



Agentúra  
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR  
pre štrukturálne fondy EÚ



# MECHANIK ELEKTROTECHNIK

## 2. ročník



**Názov projektu**  
Informačné technológie  
Efektívny nástroj  
v Odbornom výcviku

**ITMS kód projektu:**  
26110130129

**Operačný program vzdelávanie**  
Moderné vzdelávanie pre vedomostnú  
spoločnosť / Projekt je spolufinancovaný  
zo zdrojov EÚ.  
Dopytovo orientovaný projekt

**SPOJENÁ ŠKOLA**

Cervenej armády 25, Martin



**Ministerstvo školstva, vedy, výskumu a športu  
Slovenskej republiky**

**Agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR  
pre štrukturálne fondy EÚ**



Prioritná os:	1. Reforma systému vzdelávania a odbornej prípravy
Opatrenie:	1.1 Premena tradičnej školy na modernú
Prijímateľ:	Spojená škola
Názov projektu:	Informačné technológie – efektívny nástroj v odbornom výcviku
Kód ITMS projektu:	26110130129
Aktivita, resp. názov seminára	5.1.1. Tvorca učebného materiálu 1 <b>Mechanik elektrotechnik pre 2. ročník</b>

## **Obsah :**

### **Montáž elektronických obvodov**

- Výroba dosiek plošných spojov
- Práca s katalógovou dokumentáciou
- Napájacie zdroje
- Tranzistorové zosilňovače
- Zosilňovače s IO

## Výroba dosiek plošných spojov

Doska plošného spoja sa používa predovšetkým v elektronických zariadeniach. Zabezpečuje vodivé prepojenie všetkých potrebných súčiastok a vodičov. Zároveň mechanicky upevňuje uložené súčiastky stabilne na svojich miestach. Tým sa zvyšuje spoľahlivosť a stabilita celého elektronického celku.

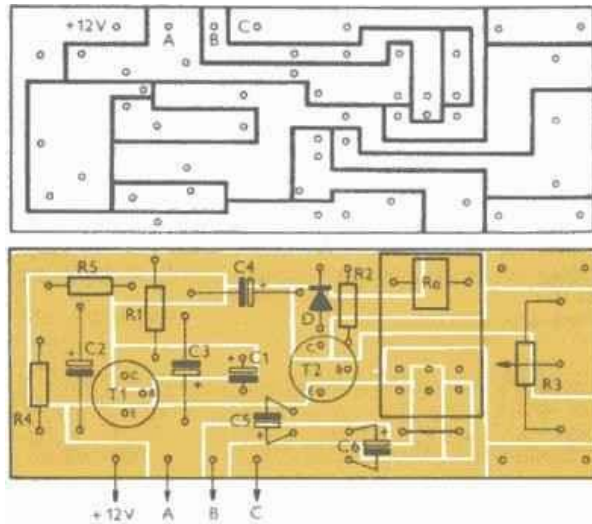


Doska plošného spoja

Plošný spoj je možné vyrobiť viacerými spôsobmi. Každý spôsob je odlišný a vhodný len pre konkrétne použitie. O výbere vhodného spôsobu rozhoduje predovšetkým výrobca. Rozhoduje sa podľa počtu vyrobených kusov, presnosti vyhotovenia, dostupnosti technického vybavenia, rýchlosti výroby, materiálových a finančných nákladov a zručnosti výrobcu. Plošný spoj možno vyrobiť nasledujúcimi spôsobmi :

### **1. Rezanie medenej vrstvy - deliace čiary**

Je to veľmi jednoduchý a primitívny spôsob výroby. Vyžaduje sa primeraná manuálna zručnosť výrobcu. Vyznačuje sa značnou nepresnosťou. Tento spôsob je vhodný len pre veľmi jednoduché obvody s malým počtom súčiastok. Výhodou je len to, že jednotlivé vodivé spoje sú pomerne veľké a to umožňuje plošný spoj zaťažiť vyššími prúdmi. Medená vrstva plošného spoja sa vhodným rezným nástrojom rozdeľuje na viac častí, do ktorých sa budú pájkovať jednotlivé súčiastky. Týmto spôsobom sa ťažko dosahujú zložitejšie prepoje, čo sa v konečnom dôsledku prejaví na estetickej stránke hotového zapojenia a nesúmernosti rozloženia jednotlivých súčiastok.

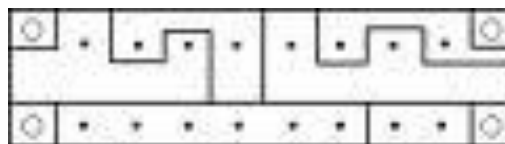


Plošný spoj s deliacimi čiarami

Pri strojovej výrobe je možné dosadnúť lepšie estetické výsledky a využitie je predovšetkým len v zapojeniach s vyšším prúdovým zaťažením a lepším odvodom tepla.

### Postup pri výrobe rezaním deliacich čiar

1. Pred samotnou výrobou je potrebné mať nakreslený návrh obrazca plošného spoja.



Návrh DPS pre deliace čiary

2. Dosku plošného spoja je potrebné narezat' na rozmer návrhu.



Doska plošného spoja

3. Plošný spoj je potrebné očistiť jemným čistiacim práškom a vodou. Po osušení sa odstránia zvyšky čistiaceho prostriedku a mastnoty riedidlom C6000 - acetón.
4. Nakreslený návrh je potrebné spoľahlivo pripevniť na plošný spoj zo strany vodivej medenej fólie, aby nedošlo k posunutiu návrhu voči plošnému spoju.



Prichytenie návrhu o DPS

5. Jamkárom a kladivom sa vytvoria jednotlivé miesta pre vŕtanie dier a letovanie súčiastok. Vytvorené jamky sú dôležité orientačné body pre ďalší postup.
6. Pripevnený návrh obrazca sa odstráni z dosky plošného spoja.
7. Pomocou oceľového pravítka a vhodného, pomerne silného noža sa postupne vyrezávajú deliace čiary. Úzke pásiky prerezanej medenej fólie je potrebné opatrne odstraňovať bez porušenia vedľajších medených plôch.
8. Po vytvorení všetkých deliacich čiar je potrebné meracím prístrojom premerať vzájomný izolačný stav všetkých vodivých plôch.
9. Celý plošný spoj je potrebné chrániť pred oxidáciou nanosením ochranného laku na medené plochy. Lak je vyrobený z kolofónie rozpustenej v riedidle C6000 - acetón. Lak sa nanáša štetcom.
10. Po odparení acetónu sa vytvorí na medených častiach pevná vrstva kolofónie, ktorá okrem ochrany pred oxidáciou vylepšuje spájkovanie súčiastok.
11. V miestach vytvorených jamiek sa vŕtajú diery pre vývody súčiastok, konektorov a prípojné vodiče. Priemer vrtákov pre bežne používané miniatúrne súčiastky je 0,8 - 1,5 mm. Pre uchytenie konektorov a svorkovnic 2mm a viac.

### **Postup pri výrobe leptaním deliacich čiar**

1. Pred samotnou výrobou je potrebné mať nakreslený návrh obrazca plošného spoja.
2. Dosku plošného spoja je potrebné narezať na rozmer návrhu.
3. Plošný spoj je potrebné očistiť jemným čistiacim práškom a vodou. Po osušení sa odstránia zvyšky čistiaceho prostriedku a mastnoty riedidlom C6000 - acetón.

4. Nakreslený návrh je potrebné spoľahlivo pripevniť na plošný spoj zo strany vodivej medenej fólie, aby nedošlo k posunutiu návrhu voči plošnému spoju.
5. Jamkárom a kladivom sa vytvoria jednotlivé miesta pre vŕtanie dier a letovanie súčiastok. Vytvorené jamky sú dôležité orientačné body pre ďalší postup.
6. Pripevnený návrh obrazca sa odstráni z dosky plošného spoja.
7. Celá medená strana plošného spoja sa prelepí priesvitnou lepiacou páskou.
8. Nožom vhodného tvaru sa prerezávajú úzke pásiky lepiacej pásky na miestach budúcich deliacich čiar. Narezané úzke pásiky je potrebné odstrániť, aby medená vrstva ostala odkrytá.
9. Po vyrezaní a odkrytí všetkých deliacich sa doska plošného spoja vloží do leptacieho roztoku. Na leptanie je možné použiť chlorid železitý. Pri leptaní v chloride železitom sa plošný spoj položí na hladinu tak, aby plával. Medená strana je na spodnej strane v kontakte s chloridom železitým.



Leptanie DPS v chloride železitom

10. Na leptanie je možné použiť aj zmes kyseliny chlorovodíkovej a peroxidu vodíka. V tomto roztoku sa plošný spoj umiestni na dno leptacej nádoby. Medená strana je na vrchnej strane v kontakte s leptacím roztokom.



Peroxid vodíka a kyselina chlorovodíková

11. Po odleptaní všetkých deliacich čiar sa plošný spoj opláchne vodou a ochranná lepiaca páska sa odstráni.
12. Po osušení sa plošný spoj očistí a zbaví mastnoty riedidlom C6000 - acetón.
13. Všetky deliace čiary je potrebné meracím prístrojom vzájomne premerať a preskúšať izolačný stav všetkých vodivých plôch.
14. Celý plošný spoj je potrebné chrániť pred oxidáciou nanosením ochranného laku na medené plochy. Lak je vyrobený z kolofónie rozpustenej v riedidle C6000 - acetón. Lak sa nanáša štetcom.
15. Po odparení acetónu sa vytvorí na medených častiach pevná vrstva kolofónie, ktorá okrem ochrany pred oxidáciou vylepšuje spájkovanie súčiastok.
16. V miestach vytvorených jamiek sa vrtajú diery pre vývody súčiastok, konektorov a prípojné vodiče. Priemer vrtákov pre bežne používané miniatúrne súčiastky je 0,8 - 1,5 mm. Pre uchytenie konektorov a svorkovnic 2mm a viac.

## **2. Ručné kreslenie**

Ručné kreslenie plošných spojov sa využíva väčšinou v kusovej amatérskej výrobe. Hlavným nástrojom je vhodné kresliace pierko. Náplň pre kreslenie je kresliaca kvapalina určená pre kreslenie plošných spojov, alebo acetónová farba vhodnej hustoty. Hrúbku čiary určuje veľkosť kresliaceho pera. Týmto spôsobom je možné vytvárať zložitejšie obrázky plošného spoja. Zložitosť a kreslenie prepojovacích čiar je predovšetkým závislá na zručnosti človeka, ktorý prekresľuje návrh na plošný spoj.





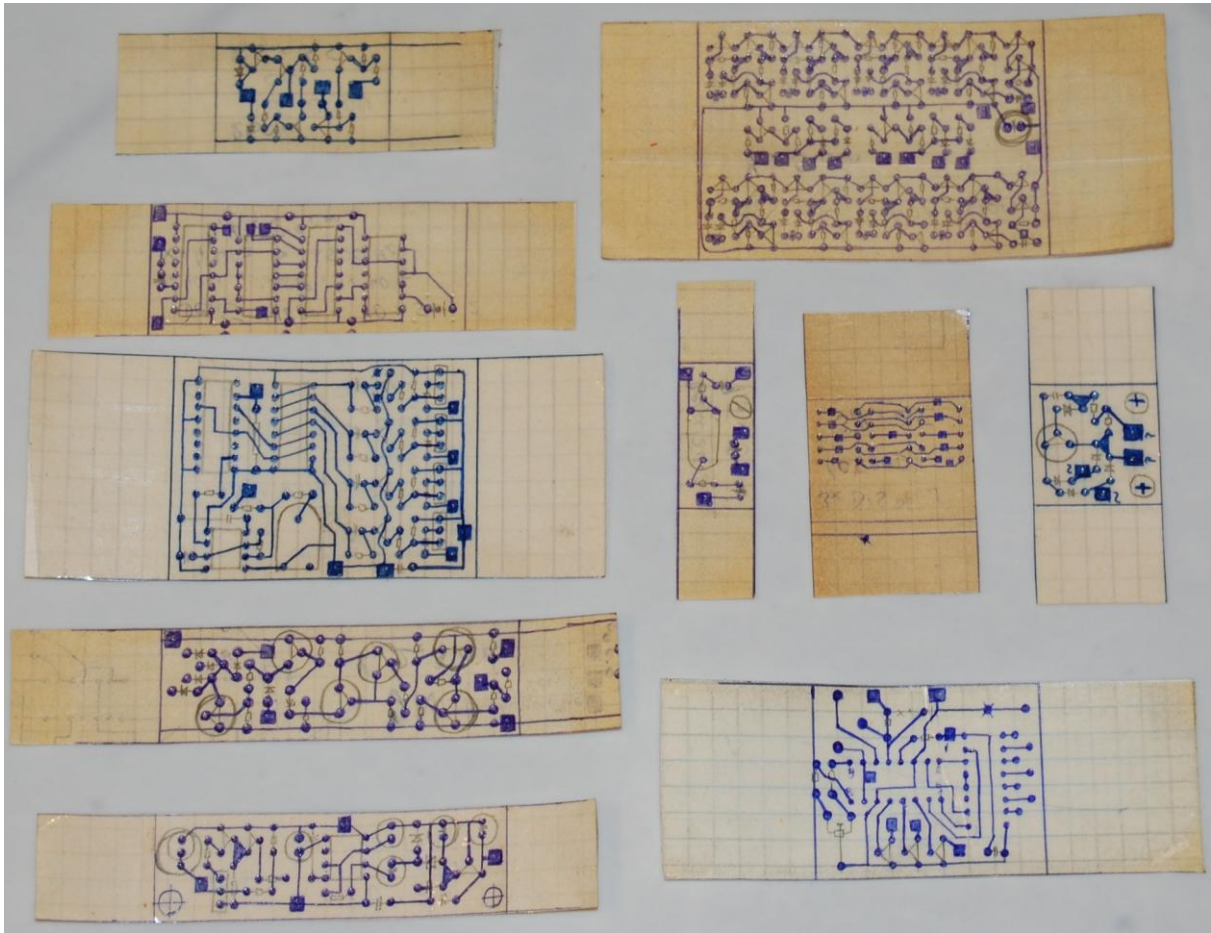
**Súprava na výrobu dosiek plošných spojov ručným kreslením.**  
 Obsahuje všetky potrebné pomôcky : návod, kresliaca kvapalina, čistiaca kvapalina, tri rozmery lievikových pier, násadu na perá, nádobu pre leptanie DPS, obal.

### Postup pri výrobe leptaním a ručnom kreslení

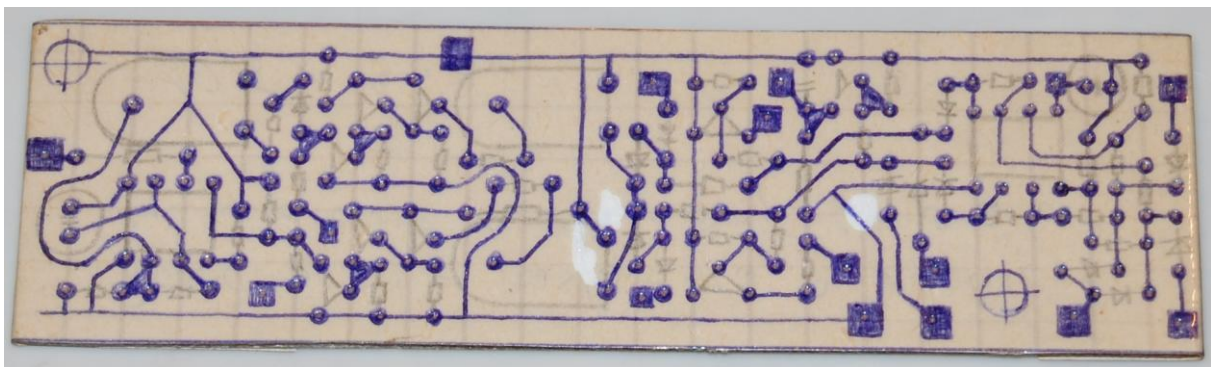
1. Pred výrobou je potrebné mať nakreslený návrh obrazca plošného spoja. Bez pomoci počítača sa kreslí návrh na štvorčekový papier 5x5mm. Štvorčekový raster udržuje súmernosť celého návrhu.
2. Dosku plošného spoja je potrebné narezat' na rozmer návrhu.
3. Plošný spoj je potrebné očistiť jemným čistiacim práškom a vodou. Po osušení sa odstráni zvyšky čistiaceho prostriedku a mastnoty riedidlom C6000 - acetón.
4. Nakreslený návrh je potrebné spoľahlivo pripevniť na plošný spoj zo strany vodivej medenej fólie, aby nedošlo k posunutiu návrhu voči plošnému spoju.



Upevnenie návrhu na nevodivej strane DPS



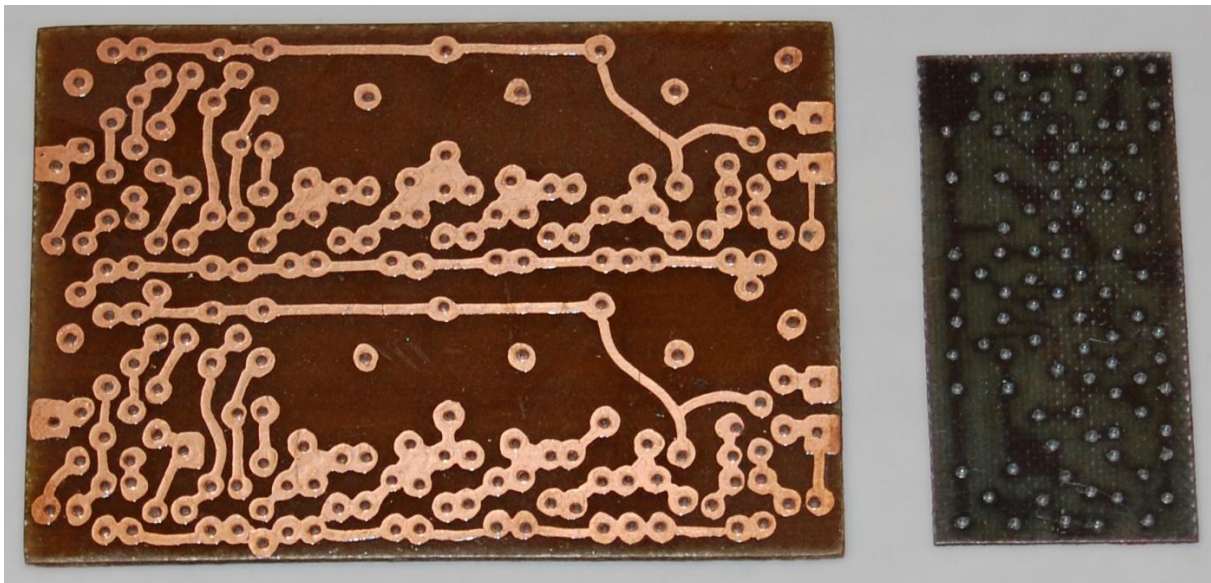
Návrhy DPS pre ručnú výrobu.  
Predĺžené okraje slúžia na spoľahlivé uchytenie o DPS.



Uchytený návrh o dosku plošného spoja

5. Jamkárom a kladivom sa vytvoria jednotlivé miesta pre vŕtanie dier a letovanie súčiastok. Vytvorené jamky sú dôležité orientačné body pre ďalší postup.
6. Pripevnený návrh obrazca sa odstráni z dosky plošného spoja.
7. Lievikovým pierkom s kresliacou kvapalinou sa najprv obkreslia všetky jamky - letovacie body. Následne sa jednotlivé body prepájajú nakreslenými čiarami vhodných veľkostí a tvarov.

8. Po nakreslení celého obrazca a zaschnutí kresliacej kvapaliny sa plošný spoj vloží do leptacieho roztoku.
9. Po odleptaní sa plošný spoj opláchne vodou.
10. Po osušení sa plošný spoj očistí a zbaví kresliacej kvapaliny a mastnoty riedidlom C6000.



Vyleptaná doska plošného spoja

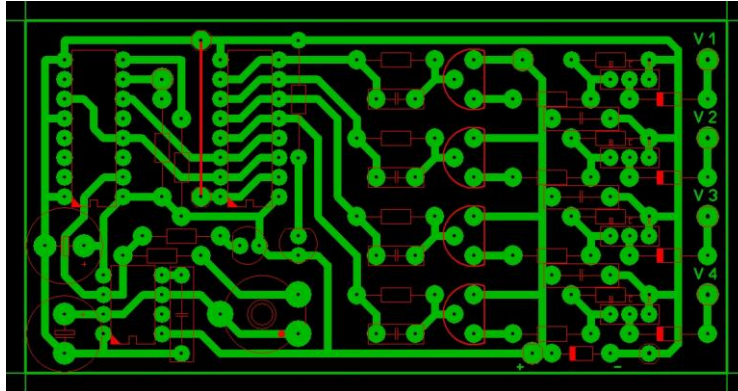
11. Celý plošný spoj je potrebné chrániť pred oxidáciou nanosením ochranného laku na medené plochy. Lak je vyrobený z kolofónie rozpustenej v riedidle C6000 - acetón. Lak sa nanáša štetcom.
12. Po odparení acetónu sa vytvorí na medených častiach pevná vrstva kolofónie, ktorá okrem ochrany pred oxidáciou vylepšuje spájkovanie súčiastok.
13. V miestach vytvorených jamiek sa vrtajú diery pre vývody súčiastok, konektorov a prípojné vodiče. Priemer vrtákov pre bežne používané miniatúrne súčiastky je 0,8 - 1,5 mm. Pre uchytenie konektorov a svorkovnic 2mm a viac.

### **3. Výroba laserovou tlačou**

Výroba dosiek plošných spojov pomocou laserovej tlačiarne je veľmi rozšírená v domácej a amatérskej oblasti. Ak zhotoviteľ disponuje potrebným technickým vybavením, je to takmer najrýchlejší spôsob výroby plošných spojov. Taktiež je možné dosiahnuť vysokú presnosť vytvoreného obrazca a vyššiu zložitosť návrhu. Návrh obrazca plošného spoja je potrebné vytvoriť pomocou počítača a vhodného programu.

