ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Nr 98 Elektryka z. 17 1964

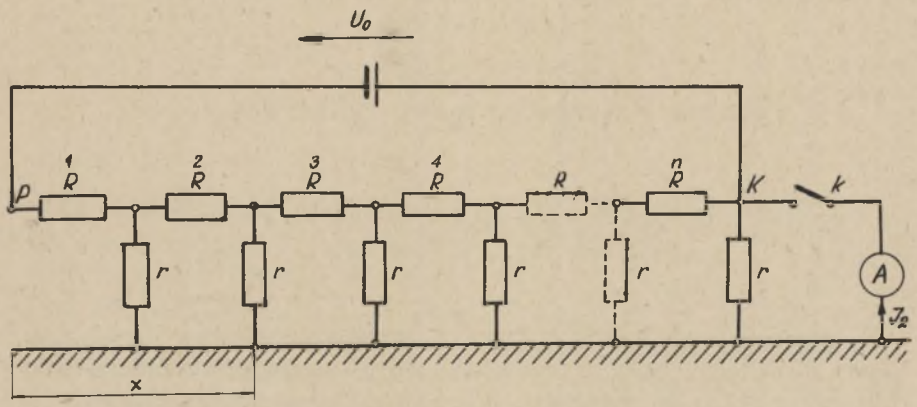
JERZY ZYGMUNT
Katedra Elektrotechniki Ogólnej A

POMIAR STRAT MOCY NA UPŁYWNOŚCIACH WANIEN W ELEKTROLIZERNIACH

Streszczenie: W artykule przeprowadzono dyskusję nad sposobem pomiaru strat mocy na doprowadzeniach elektrolitu do wanien. Wielkość tych strat trudna jest do oszacowania, ponieważ nieznane są wartości oporności upływów, na których one powstają.

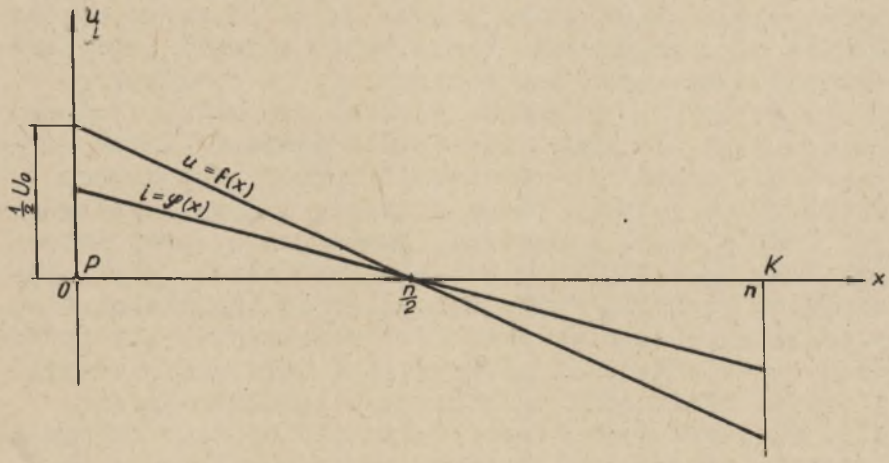
W praktyce przemysłowej określa się zazwyczaj wydajność elektrolizerów dzieląc ilość otrzymanego produktu elektrolizy przez całkowitą energię pobraną przez wszystkie wanny w hali elektrolizerów. Straty na ciepło w podłużnych połączeniach można prosto określić przez pomiar przekrojów szyn prądowych. Pewna część energii jest jednak tracona w kierunku poprzecznym tj. na doprowadzeniach np. solanki w przypadku elektrolizy NaCl. Wielkość tych strat jest nieznana. Ustawienie poszczególnych wanien na izolatorach nie rozwiązuje sprawy, gdyż gumowe doprowadzenia w dalszym ciągu stanowią upływy, wielkość których trudno nawet oszacować. Pomiar tych strat interesował jednego z użytkowników elektrolizerni, gdyż wielu ekspertów zwracało uwagę na możliwość ich uniknięcia, a tym samym zwiększenia sprawności urządzenia. Aby przedsięwzięcie jakichkolwiek inwestycji w celu zmniejszenia strat upływu miało sens praktyczny należało najpierw określić wielkość tych strat. Celem niniejszego artykułu jest podanie sposobu ich pomiaru oraz uzasadnienie wybranej metody.

