

# TRANSFORMATOR.

NA PODSTAWIE WYKŁADÓW PROF.

R. DZIEŚLEWSKIEGO .

OPRACOWAŁ

TADEUSZ JANCZYSZYN .

# Transformator.

## Treść:

- I. Znaczenie transformatora.
- II. Opis transformatora.
- III. Ogólne uwagi przy kreśleniu diagramu
- IV. Transformator otwarty
- V. Transformator zamknięty
- VI. Diagram transformatora  
z uwzględnieniem rozproszenia



VII. Wytresy „kredytowane i skombinowane”

VIII. Wytresy Skappa.



# T. Znaczenie transformatora. w elektrotechnice.

Elektrownie większe budujemy w miejscach, gdzie produkcja energii elektr. jest najtaniej; a więc nad wodospadami, obok linii kolejowych i.t.p. w sąsiedztwie węglow. etc.

Przy przesyłaniu energii elektr. do oddległych miejsc konsumpcji, tracimy pewną jej część w przewodach doprowadzających.

Zadaniem naszym jest wskazać warunki, przy jakich, przesyłanie energii elekt. będzie najekonomiczniejsze, t.j. strata jak-najmniejsza i koszt instalacji mały.

Strata ta zależy od kwadratu natężenia prądu i oporu przewodników ( $I^2 R$ ).

Możliwymy stratę tę obniżyć, zmniejszając przez większe przekroje i kosztownych kabli.

To rozwiązanie byłoby nieekonomiczne.

ten. przez zmniejszenie oporu przewodników.



4. Porostaje nam jedna droga:  
zmniejszyć natężenie prądów, kosztem  
zwiększenia napięcia, do granic wska-  
zanych praktyką.

W miejscu konsumpcji, energii elektr., nie  
możemy jednak wytworzyć prądów o  
wysokim napięciu, ze względu na  
bezpieczeństwo konsumentów.

Musiemy przeto prąd o wysokim  
napięciu <sup>przetworzyć</sup> przerobić na prąd o napię-  
ciu mniejszym, bezpiecznym dla  
konsumentów.

Prąd stały, moglibyśmy <sup>przetworzyć</sup> przerobić  
jedynie za pomocą motorów i gene-  
ratorów.

Prąd zmienny <sup>przetworzyć</sup> przerobimy za pomocą  
nieruchomych transformatorów.

Tutaj tkwi tarareta i wysiłek prąd



- dół zmiennych nadstatami.

Pracuję zmiennie, ze względu na dotychczas  
przeróbki (transdor.) robię sobie prawo  
obywatelstwa w elektrotechnice.



## II. Opis transformatora.

Przy budowie transformatorów, dążyliśmy do wytworzenia jak najsilniejszych strumieni magnetycznych. Wyrzknijemy to przez zastosowanie rombkowatych szkieletów żelaznych. Szkielet żelazny, musi być rombkowaty. Najmniejszą przeszkodą powietrzną powodującą znaczne rozproszenie strumienia mag. i obniżenie efektu transformatora. Szkielet żelazny, owijamy dwoma oddzielnymi zwojami drutów I i II.

Zwoje pierwsze I (pierwotne lub główne) posiadamy prądem, ze zwojów II.

(wtórnych) otrzymujemy po rombkowatociu prąd. Mamy dwa typy trans-



7.  
formatorów: roboeniowe i płaszczone.

W transformatorze roboeniowym, rwoje T i II. są ułożone na obwodzie szkieletu relaznego.

W transformatorze płaszczonego, rwoje kryją się wewnątrz szkieletu.

Szkielet jest sporządzony, celem uniknięcia prądów wirowych, z blach relaznych o grubości 0.3-0.5 mm.

Blachy są wzajemnie izolowane cienką warstwą papieru, sztalakii lub oksalenu.

1) Transformatory, o wysokich napięciach, są pograżone w relaznych zbiornikach z oliwą, celem lepszego odprowadzenia ciepła i izolacji wrozym przed korozją i gnileniem.







### III. Ogólne uwagi przy kreśleniu diagramu

1. Wahające <sup>2</sup> waterium prądu  $I$  utwarza wahające pole magnetyczne  $\Phi$ , które w każdym momencie jest proporcjonalne do prądu. Możemy to krócej powiedzieć: wektor prądu  $I$  i pola magnetycznego  $\Phi$  pokrywają się w jednej płaszczyźnie (wektory  $I$  i  $\Phi$  pokrywają się i są proporcjonalne) (o ile nie ma straty energii elektrycznej na histerezę i prądy wirowe).

2. Wektor siły elektromotorycznej, powstałej wskutek sinusoidalnie pulsującego pola magnetycznego jest o  $90^\circ$  wstecz ( $\frac{1}{4}$  periody) obrócony, względem <sup>wektora</sup> pola i jest proporcjonalny do dergi pola.

Uwaga: Obrót w kierunku wskazówek zegarka odróżni warywali obrotu "wstecz" w kierunku przeciwnym obrotu "wprzód"

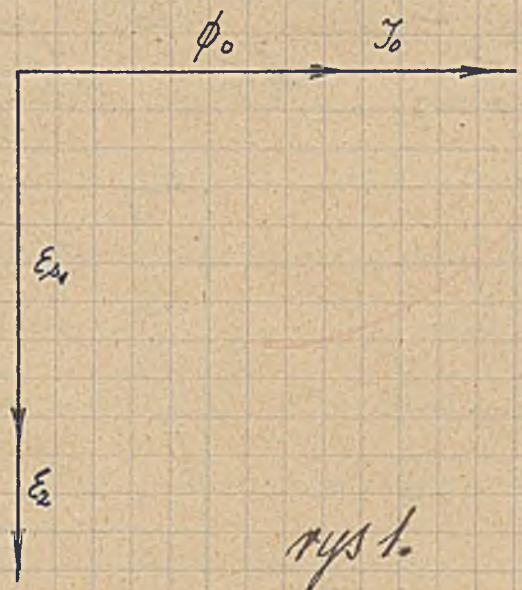


10. IV. Transformator otwarty.

Transformator jest otwarty, skoro końcówki  
zwojów pierwotnych są połączone z uziemem  
elektr., końcówki zaś zwojów wtórnych są  
otwarte. Zakładamy, że operujemy prądem  
miejscowym sinusoidalnym, więc  
przez zwoje I płynie prąd  $I_1$  sinusoidalny  
~~si zmieniający~~, w zwojach II prądu nie  
ma. Prąd  $I_1$  w obwodzie magnetycznym  
wytworzy wiązkę  $\Phi$ , która również bę-  
dzie sinusoidalnie ~~si zmieniać~~. Nektory  
 $I_1$  i  $\Phi$  są w jednej fazie t. zn. wstępują  
ją się. (rys 1.)

Sinusoidalnie pulsująca wiązka  $\Phi$  wytworzy  
w zwojach I. S.E.  $M_1$  samoindukcji  
 $\mathcal{E}_1$ , w zwojach zaś II. S.E.  $M_2$  indukcji  
 $\mathcal{E}_2$ . Nektory  $\mathcal{E}_1$  i  $\mathcal{E}_2$  będą o  $90^\circ$  wstępnie  
obrócone względem twórczej wiązki  $\Phi$ .  
(Rys 1.)





rys. 1.

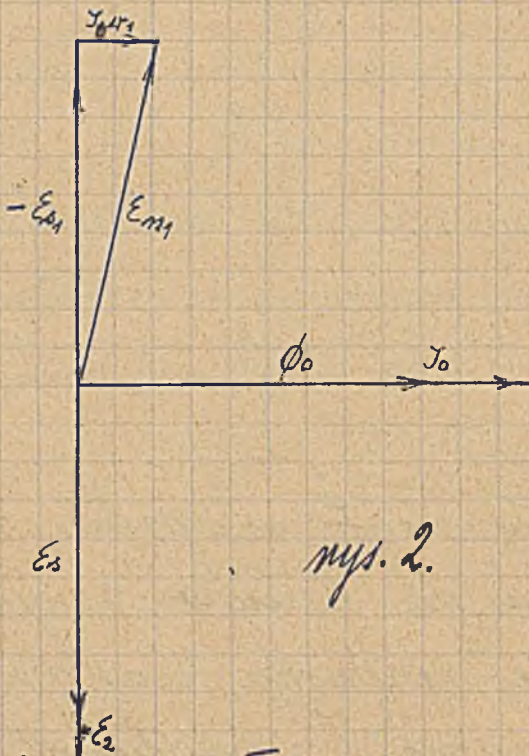
Pytamy się teraz jakie napięcie musimy zastosować do końców zwójki I, aby wyżej opisane zjawiska nastąpiły, t. zn. by przez zwójkę I. popłynął prąd  $\mathcal{I}_0$  wytworzyła się wiązka  $\Phi_0$   $\mathcal{E}_1$   $\mathcal{E}_2$ .

Otoż napięcie przyłożone będzie musiało pokonać 1) S. E. M<sub>z</sub> samoindukcji  $\mathcal{E}_1$  w zwójkach I i 2)  $\mathcal{E}$  pokonać stratę ohmową.

Wektor  $\mathcal{E}_{n1}$ , który mamy wykreślić, musi być wypadkowy z dwóch wektorów



10. z jednego -  $\mathcal{E}_s$ , który pokrywa  $\mathcal{E}_s$  i drugiego  $\mathcal{E}_0$  w<sub>1</sub>, który pokryje stratę obrotową.  
rys. 2.



rys. 2.

W obwodzie wtórnym II. prądu nie ma,  
Obwód wtórny dotychczas w uickem  
nie zmienia zjawisk występujących.

Wobec tego nie są tam dotychczas nie zmienia.



