

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

84549

Patent dodatkowy
do patentu nr _____

MKP H03k 5/00

Zgłoszono: 07.03.73 (P. 161121)

Pierwszeństwo: 14.03.72 dla zastrz. 1 do 7
Niemiecka
Republika
Demokratyczna

Int.Cl.² H03K 5/00

Zgłoszenie ogłoszono: 01.03.74

Opis patentowy opublikowano: 31.12.1976

Twórca wynalazku: _____

Uprawniony z patentu: VEB RFT Messelektronik „Otto Schon”, Drezno
(Niemiecka Republika Demokratyczna)

Układ połączeń do sterowania liniowego, inwersyjnego lub wykładniczego wielkości przekazywanych

1

Przedmiotem wynalazku jest układ połączeń do sterowania liniowego, inwersyjnego lub wykładniczego wielkości przekazywanych, to jest do mnożenia albo dzielenia w dwóch kwadrantach, lub do sumowania wykładniczego, przy użyciu bipolarnych tranzystorów i wzmacniacza operacyjnego.

Tego rodzaju połączenia stosowane są w układach analogowych do przetwarzania sygnałów, np. do regulacji poziomu sygnałów, kwadratowania, tworzenia proporcji, korygowania wartości rzeczywistych itp.

Z różnych znanych układów do elektronicznego mnożenia i dzielenia dwóch zmiennych — szczególne znaczenie mają te, które ze względu na swoją prostą budowę, wykorzystują bezpośrednio charakterystykę wykładniczą tranzystorów bipolarnych.

W znanych układach (tego rodzaju) stosowane są dwa jednakowe bipolarne tranzystory. Poza tym napięcie sygnałów proporcjonalne do pierwszej zmiennej, np. x przyłożone jest pomiędzy bazy dwóch tranzystorów, natomiast prąd zasilający połączone ze sobą emitory jest proporcjonalny do drugiej zmiennej, np. y . Napięcie wyjściowe występuje pomiędzy nieziemionymi kolektorami, połączonymi poprzez jednakowe oporności, ze źródłem napięcia zasilania.

Działanie układu polega na wykorzystaniu liniowej zależności pomiędzy strumieniem (charakterystyki) tranzystora, a zadany prąd przez drugą

2

zmienną, np. y , przy czym wzmocnienie wyrażające się stosunkiem napięcia wyjściowego do napięcia sygnałów jest proporcjonalne do drugiej zmiennej, np. y .

Całkowity układ połączeń wymaga jeszcze źródła prądu sterowanego przez drugą zmienną np. y , oraz odpowiedniego połączenia wyjścia celem przetransponowania symetrycznego wyjścia kolektor-kolektor na wyjście niesymetryczne.

Odmiana połączenia układu polega na tym, że zamiast prądu doprowadzanego (zadanego) stosowane jest napięcie sygnałów y . Wskutek wykładniczej zależności prądu kolektora od napięcia baza-emiter, uzyskiwana jest charakterystyka następująca:

$$Z \sim x \cdot \exp(y)$$

a zatem uzyskiwane jest sterowanie wykładnicze (w funkcji wykładniczej). Z mnożącego lub sterującego wykładniczo układu połączeń istnieje możliwość wyprowadzenia w znany sposób poprzez tor sprzężenia zwrotnego usytuowany w obwodzie wzmacniacza, obwodu inwertującego lub logarytmującego.

Realizacja źródła prądu i odpowiedniego połączenia wyjścia dokonywana jest za pomocą wzmacniacza operacyjnego. Zgodnie ze stanem techniki do wykonywania tegoż niezbędne są oporności wyrównawcze (kompensacyjne) w ilości ośmiu lub więcej, i to o wysokiej tolerancji (ciasno tolerowane). Zależnie od tego, czy prąd płynący przez tran-

zystor jest proporcjonalny do drugiej zmiennej y , czy pojawi się on wskutek potencjału kolektora uzależnionego od drugiej zmiennej y .

Potencjał ten zmniejsza proporcjonalność pomiędzy stromością tranzystora i prądem, przez przeciwdziałanie, prądy szczątkowe, zmianę punktu pracy tranzystora, uzależnioną od nagrzewania tranzystorów. Wskutek tego jest mniejsza dokładność i mniejszy zakres pracy tranzystorów.

