



FEDERÁLNÍ ÚŘAD
PRO VYNÁLEZY

POPIS VYNÁLEZU 267 760

K AUTORSKÉMU OSVEDČENIU

(21) PV 6768-86.Q
(22) Prihlášené 19 09 86

(40) Zverejnené 12 07 89
(45) Vydané 02 07 90

(11)

(13) B1

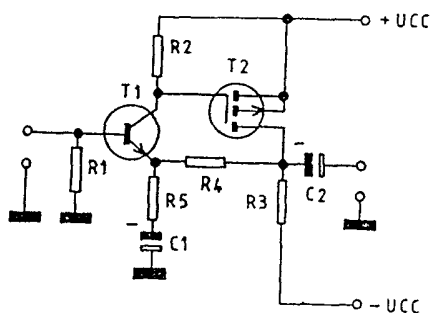
(51) Int. Cl.⁴
H 03 F 3/16

(75)
Autor vynálezu

ROPOVIK JOZEF, VRANOV NAD TOPĽOU

(54) Dvojstupňový lineárny spätnoväzobný
zosilovač

(57) Dvojstupňový lineárny spätnoväzobný zosilovač je určený pre spracovanie jednosmerných alebo striedavých napätí a prúdov v lineárnej oblasti zosilovacích vlastností. Podstatu dvojstupňového lineárneho spätnoväzobného zosilovača, podľa ktorého prvý stupeň je osadený bipolárnym tranzistorom T1 v zapojení SE a ktorého druhý stupeň je osadený tranzistorom T2 typu MOSFET s obohacovaným kanalom taktiež v zapojení SE, pričom T2 je voči T1 komplementárny, tvorí kombinovaná jednosmerná a striedavá spätná väzba, ktorá je predstavovaná odporom /R4/ vedená z výstupu, a to kolektora T2 na virtuálne využívaný emitor T1. Táto spätná väzba môže byť taktiež predstavovaná priamym spojením kolektora T2 s emitorom T1. Prvý stupeň môže byť nahradený diferenciálnym zosilovačom a taktiež druhý stupeň môžu tvoriť dva tranzistory MOSFET zapojené do kaskody, čím vznikne operačný zosilovač s vyšším napajacím napätím.



OBR.1

Vynález sa týka dvojstupňového lineárneho spätnoväzobného zosilovača pre spracovanie jednosmerných alebo striedavých napätí a prúdov v lineárnej oblasti zosilovacích vlastností.

Doposiaľ známe prevedenia dvojstupňových lineárnych spätnoväzobných zosilovačov so vzájomne komplementárnym prvým a druhým stupňom v nízkofrekvenčnej oblasti sa najčastejšie riešia s prvým a druhým bipolárnym stupňom. Novšie sa riešia s unipolárnym prvým stupňom a bipolárnym druhým stupňom, pričom v oboch riešeniach druhý stupeň s bipolárnym tranzistorom nedovoľuje prvému stupňu pracovať v plnom rozsahu kolektorového prúdu s maximálne možným zosilením nakoľko bipolárny tranzistor na druhom stupni si vyžaduje pre svoju činnosť potrebu bazového prúdu, pričom prvý stupeň zaťažuje nízkou impedanciou. Pri prúdovej medzistupňovej väzbe a zavedenej jednosmernej spätnej väzbe vzniká elektrická smyčka čo v blízkosti magnetického poľa spôsobuje nežiadúce rušenie. Nastavenie jednosmernej spätnej väzby je podstatne komplikované a závislé na napájacom napätí. Zapojenia s unipolárnym prvým stupňom a unipolárnym druhým stupňom možno využívať v nízkofrekvenčnej oblasti dosť obmedzene, prípadne s pridanými bipolárnymi typmi tranzistorov na vstupe. Zapojenia s prvým stupňom osadeným bipolárnym tranzistorom a druhým stupňom s tranzistorom MOSFET s obohacovaným kanálom sa najčastejšie vyskytuje v koncových stupňoch bez vzájomnej spätnej väzby a využívajú celkovej spätnej väzby z výstupu do predchádzajúceho budiaceho zosilovača, ktorý v podstatnej miere určuje vlastnosti celého zariadenia, čím sa nevyužívajú plnohodnotné spomínané dva stupne.