Zamknijmy teraz obwód V. jakimś odbieralnikiem, lampkami lub motorem.

W rwojach V popłynie prąd  $I_2$ , który wytworzy nową wiązkę  $\Phi_2$ . Wiązka  $\Phi_2$  w rwojach własnych V. wytworzy S.E.  $M_2$  samoindukcji  $\mathcal{E}_{s2}$ , w rwojach zaś I S.E.  $M_2$  indukcji wzajemnej  $\mathcal{E}_1$ .

Nowo powstała S.E.  $M_2$  w rwojach I:  $\mathcal{E}_1$  zmieni prąd  $I_0$  na jakiś  $I_1$  wiązkę  $\Phi_0$  na  $\Phi_2$ , ale nie koniec na tem; Prąd  $I_1$  zmieni, tak we własnym I jakoter i we wtórnym obwodzie dotychczas występujące wielkości. i uodwrót.

Tutaj dalsza dyskusja, bez pewnych ratorów, musiałaby się skończyć.

Zatwierdzamy przede, że napięcie na zaciskach rwoji pierwotnych jest stałe,



14. co reszta odpowiada najprościej praktyce-  
Zauważyliśmy, że po zamknięciu obwodu  
II. powstata wiązka  $\Phi_2$  obok wiązki  $\Phi_1$ .

Te dwie wiązki w rzeczywistości samowistnie  
nie występują w relacyjnym obwodzie mag-  
netycznym, tylko dadzą jakąś wiązkę  
wypadkową  $\Phi_{12}$ .

Ta wiązka wypadkowa  $\Phi_{12}$  będzie przy-  
czyną wszystkich S.E.M. biernych, któ-  
re w obwodzie I. sym i II. wystąpią.  
(S.E.M. samowindukcji i indukcji.)

Pytamy się teraz jakie S.E.M. state  
napięcia  $E_{M1}$  ma pokryć i pokonać w  
rewojach I.

Otoż jak już widzieliśmy  $E_{M1}$  ma pokryć  
stratę ohmową  $I_1 w_1$  i wytłoczyć skła-  
dową, która pokona sumę S.E.M. tych  
powstających, skutkiem pulsacji wiązki  
 $\Phi_{12}$ .



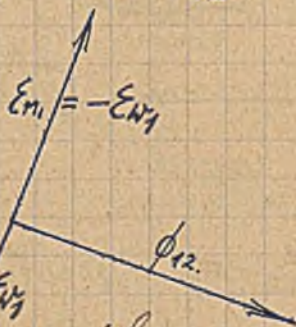
Strata ohmowa  $I_1 R_1$  jest tak mała, że w stosunku do innych sił E.S.M., że możemy ją wprawie pominać.

Stąd napięcie  $\mathcal{E}_{N_1}$  ma teraz pokonać tylko wypadkową siłę elektromotoryczną.

Wypadkowa siła elektromotoryczna musi być o  $90^\circ$  wstecz obrócona, względem twórczej wiązki  $\Phi_{12}$ .

Wektor więc  $\mathcal{E}_{N_1}$  musi być o  $90^\circ$  wprzód obrócony względem  $\Phi_{12}$ . t. zw.  $\mathcal{E}_{N_1} = -\dot{\Phi}_{12}$

rys. 3.



Wiązki  $\Phi_1$  i  $\Phi_2$ , i ich wypadkowa pulsują sinusoidalnie t. zw. możemy napisać:

$$(\Phi_{12})_t = (\Phi_{12})_{\max} \cdot \sin \omega t.$$

ale jak ~~wzrostający~~: wzrostający:



16.  $E_{n1} = E_{w1}$   $\text{tem samym w karolym momencie}$   
 $l_{n1} = -l_{w1}$  ( $l_{n1}$  i  $l_{w1}$  wartości chwilowe  
 $E_{n1}$  i  $E_{w1}$  " skuteczne)

t.z.  $l_{n1} = -l_{w1} = M_1 \frac{d\Phi_{12}}{dt} = M_1 \frac{(\Phi_{12})_{\max}}{\omega} \cdot \omega \cdot \cos \omega t$   $\omega = 2\pi f.$

$$(l_{n1})_{\max} = M_1 \cdot (\Phi_{12})_{\max} \cdot \omega.$$

$$E_{n1} = \frac{(l_{n1})_{\max}}{\sqrt{2}} = M_1 \cdot \omega \cdot \frac{(\Phi_{12})_{\max}}{\sqrt{2}}.$$

(Przy rysowaniu wykresów pola rysujemy wektor  $\frac{\Phi_{\max}}{\sqrt{2}}$  i analogicznie do  $E_{n1}$ , możemy też <sup>wektr</sup> max skutecznej wartości pola. *na co? bierze się tylko maksym.*

Wyrażenie  $\frac{\Phi_{12}}{\sqrt{2}} =$  skuteczna wartość pola, nie ma fizycznego sensu, jedynie dla unifikacji wykresów je wprowadzamy.)



Reasumując nasze rozważania widzimy  
że wektor  $\mathcal{E}_n$ , pod względem potoczenia  
musi być o  $90^\circ$  wpród obrócony wzglę-  
dem wektora  $\phi_{12}$ , pod względem wiel-  
kości algebraicznej zaś

$\mathcal{E}_n = \text{propor. do } \phi_{12} \dots \dots \dots a)$

Ponieważ zatoryliśmy, że  $\mathcal{E}_n = \text{const.} \dots b)$   
 przeto bez względu na obciążenie  
 transformatora:

$\phi_{12} = \text{constans.}$

(na podstawie równ. a' i b')

$\phi_{12}$  jest zawsze stałe, bez względu na  
 obciążenie transformatora, ale tylko  
 w przybliżeniu, bo  $\phi_{12}$  jest prawie stałe,  
 o tyle, o ile  $w_1 I_1 = \sim 0$ .

Wektor wiązki  $\phi_{12}$  jest sumą wektorów  
 na dwóch wektorów: wiązki  $\phi_1$  i  $\phi_2$ .

*bez względu na obciążenie*



18.  
t. m.

$$\vec{\Phi}_{12} = \vec{\Phi}_1 \hat{+} \vec{\Phi}_2$$

ale długość

$$\Phi_1 = \frac{n_1 I_1}{R}$$
$$\Phi_2 = \frac{n_2 I_2}{R}$$

Wektor  $\vec{\Phi}_1$  podobnie jak  $\vec{\Phi}_2$  rośnie wraz z wzrostem  $I_1$  względnie  $I_2$  ściśnięty, że skoro obciążamy transformator, rośnie  $I_2$ ; rośnie też i  $I_1$ .

Suma wektorowa:

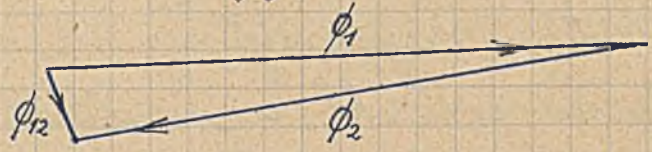
$$\vec{\Phi}_{12} = \vec{\Phi}_1 \hat{+} \vec{\Phi}_2 = \text{constans.}$$

jest zawsze stała, mimo wzrostu obu wektorów składowych.

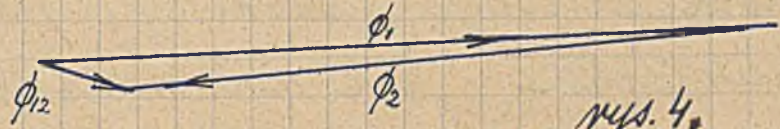
Najwidoczniej <sup>kurunki</sup> oba wektory składowe  $\vec{\Phi}_1$  i  $\vec{\Phi}_2$  mają <sup>stosunki</sup> wprost przeciwnie, czyli anwersowe pierwszej  $n_1 I_1$  i drugiej  $n_2 I_2$  równawiają



się, dając stałą wypadkową  $\Phi_{12}$ .  
Może to tak wyglądać:



albo:

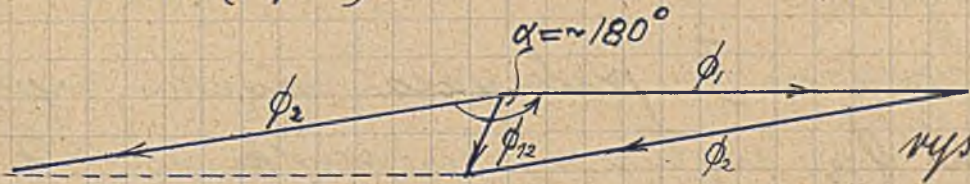


rys. 4.

*nie można*

W każdym razie jednak wektory  $\Phi_1$  i  $\Phi_2$  muszą być prawie o  $180^\circ$  <sup>obrócone</sup> ~~przeciwnie~~ <sup>\*</sup>

Wskreślmy teraz wektory  $\Phi_1$  i  $\Phi_2$  i ich wypadkową  $\Phi_{12}$ . (rys 5)



rys 5.

\* Skoro wektory  $\Phi_1$   $\Phi_2$  tworzą kąt  $180^\circ$ , wtedy suma wektorowa przekształca się na algebraiczną

$$\Phi_{12} = \Phi_1 + (-\Phi_2) = \Phi_1 - \Phi_2 = \frac{n_1 \gamma_1}{R} - \frac{n_2 \gamma_2}{R} = \text{const.}$$

(Wektor  $\Phi_2$  ze znakiem -, ponieważ ma kierunek przeciwny.)



Wiązka wypadkowa  $\Phi_{12}$  pod każdym względem jest równoważna, składowym, dlatego, przyjmijmy na razie, że mamy tylko wiązkę wypadkową  $\Phi_{12}$ .

