

## FLL PODEŠAVANJE — BOLJE OD PLL

I šeme veza radio-prijemnika doživljavaju danas burni razvoj. Još pre svega nekoliko godina važio je PLL-postupak za podešavanje prijemnika kao idealno rešenje. U međuvremenu su se stvari promenile. PLL sistemi su dobili konkurenciju: FLL — Frequency Locked Loop — tako se zove novi šlager.

Klasični princip superheterodinskog prijemnika, pronalazak davno protekle epohe u istoriji elektronike, govoreći istinu već je zastareo. Ipak, ovaj princip nije ni danas napušten: gotovo svi i sada proizvođeni radio-prijemnici mešaju sa signalom iz antene signal oscilatora, tako da iz njih nastaje signal međufrekvencije. Oscilatoru je, međutim, često »potrebna pomoć« da bi proizvodio signal visoke kratkotrajne i dugotrajne stabilnosti uprkos klizanju učestanosti usled temperature, starenja i promene napona napajanja.

Oscilatoru pomoć može, npr., da pruži kolo koje nadgleda učestanost koja se dobija iz stepena za mešanje. Poklapa li se njegova učestanost sa nominalnom vrednošću učestanosti međufrekvencijskog signala? Ako učestanost signala na izlazu stepena za mešanje odstupa od nominalne vrednosti regulacioni napon koriguje učestanost oscilatora tako da greška biva kompenzovana. Prema ovoj metodi, koja je ovde donekle uprošćeno prikazana, radi kolo za automatsko podešavanje frekvencije (AFC = Automatic Frequency Control). Pomoću AFC sistema za regulisanje učestanosti može da se obezbeđuje velika stabilnost učestanosti lokalnog oscilatora sve dok na antenskim priključcima prijemnika postoji korisan signal.

Umesto učestanosti može i fazni položaj oscilatorskog signala imati vrednost koju sistem održava konstantnom. Ništa se drugo i ne dešava kod jednog PLL-sistema: oscilator se podešava na učestanost koja je potrebna za prijem predajnika. Kolo za regulaciju stara se za to da signal oscilatora i primani signal imaju određen međusobni fazni položaj. Kod frekvencijski modulisanog antenskog signala menja se otuda napon regulacije, koji se dobija upoređivanjem faza oba signala, u ritmu modulacije. Ovde se iz regulacionog napona izdvaja istovremeno i željeni niskofrekvencijski signal.

Kao i drugi sistemi sa povratnom spregom, i PLL-sistemi lako stupaju u samooscilovanje. Pojačavač sa negativnom povratnom spregom može pod nepovoljnim uslovima da zaosciluje. Kod PLL-sistema nestabilnosti se mogu da pokazuju tzv. »faznim džiterom« (Phase jitter). Učestanost oscilatora ovde brzo varira u jednu i drugu stranu, tako da se samo njena srednja vrednost poklapa sa nominalnom vrednošću. Opisana pojava može zato da bude uzrok što je neki PLL-sistem u praksi neupotrebljiv.

**Kvarc kao etalon za upoređivanje** — Sinteziser frekvencije je relativno komplikovano kolo koje stalno upoređuje signal oscilatora sa učetanošću visokostabilnog kvarcnog oscilatora. Učestanost signala koga proizvodi sinteziser u istoj meri je stabilna kao i učestanost kvarcnog oscilatora. Ova poželjna karakteristika plaćena je, na žalost, jednim nedostatkom kola. Da bi se omogućilo proizvođenje većeg broja učestanosti u sinteziseru postoji znatan broj delitelja učestanosti.

Pošto je svaki faktor deljenja ceo broj, to sinteziser u okviru svog radnog opsega ne može da proizvođi bilo koju učestanost, već samo signale koji su celobrojnim umnošci jedne fiksne frekvencije. Ovakav oscilator ne može zato da menja učestanost kontinualno, već jedino u skokovima.

Ovo je cena visoke stabilnosti učestanosti. Ona ima manju težinu ako su skokovi dovoljno mali. Pored toga radio-predajnici nisu proizvoljno raspoređeni u spektru učestanosti, već njihove učestanosti slede šemu jednog fiksnog rastera.