## Postup pri výrobe laserovou tlačiarňou

1. Pred výrobou je potrebné mať vytvorený návrh obrazca plošného spoja pomocou počítača.



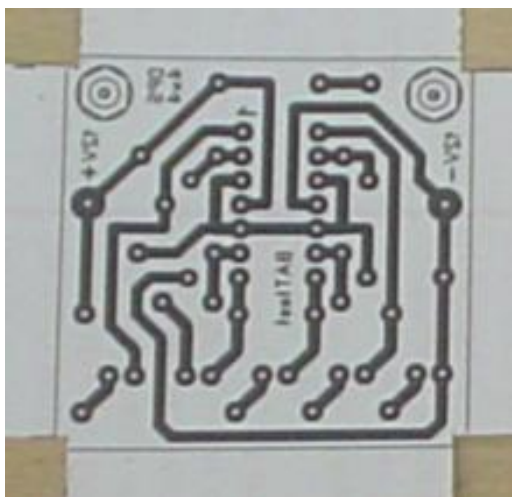
Návrh obrazca DPS

2. Dosku plošného spoja je potrebné narezat' na rozmer návrhu.



Strihanie DPS

3. Plošný spoj je potrebné očistiť jemným čistiacim práškom a vodou. Po osušení sa odstránia zvyšky čistiaceho prostriedku a mastnoty riedidlom C6000 - acetón.
4. Vytvorený návrh obrazca sa laserovou tlačiarňou vytlačí na tzv. mastný papier. Vhodný papier možno získať zo spodnej časti samolepiacich tapiet. Obrazec je potrebné vytlačiť na mastnú stranu zrkadlovo obrátený



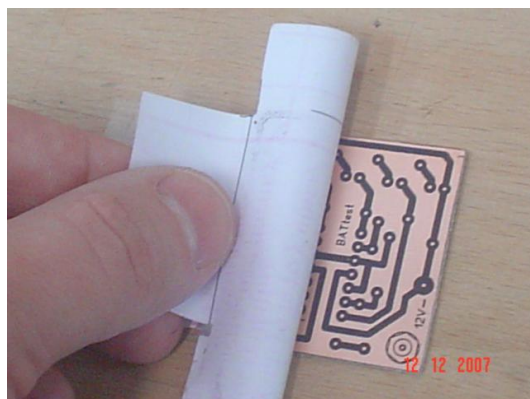
Vytlačený návrh na papieri

5. Vytlačený návrh je potrebné spoľahlivo pripevniť na plošný spoj zo strany vodivej medenej fólie, aby nedošlo k posunutiu návrhu voči plošnému spoju.
6. Nahriatá žehlička sa pritlačí na papier. Papier a plošný spoj sa zohrejú a toner z tlačiarne sa nalisuje na medenú plochu plošného spoja.



Nažehlenie obrazca na DPS

7. Po ochladení sa pripevnený mastný papier opatrne odstráni z dosky plošného spoja.



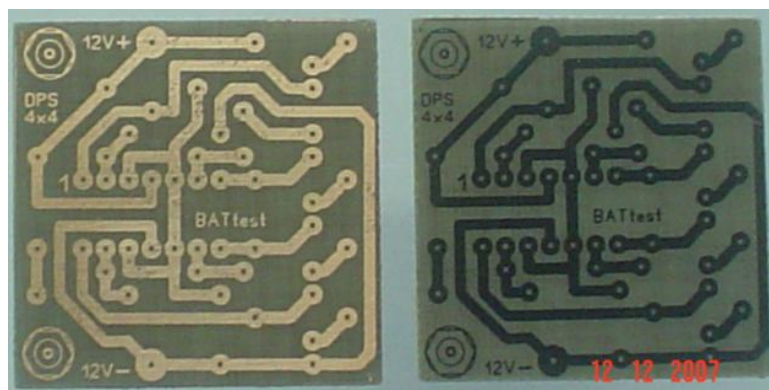
Opatrné odstránenie papiera z DPS

- Plošný spoj sa vloží do leptacieho roztoku.



Leptanie DPS

- Po odleptaní sa plošný spoj opláchne vodou.
- Po osušení sa plošný spoj očistí a zbaví tlačového toneru a masnoty riedidlom C6000.



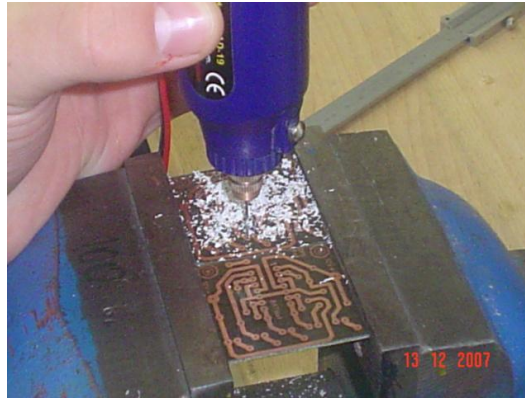
Vyleptané DPS, jeden bez tlačového toneru a druhý s tonerom.

- Celý plošný spoj je potrebné chrániť pred oxidáciou nanosením ochranného laku na medené plochy. Lak je vyrobený z kolofónie rozpustenej v riedidle C6000 - acetón. Lak sa nanáša štetcom.



Lakovanie DPS

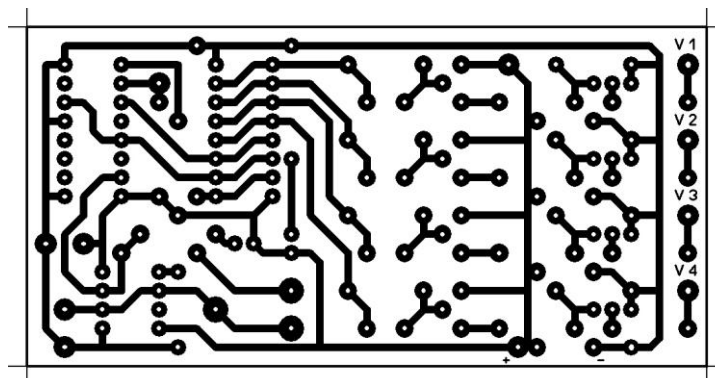
12. Po odparení acetónu sa vytvorí na medených častiach pevná vrstva kolofónie, ktorá okrem ochrany pred oxidáciou vylepšuje spájkovanie súčiastok.
13. V miestach letovacích bodov sa vrtajú diery pre vývody súčiastok, konektorov a prípojné vodiče. Priemer vrtákov pre bežne používané miniatúrne súčiastky je 0,8 - 1,5 mm. Pre uchytenie konektorov a svorkovnic 2mm a viac.



Vrtanie dier do DPS

### 3. Výroba fotocestou

1. Pred výrobou je potrebné mať vytvorený návrh obrazca plošného spoja pomocou počítača.
2. Dosku plošného spoja je potrebné narezať na rozmer návrhu.
3. Plošný spoj je potrebné očistiť jemným čistiacim práškom a vodou. Po osušení sa odstránia zvyšky čistiaceho prostriedku a mastnoty riedidlom C6000 - acetón.
4. Vytvorený návrh obrazca sa laserovou tlačiarňou vytlačí na plastovú priesvitku určenú pre spätné projekory, tzv. meotar. Plastová priesvitka musí byť určená pre použitie do laserových tlačiarní. Iné druhy spôsobia roztavenie priesvitky a zničenie valca v tlačiarni.



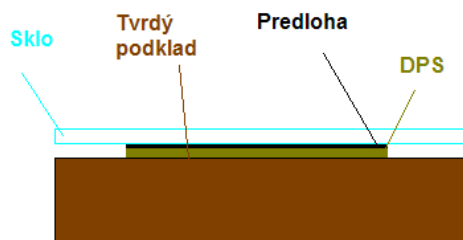
Priehľadný obrazec DPS na priesvitke

5. Pri tejto metóde výroby je potrebné použiť dosku plošného spoja, ktorá obsahuje na medenej strane nanesenú fotocitlivú vrstvu. Fotocitlivú vrstvu je možné vytvoriť aj na obyčajnom plošnom spoji nastriekaním fotocitlivého laku POSITIV 20.



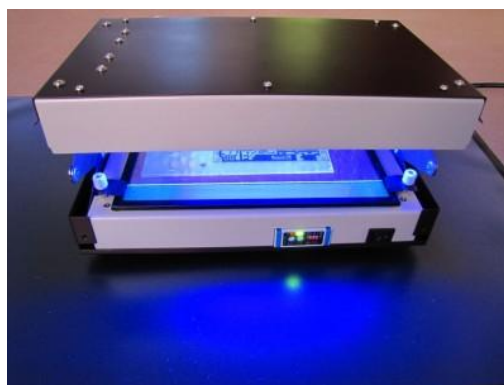
Lak POSITIV 20

6. Vytlačený návrh na priesvitke je potrebné presne pripevniť na plošný spoj zo strany vodivej medenej fólie, aby nedošlo k posunutiu návrhu voči plošnému spoju. Na vrchnú stranu priesvitky je vhodné položiť sklo, ktoré zabezpečí pritlačenie priesvitky k plošnému spoju a znemožní prípadné zvlhnenie a odstávanie priesvitky.



Usporiadanie jednotlivých častí pred osvitom

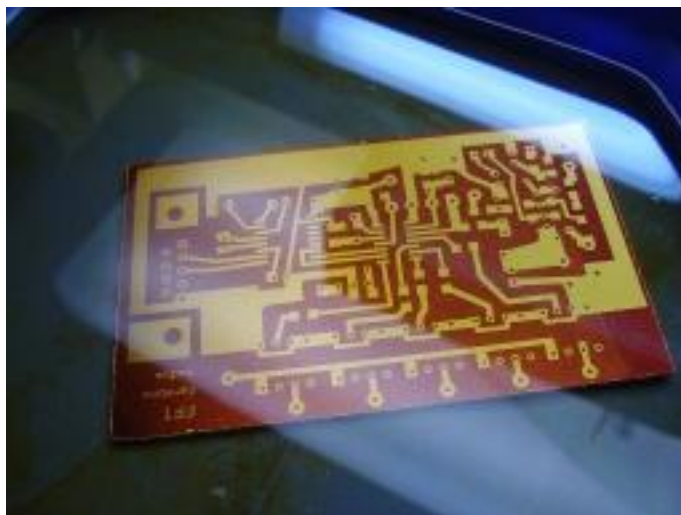
7. Pripravená zostava fotocitlivého plošného spoja a návrhu na priesvitke sa na niekoľko minút ( 3 - 8 min. ) osvieti UV žiarením. Bez predchádzajúcich skúseností je vhodné čas osvetlu vyskúšať viacerými pokusmi s malými kúskami DPS.



Osvietenie DPS

8. Po osvetlení je potrebné fotocitlivú vrstvu na DPS vyvolať. Ako vývojku možno použiť roztok hydroxidu sodného. Osvetlené časti fotocitlivého laku sa po chvíli začnú odplavovať.





Odplavovanie osvetlenej vrstvy

9. Plošný spoj sa vloží do leptacieho roztoku.
10. Po odleptaní sa plošný spoj opláchne vodou.
11. Po osušení sa plošný spoj očistí a zbaví neosvetleného fotocitlivého laku a mastnoty riedidlom C6000.
12. Celý plošný spoj je potrebné chrániť pred oxidáciou nanosením ochranného laku na medené plochy. Lak je vyrobený z kolofónie rozpustenej v riedidle C6000 - acetón. Lak sa nanáša štetcom.
13. Po odparení acetónu sa vytvorí na medených častiach pevná vrstva kolofónie, ktorá okrem ochrany pred oxidáciou vylepšuje spájkovanie súčiastok.



Vyrobená DPS

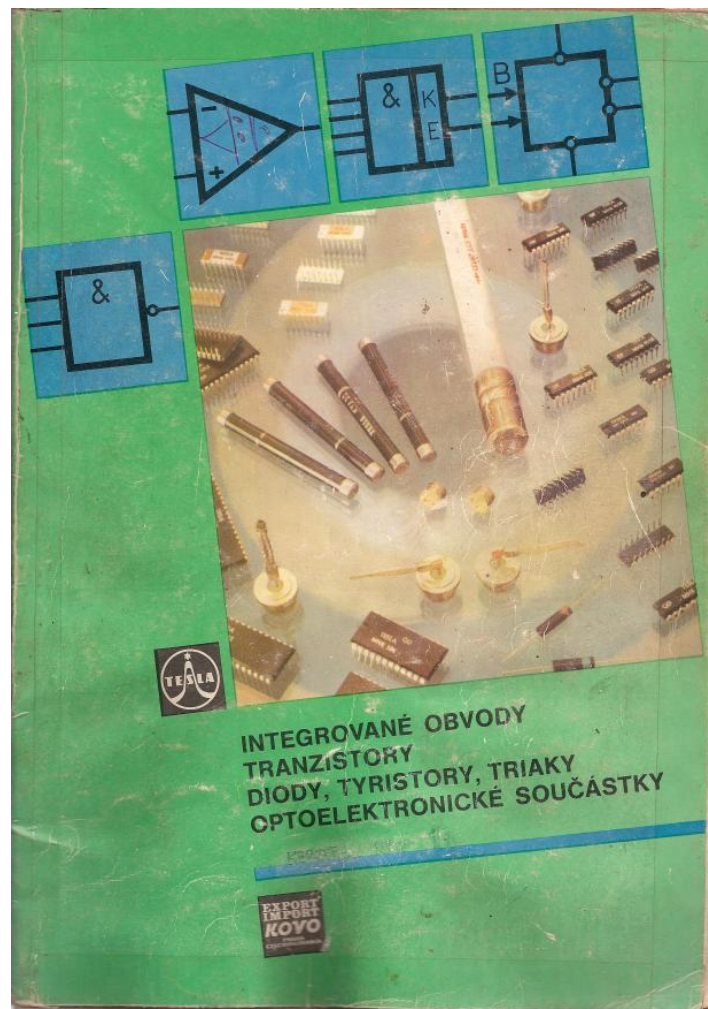
14. V miestach letovacích bodov sa vŕtajú diery pre vývody súčiastok, konektorov a prípojné vodiče. Priemer vrtákov pre bežne používané miniatúrne súčiastky je 0,8 - 1,5 mm. Pre uchytenie konektorov a svorkovnic 2mm a viac.

## PRÁCA S KATALÓGOVOU DOKUMENTÁCIOU

V súčasnosti mnoho svetových firiem vyrába nespočetné množstvo elektronických súčiastok. Tie sa používajú v každom elektronickom zariadení, či už doma, alebo v priemysle. Pri potrebe opráv a servise elektronických zariadení je potrebné o jednotlivých použitých súčiastkách získať technické informácie, príklady použitia a zapojenia. Výrobcovia k jednotlivým ponúkaným súčiastkám vypracúvajú a ponúkajú podrobné katalógové listy so všetkými potrebnými informáciami.

Pri návrhu obvodových schém je potrebné sa správne rozhodnúť a vybrať si z veľkého množstva ponúkaných súčiastok tie správne. Najlepšie informácie je možné získať z katalógových listov.

Následujúce príklady ukazujú orientovanie sa v staršom katalógu TESLA a v moderných katalógových listoch dostupných na internete.



Katalóg elektronických súčiastok TESLA

Pri vyhľadani konkrétnej súčiastky možno z katalógu vyčítať veľké množstvo technických informácií, z ktorých je potrebné si vybrať len tie, ktoré sú pre staviteľa konštrukcie, alebo opravára potrebné. Všetky uvedené parametre sú vyznačené väčšinou veľkými písmenami, prípadne sú doplnené s ďalšími symbolmi. V jednotlivých katalógoch a katalógových listoch môžu byť rovnaké parametre označené rôznymi symbolmi a preto je potrebné si ku katalógu preštudovať vysvetlivky ku značkám a skratkám.

## VÝSVĚTLIVKY POUŽITÝCH ZKRATEK

$B_{max}$	přetížitelnost směšovacích diód	$R_{th}$	tepelný odpor
$C_d$	kapacita diódy	$R_{thja}$	tepelný odpor celkový (přechod — okolí)
$C_i$	vstupní kapacita	$R_{thjc}$	tepelný odpor vnitřní (přechod — pouzdro)
$C_N$	vstupní kapacita nabíjecího kondenzátoru vyhlazovacího filtru	$r_{bb}$	odpor báze
$C_{tot}$	celková kapacita	$r_{CE(ON)}$	odpor kanálu v sepnutém stavu
$E$	osvětlení	$r_{CE(OFF)}$	odpor kanálu v nesepnutém stavu
$F$	šumové číslo	$r_F$	odpor v propustném směru
$f$	kmitočet	$r_R$	odpor v závěrném směru
$f_{Tmin}$	mezní kmitočet, při němž $h_{21e} = 1$	$r_s$	sériový odpor kapacitních a tunelových diód
$f_{\alpha min}$	mezní kmitočet s uzemněnou bází	$r_Z$	dynamický odpor Zenerových diód
$f_{\beta min}$	mezní kmitočet s uzemněným emitorem	$s_z$	tepelní součinitel Zenerova napětí
$f_{imp}$	impulsní kmitočet	$t, t_N$	šumová teplota
$G_p$	výkonový zisk	$t_{gt}$	zapínací doba
$h_{21e}$	proudový zesilovací činitel, hodnota s malým signálem	$t_{imp}, t_{ip}$	doba impulsu
$ h_{21e} $	absolutní hodnota proudového zesilovacího činitele	$t_{off}$	doba vypnutí
$h_{21E}$	proudový zesilovací činitel stejnosměrný	$t_{on}$	doba sepnutí
$I$	provozní proud	$t_q$	vypínací doba ovládaná komutací obvodu
$I_B$	proud báze	$t_{rr}$	doba zotavení v závěrném směru
$I_{BO}$	spínací proud diaku	$t_{ip}/T$	klíčovací poměr
$I_C$	proud kolektoru	$\Delta U$	pokles napětí diaku z hodnoty $U_{BO}$
$I_{CBO}$	klidový proud kolektoru s uzemněnou bází, je-li $I_E = 0$	$U_{aef}$	střídavé napětí efektivní, je-li použito vyhlazovacího filtru se vstupní kapacitou
$I_{CE}$	proud kolektoru	$U_{aef(R)}$	střídavé anodové napětí efektivní, je-li použito vyhlazovacího filtru se vstupním odporem
$I_{CEM}$	proud kolektoru špičkový	$U_{(BO)}$	spínací napětí v propustném směru
$I_D$	blokovací proud stejnosměrný u triaků a tyristorů	$U_{BE}$	napětí báze — emitor
$I_D$	proud za tmy	$U_{BE sat}$	saturační napětí báze — emitor
$I_E$	proud emitoru	$ U_{BO1} - U_{BO2} $	symetrie charakteristiky diaku
$I_F$	propustný proud stejnosměrný	$U_{CB}$	napětí kolektoru proti bázi
$I_{FAV}$	propustný proud, aritmetická střední hodnota popříp. trvalý maximální proud	$U_{CBO}$	napětí kolektoru proti bázi, $I_E = 0$
$I_{FD}$	zbytkový proud v předním směru	$U_{CE}$	napětí kolektoru proti emitoru
$I_{FG}$	proud řídicí elektrody v propustném směru	$U_{CEO}$	napětí kolektoru proti emitoru, $I_B = 0$
$I_{FM}$	propustný proud špičkový	$U_{CEM}$	špičkové napětí kolektoru proti emitoru
$I_{FRM}$	propustný proud opakovatelný	$U_{CE sat}$	saturační napětí kolektor — emitor
$I_{FSM}$	propustný proud neopakovatelný	$U_{CER}$	napětí kolektoru proti emitoru při daném odporu mezi bází a emitorem
$I_{GT}$	proud řídicí elektrody spínací	$U_D$	blokovací napětí stejnosměrné u tyristorů a triaků
$I_H$	přídružný proud vratný	$-U_D$	záchytné napětí
$I_L$	fotoelektrický proud	$U_{DRM}$	blokovací napětí špičkové opakovatelné
$I_L$	přídružný proud spínací (u triaků)	$U_{EB}$	napětí emitoru proti bázi
$I_O$	usměrněný proud	$U_{EBO}$	napětí emitoru proti bázi, $I_C = 0$
$I_P$	proud vrcholu	$U_{ECM}$	špičkové napětí emitoru proti kolektoru
$I_P/I_V$	poměr proudu vrcholu k proudu sedla	$U_F$	napětí na diodě v propustném směru
$I_R$	závěrný proud stejnosměrný	$U_{FD}$	napětí v propustném směru
$I_{RM}$	závěrný proud špičkový	$U_{GCM}$	špičkové napětí řídicí elektrody proti kolektoru
$I_{TAV}$	proud tyristoru střední	$U_{GE}$	napětí řídicí elektrody proti emitoru
$I_{TRM}$	propustný proud špičkový opakovatelný	$U_{GEM}$	špičkové napětí řídicí elektrody proti emitoru
$I_{TSM}$	propustný proud špičkový neopakovatelný	$U_{GET}$	prahové napětí
$I_V$	proud sedla	$\Delta U_{GET}$	rozdíl prahových napětí
$I_Z$	Zenerův proud	$U_{GT}$	zapínací napětí u tyristorů
$K$	zkreslení	$U_L$	fotoelektrické napětí (u fotonek)
$L_o$	směšovací ztráta	$U_P$	napětí vrcholu
$P$	ztrátový výkon	$U_{PP}$	promítnuté napětí vrcholu
$P_C$	ztrátový výkon kolektoru	$U_R$	napětí v závěrném směru
$P_{Cip}$	ztrátový výkon kolektoru, impulsní hodnota	$U_{R(BR)}$	průrazné napětí v závěrném směru
$P_d$	ztrátový výkon diódy	$U_{res}$	rezonanční napětí
$P_M$	ztrátový výkon, špičková hodnota	$U_{RM}$	špičkové napětí na diodě v závěrném směru
$P_D$	výstupní výkon	$U_{RRM}$	závěrné napětí špičkové opakovatelné
$P_{Tot}$	ztrátový výkon celkový	$U_{RSM}$	závěrné napětí špičkové neopakovatelné
$Q_s$	zotavovací náboj	$U_{RWM}$	špičkové pracovní závěrné napětí
$R_{BE}$	vnější odpor mezi bází a emitorem	$U_T$	úbytek napětí na tyristoru
$R_d$	dynamický odpor	$U_V$	napětí sedla
$R_D$	odchylka rovnoměrnosti detekce	$U_Z$	Zenerovo napětí
$R_G$	vnitřní odpor zdroje budicího napětí	$Y_{21}$	strmost
$R_i$	vnitřní odpor	$\eta$	účinnost
$R_L$	zatěžovací odpor	$\lambda$	vlnová délka
$R_{mf}$	mezifrekvenční odpor	$\theta_a$	teplota okolí
$R_o min$	ochranný odpor	$\theta_c$	teplota pouzdra
		$\theta_j$	teplota přechodu
		$\theta_{stg}$	teplota při skladování

