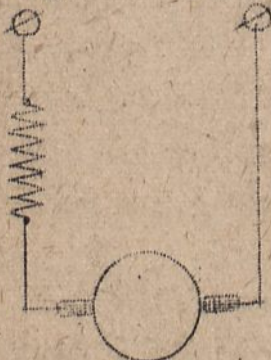
Silniki elektryczne należą do najsprawniejszych maszyn, sprawność ich jest rzędu 0,8 - 0,9. Przeciętny silnik 3-fazowy mocy 1,5 kW, 1500 obr/min ma sprawność $\eta = 0,85$. Silniki prądu zmiennego są sprawniejsze niż prądu stałego. Sprawność silnika z obciążeniem niewiele się zmienia (zmniejsza). Najlepsza sprawność jest przy obciążeniu nominalnym. Ze spadkiem obciążenia maleje również szybko współczynnik mocy $\cos \varphi$, dlatego pożądanym jest aby silniki trójfazowe były obciążone momentem nominalnym.

4.4. Silniki komutatorowe

Osobną grupę silników prądu zmiennego stanowią silniki komutatorowe. Pod względem budowy i zasady działania zbliżone są do silników prądu stałego.

4.40 Jednofazowe silniki szeregowo

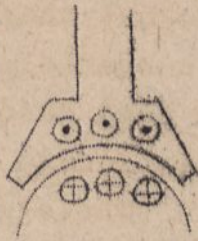
Jeśli w silniku szeregowym prądu stałego zmienimy znak przyłożonego napięcia (+ na -) to będzie on pracował bez zmiany



Rys. 105

w tym samym kierunku, dlatego, że tak kierunek pola magnetycznego jak i twornika ulegają jednocześnie zmianie. Wynika z tego, że silnik szeregowy prądu stałego załączyć można na jednofazowy prąd zmienny. Tak jednak zupełnie nie jest, gdyż wskutek ciągłej zmiany kierunku prądu powstają prądy wirowe w obwodach magnetycznych. Przy dłuższym więc użyciu silnik się grzeje, poza tym szczotki iskrzą.

Aby temu zaradzić, magneśnicę, bieguny i twornik buduje się z blach. Celem uniknięcia iskrzenia, dla zanieszenia pola



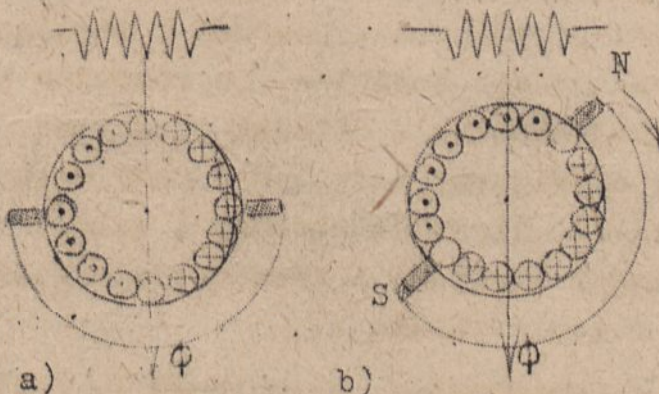
Rys. 106

poprzecznego stosuje się bieguny pomocnicze i uzwojenie kompensacyjne. Uzwojenie kompensacyjne ułożone jest w nabiegunkach. Przepływa przez nie również prąd twornika, ale tak, że kierunek jego jest odwrotny do kierunku prądu w uzwojeniu

twornika. Wtedy pola wytworzone przez prąd w obu uzwojeniach znoszą się. Bieguny pomocnicze, które działają w strefie neutralnej, otrzymują małe wymiary. Silnik taki posiada własności silnika szeregowego prądu stałego. Posiada duży moment rozruchowy i jest mocno przeciążalny. Liczba obrotów nie jest stała. Ze wzrostem obciążenia ilość obrotów maleje, przy zmniejszaniu zaś szybko wzrasta. Nie może więc pracować bez obciążenia. Używany jest w kolejnictwie jako silnik prądu zmiennego do częstotliwości $16 \frac{2}{3}$ Hz, używanej w trakcji przy prądzie zmiennym. Mniejsze silniki, do 2 kW, t.zw. uniwersalne, służą do napędu wiertarek, wentylatorów, szlifierek i t.p. Mogą być włączane do sieci prądu stałego i zmiennego. Silnik jednofazowy szeregowy może być używany do niskich napięć, przy wyższych musi być załączony przed nim transformator.

4.41. Silniki repulsyjne

Silnik repulsyjny jest również jednofazowym silnikiem komutatorowym. Budową stojana jest taka jak silnika jednofazowego



Rys. 107

asynchronicznego. Twornik zbudowany jest podobnie do twornika prądu stałego. Szczotki ślizgające się po komutatorze są zwarte, przesuwane je można w dowolne położenie. Stator załączony na prąd jednofazowy wy -

tworzą pole magnetyczne tętniące. Siła obracająca twornik powstaje w ten sposób, że zmienny strumień magnetyczny elektromagnesów indukuje w zwojach twornika prąd, a oddziaływanie między biegunami elektromagnesów a tym prądem jest źródłem siły. W położeniu a na rys. 107 strumienie się znoszą, dlatego obrót nie następuje. W położeniu b przez oddziaływanie strumieni nastąpi ruch w kierunku przeciwnym do przesunięcia szczotek.

Rozruch i regulowanie liczby obrotów odbywa się przez przesuwanie szczotek w sposób ciągły, dzięki czemu rozruch jest bardzo łagodny. Zachowanie się silnika jest podobne do silnika szeregowego. Są stosowane do napędu maszyn wymagających bezstopniowej regulacji liczby obrotów np. do maszyn włókienniczych.]

4.42 Silniki trójfazowe komutatorowe

Stator silnika ma taką samą budowę jak silnik trójfazowy asynchroniczny. Wirnik silnika posiada normalnie uzwojenie bębnowe prądu stałego. Na obwodzie komutatora znajdują się 3 szczotki, rozstawione co 120° . Szczotki połączone są z końcami uzwojeń statora.]

4.42.0 : Silniki 3-fazowe, komutatorowe, szeregowy. Jeżeli uzwojenie wirnika połączone jest z uzwojeniem statora w szereg, dostajemy silnik szeregowy. Uzwojenie statora może być budowane na wysokie napięcie, do 6 kV. Ze względu na iskrzenie, napięcie na szczotkach nie może być duże, dlatego należy je obniżyć przy pomocy transformatora. Rozruch i regulacja obrotów odbywa się przez przesuwanie szczotek. Do rozruchu mogą być używane zaczepty transformatora. Silniki szeregowy mają duży moment obrotowy, największy może być 5 razy większy od nominalnego. Aby zmienić kierunek obrotów, należy szczotki przesunąć w przeciwnym kierunku i równocześnie zamienić 2 przewody. Stosowane obecnie rzadko.]

4.42.1 : Silniki 3-fazowe, komutatorowe, bocznikowe. Jeśli uzwojenie wirnika połączone jest z uzwojeniem statora równolegle, dostaniemy silnik trójfazowy, komutatorowy, bocznikowy.]

Regulowanie liczby obrotów odbywa się przez zmianę napięcia za pomocą transformatora regulującego. Moment może być większy od nominalnego. Używane są w wypadkach, gdy liczba obrotów powinna być prawie niezależna od obciążenia. Ze względu na transformatory regulacyjne cena ich jest wysoka, tak że najpopularniejszym jest dziś nadal silnik asynchroniczny. Silniki komutatorowe są wogóle znacznie droższe od silników asynchronicznych.

4.5 Przetwornice

4.50 . Wstęp. Przetwornice służą do przemiany prądu zmiennego na stały, lub odwrotnie, do zamiany prądu zmiennego o jednej częstotliwości na inną, wreszcie do zmiany napięcia prądu.

4.51 Przetwornice dwumaszynowe

Przetwornica dwumaszynowa jest zespołem dwóch maszyn, silnika i prądnicy, sprzężonych ze sobą przy pomocy sprzęgła. Sprawność ich jest mała, gdyż straty obu maszyn dodają się. Ogólna sprawność jest iloczynem sprawności silnika i prądnicy:

$$\eta = \eta_s \cdot \eta_p \quad (1)$$

Najważniejsze zastosowanie mają przy przetwarzaniu prądu 3-fazowego w stały.

4.52 Przetwornice jednotwornikowe.

Jeżeli przetwornica składa się tylko z jednej maszyny, wówczas nazywamy ją jednotwornikową. Przetwornica jednotwornikowa jest to mechaniczne i elektryczne połączenie maszyny prądu stałego z maszyną synchroniczną prądu zmiennego. Umożliwia ona przetwarzanie prądu stałego na zmienny, oraz wielofazowego zmiennego na stały. W uzwojeniu twornika prądnicy prądu stałego wytwarza się prąd zmienny. Jeżeli część prądu odbierać będziemy przy pomocy komutatora i szczotek, a część z pierścieni ślizgowych, to możemy z maszyny odbierać dwa

rodzaje prądu jednocześnie. Jeżeli do tej maszyny doprowadzimy prąd stały, to pracuje ona jako silnik prądu stałego. Odbiór prądu zmiennego może jednak następować równocześnie z pierścieni ślizgowych. Jeżeli do pierścieni dosyłamy prąd zmienny, to maszyna pracuje jako silnik synchroniczny, a z komutatora odbierać można wtedy prąd stały. Przeniesienie energii elektrycznej z sieci prądu jednego rodzaju na sieć prądu drugiego rodzaju odbywa się na drodze czysto elektrycznej.

4.53 Przetwornice dwutwornikowe (kaskadowe).

Przetwornice dwutwornikowe (kaskadowe) są przejściem między przetwornicami dwumaszynowymi a jednotwornikowymi. Przetwornica dwutwornikowa składa się z silnika asynchronicznego i prądnicy prądu stałego, połączonych ze sobą mechanicznie i elektrycznie. Końce uzwojeń silnika doprowadzone są do tej samej ilości zaczepów twornika prądnicy prądu stałego. Wirnik silnika jest wielofazowy (9,12). Buduje się je wyłącznie dla wielkich mocy. Są rzadko stosowane.

4.6 Prostowniki

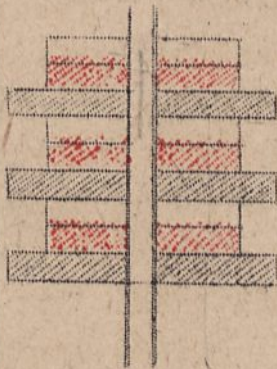
4.60. Wstęp

Do przemiany prądu zmiennego na stały mamy oprócz przetwornic wirujących także aparaty nieruchome, zwane prostownikami. Zaletą ich jest to, że mają duży współczynnik sprawności i zajmują mało miejsca.

4.61. Prostowniki stykowe

Zasada działania prostowników stykowych opiera się na własności, że przez styk metalu (przewodnika) z półprzewodnikiem prąd ma skłonność płynąć tylko w jednym kierunku. Elektrony łatwiej przechodzą od metalu do półprzewodnika, ale ten prąd elektronowy zastępujemy w myśli prądem dodatnim, jakoby prąd płynął od półprzewodnika do metalu. Przyjmujemy więc, że kierunek prądu jest od półprzewodnika do przewodnika.

Prostowniki stykowe składają się z płytek metalowych, warstwy półprzewodzącej, np. selenu, na poniklowanej płytce, aby był dobry kontakt. Warstwy te osadzone są na pręcie i odizolowane od niego (rys. 102). Dla



Rys. 102

lepszego odrowadzenia ciepła stosuje się wystające płytki (zeberka). Jeżeli napięcie przekroczy pewną wartość tzw. napięcie zaporowe, to popłynie prąd wsteczny, i działanie prostownika jest skończone, warstwa półprzewodnika będzie przebita. Napięcie to dla selenu wynosi od 12 do 14 V. Celem możliwości stosowania większego napięcia pojedyncze ogniwa łączy się szeregowo. Obciążalność prądem zależy od powierzchni: na 1 cm² powierzchni płytki selenowej wynosi 50 mA. Jeżeli w obwód prądu zmiennego włączymy jeden prostownik otrzymamy prąd wyprostowany. Wykorzystana jest jednak tylko jedna połowa napięcia. Jeżeli chcemy wykorzystać obie połowki, stosujemy połączenie mostkowe (rys. 104). Prostowniki te stosuje się dla małych mocy. Prócz prostowników selenowych często spotykanymi są miedziowe: jedna płytka jest z miedzi, druga ma warstwę tlenku miedzi.

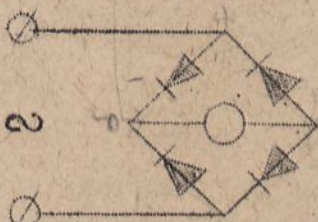


Rys. 103

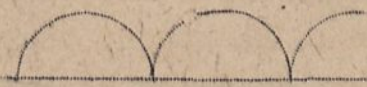


Wykorzystana jest jednak tylko jedna połowa napięcia. Jeżeli chcemy wykorzystać obie połowki, stosujemy

połączenie mostkowe (rys. 104). Prostowniki te stosuje



Rys. 104

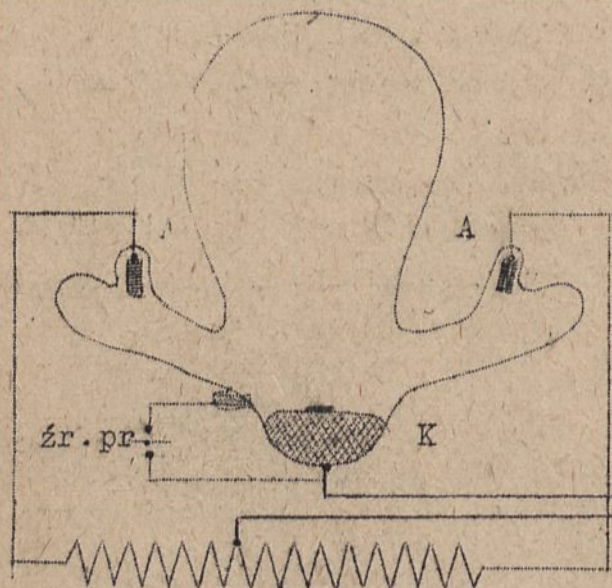


się dla małych mocy. Prócz prostowników selenowych często spotykanymi są miedziowe: jedna płytka jest z miedzi, druga ma warstwę tlenku miedzi.

4.62 . Prostowniki rtęciowe

Dla dużych mocy stosuje się prostowniki rtęciowe. Rysunek 111 przedstawia nam prostownik rtęciowy. Składa się on z bańki próżniowej z twardego szkła z rtęcią u dołu jako katodą i dwoma anodami grafitowymi umieszczonymi w rozgałęzie-

niach korpusu głównego. Anody połączone są z końcówkami uzwojenia transformatora zasilanego prądem zmiennym. Obwód prądu wyprostowanego (tętniącego) przyłącza się jednym biegunem do drutu zatopionego w szkłe i stykającego się z rtęcią (dodatni biegun), drugim zaś do środka uzwojenia transformatora (ujemny biegun). Zaraz po włączeniu prądu na transformator taki prostownik prądu nie przepuszcza, gdyż próżnia w



Rys. 10b

wewnątrz bańki jest izolatorem. Blisko anody mamy tzw. anodę pomocniczą. Dla puszczenia prostownika w ruch, trzeba wywołać chwilowy prąd przez zetknięcie rtęci z pomocniczą anodą (przez przechylenie naczynia). Po wyprostowaniu, przy wynurzaniu powstaje łuk elektryczny. W miejscu zetknięcia się łuku z katodą wytwarza się temperatura około 3000°C powodując powstanie plamki żarzeniowej, która emituje elektro-

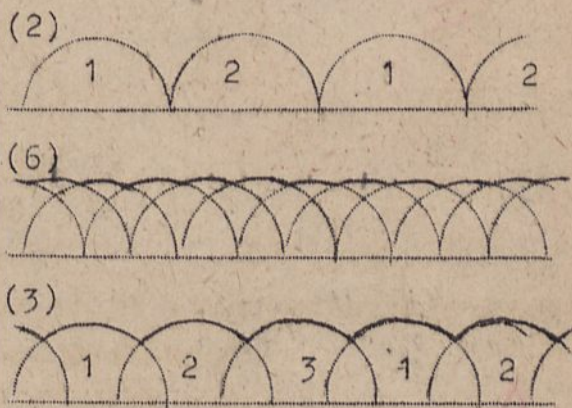
ny. Elektrony przyciągane są przez anody, w przestrzeni znajduje się para rtęci i łuk przeruci się na katody - prostownik już jest w ruchu. Elektrony biegną od katody, kierunek zaś prądu przyjmujemy od anody do katody. Górna rozszerzona część bańki szklanej służy do skraplania pary rtęci. Biorąc duże bańki można przepuszczać dość duże prądy np. do 100 A przy 500 V. Dla dużych mocy buduje się prostowniki nie szklane lecz stalowe. Wymagają one stałego utrzymywania próżni przy pomocy pomp.

Rysunek 11 przedstawia nam przebieg prądu wyprostowanego prostownika dwu-, trój- i szesciofazowego. Widzimy więc, że im większa ilość anod, tym prąd wyprostowany jest mniej falisty. Większe prostowniki wykonywamy dlatego jako 6-cio lub 12-to anodowe.

Współczynnik sprawności prostownika jest w przybliżeniu niezależny od natężenia prądu.

$$\eta = \frac{U \cdot J}{(U + \Delta U) \cdot J} = \frac{U}{U + \Delta U} \quad (1)$$

ΔU = spadek napięcia w prostowniku wynosi 15 - 25 V. Prostowniki mają tym lepszy współczynnik sprawności im wyższego napięcia prąd prostują. Prostowniki rtęciowe mogą być zaopatrzone w siatkę sterującą, umieszczoną między katodą a anodą. Jeśli naładujemy ją dodatnio przyspiesza bieg elektronów od katody do anody. Jeśli zaś naładujemy ją ujemnie - hamuje ruch elektronów i może go zupełnie przerwać. Prostowniki z siatką sterującą mogą być dzięki tej własności wykorzystane i w kierunku odwrotnym t.j. do zamiany prądu stałego na zmienny (najpierw przerywany, a ten przy pomocy dławików i transformatorów - na zmienny) (Inwertory).



Rys. 11a

4.63 Prostowniki katodowe

W prostownikach katodowych katodą jest włókno wolframowe. Katoda rozżarzona do wysokiej temperatury emituje elektrony, które mogą się poruszać tylko do anody. Stosuje się je do niedużych prądów i wysokich napięć (kenotrony).

4.7 Transformatory

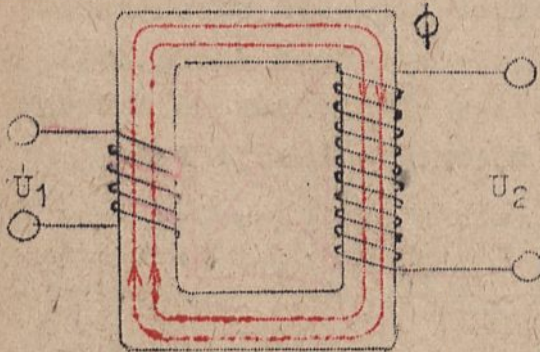
4.70 . Wstęp

Do przenoszenia większych mocy na duże odległości musimy stosować wysokie napięcia. Korzyści z tego są duże, bo przez zwiększenie napięcia n razy przy tej samej mocy prąd maleje n razy, a przy dopuszczeniu tego samego (procentowo)

spadku napięcia przekrój przewodu zmniejszyć można n^2 razy. Przy prądach zmiennych wysokie napięcia uzyskujemy przy pomocy transformatorów.

4.71 Transformatory jednofazowe

Najprostszy transformator składa się z rdzenia żelaznego z blach ze specjalnej stali magnetycznie podatnej, na który



nawinięte są dwa uzwojenia. Jeżeli pierwsze uzwojenie (pierwotne) zasila się prądem zmiennym, to prąd pobierany nie wykonywa żadnej pracy, jeżeli pominąć bardzo małe straty. (Rys. 113). Jest on o 90° przesunięty wstecz względem napięcia, ponieważ jest prądem indukcyjnym. Prąd ten zwany magnesującym (J_0) wytwarza zmienny

Rys. 113

strumień magnetyczny, którego linie zamykają się przez rdzeń transformatora. W uzwojeniu drugim (wtórnym) ten zmienny strumień indukuje siłę elektromotoryczną opóźnioną względem prądu magnesującego, a więc i strumienia magnetycznego znów o 90° . Dzieje się to dla tego, że największa zmiana strumienia, a więc największa SEM powstaje gdy prąd magnesujący przechodzi przez 0 (największe $d\Phi/dt$). Strumień magnetyczny utworzony przez prąd magnesujący wytwarza w obu uzwojeniach siły elektromotoryczne przypadające na

Rys. 114 1 zwój równe: $e_1 = e_2$ (1)

Jeśli ilość zwojów w uzwojeniu pierwotnym oznaczymy przez z_1 , we wtórnym przez z_2 , to całkowite siły elektromotoryczne będą:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= e_1 \cdot z_1 \\ E_2 &= e_2 \cdot z_2 \end{aligned} \right\} (2)$$

Ponieważ $e_1 = e_2$, więc :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{z_1}{z_2} \quad (3)$$

Przy stanie jałowym transformatora, t. zn. kiedy obwód uzwojenia wtórnego nie jest zamknięty, SEM równa jest napięciu na zaciskach, czyli :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{z_1}{z_2} \quad (4)$$

Stosunek napięć nazywamy przekładnią transformatora (\mathcal{K}). Możemy więc przy pomocy transformatorów przez odpowiedni dobór liczby zwojów, każde zmienne napięcie przetransformować na wyższe lub niższe, również zmienne. Przy bardzo wysokich napięciach mamy jednak trudności z izolacją, obecnie dochodzimy przy transformatorach do napięcia 10^6 V.

Jeżeli pominiemy straty, które są bardzo małe, to moc (pozorna) wejściowa równa jest mocy wyjściowej :

$$U_1 J_1 = U_2 J_2 \quad (5)$$

i stąd :

$$\frac{J_1}{U_1} = \frac{J_2}{U_2} \quad (6)$$

Ze wzoru (6) widzimy, że przekładnia prądów jest odwrotna do przekładni napięć. Strona niższego napięcia dostarcza wyższego prądu. Transformatory należą do najdoskonalszych maszyn elektrycznych. Straty w transformatorach występują w żelazie i miedzi, są to więc straty powstałe wskutek histerezy i prądów wirowych, oraz straty cieplne wskutek oporu w uzwojeniach. Dla zmniejszenia strat rdzeń wykonywany jest z blach żelaznych nakrzemionych grubości 0,35 mm (do kilku % krzemu i mało węgla - straty $1,3$ W / 1 kg żelaza przy 1000 G i $f = 50$ Hz), uzwojenie zaś wykonuje się z miedzi elektrolitycznej. Przebiegowa sprawność normalnych transformatorów wynosi od 0,96 do 0,98, a przy mocy ponad 1000 kVA 0,99. Moc transformatorów ograniczona jest ogrza-

Donizko

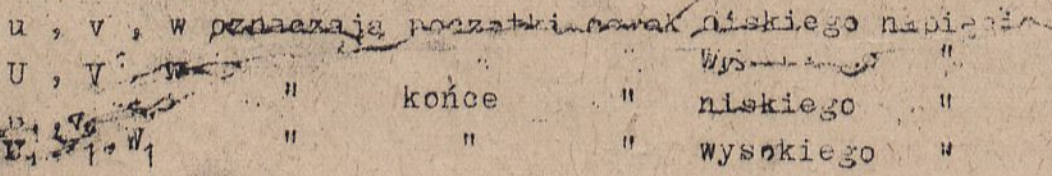
iem . Ciepło wywołane trzeba odprowadzić , co zwykle uzyskuje się przy pomocy oleju . Większość transformatorów mocy jest transformatorami olejowymi , t.j. zanurzone są w pudle wypełnionym olejem mineralnym . Olej ten , pochodzący z destylacji rop naftowej musi być czysty , bez wody , która obniża jego wytrzymałość na przebicie , bez kwasów i zasad organicznych i nieorganicznych , musi posiadać odpowiednio wysoki punkt zapłonu , dobrą wiskozę , wysokie ciepło właściwe i niski punkt krzepnięcia . Nieodpowiednia konserwacja oleju powoduje jego starzenie się..

Może być także chłodzenie powietrzne , wtedy transformatory oddają ciepło bezpośrednio do powietrza. Jeśli chodzi o budowę uzwojeń , to rozróżniamy typ z uzwojeniem cylindrycznym i typ z uzwojeniami płaskimi . Przy uzwojeniu cylindrycznym uzwojenie niskiego napięcia jest nawinięte spiralnie , na nie , odpowiednio izolowane od niego , uzwojenie wysokiego napięcia. Przy uzwojeniu płaskim uzwojenia wysokiego i niskiego napięcia są zbudowane z płaskich cewek ułożonych naprzemiennie na rdzeniu i odpowiednio od siebie izolowanych.

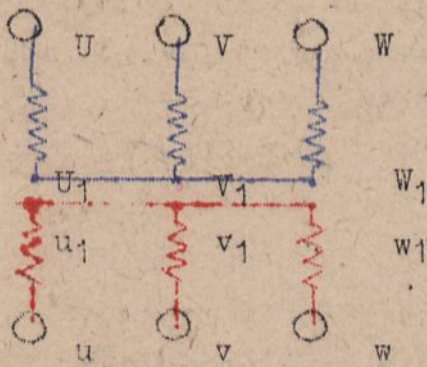
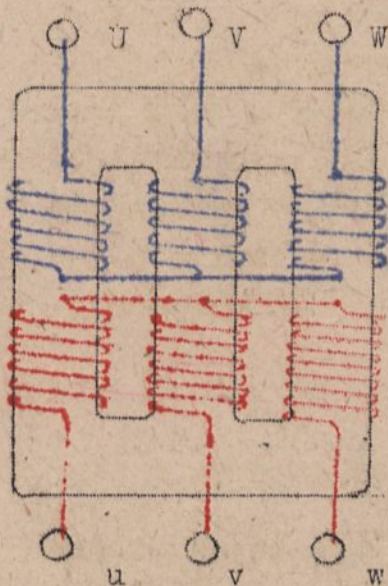
1.72 Transformatory trójfazowe

nieważ używamy przewadnie prądu zmiennego trój-fazowego, więc i transformatory będące w użyciu są przeważnie 3-fazowe . Tak pierwotne jak i wtórne uzwojenie transformatora 3-fazowego składa się z trzech oddzielnych uzwojeń , odpowiadających trzem fazom , które mogą być połączone między sobą różny sposób. Uzwojenia pierwotne i wtórne każdej fazy nawinięte jest na jednym rdzeniu żelaznym . Sposób połączeń uzwojenia pierwotnego i wtórnego może być taki sam lub różny . Istnieją trzy zasadnicze sposoby łączenia uzwojeń trójfazowych : trójkąt , gwiazda i zygzak.

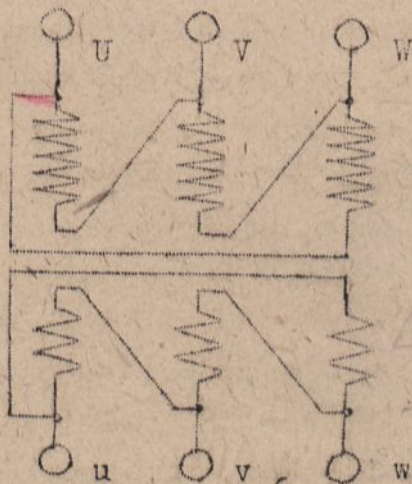
rysunek 113 przedstawia nam uzwojenie pierwotne i wtórne połączone w gwiazdę.



Rysunek 111 przedstawia nam układ



Rys. 110



Rys. 111

trójkat/trójkat . Mogą być także inne połączenia , jak np. gwiazda / trójkat lub trójkat / gwiazda .

Uzwojenia górnego napięcia średnich i małych transformatorów łączy się zwykle w gwiazdę . Dla strony niskiego napięcia często jest używane połączenie w zygzak , szczególnie jeśli transformator zasila sieć o nierównomiernym obciążeniu fazowym .

Przy połączeniu w zygzak każda faza podzielona jest na dwie połowy , z których jedna nawinięta jest na jednym , druga na drugim rdzeniu i to w odwrotnym kierunku . Oprócz tego możliwe są różne inne kombinacje połączeń .

W praktyce ilość otrzymywanych układów sprowadza się do 12

4.73 Autotransformatory

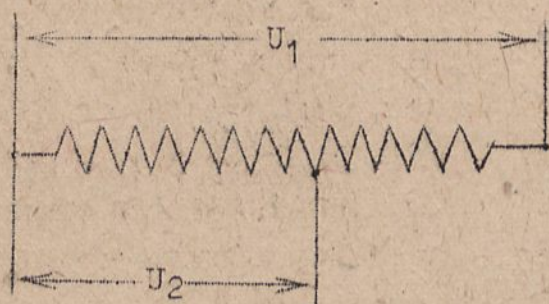
Transformator niekoniecznie musi mieć osobne uzwojenie wtórne . Może ono stanowić część uzwojenia pierwotnego. Autotrans-

formatory buduje się na napięcie pierwotne i wtórne niewiele różniące się między sobą (różnica nie przekracza 25 % .

Autotransformatory możemy wykonywać również jako 3 - fazowe

jak wyglądałby fazowanie uzwojenia w 3 fazach

(rys. 112) . Straymują one na każdą fazę uzwojenie , które w oznaczonych miejscach mają zaczepty .



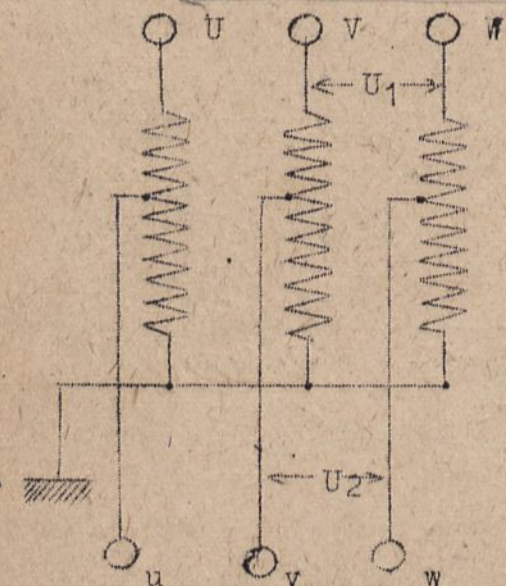
Rys. 117

Oprócz opisanych transformatorów mocy , służących do przetwarzania energii elektrycznej w celu dalszego jej przesyłania istnieją transformatory zasilające bezpośrednio zwykle jeden lub kilka odbiorników.

4.74 Transformatory miernicze

Transformatory miernicze dzielą się na prądowe i napięciowe.

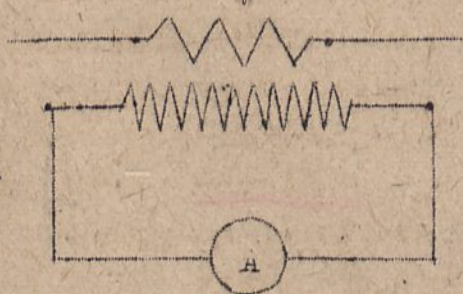
4.74.0 Transformatory prądowe zasilają amperomierze , ob-



Rys. 118

wody prądowe watomierzy, liczników i t.p. Ze względu na przyrządy pomiarowe i bezpieczeństwo obniżają one wysokie natężenie na natężenie pomiarowe i izolują obwód pomiarowy (dostępny dla ludzi) od wysokiego napięcia , grożącego porażeniem. Obwód pierwotny składa się z kilku zaledwie zwojów grubego drutu , a nawet z pojedynczego prostego pręta (rys 119). Nie wolno zacisków wtórnych zostawić otwartych , bo może powstać

niebezpieczne napięcie (prąd w uzwojeniu pierwotnym wystrumień magnetyczny , który indukuje SEM w uzwojeniu wtórnym) .

