



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

230544

(11) (B1)

(51) Int. Cl.³

H 03 F 3/19

(22) Přihlášeno 20 08 82
(21) (PV 6109-82)

(40) Zveřejněno 30 12 83

(45) Vydáno 15 05 86

(75)

Autor vynálezu

MICHÁLEK PAVEL ing., PRAHA

(54) Zapojení vysokofrekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače
s řízením výstupního výkonu

1

Vynález se týká zapojení vysokofrekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače s řízením výstupního výkonu v širokých mezích, se stabilizací výstupního výkonu a s ochranou proti nepřizpůsobení zátěže je obvykle tvořen vstupním útlumovým členem, regulovatelným budicím stupněm, koncovým stupněm, výstupním filtrem, reflektometrem a soustavou zesilovačů odchylky. Rozhodujícími činiteli pro kvalitu zesilovače s řízením výstupního výkonu jsou především soustava zesilovačů odchylky a regulovatelný budicí stupeň.

Je známo, že v soustavě zesilovačů odchylky se používají tranzistory, nebo operační zesilovače. Soustava zesilovačů odchylky může být tvořena pouze jedním operačním zesilovačem. U takového zapojení je řídicí napětí funkcí postupné i odražené složky výstupního výkonu a přivádí se na neinvertující vstup operačního zesilovače. K invertujícímu vstupu je připojen jednak zpětnovazební odpor z výstupu operačního zesilovače a jednak referenční napětí k nastavení výstupního výkonu zesilovače.

Referenční napětí se odvozuje z napájecího napětí přes potenciometr. Nevýhodou tohoto zapojení je závislost zesílení operačního zesilovače a tím i soustavy zesilovačů odchylky na nastavení referenčního napětí, neboť se při regulaci potenciometrem mění činitel zpětné vazby. Další nevýhodou je to, že zapojení neumožňuje nastavit práh funkce ochranné smyčky a také nelze zvlášť měřit postupnou a odraženou složku výstupního výkonu.

Regulovatelný budicí stupeň je nejčastěji zapojen jako zesilovač s uzemněným emitorem, případně doplněný obvody záporné zpětné vazby. Zpětná vazba může být tvořena buď polo-proudová, emitorovým odporem nebo napěťová, s použitím děliče RC mezi kolektorem a bází budicího tranzistoru. Dosud známá zapojení regulovatelného budicího stupně používají relativně malý stupeň zpětné vazby.

230544

Například u proudové vazby je emitorový odpor alespoň pětikrát až desetkrát menší než reálná část vstupní impedance tranzistoru. Přebytečný vstupní výkon se utlumí ve vstupním útlumovém článku. Vlastnosti regulovatelného budicího stupně nejsou v tomto případě dostatečně stabilizovány při velkých změnách jeho napájecího napětí, potřebných pro regulaci výstupního výkonu zesilovače v širokých mezích.

Výše uvedené nedostatky odstraňuje podle vynálezu zapojení vysokofrekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače s řízením výstupního výkonu, tvořeného kaskádním spojením vstupního útlumového členu, regulovatelného budicího stupně, koncového stupně, výstupního filtru a reflektometru se dvěma regulačními smyčkami vedenými z reflektometru přes soustavu zesilovačů odchylky k regulovatelnému budicímu stupni.

Podstata vynálezu spočívá v tom, že ke zdroji napájecího napětí regulovatelného budicího stupně je přes emitorový sledovač připojen jednak zdroj napětí reflektometru úměrného výstupnímu výkonu zesilovače přes první operační zesilovač, přes druhý operační zesilovač a jednak zdroj napětí reflektometru odraženému výkonu zesilovače přes druhý operační zesilovač, přičemž výstup prvního operačního zesilovače je spojen s kladným napájecím vstupem druhého operačního zesilovače a zdroj regulačního napětí pro nastavení výstupního výkonu zesilovače je připojen přes první oddělovací odpor k prvnímu proměnnému odporu, zatímco zdroj regulačního napětí pro nastavení obvodu ochranné smyčky je připojen přes druhý oddělovací odpor ke druhému proměnnému odporu.