Uvedené nedostatky odstraňuje dvojstupňový lineárny spätnoväzobný zosilovač podľa vynálezu, ktorého prvý stupeň je osadený tranzistorom bipolárnym; prípadne MOSFET s ochudobneným kanálom a ktorého druhý stupeň je osadený tranzistorom MOSFET s obohacovaným kanálom pričom tranzistor druhého stupňa je komplementárny voči tranzistoru prvého stupňa a ktorého podstata spočíva v tom, že medzi prvý a druhý stupeň je zavedená spätná väzba. Spätná väzba medzi prvým a druhým stupňom je predstavovaná odporom, ktorého jeden koniec je pripojený k emitoru prvého tranzistora a druhý koniec je pripojený k výstupu druhého stupňa.

Spätná väzba medzi prvým a druhým stupňom môže byť predstavovaná aj priamym spojením emitora prvého tranzistora s výstupom druhého stupňa.

Prvý stupeň môže byť tvorený diferenciálnym zapojením prvého a tretieho tranzistora, kde spätná väzba predstavovaná odporom je zavedená medzi bázu tretieho tranzistora a výstup druhého stupňa. Druhý stupeň môže tvoriť kaskáda tranzistorov tak, že medzi kladnú svorku napájania a výstup druhého stupňa je zavedený odporový delič do ktorého stredy je pripojená báza štvrtého tranzistora MOSFET, ktorého kolektor je pripojený k výstupu druhého stupňa a ktorého emitor je pripojený ku kolektoru druhého tranzistora MOSFET.

Hlavné výhody navrhovaného dvojstupňového spätnoväzobného zosilovača umožňuje maximálne účinná jednosmerná spätná väzba dosiahnutá navrhovaným sledom osadenia a konštrukcie prvého a druhého stupňa čo okrem jednoduchého jednosmerného nastavenia a výbornej teplotnej stability aj pri zmene napáj. napätia prináša množstvo ďalších kladných znakov: možnosť osadenia prvého stupňa bipolárnym tranzistorom prípadne MOSFET s ochudobneným kanálom s možnosťou činnosti v ktorejkoľvek oblasti kolektorového prúdu, čo bipolárnemu tranzistoru dovoľuje zmenu vstupného odporu taktiež vhodnú šumovú oblasť pre obidva typy tranzistorov možno využiť maximum ich zosilenia nakoľko prvý stupeň pracuje na nezaťaženom stave čo podmieňuje vysoká vstupná impedancia druhého stupňa osadeného tranzistorom MOSFET s obohateným kanálom, ktorý svojou nízkou vstupnou kapacitou spolu s kolektorovým odporom prvého stupňa určuje frekvenčné a fázové vlastnosti charakterom RC člena za spoluúčasti zápornej spätnej väzby čo podstatne zjednodušuje návrh popiso-

vaného obvodu pre použitie v nízkofrekvenčnej oblasti prípadne v oblasti vysokofrekvenčnej. Prerušenie prúdovej smyčky na prechode väzby medzi prvým a druhým stupňom je dosiahnutá imunita voči rušeniu magnetickým poľom.

Na výkrese obr. 1 znázorňuje základné zapojenie dvojstupňového lineárneho spätnoväzobného zosilovača vo funkcii neinvertujúceho nízkofrekvenčného zosilovača so symetrickým napájaním.

Na obr. 2 je znázornený invertujúci nízkofrekvenčný zosilovač. Na obr. 3 je znázornený zosilovač - sledovač napätia s jednotkovým napäťovým ziskom a vysokým vstupným odporom.

Obr. 4 znázorňuje zámenu zosilovača v prvom stupni za diferenciálny napäťový zosilovač, čím vytvára jednoduchý operačný zosilovač vo funkcii nízkofrekvenčného neinvertujúceho zosilovača. Obr. 5 znázorňuje doplnenie druhého stupňa o ďalší unipolárny tranzistor MOSFET s obohateným kanálom.

Obr. 6 znázorňuje úpravu v prvom a druhom stupni tak, že prvý stupeň tvorí diferenciálny napäťový zosilovač a druhý stupeň tvorí kaskoda s MOSFET tranzistormi.

