



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

201281
(11) (B1)

(51) Int. Cl.³
H 03 F 1/30

(22) Přihlášeno 29 06 78
(21) (PV 4311-78)

(40) Zveřejněno 29 02 80

(45) Vydáno 15 04 82

(75)
Autor vynálezu DOSTÁL JIŘÍ ing., PRAHA

(54) Měřicí zesilovač

Vynález se týká zapojení měřicího zesilovače vhodného k zesilování malých rozdílových napětí a k potlačení superponovaného souhlasného napětí.

Přesné zesílení výstupního napětí snímače určité fyzikální veličiny představuje primární operaci v každém měřicím, regulačním nebo řídicím systému. K tomuto účelu se používá měřicího zesilovače, který zesiluje s dostatečnou přesností pouze rozdílové napětí čidla a potlačuje superponovanou souhlasnou složkou.

V jednom známém provedení sestává měřicí zesilovač z operačního zesilovače zapojeného do přesného čtyřodporového můstku. Jeho hlavními nedostatky jsou malý vstupní odpor a vysoká cena potřebného přesného operačního zesilovače.

V provedení měřicího zesilovače podle vynálezu jsou tyto nedostatky známého zapojení odstraněny předřazením nízkodriftového zesilovacího stupně, který zvětšuje vstupní odpor a umožňuje náhradu přístrojového operačního zesilovače levnějším typem.

Předmětem zapojení podle vynálezu je měřicí zesilovač, který má první a druhou vstupní svorku, první a druhou výstupní svorku a první a druhou napájecí svorku, a který je sestaven z prvního a druhého zesilovacího prvku, z prvního a druhého kolektorového

odporu, z prvního a druhého proudového zdroje, z operačního zesilovače a z prvního, druhého a třetího zpětnovazebního odporu tak, že první, respektive druhá vstupní svorka je spojena s řídicí elektrodou prvního, respektive druhého zesilovacího prvku, první výstupní svorka je spojena s výstupem tohoto operačního zesilovače a s prvním vývodem prvního zpětnovazebního odporu, druhá výstupní svorka je spojena s prvním vývodem druhého zpětnovazebního odporu, první napájecí svorka je spojena s prvním napájecím vývodem operačního zesilovače, druhá napájecí svorka je spojena s jeho druhým napájecím vývodem a s prvními vývody obou proudových zdrojů, emitorová elektroda prvního zesilovacího prvku je spojena s druhým vývodem prvního zpětnovazebního odporu, s prvním vývodem třetího zpětnovazebního odporu a s druhým vývodem prvního proudového zdroje, emitorová elektroda druhého zesilovacího prvku je spojena s druhým vývodem druhého zpětnovazebního odporu, s druhým vývodem třetího zpětnovazebního odporu a s druhým vývodem druhého proudového zdroje, kolektorová elektroda prvního zesilovacího prvku je spojena s prvním vývodem prvního kolektorového odporu a se záporným vstupem operačního zesilovače, kolektorová elektroda druhého zesilovacího prvku je spo-

jena s prvním vývodem druhého kolektorového odporu a s kladným vstupem operačního zesilovače, charakterizovaný tím, že oba proudové zdroje jsou opatřeny řídicími vývody, které jsou spojeny s výstupem regulačního obvodu, jehož vstup je spojen s druhými vývody obou kolektorových odporů a jehož první, respektive druhý napájecí vývod je spojen s první, respektive s druhou napájecí svorkou tohoto měřicího zesilovače.

Dosahované účinky měřicího zesilovače podle vynálezu jsou velká přesnost při zesilování malých napětí průmyslových čidel, krátká doba ustálení výstupního napětí ve srovnání se známými konstrukcemi a velká šířka přenosového pásma.

Příklad zapojení měřicího zesilovače podle vynálezu je znázorněn na obr. 1. Na obr. 2 jsou znázorněny varianty použitelných zesilovacích prvků. Obr. 3 ukazuje příklad zapojení regulačního obvodu. Obr. 4 ukazuje příklad zapojení řízených proudových zdrojů. Obr. 5 ukazuje příklad praktického zapojení měřicího zesilovače podle vynálezu.

