ELEKTROTECHNIKA.

Obliczanie dalekonośnych przewodów prądu zmiennego

według prof. d-ra G. Roesslera.

Podał **Stanisław Wysocki**, dypl. inż. elektr.

(Dokończenie do str. 121 w № 13—16 r. b.)

4) Projektowanie.

W przykładzie (2) mieliśmy dane napięcie odbiornika i przekrój przewodu, a obliczaliśmy napięcie elektrowni. Obecnie postawimy sobie zadanie odwrotne i przyjmiemy, jako dane napięcie elektrowni i dopuszczalny spadek, a obliczymy przekrój przewodnika.

Przykład 3. Odbiornik czerpie 400 kW przy cos $\varphi = 0{,}8$. Prąd trójfazowy o 50 okresach na sekundę. Długość kabla 50 *km*. Napięcie międzyprzewodowe w elektrowni 10 000 V. Dopuszczalny spadek napięcia 8%. Obliczyć przekrój.

Według danych fabrycznych, kable przy 50 *km* długości i 50 okresach na sekundę wykazują:

Kabel №	mm^2	R^0_{50}	φ^0_{50}	R^k_{50}	φ^k_{50}	c_{50}
1	3 × 10	488,7 Ω	—86°19′22″	91,0 Ω	+ 1°12′44″	0,995
2	3 × 16	444,0 „	—87°32′14″	56,30 „	+ 4°41′20″	0,994
3	3 × 25	394,2 „	—88° 9′ 7″	36,47 „	+ 8° 1′21″	0,993
4	3 × 35	367,2 „	—88°35′ 2″	26,36 „	+11°32′28″	0,993
5	3 × 50	343,8 „	—88°55′17″	18,80 „	+16° 6′47″	0,992
6	3 × 70	322,8 „	—89°14′15″	13,86 „	+21°39′ 9″	0,992
7	3 × 95	307,2 „	—89°22′27″	10,73 „	+27°30′52″	0,992
8	3 × 120	296,5 „	—89°24′21″	8,92 „	+32°27′25″	0,992

Napięcie gwiazdowe na elektrowni

$$E_{50} = 10\,000 : 1{,}73 = 5773 \text{ V}.$$

Dopuszczalny spadek napięcia

$$0{,}08 \,.\, 5773 \cong 463 \text{ V}.$$

Napięcie gwiazdowe odbiornika

$$E_0 = 5773 - 463 = 5310 \text{ V},$$

odpowiedni kąt przyjmujemy = 0.

Prąd przewodowy odbiornika

$$I_0 = \frac{400\,000}{3 \,.\, 0{,}8 \,.\, 5310} = 31{,}4 \text{ A},$$

odpowiedni kąt = — 36° 52′, gdyż cos (— 36° 52′) = 0,8.

Obliczymy straty napięcia $I_0 R^k_{50}$, jakieby wypadły przy zastosowaniu powyżej wyliczonych ośmiu kabli.

Kabel №	$I_0 R^k_{50}$	Odpowiedni kąt
1	31,4 . 91,00	— 36° 52′ + 1° 12′ 44″
2	31,4 . 56,30	— 36° 52′ + 4° 41′ 20″
3	31,4 . 36,47	— 36° 52′ + 8° 1′ 21″
4	31,4 . 26,36	— 36° 52′ + 11° 32′ 28″
5	31,4 . 18,80	— 36° 52′ + 16° 6′ 47″
6	31,4 . 13,86	— 36° 52′ + 21° 39′ 9″
7	31,4 . 10,73	— 36° 52′ + 27° 30′ 52″
8	31,4 . 8,92	— 36° 52′ + 32° 27′ 25″