Na obr. 1 je znázornený spätnoväzobný zosilovač v neinvertujúcom prevedení nízkofrekvenčného zosilovača s napájaním zo symetrického zdroja. Baza tranzistora T1 v prvom stupni tvorí voči nulového potenciálu zdroja vstup dvojstupňového zosilovača, zároveň je s týmto nulovým potenciálom spojená cez odpor R1. Kolektor tranzistora T1 je pripojený cez odpor R2 na kladný pol zdroja, zároveň je pripojený na riadiacu elektródu tranzistora T2. Emitor a substrát T2 je priamo spojený s kladným pólom zdroja. Kolektor tranzistora T2 je pripojený cez odpor R3 na záporný pol zdroja zároveň voči nulovému potenciálu zdroja tvorí výstup z dvojstupňového zosilovača cez kondenzátor C2.

Kolektor tranzistora T2 je spojený cez odpor R4 na emitor tranzistora T1, ktorý je spojený s nulovým potenciálom zdroja cez odpor R5 a kondenzátor C1.

Prvý stupeň osadený bipolárnym tranzistorom T1 pracuje ako napäťový zosilovač so spoločným emitorom, ktorý sa využíva virtuálne pre jednosmerné nastavenie z výstupu druhého stupňa cez odpor R4, ktorý sa zároveň využíva pre zápornu striedanú spätnú väzbu. Emitor tranzistora T1 je blokovaný RC členom pozostávajúci z odporu R5 a kondenzátora C1 z čoho sa určuje spodná hranica frekvenčného prenosu. Odpory R4 a R5 určujú zosilenie dvojstupňového zosilovača podľa vzorca známeho u operačných zosilovačov. $A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ v prevedení $A_u = 1 + \frac{R_4}{R_5}$. Kolektor tranzistora T1 je napájaný z kladného pólu zdroja cez odpor R2 zároveň je spojený s riadiacou elektródou unipolárneho tranzistora typu MOSFET s obohatovaným kanálom ako T2. Odpor R2 a vstupná kapacita riadiacej elektródy tranzistora T2 určujú hornú hranicu frekvenčného prenosu. Prvý a druhý stupeň je spojený z kolektora tranzistora T1 do riadiacej elektródy tranzistora T2, prenos je prevedený prechodom elektrickým poľom čo slúži ako medzistupňová väzba, ktorá nemá prúdový charakter a impedancia je vysoká čo prvému stupňu s tranzistorom T1 dovoľuje pracovať v nezaťaženom režime. Druhý stupeň je osadený tranzistorom T2 typu MOSFET s obohatovaným kanálom, pričom je komplementárny voči tranzistoru T1 osadenom na prvom stupni.

Druhý stupeň pracuje ako napäťový zosilovač so spoločným emitorom pričom emitor a substrát tranzistora T2 sú napájané z kladného polu zdroja. Kolektor tranzistora T2 tvorí výstup dvojstupňového zosilovača a je napájaný cez odpor R3 zo záporného polu zdroja. Z bodu spojenia odporu R3 a kolektora tranzistora T2 sa odvádza jednosmerná spätná cez odpor R4 do emitora tranzistora T1, ktoré jednosmerne prednastaví obidva stupne do režimu pri ktorom výstupné jednosmerné napätie je málo rozdielné voči vstupnému, preto bázu tranzistora T1 možno pomocou odporu R1 pripojiť na nulový potenciál zdroja a výstup sa mierne bude nachádzať v blízkosti nulového potenciálu v zápornej polovici zdroja, čím

sa zároveň vytvára polarizačné napätie pre kondenzátor C1.

Na obr. 2 je znázornený dvojstupňový lineárny spätnoväzobný zosilovač v invertujúcom prevedení nízkočrekného zosilovača s napájaním zo symetrického zdroja. Emitor tranzistora T1 v prvom stupni tvorí voči nulovému potenciálu zdroja vstup dvojstupňového zosilovača cez kondenzátor C1 a odpor R1 je zároveň spojený cez odpor R4 na kolektor tranzistora T2 na druhom stupni.

Báza tranzistora T1 je priamo spojená s nulovým potenciálom zdroja. Kolektora T1 je pripojený cez odpor R2 na kladný pol zdroja, zároveň je pripojený na riadiacu elektródu tranzistora T2. Emitor a substrát tranzistora T2 je priamo spojený s kladným polom zdroja. Kolektor tranzistora T2 je pripojený cez odpor R3 na záporný pol zdroja, zároveň voči nulovému potenciálu tvorí výstup z dvojstupňového zosilovača cez kondenzátor C2.