Wskutek pulsacji wiązki  $\Phi_{12}$  powstanie w zwojach I, jak już powiedzieliśmy, S.E.M. wypadkowa, którą przy tej samej napięciu  $E_n$ , będzie musiała pokonać.

Napięcie  $E_n$  w zwojach I, wytworzy

2 składowe: 1°) składowa <sup>(= -E<sub>n</sub>)</sup> pokona S.E.M. powstałą wskutek  $\Phi_{12}$ .

2°) składowa pokryje opór obrotowy.

(rys. 6.)

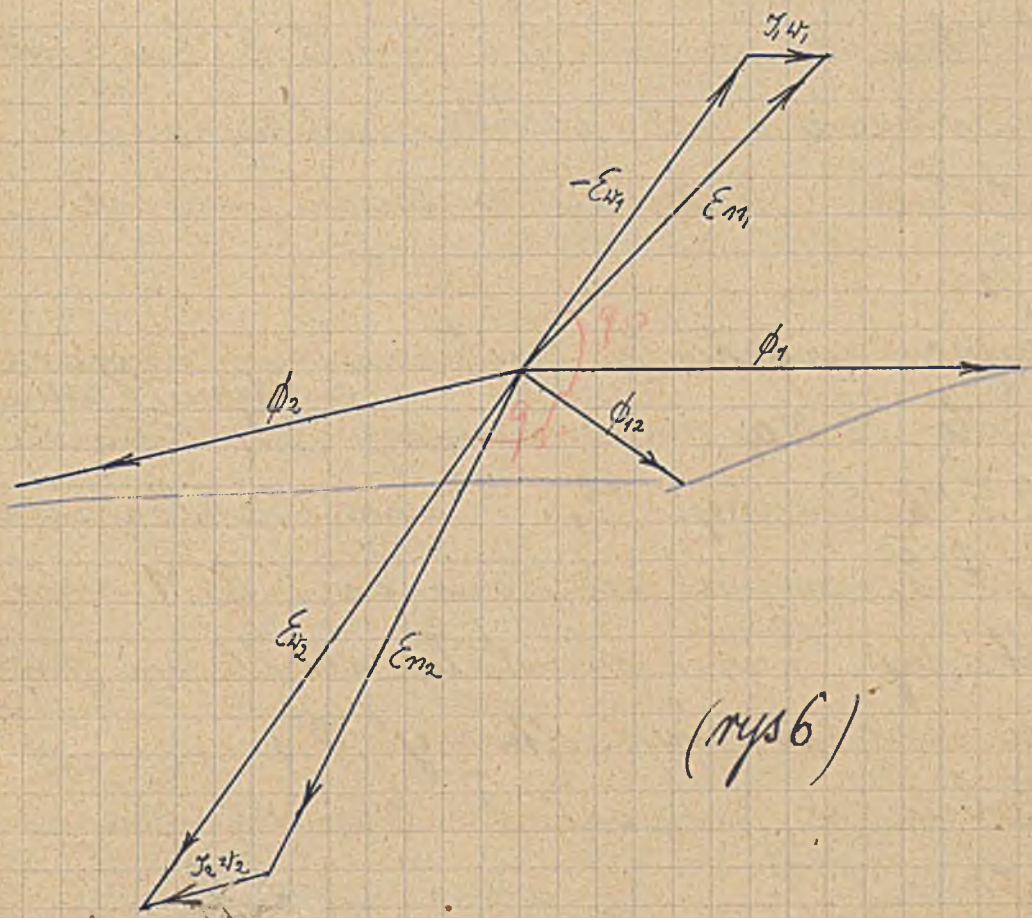
W zwojach II, pulsująca wiązka wypadkowa  $\Phi_{12}$  wytworzy wypadkową siłę elektromotoryczną  $E_{w2}$ .

( $E_{w2} \perp$  do  $\Phi_{12}$  i proporcjonalnie do  $\Phi_{12}$ ).

Wypadkowa  $E_{w2}$  w zwojach I wytworzy 2 składowe z których pierwsza pokry-



je strata ohmowa  $I_2 R_2$ , druga porostata  $E_{m2}$  wewnetrnie sie jako napięcie na zaciskach II. Wykres będzie teraz <sup>taki</sup> wyglądać:



(rys 6)



22.  
W wykreśle powyższym, uwzględniliśmy tylko  
sieć elektromotoryczną wypadkową, pow-  
stałą skutkiem  $\Phi_{12}$  bez podania skła-  
dowych.

Otoż jak  $\Phi_{12}$  jest wypadkową wiązek  
~~tak  $\mathcal{E}_w$~~ , z wiązek  $\Phi_1$  i  $\Phi_2$ , tak  $\mathcal{E}_w$  jest  
wypadkową z sił elektromotorycznych  
powstałych skutkiem pulsacji wiązek  
 $\Phi_1$  i  $\Phi_2$ .

Pulsująca wiązka  $\Phi_1$  wytworzy w zwojach  
I. siłę  $\mathcal{E}_1$  M.A. samoindukcji  $\mathcal{E}_{s1}$ , <sup>z tabeli</sup> wiązka  
 $\Phi_2$  S.E. M.A. indukcji  $\mathcal{E}_1$ . Suma wektorjalna  
 $\mathcal{E}_{s1} \hat{+} \mathcal{E}_1$  musi się równać S.E.M. wy-  
padkowej  $\mathcal{E}_w$ , powstałej skutkiem pul-  
sacji wiązki wypadkowej  $\Phi_{12}$ .

Podobnie w zwojach II:  $\mathcal{E}_{s2}$  powstanie  
skutkiem  $\Phi_2$ ,  $\mathcal{E}_2$  skutkiem  $\Phi_1$

$$\text{suma } \mathcal{E}_{s2} \hat{+} \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_w$$

Przedstawmy to graficznie przez um-



skłanianie poprzedniego diagramu. Hysteres\_1. (tablica)

## VI. Diagram transformatora z uwzględnieniem rozprószenia linii magnetycznych

Podnieć transformatora będzie. wynikać tak, aby nie było rozprószenia linii magnetycznych. Diagram poprzedni  $\Phi$ , trzeba poprawić cenną S.E.M., które powstają z pól rozprószonych.

Pole magnetyczne takiego transformatora przedstawia się tak, jak wskazuje rysunek.

Wiązka utworzona przez  $I_1$  w rwojach  $\underline{I}$ . nie dotrze w całości do rwoji  $\underline{II}$ , część tej wiązki  $\Phi_{12}$  rozprószony się.

Podobnie wiązka utworzona przez  $I_2$  w rwojach  $\underline{II}$ . nie dotrze w całości do rwoji  $\underline{I}$ , część tej wiązki  $\Phi_{21}$  rozprószony się.



24 Wzorki  $\Phi_{r_1}$  i  $\Phi_{r_2}$  będą tak pulsować, jak materiały  $T_1$  i  $T_2$ , które je wywołują.

Przypatrzymy się, jakie wzorki uosobie przekładki swoje I i II transformatora w porównaniu z transformatorem bez rozpraszania.

Podobnie jak to było w transformatorze bez rozpraszania; wzorka  $\Phi_{12}$  przekładki w całości składeł relacyjny transformatora.

Swoje I. współlinie z wzorką  $\Phi_{12}$  przekładki dodatkowo wzorka  $\Phi_{r_1}$ , która będzie pulsować współterestnie z wzorką  $\Phi_1$  względnie  $T_1$ . Wektor ~~przebieg~~  $\Phi_{r_1}$  będzie równoległy do wektora  $\Phi_1$  i  $T_1$ , a długość proporcjonalna do  $T_1$ . (Wykres II.).

Podobnie swoje II. współlinie z wzorką  $\Phi_{12}$  przekładki dodatkowo wzorka  $\Phi_{r_2}$ , która będzie pulsować współterestnie z wzorką  $\Phi_2$  względnie  $T_2$ .



Wektor wiązki  $\Phi_{r_2}$  będzie równoległy do wektorów  $\Phi_2$  i  $T_2$  a długość proporcjonalna do  $\epsilon_2$ .

Nytkres poprzedni ~~na str. I~~ <sup>Trzy</sup> musimy poprawić wektorami  $\Phi_{r_1}$  i  $\Phi_{r_2}$ .

Po uwzględnieniu tych nowych wektorów  $\Phi_{r_1}$  i  $\Phi_{r_2}$  otrzymamy teraz nowe, wypadkowe wiązki  $\Phi_{w_1}$  i  $\Phi_{w_2}$ . (Nytkres II.)

Zwoje I. pierwotna w całości tylko wiązka  $\Phi_{w_1}$  zwoje II. tylko wiązka  $\Phi_{w_2}$ .

Przerobimy teraz ~~diagram na str. I~~ <sup>Nytkres I</sup> ~~na str. I~~, poprawimy pole magnetyczne tak, jak wskazuje ~~diagram na str. I~~ <sup>Nytkres II</sup> i uwzględnimy te S.E.M.,  <sup>$E_{r_1}$  i  $E_{r_2}$</sup>  które powstają skutkiem pulsacji wiązek  $\Phi_{r_1}$  i  $\Phi_{r_2}$  a otrzymamy ~~diagram na str. I~~ <sup>Nytkres II</sup> (stabilny).  
Ten ~~diagram~~ <sup>Nytkres</sup> jest porównawczy, dla transformatora z rozpraszaniem i bez rozpraszania.

$$(E_{r_1} \perp \Phi_{r_1} \quad E_{r_2} \perp \Phi_{r_2})$$



Stosunkiem transformacji nazywamy sto-  
sunek <sup>ilości rwozi</sup> napięcia pierwotnych do wtórnych,  
t.zw.

$$\frac{U_{n1}}{U_{n2}} = \frac{N_1}{N_2} = k.$$

Stosunek <sup>napięci  $E_{n1}$  i  $E_{n2}$</sup>  ~~ten~~ (jak widzimy z ~~diagramu~~ <sup>Wykres II.</sup>)  
skutkiem rozpróśnienia zmienia się.

