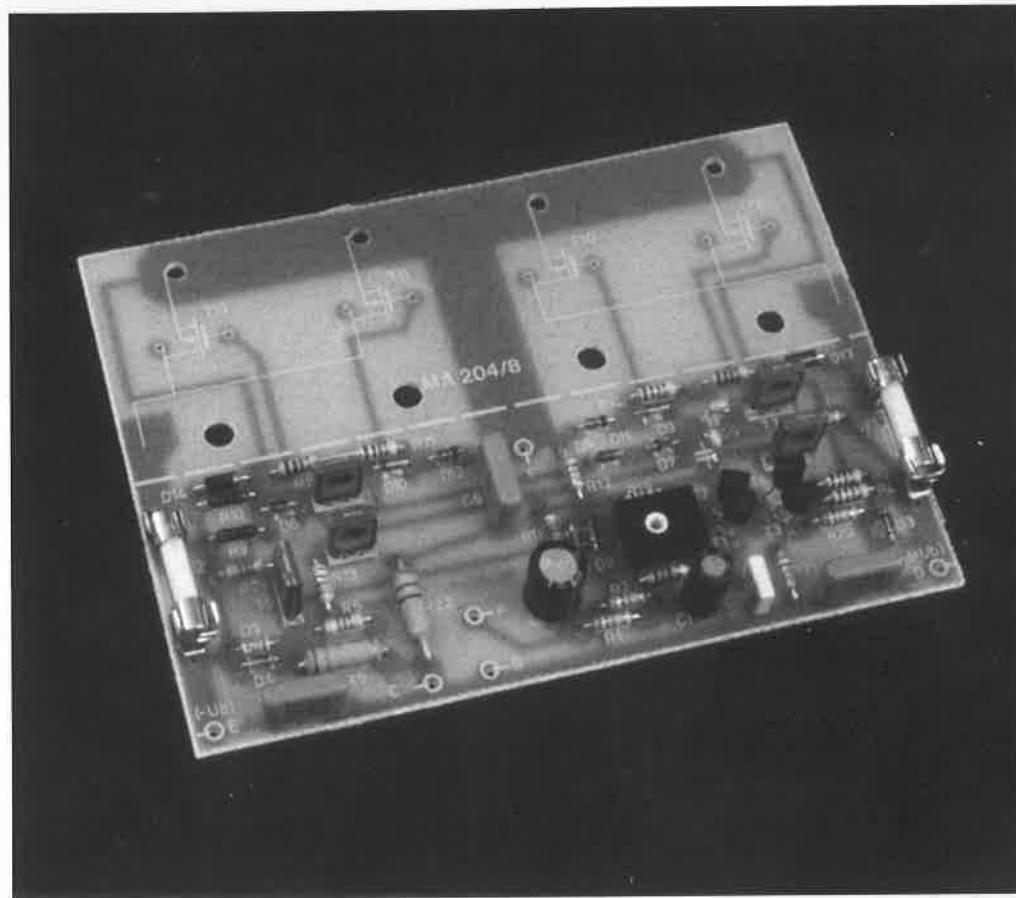


zlastna pojačala novijih izvedbi sa samozatvornim izlaznim tranzistorima s efektom polja predstavljaju optimum jednostavnosti izvedbe s jedne strane i kvalitete reprodukcije s druge strane. Konstrukcija sklopa je dokraja racionalizirana uklanjanjem električkih komponenti koje nisu nužne za rad pojačala, a koje su se mogle naći u starijim izvedbama takvih pojačala. Međutim, najveća pažnja posvećena zatvaranju kruga vrlo jake negativne reakcije. Čitateljima s malo više iskustva u elektronici već je zasigurno dobro poznato da je kvaliteta prijenosnih karakteristika audiopojačala izrazito usko povezana s pojmom jačine negativne reakcije. Zatvaranjem kruga jače negativne reakcije proporcionalno se proširuje prijenosno frekvencijsko područje pojačala unutar kojega je i amplitudna i fazna karakteristika pojačala linearna, umanjuju se izlazni naponi smetnji, umanjuje se veličina harmoničkih i intermodulacijskih nelinearnih izobličenja a povećava se faktor prigušenja. Konačan uspjeh konstrukcije sklopa pojačala ovisit će prema tomu praktički najviše o optimalnom zatvaranju kruga negativne reakcije.