Zapojenie na obr. 2 voči zapojeniu na obr. 1 plní funkciu invertujúceho nízkočrekného zosilovača, zámenou elektród tranzistora T1 pričom emitore tvorí vstup cez R1 a C1 a báza je blokovaná pripojením na nulový potenciál zdroja. Druhý stupeň a jednosmerná spätná väzba je rovnako riešená ako v zapojení na obr. 1. Striedavá záporná spätná väzba využíva odporu R4 voči odporu R1, čím sa určuje zesilenie invertujúceho dvojstupňového zosilovača vzorcem $A_u = \frac{R_4}{R_1}$.

Na obr. 3 je znázornený spätnoväzobný zosilovač ako prúdový zosilovač s napájaním zo symetrického zdroja.

Báza tranzistora T1 v prvom stupni tvorí voči nulovému potenciálu zdroja vstup dvojstupňového zosilovača, zároveň je s týmto nulovým potenciálom spojená cez odpor R1. Kolektorom tranzistora T1 je pripojený cez odpor R2 na kladný pol zdroja, zároveň je pripojený na riadiacu elektródu tranzistora T2. Emitor a substrát tranzistora T2 je priamo spojený s kladným polom zdroja. Kolektor tranzistora T2 je pripojený cez odpor R3 na záporný pol zdroja, zároveň voči nulovému potenciálu zdroja tvorí výstup z dvojstupňového zosilovača cez kondenzátor C2. Kolektor tranzistora T2 je priamo spojený s emitorem tranzistora T1.

Zapojenie na obr. 3 voči zapojeniu na obr. 1 plní funkciu prúdového zosilovača a odlišuje sa spätnou väzbou, ktorá je vedená z kolektora tranzistora T2 priamym spojením s emitorem tranzistora T1.

Zapojenie na obr. 4 voči zapojeniu na obr. 1 je doplnené v prvom stupni o prúdový zosilovač s tranzistorom T3 a jeho emitrovým odporom R8, pričom vedenie jednosmernej a striedavej spätnej väzby z výstupu druhého stupňa cez odpor R4 sa privedie na bázu tranzistora T3, ktorá zároveň je blokovaná cez odpor R5 a kondenzátor C1 na nulový potenciál zdroja. Spojené emitory tranzistorov T1 a T3 sú napájané cez odpor R8 zo záporného polu zdroja.

Kolektor tranzistora T3 je napájaný z kladného polu zdroja. Takto doplnený prvý stupeň dotvára dvojstupňový zosilovač na jednoduchý operačný zosilovač.

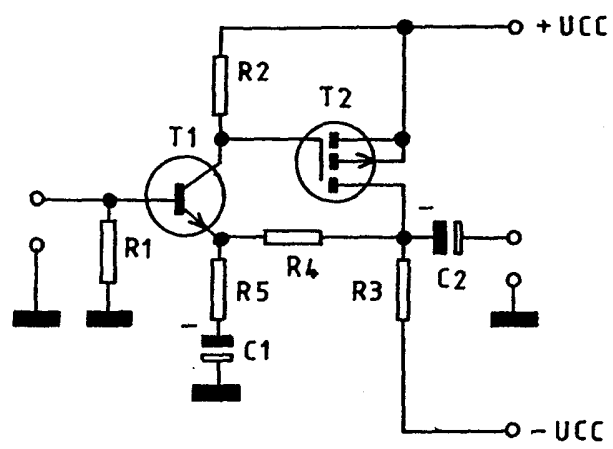
Zapojenie na obr. 5 voči zapojeniu na obr. 1 je doplnené v druhom stupni o tranzistor T4, ktorý je taktiež typu MOSFET s obohacovaným kanálom ako tranzistor T2 s ktorým tvoria kaskodu. Riadiaca elektróda tranzistora T4 je napájaná z odporového deliča zloženého z odporov R6 a R7, ktorého jeden koniec je pripojený ku kladnému polu zdroja a druhý koniec ku kolektoru tranzistora T4. Týmto spôsobom možno zdvojnásobiť napájacie napätie a zároveň sa dosiahne nízkych medzielektrodoých kapacít. Pri použití nižšieho napájacieho napätia je potrebné riadiacu elektródu T4 blokovať kondenzátorom voči nulovému potenciálu zdroja.

