

C o m p t e r e n d u
d e s d e v o i r s o b l i g a t o i r e s

a/ les devoirs faits à l'école.

b/ les devoirs faits à la maison.

S p r a w o z d a n i e
z ć w i c z e ń o b o w i ą z k o w y c h.

a/ ćwiczenia szkolne,

b/ ćwiczenia domowe.

Ćwiczenia obejmują przykłady liczbowe, stojące w ścisłym związku z wykładanym materiałem.

Ćwiczenia szkolne odbywają się raz na tydzień i trwają dwie godziny. Jedno ćwiczenie zawiera trzy do sześciu przykładów, których wypracowanie następuje bezpośrednio po odpisaniu tematów.

Ćwiczenia domowe obejmują przykłady, wymagające większego nakładu pracy.

Na program ćwiczeń składa się:

1/ Elektrostatyka / około 15 zadań /:

a/ Pole elektrostatyczne, natężenie pola, indukcja, potencjał, praca w polu elektrostatycznym.

b/ Kondensatory: obliczanie pojemności kondensatorów płaskich, kulistych, kabli itp..

c/ Przykłady dotyczące przebicia dielektryków.

2/ Magnetostatyka / około 8 przykładów /:

a/ Pole magnetostaticzne, natężenie pola, indukcja, praca w polu magnetostaticznym, prawo Gaussa.

b/ Ścinanie magnetyczne.

3/ Teoria obwodu / około 25 zadań /:

a/ Prawo Ohma.

b/ Prawa Kirchhoffa.

c/ Równania Maxwella.

d/ Równania Coltriego.

e/ Zasada superpozycji.

f/ Zasada wyodrębnienia.

g/ Transfiguracja sieci do pojedynczego koła prądu.

h/ Moc, moc układów n-przewodowych, oraz sposoby jej pomiaru.

i/ Praca, koszt energii elektr. z uwzględnieniem współczynnika sprawności .

4/ Działania prądów stałych / około 20 zadań / :

a/ Działania cieplne: Prawo Joule'a.

b/ Działania magnetyczne: busola stycznych, natężenie pola magnetycznego w pierścieniu, toroidzie, solenoidzie, natężenie polamagn. pochodzące od dowolnie ukształtowanej strugi płaskiej prądu, obwód magnetyczny pojedynczy, złożony z zastosowaniem do maszyn elektrycznych.

c/ Działania elektrodynamiczne: / około 8 przykładów /:

działanie pola magnetycznego na przewodnik pod prądem, działanie dwu przewodników pod prądem na siebie.

d/ działania indukcyjne: induktor ziemski, zastosowania galvanometru ballistycznego, obliczanie SEM-cznej w maszynach elektr. i cewkach.

5/ Prąd zmienny / około 30 zadań / :

a/ Prawa Ohma i Kirchhoffa dla prądów zmiennych, załączanie oscylografu cechowanego prądem stałym.

b/ Opór omowy, indukcja i pojemność

c/ Prąd sinusoidalny.

d/ Metoda symboliczna rozwiązywania obwodów o prądach sinusoidalnych.

e/ Wykresy promieniste /wektorjalne/ dla prądów sinusoidalnych.

f/ Transformator.

Lwów 11 marca 1929.

Fryza
Dr. Inż. Stanisław Fryze
prof. Politechn. Lwowskiej

1. Ćwiczenie szkolne z elektrotechniki ogólnej

Kazimierz Nowicki

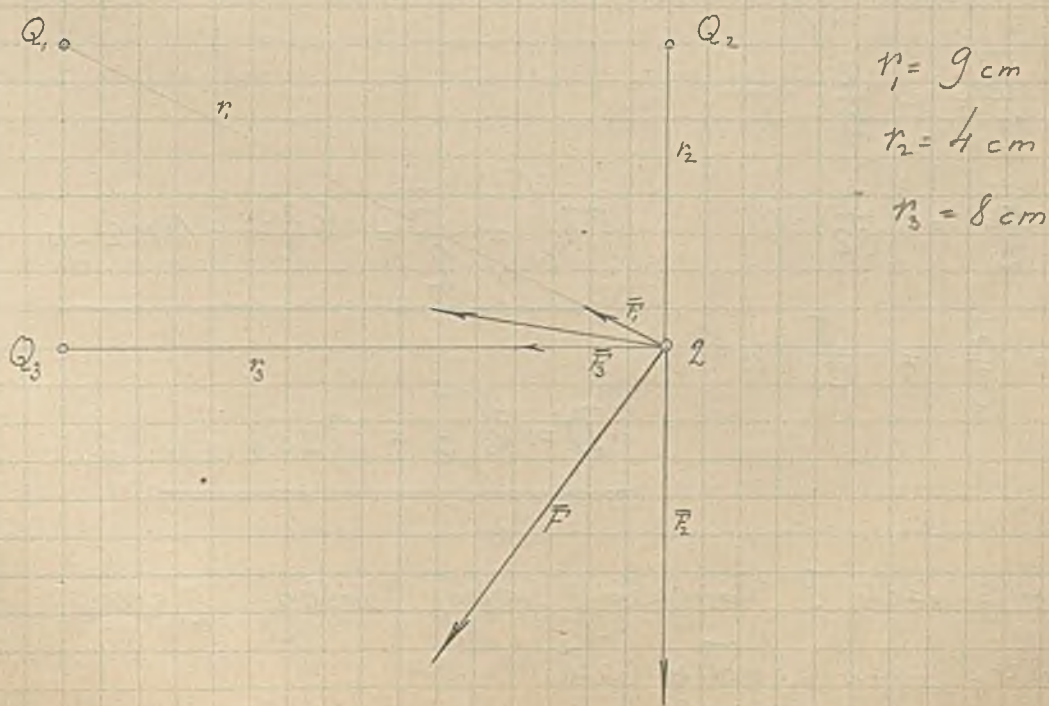
wydz. mechan.
różn. nauk 1928/29

Lwów, 5. X. 1928.

Temat:

- 1.) Jakie jest działanie dynamiczne naboju Q_1, Q_2 i Q_3 na nabój q w dynach i $\mathcal{K}g$.
- 2.) Wyznaczyć w dowolnym punkcie (P) natężenie pola elektrycznego (\mathcal{K}) oraz indukcję (D) i podać jak wielka siła działałaby na umieszczony w tym punkcie nabój $q' = 4 \text{ JES}$.
- 3.) Jak wielki nabój z indukuje się na przewodniku opow. $s = 4 \text{ mm}^2$, ustawionym pod kątem 30° do linii sił.
Dane: $Q_1 = -4 \text{ JES}$; $Q_2 = +3 \text{ JES}$; $Q_3 = -5 \text{ JES}$; $q = 2 \text{ JES}$; $\epsilon = 2$

Ad 1.
sytuacja:



Obliczenie sił składowych w myśl wzoru: $F = \frac{Q \cdot q}{\epsilon r^2}$

$$F_1 = \frac{-4 \cdot 2}{2 \cdot 81} = -\frac{4}{81} \text{ dyn} = -0,049 \text{ dyn} = -4,99 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{3 \cdot 2}{2 \cdot 16} = \frac{3}{16} \text{ dyn} = 0,19 \text{ dyn} = 1,94 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

$$F_3 = \frac{-5 \cdot 2}{2 \cdot 64} = -\frac{5}{64} \text{ dyn} = -0,078 \text{ dyn} = -7,9 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

Niechaj 10^{-7} N wyrażone będzie wektorem o dł. 2,5 cm

$$\text{to } \vec{F}_1 = -1,25 \text{ cm}; \vec{F}_2 = 4,75 \text{ cm}; \vec{F}_3 = -2 \text{ cm}$$

znajdź te wielkości na plan i otrzymujmy
wynikowe

$$\vec{F} = 5,2 \text{ cm}; \text{ czyli}$$

$$F = 2,08 \cdot 10^{-7} \text{ N} = 0,204 \text{ dyn}$$

Nabój więc q doznaje działania dynamicznego
o wielkości 0,204 dyn; kierunek działania
wykazuje strzałka wektora \vec{F} .

Ad 2.

Ta sama sytuacja co w zad. 1.

$$K_1 = \frac{F_1}{q} = -\frac{2}{81} \text{ cgs}$$

$$K_2 = \frac{F_2}{q} = \frac{3}{32} \text{ cgs}$$

$$K_3 = \frac{F_3}{q} = -\frac{5}{128} \text{ cgs}$$

$$K = \frac{F}{q} = \frac{0,204}{2} = 0,102 \text{ cgs}$$

$$D = K \cdot \epsilon = 0,204 \text{ cgs}$$

Gdy w punkcie P umieścimy nabój próbny $q_1 = 4 \text{ cgs}$
to działac nań będzie siła

$$F_2 = K \cdot q_1 = 0,408 \text{ dyn} = 4,16 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

A23.

$$Q_i = \frac{D \cdot ds \cdot \cos \alpha}{4\pi}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$Q_i = \frac{0,204 \cdot 0,04 \cdot 0,5}{4\pi}$$

$$Q_i = 0,000325 \text{ cgs.}$$

PH

Ćwiczenie 2.

Dane są trzy naboje:

$$Q_1 = 4 \text{ JES}, \quad Q_2 = -6 \text{ JES}, \quad Q_3 = 5 \text{ JES}$$

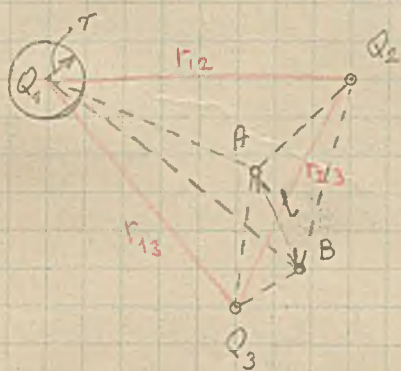
naboje Q_2 i Q_3 są nabojami punktowymi, zaś Q_1 jest położony na kuli o promieniu $r = 2 \text{ cm}$.

$$\epsilon = 4.$$

Obliczyć:

- energję pola tego układu
- napięcie między 2 dowolnymi punktami A-B
- przybliżoną składową natężenia pola K_{AB} z wzoru $\frac{\Delta V}{\Delta l}$
- pracę transportu naboju $q = -8 \text{ JES}$ od B do A.
- energję zawartą w 5 mm^3 w pobliżu p. A.

a).



$$r_{12} = 4 \text{ cm}$$

$$r_{13} = 4 \text{ cm}$$

$$r_{23} = 3,4 \text{ cm}$$

$$W = \frac{1}{2} (Q_1 V_1 + Q_2 V_2 + Q_3 V_3)$$

$$V_1 = \frac{1}{\epsilon} \left[\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_{12}} + \frac{Q_3}{r_{13}} \right] =$$

$$= \frac{1}{4} \left(\frac{4}{2} - \frac{6}{4} + \frac{5}{4} \right) = \frac{7}{16} \text{ cgs}$$

$$V_1 = 0,438$$

$$V_2 = \frac{1}{4} \left(\frac{Q_1}{r_{12}} + \frac{Q_3}{r_{23}} \right) = \frac{1}{4} \left(\frac{4}{4} + \frac{5}{3,4} \right) =$$

$$= 0,618 \text{ cgs}$$

$$V_3 = \frac{1}{4} \left(\frac{Q_1}{r_{13}} + \frac{Q_2}{r_{23}} \right) =$$

$$= \frac{1}{4} \left(\frac{4}{4} - \frac{6}{3,4} \right) = -0,19 \text{ cgs}$$

$$W = \frac{1}{2} (4 \cdot 0,438 - 6 \cdot 0,618 - 5 \cdot 0,19) = \frac{1}{2} (-2,9)$$

$$W = -1,45 \text{ ergów}$$

Napięcie między dwoma punktami w polu elektrostatycznym równe jest różnicy potencjałów tych punktów.

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (\text{tj. napięcie od } A \text{ do } B)$$

$$V_a = \frac{1}{\epsilon} \sum \left(\frac{Q_i}{r_{ia}} \right)$$

$$V_b = \frac{1}{\epsilon} \sum \left(\frac{Q_i}{r_{ib}} \right)$$

nawias oznacza, że naboje Q_i należy wstawiać z przynależnością do nich znakami.

Σ - oznacza sumę algebr.

$$U_{ab} = \frac{1}{\epsilon} \left[\sum \left(\frac{Q_i}{r_{ia}} \right) - \sum \left(\frac{Q_i}{r_{ib}} \right) \right] \quad \text{z rysunku odczytaj:$$

$$r_{1A} = 3,5 \text{ cm}$$

$$r_{1B} = 4,2 \text{ cm}$$

$$r_{2A} = 1,5 \text{ cm}$$

$$r_{2B} = 1 \text{ cm}$$

$$r_{3A} = 1,8 \text{ cm}$$

$$r_{3B} = 2,5 \text{ cm}$$

$$U_{ab} = \frac{1}{4} \left[\frac{4}{3,5} - \frac{4}{4,2} - \frac{6}{1,5} + \frac{6}{1} + \frac{5}{1,8} - \frac{5}{2,5} \right] = +0,75 \text{ JES}$$

$$U_{ab} = 0,75 \cdot 300 = 225 \text{ Voltów}$$

znak + oznacza, że potencjał punktu A jest większy od potencjału punktu B.

c). Przybliżona średnia składowa natężenia pola od A do B wynosi:

$$K_i = -\frac{\Delta V}{\Delta L} = -\frac{(-U_{ab})}{1,5} = +0,5 \text{ JES met.}$$

$$K_i = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ Volt/cm}$$

$$\Delta L = 1,5 \text{ cm [z rysunku]}$$

ΔV idąc w kier. od A do B, idąc w kierunku malejącego potencjału, więc $\Delta V < 0$.

znak + dla K_i oznacza, że fizyczny kierunek natężenia pola jest zgodny z tym samym \vec{E} od A do B.

d.)

Praca transportu ładunku $Q = -8 \text{ JES}$ od punktu b do a określa się wzorem:

$$A_{ba} = U_{ba} \cdot Q$$

$$U_{ba} = -U_{ab} = -0,75 \text{ JES pot.}$$

$$A_{ba} = -0,75 \cdot (-8) = +6 \text{ ergów}$$

znak + oznacza, że praca powyższa jest wykonana kosztem [pola] ładunku.

e.) Energia ^{zawarta} w elemencie objętości w polu elektrostatycznym jest określona wzorem:

$$dW = \frac{D \cdot K}{8\pi} \cdot dV$$

dane: $Q_1 = 4 \text{ cgs}$
 $Q_2 = -6 \text{ cgs}$
 $Q_3 = -5 \text{ cgs}$

dW - w ergach

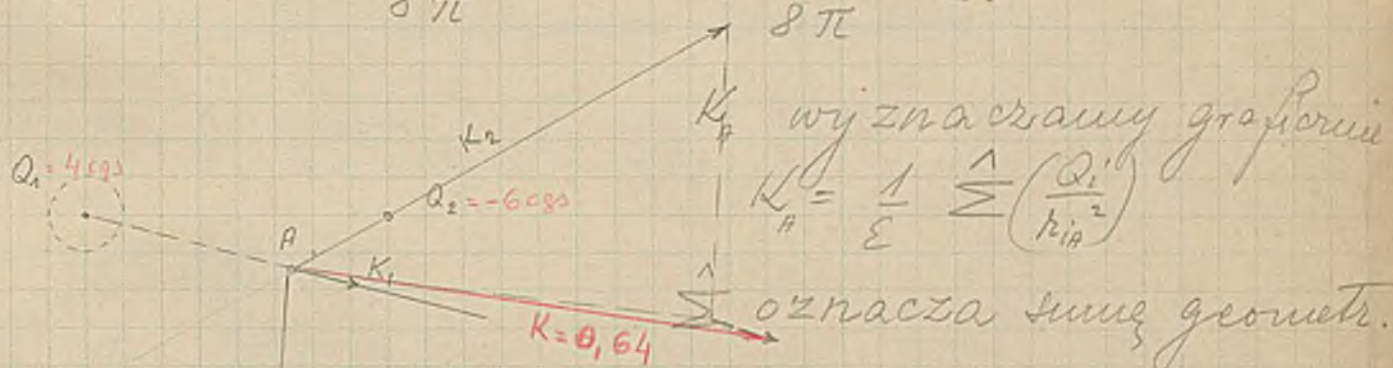
D - indukcja w JES

$$D = \epsilon \cdot K$$

K - natężenie pola

dV = element objętości w cm^3

$$\Delta W \approx \frac{D \cdot K}{8\pi} \cdot \Delta V = \frac{\epsilon \cdot K^2}{8\pi} \cdot \Delta V$$



$$K_A = \frac{1}{\epsilon} \sum \left(\frac{Q_i}{r_{iA}^2} \right)$$

$$K_{1A} = \frac{Q_1}{\epsilon \cdot r_{1A}^2} = \frac{4}{4 \cdot 3,5^2} = 0,082 \text{ cgs}$$

$$K_2 = \frac{Q_2}{\epsilon \cdot r_{2A}^2} = \frac{-6}{4 \cdot 1,5^2} = -0,667 \text{ cgs}$$

$$K_3 = \frac{Q_3}{\epsilon \cdot r_{3A}^2} = \frac{-5}{4 \cdot 1,8^2} = -0,38 \text{ cgs}$$

Skala: $1 \text{ cm} = 0,1 \dots K \text{ JES}$

K + skierowane od ładunku

K - " " ku ładunkowi

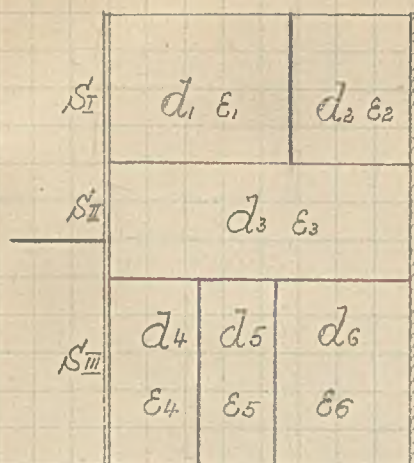
= wykresem odczytano $K_A = 0,64 \text{ JES}$

$$dW = \frac{4 \cdot 0,64^2}{8 \cdot 3,14} \cdot 0,005 = 0,000326 \text{ ergów}$$

Lwów 12. 10. 1928.

Paweł Wilk

Ćwiczenie 3.



$$\text{Dane } S_I = 20 \text{ cm}^2 \quad S_{II} = 15 \text{ cm}^2 \quad S_{III} = 25 \text{ cm}^2$$

$$d_1 = 12 \text{ } \mu\text{m} \quad \epsilon_1 = 4.$$

$$d_2 = 8 \text{ } \mu\text{m} \quad \epsilon_2 = 2.$$

$$d_3 = 20 \text{ mm} \quad \epsilon_3 = 1.$$

$$d_4 = 6 \text{ mm} \quad \epsilon_4 = 3.$$

$$d_5 = 5 \text{ mm} \quad \epsilon_5 = 5.$$

$$d_6 = 9 \text{ mm} \quad \epsilon_6 = 3.$$

$$U = 30000 \text{ V.}$$

- Obliczyć:
- pojemność C całego układu
 - K i D w każdej warstwie.
 - proszekólnie napięcia $U_1, U_2, U_3, \dots, U_6$.
 - gęstość σ w każdej warstwie
 - Zawartość energii w poszczególnej warstwach.
 - Energję całkowitą kond. (kontrola)

~ Rozwiązanie ~

- a) Obliczenie pojemności przekrojowe kondensatora przez C_I, C_{II}, C_{III} (zależnie od pow. S_I, S_{II}, S_{III})

$$C_I = \frac{S_I}{4\pi} \cdot \frac{1}{d_1/\epsilon_1 + d_2/\epsilon_2} = \frac{20}{4\pi} \cdot \frac{10}{3+4} = \frac{50}{7\pi}$$

$$C_I = 2,27 \text{ cm} \dots$$

$$C_{II} = \frac{S_{II} \cdot \epsilon_3}{4\pi d_3} = \frac{15}{8\pi} \dots$$

$$C_{II} = 0,597 \text{ cm} \dots$$

$$C_{III} = \frac{S_{III}}{4\pi} \cdot \frac{1}{d_4/\epsilon_4 + d_5/\epsilon_5 + d_6/\epsilon_6} = \frac{25}{4\pi} \cdot \frac{10}{2+1+3} = \frac{125}{12\pi}$$

$$C_{III} = 3,323 \text{ cm} \dots$$

Całkowita pojemność kondensatora

$$C = C_I + C_{II} + C_{III} = \frac{3265}{168\pi} \quad C_z = \sim 6,19 \text{ cm} \dots$$

- b) Natężenie i indukcję wyliczymy, mając dane w poszczególnej warstwach naboje

z wzoru:

$$Q = C \cdot U \dots$$

$$U = 100 \text{ VES.}$$

$$Q_I = C_I \cdot U = 2,27 \cdot 100 = 227 \text{ VES.}$$

$$Q_{II} = C_{II} \cdot U = 0,597 \cdot 100 = 59,7 \text{ VES.}$$

$$Q_{III} = C_{III} \cdot U = 3,323 \cdot 100 = 332,3 \text{ VES.}$$

Mając mabeje obliczamy indukcje w poszczególnych warstwach z relacji:

$$D = 4\pi \frac{Q}{S}$$

$$D_I = 4\pi \frac{C_I \cdot U}{20} = \pi \frac{50}{7\pi} \cdot 20 = 1000/7$$

$$D_I = \sim 143 \text{ VES.}$$

$$D_{II} = 4\pi \frac{15}{8\pi} \cdot \frac{100}{15}$$

$$D_{II} = 50 \text{ VES.}$$

$$D_{III} = 4\pi \frac{125}{12\pi} \cdot \frac{100}{25}$$

$$D_{III} = 166 \text{ VES.}$$

Następnie dostaniemy z równania:

$$K_1 = \frac{D_I}{\epsilon_1} = 35,75 \text{ cgs}$$

$$K_4 = \frac{D_{III}}{\epsilon_4} = 55,3 \text{ cgs}$$

$$K_2 = \frac{D_{II}}{\epsilon_2} = 71,5 \text{ --}$$

$$K_5 = \frac{D_{II}}{\epsilon_5} = 33,2 \text{ --}$$

$$K_3 = \frac{D_{III}}{\epsilon_3} = 50 \text{ --}$$

$$K_6 = \frac{D_{III}}{\epsilon_6} = 55,3 \text{ --}$$

c) Napęcia otrzymane dzielimy mabej przez pojemność

$$U_1 = \frac{Q_I}{C_1} \dots \text{przekrem } C_1 = \frac{\epsilon_1 \cdot \epsilon_1}{4\pi d_1} = \frac{50}{3\pi} = 5,3 \text{ cm.}$$

$$U_1 = \frac{227}{5,3} = 42,83 \text{ VES pot. lub } 12850 \text{ V.}$$

$$U_2 = \frac{Q_{II}}{C_2} = \frac{227}{3,98} \dots C_2 = \frac{\epsilon_2 \cdot \epsilon_2}{4\pi d_2} = \frac{50}{4\pi} = 3,98 \text{ cm}$$

$$U_2 = 57,06 \text{ VES pot. lub } 17120 \text{ V.}$$

$$U_1 + U_2 = 12850 + 17120 = 29970 \text{ V.} \approx 30000 \text{ V}$$

$$U_3 = \frac{Q_{III}}{C_{III}} = 30000 \text{ V.}$$

$$U_4 = \frac{Q_{III}}{C_4} = \sim 33 \text{ VES pot.} \dots C_4 = \frac{125}{4\pi} = 9,97 \text{ cm}$$

$$U_5 = \frac{Q_{II}}{C_5} = \sim 16,75 \text{ VES pot.} \dots C_5 = 19,838 \text{ cm.}$$

$$U_6 = \frac{Q_{III}}{C_6} = \frac{332,3}{6,6} = 50,32 \text{ VES pot.} \dots C_6 = 6,612 \text{ cm.}$$

$$U_4 + U_5 + U_6 = 33 + 16,75 + 50,32 = 100,07 \text{ VES pot.} =$$

$$d) \sigma_1 = \frac{Q_I}{S_1} = \frac{227}{20} = \underline{11,35 \text{ VES/cm}^2} \quad \sim 30,000 \text{ Volt}$$

$$\sigma_2 = \frac{227}{20} = \underline{11,35 \text{ VES/cm}^2}$$

$$\sigma_3 = \frac{Q_{II}}{S_{II}} = \frac{59,7}{15} = \underline{3,9 \text{ VES/cm}^2}$$

$$\sigma_4 = \sigma_5 = \sigma_6 = \frac{332,3}{25} = \underline{13,29 \text{ VES/cm}^2}$$

e) Energia kondensatora wyraża się wzorem:

$$W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

Oznaczymy energię w poszczególnych warstwach przez W_i ze wskazaniem odpowiedniej warstwy.

$$W_1 = \frac{1}{2} \cdot 5,3 \cdot 42,83^2 = 4840 \text{ egs...} \quad W_4 = \frac{1}{2} \cdot 9,97 \cdot 33^2 = 5429 \text{ egs...}$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \cdot 3,98 \cdot 57,06^2 = 6479 \text{ egs...} \quad W_5 = \frac{1}{2} \cdot 19,838 \cdot 16,75^2 = 2838 \text{ egs...}$$

$$W_3 = \frac{1}{2} \cdot 0,597 \cdot 10^4 = 2985 \text{ egs...} \quad W_6 = \frac{1}{2} \cdot 6,612 \cdot 50,32^2 = 8371 \text{ egs...}$$

$$\underline{W_{\text{całk.}} = \sum W_i = 30942 \text{ egs...}}$$

f) Energia całkowita kondensatora

$$W = \frac{1}{2} C_x \cdot U^2$$

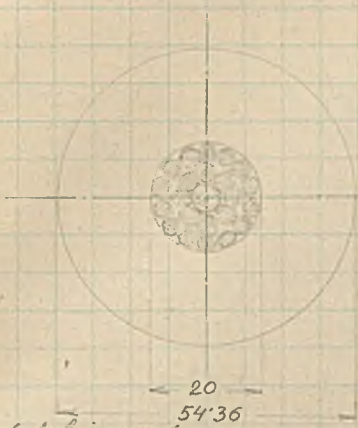
$$W = \frac{1}{2} \cdot 6,19 \cdot 10^4 = 3,095 \cdot 10^4$$

$$\underline{W = 30950 \text{ egs...}}$$

Różnica między tą całkowitą energią a sumą poprzednią wynosi zaledwie 8 egs...

Ćwiczenie 4.

- 1) Dany jest kabel zakopany w ziemi o średnicy żyły 20 mm i średnicy zewnętrznej opłackowania 54.36 mm

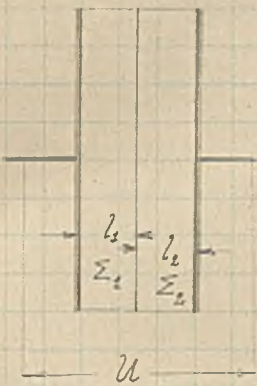


Izolacja posiada stały dieł. $\epsilon = 2$
Wytrzymałość na przebicie $S = 120 \text{ kV/cm}$

Obliczyć:

- Wielkość napięcia przebicia U_p
- Wielkość napięcia przebicia U_p gdy średnica żyły wynosi 10 mm.
- Wielkość napięcia przebicia U_p przy maksymalnej średnicy zewnętrznej.

- 2) Obliczyć napięcie przebijające niżej podany kondensator płaski:



$$S = 80 \text{ cm}^2$$

$$l_1 = 5 \text{ cm}$$

$$\epsilon_1 = 2$$

$$S_1 = 100 \text{ kV/cm}$$

$$l_2 = 6 \text{ cm}$$

$$\epsilon_2 = 4$$

$$S_2 = 75 \text{ kV/cm}$$

Jaki nałóg jest na okładkach w chwili przebicia.

Jakie są naprężenia w poszczególnych warstwach.

Jaka jest pewność K przy napięciu ruchu $U = 20000 \text{ Volt}$.

1. Obliczam według wzoru: $\Delta = \frac{U}{r \ln \frac{D}{r}}$

za Δ wstawiam S : $S = \frac{U_{\text{pnieb}}}{r \ln \frac{D}{r}}$

$$a) \quad 120000 = \frac{U}{1 \cdot \ln \frac{54.36}{20}} \quad \text{stąd } U_{\text{pnieb}} = 120000 \cdot \ln 2.718$$

$$\text{więc } U_{\text{pnieb}} = 120000 = \underline{\underline{120 \text{ kV}}}$$

$$b) \quad U_{\text{pnieb}} = 0.5 \cdot 120000 \cdot \ln \frac{2.718}{0.5} = \underline{\underline{102 \text{ kV}}}$$

$$c) \quad U_{\text{pnieb}} = 1.5 \cdot 120000 \cdot \ln \frac{2.718}{1.5} = \underline{\underline{108 \text{ kV}}}$$

2) Do obliczenia napięcia przebijającego korzystam z wzoru:

$$D = \frac{U}{\frac{l_1}{\epsilon_1} + \frac{l_2}{\epsilon_2}} \quad \text{stąd } U = D \left(\frac{l_1}{\epsilon_1} + \frac{l_2}{\epsilon_2} \right)$$

Obliczam D z zależności: $S = \frac{D}{\epsilon}$

$$D_1 = S_1 \epsilon_1 = 100000 \cdot 2 = 200 \text{ kV/cm}$$

$$D_2 = S_2 \epsilon_2 = 75000 \cdot 4 = 300 \text{ kV/cm}$$

Większe z obu D a więc $D_1 = 200 \text{ kV/cm}$

Wstawiam D we wzor na U

$$U = 200.000 \left(\frac{0.5}{2} + \frac{0.6}{4} \right) = \underline{\underline{80 \text{ KV}}}$$

Obliczam z wzoru: $Q = CU$

Obliczam C z wzoru:

$$C = \frac{\epsilon}{4\pi} \frac{1}{\left(\frac{l_1}{\epsilon_1} + \frac{l_2}{\epsilon_2} \right)} = \frac{80}{4.9 \left(\frac{0.5}{2} + \frac{0.6}{4} \right)} = \underline{\underline{16 \text{ cm}}}$$

Wstawiam C we wzor na Q

$$Q = 16 \frac{80.000}{300} = \underline{\underline{4270 \text{ cgs}}}$$

Obliczam naprozenie w poszczegolnych warstwach.

$$\Delta_1 = \frac{100 \text{ KV/cm}}{2}$$

$$\Delta_2 = \frac{D}{\epsilon_2} = \frac{200}{4} = \underline{\underline{50 \text{ KV/cm}}}$$

Obliczenie pewnosci przy $U = 20 \text{ KV}$

Obliczam D wg: $D = \frac{U}{\frac{l_1}{\epsilon_1} + \frac{l_2}{\epsilon_2}}$

$$D = \frac{20 \text{ KV}}{\frac{0.5}{2} + \frac{0.6}{4}} = 50 \text{ KV/cm}$$

$$\Delta_1 = \frac{D}{\epsilon_1} = \frac{50}{2} = 25 \text{ KV/cm} \quad) \quad \delta_1 = 100 \text{ KV/cm}$$

$$\Delta_2 = \frac{D}{\epsilon_2} = \frac{50}{4} = 12.5 \text{ KV/cm} \quad) \quad \delta_2 = 75 \text{ KV/cm}$$

Pewnosci "K" obliczam ze stosunku $K = \frac{\delta}{\Delta}$

$$K_1 = \frac{\delta_1}{\Delta_1} = \frac{100}{25} = 4$$

$$K_2 = \frac{\delta_2}{\Delta_2} = \frac{75}{12.5} = 6$$

$$K \text{ calosci} = \underline{\underline{4}} \quad \text{PK}$$

Ćwiczenie 5.

Magnes słabowy składa się z 5 ciał
magnetycznych o podanych me-
sach i stałym przekroju $S = 5 \text{ cm}^2$.

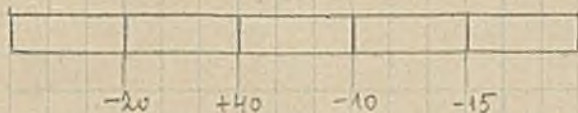
| l_1 | l_2 | l_3 | l_4 | l_5 | |
|-------|---------|---------|---------|---------|-----|
| +30 | -30 +10 | -10 +50 | -50 +40 | -40 +25 | -25 |

$$l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = 3 \text{ cm.}$$

- Wyznaczyć, jakie mamy tego magnesu
- Sprawdzić, czy suma wartości mas jawi = 0.
- Wyprowadzić, że $\int_S \vec{b}_s ds = - \int_V \vec{b}_v dv$
- Przyjmując ten magnes w dowolnym miejscu i wyprowadzić, że $\sum m_j = 0$, oraz że $\int_S \vec{b}_s ds = - \int_V \vec{b}_v dv$ dla obu objętości.
- Obliczyć moment tego magnesu M , ustalić położenie mas zastępczych, ich wielkości oraz odległości od siebie
- Wyznaczyć kierunek \vec{M} , oraz uka-
zać kierunek \vec{M}

Rozwiązanie.

- a) masy magnesu:



b)

$$\sum (m_j) = \sum (m_s) + \sum (m_v) = 0$$

$$\sum (m_j) = -20 + 40 - 10 - 15 + 30 - 25 = 70 - 70 = 0$$

c)

$$\int_S \vec{b}_s ds = - \int_V \vec{b}_v dv$$

$$\int_V \vec{b}_v dv = \sum (m_v) = -20 + 40 - 10 - 15 = -5 \text{ TMS}$$

$$\int_S \vec{b}_s ds = \sum (m_s) = +30 + (-25) = +5 \text{ TMS}$$

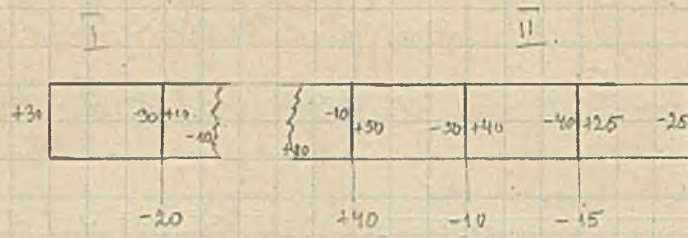
a więc

$$\int_s \vec{G}_s ds = - \int_v \vec{G}_v dv \quad \text{so}$$

$$5 = -(-5)$$

$$5 \text{ Nms} = 5 \text{ Nms}$$

dj.



$$\sum(m_j) = \int_s \vec{G}_s ds + \int_v \vec{G}_v dv = \sum(m_s) + \sum(m_v) = 0$$

für die Seite I.

$$\int \vec{G}_s ds = \sum(m_s) = +30 - 10 = +20 \text{ Nms}$$

$$\int \vec{G}_v dv = \sum(m_v) = -30 + 10 = -20 \text{ Nms}$$

also

$$\int \vec{G}_s ds = - \int \vec{G}_v dv$$

$$\sum(m_j) = 20 + (-20) = 20 - 20 = 0$$

für die Seite II.

$$\sum(m_j) = \int \vec{G}_s ds + \int \vec{G}_v dv = \sum(m_s) + \sum(m_v) = 0$$

$$\int \vec{G}_s ds = \sum(m_s) = +10 - 25 = -15 \text{ Nms}$$

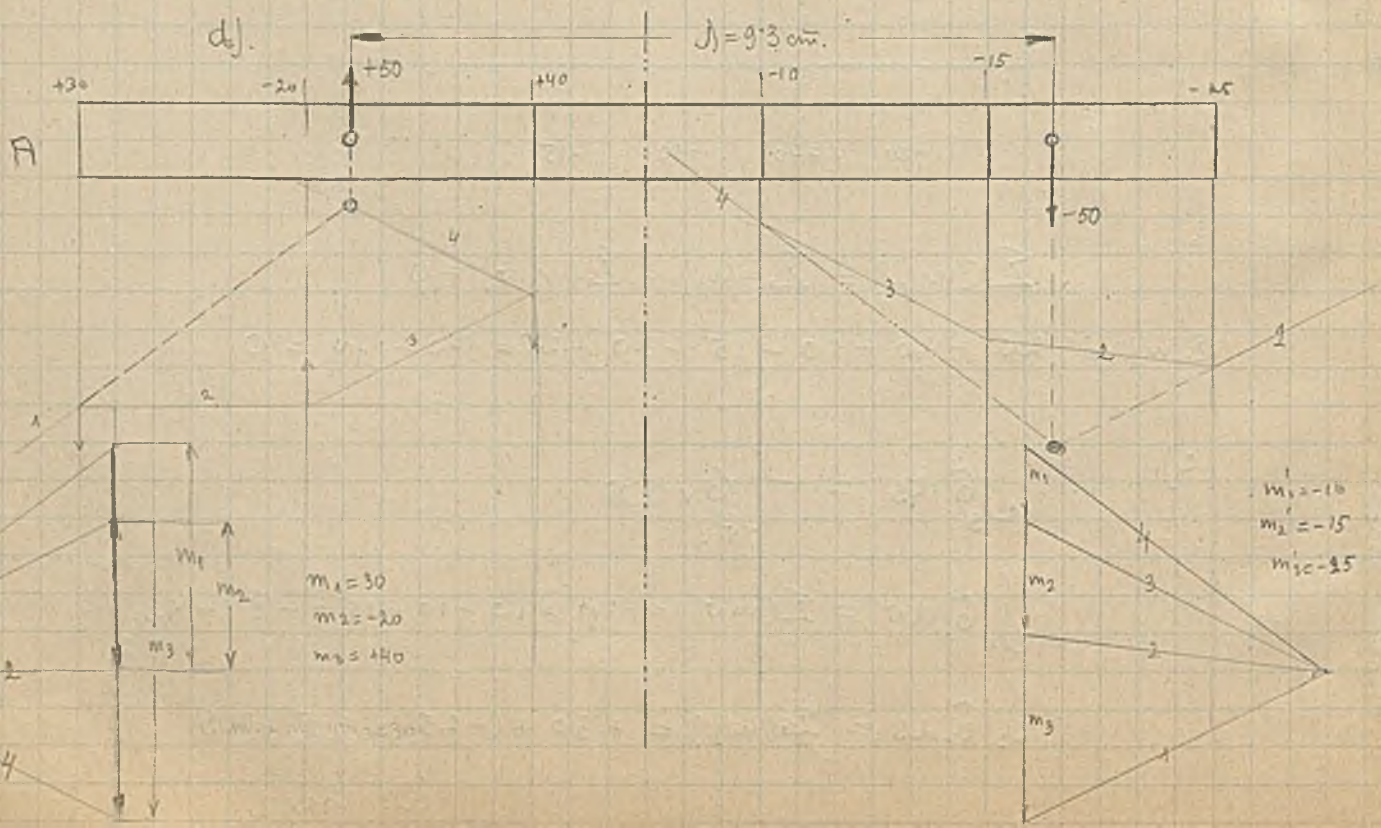
$$\int \vec{G}_v dv = \sum(m_v) = +50 - 10 - 50 + 40 - 40 + 25 = +15 \text{ Nms}$$

also

$$\int \vec{G}_s ds = - \int \vec{G}_v dv \quad \text{so} \quad -15 = -(+15)$$

$$\sum(m_j) = +15 - 15 = 0$$

dj.



$$m_1 + m_2 + m_3 = 30 + (-20) + 40 = +50 \text{ kg/s.}$$

$$m_1 + m_2 + m_3 = -10 - 15 - 25 = -50 \text{ kg/s.}$$

Moment względem punktu A.

$$M_A = -20 \cdot 3 + 40 \cdot 6 - 10 \cdot 9 - 15 \cdot 12 - 25 \cdot 15 =$$

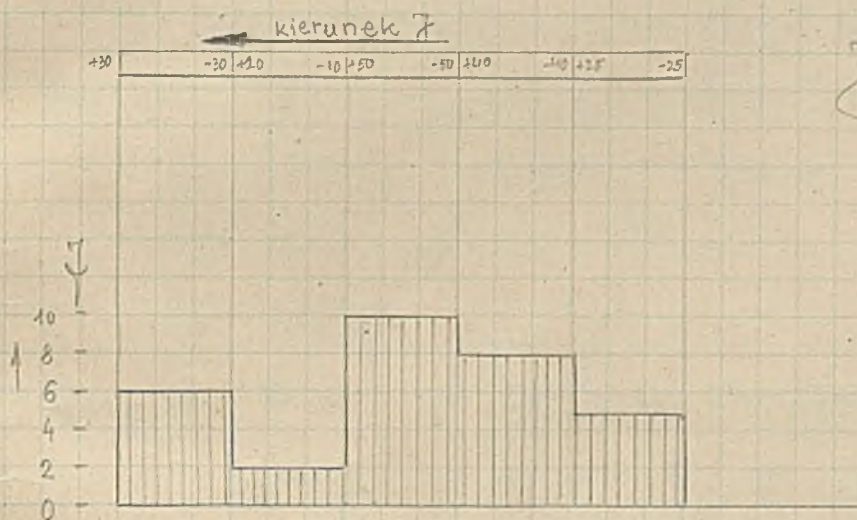
$$= -60 + 240 - 90 - 180 - 375 = -465 \text{ kgm/s.}$$

$$M_A = 465 \text{ kgm/s.}$$

$$j = \frac{M_A}{\Sigma(m)} = \frac{465}{50} = 9.3 \text{ cm.}$$

$$j = 9.3 \text{ cm.}$$

f). Kierunek \vec{v} i kierunek \vec{f} .

