

Eligiusz Pasecki
Instytut Metrologii i Maszyn Elektrycznych
Politechniki Śląskiej

Marian Gruca
Zakład Pomiarowo-Badawcze Energetyki
"Energopomiar"

HALOTRONOWY ANALIZATOR HARMONICZNYCH NAPIĘCIA O CZĘSTOTLIWOŚCI SIECIOWEJ

Streszczenie. Przez zastosowanie dwóch identycznych torów pomiarowych w układzie analizatora harmonicznych z przetwornikami halotronowymi, uzyskano przyrząd o dużej dokładności pomiaru wartości wybranej harmonicznej względem harmonicznej podstawowej z możliwością pomiaru fazy początkowej tej harmonicznej.

Stosowanie w urządzeniach przemysłowych układów deformujących przebiegi sinusoidalne, takich jak prostowniki sterowane, obwody magnetyczne z podmagnesowaniem itp., powoduje często konieczność pomiaru wartości napięcia kolejnych harmonicznych, a nawet ich fazy.

Do tego celu służą analizatory harmonicznych. Jednym ze znanych układów analizatora harmonicznych jest układ z przetwornikiem halotronowym. W układzie tym uzwojenie magnesujące przetwornika jest zasilane z generatora o częstotliwości bliskiej częstotliwości badanej harmonicznej i o przebiegu sinusoidalnym, a przebieg badany jest doprowadzony do elektrod sterujących halotron. Napięcie wyjściowe przetwornika jest mierzone przyrządem magnetoelektrycznym.

Rys. 1. Zasada działania halotronowego analizatora harmonicznych

Jeżeli przez uzwojenie magnesujące mnożnika

halotronowego (rys. 1) przepływa prąd

$$i_{\mu} = I_{\mu} \sin \omega t \quad (1)$$

to na halotron umieszczony w szczelinie rdzenia magnetycznego, pracującego na prostoliniowej części charakterystyki magnesowania, działa pole magnetyczne o indukcji

$$B = \mu \frac{2}{l} i_{\mu} \quad (2)$$

Dla częstotliwości badanych harmoniczných można pominać reaktancję obwodu sterującego halotron i napięcie badane u_x przyłożone do tego obwodu powoduje przepływ prądu sterującego

$$i_x = \frac{u_x}{R} = \frac{1}{R} \sum_{k=1}^n U_{mk} \sin(k\omega t + \varphi_k) \quad (3)$$

Ponieważ napięcie wyjściowe przetwornika halotronowego wynosi

$$u_H = kBi_x \quad (4)$$

gdzie k - stała halotronu, to po podstawieniu do wzoru (4) wzorów (1), (2) i (3), otrzymamy

$$u_H = C I_m \sin\Omega t \sum_{k=1}^n U_{mk} \sin(k\omega t + \varphi_k), \quad (5)$$

gdzie

$$C = \mu \frac{k\pi}{IR}$$

Jeżeli pulsacja prądu magnesującego jest równa pulsacji s -tej harmonicznej, to po przekształceniu wzoru (5) otrzymamy

$$u_H = \frac{1}{2} C I_m U_{ms} \cos\varphi_s + \frac{1}{2} C I_m \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq s}}^n U_{mk} \cos[(s-k)\omega t - \varphi_k] - \\ - \frac{1}{2} C I_m \sum_{k=1}^n U_{mk} \cos[(s+k)\omega t + \varphi_k] \quad (6)$$

Obliczając wartość średnią napięcia u_H za okres $T = \frac{2\pi}{\omega}$, otrzymamy

