

POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ LUDOWEJ

OPIS PATENTOWY

21e 17/40

Nr 46212

~~Kl. 21 e, 29 03~~

Instytut Łączności*,

Warszawa, Polska

21e 27/26

Zmiennoprądowy układ mostkowo-kompensacyjny do pomiaru stratności elektrycznych obiektów reaktancyjnych

Patent trwa od dnia 23 stycznia 1962 r.

Elektryczne wartości kondensatorów niedoskonałych i innych obciążonych stratami obiektów pojemnościowych mierzy się powszechnie mostkami, jak na przykład mostkiem Sotiego lub mostkiem Scheringa. Jako gałąź porównawczą mostki te mają dwójnik złożony z kondensatora bezstratnego i opornika.

Wynalazek dotyczy pomiaru obiektów o dużej stratności, jak profilaktyczne pomiary stopnia zawilgocenia maszyn elektrycznych i transformatorów, pomiary wilgotności zboża, węgla, tkanin, pomiary kondensatorów o izolacji włóknistej, kondensatorów specjalnych, zawilgoconych itp. Zwłaszcza zaś dotyczy on tych przypadków, w których wartość pojemności interesuje mniej, a głównie chodzi o wartość kąta stratności.

Przy użyciu mostków powyżej wspomnianych,

*) Właściciel patentu oświadczył, że twórcą wynalazku jest doc. mgr inż. Marian Łapiński

wartość kąta stratności uzyskuje się z odczytanych wartości pojemności kondensatora i oporności opornika dopiero przez obliczenie ze wzoru, do którego wchodzi też wartość częstotliwości pomiarowej.

Pomiar przy pomocy układu według wynalazku umożliwia odczytywanie bezpośrednie wartości kąta stratności.

Jeżeli gałęzią porównawczą mostka uczynić sam kondensator, bez opornika, to mostka zrównoważyć nie można, lecz przy każdej wartości tego kondensatora jest w mostku na jego przekątnej wskaźnikowej pewne napięcie różne od zera.

Istota wynalazku polega na tym, że jeżeli kondensatorowi porównawczemu nadać pojemność równą pojemności obiektu mierzonego, to faza napięcia na przekątnej wskaźnika jest przesunięta względem fazy napięcia na przekątnej źródła o ćwierć okresu, a stosunek pierwszego napięcia do ostat-

niego jest w przybliżeniu liniową funkcją współczynnika stratności. Aby więc wyznaczyć współczynnik, wystarczy zmierzyć stosunek tych napięć przyrządem, który można z góry wyskalować w wartościach współczynnika lub kąta.

Pomiar stosunku napięć metodą odchyłową nie byłby dogodny; mierzy go się metodą zerową kompensacyjną. W tym celu napięcie na wskaźnikowej przekątnej mostka kompensuje się spadkiem napięcia na oporowym dzielniku, który zasila się napięciem proporcjonalnym do napięcia zasilającego mostek w jego przekątnej źródła.

Rysunek przedstawia przykład układu pomiarowego według wynalazku, mianowicie jego układ połączeń oraz wykres wskazowy rozkładu jego napięć.

W układzie połączeń według fig. 1 układ pomiarowy jest zasilany prądem zmiennym z generatora o częstotliwości f poprzez transformator Tr , do którego przyłączona jest przekątna źródłowa $A-B$ mostka o wierzchołkach A, P, B, N .

Jedną z gałęzi mostka, gałąź $A - P$, stanowi obiekt mierzony Ox , przedstawiony jako kondensator o dielektryku stałym. Przyległą gałąź $P - B$ jako gałąź porównawczą stanowi bezstratny kondensator nastawny C_N . Opie pozostałe gałęzie $A - N$ i $N - B$ jako gałęzie stosunkowe — tworzy opornik R_p i kondensator bezstratny C_p , przy czym wartości obu tych elementów są dobrane tak, że przy częstotliwości pomiarowej moduł impedancji kondensatora stosunkowego C_p jest równy wartości oporności stosunkowego opornika R_p .

