

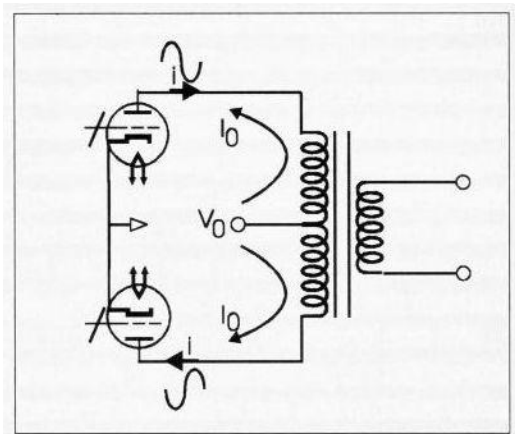
Savremena High-end Cevna Pojačala zasnovana na torusnom izlaznom transformatoru

10 Izrada Push-Pull Cevnog Pojačavača: Obrtač Faze

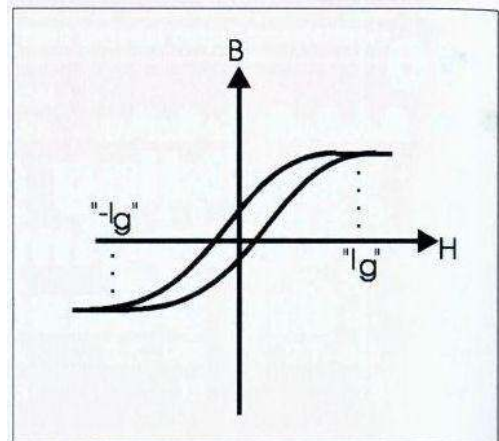
Ovaj članak razmatra prvi od više osnovnih sklopova potrebnih da se napravi PP cevni pojačavač. Razmatramo obrtač faze, koji pobuđuje izlazne cevi, koncentrišući se na pitanje kako obrtač faze radi i koja su mu ograničenja. Ovaj članak je posebno koristan samograditeljima zato što je pun praktičnih saveta, a na kraju su dati primeri različitih tipova obrtača faze.

10.1 Izbegavanje zasićenja jezgra

Razlog da je PP pojačavaču potreban obrtač faze je u konstrukciji izlaznog transformatora koji je pogonjen parom izlaznih cevi, čije su anode povezane na krajeve primarnog namotaja, dok je napajanje izlaznih cevi povezano na sredinu primarnog namotaja. Ako pogledamo na sliku 10.1 videćemo više jednosmernih i naizmjeničnih struja koje su obeležene odgovarajućim strelicama i sinusoidama. Ispitujući jednosmerne struje primećujemo nekoliko interesantnih stvari. Jednosmerna struja dolazi na sredinu transformatora, grana se na gornji i donji namotaj. Obe strujne grane su jednake ako su izlazne cevi dobro podešene i očigledno obe struje prave magnetno polje u dve polovine primarnog namotaja. Sada dolazi nešto izvanredno: magnetna polja su međusobno suprotna zato što struja teče u suprotnim smerovima. Ako je sve podešeno odgovarajuće možemo smanjiti efektivno magnetno polje na nulu. Ovo nas vodi do sledećeg važnog zaključka: Jednosmerna struja potrebna za rad izlaznih cevi ne stvara magnetno polje u primarnom namotaju. Sledi da možemo (u principu) da koristimo malo jezgro, zato što zasićenje ne može da nastane bez magnetnog polja. Zasićenje nastaje, kako se vidi na slici 10.2 kada su magnetne čestice okrenute u istom smeru. To znači da jezgro ne može dodatno da bude namagnetisano još jer su sve magnetne čestice već okrenute u istom smeru. Zasićenje jezgra je jedna neželjena pojava i znači da smo dostigli limit transformatora. Tada ne možemo da stavimo ništa više u njega niti više da izvadimo iz njega. Sada o drugoj izvanrednoj činjenici: Ako možemo da omogućimo da "muzika" stvori magnetno polje u jezgru, tada će struja proticati kroz sekundarni namotaj i kroz zvučnik. Da bi se to desilo struju koju stvara "muzika" mora da teče u istom smeru kroz obe polovine primarnog namotaja i to proizvodi magnetno polje u jezgru. Ova situacija je prikazana