$$\bar{u}_H = \frac{1}{2} C I_m U_{ms} \cos\varphi_s \quad (7)$$

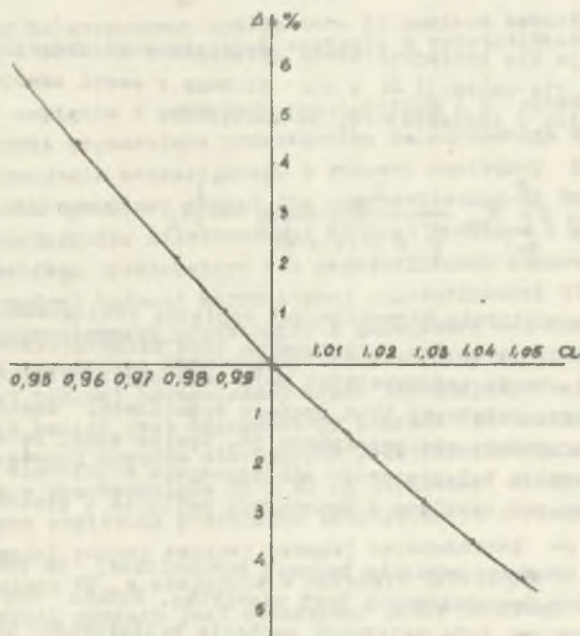
Ze wzoru (7) wynika, że dla stałej wartości amplitudy prądu magnesującego, wartość średnia napięcia wyjściowego przetwornika halotronowego mierzona np. przyrządem magnetoelektrycznym, jest proporcjonalna do iloczynu amplitudy napięcia i kąta przesunięcia fazy badanej harmonicznej. W celu

uniezależnienia wyniku pomiaru od kąta przesunięcia fazy, dobiera się częstotliwość prądu magnesującego bliską częstotliwości badanej harmoniczej. W tym przypadku na wyjściu przetwornika halotronowego pojawi się sygnał periodyczny o amplitudzie proporcjonalnej do amplitudy badanej harmoniczej i o częstotliwości stanowiącej różnicę pomiędzy częstotliwością prądu magnesującego i częstotliwością s -tej harmoniczej. Jeżeli $\Omega = as\omega$, to chwilowa wartość błędu względno obliczona ze wzoru (5) wynosi

$$\delta = 1 - \frac{\sin as\omega t}{\sin s\omega t} \quad (8)$$

Wartość skuteczna s -tej harmoniczej określa się na podstawie pomiaru uśrednionej za okres T amplitudy przebiegu wolnozmiennego o pulsacji $(a-1)s\omega$. Zatem zamiast rozpatrywać chwilową wartość błędu względnego, wygodniej jest obliczyć wartości średnie za okres $\frac{T}{2} = \frac{1}{2(a-1)}$ funkcji sinusoidalnych we wzorze (8). Otrzymamy wówczas

$$\Delta = 1 - \frac{a}{2} (1 - \cos a\pi) \quad (9)$$



Rys. 2. Zależność błędu pomiaru zawartości harmonicznego od różnicy częstotliwości prądu magnesującego i badanej harmoniczej

Na rys. 2 przedstawiono zależność względnego błędu pomiaru od stosunku pulsacji prądu magnesującego i badanej harmonicznej. Ze wzoru tego wynika, że ze względu na wartość błędu pomiaru, korzystniej jest stosować pulsacje prądu magnesującego wyższe od pulsacji badanych harmonicznych. Przy stałej wartości stosunku pulsacji dla każdej badanej harmonicznej, błąd pomiaru posiada wartość stałą i może być uwzględniony w wyniku pomiaru. Różnicę pulsacji dobiera się taką, aby czas pomiaru pojedynczej harmonicznej

$$t_p = \frac{1}{(a-1)sf} \quad (10)$$

nie przekraczał kilku sekund.

Drugim czynnikiem wpływającym na dokładność pomiaru halotronowym analizatorem harmonicznych jest zawartość harmonicznych w prądzie magnesującym. W takim przypadku wartość średnia sygnału na wyjściu przetwornika wynosi

$$\bar{u}_H = \frac{1}{2} C \sum_{s=1}^n I_{ms} U_{ms} \cos \varphi_s \quad (11)$$

