

J. KOPKA

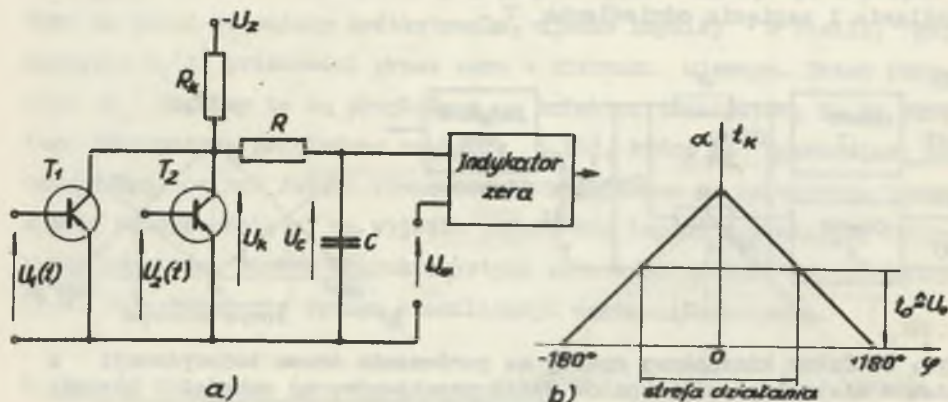
Katedra Elektroniki
Politechniki Śląskiej

NOWY IMPULSOWY CZŁON KIERUNKOWY

1. Wprowadzenie

Opisany człon kierunkowy jest przeznaczony do pracy w statycznych przekaźnikach kierunkowych i zabezpieczeniach porównawczo-kierunkowych oraz w statycznych zabezpieczeniach odległościowych. Możliwe jest również jego zastosowanie w innych dziedzinach.

Obecnie znanych jest kilka tranzystorowych układów członów kierunkowych. Członki te mogą działać na zasadach: pomiaru czasu koincydencji znaków dwóch przebiegów sinusoidalnych [1], [2], [3], porównania czasu koincydencji znaków dwóch przebiegów z czasem niekoincydencji znaków [3] oraz na zasadzie impulsowej [1], [2].



Rys. 1. Człon kierunkowy oparty na pomiarze czasu koincydencji znaków dwóch przebiegów

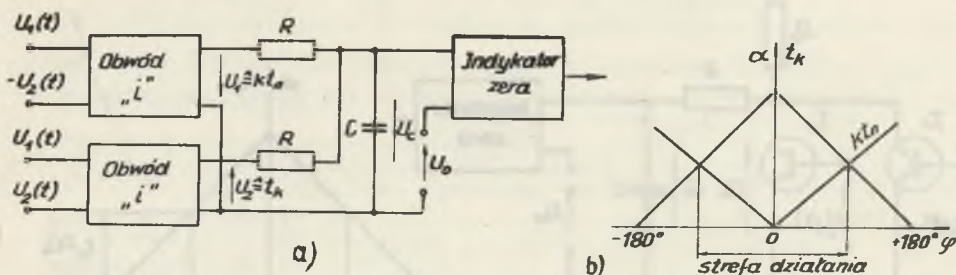
a) schemat ideowy; b) charakterystyka fazowa

Człon kierunkowy oparty na pomiarze czasu koincydencji znaków dwóch przebiegów sinusoidalnych [1] przedstawiono na rys. 1a. Składa się on z obwodu logicznego "i", złożonego z tranzystorów T_1 i T_2 , obwodu całkującego RC i indykatora zera.

Napięcia $U_1(t)$ i $U_2(t)$, między którymi chcemy zbadać kąt przesunięcia fazowego φ , przyłożone do baz mają takie wartości, że tranzystory T_1 i T_2 pracują przy dużych sygnałach wejściowych. Jeżeli oba napięcia będą równocześnie dodatnie powstaje na wyjściu obwodu logicznego ujemny, prostokątny impuls wyjściowy o szerokości α zależnej od kąta φ (rys. 1b) według relacji

$$\alpha = \pi - (\varphi)$$

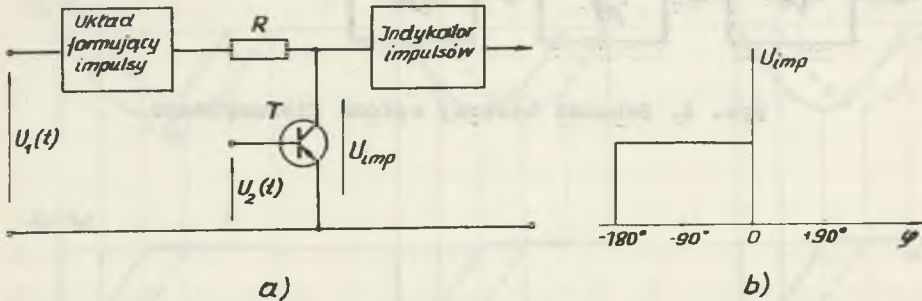
Dla określenia szerokości α impulsy wyjściowe zostają scałkowane i porównane z napięciem odniesienia U_0 . O ile napięcie na kondensatorze $U_C > U_0$ następuje zadziaływanie. Ponieważ przebiegi sinusoidalne w ciągu jednej połowki okresu są dodatnie, a w ciągu drugiej ujemne, możemy w tym przypadku mówić o koincydencji jednoimiennych połówek przebiegów $U_1(t)$ i $U_2(t)$. Układ wymaga dobrej stabilizacji napięcia zasilania i napięcia odniesienia U_0 .