Zapojenie znázornené na obr. 4 voči zapojeniu na obr. 1 je v prvom stupni prevedené ako na obr. 4 a v druhom stupni prevedené ako na obr. 5 čím vzniká operačný zosilovač s vyšším napájacím napätím.

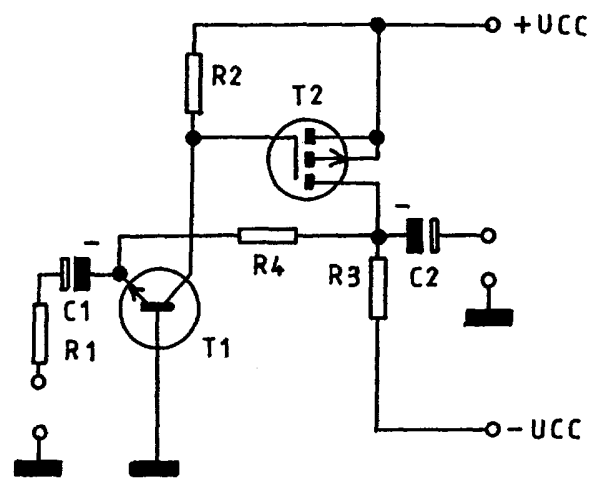
Možnosti navrhovaného vynálezu umožňujú všestranné použitie v elektrotehnike, ktorá sa zaoberá jednosmerným a striedavým spracovaním napätia a prúdov. Vhodné vlastnosti navrhovaného vynálezu ho predurčujú pre meracie účely a univerzálne použitie v oblasti nízko- a vysokofrekvenčnej techniky. Prenosové vlastnosti nevylučujú ani možnosť použitia vo vysokofrekvenčnej technike. Pre podstatnú jednoduchosť je predpoklad použitia do hybridných mikrocirkuitov.

P R E D M E T V Y N Á L E Z U

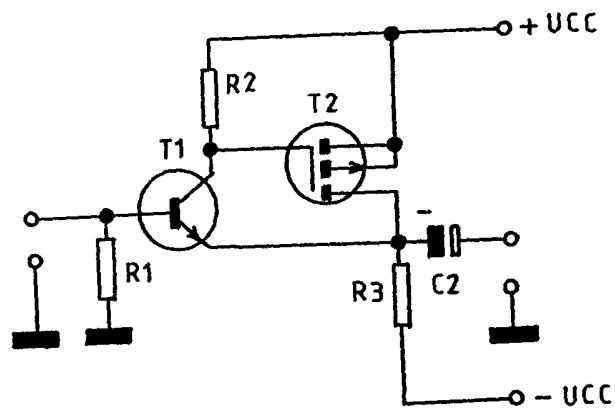
1. Dvojstupňový lineárny spätnoväzobný zosilovač, ktorého prvý stupeň je osadený tranzistorom bipolárnym, prípadne HGSFET s ochudobneným kanalom a ktorého druhý stupeň je osadený tranzistorom MOSFET s obohateným kanalom, pričom tranzistor druhého stupňa je komplementárny voči tranzistoru prvého stupňa vyznačujúci sa tým, že medzi prvým a druhým stupeňom je zavedená spätná väzba.
2. Dvojstupňový lineárny spätnoväzobný zosilovač podľa bodu 1, vyznačujúci sa tým, že spätná väzba medzi prvým a druhým stupňom je predstavovaná odporom /R4/, ktorého jeden koniec je pripojený k emitoru prvého tranzistora /T1/ a ktorého druhý koniec je pripojený k výstupu druhého stupňa.
3. Dvojstupňový lineárny spätnoväzobný zosilovač podľa bodu 1, vyznačujúci sa tým, že spätná väzba medzi prvým a druhým stupňom je predstavovaná priamym spojením emitora prvého tranzistora /T1/ a výstupom druhého stupňa.
4. Dvojstupňový lineárny spätnoväzobný zosilovač podľa bodu 1, vyznačujúci sa tým, že jeho prvý stupeň je tvorený diferenciálnym zapojením prvého a tretieho tranzistora /T1, T3/, kde spätná väzba predstavovaná odporom /R4/ je zavedená medzi bázu tretieho tranzistora /T3/ a výstup druhého stupňa.
5. Dvojstupňový lineárny spätnoväzobný zosilovač podľa bodu 1, vyznačujúci sa tým, že medzi kladnou svorkou napájania /+UCC/ a výstupom druhého stupňa je zavedený odporový delič /R6, R7/, do ktorého stredu je pripojená báza štvrtého tranzistora MOSFET /T4/, ktorého kolektor je pripojený k výstupu druhého stupňa a ktorého emitor je pripojený ku kolektoru druhého tranzistora MOSFET /T2/.