Celem wynalazku jest ograniczenie liczby elementów łączeniowych wywierających szkodliwy wpływ na układ wskutek oddziaływania, prądów szczątkowych i nagrzewania (tranzystorów), oraz usunięcie tych wad lub ich zmniejszenie.

Zadaniem wynalazku jest skonstruowanie układu połączeń do sterowania liniowego, inwersyjnego lub wykładowego wielkości przekazywanych, np. wzmocnienia albo przepustowości przekazywania, przy potencjale kolektora możliwie małym i niezależnym od prądu kolektora tranzystorów bipolarnych, przeznaczonych do sterowania, jak również zabezpieczenie zapewniające utrzymanie stałej temperatury oraz właściwego sterowania.

Zadanie to zostało rozwiązane w ten sposób, że w układzie połączeń do sterowania liniowego wielkości przekazywanych, względnie do mnożenia, zawierającym tranzystory bipolarne oraz wzmacniacz operacyjny, według wynalazku, jednakowe dwa tranzystory są połączone poprzez jednakowe rezystancje załączone w obwody kolektorów tych tranzystorów do źródła napięcia sterującego, przy czym kolektor drugiego tranzystora jest podłączony do wejścia inwertującego wzmacniacza operacyjnego, emiter tych tranzystorów są podłączone do wyjścia wzmacniacza operacyjnego, baza drugiego tranzystora jest połączona z masą (węzłem odniesienia) układu, baza pierwszego tranzystora jest podłączona do źródła napięcia sygnałowego, natomiast wyjście układu stanowi kolektor pierwszego tranzystora, z którego odbierany jest sygnał wyjściowy w postaci prądu do masy.

W układzie połączeń do sterowania wykładowego wielkości przekazywanych, zawierającym tranzystory bipolarne i wzmacniacz operacyjny, według wynalazku, kolektory dwóch jednakowych tranzystorów są połączone poprzez jednakowe rezystancje z wyjściem inwertującego wzmacniacza operacyjnego, przy czym kolektor drugiego tranzystora jest połączony z wejściem inwertującym wymienionego wzmacniacza operacyjnego, baza tego drugiego tranzystora jest połączona z masą, baza pierwszego tranzystora jest połączona ze źródłem sygnałowym, emiter obydwóch tranzystorów są podłączone do źródła napięcia sterującego, a wyjście układu stanowi kolektor pierwszego tranzystora, z którego odbierany jest sygnał wyjściowy w postaci prądu do masy.

Korzystnym jest, gdy w układzie połączeń do sterowania liniowego, lub wykładowego pomiędzy źródłem sygnałowym a bazą pierwszego tranzystora załączony jest niezależny temperaturowo dzielnik napięcia, zawierający dwie rezystancje z których jedna jest załączona między bazą pierwszego tranzystora a źródłem napięcia sygnałowego, a

druga jest załączona między bazą pierwszego tranzystora a masą.

Korzystnym jest, gdy rezystancję dzielnika napięcia załączoną między bazą pierwszego tranzystora a masą stanowią dwa jednakowe tranzystory, których kolektory poprzez rezystancję są połączone ze źródłem napięcia odniesienia, kolektor czwartego tranzystora jest połączony z wejściem drugiego inwertującego wzmacniacza operacyjnego, emiter obydwóch tranzystorów są połączone z wyjściem drugiego inwertującego wzmacniacza operacyjnego, baza czwartego tranzystora jest połączona z masą, kolektor trzeciego tranzystora jest połączony bezpośrednio z bazą tego samego trzeciego tranzystora, przy czym wejście przyłączeniowe układu stanowią baza trzeciego tranzystora i masa.

Korzystnym jest również, gdy emiter pierwszego i drugiego tranzystorów są połączone ze źródłem napięcia sterującego poprzez dwa rezystory załączone szeregowo i trzeci wzmacniacz operacyjny, którego wyjście jest połączone z emiterami pierwszego i drugiego tranzystora.

Wejście inwertujące trzeciego wzmacniacza operacyjnego jest podłączone do punktu łączącego wymienione dwa rezystory, a wejście nieinwertujące tego wzmacniacza operacyjnego jest połączone poprzez diodę i niezależną temperaturowo rezystancję do źródła napięcia stałego.