Mezi zdroj napětí reflektometru a první operační zesilovač je zapojen třetí operační zesilovač, případně mezi zdroj napětí reflektometru a druhý operační zesilovač je zapojen čtvrtý operační zesilovač.

Výstup třetího a výstup operačního zesilovače jsou opatřeny svorkami pro připojení kontrolních a/nebo indukčních odporů.

Zdroj regulačního napětí je připojen k výstupu pro dálkové ovládání třetím proměnným odporem.

Zdroj regulačního napětí je připojen přes výstup ke zdroji napětí pro dálkové nastavení výstupního výkonu zesilovače.

Emitor výkonového tranzistoru regulovatelného budicího stupně je spojen se zemí přes bezindukční emitorový odpor, jehož hodnota je několikanásobně větší než reálná část vstupní impedance výkonového tranzistoru.

Vyšší účinek zapojení vysokofrekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače s řízením výstupního výkonu spočívá ve výrazné nezávislosti vstupní impedance zesilovače na teplotě, na kmitočtu v daném pásmu, na vstupním výkonu v předepsaných mezích, v jednoduchém a snadno nastavitelném přizpůsobovacím obvodu, ve stabilizaci vlastností regulovatelného budicího stupně v širokém rozsahu jeho napájecího napětí.

Soustava zesilovačů odchylky umožňuje nastavovat výstupní výkon zesilovače ve značném rozsahu jednak ručně a jednak dálkově proměnným odporem, nebo zdrojem vnějšího napětí, přičemž se pro každé nastavení udržuje při jmenovité zátěži téměř konstantní výstupní výkon a při nepřizpůsobené zátěži se od určité nastavitelné prahové hodnoty činitele stojatého vlnění na výstupu omezí výstupní výkon na přijatelnou hodnotu. Zapojení se čtyřmi operačními zesilovači umožňuje připojení indikačních a kontrolních obvodů pro rychlé posouzení, případně vyhodnocení režimu zesilovače.

Zapojení vysokofrekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače s řízením výstupního výkonu podle vynálezu bude následovně blíže popsáno v příkladovém provedení s pomocí připojených vyobrazení, kde obr. 1 znázorňuje blokové schéma celkového zapojení vysoko-

frekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače, obr. 2 znázorňuje blokové schéma zapojení regulovatelného budicího stupně podle obr. 1, obr. 3 znázorňuje blokové schéma zapojení soustavy zesilovačů odchylky podle obr. 1, obr. 4 znázorňuje blokové schéma zapojení soustavy zesilovačů odchylky podle obr. 3 se čtyřmi operačními zesilovači a obr. 5 znázorňuje příkladové zapojení soustavy zesilovačů odchylky podle obr. 4.

Na obr. 1 je znázorněno zapojení vysokofrekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače, tvořeného kaskádním spojením vstupního útlumového členu 01, regulovatelného budicího stupně 02, koncového stupně 03, výstupního filtru 04 a reflektometru 05 se dvěma smyčkami záporné zpětné vazby, vedené z reflektometru 05 přes soustavu 06 zesilovačů odchylky k regulovatelnému budicímu stupni 02.

Podle obr. 2 je vstup regulovatelného budicího stupně 02 připojen k bázi výkonového tranzistoru 02b regulovatelného budicího stupně 02 přes vstupní přizpůsobovací obvod 02a, který je tvořen kapacitním děličem a impedančním transformátorem, přičemž báze výkonového tranzistoru 02b je spojen se zemí přes kondenzátor a odporový prvek. Emitor výkonového tranzistoru 02b je spojen se zemí přes bezindukční emitorový odpor 02c. Kolektor výkonového tranzistoru 02b je připojen k výstupu regulovatelného budicího stupně 02 přes výstupní přizpůsobovací obvod 02d.

