

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

67808

Patent dodatkowy
do patentu _____

Zgłoszono: 25.VII.1970 (P 142 268)

Pierwszeństwo: _____

Opublikowano: 25.IV.1973

Kl. 21a¹,36/18

MKP H03k 19/08

BIBLIOTEKA

UKB Urzędu Patentowego
Instytut Lotnictwa

Twórca wynalazku: Zbigniew, Władysław Sikorski

Właściciel patentu: Instytut Lotnictwa, Warszawa (Polska)

Tranzystorowy sumator liniowy

1

Wynalazek dotyczy tranzystorowego sumatora liniowego — opartego na sumatorze kolektorowym — przeznaczonego do sumowania chwilowych wartości składowych zmiennych co najmniej dwu napięć elektrycznych.

Tranzystorowe sumatory liniowe składowych zmiennych należą do grupy sumatorów aktywnych i w odróżnieniu od sumatorów pasywnych (transformatorowych, rezystorowych itp.) stosowane są zwłaszcza wtedy, gdy impedancje wyjściowe źródeł sygnałów składowych są względnie duże. W takich bowiem przypadkach istnieją trudności uzyskania dobrej separacji kanałów przy małym tłumieniu sygnałów.

Spośród konwencjonalnych tranzystorowych sumatorów liniowych najbardziej zbliżonym układowo do przedmiotu wynalazku i realizującym ten sam cel techniczny jest sumator kolektorowy (ze wspólnym obciążeniem w obwodzie kolektorów). Znany układ sumatora kolektorowego może zapewnić wzmocnienie napięciowe sygnałów kanałowych (malejące wraz ze wzrostem liczby kanałów), jednak posiada względnie małe kanałowe impedancje wejściowe i stosunkowo dużą impedancję wyjściową, a jego charakterystyka częstotliwościowa nie jest dostatecznie szerokopasmowa (jego pasmo przenoszenia zawęża się wraz ze wzrostem wzmocnienia). Zastosowanie rezystorów emiterowych w obwodach tranzystorów kanałowych zwiększa wprowadzie kanałowe impedancje wejściowe, po-

2

prawia charakterystykę częstotliwościową układu, zmniejsza zniekształcenia nieliniowe i polepsza stabilność pracy — jednak zmniejszają się wówczas kanałowe wzmocnienia napięciowe, malejąc wraz ze wzrostem rezystancji tych rezystorów. Ponadto, w sumatorze tego rodzaju kanałowe wzmocnienia napięciowe silnie zależą od parametrów tranzystorów kanałowych, a przede wszystkim — od zwarcioowego współczynnika wzmocnienia prądowego β tych tranzystorów.

Celem wynalazku jest zmniejszenie wad znanego sumatora kolektorowego i usunięcie niektórych niedogodności w jego stosowaniu, przy równoczesnym zachowaniu lub zwiększeniu jego zalet.

Zadaniem technicznym wynalazku jest opracowanie układu tranzystorowego sumatora liniowego, na bazie układu sumatora kolektorowego z rezystorami w emiterach tranzystorów kanałowych, o polepszonych parametrach technicznych.

Tranzystorowy sumator liniowy według wynalazku posiada dodatkowy tranzystor sumacyjny odmiennego typu niż tranzystory kanałowe, dołączony bazą do kolektorów tranzystorów kanałowych, emiterem — bezpośrednio lub poprzez rezystor dodatkowy — do bieguna źródła zasilania połączonego z rezystorem kolektorowym, a kolektorem — poprzez oddzielne rezystory sumacyjne — do emiterów poszczególnych tranzystorów kanałowych.

W odmianie sumatora rezystor kolektorowy i emiter tranzystora sumacyjnego połączone są z biegunem źródła zasilania poprzez rezystor dodatkowy.