Korzystnym jest, gdy układ połączeń do sterowania liniowego zawiera nieinwertujący wzmacniacz operacyjny, którego wyjście jest połączone z wejściem sygnałowym układu połączeń do sterowania liniowego, i którego wejście jest połączone poprzez rezystancję wstępną ze źródłem sygnałowym, przy czym źródło napięcia sterującego jest podłączone do wejścia układu połączeń do sterowania liniowego, a wyjście ilorazowe stanowi wyjście czwartego nieinwertującego wzmacniacza operacyjnego.

Korzystnym jest poza tym, gdy układ połączeń do sterowania wykładowego jest wyposażony w czwarty nieinwertujący wzmacniacz operacyjny, którego wyjście jest połączone z wejściem sygnałowym układu do sterowania wykładowego, i którego wejście jest połączone z wyjściem układu połączeń do sterowania wykładowego, źródło sygnałowe jest połączone poprzez rezystancję wstępną z wejściem czwartego wzmacniacza operacyjnego, a wejście sygnałowe do którego jest doprowadzony sygnał sterujący, jest połączone ze źródłem napięcia sterującego, przy czym wyjście układu połączeń do sterowania wykładowego stanowi wyjście czwartego wzmacniacza operacyjnego.

Przedmiotem wynalazku jest przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia układ połączeń ze sterowaniem liniowym wielkości przekazywanych, fig. 2 — układ połączeń ze sterowaniem wykładowym wielkości przekazywanych, fig. 3 — układ dzielnika napięcia wejściowego, fig. 4 — układ dodatkowy (pomocniczy) do linearyzacji i kompensacji temperatury, fig. 5 — układ dodatkowy do układu połączeń ze sterowaniem wykładowym — wielkości przekazywanych,

fig. 6 — układ połączeń do sterowania inwersyjnego wielkości przekazywanych.

Na fig. 1 przedstawiony jest układ połączeń do sterowania liniowego wielkości przekazywanych. Układ zawiera dwa jednakowe tranzystory Tr1 i Tr2. W obwody kolektorów każdego z wymienionych tranzystorów Tr1 i Tr2 są załączone jednakowe rezystory Rc1 i Rc2, które są połączone do źródła Uy napięcia sterującego.

Poza tym kolektor drugiego tranzystora Tr2 jest połączony z wejściem inwertującym wzmacniacza operacyjnego OV1, którego wyjście jest połączone z połączonymi bezpośrednio ze sobą emiterami tranzystorów Tr1 i Tr2. Baza pierwszego tranzystora Tr1 jest połączona ze źródłem Ux sygnałowym. Wyjście układu stanowi kolektor pierwszego tranzystora Tr1, z którego odbierany jest sygnał wyjściowy w postaci prądu Iz do masy.

W przedstawionym na fig. 1 układzie połączeń prąd płynący przez drugi tranzystor Tr2 określony jest przez napięcie sterowania Uy i oporność Rc2 kolektora, ponieważ utrzymywany jest na nim potencjał zerowy przez pierwszy wzmacniacz operacyjny OV1. Przewodzenie pierwszego tranzystora Tr1 następuje wtedy, kiedy stałym równoważnym prądem dorównuje prądowi drugiego tranzystora Tr2. Ten stały prąd ma jednak wpływ poprzez (wystarczająco małe) napięcie Ux sygnałowe na wytwarzany prąd wyjściowy określany jako:

$$I_z = -y_{21} \cdot U_x$$

przy czym y_{21} oznacza stromość pierwszego tranzystora Tr1. Oporność Rc1 kolektora pierwszego tranzystora Tr1 jest tak dopasowana, że maleją różnice pomiędzy tranzystorami pierwszym Tr1 i drugim Tr2, a ponadto prąd wyjściowy I_z zanika tylko przy napięciu Ux sygnałowym równym zero ($U_x = 0$).

Ponieważ stromość bipolarnego tranzystora jest proporcjonalna w szerokich granicach do prądu I_c kolektora, to konsekwentnie następuje również proces mnożenia.

