

7 FREKVENČNI MNOŽILNIKI

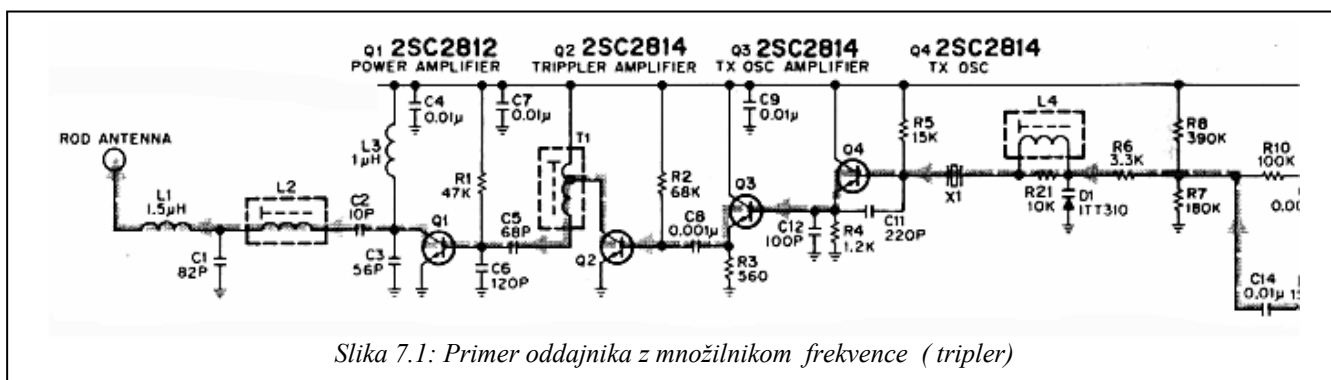
Splošne značilnosti

Množilniki frekvence so elektronska vezja, ki naredijo izhodni signal, kateri je za mnogokratnik višje frekvence kot je signal na vohodu. Ta vezja se uporabljajo za frekvenčne generatorje, modulatorje, oddajnike in druge naprave. Običajno je vhodna frekvenca nižja kot signal iz oscilatorja ali modulatorja, izhodna frekvenca iz množilnika pa vsebuje vse zakonitosti vhodnega signala (npr. FM). Enostaven podvojlilnik frekvence predstavlja že dvovalno usmerniško vezje.

V grobem lahko ločimo množilnike frekvence z nelinearnimi vezji in množilnike s sklenjeno fazno zanko-PLL.

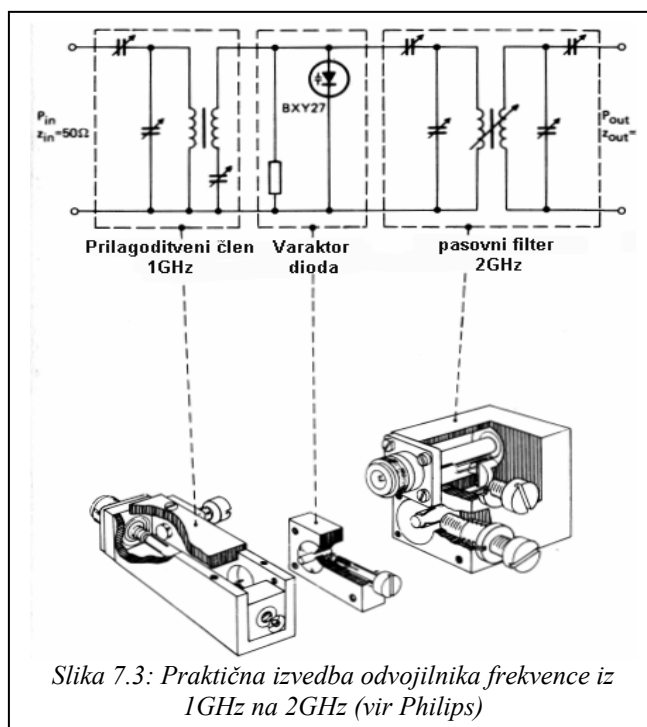
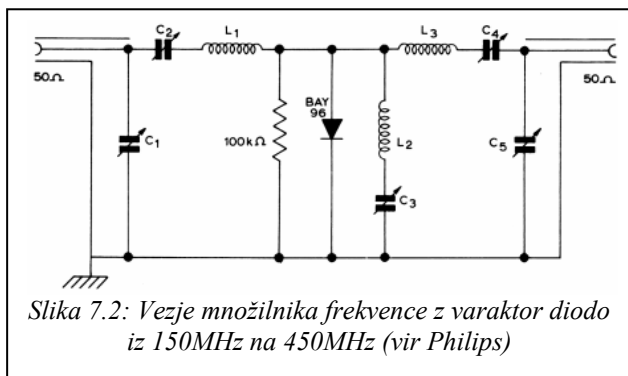
7.1 MNOŽILNIKI FREKVENCE Z NELINEARNIM VEZJEM