Napięcie pierwotne  $U_{n1}$  w porównaniu  
z  $U_n$ , warsto, napięcie wtórne  $U_{n2}$   
w porównaniu z  $U_{n2}$  zmalało.

Wektory  $U_{n1}$  i  $U_{n2}$  oznaczają napięcia  
na zaciskach swojej I i II, wektory zaś  
 $U_n$  i  $U_{n2}$  nie mają teraz realnego  
znaczenia (są tylko porównawcze i poros-  
tate z diagramu <sup>I</sup> obła transformatora  
bez rozpraszania).

Wykres II  
Wykresmy prosto z ~~diagramu~~ <sup>Wykres II</sup> wek-  
tory  $U_{n1}$  i  $U_{n2}$  i zmieniemy porządek  
dodawania wektorów tak, jak wskazują  
równania:



$$(-E_{w_1}) \hat{+} (-E_{r_1}) + (I_1 w_1) = E_{nr_1}$$

oznaczyć:

$$(-E_{w_1}) \hat{+} (-E_{r_1}) = (-E_{w_2})$$

podobnie:

$$E_{w_2} \hat{+} E_{r_2} - (I_2 w_2) = E_{nr_2} \quad \text{oznaczyć: } E_{w_2} \hat{+} E_{r_2} = E_{w_2}$$

Po tej przekształceniu otrzymamy nowy ~~diagram~~ wykres III. (tablice)

Uprościmy teraz ten diagram przez opuszczenie wektorów  $(-E_{r_1})$   ~~$(-E_{r_1})$~~

i  $(E_{r_2})$   $(E_{r_2})$ , a porostawiamy tylko wy-  
padkowe  ~~$(-E_{w_1})$~~  i  $(E_{w_2})$ . Wykres IV.

Ten uproszczony ~~diagram~~ <sup>wykres</sup> będzie dla nas punktem wyjścia przy p. kreśleniu:

"Diagramu Kappa" Diagramów "reduk-  
owanych i skombinowanych".



## VII.) Wykresy zredukowane i skombinowane

Niechaj 1 mm na wykresie oznacza 1 Volt.

Mamy n.p. narysować wykres transformatora  
o stosunku transformacji  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{5000}{100} = 50$ ; —

2. Wektory zwoju I. transf. wypadną bardzo duże,  
zwoju II. 50-krotnie mniejsze.

Wykres taki posiadałby dużo niedogodności graficznych;  
5000 Volt równałoby się w takim wykresie  
 $5000 \text{ mm} = \underline{5 \text{ metr.}}$ ,  $100 \text{ Volt} = 100 \text{ mm} = 1 \text{ dm.}$

Celem uniknięcia tej niedogodności graficznej,  
zmniejszamy wszystkie wektory zwoju I. transf.  
w stosunku transformacji  $\frac{n_1}{n_2} = i$ .  
(W powyższym przykładzie 50-krotnie).

Wektory zmniejszone oznaczamy znaczkami  
„prim” n.p.  $E'_1 = \frac{E_1}{\frac{n_1}{n_2}}$ .



Przy odczytywaniu musimy wtedy pamiętać, że wektor n.p.  $E_{n1} = 100 \text{ mm}$  nie oznacza  $100 \cdot 1 = 100 \text{ Volt}$  ale  $100 \cdot \frac{N_1}{N_2} = 100 \cdot 50 = 5000 \text{ Volt}$ .

Siły elektromotoryczne  $E_{W1}$  i  $E_{W2}$ , powstałe dzięki pulsacji wspólnej wiązki  $\Phi_{12}$ , przemieniającej swoje I i II będą:

$$E_{W1} = -N_1 \cdot \frac{d\Phi_{12}}{dt} \quad E_{W2} = -N_2 \cdot \frac{d\Phi_{12}}{dt}$$

czyli: 
$$\frac{E_{W1}}{E_{W2}} = \frac{N_1}{N_2}$$

albo: 
$$E_{W1} = \frac{N_1}{N_2} \cdot E_{W2} \dots \dots \dots 1^\circ)$$

S.E.Ma.  $E_{W1}$  „redukcjonowana” będzie:

$$E'_{W1} = \frac{E_{W1}}{\frac{N_1}{N_2}} \dots \dots \dots 2^\circ)$$



Wstawmy  $n_1 \sin 2^\circ$  równ. 1. otrzymamy:

$$E_{w1}' = \frac{E_{w1}}{\frac{n_1}{n_2}} = \frac{\frac{n_1}{n_2} \cdot E_{w2}}{\frac{n_1}{n_2}} = E_{w2}$$

$$E_{w1}' = E_{w2} \dots \dots \dots 3^\circ$$

t. r. S.E.M.e, powstaje wskutek  $\Phi_{12}$ , będąca w zredukowanym wykresie równie.

Wykres V a. (część wykresu) jest zredukowanym wykresem, poprzecznego wykresu IV.

Obróćmy w zredukowanym wykresie V a wszystkie wektory należące do rzwoju II. około punktu  $O$  o  $180^\circ$ , a otrzymamy nowy wykres "zredukowany i skombinowany"  
(Punkt H po obrocie padnie na H' bo:  $E_{H2} = E_{H1}'$ )

Poprowadzimy jeszcze w wykresie V a. linje:



$$KB \# \text{ do } MC = (Y_1 W_1)'$$

$$BL \# \text{ " } KD = E r_2$$

$$LC \# \text{ " } DM = -E r_1$$

oraz połączmy punkty  $A, B, C$  prostymi.  
Otrzymamy trójkąt  $ABC$ , którego kąt:

$$\sphericalangle ABC \cong 90^\circ, \text{ boki ras:}$$

$$AB \cong (Y_1 W_1)' + Y_2 W_2 \quad i$$

$$BC \cong E r_1 + E r_2.$$

Boki tego trójkąta tembardziej będą  
dotykały do wyżej wymienionych wartości,  
im bardziej kąt  $\sphericalangle (Y_1 Y_2) \cong 180^\circ$ .

Jak widać niżej na str. 19. wektory:  
 $\Phi_1$  i  $\Phi_2$  muszą tworzyć kąt prawie  $180^\circ$   
ponieważ ras  $Y_1$  i  $Y_2$  są w jednej płaszczyźnie  
z  $\Phi_1$  i  $\Phi_2$ , przeto także  $Y_1$  i  $Y_2$  muszą  
tworzyć  $\sphericalangle (Y_1 Y_2) \cong 180^\circ$ .

(\* W wykresach: od  $\underline{I}$  do  $\underline{Va}$  przyjął się



kąt  $\angle (y_1, y_2)$  znacznie różniący się od  $180^\circ$ .  
Zrobiliśmy to celowo, dla przejrzystości  
wykresów).

Pomysłowość relacji  $\angle (y_1, y_2) = 180^\circ$   
wektory  $y_1$  i  $y_2$  w wykreście  $V$  α nakryją  
się, boki zaś co do bezwzględnej wartości  
będą równe:

$$AB = y_2 w_2 + (y_1 w_1)' = y_2 w_2 + \frac{y_1 w_1}{w_2} \dots 4$$

$$BC = E_{w_2} + E'_{w_1} = E_{w_2} + \frac{E_{w_1}}{w_2} \dots 5$$

kąt zaś  $\angle ABC = 90^\circ$ .

Wykres będzie teraz tak wyglądać,  
jak wskazuje Vb.

Zauważyliśmy na str. 18, że dzieła  
Tonia buperrwoji T i II transformacja  
Tora prawie równoważą się (neutralizują).



$$\text{t.r.} \quad n_1 Y_1 \approx n_2 Y_2$$

stąd

$$Y_1 = \frac{n_2}{n_1} \cdot Y_2 \quad (*) \quad 6^\circ$$

\*)

Możemy to w zasadzie w przybliżeniu:

$$\text{Wiązka } \Phi_{12} = \frac{n_1 Y_1}{R} - \frac{n_2 Y_2}{R} = \text{const},$$

jak w zasadniczym na str. 17 i 19 będzie równie stała, bez względu na obciążenie transformatora; a więc i w ten sposób,

kiedy  $Y_2 = 0$  (t.r. kiedy transformator będzie otwarty). Skoro  $Y_2 = 0$  temsamem

$\Phi_2 = \frac{n_2 Y_2}{R} = 0$ . wtedy  $\Phi_{12} = \frac{n_1 Y_0}{R}$  = wiązka jaką wytworzą amperowoje  $I$  przy prądzie jałowym  $Y_0$ .

$$\Phi_{12} = \frac{n_1 Y_1}{R} - \frac{n_2 Y_2}{R} = \frac{n_1 Y_0}{R}$$

$$\text{albo: } n_1 Y_1 - n_2 Y_2 = n_1 Y_0$$



34. Prąd jałowy  $I_0$  jest mały w porównaniu  
z roboczym  $I_1$  t.j.  $I_0 \approx 0$

stąd  $n_2 I_2 = n_1 (I_1 - I_0)$   
przekształcisz:

$$\underline{n_2 I_2 = n_1 I_1}$$

Wstawmy równanie 6° w równanie 4°

otrzymamy:

$$AB = I_2 W_2 + \frac{n_2 I_2}{\frac{n_1}{n_2}} \cdot W_1$$

albo po przekształceniu:

$$AB = I_2 \left[ W_2 + W_1 \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \right] \dots I_0$$

po wyregulowaniu z równ. 4°o  $I_2$   
otrzymamy podobnie:



$$AB = Y_1 \cdot \frac{n_1}{n_2} \left[ n_2 + n_1 \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \right] \dots \overset{35}{7b}$$

$E_{r_1}$  i  $E_{r_2}$  w równaniu 5<sup>o</sup>tem oznaczają S.E.M.e. kombinoliteki, powstałe wskutek rozprószonych wiązek  $\Phi_{r_1}$  i  $\Phi_{r_2}$ .

