

Stanisław Odrowąż Wysocki

OBLICZANIE  
PRZEWODOW  
ELEKTRYCZNYCH

WYDAWNICTWO ZWIĄZKU ELEKTROWNI POLSKICH

# OBLICZANIE PRZEWODÓW ELEKTRYCZNYCH

NAPISAŁ

STANISŁAW ODROWĄŻ WYSOCKI

PROFESOR POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

I 41

WARSZAWA

ok. 1930



---

DRUKARNIA TECHNICZNA, SP. AKC.,  
WARSZAWA, CZACKIEGO 3/5.

---

## Przedmowa.

Książka niniejsza powstała z wykładów moich w Politechnice Warszawskiej. Materiał starałem się ująć w formę pedagogiczną, przystępną zarówno dla inżyniera i studenta, jak i dla technika — praktyka. W tym celu każdy niemal wzór ilustrowałem przykładem liczbowym.

Materiał zbierałem z dzieł i czasopism technicznych, przeważnie niemieckich. Szkieletem, na którym materiał gromadziłem, były niewątpliwie wykłady Dr. Karola Wirtza, mego profesora z Politechniki Darmsztackiej.

Korzystałem z dzieł klasycznych: Herzoga i Feldmanna, Prof. Roesslera, tudzież z podręczników Soschinskiego, Prof. Teichmüllera, Kysera i wielu innych. Obliczanie sieci przedstawiłem wg Fricka, Kenelly'ego, Coltri'ego, wykreślne rozwiązanie równań — wg Thomälena, obliczenie na minimum objętości — wg Santarellego, obliczenie na gospodarność — wg Thomsona, Hochenegga i Eimera, analizę układów trójfazowych — wg Gallussera, obliczenie symboliczne — wg Breitfelda.

Zasady projektowania sieci opracowałem samodzielnie. W roku 1906 ogłosiłem w „Przeglądzie Technicznym“ artykuł p. t. „Przybliżone obliczanie sieci elektrycznych“, w którym podałem sposób obliczania liczby punktów zasilających, zależnie od wyznaczonego przekroju w sieci rozsyłowej. Obecnie metodę tę pogłębiłem, powiązałem z obliczeniem na gospodarność i zastosowałem do rozmaitych przypadków, zdarzających się w praktyce.

Serdecznie dziękuję profesorom M. Pożaryskiemu i L. Staniewiczowi za przejrzenie rękopisu i udzielenie cennych uwag, dyrektorowi J. Rzewnickiemu — za korektę językową, inżynierowi J. Surmackiemu — za opracowanie części rysunkowej, inżynierowi S. Konczykowskiemu — za pomoc przy korekcie, wreszcie „Związkowi Elektryków Polskich“ i dyrektorowi inżynierowi M. Kuźmickiemu — za pomoc w wydaniu mej pracy.

S. WYSOCKI.

## Wskazywanie

Wskazywanie jest to działanie, które polega na wskazywaniu na przedmiot, który jest przedmiotem uwagi. Wskazywanie może być wykonane w sposób bezpośredni, np. przez wskazanie na przedmiot, lub w sposób pośredni, np. przez wskazanie na przedmiot, który jest przedmiotem uwagi.

Wskazywanie jest to działanie, które polega na wskazywaniu na przedmiot, który jest przedmiotem uwagi. Wskazywanie może być wykonane w sposób bezpośredni, np. przez wskazanie na przedmiot, lub w sposób pośredni, np. przez wskazanie na przedmiot, który jest przedmiotem uwagi.

Wskazywanie jest to działanie, które polega na wskazywaniu na przedmiot, który jest przedmiotem uwagi. Wskazywanie może być wykonane w sposób bezpośredni, np. przez wskazanie na przedmiot, lub w sposób pośredni, np. przez wskazanie na przedmiot, który jest przedmiotem uwagi.

Wskazywanie jest to działanie, które polega na wskazywaniu na przedmiot, który jest przedmiotem uwagi. Wskazywanie może być wykonane w sposób bezpośredni, np. przez wskazanie na przedmiot, lub w sposób pośredni, np. przez wskazanie na przedmiot, który jest przedmiotem uwagi.

Wskazywanie jest to działanie, które polega na wskazywaniu na przedmiot, który jest przedmiotem uwagi. Wskazywanie może być wykonane w sposób bezpośredni, np. przez wskazanie na przedmiot, lub w sposób pośredni, np. przez wskazanie na przedmiot, który jest przedmiotem uwagi.



# Spis rzeczy.

	Str.
Spis rzeczy po francusku . . . . .	VII
Spis tablic . . . . .	IX
Oznaczenia . . . . .	X
Zestawienie wzorów . . . . .	XVI
Sprostowanie . . . . .	XVIII
Rozdział I. Spadek napięcia w torach otwartych.	
§ 1. Wiadomości wstępne . . . . .	1
§ 2. Tor obciążony w jednym punkcie . . . . .	5
§ 3. Tor obciążony w wielu punktach . . . . .	10
§ 4. Obliczanie sposobem wykreślnym. . . . .	14
§ 5. Tor niesymetryczny . . . . .	19
§ 6. Obciążenie rozłożone równomiernie. . . . .	21
Rozdział II. Rozpływ prądów i spadki napięcia w torach zamkniętych.	
§ 7. Tor okrężny, obciążony w jednym punkcie . . . . .	28
§ 8. Tor okrężny, obciążony w wielu punktach . . . . .	33
§ 9. Tor, zasilany na krańcach napięciami różnemi, a obciążony w jednym punkcie. . . . .	38
§ 10. Tor, zasilany na krańcach napięciami różnemi, a obciążony w wielu punktach . . . . .	42
Rozdział III. Rozpływ prądów i spadki napięcia w sieciach.	
§ 11. Sieć o jednym punkcie węzłowym. . . . .	46
§ 12. Sieć o wielu punktach węzłowych . . . . .	49
§ 13. Rozwiązywanie równań sposobem wykreślnym . . . . .	56
§ 14. Rozwiązywanie równań sposobem rachunkowym . . . . .	71
§ 15. Stopniowe upraszczanie sieci . . . . .	77
§ 16. Przekształcanie trójkąta w gwiazdę . . . . .	84
Rozdział IV. Obliczanie na spadek napięcia.	
§ 17. Tor o przekroju jednostajnym . . . . .	89
§ 18. Tor o jednostajnej gęstości prądu . . . . .	91
§ 19. Tor o najmniejszej objętości . . . . .	94
§ 20. Tor rozgałęziony o przekroju jednostajnym . . . . .	100
§ 21. Tor rozgałęziony o jednostajnej gęstości prądu . . . . .	101
§ 22. Tor rozgałęziony o najmniejszej objętości . . . . .	102
§ 23. Tor rozgałęziony o stałej sumie przekrojów . . . . .	107
§ 24. Tor zamknięty i sieć . . . . .	112
§ 25. Tor wyrównawczy . . . . .	116
Rozdział V. Obliczanie na gospodarność.	
§ 26. Koszt przesyłania prądu . . . . .	120

