ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

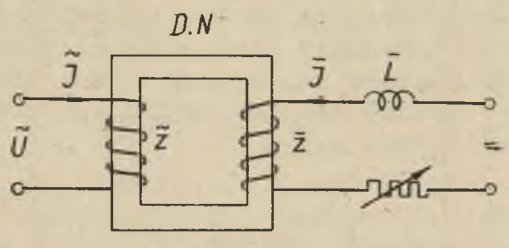
Nr 18 ELEKTRYKA Z. 5 1958

MGR INŻ. KONSTANTY BIELAŃSKI
Katedra Miernictwa Elektrycznego

POMIAR RÓŻNICY AMPLITUD PRĄDU JAKO SPOSÓB STWIERDZENIA PODMAGNESOWANIA

Streszczenie. Omówiono następujące zagadnienia: zjawisko równoczesnego magnesowania dławika prądem stałym i zmiennym, powodujące powstanie różnych amplitud prądu zmiennego w pierwszej i drugiej połowie okresu, pomiar różnicy tych amplitud, wyniki doświadczalne, wskazanie niektórych możliwości zastosowania.

Przedstawiony poniżej temat dotyczy pojedynczego dławika podmagnesowanego prądem stałym. Przez jedno z uzwojeń dławika nasyconego (DN, rys. 1) przepływa prąd zmienny, przez drugie stały. W obwodzie prądu stałego jest umieszczona dodatkowo duża indukcyjność L, która nie przeszkadza przepływowi prądu stałego, natomiast uniemożliwia przepływ składowej zmiennej prądu pochodzącego z transformacji z uzwojenia prądu zmiennego.



Rys. 1. Schemat dławika z podmagnesowaniem

Jeżeli do uzwojenia prądu zmiennego z̃ przyłożymy napięcie sinusoidalne, a przez drugie uzwojenie przepuścimy prąd stały podmagnesowujący, to przebieg czasowy prądu zmiennego ulegnie znacznemu odkształceniu

w stosunku do przebiegu bez podmagnesowania. Charakter tego odkształcenia będzie następujący: w jednej połowie okresu krzywa prądu zmiennego będzie spiczasta, a w drugiej płaska, co wynika z krzywej magnesowania (rys. 2). Wartość średnia tego prądu będzie zawsze równa zeru, niezależnie od wielkości i kierunku prądu stałego $\bar{J}$. Uzasadnienie tego jest następujące. Równanie koła napięć dla strony prądu zmiennego dławika (DN) przedstawia się tak:

$$\tilde{U} = \tilde{J}R + L\frac{d\tilde{J}}{dt} + \tilde{Z}\frac{d\phi}{dt} \qquad (1)$$

gdzie: R – jest oporem omowym obwodu prądu zmiennego,
L – " indukcyjnością rozproszenia uzwojenia,
ϕ – " strumieniem w rdzeniu,
$\tilde{U}$ – " napięciem sinusoidalnym ze sieci.

Równanie to jako równanie ogólne jest zawsze ważne tak przy podmagnesowaniu DN, jak i bez podmagnesowania. Całkując to równanie w granicach od 0 do T otrzymamy:

$$\int_0^T \tilde{U}dt = R\int_0^T \tilde{J}dt + L\int_0^T d\tilde{J} + \tilde{Z}\int_0^T d\tilde{\phi} \qquad (2)$$

Dla przebiegu ustalonego chwilowe wartości prądu na początku i na końcu tego okresu są sobie równe, to samo odnosi się do strumieni, a więc