Princip stalnog upoređivanja učestanosti oscilatora sa jednom konstantnom učetanošću kvarcnog oscilatora leži i u osnovi sistema za regulaciju koji će ovde biti opisan. U blok-šemi prikazanoj na sl. 1 ovo prilično jasno dolazi do izražaja. Ulazni signal ovde prikazanog sistema je signal oscilatora prijemnika, označen sa  $f_{OSC}$ . Sistem za regulaciju kao izlazni signal proizvodi napon za regulaciju  $u_C$  koji se vodi natrag na oscilator. Ovaj napon se od strane sistema za regulaciju tako menja da se učestanost signala oscilatora  $f_{OSC}$  poklapa sa jednom od učestanosti iz rastera frekvencija. Učestanosti rastera su na jednakim međusobnim rastojanjima raspoređene po celom opsegu podešavanja.

**Harmonijski mešač** — Važni sastavni deo sistema za regulaciju frekvencije jeste na slici 1 sa FF označeni D-flipflop. On ovde radi kao tzv. harmonijski mešač. Mešač ima dva ulaza: D-ulaz i takt ulaz flip-flopa. Na oba ulaza postoje periodični pravougaoni signali od kojih jedan ima učestanost  $f_{OSC}$  a drugi  $f_{TAKT}$ . Na izlazu flip-flopa pojavljuje se takođe periodični pravougaoni signal čija je učestanost  $f_K$ . Izlazna učestanost stoji sa obe ulazne učestanosti u sledećem međusobnom odnosu:

$$f_K = |f_{OSC} - K \cdot f_{TAKT}|$$

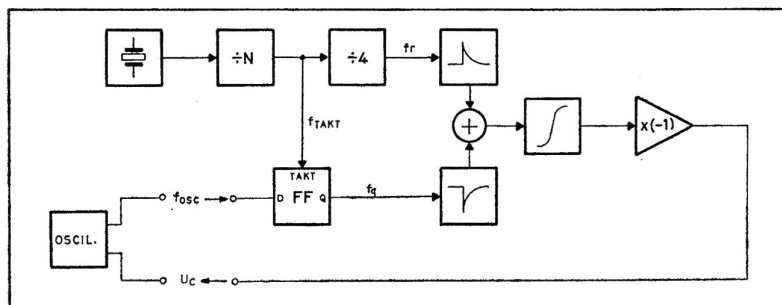
pri čemu je:  $f_K \leq 0,5 f_{TAKT}$

Uspravne crte u ovom izrazu označavaju, kao što je poznato, da treba uzeti u obzir samo apsolutnu vrednost bez predznaka. Ako ne bi bilo znaka za apsolutnu vrednost tada bi se  $f_K$  mogle da dobiju i negativne vrednosti, što naravno ne bi imalo nikakvog smisla.

Slovo  $K$  stoji kao oznaka za neki pozitivan ceo broj.

Ako je, npr.:  $f_{OSC} = 2005 \text{ kHz}$  i  $f_{TAKT} = 20 \text{ kHz}$  tada se pod uslovom  $f_K < 0,5 f_{TAKT}$  dobija za  $K$  broj 100

Sl. 1 — Blok-šema sistema za regulaciju frekvencije



a za  $f_k$  učestanost 5 kHz. Kod  $f_{osc} = 2010$  kHz može  $k$  da ima dve različite vrednosti: može da iznosi 100 ili 101 (u ovom drugom slučaju je  $f_k = 10$  kHz). Tako nastaje raster sa razmakom takt-učestanosti flip-flopa  $f_{TAKT}$ . Broj  $k$  označava se i kao red harmonika.

Otkuda potiče ovako neuobičajen izraz za  $f_k$  ne može baš lako da se objasni, pa zato recimo: tokom svake periode  $f_{TAKT}$  ima flip-flop priliku da promeni logičko stanje na svom izlazu. Da li će se to i desiti zavisi od signala na njegovom D-ulazu. Ako ovdje nema nikakve promene i izlazni signal zadržava svoje dotadašnje stanje. Ono se ne menja čak ni tada ako se  $f_{osc}$  tokom periode  $1/f_{TAKT}$  od jednog u drugo stanje promeni, ali u određenom vremenskom trenutku ponovo uzme svoje prvobitno stanje. Ovo, je, npr., slučaj tada kada je perioda  $1/f_{TAKT}$  jednaka celobrojnom umnošku periode  $1/f_{osc}$ . Izlazna učestanost harmonijskog mešača tada je nula, dok se za  $k$  dobija ceo broj  $f_{osc}/f_{TAKT}$ , ona odgovara broju periode oscilatora. Matematički odnos pojedinih veličina nije doduše ovim bez nejasnoća objašnjen, ali je ipak unekoliko razumljiviji.