Pri tem načinu izkoriščamo nelinearno področje VF ojačevalnika ali varaktor diode, ki povzroči močno popačenje vhodnega signala, s čimer so višje harmonske komponente dovolj izrazite. Na izhodu vezja je nihajni krog ali filter, kateri je uglašen na višjo frekvenco, katera je mnogokratnik vhodne. Ponavadi je ta frekvenca tretja ali peta harmonska, ki sta dokaj močno zastopani v popačenem signalu. Kljub temu je izhodni signal ponovno sinusne oblike, saj pripadajoče frekvenčno odvisno vezje (filter) ostale frekvence močno duši oz. jih ne ojačuje (VF ojačevalnik v C-razredu).



Z višanjem množilnega faktorja amplituda harmonika pada, poveča pa se tudi motilni vpliv ostalih harmonskih frekvenc zato so ti množilniki največkrat le za mnogokratnik 3 (tripler). Primer takega množilnika prikazuje slika zgoraj.

Popačenje je možno doseči tudi z drugimi nelinearnimi komponentami kot npr.: dioda, tiristor ali dušilka z železnim jedrom pri omrežnih frekvencah.



7.2 PLL VEZJE

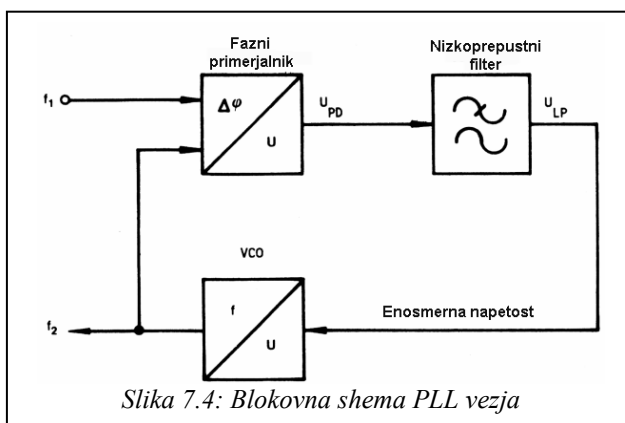
Ta način množenja frekvence omogoča poljubni množilni faktor, zato ima izredno široke možnosti uporabe. Razširitev vezja z frekvenčnim delilnikom pa omogoča tudi množenje s poljubnim faktorjem, ki je manjši od 1 (deljenje frekvence z poljubnim številom). Vezje s fazno sklenjeno zanko (*Phase Locked Loop-PLL*) pa je možno uporabiti tudi v številne druge namene zato ga je nujno podrobneje spoznati.

Področja uporabe PLL vezja

- ✓ frekvenčna sinteza
- ✓ FM demodulacija
- ✓ AM demodulacija
- ✓ dekodiranje stereo signala
- ✓ prepoznavanje pilotskega tona
- ✓ detekcija signala v prisotnosti šuma
- ✓ sinhronizacija prenosa podatkov
- ✓ regulacije vrtljajev
- ✓ servo sistemi

7.2.1 TEORETIČNA OSNOVA DELOVANJA PLL VEZJA

Delovanje PLL vezja lahko razumemo podobno kot delovanje operacijskega ojačevalnika. Podobno kot operacijski ojačevalnik primerja napetostna potenciala na vhodih in preko povratne vezave vpliva izhod nazaj na vhod, primerja PLL vezje dve frekvenci. Osnovne komponente fazne zanke so fazni primerjalnik, nizkopropustni filter in napetostno krmiljeni oscilator-VCO. Fazni primerjalnik ustvarja na izhodu signal, ki predstavlja razliko frekvenc oz. faz na vходу. Nizkopropustni filter iz tega signala izloči enosmerno komponento, katera predstavlja krmilna napetost za VCO.