Podczas gdy wzmacniacz operacyjny OV1 utrzymuje potencjał kolektora drugiego tranzystora Tr2 na potencjale prawie że zerowym, napięcie występujące pomiędzy kolektorem i bazą zanika, co powoduje zlikwidowanie odpowiedniego prądu szczątkowego i jego oddziaływania. Poza tym straty mocy spowodowane nagrzewaniem się tranzystorów są ograniczone do niezbędnych granic.

Równowaga stanu dla pierwszego tranzystora Tr1 ma znaczenie wówczas, gdy jego kolektor jest połączony z masą poprzez dostatecznie małą oporność, co może mieć miejsce, np. przy użyciu tzw. wzmacniacza nieizolowanego o bardzo małej oporności wejściowej, a który przekształca prąd wejściowy na napięcie proporcjonalne do niego.

Zmiany w układzie połączenia wyjścia wzmacniacza operacyjnego ze źródłem napięcia sterującego Uy przedstawia fig. 2 ilustrująca układ połączeń ze sterowaniem wykładniczym wielkości przekazywanych. Układ zawiera dwa jednakowe tranzystory Tr1 i Tr2. Kolektory każdego z tranzystorów są połączone przez odpowiednie jednakowe rezystory Rc1 i Rc2 z wyjściem wzmacniacza

operacyjnego OV1. Połączone wspólnie emitory obydwóch tranzystorów Tr1 i Tr2 są połączone do źródła Uy napięcia sterującego. Baza drugiego tranzystora Tr2 jest połączona z masą, natomiast baza pierwszego tranzystora jest połączona ze źródłem Ux sygnałowym. Wyjście układu stanowi kolektor pierwszego tranzystora Tr1, z którego odbierany jest sygnał w postaci prądu Iz do masy.

Działanie tego układu polega na tym, że prąd I_c kolektora i związana z tym stromość bipolarnego tranzystora są funkcją wykładniczą napięcia baza-emiter. Poza tym poprzez przyłączenie do masy bazy drugiego tranzystora Tr2 uzyskiwane jest napięcie baza-emiter identyczne jak napięcie sterujące Uy. W obu układach połączeń wymagane napięcia sygnałów są stosunkowo małe.

Figura 3 pokazuje fragment układu połączeń dzielnika napięcia z rezystancjami R_1 i R_2 umieszczonego przed pierwszym tranzystorem Tr1. Dzielnik napięcia przeznaczony jest dla dopasowywania poziomu sygnałów przy większych sygnałach wejściowych, oraz umożliwia on kompensację zależności temperaturowych stromości tranzystorów poprzez właściwie dobrane zależności temperaturowe rezystancji R_1 i R_2 . Szczególnie dobrą kompensację można uzyskać wtedy, jeżeli rezystancja R_2 zostanie zastąpiona przez układ połączeń przedstawiony na fig. 4.

Według rozwiązania przedstawionego na fig. 4 rezystancja R_2 dzielnika napięcia załączona między bazą pierwszego tranzystora Tr1 i masą (węzeł odniesienia) jest realizowana w postaci układu, zawierającego dwa jednakowe tranzystory Tr3 i Tr4 i drugi inwertujący wzmacniacz operacyjny OV2. Kolektory każdego z tranzystorów Tr3 i Tr4 poprzez załączone odpowiednio w ich obwody kolektorowe rezystory Rc3 i Rc4 są podłączone do źródła Ur napięcia odniesienia. Kolektor czwartego tranzystora Tr4 jest dołączony do wejścia drugiego inwertującego wzmacniacza operacyjnego OV2.

Połączone ze sobą emitory obydwóch tranzystorów Tr3 i Tr4 są dołączone do wyjścia wzmacniacza operacyjnego OV2. Baza czwartego tranzystora Tr4 jest połączona z masą układu, a kolektor trzeciego tranzystora Tr3 jest połączony z bazą tego samego tranzystora Tr3. Baza trzeciego tranzystora i masa układu stanowią zaciski przyłączeniowe układu. Rezystancja między tymi zaciskami jest równa rezystancji Re wejściowej opisanego układu.