Ukážka jednej strany z katalógu elektronických súčiastok TESLA

Typ	Mezní hodnoty						$I_{CBO}$ max $\mu A$	při $U_{CB}$ V	$h_{21E}$ při $U_{CB}$ $ h_{21E} ^*$ V	$I_E$ $I_C^*$ mA	f MHz	$f_T$ MHz	Použití <sup>o</sup>
	$U_{CBO}$	$U_{CER}$	$I_C$	$U_{EBO}$	$P_C$ <sup>7)</sup>	$\theta_i$							
	V	V	mA	V	mW	°C							
KF124	30	20	30	5	220	125	0,0008	10	67...220	10	-1	350	T28
KF125	30	20	30	5	220	125	0,0008	10	37...125	10	-1	230	T28
BF167	40	30	25	4	150	175	0,1	20	80 > 25	10	-4	> 250	T7
BF173	40	25	25	4	230	175			100 > 40	10	-7	> 350	T7
BF257	160	160	100	5	800	175	0,05	100	> 25	10	-30	110 > 40	T22
BF258	250	250	100	5	800	175	0,05	200	> 25	10	-30	110 > 40	T22
BF259	300	300	100	5	800	175	0,05	250	> 25	10	-30	110 > 40	T22
KF422	250	250	25	5	830	150	0,01	200	> 50	20	25*	> 60	T16
BF457	160	160	100	5	1200	150	0,05	100	> 25	10	30*	90	T43
BF458	250	250	100	5	1200	150	0,05	200	> 25	10	30*	90	T43
BF459	300	300	100	5	1200	150	0,05	250	> 25	10	30*	90	T43
KF469	250	250	30	5	2 W <sup>1)</sup>	150	0,01	200	> 50	20	25*	> 60	T48
KF503		100 <sup>2)</sup>	50	5	700 2500 <sup>3)</sup>	175	0,5	50	100 > 3*	10	-30 -10	30 150	T18
KF504		160 <sup>2)</sup>	50	5	700 2500 <sup>3)</sup>	175	0,1	140	> 3* 100	10	-10 -30	30 150	T18
KF506	75	50 <sup>2)</sup>	500	7	800 2600 <sup>3)</sup>	200	0,01	60	35 - 125	10	-10 -50	30 > 60	T18
KF507	40	32 <sup>2)</sup>	500	5	800 2600 <sup>3)</sup>	200	0,5	30	> 35	10	-10 -50	30 > 50	T18
KF508	75	50 <sup>2)</sup>	500	7	800 2600 <sup>3)</sup>	200	0,01	60	90 - 300	10	-10 -50	30 > 70	T18
KF508A	75	50 <sup>2)</sup>	500	7	800 2600 <sup>3)</sup>	200	0,01	60	133 - 1000	10	-10 -50	30 > 70	T18
KF509	75	50 <sup>2)</sup>	500	7	800 2600 <sup>3)</sup>	200	0,05	60	90 - 300 -	10 10	-10 -50	30 > 60	T18
KF524	30	20	30	5	145	175	0,0008	10	67...220	10	-1	350	T12
KF525	30	20	30	5	145	175	0,0008	10	37...125	10	-1	300	T12
KS500	25	14	200	5	1000 <sup>10)</sup> 300	200	0,5	15	> 20	1	-10 -10	> 200	T11
SF240	40	30	25	4	160	125	0,5	40	33...133	10	4*	360...510	T30
SF245	40	25	25	4	200	125	0,5	40	93 > 37	10	7*	700	T30
SF357	160	160	100	5	1200	150	0,05	100	35 > 25	10	30*	90 > 60	T44
SF358	250	250	100	5	1200	150	0,05	200	35 > 25	10	30*	90 > 60	T44
SF359	300	300	100	5	1200	150	0,05	250	35 > 25	10	30*	90 > 60	T44

2)  $R_{BE} = 0 \Omega$   
1)  $\theta_c \leq 110^\circ C$

3)  $R_{BE} \leq 10 \Omega$   
4) S ideálním chlazením

7)  $\theta_a = 25^\circ C$   
10)  $\theta_c < 45^\circ C$

údaje jednotlivých súčiastok. Na porovnanie možno uviesť, že v tomto katalógu zaberajú parametre jednotlivých súčiastok len jeden riadok. Naproti tomu v moderných katalógových listoch parametre jednej súčiastky sú rozpísané na 3 - 10 a viac stranách. Výhodou starších a jednoduchších katalógov je väčšia prehľadnosť medzi jednotlivými príbuznými súčiastkami, čo umožňuje prehľadnejšie porovnávanie v prípade náhrad a zámien.

Ako príklad možno uviesť výpis parametrov tranzistoru KF508 :

vysokofrekvenčný a spínací tranzistor

vodivosť typu PNP

napätie kolektoru proti báze je 75V

napätie kolektoru proti emitoru pri danom odpore medzi bázou a emitorom je 50V

prúd kolektoru je 500mA

napätie emitoru proti báze je 7V

stratový výkon kolektoru je 800mW

teplota prechodu je 200 °C

kľudový prúd kolektoru s uzemnenou bázou je 0,01uA

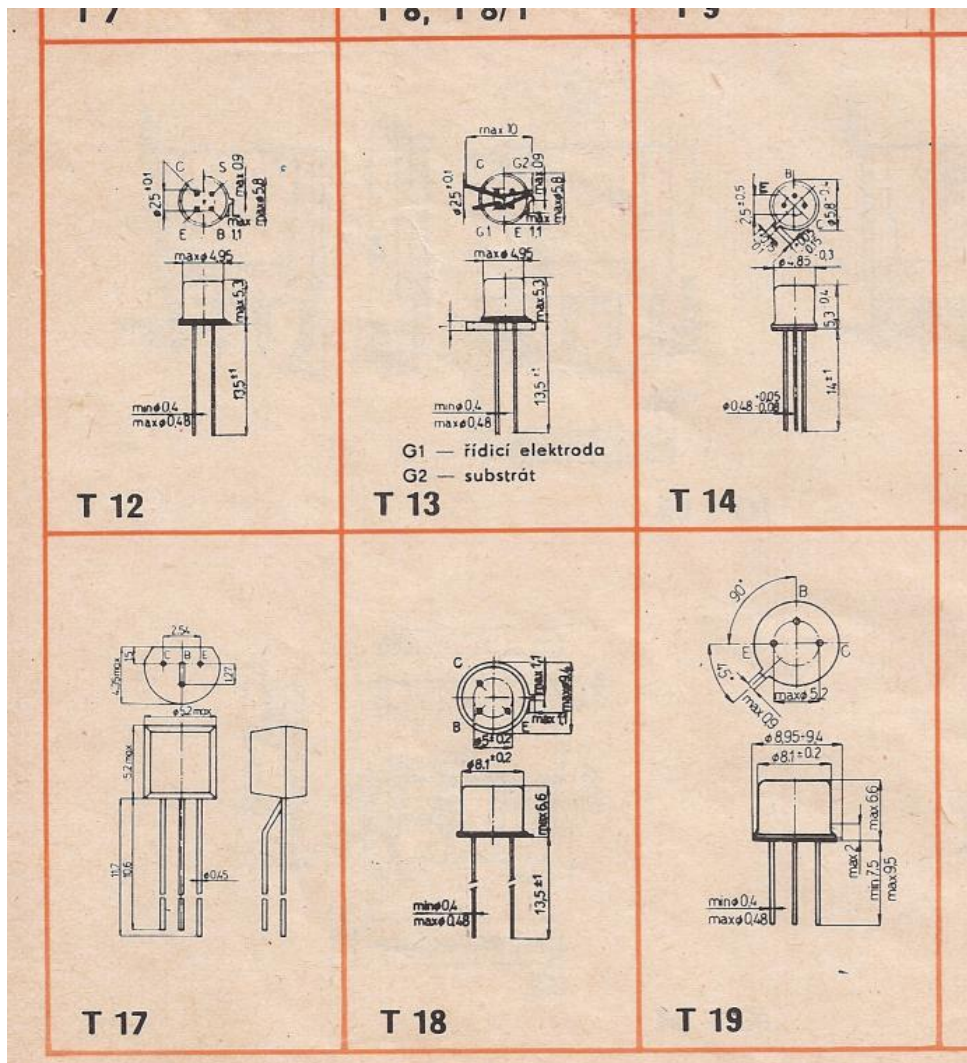
hodnota prúdového zosilňovacieho činiteľa je 90 - 300

napätie kolektora proti báze je 10V

frekvencia je 30MHz

medzná frekvencia pri zosilnení 1x je 70MHz

výkres rozmerov púzdra je na obrázku T18



Rozmerové výkresy súčiastok

Nový katalogový list od firmy ST Microelectronics pre integrovaný obvod TDA2030. Obsahuje podrobné technické informácie. Uvedené údaje sa nachádzajú na jedenástich stranách katalogového listu vo formáte PDF.



## TDA2030

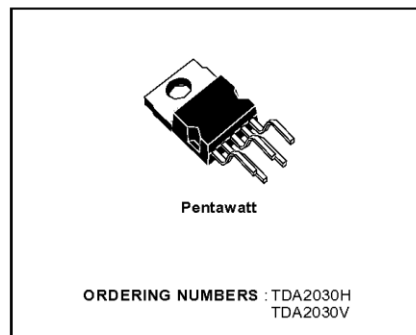
### 14W Hi-Fi AUDIO AMPLIFIER

#### DESCRIPTION

The TDA2030 is a monolithic integrated circuit in Pentawatt® package, intended for use as a low frequency class AB amplifier. Typically it provides 14W output power ( $d = 0.5\%$ ) at  $14V/4\ \Omega$ ; at  $\pm 14V$  or 28V, the guaranteed output power is 12W on a  $4\ \Omega$  load and 8W on a  $8\ \Omega$  (DIN45500).

The TDA2030 provides high output current and has very low harmonic and cross-over distortion.

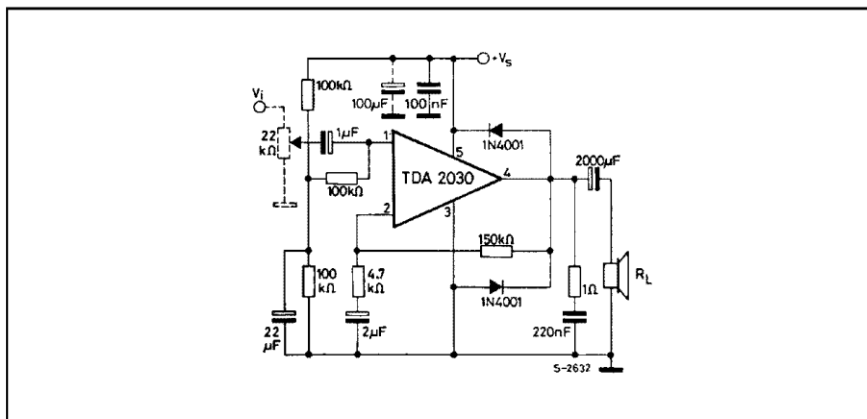
Further the device incorporates an original (and patented) short circuit protection system comprising an arrangement for automatically limiting the dissipated power so as to keep the working point of the output transistors within their safe operating area. A conventional thermal shut-down system is also included.



#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

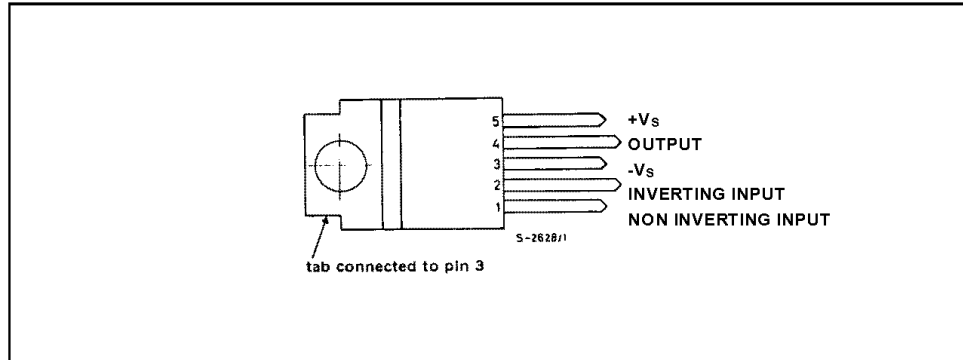
Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_s$	Supply voltage	$\pm 18$ (36)	V
$V_i$	Input voltage	$V_s$	
$V_d$	Differential input voltage	$\pm 15$	V
$I_o$	Output peak current (internally limited)	3.5	A
$P_{tot}$	Power dissipation at $T_{case} = 90^\circ C$	20	W
$T_{slg}, T_j$	Storage and junction temperature	-40 to 150	$^\circ C$

#### TYPICAL APPLICATION

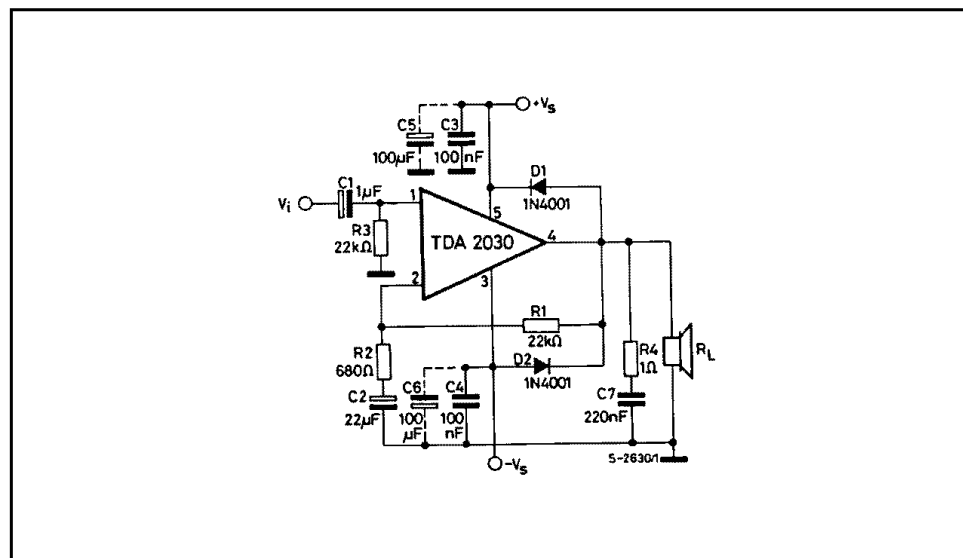


## TDA2030

### PIN CONNECTION (top view)



### TEST CIRCUIT





## THERMAL DATA

Symbol	Parameter	Value	Unit
$R_{th(j-case)}$	Thermal resistance junction-case	max 3	°C/W

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (Refer to the test circuit,  $V_s = \pm 14V$ ,  $T_{amb} = 25°C$  unless otherwise specified) for single Supply refer to fig. 15  $V_s = 28V$

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_s$	Supply voltage		$\pm 6$ 12		$\pm 18$ 36	V
$I_d$	Quiescent drain current	$V_s = \pm 18V$ ( $V_s = 36V$ )		40	60	mA
$I_b$	Input bias current			0.2	2	$\mu A$
$V_{os}$	Input offset voltage			$\pm 2$	$\pm 20$	mV
$I_{os}$	Input offset current			$\pm 20$	$\pm 200$	nA
$P_o$	Output power	$d = 0.5\%$ $G_v = 30$ dB $f = 40$ to $15,000$ Hz $R_L = 4$   $R_L = 8$	12 8	14 9		W W
		$d = 10\%$ $G_v = 30$ dB $f = 1$ KHz $R_L = 4$   $R_L = 8$		18 11		W W
d	Distortion	$P_o = 0.1$ to $12W$ $R_L = 4$   $G_v = 30$ dB $f = 40$ to $15,000$ Hz		0.2	0.5	%
		$P_o = 0.1$ to $8W$ $R_L = 8$   $G_v = 30$ dB $f = 40$ to $15,000$ Hz		0.1	0.5	%
B	Power Bandwidth (-3 dB)	$G_v = 30$ dB $P_o = 12W$ $R_L = 4$	10 to 140,000			Hz
$R_i$	Input resistance (pin 1)		0.5	5		M
$G_v$	Voltage gain (open loop)			90		dB
$G_v$	Voltage gain (closed loop)	$f = 1$ kHz	29.5	30	30.5	dB
$e_N$	Input noise voltage	B = 22 Hz to 22 KHz		3	10	$\mu V$
$i_N$	Input noise current			80	200	pA
SVR	Supply voltage rejection	$R_L = 4$   $G_v = 30$ dB $R_g = 22$ k   $V_{ripple} = 0.5$ V <sub>eff</sub> $f_{ripple} = 100$ Hz	40	50		dB
$I_d$	Drain current	$P_o = 14W$ $R_L = 4$		900		mA
		$P_o = W$ $R_L = 8$		500		mA

Figure 1. Output power vs. supply voltage

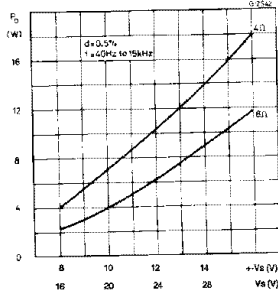


Figure 2. Output power vs. supply voltage

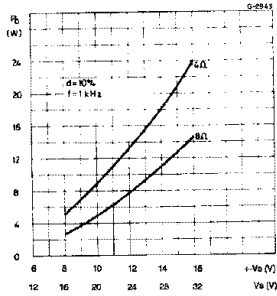


Figure 3. Distortion vs. output power

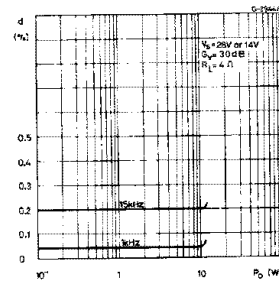


Figure 4. Distortion vs. output power

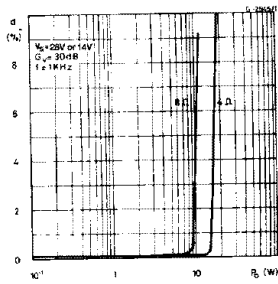


Figure 5. Distortion vs. output power

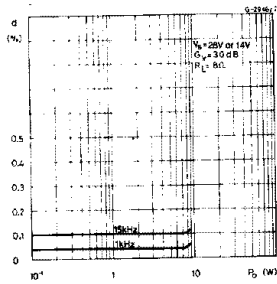


Figure 6. Distortion vs. frequency

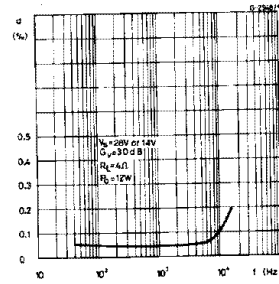


Figure 7. Distortion vs. frequency

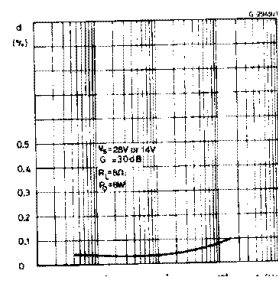


Figure 8. Frequency response with different values of the rolloff capacitor C8 (see fig. 13)

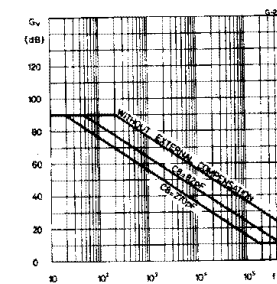


Figure 9. Quiescent current vs. supply voltage

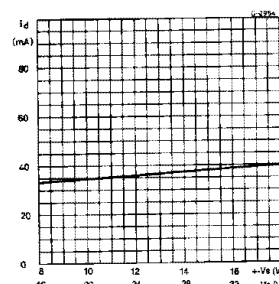


Figure 10. Supply voltage rejection vs. voltage gain

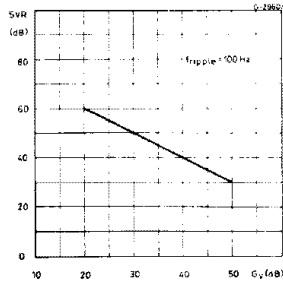


Figure 11. Power dissipation and efficiency vs. output power

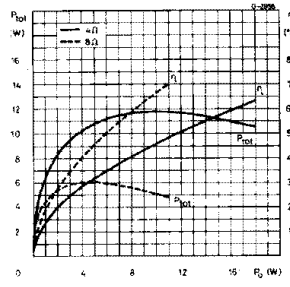
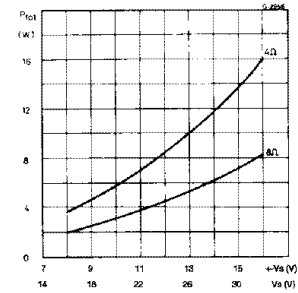


Figure 12. Maximum power dissipation vs. supply voltage (sine wave operation)



APPLICATION INFORMATION

Figure 13. Typical amplifier with split power supply

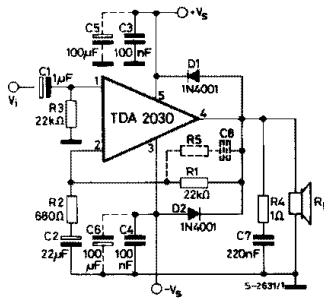
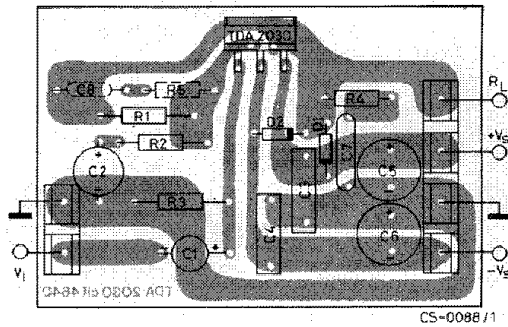


Figure 14. P.C. board and component layout for the circuit of fig. 13 (1 : 1 scale)



TDA2030

APPLICATION INFORMATION (continued)

Figure 15. Typical amplifier with single power supply

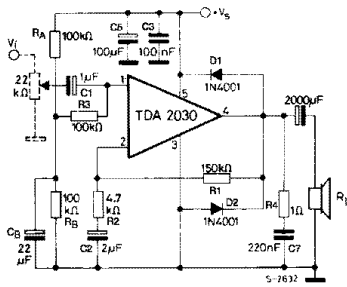


Figure 16. P.C. board and component layout for the circuit of fig. 15 (1 : 1 scale)

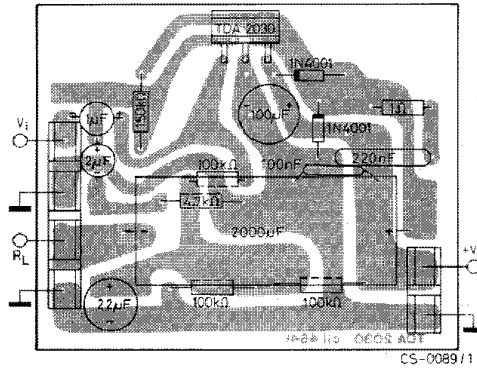
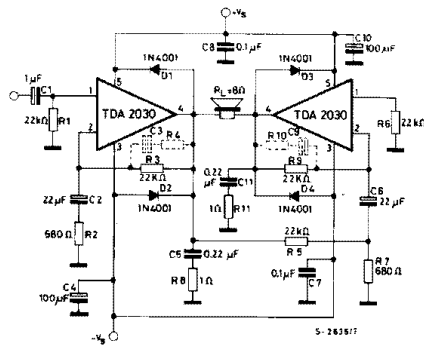


Figure 17. Bridge amplifier configuration with split power supply ( $P_o = 28W, V_s = \pm 14V$ )



## PRACTICAL CONSIDERATIONS

### Printed circuit board

The layout shown in Fig. 16 should be adopted by the designers. If different layouts are used, the ground points of input 1 and input 2 must be well decoupled from the ground return of the output in which a high current flows.