Električka shema pojačala (crtež 1) već na prvi pogled privlači pažnju jednostavnosti izvedbe. Ulazni tonski signal dovodi se preko priključnica A i B na ulaz pojačala. Pojačalo snage je izvedeno kao protutaktno simetrično pojačalo s diferencijalnim ulazom gdje nam diferencijalno ulazno pojačalo s jedne strane pruža mogućnost jednostavnog uključivanja reakcijskog napona negativne reakcije u krug ulaznog signala, a s druge mogućnost podešavanja izlaznog posmičnog napona (trimerskim potenciometrom P1). Ulazni signal se u tom smislu dovodi na bazu tranzistora T1, a signal negativne reakcije na bazu tranzistora T2. Pojačani simetrični signal vodi se na ulaz stupnja s tranzistorima u spoju zajedničke baze (T3, T4) da bi se postigla veća naponska opteretivost ulaznog stupnja. Pojačani tonski signal vodi se s kolektora tranzistora T3 i T4 na ulaz drugog diferencijalnog pojačala (T6, T7) koje zajedno s tranzistorima T8 i T9 čini simetrični stupanj za pobudu izlaznih tranzistora T10-T13. Pobudni stupanj izведен je tranzistorima visoke naponske opteretivosti, a radna točka mu je postavljena duboko u A klasu. Radna točka izlaznih tranzistora postavljana je diodama D7 i D8 u AB klasu uz posebnu napomenu da zahtjevniji graditelji mogu ugraditi u seriju i treću diodu jednakih karakteristika povećavajući na taj način mirnu struju odvoda izlaznih tranzistora. Uz malo jače zagrijavanje izlaznih tranzistora na ovaj se način postavlja radna točka izlaznih tranzistora u još linearnejne područje prijenosne karakteristike.

Ugradnjom razdjelnih otpornika R14-R17 sprečava se samooskulacija u inače vrlo osjetljivom izlaznom stupnju pojačala. Izlazni tonski signal pojavljuje se na priključnici F u odnosu na nulti pol napajanja.

Pojačalo snage je na više načina zaštićeno od pojave eventualnog kvara ili kratkog



Izlazno pojačalo snage 100 W s MOSFET izlaznim tranzistorima (2)

DVOSTRUKO JAČE

Odgovarajući na brojne upite naših čitatelja u svezi opisa pojačala snage 50 W s MOSFET izlaznim tranzistorima, koje smo objavili u MAJSTORU 12/95. prikazujemo detaljniji opis jačeg pojačala jednake konstrukcije.