Slika 7.4: Blokovna shema PLL vezja

Izhodni signal iz VCO-ja se primerja z vhodnim signalom PLL vezja in v primeru, da sta si frekvenci dovolj blizu pride do sinhronizacije obeh frekvenc- zaklepanje fazne zanke.

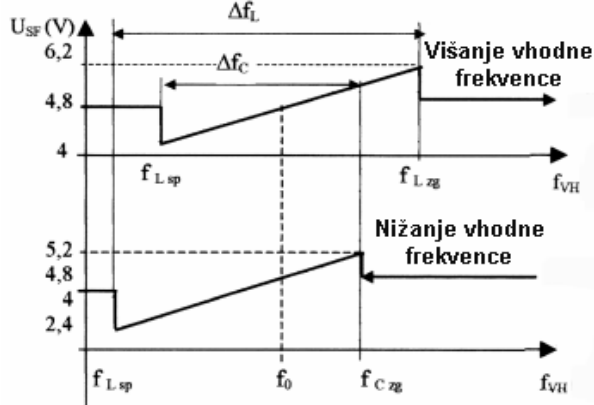
Značilni parametri PLL vezja

- **Naravna frekvenca f_0** je tista frekvenca na kateri VCO normalno deluje, kadar PLL vezje ni sinhronizirano
- **Obseg »držanja« (lock-sinhronizacija)**, predstavlja frekvenčni obseg v bližini frekvence f_0 v katerem lahko PLL vezje vzdržuje sinhronizacijo (spremljanje) z vhodnim signalom. Obseg držanja se poveča, če se poveča skupno ojačanje fazne zanke.

$$\Delta f_L = 2f_L = f_{Lzg} - f_{Lsp}$$

- **Obseg »ujemanja« (catch)**, predstavlja obseg frekvenc v bližini frekvence f_0 v katerem lahko PLL vzpostavi sinhronizacijo z vhodnim signalom. Ta obseg je ožji, če se zniža prepustni obseg NF filtra

$$\Delta f_c = 2f_c = f_3 - f_1$$



f_{Lsp}, f_{Lzg}frekvenci, ki določata obseg »držanja«
 f_{Csp}, f_{Czg}frekvenci, ki določata obseg »ujemanja«
 U_{SF}DC napetost na izhodu filtra (vhod VCO)
 f_0naravna frekvenca VCO

Slika 7.5: Primer napetostno-frekvenčne karakteristike PLL vezja

$$\omega_C \cong \sqrt{\frac{K_d \cdot K_{VCO}}{\tau_1}} = \sqrt{\frac{\omega_L}{R_1 C}}$$

Karakteristika na sliki ponazarja spreminjanje napetosti na izhodu faznega detektorja v odvisnosti od vhodne frekvence, ki se približuje naravni s spodnje strani. Napetost napake je nič, vse dokler vhodna frekvenca ne doseže velikosti f_{Csp} , kar predstavlja spodnjo frekvenco »prijemanja«. V tem trenutku se vhodna napetost na VCO ustrezno zniža in posledično tudi frekvenca f_{VCO} , kar pomeni sinhronizacijo PLL vezja z vhodno frekvenco. Pri nadaljnem zviševanju vhodne frekvence, bo frekvenca VCO izenačena z vhodno vse do točke f_{Lzg} , kjer pride do izpada sinhronizacije. Podobno se dogaja pri približevanju vhodne frekvence z druge strani, kjer se PLL pri frekvenci f_{Czg} sinhronizira, pri f_{Lsp} pa izpade iz sinhronizacije. Večinoma je obseg ujemanja ožji od obsega držanja.

- **Konverzijsko ojačanje** faznega primerjalnika K_d definiramo kot: $U_d = K_d(\varphi_i - \varphi_o) = K_d \cdot \Delta\varphi$ [V/rad]
- **Konverzijsko ojačanje VCO-ja** je podano kot: $K_{VCO} = \Delta f / \Delta U_F$ [Hz/V]
- **Krožno ojačanje PLL zanke** K_L je produkt obeh ojačanj: $K_L = K_d \cdot K_{VCO}$

Analizo delovanja je potrebno opraviti posebej za sinhronizirano in posebej za nesinhronizirano stanje. Dinamične razmere fazne zanke v veliki meri določa filter, ki vpliva tudi na obe frekvenčni omejitvi, prepustni obseg in obnašanje zanke na trenutne spremembe vhodnega signala (frekvenca, faza). V praksi se pojavljata dve vrsti filtrov.