	<i>Str.</i>
§ 27. Przekrój gospodarczo najkorzystniejszy . . . . .	123
§ 28. Spadek napięcia gospodarczo najkorzystniejszy . . . . .	126
§ 29. Spółczynniki gospodarcze . . . . .	131
§ 30. Czas trwania największych strat . . . . .	135
<b>Rozdział VI. Obliczanie na nagrzewanie i wytrzymałość.</b>	
§ 31. Nagrzewanie się przewodów . . . . .	139
§ 32. Wytrzymałość mechaniczna . . . . .	145
§ 33. Przebieg obliczania przekroju . . . . .	147
<b>Rozdział VII. Liczba punktów zasilających.</b>	
§ 34. Sieci foremne . . . . .	150
§ 35. Sieci nieforemne . . . . .	154
§ 36. Liczba punktów zasilających gospodarczo najkorzystniejsza . . . . .	156
<b>Rozdział VIII. Układ wieloprzewodowy.</b>	
§ 37. Zasada układu wieloprzewodowego . . . . .	164
§ 38. Spadek napięcia i rozptył prądów . . . . .	166
§ 39. Obliczanie przekroju . . . . .	174
<b>Rozdział IX. Prąd zmienny.</b>	
§ 40. Rozptył prądów . . . . .	179
§ 41. Spadek i strata napięcia, strata mocy . . . . .	189
§ 42. Obliczanie przekroju . . . . .	194
§ 43. Naskórkowość . . . . .	199
§ 44. Projektowanie sieci . . . . .	202
<b>Rozdział X. Prąd wielofazowy.</b>	
§ 45. Zasada układu wielofazowego . . . . .	207
§ 46. Fazy obciążone jednakowo . . . . .	210
§ 47. Fazy obciążone niejednakowo. . . . .	218
§ 48. Obliczanie przekroju . . . . .	225
§ 49. Projektowanie sieci trójfazowej . . . . .	236
§ 50. Porównanie układów przewodowych . . . . .	246
<b>Rozdział XI. Linja dalekonośna jednofazowa.</b>	
§ 51. Indukcyjność . . . . .	251
§ 52. Pojemność . . . . .	261
§ 53. Uptywność . . . . .	271
§ 54. Oporność pozorna . . . . .	280
<b>Rozdział XII. Linja dalekonośna trójfazowa.</b>	
§ 55. Indukcyjność . . . . .	296
§ 56. Pojemność i upływność . . . . .	306
§ 57. Oporność pozorna . . . . .	313
Skorowidz . . . . .	321
Literatura . . . . .	325

# Calcul des conducteurs électriques.

	<i>Pages</i>
<b>Table des matières.</b>	
<b>Signes.</b>	X
<b>Spécification des formules.</b>	XVI
<b>Chapitre I. Chute de tension dans les lignes ouvertes.</b>	
§ 1. Considérations générales. . . . .	1
§ 2. Ligne chargée dans un point. . . . .	5
§ 3. Ligne chargée dans plusieurs points . . . . .	10
§ 4. Méthode graphique de calcul. . . . .	14
§ 5. Ligne asymétrique. . . . .	19
§ 6. Charge uniformément répartie . . . . .	21
<b>Chapitre II. Distribution de courant et chute de tension dans les lignes fermées.</b>	
§ 7. Ligne circulaire chargée dans un point . . . . .	28
§ 8. Ligne circulaire chargée dans plusieurs points. . . . .	33
§ 9. Ligne chargée dans un point et alimentée à ses extrémités par des tensions diverses . . . . .	38
§ 10. Ligne chargée dans plusieurs points et alimentée à ses extrémités par des tensions diverses. . . . .	42
<b>Chapitre III. Distribution de courant et chute de tension dans les réseaux.</b>	
§ 11. Réseau ayant un point de branchement . . . . .	46
§ 12. Réseau ayant plusieurs points de branchement . . . . .	49
§ 13. Solution graphique des équations . . . . .	56
§ 14. Solution analytique des équations . . . . .	71
§ 15. Simplification graduelle d'un réseau . . . . .	77
§ 16. Transfiguration du triangle en étoile . . . . .	84
<b>Chapitre IV. Calcul par chute de tension.</b>	
§ 17. Ligne à section constante . . . . .	89
§ 18. Ligne à densité constante de courant. . . . .	91
§ 19. Ligne à volume minimum . . . . .	94
§ 20. Ligne ramifiée à section constante . . . . .	100
§ 21. Ligne ramifiée à densité constante de courant. . . . .	101
§ 22. Ligne ramifiée à volume minimum . . . . .	102
§ 23. Ligne ramifiée à somme constante des sections . . . . .	107
§ 24. Ligne fermée et réseau . . . . .	112