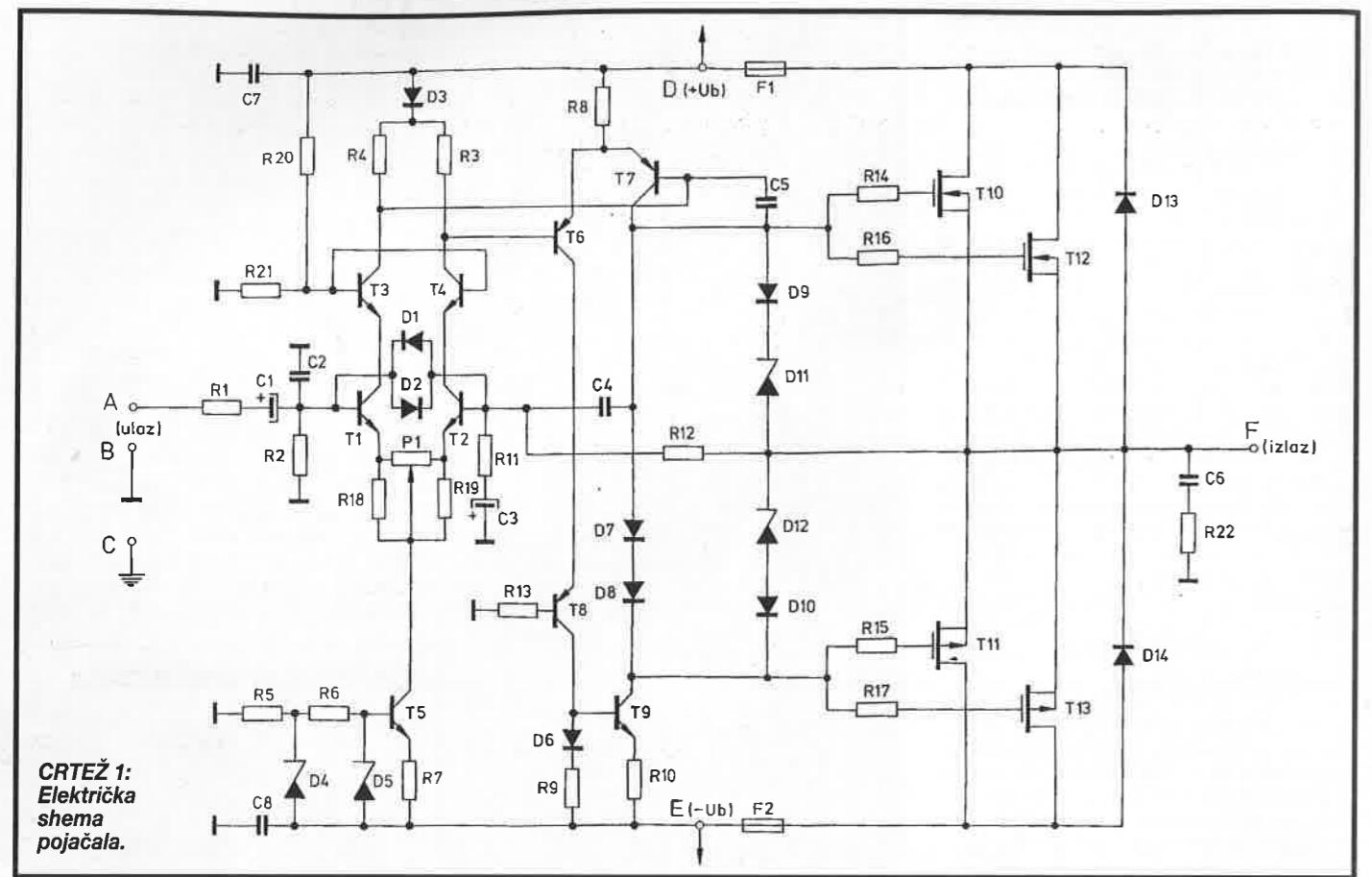
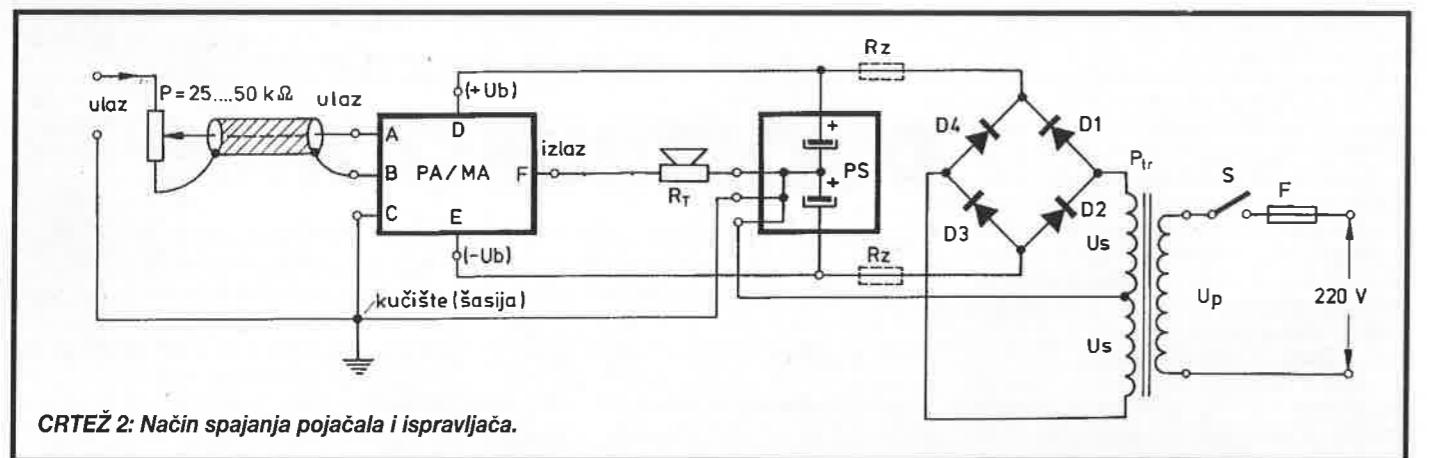
spoja u izlazu. Osjetljivi ulazni stupanj zaštićen je od pojave povratnog istosmjernog napona diodama D1 i D2, za razliku od izlaznog dijela gdje diode D9-D12 u slučaju probude ili kratkog spoja ograničavaju struju odvoda izlaznih tranzistora.

