



Patent tymczasowy dodatkowy

do patentu nr _____

Zgłoszono: 11.03.1971 (P. 146802)

Pierwszeństwo: _____

Zgłoszenie ogłoszono: 05.05.1973

Opis patentowy opublikowano: 25.08.1975

Kl. 21a¹,36/00

MKP H03k 5/05

BIBLIOTEKA

Urząd Patentowy
Instytut Inżynierii Elektrycznej

Twórca wynalazku: Paweł Sobczak

**Uprawniony z patentu tymczasowego: Politechnika Warszawska, Warszawa
(Polska)**

**Przełącznikowy wzmacniacz mocy prądu stałego
z modulacją szerokości impulsu**

1 Wynałazek dotyczy układu przełącznikowego wzmacniacza mocy prądu stałego z modulacją szerokości impulsu.

W znanych przełącznikowych wzmacniaczach mocy końcowy stopień jest skokowo przełączany między skrajnymi stanami przewodzenia i nieprzewodzenia, przy czym straty mocy w tym elemencie przełączającym, w obu stanach są małe. W rezultacie układy takie osiągają bardzo dużą sprawność. Element przełącznikowy jest sterowany modulatorem szerokości impulsu, który określa czas trwania (periodycznie następujących po sobie) każdego z obu stanów tego przełącznika. W konsekwencji wartość średnia napięcia wyjściowego jest określona przez stosunek czasu trwania impulsu przewodzenia t do okresu przełączania T (gdyż amplituda tego impulsu jest w przybliżeniu stała). Stosunek ten jest nazywany współczynnikiem wypełnienia $k = \frac{t}{T}$. Przy

zmianie tego stosunku następuje proporcjonalna zmiana napięcia wyjściowego. Modulacja polega na tym, że pod wpływem sygnału sterującego zmienia się wartość k , która jest wielkością charakterystyczną prostokątnego przebiegu elektrycznego. Po odfiltrowaniu przebiegu zmiennego otrzymuje się na wyjściu sygnał będący odwzorowaniem sygnału wejściowego.

W znanych dotychczas układach modulację szerokości impulsu realizuje się najprościej w ten sposób, że stałe lub wolnozmiennie napięcie sygnału uży-

2 teczne doprowadzane do generatora drgań prostokątnych określa szerokość jego impulsów wyjściowych, co stanowi (po wzmocnieniu i filtracji) o wartości napięcia wyjściowego. Wadą tego rozwiązania jest trudność uzyskania zmian współczynnika wypełnienia w granicach od 0 do 1, oraz to, że szerokość impulsów wyjściowych generatora jest określona zazwyczaj logarytmicznymi funkcjami napięcia sterującego, przez co powstała zależność szerokości impulsu od napięcia sygnału odbiega od liniowej (zwłaszcza dla zakresów zmian k $0 \div 0,1$ i $0,9 \div 1$). Inny sposób modulacji polega na sumowaniu dwóch przebiegów napięciowych: przemien-
10 nego (z generatora) i sterującego stałego, a wynikiem tego sumowania na odpowiednim elemencie układu jest przebieg prostokątny o modulowanej szerokości impulsu. Wadą tego sposobu jest to, że realizacja tej metody wymaga znacznego rozbudowania układu. W przypadku stosowania ujemnego sprzężenia zwrotnego jest ono realizowane w ten
20 sposób, że część stałego napięcia wyjściowego (po filtracji) jest doprowadzona razem z sygnałem użytym na wejście wzmacniacza.

Celem wynalazku jest opracowanie uproszczonego przełącznikowego wzmacniacza mocy prądu stałego, który by przy wyeliminowaniu generatora napięcia zmiennego zapewniał dokładną proporcjonalność między sygnałem wejściowym i wyjściowym.