Zadanie nasze rozwiążemy przez wykreślenie trójkąta o bokach: E_0, $I_0 R^k_{50}$ i $\frac{E_{50}}{c_{50}}$. Znane nam są boki E_0 i $\frac{E_{50}}{c_{50}}$, nieznany jest tylko bok $I_0 R^k_{50}$. Odkładamy (rys. 7) $AB = E_0 = 5310$, kreślimy promienie $B1$, $B2$, $B3$, $B4$, $B5$, $B6$, $B7$ i $B8$ równe stratom napięcia $I_0 R^k_{50}$ dla powyższych ośmiu kabli, zachowując odpowiednie kąty pomiędzy tymi promieniami a przedłużeniem linii AB. Wreszcie zataczamy łuk z punktu A o promieniu

$$\frac{E_{50}}{c_{50}} = \frac{5773}{\infty\ 0{,}992} \cong 5820.$$

Gdyby łuk przechodził akurat przez którykolwiek z punktów, zadanie byłoby już rozwiązane. W danym jednak wypadku łuk przechodzi pomiędzy dwoma punktami: 5-ym i 6-ym. Musimy wybierać między kablem № 5 a kablem № 6. Pierwszy—da nam spadek napięcia większy, niż projektowaliśmy, drugi—da spadek mniejszy. Wybieramy kabel № 6 o przekroju

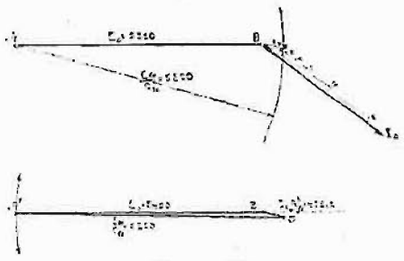
$$3 \times 70 \ mm^2.$$

Mając już obliczony przekrój, sprawdzimy, jakie wypadnie napięcie przy odbiorniku. W tym celu wykreślimy raz jeszcze trójkąt o bokach: E_0, $I_0 R^k_{50}$ i $\frac{E_{50}}{c_{50}}$. Wyznaczywszy kierunek linii $A'B$ i odłożywszy pod właściwym kątem (—15°12′51″) odcinek $B6 = I_0 R^k_{50} = 435{,}2$, zataczamy łuk z punktu 6 o promieniu

$$\frac{E_{50}}{c_{50}} = \frac{5773}{0{,}992} = 5820$$

i na przecięciu z kierunkiem linii $A'B$ znajdujemy punkt A'. Długość odcinka $A'B$ przedstawia nam napięcie gwiazdowe odcinka:

$$A'B = E_0 = 5400 \text{ V}.$$



Rys. 7 i 8.

Jak widzimy, sposób projektowania przewodu według d-ra Roesslera jest nadzwyczaj prosty i praktyczny. Szczególnie nadaje się do kabli, gdyż niezbędne do projektowania dane można zawsze otrzymać z fabryki kablowej. Gorzej jest z przewodami napowietrznymi. Chcąc zastosować metodę d-ra Roesslera do przewodów napowietrznych, wypadałoby przeprowadzić cały szereg pomiarów przy różnych przekrojach przewodnika, różnych rozpiętościach, różnych odstępach pomiędzy przewodnikami i przy rozmaitych izolatorach, a następnie ułożyć odpowiednie tablice oporów pracy jałowej, oporów zwarcia i współczynników przewodnikowych. Dopóki tablice takie nie będą opracowane, metody Roesslera nie da się stosować do przewodów napowietrznych.

5) Sprawność.

Pod sprawnością przewodu rozumiemy stosunek mocy prądu, oddawanego odbiornikowi do mocy prądu, czerpanego ze źródła. Przy prądzie stałym o sprawności możemy sądzić z liczby spadku napięcia: przy 10% spadku mamy sprawność 90%, przy 15% spadku—sprawność 85% i t. p. Natomiast przy prądzie zmiennym spadek napięcia nie ilustruje sprawności.

Jeżeli w pewnym przewodzie zmieniać będziemy obciążenie od zera wzwyż, to przy prądzie stałym sprawność spadać będzie równomiernie, poczynając od 100%, natomiast przy prądzie zmiennym będzie wzrastać, poczynając od 0% (praca jałowa), osiągnie pewne maximum i zawróci ku dołowi. Dr. Roessler badał warunki, przy których przewód pracuje z maksymalną sprawnością i dowiódł, iż w tym wypadku:

1) iloraz napięcia przez prąd na początku przewodu musi się równać ilorazowi napięcia przez prąd na końcu przewodu;

2) kąt przesunięcia fazy pomiędzy napięciem a prądem na początku przewodu musi się równać kątowi na końcu przewodu, lecz mieć znak odwrotny.

