

# PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

pod naczelnym kierunkiem prof. M. POŻARYSKIEGO.

Rok XIV.

15 Października 1932 r.

Zeszyt 20.

Redaktor inż. WACŁAW PAWŁOWSKI

Warszawa, Czackiego 5, tel. 690-23.

## BADANIE DOŚWIADCZALNE PÓL ELEKTRYCZNYCH WYSOKIEGO NAPIĘCIA.

Prof. K. Drewnowski.

Referat, przedstawiony na Kongresie elektrycznym w Paryżu, 1932 r.  
(Sekcja II. Ref. Nr. 24).

### STRESZCZENIE.

Przy doświadczalnym badaniu pól elektrycznych idzie najczęściej zmierzenie różnicy potencjałów poszczególnych punktów pola względem elektrod. Mając to, można wyznaczyć przebieg powierzchni ekwipotencjalnych oraz linii pola i w ten sposób otrzymać jego obraz.

Metody stosowane do tego celu można podzielić na bezpośrednie, mostkowe i kompensacyjne. Wszystkie one posługują się przyrządami pomiarowymi, przyłączanymi do pola za pomocą sondy.

Układy pomiarowe, stosowane przy pomiarach dokładnych, powinny pobierać jaknajmniej mocy z pola badanego, a przyłączenie ich nie powinno zmienić jego rozkładu; pozatem powinny one wykazywać dużą czułość napięciową. Wymaga to stosowania przyrządów pomiarowych o możliwie dużej oporności wewnętrznej. Pozatem pożądaną jest, aby zestawienie układu pomiarowego i jego regulacja były jak najprostsze.

Bezpośredni pomiar napięcia za pomocą przyrządu nawet o dużej oporności, np. woltomierza elektrostatycznego, wymaga zbyt dużego poboru mocy z pola. Wyniki dają niedokładne.

Metody mostkowe mają jako punkt wyjścia t. zw. metodę Ryana, posługującą się potencjometrem i iskiernikiem jako wskaźnikiem równowagi układu. Iskiernik powoduje jednak za duży pobór mocy w chwili przeskoku iskry i wymaga zbyt dużego napięcia do tego. Również rurka neonowa, aczkolwiek lepsza, nie zadawała zupełnie pod tym względem. Najlepsze są układy lamp katodowych, zato nie są one takie proste jak tamte. Potencjometry wysokiego napięcia oporowe, pojemnościowe lub transformatorowe, nie mogą być uważane za przyrządy dokładne. Występowanie przesunięć fazowych między napięciem mierzonym a napięciem zasilającym wprowadza nowy uchyb, dający się usuwać tylko za pomocą dosyć skomplikowanych układów pomocniczych.

Metody kompensacyjne, posługujące się dwoma źródłami wysokiego napięcia, dającymi się regulować niezależnie od siebie, oraz czułymi układami lamp katodowych, usuwają wszystkie te braki i chyba są najbardziej uniwersalne. Przez wprowadzenie eliminacji wyższych harmonicznych na układzie pomiarowym, daje się przeprowadzić bardzo dokładną kompensację fali głównej odkształconej krzywej napięcia w polu i badać rozkłady pola przy wyładowaniach niezupełnych.

Odmianą metod poprzednich jest metoda kompensacji automatycznej, polegająca na uruchomieniu źródła napięcia kompensującego przez samo napięcie kompensowane. Osiąga się to przez wyzyskanie szczególnych własności układów lamp katodowych. Metoda ta pozwala również na badanie przebiegów czasowych napięcia w polu, czego nie można osiągnąć za pomocą innych znanych metod.

### I. Wstęp.

Przy rozpatrywaniu pola elektrycznego układów izolacyjnych wystarcza naogół — dla techniki wysokich napięć — znać wartość potencjału, oraz kierunek pola w badanym punkcie układu. Mając dane te wartości w różnych punktach, można obliczyć naprężenia tam panujące. Jeżeli liczba tych danych jest dostatecznie duża, można przedstawić geometryczny obraz naprężeń za pomocą powierzchni ekwipotencjalnych i linii pola. Częstokroć wystarcza znać tylko wartość potencjałów w pewnych punktach układu.