Slika 10.1 AC i DC struje u izlaznom transformatoru

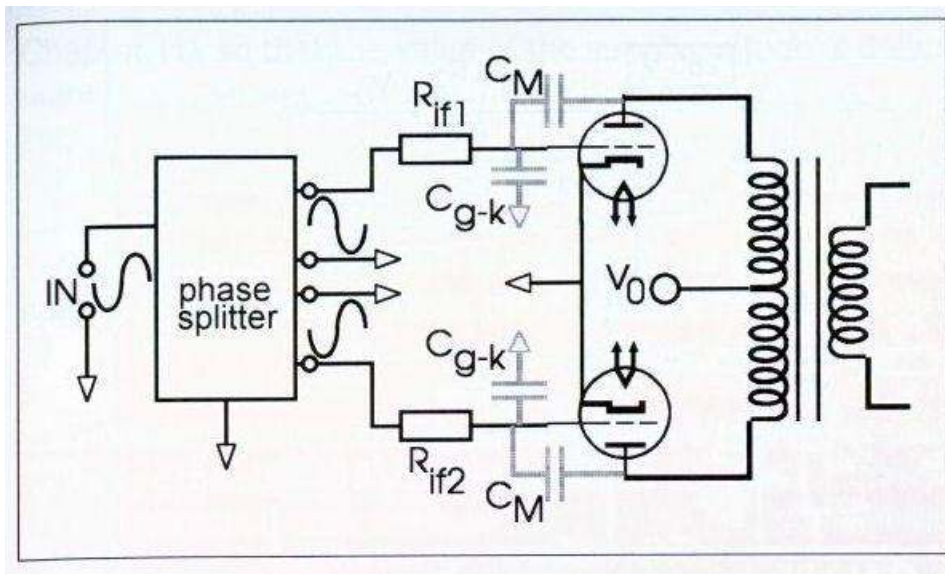


Slika 10.2 Do zasićenja dolazi kada struja ode preko I_g

sa sinusnim oznakama na slici 10.1. Vidimo da je sinusoida na vrhu i na dnu namotaja suprotna jedna drugoj. Drugim rečima, ako se struja sa gornje anode povećava, tada na se struja sa donje anode smanjuje i obrnuto. Vrh tada postaje još pozitivniji a dno postaje manje pozitivno. U ovoj situaciji naizmenična struja će proticati kroz primarni namotaj, i jezgro će biti namagnetisano. Zaključujemo da u PP pojačavaču jednosmerne struje sa izlaznih cevi prolaze kroz transformator i njihova magnetna polja se poništavaju, dok naizmenični naponi (muzika) treba da bude primenjen na krajeve transformatora u suprotnoj fazi u odnosu jedan na drugi. Naizmenični naponi će tada stvoriti efektivno magnetno polje, koje će indukovati sekundarni napon koji napaja zvučnike.

10.2 Funkcija obrtača faze

Obrtač faze treba da podeli naizmenični napon audio signala u dva jednaka i fazno suprotna naizmenična signala. To je ilustrovano na slici 10.3.