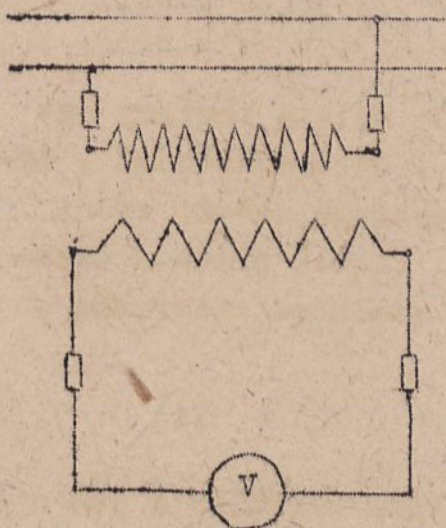


Rys119.

Jeżeli przyrządu nie ma należy uzwojenie wtórne zewrzeć (połączyć zaciski krótkim miedzianym drutem).

4.74.1 Transformatory napięciowe

Transformatory napięciowe zasilają woltomierze i obwody napięciowe przyrządów, Transformatory napięciowe przyłącza się



Rys.120

obustronnie poprzez bezpieczniki (rys.120). Obniżają one wysokie napięcie na napięcie pomiarowe. Zwarcie uzwojenia grozi jego prze-paleniem.

4.75 Praca równoległa transformatorów

Łączenie równoległe transformatorów jest konieczne, gdy transformator będący w ruchu jest przez dłuższy czas przeciążany. Przy pracy

równoległej uzwojenia pierwotne przyłączone są wspólnie do jednych, wtórne do drugich szyn zbiorczych. Równoległe można włączać do sieci tylko transformatory spełniające pewne warunki:

- 1) jednakowe pierwotne i wtórne napięcia nominalne
- 2) ta sama ilość faz
- 3) ta sama grupa połączeniowa
- 4) to samo napięcie zwarcia
- 5) stosunek mocy nominalnej, nie przekraczający 3 : 1

Napięcie zwarcia podaje ile procent nominalnego napięcia musimy przyłożyć do jednego uzwojenia transformatora, aby w zwartym drugim uzwojeniu transformatora popłynął prąd nominalny. Przy pomiarze napięcia zwarcia zwieramy wtórną stronę transformatora przez amperomierz, a pierwotne zasilamy odpowiednio obniżonym napięciem. Przy nierównym napięciu zwarcia transformator o mniejszym napięciu przejmuje na sobie większe obciążenie.

5. Pomiary elektryczne

5.0 Wstęp.

Do najważniejszych pomiarów elektrycznych należą pomiary natężenia prądu, napięcia, oporu, mocy, częstotliwości, indukcyjności i pojemności. Wielkość rzeczywista zawsze różni się od wielkości otrzymanej z pomiarów. Jeżeli przez x oznaczymy wielkość rzeczywistą, a przez x_z wielkość zmierzoną, to BŁEDEM BEZWZGLĘDNYM nazwiemy:

$$\Delta x = x - x_z \quad (1)$$

Jest on oczywiście nieznany, możemy jednak określić w jakich granicach się zawiera.

Stosunek $\Delta x / x$ nazywamy UCHYBEM (błędem) WZGLĘDNYM. Uchyb bezwzględny może być podany w jednostkach mierzonych, a względny w ułamkach lub w procentach:

$$\frac{\Delta x}{x} \cdot 100 \quad \text{błęd. wzgl.} = \text{uchyb} = \frac{\text{błęd. bezwzględny}}{\text{wartość mierzona}}$$

Uchyb jest uzależniony od:

- 1) dokładności użytych przyrządów - im lepszy, dokładniejszy przyrząd, tym uchyb jest mniejszy.
- 2) zastosowania metody (wybór metody zależy od: a) dokładności z jaką chcemy mierzyć, b) od przyrządów jakie mamy do dyspozycji).
- 3) od naszych zmysłów.

Mogą być błędy niestające, np. przy pomiarze oporu cewki miedzianej prąd płynący ogrzewa miedź, powodując wzrost oporu. Dla zmniejszenia błędów przypadkowych wykonujemy pomiar n razy, biorąc średnią wartość.

Uchyb graniczny przyrządu jest to uchyb największy, dopuszczalny dla danej klasy (jakości) przyrządu. Dla przyrządów wskazówkowych uchyb graniczny dotyczy pełnego wychylenia,

dla ~~małej~~ ~~szych~~ będzie więc procentowo większy.

Pod względem dokładności przyrządy podzielono na klasy :

- 1) Klasa 0,1 : należą do niej przyrządy wzorcowe. 0,1 oznacza że uchyb graniczny jest mniejszy od 0,1 % :

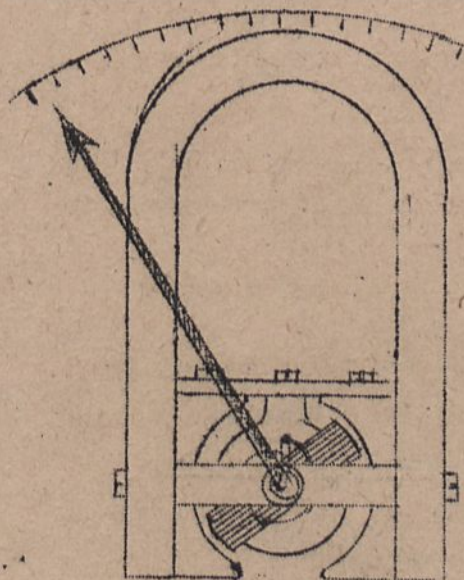
$$\frac{\Delta x}{x} \cdot 100 < 0,1$$

- 2) Klasa 0,2 . Należą do niej przyrządy precyzyjne. !
 3) Klasa 0,5 . Należą do niej przyrządy typu laboratoryjnego.
 4) Klasa 1,5 . Należą do niej przyrządy techniczne.
 5) Klasa 2,5 . Należą do niej przyrządy techniczne mniej dokładne (tablicowe).
 6) Klasa 5 i wyżej . Należą do nich przyrządy orientacyjne.

Z pojęciem dokładności nie łączy się pojęcie czułości. Są to dwa różne pojęcia. Często przyrządy najczulsze nie są dokładne.

5.1 Przyrządy magneto-elektryczne

Przyrządy te posiadają magnes stały i cewkę ruchomą. Nazywają je czasem przyrządami systemu Deprez-d'Arsonval'a.

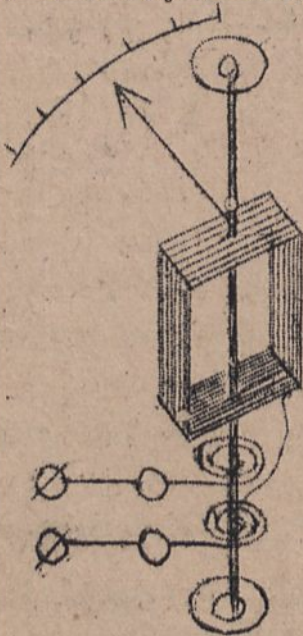


Rys. 121

Między biegunami magnesu stałego umieszczony jest walec z miękkiego żelaza , przymocowany do stałej części przyrządu. Walec skupia linie sił pola skupia linie sił pola magnetycznego i daje jednostajne pole magnetyczne w szczelinie (sz). Między biegunami magnesu stałego a walcem znajduje się cewka ruchoma na osi umocowanej w łożyskach. Cewka przymocowana jest do dwóch spiralnych sprężynek umieszczonych na osi i

odizolowanych od niej , które służą do doprowadzenia prądu.

Sprężyny te służą zarazem do utrzymywania cewki w położeniu zerowym . Cewkę stanowi ramka zwinięta z wielu zwojów bardzo



cienkiego drutu izolowanego, nasyciona lakierem tak , że zwoje trzymają się sztywno bez ramki, którą usuwa się po wykończeniu cewki. Do osi cewki przytwierdzona jest wskazówka. Jeżeli przez cewkę popłynie prąd , powstanie siła (w myśl reguły lewej ręki - jak przy silniku) , proporcjonalna do indukcji magnetycznej B , natężenia prądu J i liczby zwojów z . Powstały moment skracający jest proporcjonalny do tych samych wielkości :

Rys. 122

$$M = c_1 \cdot B \cdot J \cdot z \quad (1)$$

moment przeciwdziałający obrotowi (moment zwrotny) jest wywołany przez sprężynę. W pewnych granicach jest on proporcjonalny do kąta obrotu :

$$M_z = C_z \cdot \alpha \quad (2)$$

Równowaga następuje , gdy $M = M_z$:

$$c_1 \cdot B \cdot J \cdot z = C_z \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{c_1}{C_z} \cdot B \cdot z \cdot J \quad (3)$$

$$\alpha = C \cdot J \quad (4)$$

gdzie $C = c_1 \cdot B \cdot z / C_z$, ponieważ dla danego przyrządu wielkości : B (dzięki walcowi i odpowiednio wykształconej szczelinie) i z są stałe. C nazywamy stałą przyrządu.

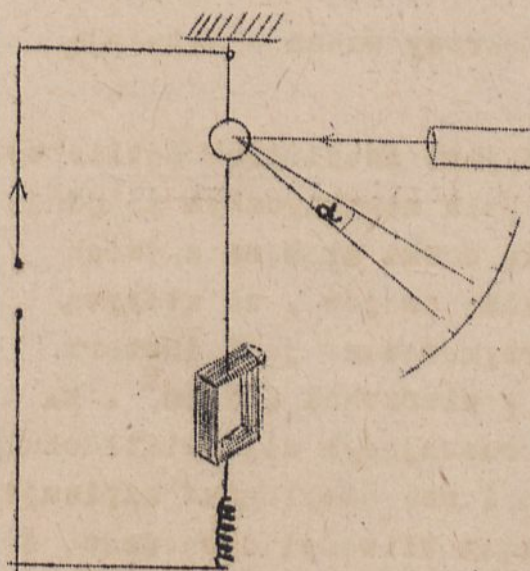
Wychylenie wskazówki jest proporcjonalne do natężenia prądu. Skala tego przyrządu jest więc jednostajna.

Gdy przez przyrząd przepuścimy prąd zmienny o małej częstotliwości , wskazówka waha się bardzo szybko , a przy

częstotliwości normalnej bezwładność przyrządu jest tak duża, że wychylenia nie będzie. Przyrządy magnetoelektryczne służą więc do pomiarów prądu stałego. Przy prądzie tętniącym wskazówka wskazuje wartość przeciętną : $\alpha = c \int i \cdot dt$.

Przyrządy magnetoelektryczne wykonane być mogą z wielką precyzją ; klasa ich 0,2 do 0,5 , a czasami 0,1 . Cechuje je wielka czułość . Używa się je jako miliwoltomierze i miliamperomierze . Do cewki doprowadzamy mały prąd . Do wyższych prądów używamy boczników (dla amperomierzy) lub oporów dodatkowych (dla woltomierzy) . Opory dodatkowe i bocznikowe dobiera się tak , aby zakres był podzielny przez ilość działek . Stała przyrządu $C = J / \alpha$ wskazuje przez ile trzeba pomnożyć wartość odczytaną , aby otrzymać wartość mierzoną.

Przyrządy magnetoelektryczne w specjalnym wykonaniu mogą

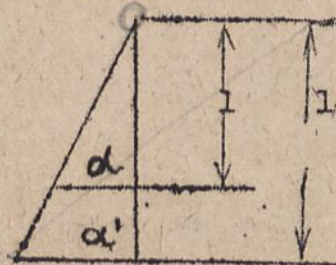


być galwanometrami , mierząc one mikroampery ($10^{-6} A$). Są one wtedy jeszcze typu wskazówkowego . Przy jeszcze większych czułościach wskazówkę zastępujemy promieniem świetlnym (wskazówka nieważka). Na rysunku 123 pokazana jest sama cewka . Cewka zawieszona jest na elastycznej nitce z brązu , przez którą dopływa prąd . Elastyczność nitki utrzymuje cewkę w położeniu zerowym . Prąd odpływa przez

Rys.123

włótkę folię z miedzi elektrolitycznej . Z cewką jest połączone lustro w sposób sztywny . Na lustro skierowane jest źródło światła , promień odbity pada na skalę umieszczoną zwykle w odległości 1 m , spełniając rolę wskazówki . W czasie przepływu prądu powstaje moment obrotowy cewki , następuje wychylenie cewki (a więc i lusterka) o kąt α , przy którym moment obrotowy zrównoważony jest momentem zwrotnym , pochodzącym ze sprężystości nitki brązowej

Czułość galwanometru lusterkowego podana jest zwykle dla odległości skali, równej 1 m. Czułość tych przyrządów, zależnie od wykonania wynosi od 10^{-8} A/mm/m (na 1 mm skali w odległości 1 m) do najwyższej czułości dla tego typu: 10^{-11} A/mm/m. Stała galwanometru podana jest dla odległości skali 1 m. Można je przeliczyć na inne odległości:



Rys. 124

$$J = C \cdot \alpha = C_1 \alpha_1 \quad (5)$$

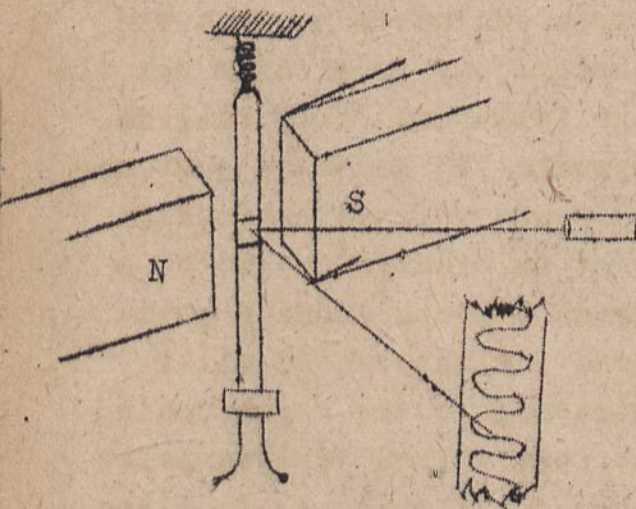
$$C_1 = C \cdot \frac{\alpha}{\alpha_1}$$

$$\frac{\alpha}{\alpha_1} = \frac{l}{l_1}$$

$$C_1 = C \cdot \frac{l}{l_1} \quad (6)$$

Czułe galwanometry mają długie okresy wahań - ustalają się powoli.

Na tej samej zasadzie zbudowany jest oscylograf pętlicowy.



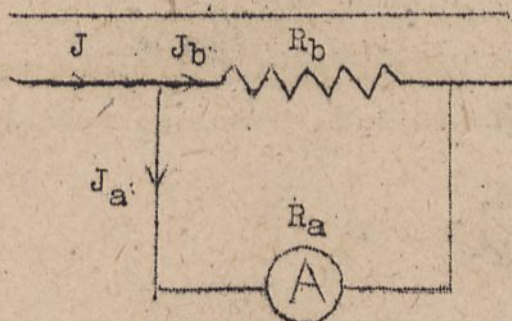
Rys 125.

W polu magnetycznym znajduje się cewka złożona z dwóch tylko zwojów, do których przymocowane jest lustro o powierzchni $0,5 \text{ mm}^2$. Na poruszającym się światłoczułym papierze oscylograf zapisuje częstotliwości dochodzące do kilku tysięcy okresów na sekundę. (Czułość oscylografu jest niezbyt duża: rzędu 1 mA/mm)

5.10 Rozszerzenie skal przyrządów magneto-elektrycznych.

Opisane przyrządy służyć mogły tylko w określonym zakresie, tzn. na przepuszczenie prądu o natężeniu większym od no-

minimalnego, spowodowałyby uszkodzenie przyrządu. Do rozszerzenia skali amperomierza (lub miliamperomierza) służą opory włączane równolegle do przyrządu, t.zw. boczniki.



Rys.126

Jeżeli natężenie prądu w obwodzie wynosi J , a dopuszczalny prąd dla danego amperomierza (powodujący całkowite wychylenie) wynosi J_a , to przez odpowiedni dobór bocznika możemy przez amperomierz skierować prąd nominalny J_a .

Opór bocznika R_b można wyliczyć :

$$J = J_a + J_b \quad (1)$$

$$J_b = J - J_a \quad (1,0)$$

Spadki napięć na amperomierzu i boczniku są to same (połączenie równoległe) :

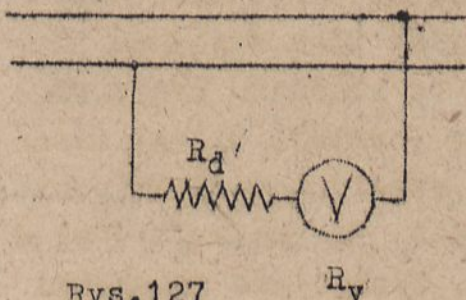
$$J_a \cdot R_a = J_b \cdot R_b \quad (2)$$

$$R_b = \frac{J_a \cdot R_a}{J_b} = \frac{J_a \cdot R_a}{J - J_a} =$$

$$= \frac{R_a}{\frac{J}{J_a} - 1} = \frac{R_a}{n - 1}$$

$$R_b = \frac{R_a}{n - 1} \quad (3)$$

Stosunek $J/J_a = n$ określa rozszerzenie skali amperomierza. Zazwyczaj n przyjmuje się 10, 100 itd. Liczba n



Rys.127

wskazuje nam wartość przez którą należy pomnożyć odczyt, aby otrzymać natężenie mierzonego prądu.

Celem rozszerzenia skali woltomierza używa się oporów dodatkowych (rys. 127.)połączonych z

nim szeregowo. Opór dodatkowy R_d można łatwo obliczyć. Jeżeli mamy zmierzyć napięcie U woltów, zaś napięcie nominalne przyrządu wynosi U_1 , to na oporze dodatkowym musimy spowodować spadek napięcia, wynoszący $U - U_1$. Wartość prądu przed włączeniem oporu dodatkowego przy pełnym wychyleniu wynosiła $J = U_1/R_v$. Prąd ten przepływając przez R_d powoduje spadek napięcia $U - U_1$:

$$U - U_1 = J \cdot R_d = \frac{U_1}{R_v} \cdot R_d \quad (4)$$

stąd

$$\frac{R_d}{R_v} = \frac{U - U_1}{U_1} = \frac{U}{U_1} - 1 \quad (4.0)$$

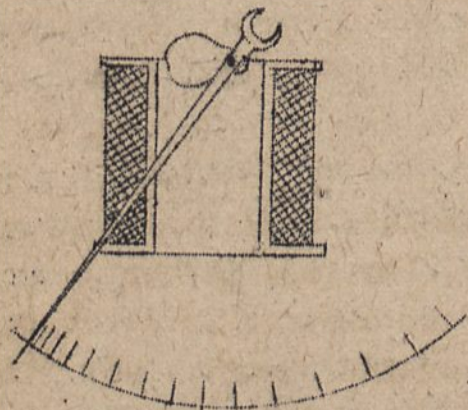
$$R_d = R_v \cdot \left(\frac{U}{U_1} - 1 \right) \quad (4.1)$$

$$R_d = R_v \cdot (n - 1) \quad (4.2)$$

gdzie n oznacza rozszerzenie skali woltomierza.

5.2 Przyrządy elektro-magnetyczne

Powszechniejsze w użyciu są przyrządy elektromagnetyczne. Nadają się one do pomiarów prądu stałego i zmiennego.



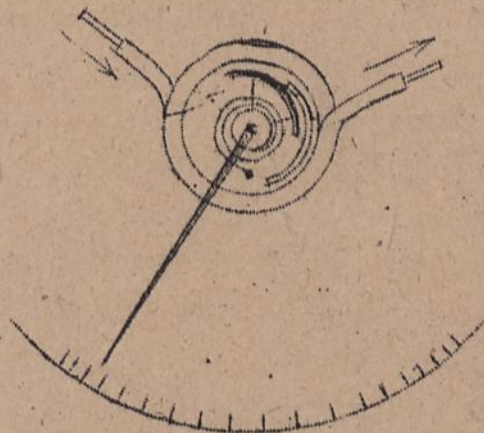
Rys.128

Wewnątrz cewki stałej znajduje się blaszka z miękkiego żelaza, mogąca się poruszać.. Podczas przepływu prądu przez cewkę blaszka zostaje wciągnięta do wnętrza cewki. Przy zmianie kierunku prądu blaszka się przemagnesowuje i jest również wciągana. Blaszka jest więc wciągana niezależnie od kierunku prądu. Błąd pomiarowy powstaje dzięki magne-

tyzmowi szczątkowemu blaszki, ale przez dobór odpowiedniego gatunku żelaza (stale stopowe Ni-Fe "Permalloy") błąd z tego powodu sięga tylko do 0,2%. Wychylenie wskazówki

jest proporcjonalne do J^2 , skala jest więc nierównomierna. Na początku skali działki są małe a dalej się rozszerzają. Przy prądzie zmiennym przyrząd wskazuje wartość skuteczną.

Można zbudować przyrząd na tej samej zasadzie o bardziej równomiernej skali. W okrągłej cewce znajdują się dwie



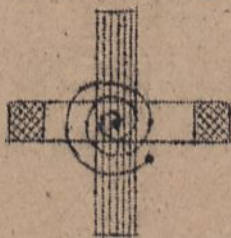
Rys. 129.

blaszki, z których jedna przytwierdzona jest do cewki, druga ruchoma - do osi wskazówki. Prąd płynący przez cewkę magnesuje obie blaszki, które się odpychają jako jednoimiennie namagnesowane. Moment zwrotny daje sprężyna. Przyrządy elektromagnetyczne nadają się do pomiarów prądów większych, są one tańsze od magnetoelektrycznych. Nie nadają się

do pomiarów prądów wysokiej częstotliwości i są naogół czułe na większe zmiany temperatury.

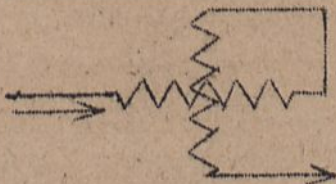
5.3. Przyrządy elektrodynamiczne.

Przyrządy elektrodynamiczne posiadają dwa układy cewek: nie



Rys. 130

ruchomy i ruchomy, połączone ze sobą szeregowo. Przy przepływie prądu obie cewki mają własne strumienie magnetyczne, których kierunek wyznaczyć można z reguły korkociągu. Cewka ruchoma, do której przytwierdzona jest wskazówka stara się obrócić równolegle względem nieruchomej. Ruchowi cewki przeciwdziałają sprężyna. Nastąpi obrót o kąt α , przy którym równoważy się działanie strumieni i sprężyny. Kąt α jest proporcjonalny do iloczynu $\Phi_n \cdot \Phi_r$ gdzie Φ_n oznacza strumień cewki nieruchomej, Φ_r strumień cewki ruchomej.



Rys. 131

Ięc kąt alfa jest także proporcjonalny do J_n i J_r . Jeżeli en prąd płynie przez obie cewki ($J_n = J_r$) to α jest porcjonalny do J^2 . Skala nie jest więc równomierna. Przy dzie zmiennym :

$$\alpha \sim \frac{1}{T} \int_0^T J^2 dt \propto J^2 \quad (\text{wartość sku- teczna.})$$

Przyrządy te stosować można do prądu stałego i zmiennego. Służą one jako amperomierze, woltomierze i watomierze (m.n.). Przyrządy elektrodynamiczne należą do najdokładniejszych (dla prądu zmiennego) ale i najdroższych. Klasa 0,2 0,5. Są to przyrządy wyłącznie laboratoryjne. Do prądu stałego stosuje się je niechętnie, bo są przyrządy (magneto- elektryczne) tej samej klasy, o skali równomiernej, oraz znacznie tańsze. Przyrządy elektrodynamiczne używane są dla prądów zmiennych o częstotliwości technicznej (przy dużych częstotliwościach duża indukcyjność w cewce.

System ten ma jeszcze inne zastosowanie. Możemy przez cewkę nieruchomą przepuścić prąd całkowity, a przez ruchomą prąd proporcjonalny do napięcia: $\alpha \sim \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \cos \varphi$. gdzie φ = kąt przesunięcia między strumieniami Φ_1 i Φ_2 w czasie. Ale $\Phi_1 \propto i_1$ i $\Phi_2 \propto i_2$

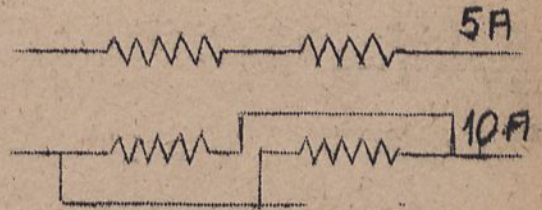
$$\alpha \sim i_n \cdot i_r \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

ale $i_r \propto U$ oraz $i_n \propto J$ (2)

$$\alpha \sim J \cdot U \cdot \cos \varphi = P \quad (3)$$

Cewkę nieruchomą nazywamy prądową a ruchomą napięciową. Wychylenie jest proporcjonalne do mocy rzeczywistej układu. Watomierze najczęściej zbudowane są na zasadzie elektrodynamicznej. Watomierz ma 4 zaciski: 2 grube do doprowadzenia i odprowadzenia prądu oraz 2 do 3 cieńszych do doprowadzenia napięcia (różne zakresy). Zakres przyrządów zmieniamy, zmieniając natężenie lub napięcie. Natężenie zmieniamy łącząc cewki szeregowo lub równolegle. Napięcie-

przez opory dodatkowe.

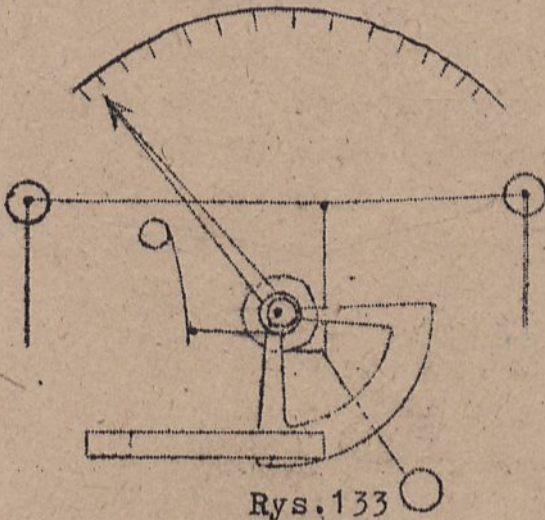


5.4 Przyrządy cieplne.

Rys.132

Przy prądzie zmiennym o większej częstotliwości stosowane są przyrządy oparte na własnościach cieplnych materiałów. Nadają się one także dla prądu stałego. Ilość ciepła w druciku cieplnym nie zależy od kierunku prądu. Przy prądzie zmiennym zjawiska cieplne zależne są tylko od

wartości skutecznej natężenia prądu, a prawie niezależne od częstotliwości. Pomiędzy dwoma zaciskami: doprowadzającym i odprowadzającym prąd, zamocowana jest nitka z trudnotopliwego materiału (platyno-iryd). Podczas przepływu prądu nastąpi po pewnym czasie równowaga między ciepłem doprowadzonym i odprowadzanym, podnosi się temperatura



Rys.133

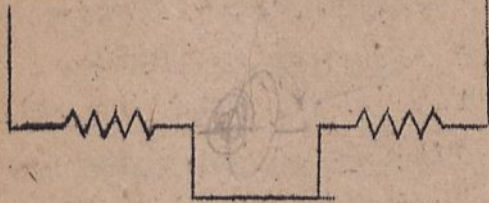
drucika, który wskutek tego wydkuża się, powodując za pomocą odpowiedniego mechanizmu wychylenie się wskazówki. Tłumienie najczęściej elektromagnetyczne: Płytkę aluminiową przymocowaną do wskazówki obraca się (przy obrocie wskazówki) w polu stałego magnesu, wskutek czego powstają w niej prądy wirowe, działające hamująco.

Przyrządy te nadają się do tysięcy okresów na sek, przy wyższych uchyby rosną. Wadą ich jest zależność od temperatury otoczenia i wrażliwość na przeciążenie. Wogóle są obecnie mało stosowane. Mogą być użyte jako amperomierze i woltomierze, częściej jednak jako amperomierze.

5.5. Przyrządy indukcyjne

Przyrządy indukcyjne, zwane czasami przyrządami systemu

Ferrarisa , oparte są na zjawisku takim samym jak i silniki synchroniczne . Dwie pary cewek są tak osadzone , że w przestrzeni którą zamykają powstaje wirujące pole magnetyczne ,



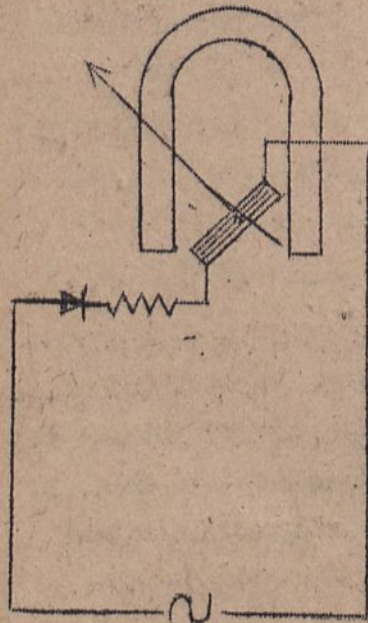
Rys. 134.

wytworzone przez prąd zmienny , przepływający przez cewki. W przestrzeni tej znajduje się bębenek lub tarcza aluminiowa. Powstają w nim (niej) indukcyjne prądy wirowe , wywołujące moment obrotowy , który jest

zrównoważony działaniem sprężyny przymocowanej do bębna.

Moment obrotowy przenoszony jest na skalę za pomocą wskazówki. Jeśli nie ma sprężyny i pozwolimy bębnowi obracać się , to dostaniemy przyrząd wskazujący wykonaną pracę - czyli licznik. Przyrządy te mogą być stosowane jako amperomierze , woltomierze i watomierze. Nie są one bardzo dokładne , wskazania ich w dużym stopniu zależne są od częstotliwości prądu , poza tym są drogie. Buduje się je jako przyrządy na określoną częstotliwość. Nadają się tylko do prądu zmiennego.

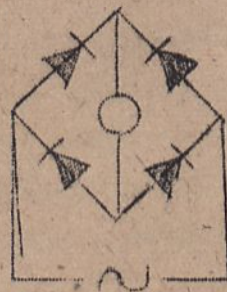
Ostatnio spotyka się często praktyczne przenośne przy-



Rys.135

rzędy , w których wykorzystano dobrotę przyrządów magneto - elektrycznych w zastosowaniu do prądu zmiennego , przez zastosowanie prostowników. Przyrząd magnetoelektryczny połączony jest w szereg z prostownikiem.

Najczęściej stosujemy nie jeden prostownik, lecz prostowniki w systemie mostkowym , aby wykorzystać obie

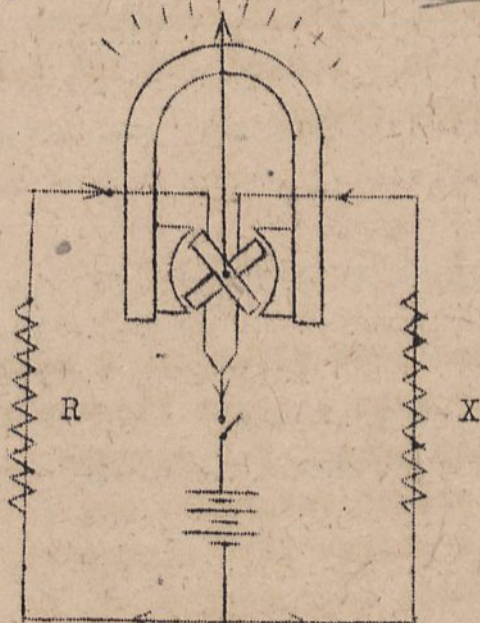


Rys.136

połówki sinusoidy prądu.