7.2.2 DIMENZIONIRANJE FILTRA PLL ZANKE (NIZKOPREPUSNI FILTER)

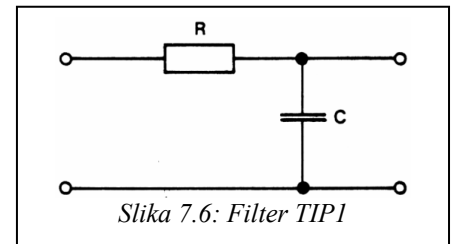
➤ Za filter TIP1

Ta tip filtra predstavlja enostavno RC vezje (slika 7.6) za katerega lahko napišemo prenosno funkcijo:

$$F(s) = \frac{v_f(j\omega)}{v_d(j\omega)} = \frac{1}{1 + j\omega\tau_1};$$

Časovna konstanta je: $\tau = R \cdot C$;

Mejna frekvenca filtra je: $\omega_m = \frac{1}{\tau_1}$



Prenosna karakteristika fazne zanke $T_{(j\omega)}$, ki je definirana kot odvisnost faze izhodnega signala VCO v funkciji faze vhodnega signala, je podana z relacijo:

$$T_{(j\omega)} = \frac{\varphi_{VCO}(j\omega)}{\varphi_i(j\omega)} = \frac{K \cdot F(j\omega)}{s + K_L \cdot F(j\omega)}$$

Z upoštevanjem prenosne funkcije filtra, dobimo novo enačbo za prenosno funkcijo PLL zanke, katera predstavlja prenosno funkcijo 2. reda.

$$T_{(j\omega)} = \frac{1}{\frac{j\omega^2 \cdot \tau_1}{K_L} + \frac{j\omega}{K_L} + 1}$$

Za prenosno funkcijo 2. reda lahko zapišemo splošno enačbo:

$$T(j\omega) = \frac{1}{\left(\frac{j\omega}{\omega_n}\right)^2 + 2 \cdot d \left(\frac{j\omega}{\omega_n}\right) + 1}$$

Splošen izraz za funkcijo 2. reda

Iz primerjave obeh enačb lahko izrazimo lastno frekvenco- ω_n in faktor dušenja- d PLL zanke.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_L}{\tau_1}} = \sqrt{K_L \cdot \omega_m}$$

Lastna frekvenca PLL zanke

$$d = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{K_L \cdot \tau}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega_m}{K_L}}$$

Faktor dušenja PLL zanke

➤ Za filter TIP 2

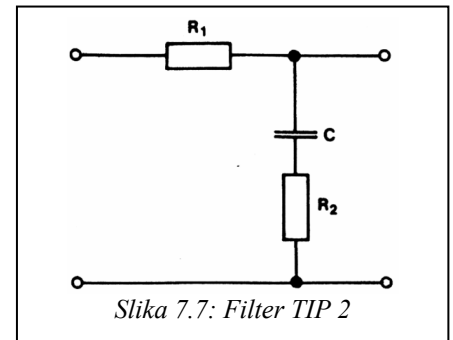
Prenosna funkcija takega filtra podana z izrazom:

$$F(j\omega) = \frac{v_f(j\omega)}{v_d(j\omega)} = \frac{1 + j\omega \cdot \tau_2}{(\tau_1 + \tau_2) \cdot j\omega}$$

Časovni konstanti sta podani: $\tau_1 = R_1 \cdot C_1$; $\tau_2 = R_2 \cdot C_1$

Mejna frekvenca filtra je podana z izrazom:

$$\omega_m = \frac{1}{\tau_1 + \tau_2}$$



Prenosna funkcija fazne zanke s tem filtrom je podana z izrazom:

$$T(j\omega) = \frac{\varphi_{VCO}(j\omega)}{\varphi_i(j\omega)} = \frac{K_L(j\omega\tau_2 + 1)(\tau_1 + \tau_2)}{j\omega^2 + j\omega(1 + K\tau_2) + \frac{K_L}{\tau_1 + \tau_2}}$$