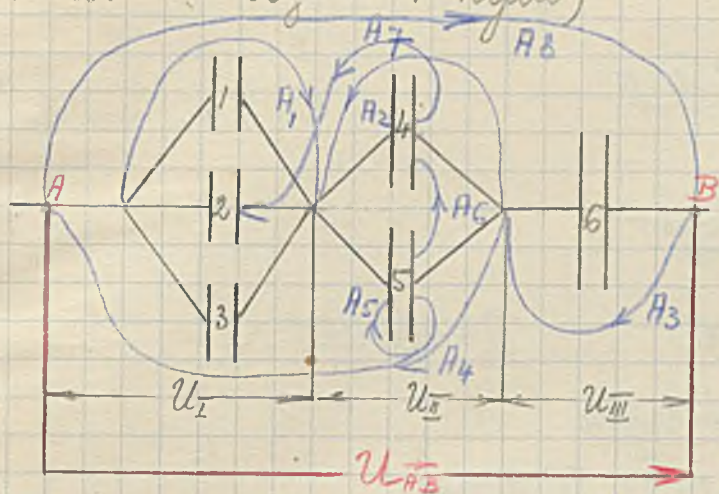


$$j = \frac{m}{s} \text{ cgs}$$

RK

Tany jest układ sześciu kondensatorów ~

Obliczyć pracę transportu ładunku $Q = 207ES$ dla pewnych dróg ruchu energii zawartej w poręczonym kondensatorach (wzrostach i kmu)



Dane: $U_{AB} = 3000V$ $C_1 = 15em$ $C_2 = 20em$ $C_3 = 15em$ $C_4 = 25em$ $C_5 = 50em$ $C_6 = 25em$

Dykcunooć frach pierworych kondensatorów

$$C_I = C_1 + C_2 + C_3 = 15 + 20 + 15 = 50em$$

$$C_{II} = C_4 + C_5 = 25 + 50 = 75em$$

$$C_{III} = 25em$$

Lzerymy teraz te wzglednie przegrocenia wzdowno:

$$\frac{1}{C} = \left\{ \frac{1}{C_I} + \frac{1}{C_{II}} + \frac{1}{C_{III}} \right\} = \left\{ \frac{1}{50} + \frac{1}{75} + \frac{1}{25} \right\} = \frac{1}{25} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + 1 \right\}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{11}{150} em, \text{ stad}$$

$$C = \frac{150}{11} em = 13,64em$$

Wiadomo, ze $U_I + U_{II} + U_{III} = U$

$$U_I = \frac{Q}{C_I}, \quad U_{II} = \frac{Q}{C_{II}}, \quad U_{III} = \frac{Q}{C_{III}}$$

$$Q \left\{ \frac{1}{C_I} + \frac{1}{C_{II}} + \frac{1}{C_{III}} \right\} = U_{AB} \text{ stad}$$

$$Q = U_{AB} C = 3000 \cdot \frac{150}{11}$$

$$Q = \frac{3000 \cdot 13,64}{300} = \frac{40920 JES}{300}$$

$$\text{zatem } Q = 136,4 JES \text{ il. pl.}$$

Obliczamy teraz: $U_I = \frac{Q}{C_I} = \frac{136,4}{15} = 9,09 JES$

$$U_{II} = \frac{Q}{C_{II}} = \frac{136,4}{75} = 1,81 JES$$

$$U_{III} = \frac{Q}{C_{III}} = \frac{136,4}{25} = 5,46 JES$$

Przystępujemy do obliczenia energii poszczególnych kondensatorów:

$$E_1 = \frac{1}{2} C_1 U_I^2 = \frac{1}{2} \cdot 7,39 \cdot 15 = \underline{55,5 \text{ erg}}$$

$$E_2 = \frac{1}{2} C_2 U_I^2 = \underline{74 \text{ erg}}$$

$$E_3 = \frac{1}{2} C_3 U_I^2 = \underline{55,5 \text{ erg}}$$

$$E_4 = \frac{1}{2} C_4 U_{II}^2 = 1,65 \cdot 25 = \underline{41,25 \text{ erg}}$$

$$E_5 = \frac{1}{2} C_5 U_{II}^2 = \underline{81,5 \text{ erg}}$$

$$E_6 = \frac{1}{2} C_6 U_{III}^2 = 11,25 = \underline{375 \text{ erg}}$$

Obliczamy pracę: $A = QU$ --- $Q = -20 \mu\text{C}$...

$$A_1 = -20 \times 2,72 = \underline{-54,4 \text{ erg}}$$

$$A_2 = -20 \times (-U_{II}) = -20 \times (-1,81) = \underline{36,2 \text{ erg}}$$

$$A_3 = -20 \times U_{III} = -20 \times 5,46 = \underline{-109,2 \text{ erg}}$$

$$A_4 = -20 \times (-U_I - U_{II}) = \underline{90,6 \text{ erg}}$$

$$A_5 = -20 \times (-U_{II}) = \underline{36,2 \text{ erg}}$$

$$A_6 = -20 \times (0) = 0$$

$$A_7 = -20 \times (-U_{II}) = \underline{36,2 \text{ erg}}$$

$$A_8 = -20 \times U = -20 \times 10 = \underline{-200 \text{ erg}}$$

Wiemy, że $1 \text{ erg} = 1,02 \times 10^{-8} \text{ kgm}$

zatem $A_1 = -54,4 \times 1,02 \times 10^{-8} = \underline{-55,488 \times 10^{-8} \text{ kgm}}$

$$A_2 = 36,2 \times 1,02 \times 10^{-8} = \underline{37,128 \times 10^{-8} \text{ kgm}}$$

$$A_3 = -109,2 \times 1,02 \times 10^{-8} = \underline{-111,384 \times 10^{-8} \text{ kgm}}$$

$$A_4 = 90,6 \times 1,02 \times 10^{-8} = \underline{92,412 \times 10^{-8} \text{ kgm}}$$

$$A_5 = \underline{37,128 \times 10^{-8} \text{ kgm}}$$

$$A_6 = 0$$

$$A_7 = \underline{37,128 \times 10^{-8} \text{ kgm}}$$

$$A_8 = \underline{202,4 \times 10^{-8} \text{ kgm}}$$

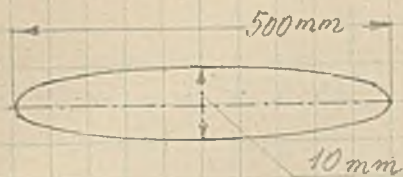
$$W = \frac{1}{2} QU = 5 \times 136,4 = \underline{682 \text{ erg}}$$

$$\sum E_i = \underline{682,75 \text{ erg}}$$

- μC

Zwierzenie 6.

W polu jednostajnym H_0 materiału magnetycznym



$H_m = 120 \text{ CGS}$ umieszczone elipsoid ze stali twardzej, ośią długą w kierunku H_m .

Ustalić następujące wielkości:

- Natężenie odmagnetyzujące H_0
- Natężenie pola magnetycznego H wewnątrz elipsoidu.
- Indukcja magnetyczna B wewnątrz elipsoidu. Przyjmując, że po usunięciu H_m zostanie 50% magnetyzacji pierwotnej, obliczyć:
 - magnetyzację remanentną J_R
 - indukcję remanentną B_R
 - natężenie pola wewnątrz elipsoidu i podać jego kierunek.
- wyrysować charakterystyki $J = f(H)$ oraz $B = f(H)$. Dane $B = f(H_m)$ według poniższych tabel. $k = 0.0181$

Rozwiązanie

| H_m | 10 | 20 | 30 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
|-------|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|
| B | 800 | 1700 | 2700 | 3900 | 6200 | 9000 | 11000 | 12600 |
| H | 9 | 18 | 26 | 34 | 51 | 67 | 84 | 102 |
| J | 63 | 134 | 213 | 308 | 478 | 711 | 869 | 993 |

$$J = \frac{B - H_m}{4\pi - k} = 993 \text{ CGS}$$

$$a) H_0 = k \cdot J = 18 \text{ CGS}$$

$$b) H = H_m - H_0 = 102 \text{ CGS}$$

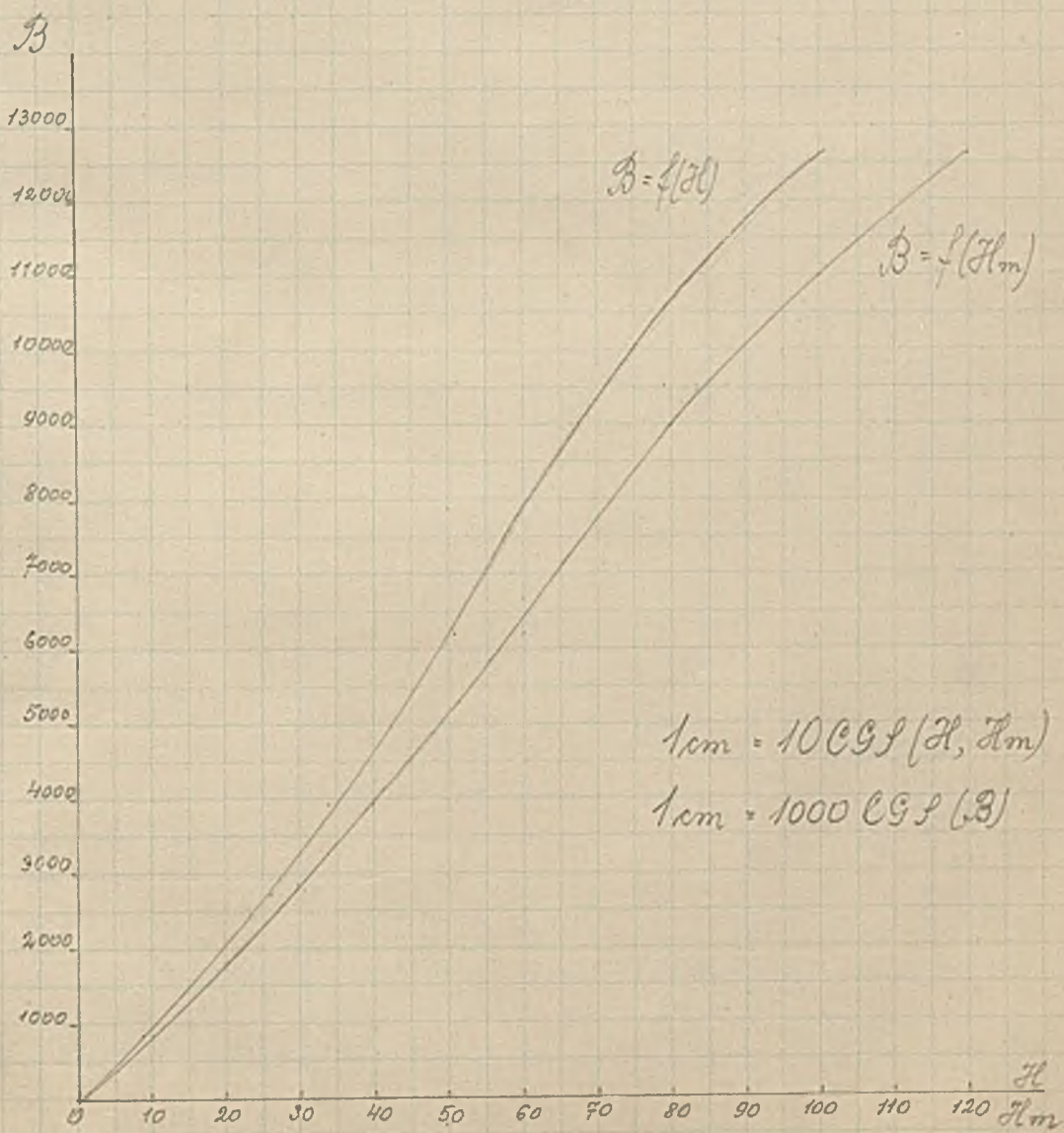
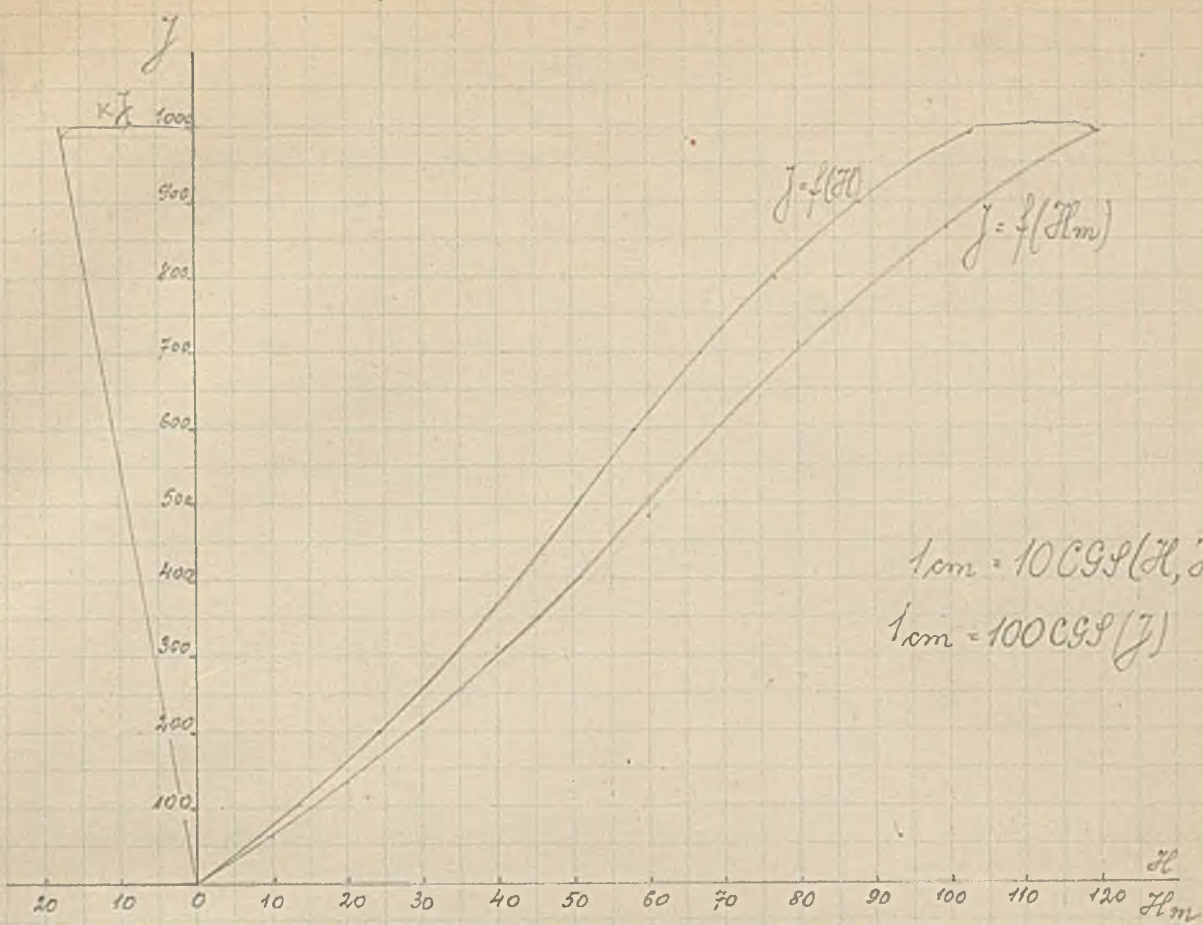
$$c) B = H_m + (4\bar{u} - k) \cdot Z = H + 4\bar{u}Z = \underline{12600 \text{ CZY}}$$

$$d) J_R = 0.5Z = \underline{497 \text{ CZY}}$$

$$e) P_R = (4\bar{u} - k) J_R = \underline{6240 \text{ CZY}}$$

$$f) H = -k \cdot J_R = \underline{-994 \text{ CZY}}$$

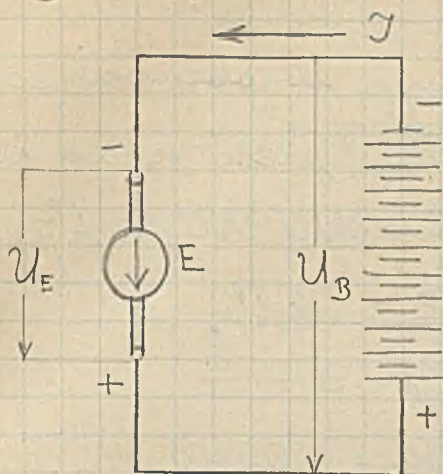
Kierunek H jest przeciwny do kierunku H_m .



11/11

Ćwiczenie 7.

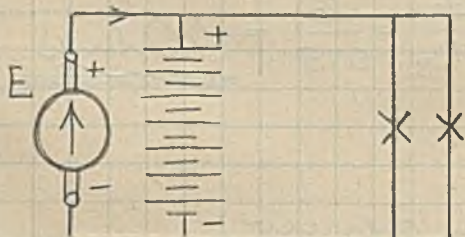
① Dynamomanymus o SEM-owej 235 wolt-



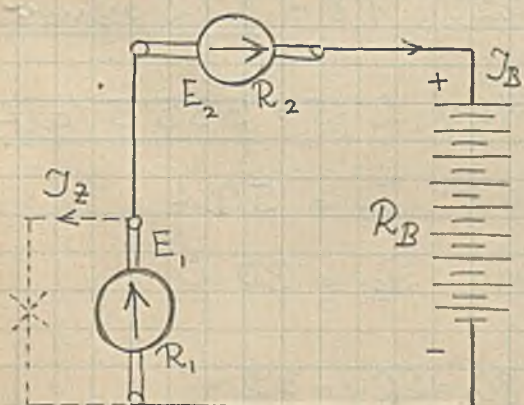
łów i oporze wewnętrzny $R_{EM} = 0,1 \Omega$ jest połączone z baterią akumulatorów o całkowitej SEM-owej 229 woltów i oporze $R_B = 0,05 \Omega$. Obliczyć natężenie prądu ładującego aku-

mulatory i podać jego kierunek.

② Dana jest sieć prądu stałego o napięciu 220 Voltów; równolegle z dynamomanymus pracuje bateria akumulatorów. Ile ma być ogniw, jeżeli najniższe dopuszczalne napięcie jednego akumulatora w ruchu wynosi 1,8V.



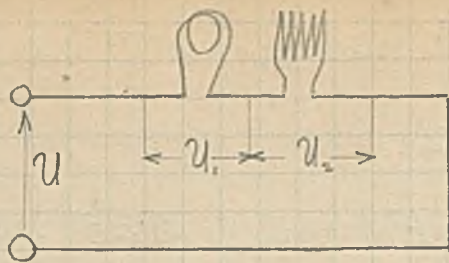
Do ładowania baterji uży-
wać się dodatkowej maszyny.
Jaka ma być jej SEM-owa
jeżeli napięcie jednego ogni-
wa przy końcu ładowania
wynosi 2,75 Voltów.



Dane: $R_B = 0,1 \Omega$
 $E_1 = 224$ $R_1 = 0,04 \Omega$
 $E_2 = ?$ $R_2 = 0,06 \Omega$
 $R_p = 0,05 \Omega$

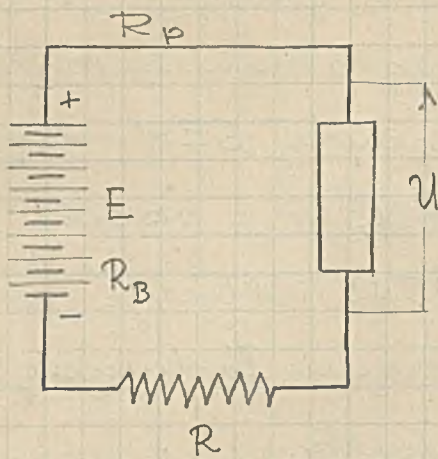
$I_{\text{ład.}} = 50 \text{ amp.}$

③ 2 żarówki 50 świecowe: a) węglawa [110V, 1,5A] b) metalowa [110V, 0,5A] połączone szeregowo na napięcie 220 Voltów.



zaki będzie rozkład na-
pięć, przyjmując, że opór
żarówki nie zmienia się.

④ zaki opór R należy włączyć w obwód po-
dany obok, jeżeli prąd nie
może przekroczyć 40 mA^2



Dane: $E = 4 \text{ Volty}$
 $U = 3 \text{ ---}$
 $R_B = 0.02 \Omega$
 $R_P = 0.05 \Omega$

— Rozwiązanie —

① $E_1 = 235 \text{ Volt.}$
 $E_2 = 229 \text{ ---}$
 $R_V = 0.1 \Omega$
 $R_B = 0.05 \Omega$

$$E_1 - E_2 - IR_C = 0$$

$$I(R_V + R_B) = E_1 - E_2$$

zatem:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_V + R_B} = \frac{6}{0.15} = \underline{\underline{40 \text{ amp.}}}$$

② $E_1 = 224 \text{ V}$
 $R_B = 0.1 \Omega$
 $R_1 = 0.04 \Omega$
 $R_2 = 0.06 \Omega$
 $R_P = 0.05 \Omega$
 $R_C = 0.25 \Omega$

a) ilość ogniw:

$$n = 220 : 1.8 = \underline{\underline{122 \text{ ogniw}}}$$

$$U_2 = 122 \cdot 2.75 = \underline{\underline{335.5 \text{ Volt.}}}$$

prąd ładow. $I_x = 50 \text{ A}$

prąd zemu. $I_2 = 30 \text{ A}$

b) $U_1 = E_1 - IR_1 = 224 - 0.04 \cdot 80 = 224 - 3.2 =$
 $U_1 = \underline{\underline{220.8 \text{ Volt.}}}$

$$E_2 + U_1 - U_2 - I_x \cdot (R_2 + R_P) = 0$$

$$E_2 = U_2 - U_1 + I_x \cdot R_C = 335.5 - 220.8 + 50 \cdot 0.11 =$$

$$\underline{\underline{E_2 = 120.2 \text{ Volt.}}}$$

$$\textcircled{3} \quad R_1 = \frac{110}{1.5} = 73.3 \Omega$$

$$R_2 = \frac{110}{0.5} = 220 \Omega$$

$$U = \mathcal{I} (R_1 + R_2)$$

$$\mathcal{I} = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{220}{293.3} = 0.75 \text{ Amp.}$$

wobei \mathcal{I} =

$$U_1 = \mathcal{I} \cdot R_1 = 0.75 \cdot 73.3 = \underline{55 \text{ Volt}}$$

$$U_2 = \mathcal{I} \cdot R_2 = 0.75 \cdot 220 = \underline{165 \text{ Volt.}}$$

$$\textcircled{4} \quad E - U - \mathcal{I} \cdot R_c = 0$$

$$R_x + R_B + R_P = \frac{E - U}{\mathcal{I}}$$

$$R_x = \frac{E - U}{\mathcal{I}} - R_P - R_B = \frac{100}{4} - 0.05 =$$

$$\underline{24.95 \Omega}$$

K.

2/14

- 1) Jaki jest opór drutu żelaznego o długości 1 km i średnicy 0.5 mm w temp. 40°C .
- 2) Przez długi przewód płynie prąd stały o natężeniu $I = 100\text{ A}$. Napięcie zmierzone na końcach przewodu wynosi 110 Volt. Jaka jest długość drutu miedzianego wyciętego do minimum przewodu skoro przekrój jego wynosi 1 cm^2 Temp. otoczenia 15°C .
- 3) Obliczyć opór 25% roztworu H_2SO_4 , zawartego w rurce o przekroju 25 cm^2 i długości 200 cm w temp. 26°C .
- 4) Wzrosty masy miedzi i elektryczny opór $R = 0.05\ \Omega$ w temp. 45°C . Ile wynosi temp. wzrostu w rurce miedzi, skoro ich opór ustalił się na wartości $0.06\ \Omega$.
- 5) Obliczyć prąd jaki płynie od żyły miedzianej kabla do jego opancerzenia; dane

$$U = 6000\text{ Volt}; l = 10\text{ km}; R = 54.36\text{ cm/m}; r = 20\text{ cm/m}$$

$$g' = 10^{12}\text{ cm/cm}^2$$

- 6) Obliczyć wielkość pierwotnego impulsu prądu w karbowanie 220 Voltów, które pobiera prąd 0.683 A przy temp. 2300°C

$$\text{Ad 1) } g = 0.135 \quad \alpha = 0.0047$$

$$2) \quad \delta = 57 \quad \alpha_1 = \frac{1}{235 + t}$$

$$3) \quad g' = 1.39 \quad 6) \quad \alpha = 0.0046$$

$$\alpha = -0.02$$

$$1) \quad R_t = R_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)]$$

$$t_1 = 15^{\circ}$$

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_0}{1 + \alpha_0 t_1}$$

$$R_{15} = \frac{l}{g} \cdot g = \frac{1000}{19.625} \cdot 0.135 = 6.88\ \Omega$$

$$g = \frac{25.3 \cdot 14}{4} = 6.3 \cdot 14 = 18.84$$

$$R_{40} = [1 + 0.0047(40 - 15)] \cdot 6.88 = 7.68\ \Omega$$

$$2) \quad R = \frac{U}{I} = \frac{110}{100} = 11\ \Omega$$

$$11 = \frac{l}{g} \cdot g = \frac{l}{2.8}$$

$$11 \cdot 2.8 = l$$

$$l = 11 \cdot 1.57 = 627\text{ cm}$$

$$3) R_{26} = R_{18} [1 + \alpha_{18} (26^\circ - 18^\circ)]$$

$$R_{18} = \frac{1}{2} \cdot \rho' = \frac{20}{0.25} \cdot 1.39 = 111.20 \Omega$$

$$R_{26} = 111.2 [1 + 0.02 \cdot (8)] = 111.2 + 17.8 = 129 \Omega$$

$$4) t_2 - t_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + t_1)$$

$$t_2 = t_1 + \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + t_1) = 15^\circ + \frac{0.06 - 0.05}{0.05} (235 + 15)$$

$$= \frac{1.5}{0.05} + 15 = 50 + 15 = 65^\circ$$

$$5) I = \frac{U}{R_k} = \frac{6000}{R} \text{ A}$$

$$R_k = \frac{\rho'}{2\pi \cdot l} \cdot \lg \frac{R}{r} = \frac{10^{12}}{2\pi \cdot 10^6} \lg \frac{54.36}{20}$$

$$= \frac{10^6}{2\pi} = \frac{10^6}{6.28} = 159000 \Omega$$

$$I = \frac{6000}{159000} = 0.0377 \text{ A}$$

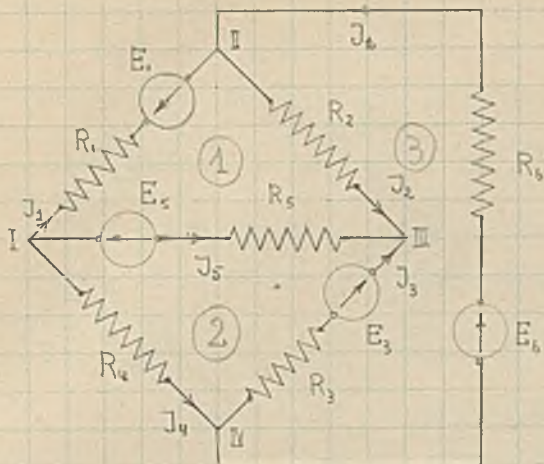
$$6) R_{2300} = \frac{220}{0.683} = 322.1 \Omega$$

$$R_{2700} = R_{15} [1 + \alpha (2300 - 15)]$$

$$R_{15} = \frac{R_{2300}}{1 + \alpha \cdot 2285} = \frac{322}{1 + 10.55} = \frac{322}{11.55} = 28 \Omega$$

$$I = \frac{220}{28} = 7.87 \text{ A}$$

RH



W podanym obwodzie dane są następujące wielkości:

$E_1 = +21$ volt

$E_3 = -11$ "

$E_5 = +10$ "

$E_6 = -28$ "

$R_1 = 1 \Omega$

$R_4 = 0.5 \Omega$

$R_2 = 2.5 \Omega$

$R_5 = 1.5 \Omega$

$R_3 = 4 \Omega$

$R_6 = 0.5 \Omega$

- 1) Ustawić wystarczającą i konieczną ilość równań Kirchhoffa potrzebnych do wyznaczenia rozkładu prądów.
- 2) Wypisać wyznacznik dla jednego z prądów.
- 3) Ustawić równania Maxwell'a i Coltri'ego i wyliczyć jeden z prądów obu temi metodami.