Cel ten został osiągnięty przez zbudowanie wzmacniacza według wynalazku, który zawiera

3

człon całkujący napięcie wejściowe elementu przełączającego i przerzutnik o dwóch dokładnie określonych poziomach działania. Człon całkujący jest włączony między element przełączający i obciążenie. Jedna końcówka wejściowa przerzutnika będąca wspólną dla jego wyjścia połączona jest (w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego) z wejściem członu całkującego, a druga ze źródłem napięcia sterującego wzmacniacz. Drugi biegun tego źródła jest podłączony do wyjścia członu całkującego. Wyjście przerzutnika jest połączone z wejściem elementu przełączającego.

W układzie według wynalazku wytwarzanie przebiegu zmiennego (prostokątnego) i jego modulacja odbywa się nierozłącznie w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego. Pozwala to na wyeliminowanie generatora napięcia zmiennego, co upraszcza układ, przy czym jest zapewniona proporcjonalność między sygnałem wejściowym i wyjściowym na skutek silnego ujemnego sprzężenia zwrotnego w całym zakresie zmian napięcia wyjściowego. Ponieważ jako układ całkujący może być wykorzystany filtr napięcia wyjściowego o odpowiednio dużej stałej czasowej, to w tym rozwiązaniu nie następuje żadne uboczne zwiększenie liczby elementów. Układ pozwala uzyskać szeroki zakres zmian napięcia wyjściowego oraz dzięki dużej czułości przerzutnika zapewnia znaczną niezależność napięcia lub prądu wyjściowego od zmian napięć zasilających i zmian obciążenia. Układ przełącznikowy według wynalazku znajduje dodatkowo zastosowanie jako stabilizator napięcia lub prądu wyjściowego przy równoczesnym dynamicznym ograniczeniu maksymalnych wartości odpowiednio prądów i napięć.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat blokowy wzmacniacza, fig. 2 — schemat ideowy przykładowego rozwiązania fig. 3 — przebiegi czasowe prądów i napięć a fig. 4 — schemat układu, w którym wzmacniacz mocy stanowi jeden z elementów układu o ujemnej pętli sprzężenia zwrotnego.

Na fig. 1 przedstawiony jest schemat blokowy wzmacniacza zasilanego ze źródła napięcia napięciem stałym lub pulsującym U_z , w którym końcowy stopień mocy stanowi, okresowo włączany i wyłączany, przełącznik 1 ustalający wartość średnią napięcia U_o na obciążeniu 2. Jako przełącznik 1 przykładowo stosuje się tranzystory, tyrystory (włączane i wyłączane prądem bramki) lub przekładniki mechaniczne. Między przełącznik 1 a obciążenie 2 jest włączony całkujący napięcie wyjściowe tego przełącznika człon 3. Głównym parametrem członu całkującego jest wartość stałej czasowej $\frac{L}{R}$ lub RC.

Przerzutnik 5 jest multiwibratorem bistabilnym o dwóch dokładnie określonych poziomach napięcia na jego wejściu, przy których następuje przejście z jednego stanu w drugi. Wyjście przerzutnika 5 połączone jest z wejściem przełącznika 1, a końcówki jego wejścia z wejściem członu całkującego 3 i źródłem napięcia 4 sterującego wzmacniacz. Drugi biegun źródła 4 jest połączony z wyjściem członu całkującego 3.

Na fig. 2 w przykładzie rozwiązania rolę przełącznika 1 spełnia tranzystor sterowany w obwodzie

4

bazy połączonej z wyjściem przerzutnika 5. Człon całkujący 3 tworzą połączone szeregowo z opornikiem obciążenia 2 dławik 6 i opornik próbkujący 7, których drugie zakończenia stanowią wejście członu 3, oraz dioda 8 włączona do tego wejścia zaporowo w stosunku do wyjścia elementu przełączającego 1. Elementy 1, 3, 5 połączone w ten sposób tworzą razem, w przypadku gdy napięcie ze źródła 4 jest niezmiennie, stabilizator 12 prądu obciążenia I_o .

Na fig. 3 przedstawione są przebiegi czasowe prądów i napięć według fig. 2 przy dwóch wartościach sygnału e_{g1} i e_{g2} , którym odpowiadają prądy i napięcia wyjściowe I_{o1} i I_{o2} oraz U_{o1} i U_{o2} .