Na obr. 1 je první vstupní svorka 10 měřicího zesilovače spojena s řídicí elektrodou 11 prvního zesilovacího prvku 1 a druhá vstupní svorka 20 je spojena s řídicí elektrodou 21 druhého zesilovacího prvku 2. První výstupní svorka 30 měřicího zesilovače je spojena s výstupem 85 operačního zesilovače 8 a s prvním vývodem prvního zpětnovazebního odporu 101, druhá výstupní svorka 40 je spojena s prvním vývodem druhého zpětnovazebního odporu 102. První napájecí svorka 50 měřicího zesilovače je spojena s prvními napájecími vývody 71, 81 regulačního obvodu 7 a operačního zesilovače 8, druhá napájecí svorka 60 je spojena s jejich druhými napájecími vývody 72, 82 a s prvními vývody 52, 62 prvního a druhého řízeného proudového zdroje 5, 6. Emitorová elektroda 12 prvního zesilovacího prvku 1 je spojena s druhým vývodem prvního zpětnovazebního odporu 101, s prvním vývodem třetího zpětnovazebního odporu 103 a s druhým vývodem 53 prvního řízeného proudového zdroje 5. Emitorová elektroda 22 druhého zesilovacího prvku 2 je spojena s druhým vývodem druhého zpětnovazebního odporu 102, s druhým vývodem třetího zpětnovazebního odporu 103 a s druhým vývodem 63 druhého řízeného proudového zdroje 6. Kolektorová elektroda 13 prvního zesilovacího prvku 1 je spojena s prvním vývodem prvního kolektorového odporu 3 a se záporným vstupem 83 operačního zesilovače 8. Kolektorová elektroda 23 druhého zesilovacího prvku 2 je spojena s prvním vývodem druhého kolektorového odporu 4 a s kladným vstupem 84 operačního zesilovače 8. Druhé vývody prvního a druhého kolektorového odporu 3, 4 jsou připojeny ke vstupu 73 regulačního obvodu 7, jehož výstup 74 je spojen s řídicími vývody 51, 61 řízených proudových zdrojů 5, 6. Na obr. je dále znázorněno uzemnění druhé výstupní svorky 40.

Na obr. 2a je první nebo druhý zesilovací

prvek 1, 2 vytvořen bipolárním tranzistorem 111 typu npn tak, že báze tohoto tranzistoru 111 je připojena k řídicí elektrodě 11, 21, jeho emitor je připojen k emitorové elektrodě 12, 22 a jeho kolektor je připojen ke kolektorové elektrodě 13, 23 tohoto zesilovacího prvku 1, 2.

Na obr. 2b je první nebo druhý zesilovací prvek 1, 2 vytvořen tranzistorem řízeným polem 112 s kanálem typu n tak, že hradlo tohoto tranzistoru 112 je připojeno k řídicí elektrodě 11, 21, jeho emitor je připojen k emitorové elektrodě 12, 22 a jeho kolektor je připojen ke kolektorové elektrodě 13, 23 tohoto zesilovacího prvku 1, 2.

Zapojení zesilovacího prvku 1, 2 podle obr. 2c vychází z předchozího zapojení podle obr. 2b a liší se od něho pouze vložením kompenzačního odporu 113 mezi emitor tranzistoru 112 a emitorovou elektrodu 12, 22.

Zapojení zesilovacího prvku 1, 2 podle obr. 2d vychází z popsaného zapojení podle obr. 2a a liší se od něho pouze pomocným tranzistorem řízeným elektrickým polem 114 s kanálem typu n připojeným tak, že emitor tohoto pomocného tranzistoru 114 je spojen s kolektorem bipolárního tranzistoru 111, kolektor tohoto pomocného tranzistoru 114 je připojen ke kolektorové elektrodě 13, 23 a hradlo tohoto pomocného tranzistoru 114 je připojeno k řídicí elektrodě 11, 21 tohoto zesilovacího prvku 1, 2.

Zapojení zesilovacího prvku 1, 2 podle obr. 2e vychází z popsaného zapojení podle obr. 2d a liší se od něho pouze tím, že hradlo pomocného tranzistoru 114 je odpojeno od řídicí elektrody 11, 21 a je připojeno k emitorové elektrodě 12, 22 tohoto zesilovacího prvku 1, 2.