S.E.M.a kombinoliteki:

$$E_{r_1} = Y_1 \cdot \omega L_{r_1} \dots \dots \dots 8^{\circ}$$

podobnie:

$$E_{r_2} = Y_2 \cdot \omega L_{r_2} \dots \dots \dots 9^{\circ}$$

Podstawny ról. 8<sup>o</sup> i 9<sup>o</sup>te w ról. 5<sup>o</sup>te:

$$10^{\circ} \dots BC = E_{r_2} + \frac{E_{r_1}}{\frac{n_1}{n_2}} = Y_2 \omega L_{r_2} + \frac{Y_1 \cdot \omega \cdot L_{r_1}}{\frac{n_1}{n_2}}$$

Na podstawie relacji 6<sup>o</sup> wyrzucimy z ról. 10<sup>o</sup>go raz  $Y_1$  drugi raz  $Y_2$  otrzymanym.



$$BC = \gamma_2 \left[ \omega L_{r_2} + \omega L_{r_1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \right] \dots Ma.$$

i

$$BC = \gamma_1 \frac{n_1}{n_2} \left[ \omega L_{r_2} + \omega L_{r_1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \right] \dots Ma.$$

Mozemy powiedziec na podstawie row.  $\gamma_{aib}$  i  $\gamma_{aib}$ , ze boki trojkata prostokątnego ABC (wykres Vb) rosna lub maleja proporcjonalnie do  $\gamma_2$  i  $\gamma_1$ .

Trojkat wiec ABC w wykresie Vb bedzie wzrastal lub malel w miare obciazenia, ale dla kazdego obciazenia bedzie podobny.

Bok AB  $\Delta$  ABC bedzie rownie rownowlozly do  $\gamma_2$  i  $\gamma_1$ , bok ras' BC rownie prostopadly do  $\gamma_2$  i  $\gamma_1$ .



# VIII. Wykres Kappa.

37.

Zastórnym, że w wykreście  $V_0$  punkt  $C$  jest  
nieruchomym, oraz  $\mathcal{Y}_1, \mathcal{Y}_2$  posiadają  
stały kierunek.

Te stały kierunek wektorów  $\mathcal{Y}_1, \mathcal{Y}_2$ , niechaj  
reprezentuje nam prosta  $Cd$ , popro-  
wadzona równolegle przez punkt  $C$  do  
 $\mathcal{Y}_2, \mathcal{Y}_1$ .

Zwoje wtórne transformatora możemy  
w rozmaity sposób obciążać: raz  
oporem ohmowym drugi raz obciążeniem  
ohmowo-indukcyjnym, pojemności-  
wym, lub kombinacją tych trzech.

W zależności od wielkości i jakości ob-  
ciążenia zwoje wtórnych transformato-  
ra, otrzymamy: coarazto 1) inny  
prąd, 2) inne fazy  $\mathcal{Y}_2$



38. wrogzolem napięcia  $E_{n_2}$ , albo  $3^\circ$   
corarto inny prąd  $\mathcal{I}_2$  o corarto innej  
fazie  $\varphi_2$ .

Wyrarem graficznym tego beobie:

1<sup>o</sup> Wzrost

1<sup>o</sup> Wzrost trójkąta  $ABC$  w wykreśle  $\bar{V}_b$  i  
VII. (równym  $\mathcal{I}_2$ )

2<sup>o</sup> Obrót wektorów  $E_{n_1}$  i  $E_{n_2}$  około  
punktów  $C$  i  $A$  (wykreśle  $\bar{V}_b$  i VI.  $\varphi_2$  równym)

3<sup>o</sup> Wzrost trójkąta  $ABC$  i obrót wektorów  
 $E_{n_1}$  i  $E_{n_2}$  (równym prąd  $\mathcal{I}_2$  i faza  $\varphi_2$ )

Punkt  $O$ , w czasie ruchu obu wektorów  
 $E_{n_1}$  i  $E_{n_2}$ , będzie się poruszał po  
obwodzie koła, zakreślonego z punktu  
 $C$  promieniem  $r = E_{n_1}$ .



39.

(Po obwodzie koła, bo  $E_{11}$  w myśl poprzednich rozważań st. = constant)

Mamy już wykres „Kappa” —

W zależności od wyżej wymienionych warunków obciążenia, możemy badać transformator:

1°) Zmienny prąd  $I_2$  | Stara prąd  $I_2$   
(skuteczna wartość) | stała

2°) Stara prąd  $I_2$  względem | Prąd  $I_2$  stały  
napięcia  $E_{12}$  zmienna | (skuteczna  
t.r.  $I_2 = zmienna$  | wartość.)

3°) Zmienny prąd  $I_2$  i jego stara  $I_2$ , względem  
napięcia  $E_{12}$   
 $I_2$  zmienny i  $I_2$  zmienn.



40 Zbadamy, w opracowaniu niniejszem, tylko  
dwa pierwsze wyprowadki.

Zacznijmy badanie od wypadku 2go:

$$I_2 = \text{const.} \quad (\text{i } I_1 = \text{const. na podst. rot. } 6^\circ)$$

$$I_2 = \text{rmienn.}$$

Trójkąt wiec  $ABC$  w wykresie VI. jest  
stały. (bo  $I_2$  stałe).

Prąd  $I_2$  pod względem wielkości (skutecznej)  
będzie zawsze stały, ale faza tego  
prądu, względem napięcia na zaciskach  
twojej II. transf. rmienna.

W praktyce spełnimy powyższe wa-  
runki, skoro będziemy włączać po  
koleji w obwód wtórny transformatora  
corazto inne volbieralniki; raz n. p.  
lamiński, drugi raz motory, kondensatory: it.

Faza prądu ( $\tan \varphi_2 = \frac{\omega L}{R}$ ) będzie w kaz-



41.

dym wypadku inna, ale opory ( $r, \omega L, \frac{1}{\omega C}$ )  
mwiemy tak obrócić, że zawsze wypad-  
nie progl  $\gamma_2$ .

Tak sprawa przedstawi się w praktyce.  
Przejdźmy do wykresu II.

a). Napięcie  $E_{n2}$  w wypadku a (~~Wykres II a~~)  
wyprowadza progl  $\gamma_2$  o  $90^\circ$   
Najwioloczniej mamy tutaj obciążenie  
tylko indukcyjne. (Wtęczyliśmy n.p.  
w obwód II. transf. szeregu o małym  
oporze ohmowym i wielkim współczynniku  
samoindukcyjji).

b). W wypadku b. napięcie  $E_{n2}$  wypre-  
dza progl  $\gamma_2$  o jakiś kąt  $\gamma_2$   
Mamy tutaj obciążenie ohmowe i  
indukcyjne (albo ohmowo-indukcyj-  
ne) Wtęczyliśmy n.p. szeregu o pewnym  
oporze ohmowym i pewnym



współczynnik samoindukcji.

d) W wypadku d napięcie  $E_{m2}$  jest w jednej fazie z prądem  $I_2$ .

Wtoczyliśmy n.p. <sup>zarówno</sup> lampki (tylko opór ohmowy). Albo sprzęg o pewnym oporze = w pewnym współ.  $L$  w szeregu z kondensatorem, o takiej pojemności

$$\text{tj.: } \omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (\text{rezonans!})$$

e). W wypadku e napięcie  $E_{m2}$  opóźnia się względem prądu  $I_2$  o kąt  $-\varphi_2$

(Wtoczyliśmy n.p. sprzęg i kondensator w szeregu).

g). W wypadku g napięcie  $E_{m2}$  opóźnia się względem prądu  $I_2$  o  $90^\circ$ . Najwidoczniej w tym



wypadku mamy obciążenie tylko pojemnościowe. Wygryliśmy n.p. kondensator o wielkiej pojemności (razem z oprutych przewodów.)

Wykres VI. Wzrost, w kazdym wypadku wyżej wymienionym (a, b, c, e, g), poodat nam zwiazki, jakie zachodzą między  $E_{n1}, E_{n2}, \varphi_2, \varphi_1, \varphi_2$

Skoro mamy wykreślić diagram dla jakiegoś transformatora, musimy przedwzrostkiem mieć trójkąt ABC; ściśle powiedziawszy kształt tego trójkąta t.j. kąt  $\varphi_s$  (bo  $\Delta ABC$  dla każdego  $\varphi_2$  podobny.)

Kąt ten  $\varphi_s$  będziemy mogli, jak się później przekonamy wyznaczyć doświadczalnie. — Zbadajmy teraz, jak się zachowa transformator przy równym obciążeniu  $\varphi_2$ , ale stałej fali



prąd  $I_2$  względem napięcia  $E_{n2}$   $\neq (I_2/E_{n2}) = \varphi_2 =$   
 $= \text{const.}$

W praktyce spełnimy połowe warunków, skoro  
 włączymy <sup>po koleji</sup>  $\neq$  spełni, w stałym stosunku  
 $\frac{\omega L}{R} = \tan \varphi_2 = \text{const.}$

Prąd w każdej szpilki będzie inny, ale faza  
 $\varphi_2$  stała.

Wykres VII. Klappa podaje obciążenia  
 tego rodzaju.