Na fig. 4 przedstawiono odmianę przełącznikowego wzmacniacza o wzmocnieniu napięciowym niezależnym od wielkości obciążenia. Źródło jego napięcia sterującego 11 połączone jest z jednej strony z końcówką wyjściową tego wzmacniacza, będącą wspólną dla wejścia stabilizatora prądu obciążenia 12, a z drugiej z jednym z wejść wzmacniacza błędów 9, którego drugie wejście połączone jest z wyjściem członu próbkującego 10 napięcie wyjściowe U_o . Człon 10 połączony jest równolegle do opornika obciążenia 2. Wyjście wzmacniacza błędów 9 połączone jest z wejściem stabilizatora 12 prądu obciążenia I_o . Wejście to stanowi zarazem wejście przerzutnika 5 tworzącego razem z przełącznikiem 1 i członem na przykład w postaci tranzystora i członem całkującym 3 ten stabilizator.

Przełącznikowy wzmacniacz mocy prądu stałego według fig. 1 działa w sposób następujący: przełącznik 1 jest tak sterowany z przerzutnika 5, że stanowi zwarcie lub rozwarcie, przy czym czas zwarcia lub rozwarcia może być zmieniany. Napięcie U_1 ma więc kształt prostokątny o zmieniającej się szerokości odpowiednich impulsów i amplitudzie U_z . Napięcie to jest podawane na człon całkujący 3. Wobec tego, że napięcie U_1 jest napięciem o przebiegu prostokątnym, to otrzymane w wyniku całkowania napięcie U_2 jest napięciem zmiennym będącym sumą napięcia stałego i przemiennego. Napięcie stałe jest proporcjonalne do amplitudy napięcia U_1 i współczynnika k. Napięcie przemiennie ma kształt zbliżony do trójkątnego (tym lepiej im stała czasowa $\frac{L}{R}$ lub RC jest większa w stosunku

do okresu przebiegu) o odcinkach czasowych narastania i opadania równych odpowiednim odcinkom czasowym przebiegu prostokątnego U_1 . Napięcie U_2 wraz z napięciem sterującym e_g stanowi napięcie U_3 , które jest podawane na wejście przerzutnika bistabilnego 5, reagującego na dwa niezmiennie i dokładnie określone poziomy E_1 i E_2 napięcia U_3 . Przejście napięcia U_3 przez te poziomy powoduje przeskok przerzutnika 5 z jednego stanu w drugi. Następstwem tego jest rozwarcie przełącznika 1 (gdy napięcie $U_3 = U_2 + e_g$ przekroczy poziom E_1) lub zwarcie (gdy napięcie U_3 spadnie poniżej poziomu E_2). Ponieważ zarówno napięcie wyjściowe U_o jak i napięcie U_3 jest proporcjonalne do U_z i k, to wynikiem tego jest ograniczenie napięcia wyjściowego od góry i od dołu.

Działanie układu przedstawionego na fig 2 jest następujące: wstępnie (przy odłączonym obciążeniu