Na podstawie praw elektrostatyki można z łatwością obliczyć dokładnie te wartości dla układów geometrycznie prostych, a z pewnym przybliżeniem dla innych, jeżeli da się je sprowadzić do układów prostych. Metoda *wykreslna* wyznaczania obrazów pola za pomocą jednostkowych komórek energii, ograniczonych powierzchniami ekwipotencjalnymi i rurkami indukcji i posiadających tę samą oporność dielektryczną, podaną przez Lehmana (1909)<sup>1)</sup> dla pól magnetycznych, a w szerokim zakresie stosowana do pól elektrycznych przez Kuhlmana (1915)<sup>2)</sup>, nader pomysłowa i w zasadzie ścisła, jednak jest bardzo żmudna w zastosowaniu praktycznym. Pozostają zatem, jeżeli idzie o badanie danych pól elektrycznych lub gotowych obiektów, metody *doświadczałne*. Za ich pomocą można obecnie mierzyć wartości potencjału w różnych punktach pola, prawie niezależnie od

<sup>1)</sup> Th. Lehmann: „Méthode graphique pour détermination le trajet des lignes de force”. Lum. Electr. 1909, t. VIII, str. 103. — To samo ETZ, 1909, str. 995.

<sup>2)</sup> K. Kuhlmann: „Hochspannungsisolatoren”, Arch. f. El. 1915, t. III, str. 203.



jego form geometrycznych, oraz wyznaczać pośrednio przebiegi przestrzenne zmian potencjału w postaci obrazu linii pola.

W technice wysokich napięć spotykamy się z temi zagadnieniami przy obliczaniu rozkładu napięć: na poszczególnych ogniwach łańcucha izolatorów, na powierzchni izolatorów (najczęściej przepustowych), lub w środowisku je otaczającym, w izolacji kabli i t. d. Interesują nas również — więcej z punktu widzenia ogólnego — rozkłady potencjałów w polu iskierników pomiarowych, w polu przewodów wysokiego napięcia, przy występowaniu zjawiska ulotu elektrycznego i t. d.

Przy wyznaczaniu rozkładu pola na izolatorach wystarczy dla celów praktycznych znać tylko wartości przybliżone; podczas ich pracy bowiem występują różne czynniki uboczne, które mogą zmienić wartości otrzymane w laboratorium. Można się więc zadowolić metodami mniej dokładnymi. Natomiast przy głębszych studjach nad polami elektrycznymi wymagane są metody jak najbardziej dokładne i dające się reprodukować możliwie bez błędu.

Celem niniejszego referatu jest poglądowe przedstawienie znanych metod pomiaru potencjałów w polu elektrycznym. Ponieważ w technice wysokich napięć interesują nas zjawiska odbywające się w układach izolacyjnych, kiedy one pracują pod napięciem roboczym, zajmiemy się przede wszystkim takimi metodami, które pozwalają na badanie układów właśnie przy wysokim napięciu. Ograniczymy się przy tem do prądów zmiennych.<sup>3)</sup>

## II. Wymagania ogólne, stawiane metodom pomiarowym.

Ażeby zmierzyć możliwie dokładnie wartość potencjału w badanym punkcie pola, a właściwie różnicę potencjałów między tym punktem a jedną z elektrod (uziemioną), muszą być spełnione dwa zasadnicze warunki:

1. Układ pomiarowy przyłączony do badanego punktu nie powinien — praktycznie biorąc — zmieniać wartości potencjału, panującego tam przed przyłączeniem układu, ani też wogóle zmieniać rozkładu pola w układzie;

2. Układ pomiarowy powinien być dostatecznie czuły na zmiany potencjałów i możliwie dokładny.

Pozatem dochodzą dwa inne wymagania praktyczne:

3. Zestawienie układu powinno być nieskomplikowane;

4. Manipulacja (pod wysokim napięciem) możliwie prosta.

Przyłączenie układu pomiarowego do badanego odbywa się zasadniczo za pośrednictwem sondy, t. j. małej elektrody, którą się umieszcza w

punkcie badanym i łączy za pomocą doprowadzenia z przyrządem pomiarowym.<sup>4)</sup> Sprzężenie pojemnościowe sondy z elektrodami wyzyskuje się dla otrzymania energii, potrzebnej do uruchomienia przyrządu pomiarowego. Zarówno sonda, jak i doprowadzenie, nie powinny zmieniać rozkładu pola układu badanego. Sonda powinna więc być jak najmniejsza, nie za mała jednak, aby sprzężenie pojemnościowe jej z elektrodami układu nie było za słabe, a przez to czułość metody za mała. Najdogodniejszym kształtem sondy dla pól np. w pobliżu izolatorów jest mała kulka (ok. 5 do 10 mm średnicy). Różne badania wykazały, że np. przy pomiarze potencjałów w powietrzu otaczającym izolator, powoduje ona tylko niewiele większe uchyby, niż sonda płytkowa, jest natomiast znacznie wygodniejsza w użyciu. W układach o polu promieniowym walcowym najlepsza jest sonda prętowa (parę mm grubości). Na powierzchni obiektów kształtu brył obrotowych umieszcza się sondy pierścieniowe.

Kwestja doprowadzenia jest szczególnie ważna. W zasadzie powinno ono leżeć ściśle w płaszczyźnie ekwipotencjalnej; jak się okazuje jednak, małe odchylenia są tu bez znaczenia. Natomiast sprzężenia pojemnościowe między doprowadzeniem a elektrodami układu lub elementami obcymi mogą zupełnie zniszczyć dokładność pomiaru. Wpływają one tem więcej, im mniejsze są pożyteczne sprzężenia sondy z elektrodami. Konieczna jest zatem osłona elektrostatyczna na doprowadzeniu (wraz z przyrządem pomiarowym), przyłączona do układu zasilającego w ten sposób, aby napięcie między nią a doprowadzeniem było jak najmniejsze. Wtedy sprzężenia pojemnościowe tych dwu elementów będą najmniej szkodliwe. Osłona, podobnie jak doprowadzenie, nie powinna zmieniać rozkładu pola. Praktyka wskazuje, że doprowadzenie osłonięte nie musi leżeć ściśle w płaszczyźnie ekwipotencjalnej, z wyjątkiem końca tuż przy samej sondzie.

Warunek drugi, który postawiliśmy metodzie, wymaga, aby przyrząd pomiarowy reagował na jak najmniejsze zmiany potencjału badanego; z warunku pierwszego zaś wynika, że pobór mocy z układu badanego powinien być jak najmniejszy, gdyż inaczej nastąpi zmiana potencjału punktu badanego. W rezultacie tego trzeba, aby układ pomiarowy wykazywał jak największą oporność pozorną wewnętrzną. Ta sprawa będzie obszerniej potraktowana w następnych rozdziałach.

Warunek łatwego montażu aparatury i nieskomplikowanych przyrządów pomiarowych wymaga, aby przyrządy i urządzenia były jak najprostsze, typów powszechnie używanych, bez potrzeby uciekania się do projektowania i sporządzania przyborów specjalnych. Dotyczy to głównie metod fabrycznych; w laboratoriach naukowych można sobie pozwolić na urządzenia bardziej zaawansowane, lecz zato zapewniające większą dokładność. Wymagania co do łatwości manipulacji są zupełnie zrozumiałe, zwłaszcza jeżeli się zważy, że ma się przy tem do czynienia z wysokim na-

<sup>3)</sup> W referacie niniejszym posługiwałem się dostępną mi literaturą tego przedmiotu, zamieszczaną w głównych czasopismach elektrotechnicznych. W części dotyczącej metod kompensacyjnych oparłem się na pracach prowadzonych nad tem zagadnieniem w Laboratorium wysokich napięć Politechniki Warszawskiej. Byłbym wdzięczny za wskazanie i ewent. nadesłanie nowych źródeł.