Zamknijmy po obwód II transf. po koleji  
 szpilkami o corazto mniejszej ilości wroju  
 ( $\frac{\omega L}{R} = \text{const.}$ ) Otrzymamy corazto silniejszy  
 prąd  $I_2$ , ale równocześnie corazto mniejsze  
 napięcie  $E_{n2}$  (Wykres VII. b-c-d) —

Zamknijmy teraz kwoje II krótko t.r.  
 grubym drutem miedzianym; prąd  
 $I_2 = I_{s2}$  osiągnie maksimum, napięcie  
 zaś  $E_{n2}$  spadnie teraz prawie do zera.



Wykresem graficznym tego, będzie znalezienie wektora  $E_{n2}$  & wykreślenie i wzrost trójkąta  $ABC$  do maximum.

Wektor, napięcia pierwotnego  $E_{n1}$ , po prostu teraz wykreślenie na przeciwprostokątnej  $AC$  i będzie tworzyć z wektorem  $I_1$  kąt  $\varphi_s$ .

Kąt więc  $\varphi_s$  równa się fazy, jaką tworzy prąd pierwotny  $I_1$  z napięciem pierwotnym  $E_{n1}$ , przy krótko zwartych zwojach II. transformatora.

(t. r.  $\angle ACD = \varphi_s$ . Wykres VII.)

Kąt  $\varphi_s$  możemy doświadczeniowo wyznaczyć za pomocą wattmetru.

maximum  $I_1$  przy  $\varphi_s$  będzie  
 przy  $\varphi_s$  minimum!

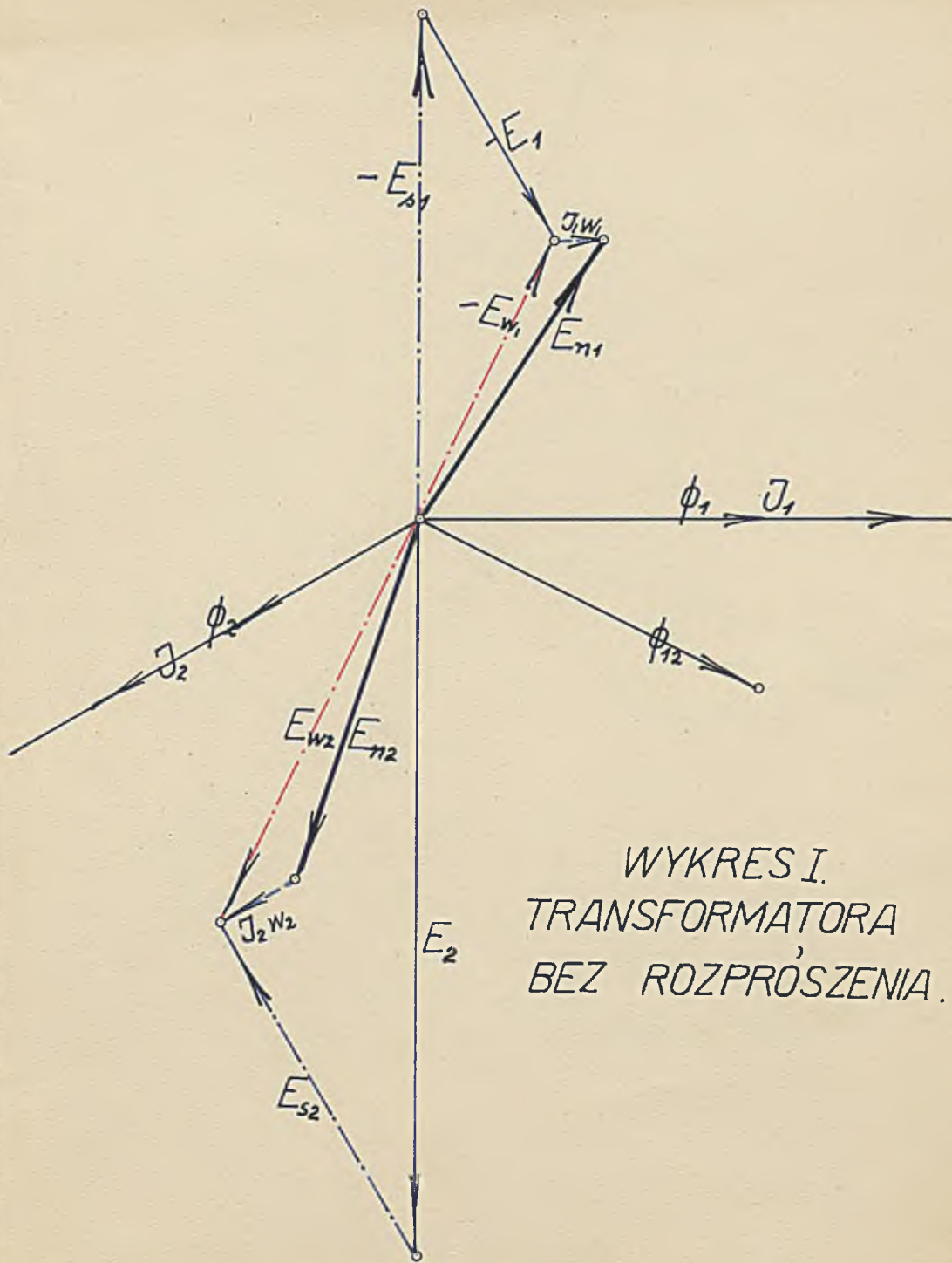


# WYKRESY.

ZNACZENIE LINJI :

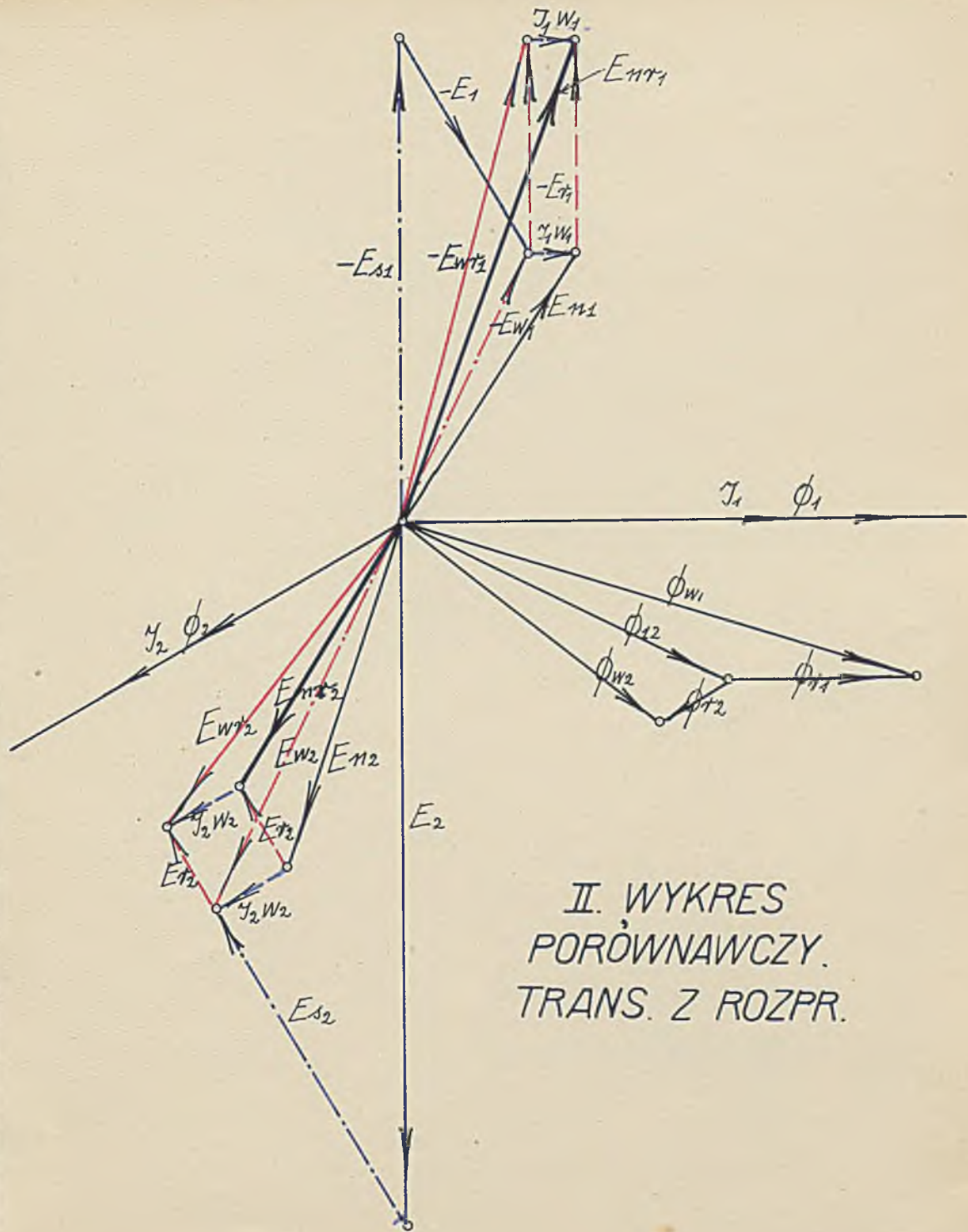
— · — · — · —	$E_s$	S.E.M.	samoindukcji
————	$E$	"	indukcji
— · — · — · —	$E_w$	"	wypadkowa
————	$E_n$ $E_{nr}$		napięcie
— — — —	$E_r$	"	samoind. rozpr.
————	$E_{wr}$	"	wypadkowa "
— — — —	$J_w$		strata ohmowa
————	$J$		nateżenie prądu
————	$\phi$		strumień magn.