Regulační obvody vedené z reflektometru 05 zajišťují součinnost všech tří základních požadavků, to je nastavení výstupního výkonu v širokém rozsahu, stabilizaci výstupního výkonu při kolísání vstupního výkonu a ochranu proti nepřizpůsobení zátěže s možností nastavení prahové hodnoty. Soustava 06 zesilovačů odchylky je tvořena nejméně dvěma operačními zesilovači 06b, 06c.

Stabilizační smyčka v soustavě 06 zesilovačů odchylky vede ze zdroje U_D napětí reflektometru 05 úměrného výstupnímu výkonu zesilovače přes první operační zesilovač 06b, přes druhý operační zesilovač 06c a přes emitorový sledovač 06a ke zdroji U_A napájecího napětí regulovatelného budicího stupně 02, jak znázorněno na obr. 3. Výstup prvního operačního zesilovače 06b je spojen s kladným napájecím vstupem druhého operačního zesilovače 06c.

Ochranná smyčka v soustavě 06 zesilovačů odchylky je vedena ze zdroje U_E napětí reflektometru 05 úměrného odraženému výkonu zesilovače přes druhý operační zesilovač 06c a přes emitorový sledovač 06a ke zdroji U_A napájecího napětí. Zdroj U_E regulačního napětí pro nastavení výstupního výkonu zesilovače je připojen přes první oddělovací odpor 06f k prvnímu proměnnému odporu 06h.

Zdroj U_C regulačního napětí pro nastavení obvodu ochranné smyčky je připojen přes druhý oddělovací odpor 06g ke druhému proměnnému odporu 06i, jak znázorněno na obr. 3. Toto uspořádání zaručuje, že při každém nastavení výstupního výkonu je zachována funkce stabilizace výstupního výkonu a ochrany proti nepřizpůsobení zátěže.

Požaduje-li se kontrola, případně indikace parametrů zesilovače, může být s výhodou použita soustava 06 zesilovačů odchylky se čtyřmi operačními zesilovači, jak znázorněno na obr. 4 a 5. Mezi zdroj U_D napětí reflektometru 05 a první operační zesilovač 06b je zapojen třetí operační zesilovač 06d a mezi zdroj U_D napětí reflektometru 05 a druhý operační zesilovač 06c je zapojen čtvrtý operační zesilovač 06e. Třetí a čtvrtý operační zesilovač 06d a 06e jsou připojeny ke kladnému zdroji U_H napájecího napětí a k zápornému zdroji U_K napájecího napětí.

Výstupní výkon zesilovače se nastavuje buď ručně prvním proměnným odporem 06h, nebo dálkově. Zdroj U_E regulačního napětí může být připojen k výstupu W pro dálkové ovládání třetím proměnným odporem 06j nebo přes výstup W ke zdroji U_F napětí pro dálkové nastavení výstupního výkonu zesilovače.

Při funkci vstupní signál prochází vstupním útlumovým členem 01 a po zesílení v regulovatelném budicí stupni 02 a v koncovém stupni 03 se přivádí přes výstupní filtr 04 a reflektometr 05 do zátěže R_z podle obr. 1. Výkonový stupeň 03 pracuje s jmenovitým napájecím napětím U_G . Zdrojem U_A napájecího napětí regulovatelného budicího stupně 02 se mění budicí výkon koncového zdroje 03 a tím i výstupní výkon zesilovače.

Je-li k dispozici dostatečný vstupní výkon, lze požadované výkonové zesílení soustředit pouze ve výkonovém stupni 03. Regulovatelný budicí stupeň 02 pak ztrácí charakter zesilovače a pracuje jako proměnný útlumový člen, neboť požadované zesílení se pohybuje od hodnot blízkých nule k hodnotám blízkým jedné.

Takový útlumový člen lze s výhodou realizovat zesilovačem s velmi silnou zápornou zpětnou vazbou bezindukčním emitorovým odporem 02c, jak znázorněno na obr. 2, přičemž velikost emitorového odporu 02c je několikanásobně vyšší, nejméně dvakrát, než reálná část vstupní impedance tranzistoru 02b.