### Assembly suggestion

No electrical isolation is needed between the

package and the heatsink with single supply voltage configuration.

### Application suggestions

The recommended values of the components are those shown on application circuit of fig. 13.

Different values can be used. The following table can help the designer.

Component	Recomm. value	Purpose	Larger than recommended value	Smaller than recommended value
R1	22 k	Closed loop gain setting	Increase of gain	Decrease of gain (*)
R2	680	Closed loop gain setting	Decrease of gain (*)	Increase of gain
R3	22 k	Non inverting input biasing	Increase of input impedance	Decrease of input impedance
R4	1	Frequency stability	Danger of oscillat. at high frequencies with induct. loads	
R5	$\cong 3 R2$	Upper frequency cutoff	Poor high frequencies attenuation	Danger of oscillation
C1	1 $\mu$ F	Input DC decoupling		Increase of low frequencies cutoff
C2	22 $\mu$ F	Inverting DC decoupling		Increase of low frequencies cutoff
C3, C4	0.1 $\mu$ F	Supply voltage bypass		Danger of oscillation
C5, C6	100 $\mu$ F	Supply voltage bypass		Danger of oscillation
C7	0.22 $\mu$ F	Frequency stability		Danger of oscillation
C8	$\cong \frac{1}{2 \neq B R1}$	Upper frequency cutoff	Smaller bandwidth	Larger bandwidth
D1, D2	1N4001	To protect the device against output voltage spikes		

(\*) Closed loop gain must be higher than 24dB

## TDA2030

### SINGLE SUPPLY APPLICATION

Component	Recomm. value	Purpose	Larger than recommended value	Smaller than recommended value
R1	150 k	Closed loop gain setting	Increase of gain	Decrease of gain (*)
R2	4.7 k	Closed loop gain setting	Decrease of gain (*)	Increase of gain
R3	100 k	Non inverting input biasing	Increase of input impedance	Decrease of input impedance
R4	1	Frequency stability	Danger of oscillat. at high frequencies with induct. loads	
R <sub>A</sub> /R <sub>B</sub>	100 k	Non inverting input Biasing		Power Consumption
C1	1 $\mu$ F	Input DC decoupling		Increase of low frequencies cutoff
C2	22 $\mu$ F	Inverting DC decoupling		Increase of low frequencies cutoff
C3	0.1 $\mu$ F	Supply voltage bypass		Danger of oscillation
C5	100 $\mu$ F	Supply voltage bypass		Danger of oscillation
C7	0.22 $\mu$ F	Frequency stability		Danger of oscillation
C8	$\cong \frac{1}{2 \cdot B \cdot R1}$	Upper frequency cutoff	Smaller bandwidth	Larger bandwidth
D1, D2	1N4001	To protect the device against output voltage spikes		

(\*) Closed loop gain must be higher than 24dB

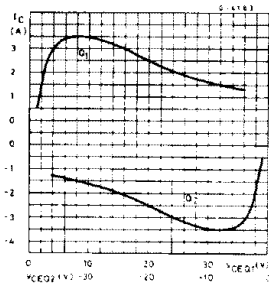
### SHORT CIRCUIT PROTECTION

The TDA2030 has an original circuit which limits the current of the output transistors. Fig. 18 shows that the maximum output current is a function of the collector emitter voltage; hence the output transistors work within their safe operating area (Fig. 2). This function can therefore be considered as being

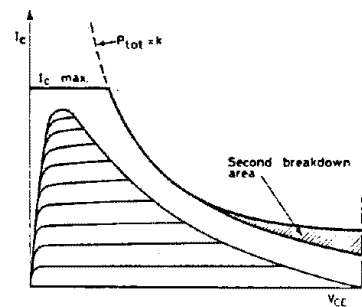
peak power limiting rather than simple current limiting.

It reduces the possibility that the device gets damaged during an accidental short circuit from AC output to ground.

**Figure 18. Maximum output current vs. voltage [ $V_{CEsat}$ ] across each output transistor**



**Figure 19. Safe operating area and collector characteristics of the protected power transistor**



### THERMAL SHUT-DOWN

The presence of a thermal limiting circuit offers the following advantages:

1. An overload on the output (even if it is permanent), or an above limit ambient temperature can be easily supported since the  $T_j$  cannot be higher than  $150^{\circ}\text{C}$ .
2. The heatsink can have a smaller factor of safety compared with that of a conventional circuit. There is no possibility of device damage due to high junction temperature. If for any reason, the

junction temperature increases up to  $150^{\circ}\text{C}$ , the thermal shut-down simply reduces the power dissipation at the current consumption.

The maximum allowable power dissipation depends upon the size of the external heatsink (i.e. its thermal resistance); fig. 22 shows this dissipable power as a function of ambient temperature for different thermal resistance.

Figure 20. Output power and drain current vs. case temperature ( $R_L = 4 \Omega$ )

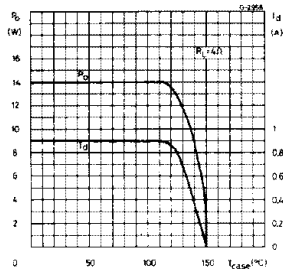


Figure 21. Output power and drain current vs. case temperature ( $R_L = 8 \Omega$ )

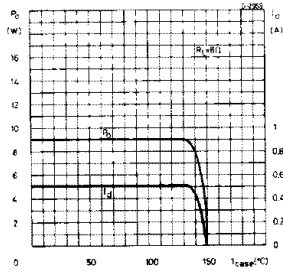


Figure 22. Maximum allowable power dissipation vs. ambient temperature

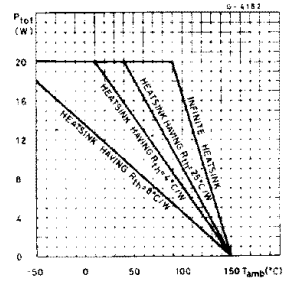
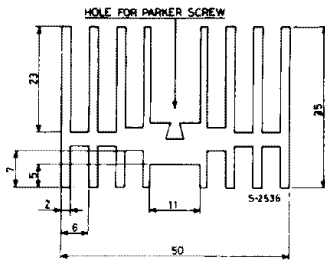


Figure 23. Example of heat-sink



Dimension : suggestion.

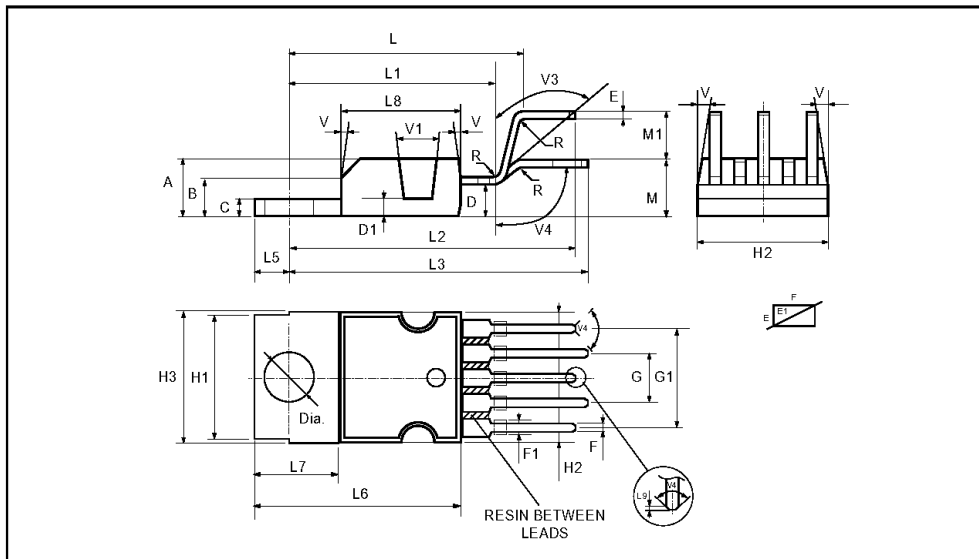
The following table shows the length that the heatsink in fig. 23 must have for several values of  $P_{tot}$  and  $R_{th}$ .

$P_{tot}$ (W)	12	8	6
Length of heatsink (mm)	60	40	30
$R_{th}$ of heatsink (YCW)	4.2	6.2	8.3



PENTAWATT PACKAGE MECHANICAL DATA

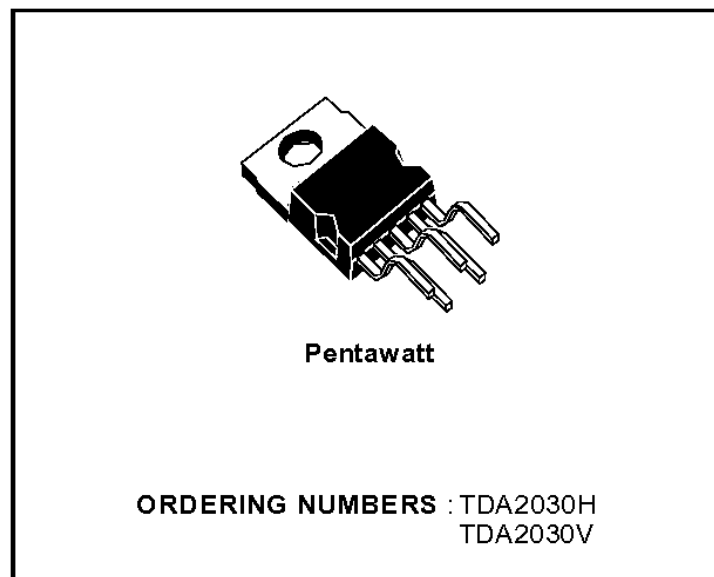
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			4.8			0.189
C			1.37			0.054
D	2.4		2.8	0.094		0.110
D1	1.2		1.35	0.047		0.053
E	0.35		0.55	0.014		0.022
E1	0.76		1.19	0.030		0.047
F	0.8		1.05	0.031		0.041
F1	1		1.4	0.039		0.055
G	3.2	3.4	3.6	0.126	0.134	0.142
G1	6.6	6.8	7	0.260	0.268	0.276
H2			10.4			0.409
H3	10.05		10.4	0.396		0.409
L	17.55	17.85	18.15	0.691	0.703	0.715
L1	15.55	15.75	15.95	0.612	0.620	0.628
L2	21.2	21.4	21.6	0.831	0.843	0.850
L3	22.3	22.5	22.7	0.878	0.886	0.894
L4			1.29			0.051
L5	2.6		3	0.102		0.118
L6	15.1		15.8	0.594		0.622
L7	6		6.6	0.236		0.260
L9		0.2			0.008	
M	4.23	4.5	4.75	0.167	0.177	0.187
M1	3.75	4	4.25	0.148	0.157	0.167
V4	40° (typ.)					
Dia	3.65		3.85	0.144		0.152



Uvedený katlógový list je rozsiahly a obsahuje mnoho detailných informácií o integrovanom obvode TDA 2030. Pre lepšiu a rýchlu orientáciu v tomto katalógu je potrebné sa správne zorientovať a pre bežné a nenáročne konštrukcie je vhodné si vybrať len užitočné a základné parametre.

Príklad výberu základných parametrov integrovaného obvodu TDA2030 :

- 14W Hi-Fi zvukový zosilňovač
- Napájacie napätie 36 V
- Výstupný špičkový prúd - 3,5 A
- Stratový výkon púzdra - 20 W
- Výstupný výkon pri záťaži  $4\Omega$  a skreslení 0,5 % - 14 W
- Výstupný výkon pri záťaži  $8\Omega$  a skreslení 0,5 % - 11 W
- Výstupný výkon pri záťaži  $4\Omega$  a skreslení 10 % - 18 W
- Výstupný výkon pri záťaži  $8\Omega$  a skreslení 10 % - 11W
- Frekvenčný rozsah - 10 Hz - 140 kHz
- Napäťové zosilnenie bez spätnej väzby - 90 dB
- Tvar púzdra - Pentawatt

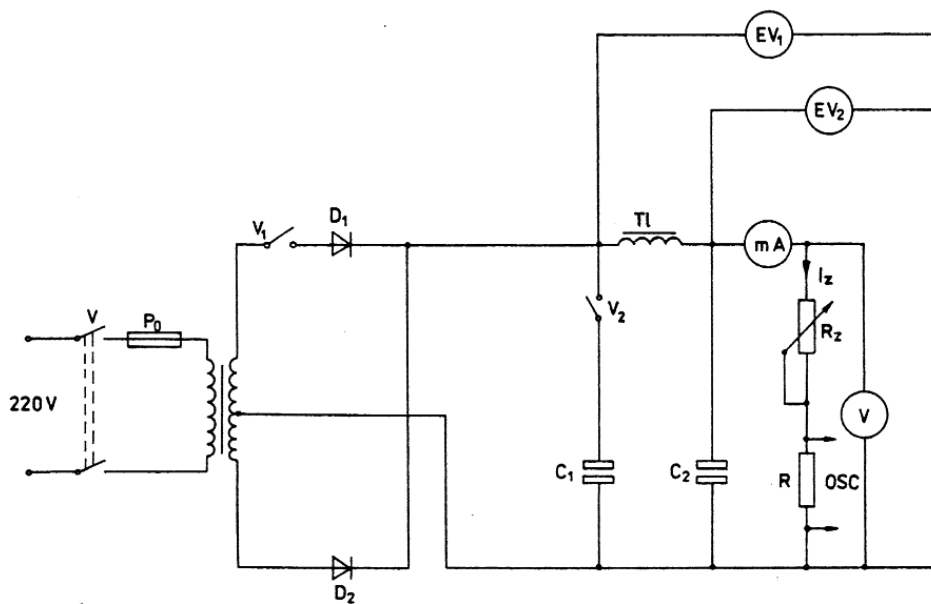


Tvar púzdra integrovaného obvodu TDA2030

# Napájacie zdroje

## Meranie vlastností napájacích zdrojov

Na obrázku je zapojenie napájacieho zdroja, ktorý sa skladá z transformátora, usmerňovača a vyhladzovacieho filtra. Jeho zapojenie zodpovedá najčastejšie používaným napájacím zdrojom. Pomocou vypínača  $V_1$  máme možnosť zvoliť jednocestné alebo dvojcestné usmerenie. Použitý transformátor musí mať však dve rovnaké sekundárne vinutia s vyvedeným stredom. Vyhladzovací filter môže mať na vstupe zapojený kondenzátor ( $V_2$  je zapnutý) alebo tlmivku ( $V_2$  je vypnutý). Pri zapnutom  $V_2$  pracuje usmerňovač do kapacitnej záťaže. Namiesto tlmivky možno zapojiť aj rezistor (tento typ vyhladzovacieho filtra sa však používa menej). Rezistor  $R_z$  predstavuje zaťažovací odpor pre napájací zdroj,



Napájací zdroj so sieťovým transformátorom

rezistor  $R$  má malú hodnotu, neovplyvňuje hodnotu  $I_z$  a umožňuje sledovať priebeh  $I_z$  na osciloskope. Striedavé elektronické voltmetre  $EV_1$  a  $EV_2$  v zapojení zosilňovač - usmerňovač merajú striedavú zložku napätia pred a za vyhladzovacím filtrom. Voltmeter  $V$  meria jednosmerné napätie napájacieho zdroja  $U_z$  miliampérmetr mA meria jednosmerný prúd odoberaný z napájacieho zdroja. Vlastnosti elektronického napájača overujeme meraním týchto parametrov:

4. Meranie zaťažovacej charakteristiky. Zaťažovacia charakteristika je závislosť  $I_z = f(U_z)$ . Podľa priebehu zaťažovacej charakteristiky usudzujeme, či je napájací zdroj tvrdý alebo mäkký. Zmenou hodnoty  $R_z$  nastavujeme zvolené hodnoty  $I_z$  a odčítame zodpovedajúce hodnoty napätia  $U_z$  pričom odmeriame aj napätie naprázdno (pri  $I_z = 0$ )
5. Meranie vyhladzovacieho činiteľa. Vyhladzovací činiteľ je definovaný pomerom striedavého napätia pred vyhladzovacím filtrom a za vyhladzovacím filtrom

$$\varphi_v = \frac{U_1}{U_2}$$

kde  $U_1$  je striedavé napätie pred vyhladzovacím filtrom (meria sa voltmetrom  $EV_1$ )

$U_2$  – striedavé napätie za vyhladzovacím filtrom (meria sa voltmetrom  $EV_2$ ).  
 Vyhladzovací činiteľ je bezrozmerné číslo, ktoré vyjadruje, koľkokrát je striedavé napätie za filtrom menšie ako pred filtrom.

1. Meranie činiteľa zvlňenia. Činiteľ zvlňenia je definovaný pomerom amplitúdy striedavého napätia na zaťažovacom odpore napájajúca k jednosmernému napätíu na zaťažovacom odpore napájajúca. Vyjadruje sa obyčajne v percentách

$$\varphi_{zv} = \frac{U_2 \cdot \sqrt{2}}{U_1} \cdot 100 \quad (\%)$$

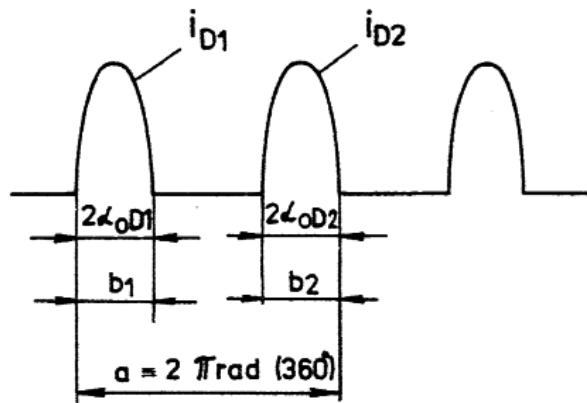
Napätie  $U_2$  meria voltmeter  $EV_2$ , napätie  $U_1$  meria voltmeter V.

1. Meranie uhla otvorenia usmerňovacích diód. Uhol otvorenia usmerňovacích diód určujeme jednoducho pomocou oscilogramu na rezistore R. Na obrázku je priebeh oscilogramu, ak je  $V_2$  zapnutý, pre dvojcestné usmernenie. Uhol otvorenia bude

$$2\alpha_0 = 2\alpha_{0D_1} + 2\alpha_{0D_2} = \frac{2\pi b}{a} \quad (\text{rad}; \text{mm}, \text{mm})$$

kde  $b = b_1 + b_2$ .

Pre jednocestné usmernenie  $b_2 = 0$ , t. j.  $b = b_1$ .



Meranie uhla otvorenia usmerňovacích diód pomocou oscilogramu prúdu na rezistore R

## Transformátory

### METÓDY MERANIA NA TRANSFORMÁTOROCH

Transformátor je netočivý elektrický stroj, ktorý transformuje striedavé napätie s určitou hodnotou na striedavé napätie s inou hodnotou pri nezmenenej frekvencii, pričom využíva princíp elektromagnetickej indukcie. Transformátor sa skladá z jadra a vinutí. Začiatky a konce vinutí sú vyvedené na svorky alebo priechodky. Podľa tvaru jadra poznáme plášťové a jadrové transformátory. Transformátory môžu mať čisto indukčnú väzbu alebo galvanickú väzbu (autotransformátory). Indukované napätie striedavých elektrických strojov je dané vzťahom

$$U_i = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi_{\max}$$

kde  $f$  - je frekvencia privádzaného napätia  
 $N$  - počet závitov vinutia  
 $\Phi_{\max}$  - amplitúda magnetického toku.

Pomer indukovaných napätí

$$\frac{U_{i1}}{U_{i2}} = \frac{4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \Phi_{\max}}{4,44 \cdot f \cdot N_2 \cdot \Phi_{\max}} = \frac{N_1}{N_2} = p$$

kde  $N_1$  - je počet závitov priemerného vinutia  
 $N_2$  - počet závitov sekundárneho vinutia,  
 $P$  - prevod transformátora.

Ak zanedbáme úbytky napätí na odporoch a reaktanciách vinutí, môže prevod vyjadriť pomerom

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Ak sekundárnu stranu zaťažíme impedanciou  $Z$ , potečie prúd  $I$  a primárnym vinutím prúd  $I_1$ . Ak zanedbáme straty transformátora, tak platí

$$p = \frac{I_2}{I_1}$$

Úbytky napätia na ohmických odporoch a reaktanciách vinutí nemôžeme vždy zanedbať. Na zaťaženom transformátore bude ich vplyvom napätie na sekundárnej strane vždy nižšie, ako to vyplýva z prevodu. Podobne musíme pri činnosti transformátora brať do úvahy aj straty. Ich vplyv vyjadrujeme účinnosťou, ktorá je daná pomerom výkonu a príkonu

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} \cdot 100$$

kde  $P_1$  príkon transformátora (W),  
 $P_2$  výkon transformátora (W),  
 $\Delta P$  straty (W).