Inaczej mówiąc, opory na początku i końcu przewodu muszą być równe; a poza tem, o ile prąd przy odbiorniku opóźnia się względem napięcia, to przy źródle winien o taki sam kąt wyprzedzać napięcie. Niestety, warunek ten wymaga zastosowania przewodników o nadmiernie wielkich przekrojach. Szczególnie dotyczy to kabli. Przy dalekonośnych liniach kablowych trzeba wybierać jedno z dwojga albo 1) wysoką sprawność przy małej gęstości prądu, a więc przy wielkich kosztach zakładowych, albo odwrotnie 2) należyte wyzyskanie przekroju przewodnika przy małej sprawności.

Dr. Roessler wyprowadził z tego wniosek, iż linie kablowe wysokiego napięcia bez dodatkowych urządzeń regulacyjnych mogą się opłacać tylko do 50 *km*, a maximum— 100 *km* długości.

BIBLIOGRAFIA.

Polska literatura elektrotechniczna [1]).

Bogucki J. Przydatność teoryi Kappa przy projektowaniu maszyn dynamo. Lwów, 1890.

Brownsford S. Zastosowanie elektryczności w gospodarstwie rolnem. Poznań, 1909.

* *Desbeaux E.* Tajemnice wiedzy w dziedzinie fizyki. Warszawa, 1892.

Doliński F. Układ elektromagnetyczny jednostek elektrycznych.

* *Drewnowski K., Sikorski M., Tymowski J.* Szkolnictwo elektrotechniczne, jego zadania i organizacya. Warszawa, 1917.

* *Gnoiński K.* Elektryczność w gospodarstwie społecznem. Warszawa, 1917.

Gostkowski R. Przesyłka siły zapomocą prądów elektrycznych. Lwów.

* *Gerard E., de Bast O.—Kamieński J.* Elektryczność w zadaniach. Warszawa, 1917.

* *Günther W.* Motor elektryczny w drobnym przemyśle. Lwów, 1917.

* *Jentsch O.—Sporzyński K.* Sygnalizacya elektryczna domowa. Warszawa, 1917.

Mościcki J. Badania nad wytrzymałością dielektryków.

Mościcki J. i *Altenberg M.* O stratach dielektrycznych w kondensatorach pod wpływem działania prądów przemiennych. Kraków, 1904.

Pożaryski M. Oscylograf i jego zastosowanie. Warszawa, 1913.

Rudnicka Z. Jakie pożytki mamy z elektryczności. Warszawa, 1914.

Siwicki K. Elektryczność jako źródło siły i światła w rolnictwie. Kraków, 1917.

* *Tymowski J.* Elektryfikacya wsi i widoki na przyszłość w tej dziedzinie dla Królestwa Polskiego. Warszawa, 1917.

J. T—i.

[1]) *Przegląd Techniczny*, r. 1917, str. 49.

* Książki znajdują się w bibliotece Stowarzyszenia Techników w Warszawie.

NOTATKI TECHNICZNE.

Wykres obciążenia małej elektrowni prowincyonalnej.

Pomiary obciążenia, których wyniki zestawione są poniżej w tablicy i na wykresie, wykonane były w jednej z małych elektrowni prowincyonalnych, jakich powstało u nas w ostatnich czasach kilkadziesiąt i z których większość pracuje w bardzo podobnych warunkach.

Obciążenie mierzone było w końcu sierpnia 1917 r. w ciągu czterech dni na tablicy rozdzielczej w elektrowni.

Elektrownia była uruchomiona przed dwoma miesiącami (w czerwcu) i w przyłączeniach nie osiągnęła jeszcze swego maximum. Czynna była w tym czasie od godz. 8-ej wiecz. do 12-ej w nocy.

Mierzone było co kwadrans natężenie prądu przy prawie stałem napięciu. Otrzymane z przemnożenia amperów przez wolty (prąd stały) kW zestawione są w tablicy poniższej.