Regulovatelný budicí stupeň 02 v tomto zapojení se blíží svými vlastnostmi obvodu, jehož útlum je závislý pouze na zdroji U_A napájecího napětí a prakticky se nemění v daném rozsahu teploty okolí a kmitočtu. Vzhledem k silně redukovanému zesílení je stupeň stabilní při všech předepsaných režimech zdroje U_A napájecího napětí. Velmi nízká vstupní impedance tranzistoru 02b, to je desetiny ohmů, se přizpůsobením zpětné vazby zvýší.

Výsledná vstupní impedance je úměrná velikosti emitorového odporu 02c a téměř se nemění v požadovaném rozsahu zdroje U_A napájecího napětí, teploty okolí, kmitočtu a vstupního výkonu. Zvýšení vstupní impedance tranzistorem umožňuje zmenšit transformační poměr vstupního přizpůsobovacího obvodu 02a. Vstupní přizpůsobovací obvod 02a je jednoduchý a snadno se nastavuje pouze jedním proměnným kondenzátorem. Bezindukční emitorový odpor 02c může být realizován paralelním spojením několika dílčích odporů, čímž se omezí vliv indukčnosti přívodů.

Ke zlepšení vlastností zesilovače slouží regulační smyčky z reflektometru 05 přes soustavu 06 zesilovačů odchylky na regulovatelný budicí stupeň 02, jak znázorněno na obr. 1. Zdroj U_D napětí reflektometru, úměrného výstupnímu výkonu zesilovače řídí po zesílení v soustavě 06 zesilovačů odchylky zdroj U_A napájecího napětí regulovatelného budicího stupně 02 a tím i výstupní výkon.

Tato stabilizační zpětnovazební smyčka udržuje téměř konstantní výstupní výkon zesilovače při změnách vstupního výkonu v předepsaném rozsahu. Základní zapojení v soustavě 06 zesilovačů odchylky znázorňuje obr. 3. Stabilizační smyčku v soustavě 06 zesilovačů odchylky tvoří první operační zesilovač 06b, druhý operační zesilovač 06c a emitorový sledovač 06a. Signál z výstupu prvního operačního zesilovače 06b přichází na kladný napájecí vstup druhého operačního zesilovače 06c.

Zdrojem U_E napětí reflektometru úměrného odraženému výkonu zesilovače lze rovněž řídit po zesílení v soustavě 06 zesilovačů odchylky zdroj U_A napájecího napětí a tím i výstupní výkon zesilovače. Tato ochranná smyčka chrání výkonový tranzistor koncového stupně 03 před poškozením při nepřizpůsobené zátěži.

Při jmenovité zátěži ochranná smyčka nepůsobí. Práh činnosti smyčky je stanoven zdrojem U_G regulačního napětí pro nastavení obvodu ochranné smyčky a nastavuje se druhým proměnným odporem 06i. Kritériem pro funkci smyčky je přípustná velikost činitele stojatého vlnění na výstupu zesilovače. Je-li ochranná smyčka v činnosti, má rozhodující vliv na velikost výstupního výkonu zesilovače, protože její zesílení je asi 3krát větší, než zesílení smyčky stabilizační. Při překročení prahové hodnoty, činitele stojatého vlnění pak smyčka udržuje přibližně konstantní odražený výstupní výkon.

Ochrannou smyčku tvoří v soustavě 06 zesilovačů odchylky druhý operační zesilovač 06c a emitorový sledovač 06a. Doba náběhu ochranné smyčky musí být mnohem menší, než doba náběhu smyčky stabilizační, neboť nebezpečí poškození tranzistoru při nepřizpůsobené zátěži se proti stavu se jmenovitou zátěží značně zvyšuje.

Zdrojem U_B regulačního napětí pro nastavení výstupního výkonu se ovládá zdroj U_A napájecího napětí a tím i výstupní výkon zesilovače. Zapojení umožňuje buď ruční regulaci prvním proměnným odporem 06h nebo regulací dálkovou. Je-li jezdec prvního proměnného odporu 06h spojen se zemí, používá se k regulaci zdroj U_F napětí pro dálkové nastavení výstupního výkonu zesilovače. Je-li jezdec prvního proměnného odporu 06h v druhé krajní poloze, slouží k nastavení výstupního výkonu zesilovače třetí proměnný odpor 06j.