Straty vznikajú vo vinutiach (straty v medi  $\Delta P_{cu1}, \Delta P_{cu2}$ ) a v železe (straty v železe  $\Delta P_{Fe}$ ). Straty vo vinutiach sú úmerné druhej mocnine prúdu, straty v železe sú úmerné druhej mocnine napätia. Celkové straty sú určené súčtom jednotlivých strát. Závislosť úbytku sekundárneho napätia a účinnosti od zaťaženia transformátora by sa mohla zistiť priamym meraním. Takéto meranie by však bolo hlavne pri transformátoroch väčších výkonov, nevhodné a ťažko uskutočniteľné. Treba totiž nastaviť nielen veľkosť zaťaženia ale aj účinník. Preto sa robia tzv. newattové merania, na základe ktorých sa stanovuje priebeh úbytku napätia a účinnosti pre rôzne účinníky v závislosti od zaťaženia. Názov newattové merania pochádza z toho, že do transformátora neprivádzame celý menovitý výkon, ale len výkon potrebný na pokrytie strát.

Patrí sem meranie naprázdno a meranie nakrátko. Meranie naprázdno robíme v okolí menovitého napätia transformátora, preto ho napájame zo strany nižšieho napätia. Pretože prúd je malý, straty naprázdno sa približne rovnajú stratám v železe  $\Delta P_{Fe}$ . Pri meraní nakrátko pripájame transformátor na strane vyššieho napätia, pretože meriame v okolí menovitého prúdu a ten má na strane vyššieho napätia menšiu hodnotu. Napätie nakrátko sa pri meraní rovná 0,03 až 0,1  $\cdot U_1$ . Pretože s poklesom napätia straty v železe klesajú kvadraticky, sú pri tak malých hodnotách napätia zanedbateľne malé a straty nakrátko sa približne rovnajú stratám v medi  $\Delta P_{Cu}$ .

- Na jednofázovom transformátore robíme tieto merania:
- kontrola izolačného stavu transformátora,
- meranie odporu vinutí,
- meranie napäťového prevodu,
- kontrola súhlasnosti vinutí na svorkách
- skúška pri chode naprázdno,
- skúška pri chode nakrátko,
- kontrola účinnosti.

## KONTROLA IZOLAČNÉHO STAVU TRANSFORMÁTORA

Izolačný stav transformátora kontrolujeme prístrojom Megmet, ktorého ručné dynamo dáva napätie 100, 500 alebo 1000 V , alebo elektronickým prístrojom PU 310. Meriame izolačný odpor medzi jednotlivými vinutiami, ako aj medzi jadrom a jednotlivými vinutiami. Najmenší izolačný odpor pre transformátor ohriaty na 75° C určíme podľa vzťahu

$$R_{iz} \geq \frac{U_n}{1000 + 0,1 \cdot P_{sn}} \quad (\text{M}\Omega; \text{V}, \text{kV} \cdot \text{A})$$

kde  $U_n$  je menovité napätie transformátora

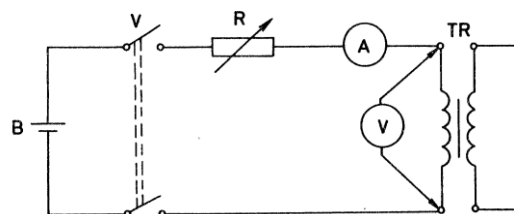
$P_{sn}$  je menovitý výkon transformátora

Sieťové napájacie transformátory musia mať izolačný odpor v rozpätí od 2 do 7M .

## MERANIE ODPORU VINUTÍ

Odpor vinutia transformátora meriame voltampérovou metódou . Aby sme vylúčili chyby pri meraní, urobíme na každej strane niekoľko meraní a za skutočný odpor vinutia považujeme aritmetickú strednú hodnotu z nameraných hodnôt . Hodnoty prúdu regulujeme pomocou rezistora R v rozpätí 0,1 až 0,3 menovitej hodnoty prúdu pre dané vinutie, aby sa vinutie zbytočne neohrievalo. Pri odpájaní voltmetra musíme byť opatrní. Pri náhlom poklese magnetického toku transformátora na nulu sa indukuje v jeho vinutiach napätie, ktoré by mohlo poškodiť voltmeter. Z toho dôvodu pred vypnutím vypínača musia byť privody od svoriek transformátora k voltmetru prerušené. Voltmeter preto nezapájame natrvalo, ale napätie meriame len priložením svoriek. Z nameraných hodnôt prúdu a napätia potom určíme odpor vinutia.

$$R = \frac{U}{I} \quad (\Omega; \text{V}, \text{A})$$

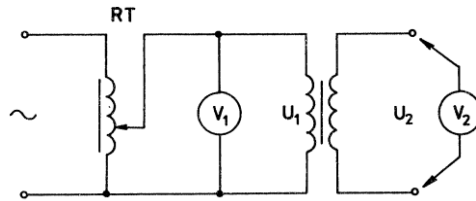


Meranie odporu vinutí transformátora

## MERANIE NAPÄŤOVÉHO PREVODU

Primárne vinutie pri meraní napät'ového prevodu napájame zníženým napätím cez regulačný transformátor. Na sekundárnu stranu pripojíme voltmeter s veľkým vnútorným odporom, aby sekundárnym odvodom pretekal čo najmenší prúd. Napät'ový prevod potom určíme zo vzťahu

$$p = \frac{U_1}{U_2}$$

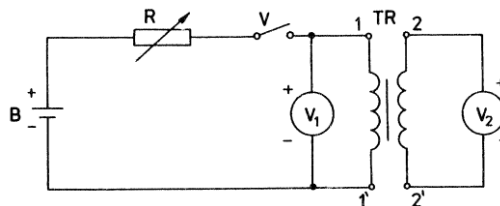


Meranie napät'ového prevodu transformátora

Pretože aj nezaťažený transformátor odoberá určitý magnetizačný prúd, ktorý ovplyvňuje prevod, musíme prevod merať za takých podmienok, keď už pri malom prírastku magnetizačného prúdu dosiahneme veľký prírastok napätia (pracovný bod transformátora leží v najstrmšej časti magnetizačnej charakteristiky). Pre bežné transformátory je vplyv magnetizačného prúdu najmenší v rozsahu 0,1 až 0,7 menovitého napätia preto pri meraní nastavujeme hodnotu primárneho napätia v rozpätí 0,1 až 0,7 násobku menovitého napätia.

## KONTROLA SÚHLASNOSTI VINUTÍ NA SVORKÁCH

Cieľom tohto merania je experimentálna kontrola zapojenia jednofázového transformátora, ako aj určenie začiatkov a koncov vinutí. Na obrázku je zapojenie na kontrolu súhlasnosti vinutí jednofázového transformátora jednosmerným prúdom. Jedno vinutie transformátora zapojíme cez vypínač na jednosmerný zdroj. Deprézsky voltmeter  $V_1$  pripojíme na svorky transformátora, ktoré sme označili napr. + a -. Pri zapnutí vypínača nastane prechodový jav, pričom magnetický tok sa mení od nuly do ustálenej hodnoty. Pretože táto zmena toku prebieha súčasne v obidvoch cievkach, indukované napätie v cievkach má ten istý smer, a teda aj výchylky na voltmetroch  $V_1$  a  $V_2$  sú súhlasné (smerom do stupnice alebo von zo stupnice).



Určenie súhlasností svoriek transformátora jednosmerným prúdom



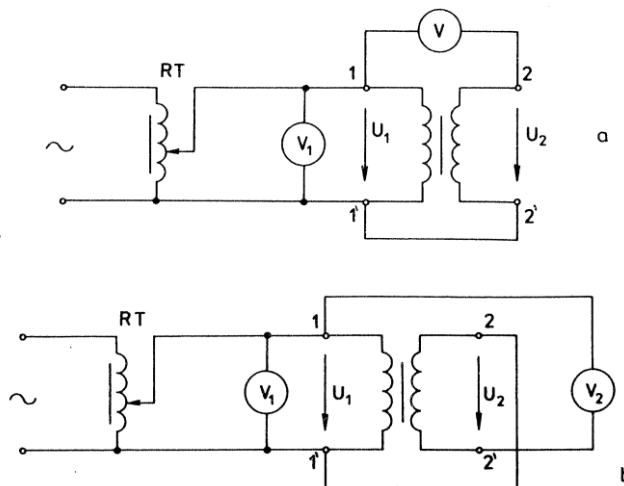
Na obrázku je zapojenie na meranie súhlasnosti svoriek transformátora striedavým prúdom. Podstata merania je v tom, že dve svorky z dvoch strán transformátora spojíme a jednu stranu transformátora napájame. Zmeriame napätie na primárnej a sekundárnej strane a napätie medzi nespojenými svorkami dvoch strán. V zapojení podľa obrázku bude voltmeter V ukazovať napätie :

$$U = U_1 - U_2$$

ak sme spojkou spojili súhlasné svorky vinutí 1' - 2' (konce vinutí). Voltmeter teda ukazuje rozdiel napätí, pretože napätia  $U_1$  a  $U_2$  na primárnej a sekundárnej strane sú prakticky vo fáze. Voltmeter V v zapojení podľa obrázku bude ukazovať napätie :

$$U = U_1 + U_2$$

teda súčet napätí. Ak sme teda spojili súhlasné svorky, nameriame medzi nespojenými svorkami rozdiel napätí, pri spojení nesúhlasných svoriek nameriame súčet primárneho a sekundárneho napätia.



Určenie súhlasnosti svoriek transformátora striedavým prúdom

## SKÚŠKA TRANSFORMÁTORA PRI CHODE NAPRÁZNO

Meranie naprázdno je jedným z tzv. newattových meraní, ktoré robíme preto, aby sme získali podklady pre výpočet priebehu účinnosti a úbytky napätia v závislosti od zaťaženia transformátora. Toto meranie sa má robiť v okolí menovitého napätia. Jeho cieľom je zistiť straty v železe, prúd naprázdno a účinník naprázdno. Pri priemyselných skúškach sa zisťujú tieto hodnoty jediným meraním pri nominálnom napätí, pri presnejších meraniach sa zisťujú priebeh uvedených veličín v závislosti od napätia a pri nominálnom napätí sa odčítajú požadované hodnoty. Transformátor pripájame väčšinou stranou nižšieho napätia na regulačný zdroj cez ampérmeter a prúdovú cievku wattmetra. Napät'ová cievka wattmetra spolu s voltmetrom sa zapájajú paralelne za prúdovú cievku wattmetra, aby sa mohla pohodlne urobiť korekcia ich vlastnej spotreby. Strana vyššieho napätia je rozpojená. Prúd naprázdno normálnych transformátorov je v rozpätí 4 až 11%  $I_n$ . Merať začíname pri

zniženom napätí (asi 50%  $U_n$ ). Odčítame napätie, prúd a výkon, potom zvýšime napätie a meranie opakujeme. Takto postupujeme až do hodnoty 120%  $U_n$ . Transformátor v stave naprázdno odoberá zo siete príkon na krytie strát v železe  $\Delta P_{Fe}$  (hysterézne straty a straty vírivými prúdmi) a strát v medi napájacieho vinutia. Straty v železe sú priamo úmerné druhej mocnине indukcie, indukcia je priamo úmerná napätiu. Teda v stave naprázdno budú pri nominálnom napätí straty v železe tiež nominálne, Joulove straty budú v porovnaní s nimi veľmi malé, pretože prúd naprázdno je veľmi malý. Preto straty naprázdno predstavujú prakticky len straty v železe. Pri presnejšom určení strát v železe odpočítame straty v medi  $R_{cu} \cdot I_o^2$  od strát naprázdno a dostaneme straty v železa. Postup pri spracovaní nameraných hodnôt je nasledujúci. Meriame v zapojení podľa obrázku. Meraný výkon  $P'_o$  korigujeme o vlastnú spotrebu prístrojov  $\Delta P_{kor}$ , čím dostaneme straty naprázdno  $\Delta P_o$

$$\Delta P_o = P'_o - \Delta P_{kor}$$

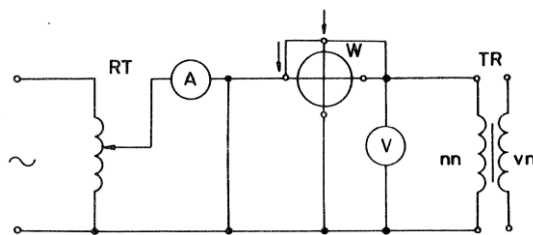


Schéma zapojenia pri skúške transformátora naprázdno

Pri meraní na jednofázovom transformátore platí

$$\Delta P_{kor} = U^2 \cdot \left( \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_w} \right)$$

Kde  $R_v$  je odpor voltmetra ( $\Omega$ ),

$R_w$  - odpor napät'ovej cievky wattmetra ( $\Omega$ ).

Straty v medi v stave naprázdno sú

$$\Delta P_{Cu0} = R_{Cu} \cdot I_o^2$$

A teda straty v železe vyjadruje vzťah

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_o - \Delta P_{Cu0}$$

Účinník naprázdno sa vyjadruje takto:

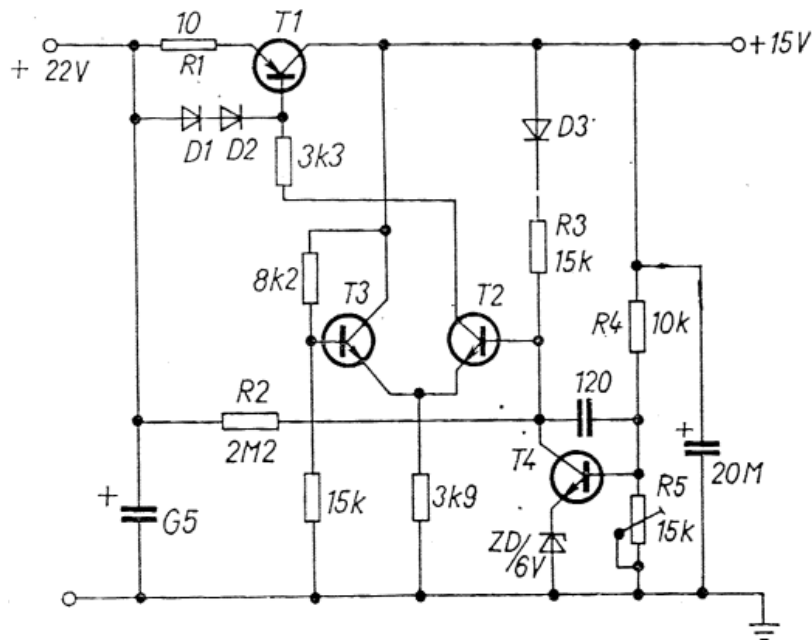
$$\cos \varphi_o = \frac{\Delta P}{U \cdot I_o}$$

Z nameraných hodnôt možno vypočítať aj magnetizačný prúd

$$I_{mag} = I_o \cdot \sin \varphi_o$$

## Stabilizované zdroje pre napájanie operačných zosilňovačov

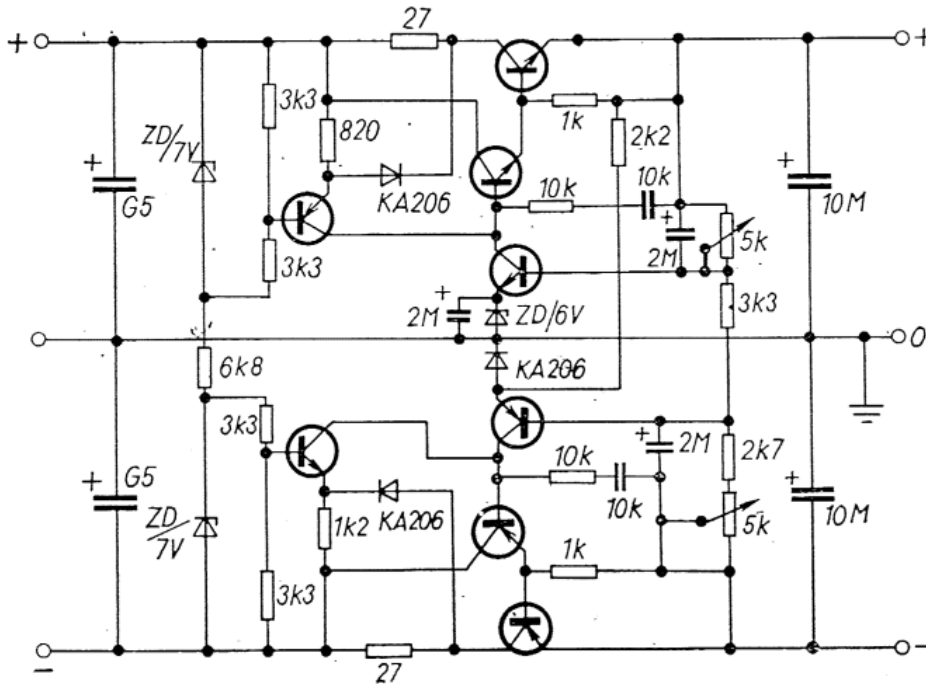
Bežné operačné zosilňovače vyžadujú v prevádzke väčšinou zdroj jednosmerného stabilizovaného napätia  $\pm 15$  V. Prúd sa riadi počtom zosilňovačov napojených zo spoločného zdroja a veľkosti ich záťaží. Uvediem dve zapojenia zdrojov vhodných k napojeniu jedného až piatich operačných zosilňovačov bežného typu. Prvé zapojenie tvoria dva samostatné stabilizované zdroje, jeden pre kladnú a druhý pre zápornú vetvu. Výstupné napätie oboch vetví je nastaviteľné približne v rozsahu 8 až 20 V. Činnosť stabilizátoru si popíšeme na kladnej vetve. Druhá vetva je zapojená rovnako, len musíme obrátiť polaritu všetkých elektrolytických kondenzátorov a diód, tranzistory sú typu opačnej vodivosti.



Nesymetrický zdroj pre OZ

Dvojcestné usmernené napätie sa filtruje a zavádza cez odpor  $R_1$  na emitor sériového regulačného tranzistora  $T_1$ . Odpor  $R_1$  spolu s diódami  $D_1$  a  $D_2$  tvorí elektronickú poistku, ktorá obmedzuje výstupný prúd približne na 70 mA. Všetky tri tranzistory ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_4$ ) zapojené v slučke spätnej väzby pracujú v zapojení so spoločným emitorom, čo dáva stabilizátoru veľmi dobre vlastnosti (predovšetkým malý odpor). Referenčný zdroj (Zenerova dióda v emitore  $T_4$ ) má malý kladný teplotný súčiniteľ, ktorý sa kompenzuje so záporným súčiniteľom prechodu bázy – emitor tranzistoru  $T_4$ . Aby teplotná stabilita zdroja bola čo najlepšia, je trebné tieto dva prvky spolu teplotne zviazať. Zenerova dióda je napájaná z výstupnej strany stabilizátora. Toto riešenie významnou mierou prispieva ku kvalite stabilizátora, ale pretože takto zapojený zdroj neprejde po zapnutí sám do aktívneho stavu, musíme zapojenie doplniť spúšťacím obvodom, ktorý tvorí obvod  $R_2$  a dióda  $D_3$ . Po pripojení napätia na vstupnú stranu je na výstupne nulové napätie (tranzistor  $T_1$  je spočiatku uzavretý), takže dióda  $D_3$  je uzavretá a tranzistor  $T_2$  sa otvára pôsobením prúdu prechádzajúceho cez odpor  $R_2$ . Tím dochádza k otvoreniu tranzistoru  $T_1$  a k prechodu stabilizátora do normálnych pracovných podmienok. V aktívnom stave je dióda  $D_3$  otvorená a na tranzistor  $T_2$  má vplyv len prúd prichádzajúci z výstupu stabilizátora cez diódu  $D_3$  a odpor  $R_3$ , ktorý je proti odporu  $R_2$  malý a potlačuje prenikanie rušivých vplyvov (kolísaním) prítomných na vstupných svorkách, na výstup zdroja. Pracovný bod (a teda aj výstupné napätie) stabilizátora

nastavujeme zmenou deliaceho pomeru  $R_4 : R_5$ , najlepšie nastavením odporu  $R_5$ . Vstupné napätie môže byť až 30 V. Tranzistor  $T_1$  treba opatrit' chladičom (pri vyššom stupni napätia a prúdu), pre tranzistory v puzdre TO-5 sú vhodné navliekacie korunkové chladiče. Činiteľ stabilizácie zdroje je asi 1200, výstupný odpor asi 20m $\Omega$ .

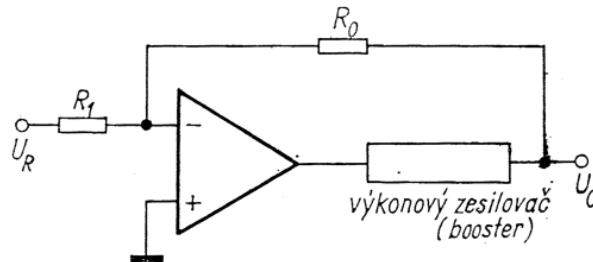


Symetrický zdroj pre OZ s vlečnou reguláciou

Ďalší typ dvojitého stabilizátoru je na druhom obrázku. Od prvého príkladu sa líši hlavne tým, že má pre obe vetvy (kladnú aj zápornú) spoločný zdroj referenčného napätia, zapojený je v stabilizátore kladného napätia. Výstup tohto stabilizátoru slúži ako referenčný zdroj pre zápornú vetvu, pri tomto spôsobe zapojenia hovoríme o tzv. vlečnej regulácii. Výstupné napätie je nastaviteľné v rozmedzí 6 až 16 V, maximálny prúd 100 mA, skratový prúd je 140 mA. Činiteľ stabilizácie je asi 1000, výstupný odpor 0,05 $\Omega$ .

## Zapojenie stabilizovaných zdrojov (s použitím operačných zosilňovačov)

Operačný zosilňovač je ideálnym prvkom pre zosilňovač regulačnej odchýlky v stabilizátore napätia alebo prúdu, lebo spĺňa všetky požiadavky, ktoré na zosilňovač prúdu kladieme (veľké zosilnenie, malý teplotný drift, atď.). Na obrázku je základné zapojenie napät'ového stabilizátoru.