## VIII

§ 25.	Ligne de compensation . . . . .	116
Chapitre V. Calcul économique.		
§ 26.	Frais de transport de l'énergie électrique. . . . .	120
§ 27.	Section la plus économique . . . . .	123
§ 28.	Chute de tension la plus économique . . . . .	126
§ 29.	Coefficients économiques . . . . .	131
§ 30.	Durée des pertes maximum . . . . .	135
Chapitre VI. Calcul au point de vue de l'échauffement et de la résistance mécanique.		
§ 31.	Echauffement des conducteurs. . . . .	139
§ 32.	Résistance mécanique. . . . .	145
§ 33.	Mode de calcul de la section. . . . .	147
Chapitre VII. Nombre de centres d'alimentation.		
§ 34.	Réseaux réguliers . . . . .	150
§ 35.	Réseaux irréguliers. . . . .	154
§ 36.	Nombre, le plus économique, de centres d'alimentation . . . . .	156
Chapitre VIII. Système à plusieurs conducteurs.		
§ 37.	Principe d'un système à plusieurs conducteurs . . . . .	164
§ 38.	Chute de tension et distribution du courant. . . . .	166
§ 39.	Calcul des sections . . . . .	174
Chapitre IX. Courant alternatif monophasé.		
§ 40.	Distribution du courant . . . . .	179
§ 41.	Chute et perte de tension, perte de puissance. . . . .	189
§ 42.	Calcul de la section des conducteurs. . . . .	194
§ 43.	Effet Kelvin . . . . .	199
§ 44.	Projet d'un réseau . . . . .	202
Chapitre X. Courant alternatif polyphasé.		
§ 45.	Principe d'un système polyphasé . . . . .	207
§ 46.	Phases uniformément chargées . . . . .	210
§ 47.	Phases non-uniformément chargées . . . . .	218
§ 48.	Calcul de la section des conducteurs . . . . .	225
§ 49.	Projet d'un réseau triphasé . . . . .	236
§ 50.	Comparaison de différents systèmes de canalisation électrique . . . . .	246
Chapitre XI. Ligne monophasée à longue portée.		
§ 51.	Inductivité. . . . .	251
§ 52.	Capacité . . . . .	261
§ 53.	Dérivation. . . . .	271
§ 54.	Impédance. . . . .	280
Chapitre XII. Ligne triphasée à longue portée.		
§ 55.	Inductivité. . . . .	296
§ 56.	Capacité et dérivation . . . . .	306
§ 57.	Impédance. . . . .	313
	Index . . . . .	321
	Bibliographie . . . . .	32

## Spis tablic.

	<i>Str.</i>
I Przewodność właściwa . . . . .	6
II Koszt przewodów miedzianych . . . . .	131
III Odnowienie i utrzymanie urządzeń . . . . .	133
IV Czas użytkowania największego prądu i czas trwania największych strat . . . . .	136
V Największy prąd dopuszczalny w miedzianych przewodach izolowanych (jedno i wielożyłowych). . . . .	142
VI Największy prąd dopuszczalny w miedzianych kablach obolwionych, zakopanych w ziemi pojedynczo lub po dwa razem. . . . .	143
VII Średnica drutów i linek . . . . .	145
VIII Najmniejszy przekrój dopuszczalny ze względu na wytrzymałość mechaniczną . . . . .	146
IX Spółczynniki liczbowe sieci foremnych . . . . .	153
X Oporność 1 km przewodu żelaznego w $\Omega$ przy prądzie zmiennym o częstotliwości 50 okresów na sekundę . . . . .	199
XI Porównanie objętości materiału przewodowego . . . . .	250
XII Przenikalność magnetyczna przewodu żelaznego . . . . .	257
XIII Grubość warstw izolacyjnych w kablach . . . . .	257

## Oznaczenia.

### Wielkości fizyczne.

W zasadzie wielkości, tyjące się całego toru lub linii, znaczone literami wielkimi, a wielkości, tyjące się jednego przewodu lub bieguna — literami małymi. Prądy przewodowe i ich moce znaczone literami wielkimi, a prądy przyłożone i moce tych prądów — literami małymi.

- $A$  — upływność wypadkowa toru lub linii w  $\Omega^{-1}$ ;  $A^{is}$  — przez izolację;  $A^{ul}$  — od ulotu;  $A^{his}$  — od histerezy dielektrycznej;
- $a$  — 1) upływność wypadkowa jednego przewodu lub jednego bieguna w  $\Omega^{-1}$ ;  
 $a_{A_1}$  — przewodu  $A_1$ ;  $a_A$  — bieguna  $A$ ; inne wskaźniki, jak przy  $A$ ;  
 2) w liniach dalekonośnych — jeden ze współczynników (liczba rzeczywista);
- $\alpha$  — natężenie prądu, odbieranego równomiernie, na metr długości toru w  $A/m$ ;
- $B$  — stan barometru w  $cm$  słupa rtęci;
- $b$  — w liniach dalekonośnych — jeden ze współczynników (liczba rzeczywista);
- $C$  — pojemność wypadkowa toru lub linii w  $\mu F$ ;  $C_{AA}$  — własna;  $C_1$  — wypadkowa toru 1;
- $c$  — pojemność wypadkowa jednego przewodu lub jednego bieguna w  $\mu F$  (przy wyprowadzaniu wzoru  $c'$  — w  $cgs$ );  $c_{AA}$  — własna przewodu  $A$ ;  $c_{BA}$  — wzajemna (wpływ przewodu  $B$  na  $A$ );  $c_{A_1}$  — wypad. przewodu  $A_1$ ;  $c_A$  — wypadkowa bieguna  $A$ ;  $c_2$  — w odcinku 2;
- $\gamma$  — współczynnik, zależny od izolacji i temperatury;
- $\Delta E$  — spadek napięcia międzyprzewodowego w  $V$ ;  $(-\Delta E)$  — wzrost; w prądach zmiennych — różnica algebraiczna;  $\Delta E^+$  — w dodatniej połowie sieci;  $\Delta E^-$  — w ujemnej;  $\Delta E^{12}$  — w fazie 12;  $\Delta E_{pr}$  — od punktu  $p$  do  $r$ ;  $\Delta E_p$  — od punktu zasilającego do punktu  $p$ ;  $\Delta E_{dno}$  — dopuszczalny;  $\Delta E_{max}$  — największy;  $\Delta E_{sr}$  — średni;  $\Delta E_k$  — gospodarczo najkorzystniejszy;
- $\overline{\Delta E}$  — strata napięcia międzyprzewodowego (różnica geometryczna) w  $V$ ;  $(-\overline{\Delta E})$  — zysk;  $\overline{\Delta E}^r$  — omowa;  $\overline{\Delta E}_{AA}^l$  — od indukcji własnej;  $\overline{\Delta E}_{BA}^m$  — od indukcji wzajemnej;  $\overline{\Delta E}^l$  — od indukcji wypadkowej;  $\overline{\Delta E}^b$  — składnik bezwzględny;  $\overline{\Delta E}^w$  — składnik wiatowy; inne wskaźniki, jak przy  $\Delta E$ ;
- $\Delta e$  — spadek napięcia w jednym przewodzie w  $V$ ; w prądach trójfazowych — napięcia gwiazdowego;  $\Delta e^+$  — w przewodzie dodatnim;  $\Delta e^-$  — w ujemnym;  $\Delta e^0$  — w zerowym;  $\Delta e^1$  — w fazie 1; inne wskaźniki, jak przy  $\Delta E$ ;
- $\overline{\Delta e}$  — strata napięcia w jednym przewodzie w  $V$ ; w prądach trójfazowych — napięcia gwiazdowego; wskaźniki, jak przy  $\Delta E$ ,  $\overline{\Delta E}$ ,  $\Delta e$ ;
- $\Delta \varepsilon$  — spadek napięcia oświetleniowego lub silnikowego w  $V$ ; wskaźniki, jak przy  $\Delta E$ ;