Rys. 2. Człon kierunkowy oparty na porównaniu czasu koincydencji z czasem niekoincydencji znaków dwóch przebiegów: a) schemat ideowy; b) charakterystyka fazowa

Pewną modyfikację powyższej zasady stanowi układ porównujący czas koincydencji znaków dwóch przebiegów z czasem ich niekoincydencji [3] Schemat blokowy tego urządzenia (rys. 2a) składa się z dwóch obwodów logicznych "i", z których jeden daje na wyjściu impuls o czasie trwa-

nia t_n proporcjonalnym do kąta przesunięcia fazowego φ (tj. do czasu niekoincydencji), a drugi impuls o czasie trwania równym czasowi koincydencji t_k odpowiednich połówek przebiegów, obwodu całkującego i indikatora zera. Pierwszy impuls rozładuje kondensator C, a drugi ładuje. Jeżeli napięcie na kondensatorze osiągnie wartość U_0 następuje zadziałanie. Teoretyczną charakterystykę fazową układu przedstawiono na rysunku 2b.

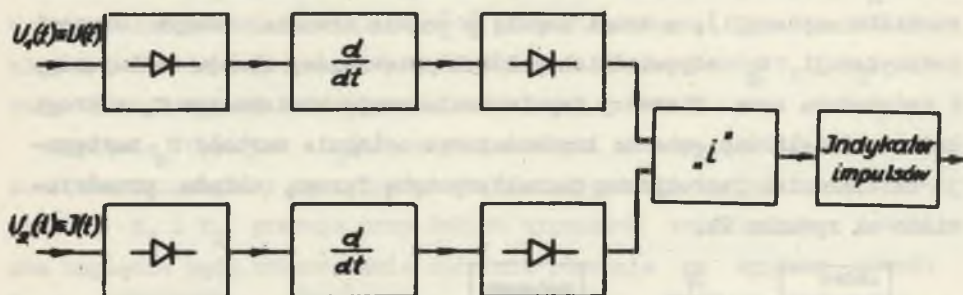


Rys. 3. Impulsowy człon kierunkowy: a) schemat ideowy; b) charakterystyka fazowa

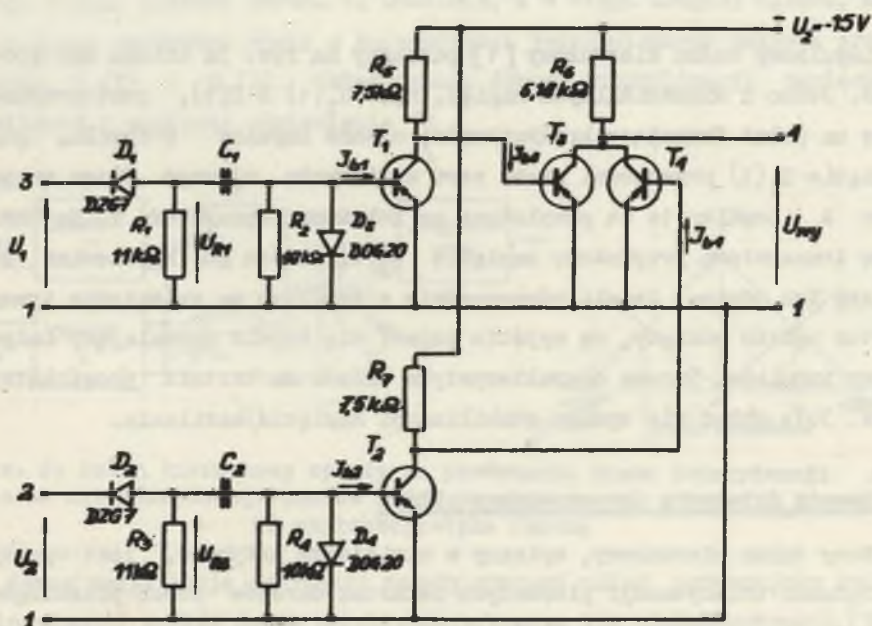
Impulsowy człon kierunkowy [1] pokazany na rys. 3a działa następująco. Jedno z sinusoidalnych napięć, np. $U_1(t) \triangleq I(t)$, jest przyłożone na układ formujący krótkotrwałe, ujemne impulsy w chwili, gdy napięcie $U_1(t)$ przechodzi przez zero w kierunku ujemnym. Przez rezystor R_c impulsy te są przyłożone na kolektor tranzystora T. Na bazę tego tranzystora przyłożono napięcie $U_2(t)$, które go naprzemian otwiera lub odcina. Jeżeli równocześnie z impulsem na kolektorze tranzystor będzie odcięty, na wyjściu pojawi się impuls wyzwalający indykator impulsów. Fazowa charakterystyka układu ma kształt prostokątny (rys. 3b). Układ nie wymaga stabilizacji napięcia zasilania.