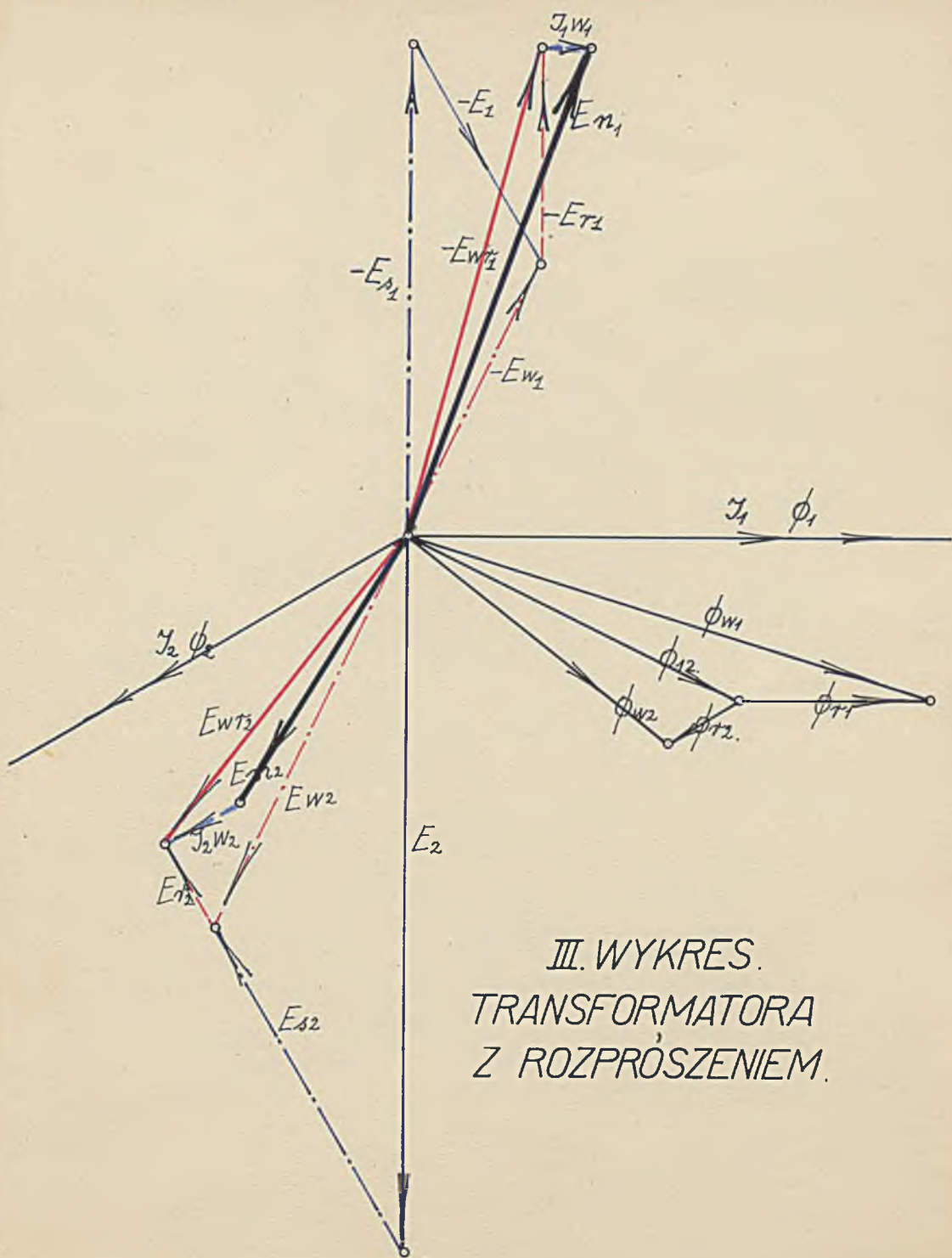
WYKRES I.  
 TRANSFORMATORA  
 BEZ ROZPROSZENIA.





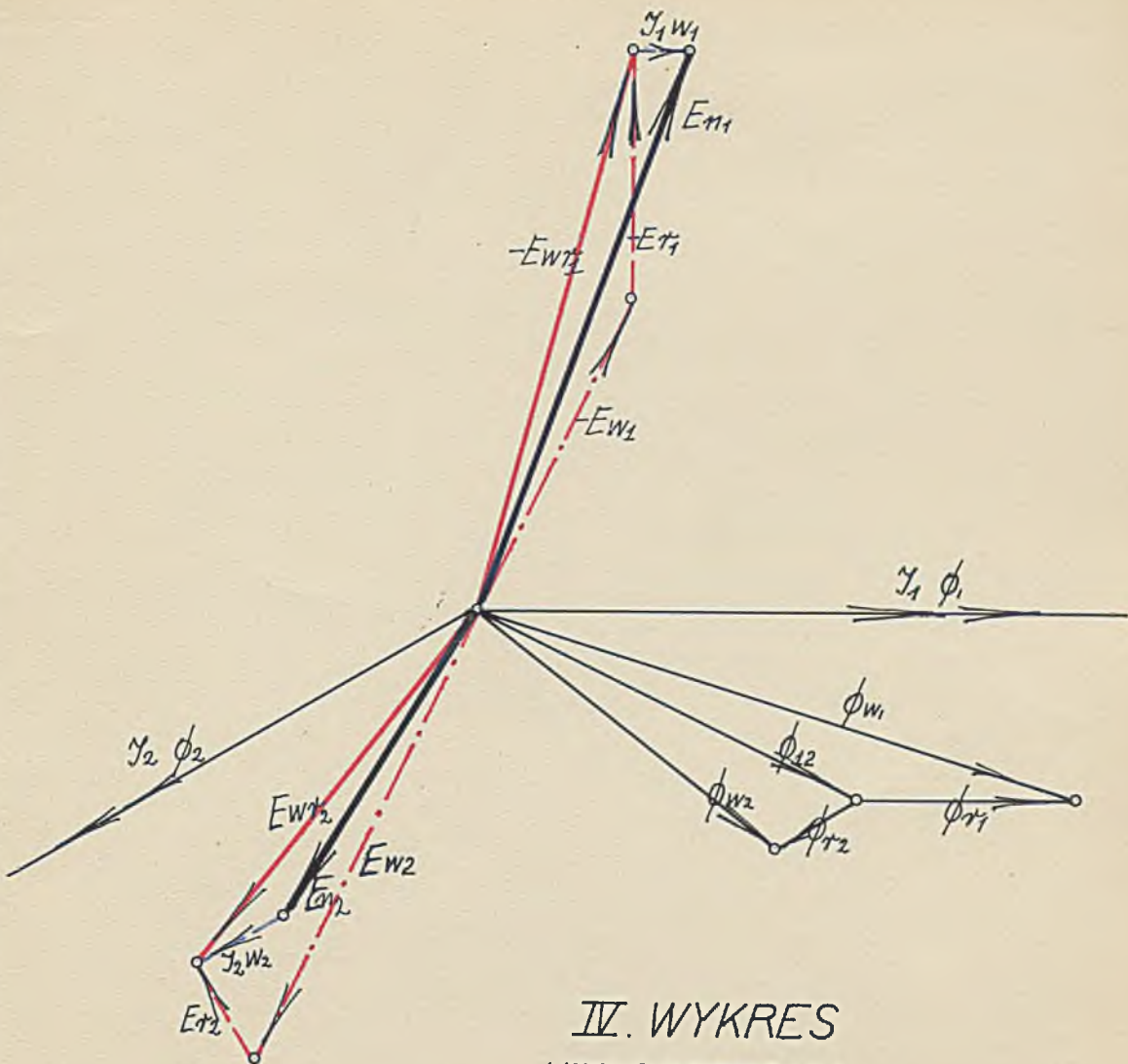
II. WYKRES  
 PORÓWNAWCZY.  
 TRANS. Z ROZPR.





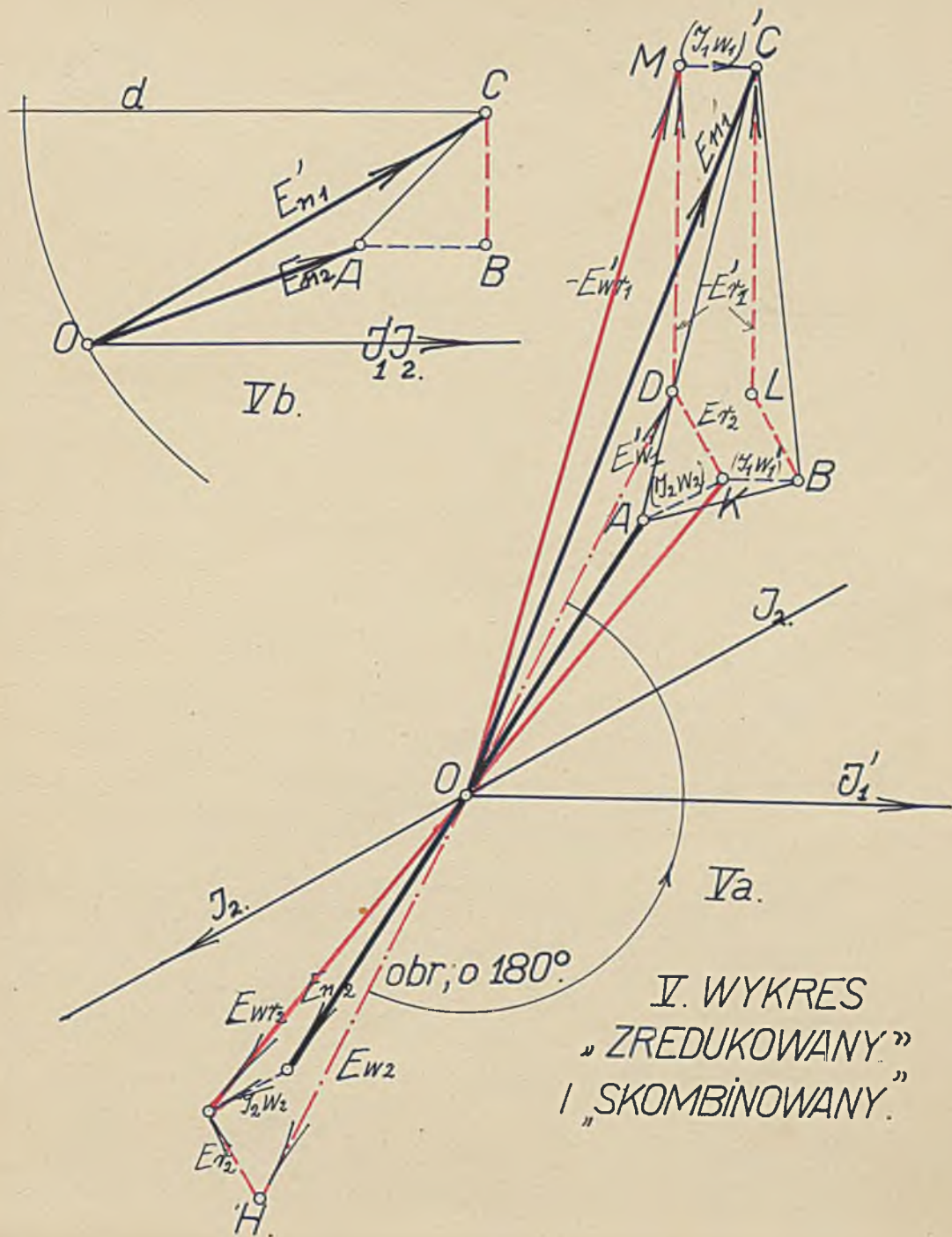
III. WYKRES.  
TRANSFORMATORA  
Z ROZPRÓSZENIEM.