Układ tranzystorowego sumatora liniowego według wynalazku pozwala na uzyskanie dużej rezystancji wejściowej we wszystkich kanałach (od kilkudziesięciu kiloomów do kilku megaomów), małej rezystancji wyjściowej (od kilkudziesięciu do kilkuset omów), małej pojemności wejściowej w kanałach (od kilku do kilkunastu pikofaradów). Umożliwia także przenoszenie dużych wartości szczytowych napięcia wyjściowego przy małych zniekształceniach nieliniowych, uzyskanie szerokopasmowych charakterystyk częstotliwościowych w kanałach, pozwalając jednocześnie na uzyskanie kanałowego wzmocnienia napięciowego do kilku a nawet kilkunastu woltów na wolt przy względnie niewielkiej zależności tego wzmocnienia od ilości kanałów. Ponadto układ ten charakteryzuje się dużą stabilnością pracy dla prądu zmiennego i stałego, wykazując stosunkowo dużą stałość parametrów charakterystycznych w dużym zakresie zmian napięcia zasilania oraz zmian temperatury otoczenia. Szczególnie dużą stałością cechują się kanałowe wzmocnienia napięciowe, które będąc określone głównie stosunkami rezystancji, praktycznie niewiele zależą od parametrów tranzystorów.

Układ tranzystorowego sumatora liniowego według wynalazku można stosować w miernictwie elektrycznym, w technice zapisu i odtwarzania sygnałów („miksery”), w automatyce, w systemach telekomunikacji wielokanałowej z częstotliwościowym uwielokrotnieniem jak telemetria, telesygnalizacja, telesterowanie itd.

Istota wynalazku jest pokazana w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat ideowy sumatora, a fig. fig. 2 ÷ 5 — fragmenty schematu obrazujące różne połączenia emitera tranzystora sumacyjnego oraz rezystorów kolektorowego i dodatkowego.

Jak pokazano na fig. 1, sumator według wynalazku jest układem hybrydowym, w którym tranzystor sumacyjny T_s jest odmiennego typu niż tranzystory kanałowe $T_1 \div T_n$. I tak na przykład, jeżeli tranzystory kanałowe $T_1 \div T_n$ są typu n-p-n, to tranzystor sumacyjny T_s jest typu p-n-p i odwrotnie. W sumatorze tym n zmiennych w czasie napięć wejściowych, przeznaczonych do sumowania (gdzie n jest liczbą naturalną, nie mniejszą od dwóch, oznaczającą ilość kanałów sumatora), podawanych jest na wejścia $we_1 \div we_n$. Kondensatory wejściowe $C_1 \div C_n$, sprzęgające źródła sygnałów z sumatorem, służą do oddzielenia ewentualnych składowych stałych przyłożonych do wejść $we_1 \div we_n$ sygnałów napięciowych. W tych warunkach, sumowaniu podlegają tylko składowe zmienne sygnałów wejściowych. Rezystory bazowe $R_{b1} \div R_{bn}$ zapewniają wymaganą wstępną polaryzację prądową w bazach tranzystorów kanałowych $T_1 \div T_n$.

Sygnał napięciowy, doprowadzony na przykład do wejścia we_1 sumatora, steruje prądem bazy tranzystora kanałowego T_1 , a dzięki temu również jego prądami kolektorowym i emiterowym. W re-

zultacie na rezystorach kolektorowym R_k i emiterowym R_{e1} powstają spadki napięć o wartościach proporcjonalnych do wartości sygnału wejściowego w tym kanale. Napięcie na rezystorze kolektorowym R_k steruje z kolei prądem bazy tranzystora sumacyjnego T_s , zmieniając w konsekwencji jego prądy kolektorowy i emiterowy. Prąd kolektorowy tranzystora sumacyjnego T_s rozdziela się na n części (na wszystkie kanały), a mianowicie rozgałęzia się na wszystkie obwody kanałowe utworzone z rezystorów sumacyjnych $R_{s1} \div R_{sn}$ i rezystorów emiterowych $R_{e1} \div R_{en}$. Część prądu kolektorowego tranzystora sumacyjnego T_s , płynąca przez rezystory sumacyjne R_{s1} i emiterowy R_{e1} , wytwarza na tych rezystorach spadki napięć proporcjonalne do napięcia sterującego wejście we_1 . Napięcie występujące na rezystorze emiterowym R_{e1} jest zatem sumą dwu składowych: składowej powstającej w wyniku przepływu przez ten rezystor prądu emiterowego tranzystora kanałowego T_1 i składowej powstającej w wyniku przepływu przezeń części prądu kolektorowego tranzystora sumacyjnego T_s . Obie te składowe są wzajemnie synfazowe, co prowadzi do wzrostu wartości napięcia na rezystorze emiterowym R_{e1} . Wypadkowe napięcie uzyskiwane na rezystorze emiterowym R_{e1} steruje bazą tranzystora kanałowego T_1 w antyfazie z jego napięciem wejściowym (przeciwdziałania sterowaniu z zewnętrznego źródła sygnału). W efekcie tego, w kanale pierwszym uzyskuje się silne ujemne sprzężenie zwrotne prądowo-szeregowie (sprężenie to powiększone jest dodatkowo współdziałaniem tranzystora sumacyjnego T_s). Obecność tego rodzaju ujemnego sprzężenia zwrotnego daje dużą impedancję wejściową tego kanału, małe zniekształcenia nieliniowe i liniowe sygnału przenoszono-
nego, dobrą stabilność pracy itd.