1) Ilość równań Kirchhoffa wystarczających i koniecznych, będzie tyle ile jest elementów:

$l = w + k - 1$

$w = 4$

$l = 4 + 3 - 1 = 6$

$k = 3$

$l = 6$

I Prawo Kirchhoffa

$\sum(J) = 0$

Dla węzła I: $-J_1 - J_5 - J_4 = 0$

" " II: $+J_1 + J_6 - J_2 = 0$

" " III: $+J_2 + J_5 + J_3 = 0$

II Prawo Kirchhoffa

$\sum(E) = \sum(JR)$

Dla ① oczka: $-J_2 R_2 - E_1 - J_2 R_2 + J_5 R_5 + E_5 = 0$

" ② " : $+J_4 R_4 - E_5 - J_5 R_5 - E_3 + J_3 R_3 = 0$

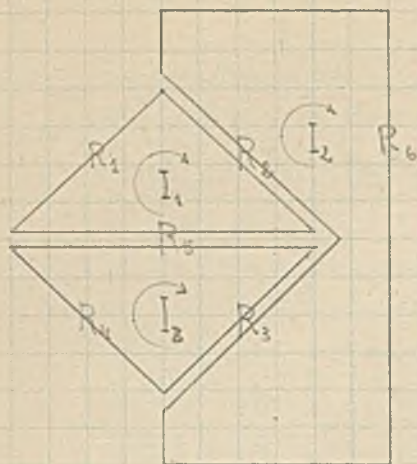
" ③ " : $+J_6 R_6 - E_6 - J_3 R_3 + E_3 + J_2 R_2 = 0$

2) Wyznaczyć do obliczenia prądu J_5 :

$$J_5 = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ +1 & -1 & 0 & 0 & 0 & +1 \\ 0 & +1 & +1 & 0 & 0 & 0 \\ -R_1 & -R_2 & 0 & 0 & +E_1 - E_5 & 0 \\ 0 & 0 & +R_3 & +R_4 & +E_3 + E_5 & 0 \\ 0 & +R_2 & -R_3 & 0 & +E_6 - E_3 & +R_6 \end{vmatrix}$$

$$J_5 = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ +1 & -1 & 0 & 0 & 0 & +1 \\ 0 & +1 & +1 & 0 & +1 & 0 \\ -R_1 & -R_2 & 0 & 0 & +R_5 & 0 \\ 0 & 0 & +R_3 & +R_4 & -R_5 & 0 \\ 0 & +R_2 & -R_3 & 0 & 0 & +R_6 \end{vmatrix}$$

3) Równania Maxwella.



$$I_1(R_1 + R_2 + R_5) - I_2 R_5 - I_3 R_2 = -E_1 + E_5$$

$$I_2(R_5 + R_3 + R_4) - I_1 R_5 - I_3 R_3 = -E_5 - E_3$$

$$I_3(R_2 + R_6 + R_3) - I_1 R_2 - I_2 R_3 = -E_6 + E_3$$

$$R_1 + R_2 + R_5 = R_I \quad -E_1 + E_5 = E_I$$

$$R_5 + R_3 + R_4 = R_{II} \quad -E_5 - E_3 = E_{II}$$

$$R_2 + R_6 + R_3 = R_{III} \quad -E_6 + E_3 = E_{III}$$

$$I_1 R_I - I_2 R_5 - I_3 R_2 = E_I$$

$$I_2 R_{II} - I_1 R_5 - I_3 R_3 = E_{II}$$

$$I_3 R_{III} - I_1 R_2 - I_2 R_3 = E_{III}$$

$$R_1 + R_2 + R_5 = R_I = 5 \Omega$$

$$R_5 + R_3 + R_4 = R_{II} = 6 \Omega$$

$$R_2 + R_3 + R_6 = R_{III} = 7 \Omega$$

$$-E_1 + E_5 = E_I = -11V$$

$$-E_5 - E_3 = E_{II} = +1V$$

$$-E_6 + E_3 = E_{III} = +17V$$

$$5I_1 - 1.5I_2 - 2.5I_3 = -11$$

$$6I_2 - 1.5I_1 - 4I_3 = +1$$

$$7I_3 - 2.5I_1 - 4I_2 = +17$$

Przekazy prądu J_1 ktoś
my jest równy prądowi
cykliczemu

$$\underline{J_1 = I_1}$$

Wyznacznik dla I_1

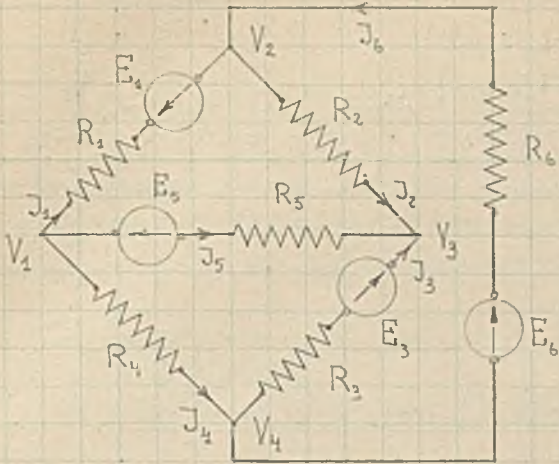
$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} -11 & -1.5 & -2.5 \\ +1 & +6 & -4 \\ +17 & -4 & +7 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} +5 & -1.5 & -2.5 \\ -1.5 & +6 & -4 \\ -2.5 & -4 & +7 \end{vmatrix}} = \frac{-11 \begin{vmatrix} +6 & -4 \\ -4 & +7 \end{vmatrix} + 1.5 \begin{vmatrix} +1 & -4 \\ +17 & +7 \end{vmatrix} - 2.5 \begin{vmatrix} +1 & +6 \\ +17 & -4 \end{vmatrix}}{+5 \begin{vmatrix} +6 & -4 \\ -4 & +7 \end{vmatrix} + 1.5 \begin{vmatrix} -1.5 & -4 \\ -2.5 & +7 \end{vmatrix} - 2.5 \begin{vmatrix} -1.5 & +6 \\ -2.5 & -4 \end{vmatrix}}$$

$$= \frac{-11(42 - 16) + 1.5(7 + 68) - 2.5(-4 - 102)}{+5(42 - 16) + 1.5(-10.5 - 10) - 2.5(6 + 15)} = \frac{-286 + 112.5 + 265}{+130 - 30.75 - 37.5}$$

$$= \frac{91.5}{46.75} = 1.96$$

zatem $\underline{J_1 = +1.96 A}$

4) Obliczenie prądu J_1 przy pomocy równania Coltri'ego.



$$J_1 = (V_1 - V_2) G_1 - E_1 G_1 \quad G = \frac{1}{R}$$

Równanie Coltri'ego:
Zakładamy że potencjał $V_3 = 0$

$$\begin{aligned} V_2(G_1 + G_5 + G_4) - V_2 G_1 - V_3 G_5 - V_4 G_4 &= +E_1 G_1 + E_5 G_5 \\ V_2(G_1 + G_2 + G_6) - V_2 G_2 - V_3 G_2 - V_4 G_6 &= E_6 G_6 - E_2 G_2 \\ V_4(G_3 + G_4 + G_6) - V_1 G_4 - V_3 G_3 - V_4 G_6 &= -E_3 G_3 - E_6 G_6 \end{aligned}$$

$$G_1 + G_5 + G_4 = 3.66$$

$$G_1 + G_2 + G_6 = 3.4$$

$$G_3 + G_4 + G_6 = 4.25$$

Pomocniczo z założenia $V_3 = 0$ więc otrzymujemy następujące równania:

$$3.66 V_1 - V_2 - 2V_4 = 27.6$$

$$3.4 V_2 - V_1 - 2V_4 = -77$$

$$4.25 V_4 - 2V_1 - 2V_2 = 58.75$$

Układamy wyznacznik dla V_1 i V_2

Wyznacznik dla V_1 :

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} 27.6 & -1 & -2 \\ -77 & +3.4 & -2 \\ 58.75 & -2 & +4.25 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3.66 & -1 & -2 \\ -1 & 3.4 & -2 \\ -2 & -2 & +4.25 \end{vmatrix}} = \frac{27.6 \begin{vmatrix} 3.4 & -2 \\ -2 & +4.25 \end{vmatrix} + 1 \begin{vmatrix} -77 & -2 \\ 58.75 & +4.25 \end{vmatrix} - 2 \begin{vmatrix} -77 & +3.4 \\ 58.75 & -2 \end{vmatrix}}{3.66 \begin{vmatrix} 3.4 & -2 \\ -2 & +4.25 \end{vmatrix} + 1 \begin{vmatrix} -1 & -2 \\ -2 & +4.25 \end{vmatrix} - 2 \begin{vmatrix} -1 & 3.4 \\ -2 & -2 \end{vmatrix}}$$

$$= \frac{27.6(14.45 - 4) + 1(-327.25 + 117.5) - 2(154 - 199.75)}{3.66(14.45 - 4) + 1(-4.25 - 4) - 2(2 + 6.8)}$$

$$= \frac{288.52 - 209.75 + 91.5}{38.247 - 8.25 - 17.6} = \frac{170.27}{12.397}$$

$$V_1 = + \frac{170.27}{12.397} \text{ Volt}$$

DM

Wyznacznik dla V_2 :

$$V_2 = \frac{\begin{vmatrix} 3.66 & 27.6 & -2 \\ -1 & -77 & -2 \\ -2 & 58.75 & 4.25 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3.66 & -1 & -2 \\ -1 & 3.4 & -2 \\ -2 & -2 & 4.25 \end{vmatrix}} = \frac{3.66 \begin{vmatrix} -77 & -2 \\ 58.75 & 4.25 \end{vmatrix} - 27.6 \begin{vmatrix} -1 & -2 \\ -2 & 4.25 \end{vmatrix} - 2 \begin{vmatrix} -1 & -77 \\ -2 & 58.75 \end{vmatrix}}{\text{mianownik ten sam co poprzednio}}$$

$$= \frac{3.66(-327.25 + 117.5) - 27.6(-4.25 - 4) - 2(-58.75 - 154)}{12.397}$$

$$= \frac{-767.685 + 227.7 + 425.5}{12.397} = -\frac{114.485}{12.397}$$

$$V_2 = -\frac{114.485}{12.397} \text{ V}$$

$$J_1 = (V_1 - V_2) g_1 - E_2 g_1$$

$$= \frac{170.27 + 114.485}{12.397} \cdot \frac{1}{1} - 21 \frac{1}{1} = \frac{284.755}{12.397} - 21 =$$

$$= 22.96 - 21 = +1.96 \text{ A}$$

$$\underline{\underline{J_1 = +1.96 \text{ A}}}$$

Cwiczenie 10.-

1. Motor elektryczny oddaje na wale moc 10 KM ; jego współczynnik sprawności wynosi 0.85 .

Jaka moc pobiera motor z sieci, oraz jaki prąd przy napięciu 220 Volt ?

2. Dynamomaszyna o mocy użytecznej 20 kW , jest pędzona motorem benzynowym zapornocą przekładni pasowej.

$$\text{Dane } U = 230 \text{ V. } \eta_d = 0.88$$

Obliczyć:

a) moc motora napędowego w KM

b) prąd, jaki daje dynamomaszyna

3. Lampa żukowa o napięciu żuku 35 V , jest załączona w szeregu z opornicą, na napięciu sieci $U = 110 \text{ V}$.

Obliczyć moc straconą w opornicy, jeżeli $I = 10 \text{ Amp}$.

4. Obliczyć energię w kWh nagromadzoną w baterji akumulatorów podczas ładowania, oraz energję oddaną, przez akumulatory przy wyładowaniu.

$$\text{Dane: } I = 45 \text{ Amp} = \text{const. } U_{\text{ład.}} = 2.4 \text{ V.}$$

$$n = 62 \text{ ogniw } T = 3.5 \text{ h czas ładowania}$$

Jaka jest dzielność energetyczna baterji, jeżeli wyładowanie tym samym prądem przy $U_{\text{w.}} = 2 \text{ V}$ trwa 3 h .

5. Obliczyć koszt świecenia a) godzinny, b) miesięczny (5 h dziennie) żarówki

$$\text{względnej } 32 \text{ św. } | 3.5 \text{ W/św.}$$

$$\text{próżniowej } 32 \text{ " } | 1.2 \text{ W/św.}$$

$$\text{gazowej } 40 \text{ Watt}$$

$$1 \text{ kWh} = 66 \text{ gr.}$$

6. Obliczyć energję w kWh i korn. nagromadzoną w pociągu o ciężarze 200 ton , przy szybkości 100 km/godz.

Jaka moc oddaje pociąg do sieci, jeżeli go hamujemy elektrycznie z opóźnieniem 2 km/sek^2 , a 70% energii zamienia się na moc elektryczną.

7. Obliczyć energję koła zamachowego o ciężarze 10 ton , średnicy 3 m , przy $n = 180 \text{ obr/min.}$ przyjąwszy, że ciężar koła jest rozmieszczony tylko na obwodzie, odpowiadającym tej średnicy.

O ile zmniejszy się ten zapas energii, gdy obroty spadną na 150 obr/min.

Ile otrzymamy przytem kWh , jeżeli $\eta = 0.7$.

1.

$$P_{\text{mech.}} = \frac{10}{0.85} = 11.77 \text{ kW}$$

$$P_{\text{el.}} = 11.77 \cdot 0.736 = 8.65 \text{ kW} = 8650 \text{ W}$$

$$I = \frac{8650}{220} = 39.4 \text{ Amp.}$$

2.

$$P_{\text{el.}} = \frac{20}{0.88 \cdot 0.96} = 23.6 \text{ kW}$$

$$P_{\text{mot.}} = \frac{23.6}{0.736} = 32.1 \text{ kW.}$$

$$I_{\text{dynam.}} = \frac{20000}{230} = 87 \text{ Amp.}$$

3. $110 - 35 = 75 \text{ V}$

$$P = 10.75 = 750 \text{ W} = 0.75 \text{ kW}$$

4. $2.4.62 = 149 \text{ V}$

$$P = 149.45 = 6700 \text{ W} = 6.7 \text{ kW}$$

$$2.62 = 124 \text{ V}$$

$$P = 124.45 = 5580 \text{ W} = 5.58 \text{ kW}$$

$$\text{Annę.} = 5.58.3 = 16.75 \text{ kWh}$$

$$\text{Dzielność} = \frac{16.75}{23.4} = 0.716$$

5.

| | 1 godzina | 1 miesiąc |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| $32.3.5 = 112 \text{ W}$ | $0.112.66 = 7.4 \text{ groszy}$ | $0.112.5.30.66 = 11.10 \text{ zł}$ |
| $32.1.2 = 38.4 \text{ W}$ | $0.0384.66 = 2.54 \text{ "}$ | $0.0384.5.30.66 = 3.80 \text{ zł}$ |
| $= 40 \text{ W}$ | $0.04.66 = 2.64 \text{ "}$ | $0.04.5.30.66 = 3.96 \text{ zł}$ |

6.

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \frac{200000}{9.81} \left(\frac{100 \cdot 1000}{3600} \right)^2 = 7870000 \text{ kgm}$$

$$7870000 : \frac{3.6 \cdot 10^6}{9.81} = 21.4 \text{ kWh}$$

$$\frac{7870000 \cdot 2}{100} = 157500 \text{ kgm/sec}$$

$$\frac{157500}{75} \cdot 0.736 \approx 1550 \text{ kW}$$

$$\frac{1550.70}{100} \approx 1085 \text{ kW}$$

7.

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{\pi r n}{30} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{10000}{9.81} \left(\frac{\pi \cdot 1.5 \cdot 180}{30} \right)^2 = 408000 \text{ kgm}$$

$$\frac{1}{2} \frac{10000}{9.81} \left(\frac{\pi \cdot 1.5 \cdot 150}{30} \right)^2 = 283000 \text{ kgm}$$

$$408000 - 283000 = 125000 \text{ kgm}$$

$$125000 \cdot 0.7 = 87500 \text{ kgm}$$

$$87500 : \frac{3.6 \cdot 10^6}{9.81} = 0.232 \text{ kWh}$$

OK

Lwów 5.12.1928r.

S Wilk

Cwiczenie 11.

1. W czasie 8 godzin należy ogrzać 120 litrów wody od 12 do 34°C. Obliczyć moc elektryczną grzejnika oraz jego opór przy napięciu 220V. $\eta = 0,85$...
2. Maszyna elektryczna o mocy 100 kW traci ~ 6% energii na ciepło. Obliczyć, ile kalgor. trzeba jej odprowadzić przez chłodzenie.
3. Wóz tramwajowy o 40 m³ objętości jest ogrzewany zewnętrzna grzejnikiem elektrycznym. Napięcie $U = 500$ Volt. Moc dostarczana na 1 m³ objętości = 200W. Obliczyć ilość ciepła wytwarzaną przez jeden grzejnik w godzinie.
4. Obliczyć czas potrzeby do przedestylowania 1/2 litra wody grzejnikiem o mocy 350 W i $\eta = 0,8$. [od temp. 10°C - ciepło parowania = 536 kal/kg].
5. W piecu elektrycznym ma być stopiona stal w ilości 4000 kg w czasie 5 godzin. Temp. początkowa 30°C - temp. topnienia 1350°C. $\eta = 0,75$.

$$C_{st} = 0,155 \text{ kal/kg}^\circ\text{C}$$

$$C_{tr} = 30 \text{ kal/kg}$$

Obliczyć moc pieca

Ad 1. Ciepło $Q = 120(34-12) = 2640 \text{ kg}$...

$$Q_{grzejn.} = \frac{Q}{\eta} = \underline{\underline{3106 \text{ kal/kg}}}$$

Moc elektryczna wyznacza się relacją:

$$P = \frac{Q_{grzejn.}}{860 \cdot \eta} = \frac{3106}{6880}$$

$$\underline{\underline{P = 0,452 \text{ kW}}}$$

Wiadomo, że $UI = P$, stąd $I = \frac{P}{U}$

$$\underline{\underline{I = \frac{452}{220} = \sim 2,05 \text{ A}}}$$

$$\text{Opór grzejnika } R = \frac{U}{I} = \frac{220}{2,05}$$

$$R = \sim 107,3 \Omega \dots$$

Ad 2. Praca zamieniona na ciepło w 1 godzinie wynosi

$$A = 6 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 6 \text{ kWh}$$

$$Q = 860 \cdot P \cdot t = 860 \cdot 6$$

$$Q = 5160 \text{ kcal/godz} \dots$$

Ad 3. Moc dostarczona przez jeden grzejnik

$$P = 2000 = 2 \text{ kW} \dots$$

$$Q = 860 \cdot P \cdot t = 2 \cdot 860 \dots$$

$$Q = 1720 \text{ kcal/godz} \dots$$

Prąd grzejnika

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2000}{500} = 4 \text{ A} \dots$$

$$I = 4 \text{ Amp} \dots$$

Opór grzejnika

$$R = \frac{U}{I} = \frac{500}{4}$$

$$R = 125 \Omega \dots$$

$$\text{Ad 4. } Q_d = 0,5 \cdot 90 + 536 \cdot 0,5 = 45 + 268$$

$$Q_d = 313 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{max}} = \frac{Q_d}{\eta} = \frac{313}{0,8}$$

$$Q_{\text{max}} = 391 \text{ kcal/g} \dots$$

$$Q_{\text{ex}} = 0,86 \cdot P \cdot t \dots \text{ stąd}$$

$$t = \frac{391}{0,86 \cdot 350} = \frac{391}{301} = 1,3 \text{ godz} \dots$$

$$t = 1^{\text{h}} 18^{\text{min}}$$

$$\text{Ad 5. } Q_d = 4000 \cdot 0,155 \cdot 1320 + 30 \cdot 4000 = 818400 + 120000$$

$$Q_d = 938400 \text{ kkal/kg...}$$

$$Q_{\text{rxcess}} = \frac{Q_d}{\eta} = \frac{938400}{0,75}$$

$$Q_{\text{rxcess}} = 1250000 \text{ kkal/kg...}$$

$$P = \frac{Q_{\text{rxcess}}}{860t} = \frac{1250000}{4300}$$

$$\underline{\underline{P = 291,4 \text{ kWs}}}$$

PM

Ćwiczenie 12.

Józef Rutka

1). Przy pomiarze nagrzania twornika maszyny 10 w amperowej prądem 10 amperów otrzymano:

| | | | | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| czas w minutach | 20 | 40 | 60 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 360 |
| temp. w °C | 36,5 | 49,5 | 55,8 | 68,5 | 80,5 | 86,4 | 89,3 | 91.- | 92.- |

- stwierdzić wykresując przy danej krzywej jest wykładniczą.
- znaleźć odpowiadającą jej temperaturę końcową.
- znaleźć stałą czasową.

2). Wykresić krzywą $I = 20 + 60(1 - e^{-\frac{t}{50}})$ podługując się tylko metodą graficzną.

Uwaga ad 1. :

Temperatura wysoka, bo twornik w sprężynce jest źle schłodzony.

Rozwiązania.

1. a). Stwierdzenie że dana krzywa jest wykładnicza:

Punkty nosimku, rzędnej jakiegos punktu krzywej (mierzone w skali Temp.) do podstępującej tego punktu (w skali czasu), odniesione (w dowolnej skali) na proste równoległe do osi czasu w punktach styżności, łącz na jednej prostej.

$$\kappa_1 = \frac{AA'}{AA''} = \frac{38}{63,5} \approx 0,598 \quad \dots \quad \underline{\kappa_1' = 5,98 \text{ j.d.}}$$

$$\kappa_2 = \frac{BB'}{BB''} = \frac{63,7}{211,5} \approx 0,328 \quad \dots \quad \underline{\kappa_2' = 3,28 \text{ j.d.}}$$

$$\kappa_3 = \frac{CC'}{CC''} = \frac{53}{125} \approx 0,44 \quad \dots \quad \underline{\kappa_3' = 4,4 \text{ j.d.}}$$

b). Temperatura końcowa:

$$\underline{D_b \approx 95^\circ\text{C}}$$

c). Stała czasowa:

$$\underline{T = \frac{\tau_{\text{max}}}{D D''} = \frac{71}{0,743} \approx 96 \text{ minut}}$$

d). Temperatura otoczenia:

$$\underline{D_0 \approx 24^\circ\text{C}}$$

$$\underline{e). \tau_{\text{max}} = 71^\circ\text{C}}$$

f). Przybliżone równanie krzywej nagrzania

$$\underline{D = 24 + 71(1 - e^{-\frac{t}{T}})}$$

2. Do wykreślenia graficznie krzywej D obliczam dwa punkty:

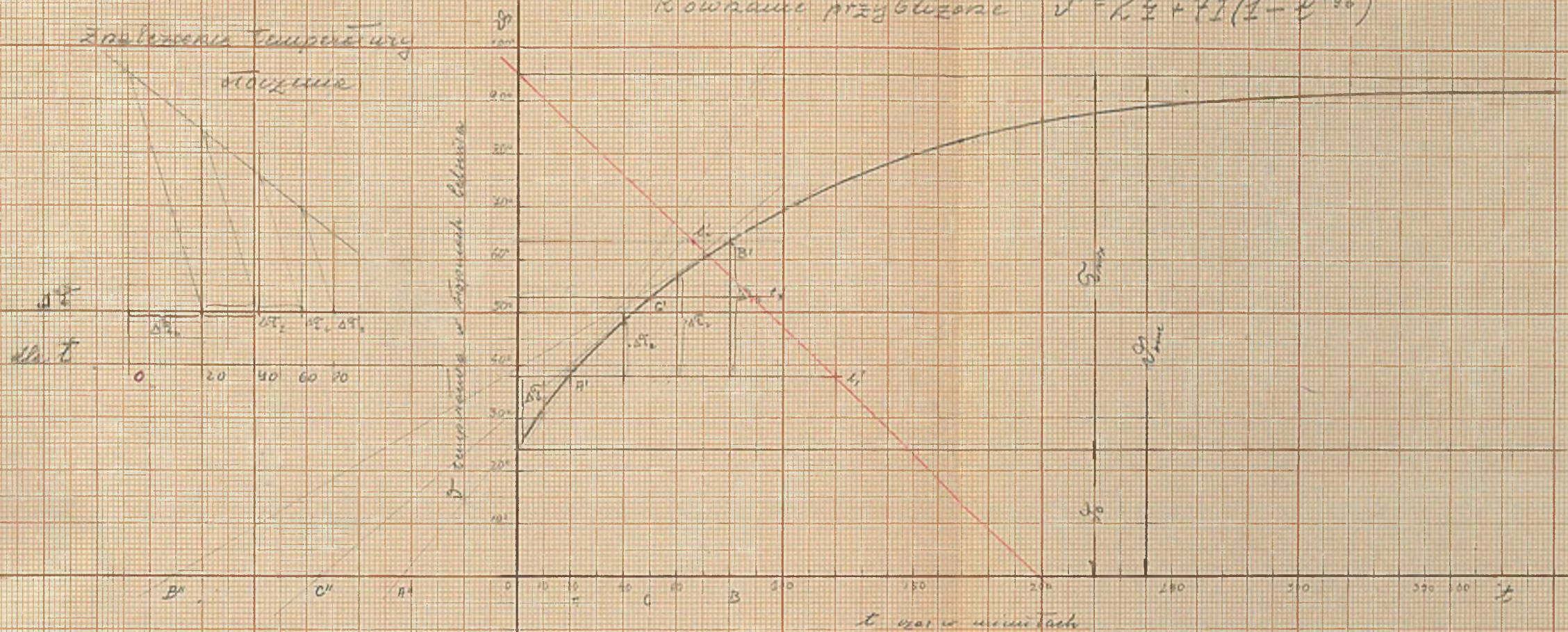
$$\text{dla } \underline{t=0 \text{ min}} \quad \underline{D_0 = 80 - 60e^0 = 80 - 60 = 20^\circ\text{C}}$$

$$\text{" } \underline{t=10 \text{ "}} \quad \underline{D_{10} = 80 - 60e^{-0,2} = 80 - 49,2 = 30,8^\circ\text{C}}$$

1. Wykres temperatury nagrzania twornika.

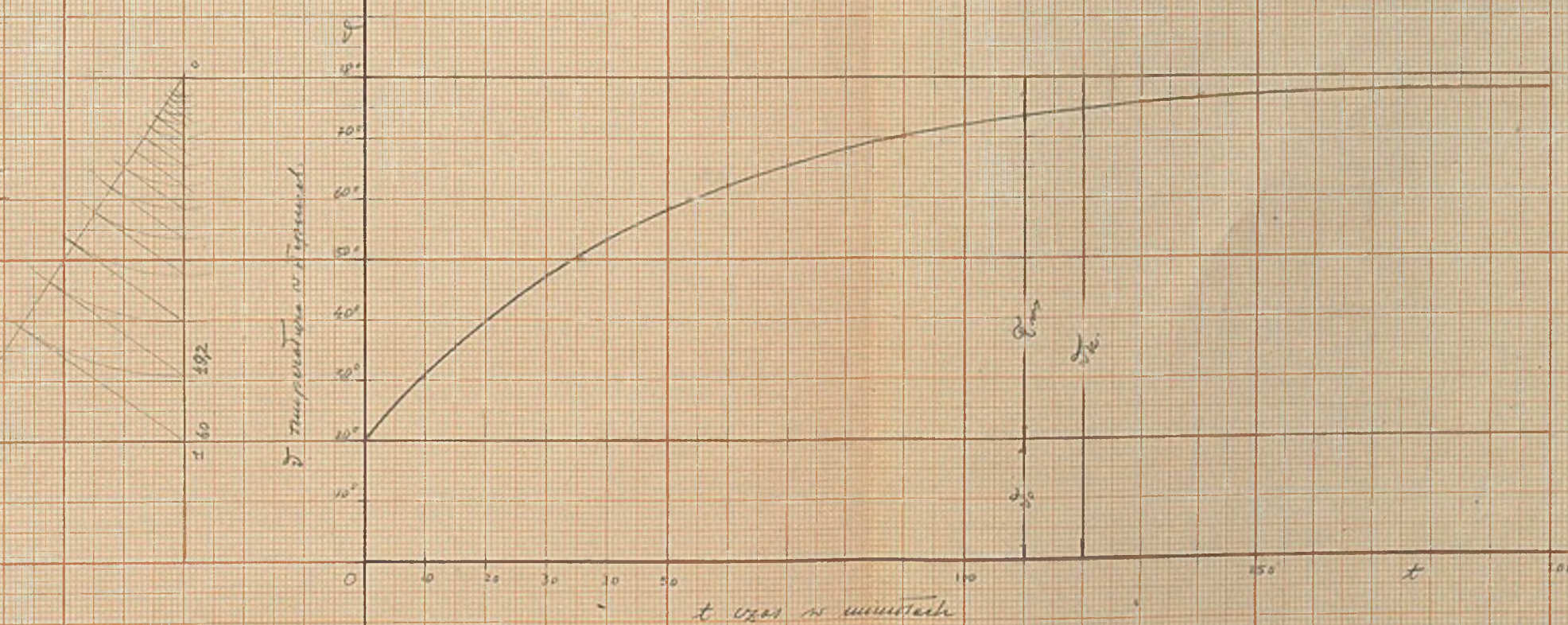
J. Rutka

Równanie przybliżone $\vartheta = 25 + 71(1 - e^{-\frac{t}{30}})$



2. Wykres krzywej nagrzania $\vartheta = 20 + 60(1 + e^{-\frac{t}{50}})$

Wartości
 $60 \cdot \frac{20}{50}$
 w odległości
 10 mm od
 t.j. dla $\Delta t = 20$



13 Ćwiczenie szkolne z elektrotechniki ogólnej.

Kazimierz Nowicki
wydz. mechar.
rok. nauk. 1928/29

Lwów 25.7.29.

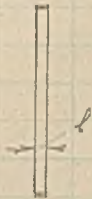
- 1.) Dany jest pierścień o $r=5\text{cm}$, złożony z 4 zwojów przez które płynie prąd $I=10\text{Amp}$.

Obliczyć natężenie pola H :

a.) w środku pierścienia

b.) w punkcie oddalonym o 3cm od środka.

Podać jego kierunek. l - bardzo małe - tak, że można pominąć i traktować jako pierścień płaski.



- 2.) Obliczyć natężenie pola $H=f(x)$ dla solenoidu

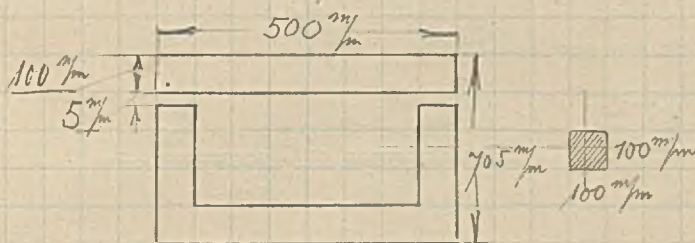


$$Z=100 \text{ zw.}; \quad I=10 \text{ Amp}$$

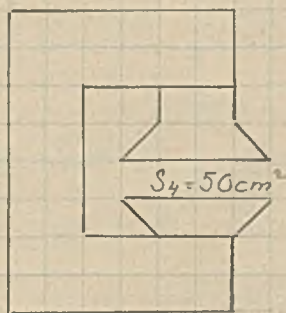
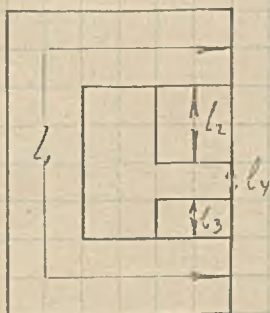
$$l=180 \text{ mm} \quad d=120 \text{ mm}$$

- 3.) Ile razy zmieni się natężenie pola w środku gdy solenoid o długości l zamierzamy w pierścień o tej samej długości.

- 4.) Obliczyć ilość amperozwojów potrzebnych do uzyskania strumienia $\Phi=10^6 \text{ wgs}$ w podanym obwodzie. $\sigma=125$, materiał blacha.



- 5.) Obliczyć ilość amperozwojów dla przedstawionych obwodów magn. rel.



$$\Phi=10^5 \text{ wgs}$$

$$l=60 \text{ cm}$$

$$l_2+l_3=20 \text{ cm ten sam materiał.}$$

$$l_4=2 \text{ cm}$$

$$S_4=50 \text{ cm}^2$$

$$S_1=10 \text{ cm}^2$$

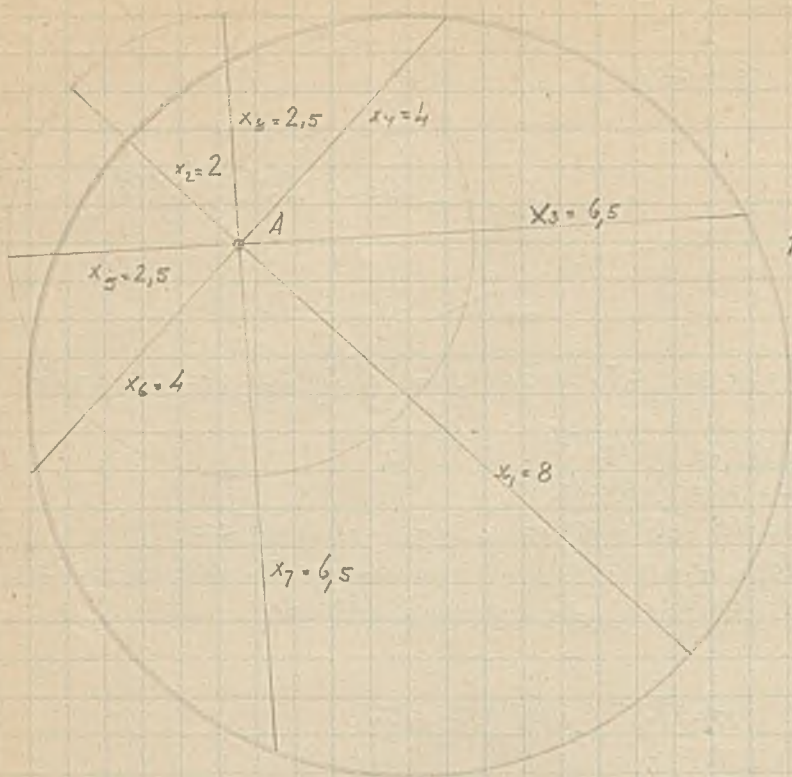
$$S_2=S_3=S_4=25 \text{ cm}^2$$

Ad 1.

$$H = \frac{0,2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 4}{3,5} = \frac{25,12}{5} = 5,02 \text{ wgs}$$

$$H = 5,02 \text{ wgs}$$

Prąd płynie za płaszczyznę papieru więc kierunek H \leftarrow



$$r_2 = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n}}$$

$$r_2 = \frac{8}{\frac{1}{8} + \frac{1}{6,5} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2,5} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6,5}}$$

$$r_2 = \frac{8}{0,125 + 0,15 + 0,25 + 0,4 + 0,5}$$

$$r_2 = \frac{8}{2,225}$$

$$r_2 = 3,5$$

$$H = \frac{0,2 \pi \cdot J \cdot z}{r_2}$$

$$H = \frac{0,2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 4}{3,5} = 7,15 \text{ cgs}$$

$$\underline{H = 7,15 \text{ cgs}}$$

AD 2.

Katzenia u pozozególnych punktach oblicze z wzoru:

$$H = \frac{0,2 \pi \cdot J \cdot z}{l} \left(\frac{x + \frac{l}{2}}{\sqrt{r^2 + (x + \frac{l}{2})^2}} - \frac{x - \frac{l}{2}}{\sqrt{r^2 + (x - \frac{l}{2})^2}} \right)$$

$$H_{x=0} = \frac{0,2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 100}{18} \left(\frac{9}{\sqrt{36+81}} + \frac{9}{\sqrt{36+81}} \right) = \frac{0,2 \pi \cdot 1000 \cdot 2 \cdot 9}{18 \cdot 10,8}$$

$$H_{x=0} = 60 \text{ cgs}$$

$$H_{x=3} = \frac{0,2 \pi \cdot 1000}{18} \left(\frac{3+9}{\sqrt{36+144}} + \frac{6}{\sqrt{36+36}} \right) = \frac{628}{18} \left(\frac{12}{\sqrt{180}} + \frac{6}{\sqrt{72}} \right) = \frac{628}{18} \cdot 1,6$$

$$H_{x=3} = 56 \text{ cgs}$$

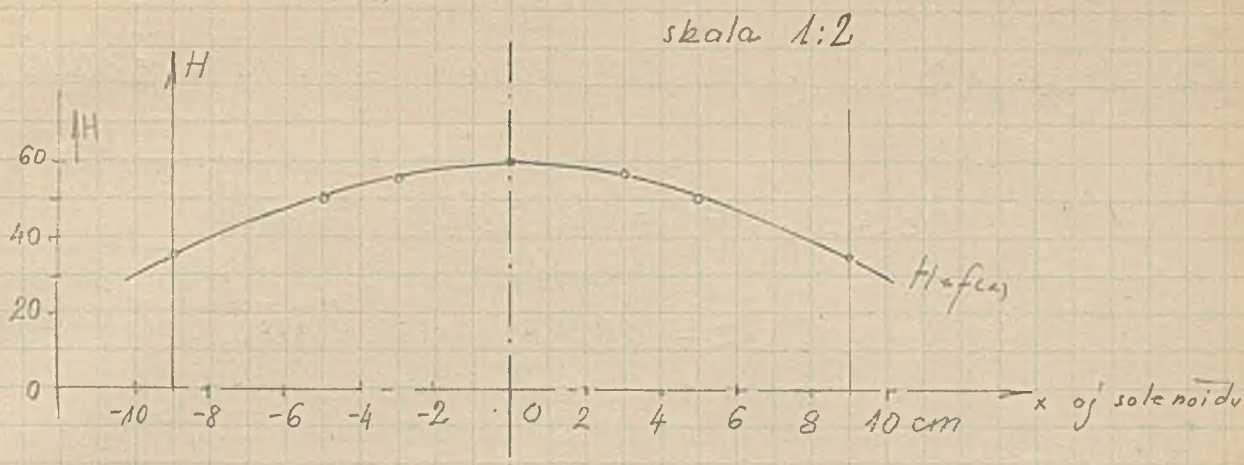
$$H_{x=5} = \frac{628}{18} \left(\frac{5+9}{\sqrt{36+196}} + \frac{4}{\sqrt{36+16}} \right) = \frac{628}{18} \left(\frac{14}{\sqrt{232}} + \frac{4}{\sqrt{52}} \right) = \frac{628}{18} \cdot 1,46$$

$$H_{x=5} = 51 \text{ cgs}$$

$$H_{x=9} = \frac{628}{18} \left(\frac{9+9}{\sqrt{36+324}} \right) = \frac{628}{18} \cdot \frac{18}{\sqrt{360}} = \frac{628}{18} \cdot 0,95$$

$$H_{x=9} = 33 \text{ cgs}$$

- Wykres: $H = f(x)$



A23. $H_{\text{solenoidu}} = \frac{0,4\pi Jz}{l} \cos\beta_2$ uymiarze te same
 .. part 2!

$$H_{\text{piery}} = \frac{0,4\pi Jz}{l}$$

$$\frac{H_s}{H_p} = \cos\beta_2 = \frac{4/2}{\sqrt{(4/2)^2 + (9/2)^2}}$$

$$\frac{H_s}{H_p} = \frac{9}{\sqrt{81+36}} = \frac{9}{10,8} = 0,83$$

$$\underline{H_p = \frac{H_s}{0,83}}$$

$$\underline{H_p > H_s}$$

A24. Potrzebny ilość amperwojów obliczyć z równania

$$Jz = 0,8 H_1 l_1 + 0,8 H_2 l_2 + 0,8 H_3 l_3 + 0,8 H_4 l_4$$

gdzie: $l_1 = 150 \text{ cm}$; $l_2 = 0,5 \text{ cm}$
 $l_3 = 50 \text{ cm}$; $l_4 = 0,5 \text{ cm}$

- Wielkość H_i obliczyć z $\vec{\Phi}$ i S_i (pow) otrzymam B_i

zaś dla B_i z tablic odczytam H_i lub uprość Az .

- w tym ostatnim wypadku:

$$Jz = (Az)_1 l_1 + (Az)_2 l_2 + (Az)_3 l_3 + (Az)_4 l_4$$

$$B_1 = \frac{10^6}{10^2} = 10^4 \text{ cgs} \quad \text{z tablic } (Az)_1 = 2 \quad (\text{żelazo miękkie - blada!})$$

$$B_2 = \frac{10^6}{10^2} = 10^4 \text{ cgs}; \quad H_2 = B_2 \text{ w powietrzu}; \quad (Az)_2 = 0,8 H_2 = 8000 \text{ az}$$

$$B_3 = \frac{10^6}{10^2} = 10^4 \text{ cgs} \quad (A_2)_3 = 2$$

$$B_4 = \frac{10^6}{10^2} = 10^4 \text{ cgs} \quad ; \quad H_4 = B_4 \text{ w powietrzu} \quad (A_2)_4 = 0,8 H_4 = 8000$$

$$J_z = 2.150 + 0,5.8000 + 2.50 + 0,5.8000$$

$$\underline{J_z = 8400 \text{ amperozwojów}}$$

Ad 5.

Dla pierwszego obwodu bez trzeńników

$$J_z = (A_2)_1 l_1 + (A_2)_2 l_2 + (A_2)_3 l_3 + (A_2)_4 l_4$$

$$B_1 = \frac{10^5}{10} = 10^4 \quad (A_2)_1 = 2$$

$$B_2 = \frac{10^5}{2,5 \cdot 10} = 4 \cdot 10^3 \quad (A_2)_2 = 0,5$$

$$B_3 = \frac{10^5}{2,5 \cdot 10} = 4 \cdot 1000 \quad (A_2)_3 = 4000 \cdot 0,8 = 3200$$

$$J_z = 2.60 + 0,5.20 + 3200.2$$

$$\underline{J_z = 6530 \text{ amperozwojów}}$$

dla obwodu drugiego zmieni się tylko $(A_2)_3$

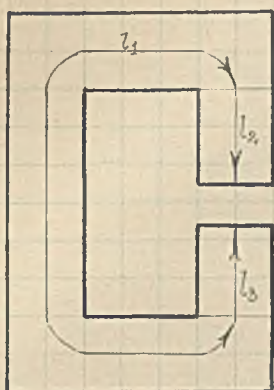
$$B'_3 = \frac{10^5}{50} = 2000 \quad (A_2)_3 = 0,8.2000 = 1600$$

$$J_z = 2.60 + 0,5.20 + 1600.2$$

$$\underline{J_z = 3330 \text{ amperozwojów}}$$

DM

- 1) Obliczyć ilość amperów, potrzebnych do uzyskania strumienia magnetycznego $\Phi = 0 \rightarrow 10^6 \text{ cgs}$ w podanym obwodzie magnetycznym.