2. Zasada działania proponowanego układu

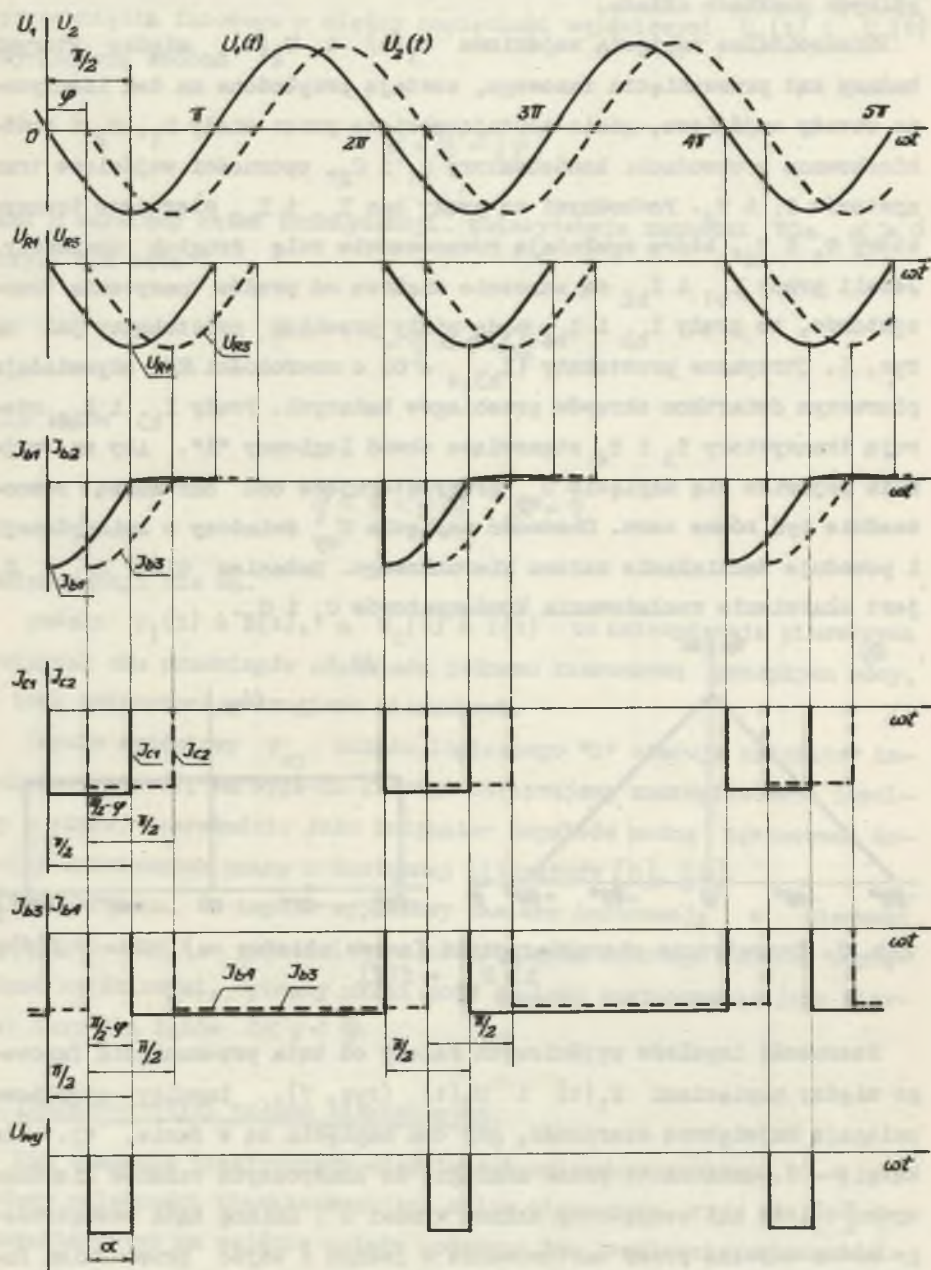
Nowy człon kierunkowy, opisany w niniejszym artykule, jest oparty na badaniu koincydencji pierwszych ćwiartek okresów dwóch przebiegów sinusoidalnych. Na rysunkach 4, 5 i 6 przedstawiają kolejno: schemat blokowy, ilustrujący kolejność przekształcania napięć wejściowych pod-



Rys. 4. Schemat blokowy członu kierunkowego



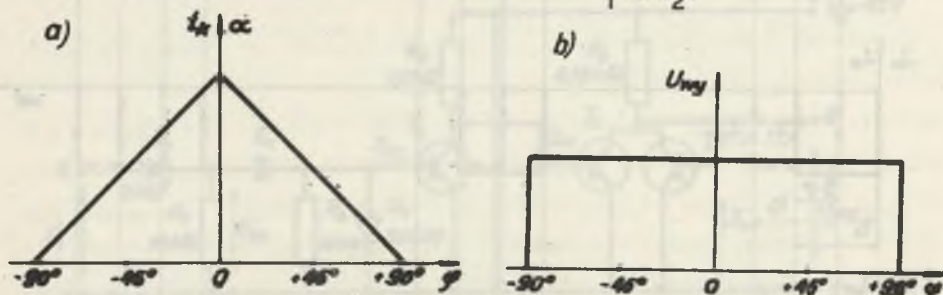
Rys. 5. Schemat ideowy członu kierunkowego



Rys. 6. Przebiegi napięć i prądów w układzie

stawowy schemat ideowy układu i przebiegi napięć i prądów w poszczególnych punktach układu.