- $\Delta I$  — spadek prądu przewodowego (różn. algebr.) w  $A$ ;  $(-\Delta I)$  — wzrost;  $\Delta I_{pr}$  — od punktu  $p$  do  $r$ ;  
 $\overline{\Delta I}$  — strata prądu przewodowego (różn. geometr.) w  $A$ ;  $(-\overline{\Delta I})$  — zysk;  $\overline{\Delta I}^a$  — od upływności;  $\overline{\Delta I}^e$  — od pojemności;  $\overline{\Delta I}_p$  — ześrodkowana w punkcie  $p$ ;  
 $\Delta P$  — strata mocy w torze lub linii w  $W$ ;  $\Delta P^a$  — od upływności wypadkowej;  $\Delta P^{iz}$  — o1 upływności przez izolację;  $\Delta P^{ul}$  — od ulotu;  $\Delta P^{his}$  — od histerezy dielektr.;  $\Delta P_{pr}$  — od punktu  $p$  do  $r$ ;  $\Delta P_{dzw}$  — dopuszczalna;  $\Delta P_{max}$  — największa;  
 $\Delta p$  — strata mocy w jednym przewodzie lub w jednym biegunie w  $W$ ;  $\Delta p_{A_1}$  — w przewodzie  $A_1$ ;  $\Delta p_A$  — w biegunie  $A$ ; inne wskaźniki, jak przy  $\Delta P$ .  
 $\Delta t^0$  — przyrost temperatury w  $^{\circ}C$ ;  $\Delta t^0_{dzw}$  — dopuszczalny;  
 $\Delta V$  — różnica napięć w  $V$ ;  
 $E$  — napięcie międzyprzewodowe w  $V$ ; w wielofazowych — skojarzone;  $E^1$ ,  $E^{12}$  — w fazie 1, 1-2;  $E^0$  — w stanie jałowym;  $E^z$  — w zwarcu;  $E_1$ ,  $E_2$  — 1) w punkcie 1, w punkcie 2; — 2) w sieci pierwotnej, wtórnej;  $E_p$  — w punkcie  $p$ ;  $E_{sr}$  — średnie;  $\hat{E}$  — symbol;  $E$  — wartość chwilowa;  
 $e$  — napięcie przewodu względem ziemi w  $V$ ; w trójfazowych — gwiazdowe;  $e+$  — w dodatniej połowie sieci;  $e-$  — w ujemnej;  $e^A$  — w fazie  $A$ ;  $e_{kr}$  — krytyczne;  $\hat{e}$  — symbol; inne wskaźniki, jak przy  $E$ ;  
 — 1) stała dielektryczna;  
 — 2) napięcie robocze (porównawcze) w  $V$ ;  $\varepsilon_1$  — oświetleniowe;  $\varepsilon_2$  — najwyższe między przewodami, — silnikowe;  
 $f$  — częstotliwość;  
 $G$  — przewodność toru lub linii w  $\Omega^{-1}$ ;  $G_{pr}$  — od punktu  $p$  do  $r$ ;  
 $g$  — przewodność jednego przewodu w  $\Omega^{-1}$ ; wskaźniki, jak przy  $G$ ;  
 $I$  — prąd przewodowy w  $A$ ;  $I^1$ ,  $I^{12}$  — w fazie 1, 1-2;  $I^A$  — w biegunie  $A$ ;  $I'$  — wyrównawczy;  $I^0$  — 1) w biegunie 0, — 2) w stanie jałowym;  $I^z$  — w zwarcu;  $I_p$  — w punkcie  $p$ ;  $I_0$  — 1) we pnium, — 2) w odcinku 0;  $I_2$ ,  $I_{II}$  — w odcinku 2, II;  $I_{pr}$ ,  $I_{12}$  — od punktu  $p$  do  $r$ , od punktu 1 do 2;  $I_{dzw}$  — dopuszczalny;  $I_{max}$  — największy;  $\hat{I}$  — symbol;  $I$  — wartość chwilowa;  
 $i$  — prąd odbierany lub prąd zasilania w  $A$ ;  $i^b$  — bezwatuowy;  $i^w$  — watowy;  $i'$  — składowy;  $i_p$  — przyłożony w punkcie  $p$ ;  $i_{pr}$  — przełożony z punktu  $p$  do  $r$ ;  
 $J$  — 1) największa światłość lampy w świecach;  
 — 2) gęstość prądu przewodowego w  $A/mm^2$ ;  $J_k$  — gospodarczo najkorzystniejsza;  
 $j$  — 1) prąd w układzie trójfazowym, płynący po boku trójkąta, w  $A$ ;  $j^{12}$  — w fazie 1-2;  $j_{dzw}$  — dopuszczalny;  
 — 2) różnica prądów w  $A$ ;  
 $k$  — przewodność właściwa w  $m/\Omega mm^2$ ;  $k^+$  — przewodu dodatniego;  $k^-$  — przewodu ujemnego;  $k_1$ ,  $k_2$  — 1) przewodu pierwszego, drugiego, 2) w sieci pierwotnej, wtórnej;  
 $L$  — indukcyjność wypadkowa toru lub linii w  $H$ ;  $L_{AA}$  — własna;  $L_1$  — wypadkowa toru 1;  
 $l$  — indukcyjność wypadkowa jednego przewodu lub bieguna w  $H$  ( $l'$  — w  $cm$ );  $l_{AA}$  — własna przewodu  $A$ ;  $l_{A_1}$  — wypadkowa przewodu  $A_1$ ;  $l_A$  — wypadkowa bieguna  $A$ ;  $l_1$  — w odcinku 1;