<sup>4)</sup> W razie badania łańcucha izolatorów, sondę tworzy ich okucie.



pięciem. Najdogodniejsza jest ta metoda, która nie wymaga regulowania po stronie wysokiego napięcia.

Z różnych metod wyznaczania rozkładu potencjałów, spotykanych w technice wysokich napięć, najstarsza i najbardziej znana jest *metoda iskiernikowa* Ryana (1915). [1].<sup>6)</sup> Stosowana jest ona zwłaszcza przy badaniu rozkładu napięć na łańcuchach izolatorów. Od niej wywodzą się inne *metody mostkowe*. Przy badaniu rozkładu potencjałów na powierzchni izolatorów posługiwano się dużo *metodą elektroskopową* Schwaigera (1919) [2], którą również można zaliczyć do metod mostkowych. Metoda ta nie nadaje się jednak do pomiarów przy wysokim napięciu roboczym. Wydaje się, że najbardziej uniwersalne są *metody kompensacyjne*, znane już dawniej (np. [1, 9]), lecz opracowane obszerniej dopiero w ostatnich latach (1929—31) [15, 16, 18, 20]. Z tego powodu zajmę się nimi obszerniej w dalszym ciągu referatu.

Doświadczalne wyznaczenie przebiegu linii pola elektrycznego jest znacznie prostsze, jeżeli idzie o przedstawienie jakościowe. Najprostsza jest *metoda słomki*, podana przez Töplera i zastosowana na większą skalę w fabryce izolatorów Hermisdorf (1925) [10, 11]. Mała słomka (ok. 2 cm długa), umocowana jest w punkcie ciężkości na cienkiej osi metalowej (ok. 1 cm). Za pomocą nitki napiętej wzdłuż tej osi zbliża się słomkę do punktu badanego w polu elektrycznym. Wtedy ustawia się ona w kierunku linii pola. Cień jej rzucony na ekran utrwała się i w ten sposób otrzymuje się stopniowo obraz pola, rzucony na płaszczyznę. Słomkę można zastąpić *ruką neonową* [11, 19], zapalającą się przy odpowiednim położeniu w polu. Sposób ten jest oczywiście mało dokładny. Nadaje się jako orientacyjny, np. przy wyznaczaniu kierunku, jak należy przeprowadzić sondę w metodach pomiaru rozkładu napięcia, wspomnianych wyżej. *Metodą elektrolityczną* (Fortescue, 1913,<sup>6)</sup> Erstorff, 1918),<sup>7)</sup> polegającą na imitowaniu linii pola elektrycznego przez strugi prądu w cieczach półprzewodzących, nie będziemy się tu zajmować jako posługującą się napięciem niskim.

Mając zmierzone wartości potencjałów w różnych punktach, np. jedną z metod wyżej wspomnianych, można oczywiście wyznaczyć powierzchnie ekwipotencjalne, a następnie linie pola, posługując się metodą wykreślną. Wystarczy więc, jeżeli w dalszym ciągu zajmiemy się tylko temi pierwszymi metodami.

### III. Metody bezpośrednie.

Do układu izolacyjnego (płaskiego) A B (rys. 1) przyłączony jest za pomocą sondy S przyrząd pomiarowy V (woltmierz) o oporności pozornej  $\hat{Z}_v$ . Między punktem S a elektrodą B panuje przed umieszczeniem sondy napięcie

$$\hat{U}_x = \frac{\hat{Z}_2}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2} \hat{U}, \quad (1)$$

gdzie  $\hat{Z}_1$  i  $\hat{Z}_2$  przedstawiają oporności pozorne między sondą a elektrodami. Po włożeniu sondy popłynie przez przyrząd pomiarowy prąd  $\hat{I}_s$ , wywołujący na niem napięcie:

$$\hat{U}_v = \hat{Z}_v \hat{I}_s = \frac{\hat{U}_x}{\frac{\hat{Z}_1 \hat{Z}_2}{\hat{Z}_v (\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2)} + 1} = \hat{U}_s. \quad (2)$$