Sinusoidalne napięcia wejściowe $U_1(t)$ i $U_2(t)$, między którymi badamy kąt przesunięcia fazowego, zostają przyłożone na dwa identyczne obwody wejściowe, gdzie zostają obcięte przez diody D_1 , D_2 i zróżniczkowane w obwodach: kondensatory C_1 i C_2 , oporności wejściowe tranzystorów T_1 i T_2 . Pochodnymi są prądy baz I_{b1} i I_{b2} sterujące tranzystory T_1 i T_2 , które spełniają równocześnie rolę drugich obcinaczy. Jeżeli prądy I_{b1} i I_{b2} są znacznie większe od prądów nasycenia tranzystorów, to prądy I_{b3} i I_{b4} będą miały przebieg prostokątny jak na rys. 6. Otrzymane prostokąty ($I_{b3,4} = 0$) o szerokości $\pi/2$ odpowiadają pierwszemu ćwiartkom okresów przebiegów badanych. Prądy I_{b3} i I_{b4} sterują tranzystory T_3 i T_4 stanowiące obwód logiczny "i". Aby na wyjściu pojawiło się napięcie U_{wy} prądy sterujące obu baz muszą równocześnie być równe zero. Obecność napięcia U_{wy} świadczy o koincydencji i powoduje zadziałanie członu kierunkowego. Zadaniem diod D_3 i D_4 jest ukatwienie rozładowania kondensatorów C_1 i C_2 .



Rys. 7. Teoretyczne charakterystyki fazowe układu: a) $\alpha = f(\varphi)$; b) $U_{wy} = f(\varphi)$

Szerokość impulsów wyjściowych zależy od kąta przesunięcia fazowego między napięciami $U_1(t)$ i $U_2(t)$ (rys. 7). Impulsy wyjściowe osiągają największą szerokość, gdy oba napięcia są w fazie, tj. dla kąta $\varphi = 0$. Oznacza to przez analogię do klasycznych członów kierunkowych [4], że kąt wewnętrzny układu wynosi 0° . Zmianę kąta wewnętrznego można uzyskać przez zastosowanie w jednym z wejść przesuwnika fazowego RC.

Matematycznie zależność szerokości impulsów wyjściowych od kąta przesunięcia fazowego φ między napięciami wejściowymi $U_1(t)$ i $U_2(t)$ wyraża się wzorem

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - |\varphi|$$

Kąt α nazwiemy kątem koincydencji. Koincydencja zachodzi dla $\alpha > 0$ czyli dla kąta

$$-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$$

Dla kątów

$$\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{3}{2}\pi \quad \alpha = 0$$

koincydencji nie ma.

Jeżeli $U_1(t) \hat{=} U(t)$, a $U_2(t) \hat{=} I(t)$ to koincydencja pierwszych ćwiartek obu przebiegów odpowiada jednemu kierunkowi przepływu mocy, a brak koincydencji drugiemu kierunkowi.

Impuls wyjściowy U_{wy} układu logicznego "i" steruje indykator impulsów (rys. 4), na wyjściu którego otrzymujemy znormalizowane impulsy o stałej szerokości. Jako indykator impulsów można zastosować dowolny uniwbibrator znany z dostępnej literatury [5], [6].

Dzięki temu, że impuls wyjściowy zawiera informację o kierunku przepływu mocy i o wartości kąta przesunięcia fazowego między napięciami wejściowymi, opisany układ może znaleźć zastosowanie jako miernik fazy dla kątów $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$.

3. Charakterystyki członu kierunkowego

Dla zbadania praktycznych właściwości opisywanego układu zdjęto cztery zależności charakteryzujące człon kierunkowy. Przy zdejmowaniu charakterystyk na wejście układu podawano dwa regulowane, sinusoidalne napięcia U_1 i U_2 , przy czym napięcie U_2 było przesuwane w fazie.

Pomiary czasu dokonano falomierzem liczącym typ PEL-3. Za zadziałanie członu uważano pojawienie się impulsu U_{wy} na ekranie oscylografu.

1. Zależność czasu koincydencji t_k w funkcji kąta przesunięcia fazowego

$$t_k = f(\varphi)_{U_1, U_2 = \text{const}}$$

Charakterystykę powyższą wykreślono na rys. 8. Stanowi ona średnią z dwóch pomiarów, przeprowadzonych w celu wyeliminowania wpływu niekształceń napięcia U_2 , wprowadzanych przez przesuwnik fazowy. Przebieg charakterystyki jest zgodny z przewidywaniami (rys. 7a).