U uvjetima dugotrajnog kratkog spoja ili u slučaju pojave većeg istosmjernog napona na izlazu pojačala pregorjet će jedna od osigurača (F1 ili F2) i sačuvati pojačalo, odnosno zvučnik od oštećenja. Pojačalo je zaštićeno od nepoželjnih utjecaja induktivnih opterećenja reverzno polariziranim diodama D13 i D14. Zbog vrlo jake negativne reakcije pojačalo je u izvornoj izvedbi vrlo osjetljivo na kapacitivna opterećenja. Ta se osjetljivost umanjuje ugradnjom kapaciteta C4 i C5 uz neznatan pad brzine porasta signala. Član RC na izlazu pojačala (R22, C6) osigurava nominalno radno opterećenje pojačala i pri najvišim frekvencijama izvan tonfrek-

vencijskog područja ili u uvjetima kad na pojačalo nije priključen zvučnik.

Pojačalo daje nominalnu sinusoidnu snagu od 100 W na opterećenju 8Ω . Pri konstrukciji pojačala nije se težilo nekim egzoteričnim prijenosnim karakteristikama jer se takva pojačala izvode u sasvim drugoj tehnici. Odnos signal/šum od 100 dB, harmoničko izobličenje manje od 0,01 posto (100 W, 1 kHz), brzina porasta od kojih $10 \text{ V}/\mu\text{s}$, faktor prigušenja veći od 200 i linearnost amplitudne karakteristike ($\pm 0,5 \text{ dB}$, 20 Hz - 20 kHz) udovoljiti će željama i zahtjevnijih audiofila. Graditelji malo većih zahtjeva mogu, međutim, na jednostavan način izvesti pojačalo još kvalitetnijih karakteristika. Što je potrebno uraditi u tu svrhu pojasnit ćemo poslije.

Pojačalo se napaja iz dvostranog simetričnog ispravljača istosmjernog napona $U_b = 55 \text{ V}$. Način spajanja pojačala i ispravljača prikazan je na crtežu 2. Koristi se transformator snage $P_{tr} = 200 \text{ VA}$ inapona >

CRTEŽ 1:
Električka
shema
pojačala.

CRTEŽ 2: Način spajanja pojačala i ispravljača.