Uchyb popełniony przy pomiarze napięcia  $\hat{U}_x$ :

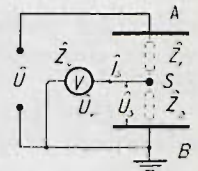
$$\Delta \hat{U}_x = \hat{U}_x - \hat{U}_s = \frac{\hat{Z}_1 \hat{Z}_2}{\hat{Z}_v (\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2)} \hat{U}_s. \quad (3)$$

Uchyb ten jest przy tem samym  $\hat{U}_s$  tem większy, im  $\hat{Z}_v$  mniejsze. Ażeby był praktycznie pomijalny, musi być oporność pozorna układu pomiarowego większego rzędu, niż oporności pozorne układu badanego.

Zwykle woltmierz elektrostatyczne lub elektrometry nie nadają się więc do bezpośredniego pomiaru potencjałów w polu. Pojemność ich jest bowiem wyższego rzędu, niż pojemność układu badanego, a moc przez nie pobierana z układu badanego za duża. Są one pozatem mało dokładne i za mało czułe. Mimo więc zalet prostoty urządzenia i manipulacji spotyka się je stosunkowo mało przy badaniach rozkładu pola.<sup>8)</sup> Stosowanie iskiernika<sup>9)</sup> do tego celu powoduje również duże uchyby, gdyż do wywołania przeskoku iskry potrzebna jest stosunkowo duża moc, pobierana z układu badanego. Najlepiej do tego celu nadawałyby się pod tym względem woltmierz katodowe, potrzebujące do uruchomienia tylko znikomej mocy i posiadające bardzo małą pojemność. Nie nadają się one jednak do bezpośredniego włączenia w obwód wysokiego napięcia. Idea zastosowania do tego celu lamp katodowych została zrealizowana nader pomysłowo przy metodzie kompensacji automatycznej, o której jest mowa w Rozdz. V.

### IV. Metody mostkowe.

Zasady różnych metod, posługujących się potencjometrami jako dzielnikami napięcia, przyłączonymi równolegle do układu badanego, na których szuka się potencjału równego mierzonemu, można sprowadzić do zasady znanego mostku Gotta do pomiaru pojemności. Pojemności lub oporności pozorne między sondą a elektrodami układu badanego stanowią dwie gałęzie mostku, dwie inne są utworzone przez potencjometr oporowy pojemnościowy lub transformatorowy. Jako wskaźnik równowagi układu, włączony między sondą a zaczepek potencjometru, służy iskiernik, elektrometr, rurka neonowa, lampa katodowa. Stosunek



Rys. 1.  
Schemat ogólny metody bezpośredniej.

<sup>5)</sup> Liczby w klamrach [...] odnoszą się do Literatury, podane na końcu referatu.

<sup>6)</sup> Trans. AIEE, 1913, str. 907.

<sup>7)</sup> ETZ, 1918, str. 53.

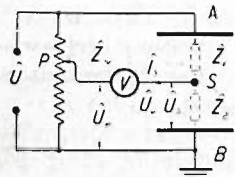
<sup>8)</sup> W. Petersen, ETZ, 1916, str. 1.

<sup>9)</sup> Nagel, ETZ, 1907, str. 153.



oporności pozornych gałęzi potencjometru odpowiada stosunkowi napięć między sondą a elektrodami.

Ażeby znaleźć warunki czułości układu pomiarowego wyprowadzimy zależność między napięciem na przyrządzie pomiarowym a opornościami pozornymi układu, przedstawionego schematycznie na rys. 2.



Rys. 2.  
Schemat ogólny metody mostkowej.