**Majstorija.** — Ako su učestanosti na ulazu mešača  $f_{osc}$  i  $f_{TAKT}$  konstantne tada se izlazna učestanost  $f_k$  menja u zavisnosti od broja  $k$ . Mogu se, međutim, kao konstantne veličine da uzmu i izlazna učestanost  $f_k$  i jedna od dve ulazne učestanosti.

**Primer:** Koja vrednost za  $f_{osc}$  ispunjava u prethodnom poglavlju postavljenu izraz, ako je  $f_k = 250$  Hz i  $f_{TAKT} = 1000$  Hz? Sa  $k=1$  izraz glasi:

$$250 \text{ Hz} = |f_{osc} - 1 \cdot 1000 \text{ Hz}|$$

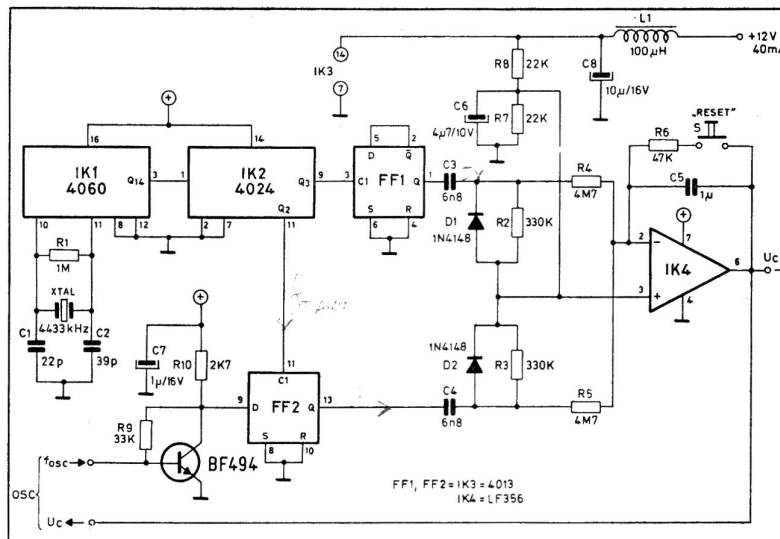
tako da se za  $f_{osc}$  dobijaju vrednosti 1250 Hz i (zbog apsolutnih znakova) 750 Hz. Ako se stavi  $k=2$  tada se dobija:

$$250 = |f_{osc} - 2 \cdot 1000|$$

U ovom slučaju izraz je zadovoljen za  $f_{osc} = 2250$  Hz i  $f_{osc} = 1750$  Hz. Pošto  $k$  može da bude bilo koji ceo pozitivan broj i  $f_{osc}$  može da uzme sledeće vrednosti: 750 Hz, 1250 Hz, 1750 Hz, 2250 Hz, 2750 Hz, 3250 Hz, itd. Ovo je u stvari raster-ski niz učestanosti kakav je potreban za stabilizaciju učestanosti!

Još jedno pitanje ostaje otvoreno: Kako se može održati konstantnim i jedna od ulaznih ( $f_{TAKT}$ ) a istovremeno i izlazna učestanost ( $f_k$ )? Kod ulazne učestanosti to nije nikakav problem, jer se ona može da izvede iz učestanosti nekog stabilnog kvarcnog generatora. U blok-šemi (sl. 1) to je već objašnjeno:  $f_{TAKT}$  nastaje deljenjem učestanosti kvarca faktorom  $N$ .

Da bi izlazna učestanost  $f_k$  bila držana konstantnom potrebno je



Sl. 2 — Šema veza sklopa za regulaciju

više posla; na nju se, naime, ne može direktno da utiče. Jedina još preostala, direktno promenljiva učestanost je  $f_{osc}$ . Ovaj problem rešava se kolom regulacije; on upravlja sa  $f_{osc}$  na takav način da  $f_k$  ostaje konstantnom.