5.6. Przyrządy ze skrzyżowanymi cewkami (astatyczne).

Przykład zastosowania : omiomierz . Przyrząd taki różni się



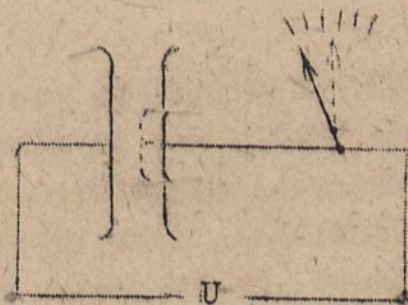
Rys. 137

od magnetoelektrycznego przyrządu tym , że nie ma sprężynek. Posiada w polu stałego magnesu dwie skrzyżowane cewki, których początki połączone są ze sobą , a końce wyprowadzone na zaciski . Prąd doprowadza się przy pomocy cienkich wiotkich wstążek miedzianych , nie mających wpływu na moment obrotowy. Wskazówka w stanie bezprądowym jest w położeniu obojętnym , ustala się gdy prąd jest w obu cewkach. Jeśli prądy

w obu cewkach są równe , wskazówka nie wychyli się ($R = x$), wychylenie nastąpi gdy prądy przepływające przez cewki są różne. Opór włączony w obwód jednej cewki jest stały (R), w obwód drugiej cewki włączony jest opór x . Danemu oporowi x odpowiada określone położenie wskazówki.

5.7. Przyrządy elektro-statyczne (woltomierze)

Służą głównie do pomiarów wysokich napięć (do kilku tysięcy woltów). Bywają również specjalne wykonania do napięć niskich (od około 100 V). Działanie ich oparte jest na prawie Coulomba : przyciąganie się różnoimiennych ładunków. Przyrząd ten posiada dwa układy płytek : układ nieruchomy i ruchomy. Elektroda rucho-

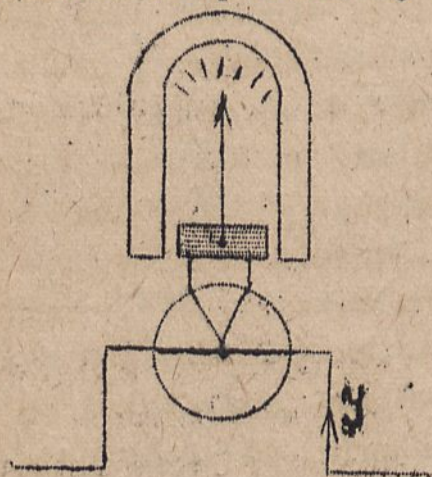


Rys.138

ma połączona jest ze wskazówką. Gdy przyłożymy napięcie, część ruchoma jest przywiązana. Przyrządy te są bardzo mało czułe (zwłaszcza na początku skali (skala kwadratowa!)). Są wrażliwe na wstrząsy, obecność pola. Dokładność ich wynosi około 5%. Dokładniejsze są bardzo drogie.

5.8. Przyrządy z wbudowanym termoożniwem

W banieozce próżniowej umieszczone jest włókienko z materia-



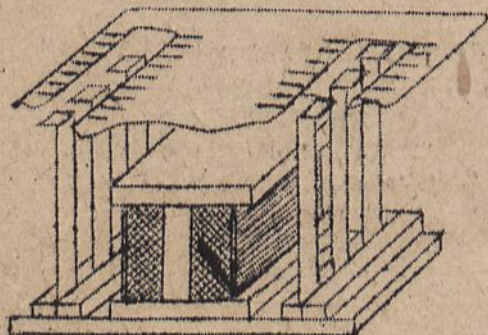
Rys.140

wielkich częstotliwościach do 10^8 Hz. Zakres prądu szeroki przy wzięciu oporników, boczników lub transformatorów pomiarowych.

łu oporowego, przez które płynie mierzony prąd. Pod wpływem ciepła (J^2R) włókno rozgrzewa się. Izolowane od włókna jest termoożniwo, którego końce doprowadzone są do cewki. Powstaje tu siła termoelektryczna (proporcjonalna do J^2R), która jest mierzona przez nasz przyrząd (miliwoltomierz). Stąd przez odpowiednie przeskalowanie otrzymujemy wartości skuteczne prądu. Można w ten sposób mierzyć prądy o

5.9. Częstościomierz

Częstościomierz służy do pomiarów częstotliwości. Na prost-



Rys.141

tej listwie wmontowane są wibratorki - sprężynki płaskie, nastrojone na odpowiednią częstotliwość drgań własnych. Między dwoma rzędami wibratorów znajduje się cewka. Jeżeli przez cewkę płynie prąd zmienny o częstotliwości f , powstaje działanie elektromagne-

tyczne. Wibratorki przyciągane są z taką częstotliwością , jaką posiada prąd . Zachodzi zjawisko rezonansu. Najsilniej zaczyna drgać wibrator o tej samej częstotliwości. Metoda ta jest tylko przybliżona . Do celów technicznych wystarcza.

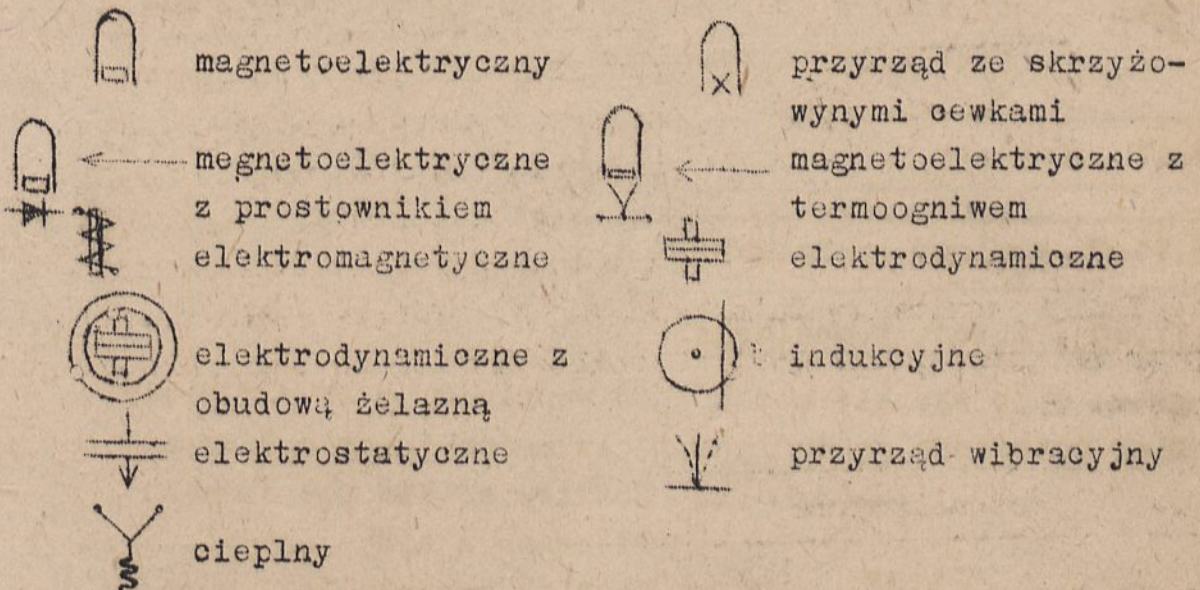
5.10 Symbole i oznaczenia

Na przyrządzie pomiarowym winny być podane :

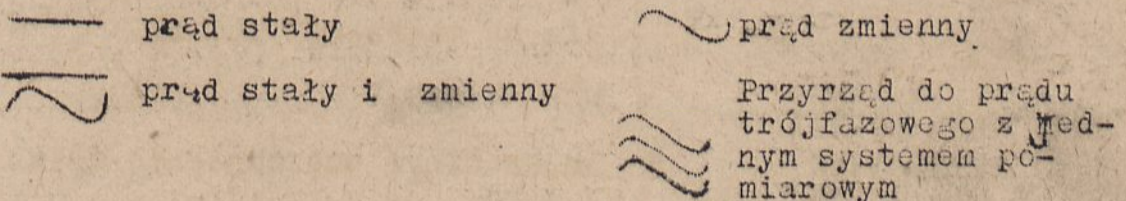
- 1) Jednostki mierzone (V, A, mA itp.)
- 2) Firma
- 3) System mechanizmu pomiarowego
- 4) Rodzaj prądu
- 5) Klasa przyrządu
- 6) Normalne położenie przyrządu
- 7) Napięcie probiercze (między obudową a systemem pomiarowym).

S Y M B O L E

3) System mechanizmu pomiarowego :



4) Rodzaj prądu





Przyrząd do prądu trójfazowego z dwoma systemami pomiarowymi



Przyrząd do prądu trójfazowego z trzema systemami pomiarowymi

5) Klasa przyrządu oznaczana jest wprost cyfrą : np. 0,2 lub 0,5

6) Normalne położenie przyrządu :



położenie leżące



położenie stojące



położenie ukośne



nastawianie na zero

7) Napięcie probiercze



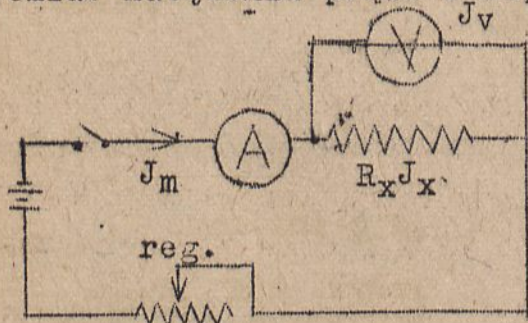
Cyfra wewnątrz gwiazdy oznacza napięcie probiercze w kV . Gwiazda bez cyfry oznacza napięcie probiercze 500 kV.

5.11 Pomiar

5.11.0. Pomiar oporności

5.11.00 . Metoda techniczna

Z prawa Ohma wyrazić można opór wzorem $R = U / J$. Przez pomiar natężenia prądu i napięcia możemy opór wyliczyć.



Rys.142

Możliwe są dwa połączenia. Pierwsze z nich przedstawione jest na rysunku 142. Wolto-
mierz wskazuje spadek napię-
cia na mierzonej oporze

$$U^m = U_x \quad (1)$$

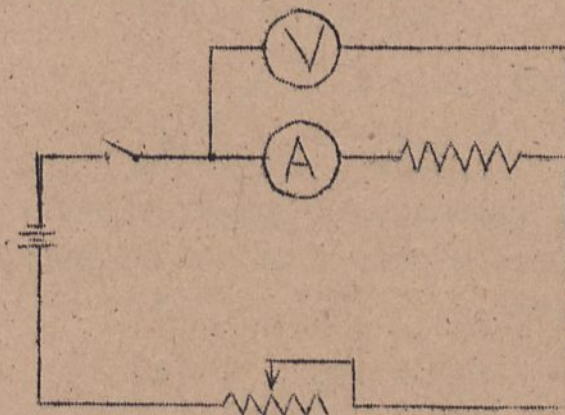
Amperomierz wskazuje nie tylko

prąd J_x , który płynie przez mierzony opór R_x , lecz także prąd J_v , który płynie przez woltomierz :

$$J^m = J_v + J_x \quad (2)$$

$$R^m = \frac{U^m}{J_v + J_x} \quad (3)$$

Jeżeli wielkość mierzonego oporu jest podobna a nawet większa od oporu wewnętrznego woltomierza R_v , to powstały błąd jest bardzo duży. Ten układ połączeń można stosować bez



Rys.143

korekcji wtedy, jeżeli mierzony opór w stosunku do oporu wewnętrznego woltomierza jest bardzo mały: $R_x \ll R_a$

Drugi możliwy układ połączeń pokazany jest na rysunku 143. Prąd mierzony przez amperomierz J^m jest prądem przepływającym przez mierzony opór $J^m = J_x$.

Napięcie mierzone U^m nie jest spadkiem napięcia na mierzonym oporze (U_x), lecz składa się jeszcze ze spadku napięcia na amperomierzu :

$$U_m = U_a + U_x \quad (4)$$

$$R^m = \frac{U_a + U_x}{J^m} \quad (5)$$

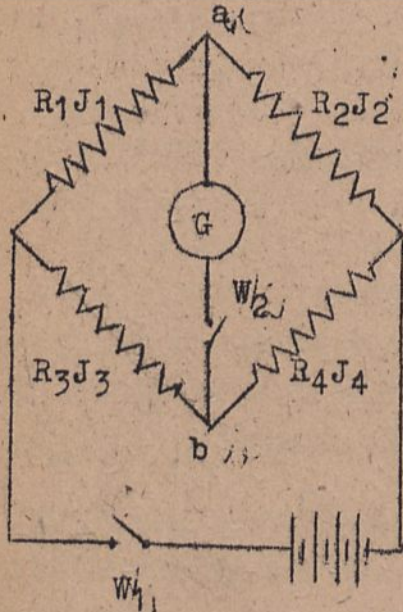
$$U^m = J^m \cdot R_a + J^m \cdot R_x \quad (6)$$

Powstały uchyb jest szczególnie duży, gdy mierzony opór R_x jest podobny lub gdy jest mniejszy od oporu wewnętrznego amperomierza. Układ ten stosować można bez korekcji wtedy, gdy wielkość mierzonego oporu jest bardzo duża w porównaniu z oporem wewnętrznym amperomierza: $R_a \ll R_x$.

Oprócz wyżej wymienionych uchybów metoda techniczna obarczona jest jeszcze uchybami przyrządów, oporami przewodów łączących i styków. Granica dokładności wynosi 0,5-1 %.

5.11.01. Pomiar oporności mostkiem Wheatstone'a.

Cztery opory, z których R_1 jest nieznan, połączone są w czworobok. Między punktami a i b włączono galwanometr. Znanymi oporami reguluje się tak, aby



Rys. 144

przez galwanometr nie płynął prąd. Wtedy potencjały w punktach a i b są te same. Opory R_1 i R_3 połączone są równolegle:

$$R_1 \cdot J_1 = R_3 \cdot J_3 \quad (1)$$

Tak samo opory R_2 i R_4

$$R_2 J_2 = R_4 J_4 \quad (2)$$

Jeżeli galwanometr wykazuje zero, czyli nie płynie przez niego prąd, to wtedy $J_1 = J_2$ (3)

$$\text{oraz } J_3 = J_4 \quad (4)$$

Po podzieleniu równania (1) przez równanie (2) i po uwzględnieniu równań (3) i (4):

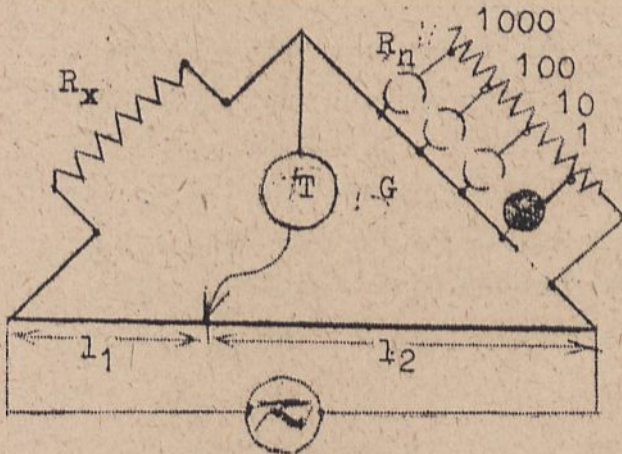
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (5)$$

$$R_1 = R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4} \quad (6)$$

Z wymienionych metod pomiar mostkiem Wheatstone'a jest najdokładniejszy. Odpada tu uchyb przyrządu, ponieważ galwanometr jest w stanie bezprądowym, natomiast uchyb zależy od jego czułości. Przy włączaniu należy uważać, aby najpierw włączyć wyłącznik W_1 , a następnie W_2 , przy wyłączeniu zaś najpierw wyłączyć W_2 a następnie W_1 (ze względu na siłę elektromotoryczną samoindukcji). Metody tej używamy do pomiarów oporności od 1 do 10^6 oma. Błąd może być zredukowany przy bardzo dokładnych opornikach do 0,05%. Pomiar jest najdokładniejszy gdy $R_x \approx R_2 \approx R_3 \approx R_4$, zwykle rzędu setek omów do tysięcy omów.

5.11.02. Pomiar oporności mostkiem Kohlrauscha.

Metoda ta stanowi odmianę metody z mostkiem Wheatstone'a.



Miejsce oporu R_3 i R_4 zajmuje drut kalibrowany, podzielony kontaktem ślizgowym na l_1 i l_2 . Zaletą jego jest łatwość obsługi i możliwość stosowania do prądu stałego i zmiennego. Często na drucie podany jest gotowy stosunek l_1/l_2 . Przy prądzie zmiennym jako przyrządu zerowego zamiast galwanometru używamy telefonu, a

Rys.145

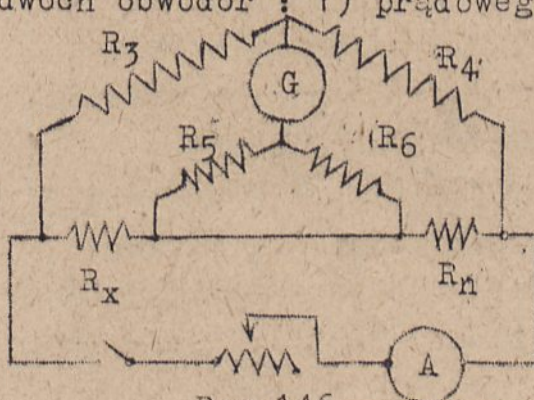
jako źródła prądu - tzw. brzęczyka, dającego prąd o częstotliwości akustycznej (400 - 700 okr/sek). W stanie równowagi :

$$R_x = R_n \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad (1)$$

Metody tej używamy do pomiaru spornności cieczy, gdyż nie możemy stosować prądu stałego ze względu na polaryzację. Stosujemy więc prąd zmienny o dużej częstotliwości. Dokładność nie jest duża, ciszy całkowitej w telefonie nie osiągniemy. Błąd wynosi kilka procent, najmniej 1 %.

5.11.03. Mostek Thomsona

Służy do małych oporów od 10^{-6} do 1 oma. Składa się on z dwóch obwodów : 1) prądowego, zawierającego opór badany i



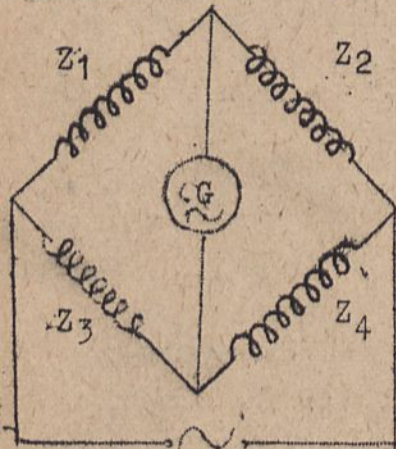
opór wzorcowy (mały), przepływa przez niego duży prąd (w miarę potrzeby wynoszący kilkadziesiąt amperów). W obwodzie ten wykonywa się z grubych przewodów i z 2) dwóch obwodów mostkowych, posiadających w położeniu

Rys.146

węzłowym galwanometr. W obwodach mostkowych płyną małe prądy. Opory dobiera się tak, aby $R_5/R_6 = R_3/R_4$. W układzie tym nie ma wpływu oporów przewodów łączących. W stanie bezprądowym galwanometru :

$$\frac{R_x}{R_n} = \frac{R_3}{R_4} = \frac{R_5}{R_6} \quad (1)$$

Układ mostkowy można rozszerzyć i na oporność pozorną. Zasada jest taka sama jak przy mostku Wheatstone'a. Galwanometr na prąd zmienny. W chwili równowagi :



$$\frac{\hat{Z}_1}{\hat{Z}_2} = \frac{\hat{Z}_3}{\hat{Z}_4} \quad (2)$$

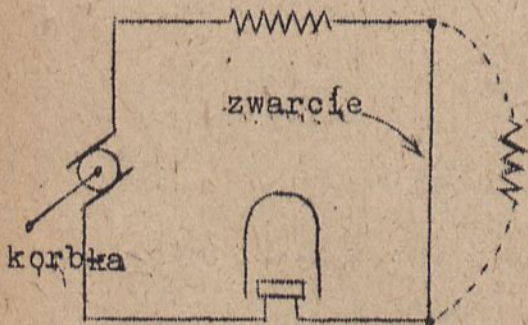
gdzie (3)

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega^2 L^2 - \frac{1}{\omega^2 C^2})}$$

Rys.147

Mostkiem tym możemy mierzyć indukcyjność oraz pojemność. W praktyce opory można mierzyć także przy pomocy omomierza (p. str.111 rys. 137).

W przypadkach , kiedy ~~potrzebna jest~~ potrzebna jest duża dokładność możemy mierzyć opory przy pomocy induktora , zwłaszcza opory bardzo duże . Jedną ze składowych części tego aparatu



Rys.148

jest prądniczka zwana indukto-rem. Prądniczka dwubiegunowa wysyła prąd tętniący. Napięcie induktora jest rzędu 500 do 1000 V . Przy obrocie korbką, jeżeli końce zewrzymy , wskazówka ustali się na 0. Jeśli wstawimy jakiś opór wskazówka wychyli się . Skala jest nie-jednostajna pomiędzy 0 i ∞

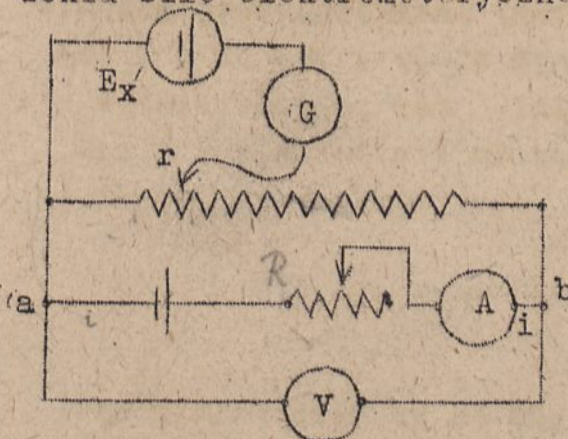
5.11.1 Pomiary napięcia

Do pomiaru napięcia przy prądzie stałym i zmiennym stosujemy przyrządy elektromagnetyczne. Dla prądu stałego stosujemy przyrządy magnetoelektryczne. W obwodzie powinien być duży opór, aby płynący prąd był możliwie mały.

Przy pomiarach, gdzie źródło siły elektro-motorycznej posiada małą moc, posiada duży opór wewnętrzny, lub wykazuje skłonności do polaryzacji istnieją dwie metody:

- 1) przy dużych napięciach (do tysiący lub minimum setek woltów) stosujemy woltomierz elektrostacyjny.
- 2) Przy małych napięciach lub siłach elektro-motorycznych, (np. przy pomiarze stężenia jonów wodorowych) służą metody kompensacyjne.

a) Układ składa się z dwóch obwodów. W obwód pierwszy wchodzi znany opór R (opór wzorcowy o oporności rzędu setek tysięcy omów) i źródło napięcia o znanej w przybliżeniu siły elektromotorycznej. Prąd obwodu pierwszego można dokładnie mierzyć:



Rys.149

$$U_{ab} = R_i R \cdot i \quad (1)$$

Obwód drugi składa się ze źródła badanego i galwanometru.

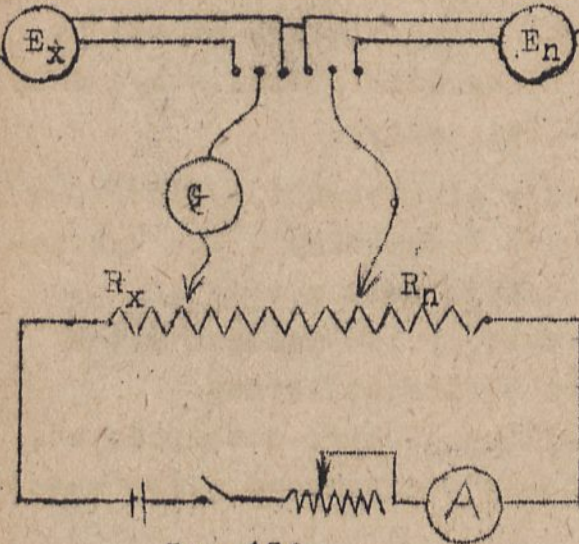
Zmieniając w sposób ciągły R otrzymamy w galwanometrze równowagę. Wtedy:

$$\frac{E_x}{U_{ab}} = \frac{r}{R} \quad (2)$$

Metoda kompensacyjna jest najdokładniejsza. Możliwa dokładność wynosi 0,02 %.

b) Pomiar przy pomocy ogniwa normalnego. Ogniwo normalne Westona kadmowe posiada bardzo stałą siłę elektromotoryczną $E = 1,0183 \text{ V}$. Z ogniwa normalnego nie wolno pobierać prądu, służy ono jedynie jako wzorzec. Obwód pierwszy,

taki sam jak poprzednio. W obwód drugi może być włączone bądź



Rys. 150.

ogniwo normalne, bądź też ogniwo badane. Przy pomocy przełącznika łączymy raz na ogniwo badane, drugi raz na ogniwo normalne, sprowadzając galwanometr do zera. W czasie pomiaru musimy utrzymywać prąd stały. Przy pomocy oporu galwanometr należy sprowadzić do zera: Wtedy:

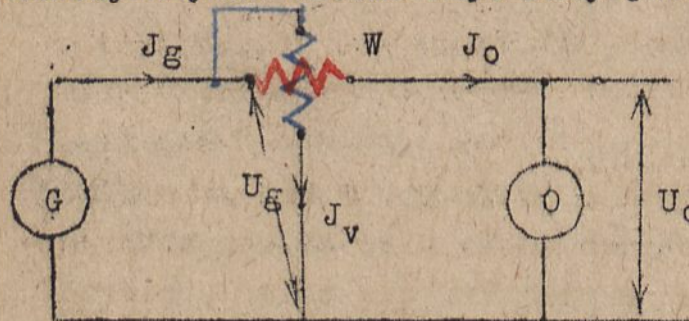
$$\frac{E_x}{E_n} = \frac{R_x}{R} \quad (3)$$

5.11.2. Pomiar mocy

Pomiaru mocy watomierzem dokonywany przy prądzie przemiennym, zaś przy prądzie stałym wtedy, gdy prąd i napięcie ulegają wahaniom. Normalnie przy prądzie stałym moc otrzymuje się przez pomiar prądu (natężenia) i napięcia.

5.11.20. Pomiar mocy w układzie jednofazowym.

Przy prądzie zmiennym, ze względu na współczynnik mocy, musimy używać watomierzy. Przy pomiarach małych mocy, oraz



Rys. 151.

przy dokładnych pomiarach należy uwzględnić moc straconą w watomierzu.

1) Moc odbiornika

Prąd pobierany przez odbiornik wskazany jest

przez watomierz. Pomiar napięcia dokonany jest przed cewką

prądową, więc napięcie mierzone, jest sumą napięcia odbiornika i cewki prądowej.

$$P_{\text{odb}} = J_0 \cdot U_0 \quad (1)$$

$$P_{\text{wat}} = J_0 (U_0 + \Delta U_{\text{cewki prąd.}}) \quad (2)$$

czyli $P_{\text{wat}} = J_0 \cdot U_0 + J_0 \cdot \Delta U_{\text{cewki prąd.}} \quad (2.0)$

$$P_{\text{wat}} = P_{\text{odb}} + J_0 \cdot \Delta U_{\text{cewki prąd.}} \quad (2.1)$$

Dokładna moc pobierana przez odbiornik :

$$P_{\text{odb}} = P_{\text{wat}} - J_0 \cdot \Delta U_{\text{cewki prąd.}} \quad (3)$$

2) Moc generatora.

Przy pomiarze mocy generatora napięcie mierzone jest napięciem generatora, natężenie prądu mierzone jest mniejsze od natężenia generatora o J_v :

$$P_{\text{gen}} = J_g \cdot U_g \quad (4)$$

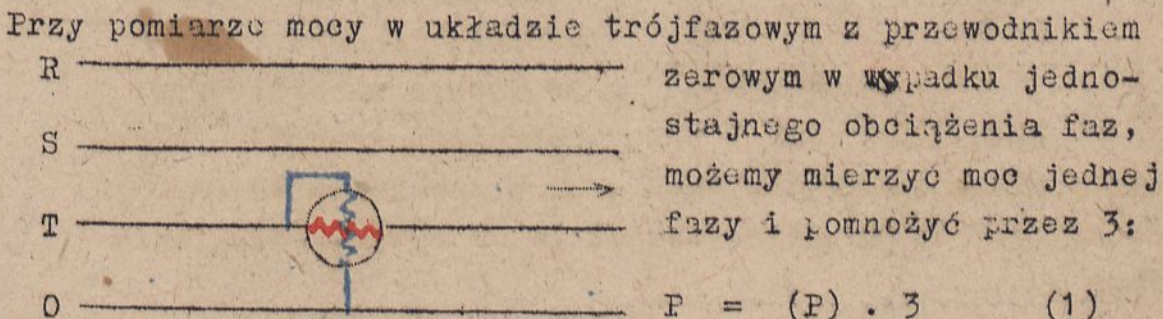
$$P_{\text{wat}} = (J_g - J_v) \cdot U_{\text{gen}} \quad (5)$$

$$P_{\text{wat}} = J_g \cdot U_g - J_v \cdot U_g \quad (5.0)$$

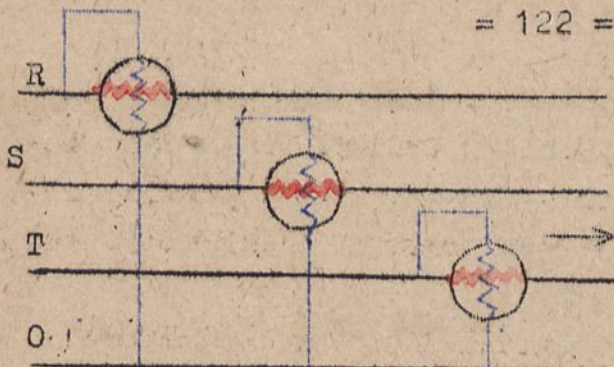
$J_v \cdot U_g$ = strata mocy w cewce napięciowej watomierza.

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{wat}} + J_v \cdot U_g \quad (6)$$

5.11.21 Pomiar mocy w układzie trójfazowym



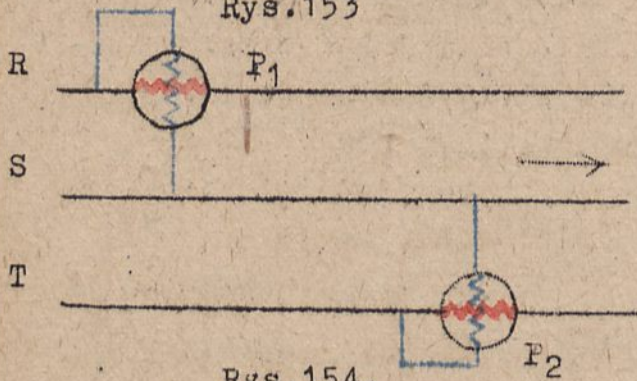
Rys.152



Rys.153

Przy niejednostajnym obciążeniu faz musimy zmierzyć moc trzema watomierzami, włączając je do każdej fazy :

$$P = \sum (P) \quad (2)$$



Rys.154.

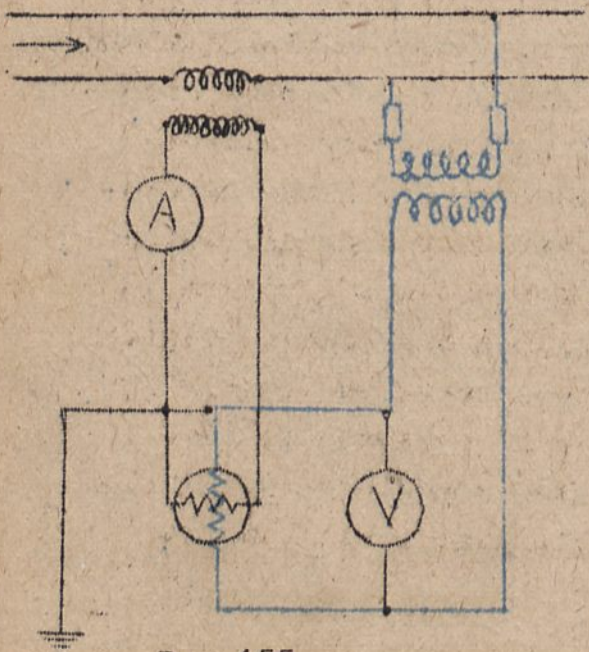
Przy pomiarze mocy prądu trójfazowego bez przewodu zerowego, pomiaru dokonujemy dwoma watomierzami :

$$P = (P_1) + (P_2) \quad (3)$$

Przy pomiarze mocy nie zawsze jest możliwe bezpośrednie włączenie watomierza do sieci.