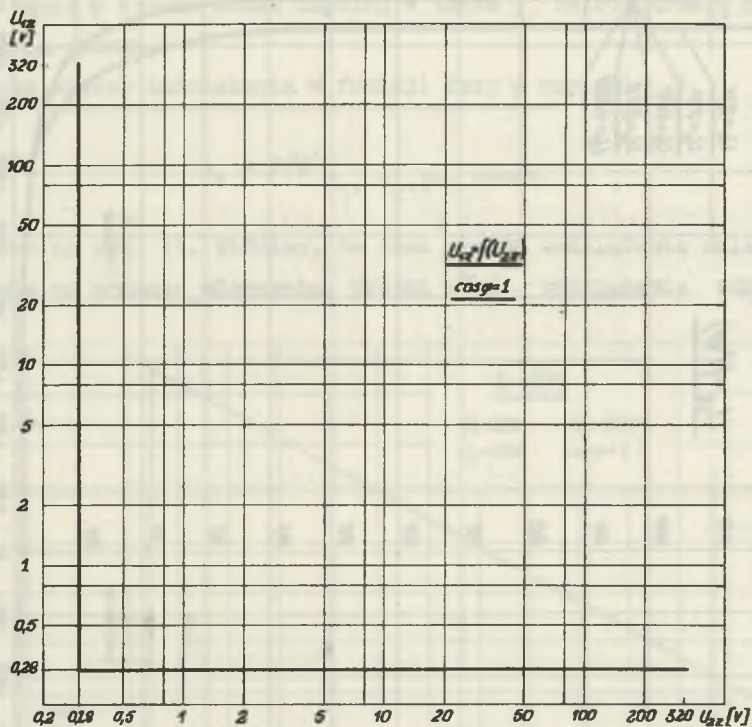


Rys. 8. Charakterystyka fazowa układu $t_k = f(\varphi)_{U_1, U_2 = \text{const}}$

2. Charakterystyka przedstawiająca minimalne napięcie zadziałania U_{1z} w funkcji minimalnego napięcia zadziałania U_{2z}

$$U_{1z} = f(U_{2z}) \cos \varphi = 1$$

została przedstawiona na rys. 9. Jej kształt jest prawidłowy znamien-
ny dla impulsowych członów kierunkowych.