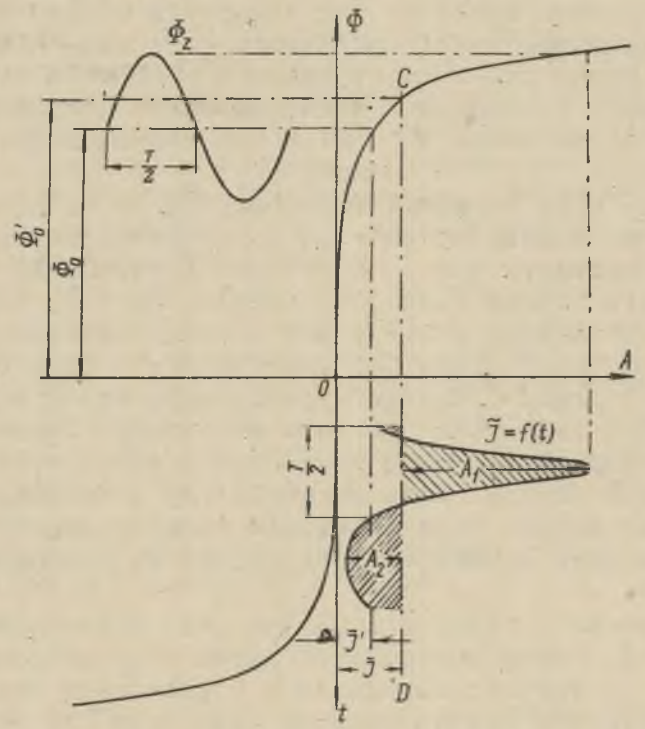
$$\tilde{J}_{t=0} = \tilde{J}_{t=T} \quad \text{oraz} \quad \phi_{t=0} = \phi_{t=T}$$

wobec czego dwa ostatnie wyrazy w równaniu (2) są zerami. Lewa strona równania jako wartość średnia sinusoidy napięcia zasilającego także jest równa zeru. Wobec tego $\int_0^T \tilde{J}dt$ jako wartość średnia prądu pobieranego ze sieci także musi być równa zeru.

$$\int_0^T \tilde{J}dt = 0$$

Znaczy to, że prąd płynący przez uzwojenie $\tilde{z}$ jest prądem zmiennym i w żadnym wypadku nie może mieć składowej stałej. Natomiast strumień w rdzeniu może mieć składową stałą i zmienną $\phi = \phi_o + \phi_z$. Istnienie składowej stałej

strumienia Φ_o w żadnym przypadku nie narusza ważności równania (1), gdyż tam występuje tylko pochodna strumienia względem czasu.



Rys. 2. Konstrukcja krzywej J = f(t)

Zależność strumienia Φ od amperozwojów wypadkowych A stanowi krzywą magnesowania, amperozwoje wypadkowe zaś pochodzą od obydwu prądów

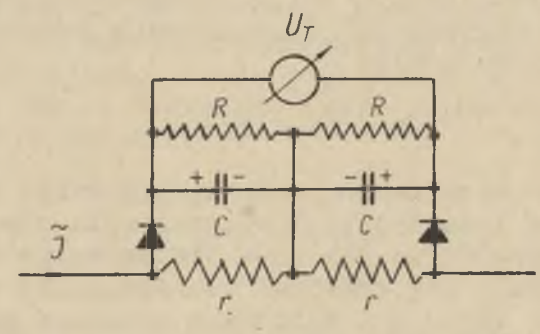
$$A = \bar{J}\bar{z} + \tilde{J}\tilde{z}$$

Załóżmy: $\bar{z} = \tilde{z}$ oraz pomińmy dla uproszczenia opory omowe i ewentualne indukcyjności rozproszenia obu uzwojeń. Jeżeli teraz przyłożymy napięcie sinusoidalne $\tilde{U}$, to strumień Φ_z też będzie się zmieniał sinusoidalnie wokół składowej stałej Φ_o (rys. 2). Natomiast przebieg prądu zmiennego wypadkowego $(\tilde{J} + \bar{J})$ będzie odkształcony, jak wynika z krzywej magnesowania (rys. 2). Ponieważ średnia wartość prądu $\tilde{J}$ musi być równa zeru, to osią przebiegu czasowego tego prądu będzie prosta C-D dzieląca krzywą tak, aby zakreskowane powierzchnie były równe.

Odległość tej prostej od osi Φ jest równa prądowi stałemu podmagnesowującemu $\bar{J}$. Przez uzwojenie prądu zmiennego płynie więc tylko składowa zmienna $\tilde{J}$ o wartości średniej równej zeru, a przez uzwojenie prądu stałego tylko składowa stała $\bar{J}$. Tej składowej stałej $\bar{J}$ odpowiadałaby składowa stała strumienia $\tilde{\Phi}'_o$, ale tylko w przypadku, gdyby nie było napięcia $\tilde{U}$. Z chwilą przyłożenia napięcia zmiennego $\tilde{U}$ składowa stała strumienia obniży się do wartości Φ_o, mimo nie zmienionego podmagnesowania $\bar{J}$.