Przy dużych prądach i wysokich napięciach trzeba zastosować transformator prądowy i napięciowe. W czasie przepływu prądu przez stronę pierwotną transformatora prądowego, nie może być strona wtórna otwarta, gdyż powstałoby niebezpieczne napięcie. Z tego też powodu nie możemy strony wtórnej transformatora prądowego zabezpieczać.

Natomiast transformator



Rys.155.

prądowy można zwierać, gdyż prąd w uzwojeniu wtórnym zależy tylko od wielkości prądu w uzwojeniu pierwotnym :

$$i_2 = \frac{N_1}{N_2} \cdot i_1 \quad (4)$$

Natomiast transformatorek napięciowy należy się zabezpieczyć. Obwody niskiego napięcia - napięciowy i prądowy muszą być połączone ze sobą w jednym punkcie i uziemione (dla bezpieczeństwa).

W prądzie trójfazowym będziemy mieli dwa transformatoriki prądowe i 2 napięciowe. W układzie trójfazowym z przewodem zerowym trzeba zastosować po trzy transformatoriki.

Przykład : Watomierz na 5 A, 150 V skali od 0 do 750 W załączono przez transformatorek prądowy 100/5 A i napięciowy 6000/100 V . Wskazówka wskazuje 40 działek. Moc, mierzona wynosi :

$$P = 450 \cdot \frac{100}{5} \cdot \frac{6000}{100} = 540\ 000\ \text{W} = 540\ \text{kW}$$

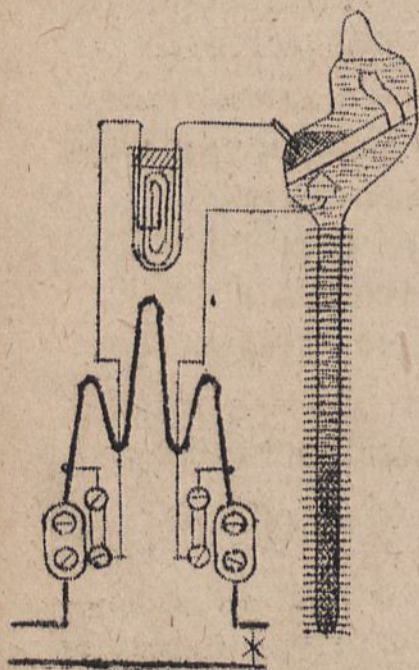
5.11.3 Pomiar energii elektrycznej

Do ustalenia pracy elektrycznej oddanej przez elektrownię oraz pracy elektrycznej zużytej przez odbiorcę służą liczniki. Przy prądzie stałym wystarczy liczyć amperogodziny (ilość elektryczności), przyjmąwszy, że napięcie jest stałe. Pracę otrzymamy mnożąc ilość amperogodzin przez napięcie. Przy prądzie zmiennym nie można ograniczyć się do mierzenia amperogodzin, gdyż występuje przesunięcie faz prądu względem napięcia (jedynie przy odbiorze światłowym można by mierzyć amperogodziny, gdyż $\cos \varphi = 1$). Jednakże wahania napięcia są nieuchronne. Dlatego obecnie w powszechnym użyciu tak dla prądu stałego jak i zmiennego liczniki wycechowane w kilowatogodzinach.

5.11.30 Liczniki elektrolityczne

Liczniki oparte na zasadzie elektrolizy działają jako liczniki amperogodzin. Elektrolitem może być np. roztwór soli rtęci (licznik Stia). Składają się z naczynia wypełnionego roztworem, do którego doprowadzony jest prąd

zbocznikowany (około $1/500$ część prądu głównego).



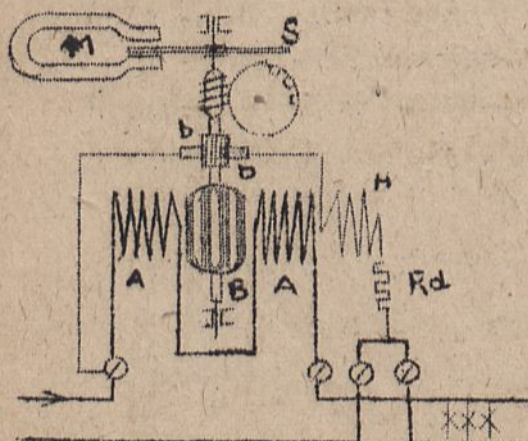
Naczynie przedzielone jest na górną i dolną część porowatą ścianką szklaną. W górnej części znajduje się rtęć, będąca anodą. W dolnej części umieszczona jest katoda zbudowana z węgla. Wydzielająca się wskutek elektrolizy rtęć przechodzi do rurki skalibrowanej. Z wysokości nagromadzonej rtęci otrzymuje się ilość amperogodzin (ilość wydzielonej rtęci jest proporcjonalna do iloczynu natężenia prądu płynącego przez naczynie i czasu). Przy pomnożeniu przez napięcie U otrzymamy liczbę watogodzin.

Przy całkowicie wypełnionej rurce, przez ustawienie pionowej rurki skalibrowanej wrowadza-

my spowrotem rtęć do przestrzeni anodowej.

Rys.156

5.11.31 Liczniki dynamometryczne



Licznik ten składa się z dwóch stałych cewek prądowych A i jednej ruchomej napięciowej B (wirnik), umieszczonej na pionowej osi. Prąd mierzony przepływa przez nieruchome cewki. W obwodzie napięciowym oprócz oporu dodatkowego załączona jest cewka pomocnicza H, służąca do rozruchu licznika. Na osi wirnika

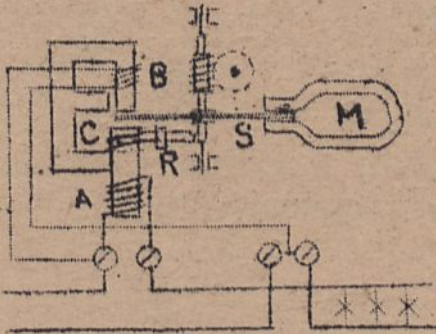
Rys.157.

umieszczona jest tarcza aluminiowa S. Biegnie ona między biegunami magnesu stałego i wskutek indukowanych w niej prądów wirowych działa jako hamulec. Przez ten hamulec osiąga się proporcjonalność szybkości obrotów do mocy. Prąd stanowiący 0,3 do 1 % mierzonego wystarczy do wprowadzenia w ruch wirnika. Oś wirnika napędza przy pomocy ślimaka liczydło wycechowane w kWh.

5.11.32. Liczniki indukcyjne.

Przy licznikach indukcyjnych częścią napędzającą jest płytka aluminiowa przebiegająca między dwoma stałymi cewkami: Prądową A i napięciową B.

Wskutek przepływających prądów powstają dwa strumienie: prądowy i napięciowy, przesunięte o pewien kąt φ , dające wypadkowy strumień Φ (rys.159). Strumień ten indukuje w płytce prądy wirowe, powstaje moment obrotowy i płytka zaczyna się obracać. Rolę hamującą spełnia magnes stały, obejmujący płytkę z drugiej



Rys.158.

strony. Przy obrocie płytki powstają prądy wirowe, hamujące ruch. Wytwarza się równowaga zależna od położenia magnesu i można tak przyrząd wycechować, aby zachodziła proporcjonalność:



$$n \sim U \cdot J \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

Ilość obrotów po pewnym czasie:

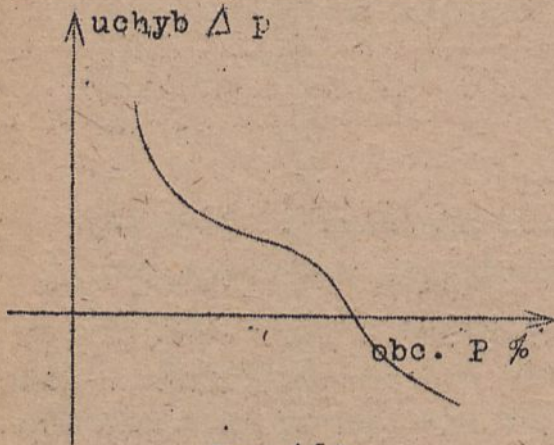
$$N = k \cdot U \cdot J \cdot \cos \varphi \cdot t = k \cdot P \cdot t = k \cdot A \quad (2)$$

Rys.159.

da nam pracę elektryczną A pomnożone przez stałą licznika k.

Liczniki indukcyjne mają tę przewagę nad dynamometrycznymi, że ^{do systemu} do systemu ruchomego nie doprowadza się prądu. Przy prądzie trójfazowym są one łączone na zasadzie 2 watomierzy, liczydło mają wspólne.

Licznik nie może być przyrządem bardzo dokładnym, gdyż musi być tani. Uchyb licznika zależny jest od obciążenia, przy



Rys.160

mniejszych obciążeniach może wynosić nawet 5%. Jeżeli magnes się rozmagnesuje tarcza obraca się szybciej, licznik działa więc na niekorzyść odbiorcy. Z drugiej znów strony przez zanieczyszczenia lub starcie łożysk licznik wskazuje za mało. Po 10 latach licznik winien być sprawdzony. Normalnie buduje się

na $\cos \varphi = 0,9$. Przy $\cos \varphi = 0,8$ błędy są już większe.

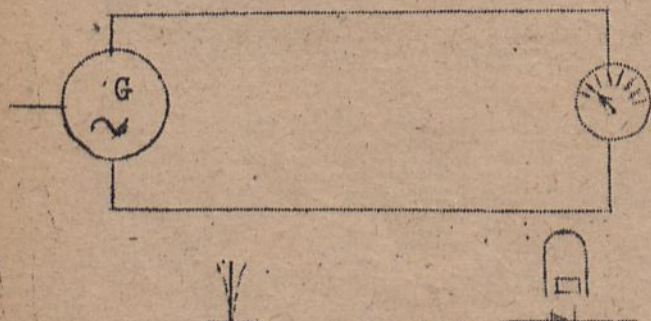
Dokładność licznika indukcyjnego zależy także od temperatury. W dobrych licznikach wpływ temperatury bywa kompensowany przez dodanie boczników z pewnych stopów w obwodach magnetycznych.

5.11.4 Pomiary zdalne

Przy pomocy poznanych przyrządów elektrycznych możemy wykonywać pomiary różnych wielkości na odległość (w centrali).

5.11.40 Pomiar liczby obrotów

Na wale, którego liczbę obrotów mamy zmierzyć, umieszczamy

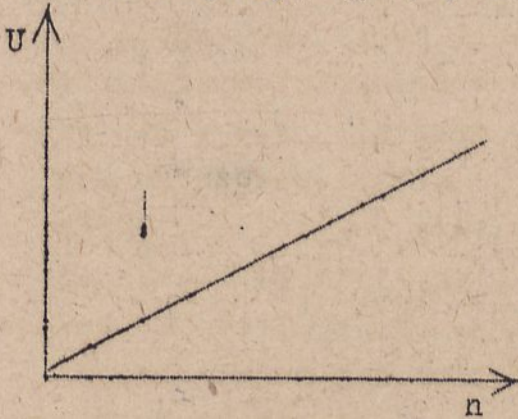


Rys.161

prądniczkę prądu zmiennego. Częstotliwość oraz napięcie wytwarzanego prądu są proporcjonalne do ilości obrotów.

Przyrząd do pomiaru ilości obrotów składa się więc z prądniczki i urzą-

dzenia wskazującego, połączonych ze sobą dość długimi przewodami. Przyrządem wskazującym może być woltomierz z wbudowanym prostownikiem, albo częstotściomierz, odpowiednio wycechowane.

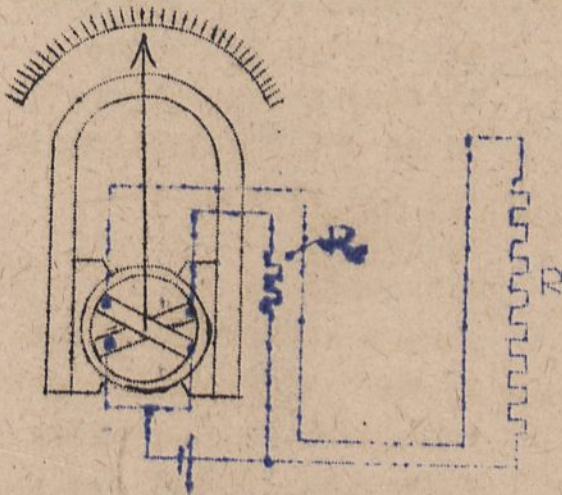


Rys.162

5.11.41. Pomiary temperatur

5.11.41.0. Termometr oporowy

Do pomiaru temperatur tą metodą stosowane są przyrządy ze skrzyżowanymi cewkami, obracającymi się w jednorodnym polu magnetycznym. Urządzenie



Rys.163

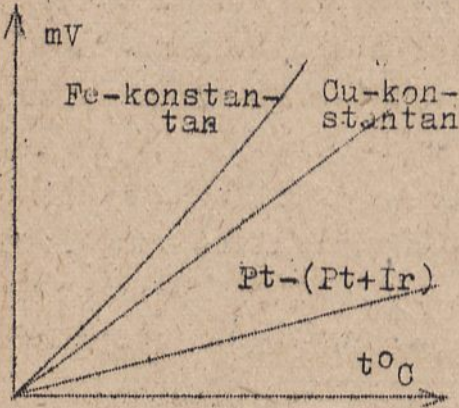
składa się z oporu niezależnego od temperatury R_n (konstantan lub manganin), oporu zależnego od temperatury R (do temperatury 150° nikiel, do 550° czysta platyna), przyrządu wskazującego i źródła prądu stałego. Prąd przepływający przez opór R_n nie zmienia się,

przepływając zaś przez opór R zależny jest od temperatury (przy wyższej temperaturze większa oporność). W zależności od przepływającego prądu wskazówka wychyli się, wskazując na odpowiednio sporządzonej skali stan cieplny. Granice mierzonych temperatur od -200 do 400°C . Rachunkowo można wyliczyć temperaturę z wzoru :

$$R_t = R_n \left[1 + \alpha (t - 20) \right] \quad (1)$$

5.11.41.1 Termoogniwo

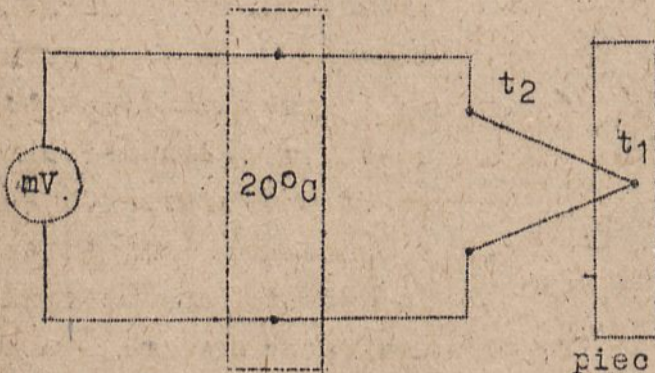
Przy umieszczeniu styków



Rys.164

dwóch metali, tworzących obwód zamknięty w różnych temperaturach, popłynie przez nie prąd. Dla rozmaitych par metali zależność SEM od temperatury jest różna. Dobór metali zależny jest od mierzonej temperatury. Przekrój ich ze względu na SEM jest bez znaczenia, jeżeli prąd nie jest pobierany. Diagram 164 podaje nam zależność SEM od temperatury dla najważniejszych

termopar: 1) żelazo-konstantan, 2) miedź-konstantan i 3) platyna - stop platyny z irydem. Termoogniwo w praktycznym



Rys.165

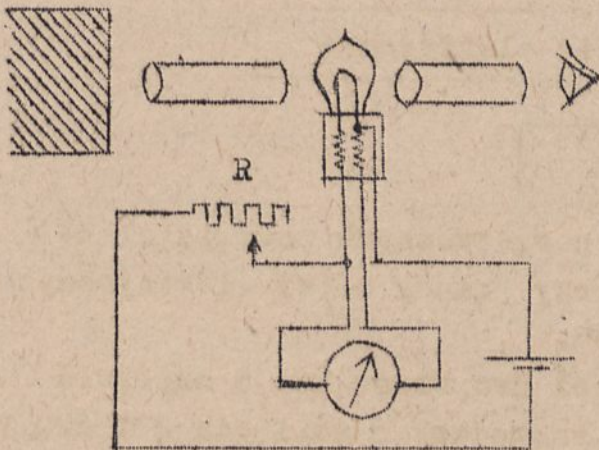
użyciu ma osłonę, mierzyć można temperaturę do 800°C, termoogniwem zaś Pt-stop Pt+Ir do 1500°C.

W technice łączy się termoparę z miliwoltmiernikiem, a przy bardzo dokładnych pomiarach (np. pomiary kontrolne) łączy się z

przyrządami kompensacyjnymi.

Przy pomiarze SEM jest proporcjonalna do różnicy temperatur ($t_2 - t_1$) w miejscach styków, trzeba więc temperaturę niższą znać. Temperaturę niższą utrzymuje się przy 20°C. W tym celu jeżeli w t_1 nie możemy utrzymać 20°C, to końce termopary jedynym sposobem jest wprowadzenie kompensacyjnego powietrza do osłony, które spowoduje, że w miejscu t_1 będzie 20°C. Z pomocą tego sposobu można zmierzać temperatury w gazach i płynach przy temperaturach 20°C.

Do pomiaru temperatury żarzących się ciał (metali, szkła) stosujemy przyrządy optyczne. Mierzyć nimi można tempera-



Rys.166

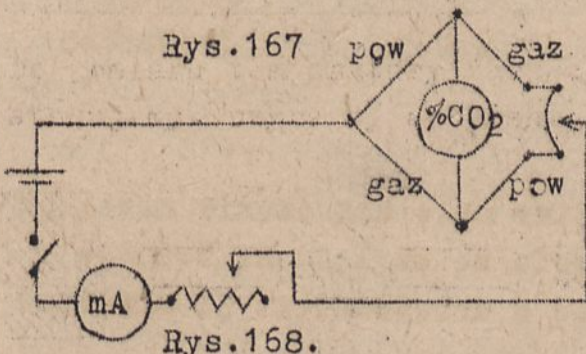
tury od 700 - 3500^oC. Pomiaru dokonujemy przez prównanie jasności badanej masy z jasnością włókna żarowego. Odpowiednią jasność włókna żarowego osiągnąć można za pomocą regulacji prądu żarzenia oporem R. Napięcie na lampie jest miarą temperatury. Woltomierz musi być odpowiednio wycechowany w stopniach C.



Rys.167

5.11.5 Analizator

Różnica w przewodności cieplnej różnych gazów i powietrza wykorzystywana jest w przyrządach do badania zawartości gazów, np. gazów spaliny-
W bloku metalowym (rys. 167) w kanałach umieszczone są 4 przewody jednakowo nagrzewane prądem. Dwa z nich opływa czyste powietrze, pozostałe dwa opływają gazy spalinywe. Te 4 przewody po-



Rys.168.

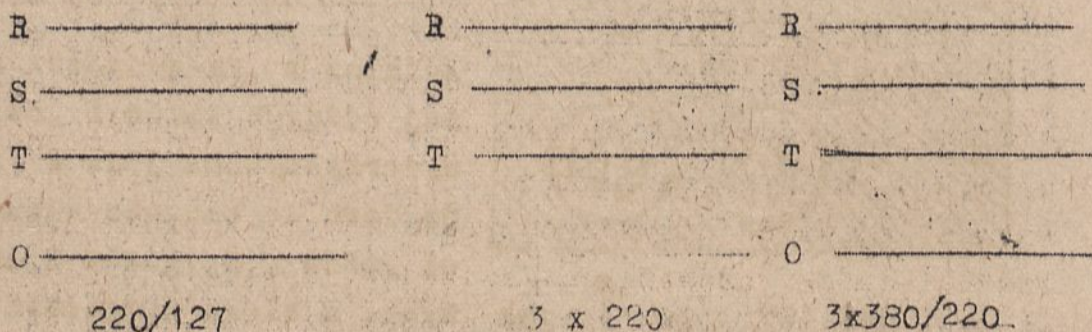
łączone są w mostek Wheatstone'a. Z powodu gorszej przewodności cieplnej CO₂, zawartego w gazach spalinywych, temperatura przewodów opływanych przez gazy spalinywe jest większa niż dwóch pozostałych przewodów, a więc opór ich jest większy. Zmiana oporności przewodów uzależniona jest od ilości CO₂ w gazach spalinywych i podawana jest przez przyrząd w procentach. Na podobnej zasadzie mogą być budowane wskaźniki zawartości procentowej również innych gazów. Wymagają one oczywiście wycechowania przy pomocy znanych składów.

6. Urządzenia elektryczne

6.0. Wstęp.

Do celów oświetleniowych i energetycznych energia elektryczna rozprowadzana jest przy pomocy sieci elektrycznych o napięciach znormalizowanych.

- a) przy prądzie stałym - sieci dwuprzewodowe o napięciu 110 i 220 V oraz sieci trójprzewodowe o napięciu 2 x 220 V (napięcie między skrajnymi przewodami 440 V).
- b) przy prądzie zmiennym 127, 220, 380 V (rys. 169.)



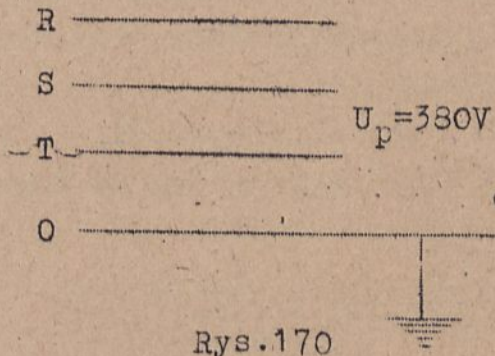
Rys. 169

Urządzenia elektryczne dzielimy na : urządzenia niskiego i urządzenia wysokiego napięcia ze względu na bezpieczeństwo osób stykających się z urządzeniem. Do urządzeń niskiego napięcia należą :

- a) urządzenia dwu- i wieloprzewodowe, przy których napięcie skuteczne między dwoma dowolnymi przewodami nie przekraczają 250 V.
- b) urządzenia wieloprzewodowe, jeśli napięcie skuteczne między dwoma skrajnymi przewodami nie przekracza 250 V, lecz napięcie między uziemionym przewodem zerowym a dowolnym skrajnym nie przekracza 250 V (rys. 170.)

Do urządzeń wysokiego napięcia należą :

a) urządzenia dwuprzewodowe , w których napięcie skuteczne pomiędzy przewodami przekracza 250 V



Rys.170

b) urządzenia wieloprzewodowe, w których napięcie pomiędzy przewodami skrajnymi wynosi więcej niż 250 V a przewód zerowy nie jest uziemiony.

c) urządzenia wieloprzewodowe, w których napięcie skuteczne między przewodem zerowym a dowolnym skrajnym przekracza 250 V , chociażby przewód zerowy był uziemiony.

Podział ten jest oczywiście umowny. Każdy sprzęt wykonany na napięcie niskie może być stosowany na napięcie do 1000V, biorąc pod uwagę izolację i wytrzymałość sprzętu. Pod względem izolacji napięcie wysokie zaczyna się od 1000 V.

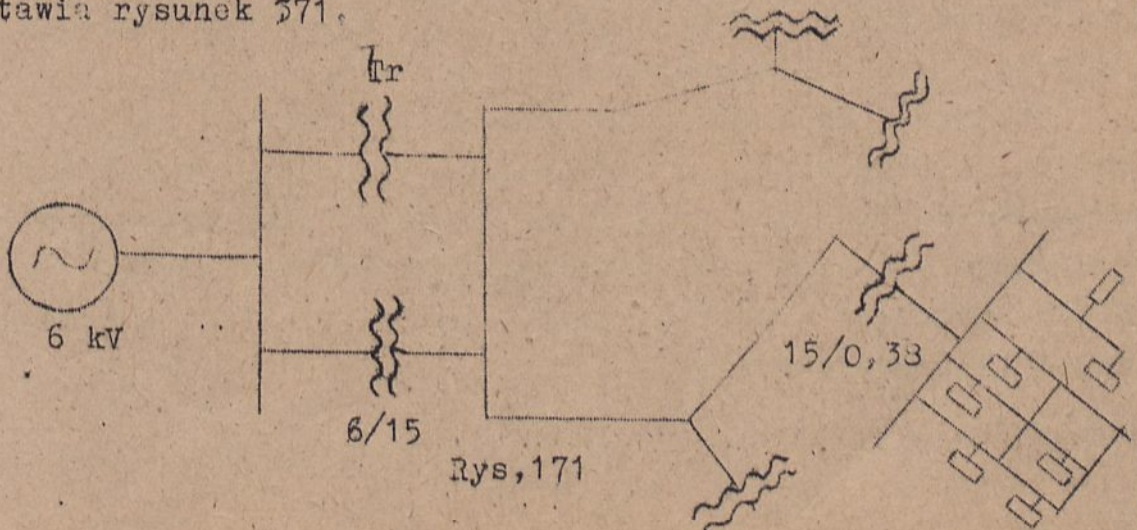
Napięcie niskie jest napięciem użytkowym. Do celów przesyłowych, celem zmniejszenia przekrojów przewodów stosuje się napięcie wysokie. Napięcia wysokie , wyrażone w kilowoltach wynoszą :

6, 15, 30, 60, 110, 220 kV

dawniej stosowano jeszcze :

3, 10, 20, 35, 40, 150 kV

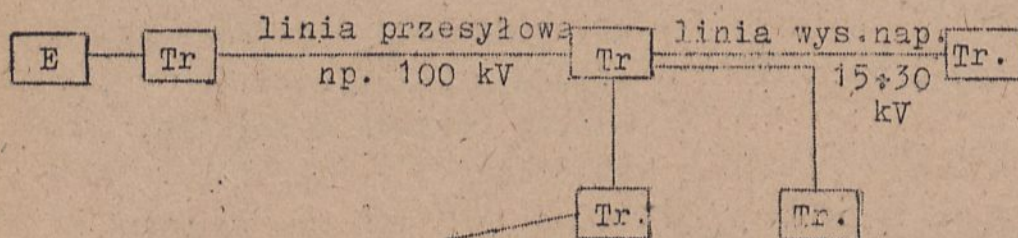
Schemat urządzenia energetycznego (sieć miejska) przedstawia rysunek 371.



Rys.171

~~Prądnicą zamienia energię mechaniczną na elektryczną~~, wytwarzając prąd o napięciu normalnym 6 kV, który zostaje przetransformowany na prąd o napięciu 15 kV i rozsyłany przewodami, na końcu których znajdują się transformatory obniżające napięcie 15 kV na napięcie użytkowe 380 V.

Jeżeli ośrodki elektryczne są bardzo odległe od ośrodków odbiorczych, to stosujemy linie przesyłowe na bardzo wysokie napięcie (większe od 60 kV). Rysunek 172.



do sieci miejscowych
Rys. 172

Nie przetwarzamy bezpośrednio 100 kV na napięcie użytkowe, ze względu na koszt i wielkość transformatora. Ze wzrostem napięcia wielkość i koszt transformatora i urządzeń rozdzielczych rośnie nieproporcjonalnie. Wysokość napięcia linii przesyłowej zależy od odległości i mocy przesyłowej. Im większa moc i odległość tym większe napięcie. Linie przesyłowe wysokiego i bardzo wysokiego napięcia budowane są przeważnie jako napowietrzne ze względu na koszty. Korzystniejszy ze względu na bezpieczeństwo i pewność ruchu jest kabel. Koszt kabla jednak jest znacznie większy od kosztu linii napowietrznej. Przy wejściu linii wysokiego napięcia do miasta, niejednokrotnie trzeba przejść na kabel.

Obecnie, ze względu na cenę miedzi stosuje się aluminium i jego stopy, o dostatecznie dużej wytrzymałości mechanicznej. Przewody prowadzone są na słupach żelaznych lub drewnianych i izolatorach porcelanowych lub szklanych. Szklane konkurują z porcelanowymi niskimi kosztami wyrobu i surowców (krajowych).

6.1 Instalacje w budynkach

System prowadzenia przewodów w pomieszczeniach zależy od przeznaczenia pomieszczenia i jego bezpieczeństwa. W pomieszczeniach mieszkalnych i biurowych suchych z podłogą drewnianą stosujemy przewody mniej zabezpieczone. W pomieszczeniach warsztatowych, fabrycznych, wilgotnych, z wyziejami stosujemy przewody zabezpieczone.

System prowadzenia przewodów :

- 1) na gałkach (rolkach) - obecnie stosowane tylko wyjątkowo. (prowizoria i t.p.).
- 2) na tynku
- 3) pod tynkiem

Instalację na tynku stosuje się w pomieszczeniach bardzo wilgotnych, w fabrykach, laboratoriach i tam gdzie zachodzi potrzeba wykonywania częstych zmian w instalacjach. Oprócz powyższego instalację na tynku prowadzi się w domach starych, gdzie kucie bruzd byłoby niepożądane.

Przewody układa się w rurkach, które mogą być założone na tynku lub pod tynkiem. Instalację w rurkach pod tynkiem prowadzi się w pomieszczeniach suchych. Rurki izolacyjne wykonuje się z tektury smołowanej, pokrytej z zewnątrz blachą cynkową, żelazną lub ołowianą. Rurki umieszcza się pochyło, aby przypadkowo skroplona woda mogła spływać (np. przy malowaniu ścian.). Gdy wilgoć jest stale w pomieszczeniu stosuje się instalacje hermetycznie zamknięte w rurce stalowo pancerniej, łączonej na gwint.

6.2 Przewody

Przewody dzielimy na gołe, w odzieży odpornej na wpływy atmosferyczne i chemiczne i izolowane. Normalne przekroje żył są :

1 ; 1,5 ; 2,5 ; 4 ; 6 ; 10 ; 16 ; 25 ; 35 ; 50 ;
70 ; 95 ; 120 ; 150 ; 185 ; 240 ; 300 ; 400 ;
500 ; 625 ; 800 ; 1000 mm²

oraz dla przewodów ruchomych , giętkich snurów (do lamp i t.p.) :

0,5 i 0,75 mm²

Przewody gołe stosuje się przede wszystkim do budowy linii napowietrznych z miedzi twardej lub półtwardej oraz z aluminium o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej. Stosowane przekroje żył: od 6 - 300 mm² .