Zapojení zesilovacího prvku 1, 2 podle obr. 2f vychází z popsaného zapojení podle obr. 2e a liší se od něho pouze záměnou bipolárního tranzistoru 111 za tranzistor řízený elektrickým polem 112, jehož hradlo a emitor jsou připojeny stejně jako v popsaném zapojení podle obr. 2b, a jehož kolektor je spojen s emitorem pomocného tranzistoru 114.

Na obr. 3 je regulační obvod 7 vytvořen tak, že jeho vstup 73 je připojen k emitoru regulačního tranzistoru 115 typu pnp a k prvnímu vývodu regulačního odporu 117 a jeho výstup 74 je připojen ke kolektoru tohoto tranzistoru 115 a k prvnímu vývodu pracovního odporu 119. Báze tohoto regulačního tranzistoru 115 je připojena ke spojené bázi a kolektoru referenčního tranzistoru 116 typu pnp a k prvnímu vývodu napájecího odporu 120, přičemž emitor tohoto referenčního tranzistoru 116 je připojen k prvnímu vývodu referenčního odporu 118. Druhé vývody regulačního odporu 117 a referenčního odporu 118 jsou připojeny k prvnímu napájecímu vývodu 71, druhé vývody pracovního odporu 119 a napájecího odporu 120 jsou připojeny k druhému napájecímu vývodu 72 tohoto regulačního obvodu 7.

Na obr. 4 je první nebo druhý řízený prou-

dový zdroj 5, 6 vytvořen pomocí tranzistoru 121 typu npn a odporu 122, které jsou zapojeny tak, že první vývod 52, 62 tohoto řízeného proudového zdroje 5, 6 je připojen k prvnímu vývodu tohoto odporu 122, jehož druhý vývod je spojen s emitorem tohoto tranzistoru 121, druhý vývod 53, 63 tohoto zdroje 5, 6 je připojen ke kolektoru tohoto tranzistoru 121 a řídicí vývod 51, 61 tohoto zdroje 5, 6 je připojen k bázi tohoto tranzistoru 121.

Na obr. 5 je znázorněn měřicí zesilovač podle obr. 1 se zesilovacími prvky 1, 2 podle varianty na obr. 2e, s regulačním obvodem 7 podle obr. 3 a s řízenými proudovými zdroji 5, 6 podle obr. 4.

Činnost měřicího zesilovače podle vynálezu v příkladném zapojení podle obr. 1 je řízena dvěma zpětnovazebními smyčkami, jak je vysvětleno dále.

První zpětnovazební smyčka je pomocná a uzavírá se přes zesilovací prvky 1, 2, kolektorové odpory 3, 4, regulační obvod 7 a řízené proudové zdroje 5, 6. Tato první smyčka stabilizuje pracovní kolektorové proudy zesilovacích prvků 1, 2 proti změnám souhlasného vstupního napětí.

Druhá zpětnovazební smyčka je hlavní a uzavírá se přes operační zesilovač 8, první, druhý a třetí zpětnovazební odpor 101, 102, 103 a zesilovací prvky 1, 2. Tato druhá smyčka stabilizuje přenosové vlastnosti měřicího zesilovače při zesilování rozdílového vstupního napětí.

Obě zpětnovazební smyčky se ve své činnosti vzájemně ovlivňují. Z principu superpozice signálů je však možné vysvětlit jejich činnost odděleně.

Nechť tedy působí jen souhlasné vstupní napětí $u_{cm} = u_1 = u_2$ při nulovém rozdílovém vstupním napětí $u_d = u_1 - u_2 = 0$ mezi oběma vstupy 10, 20 měřicího zesilovače na obr. 1. Při stejných napětích $U_{BE1} = U_{BE2}$ mezi řídicími 11, 21 a emitorovými 12, 22 elektrodami zesilovacích prvků 1, 2 je třetí zpětnovazební odpor 103 bez napětí a neprotéká jím proud. Kolektorový proud I_{C1} , respektive I_{C2} zesilovacího prvku 1, respektive 2 je dán velikostí proudu prvního 5, respektive druhého 6 řízeného proudového zdroje a velikostí proudu odváděného přes první 101, respektive druhý 102 zpětnovazební odpor. V souměrném provedení, které je charakterizováno úplnou shodou párových součástí 1 a 2, 3 a 4, 5 a 6, 101 a 102, nastane rovnováha tehdy, když jsou obě výstupní napětí shodná, $u_3 = u_4$, tj. když je výstupní rozdílové napětí $u_3 - u_4$ nulové. To jinak znamená, že měřicí zesilovač podle vynálezu potlačuje souhlasnou složku vstupního napětí.