Gdyby nie było napięcia zmiennego $\tilde{U}$, to do wywołania składowej stałej strumienia Φ_o wystarczyłby prąd $\bar{J}'$, który jest mniejszy niż $\bar{J}$. Z rysunku 2 widać, że w przypadku $\bar{J} = 0$ składowa stała strumienia $\Phi_o = 0$, bo gdy oś sinusoidy strumienia pokryje się z osią odciętych, to oś składowej zmiennej prądu C-D pokryje się z osią rzędnych, przebieg zaś prądu $\tilde{J}$ będzie symetryczny, czyli obie połówki okresów będą miały te same amplitudy. Natomiast przy $\bar{J} \neq 0$ amplituda prądu zmiennego w jednej połowie okresu będzie zawsze różna od amplitudy w drugiej połowie. Stwierdzenie więc istnienia różnicy amplitud w prądzie zmiennym wskazuje niewątpliwie na podmagnesowanie rdzenia.

Sposób pomiaru różnicy amplitud jest przedstawiony na rysunku 3. Przez przewód przepływa prąd zmienny odkształcony (o wartości średniej = 0), którego amplituda A_1 w pierwszej połowie okresu jest inna niż amplituda A_2 w drugiej połowie. Prąd ten przepływa przez dwa jednakowe opory r.



Rys. 3. Układ do pomiaru różnicy amplitud prądu $\tilde{J}$

Przypuśćmy, że w pierwszej połowie okresu kierunek prądu jest zgodny ze strzałką $\bar{J}$, to wtedy spadek napięcia na oporze lewym powoduje poprzez lewy prostownik ładowanie lewego kondensatora do wartości maksymalnej spadku napięcia na oporze, czyli do amplitudy A_1. Ładunek ten utrzymuje się aż do następnego okresu ładowania, gdyż wyładowanie przez prostownik nie jest możliwe. Przy przeciwnym kierunku prądu $\bar{J}$ ładuje się prawy kondensator do wartości maksymalnej A_2 spadku napięcia na drugim oporze r. Ponieważ kondensatory są naładowane do różnych napięć, więc przyrząd prądu stałego, załączony jak na rysunku 3, wskaże napięcie U_r proporcjonalne do różnicy amplitud obu połówek prądu.

Opory R (bardzo duże) służą do wyładowania kondensatorów; jeżeliby tych oporów nie było, kondensatory zachowywałyby swoje ładunki także w przypadku zmniejszenia się prądu czy amplitud, wobec czego przyrząd nie mógłby na tę zmianę reagować. Opory R są w zasadzie potrzebne tylko przy prostownikach lampowych, gdyż przy innych opory zaworowe wystarczają do wyładowania kondensatora.

Wskazanie U_r przyrządu jest proporcjonalne do różnicy amplitud prądu odkształconego

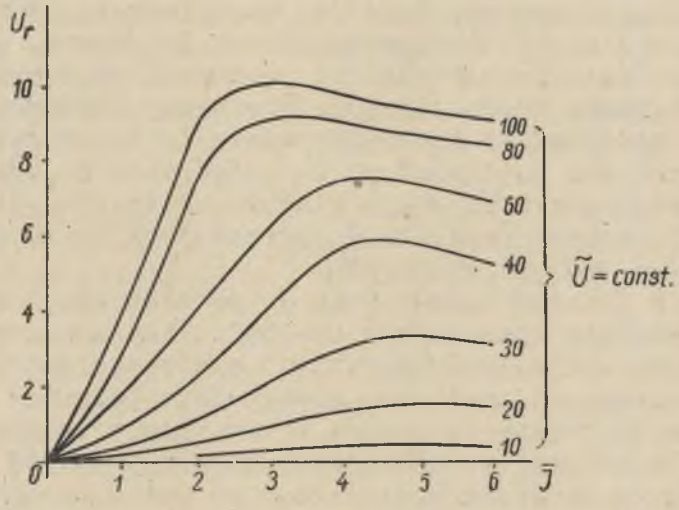
$$U_r = c(|A_1| - |A_2|)$$

a z kolei różnica amplitud zależy od podmagnesowania dławika prądem $\bar{J}$. W przypadku $\bar{J} = 0$, przyrząd również wskaże zero. W przypadku zmiany kierunku prądu $\bar{J}$ zmienia się także kierunek wychylenia przyrządu.