$l_1 = 85 \text{ cm}$ | żelazo łane |

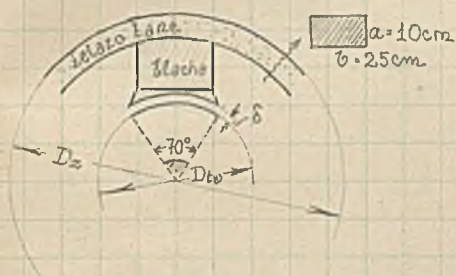
$l_2 = 15 \text{ cm}$
 $l_3 = 15 \text{ cm}$ | blacha |

$\delta = 15 \text{ mm}$

$S_0 = 100 \text{ cm}^2$

zrobić wykres H_z, Φ .

- 2) Obliczyć ilość amperów dla maszyny sterobiegunowej



$\delta = 0,5 \text{ cm}$

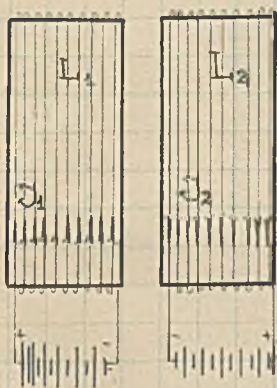
$S_{\text{bieguna}} = 300 \text{ cm}^2$

$l_{\text{trownika}} = 20 \text{ cm}$

d wału = 10 cm

$D_2 = 85 \text{ cm}$

- 3) Obliczyć siłę z jaką odpychają się w powietrzu ($\epsilon = 1$) dwie cewki podane obok



$I_1 = 10 \text{ A}$

$I_2 = 8 \text{ A}$

$L_1 = 0,02 \text{ H}$

$L_2 = 0,03 \text{ H}$

$k = 1$

- 4) Jaka jest siła obrodowa na trowniku maszyny elektrycznej posiadającej 300 przewodników na obrodzie. Prąd $I = 10 \text{ A}$.



$\varphi = 120^\circ$

$B_{sr} = 9000 \text{ cgs}$

Dypracowanie.

1.

| | | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
| Jednostka B | $2 \cdot 10^3$ | $4 \cdot 10^3$ | $6 \cdot 10^3$ | $8 \cdot 10^3$ | 10^4 cgs. |
| Amperowicz Hz | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| Amperowicz dla rel. lancz | 2,5 | 6 | 15 | 47 | 113 |

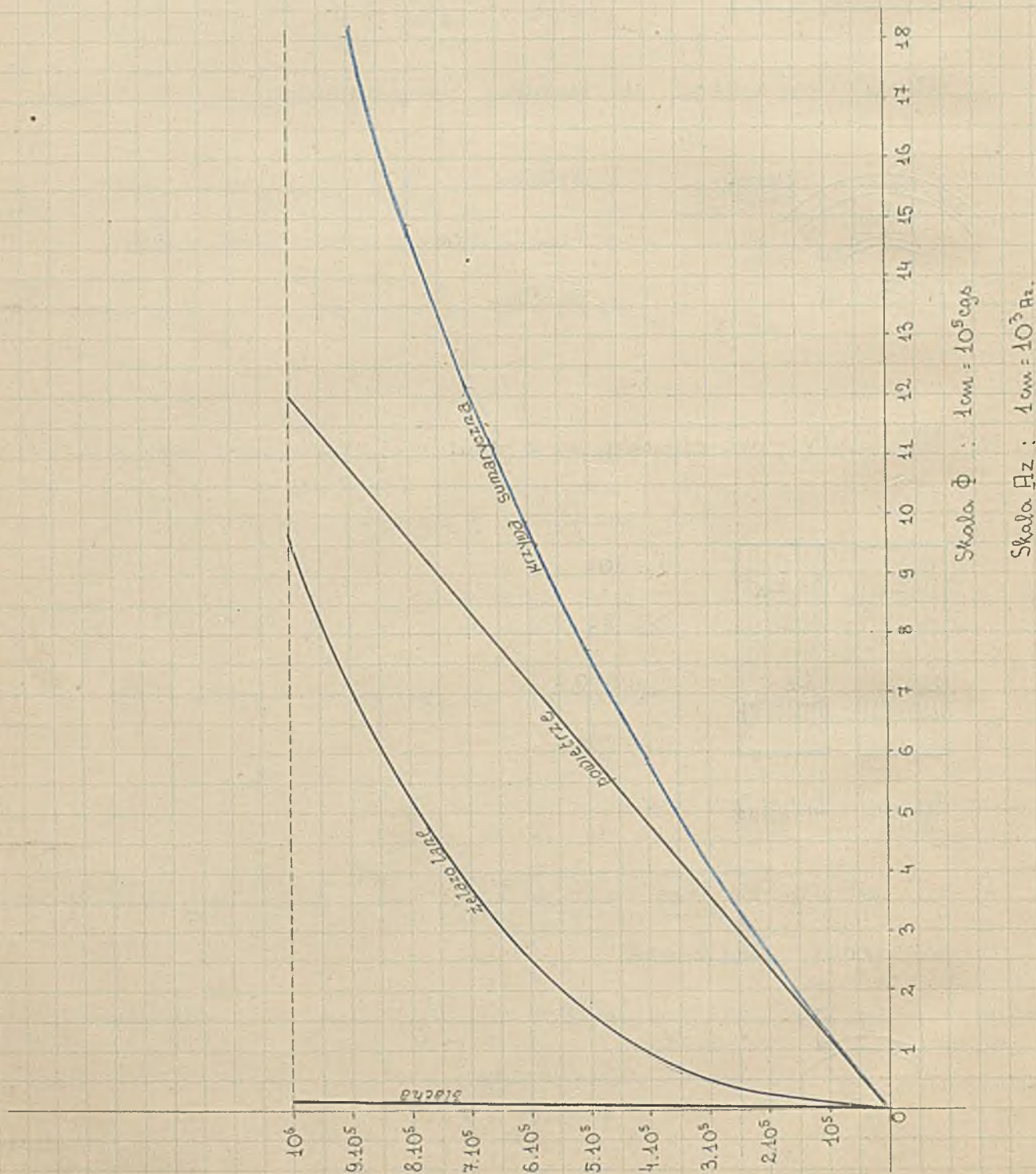
$$B = \frac{10^6}{9} = 10^4 \text{ cgs.}$$

$$J_{z_1} = 85 \cdot 2,5 + 30 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 1,5 = 2628$$

$$J_{z_2} = 85 \cdot 6 + 30 \cdot 1 + 0,8 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 1,5 = 5340$$

$$J_{z_3} = 85 \cdot 15 + 30 \cdot 2 + 0,8 \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 1,5 = 13660$$

$$J_{z_4} = 85 \cdot 47 + 30 \cdot 2,5 + 0,8 \cdot 10^4 \cdot 1,5 = 21675$$



2). Przekrój ostony $25 \cdot 10 = 250 \text{ cm}^2$

wysokość rdzenia rewki $h = \frac{85-40}{2} = 0.5 \cdot 22 \text{ cm}$

$\Phi_u = \pi \cdot D \cdot \frac{70}{360} \cdot B_{\text{magnet}} = 3.14 \cdot 41 \cdot \frac{70}{360} \cdot 20.8000 = 4.000.000 \text{ cgs}$

!: przekrój średnicy
= 500 cm^2 !

$\Phi_m = 1.2 \Phi_u$

$4.000.000 \cdot 1.2 = 4.800.000 \text{ cgs}$

B dla ostony = $\frac{\Phi}{S} \cdot 250 = \frac{4.800.000}{250} = 9600 \text{ cgs}$

B dla trownika

$\frac{2.400.000}{300} = 8000 \text{ cgs}$

B dla magnesu

$\frac{2.400.000}{150} = 16000 \text{ cgs}$

$H_z (B=9600) = 95 \text{ cgs}$!: żel łame!

$H_z (B=8000) = 1$!: blacha!

$H_z (B=16000) = 50$!: blacha!

$J_z = \frac{85 \cdot 3.14}{8} \cdot 95 + 1 \cdot 10 + 50 \cdot 22$ (2 trowniki)

$J_z = 33.95 + 10 + 50 \cdot 22 = 4250$

$J_z = 4250$

3) $M = k \sqrt{L_1 L_2} = \sqrt{0.02 \cdot 0.03} = \sqrt{0.0006} = 0.0245$

ponieważ M maleje o 0,9 na 1% m nisz

$\frac{dM}{dx} = \frac{0.1M}{0.1 \text{ cm}} = M$

$F = \frac{dM}{dx} J_1 J_2 = 0.0245 \cdot 10 \cdot 8 = 0.0245 \cdot 80$
henry ampere

($\mu = 10^9 \text{ EM}$) $F = \frac{0.0245 \cdot \frac{10^8}{360} \cdot 10^3}{981000} = 19,9 \text{ kg}$

$F = 19,9 \text{ kg}$

$F_1 = 19,9 \cdot 0.1 = 1,99 \text{ kg}$

$F = 1,99 \text{ kg}$

4). Długość trownika przyjmijmy $l_t = 20 \text{ cm}$

Długość drutu pod magnesami $l = \frac{1}{3} \cdot 2.300 \cdot 20 = 4000 \text{ cm}$

Sila obrotowa $F = \frac{B \cdot J \cdot l}{10.981000} \text{ kg}$

$F = \frac{9000 \cdot 50 \cdot 4000}{10.981000} = 183 \text{ kg}$

$F = 183 \text{ kg}$

RM

Ćwiczenie 13.

1. Wyznaczenie krzywej ogrzewania wody w grzejniku elektrycznym
D.R.P. 110 volt i. Nr. 11423. Pojemności 0.7 l.

Protokół pomiaru

| Czas sek | Temp °C | Czas sek | Temp °C | Czas sek | Temp °C | Czas sek | Temp °C |
|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| 0 | 20 | 200 | 44.5 | 400 | 71.25 | 600 | 90.0 |
| 20 | 20 | 220 | 47.5 | 420 | 74.00 | 620 | 91.5 |
| 40 | 21 | 240 | 50.5 | 440 | 76.25 | 640 | 93.0 |
| 60 | 24.75 | 260 | 53.25 | 460 | 78.75 | 660 | 94.0 |
| 80 | 28 | 280 | 55.75 | 480 | 80.75 | 680 | 95.25 |
| 100 | 30.5 | 300 | 58.75 | 500 | 82.75 | 700 | 96.0 |
| 120 | 32.25 | 320 | 61.5 | 520 | 84.00 | 720 | 98.25 |
| 140 | 36.25 | 340 | 64.0 | 540 | 85.5 | 740 | 98.25 |
| 160 | 39 | 360 | 66.75 | 560 | 87.0 | | |
| 180 | 42 | 380 | 69 | 580 | 88.5 | | |

Przyjemność
w zakresie

2. Pomiar oporu żarówki wolframowej gararowej. Ostram - Strika 500 W

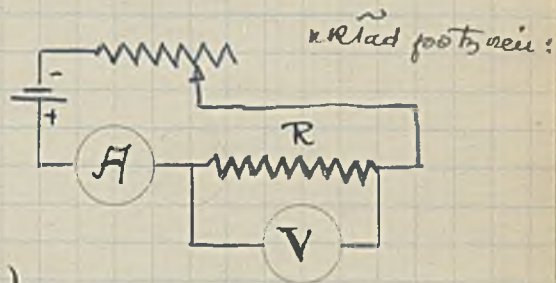
| Lp. | U H | I A | R = U/I Ω | Lp. | U H | I A | R = U/I Ω |
|-----|--------|--------|--------------|-----|--------|--------|--------------|
| 1 | 1.5 | 10.0 | 6.66 | 8 | 3.7 | 75.0 | 20.25 |
| 2 | 1.85 | 16.5 | 8.92 | 9 | 3.9 | 71.8 | 21.00 |
| 3 | 2.0 | 21.2 | 10.6 | 10 | 4.1 | 90.2 | 22.00 |
| 4 | 2.55 | 35.2 | 13.8 | 11 | 4.2 | 94.4 | 22.50 |
| 5 | 3.00 | 48.6 | 16.2 | 12 | 4.3 | 99.5 | 23.20 |
| 6 | 3.25 | 58.0 | 17.85 | 13 | 4.6 | 112 | 24.35 |
| 7 | 3.40 | 64.2 | 18.9 | | | | |

3. Pomiar współczynnika α dla

a) miedzi

b) żelaza

α określamy z wzoru $R_t = R_{18} (1 + \alpha_{18} T)$



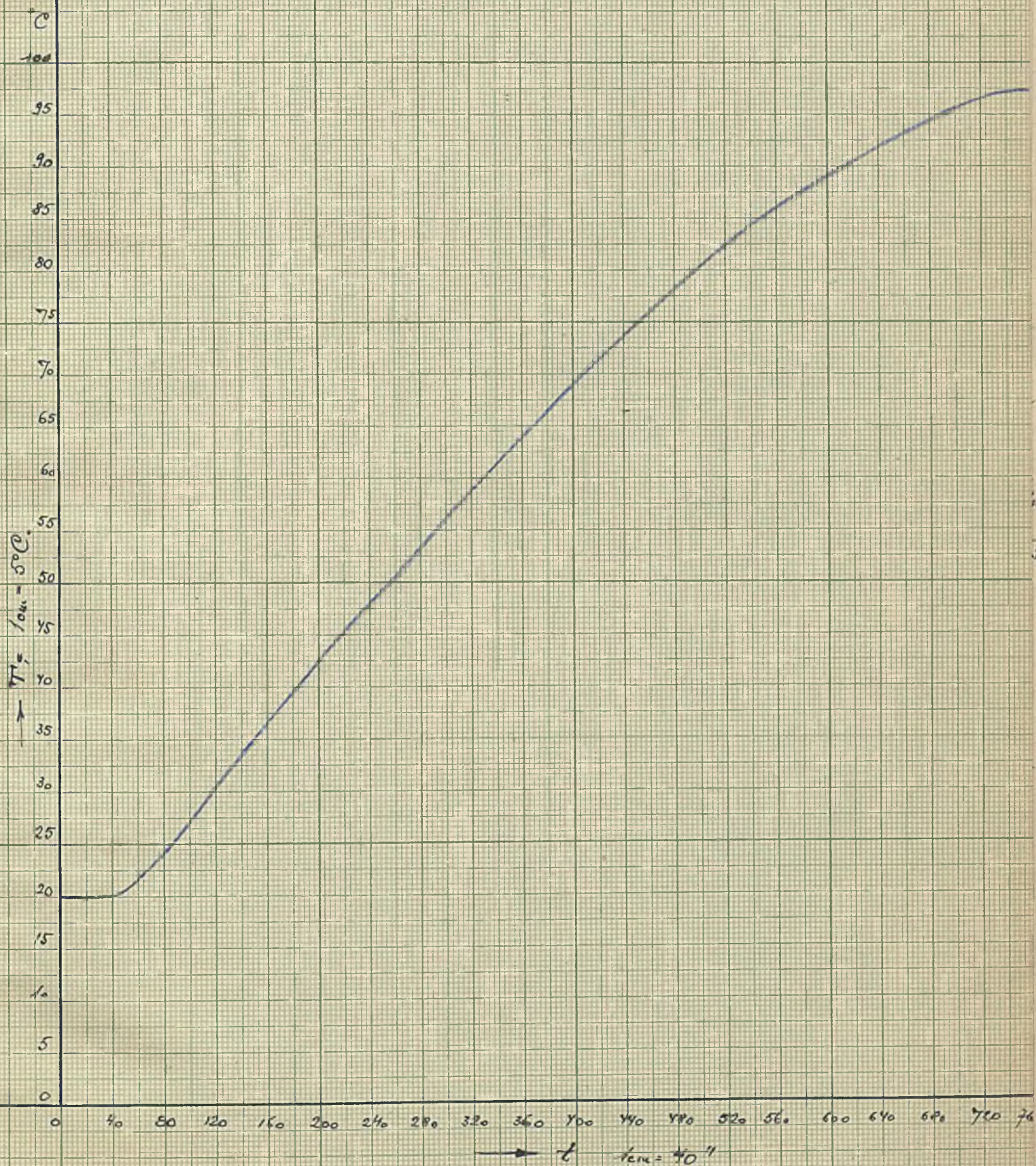
Protokół pomiaru:

| Lp. | Materiał | t = 18°C | | | | | | t = 68°C | | | | | | α | α ₁₈ | t _{wagi} |
|-----|----------|----------|--------|-----------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|----------|--------|-----------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|---------|-----------------|------------------------|
| | | U V | I A | U/R _t H | I · U/R _t H | R _t Ω | R ₁₈ Ω | U V | I A | U/R _t H | I · U/R _t H | R _t Ω | R ₁₈ Ω | | | |
| 1 | Miedz | 0.089 | 0.304 | 0.39 | 0.315 | 0.10092 | | 0.117 | 1.02 | 0.117 | 0.903 | 0.1295 | | 0.00404 | 0.00397 | R _v = 1.0 Ω |
| 2 | | 0.1215 | 1.226 | 0.1215 | 1.1045 | 0.1100 | 0.1096 | 0.0748 | 0.652 | 0.0748 | 0.5772 | 0.1299 | 0.1298 | 0.00398 | | |
| 3 | | 0.1493 | 1.448 | 0.1493 | 1.3037 | 0.1106 | | 0.146 | 1.27 | 0.146 | 1.124 | 0.1300 | | 0.00388 | | |
| | | t = 18°C | | | | | | t = 71°C | | | | | | | | |
| 1 | Żelazo | 0.775 | 0.482 | 0.00517 | 0.44683 | 1625 | | 1.09 | 0.642 | 0.00727 | 0.66473 | 1656 | | 0.0006 | 0.00084 | R _v = 150 Ω |
| 2 | | 0.937 | 0.663 | 0.00627 | 0.656753 | 1.427 | 1.478 | 0.781 | 0.54 | 0.00527 | 0.544773 | 1.466 | 1.5027 | 0.00074 | | |
| 3 | | 1.123 | 0.820 | 0.00749 | 0.81251 | 1.382 | | 0.668 | 0.474 | 0.00445 | 0.472547 | 1.466 | | 0.0012 | | |

RK

До сирење 13. поинк-1

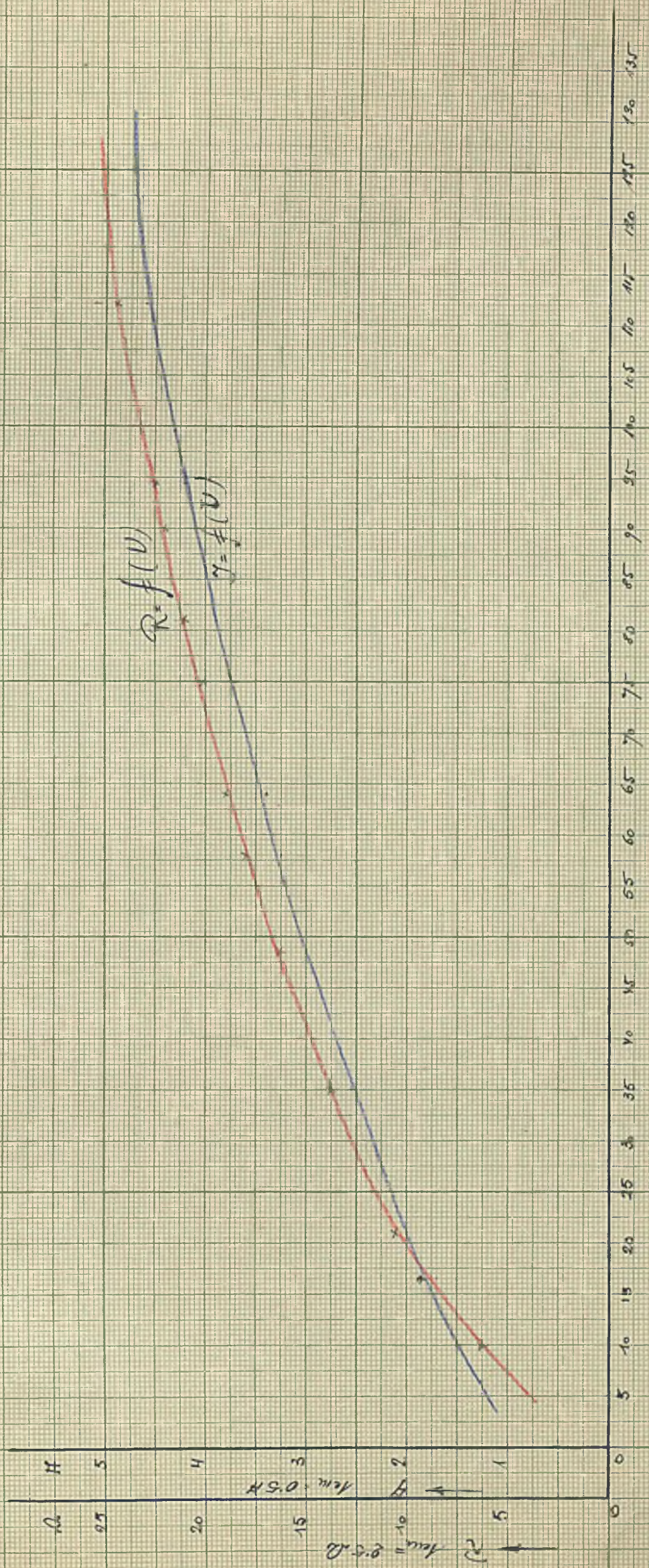
Крива сирењања каду и грејника стакленогне
Др. Р. Ноклт + К. Нез Рјамуови ~ 0.7 l.



Тодорев З. Флорински

Do čimrele št 13 prirak 2

Razpre ipovu "carobski, vovni stika" - 500W 110v $\gamma = f(U)$

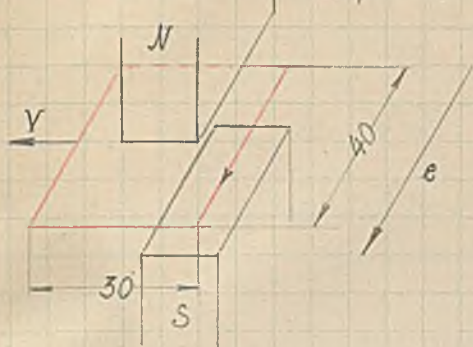


U [kV] = 5V

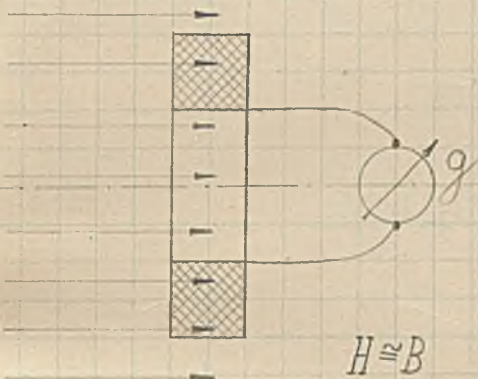
Trilevan Z. Sedinski

Ćwiczenie 15.

1) Ramka prostokątna z drutu nikielowego [$\rho = 0,42$], o przekroju 1 mm^2 , o wymiarach $30 \times 40 \text{ cm}$, porusza się \perp do linii indukcji w polu magnetycznym jednorodnym, $[B = 5000 \text{ cgs}]$ z szybkością $v = 10 \text{ m/s}$. Obliczyć natężenie w ramce SEM, prąd oraz ilość ciepła w sekundzie.



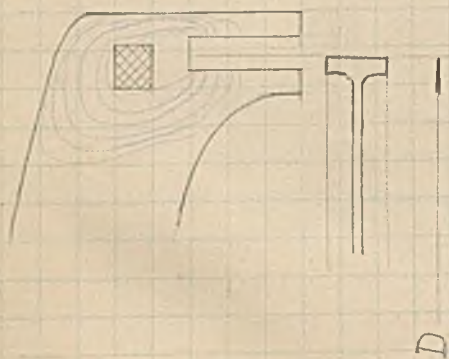
2) Induktor ziemski służący do pomiaru natężenia pola magn. ziemskiego składa się z 189 zwojów drutu o średniej długości 566 m . Średnica drutu wynosi 2 mm . Na zaciski induktora włączono galwanometr ballistyczny o oporze wewn. 19Ω , opór połączeń $= 0,4 \Omega$, $[Cu \dots \rho = \frac{1}{57}] \text{ sr.} = 180 \text{ m}^2$, $S = 255 \text{ cm}^2$.



Induktor umieszczony płasko w polu \perp do składowej poziomej pola ziemskiego $[H_p = 0,2 \text{ Gauss}]$, obracamy szybko o 180° dookoła osi pionowej. Obliczyć ładunek Q , jaki przepłynie przez galwanometr. Jaka jest skala galwanometru C , jeżeli odczytano wychylenie $\alpha = 24^\circ$.

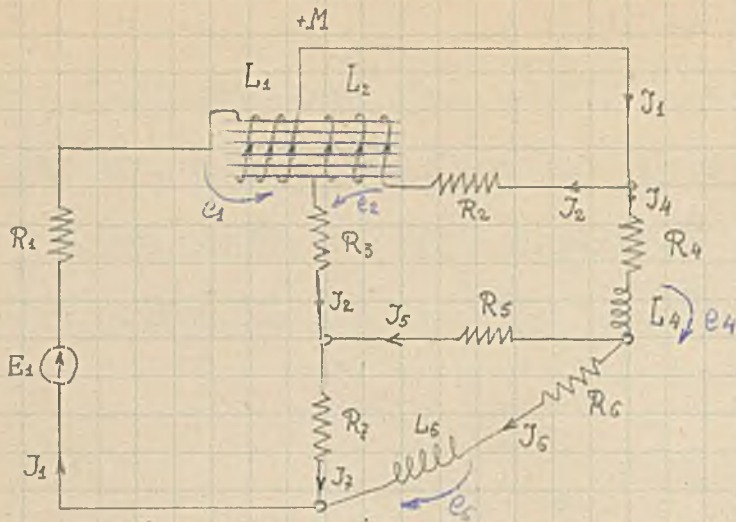
3) Jaki ładunek przepłynie przez cewkę 1000 zwojową, gdy wyjmiesz z jej wnętrza magnes stałowy o momencie $M = 16000 \text{ cgs}$, i długości zastępczej $l = 40 \text{ cm}$. Opór cewki i połączeń $R = 5 \Omega$.

4) Maszyna unipolarna o podanych wymiarach obraca się 6000 razy na minutę. Obliczyć SEM indukowaną, $B = 10000 \text{ cgs}$.



$D = 1 \text{ m}, l = 35 \text{ cm}$.

5)



Ustawić równania różniczkowe
rozprężyć prądy w podanym obwodzie

Rozwiązanie.

1) $e = B \cdot \lambda \cdot v \cdot 10^{-8} \text{ V}$

$B = 5000 \text{ cgs}$

$e = 5000 \cdot 40 \cdot 10^{-5} \text{ V} = 2 \text{ V}$

$\lambda = 40 \text{ cm}$

$R = \frac{\lambda}{\rho} \cdot \rho = \frac{140}{1} \cdot 0.42 = 0.587 \Omega$

$v = 10^3 \text{ m/szek}$

$J = \frac{e}{R} = \frac{2}{0.587} = 3.41 \text{ A}$

$C = 0.24 \cdot J \cdot R \cdot t = 0.24 \cdot 3.41 \cdot 0.587 \cdot 1 = 1.63 \text{ kalgr}$

2) $Q = \frac{z}{R} \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \text{ Kulomb}$

$S = 255 \text{ cm}^2$

$R = \frac{\lambda}{\rho} \cdot \rho = \frac{189 \cdot 0.566}{\pi} \cdot \frac{1}{57} = 0.6 \Omega$

$\Phi = B \cdot S = H \cdot S = 0.2 \cdot 255 = 51 \text{ cgs}$

$\Phi_2 - \Phi_1 = 2\Phi = 102 \text{ cgs}$

$Q = \frac{189}{20} \cdot 102 \cdot 10^{-8} \text{ Kulomb} = 963 \cdot 10^{-8} \text{ Kulomb} = 9.63 \cdot 10^{-6} \text{ Kulomb}$

$Q = C \cdot \alpha$

$\alpha = 24^\circ$

$C = \frac{Q}{\alpha} = \frac{963 \cdot 10^{-8} \text{ Kulomb}}{24} \approx 4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Kulomb}}{\text{stop}}$

3) $M = 16000 \text{ cgs}$, $\lambda = 40 \text{ cm}$, $z = 1000$

$m = \frac{M}{\lambda} = \frac{16000}{40} = 400 \text{ cgs}$

$\Phi = 4\pi m = 4 \cdot 3.14 \cdot 400 = 5024 \text{ cgs}$

$Q = \frac{z}{R} \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \text{ Kulomb} = \frac{1000}{5} \cdot 5024 \cdot 10^{-8} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Kulomb}$

$$4) E = \frac{B \cdot l \cdot v \cdot n}{60 \cdot 10^6} \text{ V}$$

$$E = \frac{10000 \cdot 35 \cdot 100 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 600}{60 \cdot 10^6} = \underline{\underline{110 \text{ V}}}$$

$$5) \quad 1) \quad I_1 - I_2 - I_4 = 0$$

$$e_1 = - \left[L_1 \frac{dI_1}{dt} + M \frac{dI_2}{dt} \right]$$

$$2) \quad I_4 - I_5 - I_6 = 0$$

$$e_2 = - \left[L_2 \frac{dI_2}{dt} + M \frac{dI_1}{dt} \right]$$

$$3) \quad I_6 + I_7 - I_1 = 0$$

$$4) \quad E_1 - I_1 R_1 + e_1 - I_2 R_2 + e_2 - I_2 R_3 - I_7 R_7 = 0$$

$$e_4 = -L_4 \frac{dI_4}{dt}$$

$$5) \quad e_4 - I_5 R_5 + I_2 R_3 - e_2 + I_2 R_2 - I_4 R_4 = 0$$

$$e_6 = -L_6 \frac{dI_6}{dt}$$

$$6) \quad e_6 + I_7 R_7 + I_5 R_5 - I_6 R_6 = 0$$

$$4) \quad E_1 - I_1 R_1 - L_1 \frac{dI_1}{dt} - M \frac{dI_2}{dt} - I_2 R_2 - L_2 \frac{dI_2}{dt} - M \frac{dI_1}{dt} - I_2 R_3 - I_7 R_7 = 0$$

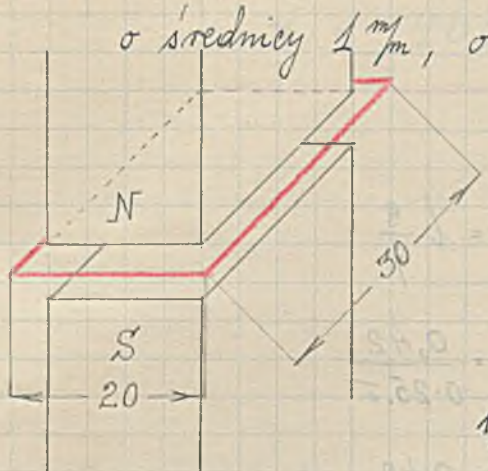
$$5) \quad -L_4 \frac{dI_4}{dt} - I_5 R_5 + I_2 R_3 + L_2 \frac{dI_2}{dt} + M \frac{dI_1}{dt} + I_2 R_2 - I_4 R_4 = 0$$

$$6) \quad -L_6 \frac{dI_6}{dt} + I_7 R_7 + I_5 R_5 - I_6 R_6 = 0$$

AM

Ćwiczenie 20.

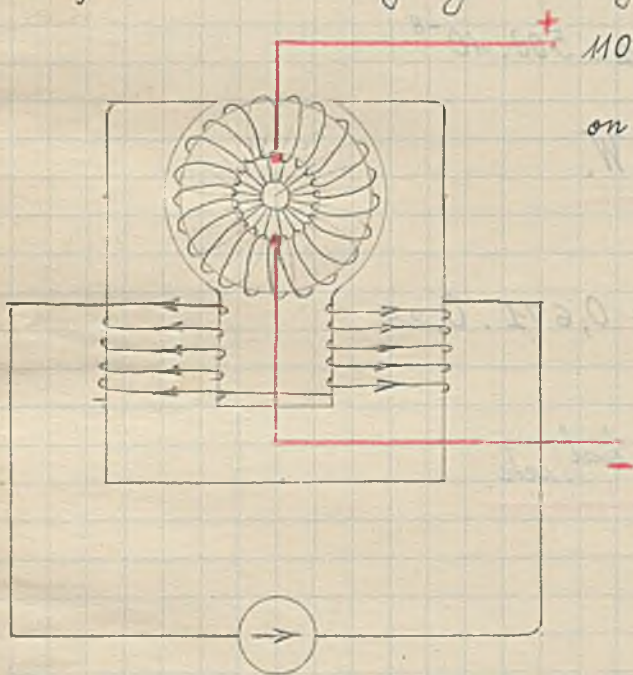
- 1). Ramka prostokątna z drutu miedzianego ($\rho = 0,42$) o średnicy 1 mm , o wymiarach $20 \times 30 \text{ cm}$. porusza się prostopadle do linii indukcji w polu magnetycznym jednorodnym. ($B = 6000 \text{ gauss}$) z szybkością 5 m/sek .



Obliczyć:

- 1). wytworzoną w ramce SEM-ana.
- 2). prąd jaki płynie w przewodniku.
- 3). moc potrzebną do poruszania ramki.
- 4). moc straconą (w W. i kcal/sek.) w ramce.

- 2). Motor elektryczny dwubiegunowy zataczono na sieć o napięciu 110 woltów. Obliczyć ilość obrotów, jaką on rozwija, mając dane: $B = 8000 \text{ gauss}$ w szczelinie, prąd $I = 40 \text{ A}$, opór twornika $R_t = 0,1 \Omega$. Spadek napięcia na szczotkach wynosi 2 wolt.



Wymiary twornika:
 $D = 20 \text{ cm}$, $l = 18 \text{ cm}$, $\alpha = 120^\circ$, $z = 450$.

1.)

$$F = B \cdot l \cdot J \cdot r = E \cdot J$$

$$E = B \cdot l \cdot r$$

$$E = 6000 \cdot 20 \cdot 500$$

$$E = 60,000,000 \cdot 10^{-8}$$

$$\underline{E = 0.6 \text{ V}}$$

2.)

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

$$R = l \frac{\rho}{q}$$

$$J = \frac{0.6}{0.535}$$

$$R = \frac{0.42}{0.25 \pi}$$

$$\underline{J = 1.12 \text{ Amp.}}$$

$$R = \frac{0.42}{0.785} \Omega$$

$$\underline{R = 0.535 \Omega.}$$

3.)

$$P = B \cdot l \cdot J \cdot r$$

$$P = 6000 \cdot 20 \cdot 1.12 \cdot 500 \cdot 10^{-8}$$

$$\underline{P = 0.671 \text{ W.}}$$

4.)

$$P'_{\text{kal/sek.}} = P \cdot 0.24 = 0.671 \cdot 0.24$$

$$\underline{P' = 0.161 \text{ kal/sek.}}$$

2.)

$$E = \frac{\Phi \cdot n \cdot z}{60} \cdot 10^{-8} \text{ V.}$$

$$n = \frac{60 \cdot E}{z \cdot \Phi \cdot 10^{-8}}$$

$$\Phi = B \cdot S = 8000 \cdot 2 \frac{D}{8} \pi \cdot \frac{l}{3}$$

$$\Phi = 8000 \cdot 20 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 18$$

$$\underline{\Phi = \sim 3,000,000}$$

$$E = 110 - 40 \cdot 0.1 - 2$$

$$E = 104 \text{ V.}$$

$$n = \frac{104.60}{450,3000.000 \cdot 10^{-8}}$$

$$n \approx 462 \text{ obr./min.}$$

RM

$$1) e_1 = - \left[L_1 \frac{di_1}{dt} - M_{12} \frac{di_2}{dt} + M_{13} \frac{di_3}{dt} - M_{14} \frac{di_4}{dt} \right]$$

$e_1 = - [\quad]$ znak „-“, bo e_1 zasuwany zgodnie z prodem i_1 .