Wtórne uzwojenie transformatora Tr ma po środku odczep M , między zaś ten odczep a wierzchołek N mostka jest włączony oporowy dzielnik napięcia R , którego oporność w porównaniu z opornością elementów stosunkowych R_p, C_p mostka jest wielka. Dzielnik R ma ruchomy odczep K , przy czym zmienną oporność części dzielnika pomiędzy odczepem K a środkiem M wtórnego uzwojenia transformatora Tr oznaczono r .

Pomiędzy odczep K dzielnika R a wierzchołek P mostka włączony jest wskaźnik zerowy WR .

Pomiar polega na takim dobraniu pojemności kondensatora porównawczego C_N i położenia odczepu K dzielnika R , żeby we wskaźniku WR nie było prądu, oraz na odczytaniu, wtedy wartości r oporności części $M-K$ dzielnika.

Na gałęzi wskaźnika nie ma spadku napię-

cia, tak iż jej końce K i P mają potencjał jednakowy. W gałęzi tej nie ma prądu, tak iż przez gałęzie $A-P$ i $P-B$ mostka płynie ten sam prąd $\hat{I}_p$. Oporność dzielnika R jest wielka, prąd przez niego płynący można w granicach dokładności pomiaru pominąć, czyli można przyjąć, że i przez gałęzie $A-N$ i $N-B$ mostka płynie ten sam prąd $\hat{I}_N$. Impedancję obiektu mierzonego Ox można zastąpić impedancją szeregowego połączenia zastępczej oporności R_x i zastępczej pojemności C_x .

Rozkład napięć w stanie zrównoważenia układu, to jest kiedy w gałęzi wskaźnika WR nie ma prądu, przedstawia wykres wskazowy na fig. 2. Przy poszczególnych wskazach wpisano wyrażenia na wartość danego napięcia, przy czym symbolami R, R_p, C_p, C_N wyrażono oporność i pojemność elementów oznaczonych na fig. 1 tymi samymi symbolami, a ω oznacza pulsację pomiarową. Punkty wykresu wskazowego oznaczono na fig. 2 tymi samymi literami, co odpowiadające im węzły układu połączeń na fig. 1.

Napięcie U_{AB} wtórnego uzwojenia transformatora dzieli się w odpowiadającym odczepowi tego uzwojenia punkcie M na połowy.

To samo napięcie powoduje przepływ prądu $\hat{I}_N$ przez elementy stosunkowe R_p i C_p . Wobec obranych wartości tych elementów, wskaz $\hat{AN}$ i $\hat{NB}$ napięcia na nich tworzą równoramienny trójkąt prostokątny ANB o przeciwprostokątnej AB i o kącie prostym w wierzchołku N . Z tych związków geometrycznych wynika, że wskaz $\hat{MN}$ napięcia na dzielniku R jest do wskazu $\hat{AB}$ prostopadły w jego środku. Punkt K odpowiadający potencjałowi odczepu tego dzielnika leży na wskazu $\hat{MN}$, a przesuwaniu odczepu po dzielniku odpowiada przesuwanie punktu K po tym wskazu.

Ponieważ w gałęzi $K-P$ wskaźnika WR w stanie zrównoważenia układu nie ma prądu, więc przez obie części dzielnika płynie ten sam prąd. Jak stąd wynika, spadek na części $M-K$ dzielnika ma się wtedy do spadku w całej jego gałęzi $M-N$ tak, jak oporność r ma się do oporności R .

To samo również napięcie U_{AB} powoduje przepływ prądu $\hat{I}_p$ przez obiekt mierzony Ox i kondensator porównawczy C_N . Gdyby to były kondensatory doskonałe, prąd $\hat{I}_p$ wyprzedzałby napięcie U_{AB} o ćwierć okresu, czyli wskaz tego pierwszego byłby do wskazu tego ostatniego prostopadły, ale wobec strat w obiekcie mierzonym wzajemny kąt tych wskazów jest mniejszy od kąta prostego.