2) stan przerzutnika 5 jest taki, że jego napięcie wyjściowe U_{BE} polaryzuje tranzystor 1 maksymalnie w kierunku przewodzenia. Po załączeniu obciążenia 2 prąd kolektora i_c , na skutek szeregowego połączenia dławika 6 z obciążeniem 2 ($i_L = i_c$) narasta początkowo w przybliżeniu liniowo, przez co analogicznie narasta napięcie U_2 na oporności 7. Gdy napięcie wejściowe U_3 przerzutnika 5 ($U_3 = U_2 + e_g$) przekroczy poziom E_1 to spowoduje na jego wyjściu skok napięcia U_{BE} o takiej polaryzacji, że odcina on tranzystor 1. To skokowe wyłączenie tranzystora 1 powoduje, że dławik 6, dzięki zmagazynowanej w nim przednio energii, załącza w tym momencie diodę 8 oraz rozładowuje się w przybliżeniu liniowo prądem i_D ($i_L = i_D$) poprzez diodę 8 i obciążenie 2. W efekcie maleje w ten sam sposób napięcie U_2 . Gdy z kolei U_3 spadnie poniżej poziomu E_2 , to na wyjściu przerzutnika 5 pojawi się taki skok napięcia U_{BE} , że tranzystor 1 znajdzie się w nasyceniu, prąd kolektora i_c zacznie narastać i cykle będą się powtarzać. W rezultacie maksymalna i minimalna chwilowa wartość prądu i_L dławika 6 jest ograniczona poprzez działanie przerzutnika 5. Człon całkujący 3 (elementy 2, 6, 8) spełnia w tym rozwiązaniu równocześnie rolę filtra dolnoprzepustowego, przez co (przy odpowiednio dobranej wartości dławika 6 i oporności próbki 7) prąd przez obciążenie 2 płynie w sposób ciągły. Składowa stała prądu obciążenia I_o (równa wartości średniej prądu i_L dławika 6) jest wyznaczona przez niezmiennie i dokładnie określone poziomy charakterystyczne E_1 i E_2 przerzutnika 5, wartość R oporności próbki 7, oraz stałe (w porównaniu z okresem przełączania) napięcie e_g , a wartości tętnień i okres przełączania są wyznaczone wartościami L dławika 6, R , oraz różnicą poziomów E_1 i E_2 . Ponieważ wartość średnia napięcia U_3 (przy założeniu liniowości przebiegów prądu i_L dławika 6) $U_{3sr} = \frac{E_1 + E_2}{2} = I_o \cdot$

$$R + e_g, \text{ to zależność natężenia } I_o = \frac{1}{R} \left(\frac{E_1 + E_2}{2} - e_g \right)$$

od napięcia sygnału e_g jest liniowe. Działanie przerzutnika 6 uniezależnia proporcjonalną do e_g zmianę I_o od wartości obciążenia 2 i napięcia zasilającego U_z , natomiast uzależnia od tych wartości czasy nasycenia i odcięcia tranzystora 1, a więc zachodzi modulacja szerokości impulsu. W szczególnym przypadku, gdy napięcie e_g jest niezmiennie, układ pracuje jako stabilizator I_o (napięcie e_g spełnia wtedy rolę napięcia odniesienia tego stabilizatora).

Układ przedstawiony na fig 2 może służyć jako człon kaskadowego regulatora dowolnej wielkości zależnej od prądu I_o (np. napięcia U_o). W tym przypadku za pomocą dodatkowego układu ujemnego sprzężenia zwrotnego, napięcie e_g będzie uzależnione od wielkości regulowanej (np. odwrotnie proporcjonalne do napięcia U_o). Zrealizowano to w układzie przedstawionym na fig. 4 działającego następująco: na wejście wzmacniacza błęd 9 podawana jest różnica napięcia proporcjonalnego do U_o (z układu próbkującego 10) i napięcia sterującego U_g ze źródła 11. Napięcie wyjściowe wzmacniacza 9 stanowi napięcie odniesienia U_{od} stabilizatora I_o — 12 (spełnia identyczną rolę jak napięcie e_g

na fig 2). Ponieważ działanie stabilizatora I_o uniezależnia napięcie U_o od zmian napięcia U_z , to zadaniem wzmacniacza błęd 9 jest uniezależnienie napięcia U_o tylko od zmian obciążenia 2. W układzie regulacji napięcia U_o , w którym dokonywany jest pomocniczy pomiar prądu I_o (w stabilizatorze I_o), jest oczywiście łatwo ograniczyć maksymalną wartość I_o . Zastosowanie dodatkowej pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego zwiększa o jeden ilość jednocześnie kontrolowanych wielkości (w tym przypadku I_o oraz dodatkowo U_o) przy niezmienionej ilości elementów wzmacniacza mocy. W efekcie następuje uniezależnienie proporcjonalnej do zmian napięcia wejściowego U_g zmiany napięcia wyjściowego U_o od wartości obciążenia i napięcia zasilacza U_z . W szczególnym przypadku, gdy napięcie U_g jest niezmiennie, układ pracuje jako stabilizator napięcia U_o , a napięcie U_g jest wtedy napięciem odniesienia tego stabilizatora. Układ znajduje dodatkowo zastosowanie do stabilizacji prądu I_o lub napięcia U_o , przy jednoczesnym dynamicznym ograniczeniu maksymalnych wartości I_{omax} i U_{omax} , które mogłyby zostać przekroczone przy zmianach obciążenia większych niż dopuszczalne lub przewidywane.