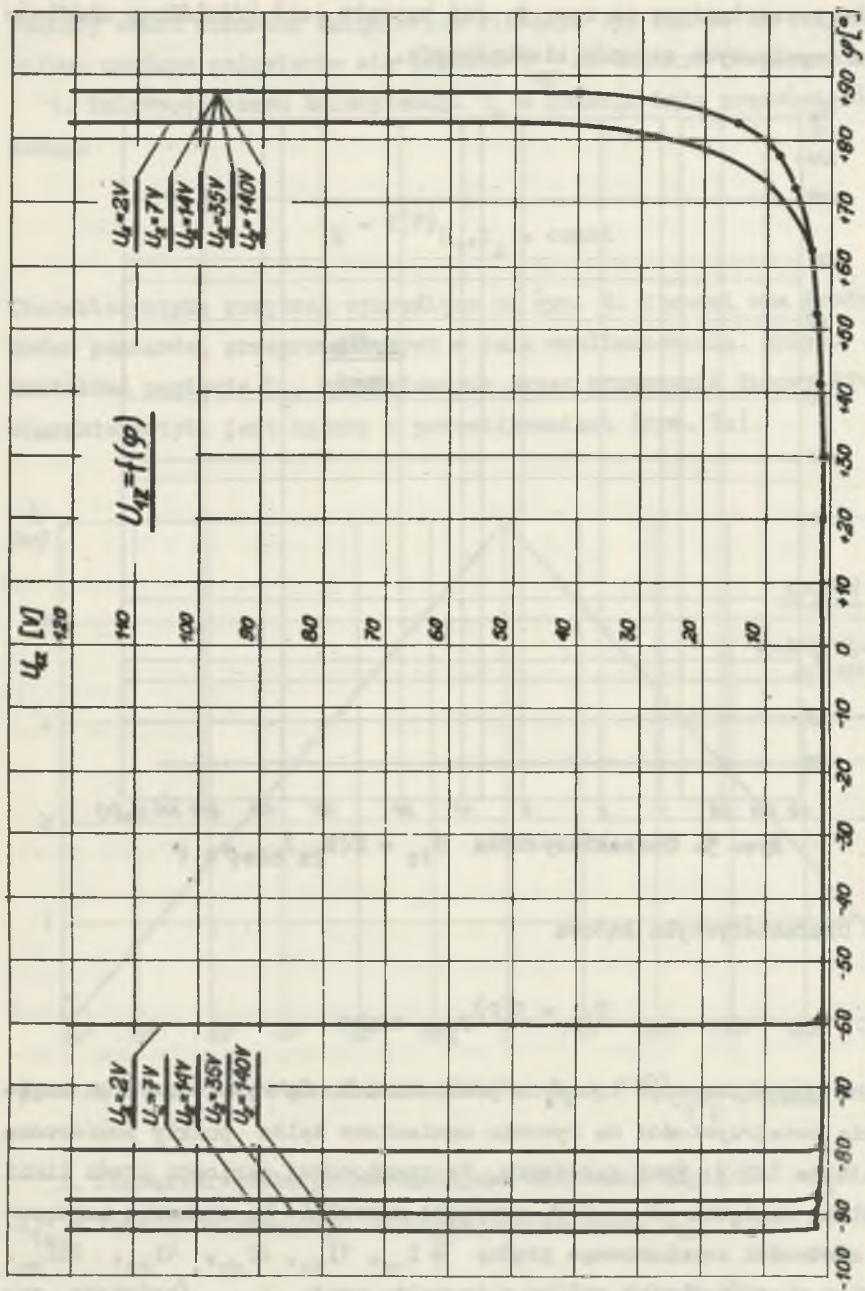


Rys. 9. Charakterystyka $U_{1z} = f(U_{2z}) \cos \varphi = 1$

3. Charakterystyka kątowa

$$U_{1z} = f(\varphi) U_2 = \text{const}$$

Rodzinę charakterystyk kątowych przedstawiono na rys. 10. Dla zwiększenia przejrzystości na rysunku naniesiono tylko punkty pomierzone przy $U_2 = 140$ V. Przy założeniu, że znamionowej wartości prądu linii odpowiada napięcie $U_2 = 7$ V, przyjęte wartości U_2 stanowią następujące krotności znamionowego prądu: $\frac{2}{7} I_{zn}$, $1 I_{zn}$, $2 I_{zn}$, $5 I_{zn}$, $20 I_{zn}$. Przebieg charakterystyk wynika z kształtu prądu I_{b1} (będącego pochodną napięcia U_1), sterującego bazę tranzystora T_1 . Przy dodatnim



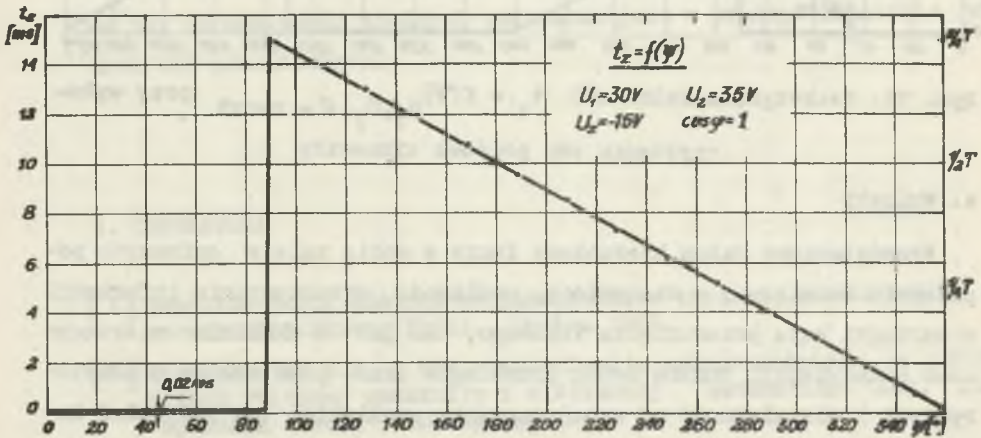
Rys. 10. Charakterystyka katodowa $U_{1z} = f(\varphi)$ $U_2 = \text{const}$

kącie φ płaski koniec impulsu w torze 1 koincyduje z prostokątnym impulsem w torze 2 (rys. 6), powodując łagodny przebieg krzywej. Przy ujemnym kącie φ strome czoło impulsu w torze 1 ostro określa granice zadziałania członu.

4. Czas własny zadziałania w funkcji fazy ψ napięcia U_1

$$t_z = f(\psi)_{U_1, U_2, \varphi = \text{const}}$$

wykreślono na rys. 11. Widzimy, że czas własny zadziałania zależy bardzo silnie od momentu włączenia. Krótki czas zadziałania odpowiada



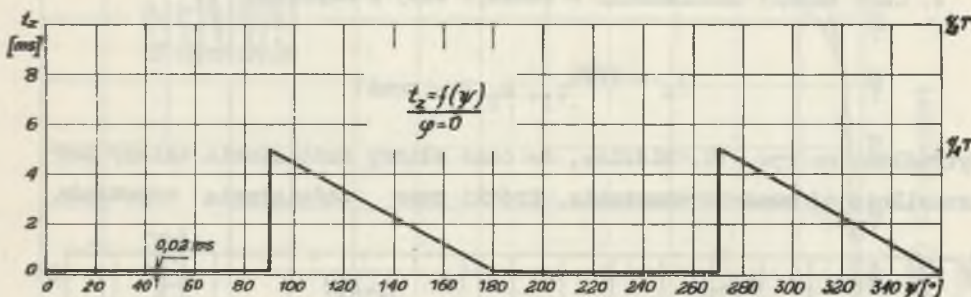
Rys. 11. Zależność czasu zadziałania od fazy ψ napięcia U_2

$$t_z = f(\psi)_{U_1, U_2, \varphi = \text{const}}$$

włączeniu napięcia U_2 w czasie, gdy na wyjściu układu formującego w torze 1 jest impuls wyjściowy. W przeciwnym przypadku zadziałanie może nastąpić dopiero przy następnym impulsie. Im bliżej tego impulsu napięcie U_2 zostaje załączone, tym krótszy jest czas zadziałania. Z rysunku wynika, że najdłuższy czas zadziałania członu przy $\varphi = 0$ wynosi $\frac{3}{4}$ okresu.