- $M$  — indukcyjność wzajemna toru w  $H$ ;  $M_{BA}$  — toru, złożonego z przewodów  $A$  i  $B$ ;  
 $m'$  — 1) indukcyjność wzajemna jednego przewodu w  $cm$ ;  $m'_{BA}$  — przewodu  $B$  na  $A$ ;  
 2) współczynnik, zależny od stanu powierzchni przewodu;  
 $\mu$  — przenikalność magnetyczna;  
 $P$  — moc prądu w  $W$ ;  $P'$  — prądu wyrównawczego;  $P_p$  — w punkcie  $p$ ;  $P_1$ ,  $P_2$  —  
 1) w odcinku 1, 2, — 2) w sieci pierwotnej, wtórnej;  $P_{pr}$  — prądu, płynącego od  
 punktu  $p$  do  $r$ ;  
 $p$  — 1) moc prądu odbieranego lub prądu zasilania w  $W$ ;  $p'$  — prądu składowego;  
 $p_p$  — prądu, przyłożonego w punkcie  $p$ ;  
 2) procent;  $p_e$  — spadku napięcia;  $\bar{p}_e$  — straty napięcia;  $p_w$  — straty mocy;  
 $Q$  — ładunek elektr. w  $cgs$ ;  $Q_A$  — przewodu  $A$ ;  
 $R$  — oporność toru lub linii w  $\Omega$ ;  $R_{zm}$  — dla prądu zmiennego;  $R_1$  — w odcinku 1;  
 $R_{pr}$  — od punktu  $p$  do  $r$ ;  
 $r$  — oporność jednego przewodu w  $\Omega$ ;  $r^0$ ,  $r^1$  — przewodu 0, 1;  
 $S$  — współczynnik linjowy;  $\hat{S}$  — symbol;  
 $T$ ,  $t$ ,  $\tau$  — czas w godzinach;  $T$  — czas trwania największych strat;  $\tau_i$  — czas użytko-  
 wania największego prądu;  $\tau_p$  — czas użytkowania największej mocy;  
 $t^0$  — temperatura w  $^{\circ}C$ ;  
 $u$  — w liniach dalekonośnych — oporność charakterystyczna linii (liczba zespolona);  
 $V$  — potencjał w  $cgs$ ;  $V_{AA}$  — własny przewodu  $A$ ;  $V_{BA}$  — wzajemny (wpływ prze-  
 wodu  $B$  na  $A$ );  $V_A$  — wypadkowy przewodu  $A$ ;  
 $v$  — w liniach dalekonośnych jeden ze współczynników (liczba zespolona);  
 $Z$  — oporność pozorna toru lub linii w  $\Omega$ ;  $Z^0$  — w stanie jałowym;  $Z^z$  — w zwar-  
 ciu;  $Z_{pr}$  — od punktu  $p$  do  $r$ ;  $\hat{Z}$  — symbol;  
 $z$  — oporność pozorna jednego przewodu lub jednego bleguna w  $\Omega$ ; wskaźniki,  
 jak przy  $Z$ ;  
 $\varphi$  — kąt przesuwu fazy;  $(+\varphi)$  — wyprzedzanie;  $(-\varphi)$  — opóźnianie się;  $\varphi^0$  —  
 w stanie jałowym;  $\varphi^z$  — w zwarciu;  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  — 1) w pierwszym odcinku,  
 w drugim, — 2) w sieci pierwotnej, wtórnej;  $\varphi_p$  — w punkcie  $p$ ;  $\varphi_{pr}$  — od  
 punktu  $p$  do  $r$ ;  
 $\omega$  — pulsacja  $= 2 \pi f$ .

### Wielkość matematyczne.

- $A$ ,  $B$  — człony liczbowe w równaniach;  $A$  — tyczą się sieci rzeczywistych;  $B$  —  
 umyślonych;  $A_1$ ,  $A_2$  ... równają się sumie prądów składowych (i odbioru), wy-  
 pływających z punktu 1, 2...  
 $a$ ,  $b$ ,  $c$  — 1) odległości między osiami przewodów w  $cm$ ;  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  ... odległości  
 przewodu  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $C_1$  .. od przewodu  $A_1$ ;  $a_1'$ ,  $b_1'$ ,  $c_1'$  ... odległości  
 odbitki zwierciadlanej przewodu  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$  od przewodu  $A_1$ ;  
 2) współczynniki liczbowe w równaniach;  $a$  — tyczą się sieci rzeczywis-  
 tych;  $b$  — umyślonych;  $a_{11}$ ,  $a_{22}$  — równają się sumie przewodności  
 boków, zbiegających się w punkcie węzłowym 1, 2;  $a_{12}$  — równa s<sub>12</sub>  
 przewodności boku 1-2;  
 3)  $c$  — wielkości stałe, niezmiennie;