Oba kolektorové proudy I_{C1} , I_{C2} protékají vstupem 73 regulačního obvodu 7. Způsobem, který bude popsán dále, ovládá regulační obvod 7 svým výstupem 74 oba řízené proudové zdroje 5, 6 tak, že součtový kolektorový proud $I_{C1} + I_{C2}$ obou zesilovacích prvků 1, 2 zůstává přibližně na konstantní úrovni, bez

ohledu na měnící se proudy odváděné přes první 101 a druhý 102 zpětnovazební odpor při měnícím se souhlasném vstupním napětí. To jinak znamená, že pomocná zpětnovazební smyčka uzavřená přes regulační obvod 7 stabilizuje pracovní kolektorové proudy zesilovacích prvků 1, 2 proti účinku souhlasného vstupního napětí u_{cm} .

Nechť nyní působí také rozdílové vstupní napětí $u_d = u_1 - u_2$. Působením regulačního obvodu 7, jehož činnost byla právě popsána, jsou kolektorové proudy I_{C1} , I_{C2} vstupních zesilovacích prvků 1, 2 stabilizovány na neměnné úrovni. Z toho důvodu jsou neměnná také napětí U_{BE1} a U_{BE2} mezi řídicími a emitorovými elektrodami zesilovacích prvků 1 a 2. Rozdílové vstupní napětí u_d se vkládá beze změny na třetí zpětnovazební odpor 103 o velikosti R_{103} a vyvolává příčný proud $(u_1 - u_2)/R_{103}$ protékající mezi oběma větvemi rozdílového zesilovacího stupně tvořeného prvky 1 a 2. Proudová rovnováha obvodových uzlů 12 a 22 se obnoví samočinně, činností hlavní zpětnovazební smyčky uzavřené přes operační zesilovač 8. Výstupní napětí u_3 se ustaví na takové úrovni vzhledem k referenčnímu výstupnímu napětí u_4 , že je příčný proud $(u_1 - u_2)/R_{103}$ kompenzován stejně velkými proudy protékajícími přes první 101 a druhý 102 zpětnovazební odpor o velikosti R_{101} a R_{102} :

$$u_3 - u_4 = (u_1 - u_2) + (R_{101} + R_{102}) \cdot \frac{u_1 - u_2}{R_{103}}$$

Z poslední rovnice je zřejmé, že měřicí zesilovač podle vynálezu zesiluje rozdílové vstupní napětí $u_d = u_1 - u_2$ faktorem

$$G = \frac{R_{101} + R_{102}}{R_{103}} + 1,$$

jehož velikost je určena pouze vzájemnými velikostmi všech tří zpětnovazebních odporů 101, 102, 103 a nezávisí na vlastnostech použitých aktivních součástek.

Výstupní napětí u_3 první výstupní svorky 30 je vztaženo k napětí u_4 druhé výstupní svorky 40. Jestliže se tato druhá výstupní svorka 40 uzemní, jak je znázorněno na obr. 1, je výstupní napětí měřicího zesilovače vztaženo k zemi.

Detailní činnost regulačního obvodu 7 v příkladném provedení znázorněném na obr. 3 je následující. Průtokem proudu mezi oběma napájecími vývody 71, 72 přes referenční odpor 118, referenční tranzistor 116 a napájecí odpor 120 se vytvoří předpětí na bázi regulačního tranzistoru 115. Přes regulační odpor 117 začne protékat proud, jehož hlavní složka je tvořena součtovým kolektorovým proudem $I_{C1} + I_{C2}$ zesilovacích prvků 1, 2 a jehož menší složka je tvořena kolektorovým proudem I_{C115} regulačního tranzistoru 115, potřebným pro ovládání obou řízených proudových zdrojů 5, 6. Je-li velikost pracovního odporu 119 velká, je kolektorový proud I_{C115} regulačního tranzistoru 115 zanedbatelný. Pevným předpětím báze regulačního tranzis-

toru 115 jsou tedy kolektorové proudy I_{C1} , I_{C2} zesilovacích prvků 1, 2 stabilizovány na konstantní velikosti nezávislé na souhlasném ani na rozdílovém vstupním vybuzení měřicího zesilovače. Tato skutečnost se projeví zlepšením vstupních i přenosových vlastností měřicího zesilovače, které rozhodují o přesnosti zesilování signálového napětí připojeného čidla.

