



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

58 065

Patent dodatkowy
do patentu

Zgłoszono: 29.XI.1966 (P 117 644)

Pierwszeństwo:

Opublikowano: 6.IX.1969

Kl. 21 e, ^{25/00}~~30/03~~

MKP G 01 r ^{25/00}

UKD

Twórca wynalazku: mgr inż. Mieczysław Krzyżagórski

Właściciel patentu: Przemysłowy Instytut Telekomunikacji, Warszawa
(Polska)

Sposób pomiaru kąta przesunięcia fazowego z odczytem cyfrowym wyniku

1

Przedmiotem wynalazku jest sposób pomiaru kąta przesunięcia fazowego z bezpośrednim, cyfrowym odczytem wyniku. Może on być zastosowany zarówno w układach pracujących na określonych częstotliwościach, jak na przykład w fazowych urządzeniach radionawigacyjnych, jak również w zwykłych miernikach fazy, gdzie wymagane jest przeprowadzanie pomiaru w pasmie częstotliwości.

Wiadomo, że wykonanie pomiaru kąta przesunięcia fazowego jest tym trudniejsze, im wyższa jest częstotliwość przebiegów badanych. Znany jest sposób wykorzystujący częstotliwość różnicową uzyskiwaną z przemiany częstotliwości. Umożliwia on nie tylko przesunięcie mierzonych częstotliwości w zakres niższych wartości, ale również — w razie potrzeby — utrzymanie tych częstotliwości na stałej wartości przez odpowiednie przestrajanie generatora, dzięki czemu pomiary przeprowadzane w pasmie, są sprowadzane do pomiarów przy jednej, niższej wartości częstotliwości.

Znane jest także wykorzystanie do pomiaru kąta przesunięcia fazowego nie tylko częstotliwości różnicowej między przebiegami badanymi i przebiegami generatora pomocniczego, ale również częstotliwości różnicowej między harmonicznymi przebiegami badanymi i generatora. Stosowanie wyższych częstotliwości harmonicznymi, ułatwia pomiar małych wartości kąta przesunięcia fazowego oraz zwiększa jego dokładność. Rzeczywiście, jeżeli przesunięcie fazowe między przebiegami ba-

2

danymi wynosi, np. ψ_o , to przesunięcie fazowe występujące w n-tej harmonicznej wynosi $\psi_o' = n \cdot \psi_o = \psi_o''$.

Wartość kąta przesunięcia fazowego ψ_o między przebiegami badanymi można w tym przypadku określić na podstawie pomiaru różnicy fazy w

n-tej harmonicznej, mianowicie $\psi_o = \frac{\psi_o'}{n} = \frac{\psi_o''}{n}$.

Jednak dla pewnego wskaźnika powielenia n oraz od pewnej wartości mierzonego kąta przesunięcia fazowego ψ_o , różnica fazy między przebiegami w n-tej harmonicznej, może przekroczyć wartość 360°, lub jej wielokrotność. Wówczas:

$$\psi_o' = n \cdot \psi_o = q \cdot 360^\circ + \psi_o''$$

gdzie q — jest liczbą naturalną, a ψ_o'' — jest wartością różnicy fazy, występującą w n-tej harmonicznej. W tym przypadku poszukiwana wartość kąta przesunięcia fazowego między przebiegami badanymi:

$$\psi_o = \frac{q}{n} \cdot 360^\circ + \frac{\psi_o''}{n} = \frac{\psi_o'}{n} \neq \frac{\psi_o''}{n}, \text{ dla } q \neq 0.$$

Jak z powyższego widać, informacja o mierzonym przesunięciu fazowym zawarta w n-tej harmonicznej jest niepełna, a sposób, w którym wykorzystuje się do pomiaru tylko tę n-tą częstotliwość harmoniczną, jest w ogólnym przypadku błędny.