- $\alpha, \beta$  — współczynniki liczbowe sieci foremných;  
 $D$  — średnica kabla, mierzona wewnątrz powłoki ołowianej, w  $cm$ ;  
 $d$  — średnica przekroju przewoźnika w  $cm$ ;  
 $\Delta v$  — poprawki;  
 $\delta$  — umyślony odstęp między przewoźnikami w  $cm$ ;  
 $e$  — podstawa logarytmów naturalnych;  
 $h$  — głębokość zakopania kabla w ziemi w  $cm$ ;  
 $j$  —  $\sqrt{-1}$ ;  
 $l$  — długość linii, toru (lub przewoźnika) w  $m$  (przy wyprowadzaniu wzorów teoretycznych — w  $cm$ ; w liniach dalekonośnych — w  $km$ );  $l_0, l_1, l_2$  — odcinka 0, 1, 2;  $l_1, l_2$  — w prądach stałych: długość toru zasilającego, boków sieci rozsyłowej;  $l_0, l_1, l_2$  — w prądach zmiennych: długość toru zasilającego, boków sieci pierwotnej i wtórnej;  $l_{pr}$  — od punktu  $p$  do  $r$ ;  
 $\lambda$  — umyślona długość toru w  $m$ ;  $\lambda_1$  — toru 1;  $\lambda_{ty}$  — od punktu  $t$  do  $y$ ;  
 $N$  — 1) liczba punktów zasilających albo stacji transformatorowych;  $N_1, N_2$  — w sieci pierwotnej, wtórnej;  $N_k$  — gospodarczo najkorzystniejsza;  
 2) chyb;  
 $n$  — liczba boków sieci;  
 $v$  — liczba boków, zasilanych z jednego punktu;  
 $r$  — promień przekroju przewoźnika w  $cm$ ;  
 $S$  — 1) obszar powierzchni, zajętej przez sieć, w  $m^2$ ;  $S_1$  — sieci pierwotnej;  $S_2$  — sieci wtórnej lub rozsyłowej;  
 2) obszar powierzchni zewnętrznej (płaszczka) przewoźnika w  $cm^2$ ;  
 $s$  — przekrój przewoźnika w  $mm^2$ ;  $s^+, s^-, s^0$  — dodatniego, ujemnego, zerowego;  $s_0, s_1, s_2$  — w odcinku 0, 1, 2;  $s_1, s_2$  — w prądach stałych: przekrój przewoźnika zasilającego, rozsyłowego;  $s_0, s_1, s_2$  — w prądach zmiennych: przekrój przewoźnika zasilającego, przewoźnika z sieci pierwotnej i wtórnej;  $s_{pr}$  — od punktu  $p$  do  $r$ ;  $s_k$  — gospodarczo najkorzystniejszy;  
 $\Sigma l$  — suma długości boków sieci w  $m$ ;  $\Sigma l_1$  — sieci pierwotnej;  $\Sigma l_2$  — sieci wtórnej lub rozsyłowej;  
 $V$  — objętość wszystkich przewoźników wspólnego toru w  $cm^3$ ;  
 $v$  — wartość niewiadomych  $x$ , podstawiona do równań;  
 $x, y$  — wielkości zmienne (np. długości toru) lub niewiadome (spadki napięcia w punktach węzłowych).

#### Wielkości gospodarcze.

- $a$  — współczynnik kosztu; koszt  $P = as + c$  (patrz ...  $P$ );  $a_1$  — w sieci pierwotnej;  $a_2$  — w sieci rozsyłowej lub wtórnej;  
 $b$  — koszt elektrowni na 1  $W$  największego obciążenia;  
 $\beta$  — koszt bezpośredni 1  $Wh$ , wysłanej z elektrowni;  
 $C$  — koszty zakładowe zakończenia toru na obu krańcach (wraz z urządzeniem punktu zasilającego); w prądach stałych:  $C_1, C_2$  — w torach zasilających, w sieci rozsyłowej; w prądach zmiennych:  $C_0, C_1, C_2$  — w torach zasil., sieci pierwotnej i wtórnej;  $C'$  — pojedynczego przewoźnika;  
 $c$  — współczynnik kosztu; koszt  $P = as + c$  (patrz ...  $P$ ); w prądach stałych:  $c_1, c_2$  — w torach zasil., w sieci rozsyłowej; w prądach zmiennych:  $c_0, c_1, c_2$  — w torach zasil., w sieci pierwotnej i wtórnej;

- $F$  — koszty zakładowe;  $F'$  — zależne od liczby punktów zasilających lub stacji transform.;  $F_p$  — przewodów;  $F_e$  — elektrowni;  $F_t$  — transformatorów;  $F_1, F_2$  — sieci pierwotnej, wtórnej;  $F_0$  — cena zakupu;  $F_n$  — wartość po upływie  $n$  lat;  $F_{\min}$  — najmniejsze;
- $f, g$  — współczynniki kosztu; koszt stacji transformatorowej o mocy  $p$  watów ...  $f + gp$ ;
- $K$  — roczne koszty ruchu lub przesyłania prądu;  $K'$  — zależne od liczby punktów zasilających lub stacji transf.;  $K_a$  — pośrednie;  $K_b$  — bezpośrednie;  $K_1$  — dla toru 1;  $K_{\min}$  — najmniejsze;
- $n$  — współczynnik gospodarczy;  $n_p$  — przewodzenia;  $n_e$  — wytwarzania;
- $P$  — koszt 1 m zainstalowanego przewodu o przekroju jednej żyły  $s$  mm<sup>2</sup>;  $P = as + c$ ;
- $p$  — procent;  $p_a$  — na umorzenie;  $p_r$  — na odnowienie;  $p_t$  — na utrzymanie;  $p_e$  — od kosztu elektrowni;  $p_p$  — od kosztu przewodów;
- $q$  — odsetka na oprocentowanie kapitału.