Emiter tranzystora kanałowego T_1 sprzężony jest z emiterami wszystkich pozostałych tranzystorów kanałowych $T_2 \div T_n$ poprzez rezystory sumacyjne $R_{s1} \div R_{sn}$. Wskutek tego, pewna część napięcia z rezystora emiterowego R_{e1} przedostaje się na wszystkie pozostałe rezystory emiterowe $R_{e2} \div R_{en}$, sterując w przeciwfazie bazy wszystkich pozostałych tranzystorów kanałowych $T_2 \div T_n$ (poprzez impedancje wewnętrzne odpowiednich źródeł sygnałowych, dołączonych do wejść kanałowych $we_2 \div we_n$). Prowadzi to w efekcie do zmniejszenia — w pewnym stopniu — napięcia na rezystorze kolektorowym R_k , wywołanego sterowaniem tranzystora kanałowego T_1 (przeciwdziałanie sterowaniu zewnętrznemu). Tak więc obecność pozostałych stopni kanałowych wprowadza w stopniu sterowanego tranzystora kanałowego T_1 dodatkowe ujemne sprzężenie zwrotne, równoważne tłumieniu wnoszonemu do pierwszego kanału przez kanały pozostałe. Tłumienie to — rosnące wraz z ilością kanałów — jest nieznaczne, gdy impedancje wewnętrzne źródeł sygnałów sterujących są duże (a głównie w takich przypadkach stosuje się sumatory aktywne). Dzięki działaniu separującemu rezystorów sumacyjnych $R_{s1} \div R_{sn}$, w układzie sumatora według wynalazku tłumienie to jest stosunkowo niewielkie nawet wówczas, gdy impedancje wewnętrzne źródeł sygnałów sterujących są małe.

Przy odpowiednio dobranych wartościach rezystancji rezystorów: sumacyjnego R_{s1} , emiterowego R_{e1} i kolektorowego R_k — wypadkowe zmienne napięcie kolektorowe tranzystora sumacyjnego T_s — wywołane sterowaniem kanału pierwszego — jest większe od zmiennego napięcia przyłożonego do wejścia we_1 , przy czym obydwa te napięcia są wzajemnie synfazowe. Uzyskane w ten sposób wzmocnienie napięciowe sygnału kanałowego może być indywidualnie regulowane doбором wartości rezystancji rezystorów sumacyjnego R_{s1} i emiterowego R_{e1} (doborem ich stosunku).