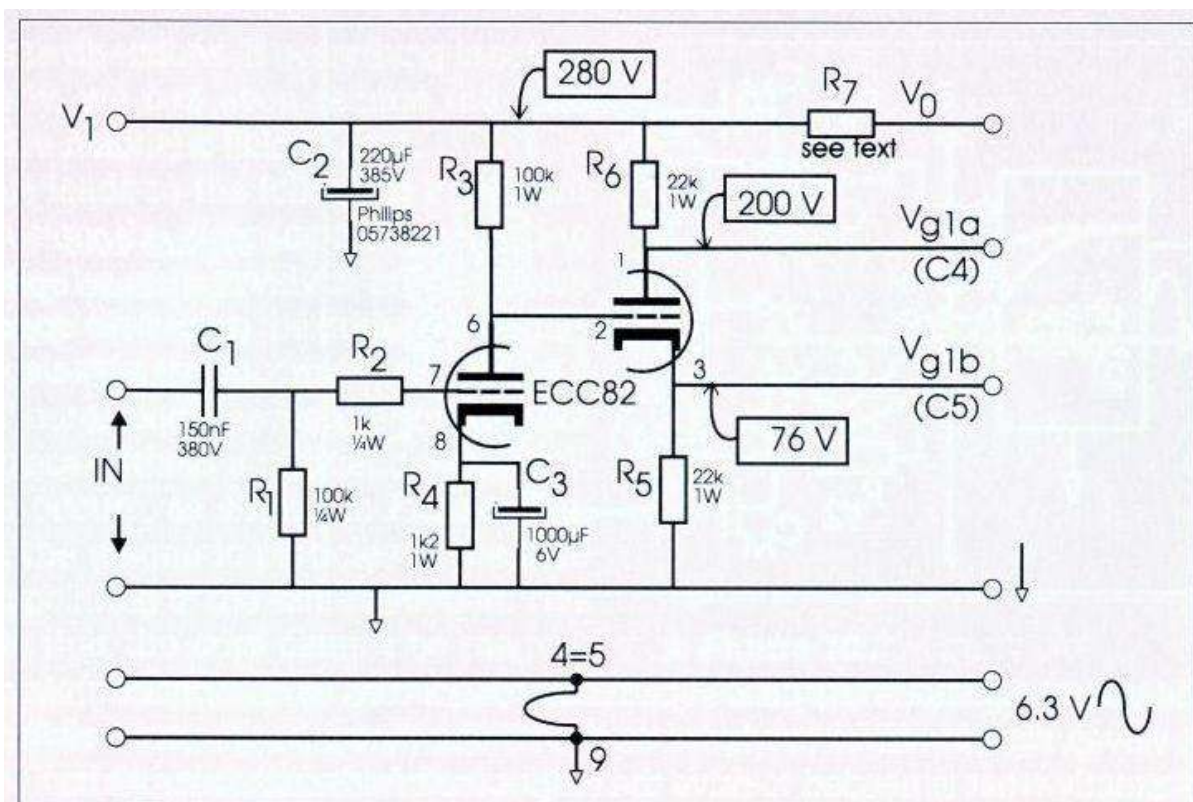
Slika 10.3 Obrtač faze stvara signale u suprotnim fazama

Ako su izlazni signali iz obrtača faze povezani na rešetke izlaznih cevi, signali će se proizvesti na anodama u suprotnim fazama. To je tačno to što je potrebno da napaja izlazni transformator. Mnogo kola je dostupno koja mogu da izvrše ulogu obrtača faze. Ranijih dana, transformatori sa suprotnim namotajima su bili zaduženi da "automatski" stvaraju signale u suprotnoj fazi. Kasnije, kola sa cevima su korišćeni i mnogo mudrih trikova su razvijeni. Nemamo nameru da razmatramo sva ta različita kola, ali ćemo razmatrati kolo koje samograditelji mogu da koriste kao osnov za njihov konačni izbor. To kolo je dokazano u radu mnogih pojačavača godinama. Kolo ima široki frekventni opseg i može da omogući velike izlazne napone (koji su neophodni za pogon izlaznih cevi na naj bolji način). Napominjem da ovo kolo nije jedino koje je u stanju da uradi posao. Mnogo trikova i pametnih izbora je moguće, ali kolo o kojem ćemo razmatrati u uvom poglavlju veoma korisno služi svojoj svrsi i zvuči fantastično.