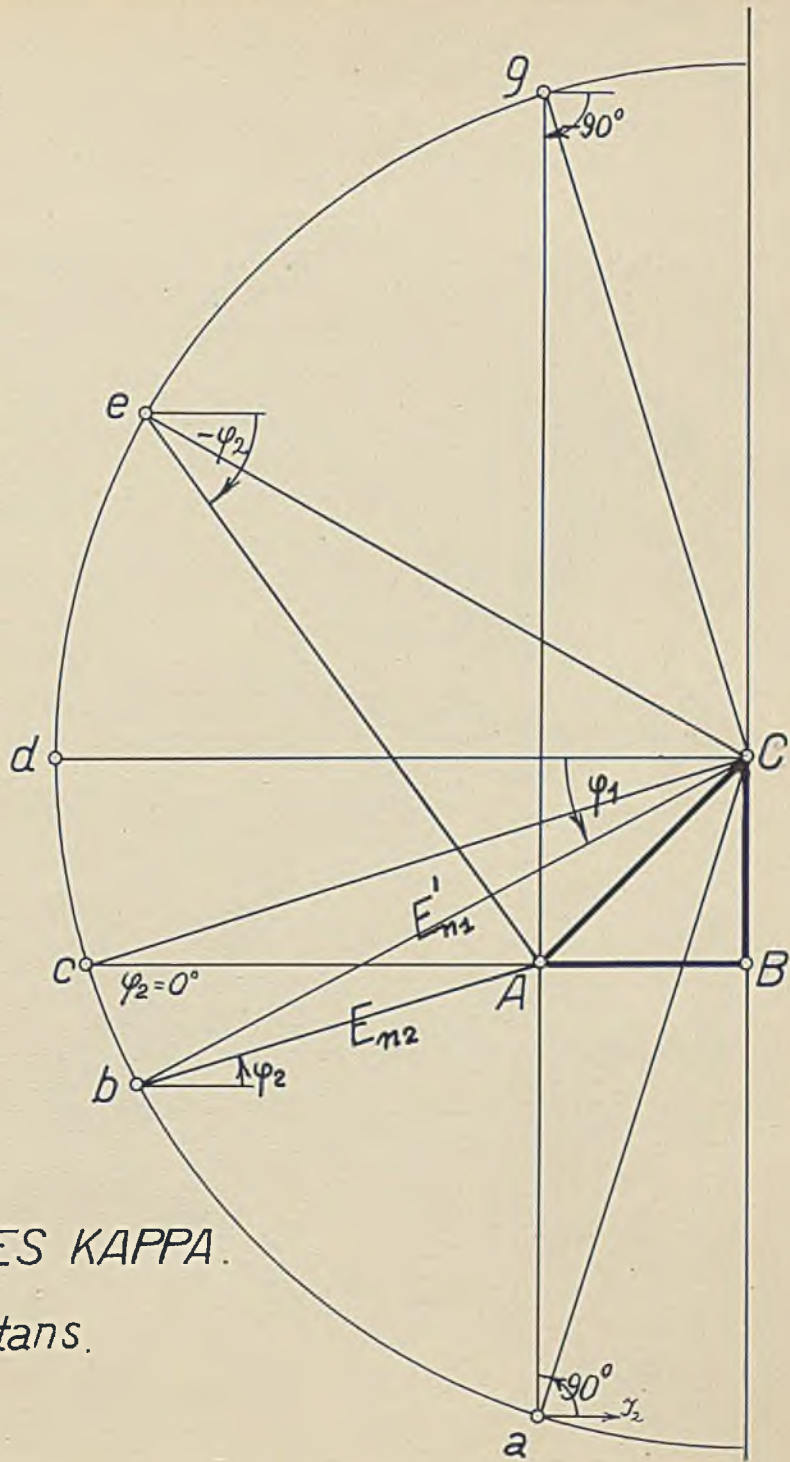
IV. WYKRES UPROSZCZONY.





I. WYKRES  
 „ZREDUKOWANY”  
 I „SKOMBINOWANY.”

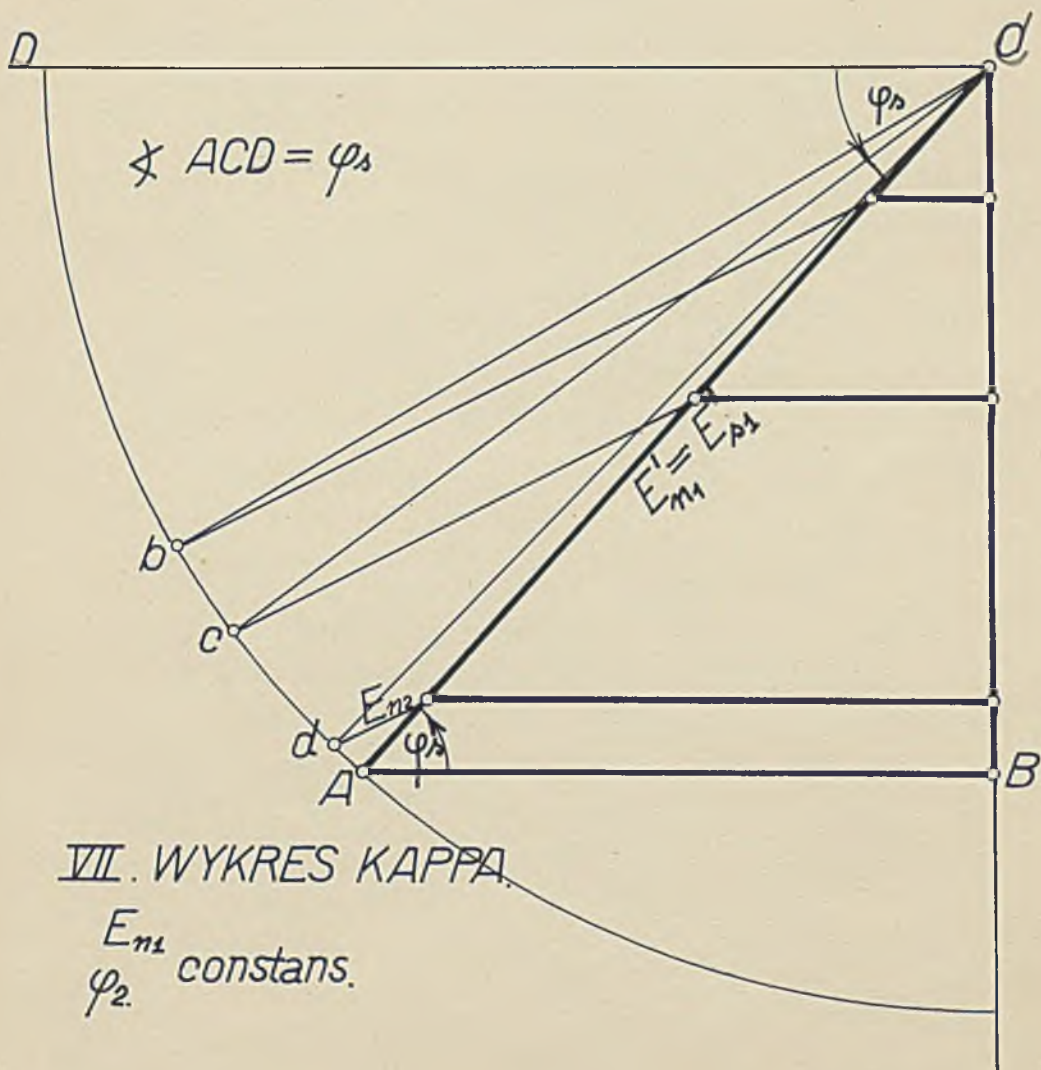




VI. WYKRES KAPPA.

$E_{n1}$   
 $J_1$  constans.







*TADEUSZ JANCZYSZYN.*