## Wskaźniki.

- $a, b, c, \dots, p, r, \dots, z$   
 1, 2, 3 ...  $\alpha$  albo  $\beta, \dots, n$  albo  $m$   
 $A, B, C$  (góra) — w biegunie  $A, B, C$ ;  
 $A, B, C$  (dół) — w biegunie  $A, B, C$ ;  
 $AA, BB, \dots$  (dół) — wpływ własny przewodu  $A, B, \dots$ ;  
 $BA, CA, \dots$  (dół) — wpływ przewodu  $B$  na  $A, C$  na  $A, \dots$ ;  
 $a, b, \dots$  (dół) — w punkcie  $a, b$  w punkcie  $b, \dots$ ;  
 $ab, bc, \dots$  (dół) — 1) w odcinku  $ab, bc, \dots$ ;  
 2) z punktu  $a$  do  $b, b$  do  $c, \dots$ ;  
 $a$  (dół) — 1) punkt zasilający;  
 2) (koszt) pośrednie;  
 3) na umorzenie;  
 $a$  (góra) — upływność;  
 $\alpha$  (dół) — znak ogólny na liczby:  
 1, 2, 3,  $\dots$ ;  
 $b$  (góra) — bezwzględny;  
 $b$  (dół) — (koszt) bezpośrednie;  
 $\beta$  (dół) — znak ogólny na liczby:  
 1, 2, 3,  $\dots$ ;  
 $c$  (góra) — pojemność;  
 $dzw$  (dół) — dopuszczalny;  
 $e$  (dół) — 1) elektrownia;  
 2) wytwarzanie;  
 $his$  (góra) — histereza diel.;  
 $i$  (dół) — prąd;  
 $iz$  (góra) — wpływ przez izolację;
- $k$  (dół) — gospodarczo najkorzystniejszy;  
 $kr$  (dół) — krytyczny;  
 $l$  (góra) — od indukcyjności własnej lub wypadk;  
 $m$  (góra) — od indukcyjności wzajemnej;  
 $m$  (dół) — po upływie  $m$  lat;  
 $max$  (dół) — największy;  
 $min$  (dół) — najmniejszy;  
 $n$  (dół) — po upływie  $n$  lat;  
 $p$  (dół) — 1) znak ogólny na litery  $a, b, c, d, \dots$ ;  
 2) moc;  
 3) przewody;  
 $pr$  (dół) — znak ogólny na  $ab, bc, cd, \dots$ ;  
 $r$  (góra) — omowy;  
 $r$  (dół) — odnowienie;  
 $sr$  (dół) — średni;  
 $t$  (dół) — 1) punkt węzłowy;  
 2) transformator;  
 3) utrzymanie;  
 $ul$  (góra) — ulot;  
 $v$  (dół) — napięcie;  
 $w$  (góra) — watowy;  
 $w$  (dół) — moc;  
 $y$  (dół) — umyślony kraniec toru;  
 $z$  (góra) — zwarcie;  
 $z$  (dół) — kraniec toru;  
 $zm$  (dół) — prąd zmienny;



## Zestawienie wzorów.

	Prąd stały i 1-fazowy.	Prąd 3-fazowy.
Uwagi ogólne.	Prąd stały; te same wzory, $\cos \varphi = 1$ . Układ trójprzewodowy; $E \dots$ napięcie podwójne; $\Delta E \dots \frac{3}{4}$ spadku napięcia podwójnego; $s_0 = \frac{1}{2} s$ .	Układ gwiazdowy; $\Delta e \dots \frac{3}{4}$ spadku nap. dopuszczalnego; $s_0 = \frac{1}{2} s$ ; Układ trójkątowy; $e = \frac{E}{\sqrt{3}}$ ; $\Delta e = \frac{\Delta E}{\sqrt{3}}$ .
Spadek napięcia; przekrój jednostajny	$s = \frac{2}{k \Delta E_{dzw}} \sum_{\alpha} \pm (i_p \cos \varphi_p) l_{pz}$	$s = \frac{1}{k \Delta e_{dzw}} \sum_{\alpha} \pm (i_p \cos \varphi_p) l_{pz}$
minimum objętości	$s_1 : \dots : s_n : \dots : s_n = \sqrt{I_1 \cos \varphi_1} : \dots : \sqrt{I_n \cos \varphi_n}$ $\lambda_3 = \sqrt{\frac{(I_3 \cos \varphi_3) l_{\varphi}^2}{I_n \cos \varphi_n}}$	
tor rozgałęziony	minimum $\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{\alpha=1}^{\alpha=n} (I_{\alpha} \cos \varphi_{\alpha}) l_{\alpha}^2}{\sum_{\alpha=1}^{\alpha=n} I_{\alpha} \cos \varphi_{\alpha}}}$ teoret.	minimum $\lambda = \frac{\sum_{\alpha=1}^{\alpha=n} (I_{\alpha} \cos \varphi_{\alpha}) l_{\alpha}}{\sum_{\alpha=1}^{\alpha=n} I_{\alpha} \cos \varphi_{\alpha}}$ przybl.
Strata mocy; przekrój jednostajny	$s = \frac{2}{k \Delta P_{dzw}} \sum_{\alpha} I_{pr}^2 l_{pr}$	$s = \frac{3}{k \Delta P_{dzw}} \sum_{\alpha} I_{pr}^2 l_{pr}$

Gospodarność; tor pojedynczy	$S_k = \dot{I}_{\max} \frac{\eta_e}{\eta_p}$	
kilka torów zasilających	$\Delta E_k = \frac{2 \eta_p \lambda}{k \eta_e}$	$\Delta e_k = \frac{\eta_p \lambda}{k \eta_e}$
	$\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{\alpha=1}^n (I_\alpha \cos \varphi_\alpha) I_\alpha^2}{\sum_{\alpha=1}^n I_\alpha \cos \varphi_\alpha}}$	
Punkty zasilające; przekrój jednostajny	$N = \sqrt[5]{\left( \frac{0,75 P S}{k s E \Delta E (\Sigma l)} \right)^4 n}$	$N = \sqrt[5]{\left( \frac{0,75 P S}{k s e \Delta e (\Sigma l)} \right)^4 n}$
Linje napo- wietrzne; pojemność	$l_{A_1} = 4,6 \left( \log \frac{\delta}{0,78 r_1} \right) 10^{-4} \dots H/km$ $c_{A_1} = \frac{0,0242}{\log \left( \frac{\delta}{r_1} \right)} \dots \mu F/km$ $\delta = \frac{b_1 b_2 \dots b_\alpha \dots b_n}{a_2 \dots a_\alpha \dots a_n}$	$\delta = \frac{\sqrt{b_1 b_2 \dots b_\alpha \dots b_n c_1 c_2 \dots c_\alpha \dots c_n}}{a_2 \dots a_\alpha \dots a_n}$
Kable; indukcyjność pojemność	$l_{A_1} = 4,6 \left( \log \frac{b}{0,78 r} \right) 10^{-4} \dots H/km$ $c_{A_1} = \frac{0,0242 \varepsilon}{\log \left[ \frac{b}{r} \cdot \frac{D^2 - b^2}{D^2 + b^2} \right]} \dots \mu F/km$	$c_{A_1} = \frac{0,0483 \varepsilon}{\log \left[ \frac{b^2}{r^2} \cdot \frac{(3 D^2 - 4 b^2)^3}{(4 b^2)^3} \right]} \dots \mu F/km$