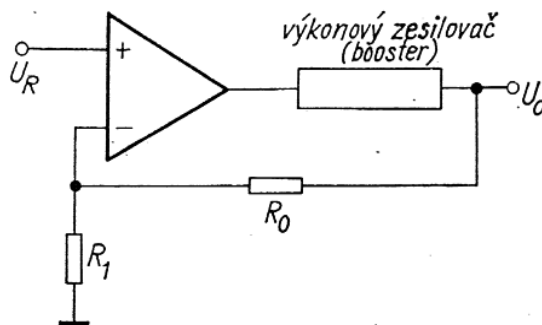
Základné zapojenie stabilizátoru napätia

Jeho zapojenie aj činnosť vychádzajú zo základného zapojenia základného zosilňovača pre zosilňovanie napätia. Výstupné napätie má opačnú polaritu ako napätie referenčného  $U_R$  a jeho veľkosť na odporoch  $R_o$  a  $R_f$  a na referenčnom napätí podľa rovnice

$$U_0 = -U_R \frac{R_o}{R_f}$$

Podmienkou je, že na výkonový zosilňovač, zaradený medzi zosilňovačom a záťažou  $R_2$  má kladný prenos, tzn., že neobracia fázu. Základné zapojenie zdroja konštantného napätia s použitím diferenčného operačného zosilňovača je na nasledujúcom obrázku. Veľkosť výstupného napätia tohto zapojenia je daná výrazom

$$U_0 = U_R \frac{R_o + R_1}{R_1}$$



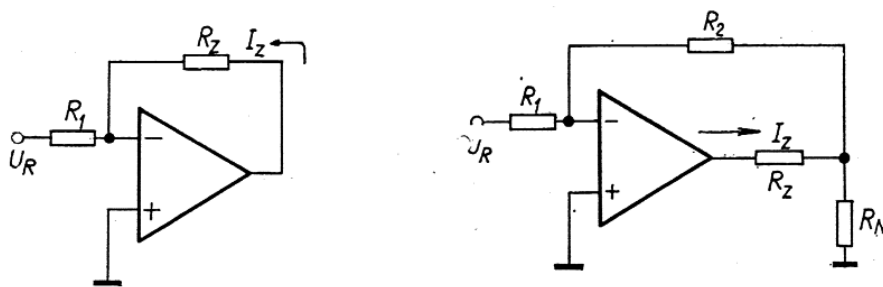
Stabilizovaný zdroj s diferenčným OZ

Pre vstupný zosilňovač platia rovnaké podmienky, ako v predošlom prípade. Podmienka rovnováhy zapojenia v tomto prípade je splnená, keď platí

$$I_z = -\frac{U_R}{R_1}$$

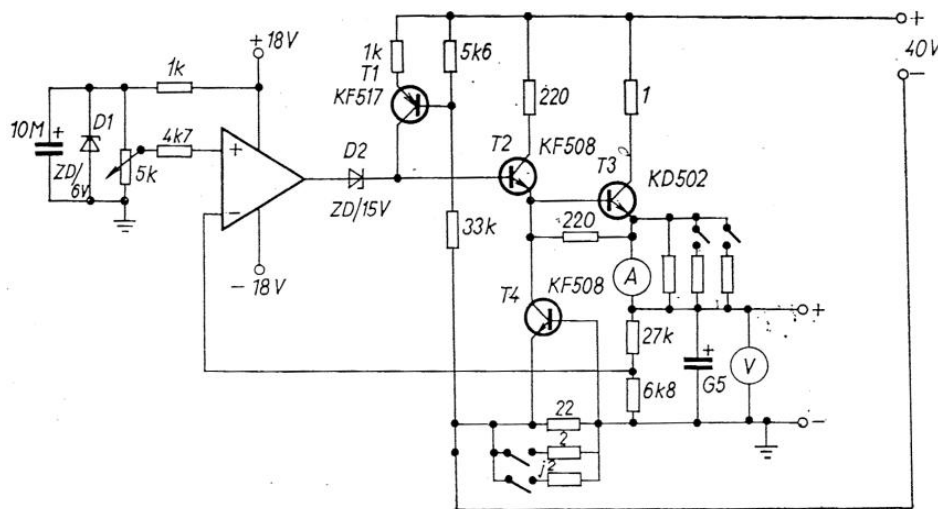
Pre vyššie hodnoty stabilizovaného prúdu je výhodnejšie nasledujúce zapojenie. Jeho prednosť v porovnaní s predošlým je hlavne v tom, že zdroje referenčného napätia zakryje len časť prúdu prechádzajúceho záťažou. Pre výpočet prvkov tohto zapojenia platia rovnice

$$I_z = -U_R \frac{R_2}{R_1} \left( \frac{1}{R_N} + \frac{1}{R_2} \right)$$



Stabilizované zdroje prúdu

Uvedené zapojenia slúžia len pre najzákladnejšiu informáciu. V závere tejto kapitoly si ukážeme z praxe ešte zapojenie laboratórneho zdroja pre napätie 0 až 30 V,



Regulovateľný stabilizovaný zdroj od 0V do 30V

Výstupný prúd záťaže je 3 A. Napätie operačného zosilňovača stabilizujeme Zenerovými diódami. Vlastný stabilizátor sa skladá zo zosilňovača regulačnej odchýlky (osadeného operačným zosilňovačom MAA 741), výkonového zosilňovača s prúdovou poistkou a zo zdroja referenčného napätia, využívajúceho diódy s nízkym teplotným súčiniteľom KZZ71.

Na vstupoch operačného zosilňovača sa porovnáva časť referenčného napätia s odvetvenou časťou napätia výstupného tak, aby rozdiel napätia medzi vstupmi bol stále nulový. Ak dosadíme do rovnice minimálnu (tj. nulovú) a maximálnu (tj. 6 V) hodnotu referenčného napätia odvetveného zo zátvoriek referenčnej diódy potenciometrom, dostaneme pri deliacom pomere spätnoväzbového deliča 5 : 1 rozsah nastavitelnosti výstupného napätia 0 až 30 V. Výstup operačného zosilňovača je posunutý o polovicu celkového rozkmitu kladným smerom pomocou Zenerovej diódy, ktorou prechádza prúd asi 5 mA zo zdroja konštantného prúdu (tranzistor  $T_1$ ). Sériový zosilňovač prúdu zaisťuje požadovaný prúdový rozsah zdroja. Elektronická poistka obmedzuje maximálny výstupný prúd na 30 mA, 300 mA alebo 3A, jednotlivé rozsahy sa prepínajú súčasne s odporovacími rozsahmi výstupného ampérmetru. Údaj ampérmetru nesúhlasí celkom presne s prúdom záťaže, lebo meradlo ukazuje hodnotu väčšiu ako prúd ktorý prechádza spätnoväzbovným deličom a výstupným voltmetrom. Najviac sa táto chyba prejavuje na rozsahu 30 mA (3% pri plnej výchylke) na ostatných rozsahoch sa chyba úmerne znižuje.

Miesto zosilňovača MAA 741 môže použiť aj starší typ zosilňovača MAA 501 až MAA 504, ak doplníme zapojenie kompenzačnými obvodmi a odporom asi 1 k $\Omega$ , zapojený medzi Zenerovu diódu  $D_2$  a výstup zosilňovača. Ak máme k dispozícii potenciometer, môže meradlo výstupného napätia nahradiť stupnice potenciometru.

## Zosilňovače s integrovanými obvodmi

Medzi základného stavebné elektronické prvky okrem elektróniek, tranzistorov, diód a tyristorov patria aj operačné zosilňovače. Operačný zosilňovač je jednosmerný rozdielový zosilňovač s dvoma symetrickými vstupmi, ktorý sa používal v elektrónkovom a neskôr aj v tranzistorovom vyhotovení. Rozvojom elektroniky sa jeho tranzistorovú verziu podarilo integrovať do jedného puzdra, čím vznikol nový prvok.

Takmer každý svetový výrobca polovodičov v súčasnosti vyrába už niekoľko rôznych typov operačných zosilňovačov (OZ). Výrobca TESLA ponúka napr. OZ radu MAA 501 až 504, MAA 725, MAA 741 a MAA 748. V aplikačných schémach kreslíme OZ ako trojuholník s tromi vývodmi: invertujúcim vstupom ( - ), neinvertujúcim vstupom (+) a výstupom. Zvyšujúce sa kladné napätie na invertujúcom vstupe vyvolá zvyšujúce sa záporné napätie a na neinvertujúcom vstupe vyvolá zvyšujúce sa kladné napätie na výstupe. Operačný zosilňovač je „symetrický“, teda pre operačné polarity vstupného napätia dostaneme opačné odozvy výstupného napätia (výstupné napätie môže nadobúdať kladné aj záporné hodnoty).

Prívody napájacieho napätia pri OZ zväčša nekreslíme: napájacie napätie je obyčajne symetrické:  $+U_N$  a  $-U_N$ . Niektoré typy OZ obsahujú pomocné výstupy pre predpísané vonkajšie kompenzačné členy (napr. MAA 501 až MAA 748). Výstupy sa kreslia len pri konkrétnych konštrukciách, pri všeobecných aplikáciách sa neberú do úvahy.

Väčšinou predpokladáme ideálne OZ, ktoré majú nasledujúce vlastnosti:

- nekonečné zosilnenie v celom frekvenčnom pásme ( $A = \infty$ ),
- nekonečnú vstupnú impedanciu ( $R_{VST} = \infty$ ),
- nulový výstupný odpor ( $R_{VYST} = 0$ ),
- nulové výstupné napätie pri skrate obidvoch vstupov na nulu (stred) napájacieho napätia,
- nulové zosilnenie súčtového signálu,
- statickú prevodovú charakteristiku  $U_3 = f(U_1)$  v tvare priamky ( $U_1$  je vstupné napätie a  $U_3$  výstupné napätie),
- fázový posun výstupného napätia vzhľadom na vstupné napätie je 0 alebo  $\pi$  v celom prenášanom frekvenčnom pásme,
- nijaký parameter nezávisí od zmien teploty a napájacieho napätia.

Výhodné je, že vo väčšie jednoduchých aplikácií možno pri návrhu pre bežné podmienky rátať s dostatočnou presnosťou a tým, že skutočný operačný zosilňovač nemá oveľa horšie vlastnosti ako idealizovaný operačný zosilňovač. Presné parametre pre daný OZ nájdeme v katalógu, orientačne však možno povedať, že v súčasnosti vyrábané OZ majú vstupný odpor bežne 50 k $\Omega$  až 2M $\Omega$ , výstupný odpor 50 až 150 $\Omega$  a zosilnenie  $A_U$  od  $10^4$  do  $10^8$ .



## Definícia niektorých základných pojmov pri OZ

V tejto časti uvedieme niektoré základné pojmy, vyskytujúce sa pri OZ.

Napät'ová nesymetria vstupov je napätie, ktoré sa musí priviesť medzi vstupné svorky, aby výstupné napätie bolo nulové.

Prúdová nesymetria vstupov je rozdiel prúdov do oboch vstupov, ak je výstupné napätie nulové.

Vstupný kľudový prúd je stredná hodnota jednosmerných prúdov pretekajúcich medzi vstupnými svorkami a zemou pri nulovom vstupnom signáli.

Vstupný napät'ový rozsah je rozsah vstupných napätí, v ktorom má OZ zabezpečené funkčné vlastnosti.

Činiteľ potlačenia súčtového signálu  $H$  je pomer vstupného napät'ového rozsahu k maximálnej zmene napät'ovej nesymetrie v tomto rozsahu.

Citlivosť na zmenu napájacieho napätia je pomer zmeny napät'ovej nesymetrie vstupov k zmene napájacieho napätia.

Maximálne diferenčné vstupné napätie je maximálne napätie, ktoré možno pripojiť na invertujúci vstup, ak je neinvertujúci vstup uzemnený.

Maximálna dovolená výkonová strata je maximálny výkon, ktorý systém OZ môže rozptýliť pri daných, špecifikovaných podmienkach (záťaž, napájacie napätie), pričom sa teplota IO nezvyší nad prípustnú hranicu.

Príkion OZ je jednosmerný príkion dodávaný do oboch vetiev napájania z jednosmerného zdroja, potrebný pre činnosť OZ pri nulovom výstupnom napätí, bez záťaže a pri danej teplote.

Priemerný teplotný súčiniteľ napät'ovej (prúdovej) nesymetrie vstupnému intervalu, v ktorom nastala zmena. Často sa označuje ako napät'ový (prúdový) drift.

Vstupný diferenčný odpor je odpor medzi vstupnou svorkou a zemou, ak druhá vstupná svorka je uzemnená.

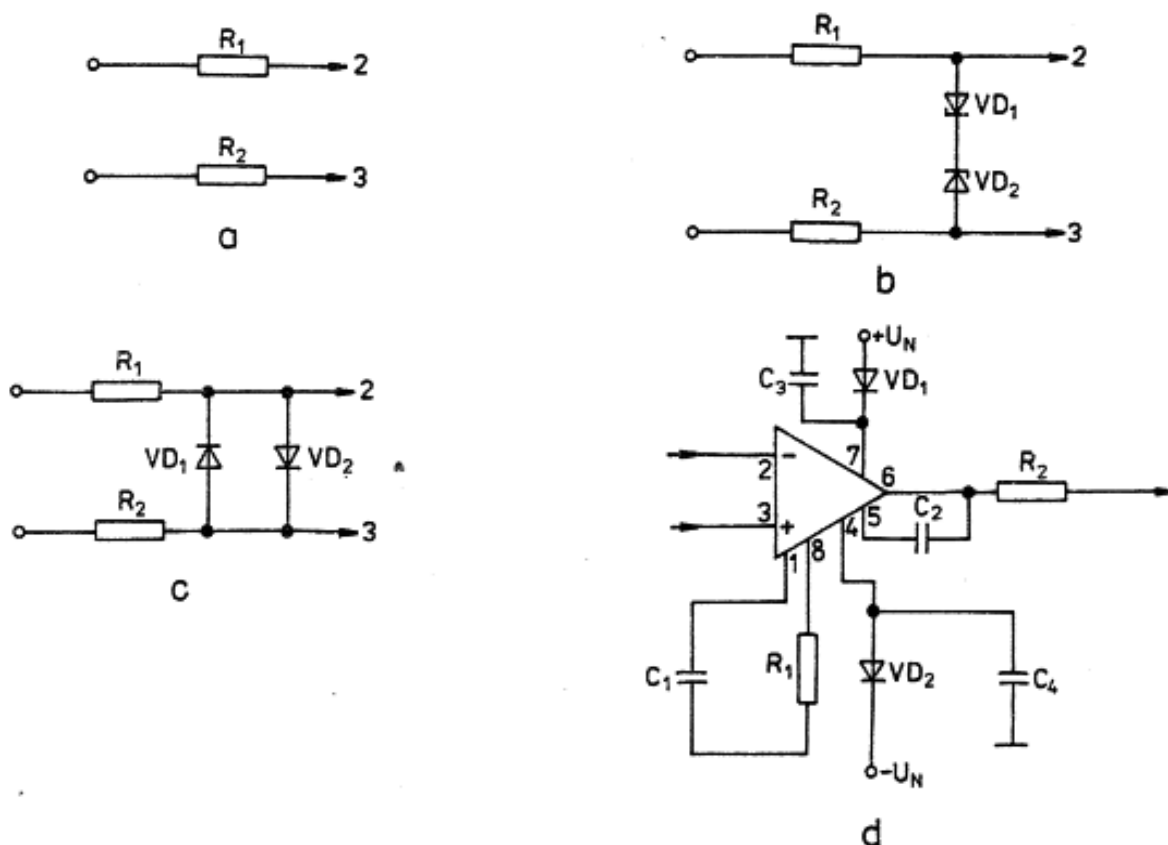
Napät'ové zosilnenie pri otvorenej slučke spätnej väzby je napät'ové zosilnenie definované pre predpísanú záťaž, napájacie napätie a maximálny prípustný neskreslený výstupný signál pri kompenzovanej napät'ovej nesymetrii vstupov.

Prechodová charakteristika je odozva OZ na skokové napätie privedené na vstup. Meria sa pri uzavretej spätnoväzbovej slučke. Pri prechodovej charakteristike definujeme čas čela výstupného napätia z 10 na 90% ustálenej hodnoty. Rovnako sa definuje aj prechodový čas výstupného napätia na ustálenú hodnotu, vyjadrený v percentách ustálenej hodnoty.

## Niektoré zásady pri používaní OZ

Výrobcovia umiestňujú OZ do rôznych puzdier, bežne používaných pri IO. Niektoré typy okrúhlych puzdier (napr. TO-5) majú kovové kryty. Kryt sa používa na tienenie a je spojený s niektorým vývodom OZ, napríklad pri typoch MAA 501, 502, 504 (výrobcom je TESLA) je kryt puzdra vodivo spojený so záporným pólom napájania, t. j. s vývodom 4. Pri konštrukčnom usporiadaní musíme rátať s touto skutočnosťou. Bežne používané operačné zosilňovače nevyžadujú prídavné chladiče. Napájanie OZ je obvyčajne symetrické ( $+U_N$  sa rovná  $-U_N$ ) a uzemňovaciu svorku a stred symetrie tvorí stred napájacieho zdroja. Napájacie napätia pre rôzne typy OZ sa líšia, avšak obvyčajne sa pohybujú v rozpätí od  $\pm 5$  do  $\pm 30$  V. V menej náročných aplikáciách na napájanie OZ možno používať aj nestabilizované napätie, pretože takmer všetky vyrábané OZ potláčajú vplyv kolísania napájacieho napätia.

Pri väčšine aplikácií OZ sa na vývody pre napájanie pripájajú ešte dodatočné filtračné kondenzátory (obr. d) a kondenzátory  $C_4$  a  $C_3$ . Ako filtračné kondenzátory sú vhodné bezindukčné keramické kondenzátory s malou kapacitou najmä v tých aplikáciách, v ktorých by sa medzi jednotlivými zosilňovacími stupňami cez obvody napájania mohli vyskytnúť väzby nf alebo vf. Ak sa zariadenie napája z batérií alebo pripojiteľného vonkajšieho zdroja, OZ možno proti zničeniu spôsobenému prepólovaním napájacieho napätia chrániť prídavnými diódami  $VD_1$  a  $VD_2$ , ktoré sa pripoja do napájacích vetiev (obr. d). V mnohých prípadoch stačí zapojiť len jednu diódu ( $VD_1$  alebo  $VD_2$ ).



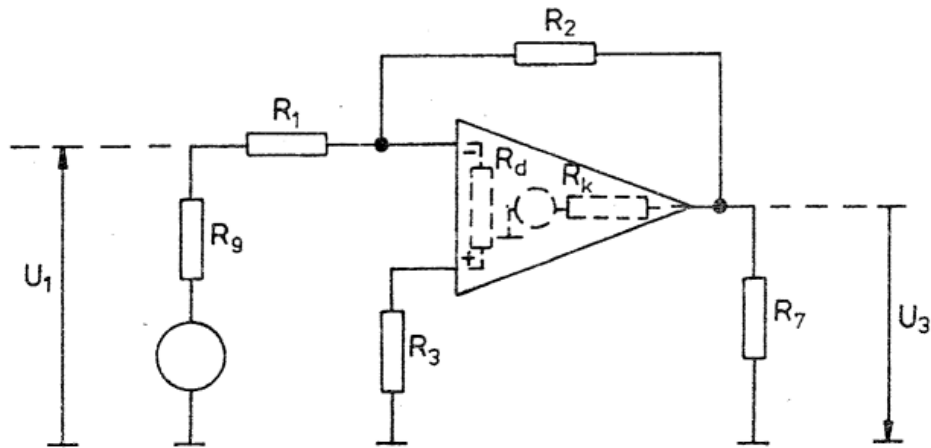
Niektorí výrobcovia pri konštrukcii OZ používajú vývody na pripojenie pasívnych súčiastok, ktoré sa zároveň používajú ako frekvenčná kompenzácia. Údaje o súčiastkach treba získať z katalógu. V často používanom OZ MAA 501 až 504 sa pre vonkajšiu kompenzáciu používajú vývody 1,5 a 8. Typické zapojenie odporúčané výrobcom je na obr. d, kompenzáciu

tvoria  $C_1$ ,  $C_2$  a  $R_1$ . Hoci sa zapojenie kompenzačných členov používa najčastejšie, v uvedenom OZ nie je však jediným možným riešením kompenzácie. Vstupy OZ sa obyčajne nechrania proti zničeniu zvýšeným vstupným napätím ochrannými obmedzovacími rezistormi  $R_1$  a  $R_2$  ako je uvedené na (obr. a), pretože rezistory by mohli nepriaznivo vplývať na funkciu OZ. Na ochranu vstupov sa najčastejšie používajú Zenerove diódy alebo kremíkové diódy v kombinácii s obmedzovacími rezistormi. Napríklad na (obr. b) je napätie na obidvoch vstupoch ohraničené veľkosťou Zenerovho napätia obidvoch diód. Pre kladnú periódu preťažovacieho napätia je určená dióda  $VD_1$ , ktorá začne plniť funkciu pri prekročení napätia  $U_z$  napätím na vstupe. Záporné napätie, ktoré by mohlo preťažiť vstupy, obmedzuje dióda  $VD_2$ . Funkčne podobné je antiparalelné zapojenie dvoch kremíkových diód  $VD_1$  a  $VD_2$  na (obr. c). Využíva skutočnosť, že kremíkovou diódou do napätia asi 0,7 V preteká zanedbateľný prúd. Na takto chránené vstupy možno teda priviesť napätie maximálne +0,7 V, vyššie napätie sa obmedzí diódami. Pri konkrétnom návrhu si treba uvedomiť, že na obr. b a c ochrannými diódami pri prekročení maximálneho vstupného napätia preteká „plný“ prúd.

Podľa charakteru zdroja signálu pre OZ aj v tomto prípade musíme použiť rezistory, ktorými sa prúd obmedzí na hodnotu, pri ktorej sa nepoškodia diódy. Vstupy OZ teoreticky možno chrániť aj tak, že Zenerove alebo kremíkové diódy zapojíme medzi vstupy a nulový potenciál zdroja (zem). Táto alternatíva sa však v praxi zriedka používa. Operačný zosilňovač sa na výstupe chráni pro skratu zaradením malého sériového ochranného obmedzovacieho rezistora, obyčajne s hodnotou 47  $\Omega$  až 1k $\Omega$  (podľa charakteru záťaže a podľa toho, či skrat má trvalý alebo len impulzový charakter). Ak spätnú väzbu pripájame z výstupu na vstup, spätnoväzbovú impedanciu pripojíme až za obmedzovací rezistor. V aplikáciách, v ktorých sa uplatňuje výstupný odpor OZ, k výstupnému odporu musíme pripočítať hodnotu rezistora  $R_2$  (obr d)

## **Invertujúci OZ**

Invertujúci OZ je jedným zo základných zapojení OZ. Invertujúci sa nazýva preto, lebo výstupné napätie  $U_3$  má proti vstupnému napätiu opačné znamienko a je fázovo posunuté o 180°. Invertujúci zosilňovač je v danom prípade symetrický z hľadiska vstupu aj výstupu. Môže pracovať s kladným alebo záporným vstupným napätím a na výstupe je ako ozva záporné alebo kladné napätie. Veľkosť výstupného napätia je úmerná vstupnému napätiu a zosilneniu  $A_u$ , ktoré je dané veľkosťou spätnej väzby. Hraničné hodnoty vstupného a výstupného napätia sú dané katalógovými údajmi príslušného OZ. Podstata činnosti zosilňovača je rovnaká pre jednosmerný a striedavý signál až po hraničnú frekvenciu použitého OZ. Základné zapojenie invertujúceho OZ je na obrázku. Vlastnosti zapojenia sú v prípade ideálneho OZ určené len hodnotami rezistorov  $R_1$  a  $R_2$ , ktoré určujú veľkosť zápornej spätnej väzby. Invertujúci zosilňovač sa správa ako takmer ideálny zdroj napätia. Táto vlastnosť sa využíva aj v zapojeniach elektronických referenčných zdrojov.