Poprawne, jednoznaczne i dokładne określenie wartości ψ_0 można uzyskać albo przez wstępny, ale jednoznaczny pomiar kąta przesunięcia fazowego miernikiem mniej dokładnym, a następnie dopiero miernikiem niejednoznacznym ale precyzyjnym, albo też przez wykorzystanie w pomiarze pełnej informacji zawartej we wszystkich częstotliwościach harmonicznych, do przebiegu podstawowego włącznie.

Pierwszy sposób wymaga jednak stosowania dwóch mierników fazy, drugi natomiast jest stosowany obecnie tylko w pomiarach metodą krzywych Lissajou. Łatwo jest zauważyć, że żaden z tych sposobów pomiaru, nie daje na wyjściu wygodnej do odczytu informacji o wartości mierzonej różnicy fazy, występującej między przebiegami badanymi.

Sposób pomiaru kąta przesunięcia fazowego według wynalazku rozwiązuje jednoznacznie problem poprawności pomiaru dowolnej wartości mierzonej ($0^\circ - 360^\circ$) przez wykorzystanie w pomiarze pełnej informacji zawartej we wszystkich harmonicznych przebiegów sinusoidalnych dudnień.

Istota wynalazku polega na wytworzeniu z przebiegów badanych podawanych na wejście układu dwu ciągów harmonicznych par częstotliwości, które po zdudnieniu w układach nieliniowych poszczególnych bitów, dają dwa ciągi o tych samych harmonicznych częstotliwościach dudnień, między którymi przeprowadza się w każdym bicie binarne ważenie różnicy fazy od 0° do 180° oraz od 180° do 360° , przyporządkowując pierwszemu przedziałowi logiczne „0”, a drugiemu logiczne „1”, przy tym jeden bit informacji stanowi każda wielokrotność dwu dudnień o tych samych częstotliwościach, uzyskiwanych w dwu oddzielnych kanałach. Ciągi harmonicznych częstotliwości dudnień dla uzyskania jednoznacznego pomiaru, są wytwarzane w każdym kanale od wartości najniższej do wartości najwyższej.

Dla precyzyjnego ustawienia szpilek na osi czasu (kąta), włącza się między każdymi dwiema sąsiednimi wielokrotnościami, w obu kanałach, układy automatycznego sterowania progów, przy których są wytwarzane szpilki, przy czym sterowanie to przeprowadza się od najwyższej częstotliwości dudnień do najniższej. Kombinacja stanów logicznych (zer i jedynek) wszystkich bitów jest zależna od wartości mierzonej różnicy fazy. Określa ona liczbę najwęższych pasów $1p$ przedziałów 180° -cio stopniowych najwyższego bitu, mieszczących się w mierzonej różnicy fazy. Znajac szerokość pasa najwyższego (w stopniach), wyrażonego w skali przebiegu podstawowego oraz liczbę pasów najwęższych, mieszczących się w mierzonej różnicy fazy, łatwo określić wartość poszukiwanego przesunięcia fazowego w stopniach, przez zwykłe mnożenie.

Koncepcja wynalazku jest uwidoczniiona na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat blokowy układu, fig. 2 — zasadę tworzenia i numerowania pasów najwęższych na podstawie stanów logicznych wyjść poszczególnych bitów, fig. 3 — przykładowe wartości liczbowe.

Układ posiada dwa oddzielne wejścia (kanały),

na które są podawane przebiegi badane. Mogą to być dwa przebiegi sinusoidalne o jednakowych częstotliwościach (zwykły pomiar fazy), dwa przebiegi sinusoidalne o różnych częstotliwościach (system hiperboliczny Decca), lub dwie pary częstotliwości (system hiperboliczny Rana). Zadaniem układów wejściowych **WE** jest przez określone przekształcanie przebiegów badanych (mnożenie, dzielenie i przesuwanie częstotliwości), przygotować je do dalszej obróbki już w układach stałych, nieprzeobrażalnych. Na wyjściu układów wejściowych **WE** powinno się otrzymywać niezależnie od przebiegów wejściowych dwie pary przebiegów, które po zwielokrotnieniu w powielaczach **PW_n** ($n = 1, 2, \dots N$), można zapisać w ogólnej postaci następująco:

$$a_n = A_n \cdot \sin 2^n \cdot (\omega_a t + \alpha_a)$$

$$b_n = B_n \cdot \sin 2^n \cdot (\omega_b t + \alpha_b)$$

$$c_n = C_n \cdot \sin 2^n \cdot (\omega_c t + \alpha_c)$$

$$e_n = E_n \cdot \sin 2^n \cdot (\omega_e t + \alpha_e)$$

gdzie: $n = 0, 1, 2, \dots N$.

Kolejno otrzymywane w każdym kanale pary wielokrotne, zdudnia się w układach nieliniowych **UN**, które wydzielają na wyjściu odpowiednią wielokrotną częstotliwość dudnieniową.

Ustawienie wyjść poszczególnych bitów (**B₁ ... B_{1b}**) w jeden z dwu wyróżnionych stanów binarnych, przeprowadza się za pomocą impulsów szpilkowych, otrzymywanych z układów wytwarzających szpilki **UWS**. W każdej z dwu częstotliwości dudnieniowych danego bitu, szpilki ustawia się w punktach dodatnich i ujemnych przejść sinusoidy przez zero, przy czym szpilki z drgań sterują bramkę **BR** (dodatnie otwierają, ujemne zamykają; fig. 1 i fig. 2 linia ciągła), szpilki natomiast drugiego z drgań, przechodząc przez nią w momencie jej otwarcia, sterują układy wyjściowe **B₁ ... B_{1b}**, np. przerzutniki Schmitt'a (impulsy dodatnie ustawiają je w stan 0, impulsy ujemne w stan 1; fig. 1 i fig. 2 linia kropkowana).

W przypadku zwykłego pomiaru różnicy fazy, zachodzi równość $\omega_a = \omega_b = \omega$; wówczas należy przyjąć $e_n = c_n$. W tym przypadku przebiegi dudnieniowe w poszczególnych bitach (fig. 1) będą:

$$d_{na} = D_{na} \cdot \cos 2^n \cdot [(\omega - \omega_c)t + \alpha_a - \alpha_c],$$

$$d_{nb} = D_{nb} \cdot \cos 2^n \cdot [(\omega - \omega_c)t + \alpha_b - \alpha_c].$$

Odejmując kąt fazowy przebiegu d_{nb} od kąta fazowego przebiegu d_{na} , otrzymamy:

$$\psi_n = 2^n \cdot (\alpha_a - \alpha_b)$$

Różnica fazy dla $n = 0$, a więc wartość ψ_0 , jest poszukiwaną różnicą fazy między przebiegami badanymi i występuje w pierwszym bicie. Może ona przybierać wartości od 0° do 360° . Zgodnie ze sposobem tworzenia wartości logicznych (fig. 2), pierwszy bit (fig. 3, $1_b = 1$, $n = 0$) przydziela mierzoną różnicę fazy do jednego z dwu przedziałów kątowych od 0° do 180° lub od 180° do 360° . Szeroko-

kość pasa rozróżniana w pierwszym bicie równa jest zatem $\Delta\psi_0 = 180^\circ$. Drugi bit ($1_b = 2$, $n = 1$) przydziela występującą w nim różnicę fazy do jednego z czterech ($2^2 = 4$) możliwych przedziałów kątowych, o szerokości rozróżniania $\Delta\psi_1 = 180^\circ \cdot 2^{-1} = 90^\circ$. Trzeci bit ($1_b = 3$, $n = 2$) rozróżnia przedziały (pasy) o szerokości $\Delta\psi_2 = 180^\circ \cdot 2^2 = 45^\circ$, których liczba wynosi $2^3 = 8$. Ogólnie, dla dowolnego bitu 1_b ($n = 1_b - 1$), mierzoną różnicę fazy można przydzielić do jednego z $2^{1b} = 2^{n+1}$ pasów o szerokości:

$$\Delta\psi_n = 360^\circ \cdot 2^{-1b} = 180^\circ \cdot 2^{-n}$$

Wartości obliczone przy użyciu tej zależności są przedstawione na fig. 3 ($k = 1$). Najmniejszą szerokość pasa rozróżniania otrzymuje się dla największej wartości wskaźnika n , czyli dla $n = N$. W przykładzie na fig. 2, kąt przesunięcia fazowego między przebiegami narysowanymi linią ciągłą i przerywaną (osie 0—0 oraz 0'—0'), określony jest przez stan „0” w bicie pierwszym B_1 , stan „1” w bicie B_2 , stan „1” w bicie B_3 oraz stan „0” w bicie B_{1b} .

Kombinacja stanów logicznych poszczególnych bitów daje liczbę dwójkową 011...0, która zapisana w postaci liczby dziesiętnej daje wartość naturalną m ; w danym kącie przesunięcia fazowego mieści się więc m pełnych pasów najwęższych. Wartość mierzonej różnicy fazy wynosi zatem $m \cdot \Delta\psi_N$, z dokładnością równą szerokości pasa najwęższego $\Delta\psi_N$.

Jeżeli szerokość pasa najwęższego będzie równa, np. 1° ; $0,1^\circ$; $0,01^\circ$ itd., wówczas dla otrzymania wartości kąta przesunięcia fazowego w stopniach, staje się zbędny problem dodatkowego mnożenia, ponieważ zagadnienie sprowadza się do prawidłowego ustawienia przecinka. Żądane szerokości pasów najwęższych $\Delta\psi_N$ można uzyskać przez odpowiednie przekształcenie (mnożenie i dzielenie) przebiegów otrzymywanych na wyjściu układów WE. Otóż jeżeli różnica ($\alpha_a - \alpha_b$) będzie przybierała wartości mieszczące się w zakresie przedziałów:

$$0 \leq \alpha_a - \alpha_b \leq \alpha_1 \quad \text{lub} \quad \alpha_1 \leq \alpha_a - \alpha_b \leq \alpha_2$$

przy czym $180^\circ \leq \alpha_1 < 360^\circ$, $\alpha_2 = 2\alpha_1$ oraz jeżeli wartość $k \cdot (\alpha_a - \alpha_b)$ będzie przybierać wartości w przedziałach:

$$0 \leq k \cdot (\alpha_a - \alpha_b) \leq 180^\circ$$

lub

$$180^\circ \leq k \cdot (\alpha_a - \alpha_b) \leq 360^\circ,$$

wówczas dla $(\alpha_a - \alpha_b) = \alpha_1$ współczynnik $k = 180^\circ \cdot \alpha_1^{-1}$, dla $(\alpha_a - \alpha_b) = \alpha_2$ współczynnik $k = 360^\circ \cdot \alpha_1^{-1} = 180^\circ \cdot \alpha_1^{-1}$.

W świetle powyższych rozważań, szerokości pasów rozróżniania można ogólnie wyrazić w postaci $\Delta\psi_n = \alpha_1 \cdot 2^{-n}$, co dla $n = N$ daje:

$$\Delta\psi_N = \alpha_1 \cdot 2^{-N}$$

Ponieważ $180^\circ \leq \alpha_1 < 360^\circ$, więc:

$$180^\circ \cdot \Delta\psi_N^{-1} \leq 2^N < 360^\circ \cdot \Delta\psi_N^{-1}$$

Przyjmując żadaną wartość $\Delta\psi_N$, można obliczyć liczbę naturalną N , a następnie α_1 oraz ostatecznie k . Wartości $\Delta\psi_N$ dla $\Delta\psi_N = 1^\circ$ oraz $0,1^\circ$ przedstawiono na fig. 3 ($k = 180 : 256$, $k = 180^\circ : 204,8$).