Prąd $\hat{I}_p$ daje na obiekcie mierzonym spadek napięcia $\hat{A}P$, a na kondensatorze porównawczym daje on spadek $\hat{P}B$, przy czym suma tych spadków stanowi napięcie $\hat{A}B$. Z kolei spadek $\hat{A}P$ na obiekcie mierzonym można rozłożyć na spadek $\hat{A}X$ na oporności zastępczej R_x i spadek $\hat{X}P$ na zastępczej pojemności C_x . Spadek $\hat{A}X$ jest w fazie z prądem $\hat{I}_p$, a spadki $\hat{X}P$ i $\hat{P}B$ są względem tego prądu opóźnione o ćwierć okresu (o kąt prosty). Wskazy więc tych trzech spadków tworzą trójkąt prostokątny (nierównoramienny) AXB o tej samej przeciwprostokątnej AB i o kącie prostym w wierzchołku X .

Z drugiej strony trójkąt AXP to trójkąt spadków napięcia na obiekcie mierzonym, utworzony ze spadku całkowitego $\hat{A}P$, spadku czynnego $\hat{A}X$ i spadku biernego $\hat{X}P$. Jak stąd wynika, oznaczony przez δ kąt tego trójkąta w wierzchołku P to kąt stratności obiektu mierzonego.

Zmianianiu pojemności kondensatora porównawczego C_N odpowiada zmienianie kształtu trójkąta AXB , przy czym wierzchołek X przesuwa się po półkolu opartym na średnicy AB , i jednocześnie przesuwanie się punktu P po wskazuje $\hat{X}B$.

Doprowadzeniu układu do zrównoważenia, kiedy w gałęzi wskaźnika WR nie ma prądu, tak iż końce tej gałęzi mają potencjał jednaki, odpowiada na wykresie wskazowym doprowadzenie punktów K i P do wzajemnego pokrycia, to jest doprowadzenie każdego z nich do punktu przecięcia wskazów $\hat{M}N$ i $\hat{X}B$.

Z zależności geometrycznych wynika, że trójkąt APB jest wtedy równoramienny, tak iż kąt w wierzchołku B wynosi połowę kąta zewnętrznego APX , czyli wynosi on $1/2 \cdot \delta$.

Z wykresu wskazowego odczytuje się dalej, że

$$\begin{aligned} MB &= MN; \\ MP &= MB \cdot \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} = MN \cdot \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} \\ \delta &= 2 \arctg \frac{MP}{MN} \end{aligned}$$

$$\text{czyli że } \delta = 2 \arctg \frac{r}{R}$$

Powyższa zależność wiąże kąt stratności obiektu mierzzonego bezpośrednio ze stosunkiem podziałowym dzielnika oporowego. Po odczytaniu tego stosunku, łatwo się wyznacza kąt δ .

Ale i tego rachunku można uniknąć. W tym celu podziałkę dzielnika oporowego skaluje się

według wynalazku bezpośrednio w wartościach kąta stratności albo w wartościach jego tangensa, to jest w wartościach współczynnika stratności.

Podobnie łatwo odczytuje się z wykresu wskazowego że

$$\begin{aligned} XP &= AP \cdot \cos \delta \\ \text{i że } AP &= PB, \\ \text{tak że } XP &= PB \cdot \cos \delta \end{aligned}$$

Z drugiej strony

$$\hat{X}P = \hat{I}_p \cdot \frac{1}{j\omega C_x}, \quad \hat{P}B = \hat{I}_p \cdot \frac{1}{j\omega C_N}$$

$$\text{czyli } \operatorname{tg} \delta = \frac{C_N}{C_x}$$

Jeżeli kąt stratności δ nie jest znaczny, to

$$C_x \approx C_N,$$

nastawiona pojemność kondensatora porównawczego jest w przybliżeniu równa pojemności obiektu pomiarowego. Uchyb nie przekracza wartości 1% przy kącie stratności δ nie większym niż 8° , a wartość 2% nie przekracza on przy kącie dochodzącym do 11° . Jeżeli więc co do pojemności wystarcza pomiar przybliżony, to układ według wynalazku daje dla niej odczyt bezpośredni.