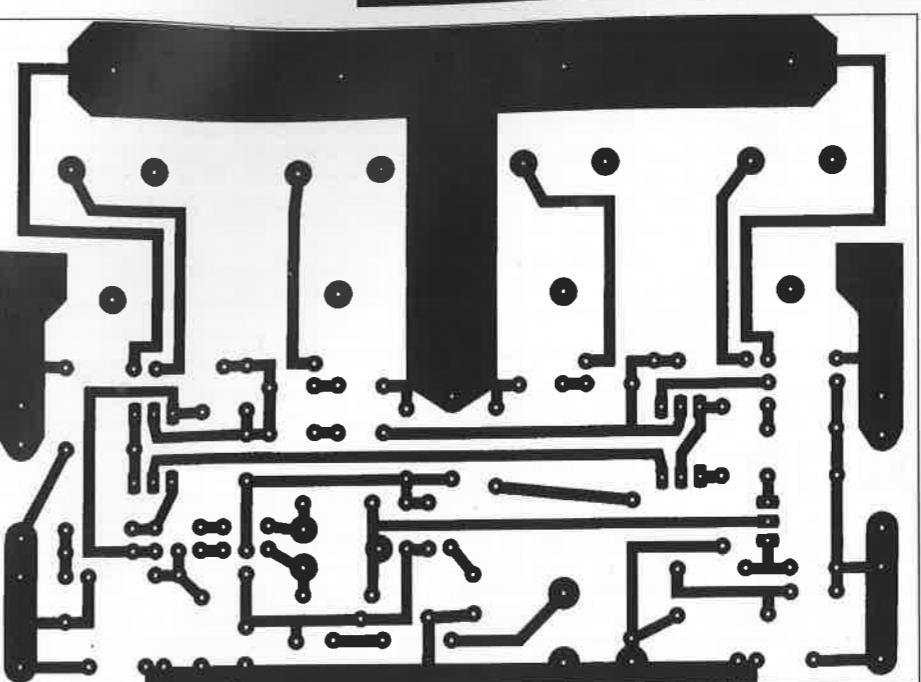
DVOSTRUJKO JAČE

> sekundarnog narmotaja $U_s = 2 \times 39 V_{eff}$ u praznom hodu. Transformator je zaštitni osiguračem $F=1,6A$. U ispravljač se ugrađuju ispravljačke diode u tzv. gretz spoju nazine struje 10 A i nazivnog napona 125 V ili više. Ispravljački elektroliti trebaju imati što veći kapacitet ($10,000 \mu F$) i odgovarajući radni napon ($63V$ ili više). Za stereopojačalo (2 modula) potrebno je ugraditi dvostruko jači mrežni transformator i malo jači mrežni osigurač ($F=3,15A$). Za gradnju stereo-pojačala preporučujemo izvesti dva potpuno odvojena ispravljača, po jedan za svaki kanal pojačala snage. Napon napajanja dovodi se na pojačalo preko

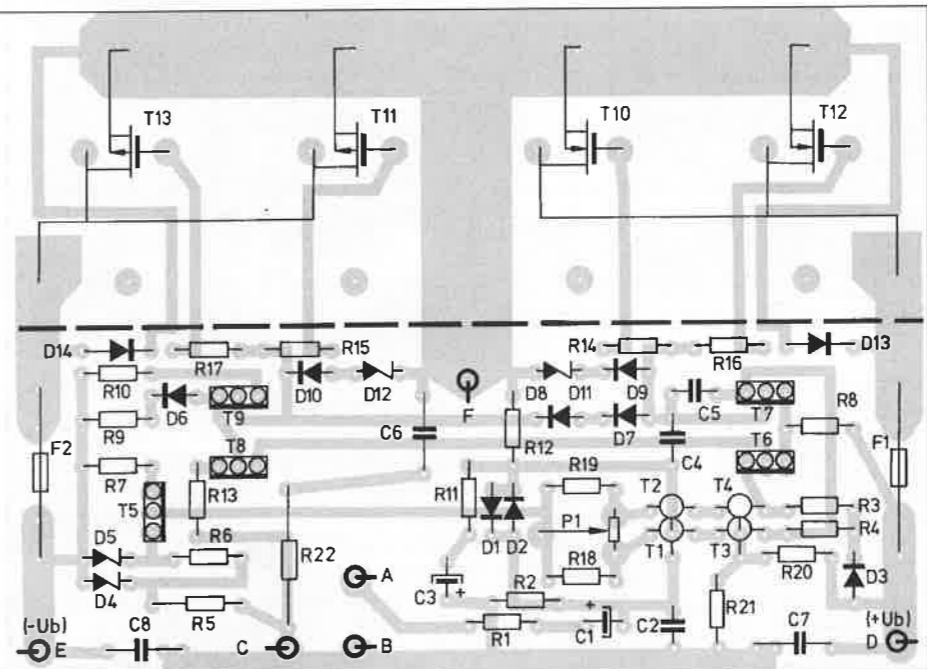
priklučnica D i E, gdje priključnica C uzemljuje pojačalo na nulti potencijal (masu kućišta). Pri probnom ispitivanju ispravnosti pojačala treba spojiti na ispravljač preko zaštitnih otpora ($R_z = 100\Omega / 10W$). Nakon provjere ispravnosti pojačala ovi se otpornici uklanjuju i pojačalo se priključuje izravno na ispravljač. Na bloku shemi načina spajanja pojačala i ispravljača prikazan je na ulazu pojačala i potenciometar za podešavanje glasnoće, odnosno ulazne osjetljivosti. Takav potenciometar ugraduje se samo u posebnim okolnostima (aktivni zvučnički sustavi itd.) pa ga u izvedbe jednostavnijih kućnih stereo-Hi-Fi pojačala ne treba ugraditi. Nacrt tiskane pločice i nacrt rasporeda elemenata za opisano