Szereg wanien w hali elektrolizerów można traktować jako szereg czwórników połączonych posobnie i zasilanych ze źródła napięcia stałego izolowanego od ziemi. Schemat zastępczy przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Zastępczy schemat szeregu wanien w elektrolizerni

Oznaczenia: R - opór zastępczy pojedynczej wanny,
r - opór upływu, n - liczba wanien



Rys.2. Uproszczone, ciągłe rozkłady napięcia i liniowej gęstości prądu wzdłuż szeregu wanien

Oznaczenia: u = f(x) - rozkład napięć, i = φ(x) - rozkład gęstości prądu

Rozkład napięć poszczególnych wanien w stosunku do ziemi w funkcji odległości x mierzonej od punktu P wzdłuż szeregu przedstawia linię prostą (rys.2). Sprawdzony na drodze pomiarowej odpowiada rozkładowi spodziewanemu. Potwierdza on słuszność założenia praktycznie identycznych warunków upływnościowych poszczególnych wanien. Przez opory upływowe wanien oznaczonych numerami kolejnymi od 1 do $\frac{n}{2}$ prądy wpływają do ziemi, powracają natomiast przez opory oznaczone numerami $(\frac{n}{2} + 1)$ do n. Przepływ tych prądów powoduje straty, których wielkość chcemy określić. Obliczenie strat byłoby możliwe, gdyby znane było równanie $i = \varphi(x)$ liniowej gęstości prądu upływu. Powierzchnia zawarta pod prostą $i = \varphi(x)$ w przedziale $(0, \frac{n}{2})$ jest proporcjonalna do sumarycznego prądu wpływającego do ziemi. Określenie tego prądu związanego z wartością początkową relacją:

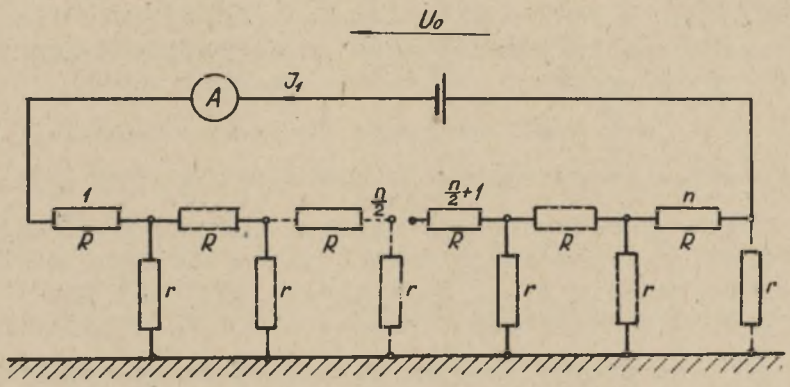
$$I_o = \frac{1}{2} i (0) \cdot \frac{n}{2} \qquad (1)$$

w pełnym układzie odpowiadającym warunkom ruchowym jest niemożliwe. Można tego dokonać w innych układach.