Z popisu zapojení měřicího zesilovače podle vynálezu a z popisu činnosti jeho příkladného provedení podle obr. 1 je zřejmé, že jeho přednosti zůstanou zachovány i při jiném

konkrétním provedení regulačního obvodu 7, než je znázorněno na obr. 3. Toto jiné konkrétní provedení může spočívat například v náhradě referenčního odporu 118 a referenčního tranzistoru 116 referenční Zenerovou diodou zapojenou mezi první napájecí svorku 71 a bázi regulačního tranzistoru 115.

Ze všeho dosud uvedeného je konečně zřejmé, že měřicí zesilovač podle vynálezu je zejména vhodný jako centrální měřicí zesilovač při sběru analogových dat z nízkourovňových snímačů fyzikálních veličin řízeného technologického procesu.

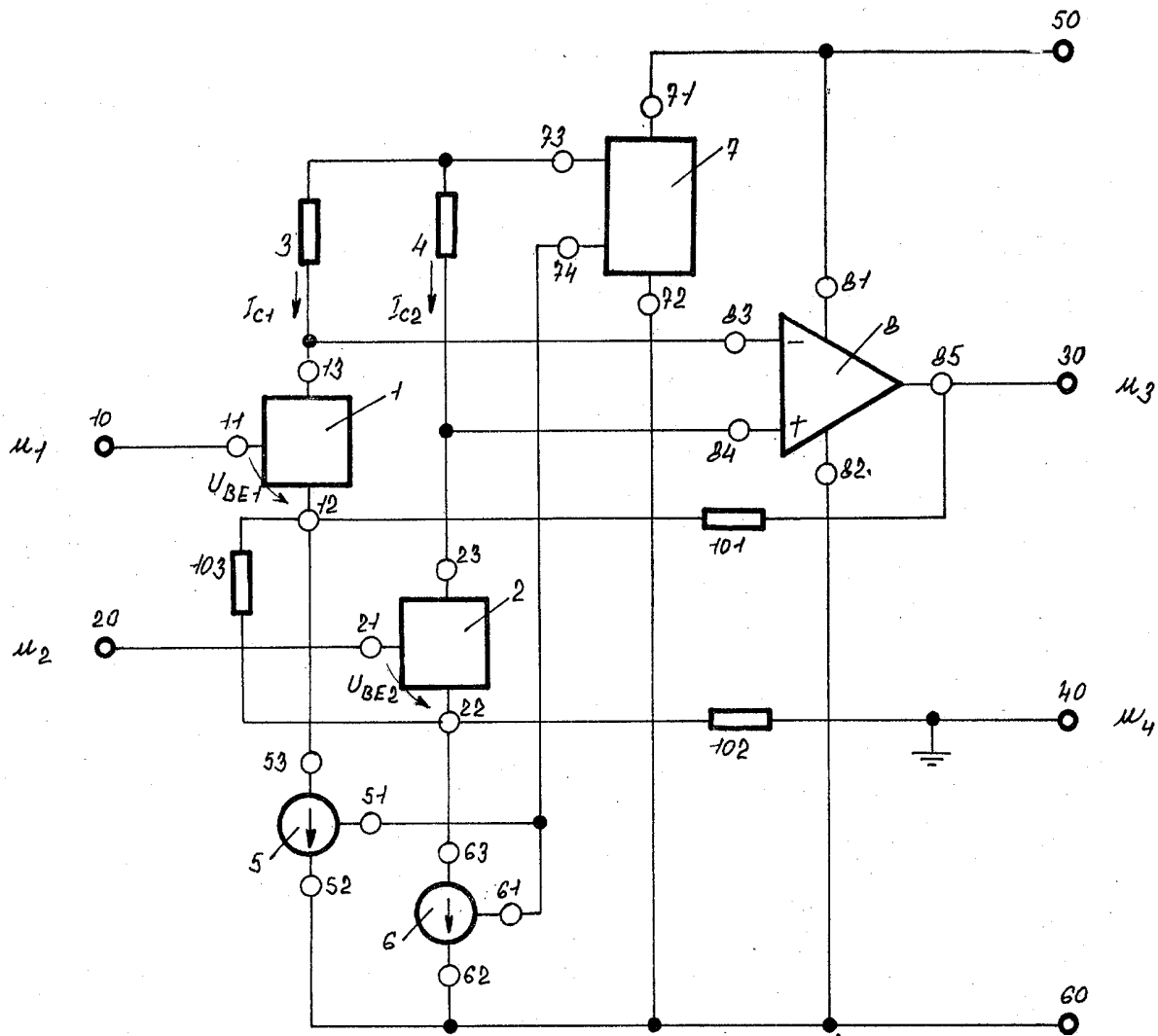
PŘEDMĚT VYNÁLEZU

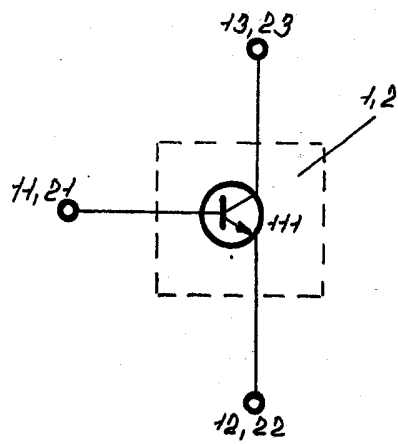
1. Měřicí zesilovač, který má první a druhou vstupní svorku, první a druhou výstupní svorku a první a druhou napájecí svorku, a který je sestaven z prvního a druhého zesilovacího prvku, z prvního a druhého kolektorového odporu, z prvního a druhého proudového zdroje, z operačního zesilovače a z prvního, druhého a třetího zpětnovazebního odporu tak, že první, respektive druhá výstupní svorka je spojena s řídicí elektrodou prvního, respektive druhého zesilovacího prvku, první výstupní svorka je spojena s výstupem tohoto operačního zesilovače a s prvním vývodem prvního zpětnovazebního odporu, druhá výstupní svorka je spojena s prvním vývodem druhého zpětnovazebního odporu, první napájecí svorka je spojena s prvním napájecím vývodem operačního zesilovače, druhá napájecí svorka je spojena s jeho druhým napájecím vývodem a s prvními vývody obou proudových zdrojů, emitorová elektroda prvního zesilovacího prvku je spojena s druhým vývodem prvního zpětnovazebního odporu, s prvním vývodem třetího