pojačalo prikazani su na crtežu 3. Tiskana pločica je izvedena tako da se izlazni tranzistori i odvodnik topline izrađeni od kutnog aluminijskog profila mogu ugraditi izravno na pločicu. Dakako, za to vam je potrebna silikonska pasta i odgovarajući izolatori za ugradnju tranzistora. Nazine vrijednosti i oznake elektroničkih komponenti navedene su u popisu materijala. Ako nije drukčije naznačeno opteretivost otpornika su $0,25 W$.

Zahtjevniji graditelji mogu ugraditi metal-slojne otpornike, a umjesto običnih elektrolytskih kondenzatora na mjesto ugradnje kapaciteta $C1$ i $C3$ mogu ugraditi kvalitetnije bipolarne elektrolytske kondenzatore. Izlazne tranzistore ne treba uparivati jer se



CRTEŽ 3: Nacrt tiskane pločice i nacrt rasporeda elemenata.



porasta signala, odnosno s popularno nazvanom *brzinom pojačala*. Izlazni tranzistori u MOSFET izvedbi imaju relativno vrlo velik ulazni kapacitet. Brzina porasta signala na izlazu pojačala ovisi najviše o brzini punjenja tih kapaciteta. Brzina punjenja ulaznih kapaciteta izlaznih tranzistora s druge je strane neposredno ovisna o struci punjenja koju može dati pobudni stupanj. Maksimalna struja punjenja je zbog simetrične pobude jednak otprilike dvostrukoj vrijednosti radne struje. Brzina porasta signala od $10 V/\mu s$ razmjerno je mala i zahtjevni audiofilii redovito traže da pojačala snage imaju brzinu porasta od najmanje $20 V/\mu s$. Međutim, već smo spomenuli da izvorna konstrukcija nije bila namijenjena gradnji pojačala najviše klase, već je ponuđena da se na što jednostavniji način postignu neke optimalno zamisljene prijenosne karakteristike. Zahtjevni graditelji mogu u vrlo jednostavan način višestruko povećati brzinu porasta. Proporcionalnim smanjenjem veličine otpora

POTREBAN MATERIJAL

R1 = 27 kΩ	C1 = 10 μF/50V
R2 = 27 kΩ	C2 = 220 pF
R3 = 1,5 kΩ	C3 = 100 μF/50V
R4 = 1,5 kΩ	C4 = 10 pF/200V
R5 = 18 kΩ/0,5W	C5 = 10 pF/200V
R6 = 4,7 kΩ	C6 = 33 nF/250V
R7 = 4,7 kΩ	C7 = 47 nF/250V
R8 = 68 Ω	D1-D2=D3= 1N4148
R9 = 150 Ω	D4 = ZPD 10
R10 = 150 Ω	D5 = ZPD 4,7
R11 = 470 Ω	D6-D7=D8= 1N4148
R12 = 27 kΩ	D9-D10= 1N4148
R13 = 150 Ω	D11=D12= ZPD 4,7
R14 = 1 kΩ	D13=D14= 1N 4005
R15 = 1 kΩ	T1 = T2 = BC 550 B
R16 = 1 kΩ	T3 = T4 = BC 546 B
R17 = 1 kΩ	T5 = BF 469
R18 = 68 Ω	T6 = T7 = BF 470
R19 = 68 Ω	T8 = BF 470
R20 = 27 kΩ	T9 = BF 469
R21 = 27 kΩ	T10-T12 = 2SK 135
R22 = 10 Ω/1,5 W	T11-T13 = 2SJ 50
P1 = 100 Ω	P2 = 2,5 A

R8, R9 i R10 povećava se radna struja pobudnog stupnja pa se može postići dvostruka, trostruka ili još veća brzina porasta signala. Valja istaknuti da u tom slučaju treba smanjiti veličinu kapaciteta C4 i C5 jer i oni na određeni način utječu na brzinu porasta signala na izlazu pojačala. Pojačalo će na taj način biti malo osjetljivije na kapacitivno opterećenje što pokazuje da se promjena svojstava pojačala u jednom području istodobno odražava na sasvim drugom području.