Godziny	Piątek kW	Sobota kW	Niedziela kW	Poniedziałek kW
8	15,3	13,2	8,2	18,8
8^{15}	21,0	16,5	15,3	23,0
8^{30}	23,5	18,8	21,0	24,7
8^{45}	23,5	23,5	23,5	**26,0**
9	23,5	27,0	24,7	26,0
9^{15}	**28,3**	**28,3**	24,7	26,0
9^{30}	24,7	28,3	24,7	23,5
9^{45}	23,5	27,0	25,5	23,5
10	23,5	27,0	**26,0**	23,0
10^{15}	23,5	26,0	24,7	22,3
10^{30}	23,5	25,5	22,4	21,0
10^{45}	22,3	21,2	20,0	20,0
11	20,0	18,8	16,5	16,5
11^{15}	17,6	15,3	14,1	13,0
11^{30}	16,5	12,9	11,8	10,6
11^{45}	14,6	10,6	7,0	7,0
12	13,6	7,0	4,7	4,7
kW średnio	21,0	20,5	18,5	19,4
$\frac{\text{kW śr.}}{\text{kW max}}$	$\frac{21}{28,3}=0,743$	$\frac{20,5}{28,3}=0,725$	$\frac{18,5}{26}=0,712$	$\frac{19,4}{26}=0,746$
$\frac{\text{kW max}}{\text{kW przyłącz.}}$	$\frac{28,3}{40,5}=0,7$	$\frac{28,3}{40,5}=0,7$	$\frac{26}{40,5}=0,642$	$\frac{26}{40,5}=0,642$
$\frac{\text{kW średn}}{\text{kW przyłącz.}}$	$\frac{21}{40,5}=0,52$	$\frac{20,5}{40,5}=0,506$	$\frac{18,5}{40,5}=0,457$	$\frac{19,4}{40,5}=0,48$

W trzech dalszych rubrykach tablicy podane zostały współczynniki, określające stosunek

$$\frac{\text{kW średn.}}{\text{kW max.}},\ \frac{\text{kW max.}}{\text{kW przyłączonych}},\ \frac{\text{kW śred.}}{\text{kW przyłączonych}}.$$

Współczynniki te charakteryzują do pewnego stopnia warunki, w jakich pracuje wspomniana elektrownia i mogą służyć za wskazówkę przy projektowaniu i obliczaniu rentowności podobnych elektrowni. Zaznaczyć tu należy, że w przyłączaniu instalacyi nie stosowano żadnych ograniczeń co do liczby lampek w jednym lokalu i liczby te nie były bynajmniej małe. Wysokość tych współczynników należy więc wyjaśnić tem, że oświetlenie elektryczne było dla mieszkańców miasteczka nowością, z której korzystali skwapliwie, nie licząc się na razie z kosztami. Drugim zaś czynnikiem było częściowe stosowanie taryfy ryczałtowej.

Linia I wyobraża zmiany obciążenia mierzone w piątek, II—w sobotę, III w niedzielę, IV—w poniedziałek. Linie te różnią się mało jedna od drugiej, jedynie w niedzielę daje się zauważyć pewne przesunięcie maximum na godzinę późniejszą (10).

Na zasadzie powyższych danych można w pewnem przybliżeniu obliczyć współczynnik jednoczesności palenia się lamp w instalacyach opłacających zużytą energię według taryfy ryczałtowej.

Przyłączenia składały się z następujących grup:

1) Oświetlenie ulic i zabudowań elektrowni ok. 5,5 kW
2) Oświetlenie lokali prywatnych (z licznikami) „ 9,0 „
3) Kinematograf [1]). . . . . „ 2,5 „
4) Oświetlenie instytucyi miejskich i rządow. „ 12,0 „
5) Oświetlenie lokali pryw. (bez liczników— taryfa ryczałtowa) . . . . . „ 11,5 „

Ogółem . . . ok. 40,5 kW

Rozpatrzmy teraz, w jakim stopniu grupy te składały się na maximum obciążenia zaobserwowanego w sobotę, t. j. 28,3 kW. Pierwsza grupa, t. j. oświetlenie ulic i elektrowni— w całości.

[1]) W czasie wykonywania pomiarów, kinematograf czynny był w sobotę.