Po wstawieniu do pola sondy, wraz z przyrządem pomiarowym V o oporności

pozornej  $\hat{Z}_v$ , przyłączonej drugim końcem do punktu P potencjometru, gdzie panuje napięcie  $\hat{U}_p$ , zmieni się potencjał tam panujący i przez przyrząd popłynie prąd  $\hat{I}_s$ , wywołujący na nim napięcie:

$$\hat{U}_v = \hat{Z}_v \hat{I}_s = \frac{\hat{U}_x - \hat{U}_p}{\frac{\hat{Z}_1 \hat{Z}_2}{\hat{Z}_v (\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2)} + 1}, \quad (4)$$

gdzie  $\hat{U}_x$  jest — jak poprzednio (1) — napięciem szukanym.

W razie równowagi układu:  $\hat{U}_v = 0$ , a  $\hat{U}_x = \hat{U}_p$ . Dla pewnej stałej wartości  $\hat{U}_x - \hat{U}_p$ , napięcie na przyrządzie pomiarowym jest tem większe, im  $\hat{Z}_v$  większe. Ażeby uzyskać dużą czułość układu potrzebne są jako wskaźniki równowagi przyrządy pomiarowe o dużej oporności pozornej.

Uchyb popełniony przy pomiarze  $U_x$ :

$$\Delta \hat{U}_x = \hat{U}_x - \hat{U}_p = \left[ \frac{\hat{Z}_1 \hat{Z}_2}{\hat{Z}_v (\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2)} + 1 \right] \hat{U}_v. \quad (5)$$

Uchyb ten jest tem większy, im większe napięcie panuje na układzie pomiarowym. Przyrządy pomiarowe, wymagające do uruchomienia dużego napięcia, nie są więc wskazane, jeżeli idzie o dokładne pomiary.

Iskierniki [1, 3, 6] i rurki neonowe [17, 19], zapalające się przy pewnej wartości napięcia, dają więc stały uchyb. Przy pomiarach, nie wymagających wielkiej dokładności, dosyć wygodne są rurki neonowe. Napięcie potrzebne do ich zapalenia, nie wpływa, praktycznie biorąc, na dokładność pomiaru napięć rzędu kilkudziesięciu tysięcy woltów. Pobór przez nie mocy z układu również nie jest duży. Iskierniki pomiarowe są znacznie gorsze pod tym względem i do dokładnych pomiarów nie nadają się zupełnie. Elektrometry [4] są wygodne, lecz również mało dokładne.

Najlepsze są układy lamp katodowych [8, 12] w połączeniu detekcyjnym z galwanometrem lub w połączeniu amplifikacyjnym z telefonem, przyłączone siatką do sondy, a katodą do potencjometru. Przedstawiają one bardzo dużą oporność pozorną i pobierają bardzo mało mocy z układu badanego. Przy wysokim napięciu można je stosować, o ile są odpowiednio izolowane od ziemi; przy regulowaniu zaś napięcia trzeba postępować tak, aby nie powstawały na nich duże różnice potencjałów.

Na dokładność pomiarów wpływają bardzo postronne sprzężenia pojemnościowe. Niezbędna jest przeto osłona elektrostatyczna doprowadzenia, przyłączona do punktu P, odprowadzająca pojemnościowe prądy pasożytnicze poza przyrząd pomiarowy.

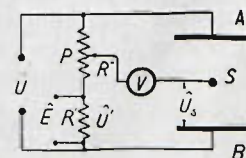
Elementem określającym wartość potencjału punktu badanego jest potencjometr; od jego dokładności zależy w dużym stopniu dokładność pomiaru. Potencjometr stopniowy, w kształcie rurki izolacyjnej, opatrzonej zaczepami, przez którą przepływa woda [1b, 3, 6, 17, 19], jest oczywiście bardzo mało dokładny. Podobnie rzecz się ma z potencjometrem kondensatorowym [1a]. Lepszy jest transformator powietrzny z wyprowadzonymi końcami cewek [2, 10]. Wszystkie te potencjometry muszą mieć dokładnie wyznaczone oporności pozorne między zaczepami, lub spadki napięcia, przypadające na nie; w przeciwnym razie może to być źródłem dużych uchybów.