Zastrzeżenia patentowe

1. Przełącznikowy wzmacniacz mocy prądu stałego z modulacją szerokości impulsu, zasilany ze źródła napięcia stałego na przykład w postaci prostownika z filtrem, **znamienny tym**, że zawiera człon całkujący (3) napięcie wyjściowe (U_1) elementu przełączającego (1) włączony między ten element przełączający (1), a obciążenie (2) oraz przerzutnik (5) o dwóch poziomach działania, którego jedna końcówka wejściowa, będąca wspólną dla wyjścia tego przerzutnika jest połączona z wejściem członu całkującego (3), a druga ze sterującym wzmacniacz źródłem napięcia (4), którego drugi biegun jest podłączony do wyjścia członu całkującego (3), natomiast wyjście przerzutnika (5) jest podłączone do wejścia elementu przełączającego (1).

2. Przełącznikowy wzmacniacz mocy według zastrz. 1, **znamienny tym**, że człon całkujący (3) tworzą połączone szeregowo z opornikiem obciążenia (2) dławik (6) i opornik próbki (7), których drugie zakończenia stanowią wejście członu (3), oraz dioda (8) włączoną do tego wejścia zaporowo w stosunku do wyjścia elementu przełączającego (1).

3. Odmiana przełącznikowego wzmacniacza mocy o wzmocnieniu napięciowym niezależnym od wielkości obciążenia według zastrz. 1 i 2, **znamienna tym**, że jego źródło napięcia sterującego (11) połączone jest z jednej strony z końcówką wyjściową tego wzmacniacza, będącą wspólną dla wejścia stabilizatora prądu obciążenia (12), a z drugiej z jednym z wejść wzmacniacza błęd (9), którego drugie wejście połączone jest z wyjściem członu próbkującego (10) napięcie wyjściowe (U_0), połączony równolegle do opornika obciążenia (2), a wyjście wzmacniacza błęd (9) połączone jest z wejściem stabilizatora prądu obciążenia (12), które stanowi zarazem wejście przerzutnika (5) tworzącego razem z przełącznikiem (1) i członem całkującym (3) ten stabilizator.

4. Przełącznikowy wzmacniacz mocy według zastrz. 1, 2, i 3, znamienny tym, że jako przerzutnik

(5) stosuje się asymetryczny multiwibrator astabilny Schmitta.