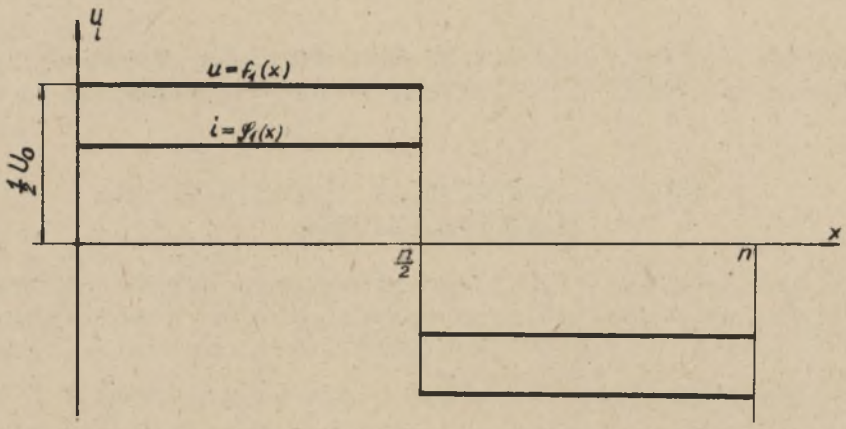
1. Układ z rozłączeniem obwodu głównego w środku szeregu

W układzie tym (rys.3) po przerwaniu obwodu głównego, napięcia na poszczególnych oporach upływu w stosunku do ziemi będą praktycznie jednakowe. Będą one wynosiły 0,5 U dla wanien od 1 do $\frac{n}{2}$ i - 0,5 U dla wanien od $\frac{n}{2} + 1$ do n. Założenie to jest słuszne, ponieważ spełniona jest zależność $R \ll r$. Rozkład napięć i prądów przedstawiono na rys.4.

W układzie przedstawionym na rys.3 pomiar prądu amperomierzem włączonym w szereg ze źródłem zasilania daje wartość proporcjonalną do powierzchni zawartej pod prostą $i = \varphi_1(x)$. Z porównania powierzchni zawartych pod



Rys.3. Układ do pomiaru strat upływu przy rozłączaniu obwodu głównego w środku szeregu



Rys.4. Rozkład napięcia i gęstości prądu upływu po przerwaniu obwodu głównego wzdłuż szeregu wanien

Oznaczenia: $u = f_1(x)$ - rozkład napięć, $i = \varphi_1(x)$ - rozkład liniowej gęstości prądów upływu

prostymi $i = \varphi(x)$ w rzeczywistym układzie pracy i powierzchni pod prostą $i = \varphi_1(x)$ wynika, że prąd I_1 (dający się zmierzyć) jest związany z wartością I_o następującą relacją:

$$I_1 = 2\, I_o = i(0) \cdot \frac{n}{2} \qquad (2)$$

Z relacji tej łatwo już można otrzymać równanie $i = \varphi(x)$, ponieważ

$$i\,(0) = \frac{2I}{n}\,1 \qquad (2a)$$

Stosowanie tej metody dla określania równania $i = \varphi(x)$ wymaga:

a) przerwania procesu produkcyjnego, co w wielu wypadkach jest niemożliwe do zrealizowania,

b) w czasie pomiaru przerwana zostaje elektroliza, a w związku z tym zmieniają się znacznie wartości upływów z przyczyn chemicznych. Mogłoby to wprowadzić dodatkowy błąd. Omówiony układ daje teoretycznie poprawną odpowiedź na postawione zagadnienie.

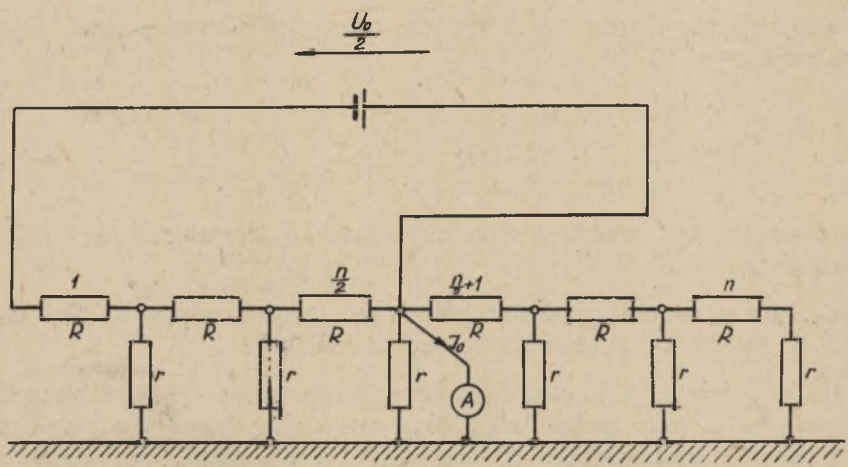
2. Układ z zasileniem połowy szeregu wanien połową napięcia i uziemieniem środkowego punktu szeregu