10.3 Šema obrtača faze

Šema obrtača faze je prikazana na slici 10.4 sa prikazanim vrednostima komponenti, sa datim snagama otpornika. Brojevi pored simbola cevi u šemi označavaju broj nožica na podnožju. Koristimo ECC82 (12AU7) cev, koja je široko dostupna i ima više dobrih osobina koje će nam biti potrebne. U principu, možemo koristiti takodje i cev ECC81 (12AT7) koja može pojačati signal do četiri puta u odnosu na ECC82. Jedna polovina ECC82 se koristi kao

predpojačavač, sa faktorom pojačanja 14. Anoda prve triode je povezana direktno na rešetku druge triode. Ova rešetka nosi tačno isti DC napon i naizmenični napon kao anoda prve triode.



Slika 10.4 Šematski prikaz obrtača faze

U šemi se vidi da su anodni i katodni otpornici druge triode jednaki. To je mala tajna koja čini da se ovo kolo ponaša tako dobro. Kako radi? Kada naizmenična struja teče kroz drugu triodu, ona takođe teče i kroz anodne i katodne otpornike. Budući da su ovi otpori isti, naizmenični naponi na njima su isti ali suprotnih faza. Ako su cevi propisno podešene, struja rešetke neće teći. to je drugačije nego tranzistor, koji ima stalnu struju baze može uzrokovati izobličenje kod ovog tipa kola. Jasno je da su naizmenični naponi na anodi i katodi jednaki. Ovo kolo koristimo za obrtač faze.

10.4 Zahtevi i podešavanja: Napajanje

Određeni uslovi moraju biti zadovoljeni da bi ovo kolo radilo zadovoljavajuće. Broj izlaznih cevi koje mogu biti povezane na obrtač faze je opisano u poglavlju 11. Izlazne cevi zahtevaju različite napone napajanja, dok obrtač faze naj bolje radi na 280V (vidi takođe poglavlja 10.9 i 14 za verziju obrtača faze sa naponom napajanja od 350V). Sada, kako osigurati da ovi zahtevi budu zadovoljeni? Obrtač faze se napaja preko otpornika R7, koji je prikazan na slici 10.4. Poznati su potrebni napon i struja napajanja za obrtač faze. Pretpostavimo da smo već izabrali cevi i odgovarajući izlazni transformator (vidi poglavlje 11), tako da su vrednosti napona napajanja poznate. Ako označimo ovaj napon napajanja V_0 , vrednost otpornika R7 izračunavamo:

$$R_7 = \frac{V_0 - 280}{0.0057} \quad [\Omega] \quad [10-1]$$

Imenilac, 0.0057, je struja u Amperima koja teče kroz obrtač faze. Odgovarajuća snaga otpornika je:

$$P_{R7} = (V_0 - 280)(0.0057) \quad [W] \quad [10-2]$$

Na primer, pretpostavimo da smo odabrali 30 Watno pojačalo sa dve EL34.Napon napajanja je tada 380 V.R7 je tada:

$$R_7 = \frac{380 - 280}{0.0057} = 17,544 \Omega \quad [10-3]$$

Da bi smanjili rizik od pregorevanja otpornika, (u dužem vremenskom periodu), dobro je predimenzionisati snagu na 1W, 18 kΩ i to bi bio dobar izbor u ovom slučaju.Lako se izračunavaju drugačije vrednosti istom metodom.