W tym przypadku oporność wejściowa Re jest w przybliżeniu równa odwrotności stromości tranzystora Tr3. Ponieważ stromość tranzystora Tr3 ma taką samą lub prawie taką samą charakterystykę temperaturową jak tranzystor Tr1 z fig. 1 lub fig. 2, to dochodzi do kompensacji dopasowującej się. To zjawisko dotyczy nieliniowości, zwłaszcza gdy spadek napięcia na oporności Re w dokładnym znaczeniu jest wstępnie zniekształcony i prowadzi do linearyzacji procesu mnożenia. Pozostała część układu połączeń z fig. 4 jak drugi wzmacniacz operacyjny OV2, czwarty tranzystor Tr4 tego samego rodzaju co trzeci tranzystor Tr3,

połączone poprzez oporności R_{c3} i R_{c4} kolektorów, ze źródłem napięcia odniesienia U_r , przeznaczona jest do wytwarzania niezbędnego potencjału zeraowego na naciskach wejściowych. Poza tym można zrównoważyć oporność wejściową R_e napięciem odniesienia U_r .

Sterowanie wykładnicze według fig. 2 ma szkodliwe skutki, ponieważ czułość często jest niepotrzebnie tak duża, wobec czego istnieje znaczna zależność temperaturowa, a oporność wejściowa R_e lub równoważne napięcie sterujące U_y są nieliniowe i są bardzo małe, a poza tym wymagany jest stały potencjał. Te wady usuwa dodatkowy układ połączeń pokazany na fig. 5.

W tym układzie emiterzy obydwóch tranzystorów $Tr1$ i $Tr2$ połączone są poprzez załączone szeregowo rezystancje $R3$ i $R4$ do źródła U_y napięcia sterującego, przy czym równolegle do rezystora $R4$, którego jedno z wyprowadzeń jest bezpośrednio połączone z emiterami wymienionych tranzystorów załączony jest trzeci wzmacniacz operacyjny $OV3$ w taki sposób, że wyjście tego wzmacniacza operacyjnego $OV3$ jest połączone z emiterami tranzystorów $Tr1$ i $Tr2$ a wejście inwertujące wzmacniacza operacyjnego $OV3$ jest połączone z punktem połączeń wyprowadzeń obydwóch rezystancji $R3$ i $R4$. Wyjście nieinwertujące wspomnianego wzmacniacza operacyjnego $OV3$ jest połączone z układem składającym się z rezystancji $R5$ i diody D w taki sposób, że drugie wyprowadzenie rezystancji $R5$ jest połączone ze źródłem U_B napięcia stałego, a dioda jest załączona pomiędzy wejściem nieinwertującym wzmacniacza operacyjnego $OV3$ a masą.

Wzmacniacz operacyjny $OV3$ przetwarza napięcie sterujące U_y , przy czym czułość jest skalowana przez właściwy dobór dwóch oporności R_3 i R_4 . Stały potencjał powoduje, że zależność temperatury jest zmniejszana lub kompensowana przez kombinację na inwertującym wejściu, z diodą D i opornością R_4 . Układ izoluje źródło sterowania od nieliniowości wejście-emiter.

Ze sterowania liniowego istnieje możliwość inwersji tylko wtedy, kiedy układ połączeń ze sterowaniem liniowym umieszczony jest w torze sprzężenia zwrotnego wzmacniacza operacyjnego.

Fig. 6 pokazuje taki układ lecz w formie uproszczonej. Układ sterujący jest przedstawiony jako blok sterujący układu połączeń $s.S$ i przedstawia go układ według fig. 1 z włączeniem fig. 3 i fig. 4.

Dla osiągnięcia sterowania inwersyjnego wielkości przekazywanych ewentualnie dzielenia przewidziane jest, że pierwotny układ połączeń ze sterowaniem liniowym przedstawiony na fig. 1 dodatkowo jest połączony z czwartym nieinwertującym wzmacniaczem operacyjnym $OV4$, którego wyjście połączone jest z wejściem sygnałowym, a wejście — z wyjściem pierwotnego układu ze sterowaniem liniowym przedstawionym na fig. 1, przy czym źródło U_x sygnałowe (dzielenie) jest połączone poprzez oporność wstępną R_v z wejściem czwartego wzmacniacza operacyjnego $OV4$, a źródło U_y napięcia sterującego dołączone jest do wejścia układu połączeń do sterowania liniowego przedstawionego na fig. 1 do którego jest doprowadzone na-

pięcie sterujące. Wyjściem (ilorazowym) układu jest wyjście czwartego wzmacniacza operacyjnego $OV4$.