OBR.1

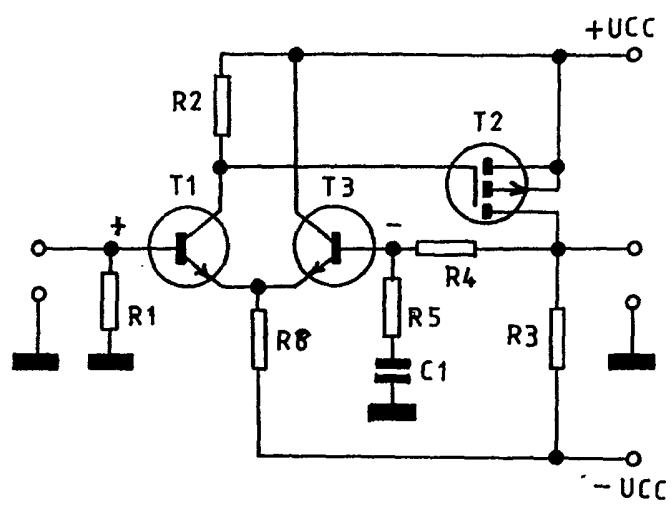


OBR. 2



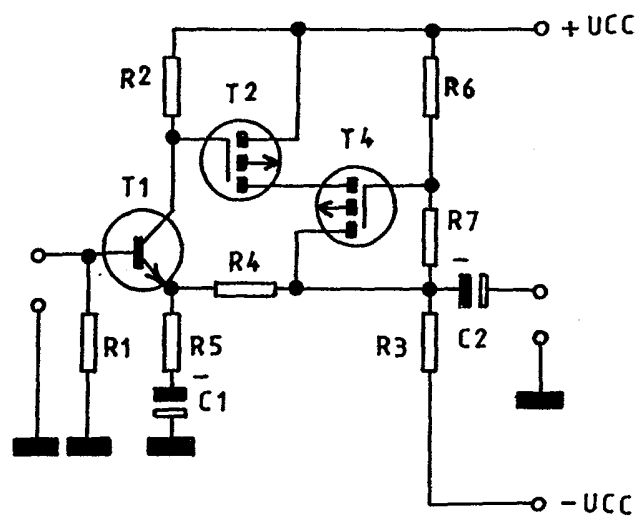
OBR. 3

CS 267760 B1



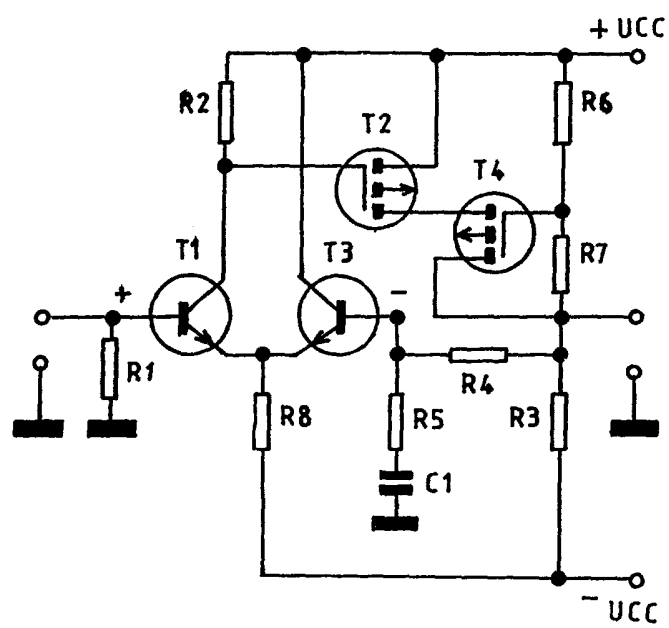
OBR. 4

CS 267760 B1



0BR.5

CS 267760 B1



OBR.6