Dla „e” zasuwanych przeciwnie prodomi obowiazuje ten sam wzór ze znakiem „+”.

$$e_2 = + \left[L_2 \frac{di_2}{dt} - M_{21} \frac{di_1}{dt} - M_{23} \frac{di_3}{dt} + M_{24} \frac{di_4}{dt} \right]$$

$$e_3 = - \left[L_3 \frac{di_3}{dt} + M_{31} \frac{di_1}{dt} - M_{32} \frac{di_2}{dt} - M_{34} \frac{di_4}{dt} \right]$$

$$e_4 = - \left[L_4 \frac{di_4}{dt} - M_{41} \frac{di_1}{dt} + M_{42} \frac{di_2}{dt} - M_{43} \frac{di_3}{dt} \right]$$

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{40-100}{10} = -6 \text{ Amp/sek}$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{120-20}{10} = +10 \text{ Amp/sek}$$

$$\frac{di_3}{dt} = \frac{120-20}{10} = +10 \text{ Amp/sek}$$

$$\frac{di_4}{dt} = \frac{50-200}{10} = -15 \text{ Amp/sek}$$

$$e_1 = - [3 \cdot (-6) - 2 \cdot 10 + 3 \cdot 10 - 2 \cdot (-15)] = -22 \text{ Volty}$$

$$e_1 = -22 \text{ Volty Tj.}$$

punkt a ma potencjał wyższy o 22V od p. c

$$e_2 = + [2 \cdot 10 - 2 \cdot (-6) - 3 \cdot 10 + 1 \cdot (-15)] = -13 \text{ Voltów}$$

punkt c ma potencjał wyższy o 13V od p. d.

$$e_3 = - [5 \cdot 10 + 3 \cdot (-6) - 3 \cdot 10 - 3 \cdot (-15)] = -47 \text{ Voltów}$$

punkt g ma potencjał wyższy o 47V od p. d.

$$e_4 = - [2 \cdot (-15) - 2 \cdot (-6) + 1 \cdot 10 - 3 \cdot 10] = +38 \text{ Volty}$$

punkt b ma potencjał wyższy o 38V od p. g

SEM-owca, całkowitą obliczymy z wzoru:

$$\sum(e) = 0 \text{ w zamkniętym kole}$$

$$e - e_4 + e_3 - e_2 - e_1 = 0$$

$$e = e_1 + e_2 - e_3 + e_4$$

$$e = -22 - 13 + 47 + 38 = 50 \text{ Voltów}$$

więc p. b ma potencjał wyższy o 50V od p. a.

2). a).

$$W = \frac{1}{2} L_1 J_1^2 + \frac{1}{2} L_2 J_2^2 + M_{12} J_1 J_2$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot 10^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,6 (-8)^2 - 0,4 \cdot 10 \cdot 8 = 2,2 \text{ Joule}$$

$$W = 2,2 \cdot 10^7 \text{ erg}$$

$$W = \frac{2,2}{9,81} = \underline{\underline{0,224}} \text{ kgm}$$

b).

$$W = \frac{1}{2} L_1 J_1^2 + \frac{1}{2} L_2 J_2^2 - M_{12} J_1 J_2$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot 10^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,6 (8)^2 + 0,4 \cdot 10 \cdot 8 = 66,2 \text{ Joule}$$

$$W = 66,2 \cdot 10^7 \text{ erg}$$

$$W = \frac{66,2}{9,81} = \underline{\underline{6,75}} \text{ kgm}$$

3).

$$W = \frac{1}{2} L_1 J_1^2 + \frac{1}{2} L_2 J_2^2 + \frac{1}{2} L_3 J_3^2 + \frac{1}{2} L_4 J_4^2$$

$$- M_{12} J_1 J_2 - M_{13} J_1 J_3 + M_{14} J_1 J_4 + M_{23} J_2 J_3 - M_{24} J_2 J_4 - M_{34} J_3 J_4$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 25 + \frac{1}{2} \cdot 0,6 \cdot 100 + \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 100 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 36 - 0,7 \cdot 5 \cdot 10 + 0,5 \cdot 5 \cdot 10 +$$
$$+ 0,6 \cdot 5 \cdot 6 - 0,8 \cdot 10 \cdot 10 - 1,6 \cdot 10 + 1,2 \cdot 6 \cdot 10$$

$$W = 78,5 \text{ Joule}$$

$$W = 78,5 \cdot 10^7 \text{ erg}$$

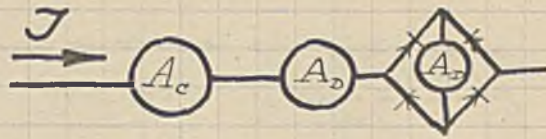
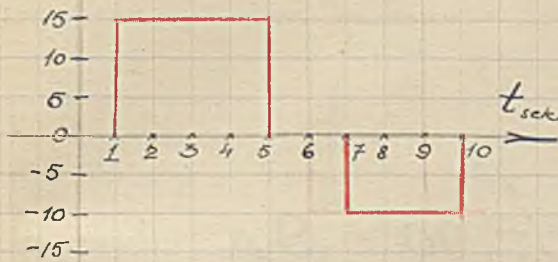
$$W = \frac{78,5}{9,81} = \underline{\underline{8}} \text{ kgm}$$

RM

Ćwiczenie 25.

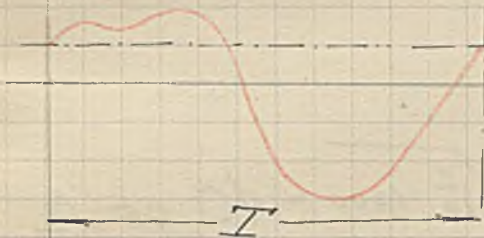
tem: Obliczyć wartość średnią i skuteczną prądu uzgl. napięcia o podanym przebiegu - podać co - wskazuje aparat ciepłokony i aparat Deprez przed i po spłóśtonianiu prądu

a. Amp



b. przebieg podany domołą krzywą zdjętą oscylografem

b.



(rys 1. b)

c.



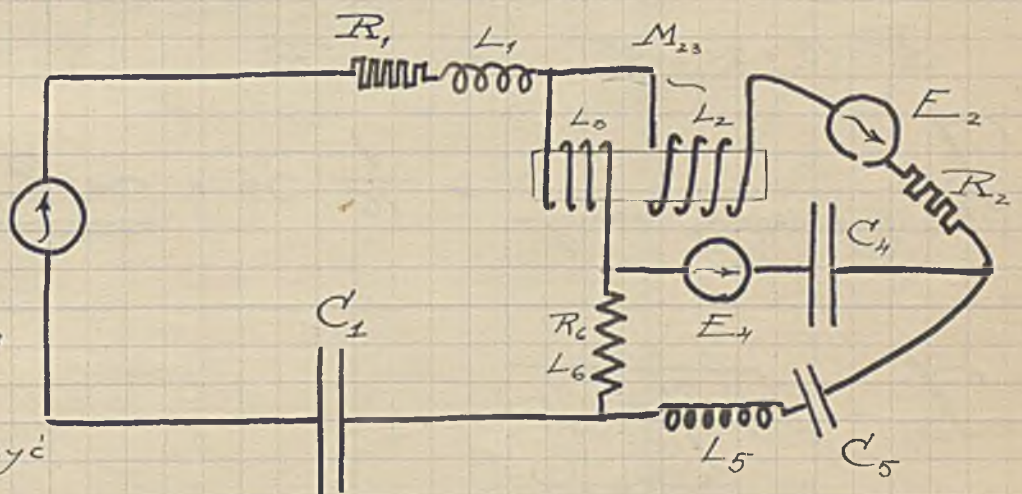
(przebieg sinusoidalny).



2. Obliczyć względnie wykreślić moc jako $f(t)$; obliczyć moc średnią oraz pracę
 a). od $t=0$ do $t = 3/2 T$
 b). $t = 1$ godz. (przebieg U i I podany na osobnym rysunku)

3.

3. Ustalić równanie różniczkowe dla podanego obwodu oraz wskazać na osobnym rysunku jak należy załączyć oscylografy dla zdjęcia przebiegu sił elektromotorycznych i obliczonych prądów.



a.
$$I_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T |I_t| dt \dots \dots \dots (1)$$

$$I_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_t^2 dt} \dots \dots \dots (2)$$

2. $\int_0^T |I| dt$... odpowiada na wykresie sumie pól zamkniętych między krzywą prądu a osią "t" bez względu na znak

$p_1 = 15 \cdot 4 = 60$
 $p_2 = 3 \cdot (-10) = -30$
 $|-30| = 30$

$p = 60 + 30 = 90 = \int_0^T |I_t| dt$

$$I_{sr} = \frac{1}{10} 90 = \underline{\underline{9A}}$$

$\int_0^T I_t^2 dt$ odpowiada polu figury płaskiej której rzędne są kwadratami wartości rzędnych krzywej $i = f(t)$

$p_1 = 15^2 \cdot 4 = 225 \cdot 4 = 600$
 $p_2 = 10^2 \cdot 3 = 100 \cdot 3 = 300$

$p = 600 + 300 = 1200 = \int_0^T I_t^2 dt$

$$I_{sk} = \sqrt{\frac{1}{10} 1200} = \underline{\underline{10,95A}}$$

6. (rys 1.6). $T = 16 \text{ sek}$

$$I_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T |I_{sr}| dt$$

$P = 15 + 20 = 35$

I_{sr} dla podanego przebiegu $= \frac{1}{16} \cdot 35 = \underline{\underline{\sim 2,2 \text{ Amp.}}}$

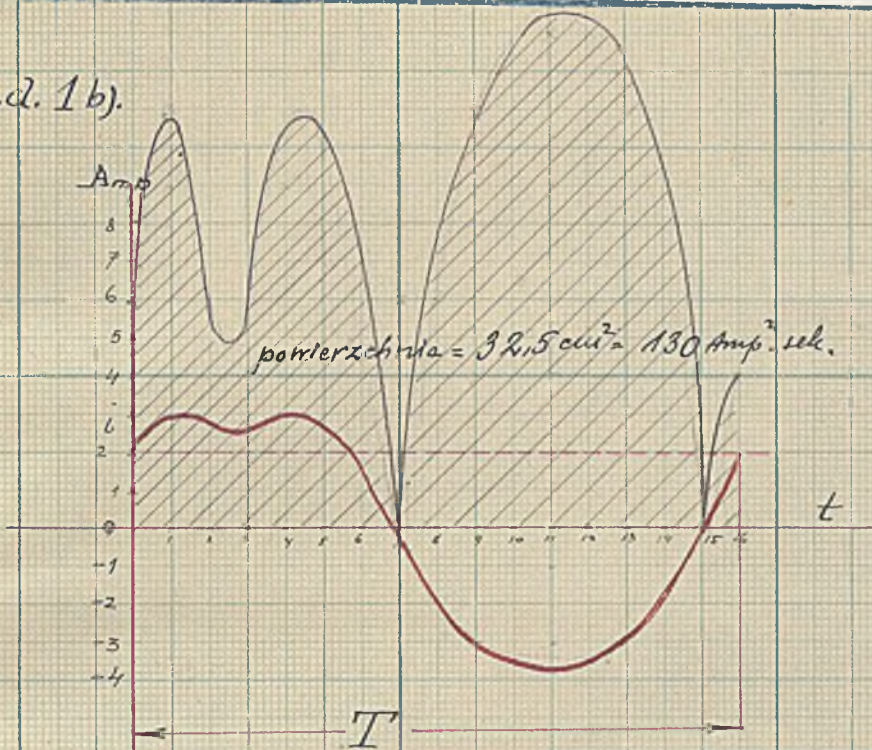
$$I_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_t^2 dt}$$

P' - chcąc obliczyć tę wartość dla podanego przebiegu rysuje ponownie krzywą której rzędne są kwadratami rzędnych pierwotnej krzywej - obliczam powierzchnie jak ograniczają ponownie krzywą z osią czasu.

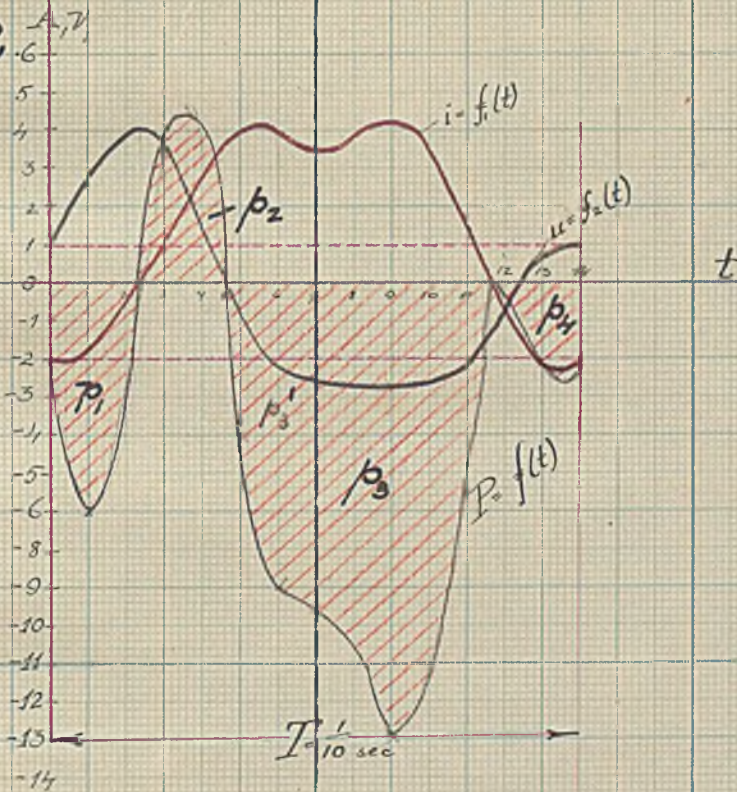
$P' = \sim 130 \text{ Amp. sek}$

$$I_{sk} = \sqrt{\frac{1}{16} \cdot 130} = \sqrt{8,1} = \sim \underline{\underline{2,85A}}$$

do zd. 1b).



do zd. 2.



L. Machal



1. Amp. ciepłokony wskaże wartość skuteczną prądu: a) 10,05 A b) 2,85 A
2. " Deprez " różnicę ujemnej i dodatniej wart. prądu a) 0, a) 10,05 A
3. " " ukt. Götze " sumę ujemnej i dodatniej wart. prądu.

c.

$$U_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T |U| dt$$

przebieg sinusoidalny: $\omega = \frac{2\pi}{T} \dots T = 2\pi\omega$ $U = U_{max} \sin(\omega t + \varphi)$

$$U_{sr} = \frac{1}{T} \int U_{max} (\sin(\omega t + \varphi)) dt$$

wprowadzam nową zmienną α zamiast zmiennej t

$$U_s = \frac{\omega U_m}{2\pi} \int \sin\left(\omega \frac{\alpha}{\omega} + \varphi\right) \frac{d\alpha}{\omega} =$$

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} \quad dt = \frac{d\alpha}{\omega}$$

$$t = \frac{\alpha}{\omega}$$

$$= \frac{U_m}{2\pi} \int \sin(\alpha + \varphi) d\alpha$$

Ponieważ krzywa sinusoidalna jest symetryczna całkowemy od $(-\varphi)$ do $(180-\varphi)$ dla pełnego okresu T i mnożymy przez \dots

zatem:

$$U_s = \frac{U_m}{\pi} \int_{-\varphi}^{180-\varphi} \sin(\alpha + \varphi) d\alpha = \frac{U_m}{\pi} [-\cos(\alpha + \varphi)]_{-\varphi}^{180-\varphi} = \frac{U_m}{\pi} [\cos(180-\varphi + \varphi) - (\cos(-\varphi + \varphi))] =$$

$$\underline{U_{sr} = \frac{2}{\pi} U_{max}}$$

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int U^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} U_m^2 \int \sin^2(\omega t + \varphi) dt} = \sqrt{\frac{\omega U_m^2}{2\pi} \int_{-\varphi}^{2\pi-\varphi} \sin^2(\alpha + \varphi) \frac{d\alpha}{\omega}}$$

$$= \sqrt{\int_{-\varphi}^{2\pi-\varphi} \frac{1 - \cos 2(\alpha + \varphi)}{2} d\alpha} = \sqrt{\frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2(\alpha + \varphi)}{4} \Big|_{-\varphi}^{2\pi-\varphi}}$$

$$= \left(\frac{2\pi - \varphi}{2} + \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{1}{4} [\sin 2(2\pi - \varphi + \varphi) - \sin(2 - \varphi + \varphi)] = \pi$$

$$\underline{U_{sk} = \sqrt{\frac{U_m^2}{2\pi}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}}$$

dla c).

1) V_1 wskaże wartość skuteczną $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$

2) V_2 nie wskaże 0

3) V_3 ukt. Götze wskaże $U_{induk} = \frac{1}{T} \int |U| dt = \frac{2}{\pi} U_m$

2. (rys do 2")

$$P_{sk} = \frac{1}{T} \int_0^T U_t \cdot I_t dt$$

$\int U_t I_t dt$ przedstawia na wykresie sumę (z unzgl. znakom) pól zamkniętych mi krzywą której rzedne przedstawia iloczyn $U \cdot I$ a oś t

$$p = -p_1 + p_2 - p_3 - p_4$$

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= 12 \cdot \frac{1}{140} \\ p_2 &= 8 \cdot \frac{1}{140} \\ p_3 &= 68 \cdot \frac{1}{140} \\ p_4 &= 5 \cdot \frac{1}{140} \end{aligned} \right\}$$

$$p = -73 \cdot \frac{1}{140} = \int U_t I_t dt$$

$$I_{sr} = \frac{1}{T} (-73) \cdot \frac{1}{140}$$

$$I_{si} = -10 \cdot \frac{1}{140} \cdot 73 = -5,2 \text{ H}$$

$$A = \int_{t_1}^{t_2} U_t I_t dt$$

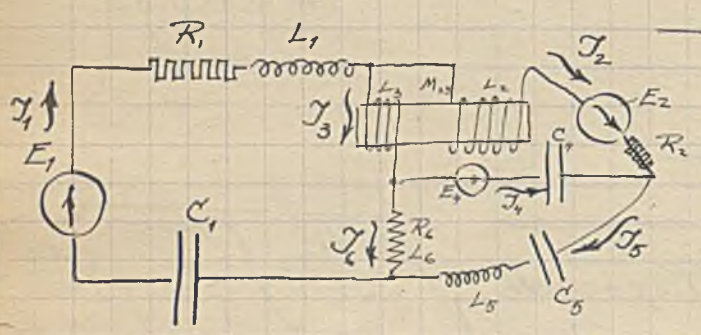
$$a. A = \int_0^{\frac{3}{2}T} U_t I_t dt = p + p'$$

gdzie "p'" oznacza pole tak jak poprzednio potraktowane lecz obejmuje tylko "połone krzywej"

$$p'_x = -24 \cdot \frac{1}{140}$$

$$\int_0^{\frac{3}{2}T} U_t I_t dt = p + p' = -73 \cdot \frac{1}{140} - 24 \cdot \frac{1}{140} = -0,67 \text{ Dz}$$

$$A_{dla t_1 \text{ puda}} = -\frac{73}{140} \cdot \frac{3600}{10} = 0,52 \cdot 36000 = \underline{\underline{-19.000 \text{ Dz}}}$$



rovn. Kirchoffa

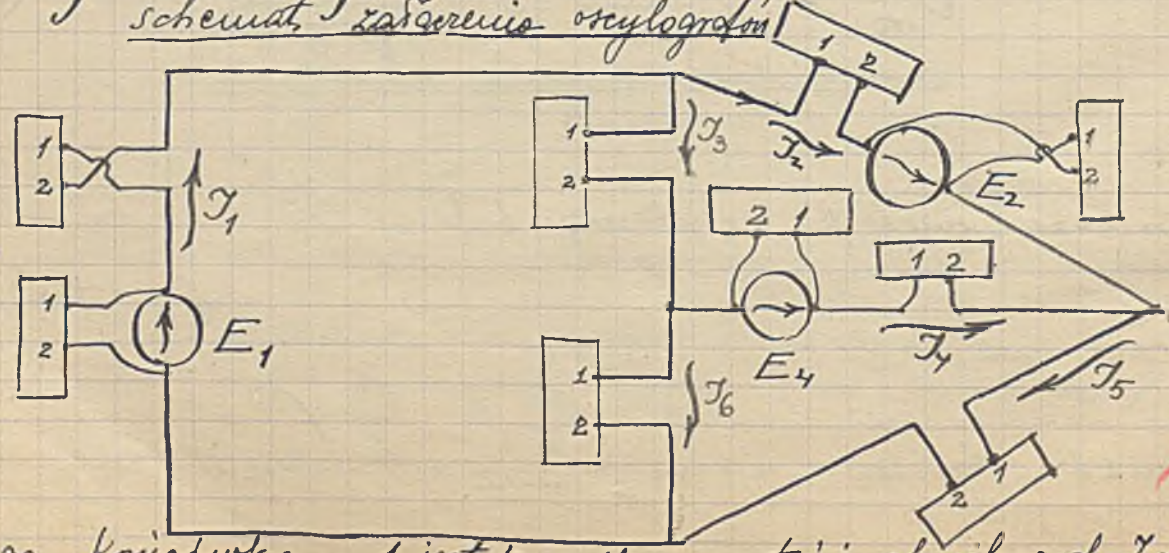
$$\begin{aligned} \tilde{I}_1 - \tilde{I}_2 - \tilde{I}_3 &= 0 \dots (1) \\ \tilde{I}_3 - \tilde{I}_6 - \tilde{I}_4 &= 0 \dots (2) \\ \tilde{I}_2 - \tilde{I}_5 + \tilde{I}_7 &= 0 \dots (3) \end{aligned}$$

$$1. E_1 - [I_1 R_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt}] - [L_3 \frac{dI_3}{dt} - M_{23} \frac{dI_2}{dt}] - [I_6 R_6 + L_6 \frac{dI_6}{dt}] - \frac{1}{C_1} \int \frac{dI_1}{dt} = 0$$

$$2. E_2 - E_4 - I_2 R_2 - \frac{1}{C_2} \int \frac{dI_4}{dt} + [L_3 \frac{dI_3}{dt} - M_{23} \frac{dI_2}{dt}] - [L_2 \frac{dI_2}{dt} - M_{23} \frac{dI_3}{dt}] = 0$$

$$3. E_4 - \frac{1}{C_4} \int \frac{dI_4}{dt} - \frac{1}{C_5} \int \frac{dI_5}{dt} - L_5 \frac{dI_5}{dt} + R_6 I_6 + L_6 \frac{dI_6}{dt} = 0$$

schemat załączenia oscylografu

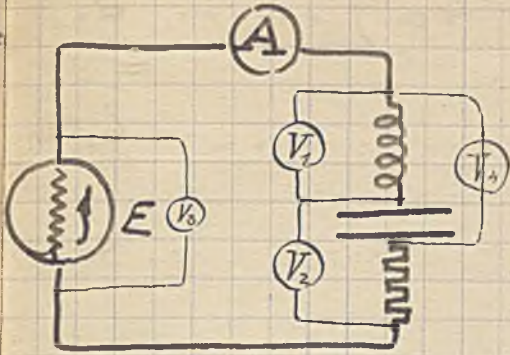


uwaga koncówka 1 jest + dla wartości chwilowych I , wgl. U do do

Ćwiczenie 26

SEM-czna zmienia się według funkcji:

$$E = 1000 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t + 25^\circ)$$



Dane są stałe obwodu

$$R = 2 \Omega \quad L = 0,1 \text{ H}$$

$$R_1 = 23 \Omega \quad L_1 = 0,3 \text{ H}$$

$$C_1 = 30 \mu\text{F}$$

$$f = 50$$

Obliczyć

1. natężenie prądu w obwodzie I [I_t, I_r, I_{sk}]
2. napięcie na cewce indukcyjnej U_L [U_t, U_m, U_{sk}]
3. " " kondensatorze U_C [" " "]
4. " " oporze U_R [" " "]
5. " " źródle prądu U_E [" " "]
6. Obliczyć przesunięcie faz w poszczególnych napięciach względem prądu
7. Podać wskazania wszystkich woltmierzów i amperomierza
8. Przy jakiej częstotliwości „ f ” będzie płynął największy prąd? Jakie wtedy będzie napięcie U_L, U_C
9. Narysować przebieg prądu i wymienionych napięć oraz podać diagram promienisty

$$1. \quad I = \frac{E_m}{Z} \sin(\omega t + \beta - \varphi) \dots \dots \dots 1$$

$$\varphi = \arctg \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{RC} \dots \dots \dots 2$$

$$I = \frac{1000 \cdot \sqrt{2}}{Z} \sin\left(\omega t + \beta - \arctg \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{RC}\right)$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 100\pi$$

$$Z = \sqrt{R_c^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} = \sqrt{25^2 + \left(0,4 \cdot 100\pi - \frac{1}{3 \cdot 10^{-5} \cdot 100\pi}\right)^2}$$

625
126
100

20²

$$Z = \sqrt{625 + 400} = \underline{\underline{\sim 32 \Omega}} \quad \text{tg } \varphi = \frac{20}{25} = \frac{4}{5} \dots \varphi = \underline{\underline{38^\circ 40'}}$$

$$I = \frac{1000 \cdot \sqrt{2}}{32} \sin(100\pi t + 25^\circ - 38^\circ 40')$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{I}_t = 44,3 \sin(100\pi t - 13^\circ 40') \dots\dots a. \\ I_m = 44,3 \text{ A} \dots\dots\dots b. \\ I_{sk} = 31,3 \text{ A} \dots\dots\dots c \end{array} \right.$$

2.

$$U_L = I_m L \omega \sin(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{2})$$

$$U_L = 44,3 \cdot 0,3 \cdot 100\pi \sin(100\pi t - 13^\circ 40' + \frac{\pi}{2})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{U}_{+L} = 4170 \sin(314t + 76^\circ 20') \dots\dots a. \\ U_m = 4170 \text{ V} \dots\dots\dots b. \\ U_{sk} = \frac{4170}{\sqrt{2}} = 2940 \text{ V} \dots\dots\dots c \end{array} \right.$$

$$3. U_c = I_m \frac{1}{C\omega} \sin(\omega t + \alpha - \frac{\pi}{2})$$

$$U_c = 44,3 \frac{1}{3 \cdot 10^{-5} \cdot 100\pi} \sin(100\pi t - 13^\circ 40' - 90^\circ)$$

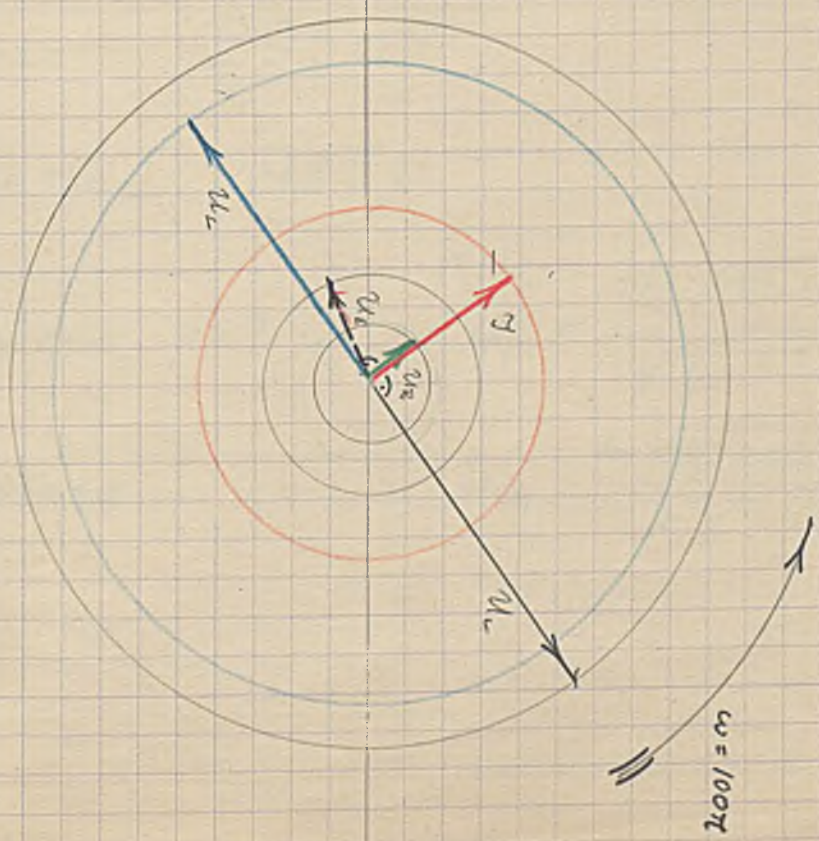
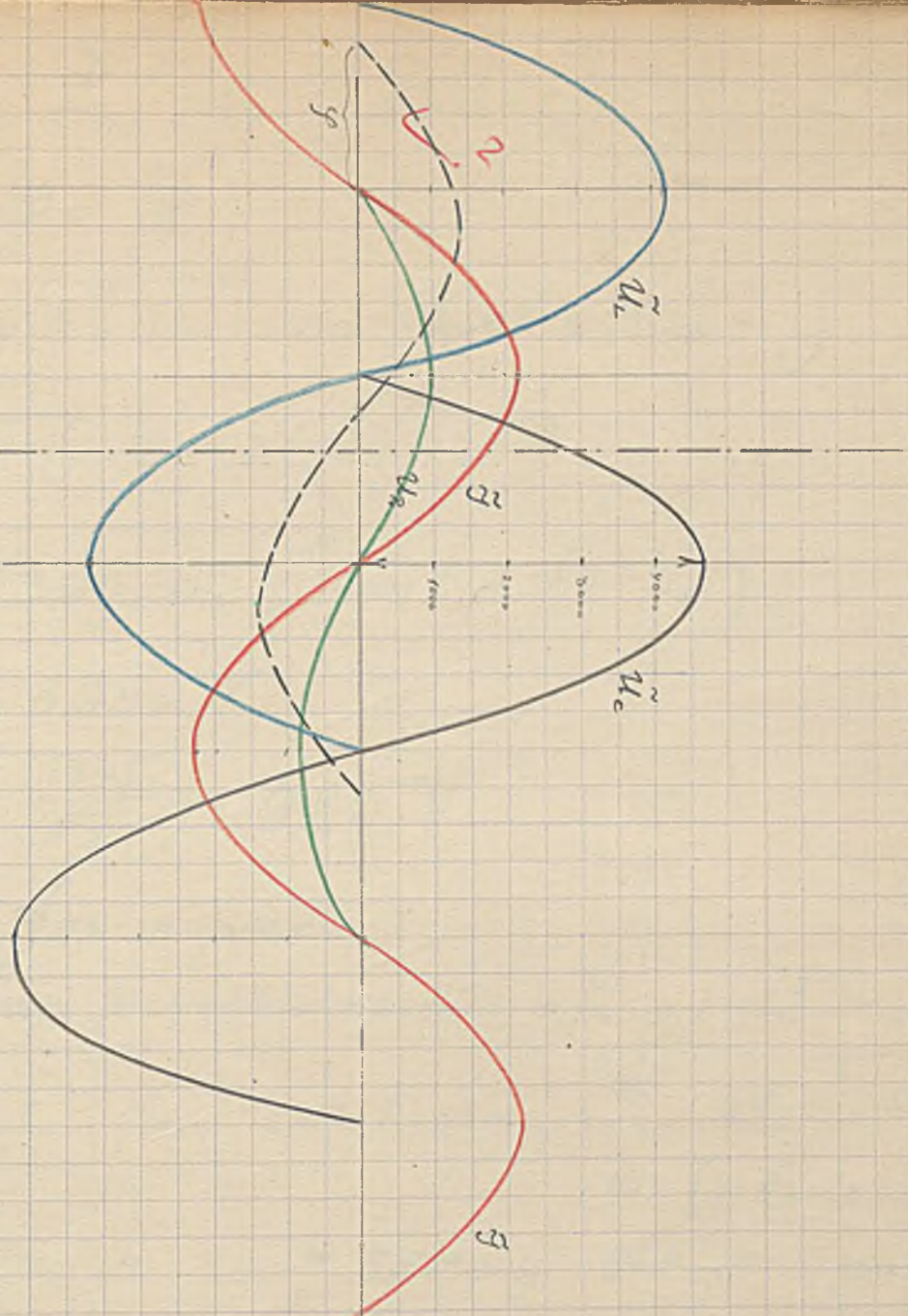
$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{U}_c = 4700 \sin(314t - 103^\circ 40') \dots\dots a. \\ U_{cm} = 4700 \text{ V} \dots\dots\dots b. \\ U_{csk} = \frac{4700}{\sqrt{2}} = 3300 \text{ V} \dots\dots\dots c \end{array} \right.$$

$$4. U_R = I_m R, \sin(\omega t + \alpha)$$

$$\tilde{U}_{Rt} = 44,3 \cdot 23 \sin(100\pi t + 13^\circ 40')$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{U}_R = 1020 \sin(314t + 13^\circ 40') \dots\dots a. \\ U_{mR} = 1020 \text{ V} \dots\dots\dots b. \\ U_{skR} = \frac{1020}{\sqrt{2}} = \sim 720 \text{ V} \dots\dots\dots c \end{array} \right.$$

Przebieg fazy napięć (U_R, U_L, U_C, U_E) przy prądzie



$$U_{m(R)} = 1020 \text{ V}$$

$$U_{m(L)} = 4700 \text{ V}$$

$$U_{m(E)} = 4170 \text{ V}$$

$$U_{m(C)} = 1395 \text{ V}$$

$$5. U_E = I_m Z_{R,L} \sin(\omega t + \alpha + \varphi)$$

$$Z \varphi = \frac{L\omega}{R}$$

$$U_E = 44,3 \sqrt{4 + (10\pi)^2} \sin(100\pi t + 13,40 + \varphi)$$

$$\varphi = \arctg 15,6 = \sim 86^\circ 20'$$

$$\begin{cases} \tilde{U}_{e,t} = 1395 \sin(100\pi t + 72,40') \\ U_{m,e} = 1395 \text{ V} \\ U_{sk,e} = \frac{1395}{\sqrt{2}} = 985 \text{ V} \end{cases}$$

*Ważne jest
albo nie*

6. Przejście faz napięć

a. $\varphi_L = +\pi/2$ napr. przejście na sens $0 \pi/2$ i przed. -

b. $\varphi_C = -\pi/2$ " " " kondens. $0 \pi/2$ i tył. -

c. $\varphi_R = -$ " " " " 0° (w fazie z prądem)

d. $\varphi_e = 86,20'$ " " " SEMang $86,20'$ i przed. -

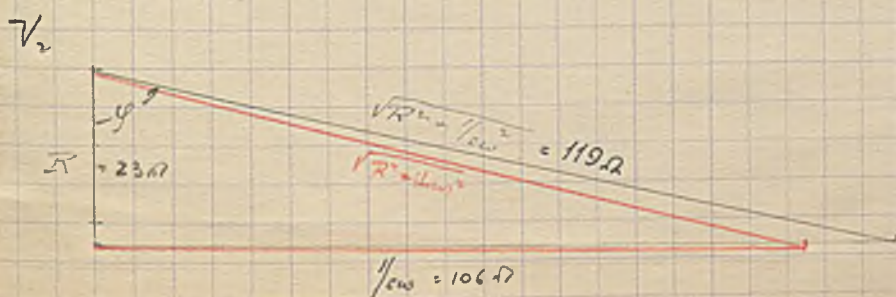
7. Wskazanie woltomierzy i amperomierza

(V₁) ... wskaże 2950V

(V₃) wskaże 985

(V₂) ... wskaże wartość na $U_{sk} = \frac{I_m \sqrt{R^2 + L\omega^2}}{\sqrt{2}} = \underline{3700V}$

(V₄) wskaże " " $U_{sk} = \frac{I_m \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}{\sqrt{2}} = \underline{3020V}$



8. I będzie max gdy Z będzie minimum

$$Z = \sqrt{R_c^2 + \left(L_c \omega - \frac{1}{C_c \omega}\right)^2} \text{ to } Z \text{ będzie minimum gdy:}$$

$$L_c \omega - \frac{1}{C_c \omega} = 0$$

$$0,4 \omega^2 = \frac{1}{3 \cdot 10^{-5}}$$

$$0,4 (2\pi f)^2 = \frac{1}{3 \cdot 10^{-5}}$$

$$0,4 \cdot 4\pi^2 f^2 = \frac{1}{3 \cdot 10^{-5}}, \quad 4\pi^2 f = \frac{10^5}{1,2}$$

$$f^2 = \frac{10^5}{4\pi^2 \cdot 1,2}$$

$$f = \frac{10^2}{2\pi} \sqrt{\frac{10}{1,2}} = 46$$

$$I = \text{max} \quad \dots \quad \text{dla} \quad f = \sim 46 / \text{sek}$$

(8) dla $f = 46 \quad \dots \quad \omega = 2\pi \cdot 46 = 287$

$$U_L = 44,3 \cdot 0,3 \cdot 287 \sin(287t - 130^\circ 40' + \frac{\pi}{2})$$

$$(U_L) \begin{cases} \tilde{U}_L = 39400 \sin(287t - 130^\circ 40' + \frac{\pi}{2}) \\ U_m = 3400V \\ \underline{U_{sk} = \sim 2400V} \end{cases}$$

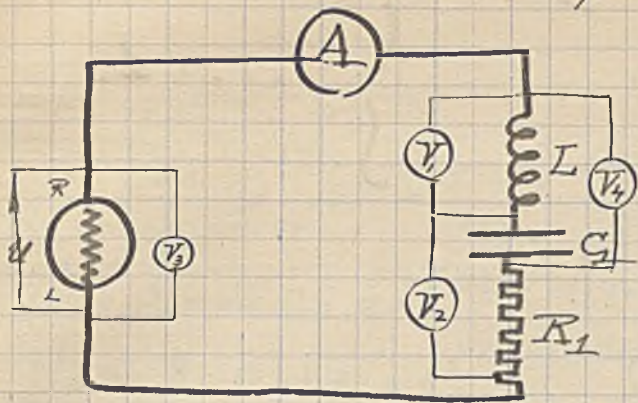
$$U_C = 44,3 \cdot \frac{1}{3 \cdot 10^{-5} \cdot 287} \sin(287t - 130^\circ 40' - \frac{\pi}{2})$$

$$(U_C) \begin{cases} U_C = 5100 \sin(287t - 103^\circ 40') \\ U_m = 5100V \\ \underline{U_{sk} = 3550V} \end{cases}$$

Handwritten red scribbles

Chiczenie 27.