Zapojení soustavy 06 zesilovačů odchylky lze zdokonalit přidáním třetího operačního zesilovače 06d, případně čtvrtého operačního zesilovače 06e, jak znázorněno na obr. 4 a 5. Tyto sledovače mají vysokou vstupní impedanci. Reflektometr 05 pak pracuje prakticky naprázdno a vliv nelinearity diod reflektometru 05 je zanedbatelný.

Další výhodou rozšířeného zapojení podle obr. 4 a 5 je možnost analogového měření výstupních veličin s vyšší napětovou úrovní a s nízkou výstupní impedancí. Napětí na výstupu třetího operačního zesilovače 06d je úměrné výstupnímu výkonu, napětí na výstupu čtvrtého operačního zesilovače 06e je úměrné odraženému výkonu. Vzhledem k nízké výstupní impedanci třetího 06d a čtvrtého 06e operačního zesilovače, je možno na jejich výstupy připojit různé indikační, případně kontrolní obvody, například se světelnými diodami, aniž by se ovlivnila funkce zesilovače.

Zapojení podle vynálezu lze použít pro vysokofrekvenční výkonové tranzistorové zesilovače s vyššími nároky, například pro systémy se sdruženými kanály v jedné anténě, pro základnové stanice radiových sítí, u nichž se požaduje nastavování výstupního výkonu v širokých mezích se současnou stabilizací každé nastavené úrovně výstupního výkonu a s ochranou proti nepřizpůsobení, a kde se rovněž vyžaduje kontrola nebo indikace provozního, případně poruchového režimu a možnost ručního nebo dálkového ovládání výstupního výkonu zesilovače.

Zesilovač je po stránce konstrukční prakticky rozdělen na čtyři samostatné celky, a to vstupní útlumový člen a regulovatelným budicím stupněm, koncový stupeň, výstupní filtr s reflektometrem a soustavou zesilovačů odchylky s indikačními obvody. Jednotlivé celky jsou funkčně zcela samostatné a lze je odděleně nastavovat.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Zapojení vysokofrekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače s řízením výstupního výkonu, tvořeného kaskádním spojením vstupního útlumového členu, regulovatelného budicího stupně, koncového stupně, výstupního filtru a reflektometru se dvěma regulačními smyčkami vedenými z reflektometru přes soustavu zesilovačů odchylky k regulovatelnému budicímu stupni, vyznačené tím, že ke zdroji (U_A) napájecího napětí regulovatelného budicího stupně (02) je přes emitorový sledovač (06a) připojen jednak zdroj (U_D) napětí reflektometru úměrného výstupnímu výkonu zesilovače přes první operační zesilovač (06b), přes druhý operační zesilovač (06c) a jednak zdroj (U_B) napětí reflektometru úměrného odraženému výkonu zesilovače přes druhý operační zesilovač (06c), přičemž výstup (6) prvního operačního zesilovače (06b) je spojen s kladným napájecím vstupem (7) druhého operačního zesilovače (06c) a zdroj (U_B) regulačního napětí pro nastavení výstupního výkonu zesilovače je připojen přes první oddělovací odpor (06f) k prvnímu proměnnému odporu (06h), zatímco zdroj (U_C) regulačního napětí pro nastavení obvodu ochranné smyčky je připojen přes druhý oddělovací odpor (06g) ke druhému proměnnému odporu (06i).