zpětnovazebního odporu a s druhým vývodem prvního proudového zdroje, emitorová elektroda druhého zesilovacího prvku je spojena s druhým vývodem druhého zpětnovazebního odporu, s druhým vývodem třetího zpětnovazebního odporu a s druhým vývodem druhého proudového zdroje, kolektorová elektroda prvního zesilovacího prvku je spojena s prvním vývodem prvního kolektorového odporu a se záporným vstupem operačního zesilovače, kolektorová elektroda druhého zesilovacího prvku je spojena s prvním vývodem druhého kolektorového odporu a s kladným vstupem operačního zesilovače, vyznačený tím, že oba proudové zdroje (5, 6) jsou opatřeny

řídícími vývody (51, 61), které jsou spojeny s výstupem (74) regulačního obvodu (7), jehož vstup (73) je spojen s druhými vývody obou kolektorových odporů (3, 4) a jehož první (71), respektive druhý (72) napájecí vývod je spojen s první (50), respektive s druhou (60) napájecí svorkou tohoto měřicího zesilovače.

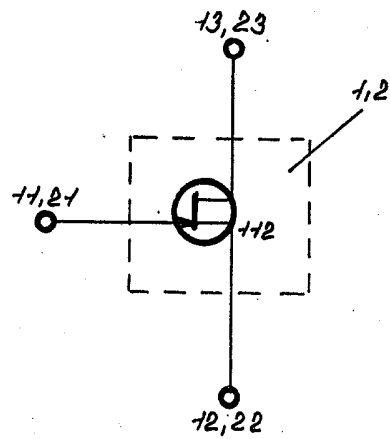
2. Měřicí zesilovač podle bodu 1, vyznačený tím, že regulační obvod (7) je vytvořen tak, že jeho vstup (73) je připojen k emitoru regulačního tranzistoru (115) a k prvnímu vývodu regulačního odporu (117), jeho výstup (74) je připojen ke kolektoru tohoto tranzistoru (115) a k prvnímu vývodu pracovního odporu (119), báze regulačního tranzistoru (115) je připojena ke spojené bázi a kolektoru referenčního tranzistoru (116) a k prvnímu vývodu napájecího odporu (120), emitor referenčního tranzistoru (116) je připojen k prvnímu vývodu referenčního odporu (118), druhé vývody regulačního odporu (117) a referenčního odporu (118) jsou připojeny k prvnímu napájecímu vývodu (71) a druhé vývody pracovního odporu (119) a napájecího odporu (120) jsou připojeny k druhému napájecímu vývodu (72) tohoto regulačního obvodu (7).