Przewody odporne na wpływy atmosferyczne i chemiczne otoczone są warstwą papieru i opłotem włóknistym nasyconym materiałem odpornym na wpływy atmosferyczne i chemiczne (najlepiej minią ołowianą na pokoście). Przewody izolowane posiadają jako izolację gumę. Podzielić je można na :

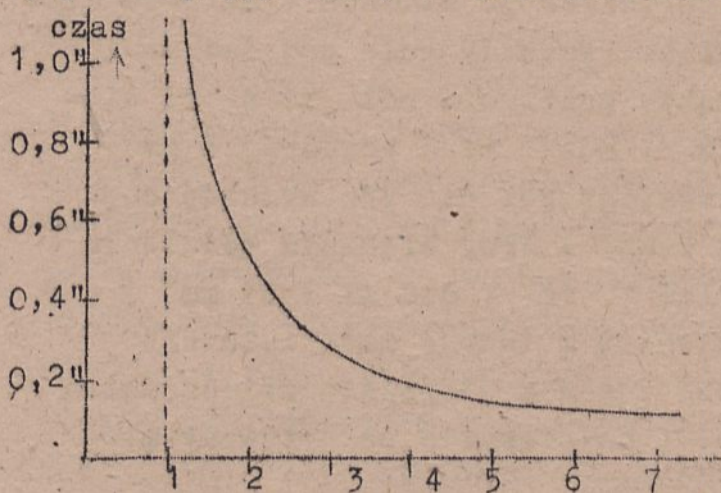
- 1) przewody przeznaczone do zakładania na stałe
- 2) przewody do odbiorników ruchomych i przenośnych

Do pierwszego typu należą : przewód ogumowany DG (drut-guma) , LG (linka-guma) , przewód ogumowany odporny na wpływy atmosferyczne i chemiczne DGA i LGA , przewód ogumowany na wysokie napięcie DGW i LGW , przewód pancerny DGu i LGu , przewód płaszczowy P - stosowany do układania na tynku (pod tynkiem nie układa się ze względu na łatwe uszkodzenie) , przewód w gołej powłoce ołowianej KGo - okrągły i KGp - płaski , przewód kabelkowy w płaszczu metalowym Pa - odporny na działanie chemiczne i atmosferyczne, przewód kabelkowy w wołowiu. Do drugiego typu należą : przewód świecznikowy DS , sznur zwieszakowy ŚŚ , sznur warsztatowy lekki SWL

6.3 Zabezpieczenie przewodów

Dla ochrony przewodów stosuje się bezpieczniki. Jest to danie słabego miejsca , które w razie przetężenia przepali się w odpowiedniej chwili. Bezpiecznik składa się z oprawki , główki i stopki . Do główki wstawia się właściwy element wymienny (stopkę) , w którym jest drucik kalibrowany , topiący się przy określonym natężeniu. Przepalenie się bezpiecznika zależy od czasu. Dla prądu nominalnego przepalenie nastąpi w czasie nieskończenie długim. Pięcio-

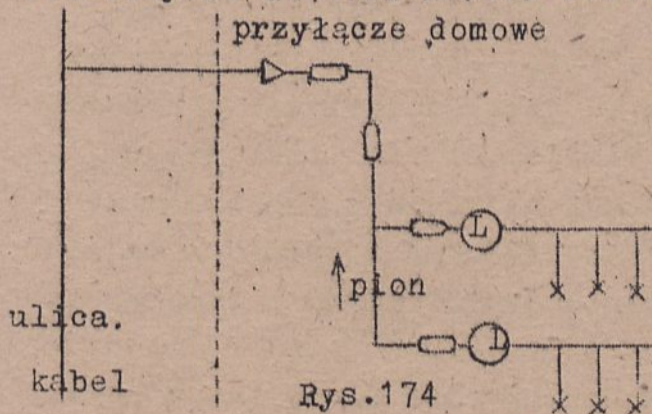
Pięciokrotny prąd nominalny powinien go przepalić natychmiast (poniżej 0,5 sek). Przewód zabezpiecza się zawsze na



Rys.173.

początku, licząc od źródła prądu, przy każdym odgałęzieniu. Oraz przy każdym zmniejszeniu przekroju (rys.174). Jeżeli odgałęzienie nie przekracza 1 m, zabezpieczenia nie dajemy. Na jeden punkt bezpiecznikowy można dać maksimum 12 odbiorników

światlnych. Idąc od źródła światła bezpieczniki muszą być przyłączy domowe



Rys.174

coraz mniejsze (o dwa stopnie). Stopniowanie bezpieczników musi być przestrzegane, aby lokalizacja zwarcia następowała w przewodach we właściwym miejscu.

6.4 Obliczanie przewodów

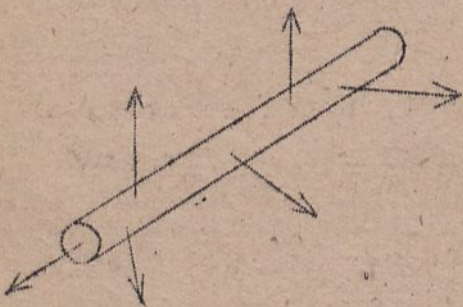
Przewody obliczamy 6

- 1) ze względu na wytrzymałość mechaniczną
- 2) ze względu na grzanie
- 3) ze względu na dopuszczalny spadek napięcia.

Przekroju przewodów w budynkach ze względu na wytrzymałość mechaniczną nie obliczamy - przepisy podają najmniejsze dopuszczalne przekroje dla poszczególnych żył. Dla odbiorników ruchomych (lampy ręczne, stołowe i t.p.) najmniejszy przekrój żyły może wynosić $0,75 \text{ mm}^2$ (dwie żyły: $2 \times 0,75 \text{ mm}^2$). Jako materiał dopuszcza się tylko miedź. Ze względu na brak miedzi ostatnio wymagania obniżono do $0,5 \text{ mm}^2$.

Przewody te muszą być giętkie, każda żyła skręcona jest z drucików o średnicy 0,15 lub 0,2 mm. Przewody zakładane na stałe w rurkach muszą mieć przekroje minimum 1 mm² dla miedzi i 2,5 mm² dla aluminium. Przewody gołe pod dachem lub gołym niebem; jeżeli punkty podparcia odległe są od siebie nie więcej niż o 20 m, muszą mieć przekrój 4 mm². Przewody napowietrzne o rozpiętości nie przekraczającej 35 m muszą mieć przekrój 6 mm². Przy większym oddaleniu słupów przekroje muszą mieć 10 mm² (dla Al: 25 mm²). W razie zastosowania przewodów z innego materiału niż miedź, muszą one wykazywać ten sam stopień bezpieczeństwa w stosunku do wytrzymałości na zerwanie co przewody miedziane.

Dopuszczalne obciążenie przewodu ~~prędą~~ zależy od przekroju przewodu, od warunków chłodzenia oraz od dopuszczalnego przyrostu temperatury. Dopuszczalny przyrost temperatury jest uzależniony od rodzaju izolacji przewodu i dla przewodów gołych jest większy niż dla izolowanych. Dla przewodów w izolacji gumowej największa dopuszczalna temperatura wynosi 55°C (starzenie gumy w czasie 2 tygodni przy 70°C odpowiada starzeniu dwuletniemu w temperaturze otoczenia



Rys.175

Przy przepływie prądu przez przewód w czasie 1 sekundy wydziela się ciepło w ilości:

$$Q_j = 0,24 \cdot J^2 R = 0,24 \cdot J^2 \cdot \rho \frac{l}{s} \quad (1)$$

Wydzielone ciepło na jednostkę długości wynosi:

$$q_j = 0,24 \cdot J^2 \cdot \frac{\rho}{s} = k \cdot \frac{\rho}{s} \quad (2.0)$$

Przy przyjęciu ρ stałej ilość wydzielonego ciepła w czasie 1 sekundy wynosi:

$$q_j = k' \cdot \frac{1}{s} \quad (1.1)$$

Dla przewodu o przekroju okrągłym $s = \pi \cdot d^2 / 4$:

$$q_j = k'' \cdot \frac{1}{d^2} \quad (1.2)$$

Wydzielane ciepło jest więc przy tym samym natężeniu prądu odwrotnie proporcjonalne do kwadratu średnicy. Ciepło to odprowadzane jest do otoczenia przez promieniowanie, przewodzenie i unoszenie (konwekcja).

W promieniowaniu bierze udział powierzchnia zewnętrzna przewodu. Ilość energii wypromieniowanej jest proporcjonalna do czwartej potęgi temperatury - przy niskich temperaturach ilość ta jest więc bardzo mała. Dalsza ilość ciepła jest przewodzona przez ośrodek otaczający (powietrze, olej, izolację i t.p.). Największa część ciepła jest unoszona tą drogą. We wszystkich tych wypadkach ilość ciepła oddanego jest proporcjonalna do powierzchni zewnętrznej:

$$S = l \cdot p \quad (2)$$

gdzie l = długość przewodu, p = obwód przekroju przewodu, S = powierzchnia zewnętrzna przewodu. Dla przekroju kołowego:

$$S = l \cdot \pi \cdot d \quad (2.0)$$

Ciepło oddane jest także proporcjonalne do różnicy temperatur przewodu i otoczenia:

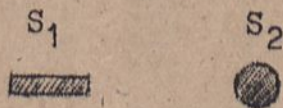
$$Q_{od} = S (t - t_0) \cdot k \quad (3)$$

gdzie t = temperatura przewodu, t_0 = temperatura otoczenia, k = współczynnik charakterystyczny dla powierzchni danego materiału.

Wstawiając równanie (2.0) do równania (3) przy założeniu długości jednostkowej otrzymamy:

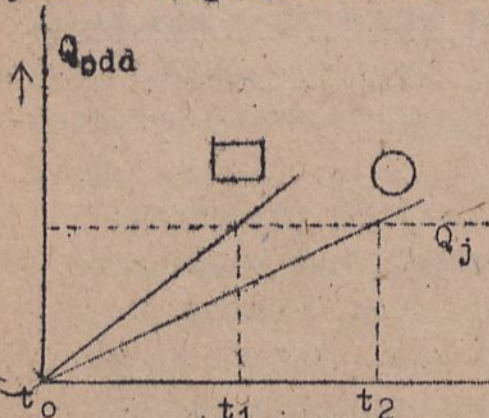
$$Q_{od} = k \cdot \pi \cdot d \cdot \Delta T \quad (4)$$

Jeżeli mamy dwa przekroje: okrągły i płaski o tym samym wymiarze, to płaski ma większą powierzchnię zewnętrzną: $S_2 > S_1$. Czyli ciepło oddane w drugim wypadku jest większe - przewód płaski chłodzi się więc szybciej.



Rys.176

~~Wymiana ciepła zachodzi~~ tak długo, aż ciepło oddane się z wydzielnym :



Rys. 177

$$Q_{od} = Q_j$$

Porównując równanie (1.2) z (4) otrzymamy :

$$k''' \cdot \Delta T \cdot d = k'' \cdot \frac{1}{d^2}$$

skąd :

$$\Delta T = k \cdot \frac{1}{d^3} \quad (5)$$

Jeżeli $J = \text{const}$, $l = \text{const}$, inne warunki stałe , to przyrost temperatury przy przekroju kołowym jest odwrotnie proporcjonalny do trzeciej potęgi średnicy.

Średnica przewodu określona jest natężeniem prądu. Mając natężenie prądu można dobrać z poniższej tabeli odpowiedni przekrój.

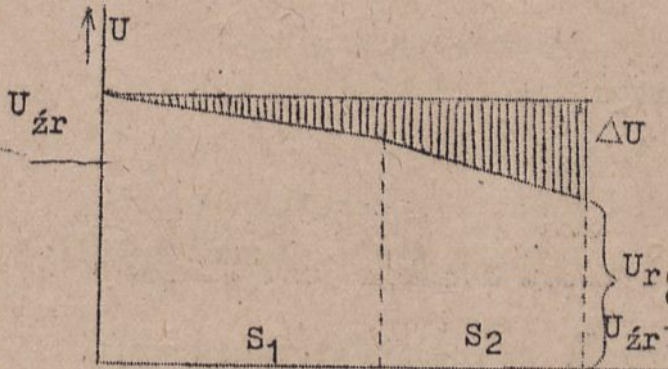
Największe dozwolone natężenie prądu w przewodach miedzianych i aluminiowych izolowanych gumą i osłoniętych (ułożonych w rurkach podane jest w poniższej tabelce :

Przekrój nominalny S mm	Przewody miedziane i aluminiowe			
	Nat. prądu dopuszcz. J maks. Amp.	J nom. bezpiecznika: A.	Nat. prądu dopuszcz. J maks. Amp.	J nom. bezpiecznika: A.
1	12	6	-	-
1,5	16	10	-	-
2,5	21	15	17	10
4	27	20	22	15
6	35	25	28	20
10	48	35	38	25
16	66	60	53	35
25	90	80	72	60
35	110	100	90	80
50	140	125	110	100
70	175	160	140	125
95	215	200	175	160
120	255	225	205	200
150	295	260	235	225

Uwzględniając dopuszczalny przyrost temperatury , oraz warunki chłodzenia , można ogólnie powiedzieć , że największe

obciążenie prądem wytrzymują przewody górne, następnie kable zakopane w ziemi, a najmniej należy obciążać przewody izolowane założone w budynkach.

W obwodzie w czasie przepływu prądu w zależności od przekroju następuje spadek napięcia. Niektóre odbiory wymagają



prądu o napięciu niezmiennym (sztywnym). Przepisy nie dopuszczają wielkiego spadku napięcia: w instalacji mieszkaniowej spadek napięcia nie może przekraczać 2%, w maszynach zmienność napięcia wywołuje zmianę obrotów,

Rys.178






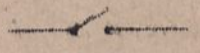

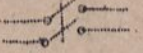
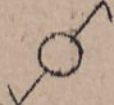







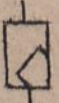

co wpływa niekorzystnie na produkcję - dozwolony spadek napięcia wynosi 3%

Przekroje obliczamy więc na 3 sposoby i wybieramy przekrój największy. (obliczanie spadku napięcia p. r. zdz.4).

5.5 Symbole graficzne

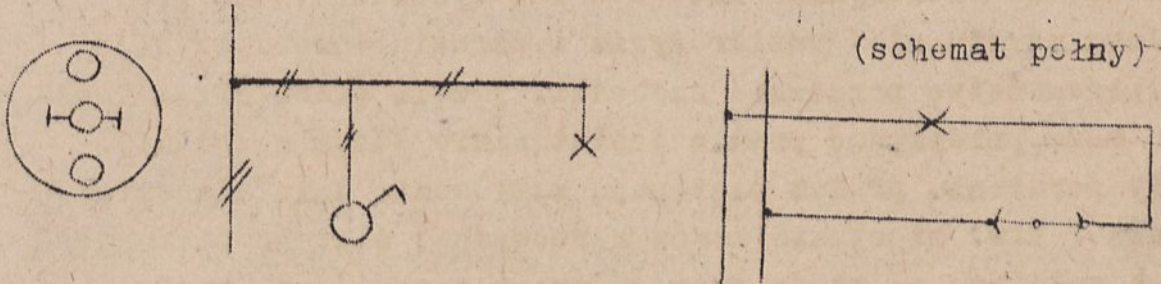
Na planach instalacyjnych zaznacza się obwody pojedynczymi liniami, a liczbę przewodów w obwodzie odpowiednią liczbą ukośnych kresek. Wszelkie przybory instalacyjne należy oznaczać symbolami wg. niżej podanego wzoru:

$3 \times 50 \text{ Al}$	
//	3 przewody 1 toru o przekroju 3x50
---	Przewód kablowy
+	skrzyżowanie przewodów bez połączenia
•	skrzyżowanie z połączeniem
•	odgałęzienie

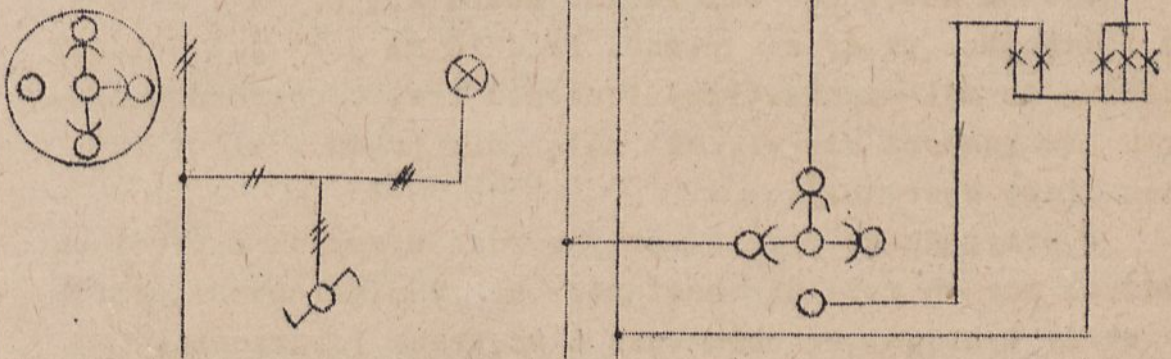
-  energia dopływa z dołu
-  energia odpływa do góry
-  energia odpływa do dołu
-  energia dopływa z góry
-  wyłącznik puszkowy, pokrętny
jednobiegunowy (odpowiada wyłącz-
nikowi : )
-  Wyłącznik puszkowy, pokrętny dwubie-
gunowy (odpowiada wyłącznikowi )
-  Przełącznik grupowy (świecznikowy)
-  Przełącznik hotelowy
-  żarówka
-  świecznik z 5-ma punktami świetlnymi
-  gniazdko wtyczkowe dla światła
-  licznik energii elektrycznej
-  bezpiecznik topikowy jedno- i dwu-
biegunowy
-  silnik
-  wyłącznik
-  wyłącznik samoczynny

6.6 Oznaczenia i schematy połączeń łączników.

1 . wyłącznik jednobiegunowy.

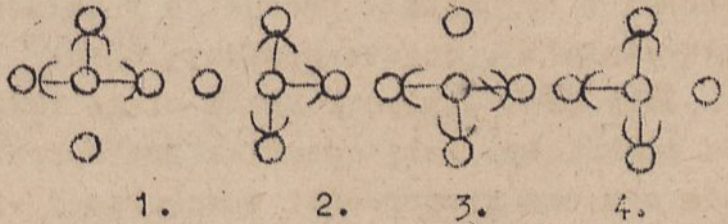


2. Przełącznik świecznikowy



Przy położeniu 1 palą się 3 lampy. Przy położeniu 2 lampy nie palą się wogóle.

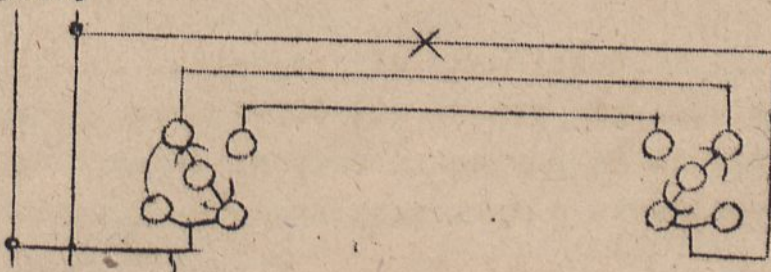
Przy położeniu 3 palą się 2 lampy. Przy położeniu 4 palą się wszystkie lampy (5)



3) przełącznik korytarzowy (hotelowy)



Schemat pełny



6.7 Niebezpieczeństwo porażenia i sposoby zabezpieczenia od niego.

Urządzenie elektryczne musi być tak wykonane , aby przy normalnym użyciu nie groziło życiu i zdrowiu ludzkiemu. Niebezpieczeństwo porażenia zachodzi, jeżeli przez ciało ludzkie może przepłynąć prąd o dostatecznie dużym natężeniu. Przy porażeniu prądem następuje zakłócenie działalności serca (tzw. migotanie komów sercowych) dlatego szczególnie niebezpieczne są prądy płynące przez serce (np. przez obie ręce). Jako natężenie śmiertelne uważa się 0,1 A , lecz już i mniejsze prądy są groźne. Prąd 10 mA jest już bolesny i trudny do zniesienia. (Przy leczeniu tzw. elektrokonwulsatorem przepuszcza się większe natężenia prądu , ale tylko przez głowę chorego.).

W przypadkach porażen przy bardzo wysokich napięciach i dużych mocach może nie nastąpić natychmiastowa śmierć, ale wtedy występujące obrażenia zewnętrzne (oparzenie, zwęglenia kończyn) a zwłaszcza zatrucie wewnętrzne skutkiem obecności w organizmie produktów rozkładu wytworzonych przez ciepło Joule'a , często powodują zgon.

Żeby prąd popłynął przez ciało ludzkie , musi powstać obwód zamknięty. Rolę opornika gra oporność ciała ludzkiego. Składa się ona z oporności wewnętrznej - rzędu 1000 omów - i oporności styku , zależnej od okoliczności. Suchy naskórek ma dużą oporność - około 100 000 omów na 1 cm^2 . Zwilżona, spocona skóra ma oporność bardzo małą. Dużą rolę gra oczywiście powierzchnia zetknięcia i siła docisku. Dla tego szczególnie niebezpieczne są urządzenia elektryczne w pomieszczeniach gorących , o wyziewach chemicznych, wilgotnych , łazienkach , kuchniach , z podłogą betonową , metalową i t.p.

Za napięcie niebezpieczne dla organizmu ludzkiego uważane jest napięcie nie wyższe niż 400V. Szczególnie niebezpieczne ze względu na porażenie są pomieszczenia wilgotne oraz pomieszczenia o wyziewach żrących. W pomiesz

zeniach gorących , w których następuje silne pocenie, urządzenia elektryczne wykonywane muszą być ze specjalną starannością. Niebezpieczeństwo porażenia istnieje również tam, gdzie znajdują się duże masy metalu z którymi człowiek się styka (praca na kotłach, mostach i t.d.). Organizmy zwierząt są bardziej wrażliwe , napięcie bezpieczne dla nich wynosi 24 V.

W pomieszczeniach wyżej wymienionych należy starannie izolować wszystkie części wiodące prąd , oraz osłonić części znajdujące się pod napięciem przed przypadkowym dotknięciem. Oprócz tego stosuje się środki zaradcze :

- a) obniżenie napięcia poniżej 40 V (zwykle do 24 V)
- b) uziemienie części metalowych odbiorników, które mogą się dostać pod napięcie.
- c) zerowanie
- d) wyłączniki ochronne.

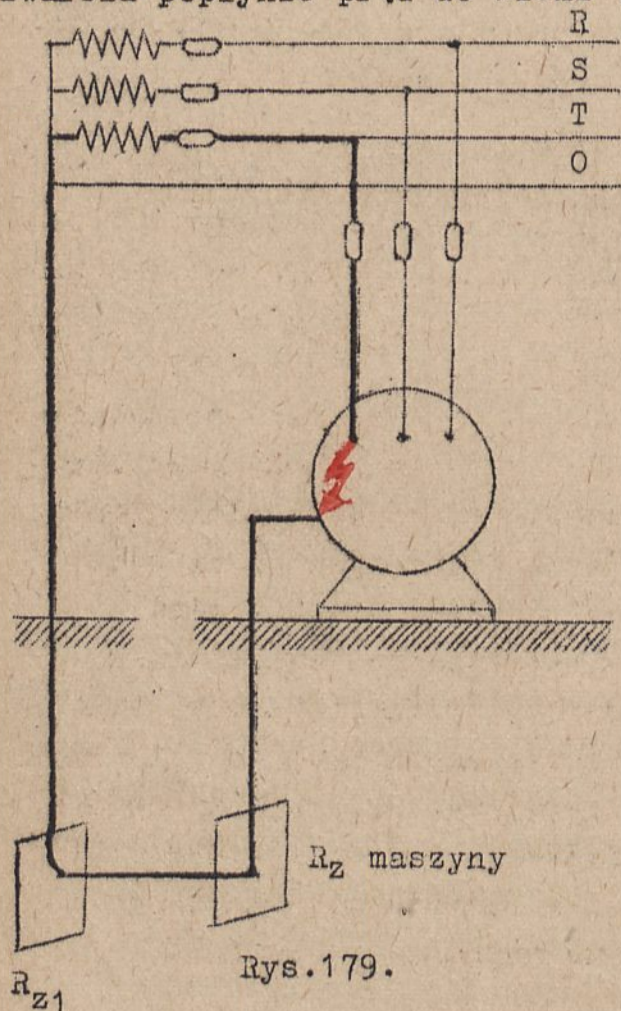
6.70 Obniżenie napięcia

Do zasilania odbiorników używanych w pomieszczeniach specjalnie niebezpiecznych (np. przy posługiwaniu się lampą ręczną i wiertarką przy robotach kotłowych), stosuje się prąd o napięciu zniżonym. Napięcie zniżone przy prądzie zmiennym otrzymuje się przez zastosowanie transformatora bezpieczeństwa , najczęściej na 24 V (muszą one wytrzymać próbę izolacji na 2000 V). Wskazane jest wykonanie oddzielnej sieci dla gniazd wtyczkowych . Wtyczka urządzona na zniżone napięcie winna być tak wykonana , aby nie można jej było włożyć do gniazdka na normalne napięcie.

Transformatoriki dzwonekowe obniżają napięcie na 6 V. Były notowane wypadki porażenia nawet przy 24 V przy zbiegu najniekorzystniejszych warunków . W pomieszczeniach szczególnie groźnych ze względu na gazy wybuchowe oświetlenie wykonywa się przez okna hermetyczne , a silniki ustawia się nazewnątrz. Jeżeli sieć jest zasilana prądem stałym, to do odbiorników o zniżonym napięciu jako źródła prądu używa się akumulatorów.

6,71 Uziemienie

Uziemienie ma na celu uniemożliwienie powstania niebezpiecznych napięć na zewnętrznych metalowych częściach przyrządów i maszyn elektrycznych. W razie uszkodzenia izolacji, części metalowe, które nie są normalnie pod napięciem, mogą połączyć się z częściami wiodącymi prąd i znaleźć się pod napięciem. Jeżeli dana część połączona jest z ziemią, to w razie zwarcia popłynie prąd do ziemi (rys.179.)



Rys.179.

Gdy zwarcie nastąpi między jedną fazą a korpusem to popłynie prąd zwarcia. Jeżeli będzie on dość duży, to spalisz bezpiecznik, ale niestety nie zawsze jest on dostatecznie duży aby bezpiecznik spalił się natychmiast. Wielkość J_z można określić z wzoru :

$$J_z = \frac{U}{R_p + R_{zm} + R_{z1}} \quad (1)$$

W rozważaniach opór przewodów jako mały można pominąć. Opór uziemienia transformatora może wynosić przy starannym wykonaniu od 2 - 4 omów, uziemienie silnika normalnie od 5-10 omów, więc

$$J_z \approx \frac{220}{2+8} = 22A$$

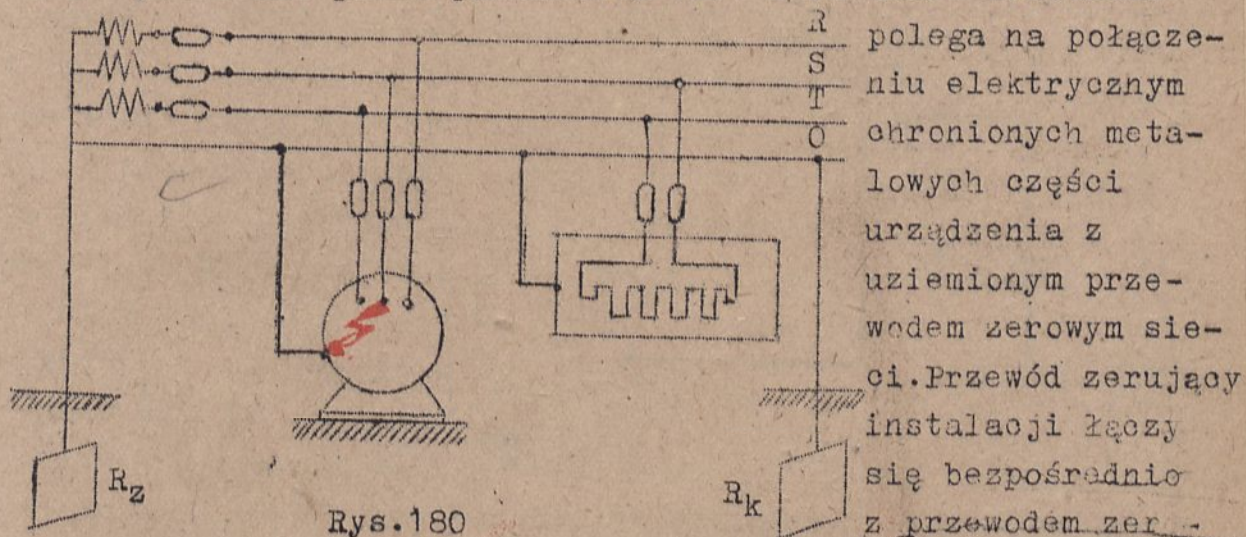
Jeżeli silnik ma bezpiecznik na wyższe natężenie to się nie przepali. Napięcie jakie powstanie wynosi :

$$U_{dotyku} = J_z \cdot R_{zm} = 22 \cdot 8 = 176 V$$

Z obliczenia powyższego wynika, że mimo uziemienia metalowego kadłuba silnika możemy otrzymać napięcie dotyku groźne dla życia w niekorzystnych warunkach. Stosowanie uziemienia jest celowe tylko dla obwodów o niewielkim natężeniu prądu.

6.72 Zerowanie

W sieciach z uziemionym przewodem zerowym stosuje się jako zabezpieczenie przed porażeniem tzw. zerowanie. Zerowanie



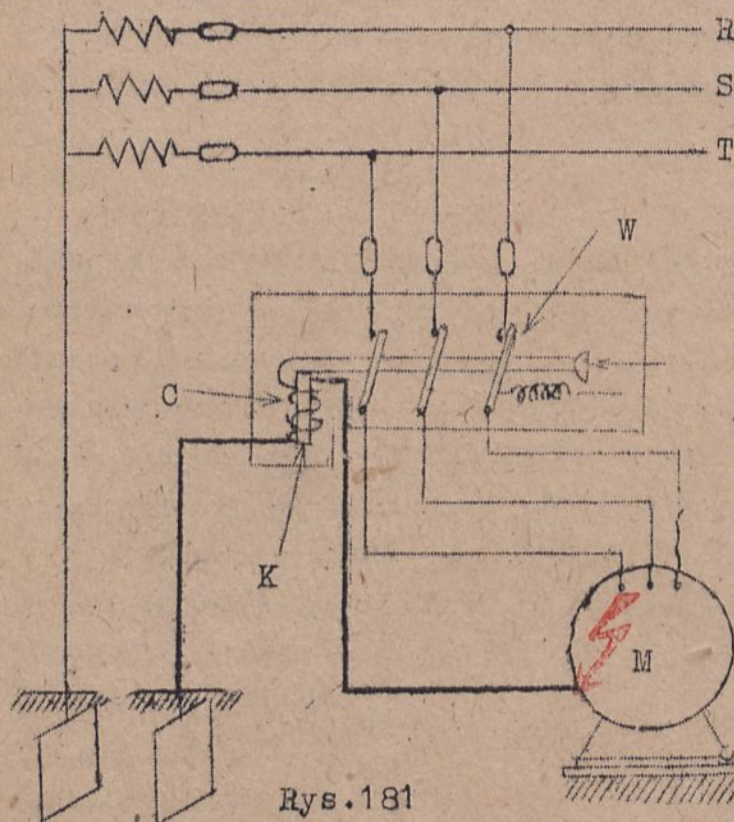
Rys.180

polega na połączeniu elektrycznym chronionych metalowych części urządzenia z uziemionym przewodem zerowym sieci. Przewód zerujący instalacji łączy się bezpośrednio z przewodem zerowym sieci (rys.180). Przewód zerowy sieci zasilającej powinien być uziemiony na stacji transformatorowej jak również na końcach linii i odgałęzieniach, oraz wzdłuż sieci w odstępach nie większych od 1000 m. Przy stosowaniu zerowania należy przewód zerowy oraz zerujący poprowadzić tak, aby nie mogły być uszkodzone. W razie zwarcia, prąd zwarcia ma obwód zamknięty przez przewód zerujący, Stosowanie zerowania nie zawsze chroni od możliwości porażenia prądem. Brak konserwacji i nieodpowiednie obchodzenie się z systemem zerowania może spowodować uszkodzenie i możliwość wypadku.

6.73. Wyłączniki ochronne

Gdy wykonanie uziemienia o małym oporze napotyka na trudności stosuje się wyłączniki ochronne. Z chwilą gdy napięcie między ziemią a obudową przekroczy dozwolone napięcie,

Wtedy nastąpi samoczynne wyłączenie.



Rys. 181

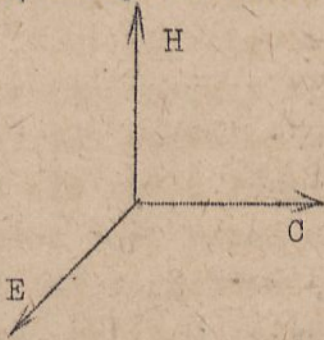
Silnik jest przyłączony do sieci za pomocą biegunowego wyłącznika. Cewka ochronna C wyłącznika jest połączona z jednej strony z kadłubem silnika a z drugiej strony ziemi. Cewka jest tak zbudowana, że nawet przy prądzie kilku miliamperów kotwiczka K zostaje pociągnięta w dół i następuje otwarcie wyłącznika W. W razie połączenia któregośkolwiek z biegunów z kadłubem silnika, kadłub znajdzie się pod napięciem

i popłynie prąd powodujący wyłączenie wyłącznika. Cewka wyłącza, gdy napięcie przekroczy 40 V. W tym wypadku opór uzziemienia może być duży lecz nie powinien być większy niż 500 omów. Należy dbać o staranny i dokładny montaż oraz sprawdzać okresowo skuteczność działania zabezpieczenia.