Czas zadziałania członu opartego na powyższej zasadzie można jeszcze skrócić, stosując dwa układy z rys. 5 i wykorzystując obie półwłoki przebiegów wejściowych. Teoretycznie charakterystyka czasu zadzia-

łania w funkcji fazy ψ napięcia U_1 dla takiego członu będzie miała przebieg jak na rys. 12. Najdłuższy czas zadziałania przy $\varphi = 0$ wynosi tu tylko $\frac{1}{4}$ okresu, gdyż taka będzie przerwa między kolejnymi impulsami.



Rys. 12. Teoretyczna zależność $t_z = f(\psi)_{U_1, U_2, \varphi = \text{const}}$ przy wykorzystaniu obu połówek sinusoidy

4. Wnioski

Przedstawiony człon kierunkowy łączy w sobie zalety opisanych poprzednio rozwiązań, a mianowicie: możliwość wykorzystania informacji o wartości kąta przesunięcia fazowego, tak jak w układzie mierzącym czas koincydencji znaków dwóch przebiegów oraz prostokątne charakterystyki i niezależność od wahań napięcia zasilania, tak jak układ impulsowy.

Największą zaletą proponowanego układu jest skrócenie czasu zadziałania w stosunku do innych rozwiązań. Z rysunku 11 wynika, że średni czas zadziałania wynosi $\frac{1}{2}(\frac{3}{4}T \cdot \frac{3}{2}\pi) : 2\pi = \frac{9}{32}T = 0,28 T$. W przypadku wykorzystania obu połówek przebiegów średni czas zadziałania znacznie maleje i wynosi (patrz rys. 12) $\frac{1}{2}(\frac{1}{4}T \cdot \frac{\pi}{2}) : \pi = \frac{1}{16}T = 0,062 T$. Czas zadziałania impulsowego członu kierunkowego [1] zmienia się liniowo od 0 do 1 okresu, czyli średnia wartość tego czasu wynosi 0,5 okresu, przy czym nie zależy ona od kąta fazowego między porównywanymi wielkościami elektrycznymi. W opisanym układzie średnia wartość czasu zadziałania zależy również od kąta fazowego między wielkościami wejściowymi, przy czym dla wartości tego kąta $\pm 90^\circ$ osiąga 0,5 okresu

Przedłużenia czasu zadziałania można łatwo uniknąć, włączając przełącznik kierunkowy w układzie elektroenergetycznym tak, aby w przypadku zwarcia, wielkości wejściowe członu kierunkowego były możliwie zgodne w fazie.

Próg zadziałania wynosi w obu torach 0,28 V. Próg ten można by jeszcze obniżyć przy stosowaniu elementów o lepszych parametrach elektrycznych.

Drugą zaletą proponowanej zasady jest zmniejszenie wpływu składowej nieokresowej. Dzięki temu zmniejsza się znacznie prawdopodobieństwo niepotrzebnego zadziałania przełącznika. Jest to istotne z uwagi na to, że możliwość zbędnych zadziałań jest w praktyce znacznie większa niż prawidłowych.

5. LITERATURA

- [1] Mamontow O.W.: Metody kibiernetiki w teorii elektrycznych zaszcit. Gos.Energ.Izdat., Moskwa 1962.
- [2] Wostroknutow N.N. i dr: Primienienije półuprowodnikow w ustrojstwach relejnoj zaszcity i sistiemnoj awtomatiki. Gos. Izdat. "Wyszaja szkoła", Moskwa 1962.
- [3] Fabrikant W.L., Putnynisz W.I.: Nowyj sposob srawnienija faz dla wypodnienija rele s dwuma elektryczeskim wielicznami, Elektryczestwo, nr 10, 1962.
- [4] Żydanowicz J.: Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa, WNT, Warszawa 1966.
- [5] Jankowski T. i Baranowski J.: Tranzystorowe układy impulsowe WNT, Warszawa 1963.
- [6] Schwartz S.: Wybrane układy półprzewodnikowe, WNT, Warszawa 1963.

Е. КОПКА
Кафедра Электроники
Силезского Политехнического Института
Гливице

НОВЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ОРГАН НАПРАВЛЕНИЯ

С о д е р ж а н и е

В статье описан орган направления, основанный на исследовании совпадения первых четвертей двух синусоидальных процессов. Синусоидальные входные напряжения $U_1(t)$ и $U_2(t)$ путем отрезания и дифференцирования превращаются в прямоугольные импульсы шириной в $\pi/2$ (рис. 4,5,6). Импульсы передаются на логическую систему "и". Ширина импульсов на выходе логической системы зависит от фазового сдвига между напряжениями $U_1(t)$ и $U_2(t)$ (рис. 4).

Математически зависимость ширины α выходных импульсов от угла сдвига фаз φ между выходными напряжениями определяется выражением

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - (\varphi)$$

$\alpha > 0$ возникает для углов $-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$ что соответствует одному направлению перетока мощности, а $\alpha = 0$ другому направлению.

Выходной импульс содержит информацию о направлении перетока мощности и о значении угла фазового сдвига.