Jego prąd wyjściowy układu jest określony przez

$$I_z = -K \cdot U_y \cdot U_z$$

przy czym K jest stałą.

Wzmacniacz operacyjny $OV4$ ma wzmocnienie nieskończone, a zatem zanika jego napięcie wejściowe i wtedy prąd ten wynosi

$$-I_z = U_x / R_v$$

przy czym R_v oznacza oporność wstępną. Z powyższego równania wynika następująca zależność

$$U_z = U_x / K \cdot U_y \cdot R_v$$

Dla uzyskania sterowania wykładniczego wielkości przekazywanych zwłaszcza dla ciągłego występowania wyjścia przewidziane jest ostatecznie, że pierwotny układ połączeń ze sterowaniem wykładniczym jest połączony dodatkowo z czwartym nieinwertującym wzmacniaczem operacyjnym $OV4$, którego wyjście jest połączone z wejściem sygnałowym układu przedstawionego na fig. 2 a wejście — z wyjściem pierwotnego układu połączeń przedstawionego na fig. 2 ze sterowaniem wykładniczym, przy czym źródło U_x sygnałowe jest połączone poprzez oporność R_v wstępną z wejściem czwartego wzmacniacza operacyjnego $OV4$, a wejściem układu przeznaczone do podłączenia sygnału sterującego jest połączone ze źródłem U_y napięcia sterującego. Wyjście układu stanowi wyjście czwartego wzmacniacza operacyjnego $OV4$.

Z fig. 2 z blokiem sterującym układu połączeń do sterowania wykładniczego wynika, że zamiast sterowania liniowego następuje sterowanie wykładnicze, stąd wniosek, że istnieje znowu zależność wykładnicza pomiędzy U_z/U_x i U_y , ponieważ inwersja funkcji wykładniczej ponownie okazała się funkcją wykładniczą.

W odróżnieniu od fig. 2 jest to jednak możliwe, chociażby z tego względu, że napięcie U_x sygnału jest dostosowywane nadal do stałego napięcia wyjściowego U_z , i to w zakresie dynamiki poprzez napięcie sterujące U_y . Z tego względu konieczna jest tego rodzaju modyfikacja mająca wielkie znaczenie techniczne.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ połączeń do sterowania liniowego wielkości przekazywanych, względnie do mnożenia, przy zastosowaniu bipolarnych tranzystorów i wzmacniacza operacyjnego, ~~znamienny~~ tym, że dwa jednakowe tranzystory ($Tr1$ i $Tr2$) poprzez jednakowe oporności (R_{c1} i R_{c2}) kolektora, są przyłączone do źródła napięcia sterującego (U_y), a kolektor drugiego tranzystora ($Tr2$) jest przyłączony do wejścia inwertującego wzmacniacza operacyjnego ($OV1$), zaś emiterzy dwóch tranzystorów pierwszego ($Tr1$) i drugiego ($Tr2$) są przyłączone do wejścia inwertującego wzmacniacza operacyjnego ($OV1$), natomiast baza drugiego tranzystora ($Tr2$) jest przyłączona do masy (węzła odniesienia), przy czym baza pierwszego tranzystora ($Tr1$) jest zasilana ze źródła napięcia (U_x) sygnałowego, a sygnał wyjściowy jest odbierany na kolektorze pierwszego tranzystora ($Tr1$) jako prąd do masy.

2. Układ połączeń według zastrz. 1, znamienno tym, że pomiędzy źródła napięcia (U_x) sygnałów i bazą pierwszego tranzystora ($Tr1$) włączony jest niezależny temperaturowo oporowy dzielnik napięcia ($R1$ i $R2$).