Manipulacja przy regulowaniu napięcia na mostku jest bardzo niewygodna. Odbywa się przez kolejne przykładanie, za pomocą drążka izolacyjnego, do zaczepów potencjometru przewodu łączącego przyrząd pomiarowy, aż znajdzie się stan równowagi układu. Ponieważ regulacja ta nie odbywa się stopniowo, lecz skokami, jest tu nowe źródło uchybów, tem większych, im większe są stopnie potencjometru.

Wyniki otrzymane powyższymi metodami mostkowymi są zgodne z rzeczywistością, jeżeli istnieje zgodność potencjałów na układzie badanym i na potencjometrze tak co do wielkości, jak fazy. Taki przypadek zachodzi z dostateczną ścisłością dla układów badanych czysto pojemnościowych. Jeżeli jednak w układach izolacyjnych zjawiają się wyładowania, np. upływy na izolatorach, ulot w układach powietrznych, a jedno i drugie na łańcuchach izolatorów, występują na różnych elementach układu badanego różne przesunięcia fazy, oczywiście niezgodne z przesunięciami na potencjometrze. Pomiar obciążony jest wtedy poważnym uchybem, który może spowodować, że dobieranie czułych i dokładnych urządzeń pomiarowych staje się iluzoryczne.

Dążenie do rozwiązania tego zagadnienia doprowadziło do opracowania metod kompensacyjnych, o których jest mowa w następnych rozdziałach.

Niezależnie od tego starano się odpowiednio zmodyfikować metody mostkowe, przez wprowadzenie do części potencjometru, przyłączonej do napięcia mierzzonego, źródła siły elektromotorycznej, którą można zmieniać co do wielkości i fazy (van Cauvenberghe, 1931, [17]). Ogólny schemat tego pokazuje rys. 3.



Rys. 3.  
Schemat ogólny metody mostkowej zmodyfikowanej.

Siła elektromotoryczna  $\hat{E}$  pochodzi od transformatora pomocniczego, przyłączonego po stronie pierwotnej do tego samego źródła napięcia, co transformator zasilający. Regulowanie przesunięcia odbywa się za pomocą transformatora fazowego, włączonego w obwód SEM  $\hat{E}$ , nastą-



wienie zaś równowagi układu—przy pomocy potencjometru oporowo-wodnego. Do obliczenia napięcia  $\hat{U}$ , trzeba znać przesunięcie faz między  $\hat{U}$  a  $\hat{U}$  (przy pomocy watomierza włączonego do obwodu pierwotnego obu tych transformatorów).

Pewną odmianą powyższego, niezależną zresztą, lecz wcześniejszą co do pochodzenia, stanowi regulacja fazy za pomocą kondensatora, zastosowana przy niskim napięciu (Labus, 1929, [14]).

Niezgodność co do faz napięcia na sondzie i na potencjometrze może nie pozwolić na zupełne zgaśnięcie rurki neonowej jako wskaźnika równowagi. Obserwując ją za pomocą stroboskopu można uchwycić właściwy moment (Steels et Marysael, 1931, [19]).

Prawie wszystkie powyższe niedogodności usuwa metoda kompensacyjna.

(D. n.)

## ZASTOSOWANIE WAGONÓW MOTOROWYCH W TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ DLA RUCHU DALEKOBIEŻNEGO.

Inż. J. Bruski-Kasyna.

Nie ulega żadnej wątpliwości, że wagony motorowe stanowią poniekąd jedyne racjonalne rozwiązanie trakcji elektrycznej o wybitnym charakterze ruchu podmiejskiego (elastyczność ruchu, łatwe pokonanie ruchu dorywczego).

Liczne przykłady kolei zagranicznych świadczą, że zastosowanie wagonów motorowych do komunikacji podmiejskiej i należyte dostosowanie ich do potrzeb ruchu pociąga za sobą zwykle zwiększenie przewozów, niekiedy w stopniu nawet znacznie większym, niż przewidywały początkowe optymistyczne obliczenia.