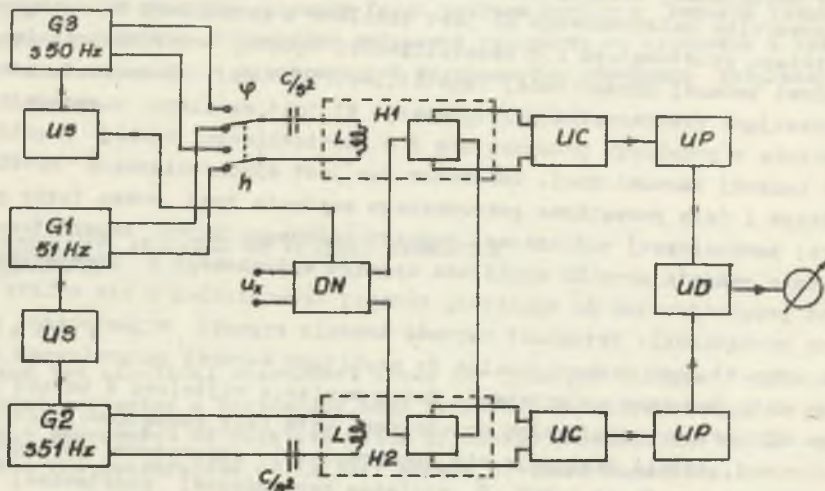
Jeżeli zastosuje się szeregowy obwód rezonansowy o dobroci Q w stanie rezonansu napięć dla pulsacji $\Omega = s\omega$ złożony z cewki uzwojenia magnesującego przetwornika i kondensatora, to otrzymamy

$$\bar{u}_H = \frac{1}{2} C \sum_{s=1}^n U_{ms} \frac{I_{ms}}{\sqrt{1 + Q^2(s - \frac{1}{s})^2}} \cos \left[\varphi_s + \arctg Q(s - \frac{1}{s}) \right] \quad (12)$$

Przyjmując, że amplitudy harmonicznych napięcia analizowanego są sobie równe oraz przesunięcia faz początkowych tych harmonicznych są równe zeru to dla dobroci obwodu rezonansowego $Q=10$ oraz prostokątnego przebiegu prądu magnesującego, dodatkowy błąd pomiaru spowodowany zawartością harmonicznych w tym prądzie nie przekracza 3%. Wynika stąd, że uzwojenie magnesujące przetwornika halotronowego zastosowanego w układzie analizatora harmonicznych może być zasilane z generatora napięcia o przebiegu prostokątnym.

Dokładność pomiaru napięcia badanej harmonicznej za pomocą halotronowego analizatora harmonicznych jest niewielka. Składa się na to szereg przyczyn takich jak duża zależność napięcia wyjściowego przetwornika halotronowego od temperatury, niestabilność amplitudy prądu magnesującego, oscylacyjny charakter wskazań przyrządu mierzącego napięcie wyjściowe przetwornika itp. Przy analizie widmowej przebiegów o częstotliwości sie-

ciowej interesuje nas najczęściej względna zawartość badanej harmonicznego w stosunku do harmonicznego podstawowej. Dokładność pomiaru halotronowego analizatora harmonicznego mierzącego względną zawartość harmonicznego napięcia o częstotliwości sieciowej może być duża, jeżeli zastosuje się dwa takie same tory pomiarowe. Układ takiego analizatora przedstawia rys. 3.^x



Rys. 3. Układ halotronowego analizatora do pomiaru zawartości względnej i faz początkowych harmonicznego napięcia o częstotliwości sieciowej

Generator G1 napięcia o przebiegu prostokątnym i o częstotliwości 51 Hz zasilają uzwojenie magnesujące przetwornika halotronowego H1. Kondensator C oraz cewka uzwojenia magnesującego L stanowi szeregowy obwód rezonansowy będący w stanie rezonansu napięć dla częstotliwości 51 Hz. Uzwojenie magnesujące przetwornika halotronowego H2 jest zasilane z generatora G2 napięcia o przebiegu prostokątnym i o częstotliwości stanowiącej wielokrotność równą rzędowi badanej harmonicznego częstotliwości 51 Hz. Generator ten jest synchronizowany przebiegiem z generatora G1. Kondensator szeregowo łączy z uzwojeniem magnesującym przetwornika H2 jest tak dobierany, że dla każdej badanej harmonicznego układ ten znajduje się w stanie rezonansu. Sygnał badany jest doprowadzony poprzez dzielnik napięcia DN do szeregowo połączonych obwodów sterujących przetworników halotronowych. Sygnały wyjściowe z przetworników H1 i H2 są całkowane w układach całkujących UC. Scałkowane amplitudy przebiegów periodycznych o częstotliwości 1 Hz i częstotliwości równej rzędowi badanej harmonicznego są zapamiętywane w układach pamięci UP, a następnie w układzie dzielącym UD amplitudy te są dzielone i wynik pomiaru jest wskazywany przez przyrząd magnetoelektryczny. W układzie modelowym wykonanego halotronowego analizatora harmonicznego