Pri razmatranju brzine porasta signala ne smije se zaboraviti niti na neke druge konstrukcijske detalje. Porastom radne struje tranzistora T6 - T9 znatno će se jače

DVOSTRUKO JAČE

> zagrijavati tranzistori pa je u svrhu izvedbe pojačala s posebno visokom brzinom porasta signala preporučljivo ugraditi malo jače pobudne tranzistore (T6 = T7 = T8 = MJE 350 i T9 = MJE 340).

Pojačalo snage koje smo upravo opisali predviđeno je u svojoj izvornoj izvedbi za priključak zvučnika impedancije 4Ω . Međutim, u slučaju potrebe, graditelj može na vrlo jednostavan način prilagoditi pojačalo

za priključak zvučnika impedancije 4Ω . Potrebno je samo smanjiti napon napajanja na $U_b = \pm 40$ V i izmijeniti nazivne vrijednosti manjeg broja električnih komponenti ($R1 = 47 \text{ k}\Omega$, $R5 = 15 \text{ k}\Omega/0,5 \text{ W}$, $D11 = D12 = ZPD 6,8$ te $F1 = F2 = 3,15 \text{ A}$). Ulazna osjetljivost pojačala ostat će u tom slučaju jednaka ($U_{ul} = 1 \text{ V}_{eff}$). Ako želite izmijeniti i ulaznu osjetljivost pojačala to možete napraviti promjenom veličine otpora $R1$ ili promjenom jačine negativne reakcije mijenjajući veličinu otpora $R11$. Pritom se,

dakako, ne smije zaboraviti da se promjenom faktora jačine negativne reakcije mijenjuju i sve ostale karakteristike pojačala.

Sigurni smo da će i ova izvedba svojom jednostavnosću i kvalitetom reprodukcije pojačala zainteresirati naše samograditelje te preostaje samo da svima koji se odluče na gradnju ovakvog pojačala poželimo uspjeh.

Pripremio

mr. Dubravko Miklin, dipl. ing.
Laboratorij za elektroakustičke uređaje,
Zagreb.

Nov postupak izrade tiskanih pločica

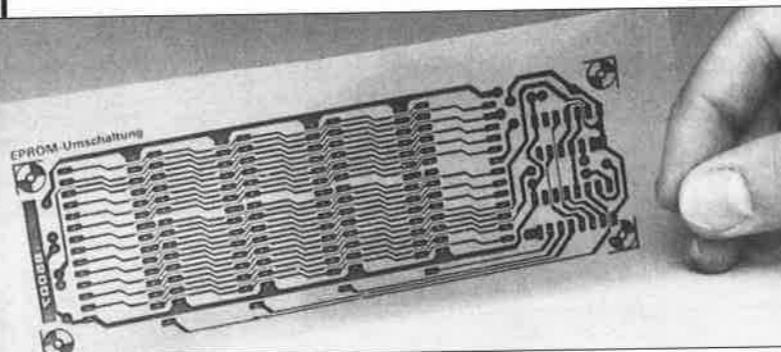
TRANSFER-FOLIJA

Tiskane pločice mogu se izradivati na nekoliko različitih načina. Metoda izrade ovisi o željenoj kvaliteti gotovih pločica, količini i cijeni. Pri pojedinačnoj i maloserijskoj izradi tiskane se pločice najčešće izrađuju fotopostupkom, a u posljednje vrijeme i tzv. transfer postupkom. Ovaj postupak najnovijeg je datuma i razlikuje se od svih dosadašnjih. Najprije se na specijalnu foliju debljine 0,1 mm pomoću standardnog fotokopirnog aparata prekopira izgled tiskane pločice. Zapravo, fotokopiranjem se

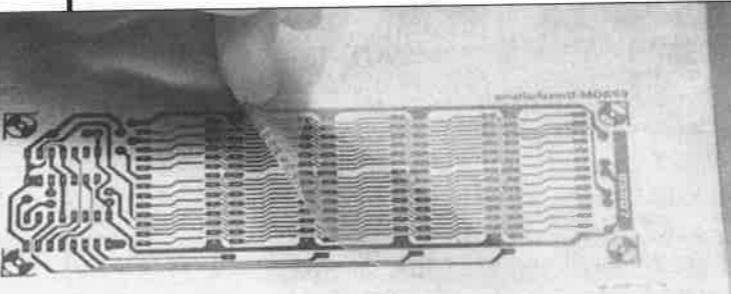
na foliju nanosi boja (toner) koja se u slijedećoj fazi izrade mora prenijeti na bakrenu površinu buduće pločice. Toplinskom obradom boja s folije prelazi na bakrenu površinu i tu sada čini sloj otporan na otopinu za jetkanje.