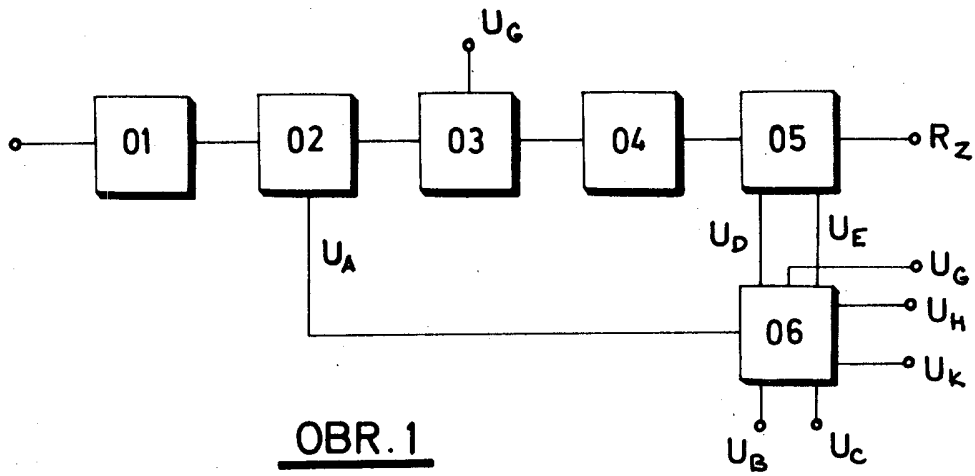
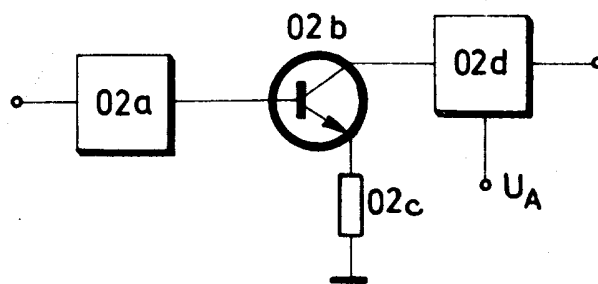
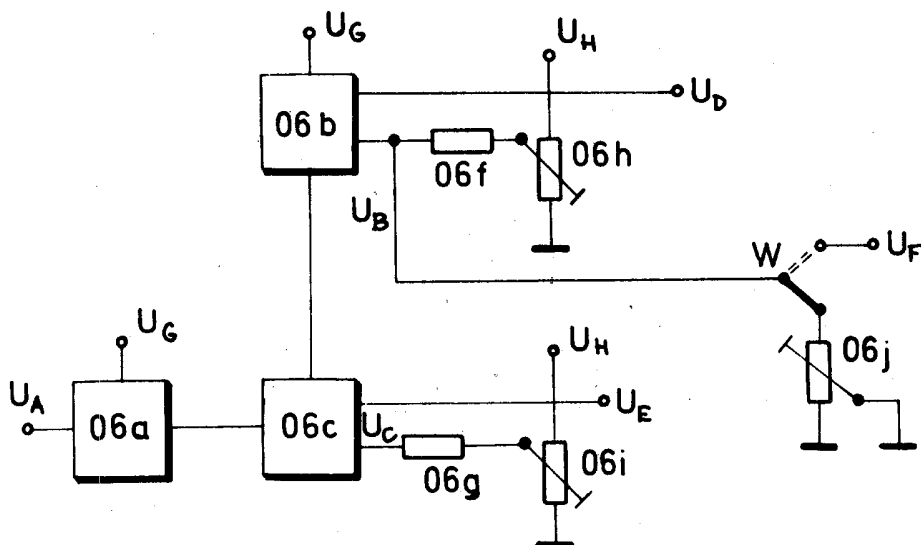
2. Zapojení vysokofrekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače podle bodu 1, vyznačené tím, že mezi zdroj (U_D) napětí reflektometru a první operační zesilovač (06b) je zapojen třetí operační zesilovač (06d), případně mezi zdroj (U_E) napětí reflektometru a druhý operační zesilovač (06c) je zapojen čtvrtý operační zesilovač (06e).