Učestanost  $f_k$  neprekidno se upoređuje sa konstantnom referentnom učestanošću  $f_v$ . U tu svrhu oba signala koji se upoređuju najpre dolaze na uobličavače impulsa. Dok uobličavač impulsa referentnog signala u svakoj periodi na svom izlazu daje pozitivan impuls, izlazni impulsi drugog uobličavača su suprotnog polariteta. Izlazni signali iz oba uobličavača impulsa se sabiraju i neposredno posle toga integrišu u integratoru.

Na izlazu odvojnog stepena sa obrtanjem faze koji sledi stoji regulacioni napon  $u_c$  na raspolaganju, a on upravlja učestanošću oscilatora  $f_{osc}$ . Kada se  $f_k$  tačno poklapa sa  $f_v$ , srednja vrednost napona na izlazu stepena za sabiranje jednaka je nuli; napon za regulaciju  $u_c$  tada je takođe nula. Na ulaz integratora dolazi tada u sekundi isto toliko pozitivnih koliko i negativnih impulsa.

Ako učestanost  $f_k$  iz bilo kojeg razloga poraste, tada na ulazu u integrator preteže broj negativnih impulsa. Posle kraćeg vremena pomera se izlazni napon iz integratora u negativnom smeru. Ovo kao posledicu ima porast napona za regulaciju  $u_c$ , tako da se učestanost oscilatora  $f_{osc}$  toliko smanjuje dok nije opet jednak  $f_v$ .

Opisani ciklus dovodi do cilja: Učestanost oscilatora  $f_{osc}$  je sa tačnošću kvarcnog kristala jednaka nekoj proizvoljnoj učestanosti rastera.

**Praktičan uređaj.** — Posle detaljnog objašnjenja principa rada pomoću blok-šeme, kolo na sl. 2 lako je razumljivo. Ovde se vidi po-

red toga još jedna dobrodošla osobina kola: Mada način rada kola za stabilizaciju učestanosti nije baš nekomplikovano, za njegovu realizaciju ipak nisu potrebne nikakve velike investicije. Šema se odlikuje znatno većom jednostavnošću u poređenju sa PLL-sistemom.

IK1 sadrži kvarcni oscilator i četrnaestostepeni binarni delitelj učestanosti. Kao učestanost kvarca izabrana je 4,45 MHz jer se takvi kvarčevi masovno proizvode za PAL-televizore u boji. Odlučujući za izbor ovog kvarca bili su samo njegova niska cena i što se lako može da nabavi. Bez daljeg mogu da se upotrebe i drugi kvarčevi stim da se njihova učestanost kreće u opsegu 1 ... 6 MHz (inače oscilator ne radi). Različite učestanosti utiču jedino na raster.

Učestanost izlaznog signala IK1 iznosi približno 270 Hz. Ovaj signal upravlja ulazom drugog delitelja učestanosti (IK2) koji učestanost još jednom deli sa četiri, tako da učestanost na izlazu iz Q2 IK2 iznosi oko 70 Hz. Ovako dobijeni signal služi kao takt-signal za D-flip-flop FF2 koji radi kao harmonijski mešač. Pošto je  $f_{TAKT}$  približno jednaka 70 Hz to su i raster učestanosti raspoređene na razmaku od tih 70 Hz. Izlaz Q3 na IK2 daje signal od 35 Hz; FF1 deli ovu učestanost sa 2 tako da se najzad dobija učestanost za upoređivanje  $f_v$  od nekih 17 Hz.

Oba uobličavača impulsa sastoje se od po samo jedne diode i po jednog otpornika (D1R2 i D2R3). Preko delitelja napona R7/R8 nalaze se donji krajevi uobličavača impulsa na polovini napona za napajanje, tako da nije potreban dopunski negativni napon za napajanje. Sabiranje signala vrši se pomoću otpornika R4 i R5.