Na rysunku 4 przedstawiono doświadczalne krzywe otrzymane z pomiarów wykonanych za pomocą układu z rysunku 1. Na osi rzędnych znajduje się napięcie U_r, a na osi odciętych prąd podmagnesowujący $\bar{J}$. Każda krzywa odpowiada jednemu napięciu zasilającemu $\bar{U}$ = const. Krzywe te są symetryczne względem początku układu współrzędnych, tzn. że dla dodatnich wartości $\bar{J}$ jest U_r dodatnie, krzywe znajdują się w pierwszej ćwiartce układu współrzędnych, a dla ujemnych wartości $\bar{J}$, wartości U_r są ujemne i znajdują się w trzeciej ćwiartce. Na rysunku 4 przedstawiono tylko pierwszą ćwiartkę.

Wprawdzie zależność wskazania przyrządu U_r od prądu podmagnesowującego $\bar{J}$ jest tylko w pewnych granicach zbliżona do liniowej i w tych granicach daje wyniki jednoznaczne - niemniej jednak dla dodatnich wartości

prądu $\bar{J}$ wskazanie przyrządu będzie zawsze dodatnie, dla ujemnych ujemne, co oznacza, że kierunek podmagnesowania będzie jednoznacznie określony przez wskaźnik U_T.



Rys. 4. Zależność różnicy amplitud U_T od podmagnesowania $\bar{J}$ przy $\tilde{U}$ = const

Opisany tu sposób pomiaru różnicy amplitud można zastosować, prócz ewentualnie innych dziedzin, do automatycznej kompensacji strumienia magnetycznego w rdzeniu, służącym do pomiaru dużych prądów stałych [1]. Urządzenie opisane pod [1] polega na tym, że na szynę przewodzącą badany prąd stały $\bar{J}$ jest nałożony rdzeń toroidalny, posiadający uzwojenie o ilości zwojów z_K. Prąd szyny magnesuje rdzeń w jednym kierunku, a prąd z osobnego źródła, J_K, przechodzący przez uzwojenie rdzenia, magnesuje przeciwnie. Prąd ten (kompensujący) trzeba tak wyregulować, aby wypadkowy strumień (wypadkowe podmagnesowanie) był równy zeru, wtedy $\bar{J} = \bar{J}_K z_K$. Kompensację stwierdza się za pomocą drugiego uzwojenia prądu zmiennego, które wtedy będzie miało największą impedancję $\tilde{Z} = \frac{\tilde{U}}{\tilde{J}} =$ = max. Ręczne wyregulowanie prądu kompensującego jest łatwe, ale zbudowanie automatycznej regulacji dość trudne, gdyż tak przy za dużym, jak i za małym prądzie kompensującym impedancja jest mniejsza od maksymalnej i z jej wielkości nie można ocenić, czy należy prąd kompensujący zmniejszyć, czy zwiększyć.

Natomiast sposób pomiaru różnicy amplitud umożliwia zbudowanie automatycznej regulacji prądu kompensującego w stosunkowo prosty sposób w porównaniu z patentem [2] i [3], gdyż jako wielkość sygnalizująca przekompensowanie czy niedokompensowanie może być użyte napięcie U_T.

LITERATURA

[1] Konstanty Bielański, Prosta metoda do pomiarów kontrolnych dużych prądów stałych bez przerywania prądu i produkcji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka", zesz. 3, 1956, str. 99 oraz patent nr 39031 kl. a, 36/01 z dnia 18.II.1955.

[2] Fitz Gerald, patent USA 1825, 514.

[3] ATM, V3216 - 1.IX.1933.

Резюме

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗНИЦЫ АМПЛИТУД ТОКА, КАК СРЕДСТВО ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ПОДМАГНИЧИВАНИЯ

Рассмотрено следующие вопросы: явление одновременного подмагничивания дросселя постоянным и переменным током, являющегося причиной появления разных амплитуд переменного тока в первой и второй половине периода, измерение разницы этих амплитуд, экспериментальные данные, указания на некоторые возможности применения.

Résumé

MESURES DES DIFFERENCES DES AMPLITUDES DU COURANT, COMME MOYEN DE CONSTATATION D'EFFECT D'EXCITATION DE REGLAGE DES TRANSDUCTEURS

L'effect d'excitation simultanée d'une bobine d'induction avec le courant continu et alternatif. Différentes amplitudes du courant dans les deux semicycles. La mesure de ces amplitudes. Quelques applications.