Для разработанного элемента направления снято следующие характеристики:

1. Зависимость времени совпадения t_k от угла фазного сдвига

$$t_k \equiv f(\varphi) U_1, U_2 = \text{const}$$

2. Зависимость минимального направления срабатывания U_{1z} от минимального напряжения срабатывания U_{2z} рис. 9).

$$U_{1z} = f(U_{2z}) \cos \varphi = 1$$

3. Угловую характеристику (рис. 10)

$$U_{1z} = f(\varphi) U_z = \text{const}$$

4. Собственное время срабатывания как функция фазы φ напряжения U_I (рис. 11)

$$t_z = f(\varphi) U_1, U_2, \varphi = \text{const}$$

Представленное устройство представляет возможность сократить среднее время срабатывания до $0,28 T$, а в случае использования обоих полупериодов выходных процессов даже до $0,062 T$. Устройство это характеризуется меньшей чувствительностью на апериодические составляющие входные величины.

ОПИСАНИЕ РИСУНКОВ

Рис. 1. Элемент направления основанный на измерении времени совпадения знаков двух процессов: а) принципиальная схема; б) фазовая характеристика

- Рис. 2. Элемент направления основанный на сравнении времени совпадения с временем несовпадения знаков двух процессов: а) принципиальная схема; б) фазовая характеристика
- Рис. 3. Импульсный элемент направления: а) принципиальная схема; б) фазовая характеристика
- Рис. 4. Блок-схема элемента направления
- Рис. 5. Принципиальная схема элемента направления
- Рис. 6. Процессы напряжений и токов в устройствах
- Рис. 7. Теоретические фазовые характеристики устройства:
а) $\alpha = f(\varphi)$ б) $U_{wy} = f(\varphi)$
- Рис. 8. Газовая характеристика устройства
 $t_k = f(\varphi) U_1, U_2 = \text{const}$
- Рис. 9. Характеристика $U_{1z} = f(U_{2z}) \cos \varphi = 1$
- Рис. 10. Угловая характеристика $U_{1z} = f(\varphi) U_2 = \text{const}$
- Рис. 11. Зависимость времени срабатывания от фазы ψ напряжения U_2 $t_z = f(\psi) U_1, U_2, \varphi = \text{const}$
- Рис. 12. Теоретическая зависимость $t_z = f(\varphi) U_1, U_2, \varphi = \text{const}$ при использовании обеих половин синусоиды

J. KOPKA
 Chair of Electronics
 Technical University of Gliwice

NEW PULSE-OPERATING DIRECTIONAL ELEMENT

S u m m a r y

The principle of directional element described in the paper is based upon coincidence checking of two sinusoidal waveforms in their first quadrants. Sinusoidal input voltages $U_1(t)$ and $U_2(t)$ as a result of cutting off and differentiation are converted into rectangular pulses of $\pi/2$ width (figures 4, 5, 6). The pulses are fed into AND logical block. The width of logical block output pulses depends on phase shift between voltages $U_1(t)$ and $U_2(t)$ (fig. 4).

The relation between width of pulses and phase shift φ is given by the equation:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - (\varphi)$$

The case of $\alpha > 0$ occurs when $-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$ which corresponds to one direction of energy flow, whereas $\alpha = 0$ case corresponds to another direction of energy flow.

Output pulse is carrying information of energy flow direction and phase shift value.

For the actual directional element the following characteristic were plotted:

1. Coincidence time t_k versus phase shift (fig. 8)

$$t_k = f(\varphi) \quad U_1, U_2 = \text{const}$$

2. The minimum pick-up voltage U_{1z} versus minimum pick-up voltage U_{2z} (fig. 9)

$$U_{1z} = f(U_{2z}) \quad \cos \varphi = 1$$

3. Angle characteristic (fig. 10)

$$U_{1z} = f(\varphi) \quad U_2 = \text{const}$$

4. Operating time of directional element as a function of phase angle ψ of voltage U_1 (fig. 11)

$$t_z = f(\psi) \quad U_1, U_2, \varphi = \text{const}$$

The mean operating time of the system described is shortened to 0,28 T, and in case the both halves of input waveforms are employed, the operating time can be cut down to 0,06 T. The system is also less sensitive to d.c. components of input voltages.

FIGURES DESCRIPTIONS

Fig. 1. Directional element based upon time measurement of two waveforms coincidence of signs: a) schematic diagram; b) phase characteristic

Fig. 2. Directional element based upon comparison of coincidence time and incoincidence time of two waveforms signs: a) schematic diagram; b) phase characteristic

Fig. 3. Pulse-operating directional element: a) schematic diagram; b) phase characteristic

Fig. 4. Block diagram of directional element

Fig. 5. Schematic diagram of directional element

Fig. 6. Voltage and current waveforms

Fig. 7. Theoretical phase characteristic: a) $\alpha = f(\varphi)$, b) $U_{wy} = f(\varphi)$

Fig. 8. Phase characteristic $t_k = f(\varphi)$ $U_1, U_2 = \text{const}$

Fig. 9. Characteristic of $U_{1z} = f(U_{2z}) \cos \varphi = 1$

Fig. 10. Angle characteristic $U_{1z} = f(\varphi)$ $U_2 = \text{const}$

Fig. 11. Operating time as a function of phase angle φ of voltage U_2
 $t_z = f(\varphi)$ $U_1, U_2, \varphi = \text{const}$

Fig. 12. Theoretical relation: $t_z = f(\varphi)$ $U_1, U_2, \varphi = \text{const}$, both halves of sinusoidal waveforms employed