Operacioni pojačavač IK4 vezan je kao integrator sa obrtnjem faze, pa tako istovremeno vrši i ulogu integratora i ulogu invertujućeg stepena za odvajanje sa blok šeme. Regulacioni napon  $u_c$  zato stoji na raspolaganju odmah na izlazu iz ovog stepena. Reset tasterom S1 može da se prekine integrisanje, a time i kompletna funkcija regulacije. To je tada od značaja kada treba promeniti prijemnu učestanost.

Neophodno je potrebno da se kao operacioni pojačavač IK4 upotrebi baš na šemi označeni tip. Ovaj operacioni pojačavač ima FET ulaz, a ovo je preduslov da se šema može da izvede visokoomskom.

**Indikator.** — Regulišući napon  $u_c$  ne služi samo za podešavanje učestanosti oscilatora, već ima smisla ovaj napon učiniti na jedan ili drugi način vidljivim. Kolo za regulaciju radi, naime, samo tada kada  $u_c$  ne odstupa suviše mnogo od nule i samo je u tom slučaju prijemnik optimalno podešen. Zbog toga je pomoću indikatorskog kola sa sl. 3 indiciran.

Operacioni pojačavači IK5 i IK6 vezani su kao komparatori tzv. »prozorskog« tipa. Sve dok  $u_c$  ne odstupa bitno od nule svetli zelena »stab« (LOCK) svetleća dioda LED D6 i prijemnik je tada optimalno podešen. Kada, naprotiv zasvetli jedna od dveju »izvan opsega« (OUT OF RANGE) LE dioda, tada prijemnik treba da se podesi. Zelena LED pokazuje da je kolo za regulisanje učestanosti aktivno. Ako zasvetli crvena LED D4 tada je učestanost podešavanja suviše visoka, a ako zasvetli D7 ona je suviše niska.

**Priključivanje.** — Šeme visokofrekvencijskih stepena mogu da se

kod pojedinih tipova prijemnika u velikoj meri razlikuju. Opšte važeći »recept« za priključivanje regulacije učestanosti na oscilator prijemnika ne može se dati.

Klasična (i uopšte ne najgora) varijanta oscilatora koristi LC oscilatorno kolo kod koga je paralelno kalemu nepromenljive induktivnosti u paraleli vezan promenljivi kapacitet (promenljivi kondenzator). Ovde se na učestanost oscilatora može da deluje regulacionim naponom ako se paralelno promenljivom kondenzatoru veže varikap dioda.

U praksi se priključivanje može da izvede kao na sl. 4. Signal oscilatora koji postoji na oscilatornom kolu uzima se preko pojačavačkog stepena sa MOSFE tranzistorom, tako da opterećenje oscilatora nije veliko. Izlaz pojačavačkog stepena istovremeno daje signal za priključivanje digitalnog frekvencmetra koji stoji ili bi mogao jednom da stoji na raspolaganju.

Varikap-dioda D9 leži na red sa C9, tj. paralelno promenljivom kondenzatoru. Ako bi se izostavio C9 tada bi i najmanje promene regulacionog napona  $u_c$  dovodile do znatnih promena frekvencije i pojava nestabilnosti ne bi bila isključena.

Ako kolo koje određuje učestanost oscilatora prijemnika već sadrži varikap-diodu tada se dodatna varikap-dioda može da izostavi. Regulacioni napon  $u_c$  mora da se u ovom slučaju sabira sa postojećim naponom za podešavanje. Sastavni delovi D9, C9 i R22 sa sl. 4 u ovom slučaju otpadaju.

Ako VF deo sadrži takozvani izlaz za kaunter na kome postoji signal oscilatora, a odvojen je od kola oscilatora odvojnim stepenom, tada celokupna šema sa sl. 4 otpada.

Ulaz kola za regulisanje učestanosti tada se jednostavno vezuje sa izlazom za kaunter.

MOSFET pojačavački stepen sa sl. 4 mora da se ugradi u neposrednu blizinu oscilatora kako bi bio njegov sastavni deo. To je zato što je ulaz ovog stepena veoma osetljiv.

**Eksperimenti.** — Kolo kao što je ovo veoma je pogodno za eksperimentisanje. Vrednosti sastavnih delova date su samo kao orijentacija i tako ih treba posmatrati; od slučaja do slučaja treba ih modifikovati da bi se postigli optimalni rezultati. Ovde naročito igraju ulogu karakteristike oscilatora prijemnika u pogledu klizanja učestanosti.