Układ ten (rys.5) byłby najbardziej odpowiednim, ponieważ rozkład napięć na połówce szeregu byłby identyczny jak w rzeczywistym układzie podczas pracy. Prąd mierzony przez amperomierz daje tu bezpośrednio wartość I_o związaną z $i(0)$ w rzeczywistym układzie relacją (1).

Stosowanie tej metody dla określenia równania $i = \varphi(x)$ wymaga:

a) przerwania procesu produkcyjnego dla dokonania przełączeń,

b) wykonania prowadzenia kabla wielkoprądowego do środka szeregu wanien, co byłoby już poważną inwestycją dyskwalifikującą praktyczną przydatność układu. Z powyższych powodów metoda ta mimo, że najpoprawniejsza teoretycznie jest praktycznie nierealna.



Rys.5. Układ do pomiaru strat upływu z uziemieniem środka szeregu wanien i zasilaniem połowy szeregu napięciem $0,5\ U_0$

3. Układ z uziemieniem końca szeregu wanien przy normalnej pracy

Zasilanie szeregu wanien ze źródła izolowanego od ziemi sprawia, że uziemienie jakiegokolwiek punktu tego szeregu nie zmienia warunków jego pracy. Zmieni się natomiast rozkład napięć w stosunku do ziemi, a wraz za tym i rozkład gęstości prądu upływu. Rozkłady tych wielkości po uziemieniu szeregu wanien w punkcie K (według oznaczeń z rys.1) przedstawiono na rys.6.

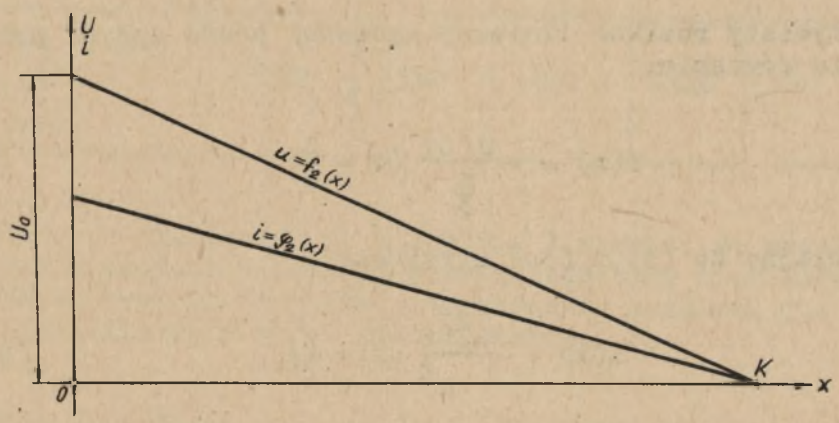
W tym przypadku wszystkie prądy wpływają do ziemi, a powracają do źródła zasilania przez przewód uziemiający. Pomiar prądu powrotnego nie nastręcza żadnych trudności.

Wartość tego prądu proporcjonalna jest do powierzchni zawartej pod prostą $i = \varphi_2(x)$. W normalnym stanie pracy prąd wpływający do ziemi jest czterokrotnie mniejszy od prądu zmierzonego przy uziemieniu szeregu wanien w punkcie K (z porównania powierzchni).

$$I_2 = 4\ I_o = i(0)\ .\ n \tag{3}$$

$$i(0) = \frac{I_2}{n} \tag{3a}$$

gdzie I_2 jest prądem zmierzonym przez amperomierz A na rys.1.