7 Oświetlenie

7.0 Światło

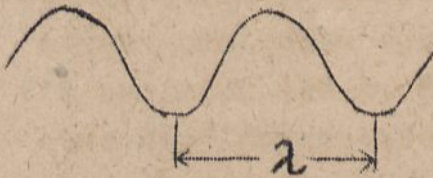
Światło jest jedną z postaci energii promienistej elektromagnetycznej. Falowość światła polega na tym, że wektor H



Rys.182

pola magnetycznego i prostopadły do niego, wektor natężenia pola elektrycznego E drgają w kierunku prostopadłym do siebie i kierunku ruchu.

Zmiany natężenia pola magnetycznego i elektrycznego przenoszą się w przestrzeni z szybkością stałą $c = 3 \cdot 10^5$ km/sek (w próżni).



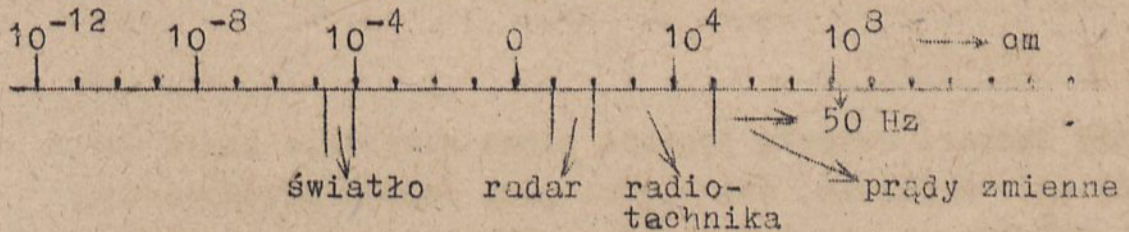
Rys.183

$$c = \lambda \cdot f \quad (1)$$

λ = długość fali

f = częstotliwość drgań

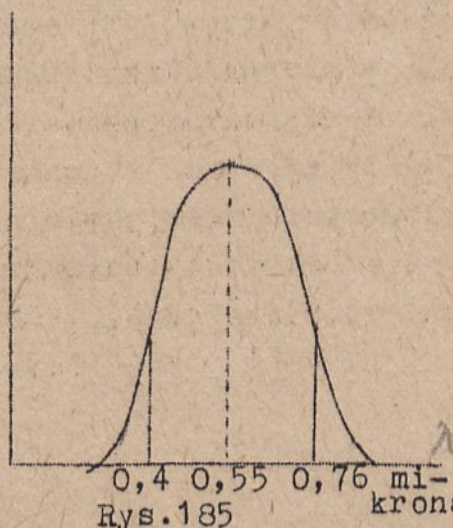
Skale wszystkich fal elektromagnetycznych ułożyć można według rosnącej długości fali λ



Rys.184

Najdłuższe fale elektromagnetyczne w technice związane z normalnym prądem o częstotliwości $f = 50$ okr/sek wynoszą 6000 km. Przy większych częstotliwościach długość fali maleje i przechodzi poprzez średnie (słyszalne) czyli akustyczne częstotliwości do rzędu fal radio-technicznych. Przy radarach spotyka się fale od 20-100 cm. długości. Długość fal ciepłych wynosi poniżej 1 cm. Poniżej mikro- na wkraczamy w fale widzialne. Granicą światła widzialnego

są fale o długości 0,76 mikrona - są to fale czerwone i podczerwone. Żółcień ma 0,55 mikrona. Fiolet kończy się na 0,4 mikrona. Następnie wkraczamy w dziedzinę aktywnych chemicznie promieni pozafioletkowych, dalej promieni Roentgena miękkich i twardych (do 10^{-9}), jeszcze dalej są promienie gamma i najkrótsze - kosmiczne , które dochodzą do 10^{-12} cm.



W oświetleniu dysponujemy więc bardzo małym zakresem fal. Krzywa wrażliwości jest różna dla każdego oka , a nawet jest różna dla tego samego osobnika w zależności od pory dnia. Optimum odpowiada barwie żółtej. Pomiar wykonany przez różne osoby dają różne wyniki, dlatego też ustalono dla celów fotometrycznych "oko normalne" , któremu odpowiada przeciętna krzywa wrażliwości.

7.1 Pojęcia wstępne

7.10 Światłość

Każde źródło światła posiada pewne natężenie czyli światłość (J). Jednostką światłości jest świeca międzynarodowa (1 cm² krzepnącej platyny daje światłość 20 jednostek). Poprzednio w użyciu była świeca Hefner'a , która jednak ze względu na barwę nie nadaje się do światła elektrycznego jako wzorzec. Jedna świeca międzynarodowa równa jest 1,11 świecom Hefnera. Stosunek ten nie jest jednak stały, zależny jest od temperatury światła :

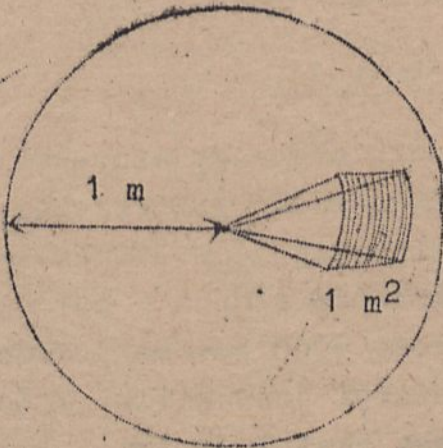
$$1 \text{ św.mn.} = 1,11 \text{ HK przy temp. } 2000^{\circ}\text{C}$$

$$1 \text{ św.mn.} = 1,145 \text{ HK przy temp. } 2360^{\circ}\text{C}$$

$$1 \text{ św.mn.} = 1,17 \text{ HK przy temp. } 2500^{\circ}\text{C}$$

7.11 Strumień świetlny

Strumień świetlny (F) oznacza ilość energii świetlnej wydzielonej przez źródło w ciągu 1 sekundy - jest więc mocą



Rys. 186

promieniowania danego źródła światła. Jednostką strumienia świetlnego jest lumen. Jeżeli w środku kuli o promieniu 1 m umieścimy 1 świecę, to moc wiązki promieni oświetlających powierzchnię wewnętrzną wielkości 1 m^2 równa jest 1 lumenowi. Kąt bryłowy całkowity wynosi 4π więc całkowity strumień światła wysyłany przez 1 świecę wynosi 4π czyli 12,56 lumenów.

7.12 Ilość światła

Źródło światła w ciągu pewnego czasu wypromieniowuje pewną ilość światła. Jednostką ilości światła jest lumenogodzina. Jest to ilość światła otrzymana ze źródła o mocy 1 lumena w ciągu 1 godziny.

7.13 Jasność

Jasnością (E) nazywamy stosunek strumienia padającego prostopadle na pewną powierzchnię do tej powierzchni :

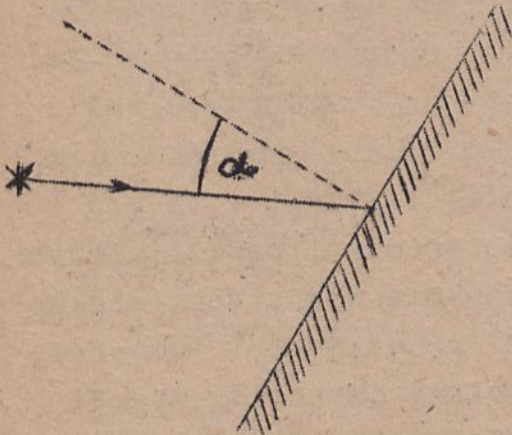
$$E = \frac{F}{S} = \frac{J \text{ jasność}}{R^2} \quad (1)$$

Jasność maleje z kwadratem odległości. Jednostką jasności jest luks i stanowi oświetlenie 1 m^2 przez strumień 1 lumena z odległości 1 m. Jeśli strumień pada na powierzchnię pod kątem α , to uwzględniamy tylko składową normalną (pionową) :

$$E = \frac{J \cdot \cos \alpha}{R^2} \quad (2)$$

= 15° =

Jasność zależy od odległości i położenia powierzchni, a nie zależy od jej stanu.



Rys.187

7.14 Jaskrawość

Jaskrawością nazywamy stosunek natężenia światła do powierzchni świecącej i mierzymy ją w świecach/cm². (np. jaskrawość słońca w południe wynosi około 9000 św./cm²). Jednostką jaskrawości jest stilb. Jeden stilb równy jest 1 św./cm². Jednost-

ką mniejszą jest apostilb równy 1/10000 części stilba.

7.15 Sprawność

Sprawność źródeł światła jest bardzo mała z tego względu, że większa część promieniowania leży w widmie niewidzialnym. Sprawność najlepszych lamp żarowych nie przekracza 3%, przeważnie zaś wynosi od 1 - 1,5%. Operowanie sprawnością byłoby niewygodne wprowadzono więc pojęcie wydajności.

7.16. Wydajność

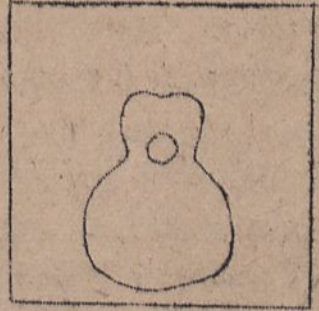
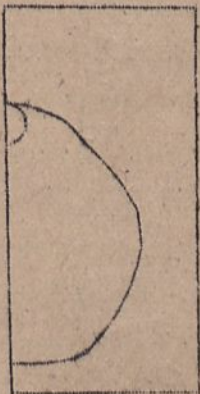
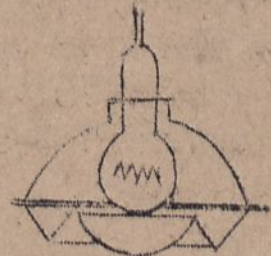
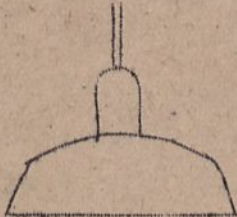
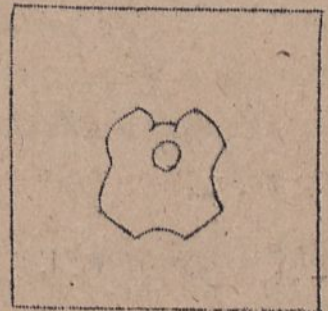
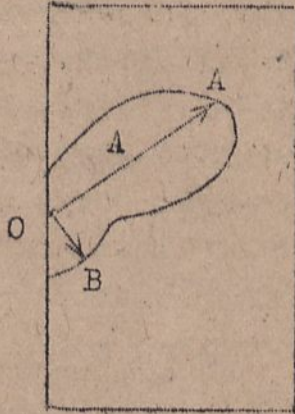
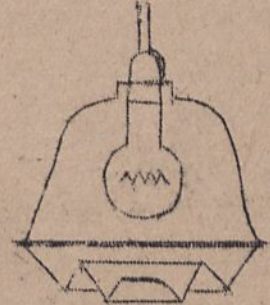
Wydajność jest to stosunek strumienia świetlnego do mocy pobieranego prądu elektrycznego :

$$N = \frac{F}{P} \quad \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right] \quad (1)$$

7.2 Rozsył światła

Rozsył światła przy źródle punktowym jest we wszystkich kierunkach jednakowy. Jeżeli źródłem światła jest drucik żarowy, to rozsył światła jest inny. Rozsył światła dla lampy żarowej podany jest na rysunku 188. Długość promieni OA, OB wyrażają w skali światłość lampy w tym kierunku w świecach. Rozsył światła możemy przez konstrukcję drucika

częściowo regulować. W zależności od rodzaju oświetlenia potrzebne są różne rozsyły, które otrzymuje się przez zastosowanie odpowiednich opraw lamp

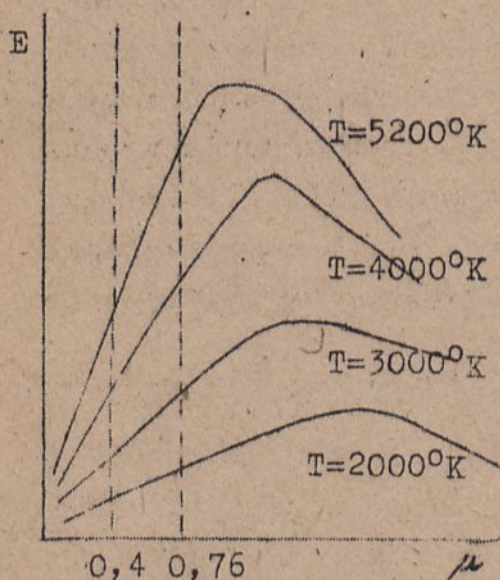


Rys.187

7.3 Źródła światła

7.30 Lampy żarowe

Ze wszystkich źródeł światła elektrycznego lampy żarowe zajmują najważniejsze miejsce w technice oświetleniowej. Działanie żarówki oparte jest na świeceniu trudnotopliwego włókna rozżarzonego przez przepływ prądu do wysokiej temperatury. Pierwsze żarówki posiadały włókno wykonane z odpowiednio spreparowanego węgla umieszczonego w próżni (Edison). Wydajność ich wynosi 3,3 lm/W (dla porównania : wydajność lampy naftowej 0,3 lm/W). Włókno węglowe zastąpiono włóknem metalowym o większej wydajności. Obecnie żarówki mają włókna wolframowe . Włókno żarowe przy wzroście temperatury

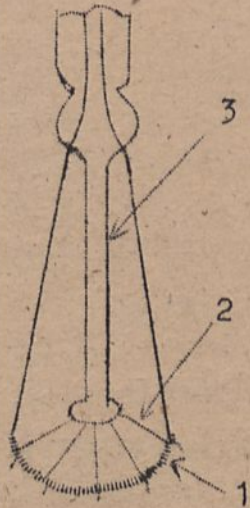


Rys.188

zaczyna coraz silniej promieniować. Ilość energii wypromieniowanej jest proporcjonalna do czwartej potęgi temperatury bezwzględnej . Dla każdej temperatury maksimum energii wypromieniowanej wypada dla fali o określonej długości . Ze wzrostem temperatury maksimum przesunęło się w kierunku fal krótszych . Im wyższa jest więc temperatura żarzenia włókna tym większa część energii wypromie-

niowanej leży w zakresie widma widzialnego. Dla 6000° maksimum energii wypromieniowanej byłoby w pośrodku fal widzialnych. Z metali najbardziej wytrzymałym na temperaturę jest wolfram . Jego temperatura topnienia wynosi 3370° . Jest bardzo twardy , a więc trudno obrabialny. Podlega obróbce termicznej w atmosferze wodorowej. Pył wolframowy formuje się w pałeczki i spieka przez przepuszczenie prądu o natężeniu kilku tysięcy amperów , potem przekuwa się klocki na pręty a te ciągnie przez oczka diamentowe na najcieńsze druty z których skręca się spiralki.

Włókno wolframowe w formie spirali (1) na rys.189 jest podtrzymywane przez haczyki (2) wykonane z molibdenu, który ma wysoką temperaturę topnienia (2577°C) i posiada dużą wytrzymałość mechaniczną w stanie rozżarzonej. Cała konstrukcja jest umocowana na szklanej nóżce (3). Koniecznym warunkiem pracy żarówki jest umieszczenie włókna w przestrzeni pozbawionej tlenu i rozżarzenie go do wysokiej temperatury, jednak niższej od punktu topnienia. W wysokiej temperaturze włókno paruje, cząsteczki osiadają na wewnętrznej powierzchni szklanego balonika, pochłaniają światło, a tym samym zmniejsza się wydajność żarówki.



Rys.189

Dla zmniejszenia parowania baloniki wypełnia się gazem obojętnym (azot, argon, najlepiej krypton). Zastosowanie tych gazów zmniejsza parowanie, pozwala więc na rozżarzenie włókna do wyższej temperatury. Wzrastają jednak straty cieplne ze względu na przewodnictwo gazów (cieplne). Dla zapobieżenia temu włókno skręca się w spiralkę pojedynczą lub podwójną.

Wydajność żarówek wolframowych mniejszych wynosi około 9 lm/W , największych zaś 19 lm/W .

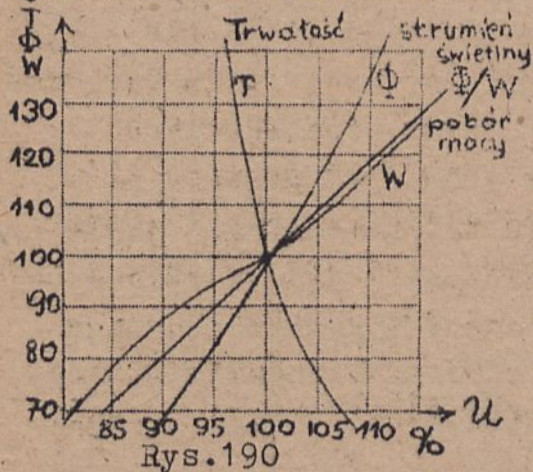
Trwałość żarówki zależna jest od napięcia roboczego. Zależność trwałości od napięcia można ująć wzorem :

$$T \sim \frac{1}{U^{13+14}} \quad (1)$$

T = trwałość żarówki. Wymagana normalnie trwałość żarówki wynosi 1000 godzin. Przy napięciu nominalnym U_n trwałość żarówki wynosi T_n . Przy napięciu U_2 trwałość żarówki wynosi

$$T_2 : \frac{T_2}{T_n} = \left(\frac{U_n}{U_2} \right)^{13+14} \quad (2)$$

Podniesienie napięcia o 5 % obniża jej trwałość o 50 %. Przy obniżaniu napięcia trwałość żarówki wzrasta. Żarówki włączone jednak na niższe napięcie mają mniejszą wydajność. Wykres



(rys. 190) podaje nam zależność trwałości i wydajności żarówki od przyłożonego napięcia.

Załączona tabelka podaje strumień świetlny żarówek w lumenach przepisany dla żarówek do normalnych celów oświetleniowych. Wydajność wzrasta ze wzrostem mocy żarówek, oraz maleje ze wzrostem napięcia

żarówki. Celem zmniejszenia jaskrawości żarówek używa się matowych baloników. Dla uniknięcia strat powstałych przez odbicie wewnętrzne oraz przez osadzanie się kurzu na powierzchni balonika stosuje się matowanie wewnętrzne.

Strumień świetlny żarówek w lumenach.											
Waty	10	15	25	40	60	75	100	150	200	300	500
110V	77	123	225	412	708	945	1350	2115	2960	4770	8500
220V	-	111	202	320	564	779	1140	1816	2600	4230	7700

Matowanie dziesięciokrotnie zmniejsza jaskrawość, przez co światło ma łagodny charakter, zdrowy dla wzroku. Wydajność ich jest nieco mniejsza od 1,5 do 3%. Zastosowanie balonika ze szkła mlecznego jeszcze bardziej zmniejsza jaskrawość, równocześnie jednak więcej zmniejsza wydajność lampy. Tzw. żarówki o dziennym świetle mają baloniki ze specjalnego niebieskiego szkła, które zatrzymuje promienie żółto-czerwone, stwarzając wrażenie światła o charakterze dziennym. Wydajność żarówki dziennej wynosi 50% wydajności normalnej żarówki.

7.31 Lampy łukowe

Zetknięcie dwóch elektrod węglowych, a następnie rozsuniecie ich na niewielką odległość powoduje powstanie łuku o bardzo wysokiej temperaturze. Rozżarzone cząsteczki powietrza i węgla wywołują zjawisko świecenia. Jeśli do elektrod doprowadzamy prąd stały, to zużycie elektrod jest nierównomierne: elektroda dodatnia zużywa się prawie dwa razy prędzej niż ujemna, dlatego też jest grubsza od ujemnej. Przy zastosowaniu prądu zmiennego zużycie elektrod jest równomierne - budowa ich jest ta sama. Lampa łukowa na prąd zmienny zużywa o 80 % energii więcej niż lampa na prąd stały. Lampy łukowe są obecnie rzadko stosowane. Wydajność lamp łukowych wynosi 20 do 25 Lm/W.

7.32 Lampy rtęciowe

W szklanej rurce wypełnionej gazem szlachetnym (argonem) znajduje się rtęć w stanie ciekłym. Doprowadzenie napięcia do elektrod powoduje wyładowania w argonie, rtęć przechodzi w stan lotny i wtedy następuje właściwe świecenie. Zaletą tych lamp jest duża wydajność, trwałość i mała wrażliwość na zmiany napięcia. Wadą ich jest długi okres rozpalania lampy, kolor zielono niebieski i wysoki koszt. Mogą być użyte do oświetlania reklam i otwartych przestrzeni.

Odmianą lampy rtęciowej jest lampa kwarcowa. Zjawisko wyładowania odbywa się w rurce kwarcowej wypełnionej parą rtęci. Stosuje się ją do celów leczniczych i technicznych jako źródło promieni pozafioletkowych. Wydajność lamp rtęciowych wynosi 35 Lm/W.

7.33 Lampy sodowe

Zasada działania lampy sodowej polega na wyładowaniu elektrycznym w parach sodu. Rura szklana wypełniona neonem posiada wewnątrz sól. Po przyłożeniu napięcia powstaje wyładowanie w neonie, pod wpływem temperatury sól paruje.

i wyładowanie odbywa się w jego parze. Światło lampy sodowej jest barwy jasno - żółtej. Czas rozpalania lampy wynosi od 7 do 14 minut. Wydajność lampy sodowej jest kilkakrotnie większa od wydajności lampy żarowej. Lampy sodowe odznaczają się dużą trwałością i małą wrażliwością na wahania napięcia. Stosowane są do oświetlania przestrzeni otwartych. Światło lamp sodowych jest łagodne, nie powoduje oślepienia, dlatego stosowane jest do oświetlania tunelów. Wydajność lamp sodowych wynosi 50 Lm/W. Lampy sodowe wymagają dodatkowych urządzeń (dławików dla ograniczenia prądu).

7.34 Rury świetlące

Wyładowania w rurach wypełnionych rozrzedzonymi gazami, wywołują zjawisko świecenia. Rury napełnia się gazami szlachetnymi pod zmniejszonym ciśnieniem, najczęściej neonem. Kolor światła zależny jest od rodzaju gazu, ciśnienia i temperatury. Rury świetlące znalazły szerokie zastosowanie do celów zdobniczych i reklamowych. Wymagają stosowania wysokiego napięcia (3 - 6 kV.)

7.35 Lampy jarzeniowe

Lampy jarzeniowe nazywane są też lampami fluorescencyjnymi. Jest to nowy system oświetlenia który spowoduje wyparcie przynajmniej częściowe światła żarowego. Źródłem światła są sole niektórych metali, rozpylone na wewnętrznej ścianie rurki próżniowej, pobudzone do świecenia przez wyładowanie w silnie rozrzedzonym gazie. Światło może mieć barwę białą (dzienną). Jaskrawość jest bardzo mała (świeci powierzchnia szkła), a sprawność bardzo duża - kilkakrotnie wyższa od światła żarowego. Dzięki temu oświetlenie przy tych samych kosztach może być znacznie silniejsze i przy tym nie olśniewające. Lampy fluorescencyjne nie wymagają podwyższonego napięcia. Produkcja ich ma być wkrótce rozpoczęta w Polsce (1948).

7.4 Warunki dobrego oświetlenia

Aby oświetlenie było celowe, musi spełniać następujące warunki:

- 1) wystarczająca jasność
- 2) równomierne oświetlenie
- 3) brak olśnienia
- 4) prawidłowość cieni
- 5) odpowiednia barwa
- 6) gospodarność (ekonomia)

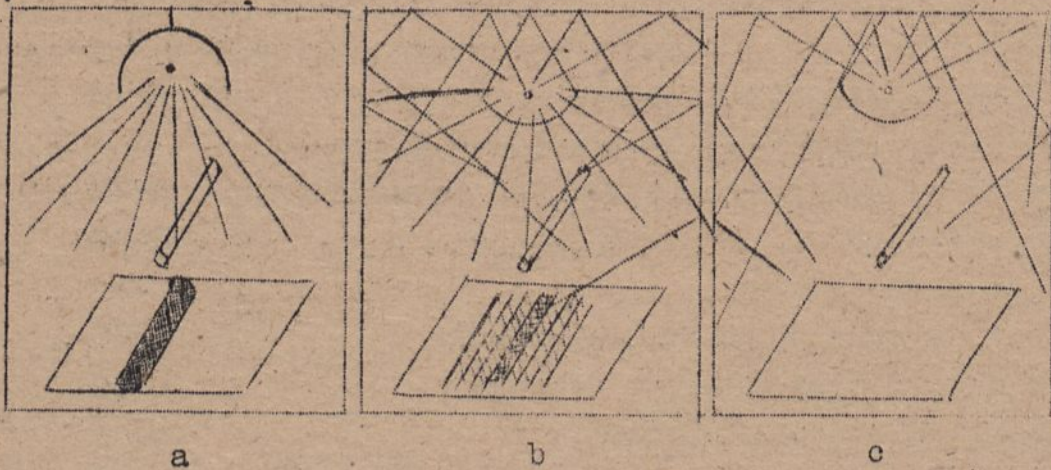
Jasność oświetlenia w luksach dla poszczególnych pomieszczeń podaje następująca tabelka :

oświetlenie	Jasność średnia w luksach
Bramy, korytarze, prace grube	5-10
Przedpokoje, ładownie akumulatorów, prace wymagające rozróżnienia grubych szeregów	10-20
Hale montażowe	20-30
Ślusarnie, tokarnie	20-40
Pokoje mieszkalne, kuchnie, łazienki	20-50
Hale maszyn elektrowni i siłowni	30-40
Rysunki ścienne, biblioteki	30-60
Pokoje reprezentacyjne	30-80
Narzędziownie, laboratoria, czynności biurowe	
dokładne roboty ślusarskie, tokarskie	40-80
Gabinety lekarskie, sale wykładowe	50-100
Kreślarnie, zegarmistrzostwo	80-150
Oświetlenie zewnętrzne	
Składy węgla	1-2
Tory kolejowe, podwórza mało ruchliwe	1-3
ulice mało ruchliwe, podwórza	2-5
ulice ruchliwe, wejścia do domów	5-10

Dla porównania: jasność słońca w południe wynosi około 100 tysięcy luksów, jasność przy księżycu 2 luksy.

Należy zauważyć, że obecnie stosowane normy w przemyśle amerykańskim przewidują znacznie wyższe jasności, na co pozwalają nowe systemy oświetleniowe.

Rozróżniamy oświetlenie bezpośrednie, pośrednie i półpośrednie. Przy oświetleniu bezpośrednim (rys. 191 a) cały strumień świetlny pada na przedmiot lub płaszczyznę oświetlaną. Przy oświetlaniu pośrednim (c) cały strumień świetlny skierowany jest na sufit, a stamtąd strumień odbity oświetla całe pomieszczenie. Oświetlenie takie nie daje cieni i jest światłem płaskim nie dającym perspektywy.



Rys. 191

Jest to światło drogie, gdyż duży procent energii jest pochłaniany przez wtórne źródło światła. Najczęściej spotykane jest oświetlenie półpośrednie (b). Najzdrowsze i najekonomiczniejsze jest oświetlenie mieszane, które składa się z oświetlenia ogólnego i lokalnego. W warsztatach i lokalach musi być oświetlenie ogólne o wystarczającej jasności (10-30 luksów) a miejsca specjalne mogą mieć oświetlenie lokalne.

Równomiernością oświetlenia nazywamy stosunek jasności minimalnej do jasności maksymalnej E_{\min}/E_{\max} . Przyjmuje się

~~że jaskrawość 0,88 stilba jest granicą nieoślepienia. Dla~~
zmniejszenia jaskrawości stosuje się odpowiednie oprawy
lamp.

Prawidłowość cieni ma znaczenie estetyczne i praktyczne.
~~Cień~~ źle padający przeszkadza w pracy. Cienie dobrze pa-
dające ułatwiają pracę oraz sprawiają estetyczne wrażenie
(np. przy oświetlaniu elewacji, gmachów itp.).

Barwa światła odgrywa dużą rolę. Dąży się do uzyskania
światła dziennego (o własnościach światła słonecznego *).
~~Do celów reklamowych przez odpowiedni dobór gazu w rurach~~
~~światłowych i szkła uzyskać można różne barwy.~~

Lepsze światło jest droższe. W przemyśle jednak ze wzros-
tem jasności związany jest i wzrost i jakość produkcji,
zmniejsza się ilość braków i wypadków przy pracy, poza
tym wpływa dodatnio na samopoczucie pracowników. Wobec te-
go polepszenie oświetlenia do pewnych granic zawsze się
opłaca. Z tego też względu normy oświetleniowe stosowane
~~obecnie~~ np. w przemyśle amerykańskim przy zastosowaniu
lamp luminiscencyjnych są znacznie - nieraz parokrotnie
~~wyższe~~ od naszych dotychczasowych.

7.0 Wstęp

Zastosowanie energii elektrycznej do grzejnictwa w przemyśle jest szerokie , w postaci pieców elektrycznych , w dziedzinie spawania i ogrzewania pomieszczeń.

Zamiana energii elektrycznej na ciepłą pod względem termodynamicznym jest rozrzutnością . Za użyciem przemawia jednak :

- a) duża szybkość rozruchu urządzenia ciepłego
- b) dokładna i czuła regulacja
- c) możliwość automatycznej regulacji
- d) dowolna skala urządzenia
- e) możliwość stosowania dowolnej atmosfery w piecu (obojęt-
na , redukująca , utleniająca , nawet próżnia)
- f) brak gazów spalinowych (brak potrzeby wentylacji)
- g) możliwość otrzymywania wyższej temperatury niż jakimkol-
wiek innym sposobem.

Te zalety, oraz podwyższenie jakości wyrobów , zmniejszenie ilości braków , przemawiają za stosowaniem elektryczności do grzejnictwa.

7.1 Piece elektryczne

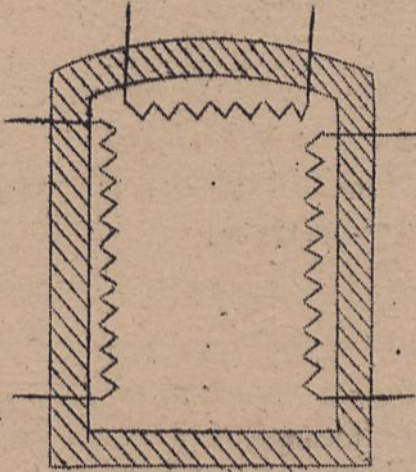
Rozróżniamy piece : a) oporowe
b) łukowe
c) indukcyjne

7.10 Piece oporowe

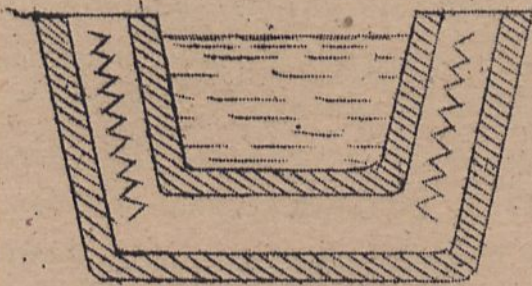
Elementem grzejnym przez który przepływa prąd jest materiał oporowy. Na ściankach w odpowiednich uchwytach zawieszono są elementy grzejne. Jeżeli mamy do czynienia z płynami, to elementy grzejne umieszczone są nazewnątrz tygla i otulone materiałem źle przewodzącym.

~~urządzeniach~~ małej mocy, zwłaszcza do grzania płynów sto-

sowane bywają grzałki nurkowe. Jest to rura z materiału ceramicznego do której wstawiony jest element grzejny.