Rozwiązai miedzi, tryebolizues uunifrajue Zudauie



SEM-uzua fronta pradua Zudauie
ti, widdug funkcij

$$E = 1000\sqrt{2} \sin(\omega t + 25^\circ)$$

Dau. fiau shuadu:

$$R = 2 \Omega \quad L = 0,17 \text{ H}$$

$$R_1 = 23 \Omega \quad L_1 = 0,3 \text{ H}$$

$$C_1 = 30 \mu\text{F} \quad f = 50$$

Obliugi

1. uaciuuie pradua ~ shuadu.
2. uaciuuie ua uau indukcijun,
3. " " kau duciuuie
4. " " opuuu
5. " " jiuuie pradua
6. obliugi jiuuueuie fiau jiuuueuie ~ uaciuuie uagluuie pradua
7. Padai uokaruie uagluuie uoltuueuie i auuueuie
8. Piu jokuuie uauu uauu uaciuuie uaciuuie
9. Piu jokuuie indukcijun (L₁ + L) i f = 50 uaciuuie uaciuuie
10. Padai jokuuie uagluuie uagluuie uagluuie ~ jiuuueuie ad 8) i 9)

$$\hat{I} = \frac{\hat{E}}{\hat{Z}}$$

$$\hat{E} = 10^3 \cdot \sqrt{2} e^{j(\omega t + 25^\circ)}$$

$$\hat{Z} = R_c + j(X)$$

$$X = (L\omega - 1/c\omega) = 0,4 \cdot 1007 - \frac{10^4}{30 \cdot 1007}$$

$$X = 19,6 \Omega \quad R_c = 25 \Omega$$

$$\hat{Z} = Z e^{j(\varphi)} = \sqrt{R_c^2 + X^2} e^{j(\varphi)} = \sim 32$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 1007$$

$$\hat{I} = \frac{10^3 \cdot \sqrt{2}}{Z} e^{j(\omega t + 25^\circ - \varphi)}$$

$$\hat{I} = 31,5 \cdot \sqrt{2} e^{j(\omega t + 25^\circ - \varphi)}$$

$$\varphi = \frac{L\omega - 1/c\omega}{R_c} = \frac{19,6}{25} = \sim 0,78 \quad \text{arc. } \varphi 0,78 = \sim 38^\circ 10'$$

$$\hat{I} = 31,5 \sqrt{2} e^{j(\omega t - 13^\circ 10')}$$

$$\hat{I} = 44,1 e^{j(\omega t - 13^\circ 10')}$$

$$\tilde{I} = 31,5 \sqrt{2} e^{j(-13^\circ 10')}$$

$$I_t = 31,5 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t - 13^\circ 10')$$

$$I_m = 44,1 \text{ A}$$

$$I_{sk} = 31,5 \gg$$

..... 1.

2.

$$\hat{U}_L = \hat{I} \hat{X}_L$$

$$\hat{U}_L = 31,5 \cdot \sqrt{2} e^{j(\omega t - 13^\circ 10')} \cdot jL\omega$$

$$\hat{U}_L = 31,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,3 \cdot 1007 \cdot 10 \cdot j \cdot e^{j(\omega t - 13^\circ 10')}$$

$$\hat{U}_L = -3000 \cdot \sqrt{2} e^{j(\omega t - 13^\circ 10')}$$

$$\hat{U} = 3000 \cdot \sqrt{2} e^{j(\omega t - 13^\circ 10' + 90^\circ)}$$

$$U_t = 3000 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t - 13^\circ 10' + 90^\circ)$$

$$U_t = 3000 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t + 76^\circ 50')$$

$$U_m = 4200 \text{ V} \quad U_{sk} = 3000 \text{ V}$$

2

3.

$$\hat{U}_C = \hat{I} \hat{X}_C$$

$$\hat{U}_C = 31,5 \cdot \sqrt{2} e^{j(\omega t - 13^\circ 10')} (-j) \frac{1}{\omega C}$$

$$\hat{U}_C = 31,5 \cdot \sqrt{2} \frac{10^6}{30 \cdot 1007} (-j) e^{j(\omega t - 13^\circ 10')}$$

$$\hat{U}_C = 4680 (-j) e^{j(\omega t - 13^\circ 10')}$$

$$\hat{U}_C = 4680 (-j) e^{j(\omega t - 13^\circ 10' - 90^\circ)}$$

$$U_{ct} = 4680 \sin(\omega t - 13^\circ 10' - 90^\circ)$$

$$U_c = 4680 \sin(\omega t - 103^\circ 10')$$

$$U_m = 4680 \text{ V} \quad U_{sk} = 3340 \text{ V}$$

3.

4. $\hat{U}_R = \hat{I} R$

$$\hat{U}_R = 31,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 23 e^{j(\omega t - 13^\circ 10')}$$

$$\hat{U}_R = 729 \cdot \sqrt{2} e^{j(\omega t - 13^\circ 10')}$$

$$\hat{U}_R = 729 \cdot \sqrt{2} e^{j(\omega t - 13^\circ 10')}$$

$$\begin{aligned}
 U_{zt} &= 729 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t - 13^\circ 10') \\
 U_m &= 1015 \text{ V} \\
 U_{sk} &= 729 \text{ V}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} U_{zt} \\ U_m \\ U_{sk} \end{aligned}} \right\} 4$$

5. $\hat{U}_e = \hat{I} \hat{Z}$ $X = L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0,3 \cdot 100\pi - \frac{10^6}{30 \cdot 100\pi}$

$\hat{U}_e = I_m Z e^{j(-13^\circ 10')} \cdot e^{j(-26^\circ 40')}$ $X = -6,4 \Omega$

$\hat{U}_e = 3,5 \sqrt{2} 26 e^{j(-26^\circ 40' - 13^\circ 10')}$ $\hat{Z} = R + jX = Z e^{j(\varphi)}$

$\hat{U}_e = 820 \cdot \sqrt{2} e^{j(100\pi t - 39^\circ 50')}$ $Z = \sqrt{23^2 + (30\pi - \frac{10^3}{3\pi})^2} = \sqrt{539 - 145}$

$\hat{U} = 820 \sqrt{2} e^{j(\omega t - 39^\circ 50')}$ $Z \approx 26,2$

$U_t = 820 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t - 39^\circ 50')$ $\cos \varphi = \frac{-12}{26,2} = -0,52$

$U_m = 820 \cdot \sqrt{2} = 1150 \text{ V}$ $\varphi = -26^\circ 40'$

$U_{sk} = 820 \text{ V}$ $\hat{I} = 26 e^{j(-26^\circ 40')}$

6. Naznaczniki fazy prądów:

- Naznaczniki U_1 fazy prądu i_1 względem prądu i o 90° przesunięty
- " " " " " " " " o 90° w przód
- " " " " " " " " o 90° w tył
- " " " " " " " " o $26^\circ 40'$ w tył

7. Amplitudy (V_1) na składowe $I_{sk} L\omega = 3,5 \cdot 0,3 \cdot 100\pi = \sim 2980 \text{ V}$

" (V_2) " " " " " " " " $I_{sk} Z = 3,5 \sqrt{539 - \frac{10^3}{3\pi}} = \sim 340 \text{ V}$

" (V_3) " " " " " " " " U_e składowe

" (V_4) " " " " " " " " $I_{sk} X$ ($X = 0,3 \cdot 100\pi - \frac{10^3}{3\pi}$) = 11,82 ... $V_1 = 3727$

8. Równanie wyraża ρ_{04} $L_c \omega = \frac{1}{C\omega}$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{4C}} = \frac{1}{\sqrt{4C}} = \sqrt{\frac{10^6}{0,4 \cdot 30}} = \frac{10^3}{\sqrt{12}}$$

$\omega \approx 290$

$f = 47$

$\omega = 2\pi f$

$X = \frac{1}{\sqrt{C}}$

$f = \frac{290}{2\pi}$

9. $\omega = \frac{1}{4C}$ $L = \frac{1}{C\omega^2} = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}$ $L = \frac{10^6}{4 \cdot 9,8625 \cdot 10^2 \cdot 30}$

$L \approx 0,33 \text{ H}$

10. ad 8.)

amperomierz

(A)

wskazanie $I = \frac{E}{Z} = \frac{10^3}{25} = \dots 40A$

Woltomierz

(V₁)

" $40 \cdot 0,3 \cdot 290 = 3830V$

>>

(V₂)

" $40 \cdot \sqrt{23^2 + (\frac{10^6}{30 \cdot 290})^2} = 4720 >>$

>>

(V₃)

" $40 \cdot 23 = 920 >>$

>>

(V₄)

" $V_4 = 40 \cdot 0 = 0 >>$

ad 9.)

amperomierz

(A)

wskazanie $I = \frac{E}{Z} = \frac{10^3}{25} = 40A$

Woltomierz

(V₁)

>> $40 \cdot 0,3 \cdot 100\pi = 3878V$

>>

(V₂)

>> $40 \cdot \sqrt{23^2 + (\frac{10^6}{30 \cdot 100\pi})^2} = 4320V$

>>

(V₃)

>> $40 \cdot 23 = 920 >>$

>>

(V₄)

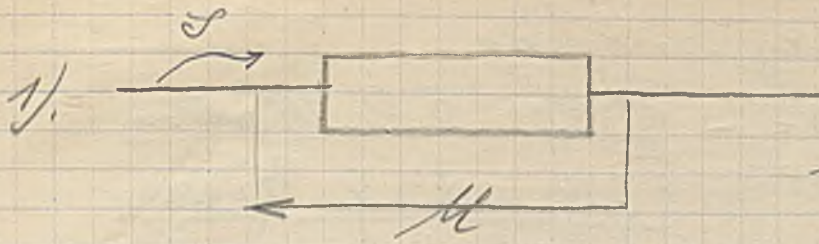
>> $40 \sqrt{(L\omega - \frac{1}{C\omega})^2} = 40 \cdot 0 = 0 >>$



Red handwritten signature or mark.

Ćwiczenie 28

Przekaźnik



W drugim kierunku
mamy również
wzrosty symboli
liczone przed
i napisana:



1) a) $\hat{U} = -34 + j38$

$\hat{I} = 3 + j4$

1) c) $\hat{U} = -34 - j38$

$\hat{I} = 3 + j4$

b) $\hat{U} = 34 - j38$

$\hat{I} = -3 + j4$

d) $\hat{U} = -34 - j38$

$\hat{I} = -3 - j4$

2) a) $\hat{U} = 70 + j115$

$\hat{I} = 4 + j3$

b) $\hat{U} = 70 + j115$

$\hat{I} = -4 + j3$

c) $\hat{U} = -70 + j115$

$\hat{I} = -4 - j3$

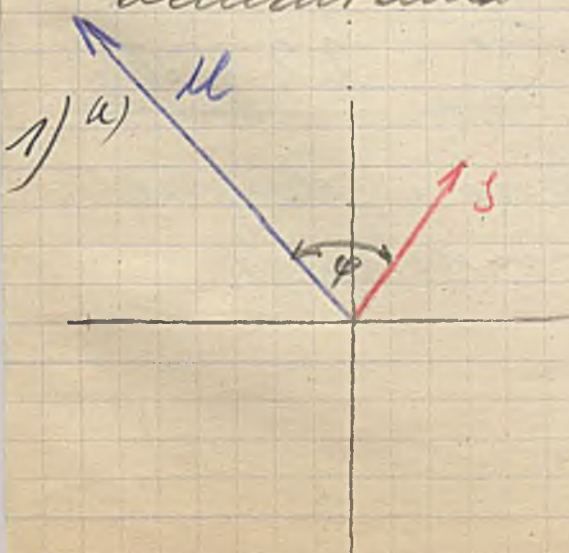
d) $\hat{U} = -70 - j115$

$\hat{I} = 4 - j3$

I. obliczyć moc symboliczną, rzeczywistą,
i urojony

II. Należy, czy dany element jest aktywny,
czy pasywny

III. Należy; zbiciem najprostszym
demonstracji można go zinterpretować



$\hat{P} = -\hat{U} \hat{I} = -(-34 - j38)(3 + j4)$

$\hat{P} = -[-102 - j114 - j136 + 152]$

$\hat{P} = -[+50 - j250]$

$\hat{P} = -50 + j250$

1/4) Element jest odwrócony
 msiua zstipia' pzytym spreem
 i wyty' indukcyjno'ic.

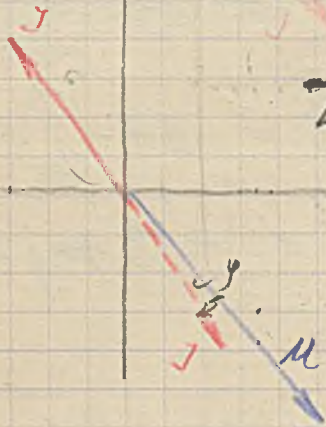
Mac wzruszypim $P = \underline{50 \text{ W}}$

" wyjama $P_j = \underline{250 \text{ W}}$

$$\underline{R} = \frac{50}{25} = \underline{2 \Omega}$$

$$\underline{X_L} = \frac{250}{25} = \underline{10 \Omega}$$

1/6



$$\hat{P} = -[(34 + j38)(-3 + j4)] =$$

$$-[-102 - j114 + j136 - 152] =$$

$$\hat{P} = \underline{+254 - j22}$$

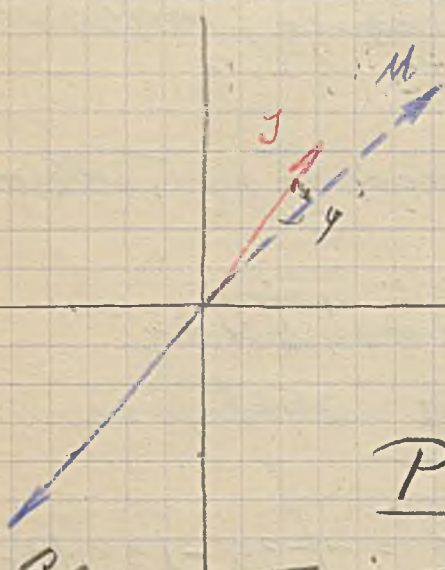
$$P = 254 \quad P_j = -22$$

Element jest wydojntkany
 msiua zstipia' m'is obrotowami i projekcjami

$$\underline{E} = \frac{254}{5} = \underline{50.8 \text{ voltow}}$$

$$\underline{X_C} = \frac{22}{25} = \underline{0.88 \Omega}$$

1/c



$$\hat{P} = -[(34 + j38)(3 + j4)] =$$

$$-[-102 + j114 - j136 + 152]$$

$$\hat{P} = \underline{+254 + j22}$$

$$P = 254 \text{ W} \quad P_j = 22 \text{ W}$$

Element jest wydojntkany, do ms
 zstipia' PEM na i indukcyja

$$\underline{E} = \frac{254}{5} = 50.8 \text{ W}$$

$$\underline{X_L} = \frac{22}{25} = 0.88 \Omega$$

1/d.

$$\hat{P} = -[-34 + j38](-3 - j4) =$$

$$= -[+102 - j114 + j136 + 152]$$

$$\hat{P} = \underline{\underline{-254 + j22}}$$

$$P = 254 \text{ W} \quad P_j = 22 \text{ W}$$

Element jest absorbującym,

muszą za niego przepłynąć prąd ~~indukcyjny~~ ^{przewodzący}.

$$R = \frac{254}{25} = 50.8 \Omega, \quad X_c = \frac{22}{25} = 0.88 \Omega$$



2/a

$$\hat{P} = +[(70 - j115)(4 + j3)]$$

$$= [280 - j460 + j210 + 345]$$

$$\hat{P} = \underline{\underline{+625 - j250}}$$

$$P = 625 \text{ W} \quad P_j = 250 \text{ W}$$

Element jest wydajnikiem,

muszą go za niego przepłynąć prąd SEM ~~przewodzący~~ ^{przewodzący}.

$$I = \frac{625}{5} = 125 \text{ W} \quad X_c = \frac{250}{25} = 10 \Omega$$



2/b

$$\hat{P} = [(70 - j115)(-4 + j3)]$$

$$\hat{P} = -280 + j460 + j210 + 345$$

$$\hat{P} = \underline{\underline{+65 + j670}}$$

$$P = 65 \text{ W} \quad P_j = 670 \text{ W}$$

Element jest wydajnikiem, muszą go za niego przepłynąć SEM ~~przewodzący~~ ^{przewodzący}.

$$I = \frac{65}{5} = 13 \text{ W} \quad X_L = \frac{670}{25} = 26.8 \Omega$$



2) a. u

$$\hat{P} = [(-70 - j115)(-4 - j3)]$$

$$= +280 + j460 + j210 - 345$$

$$\hat{P} = \underline{\underline{-65 + j670}}$$

$$P = 65 \text{ W} \quad P_j = 670 \text{ W}$$

Element jest odbierającym
moc z sieci
przewodnik i indukcyjny

$$\underline{R} = \frac{65}{25} = \underline{\underline{2.6 \Omega}}$$

$$\underline{X_L} = \frac{670}{25} = \underline{\underline{26.8 \Omega}}$$

2) b.

$$\hat{P} = [(-70 + j115)(4 - j3)]$$

$$= -280 + j460 + j210 + 345$$

$$\hat{P} = \underline{\underline{+65 + j670}}$$

$$P = 65 \text{ W} \quad P_j = 670$$

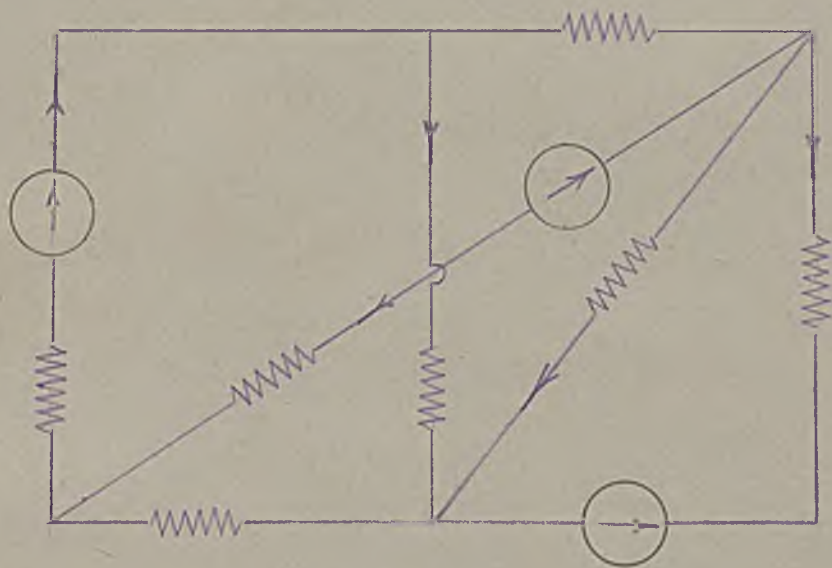
Element jest wydajnikiem
moc z sieci
PEM i indukcyjny

$$\underline{E} = \frac{65}{5} = \underline{\underline{13 \text{ W}}}$$

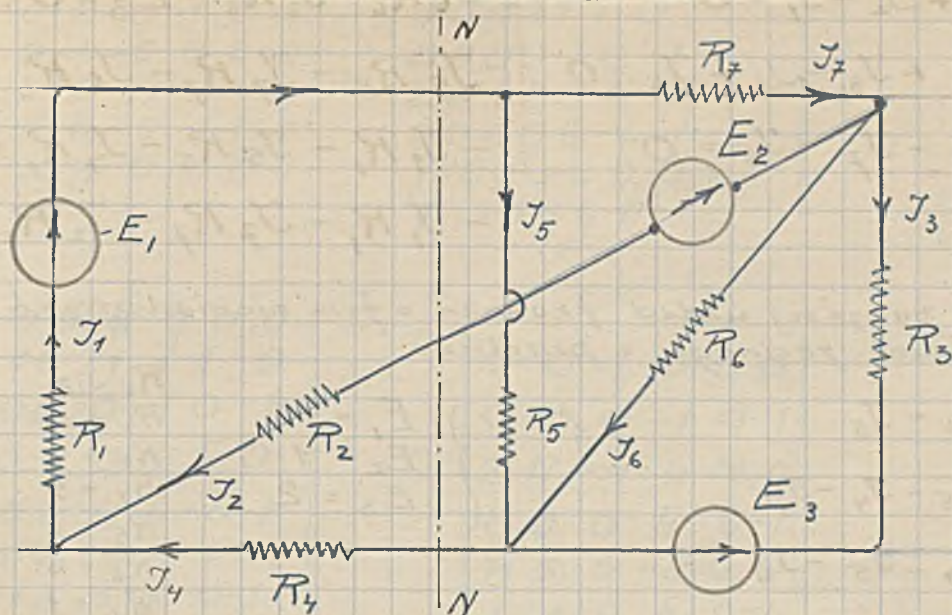
$$\underline{X_L} = \frac{670}{25} = \underline{\underline{26.8}}$$

RM.

Cwiczenie I.
z elektrotechniki ogólnej



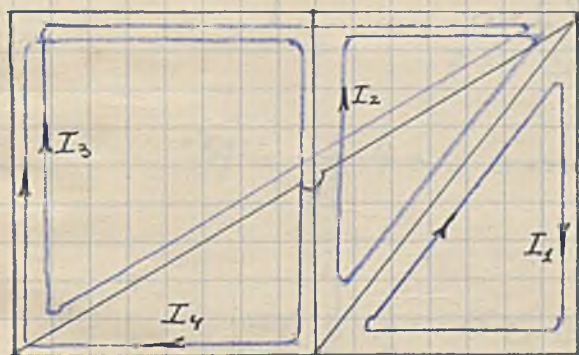
Ćwiczenie I.



1. Złożyć podany obwód cyklami Maxwella przyjmując całkowite wartości oporów i prądów oczkowych.
2. Ustalić potrzebną i wystarczającą ilość równań Kirchhoffa i obliczyć wartość jednego prądu.
3. Obliczyć jeden z prądów za pomocą wyznacznika.
4. Ustalić równania Maxwella i obliczyć prądy
- 5 " " " " " " " " " " " "
6. Obliczyć rozptyn prądu stosując zasadę superpozycji (dla każdej SEM-owej z osobna).
7. Przeciąć obwód wzdłuż linii N-N podać jakiej SEM-owej należy użyć aby rozptyn prądu nie uległ zmianie (sprawdzić równaniami Kirchhoffa)
8. Sprowadzić ten obwód do prostszej postaci stosując metodę transfiguracji i obliczyć wszystkie prądy

Rozwiązanie

1.



Prądy oczkowe (obrane)

$$I_1 = 1, I_2 = 2, I_3 = 5, I_4 = 10$$

Opory (obrane)

$$R_1 = 2, R_2 = 3, R_3 = 4, R_4 = 5, R_5 = R_6 = 6, R_7 = 1$$

Składam obwód ponizej obranymi cyklami

$$J_1 = I_3 + I_4 = 5 + 10 = \underline{15}$$

$$J_2 = I_4 = \underline{10}$$

$$J_3 = I_1 = \underline{1}$$

$$J_4 = I_3 = \underline{5}$$

$$J_5 = I_3 - I_2 = 5 - 2 = \underline{3}$$

$$J_6 = I_2 - I_1 = 2 - 1 = \underline{1}$$

$$J_7 = I_4 + I_1 = \underline{11}$$

2. Równania Kirchhoffa:

1. równania węzłowe

$$\begin{aligned} (1) \quad & J_4 + J_2 - J_1 = 0 \\ (2) \quad & J_6 + J_3 - J_4 + J_5 = 0 \\ (3) \quad & J_1 - J_7 - J_5 = 0 \end{aligned}$$

2. równania oczkowe

$$\begin{aligned} (4) \quad & J_6 R_6 - J_3 R_3 - E_3 = 0 \\ (5) \quad & J_5 R_5 - J_7 R_7 - J_6 R_6 = 0 \\ (6) \quad & -J_1 R_1 - J_5 R_5 - J_4 R_4 + E_1 = 0 \\ (7) \quad & -J_1 R_1 - J_7 R_7 - J_2 R_2 + E_1 - E_2 = 0 \end{aligned}$$

Rozwiązując poniższy układ równań o 7-ich niewiadomych celem znalezienia wartości jednego z prądów:

$$\begin{aligned} (3) \quad & J_1 = J_7 - J_5 \\ (4) \quad & J_2 = J_5 - J_4 - J_7 \\ (5) \quad & J_3 = J_4 - J_5 - J_6 \end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{aligned} E_1 &= 73 \\ E_2 &= 1 \\ E_3 &= 2 \end{aligned} \right.$$

$$\begin{aligned} R_1 &= 2 \\ R_2 &= 3 \\ R_3 &= 4 \\ R_4 &= 5 \\ R_5 &= 6 \\ R_6 &= 6 \\ R_7 &= 1 \end{aligned}$$

Wstawiamy równania oczkowe

$$\begin{aligned} (4) \quad & 6J_6 - 4(J_4 - J_5 - J_6) - 2 = 0 \\ & 10J_6 = 4J_4 - 4J_5 + 2 \\ & J_6 = \frac{2J_4 - 2J_5 + 1}{5} \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (5) \quad & 6J_5 - J_7 - \frac{2J_4 - 2J_5 + 1}{5} \cdot 6 = 0 \\ & 6J_5 - J_7 - \frac{12}{5}J_4 + \frac{12}{5}J_5 - \frac{6}{5} = 0 \\ & J_7 = \frac{42J_5 - 12J_4 - 6}{5} \dots \dots \dots (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (6) \quad & -2J_7 - 8J_5 - 5J_4 + 73 = 0 \\ & -2 \frac{42J_5 - 12J_4 - 6}{5} - 8J_5 - 5J_4 + 73 = 0 \\ & \frac{-124J_5 - J_4 + 377}{5} = 0 \end{aligned}$$

$$J_4 = 377 - 124J_5$$

$$\begin{aligned} (7) \quad & -2(J_5 + J_7) - J_7 - 3(J_7 + J_5 - J_4) + 72 = 0 \\ & -5J_5 - 6J_7 + 3J_4 + 72 = 0 \\ & -5J_5 - 6 \frac{42J_5 - 12J_4 - 6}{5} + 3J_4 + 72 = 0 \\ & -277J_5 + 87J_4 + 396 = 0 \dots \dots (10) \\ & J_4 = \frac{277J_5 - 396}{87} \end{aligned}$$

Obliczenie jednego prądu (podwyznacznikami)

$$\underline{\underline{J_1}} = \frac{M}{D}$$

$$M = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -4 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & -6 & -1 \\ -73 & 0 & 0 & -5 & -6 & 0 & 0 \\ -72 & -30 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 2 & 0 & -4 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & -6 & -1 & 0 \\ -73 & 0 & 0 & -5 & -6 & 0 & 0 \\ 1 & -30 & 5 & 6 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} =$$

$$M = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -4 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & -6 & -1 \\ -73 & 5 & 0 & -5 & -6 & 0 & 0 \\ 1 & -8 & 0 & 5 & 6 & 0 & -1 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 2 & 4 & -4 & 4 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & -6 & -1 & 0 \\ -73 & 5 & 0 & -6 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -8 & 0 & 6 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}$$

$$M = - \begin{vmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 4 & 4 & 10 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & -6 & -7 & 0 \\ -73 & 5 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 1 & -8 & 0 & 0 & -7 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 2 & -4 & -10 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & -6 & -7 & 0 \\ -73 & 5 & 0 & 6 & 0 \\ 1 & -8 & 0 & -7 & 0 \end{vmatrix}$$

$$M = 10 \begin{vmatrix} 0 & 0 & -7 \\ -73 & 5 & 6 \\ 1 & -8 & -7 \\ 0 & 0 & -7 \\ -73 & 5 & 6 \end{vmatrix} + 6 \begin{vmatrix} 2 & -4 & -4 \\ -73 & 5 & 6 \\ 1 & -8 & -7 \\ 2 & -4 & -4 \\ -73 & 5 & 6 \end{vmatrix}$$

$$M = 10 \left\{ \begin{matrix} -73 \cdot 5 \cdot 6 + 35 \\ 73 \cdot 28 \end{matrix} \right\} + 6 \left\{ \begin{matrix} -70 - 73 \cdot 32 + 24 + 20 + 96 \end{matrix} \right\}$$

$$M = -40530 - 25860 = \underline{\underline{-66390}}$$

$$D = \begin{vmatrix} -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -4 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & -6 & -1 \\ -2 & 0 & 0 & -5 & -6 & 0 & 0 \\ -2 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -4 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & -6 & -1 \\ -2 & 0 & 0 & -5 & -6 & 0 & 0 \\ -5 & -3 & 0 & 3 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}$$

$$D = - \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -4 & -4 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5 & -5 & -1 \\ -2 & 0 & -5 & -6 & 0 & 0 \\ -5 & 0 & 3 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 4 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & -5 & -1 & 0 \\ -2 & -5 & -8 & 0 & -2 & 0 \\ -5 & 3 & -5 & 0 & -5 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -4 & 4 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & -5 & -1 & 0 \\ -5 & -8 & 0 & -2 & 0 \\ 3 & -5 & 0 & -5 & 0 \end{vmatrix}$$

$$D = 10 \begin{vmatrix} 0 & 6 & -1 \\ -5 & -8 & -2 \\ 3 & -5 & -5 \\ 0 & 6 & -1 \\ -5 & -8 & -2 \end{vmatrix} + 6 \begin{vmatrix} -4 & 4 & 0 \\ -5 & -8 & -2 \\ 3 & -5 & -5 \\ -4 & 4 & 0 \\ -5 & -8 & -2 \end{vmatrix}$$

$$D = 10 \{-25 - 36 - 24 - 180\} + 6 \{-192 - 24 + 40 - 120\}$$

$$D = -2650 - 1776 = \underline{\underline{-4426}}$$

$$J_1 = \frac{M}{D} = \frac{66390}{4426} = \underline{\underline{15}}$$

$$\underline{\underline{M = 66390}}$$

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -4 & -4 & 4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5 & -5 & -1 \\ -2 & 0 & -5 & -6 & 0 & 0 \\ -5 & 0 & 3 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 4 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & -5 & -1 & 0 \\ -2 & -5 & -8 & 0 & -2 & 0 \\ -5 & 3 & -5 & 0 & -5 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -4 & 4 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & -5 & -1 & 0 \\ -5 & -8 & 0 & -2 & 0 \\ 3 & -5 & 0 & -5 & 0 \end{vmatrix}$$

$$-277J_5 + 87(377 - 124J_5) + 396 = 0$$

$$-277J_5 + 32799 - \underbrace{124 \cdot 87}_{10788} J_5 + 396 = 0$$

$$J_5 = \frac{33195}{11065} = 3 \quad A$$

3. Ustalenie wyznacznika:

$$\begin{aligned} -J_1 + J_2 + 0 + J_4 + 0 + 0 + 0 &= 0 \\ 0 + 0 + J_3 - J_4 + J_5 + J_6 + 0 &= 0 \\ J_1 + 0 + 0 + 0 + J_5 + 0 - J_7 &= 0 \\ 0 + 0 - 4J_3 + 0 + 0 + 6J_6 + 0 &= 2 \\ 0 + 0 + 0 + 0 + 6J_5 - 6J_6 - J_7 &= 0 \\ -2J_1 + 0 + 0 + 0 + 6J_5 + 0 + 0 &= -73 \\ -2J_1 - 3J_2 + 0 + 5J_4 + 0 + 0 - J_7 &= -71 \end{aligned}$$

$$J_1 = \frac{M}{D}$$

$$M = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & 4 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & -6 & -1 \\ -73 & 0 & 0 & 5 & 6 & 0 & 0 \\ -71 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}$$

$$D = \begin{vmatrix} -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -4 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & -6 & -1 \\ -2 & 0 & 0 & 5 & -6 & 0 & 0 \\ -2 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}$$

$$J_1 = \frac{M}{D}$$

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & 4 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & -6 & -1 \\ -73 & 0 & 0 & 5 & 6 & 0 & 0 \\ -71 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}$$

$$J_1 = \frac{\begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & 4 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & -6 & -1 \\ -73 & 0 & 0 & 5 & 6 & 0 & 0 \\ -71 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -4 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & -6 & -1 \\ -2 & 0 & 0 & 5 & -6 & 0 & 0 \\ -2 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}} = 15 \quad A$$

4. Równania Maxwella

$$1. I_1(R_6 + R_3) - I_2 R_6 = -E_3$$

$$2. I_2(R_5 + R_6 + R_7) - I_1 R_6 - I_3 R_5 + I_4 R_7 = 0$$

$$3. I_3(R_1 + R_4 + R_5) + I_4 R_1 - I_2 R_5 = +E_1$$

$$4. I_4(R_1 + R_2 + R_7) + I_3 R_1 + I_2 R_7 = E_1 - E_2$$

Wyliczamy siły edm. SEM-ane

$$I_1 \cdot 10 - I_2 \cdot 6 = -E_3$$

$$10 - 12 = -E_3$$

$$E_3 = 2 \quad \checkmark$$

$$(3) \quad \underbrace{I_3 (R_1 + R_4 + R_5)}_{5 \cdot 13} + \underbrace{I_4 R_1}_{20} - \underbrace{I_2 R_5}_{12} = E_1$$

$$65 + 20 - 12 = E_1$$

$$\underline{\underline{E_1 = 73}}$$

$$(4) \quad \underbrace{I_4 (R_1 + R_2 + R_7)}_{10 \cdot 6} + I_3 R_1 + I_2 R_7 = E_1 - E_2$$

$$10 \cdot 6 + 10 + 2 - 73 = -E_2$$

$$\underline{\underline{E_2 = 1}}$$

Obliczenie prądów I_1, I_2, I_3, I_4 przy pomocy układu równań Maxwella

$$(1) \quad I_1(6+4) - I_2 \cdot 6 = -2$$

$$\underline{\underline{I_2 = \frac{5I_1 + 1}{3}}}$$

$$(2) \quad I_2(6+6+1) - I_1 \cdot 6 - I_3 \cdot 6 + I_4 = 0$$

$$\frac{13(5I_1 + 1)}{3} - 6I_1 - 6I_3 + I_4 = 0$$

$$65I_1 + 13 - 18I_1 - 18I_3 + 3I_4 = 0$$

$$\underline{\underline{47I_1 - 18I_3 + 3I_4 + 13 = 0 \quad \dots \quad (a)}}$$

$$(3) \quad I_3(2+5+6) + I_4 \cdot 2 - I_2 \cdot 6 = 73$$

$$13I_3 + 2I_4 - 6I_2 - 73 = 0$$

$$13I_3 + 2I_4 - \frac{6(5I_1 + 1)}{3} - 73 = 0$$

$$\underline{\underline{13I_3 + 2I_4 - 10I_1 - 75 = 0 \quad \dots \quad (b)}}$$

$$(4) \quad I_4(2+3+1) + I_3 \cdot 2 + I_2 \cdot 1 = 73 - 1$$

$$6I_4 + 2I_3 + I_2 - 72 = 0$$

$$6I_4 + 2I_3 + \frac{5I_1 + 1}{3} - 72 = 0$$

$$18I_4 + 6I_3 + 5I_1 + 1 - 216 = 0$$

$$\underline{\underline{5I_1 + 6I_3 + 18I_4 - 215 = 0 \quad \dots \quad (c)}}$$

Metoda równych współczynników redukuje z równań (a), (b), (c) jedną z niewiadomych

$$(a) \quad \dots \quad 47I_1 - 18I_3 + 3I_4 + 13 = 0$$

$$(b) \quad \left\{ \begin{array}{l} -10I_1 + 13I_3 + 2I_4 - 75 = 0 \\ 5I_1 + 6I_3 + 18I_4 - 215 = 0 \end{array} \right. \quad | \cdot 9$$

$$(c) \quad \left\{ \begin{array}{l} -10I_1 + 13I_3 + 2I_4 - 75 = 0 \\ 5I_1 + 6I_3 + 18I_4 - 215 = 0 \end{array} \right.$$

$$(b) \quad \begin{array}{r} -90I_1 + 117I_3 + 18I_4 - 675 = 0 \\ + 5I_1 + 6I_3 + 18I_4 - 215 = 0 \end{array}$$

$$\underline{\underline{95I_1 - 111I_3 + 460 = 0}}$$

$$\dots \quad 95I_1 - 111I_3 + 460 = 0$$

$$-111I_3 = -95I_1 - 460$$

$$(d) \dots\dots\dots I_3 = \frac{95I_1 + 460}{111} = \frac{95I_1 + 460}{3 \cdot 37}$$

$$a. \quad 47I_1 - \frac{6(95I_1 + 460)}{37} + 3I_4 + 13 = 0 \quad | \cdot 37$$

$$1739I_1 - 570I_1 - 2760 + 111I_4 + 481 = 0$$

$$1169I_1 + 111I_4 - 2279 = 0$$

$$111I_4 = 2279 - 1169I_1$$

$$(e) \dots\dots\dots I_4 = \frac{2279 - 1169I_1}{3 \cdot 37}$$

$$(c) \dots\dots\dots 5I_1 + 6I_3 + 18I_4 - 215 = 0$$

$$5I_1 + \frac{6(95I_1 + 460)}{3 \cdot 37} + \frac{18(2279 - 1169I_1)}{3 \cdot 37} - 215 = 0$$

$$185I_1 + 190I_1 + 920 + 13674 - 6014I_1 - 7955 = 0$$

$$I_1(185 + 190 - 6014) + 920 + 13674 - 7955 = 0$$

$$-6639I_1 + 6639 = 0$$

$$I_1 = \frac{6639}{6639} = \underline{\underline{1 \text{ A}}}$$

$$I_2 = \frac{5I_1 + 1}{3} = \frac{5 + 1}{3} = \underline{\underline{2 \text{ A}}}$$

$$I_2 = \underline{\underline{2 \text{ A}}}$$

$$I_3 = \frac{95I_1 + 460}{3 \cdot 37} = \frac{95 + 460}{111} = \frac{555}{111} = \underline{\underline{5}}$$

$$I_3 = \underline{\underline{5 \text{ A}}}$$

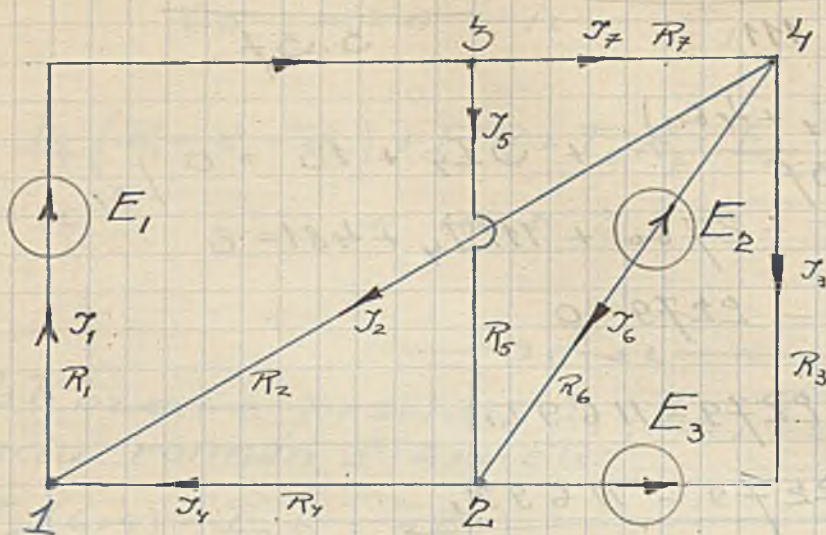
$$I_4 = \frac{2279 - 1169I_1}{3 \cdot 37} = \frac{2279 - 1169}{111} = \frac{1110}{111} = \underline{\underline{10}}$$

$$I_4 = \underline{\underline{10 \text{ A}}}$$

Składając poszczególne prądy oczkowe jak punkcie (1), dostaniemy wartości prądów w gałęziach obwodu

5.