3. Układ połączeń według zastrz. 2, znamienno tym, że oporność ($R2$) dzielnika napięcia usytuowana jest pomiędzy bazą pierwszego tranzystora ($Tr1$) i masą, oraz stanowią ją połączone ze sobą dwa jednakowe tranzystory trzeci ($Tr3$) i czwarty ($Tr4$) które poprzez oporności ($Rc3$ i $Rc4$) kolektorów są połączone ze źródłem napięcia odniesienia (U_r), przy czym wejście drugiego inwertującego wzmacniacza operacyjnego ($OV2$) jest połączone z kolektorem czwartego tranzystora ($Tr4$), a wyjścia z emiterami dwóch tranzystorów trzeciego ($Tr3$) i czwartego ($Tr4$), natomiast baza czwartego tranzystora ($Tr4$) jest połączona z masą, zaś odprowadzenie od bazy i kolektora trzeciego tranzystora ($Tr3$) stanowią doprowadzenia układu (zaciski przyłączeniowe).

4. Układ połączeń, według zastrz. 1, znamienno tym, że pierwotny układ połączeń do sterowania liniowego, dodatkowo jest połączony z czwartym nieinwertującym wzmacniaczem operacyjnym ($OV4$), którego wyjście połączone jest z wejściem układu sterującego napięciem (U_x) sygnałów, a wejście z wyjściem pierwotnego układu połączeń do sterowania liniowego przy czym źródło napięcia (U_x) sygnałów jest połączone poprzez oporność wstępną (R_v) z wejściem czwartego wzmacniacza operacyjnego ($OV4$), a napięcie sterujące (U_y) przyłożone jest do wejścia pierwotnego źródła napięcia sterującego (U_y), natomiast napięcie wyjściowe (U_z) (ilorazowe) występuje na wyjściu czwartego wzmacniacza operacyjnego ($OV4$).

5. Układ połączeń ze sterowaniem wykładniczym wielkości przekazywanych przy zastosowaniu bipolarnych tranzystorów i wzmacniacza operacyjnego, znamienno tym, że dwa jednakowe tranzystory pierwszy ($Tr1$) i drugi ($Tr2$) poprzez jednakowe oporności ($Rc1$ i $Rc2$) kolektora są połączone z wyjściem inwertującego wzmacniacza operacyjnego ($OV1$), przy czym kolektor drugiego tranzystora ($Tr2$) steruje inwertujący wzmacniacz operacyjny ($OV1$) a baza drugiego tranzystora ($Tr2$) jest połączona z masą, natomiast źródło napięcia (U_x) sygnałów zasila bazę pierwszego tranzystora ($Tr1$), zaś źródło napięcia sterującego (U_y) zasila emiter dwóch tranzystorów pierwszego ($Tr1$) i drugiego

($Tr2$), poza tym sygnał wyjściowy jest odbierany na kolektorze pierwszego tranzystora ($Tr1$) jako prąd do masy.

6. Układ połączeń według zastrz. 5, znamienno tym, że pomiędzy źródłem napięcia (U_x) sygnałów i bazą pierwszego tranzystora ($Tr1$) włączony jest niezależny temperaturowo oporowy dzielnik napięcia ($R1$ i $R2$).

7. Układ połączeń według zastrz. 6, znamienno tym, że oporność ($R2$) dzielnika napięcia usytuowana jest pomiędzy bazą pierwszego tranzystora ($Tr1$) i masą, oraz stanowią ją połączone ze sobą dwa jednakowe tranzystory trzeci ($Tr3$) i czwarty ($Tr4$) które poprzez oporności ($Rc3$ i $Rc4$) kolektorów są połączone ze źródłem napięcia odniesienia (U_r), przy czym wejście drugiego inwertującego wzmacniacza operacyjnego ($OV2$) jest połączone z kolektorem czwartego tranzystora ($Tr4$), a wyjście z emiterami dwóch tranzystorów trzeciego ($Tr3$) i czwartego ($Tr4$), natomiast baza czwartego tranzystora ($Tr4$) jest połączona z masą, zaś odprowadzenia od bazy i kolektora trzeciego tranzystora ($Tr3$) stanowią doprowadzenia układu (zaciski przyłączeniowe).