## Sprostowanie.

	<i>Zamiast</i>	<i>Powinno być:</i>
23 rys. 19	$al_{ax}$	$ax$
42 rys. 35	$i_1 - i_l$	$i_1 - i_b$
64 rys. 47	(2)	(2')
67 16 w. od dołu	$1 \frac{m}{\Omega \text{ mm}^2} = 1 \text{ mm}$	$1 \Omega^{-1} = 1 \text{ mm}$
70 rys. 53	(2)	(2')
142 tabl. V	$300 \text{ mm}^2 \dots 540 \text{ A}$	$300 \text{ mm}^2 \dots 525 \text{ A}$
161 rys. 107	$s$	$s_2$
185 rys. 125-III	$+ 36^\circ 30'$	$+ 36^\circ 50'$
189 rys. 128	$\overline{bc} = \Delta E_{as}$	$\overline{bc} = \Delta E_{as}$
214 rys. 137	$+ 36^\circ 30'$	$+ 36^\circ 50'$
215 rys. 138	$+ 36^\circ 30'$	$+ 36^\circ 50'$

## Literatura.

### Literatura w języku niemieckim.

- C. Hohenegg. „Anordnung und Bemessung el. Leitungen“; wydanie II-gie; 1897 r.  
Rzecz przestarzała; traktuje obszernie metodę wykreślną i obliczanie na gospodarność.
- J. Herzog & C. Feldmann. „Die Berechnung elektrischer Leitungsnetze“; wydanie III-cie; Berlin; 1921.  
Dzieło obszerne, obejmujące całokształt przedmiotu. Wykład niepedagogiczny.
- B. Soschinski. „Berechnung von Leitungsnetzen“; Lipsk; 1910.  
Podręcznik dość obszerny w ujęciu niepedagogicznym.
- Phil. Häfner. „Stromverteilungssysteme und Berechnung elektrischer Leitungen“; wydanie II.  
Podręcznik przystępny dla szkół technicznych.
- Herbert Kyser. „Die elektrische Kraftübertragung“; wydanie II-gie; Berlin; 1921.  
Rozdział 1-szy tomu II-lego omawia dość gruntownie obliczanie linii daleko-  
nośnych.
- J. Telchmüller. „Die elektrischen Leitungen“ Sztutgard.
- H. Gallusser & M. Hausmann. „Theorie und Berechnung el. Leitungen“; Berlin; 1897,  
Broszurka niewielka, przystępna, a pełna treści.
- Dr G. Roessler. „Die Fernleitung von Wechselströmen“; Berlin; 1905.  
Dzieło omawia analityczne obliczanie linii daleko-  
nośnych.
- Dr C. Breitfeld. „Berechnung von Wechselstrom-Fernleitungen“; wydanie II-gie; Brun-  
świk.  
Popularyzacja dzieła G. Roesslera.
- Dr Helmuth Eimer. „Die wirtschaftlich günstigste Spannung für Fernübertragungen  
mittels Freileitungen“; Berlin; 1914.  
Praca doktorska. Wykreślne ujęcie przedmiotu.
- Dr W. Majerczik. „Die Berechnung el. Freileitungen nach wirtschaftlichen Ge-  
sichtspunkten“.  
Praca doktorska.

### Literatura w języku francuskim.

- E. Gérard. „Leçons sur l'électricité“; tom II-gi; Paryż. Obliczanie przewodów po-  
traktowane dość pobieżnie, a niezbyt przystępnie.
- R. Swyngedauw. „Le courant alternatif. — Lignes de transmissions“; Paryż.

- W. E. Goldsborough. „Distribution par courants alternatifs“; tłumaczył H. De Vorgès; Paryż
- J. A. Montpellier et F. A. C. Perrine. „La construction et l'établissement des canalisations électriques industrielles“; Paryż.
- V. Neveux. „Stations Centrales“; tom II i III; Paryż.
- C. Gruet. „Transport et distribution de l'énergie“; Paryż.
- Teichmüller. „Canalisations électriques“; tłumaczył P. Breuil; Paryż.
- P. Maurer. „Calcul pratique des conducteurs dans les installations électriques“; Paryż.  
Podręcznik traktuje tylko tory otwarte i nadaje się przy projektowaniu nie-wielkich urządzeń.
- J. Pionchon et Th. Heilmann. „Guide pratique pour le calcul des lignes électriques aériennes à courants alternatifs simples et triphasés“; Paryż.
- G. Roessler. „Lignes à courants alternatifs“; tłumaczył E. Steinmann; Paryż.

---

## Inne wydawnictwa autora.

- Ein neues System zur Bekämpfung von Grubenbränden von J. Krzyżanowski und S. Wysocki; Berlin; 1903 (wyczerpane).
- Nouveau système pour combattre les incendies dans les mines par J. Krzyżanowski et St. Wysocki. Paris; 1904 (wyczerpane).
- Urządzenia elektryczne do siły i światła. Podręcznik kieszonkowy elektrotechniki praktycznej z uwzględnieniem montażu, dozoru i obsługi, ułożył Stanisław Odrowąż Wysocki. Wydanie trzecie uzupełnione; Gebethner i Wolff; 295 str.; 235 rys.
- Opisowy słowniczek elektrotechniczny. Wydawnictwo „Koła Elektrotechników“; (wyczerpane).
- Kalendarz Elektrotechniczny na rok 1922 i 1923 redagował prof. St. Odrowąż Wysocki. Wydawnictwa rok drugi.
- Terminy elektrotechniczne. Wydawnictwo „Przeglądu Elektrotechnicznego“; (wyczerpane).
- Przepisy i normy elektrotechniczne „Związku Elektrotechników Niemieckich“, przetłumaczone pod redakcją Stanisława Odrowąż Wysockiego. Wydawnictwo „Związku Elektrowni Polskich“; 363 str.