Równania Coltriego



$$G = \frac{1}{R}$$

$$G_1 = \frac{1}{2}$$

$$G_2 = \frac{1}{3}$$

$$G_3 = \frac{1}{4}$$

$$G_4 = \frac{1}{5}$$

$$E_1 = 73$$

$$G_5 = \frac{1}{6}$$

$$G_6 = \frac{1}{6}$$

$$G_7 = 1$$

$$E_2 = 1$$

$$E_3 = 2$$

Hezeta 1. $V_1 (G_1 + G_2 + G_4) - V_2 G_4 - V_3 G_2 - V_4 G_1 = -E_1 G_1 - E_2 G_2$

Hezeta 2. $V_2 (G_3 + G_6 + G_5 + G_4) - V_1 G_4 - V_3 G_5 - V_4 G_6 - V_4 G_3 = -E_3 G_3$

Hezeta 3. $V_3 (G_1 + G_5 + G_7) - V_4 G_7 - V_2 G_5 - V_1 G_1 = E_1 G_1$

V_4 - kładziemy równo 0 (uziemiamy)

Poniższy układ trzech równań z trzema niewiadomymi rozwiązujemy ze względu na V_1, V_2 i V_3

Metoda wyznaczników

$$(1) \quad V_1 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} \right) - V_2 \frac{1}{5} - V_3 \frac{1}{2} = -73 \cdot \frac{1}{2} - 1$$

$$(2) \quad \frac{31}{30} V_1 - \frac{1}{5} V_2 - \frac{1}{2} V_3 = \frac{221}{6}$$

$$(3) \quad -\frac{1}{5} V_1 + \frac{47}{60} V_2 - \frac{1}{6} V_3 = -\frac{1}{2}$$

$$(4) \quad -\frac{1}{2} V_1 - \frac{1}{6} V_2 + \frac{5}{3} V_3 = \frac{73}{2}$$

$$D = \frac{31}{30} \begin{vmatrix} \frac{47}{60} & -\frac{1}{6} \\ -\frac{1}{6} & \frac{5}{3} \end{vmatrix} - \left(-\frac{1}{5} \right) \begin{vmatrix} -\frac{1}{5} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{5}{3} \end{vmatrix} + \left(-\frac{1}{2} \right) \begin{vmatrix} -\frac{1}{5} & \frac{47}{60} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{1}{6} \end{vmatrix} =$$

$$= \frac{31}{30} \left(\frac{47}{36} - \frac{1}{36} \right) - \left(-\frac{1}{5} \right) \left(-\frac{5}{15} - \frac{1}{12} \right) + \left(-\frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{36} + \frac{47}{120} \right) =$$

$$= \frac{265560}{1080 \cdot 240}$$

$$\underline{\underline{D = \frac{265560}{1080 \cdot 240}}}$$

(V₁)

$$D_1 = \begin{vmatrix} \frac{221}{6} & -\frac{1}{5} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{47}{60} & -\frac{1}{6} \\ \frac{73}{2} & -\frac{1}{6} & \frac{5}{3} \end{vmatrix} =$$

$$= -\frac{221}{6} \begin{vmatrix} \frac{47}{60} & -\frac{1}{6} \\ \frac{1}{6} & \frac{5}{3} \end{vmatrix} - \left(-\frac{1}{5}\right) \begin{vmatrix} -\frac{1}{2} & -\frac{1}{6} \\ \frac{73}{2} & \frac{5}{3} \end{vmatrix} + \left(-\frac{1}{2}\right) \begin{vmatrix} -\frac{1}{2} & \frac{47}{60} \\ \frac{73}{2} & -\frac{1}{6} \end{vmatrix} =$$

$$= -\frac{10166}{216} + \frac{63}{60} + \frac{3721}{240} = -\frac{10166}{216} + \frac{3673}{240}$$

$$D_1 = -\frac{1646472}{216 \cdot 240}$$

$$V_1 = \frac{D_1}{D} = -\frac{1646472 \cdot 240 \cdot 1080}{240 \cdot 216 \cdot 265560} = -31 \checkmark$$

$$\underline{\underline{V_1 = -31 \checkmark}}$$

(V₂)

$$D_2 = \begin{vmatrix} \frac{31}{30} & -\frac{221}{6} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{5} & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{6} \\ -\frac{1}{2} & \frac{73}{2} & \frac{5}{3} \end{vmatrix} =$$

$$= \frac{31}{30} \begin{vmatrix} -\frac{1}{2} & -\frac{1}{6} \\ \frac{73}{2} & \frac{5}{3} \end{vmatrix} - \left(\frac{221}{6}\right) \begin{vmatrix} -\frac{1}{5} & -\frac{1}{6} \\ -\frac{1}{2} & \frac{5}{3} \end{vmatrix} + \left(-\frac{1}{2}\right) \begin{vmatrix} -\frac{1}{5} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{73}{2} \end{vmatrix} =$$

$$= \frac{1953}{360} - \frac{1105}{72} + \frac{302}{80} = \frac{3312}{360} - \frac{1105}{72} =$$

$$D_2 = -\frac{159336}{360 \cdot 72}$$

$$V_3 = \frac{D_2}{D}$$

$$V_2 = \frac{159336 \cdot 1080 \cdot 240}{360 \cdot 72 \cdot 265560} = -6 \checkmark$$

$$\underline{\underline{V_2 = -6 \checkmark}}$$

Wstawiając otrzymane wartości na V₁ i V₂ w którekolwiek z równań dostajemy wartość na V₃

$$(3) \quad \frac{5}{3}V_3 + \frac{6}{6} + \frac{31}{2} = \frac{73}{2}$$

$$\frac{5}{3}V_3 = \frac{72}{2} - \frac{31}{2} - \frac{2}{2}$$

$$\frac{5}{3}V_3 = \frac{40}{2}$$

$$V_3 = \frac{3 \cdot 40}{10}$$

$$\underline{V_3 = 12}$$

Mając wyliczone potencjały w poszczególnych węzłach obwodu może, stosując prawo Ohma wyliczyć prądy w gałęziach

i tak

$$1. \quad I_1 = \frac{U_1 + E_1}{R_1} \quad U_1 = V_1 - V_3 = -31 - 12 = -43$$

$$E_1 = 73, \quad R_1 = 2$$

$$I_1 = \frac{-43 + 73}{2} = \underline{15} \text{ A}$$

$$2. \quad I_2 = \frac{U_2 - E_2}{R_2} \quad U_2 = -V_1 = 31$$

$$R_2 = 3$$

$$I_2 = \frac{31 - 1}{3} = \frac{30}{3} = \underline{10} \text{ A}$$

$$3. \quad I_3 = \frac{U_3 - E_3}{R_3} = \frac{-V_2 - E_3}{R_3} \quad U_3 = 0 - V_2 = -V_2 = 6$$

$$E_3 = 2$$

$$R_3 = 4$$

$$I_3 = \frac{6 - 2}{4} = \underline{1}$$

$$4. \quad I_4 = \frac{U_4}{R_4} = \frac{25}{5} = \underline{5} \text{ A} \quad U_4 = V_2 - V_1 = -6 + 31 = 25$$

$$5. \quad I_5 = \frac{U_5}{R_5} = \frac{18}{6} = \underline{3} \text{ A} \quad U_5 = V_3 - V_2 = 12 + 6 = 18$$

$$6. \quad I_6 = \frac{U_6}{R_6} = \frac{6}{6} = \underline{1} \text{ A} \quad U_6 = V_4 - V_2 = -V_2 = 6$$

$$7. \quad I_7 = \frac{U_7}{R_7} = \frac{V_3 - 0}{R_7} = \frac{12}{1} \text{ A} \quad R_7 = 1$$

$$I_7 = \underline{12} \text{ A}$$

6.

1. Obliczam n.p. za pomocą równań Maxwella prądy oczkowe I_1', I_2', I_3', I_4' przy założeniu że E_2 i $E_3 = 0$

$$1. E_2 = E_3 = 0 \quad E_1 \neq 0 = 73$$

$$1. 13I_3' + 2I_4' - 6I_2' = 73$$

$$2. 2I_3' + 6I_4' + I_2' = 73$$

$$3. -30I_3' + 5I_4' + 47I_2' = 0$$

$$I_2' = 73 - 2I_3' - 6I_4'$$

$$\left. \begin{aligned} 13I_2' - 6 \cdot \frac{3}{5} I_2' - 6I_3' + I_4' &= 0 \\ 65I_2' - 18I_2' - 30I_3' + 5I_4' &= 0 \end{aligned} \right\}$$

$$1. 13I_3' + 2I_4' - 6(73 - 2I_3' - 6I_4') = 73$$

$$25I_3' + 38I_4' = 511$$

$$3. -30I_3' + 5I_4' + 47(73 - 2I_3' - 6I_4') = 0$$

$$+ 124I_3' + 277I_4' = 3431$$

$$25I_3' + 38I_4' = 511 \quad \dots (5)$$

$$124I_3' + 277I_4' = 3431 \quad \dots (6)$$

$$\frac{511 - 38I_4'}{25} = \frac{3431 - 277I_4'}{124}$$

$$63364 - 4712I_4' = 85775 - 6925I_4'$$

$$2213I_4' = 22411$$

$$\underline{I_4' = 10,1269 \text{ A}}$$

$$25I_3' + 38 \cdot 10,1269 = 511$$

$$\underline{I_3' = 5,047 \text{ A}}$$

$$I_2' = 73 - 10,09416 - 60,7614$$

$$\underline{I_2' = 2,144 \text{ A}}$$

$$I_1' = \frac{3}{5} \cdot 2,144$$

$$\underline{I_1' = 1,286 \text{ A}}$$

2. to samo przy założeniu $E_1 = 0 = E_3$ $E_2 \neq 0$

$$10 I_1'' - 6 I_2'' = 0$$

$$13 I_3'' + 2 I_4'' - 6 I_2'' = 0$$

$$6 I_4'' + 2 I_3'' + I_2'' = -E_2 = -1$$

$$13 I_2'' - 6 I_1'' - 6 I_3'' + I_4'' = 0$$

$$\begin{aligned} (1) \quad & 13 I_3'' + 2 I_4'' - 6 I_2'' = 0 \\ & 2 I_3'' + 6 I_4'' + I_2'' = -1 \end{aligned} \quad I_2'' = -1 - 6 I_4'' - 2 I_3''$$

$$(2) \quad 5 I_4'' - 30 I_3'' + 47 I_2'' = 0$$

$$\begin{aligned} (1) \quad & 13 I_3'' + 2 I_4'' + 6 + 36 I_4'' + 12 I_3'' = 0 \\ & 25 I_3'' + 38 I_4'' = -6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2) \quad & 5 I_4'' - 30 I_3'' - 47 - 282 I_4'' - 94 I_3'' = 0 \\ & + 124 I_3'' + 277 I_4'' = -47 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} 25 I_3'' + 38 I_4'' &= -6 \\ 124 I_3'' + 277 I_4'' &= -47 \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{6 + 38 I_4''}{25} = \frac{47 + 277 I_4''}{124}$$

$$744 + 3712 I_4'' = 1175 + 6925 I_4''$$

$$3213 I_4'' = -431$$

$$\underline{I_4'' = -0,131808 \text{ A}}$$

$$I_3'' = -\frac{6 - 38 \cdot I_4''}{25} =$$

$$\underline{I_3'' = -0,0400 \text{ A}}$$

$$I_2'' = -1 - 6 I_4'' - 2 I_3''$$

$$\underline{I_2'' = +0,1333 \text{ A}}$$

$$\underline{I_1'' = +0,0800 \text{ A}}$$

3. to samo przy założeniu $E_1 = E_2 = 0$ $E_3 \neq 0$

$$10 I_1''' - 6 I_2''' = -2$$

$$13 I_3''' + 2 I_4''' - 6 I_2''' = 0$$

$$6 I_4''' + 2 I_3''' + I_2''' = 0$$

$$13 I_2''' - 6 I_1''' - 6 I_3''' + I_4''' = 0$$

$$I_2''' = -6I_4''' - 2I_3'''$$

$$10I_1''' + 36I_4''' + 12I_3''' = -2$$

$$(2) \quad 13I_3''' + 2I_4''' + 36I_4''' + 12I_3''' = 0$$

$$25I_3''' + 38I_4''' = 0$$

$$(3) \quad -78I_4''' - 26I_3''' - 6I_1''' - 6I_3''' + I_4''' = 0$$

$$+77I_4''' + 32I_3''' + 6I_1''' = 0$$

$$10I_1''' + 36I_4''' + 12I_3''' = -2$$

$$38I_4''' + 25I_3''' = 0$$

$$6I_1''' + 77I_4''' + 32I_3''' = 0$$

$$-30I_1''' + 108I_4''' + 36I_3''' = 6$$

$$30I_1''' + 385I_4''' + 160I_3''' = 0$$

$$277I_4''' + 124I_3''' = 6$$

$$38I_4''' + 25I_3''' = 0$$

$$\frac{6 - 277I_4'''}{124} = \frac{-38I_4'''}{25}$$

$$150 - 6925I_4''' = -5312I_4'''$$

$$1613I_4''' = 150$$

$$I_4''' = 0,09299$$

$$I_3''' = -0,14134 \quad A$$

$$I_2 = -6I_4 - 2I_3$$

$$I_2''' = -0,27526 \quad A$$

$$I_1''' = \frac{-1 + 3I_2}{5}$$

$$I_1''' = -0,36515 \quad A$$

Zgodnie z zasadą superpozycji:

$$I_1 = I_1' + I_1'' + I_1'''$$

$$I_1 = 1,286 + 0,0800 - 0,36515$$

$$I_1 = 1,00085 = \underline{\underline{1}} \quad A$$

$$I_2 = I_2'' + I_2''' + I_2' = 2,114 + 0,133 - 0,275 = \underline{\underline{-2}} \quad A$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' + I_3''' = 5,077 - 0,070 - 0,191 = 4,86$$

$$I_3 = 4,866 = \underline{\underline{\sim 5}}$$

$$I_4 = I_4' + I_4'' + I_4'''$$

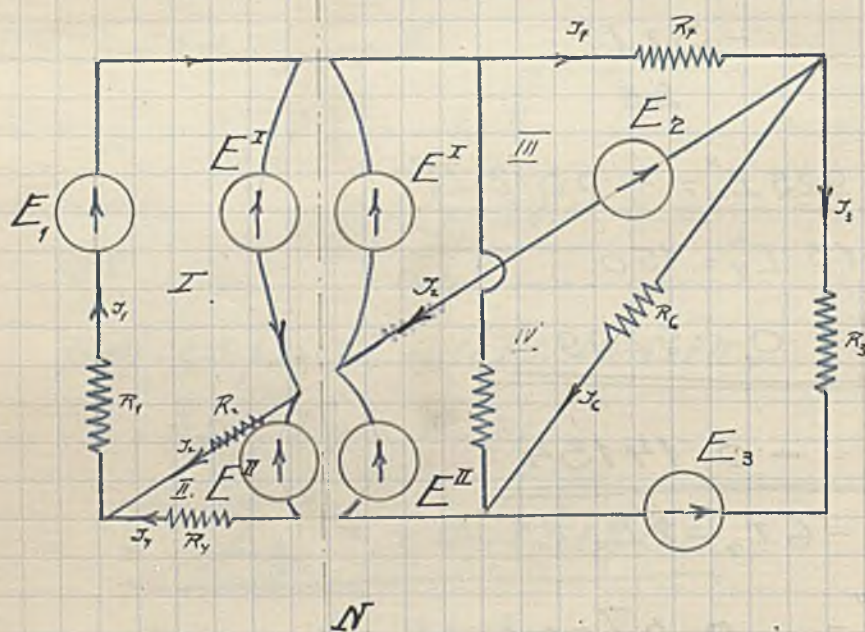
$$I_4 = 10,1269 - 0,131 - 0,093$$

$$I_4 = 10,011 = \underline{\underline{\sim 10}}$$

Składając otrzymane wartości prądów oczkowych otrzymamy wielkości prądów w gałęziach obwodu

X

F.



N

Wielkość SEM-nej E^I i E^{II} potrzebnych do utrzymania w miejscu przecięcia (~~oblicze z prawa~~) by prądy w poszczególnych gałęziach sieci nie uległy zmianie oblicze z prawa koła napięć

$$1. -E_1 + J_1 R_1 + J_2 R_2 + E^I = 0 \dots (\underline{I.})$$

$$2. -J_2 R_2 + J_4 R_4 + E^{II} = 0 \dots (\underline{II.})$$

$$I. -73 + 15 \cdot 2 + 10 \cdot 3 + E^I = 0$$

$$-73 + 60 + E^I = 0$$

$$E^I = 13 \checkmark$$

$$II. -30 + 25 + E^{II} = 0$$

$$-5 + E^{II} = 0$$

$$E^{II} = 5 \checkmark$$

Справка

формулы из закона Кирхгофа:

$$\text{I. } J_1 R_1 - E_1 + E^I + J_2 R_2 = 0$$

$$30 - 73 + 13 + 30 = 0$$

$$\text{II. } J_7 R_7 - J_2 R_2 + E^{\text{II}} = 0$$

$$25 - 30 + 5 = 0$$

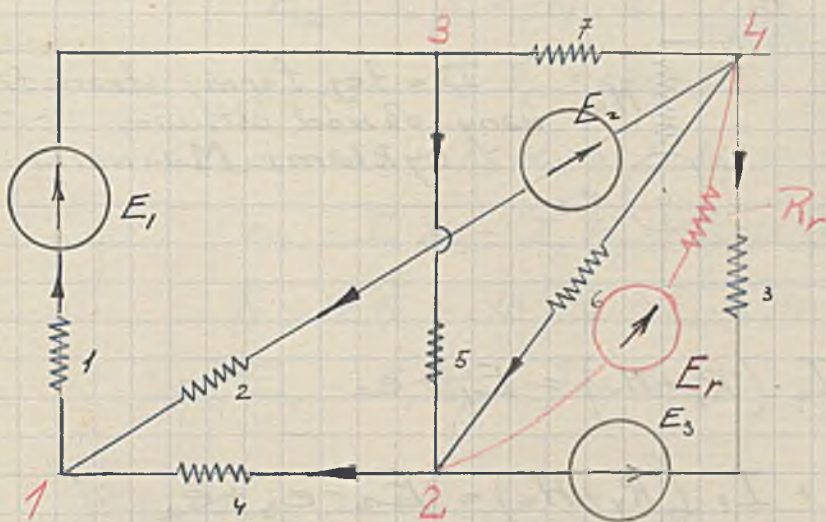
$$\text{III. } J_7 R_7 + E_2 - E_1^I = 0$$

$$12 + 1 - 13 = 0$$

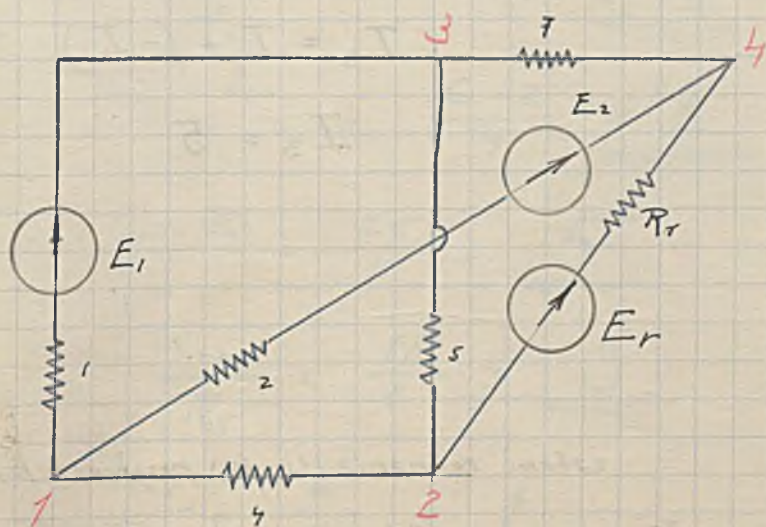
$$\text{IV. } J_6 R_6 - E^{\text{II}} - E_2 = 0$$

$$6 - 5 - 1 = 0$$

8. Трансформация



| | |
|------------|------------------|
| $J_1 = 15$ | $R_1 = 2 \Omega$ |
| $J_2 = 10$ | $R_2 = 3$ |
| $J_3 = 1$ | $R_3 = 4$ |
| $J_4 = 5$ | $R_4 = 5$ |
| $J_5 = 3$ | $R_5 = 6$ |
| $J_6 = 1$ | $R_6 = 6$ |
| $J_7 = 12$ | $R_7 = 1$ |

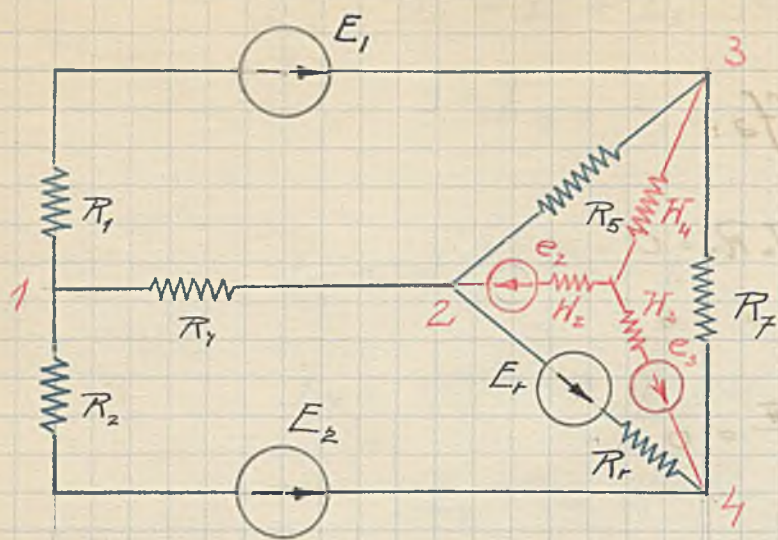


$$R_r = \frac{R_3 \cdot R_6}{R_3 + R_6}$$

$$R_r = \frac{12}{5}$$

$$E_r = R_r \frac{E_3}{R_3} = \frac{6}{5} \text{ V}$$

$$\underline{R_r = \frac{12}{5} \Omega, E_r = \frac{6}{5} \text{ V}}$$



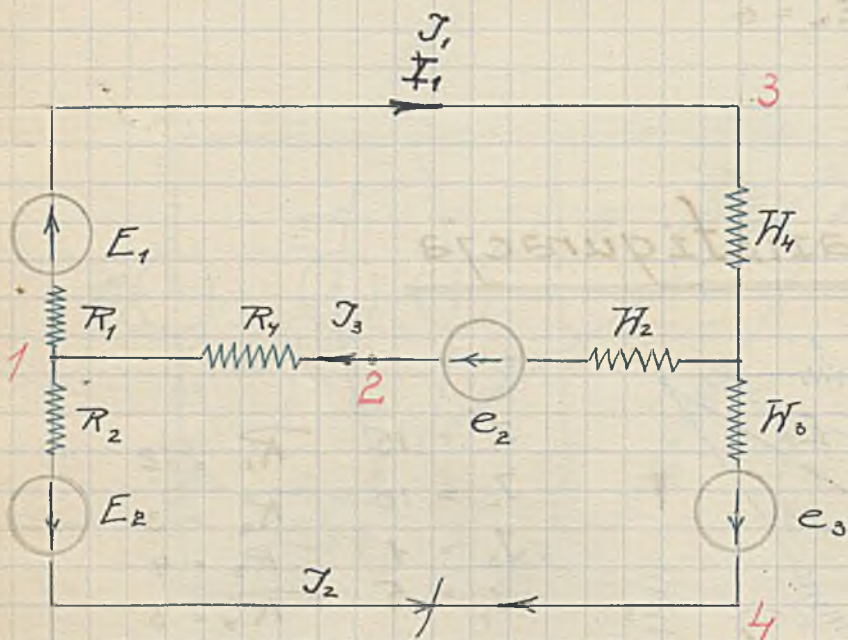
$$W_2 = \frac{R_5 R_r}{R_5 + R_7 + R_r}$$

$$W_3 = \frac{R_7 R_r}{R_5 + R_7 + R_r}$$

$$W_4 = \frac{R_5 R_7}{R_5 + R_7 + R_r}$$

$$e_2 = \frac{-E_r \cdot R_5}{R_5 + R_7 + R_r} = -\frac{36}{47}$$

$$e_3 = \frac{E_r \cdot R_7}{R_5 + R_7 + R_r} = \frac{6}{47}$$



Do tej formy transformacji należy obwód otrzymać cyklami Maxwella:

$$1. I_1 (R_1 + R_4 + R_5 + R_7) + I_2 (R_4 + R_7) = E_1 + e_2$$

$$2. I_2 (R_4 + R_7 + R_6 + R_r) + I_1 (R_4 + R_7) = E_2 - e_3 + e_2$$

$$e_2 = \frac{-E_r R_5}{R_5 + R_7 + R_r} = \frac{-6 \cdot \frac{6}{5}}{6 + 1 + \frac{12}{5}} = -\frac{36}{47}$$

$$e_3 = \frac{E_r R_7}{R_5 + R_7 + R_r} = \frac{\frac{6}{5}}{\frac{47}{5}} = \frac{6}{47}$$

$$I_3 = I_1 + I_2$$

$$I_3 = I_1 + (-I_2)$$

$$I_3 = 5$$

$$W_2 = \frac{R_5 \cdot R_r}{R_5 + R_7 + R_r} = \frac{6 \cdot \frac{12}{5}}{\frac{47}{5}} = \frac{72}{47}$$

$$W_3 = \frac{R_7 R_r}{R_5 + R_7 + R_r} = \frac{\frac{12}{5}}{\frac{47}{5}} = \frac{12}{47}$$

$$W_4 = \frac{R_5 \cdot R_7}{R_5 + R_7 + R_r} = \frac{6}{\frac{47}{5}} = \frac{30}{47}$$

zatem równania (1), (2) przybiorą postać

$$I_1 \left(2 + \frac{30}{47} + \frac{72}{47} + 5 \right) + I_2 \left(5 + \frac{72}{47} \right) = 73 - \frac{36}{47} \quad \dots \dots \dots (2')$$

$$I_2 \left(5 + \frac{72}{47} + \frac{12}{47} + 3 \right) + I_1 \left(5 + \frac{72}{47} \right) = 1 - \frac{6}{47} - \frac{36}{47} \quad \dots \dots \dots (2')$$

$$\frac{431}{47} I_1 + \frac{307}{47} I_2 = \frac{3395}{47} \quad \dots \quad (1)$$

$$\frac{307}{47} I_1 + \frac{460}{47} I_2 = \frac{5}{47} \quad \dots \quad (2)$$

$$431 I_1 + 307 I_2 = 3395 \quad |_{307} \dots \quad (1)$$

$$307 I_1 + 460 I_2 = 5 \quad |_{431} \dots \quad (2)$$

Stosuje metodę równych współcz.

$$132317 I_1 + 984249 I_2 = 1042265$$

$$- 132317 I_1 + 198260 I_2 = -2155$$

$$I_2 = \frac{1040200}{104020} = \underline{\underline{-10 \text{ A}}}$$

Podstawiając otrzymaną wartość na jedno z równań otrzymam wartość na I_1

$$I_1 = \underline{\underline{15 \text{ A}}}$$

Chcąc obliczyć rozpruty prądów w otrzymanym obwodzie muszę znaleźć wartości napięć między poszczególnymi węzłami.

$$U_{14} = E_2 + I_2 R_2 = V_4 - V_1 = \underline{\underline{+31 \text{ V}}}$$

$$U_{12} = I_3 R_4 = V_2 - V_1 = -6 + 31 = \underline{\underline{25 \text{ V}}}$$

$$U_{24} = +e_1 - e_3 - I_3 H_2 + I_2 H_3 = -\frac{36}{47} - \frac{6}{47} - 5 \frac{72}{47} + 10 \frac{12}{47} = \underline{\underline{+6 \text{ V}}} = V_2 - V_4$$

$$U_{43} = +e_3 - I_2 H_3 - I_1 H_4 = \frac{6}{47} - 10 \frac{12}{47} - 15 \frac{30}{47} = \underline{\underline{12 \text{ V}}} = V_3 - V_4$$

$$U_{23} = \frac{6}{47} - 10 \frac{12}{47} - 15 \frac{30}{47} = e_2 - I_3 H_2 - I_1 H_4 = -\frac{36}{47} - 5 \frac{72}{47} - 15 \frac{30}{47} = V_3 - V_2 = \underline{\underline{18 \text{ V}}}$$

$$U_{13} = E_1 - I_1 R_1 = -73 + 15 \cdot 2 = \underline{\underline{-43 \text{ V}}} = -V_3 + V_1$$

$$I_1 = \frac{U_{13} - E_1}{R_1} = \frac{-43 + 73}{2} = \underline{\underline{15 \text{ A}}}$$

$$I_2 = \frac{U_{14} - E_2}{R_2} = \frac{31 - 1}{3} = \underline{\underline{10 \text{ A}}}$$

$$I_3 = \frac{U_{42} - E_3}{R_3} = \frac{6 - 2}{4} = \underline{\underline{1 \text{ A}}}$$

$$I_4 = \frac{U_{12} - E_3}{R_4} = \frac{25}{5} = \underline{\underline{5 \text{ A}}}$$

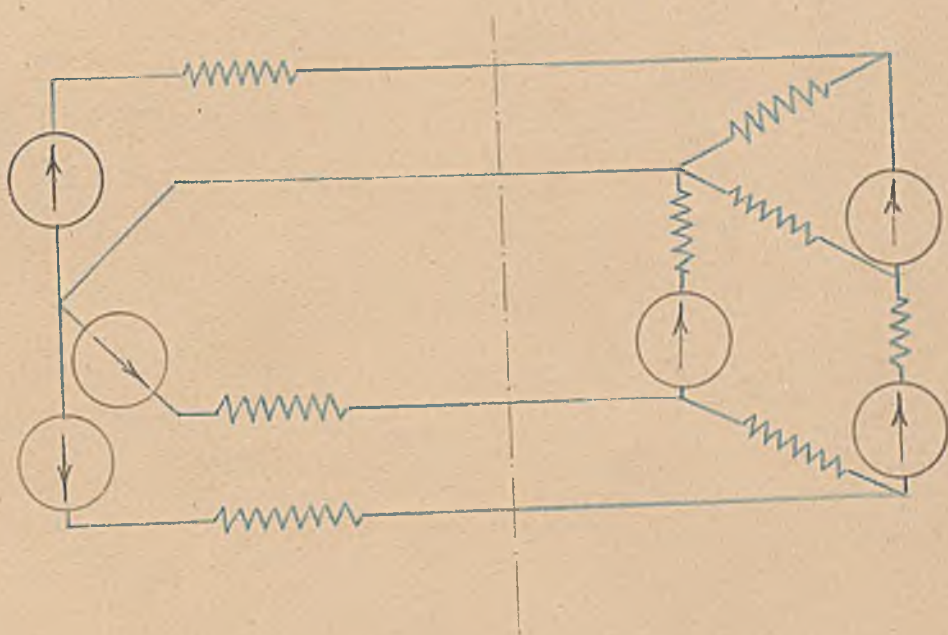
$$I_5 = \frac{U_{32}}{R_5} = \frac{18}{6} = \underline{\underline{3 \text{ A}}}$$

$$I_6 = \frac{U_{24}}{R_6} = \frac{6}{6} = \underline{\underline{1 \text{ A}}}$$

$$I_7 = \frac{U_{34}}{R_7} = \frac{12}{1} = \underline{\underline{12 \text{ A}}}$$

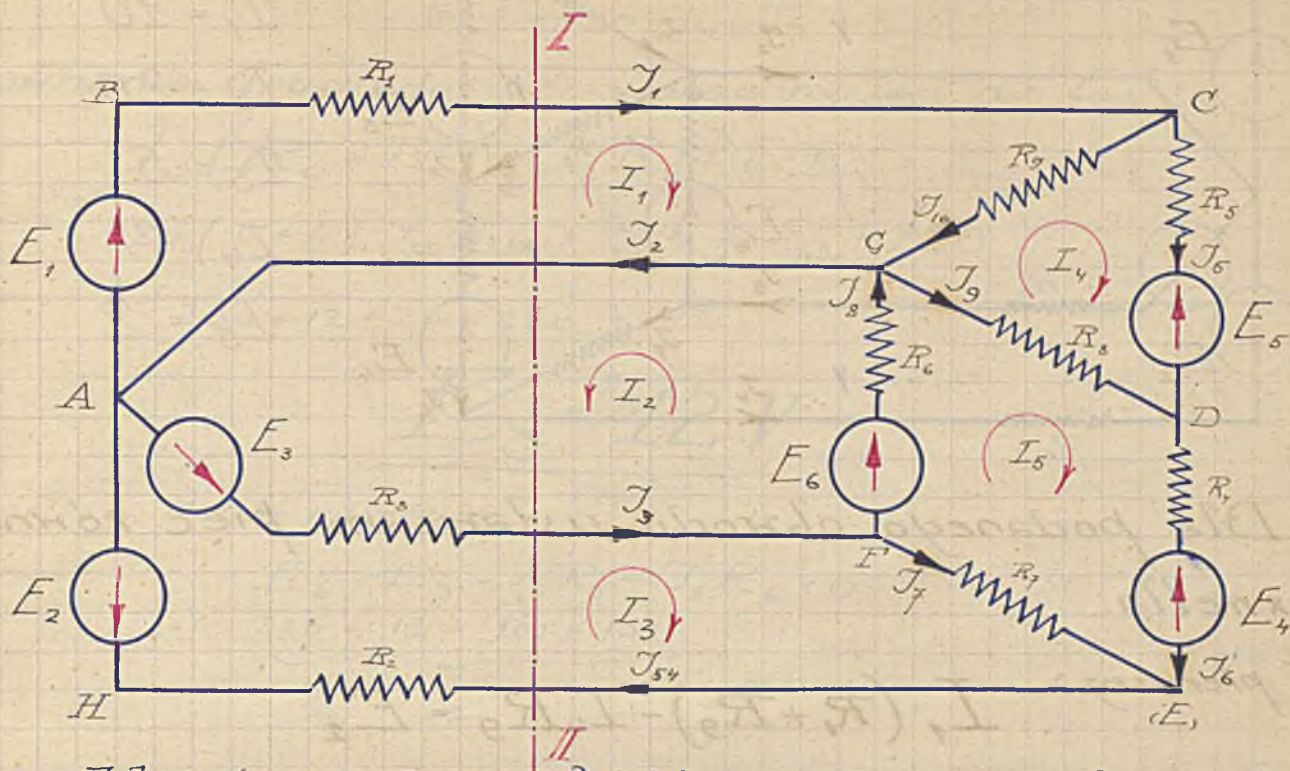
Cwiczenie 2.

z Elektrotechniki og.



Wachal Antoni Lesze
Wydział mechaniczny

Cwiczenie 2.



temat: Złożyć dowolnie obwód o układzie połączeń przedstawionym na rysunku i obliczyć moc mierzona między I i II.

Wskazać, która strona jest odbiornikiem

Sprawić bilans mocy po jednej i drugiej stronie

Jak należy załączyć natomierze do pomiaru tej mocy?