Przy jednoczesnym sterowaniu zewnętrznymi sygnałami składowymi wszystkich wejść $we_1 \div we_n$ sumatora, w każdym kanale zachodzą równocześnie procesy analogiczne do opisanych przykładowo dla kanału pierwszego, wywołując również analogiczne równoczesne skutki. W końcowym efekcie, zmienne napięcie kolektorowe tranzystora sumacyjnego T_s jest sumą iloczynów odpowiednich kanałowych wzmocnień napięciowych i składowych zmiennych kanałowych napięć wejściowych. W szczególnym przypadku, gdy wzmocnienia napięciowe we wszystkich kanałach są równe, wówczas (pomijając składowe stałe) napięcie kolektorowe tranzystora sumacyjnego T_s jest iloczynem sumy napięć wejściowych i napięciowego wzmocnienia kanałowego. Gdy wartość współczynnika wzmocnienia prądowego β użytych tranzystorów jest dostatecznie duża, to kanałowe wzmocnienia napięciowe praktycznie nie zależą od wartości tego współczynnika (nie zależą od zmian β podczas pracy w zmiennych warunkach oraz nie zmieniają się przy wymianie danych egzemplarzy tranzystorów na inne). Wypadkowe napięcie sumaryczne podawane jest z kolektora tranzystora sumacyjnego T_s na wyjście wy sumatora poprzez kondensator oddzielający C_s , który sprzęga sumator z obciążeniem tylko dla składowych zmiennych napięcia kolektorowego oddzielając składową stałą tego napięcia. Całość układu zasilana jest ze źródła energii o biegunach B_1 i B_2 . Biegun B_1 źródła zasilającego połączony jest z rezystorem kolektorowym R_k i z emiterem tranzystora sumacyjnego T_s , zaś biegun B_2 tego źródła jest wspólnym biegunem zerowym wszystkich wejść $we_1 \div we_n$ oraz wyjścia wy sumatora i połączony jest z rezystorami emiterowymi $R_{e1} \div R_{en}$. Jeżeli tranzystory kanałowe $T_1 \div T_n$ są typu n-p-n, a tranzystor sumacyjny typu p-n-p, to biegun B_1 jest biegunem dodatnim źródła zasilającego, zaś biegun B_2 — biegunem ujemnym. Zmiana typu tranzystorów na przeciwny wiąże się tylko ze zmianą znaku biegunów B_1 i B_2 źródła zasilania, natomiast działanie układu jest wówczas identyczne. Za pomocą rezystora kolektorowego R_k dokonywać można jednoczesnej regulacji wzmocnień we wszystkich kanałach. Niezależna regulacja indywidualna poszczególnych wzmocnień kanałowych za pomocą rezystorów sumacyjnych $R_{s1} \div R_{sn}$, lub emiterowych $R_{e1} \div R_{en}$ pozwala, w zależności od potrzeb, zarówno na wyrównanie tych wzmocnień, jak i na ustawienie różnych ich wartości (np. przy stosowaniu preemfazy lub deemfazy).

Rezystor kolektorowy R_k zmniejsza ogólną rezystancję w bazie tranzystora sumacyjnego T_s , dzięki czemu wpływa stabilizująco na jego punkt

pracy dla prądu stałego. Rezystory emiterowe $R_{e1} \div R_{en}$ zwiększają ogólną rezystancję w emiterach tranzystorów kanałowych $T_1 \div T_n$ stabilizując warunki pracy tych tranzystorów. W wyniku przepływu części prądu kolektorowego tranzystora sumacyjnego T_s przez każdy rezystor emiterowy $R_{e1} \div R_{en}$, zwiększone jest ujemne sprzężenie zwrotne również dla prądu stałego, a tym samym skuteczniejsze jest działanie stabilizacyjne rezystorów $R_{e1} \div R_{en}$.

Dla lepszej stabilizacji punktu pracy tranzystora sumacyjnego T_s , emiter tego tranzystora może być połączony z biegunem B_1 źródła zasilania poprzez rezystor dodatkowy R_d , tak jak to pokazano na fig. 2. Rezystor dodatkowy R_d zwiększa ogólną rezystancję w obwodzie emitera tranzystora sumacyjnego T_s , co łącznie z występującym w tym przypadku ujemnym sprzężeniem zwrotnym prądowo-szeregowym stabilizuje warunki pracy tranzystora sumacyjnego T_s dla prądu stałego i zmiennego, polepszając również inne własności układu. Jednak zmniejszają się wtedy, w pewnym stopniu, wszystkie napięciowe wzmocnienia kanałowe. Aby w razie potrzeby nie tracić na wzmocnieniach kanałowych, rezystor dodatkowy R_d można zablokować dołączonym doń równolegle kondensatorem bocznikującym, który zwierając składowe zmienne, likwiduje ujemne sprzężenie zwrotne wprowadzane przez ten rezystor dla prądu zmiennego, a pozostawia je dla prądu stałego i tym samym nie pogarsza podwyższonej stabilności punktu pracy tranzystora sumacyjnego T_s .

Również w tym celu, aby nie tracić na wzmocnieniach kanałowych, rezystor kolektorowy R_k i emiter tranzystora sumacyjnego T_s można połączyć z biegunem B_1 źródła zasilania poprzez rezystor dodatkowy R_d , tak jak to zostało pokazane na fig. 3. Taka odmiana układowa nie wnosi ujemnego sprzężenia zwrotnego, stabilizuje jednak częściowo warunki pracy układu dla prądu stałego.