10.5 kondenzatori

Ulazni kondenzator C1 je prikazan na slici 10.4.Njegova funkcija je da ne propusti DC napon koji dolazi sa predpojačavača (vidi poglavlje 15: ako se predpojačavač koji je tamo opisan koristi, tada je kondenzator neophodan).Većina modernih predpojačavača na izlazu nemaju DC napon što znači da C1 u većini slučajeva nije potreban.Ako zauzmemo stav da svaki kondenzator utiče na kvalitet signala, onda je dobra ideja da ne koristimo C1 osim ako nije neophodan.Sada o naj važnijem kondenzatoru C2.Proizvodjač, šifra i vrednost za ovaj kondenzator je data.Ovde koristimo moderne kondenzatore koje je razvio Philips za novu seriju prekidačkih napajanja 05738221 i 05758221.Ovi kondenzatori imaju odličan frekventni opseg i relativno veliki kapacitet u odnosu na veličinu. kondenzator C2 radi u sprezi sa R7 na eliminisanju talasanja napona napajanja.Ovaj aspekt je vrlo važan, jer je ovo kolo asimetrično u odnosu na uzemljenje i napon napajanja.Svaka komponenta talasanja napona napajanja lezi u audio opsegu, tako da je veliki kapacitet C2 veoma važan.Kondenzator C3 radi u sprezi sa otpornikom R4 sa svrhom da kratko spoji AC napon na katodi.Postoji mnogo kompleksnih matematičkih modela koji mogu da se koriste za proračun vrednosti C3.Vrednost R4 kao i unutrašnja otpornost i konverzionna konduktansa ECC82 mora biti uzeta u obzir prilikom proračuna.Izabrali smo vrednost od 1000 μF koja garantuje da neophodni uslov bude zadovoljen.Sa druge strane, čak i dobar kondenzator je još uvek jeftin, pa i njegovo predimenzionisanje ne čini štetu.Izlazi obrtača faze su spojeni na ispravljač preko kondenzatora C4 i C5, koji se ne nalaze na slici 10.4.Kvalitet ovih kondenzatora mora biti odličan, buduci da oni prenose signale na rešetke izlaznih cevi pa samim tim veoma utiču na kvalitet zvuka.Eksperimentisanje i optimizacije su preporuka.Vidi poglavlje 11 vezano za vrednosti i montažu C4 i C5.

10.6 Nekoliko reči u vezi uzemljenja

Kolo obrtača faze može biti uradjeno na PCB pločici, ali ovde pretpostavljamo da će kolo biti ručno ožičeno.to znači da ćemo koristiti "pravu" žicu i da ćemo odrediti tačku zemlje.Na sreću, kasnije je lakše povezati sa obrtačem faze.Vodovi prema zemlji (uključujući i ovaj za C2) trebaju svi zajedno da formiraju jednu glavnu tačku uzemljenja koja se nalazi blizu podnožja cevi ECC82.Uticaj ove glavne tačke zemlje je značajan (i pozitivan)-drugim rečima to je od izuzetnog značaja!

10.7 grejanje

Dobra je ideja da se zemlja grejanja (nožica 9 na podnožju cevi) poveže na glavnu tačku zemlje.Grejanje cevi ECC82 je 6,3V 50Hz AC.Poznavaoi među nama bi promenili grejanje na DC , i nemam primedbe na tu izmenu.Ovaj tip izmena pada u kategoriju "optimizacije" koje se nalaze na kraju ove knjige.U ovoj oblasti samograditelji mogu da implementiraju sopstvene kreativne ideje, i ja ne želim da čitaoca lišim tog uživanja.Nedavno, pojavile su se konstrukcije u kojima je napon grejanja bio smanjen na 4V umesto 6.3V.Argument korišten u odbrani ovog rešenja je bio taj da je vek cevi produžen sa smanjenim naponom grejanja.Autor se snažno protivi sa ovim stavom.Možda je istina da se vek cevi produžava, ali smanjeni

napon grejanja ima dodatne konsekvence, kao što je smanjena emisija i drugačiji otpor vlakna (i naravno drugačiji faktor pojačanja). To nije ono što bi trebalo da bude. Što je još gore, a nije uzeto u obzir, je da katoda ima optimalnu radnu temperaturu na kojoj su efekti rezidualnih gasova unutar cevi stavljeni na probu. Rezidualni gasovi postepeno nestaju sa formiranjem srebrne fleke na unutrašnjoj površini stakla. Ako je katoda na pogrešnoj temperaturi onda je i stvaranje materijala na pogrešnoj temperaturi, što znači da katoda može biti zagadjena. Ovo sve vodi do totalnog gubitka funkcija cevi. Naravno, napon koji prelazi 6.3V nije dobrodošao, jer radno vreme vlakna se smanjuje. Da sumiramo: Koristimo preporučene 6.3V. U svakom slučaju, proizvođači cevi su optimizovali konstrukciju cevi i karakteristike za ovaj napon.