Obieram prądy oczkowe:

$$I_1 = 10A, I_2 = 20A, I_3 = 5A, I_4 = 4A, I_5 = 2A$$

obliczam rozpręty prądu w poszczególnych gałęziach obwodu.

$$J_1 = I_1 = 10A$$

$$J_6 = I_5 = 2A$$

$$J_2 = I_1 + I_2 = 30A$$

$$J_7 = I_5 - I_4 = 3A$$

$$J_3 = I_2 + I_3 = 25A$$

$$J_8 = I_2 + I_5 = 22A$$

$$J_4 = I_3 = 5A$$

$$J_9 = I_5 - I_4 = -2A$$

$$J_5 = I_4 = 4A$$

$$J_{10} = I_1 - I_4 = 6A$$

Sprawić 2 prągiem Kirchoffa:

węzeł "A"

$$J_2 + J_7 - J_1 - J_3 = 0$$

$$30 + 5 - 10 - 25 = 0$$

węzeł "C"

$$J_1 - J_{10} - J_5 = 0$$

$$10 - 6 - 4 = 0$$

węzeł "D"

$$J_9 + J_5 - J_6 = 0$$

$$-2 + 4 - 2 = 0$$

węzeł "G"

$$J_{10} + J_8 - J_2 - J_9 = 0$$

$$6 + 22 - 30 + 2 = 0$$

węzeł "F"

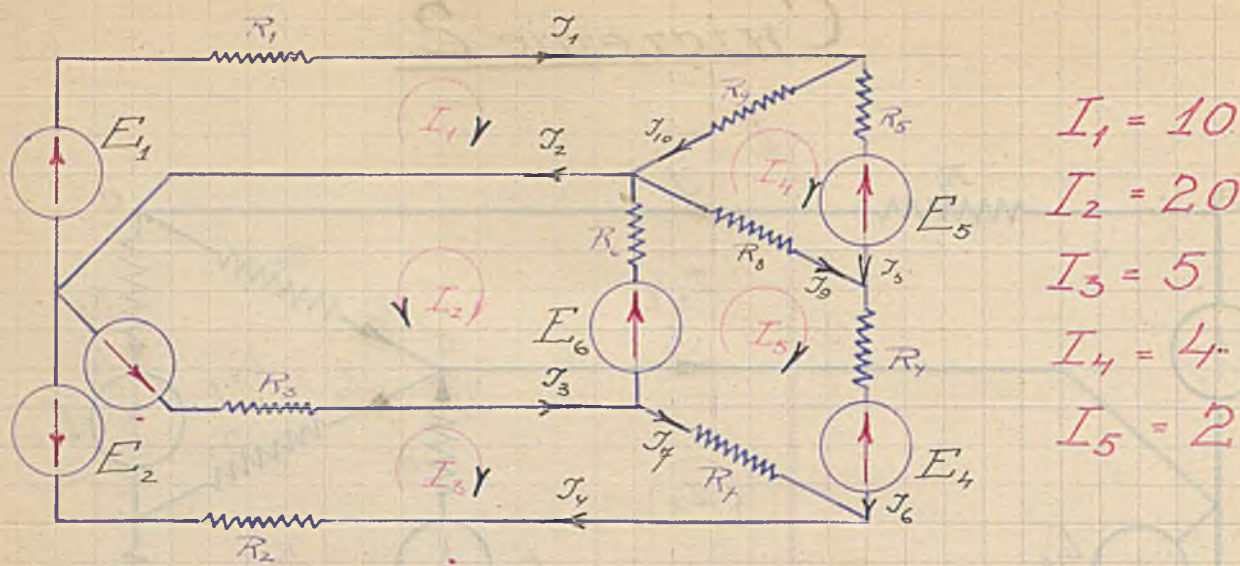
$$J_3 - J_7 - J_1 = 0$$

$$25 - 3 - 22 = 0$$

węzeł "E"

$$J_6 + J_7 - J_4 = 0$$

$$2 + 3 - 5 = 0$$



$I_1 = 10$
 $I_2 = 20$
 $I_3 = 5$
 $I_4 = 4$
 $I_5 = 2$

Dla podanego obrotu ustaliam pięć równań Maxwella

cykl pierwszy: $I_1 (R_1 + R_9) - I_4 R_9 = E_1$

cykl drugi: $I_2 (R_6 + R_3) + I_5 R_6 + I_3 R_3 - E_3 + E_6$

cykl trzeci: $I_3 (R_3 + R_2 + R_7) + I_2 R_3 - I_5 R_7 = E_3 - E_2$

cykl czwarty: $I_4 (R_9 + R_5 + R_8) - I_1 R_9 - I_5 R_8 = -E_5$

cykl piąty: $I_5 (R_7 + R_6 + R_7 + R_8) - I_3 R_7 + I_2 R_6 - I_4 R_8 = E_6 - E_4$

Obieram opory:

| | | |
|------------------|------------------|------------------|
| $R_1 = 1 \Omega$ | $R_7 = 5 \Omega$ | $R_7 = 8 \Omega$ |
| $R_2 = 2 "$ | $R_5 = 3 "$ | $R_8 = 15 "$ |
| $R_3 = 4 "$ | $R_6 = 6 "$ | $R_9 = 10 "$ |

oraz jedną SEM np. $E_6 = 220V$

Z pięciu równań Maxwella obliczam pozostałe SEM-czyny

E_1, E_2, E_3, E_4, E_5

z pierwszego

$$E_1 = I_1 (R_1 + R_9) - I_4 R_9$$

$$E_1 = 10(1+10) - 4 \cdot 10$$

$$\underline{E_1 = 70V}$$

(1)

wynik ten sprawdzam pr. koła napięć dla oczka (I₁)

$$E_1 - I_1 R_1 - I_{10} R_9 = 0$$
$$70 - 10 \cdot 1 - 6 \cdot 10 = 0$$

Z równania drugiego otrzymuje wartość na „E₃”

$$I_2 (R_6 + R_3) + I_5 R_6 + I_3 R_3 = E_3 + E_6$$

$$20(6+4) + 2 \cdot 6 + 5 \cdot 4 = E_3 + 220$$

$$200 + 12 + 20 - 220 = E_3$$

$$\underline{E_3 = 12V}$$

sprawdzam kołem napięć:

$$E_6 + E_3 - I_3 R_3 - I_8 R_6 = 0$$

$$220 + 12 - 100 - 132 = 0$$

Z równania trzeciego otrzymuje „E₂”

$$I_3 (R_3 + R_2 + R_7) + I_2 R_3 - I_5 R_7 = E_3 - E_2$$

$$5(4+2+8) + 20 \cdot 4 - 2 \cdot 8 = 12 - E_2$$

$$70 + 80 - 16 - 12 = -E_2$$

$$E_2 = 150 - 28$$

$$\underline{E_2 = -122V}$$

Spr. kołem napięć:

$$E_3 - I_3 R_3 - I_7 R_7 - I_4 R_2 - E_2 = 0$$

$$12 - 4 \cdot 25 - 3 \cdot 8 - 5 \cdot 2 + 122 =$$

$$= 12 - 100 - 24 - 10 + 122 = 0$$

Z równania czwartego otrzymuje wartość na „E₅”

$$I_4 (R_5 + R_8 + R_9) - I_1 R_9 - I_5 R_8 = -E_5$$

$$4(10+3+15) - 10 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = -E_5$$

$$112 - 100 - 30 = -E_5$$

$$\underline{E_5 = 18V}$$

Spr. kołem nap.

$$I_{10} R_9 - I_5 R_5 + I_9 R_8 - E_5 = 0$$

$$60 - 12 - 30 - 18 = 0$$

Wreszcie wartość " E_4 " wydobyciam z równ. piątego

$$I_5(R_8 + R_7 + R_6 + R_4) - I_3 R_7 + I_2 R_6 - I_4 R_8 =$$

$$2(15 + 8 + 6 + 5) - 5 \cdot 8 + 20 \cdot 6 - 4 \cdot 15 = 220 - E_4$$

$$68 - 40 + 120 - 220 = -E_4$$

$$\underline{E_4 = 132 \text{ V}}$$

$$E_1 = 70 \text{ V}$$

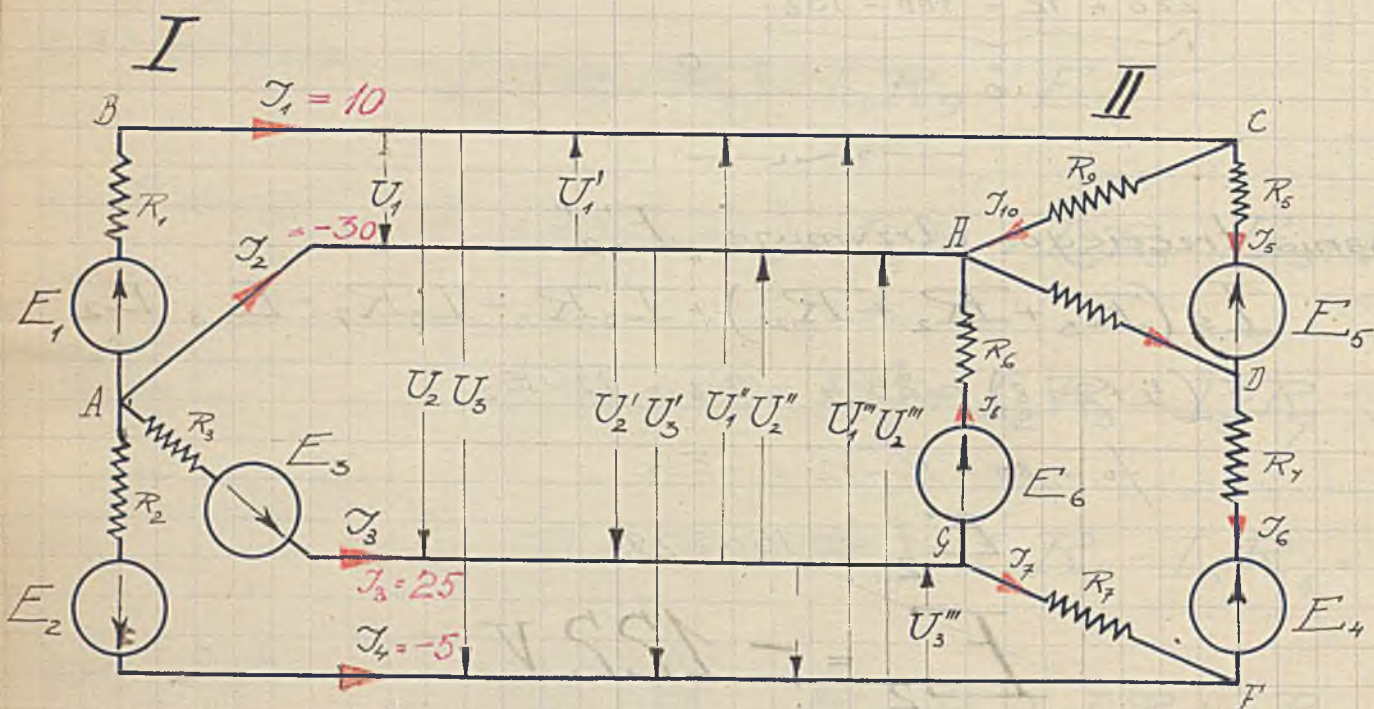
$$E_3 = 12 \text{ V}$$

$$E_5 = 18 \text{ V}$$

$$E_2 = -122 \text{ V}$$

$$E_4 = 132 \text{ V}$$

$$E_6 = 220 \text{ V}$$



Celem wyliczenia mocy ($P=UI$), z prawa koła napięć wyliczamy poszczególne wartości na " U " przyjmując kolejno każdy przewodnik za zerony:

(Dla obnawych celowo zignorować prądów w przewodach $I_2 = -30 \text{ A}$

1. $I_4 = -5$

Przewodnik ABC przyjmuje jako zerony (reszta niekwalifikacji bez zmiany) wyliczam: U_1, U_2, U_3 .

$$(1) \dots \dots -U_1 - I_{10} R_9 = 0$$

$$U_1 = I_{10} R_9$$

$$\underline{U_1 = 60 \text{ V}}$$

$$(2) \dots \dots E_1 - I_1 R_1 + U_2 - E_3 + I_3 R_3 = 0$$

$$U_2 = 12 + 10 - 70 = -100$$

$$\underline{U_2 = -148V}$$

$$(3) \dots \dots \dots -U_3 - I_5 R_5 - E_5 - R_4 I_6 - E_4 = 0$$
$$-U_3 - 12 - 18 - 10 - 132 = 0$$

$$\underline{U_3 = -172V}$$

(4) Przenoś AHC obieram jako zerowy znachodze U'_1, U'_2, U'_3

$$(1') \dots \dots \dots U'_1 = -U_1$$

$$\underline{U'_1 = -60V}$$

$$(2') \dots \dots \dots U'_2 - E_3 + I_3 R_3 = 0$$

$$U'_2 - 12 + 100 = 0$$

$$\underline{U'_2 = -88V}$$

$$(3') \dots \dots \dots U'_3 + I_4 R_2 - E_2 = 0$$

$$U'_3 - 10 + 122 = 0$$

$$\underline{U'_3 = -112V}$$

Przenoś "AGF" zerowy obliczam: U''_1, U''_2, U''_3

$$(1'') \dots \dots \dots U''_1 = -U_2$$

$$\underline{U''_1 = +148V}$$

$$(2'') \dots \dots \dots U''_2 = -U_2'$$

$$\underline{U''_2 = +88V}$$

$$(3'') \dots \dots \dots U''_3 + I_4 R_2 - E_2 - I_3 R_3 + E_3 = 0$$

$$U''_3 - 10 + 122 - 100 + 12 = 0$$

$$U''_3 = 110 - 134$$

$$\underline{U''_3 = -24V}$$

... Obierając prąd AF jako zerowy obł. U_1''', U_2''', U_3'''

$$(1''') \dots U_1''' = -U_3''' = +24 \text{ V}$$

$$(2''') \dots U_2''' = -U_3''' = +112 \text{ V}$$

$$(3''') \dots U_3''' = -U_3''' = +172 \text{ V}$$

$$P_1 = U_1 I_2 = 60 \cdot (-30) = -1800 \text{ W}$$

$$P_2 = U_2 I_3 = -148 \cdot 25 = -3700 \text{ W}$$

$$P_3 = U_3 I_4 = (-172)(-5) = +860 \text{ W}$$

$$P_1' = U_1' I_{21} = (-60) \cdot 10 = -600 \text{ W}$$

$$P_2' = U_2' I_3 = (-88) \cdot 25 = -2200 \text{ W}$$

$$P_3' = U_3' I_4 = (-112) \cdot (-5) = +560 \text{ W}$$

$$P_1'' = U_1'' I_1 = 148 \cdot 10 = 1480 \text{ W}$$

$$P_2'' = U_2'' I_2 = 88 \cdot (-30) = -2640 \text{ W}$$

$$P_3'' = U_3'' I_4 = (-24) \cdot (-5) = +120 \text{ W}$$

$$P_1''' = U_1''' I_1 = 24 \cdot 10 = 240 \text{ W}$$

$$P_2''' = U_2''' I_2 = 112 \cdot (-30) = -3360 \text{ W}$$

$$P_3''' = U_3''' I_3 = 172 \cdot 25 = +4300 \text{ W}$$

$$P_c = P_1 + P_2 + P_3 + P_1' + P_2' + P_3' + P_1'' + P_2'' + P_3'' + P_1''' + P_2''' + P_3'''$$

Bilans: do II przyna

od II odpryna

+

-

560
1480
120
240
4300
860

+7560 W

- 14100
+ 7560

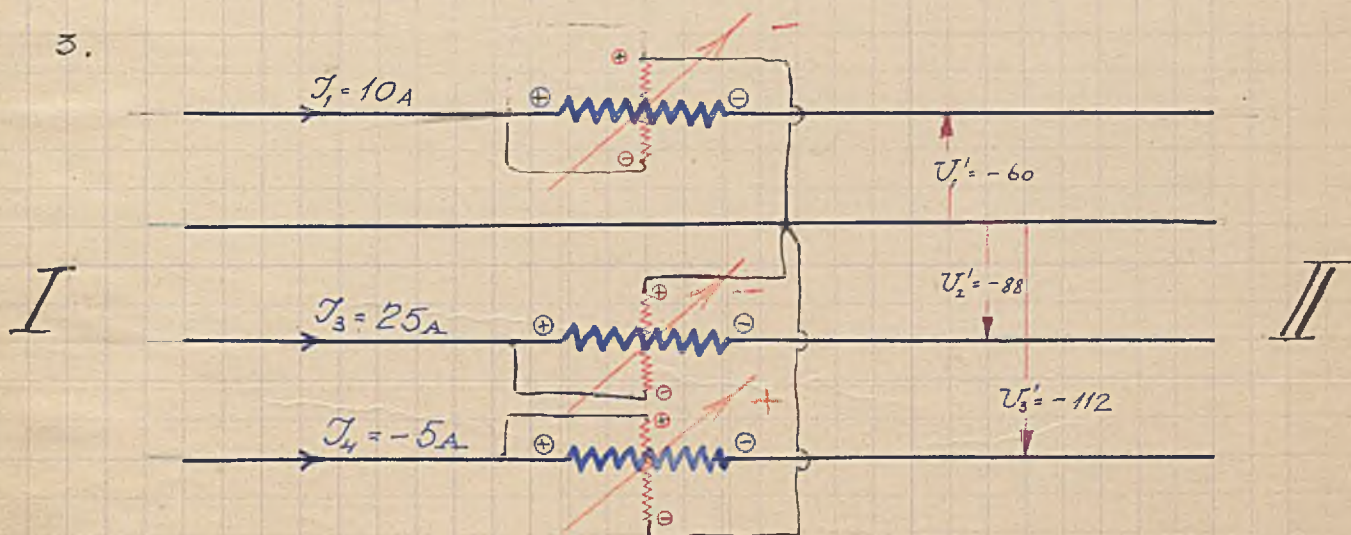
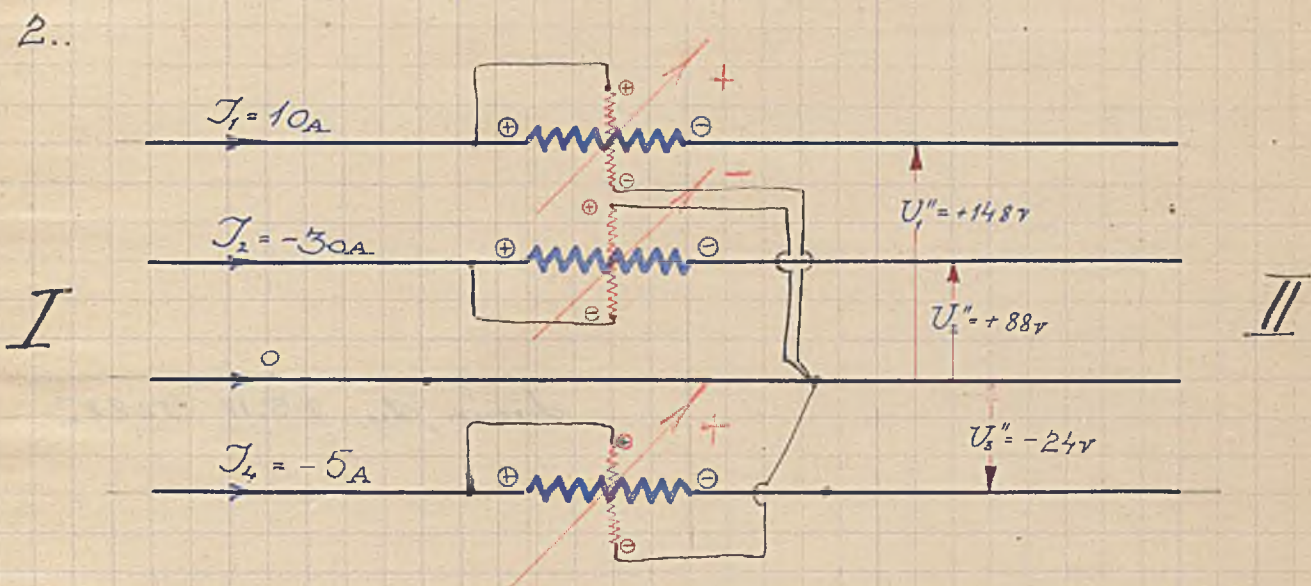
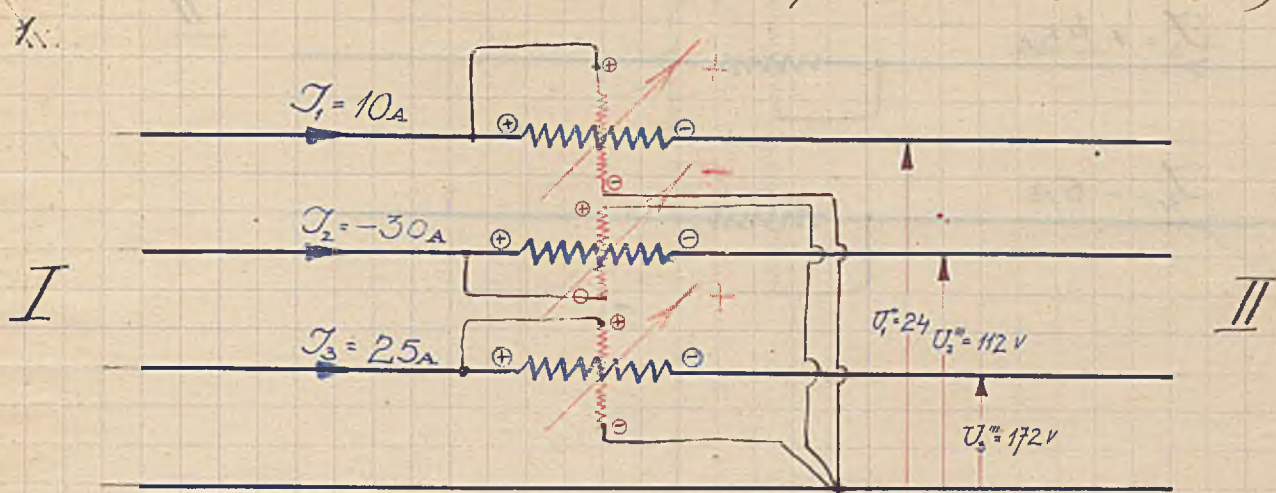
1800
3700
1600
2200
2640
3360

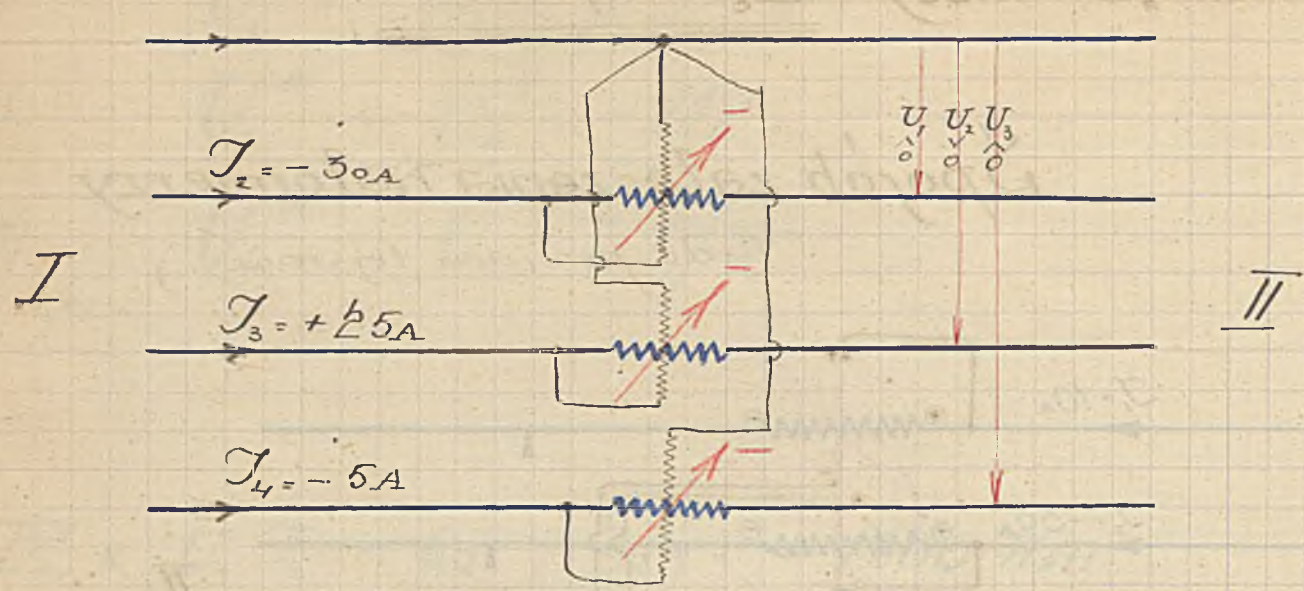
- 14100 W

$$P_c = -6540 \text{ W}$$

U. Zespół „II” jest wydajnikiem i dostarcza zespołowi „I” mocy $P_c = 6,54 \text{ kW}$

Sposób zataczenia watomierzy (do pomiaru tej mocy)

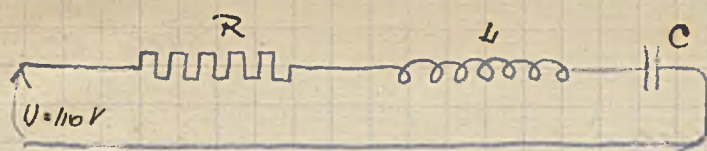




Lhón, du. 25.11 928r.

Ćwiczenie klasowe

Zbadać warunki rezonansu dla obrotu / wykresic' krzywe / prądu /



- 1. $R = 10 \Omega; C = 10 \mu F; f = 50$ } I zmienne
- $R = 1 \Omega; C = 10 \mu F; f = 50$ }
- 2. $R = 10 \Omega; L = 0.1 H; f = 50$ } I zmienne
- $R = 1 \Omega; L = 0.1 H; f = 50$ }
- 3. $R = 0 \Omega; L = 0.1 H; C = 10 \mu F$ } I zmienne
- $R = 1 \Omega; L = 0.1 H; C = 10 \mu F$ }
- $R = 10 \Omega; L = 0.1 H; C = 10 \mu F$ }

wykreslic':
 $I = f(L)$
 $I = f(C)$
 $I = f(f)$

Wykreslic' krzywe zależności prądu od L, C i f oraz f zmiennego

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}}$$

-ka prostami tego wzoru przedstawiając
 różne wartości z $R, L, i C$ zmiennej

opr. wartości I .

1. L zmienne

| Sp. | R | C | L | I | φ | Uwagi | Sp. | R | C | L | I | φ | Uwagi |
|-----|-------------|------------|-------|--------|-----------|-------|-----|---|---|-------|-------|-----------|-------|
| 1 | 10 Ω | 10 μF | 0 | 0.313 | -89°48' | | 1 | | | 0 | 0.313 | -88°12' | |
| 2 | | | 0.2 | 0.391 | -89°45' | | 2 | | | 0.2 | 0.391 | -87°46' | |
| 3 | | | 0.4 | 0.518 | -89°42' | | 3 | | | 0.4 | 0.518 | -87°31' | |
| 4 | | | 0.6 | 0.767 | -89°35' | | 4 | | | 0.6 | 0.767 | -85°39' | |
| 5 | | | 0.8 | 1.481 | -89°16' | | 5 | | | 0.8 | 1.47 | -87°35' | |
| 6 | | | 0.9 | 2.78 | -88°25' | | 6 | | | 0.9 | 2.67 | -74°36' | |
| 7 | | | 0.95 | 4.88 | -87°10' | | 7 | | | 0.95 | 4.39 | -64° | |
| 8 | | | 1.0 | 22.18 | -77°30' | | 8 | | | 1.0 | 9.1 | -24°20' | |
| 9 | | | 1.012 | 100.00 | 0 | | 9 | | | 1.012 | 10 | " | |
| 10 | | | 1.05 | 8.7 | 85°5' | | 10 | | | 1.05 | 6.56 | 49° | |
| 11 | | | 1.1 | 3.64 | 87°55' | | 11 | | | 1.1 | 5.42 | 70° | |
| 12 | | | 1.2 | 1.645 | 89°5' | | 12 | | | 1.2 | 1.67 | 80°20' | |
| 13 | | | 1.4 | 0.767 | 89°35' | | 13 | | | 1.4 | 0.767 | 85°39' | |
| 14 | | | 1.6 | 0.543 | 89°42' | | 14 | | | 1.6 | 0.543 | 86°53' | |
| 15 | | | 1.8 | 0.405 | 89°45' | | 15 | | | 1.8 | 0.405 | 87°42' | |
| 16 | | | 2.0 | 0.322 | 89°47' | | 16 | | | 2.0 | 0.322 | 88°9' | |

PKS

F
100
7

90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200
210
220
230
240
250
260
270
280
290
300

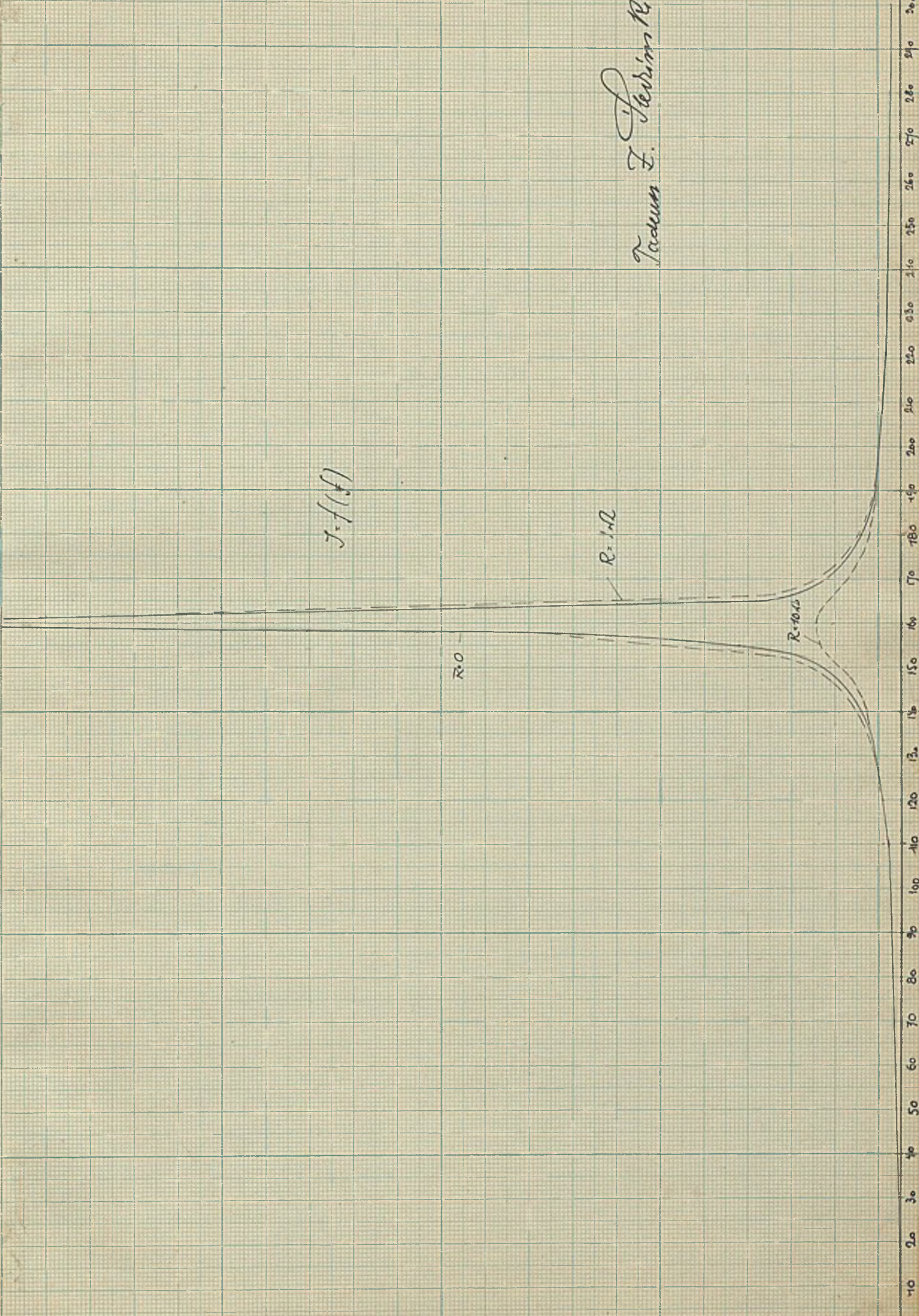
$J \cdot f(f)$

R=0

R=1.2

R=10.0

Tadum F. Steirer R.



H 100 (J)

90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

H, L 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0

$y = f(L)$

$R = 1 \Omega$

$R = 10 \Omega$

H 100 (C)

90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

H, L 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0

$y = f(C)$

$R = 1 \Omega$

$R = 10 \Omega$

Tarun Z.
Sedinski.

H, L 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0

$\mu P(C)$

3. f zimmere

| Sp. | R | C | L | f | w | Z | y | φ | Sp. | R | C | L | f | w | Z | y | φ |
|-----|---|---|---|-----|-------|-------|-------|----------|-----|---|---|---|-----|-------|-------|-------|--------|
| 1 | | | | 10 | 62.8 | 15.84 | 0.065 | -89.40' | 1 | | | | 10 | 62.8 | 15.84 | 0.065 | 89.40' |
| 2 | | | | 20 | 125.6 | 786.5 | 0.124 | | 2 | | | | 20 | 125.6 | 786.5 | 0.124 | |
| 3 | | | | 30 | 188.4 | 573 | 0.195 | -88.52' | 3 | | | | 30 | 188.4 | 573 | 0.195 | 88.52' |
| 4 | | | | 40 | 257.2 | 373 | 0.268 | -88.0' | 4 | | | | 40 | 257.2 | 373 | 0.268 | |
| 5 | | | | 50 | 314.0 | 287 | 0.348 | -88.010' | 5 | | | | 50 | 314.0 | 287 | 0.348 | |
| 6 | | | | 60 | 377 | 228 | 0.348 | | 6 | | | | 60 | 377 | 228 | 0.348 | |
| 7 | | | | 70 | 440 | 183 | 0.546 | -87.30' | 7 | | | | 70 | 440 | 183 | 0.546 | |
| 8 | | | | 80 | 503 | 149 | 0.671 | | 8 | | | | 80 | 503 | 149 | 0.671 | |
| 9 | | | | 90 | 566 | 121 | 0.827 | -85.010' | 9 | | | | 90 | 566 | 121 | 0.827 | |
| 10 | | | | 100 | 628 | 96 | 1.04 | | 10 | | | | 100 | 628 | 96 | 1.04 | |
| 11 | | | | 110 | 691 | 76 | 1.315 | | 11 | | | | 110 | 691 | 76 | 1.315 | |
| 12 | | | | 120 | 754 | 57.5 | 1.74 | | 12 | | | | 120 | 754 | 57.5 | 1.74 | |
| 13 | | | | 130 | 816 | 42.2 | 2.38 | -77.10' | 13 | | | | 130 | 816 | 42.2 | 2.38 | |
| 14 | | | | 140 | 880 | 27.8 | 3.6 | -71.0' | 14 | | | | 140 | 880 | 27.8 | 3.6 | |
| 15 | | | | 150 | 942 | 15.5 | 6.45 | -57.20' | 15 | | | | 150 | 942 | 15.5 | 6.45 | |
| 16 | | | | 155 | 974 | 11.3 | 8.85 | -26.30' | 16 | | | | 155 | 974 | 11.3 | 8.85 | |
| 17 | | | | 157 | 986 | 10.4 | 9.64 | -20.20' | 17 | | | | 157 | 986 | 10.4 | 9.64 | |
| 18 | | | | 159 | 1000 | 10 | 10 | 0 | 18 | | | | 159 | 1000 | 10 | 10 | |
| 19 | | | | 165 | 1036 | 12.2 | 8.2 | +3.5' | 19 | | | | 165 | 1036 | 12.2 | 8.2 | |
| 20 | | | | 170 | 1068 | 16.4 | 6.1 | 52.30' | 20 | | | | 170 | 1068 | 16.4 | 6.1 | |
| 21 | | | | 180 | 1138 | 26.5 | 3.78 | 67.45' | 21 | | | | 180 | 1138 | 26.5 | 3.78 | |
| 22 | | | | 190 | 1192 | 36.8 | 2.72 | 77.10' | 22 | | | | 190 | 1192 | 36.8 | 2.72 | |
| 23 | | | | 200 | 1255 | 46.9 | 2.13 | 75.30' | 23 | | | | 200 | 1255 | 46.9 | 2.13 | |
| 24 | | | | 220 | 1380 | 66.4 | 1.593 | 81.20' | 24 | | | | 220 | 1380 | 66.4 | 1.593 | |
| 25 | | | | 250 | 1570 | 93.9 | 1.045 | 83.55' | 25 | | | | 250 | 1570 | 93.9 | 1.045 | |
| 26 | | | | 270 | 1695 | 112 | 0.874 | 87.50' | 26 | | | | 270 | 1695 | 112 | 0.874 | |
| 27 | | | | 300 | 1882 | 135.2 | 0.74 | 87.36' | 27 | | | | 300 | 1882 | 135.2 | 0.74 | |

10 20 30
10 20 30
10 20 30

10 20 30
10 20 30
10 20 30

0.1
0.1
0.1

0.1
0.1
0.1