^x Układ analizatora według rys. 3 jest przedmiotem zgłoszenia patentowego.

nych funkcję układu dzielącego i wskaźnika spełnia magnetoelektryczny przetwornik ilorazowy.

Przedstawiony na rys. 3 układ analizatora do pomiaru względnej zawartości harmonicznych w prosty sposób można przystosować do pomiaru kąta fazy początkowej badanej harmonicznej. W tym celu uzwojenie magnesujące przetwornika halotronowego H2 jest zasilane z generatora G2 napięcia o przebiegu prostokątnym i o częstotliwości będącej wielokrotnością równą rzędowi badanej harmonicznej częstotliwości 51 Hz. Natomiast uzwojenie magnesujące przetwornika halotronowego H1 jest zasilane z generatora G3 napięcia o przebiegu prostokątnym i o częstotliwości równej częstotliwości badanej harmonicznej. Generator ten jest synchronizowany przebiegiem badanym i faza początkowa generowanego napięcia jest równa fazie początkowej harmonicznej podstawowej sygnału badanego. Zatem zapamiętana w układzie pamiętającym UP amplituda sygnału wyjściowego z przetwornika H2 jest proporcjonalna do amplitudy badanej harmonicznej i nie zależy od jej fazy początkowej. Natomiast wartość średnia sygnału wyjściowego z przetwornika H1 jest proporcjonalna do amplitudy badanej harmonicznej i cosinusa kąta jej fazy początkowej. Zatem napięcie wyjściowe z układu dzielącego UD jest proporcjonalne do cosinusa kąta fazy początkowej badanej harmonicznej. Jeżeli zastosuje się synchronizację generatora G3 przebiegiem przesuniętym w fazie o kąt $\frac{\pi}{2}$ względem harmonicznej podstawowej sygnału badanego, to napięcie wyjściowe z układu dzielącego będzie proporcjonalne do sinusa kąta fazy początkowej badanej harmonicznej.

LITERATURA

- [1] Mirski G.J. - Miernictwo elektroniczne. WKiŁ, Warszawa 1973.
- [2] Jellonek A., Karkowski Z. - Miernictwo radiotechniczne. WNT, Warszawa 1972.
- [3] Pożulach K.S. - Elektronnyje izmieritelnyje pribory. Izdt. "Wysszaja szkoła", Moskwa 1966.
- [4] Dritwal E.P., - Cifrowyje diferencjalnyje analizatory. Izdt. "Sowietskoje radio", Moskwa 1970.
- [5] Handke A. - Watomierzowy analizator harmonicznych prądu lub napięcia. PAK nr 4 1971.
- [6] Maniewski R. - Liniowość halotronów krajowych z arsenu indowego. PAK nr 8 1972.

Przyjęto do druku w lipcu 1975 r.

ХОЛЛОТРОНОВЫЙ АНАЛИЗАТОР ГАРМОНИК НАПРЯЖЕНИЯ
С ЧАСТОТОЙ СЕТИ

Р е з ю м е

Путем применения двух идентичных измерительных цепей в системе анализатора гармоник с преобразователями Холла получен прибор с высокой точностью измерения относительной величины избранной гармоники по отношению к величине основной гармоник с одновременной возможностью измерения начальных фаз этих гармоник.

HALL GENERATOR ANALYZER OF VOLTAGE HARMONICS
NET FREQUENCY

S u m m a r y

Using two identical measurment lines in harmonic analyzer with Hall generator convertor a device has been constructed characterized by great accuracy measurment of relative value of chosen harmonic. The device makes possible the measurments of initial phases of these harmonics.