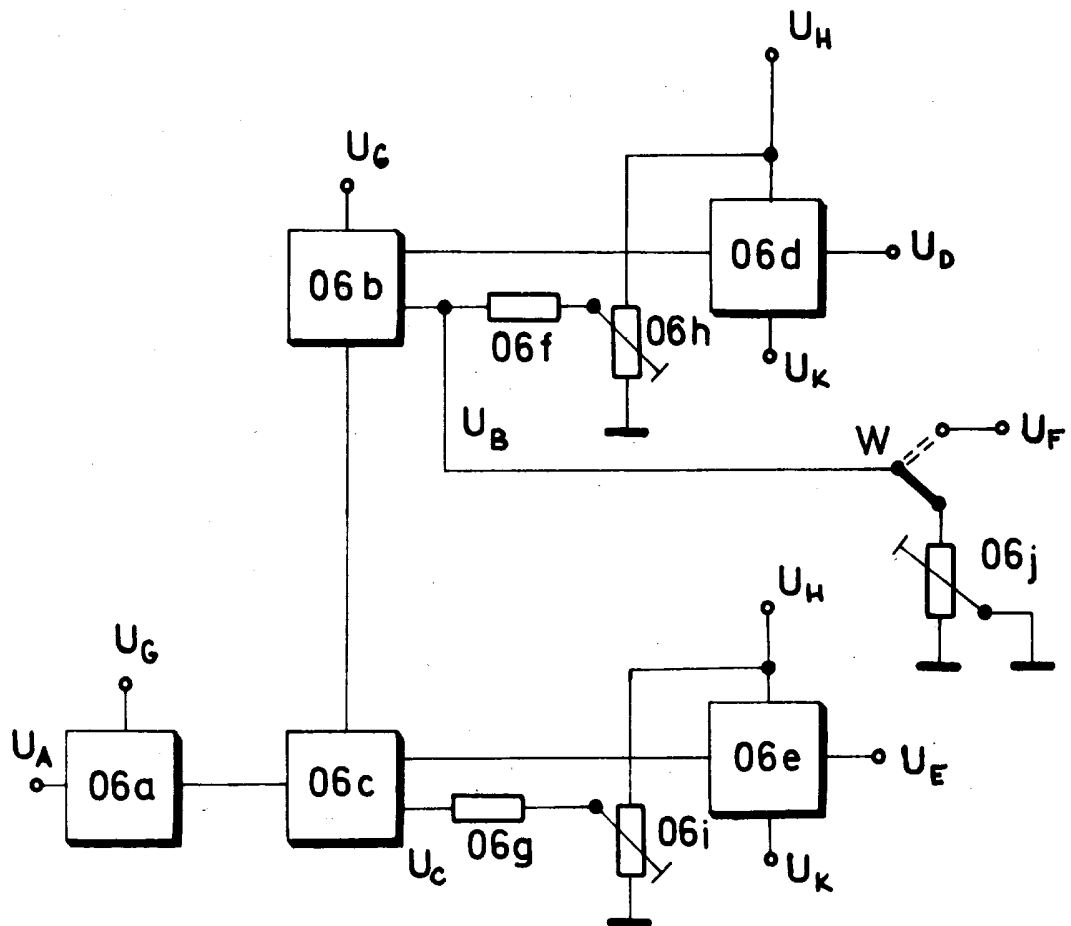
3. Zapojení vysokofrekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače podle bodu 2, vyznačené tím, že výstup (X) třetího operačního zesilovače (06d) a výstup (Y) čtvrtého operačního zesilovače (06e) jsou opatřeny svorkami pro připojení kontrolních a/nebo indikačních obvodů.