W przykładach, gdy wymagana jest duża stabilność punktu pracy tranzystora sumacyjnego T_s , do stabilizacji można wykorzystać nieliniowe elementy półprzewodnikowe, jak spolaryzowane przewodząco diody czy tranzystory. Elementy takie mogą być pojedynczo albo w zestawach złożonych z większej ilości sztuk włączane w miejsce rezystora kolektorowego R_k bądź też szeregowo lub równolegle z tym rezystorem. Przykładowo na fig. 4 pokazano szeregowe włączenie jednej diody półprzewodnikowej D spolaryzowanej przewodząco w w układzie odpowiadającym pokazanemu na fig. 2. Analogicznie postępować można z układami podanymi na fig. 1 i fig. 3.

W szczególnym przypadku warunki pracy układu mogą być tak dobrane, że możliwe jest jego poprawne działanie bez rezystora kolektorowego R_k (przypadek z jego pominięciem podano na fig. 5). Przypadek taki zachodzi wówczas, kiedy suma prądów kolektorowych tranzystorów kanałowych $T_1 \div T_n$ odpowiada wymaganemu optymalnemu prądowi bazy tranzystora sumacyjnego T_s .

Wolne końce rezystorów bazowych $R_{b1} \div R_{bn}$ mogą być połączone z różnymi punktami układu. Mogą one być dołączone do bazy tranzystora sumacyjnego T_s , do emitera tego tranzystora połą-

czonego przez rezystor dodatkowy R_d z biegunem B_1 źródła zasilania lub bezpośrednio do bieguna B_1 źródła zasilania. Połączenia takie mogą być dokonywane we wszystkich kanałach jednakowo lub w sposób kombinowany. Połączenie rezystora bazowego R_{b1} z bazą tranzystora sumacyjnego T_s wprowadza w kanale pierwszym dodatkowe ujemne sprzężenie zwrotne napięciowo-równoległe zarówno dla składowej stałej jak i dla składowych zmiennych sygnału.

Połączenie takie stabilizuje dodatkowo punkt pracy tranzystora kanałowego T_1 , poprawia charakterystykę częstotliwościową w kanale pierwszym, zmniejsza zniekształcenia nieliniowe w tym kanale, ale zmniejsza w pewnym stopniu impedancję wejściową w tym kanale oraz wartość kanałowego wzmocnienia napięciowego. Wartość tego sprzężenia jest na ogół niewielka, bowiem wartość rezystancji rezystora bazowego R_{b1} jest zazwyczaj duża. Aby przy takim połączeniu rezystora R_{b1} nie zmniejszać w kanale pierwszym impedancji wejściowej i wzmocnienia kanałowego, rezystor bazowy R_{b1} można zastąpić dwoma rezystorami szeregowymi, a wspólny punkt środkowy tych rezystorów zablokować kondensatorem do bieguna B_2 źródła zasilania (zastosowanie filtru odsprężającego). Wówczas usunięte jest ujemne sprzężenie zwrotne dla prądu zmiennego, a zachowane dla prądu stałego (utrzymana podwyższona stabilność punktu pracy).

Dołączenie rezystora bazowego R_{b1} do emitera tranzystora sumacyjnego T_s połączonego z biegunem B_1 źródła zasilania poprzez rezystor dodatkowy R_d również wprowadza ujemne sprzężenie zwrotne w kanale pierwszym, jednak słabsze — a więc mniej efektywne. Natomiast dołączenie re-

zystora bazowego R_{b1} bezpośrednio do bieguna B_1 źródła zasilania nie wprowadza żadnego sprzężenia zwrotnego. Jeżeli, w celu dalszego zwiększenia impedancji wejściowej lub jej stabilizacji, w danym kanale (albo we wszystkich) zastosowane zostanie dodatnie sprzężenie zwrotne napięciowo-równoległe, działające w tak zwanym układzie „bootstrapowym”, złożonym z rezystorowego dzielnika napięcia zasilania i z kondensatora sprzęgającego wspólny punkt środkowy tego dzielnika z emiterem danego tranzystora kanałowego, to wtedy wolny koniec rezystora bazowego tego kanału może być dołączony do wspólnego punktu środkowego dzielnika rezystorowego.