Zastosowanie układu według wynalazku nie ogranicza się do stratności dużych, lecz nadaje się on do obiektów o jakiegokolwiek stratności.

Zamiast nastawnego dzielnika oporowego R można zastosować podobnie nastawny dzielnik indukcyjny albo pojemnościowy.

Zamiast odczepu po środku wtórnego uzwojenia transformatora, uzwojenie to może mieć odczep o innym stosunku podziałowym. W tym przypadku wartości elementów stosunkowych mostka muszą być dobrane odpowiednio inaczej.

Zamiast odczepu na wtórnym uzwojeniu transformatora można zastosować podobny odczep, zasilanego z tego uzwojenia oporowego albo reaktancyjnego dzielnika napięcia.

Zamiast elementów bezstratnych, układ może mieć elementy obciążone stratami. W tym przypadku straty tych elementów uwzględnia się w doborze ich wartości oraz w wykonywaniu podziałki dzielnika.

Zamiast dzielnika R w postaci jednolitego opornika, może być dzielnik utworzony z dwóch albo z trzech oporników połączonych szeregowo, przy czym jeden z nich o odczepie ruchomym a pozostałe stałe. Jest to korzystne, jeżeli chodzi o pomiary w zakresie ograniczonym, na przykład o pomiary stratności niewielkich,

Zastrzeżenia patentowe

1. Zmiennoprądowy układ mostkowo-kompensacyjny do pomiaru stratności elektrycznych obiektów reaktancyjnych zawierający źródło prądu zmiennego i zasilany z tego źródła nie zrównoważony mostek utworzony z obiektu mierzonego, nastawnego elementu porównawczego i dwóch elementów stosunkowych o różnym kącie fazowym tudzież nastawny dzielnik napięcia pozwalający kompensować wpływ stratności obiektu mierzonego, znamienny tym, że nastawny dzielnik

(R) napięcia jest przyłączony jednym końcem do wierzchołka (N), przekątnej wskaźnikowej (N—P) mostka, a drugim końcem do odczepu (M) źródła (Tr), zasilającego drugą przekątną (A—B) tego mostka, albo do punktu o potencjale takiego odczepu.

2. Zmiennoprądowy układ mostkowo-kompensacyjny według zastrz. 1, znamienny tym, że nastawny dzielnik (R) napięcia ma podziałkę wyskalowaną w wartościach kąta stratności (δ) albo w wartościach tangensa tego kąta.

Instytut Łączności

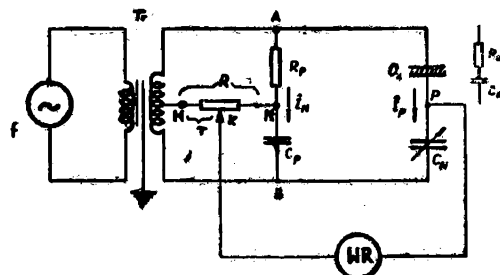


Fig. 1

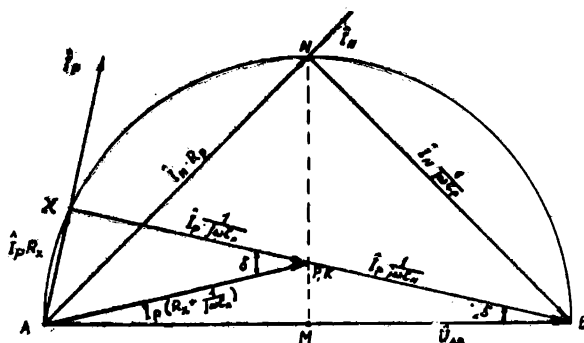


Fig. 2