Invertujúci operačný zosilňovač

Ak predpokladáme ideálny OZ (má nekonečné zosilnenie, nekonečný vstupný odpor nulový výstupný odpor), potom pre zosilnenie invertujúceho zosilňovača platí

$$A = \frac{U_3}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

pričom predpokladáme, že vnútorný odpor  $R_1$ . V opačnom prípade odpor  $R_g$  treba brať do úvahy, pretože priamo ovplyvňuje zosilnenie invertujúceho stupňa OZ

$$A = -\frac{R_2}{R_1 + R_g}$$

Vstupný odpor invertujúceho OZ sa pri zjednodušených podmienkach ideálneho OZ približne rovná hodnote rezistora  $R_1$ . Výstupný odpor pri ideálnom OZ s nekonečným zosilnením by bol nulový.

$$R_{\text{výst}} = \frac{R_K}{A_{\text{SK}}} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

kde R je vstupný uvedený v katalógu,

$A_{\text{SK}}$ — skutočné napät'ové zosilnenie použitého OZ. Výstupný odpor zapojenia je relatívne malý. Rezistorom  $R_1$  sa kompenzuje nesymetria vstupov OZ a volí sa podľa vzťahu

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Vo väčšine aplikácií sa používa rezistor  $R_2$  s hodnotou oveľa väčšou ako je hodnota rezistora  $R_1$ . Predchádzajúci vzťah sa potom zjednoduší a platí

$$R_3 = R_1$$

Uvedme konkrétny príklad. Požadujeme zosilnenie  $A = 40 \text{ dB}$  pri  $R_g = 0$ . Zvolíme  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ , potom  $R_2 = A \cdot R_1 = 100 \text{ k}\Omega$  a  $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ . Vstupný odpor je približne  $1 \text{ k}\Omega$ . Ak použijeme napr. MAA 501 a  $U_N = \pm 15 \text{ V}$ , maximálne vstupné napätie je  $\pm 140 \text{ mV}$  a maximálne výstupné napätie  $U_3 = \pm 14 \text{ V}$ . Ak typická napät'ová nesymetria na vstupe je  $2 \text{ mV}$ , prejaví sa táto vlastnosť na výstupe ako možná odchýlka s hodnotou  $200 \text{ mV}$ , čo pri výstupnom napätí napr.  $10 \text{ V}$  predstavuje  $2\%$  zmenu. Zmenu možno zmenšiť dodatočnou kompenzáciou napät'ovej nesymetrie vstupov niektorým zo spôsobov, opísaných v predchádzajúcej stati.

## Spočítací zosilňovač

Invertujúci zosilňovač možno použiť aj vo funkcii spočítacieho alebo sumačného zosilňovača. Vlastnosti invertujúceho zosilňovača zostávajú nezmenené, výstupné napätie má opačné znamienko ako vstupné napätie. Prenos spočítacieho zosilňovača podľa obrázku :

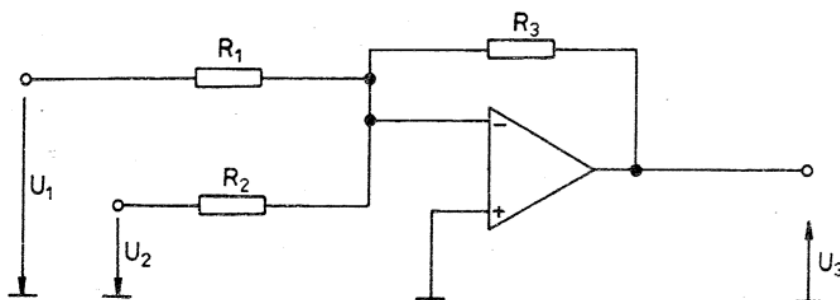
$$U_3 = -R_3 \left( \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} \right)$$

pričom môže pracovať aj vtedy, ak vstupy majú rôznu „váhu“ (v praxi je to rôzna hodnota rezistorov  $R_1$  a  $R_2$ ). Možno použiť aj väčšie množstvo vstupov a každé napätie sa môže zosilňovať rôzne a spočítavať v závislosti od toho, ako zvolíme hodnotu príslušného vstupného rezistora podľa vzťahu

$$U_3 = -R_3 \left( \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right)$$

kde  $U_n$  je vstupné napätie na  $n$ -tom vstupe,

$R_n$  — rezistor zapojený rovnako ako  $R_1$  alebo  $R_2$  v  $n$ -tom vstupe OZ.



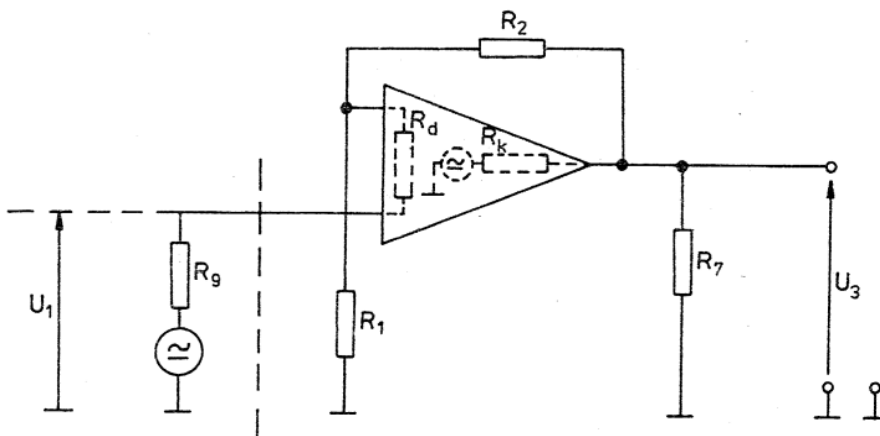
Sčítací zosilňovač

Podobne ako pri invertujúcom zosilňovači, aj v uvedenom prípade musíme vždy brať do úvahy aj vnútorný odpor zdrojov napätí  $U_1, U_2, \dots, U_n$ , ktorý treba pripočítať k hodnote rezistorov  $R_1, R_2, \dots, R_n$ .

## Neinvertujúce zosilňovače

Neinvertujúci zosilňovač je jedno zo základných zapojení OZ. Výstupné napätie proti vstupnému napätiu nie je fázovo posunuté, teda fázový posun ideálneho zapojenia neinvertujúceho OZ je 0. Výstupné napätie má rovnakú polaritu ako vstupné napätie a zvyšuje smerom ku kladným hodnotám, výstupné napätie sa zvyšuje tiež ku kladným hodnotám. Pre opačnú polaritu vstupného napätia platí to isté tvrdenie. Ak sa na vstupe OZ zvyšuje napätie smerom k záporným hodnotám, rovnakým spôsobom sa zvyšuje aj napätie na výstupe. Zapojenie je dokonale symetrické, pracuje rovnako pri zápornom aj kladnom vstupnom signáli a jednosmernom aj striedavom napätí až po hraničnú frekvenciu použitého OZ. Ak predpokladáme ideálny OZ, pri ktorom sa zosilnenie približuje k nekonečnej hodnote, jeho vstupný odpor je nekonečný a výstupný odpor je nulový. Zosilnenie neinvertujúceho stupňa

$$A = \frac{U_3}{U_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$



Neinvertujúci zosilňovač

Ak skutočné zosilnenie  $A$  OZ proti zvolenému zosilneniu stupňa  $A$  nemožno zanedbať, zosilnenie neinvertujúceho stupňa  $A$  musíme redukovať podľa v'ahu

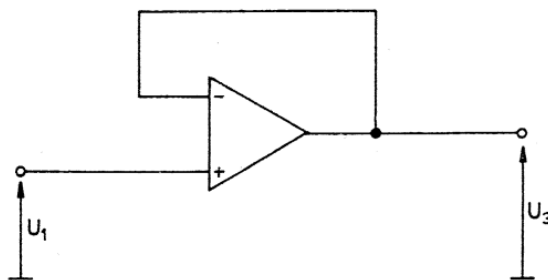
$$A = \frac{A_{SK}}{1 + A_{SK} \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

Vstupný odpor uvedeného zapojenia neinvertujúceho OZ

$$R_{vst} = \frac{A_{sk} R_d}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

teda pri ideálnom OZ sa blíži k nekonečnej hodnote. V praxi  $R_{vst}$  predstavuje desiatky megaohmov. Ako praktický príklad zapojenia na porovnanie zvolíme opäť rovnaké podmienky ako v prípade invertujúceho zosilňovača, teda zosilnenie  $A = 40$  dB, OZ typu MAA 501, napájanie  $U_N = \pm 15$  V. Hodnotu rezistora  $R_1$  zvolíme  $100\Omega$ . Odpor rezistora  $R_2$  vypočítame z uvedených vzťahov ( $R_2 = 10$  k $\Omega$ ). Vstupný odpor zapojenia je približne  $30$  M $\Omega$ . Typický vstupný kludový prúd (závisí od použitého OZ) je  $0,3$   $\mu$  A. Maximálne vstupné napätie  $U_1$  pri nulovom odpore generátora môže nadobúdať hodnotu  $\pm 140$  mV. Pri uvedenom zapojení OZ sa nepriamo uplatňuje prúdová nesymetria vstupov, ktorú môže nepriamo ovplyvniť aj vnútorný odpor generátora. Vo výpočte tento odpor treba spočítať s hodnotou rezistora  $R_1$ .

Jeden z variantov zapojení neinvertujúceho OZ je na obrázku, kde sa hodnoty rezistorov  $R_1$  a  $R_2$  rovnajú nule. Zapojenie sa používa ako



Impedančný prispôbovací člen

impedančný oddeľovací člen, pretože má veľký vstupný odpor (desiatky megaohmov), zosilnenie 1, teoretický fázový posun 0, výstupný odpor sa blíži k 0. Zapojenie sa správa ako zdroj konštantného výstupného napätia, ktoré je priamo úmerné vstupnému napätiu. Dovoľený zaťažovací odpor je určený použitým typom OZ.

## Diferenčný zosilňovač

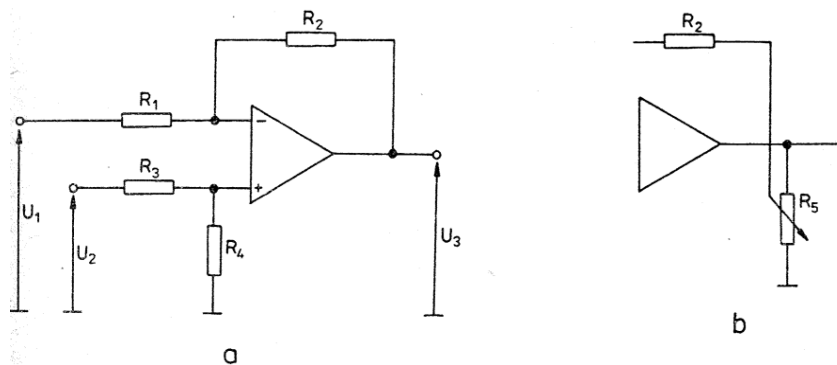
Na obrázku je symetrické zapojenie diferenčného (rozdielového) zosilňovača, ktoré pracuje pri jednosmerných aj striedavých vstupných signáloch. Výstupné napätie  $U_3$  je superpozíciou príspevkov čiastkových vstupných napätí  $U_1$  a  $U_2$  a prenos zapojenia je určený vzťahom

$$U_3 = (U_2 - U_1) A$$

kde  $A$  je zosilnenie uvedeného stupňa.  
Zosilnenie možno vyjadriť vzťahom

$$A = \frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$$

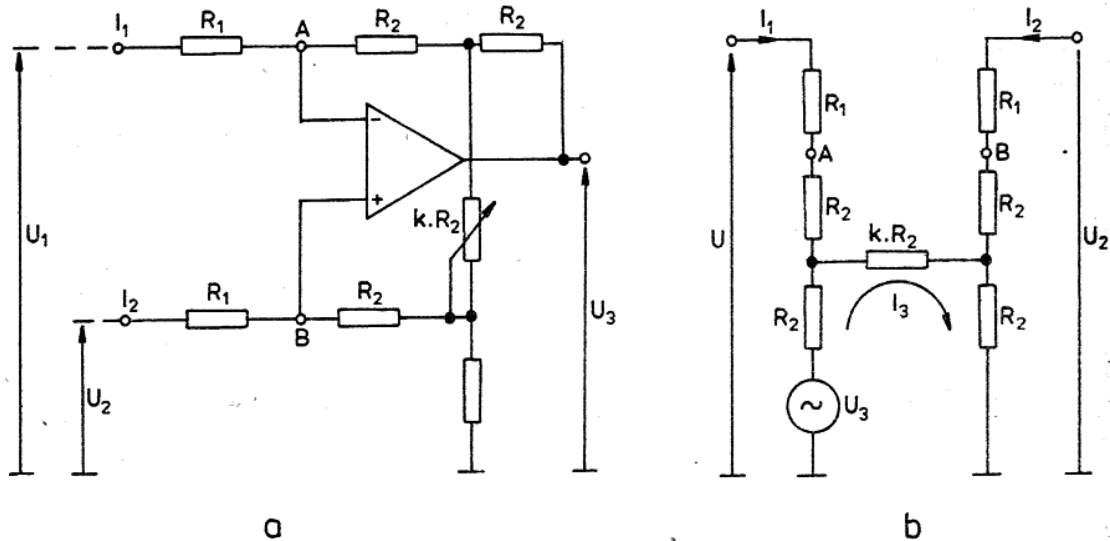
Pričom vzťah medzi hodnotami rezistorov  $R_1$  a  $R_4$  sa určuje ich vzájomným pomerom tak, aby sa zachovala symetrickosť zapojenia. Táto podmienka sa v praxi obyčajne dodržiava. Ak je pomer odporov rôzny, rôzne je aj zosilnenie každého vstupu. Ak je zapojenie skutočne symetrické a na obidva vstupy privedieme signály s rovnakým napätím a fázou, výstupné napätie musí byť nulové. Prípadnú nesymetriu môže spôsobovať OZ alebo nepresnosť voľby hodnôt rezistorov  $R_1$  až  $R_4$ . Pretože zosilnenie nemožno dostatočne zmeniť zmenou niektorého z uvedených odporov (možnosť porušenia symetrie zapojenia), regulačný potenciometer zosilnenia  $R_5$  sa zapája podľa obrázku b. Pri zmene hodnoty rezistora  $R_5$  sa nemení nijaká vlastnosť diferenčného stupňa. Pri zosilňovaní malých signálov je ďalšou výhodou, že jeden z koncov potenciometra  $R_5$  je uzemnený.



Diferenčný zosilňovač

V zapojení sa vo vzťahu pre zosilnenie  $A$  uplatňujú vnútorné odpory zdrojov napätí  $U_1$  a  $U_2$ . Ich hodnoty treba pripočítať k hodnotám rezistorov  $R_1$  a  $R_3$ . Iné zapojenie diferenčného stupňa s jedným OZ s možnosťou zmeny zisku jedným prvkom je na obrázku a. Jeho prenos a funkciu možno určiť z náhradnej schémy na obrázku b. Zjednodušený výpočet podľa schémy vychádza z predpokladu, že rozdiely vstupných napätí a teda aj rozdiely napätí v bodoch A, B sú malé a prúdy do vstupov zosilňovača možno zanedbať.





Diferenčný zosilňovač s reguláciou zosilnenia

Potom

$$-R_1 I_1 = U_2 - R_1 I_2$$

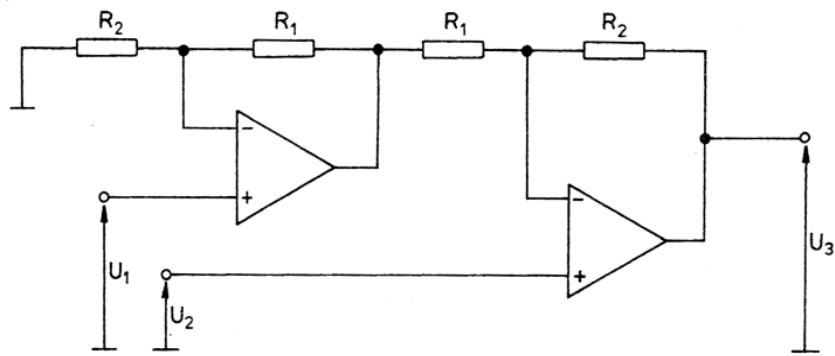
a prenos

$$U_3 = \frac{2R_2}{R_1} \left( 1 + \frac{1}{k} \right) (U_2 - U_1)$$

Kde  $k$  je činiteľ, ktorý určuje koľkokrát je odpor potenciometra väčší ako odpor rezistora  $R_2$ . Uvedené zapojenia nie sú vhodné pre náročnejšie aplikácie. Obyčajne sa pre ne používajú zapojenia s väčším počtom aktívnych prvkov, zväčša s niekoľkými OZ. V tomto prípade sa dosiahne veľký vstupný odpor rádu desiatok megaohmov, ktorý je obyčajne oveľa väčší ako vnútorný odpor zdrojov napätí  $U_1$  a  $U_2$ . Aj pri tomto zapojení sa volí symetrické zapojenie. Pre prenos platí vzťah:

$$U_3 = (U_2 - U_1) \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

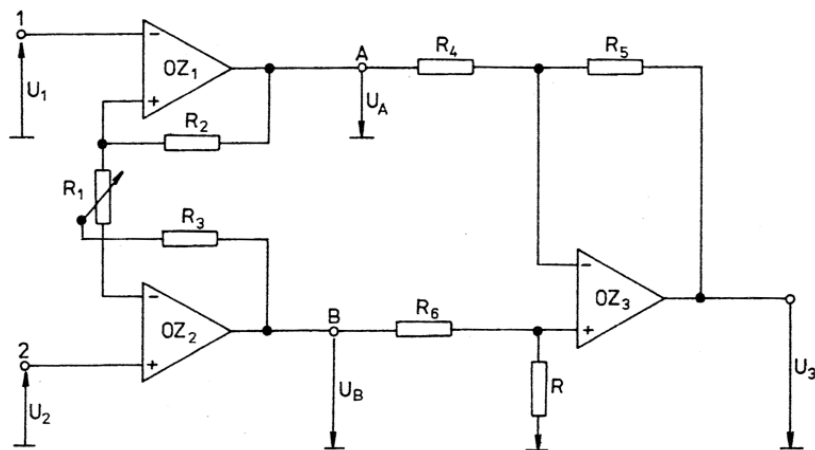
V uvedenom zapojení nemožno plynulo meniť zisk jedným nastavovacím prvkom. Medzi najdokonalejšie diferenčné zosilňovače patria varianty, ktoré sa v literatúre niekedy označujú ako *prístrojové zosilňovače*. Existuje niekoľko desiatok rôznych zapojení. Základné prístrojové zosilňovače si uvedieme neskôr.