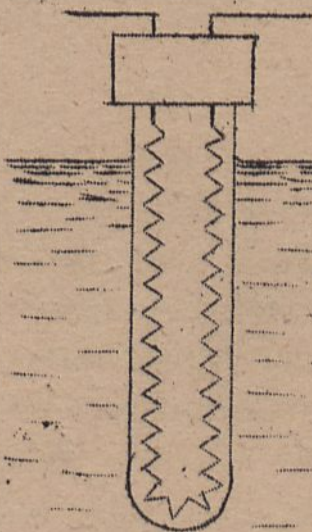


Rys. 192



Rys. 193

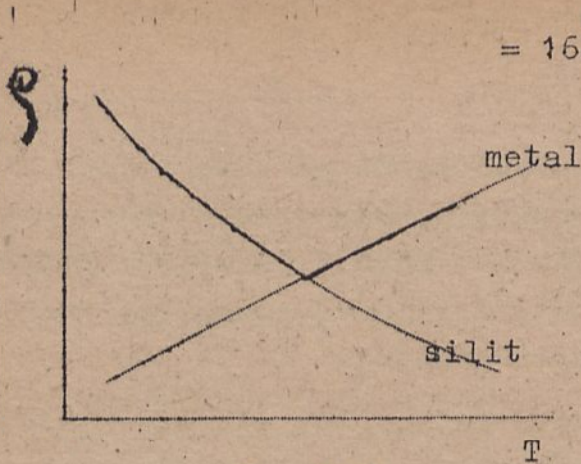
1600°C) na skalę laboratoryjną stosuje się platynę. W pr-



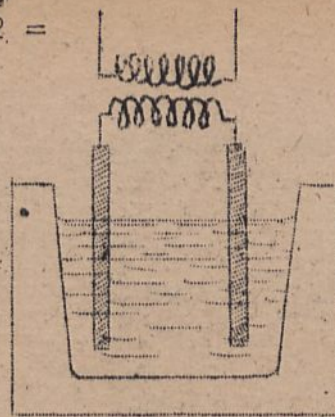
Rys. 194

myśle używa się oporników karborundowych pod nazwą silit (SiC). Oporność względna jego jest zależna od dodatków (glin plastycznych), jest większa niż metali (półprzewodnik) i maleje z temperaturą. Utlenia się bardzo powoli. Sility stosowane są przeważnie do pieców laboratoryjnych, na pracę ciągłą stosowane są do temperatury 1400°C. Przy temperaturze 1500°C zużycie nastąpi szybciej.

Do jeszcze wyższych temperatur stosuje się węgiel w postaci granulek pod nazwą kryptolu. Kryptol wytrzymuje temperaturę 2000°C a teoretycznie 2500°C.

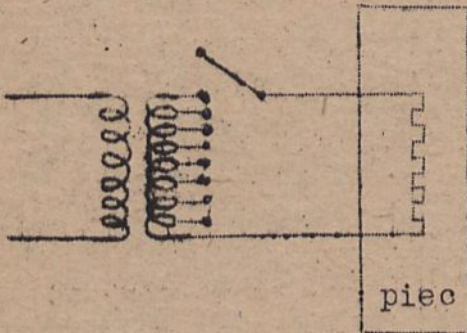


Rys.195



Rys.196

W pewnych warunkach jako element grzewczy stosuje się ciecze. W technologii metali znane są kąpiele solne. Ponieważ sole przewodzą tylko w stanie stopnionym, muszą być najpierw do tego stanu doprowadzone przy pomocy łuku elektrycznego.

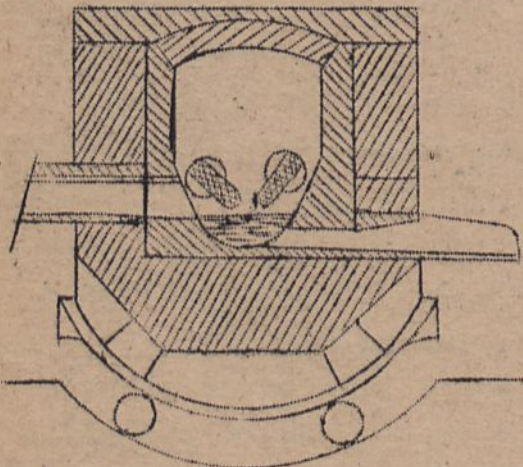


Rys.197

Regulację temperatury pieców oporowych można stosować rozmaita, najczęściej stosowana jest zmiana napięcia. Źródłem prądu jest transformator, którego uzwojenie wtórne ma szereg zaczipów do regulacji napięcia (rys. 197). Ponadto można stosować łączenie oporów szeregowo lub równoległe.

Można także część oporów wyłączać sekcjami. Naogół piece oporowe wymagają rozruchu, to znaczy nie dają się włączać od razu bezpośrednio na napięcie sieci.

7.11 Piece łukowe

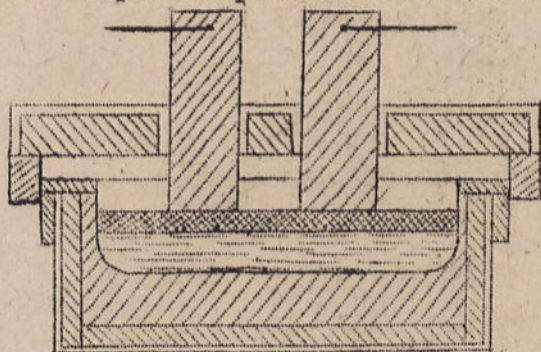


Rys.198

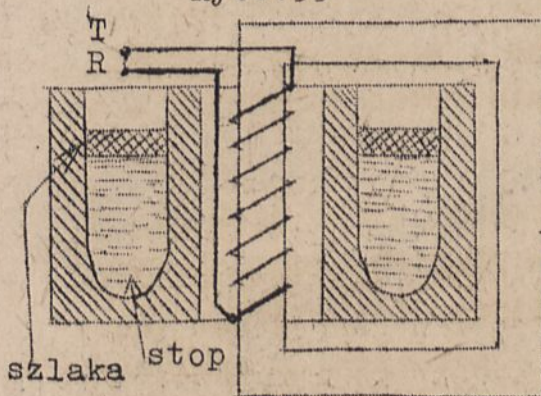
Do topienia metali o wysokiej temperaturze topliwości służą piece łukowe i indukcyjne. Rozróżniamy piece łukowe o łuku otwartym (rys.198) i o łuku zamkniętym (rys.199). Pierwsze stosowane są w przemyśle do syntez, drugie w metalurgii.

Przy łuku otwartym ciepło wytworzone udziela się metalowi topio-

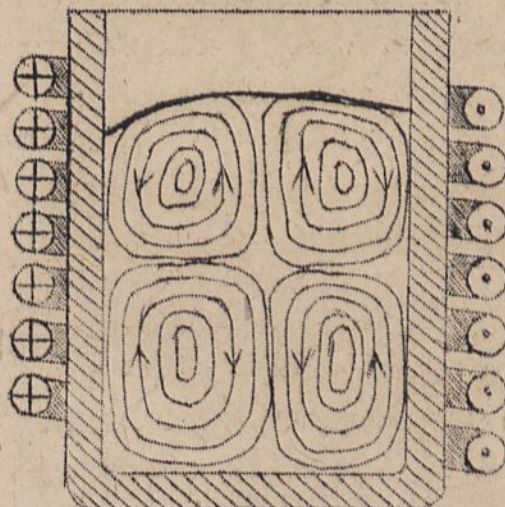
nemu przez promieniowanie .



Rys.199



Rys.200



Rys.201

Przy łuku zamkniętym łuk przechodzi przez metal topiony. Czystość elektrod (węgla) jest rzeczą podstawową. Piece łukowe na prąd trójfazowy mają trzy elektrody.

7.12 Piece indukcyjne

Piece indukcyjne stosowane są w metalurgii. Wykorzystane jest tu przewodnictwo metali. Właściwy piec składa się z pierścienia izolacyjnego nakoło rdzenia z blach żelaznych. Jest to właściwie transformator. Uzwojeniem pierwotnym jest uzwojenie rdzenia, zasilane prądem zmiennym o częstotliwości do 300 Hz, uzwojeniem wtórnym jest metal. Rdzeń chłodzony jest wodą. Metal znajdujący się w wannie traktować można jako jeden zwój. Przy częstotliwościach większych rdzeń jest zbędny. Uzwojenie nawinięte jest bezpośrednio na tyglu i zasila się go z źródła o wielkiej częstotliwości. W samym metalu powstają duże prądy wirowe, metal się grzeje. Jednocześnie powstają tak silne wiry, że metal ulega bardzo dokładnemu wymieszaniu. Dla stali od zimnego wsadu do gotowej stali zużywa się 550-650 kWh na tonę, dla miedzi 300-320

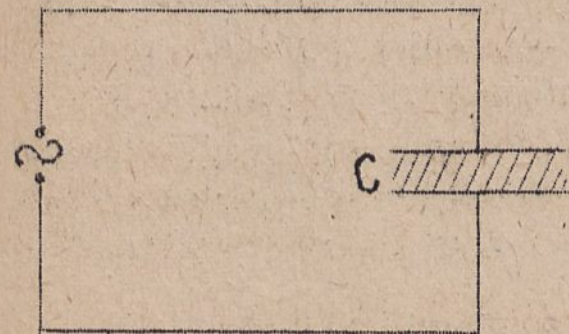
kWh na tonę, dla mosiądzu 250-350 kWh/t, dla brązu 300 do 550 kWh na tonę gotowego materiału.

Dla materiałów niemetalowych (nieprzewodzących) istnieje także możliwość zbudowania pieców elektrycznych o podobnym

charakterze . W materiałach izolacyjnych (źle przewodzących)

przy prądzie o dużej częstotliwości powstają tzw. prądy stratności dielektrycznej.

Jeżeli częstotliwość bardzo rośnie , a inne wielkości są stałe to prąd stratności rośnie i materiał grzeje się. Materiały termoplastyczne mogą podlegać



Rys.202

obróbce w piecach wysokiej częstotliwości. W piecach takich można suszyć nawet drzewo konstrukcyjne ; wilgoć dyfunduje najpierw od środka , tak , że drzewo schnie równomiernie od środka , a więc nie pęka .

Gdy temperatura dojdzie do pewnej wysokości winno nastąpić wyłączenie , przy spadku zaś włączenie - jest to zasada termoregulacji . Do celów termoregulacji najczęściej stosuje się termopary (ogniwa termoelektryczne) , połączone z czułymi przekaźnikami , włączającymi i wyłączającymi samoczynnie prąd grzejny.

7.2 Ogrzewanie

Ogrzewanie elektryczne jest często nieodzowne w pomieszczeniach za mieszkałych przez ludzi . Rozróżniamy 3 sposoby ogrzewania

- a) przez konwekcję
- b) ogrzewanie promieniste (odbłyiskowe)
- c) ogrzewanie bezpośrednie przez przewodzenie

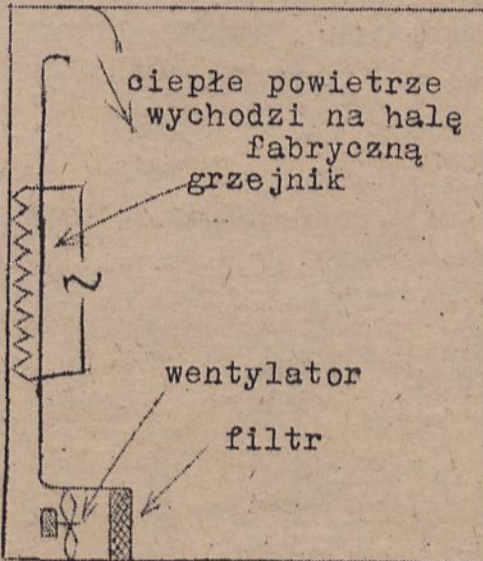
7.20 Ogrzewanie przez konwekcję

Nagrzane powietrze wpuszcza się do hali (np. fabrycznej) strumień ogrzanego powietrza jest suchy i niezdrowy. Można też ogrzewać przez grzejniki umieszczone na stałe pod tynkiem sufitu lub ścian bocznych . Umieszczanie grzejników pod podłogą jest niewskazane , gdyż powoduje unoszenie się kurzu.

Ogrzewanie przez konwekcję jest najkosztowniejszym sposobem ogrzewania. (Rys.203)

7.21 Ogrzewanie promieniste

Ogrzewanie promieniste odbłyiskowe (piecyki odbłyiskowe) jest ekonomiczniejsze , gdyż jest skoncentrowane . Nadaje się do bezpośredniego nagrzewania miejsca pracy . Stosowane bywa



Rys.203.

jako dodatkowe . Przy nieostrożnym użyciu może być niebezpieczne dla zdrowia (przegrzanie organizmu).

7.22 Ogrzewanie bezpośrednie

Ogrzewanie bezpośrednie zaczęto stosować w czasie ostatniej wojny. Ogrzewanie bezpośrednie człowieka następuje przez odpowiednie ubranie i obuwie z wmontowanymi grzejnikami. Energia potrzebna człowiekowi do utrzymania znośnej temperatury wynosi 20 - 30 W.

7.3 Taryfy elektryczne

1) Najprostsza jest opłata ryczałtowa . Jest ona czasem opłacalna , gdyż instalacja jest tańsza (brak licznika). Zamiast licznika wstawia się ogranicznik , t.j. przyrząd działający samoczynnie : przy przekroczeniu określonej mocy przerywa prąd, przy jej zmniejszeniu włącza . System ten ma tę złą stronę, że nie zachęca odbiorcy do oszczędności. Stosuje się dla bardzo małych odbiorców (1-2 punkty świetlne).

2) Taryfa jednoczłonowa . Opłaca się za zużytą energię elektryczną i za licznik

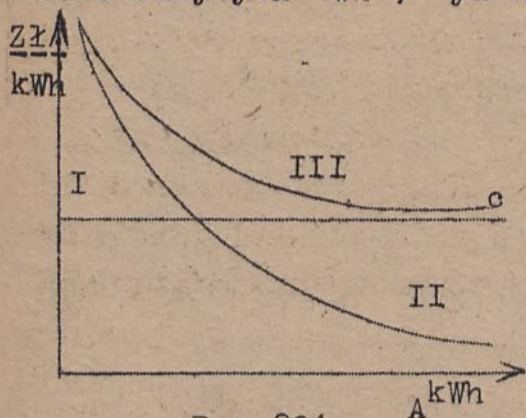
$$S_{zł} = A^{kWh} \cdot c \quad (1)$$

System ten prowadzi do ogólnej oszczędności , ale nie ogranicza mocy pobieranej , w czym jest zainteresowany zakład elektryczny.

3) Taryfa dwuczłonowa składa się z opłaty za zużyta energię elektryczną i z opłaty stałej, uzależnionej od wielkości instalacji :

$$S_{zł} = A^{kWh} \cdot c + B^{kW} \cdot c_1 \quad (2)$$

Cena za 1 kWh uzależniona jest od ilości kWh. Im większa ilość zużytych kWh, tym cena jednostkowa jest mniejsza.



Rys.204

Opłata stała B zależna jest od mocy w instalacji - im moc jest większa, tym opłata stała jest większa.

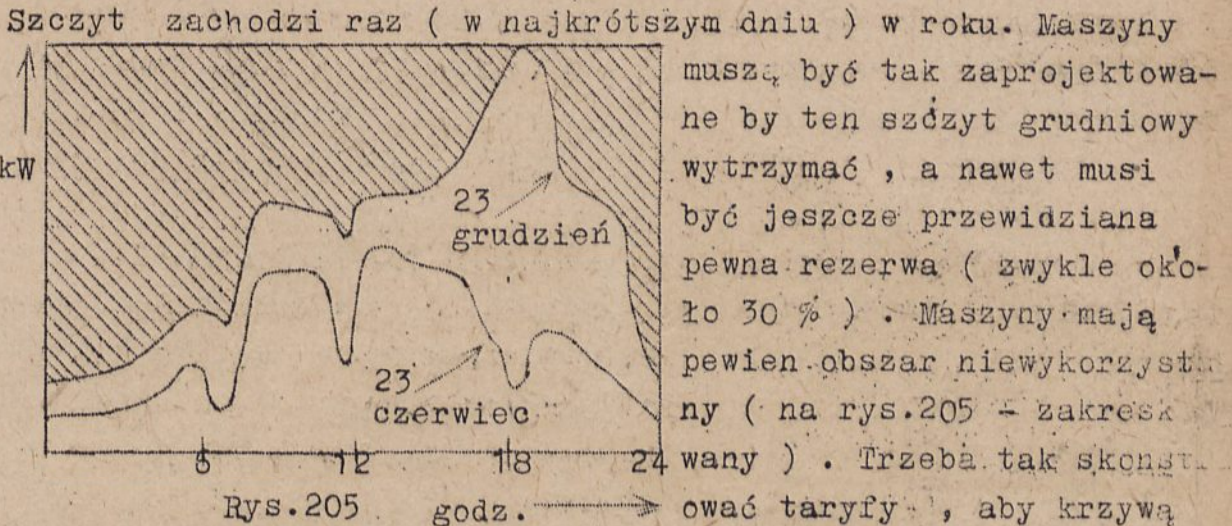
4) Taryfa specjalna stosowana jest dla bardzo dużych odbiorców. Opłata stała B uzależniona jest od najwyższego obciążenia, t.zw.

szczytu obciążenia :

$$S_{zł} = A^{kWh} \cdot c + B^{kW \cdot max} \cdot c_1 \quad (3)$$

Opłata stała może być także uzależniona od $\cos \varphi$. Stosuje się tu liczniki na moc urojoną aby można było określić przeciętny współczynnik mocy ($\cos \varphi$). Ze zmniejszeniem $\cos \varphi$ zwiększa się też opłata stała.

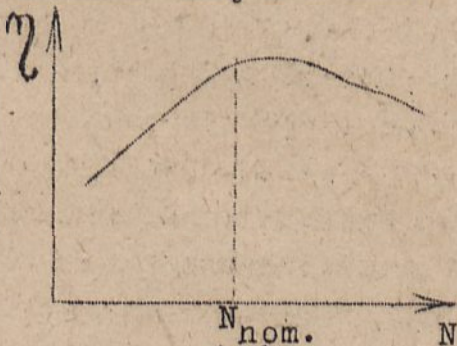
Jak teraz przedstawia się sprawa ze strony wytwórcy ? .. Przy projektowaniu przewodów i urządzeń rozdzielczych trzeba uwzględnić t.zw. współczynnik jednoczesności, to jest stosunek mocy maksymalnej do zainstalowanej. Dla jednego mieszkania współczynnik jednoczesności $k = 0,9$. Prawdopodobieństwo jednoczesnego włączenia dla całego domu jest mniejsze, a zbliżając się w stronę elektrowni współczynnik jednoczesności staje się coraz mniejszy. Współczynnik jednoczesności dla wszystkich odbiorów przyłączonych do jednej elektrowni wynosi około 0,15 i na tę moc t.zn. na ca 15% mocy zainstalowanej musi być elektrownia zbudowana. Przebieg obciążenia całodziennego elektrowni w lecie i w zimie przedstawia rysunek 205.



obciążenia możliwie wyrównać . Obszar ponad krzywami jest niewykorzystany i zadaniem elektrowni jest zachęcić odbiorców do możliwego wyrównania krzywej.

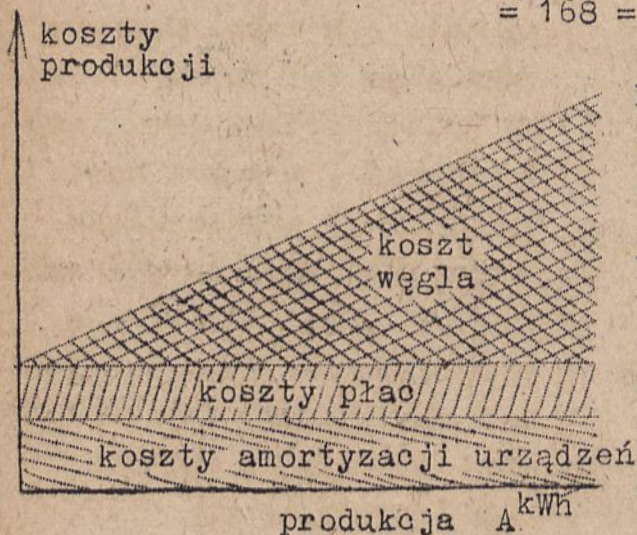
Aby otrzymać 1 kWh trzeba zużyć w urządzeniu wytwórczym około 3600 kcal ciepła , zamiast teoretycznych 860. Po doliczeniu różnych strat ze względu na nierównomierne obciążenie otrzymamy , że na 1 kWh trzeba zużyć około 1 kg węgla. Najbardziej sprawne elektrownie zużywają 0,6 do 0,7 kg węgla na 1 kWh . Elektrownie na węglu brunatnym zużywają znacznie więcej (5-6 kg / kWh) . Ilość ta zależna jest od wielkości i obciążenia maszyn.

Przy małym obciążeniu wszystkie urządzenia mają mniejszą sprawność. Sprawność urządzenia jest największa przy obciążeniu nominalnym.



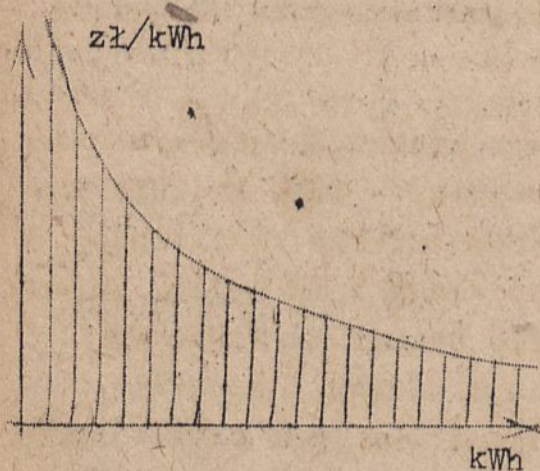
Koszty ogólne można rozbić na poszczególne pozycje , przy tym otrzymamy koszty niezależne od obciążenia (koszty stałe) i zależne od wyprodukowanej energii (koszty zmienne).

Przy przeliczeniu kosztów na koszt kilowatogodziny otrzymamy zależność przedstawioną na rys.207. Koszt jednostkowy jednej kWh jest tym mniejszy im jest większa produkcja energii , t.j. im lepsze wykorzystanie maszyn.

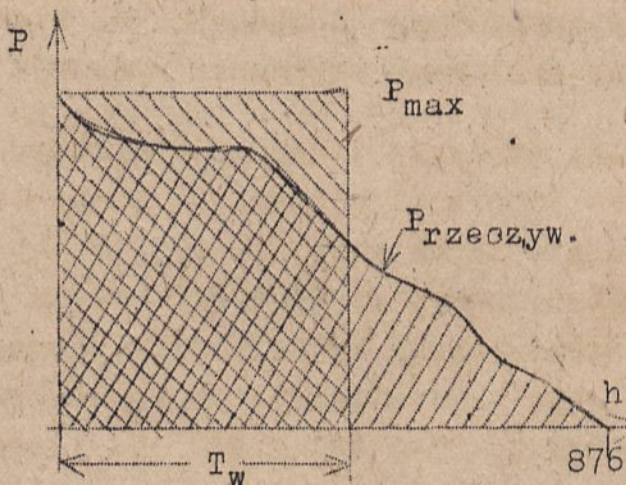


Rys. 207

Miara wykorzystania każdego urządzenia (również i odbiorczego) jest tzw. liczba godzin wykorzystania szczytu. Rozumie się przez to, ile godzin w roku byłyby czynne maszyny, gdyby były w ruchu przy obciążeniu szczytowym, a wyprodukowałyby, względnie zużyłyby tą samą liczbę kWh co w rzeczywistości (rys. 209)



Rys. 208



Rys. 209

Elektrownia musi wywrzeć nacisk na abonenta, by rozłożył możliwie równomiernie obciążenie na całą dobę, oraz aby $\cos \varphi$ był możliwie duży. Wymagane jest minimum $\cos \varphi = 0,8$

W praktyce taryfy indywidualne, z uwzględnieniem współczynnika mocy i wielkości maksymalnej mocy pobieranej (szczytu) stosuje się tylko w przypadku wielkich odbiorców (duże fabryki).

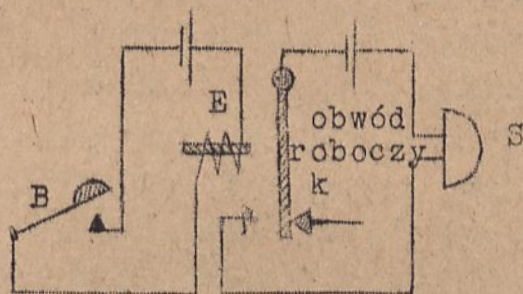
9. Teletechnika

9.0 Wstęp

Zastosowanie prądów słabych w elektrotechnice jest szerokie; regulacja zdalna przyrządów elektrycznych, sygnalizacja, urządzenia zabezpieczające (alarmowe), pomiary na odległość, telefonia, telegrafia, radio, telewizja, radiolokacja itd.

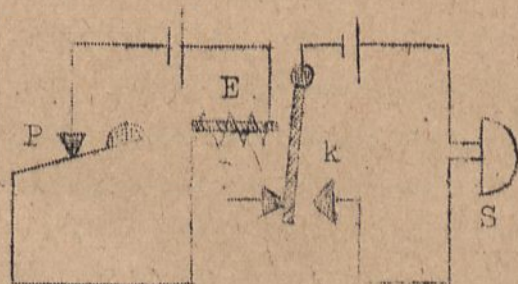
9.1 Sygnalizacja zdalna przyrządów elektrycznych.

Podstawą takiego urządzenia jest przekaźnik, który niewielkim prądem pozwala uruchomić większe urządzenia. Przekaźnik składa się z elektromagnesu E przyciągającego kotwiczka k. Przez



obwód przekaźn. Rys. 210

naciśnięcie przycisku B zostaje przyciągnięta kotwiczka, która powoduje zamknięcie obwodu roboczego i zadziała sygnał S (poćm. tu jako przykład). Przekaźnik ten nazywamy przekaźnikiem na prąd roboczy.



Rys. 211

Drugim typem jest przekaźnik na prąd ciągły. Obwód przekaźnika jest stale pod prądem. Przekaźnik na prąd ciągły nie działa tak długo, póki prąd jest w obwodzie. Z chwilą powstania przerwy w obwodzie przekaźnika, zwalniona zostaje kotwiczka k, obwód roboczy jest zamknięty i zadziała sygnał S. Przekaźnik ten stosuje się wtedy, gdy chodzi o

niezawodność działania, a więc n.p. przy urządzeniach alarmowych.

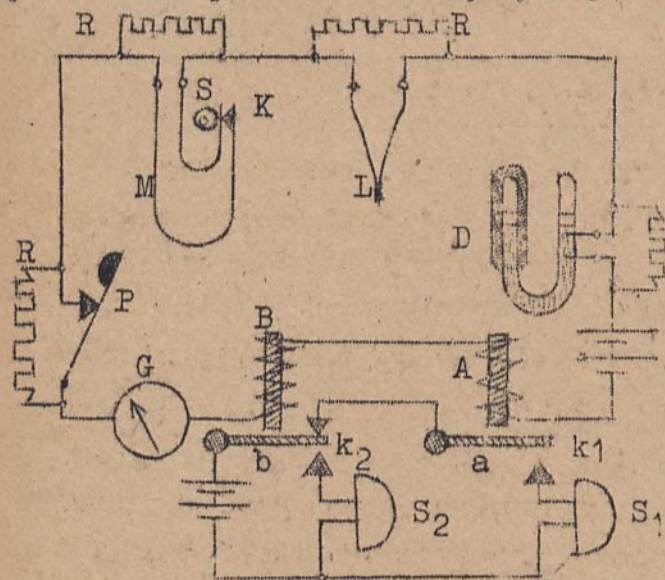
9.2 Systemy zabezpieczające

Do urządzeń zabezpieczających należą: zabezpieczenia od pożaru, zabezpieczenia przeciw-włamaniowe, urządzenia alarmowe przeciwlotnicze i.t.p. Urządzenia te budowane są przeważnie na prąd

ciągły, reagują natychmiast w razie przerwania obwodu przez kaźnika.

9.20 Zabezpieczenia przeciwpożarowe

System ten posiada samowylączające urządzenia meldunkowe



Rys. 212

(M, L, D), które w razie wzrostu temperatury przerywają obwód prądowy. Prąd jednak nie przestaje płynąć, gdyż równolegle do nich włączone są duże opory R. Prąd jaki wtedy popłynie będzie słaby, kotwiczka k_1 spadnie i zadziała sygnał S_1 . Elektromagnes drugi B jest silniejszy, kotwiczka k_2 pozostaje w położeniu niezmi-

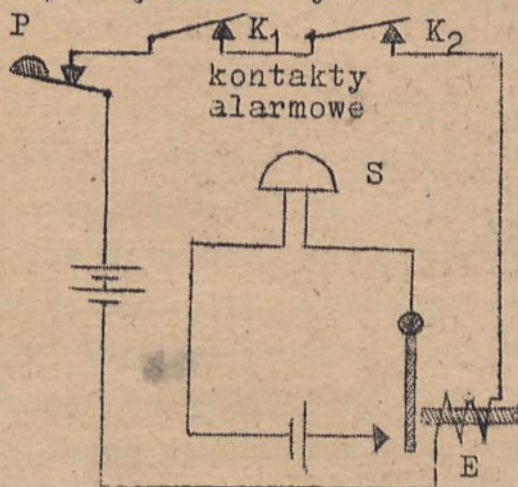
nionym. Kotwiczka k_2 opada w razie uszkodzenia obwodu - zadziała wtedy sygnał S_2 . Sygnały S_1 i S_2 muszą być inne aby móc odróżnić pożar od uszkodzenia linii.

Na rysunku 212 podane są trzy rodzaje wyłączników. Wyłącznik M zbudowany jest na zasadzie rozszerzalności bimetalu. Bimetal jest to spójnienie dwóch metali o różnych współczynnikach rozszerzalności cieplnej. Przy warości temperatury pręty wyginają się niejednakowo i połączenie między nimi zostaje przerwane. Prąd popłynie wtedy przez opór R włączony równolegle i zadziała sygnał S_1 . Połączenie wykonane jest zwykle dla temperatur od $40-90^{\circ}\text{C}$. Wyłącznik L składa się z dwóch sprężynek spojonych łatwo topliwym materiałem. Wzrost temperatury ponad dopuszczalną powoduje rozlutowanie i przerwanie połączenia. Temperaturę można regulować. Zwykle nastawia się na $60-70^{\circ}\text{C}$. Wyłącznik D reaguje na szybkość wzrostu temperatury. Rurka w kształcie litery U wypełniona jest do połowy rtęcią, nad którą znajduje się ciecz łatwo wrząca - a ponad nią próżnia. Jedna strona rurki jest otulona. Urządzenie to włączo-

ne jest w obwód prądu ciągłego . Jeżeli temperatura wzrasta powoli , to ciśnienie w obu ramionach rurki wzrasta jednostajnie . Przy szybkim wzroście temperatury ciecz w ramieniu nieotulonym ogrzewa się gwałtownie , ciśnienie wzrasta szybciej, równowaga rtęci zostaje zachwiana i wyłącznik zostaje wyłączony z obwodu , co uruchamia sygnał alarmowy S_1 .