Co się tyczy trakcji dalekobieżnej, należy obecnie wziąć pod uwagę, że w ostatnich czasach w budowie wagonów motorowych osiągnięto poważne postępy. Obecnie bowiem można umieścić pod wagonem, względnie zajmując tylko stosunkowo mało miejsca w samym wagonie, znaczne moce napędowe, bo dochodzące do ok. 1500 KM, co jednak nie stanowi granicy; dawniej było to możliwe tylko przy lokomotywach. To też przy rozważaniu zagadnienia elektryfikacji, ruchu dalekobieżnego coraz bardziej nasuwa się myśl, czy nie należałoby stosować większej podzielności jednostek pociągowych na mniejsze składy motorowe. Wiele zarządów zelektryfikowanych kolei przeprowadziło i przeprowadza w tym kierunku badania, zwłaszcza, jeżeli w rachubę wchodzi uzupełnienie stanu takich lokomotyw, które można by ewentualnie zastąpić wagonami motorowymi.

Podstawy dla ciężkich składów pociągowych i tem samem dla stosowania ciężkich lokomotyw na kolejach głównych stworzyły warunki techniczne, gospodarcze i ruchowe lokomotywy parowej.

Dla ruchu towarowego te same warunki są bezsprzecznie miarodajne również dla trakcji elektrycznej.

Dla ruchu osobowego jednak należy wątpić, czy stosowane byłyby te same zasady, gdyby trakcja parowa nie poprzedzała trakcji elektrycznej. Ponieważ jednak zwykle elektryfikowano takie linie, które były już eksploatowane trakcją parową, wynika konieczność stworzenia lokomotyw elektrycznych, które miały zastępować, wzgl. przewyższać odpowiednie lokomotywy parowe. Im jednak dalej postępuje trakcja elektryczna, im

szerzej ogarnia ona regionalnie sieć kolejową, tem bardziej nasuwa się konieczność rozważenia, czy nie należy zerwać z tradycją dawniejszych zasad trakcji parowej, jeżeli przez to można uzyskać korzyści gospodarcze. W tych warunkach staje się coraz bardziej, również dla zelektryfikowanych kolei głównych, aktualnym zagadnienie, czy należy stosować dla ruchu dalekobieżnych pociągów osobowych wagony motorowe, czy lokomotywy elektryczne.

Niestety, nie posiadamy takich zasad ogólnych, na podstawie których kwestję tę możnaby ująć ogólnie w normy, dające się wszędzie zastosować; decydować muszą zazwyczaj warunki lokalne.

Rozważmy przedewszystkiem następujące punkty:

- dostosowanie się do potrzeb ruchu, wyrażone przez stosunek miejsc zajętych do miejsc ogólnych przy równej mocy napędowej lokomotyw i wagonów motorowych;
- wykorzystanie materiału, wyrażone w ilościach miejsc, będących do dyspozycji, w stosunku do wagi brutto pociągów;
- osiągalna sprawność ruchu na linii i dworcach, a zwłaszcza na dworcach czołowych;
- koszty personelu ruchowego;
- koszty zakładowe, utrzymania i odnowienia;
- wykorzystanie taboru, wyrażone w stosunku procentowym taboru zapasowego i będącego w naprawie do ogólnej ilości taboru.

W artykule niniejszym rozważana jest przedewszystkiem sprawa co do punktu b), jako najbardziej dającego się ująć w pewne normy ogólne, przyczem nadmienić należy, że wywody oparte są na danych kilku kolei europejskich. Co do taboru kolei prądu stałego, dane te, z wyjątkiem materiału Ferrovie Nord Milano, były niedosyć obszerne ani wyczerpujące. Natomiast dostatecznie kompletny materiał porównawczy uzyskano z kolei zelektryfikowanych prądem jednofazowym; pod tym względem dane kolei niemieckich są bardzo wyczerpujące i na nich zostało oparte porównanie. Rodzaj prądu nie zmieni istoty sprawy, gdyż stosunek wagi lokomotyw do wagonów motorowych pozostaje mniej więcej ten sam, zaś ogólnie mniejsza waga taboru prądu sta-