W celu zapewnienia jednoznacznego pomiaru kąta przesunięcia fazowego, ciągi częstotliwości dudnieniowych są wytwarzane w kierunku od wartości najniższych do najwyższych (fig. 1 oraz fig. 2). Dzięki temu można z pewną dokładnością wstępną sprowadzić w każdym kanale fazy początkowe (zerowe) wszystkich harmonicznych częstotliwości dudnień do jednego punktu na osi czasu (kąta, fig. 2, osie 0—0 oraz 0'—0'). Rozwiązanie układu tylko w takiej postaci nie nadaje się do praktycznego wykorzystania. Jeżeli bowiem dokładność położenia wytwarzanych szpilek w pierwszym bicie ($1_b = 1$, $n = 0$, fig. 3) wyniesie $\pm 1^\circ$, to w 1_b -tym bicie wartość kąta błędu wyniesie $\pm 1^\circ \cdot 2^{1b-1} = \pm 1^\circ \cdot 2^n$.

Błąd ten ograniczałby stosowanie małych szerokości pasów najwęższych $\Delta\psi_N$, co dyskwalifikowałoby sposób pomiaru. Dlatego w układzie są zastosowane układy automatycznego sterowania progów UASP, w których są wytwarzane szpilki, przy czym sterowanie to przeprowadza się w kierunku od częstotliwości najwyższej do częstotliwości najniższej. Przyjmuje się więc jako wzorcowe, położenie szpilek wytworzonych przy najwyższej częstotliwości dudnień. Jeżeli teraz dokładność położenia wytwarzanych szpilek w 1_b -tym bicie wyniesie $\pm 1^\circ$, to dokładność ta w pierwszym bicie wyniesie $\pm 2 \cdot (1b-1) = \pm 2^{-n}$, co np. dla $n = 8$ daje $\pm 0,0039^\circ$. Uzyskanie takiej precyzji można osiągnąć przez stosowanie przy częstotliwościach najniższych układów o szybkości działania nie gorszej od szybkości działania układów przy częstotliwościach najwyższych. W ten sposób jest rozwiązany w układzie problem jednoznacznego i poprawnego pomiaru różnicy fazy z jednej strony oraz problem dużej dokładności — z drugiej strony.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób pomiaru kąta przesunięcia fazowego z odczytem cyfrowym wyniku **znamienny tym**, że na podstawie przebiegów badanych, podawanych na wejście układu (WE), wytwarza się w dwu oddzielnych kanałach dwa ciągi harmonicznych par częstotliwości, które po zdudnieniu w układach nieliniowych (UN) poszczególnych bitów, dają dwa ciągi o tych samych harmonicznych częstotliwościach dudnień, między którymi przeprowadza się w każdym bicie binarne ważenie różnicy fazy w przedziałach od 0° do 180° oraz od 180° do 360° , otrzymując na wyjściach wszystkich bitów ($B_1 \dots B_{1b}$) kombinację zer i jedynek, zależną od wartości kąta przesunięcia fazowego między przebiegami badanymi.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że ciągi harmonicznych częstotliwości dudnień, dla uzyskania jednoznacznego pomiaru, wytwarza się w każdym kanale od wartości najniższej do wartości najwyższej.

3. Sposób według zastrz. 1 i 2, **znamienny tym**, że dla precyzyjnego ustawienia szpilek na osi czasu (kąta), między każdymi dwiema sąsiednimi wielokrotnościami, w obu kanałach włącza się

układy automatycznego sterowania progów (**UASP**), przy których są wytwarzane szpilki, przy czym sterowanie to przeprowadza się od najwyższej częstotliwości dudnień do najniższej.