9.21 Zabezpieczenia przeciw-włamaniowe

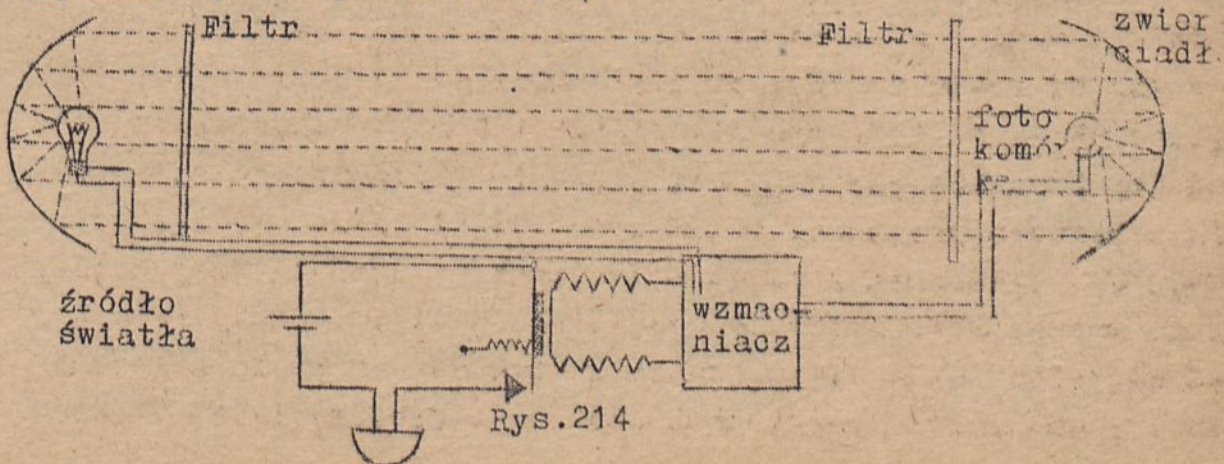
W miejsca , które chcemy zabezpieczyć (np. okna , drzwi) włączamy kontakty alarmowe . Urządzenie składa się z obwodu prądu ciągłego i obwodu przekątnika .



Rys.213

Przy otwarciu drzwi lub okna obwód prądu ciągłego zostaje przerwany (K_1, K_2) i zadziała sygnał alarmowy S . Inne urządzenie zabezpieczające pracuje przy pomocy promieni niewidzialnych i fotokomórki. Źródło światła wysyła wiązkę promieni równoległych. Przechodzą one przez filtr, który przepuszcza tylko promienie niewidoczne dla oka .

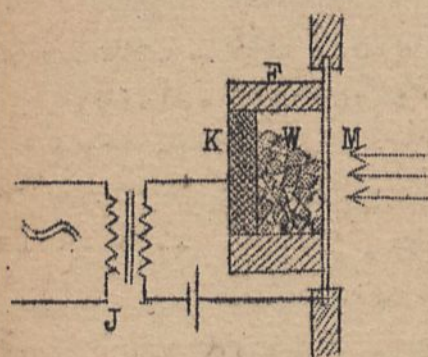
Promienie te biegną przez obiekt chroniony i trafiają na fotokomórkę - w obwodzie płynie prąd . Z chwilą przerwania promienia na chwilę w obwodzie fotokomórki prąd płynąć przestaje i zadziała sygnalizacja . Oświetlenie komórki fotoelektrycznej innym światłem jest bezcelowe, gdyż nie wywoła powstania prądu



Rys.214

9.3 Telefonia

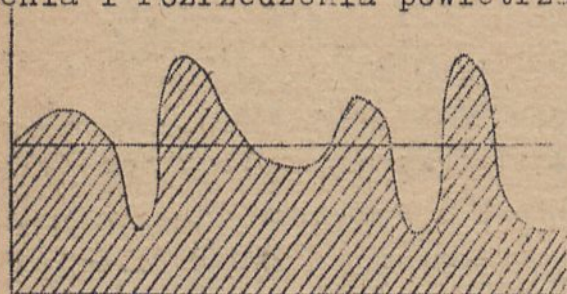
Zasadniczym elementem telefonii jest mikrofon, zmieniający fale akustyczne na prąd, oraz słuchawka zamieniająca prądy, jakie do niej dochodzą na dźwięki. Mikrofon składa się z



Rys.215

cienkiej blaszki ze sprasowanego twardego węgla (membrana) M ujętej w odpowiedni uchwyt, spoczywającej na podkładce filcowej F i na krążku węglowym (klocek bezwładny) K. Przestrzeń pusta między membraną a krążkiem węglowym wypełniona jest niezbyt szczelnie ziarenkami węglowymi (granulkami) W. Wszystko razem ujęte jest w osłonę.

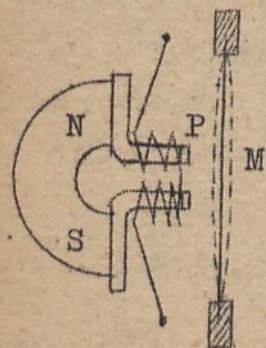
Mikrofon włączony jest w obwód prądu stałego. Membrana zostaje wprowadzona w drgania przez następujące po sobie zagęszczenia i rozrzedzenia powietrza wywołane przez fale głosowe.



Rys.216

Drgania membrany ściskają mniej lub więcej proszek węglowy przez co powstaje zmiana oporu i odpowiednio do niego powstaje zmienny prąd. Gdy membrana jest w spoczynku to w obwodzie płynie prąd o stałym natężeniu.

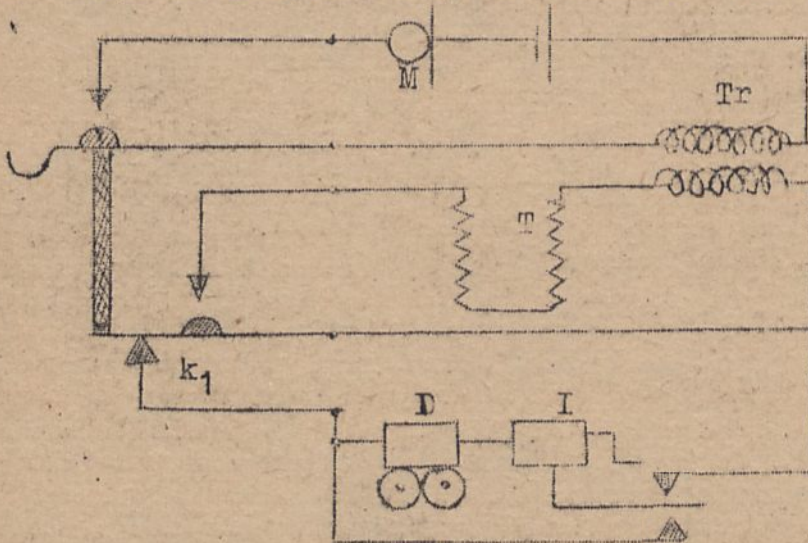
Kształt przebiegu fal, w czasie gdy membrana wprowadzona jest w drgania, jest proporcjonalny do przebiegu ciśnienia. Zagęszczenia i rozrzedzenia powietrza idące z szybkością około 330 m/s są odwzorowane w czasie przez wartość natężenia prądu. Prąd przenosi fale do odbiornika, którym jest telefon.



Rys.217

Jest to magnes stały z nabiegunkami z miękkiego żelaza, na które nawinięta jest cewka. Przed nią jest membrana M, jest to cienka blaszka stalowa. Przesyłanie prądu do słuchawek bezpośrednio ma tę zaletę, że przez obwód płynie ciągle prąd mikrofonu, dający straty. Oddzielamy się od nie-

Telefon z baterią lokalną ma 3 obwody. Pierwszy obwód posiada

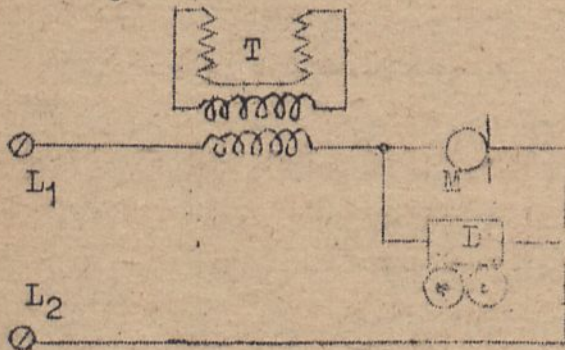


Rys221

mikrofon, baterię i pierwotną cewkę transformatora telefonicznego. Drugi obwód posiada telefon, uzwojenie wtórne transformatora i idzie do linii (L_1, L_2). Trzeci obwód zawiera urządzenie sygnalizacyjne.

Gdy słuchawka wisi zamknięty jest tylko obwód sygnalizacyjny. Gdy ktoś dzwoni, prąd idzie z L_1 przez kontakt spoczynkowy dzwonek D, induktor J do L_2 . Podnosząc słuchawkę zwieramy obwód mikrofonu i niezależny od niego obwód telefonu. Obwód sygnalizacyjny zostaje przerwany.

Telefon automatyczny na baterię centralną nie posiada induktora. Posiada on natomiast tarczę numerową, która zawiera potrzebny obwód.



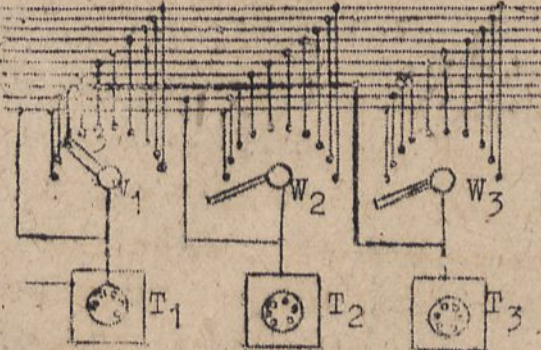
Rys.222

W telefonach automatycznych do wywołania połączenia posługuje się abonent tarczą numerową. Przy przekręcaniu tarczy zostaje naciągnięta sprężyna, która zwraca następnie tarczę. Przez odpowiednie urządzenia uzyskuje się przerywanie obwodu, tyle razy ile wskazuje cyfra na tarczy.

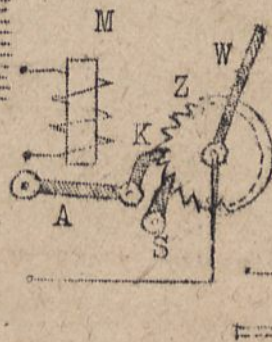
Przerywanie prądu w obwodzie powoduje wywołanie odpowiedniego abonenta. Zasadę działania centrali automatycznej dla 10 abonentów podaje schemat przedstawiony na rysunku 223.

Każdy abonent związany jest z urządzeniem przez wybierak obrotowy W (rys. 224). Jeżeli telefon pierwszy wywoła np. 3, to zostaje automatycznie połączony z telefonem trzecim. Przy centrali zbudowanej dla większej ilości abonentów zamiast wy-

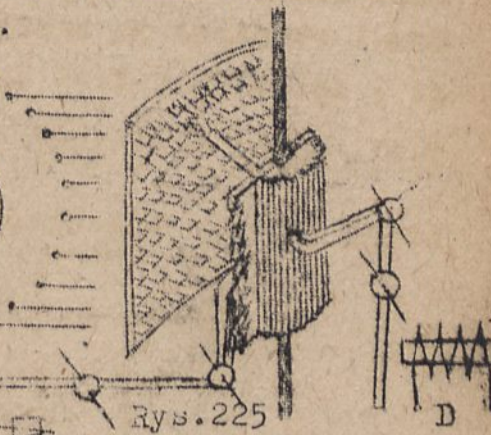
bieraka obrotowego daje się wybierak skokowo-obrotowy. Przesyłanie prądów na duże odległości wymaga wzmocnienia. Wzmocnienie jest możliwe przy pomocy lampy katodowej.



Rys. 223



Rys. 224



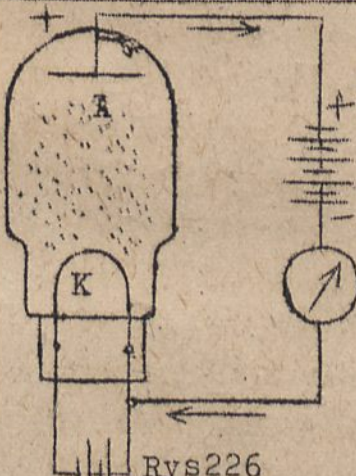
Rys. 225

9.4 Lampa katodowa (lampa elektronowa)

elektrodowa

9.40

Lampa dwuelektrodowa.



Rys. 226

Jedną elektrodę stanowi włókno żarowe z dwoma zaciskami, zasilane prądem stałym (K), drugą elektrodą jest blaszka (A). Katoda rozżarzona do wysokiej temperatury emituje elektrony, które wypełniają próżnię lampy (10^{-6} mm Hg). Elektrony tworzą naokoło elektrody obłok elektronów. Jeżeli blaszkę połączymy z dodatnim biegunem źródła prądu to nastąpi przyciąganie emitowanych przez katodę elektronów. Lampa dwuelektrodowa posiada

jednokierunkową przewodność. Przy prądzie zmiennym otrzymujemy

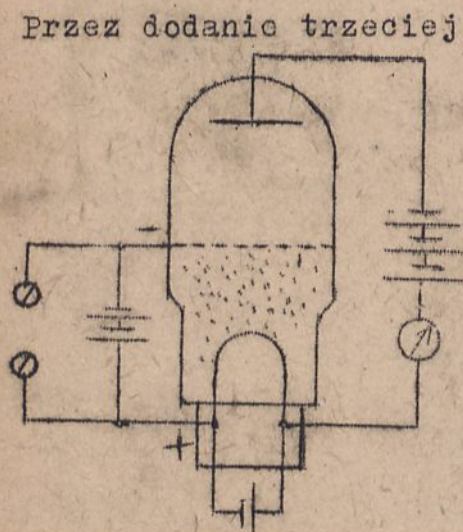


Rys. 227

prąd tętniący. Lampa jest wtedy idealnym prostownikiem. Przez zwiększenie napięcia dodatniego (napięcia anodowego) zwiększa się prąd w obwodzie i osiąga swoje maksimum, zwane prądem nasycenia. Wielkość prądu nasycenia zależy między innymi od temperatury. Włókno może być wolframowe z dodatkiem niektórych me...

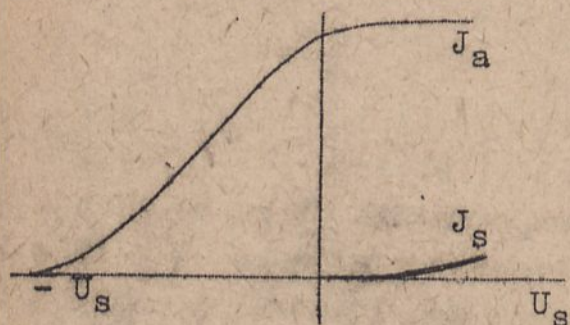
tali lub ich tlenków, wydzielających łatwo elektrony. Lampy dwuelektrodowa ma zastosowania jako prostownik prądu zmiennego, np. w aparatach Roentgena.

9.41. Lampa trójelektrodowa.

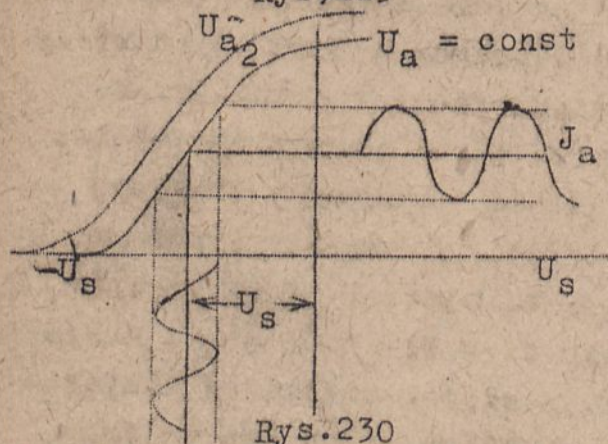


Rys.228

Przez dodanie trzeciej elektrody - siatki otrzymuje się lampę trójelektrodową, która może być użyta jako wzmacniacz. Siatka działa jak przegroda, jeżeli ma znak minus, odpycha i tamuje przepływ elektronów, jeżeli zaś plus to przyspiesza elektrony. Jeżeli siatka ma znak +, to część elektronów dzięki dużej szybkości przelatuje i pada na anodę. Część jednak zostaje przyciągnięta przez druty siatki, tworząc t.zw. prąd siatki. Przy pewnym ujemnym napię-



Rys.229



Rys.230

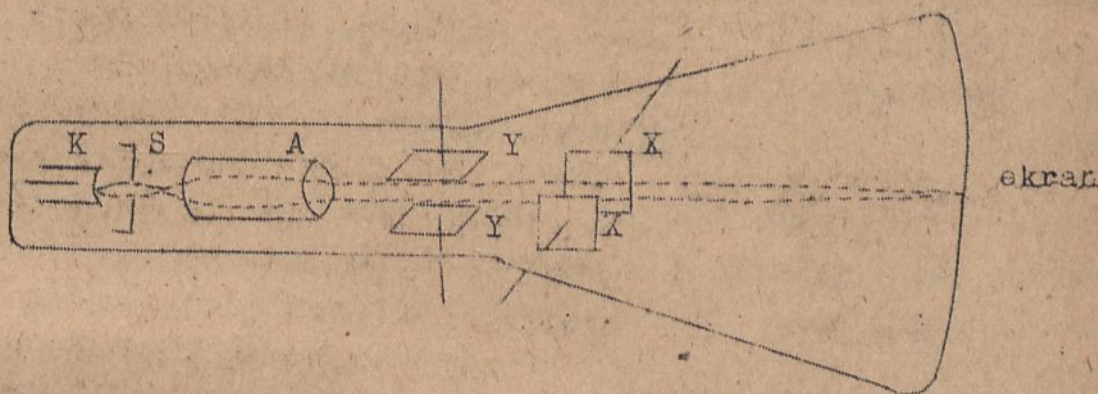
ciu siatki żaden elektron przez siatkę nie przedostanie się. Zjawisko przepływu prądu siatkowego jest szkodliwe (J_s). Działanie wzmacniające siatki wyjaśnia rysunek 230. Niewielka amplituda wzniesienia napięcia siatki (bez pobierania prądu przez nią powoduje znaczne zmiany prądu anodowego; jeżeli przy tym odbywa się to na środkowej, prostej części charakterystyki, to nie będzie odkształcenia kształtu krzywej - co jest bardzo ważne w radiofonii. Siatka nie może mieć potencjału dodatniego, bo wtedy pobiera prąd, co jest

szkodliwe. Zawsze więc otrzymuje napięcie ujemne a zakres pracy jest ściśle ograniczony.

Lampa trójelektrodowa służy także jako generator prądu zmiennego wielkiej częstotliwości. Do specjalnych celów w radio-technice stosuje się również lampy o kilku siatkach.

9.5. Oscylograf (oscyloskop)
katodowy albo elektronowy.

Używa się go w coraz szerszym zakresie do obserwowania i rejestracji zmiennych napięć lub prądów oraz innych szybko zmiennych zjawisk fizycznych, które mogą być zamienione na przebiegi elektryczne.



Rys. 231

Szerokie zastosowanie znajduje w telewizji, radarze i t.p. W najprostszej postaci oscylograf posiada postać szklanej rury próżniowej. W końcu węższym katoda żarzona wysyła elektrony, przyciągane przez anodę, mającą kształt pierścienia lub rurki. Rozpędzone w próżni pod wpływem pola elektrycznego elektrony przelatują dzięki bezwładności przez otwór w anodzie i lecą prostoliniowo aż do końca (do dna) rury, pokrytego materiałem fluorescencyjnym (wolframian strontu i in) dając na nim świecący ślad. Specjalne urządzenia: przesłony, ekrany, cewki magnetyczne (optyka elektronowa) pozwalają skupić pęczek elektronów na ekranie w małą plamkę punktową. Po drodze między anodą i ekranem elektrony biegną pomiędzy dwoma parami równoległych płytek (X-X i Y-Y) ustawionymi w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach.

Jeżeli pomiędzy płytki jednej pary , np. X-X , włączymy napięcie , to elektrony , jako ujemne , będą przyciągane do płytki dodatniej , i to tym silniej , im wyższe napięcie będzie panować między płytkami . Plamka przesuwać się będzie po ekranie i odchylenie jej od położenia początkowego będzie proporcjonalne do napięcia na płytkach . Podobnie działa układ Y-Y . W ten sposób plamka zakreślać może dowolne linie w układzie dwóch współrzędnych X i Y . Zwykle na płyty X-X przykłada się napięcie okresowo zmienne , rosnące ze stałą szybkością do pewnej wartości (oś czasu) , zaś na płyty Y-Y przykłada się napięcie badane . Dzięki bezwładności oka , a częściowo i trwaniu poświaty przez pewien krótki czas , widzimy całą krzywą przebiegu plamki odrazu .

Bezwładność elektronów jest znikomo mała , szybkość ruchu bardzo duża (kilka do kilkudziesięciu tysięcy kilometrów na sekundę) więc oscylograf może notować bardzo szybkie przebiegi . Do przebiegów pojedynczych (nie okresowych) ekrany muszą mieć specjalną , długą fosforyzującą powłokę .

SKROŚĆ ROZDZIAŁÓW

1. Prąd stały 1
 - 1.0 Zjawiska podstawowe 1
 - 1.1 Prawo Ohma 1
 - 1.2 Jednostki podstawowe 3
 - 1.3 Spadek napięcia 4
 - 1.4 Uogólnione prawo Ohma dla obwodów zamkniętych 4
 - 1.5 Ilość elektryczności 5
 - 1.6 Oporność i przewodność 6
 - 1.7 Związek między energią elektryczną i mechaniczną 8
 - 1.8 Związek między energią elektryczną a ciepłem 8
 - 1.9 Łączenie szeregowe oporności 9
 - 1.10 Prawo Kirchoffa 9
 - 1.11 Łączenie równoległe oporności 10
 - 1.12 Łączenie źródeł prądu 11
 - 1.13 Elektroliza 12
 - 1.13.1 Zastosowania elektrolizy 14
 - 1.14 Polaryzacja 15
 - 1.15 Ogniwa galwaniczne 16
 - 1.16 Akumulatory 18
 - 1.16.0 Akumulatory ołowiowe 18
 - 1.16.1 Akumulatory żelazo-niklowe 21

2. Zjawiska magnetyczne 22
 - 2.0 Natężenie pola magnetycznego 22
 - 2.1 Pole magnetyczne prądu 23
 - 2.2 Obwód magnetyczny 25
 - 2.3 Histereza 26
 - 2.4 Działanie dynamiczne pola magnetycznego na prąd 27
 - 2.5 Ruch przewodu w polu magnetycznym 28
 - 2.6 Samoindukcja 30
 - 2.7 Zjawisko prądów wirowych 32
 - 2.8 Zjawisko naskórkowości 33

3. Prąd zmienny 34
 - 3.0 Pojęcia ogólne 34
 - 3.1 Wartość średnia prądu zmiennego 37
 - 3.2 Wartość skuteczna prądu zmiennego 37
 - 3.3 Proste obwody prądu zmiennego 39
 - 3.30 Obwód zawierający tylko oporność rzeczywistą R 39
 - 3.31 Obwód zawierający tylko indukcyjność 40
 - 3.32 Obwód zawierający tylko pojemność 42
 - 3.33 Obwód zawierający oporność omową i indukcyjność 43
 - 3.34 Obwód zawierający oporność, indukcyjność i pojemność. Rezonans 46
 - 3.4 Łączenie szeregowe odbiorników 48
 - 3.5 Łączenie równoległe odbiorników 49
 - 3.6 Moc prądu zmiennego 51
 - 3.7 Prądy trójfazowe 53
 - 3.70 Układy trójfazowe połączone w gwiazdę 54
 - 3.71 Układy trójfazowe połączone w trójkąt 56
 - 3.72 Moc prądu trójfazowego 58

- 4. Maszyny elektryczne 60
 - 4.0 Wstęp 60
 - 4.1 Maszyny prądu zmiennego 60
 - 4.10 Prądnicę prądu zmiennego 60
 - 4.10.0 Magneśnica 61
 - 4.10.1 Twornik 61
 - 4.10.2 Częstotliwość 62
 - 4.10.3 Prądnicę szybko- i wolnobieżne 62
 - 4.10.4 Tworniki prądnic prądu 3-fazowego 63
 - 4.10.5 Współczynnik sprawności 64
 - 4.10.6 Własności prądnic 64
 - 4.10.7 Charakterystyka zewnętrzna 64
 - 4.10.8 Synchronizacja 65
 - 4.11 Silniki prądu zmiennego 66
 - 4.11.0 Trójfazowe silniki asynchroniczne klatkowe 66
 - 4.11.01 Pole wirujące 66
 - 4.11.02 Poślizg 68
 - 4.11.03 Częstotliwość 69
 - 4.11.04 Moment obrotowy 69
 - 4.11.1 Trójfazowe silniki asynchroniczne pierścieniowe 70
 - 4.11.2 Trójfazowe silniki asynchroniczne dwuklatkowe 72
 - 4.11.3 Jednofazowe silniki asynchroniczne 73
 - 4.11.4 Silniki asynchroniczne 73
 - 4.2 Maszyny prądu stałego 74
 - 4.20 Prądnicę prądu stałego 74
 - 4.20.0 Prądnicę szeregową 77
 - 4.20.1 Prądnicę bocznikową 78
 - 4.20.2 Prądnicę szeregowo-bocznikową 79
 - 4.20.3 Oddziaływanie twornika 79
 - 4.21 Silniki prądu stałego 81
 - 4.21.0 Silniki szeregowe 83
 - 4.21.1 Silniki bocznikowe 84
 - 4.3 Sprawność i straty 85
 - 4.4. Silniki komutatorowe 86
 - 4.40 Jednofazowe silniki szeregowe 86
 - 4.41 Silniki repulsyjne 87
 - 4.42 Silniki trójfazowe komutatorowe 88
 - 4.42.0 Silniki trójfazowe komutatorowe szeregowe 88
 - 4.42.1 Silniki trójfazowe komutatorowe bocznikowe 88
 - 4.5 Przetwornice 89
 - 4.50 Wstęp
 - 4.51 Przetwornice dwumaszynowe
 - 4.52 Przetwornice jednotwornikowe
 - 4.53 Przetwornice dwutwornikowe

- 4.6 Prostowniki 90
 - 4.60 Wstęp 90
 - 4.61 Prostowniki stykowe 90
 - 4.62 Prostowniki rtęciowe 91
 - 4.63 Prostowniki katodowe 93
- 4.7 Transformatory 93
 - 4.70 Wstęp 94
 - 4.71 Transformatory jednofazowe 94
 - 4.72 Transformatory trójfazowe 96
 - 4.73 Autotransformatory 97
 - 4.74 Transformatory miernicze 98
 - 4.74.0 Transformatory prądowe 98
 - 4.74.1 Transformatory napięciowe 99
 - 4.75 Praca równoległa transformatorów 99
- 5. Pomiary elektryczne 100
 - 5.0 Wstęp 100
 - 5.1 Przyrządy magneto-elektryczne 101
 - 5.10 Rozszerzenie skali przyrządów magneto-elektrycznych 104
 - 5.2 Przyrządy elektromagnetyczne 106
 - 5.3 Przyrządy elektrodynamiczne 107
 - 5.4 Przyrządy cieplne 109
 - 5.5 Przyrządy indukcyjne 109
 - 5.6 Przyrządy ze skrzyżowanymi cewkami (astatyczne) 111
 - 5.7 Przyrządy elektrostatyczne 11
 - 5.8 Przyrządy z wbudowanym termoogniwem 112
 - 5.9 Częstotłomierz 112
 - 5.10 Symbole 113
 - 5.11 Pomiary 114
 - 5.11.0 Pomiary oporności 114
 - 5.11.00 Metoda techniczna 114
 - 5.11.01 Pomiar oporności mostkiem Wheatstone'a 116
 - 5.11.02 Pomiar oporności mostkiem Kohlrausch 117
 - 5.11.03 Pomiar oporności mostkiem Thomsona 118
 - 5.11.1 Pomiary napięcia 119
 - 5.11.2 Pomiary mocy 120
 - 5.11.20 Pomiar mocy w układzie jednofazowym 120
 - 5.11.21 Pomiar mocy w układzie trójfazowym 121
 - 5.11.3 Pomiar energii elektrycznej 123
 - 5.11.30 Liczniki elektrolityczne 123
 - 5.11.31 Liczniki dynamometryczne 123
 - 5.11.32 Liczniki indukcyjne 125
 - 5.11.4 Pomiary zdalne 126
 - 5.11.40 Pomiar liczby obrotów 126
 - 5.11.41 Pomiary temperatur 127

5.11.41.0 Termometr oporowy 127

5.11.41.1 Termoogniwo 128

5.11.41.2 Pyrometry 129

5.11.5 Analizator 129

6. Urządzenia elektryczne 130

6.0 Wstęp 130

6.1 Instalacje w budynkach 133

6.2 Przewody 133

6.3 Zabezpieczenie przewodów 134

6.4 Obliczanie przewodów 135

6.5 Symbole graficzne 139

6.6. Oznaczenia oraz schematy połączeń łączników 141

6.7 Niebezpieczeństwo porażenia i zabezpieczenie od niego 142

6.70 Obniżenie napięcia 143

6.71 Uziemienie 144

6.72 Zerowanie 145

6.73 Wyłączniki ochronne 145

7. Oświetlenie 147

7.0 Światło 147

7.1 Pojęcia wstępne 148

7.10 Światłość 148

7.11 Strumień świetlny 149

7.12 Ilość światła 149

7.13 Jasność 149

7.14 Jaskrawość 150

7.15 Sprawność 150

7.16 Wydajność

7.2 Rozsył światła 150

7.3 Źródła światła 152

7.30 Lamy żarowe 125

7.31 Lamy łukowe 155

7.32 Lamy rtęciowe 155

7.33 Lamy sodowe 155

7.34 Lamy świetlące 156

7.35 Lamy jarzeniowe 156

7.4 Warunki dobrego oświetlenia 157

8. Grzejnictwo 158

8.0 Wstęp 158

8.1 Piece elektryczne 158

8.10 Piece oporowe 158

8.11 Piece łukowe 163

8.12 Piece indukcyjne 163

8.2 Ogrzewanie 164

8.20 Ogrzewanie przez konwekcję 164

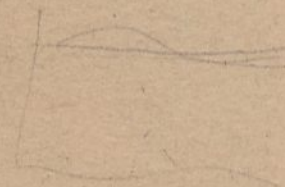
8.21 Ogrzewanie promieniste 165

8.22 Ogrzewanie bezpośrednie 165

8.3 Taryfy elektryczne 165

$$u = \frac{U}{\sqrt{R_m + R_m}}$$

$$I = I_{\text{prz}}$$

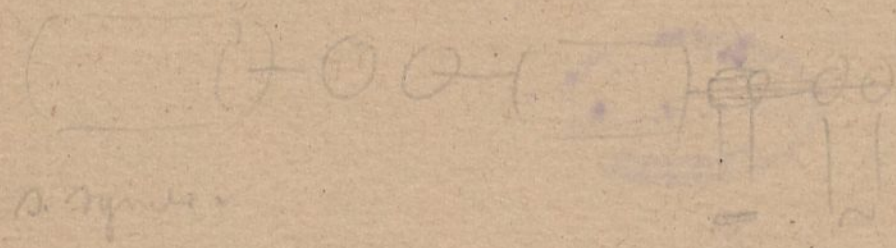
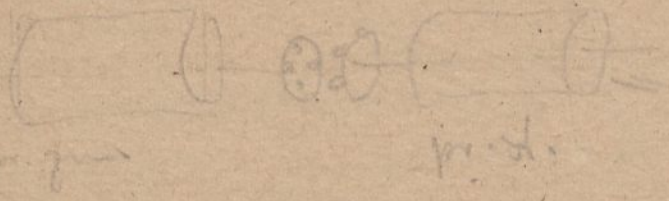


- 9. Teletechnika 169
 - 9.0 Wstęp 169
 - 9.1 Sygnalizacja zdalna przyrządów elektrycznych 169
 - 9.2 Systemy zabezpieczające 169
 - 9.20 Zabezpieczenia przeciwpożarowe 170
 - 9.21 Zabezpieczenia przeciwwłamaniowe 171
 - 9.3 Telefonia 172
 - 9.4 Lampa katodowa 175
 - 9.40 Lampa dwuelektrodowa 175
 - 9.41 Lampa trójelektrodowa 176
 - 9.5 Oscylograf (oscylloskop) katodowy, dwuelektrodowy 177.

.....



10-13
120-13
170-13
1/10



1/6 241
Knox

u



BIBLIOTEKA GŁÓWNA

345441L/1