Diferenčný zosilňovač s veľkým vstupným odporom

V bode A je napätie

$$U_A = U_1 \frac{R_1 + R_2}{R_1} - U_2 \frac{R_2}{R_1}$$



Prístrojový zosilňovač

V bode B je napätie

$$U_B = U_2 \frac{R_1 + R_3}{R_1} - U_1 \frac{R_3}{R_1}$$

Ak  $R_2 = R_3$  a  $R_4 = R_5 = R_6 = R_7$ , pre výsledný prenos platí

$$U_3 = U_B - U_A = (U_2 - U_1) \left( 1 + \frac{2R_2}{R_1} \right)$$

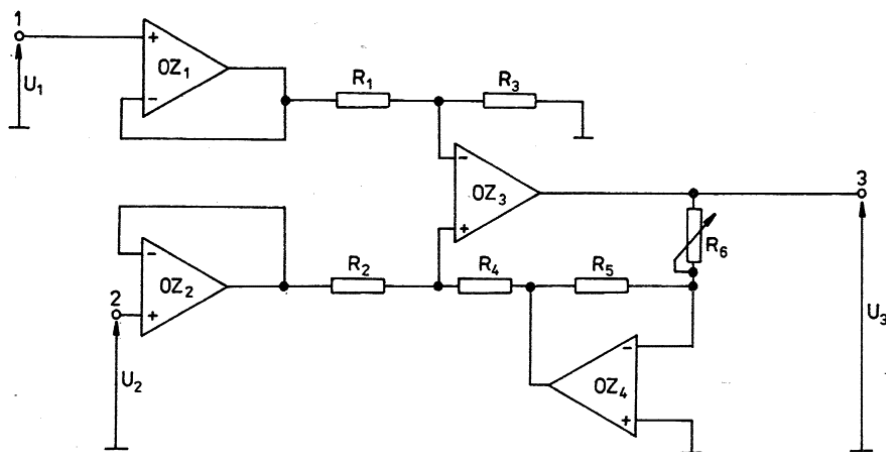
Výhodou zapojenia je veľký vstupný odpor rádu desiatok megaohmov a možnosť riadiť zisk jediným rezistorom  $R_1$ . Súčtovú chybu, ktorá vznikne nesymetriou použitých súčiastok, možno v zapojení kompenzovať experimentálnou zmenou hodnoty rezistora  $R_7$ . Ďalší variant prístrojového zosilňovača má podobné vlastnosti ako prístrojový zosilňovač z predchádzajúceho obrázku. Veľký vstupný odpor zapojenia zabezpečujú OZ<sub>1</sub> a OZ<sub>2</sub>, ktoré sú zapojené ako zosilňovače. Zmenou nastavovacieho prvku  $R_6$  v OZ<sub>4</sub> možno meniť zisk celého zapojenia, pričom symetria a súčtová chyba zostávajú konštantné. Ak  $R_1 = R_2 = R_3$  a  $R_4 = R_5 = R_6$ , pre prenos platí:

$$U_3 = \frac{R_6}{R_5} (U_1 - U_2)$$

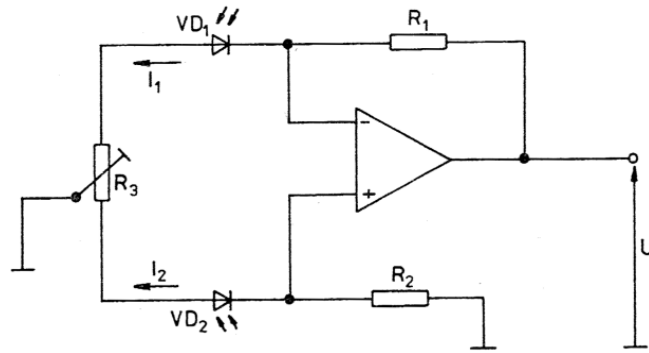
Zapojenie na umožňuje vyhodnocovať rozdiel medzi dvoma svetelnými tokmi  $\Phi_1$  a  $\Phi_2$  (dopadajúce na dve fotodiódy VD<sub>1</sub> a VD<sub>2</sub>) ako zmenu výstupného napätia  $U_3$ . Elektrický prenos zapojenia vypočítame rovnako ako pri základnom zapojení OZ s tým rozdielom, že vstupné napätie určíme zo vzťahu

$$U_1 = R_3 (I_2 - I_1)$$

Teraz uvedieme výhody tohto zapojenia. Ak pre meranie úrovne svetlo – tma máme k dispozícii len jeden fotoelektrický prvok, musí za zosilňovačom prúdu (prúd je úmerný svetlu) nasledovať ešte napäťový komparátor. V zapojení uvedený rozhodovací člen odpadá. Zapojenie „rozozná“ tmu alebo svetlo podľa svetelného toku dopadajúceho na obidva snímače a zapojenie potom na výstupe OZ produkuje kladné alebo záporné napätie  $U_3$



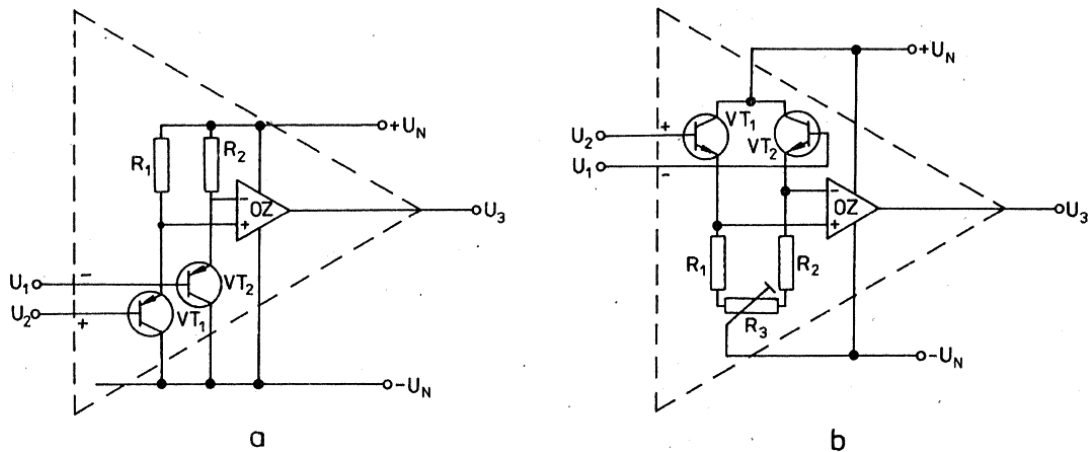
Variant diferenčného prístrojového zosilňovača



Fotoelektrický diferenčný zosilňovač

### Odvody na zväčšenie vstupnej impedancie OZ, elektrometrické zosilňovače

Vstupnú impedanciu OZ možno zväčšiť pripojením dvoch symetrických zapojených tranzistorových sledovačov na jeho vstupné svorky. Na celok sa potom pozeráme ako na upravený („nový“) OZ, ktorého vstupmi sú vstupy (bázy) tranzistorov  $VT_1$  a  $VT_2$ . Tento upravený OZ možno použiť v ľubovoľných aplikáciách, pričom spätné väzby a pasívne prvky pripájame na novovzniknuté vstupy (na bázy tranzistorov). Zapojenie však nadobúda význam skôr tam, kde potrebujeme spracúvať signály s väčšími úrovňami (rádu jednotiek voltov), ktoré by mohli poškodiť pôvodné vstupy OZ.



Obvod na zväčšenie vstupnej impedancie OZ

Na obrázku sú dve ekvivalentné zapojenia. Zapojenie na obr. a obsahuje tranzistory PNP typu BFX 36 a OZ typu  $\mu\text{A}$  710 ( $R_1 = R_2 = 62 \text{ k}\Omega$ ). Obidva tranzistory by mali rovnaký zosilňovací činiteľ. V druhom zapojení sú použité tranzistory NPN typu BFY 81 ( $R_1 = R_2 = 62\Omega$ ) a navyše je pripojený rezistor  $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ , ktorý sa používa na vyrovnanie symetrie obidvoch tranzistorov emitorového sledovača.

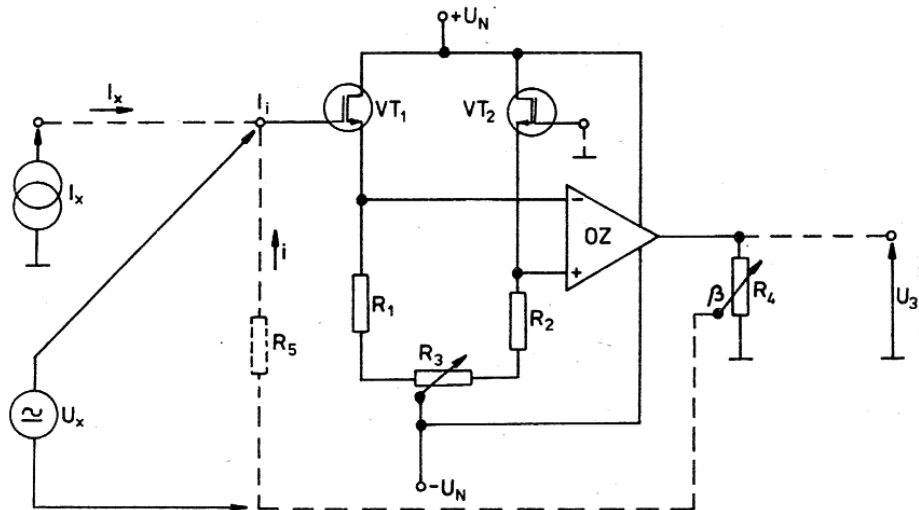
Podstatné zväčšenie vstupnej impedancie môžeme dosiahnuť tým, že tranzistory z predchádzajúceho zapojenia nahradíme tranzistorom typu **MOSFET**. Dostaneme zosilňovač, ktorý už možno nazvať *elektrometrický zosilňovač*. Možno ho používať na meranie alebo zosilňovanie napätia bez zaťaženia zdroja signálu, alebo na meranie a zosilňovanie extrémne malých prúdov v rozpätí  $10^{-9}$  až  $10^{-16}$  A. Tento zosilňovač z hľadiska stability, veľkosti a ďalších parametrov dosahuje lepšie vlastnosti ako predtým používané elektrónkové elektrometrické zosilňovače. Elektrometrická elektrónka bola zväčša špeciálne konštruovaná trióda. Na vylúčenie zvodových odporov a zabráneniu vplyvu relatívne vysokého napájacieho napätia malá trióda vyvedenú mriežku na čiapočku (namiesto na päťicu).

Pri konštrukcii elektrometrického zosilňovača s OZ musíme rátať aj so zvodovými odpormi. Avšak vzhľadom na používanie sklenených laminátov na platniach plošných spojov a nízke napájacie napätia sú problémy so súčasnými elektrometrickými zosilňovačmi s OZ menšie. Pri konštrukcii treba navrhnuť také rozmiestnenie súčiastok, aby zvodové odpory boli čo najmenšie. Treba zohľadniť aj to, že pri zosilňovaní extrémne malých prúdov, alebo pri meraní elektrických potenciálov sa na plochách izolantov vnášajú do merania chyby. Chyby vznikajú na základe javov, ktoré v bežnej elektronike vôbec neberieme do úvahy (napr. termoelektrické napätie vznikajúce na vývodoch puzdra OZ, polarizácia oxidovej vrstvy v elektrickom poli pri tranzistoroch MOSFET, ktorá spôsobuje, že kolektorový prúd sa ustáľuje až po niekoľkých desiatkach minút po zapnutí a pod.).

Elektrometrický OZ je veľmi potrebná elektronická súčiastka, preto sa vyrába ako integrovaný hybridný obvod – obidva tranzistory MOSFET a operačný zosilňovač sú uložené v jednom puzdre. U nás sa vyrábajú nasledujúce typy (výrobca TESLA Lanškroun):

- WSH 217 so vstupným prúdom asi 5 pA,
- WSH 220 so vstupným prúdom asi 5 pA a dynamickými parametrami ako MAA 741,
- WSH 218 so vstupným prúdom asi 1 pA,
- WSH 219 so vstupným prúdom asi 0,2 pA a dynamickými parametrami ako MAA 725,
- WSH 223 pre extrémne malé prúdy rádu  $10^{-14}$  A.

Elektrometrický zosilňovač možno amatérsky zhotoviť z OZ a dvoch tranzistorov MOS podľa nasledujúcej schémy.



OZ s trázistorom MOS ako elektrometrický zosilňovač

Elektrometrický zosilňovač možno použiť ako zosilňovač prúdu alebo napätia. Zmenou hodnoty rezistora  $R_3$  v oboch prípadoch pri nulovom vstupnom napätí nastavujeme nulové výstupné napätie. Zosilnené napätie  $U_x$  privádzame paralelne k rezistoru  $R_5$ , pričom hodnota rezistora má byť väčšia ako hodnota vnútorného odporu zdroja zosilňovaného alebo meraného napätia  $U_x$ . Hodnota vstupného odporu elektrometrického stupňa musí byť podstatne väčšia, ako hodnota rezistora  $R_5$ , aby prípadné zmeny vnútorného odporu počas prevádzky neovplyvňovali prenos celého stupňa.

Pre prenos platí vzťah :

$$U_3 = \frac{A}{1 + \beta A} U_x \doteq \frac{1}{\beta} U_x$$

kde  $\beta$  je určené nastavením potenciometra  $R_4$  v spätnej väzbe,  $A$  – zosilnenie OZ.

Výstupné napätie  $U_3$  nezávisí od zosilnenia OZ vtedy, ak je súčin zosilnenia  $A$  a činiteľa  $\beta$  oveľa väčší ako 1.

Hlavnou nevýhodou zapojenia elektrometrického zosilňovača napätia je to, že zosilňované napätie nemôže mať uzemnený ani jeden z oboch pólov.

Elektrometrický zosilňovač môže zosilňovať (prípadne merať) aj malé prúdy  $I_x$  môže byť uzemnený. Zapojenie sa spáva ako prevodník prúd – napätie a jeho hlavnou prednosťou je meranie a zosilňovanie prúdu bez rušivého úbytku v obvode meraného prúdu.

Ak je vstupný odpor elektrometrického stupňa oveľa väčší, ako odpor rezistora  $R_5$ , zosilňovaný prúd  $I_x$  vyvolá na rezistore  $R_5$  spád napätia. Ak za  $U_x$  dosadíme vzťah  $I_x R_5$ , tak vzťahy odvodené pre merania napätia platia aj pre meranie prúdu.

Pre prenos prúdu potom platí:

$$U_3 = -\frac{1}{\beta} I_x R_5$$

Meranie a zosilňovanie prúdu je menej presné ako meranie a zosilňovanie napätia, pretože závisí od stálosti odporu rezistora  $R_5$  (pri hodnote  $10^9$  až  $10^{15} \Omega$  má už rezistor veľký drift). Pri veľkom odpore rezistora  $R_5$  sa nevhodne zväčšuje aj časová konštanta, ktorá vzniká súčinom  $R_5$  a parazitnej kapacity prívodov celého stupňa, a predlžuje čas ustálenia výstupného napätia  $U_3$ .

## Tranzistorové zosilňovače

Každé elektronické zariadenie sa obyčajne skladá z viacerých elektronických obvodov. Konštruktér zariadenia funkciu obvodov zväčša nevymýšľa, ale zostavuje známe a preverené obvody do celkov tak, aby získal zariadenie s požadovanou kvalitou. Obvody teda tvoria akési stavebné celky. Na základe skúseností konštruktér vyberá obvody, ktoré majú pre požadovanú aplikáciu najlepšie vlastnosti z hľadiska výsledných parametrov, ceny, stability alebo niektorých ďalších vlastností. Pri vývoji nových elektronických zariadení sa zameriava iba na riešenie tých častí, ktoré sa doteraz neriešili, alebo ak chce zlepšiť ich funkciu a parametre, pričom sa často zaoberá s pôvodnými riešeniami a môže sa stať autorom nového obvodu, ktorého zapojenie možno patentovať. Ostatné známe obvody nemusia byť známe konštruktérovi, preto kvalitný návrh konštruktéra (profesionála alebo amatéra) je vždy určený jeho skúsenosťami a informovanosťou. V odbore elektronika existuje dnes veľké množstvo súčiastok a obvodov. Nemožno ich uviesť v jednom lexikóne, ktorý by sa dal používať podobne ako kuchárska kniha. Prirovnanie s kuchárskou knihou je výstižné, pretože problematika spomenutého diela sa jej mnohom podobá.

Každý skúsený konštruktér elektronických zariadení si zhromažďuje, triedi a eviduje informácie o obvodoch. Informácie získava štúdiom odbornej literatúry, kontaktom s ďalšími konštruktérmi a vlastnými skúsenosťami. Pri niektorých záujmových činnostiach často vystačíme s príručkou starou niekoľko rokov a zvyšok určuje len naša zručnosť a vytrvalosť. V amatérskej elektronike musíme získané skúsenosti neustále novelizovať. Ako možno osvedčené zapojenia zhromažďovať, triediť a evidovať? Každý má na túto otázku inú odpoveď a volí iný spôsob, pričom rozhodujúci je stupeň zaujatia, možnosť získavania informácií a cieľ, ktorý chceme dosiahnuť. Rozhodujúce sú aj vlastnosti amatéra – jeho pamäť, starostlivosť, finančné a bytové pomery atď. Niektorí zhromažďujú knihy a časopisy a často nevie, čo je v nich napísané, druhý ma dokonalú kartotéku. V súčasnosti možno na tieto účely použiť aj výpočtovú techniku a informácie získavať v centrálnych bankách dát. Konštruktérom prichádzajú na pomoc redakcie odbornej literatúry, ktoré pod názvom Zaujímavé zapojenia, Kuchárka atď. vydávajú súbory elektronických obvodov. Jedna z najznámejších kníh s týmto zameraním je aj americká publikácia autora Johna Markusa a kol.: *Electronics Circuits Reference Manual*, ktorá ma viac ako 1200 strán uvádza vyše 3000 elektronických obvodov, rozdelených asi do sto špecializovaných kapitol. V knihe sú príspevky mnohých spolupracovníkov redakcie, ktorí študujú literatúru s celého sveta. Avšak aj táto kniha obsahuje len malú časť používaných elektronických obvodov.

Výhodné je zostaviť si vlastný receptár obvodov, ktorý získame vystrihovaním článkov, obstarávaním kópií a kreslením všetkých zaujímavých obvodov, ktoré doplníme krátkym opisom obvodov. Výstrižky a kópie nalepujeme na listy rovnakého formátu (obyčajne A4) a s náčrtkami ich zakladáme do zaraďovačov. Roztriedime ich podľa druhu, napr. na ZDROJE, ZOSILŇOVAČE NF, ZOSILŇOVAČE VF, MAGNETOFÓNY, VSTUPNÉ OBVODY PRIJÍMAČOV, ELEKTORNIKA V DOMÁCNOSTI a pod.

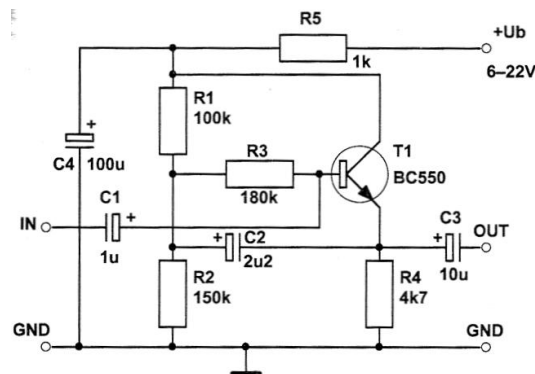
Výber obvodov možno doplniť článkami z časopisov, ktoré uverejňuje redakcia Amatérského rádia v rade B pre konštruktérov.

Nasledujúca časť sa nebude zaoberať parametrami zosilňovačov, vzorcami a výpočtami. Tie boli vysvetlené v predchádzajúcej časti zaoberajúcej sa zosilňovačmi z integrovaných obvodov. Táto časť je zameraná na konkrétne schematické zapojenia zosilňovačov s použitím



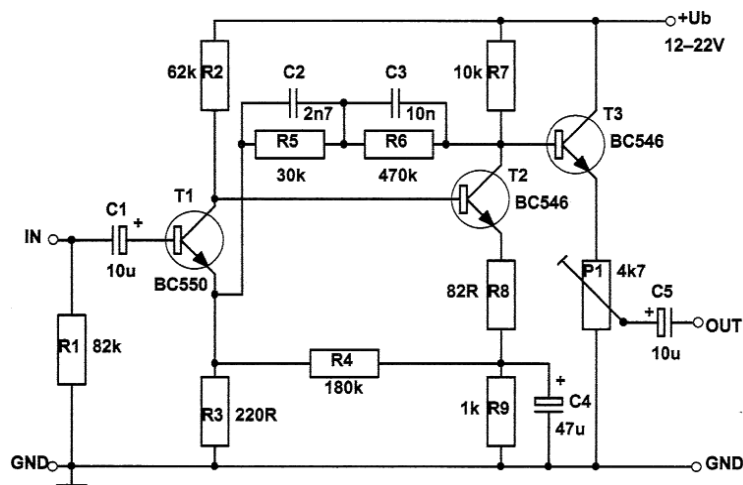
tranzistorov. Niektoré zapojenia obsahujú aj operačné zosilňovače. V takýchto typoch zosilňovačov sa OZ používajú predovšetkým vo vstupných častiach obvodov a výkonové časti sú tvorené výstupnými tranzistormi. Ak sa v zapojeniach používajú len tranzistory, označujú sa ako celo tranzistorové zosilňovače.

Jednostupňový lineárny predzosilňovač tvorí predo všetkých funkciou impedančného prevodníka. Na vstupe je impedancia približne  $2\text{M}\Omega$ . Používa sa pre pripojenie kryštálového mikrofónu, alebo krištáľovej gramofónovej prenosky.



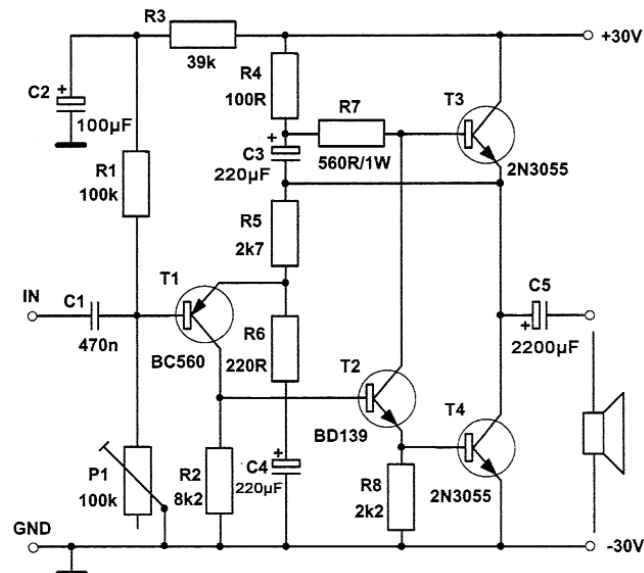
Jednostupňový lineárny predzosilňovač

Predzosilňovač s charakteristikou RIAA má za úlohu korigovať signál z gramofónovej prenosky. Je to z dôvodu dosiahnutia väčšieho odstupu užitočného signálu od šumu.



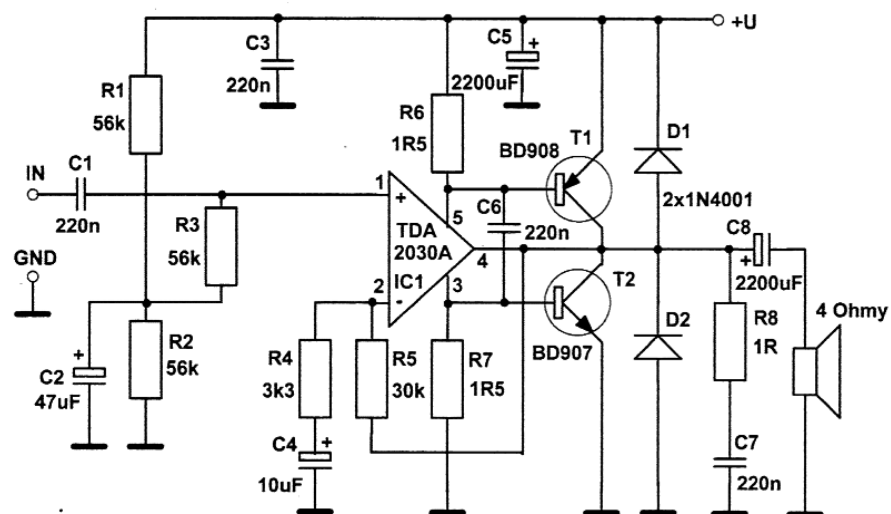
Korekčný predzosilňovač RIAA

Na nasledujúcom obrázku je schéma celotranzistorového zosilňovača pracujúceho v triede A. Vyznačuje sa značnou jednoduchosťou a širokou možnosťou použitia súčiastok pre jeho zhotovenie. Tranzistory pracujúce v triede A majú nulové prechodové skreslenie oproti typom v triede B, alebo AB. Nevýhodou je nízka účinnosť a vyššia tepelná strata výstupných výkonových tranzistorov.



Výkonový zosilňovač v tride A

Následujúce zapojenie má na vstupe operačný zosilňovač a na výstupe výkonové tranzistory. OZ v značnej miere zjednodušuje schému a zabezpečuje pre zosilňovač ochranu proti skratu na výstupe a teplotnú ochranu proti prehriatiu.



Tranzistorový zosilňovač s OZ