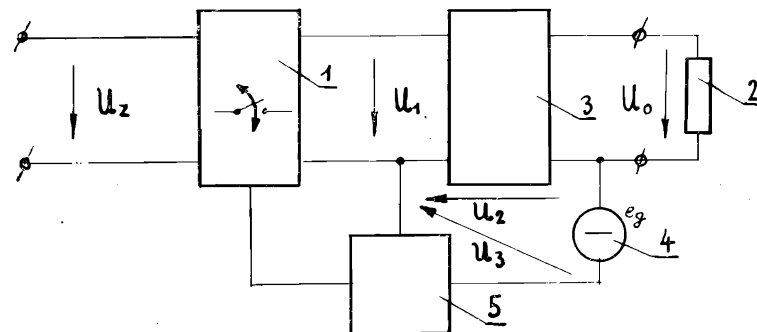


Fig.1

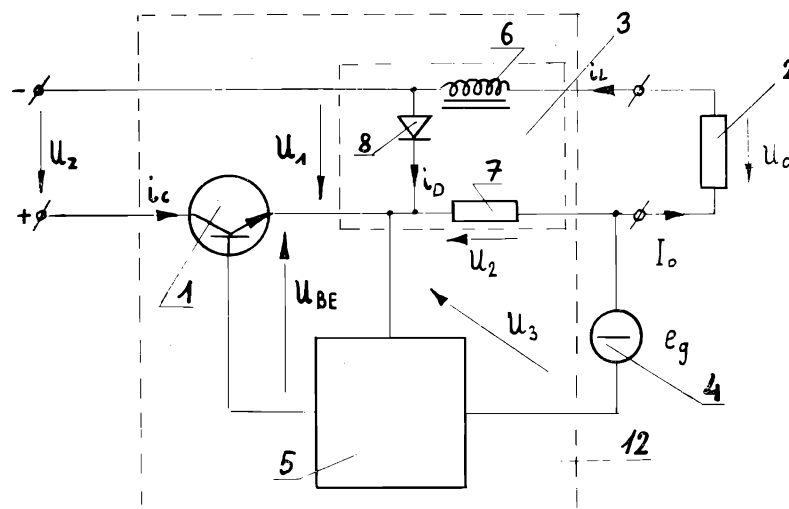


Fig.2

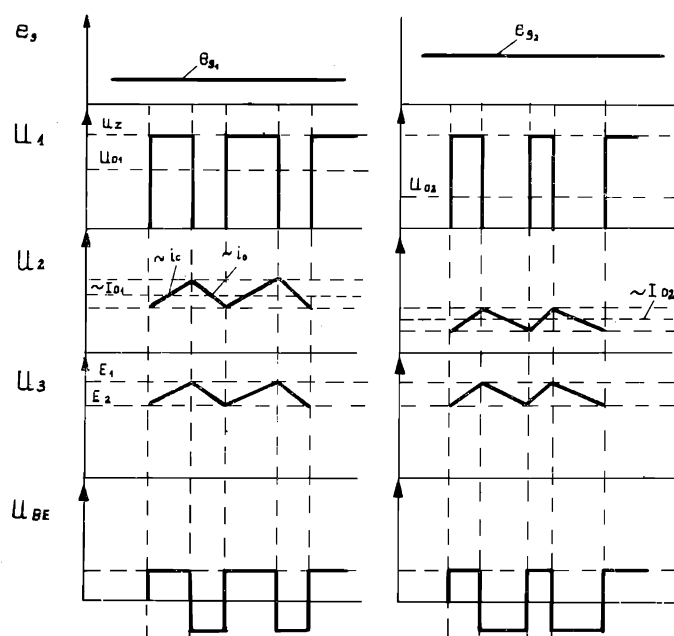


Fig. 3

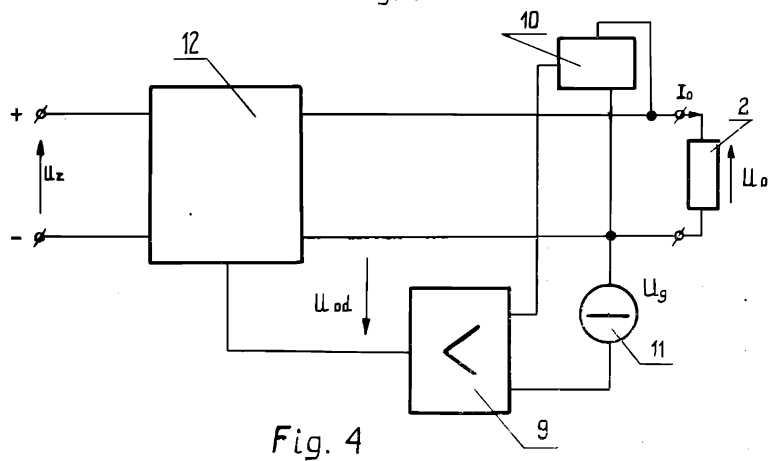


Fig. 4