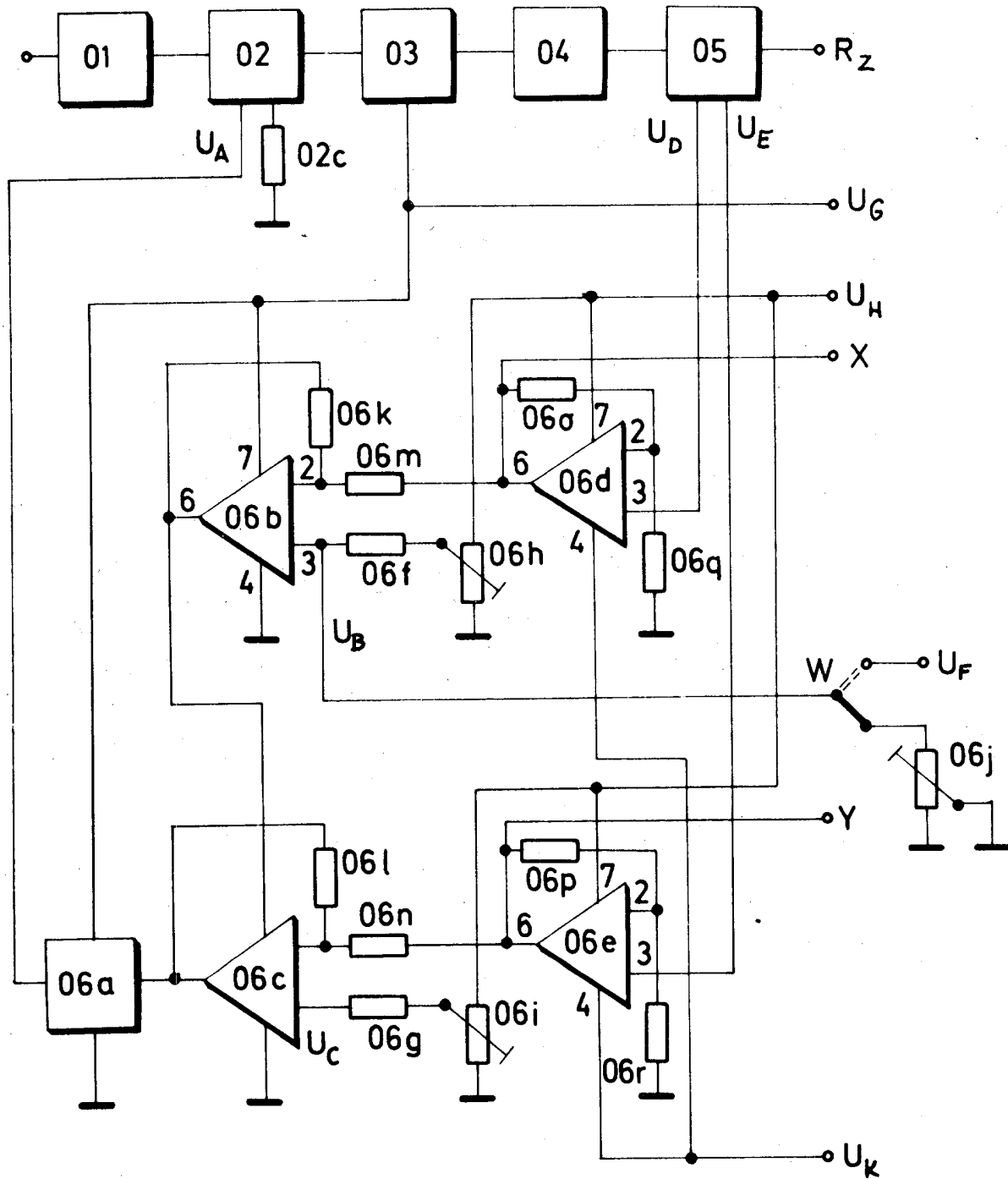
4. Zapojení vysokofrekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače podle bodů 1 až 3, vyznačené tím, že zdroj (U_B) regulačního napětí je připojen k výstupu (W) pro dálkové ovládání třetím proměnným odporem (06j).

5. Zapojení vysokofrekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače podle bodů 1 až 3, vyznačené tím, že zdroj (U_B) regulačního napětí je připojen přes výstup (W) ke zdroji (U_F) napětí pro dálkové nastavení výstupního výkonu zesilovače.

6. Zapojení vysokofrekvenčního výkonového tranzistorového zesilovače podle bodů 1 až 5, vyznačené tím, že emitor výkonového tranzistoru (02b) regulovatelného budicího stupně (02) je spojen se zemí přes bezindukční emitorový odpor (02c), jehož hodnota je několikanásobně větší než reálná část vstupní impedance výkonového tranzistoru (02b).

OBR.1OBR.2OBR.3

OBR. 4



OBR. 5