Zahvaljujući transfer-foliji pojednostavljuje se izrada tiskanih pločica tako da se sad pločica može napraviti u samo nekoliko radnih operacija. Postupak je slijedeći:

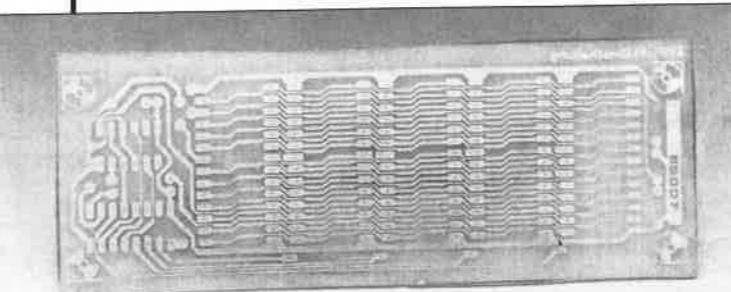
- željeni predložak izgleda vodova fotokopira se na foliju pomoću normalnog fotokopirnog aparata
- bakrenu površinu pločice treba dobro očistiti, a zatim na nju pomoću dva mala komadića ljepljive trake pričvrstiti foliju i to tako da boja (toner) dode sa strane bakra
- pločica se na pogodan način zagrije na otprilike 140°C , a zatim se gumenim valjkom (dobro će poslužiti onaj koji se



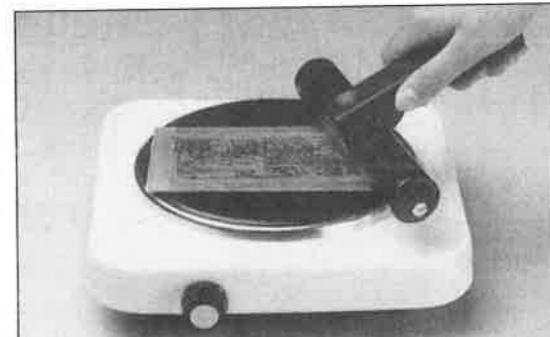
Predložak se fotokopira na foliji običnim fotokopirnim uređajem.



Kad se pločica ohladi pažljivo skinite foliju.



Nakon jetkanja dobit ćete kvalitetnu tiskanu pločicu.



Pločicu treba zagrijati na 140°C a zatim prieći nekoliko puta umjerenoj pritiskom valjkom preko folije.

koristi u fotolaboratoriju), nekoliko puta uz umjereni pritisak prijeđe preko folije

- ovako obradenu pločicu treba ohladiti, a foliju polagano skinuti
- ako je potrebno treba napraviti korekciju otiska, najjednostavnije vodootpornim flomasterom, nakon čega se pločica stavlja u otopinu za jetkanje
- vrijeme jetkanja bakra ovisi o vrsti jetkala i samom tehnološkom postupku, a ako su sve prethodne radnje dobro izvedene kvaliteta gotove tiskane pločice bit će potpuno zadovoljavajuća.

Pločicu je najlakše zagrijati na potrebnu temperaturu uz pomoć glaćala i to tako da se temperatura glaćala podesi na pamuk, a glaćalo okrene radnom plohom prema gore. Na glaćalo zatim postavite pločicu koja se za otprilike dvije minute zagrije na potrebnu temperaturu.

Za proces jetkanja preporučuje se otopina solne kiseline, vodikovog superoksida i vode. Otopina se spravlja od:

- 770 ml vode
- 200 ml solne kiseline koncentracije 30 posto
- 30 ml vodikovog superoksida koncentracije 30 posto.

OPREZ!

Solna kiselina i vodikov superoksid vrlo su agresivni i opasni tekućine pa je pri rukovanju potreban najveći oprez.

Branko Bartolić