Zastrzeżenia patentowe

1. Tranzystorowy sumator liniowy, oparty na sumatorze kolektorowym, w którym wszystkie tranzystory posiadają w emiterach rezystory emiterowe, **znamienny tym**, że posiada dodatkowy tranzystor sumacyjny (T_s) odmiennego typu niż tranzystory kanałowe ($T_1 \div T_n$), dołączony bazą do kolektorów tranzystorów kanałowych ($T_1 \div T_n$), emiterem — bezpośrednio lub poprzez rezystor dodatkowy (R_d) — do bieguna (B_1) źródła zasilania połączonego z rezystorem kolektorowym (R_k), a kolektorem — poprzez oddzielne rezystory sumacyjne ($R_{s1} \div R_{sn}$) do emiterów poszczególnych tranzystorów kanałowych ($T_1 \div T_n$).

2. Odmiana sumatora według zastrz. 1, **znamienna tym**, że rezystor kolektorowy (R_k) i emiter tranzystora sumacyjnego (T_s) są połączone z biegunem (B_1) źródła zasilania poprzez rezystor dodatkowy (R_d).

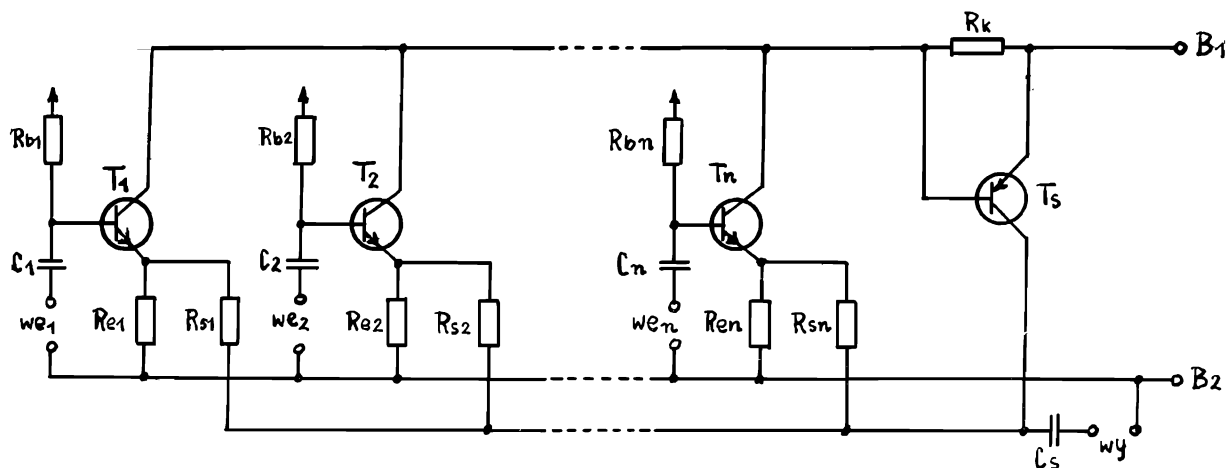


Fig. 1

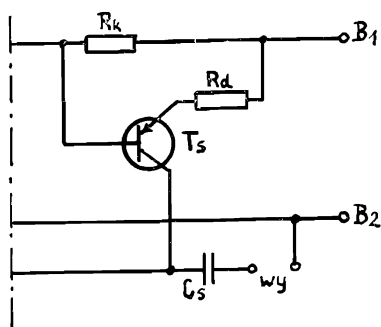


Fig. 2

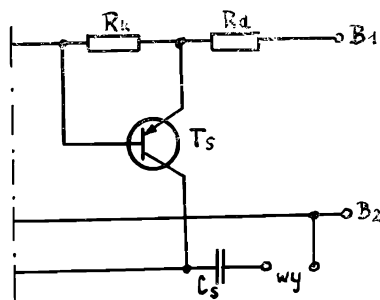


Fig. 3

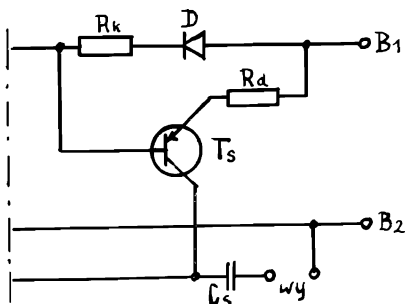


Fig. 4

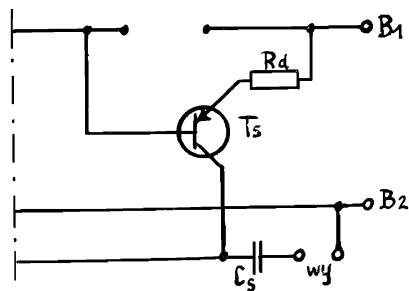


Fig. 5