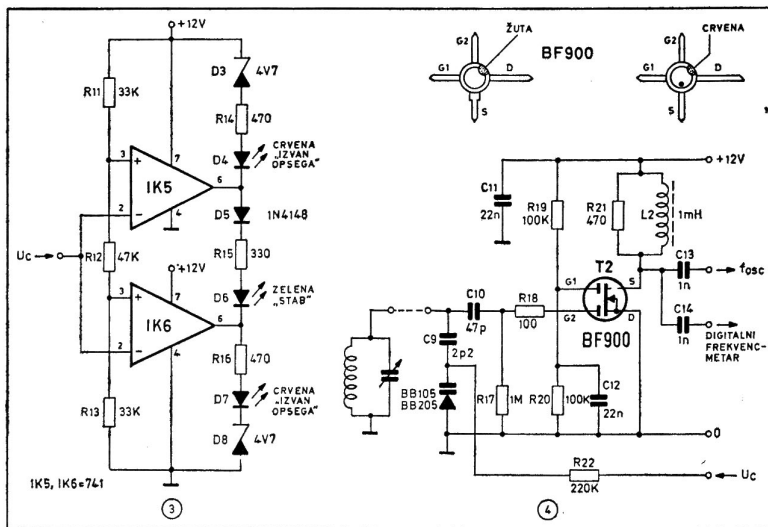
Od koristi mogu da budu i promene šeme stepena za regulisanje učestanosti. Tako se, npr., mogu takt-učestanosti FF1 i FF2 izabrati višim ili nižim na taj način što se ulazi u flip-flobove priključuju na druge izlaze delitelja.

Oba upotrebljena deliteljska izlaza (na IK2) moraju, međutim, da leže neposredno jedan za drugim pošto takt-učestanost FF1 mora stalno da iznosi polovinu takt-učestanosti FF2. Više, odnosno niže takt-učestanosti imaju za posledicu to da raster učestanosti leže više ili manje međusobno udaljene. Pored toga time se utiče na brzinu kojom regulisanje učestanosti deluje.

Na razmak u rasteru učestanosti može dalje da se utiče izborom učestanosti kvarca (1 ... 6 MHz). Ako se ovo čini tada treba prilagoditi vrednosti C3, C4 i C5. Pri polovini učestanosti kvarca udvajaju se vrednosti kapaciteta, a pri dvostruko većoj njihovoj vrednosti treba izabrati dvostruko manje. Umesto da se povećava kapacitet C5 (ne sme se upotrebiti elkol) mogu da se povećaju vrednosti R4 i R5. Dalje postoji mogućnost da se upotrebi spoljni referentni signal koji, naravno, mora da bude kvarcom stabilisan. U šemi na sl. 2 maksimalna učestanost flip-flopa FF2 ograničava opseg rada jedinice za regulisanje učestanosti na 10 MHz.

(Prema: »Elektrik«, 5/80)

Sl. 3 — Šema veza indikatorskog kola; sl. 4 — Način priključenja kola za regulaciju na oscilator



**NDR SARADUJE U MEDICINSKOJ ELEKTRONICI SA OSTALIM ZEMLJAMA SEV-a**

Politika »socijalističke integracije«, tj. zajedničkog istraživanja, razvoja i snabdevanja na raznim ekonomskim i tehničkim poljima između zemalja SEV-a od pre izvesnog vremena proširena je i na medicinsku elektroniku pošto je duže vreme praktikovana u kompjuterskoj tehnici i komunikacijama. Jedan od poslednjih rezultata ovih dogovora jeste saglasnost o isporukama Nemačke Demokratske Republike u periodu 1981—1985. takvih proizvoda kao što su to elektrokardiografi, sistemi za nadzor stanja pacijenata, monitora fetusa i elektroencefalografa Sovjetskom Savezu i drugim zemljama socijalističke zajednice, u zamenu za druge medicinske uređaje iz tih zemalja. Istovremeno će se intenzifikovati kooperacija u proizvodnji sistema i modula za medicinsku elektroniku pošto su usvojeni zajednički standardi na nivou zemalja SEV-a.