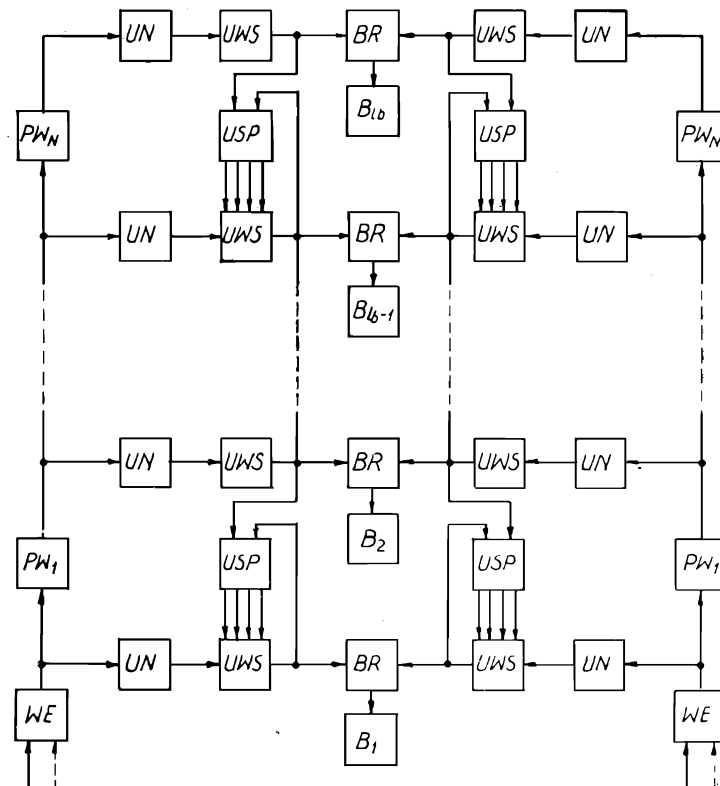


Fig. 1

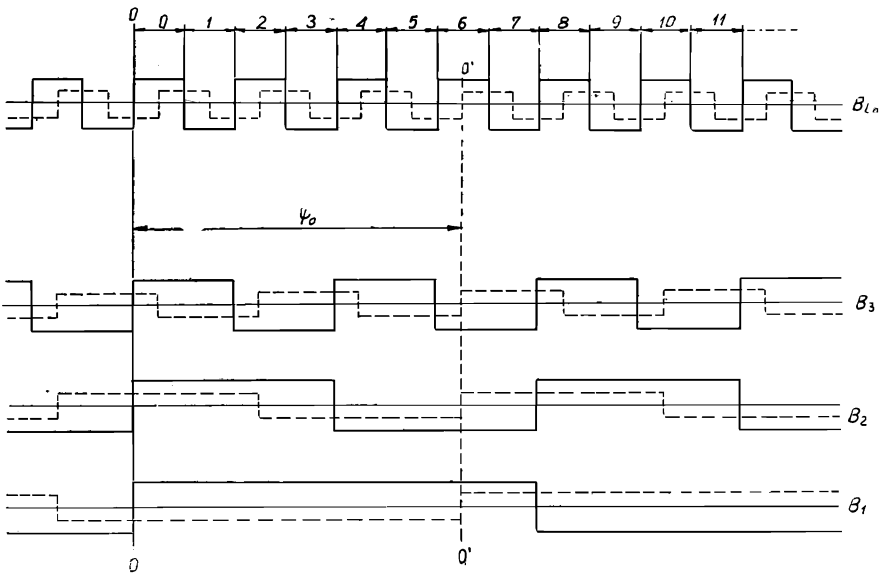


Fig. 2

n	0	1	2	8	11
$\Delta\varphi_n(k=1)$	180°	90°	45°	$0,703125^\circ$	$0,087890625^\circ$
$\Delta\varphi_n(k=\frac{180}{256})$	256°	128°	64°	1°	
$\Delta\varphi_n(k=\frac{180}{204,8})$	$204,8^\circ$	$102,4^\circ$	$51,2^\circ$	$0,8^\circ$	$0,1^\circ$
L_b	1	2	3	9	12
L_p	$2^1=2$	$2^2=4$	$2^3=8$	$2^9=512$	$2^{12}=4096$

Fig. 3