3. Měřicí zesilovač podle bodu 1, vyznačený tím, že první nebo druhý řízený proudový zdroj (5, 6) je vytvořen pomocí tranzistoru (121) a odporu (122) tak, že první vývod (52, 62) tohoto řízeného proudového zdroje (5, 6) je připojen k prvnímu vývodu tohoto odporu (122), jehož druhý vývod je spojen s emitemorem tohoto tranzistoru (121), druhý vývod (53, 63) tohoto zdroje (5, 6) je připojen ke kolektoru tohoto tranzistoru (121) a řídicí vývod (51, 61) tohoto zdroje (5, 6) je připojen k bázi tohoto tranzistoru (121).

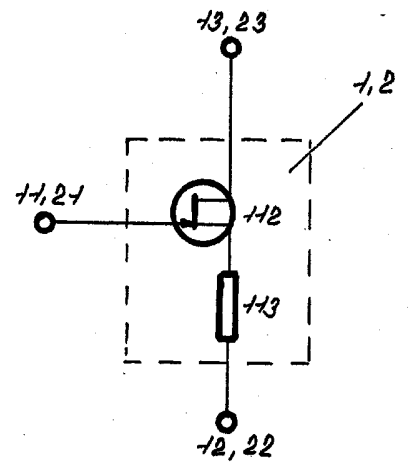




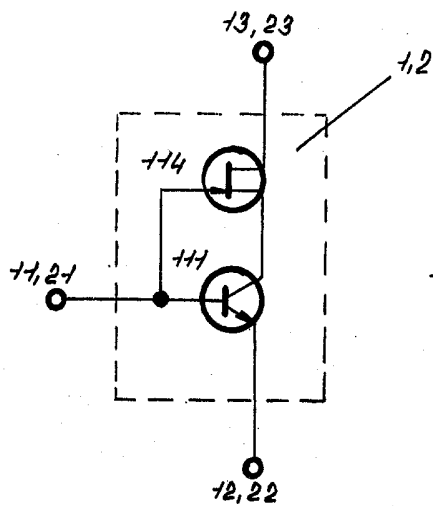
a)



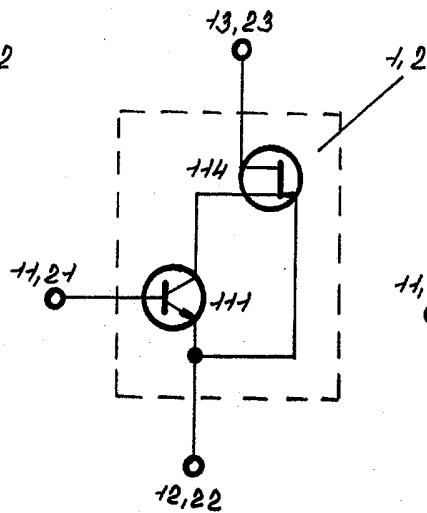
b)



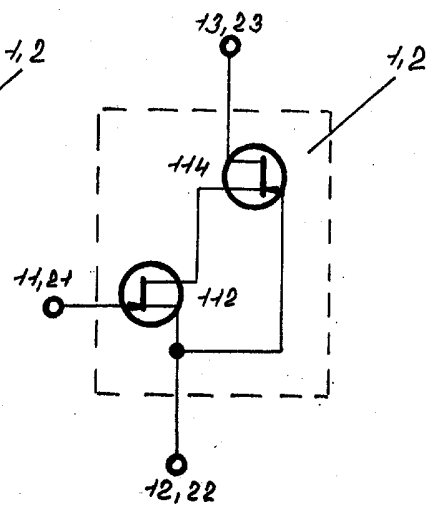
c)



d)



e)



f)