8. Układ połączeń według zastrz. 5, znamienno tym, że emiter tranzystorów pierwszego ($Tr1$) i drugiego ($Tr2$) są połączone ze źródłem napięcia sterującego (U_y) poprzez dwie oporności ($R3$ i $R4$) połączone ze sobą szeregowo, przy czym trzeci wzmacniacz operacyjny ($OV3$) jest przyłączony swoim wyjściem do tych emiterów, a inwertującym wejściem do punktu łączącego dwie oporności ($R3$ i $R4$) oraz nieinwertującym wejściem poprzez diodę (D) i oporność ($R5$) uzależnioną temperaturowo, do źródła napięcia (U_B).

9. Układ połączeń według zastrz. 5, znamienno tym, że pierwotny układ połączeń do sterowania wykładniczego jest połączony dodatkowo z czwartym nieinwertującym wzmacniaczem operacyjnym ($OV4$), którego wyjście jest połączone z wejściem układu sterującego napięciem (U_x) sygnałów, a wejściem pierwotnego układu połączeń do sterowania wykładniczego, przy czym źródło napięcia (U_x) sygnałów jest połączone poprzez oporność wstępną (R_v) z wejściem czwartego wzmacniacza operacyjnego ($OV4$), a wejście układu sterującego napięciem sygnałów jest połączone ze źródłem napięcia sterującego (U_y) pierwotnego układu połączeń do sterowania wykładniczego, natomiast napięcie wyjściowe (U_z) występuje na wyjściu czwartego wzmacniacza operacyjnego ($OV4$).

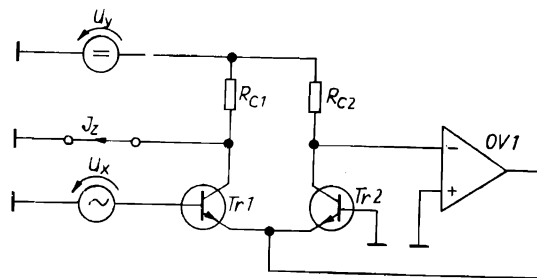


Fig. 1

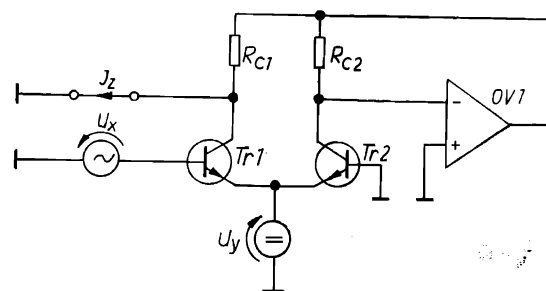


Fig. 2

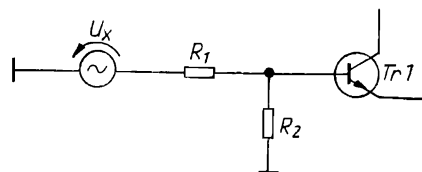


Fig. 3

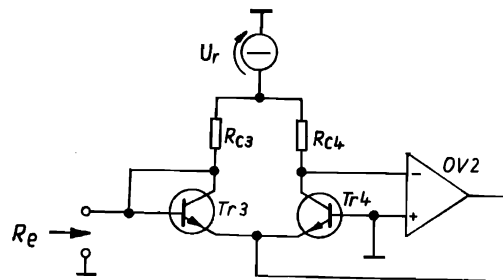


Fig. 4

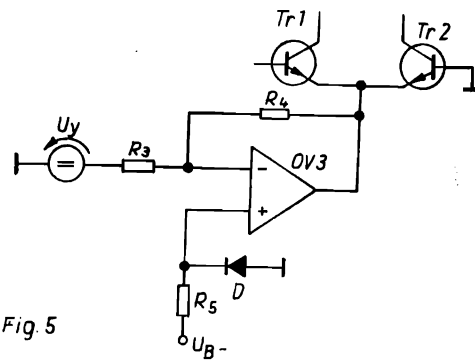


Fig. 5

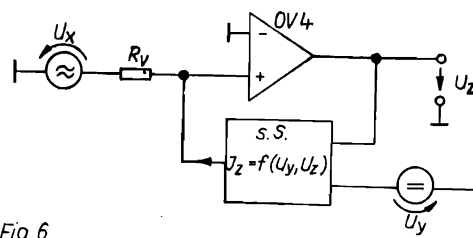


Fig. 6