10.8 Pažnja: visoke frekvencije

Pretpostavimo da smo završili sa izradom pojačavača i da sve radi lepo. Tada pažljivo biramo nekoliko mernih instrumenata iz gomile razbacanih u sobi, da bi proverili istinitost autorovih tvrdnji. Pretpostavimo da želimo da izmerimo frekventni opseg signala koji dolaze na rešetke izlaznih cevi. Naravno koristimo sondu 10:1 sa vrlo malim unutrašnjim kapacitetom, kako bi izbegli preopterećenje kola. Gledamo u ekran osciloskopa, i nestrpljivo čekamo na prve rezultate. Šta vidimo? Na naše zaprepašćenje, izgleda da nas ovde neko vuče za nos. Na visokim frekvencijama, katodni izlazni napon V_{g1b} je veći nego V_{g1a} (slika 10.4). To ne može biti istina jer je eksplicitno rečeno da AC napon na R6 je jednak AC naponu na R5. Šta se dešava? Mada ova zagonetka ima prosto rešenje, lako je moguće da se pretvori u igru slagalica sa nagradnim putovanjem oko sveta za srećnog dobitnika. Na nesreću, nema nagrade. U cilju stižavanja horskih pitanja odgovor dajem ovde. Izlazna impedansa obrtača faze je veća na anodi V_{g1a} nego na katodi V_{g1b} . U stvari, možemo da zamislimo da je ta viša izlazna impedansa jednaka rednoj vezi otpornika $10k\Omega$ sa izlazom V_{g1a} . Ovaj otpor formira niskoprolazni filter u sprezi sa ulaznom kapacitivnošću izlazne cevi povezane na V_{g1a} . To prigušuje visoke frekvencije (preko $100kHz$). Katodna veza V_{g1b} ima nisku izlaznu impedansu, tako da ulazna kapacitivnost izlazne cevi ima manji efekat. Nemoguće je eliminisati ovaj efekat podešavanjem cevi, ali možemo da ga poništimo prosto stavljanjem otpornika $10k\Omega$ na red sa V_{g1b} . To će izjednačiti izlazne otpornosti obrtača faze za obe izlazne cevi, pa će i asimetrija na visokim frekvencijama nestati. Ako ste zabrinuti u vezi ovog efekta (koji je vrlo vidljiv) tada možemo ublažiti problem prostim dodavanjem jednog otpornika u kolo.

10.9 Obrtač faze sa različitim naponom napajanja

poglavlja 11 i 14 razmatraju naj češće nadogradnje u odnosu na ovaj obrtač faza, izradu PCB štampane pločice za 70 W i 100 W PP izlaznih pojačavača. Tokom razvoja ovih pojačavača, primetio sam da je moguće poboljšati kolo obrtača faza. Izlazne amplitude signala iz obrtača faza je moguće povećati dizanjem napona napajanja sa 280V na 350V. Sa 350V napona napajanja, struja potrebna za obrtač faze je 7.1mA. Za 70W pojačavača snage znači:

$$R_7 = 3.9 k\Omega, 1 W \quad (70 \text{ watt amplifier})$$

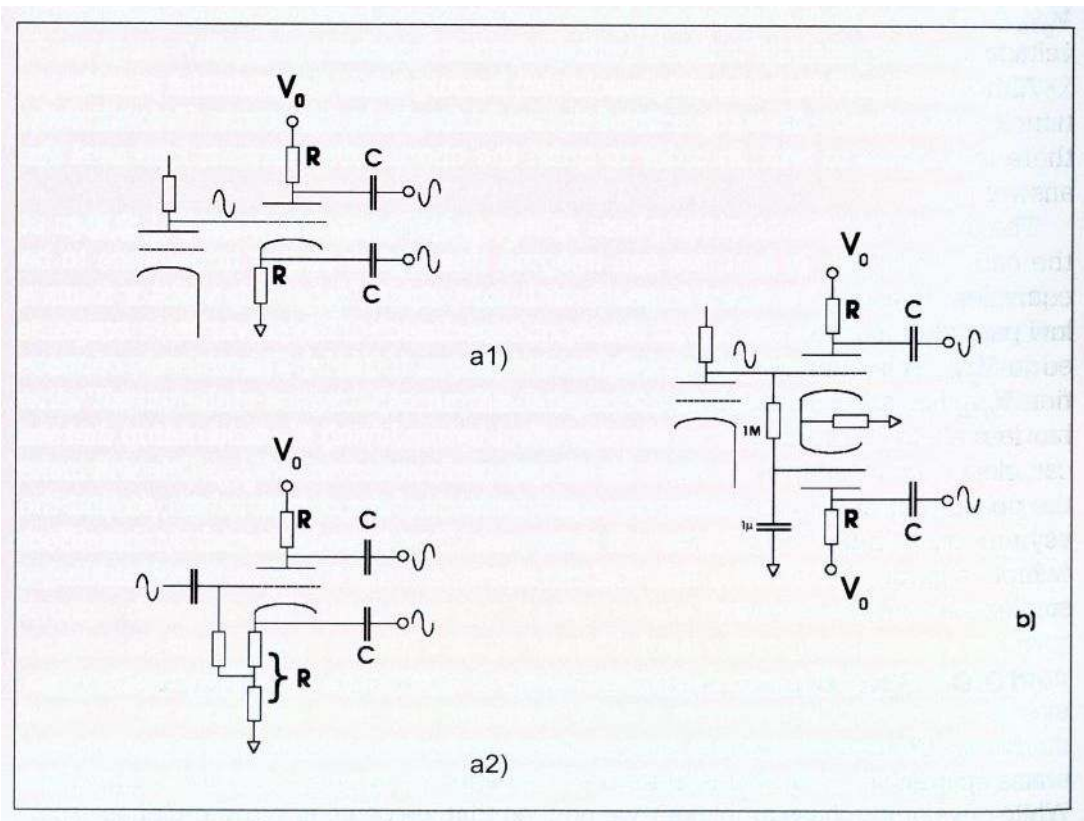
Za 100W pojačavača snage, napon napajanja je veći, pa je optimalna vrednost za R7:

$$R_7 = 12 k\Omega, 1 W \quad (100 \text{ watt amplifier})$$

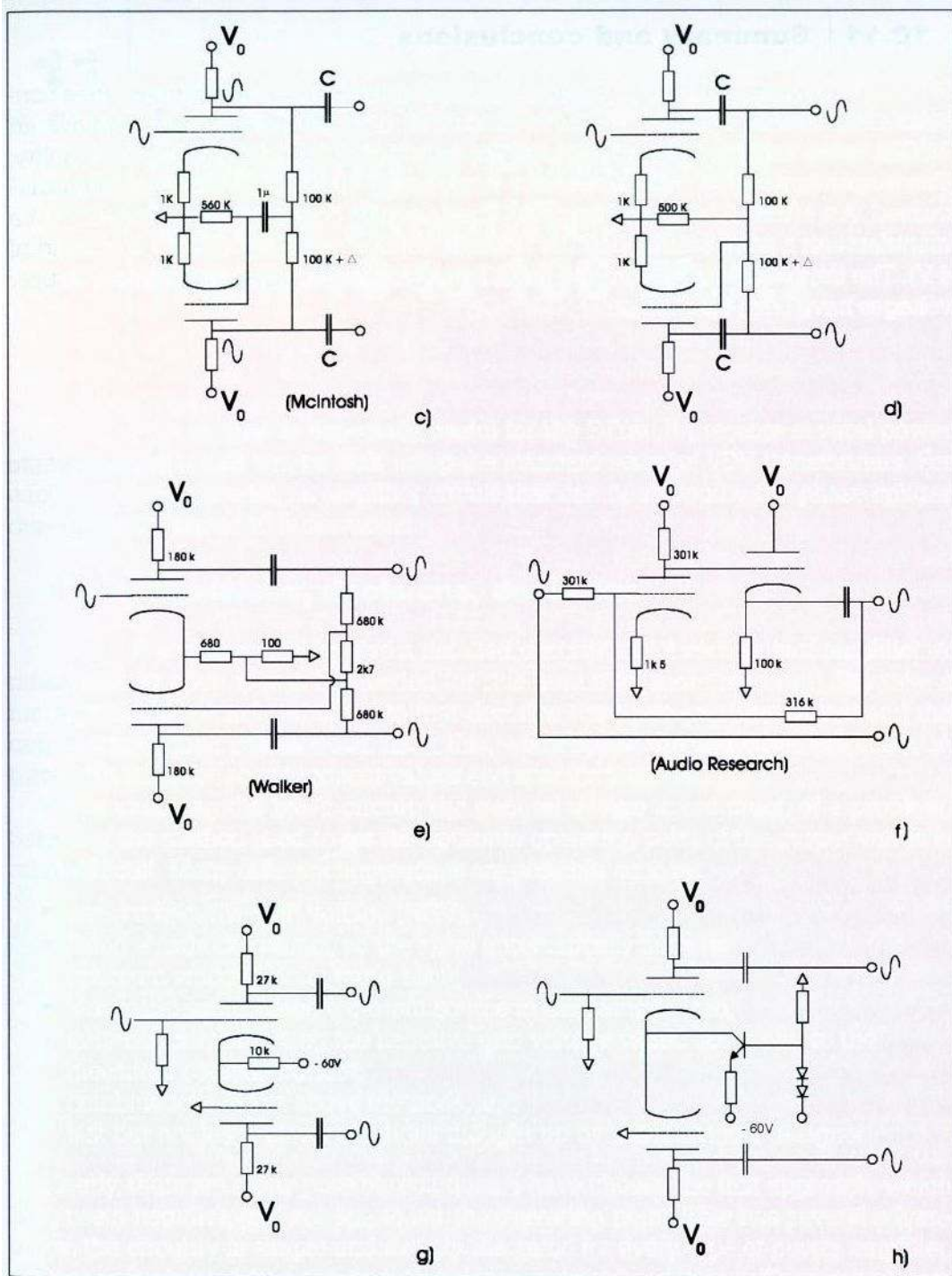
Vrednost od $12k\Omega$ je takođe naj bolji izbor za 80 W triodni pojačavač.

10.10 Primeri drugih tipova obrtača faza

Nekoliko primera različitih tipova obrtača faza je prikazano na slici 10.5, kao pomoć ako želite da napravite sopstveni obrtač faza. Nisam prikazao sve moguće šeme obrtača faza ali želim da Vas navedem na pravi put ilustrujući nekoliko ideja i koncepcija. Vrednosti otpornika su indikativne: morate da radite na detaljima sami. Srećno!



Slika 10.5 Šeme raličitih tipova obrtača faza prvi deo



Slika 10.5 Šeme raličitih tipova obrtača faza drugi deo

10.11 Rezime i zaključci

Koncepcija PP pojačavača je veoma povoljna za izlazni transformator, budući da je moguće izbeći zasićenje jezgra. Razmotrili smo obrtač faze oko cevi ECC82, i naglasili smo faktore koji utiču na kvalitet zvuka. Izneneđujuće dobar visokofrekventni odziv ovog kola smo takođe razmotrili. Pokušao sam da ubedim samograditelje da poštuju savete proizvođača oko napona grejanja, da koriste 6.3V umesto 4V. Važnost tačke uzemljenja je razmatrano, i osvrnuli smo se na različite napone napajanja.