Rys.6. Rozkład napięcia i gęstości prądu wzdłuż szeregu wanien po zamknięciu wyłącznika k w układzie z rys.1.

Stosowanie tej metody wymaga upewnienia się czy w układzie zasilania nie istnieją przypadkowe doziemienia. Ich obecność przy dużych wartościach ich oporności jest źródłem błędów pomiarowych, przy małych - może doprowadzić do poważnych awarii. Należy wykluczyć także istnienie

trwałego uziemienia którejkolwiek z wanien przez pomiar rozkładu napięć w stosunku do ziemi i rozpoczynania prób uziemiania kolejno wzdłuż szeregu, począwszy od środka. Najważniejszą zaletą powyższej metody jest to, że nie wymaga ona przerwy w ruchu i żadnych przełączeń w obwodzie głównym.

4. Obliczenie strat

Podane wyżej metody pomiarowe pozwalają określić równanie liniowej gęstości prądu upływu dając tym samym wartość i(0) wg (1), (2a), (3a).

Rzeczywisty rozkład napięcia łatwy do skontrolowania pomiarowego określa równanie:

$$U(x) = -\frac{U_o}{n}\left(x - \frac{n}{2}\right) \tag{4}$$

Rzeczywisty rozkład liniowej gęstości prądu upływu przedstawia równanie:

$$i(x) = -\frac{i(0)}{\frac{n}{2}}\left(x - \frac{n}{2}\right) \tag{5}$$

Wstawiając do (5) z (3a) otrzymamy:

$$i(x) = -\frac{2I_2}{n^2}\left(x - \frac{n}{2}\right) \tag{5a}$$

Moc stracona w oporach upływu będzie sumą strat na poszczególnych odcinkach dx.

$$P_u = \int_o^n \frac{U_o}{n}\left(x - \frac{n}{2}\right) \cdot \frac{2I_2}{n^2}\left(x - \frac{n}{2}\right) dx = \frac{U_o I_2}{6} \tag{6}$$

Wzorem (6) można posługiwać się nie tylko w metodzie 3, dla której go wyprowadzono, lecz także w 1 i 2 pamiętając, że:

$$I_2 = 2I_1 = 4I_o \tag{7}$$

5. Wyniki pomiarów

Pomiary strat upływu przeprowadzono ostatnią z omawianych metod w elektrolizerni NaCl złożonej ze 100 wanien. Otrzymane wyniki zestawiono w tablicy nr 1.

Tablica 1

Wyniki pomiarów strat upływu w elektrolizerni NaCl

Prąd główny [kA]	10	11	12	13	14
Nap. zasil. U_o [V]	480	488	498	515	535
Sredni prąd upł. I_o [A]	39	41	46	62	64
Strata mocy P_u [W] (wzór)	3120	3330	3820	5320	5700

Z pomiarów przytoczonych w tablicy 1 wynika, że straty na upływnościach w podanym przykładzie były niewielkie. W tym konkretnym przypadku inwestowanie urządzeń dla zmniejszenia tych strat jest niecelowe.

Rękopis złożono w redakcji w maju 1963 r.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ НА ПРОВОДИМОСТИ ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ОТДЕЛЕНИЯХ

Содержание

В статье произведено обсуждение способа измерения потерь мощности на подводах электролита к ваннам. Оценить размер этих потерь затруднительно ввиду того, что неизвестны значения сопротивления утечек, на которых они образуются.

LA MESURE DES PERTES DE LA PUISSANCE SUR LES RÉSISTANCES DE FUITE DE COURANT DES CUVES D'ÉLECTROLYSE

Résumé

Dans cet article on a discuté le moyen de mesurer des pertes de la puissance sur les resistances de fuite de courant dans l'ensemble de l'installations des cuves.

L'importance de ces pertes est difficile à apprécier parce que les valeurs des résistances de fuite de courant ou elles se produisent ne sont pas connues.