Naravno frekvenco- ω_n in faktor dušenja- d za PLL zanko lahko dobimo iz prenosne funkcije :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_L}{\tau_1 + \tau_2}} = \sqrt{K_L \cdot \omega_m}$$

$$d = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{K_L}{\tau_1 + \tau_2}} \cdot \left(\tau_2 + \frac{1}{K_L} \right) = \frac{1}{2} \omega_n \cdot \left(\tau_2 + \frac{1}{K_L} \right) \cong \frac{\omega_n \cdot \tau_2}{2}$$

Na podlagi analize obeh prenosnih karakteristik lahko zaključimo, da velja za filter tipa 1 mali faktor dušenja, kar lahko povzroči morebitne parazitne oscilacije in nestabilnost delovanja. Slabost je, da s takim filtrom ni mogoče neodvisno nastavljati prepustnega obsega, krožnega ojačanja in faktorja dušenja, kar je v nekaterih primerih potrebno. Zato se pogosteje uporablja filter tipa 2.

Obseg držanja (*locked area*) pri fazni zanki ni odvisen od NF filtra in je številčno enak krožnemu ojačanju :

$$\omega_L = K_d \cdot K_{VCO} = K_L \text{ [rad/s].}$$

Obseg ujemanja (*catch area*) je odvisen od vrste filtra in je za ta filter približno:

$$\omega_C = K_d \cdot K_{VCO} \left(\frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \right) = \omega_L \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

Izraz za obseg ujemanja je v odvisnosti od naravne frekvence in faktorja dušenja: $\omega_C = 2 \cdot d \cdot \omega_n$

Čas sinhroniziranja fazne zanke je čas od trenutka pričetka sinhronizacije do ujemanja obeh frekvenc. Fazna zanka se ne sinhronizira trenutno, ampak je čas sinhroniziranja sorazmerno odvisen od razmaknjenosti obeh frekvenc. in je približno podan z relacijo:

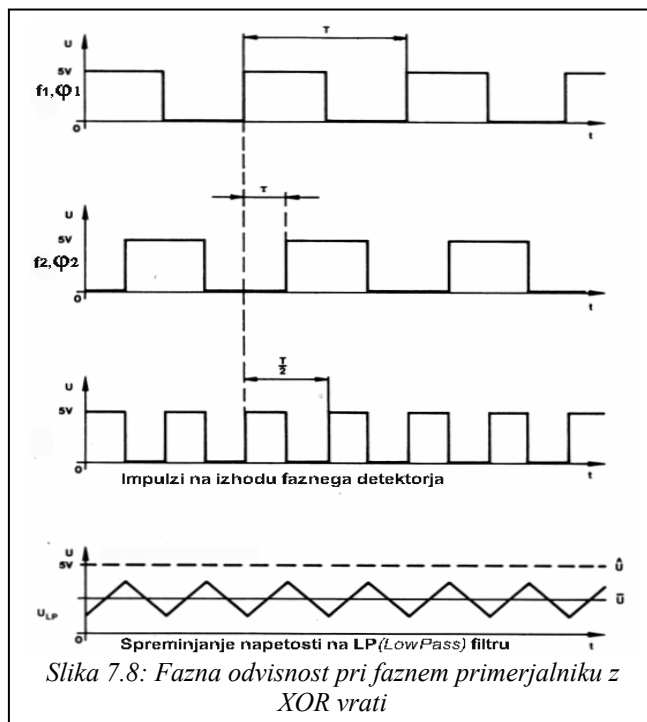
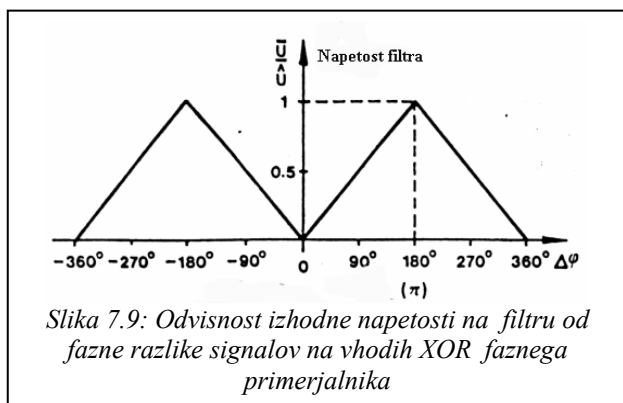
$$T_p = \frac{(\Delta\omega)^2}{2d\omega_n^3}$$

Za PLL vezja so na voljo tudi razn programska orodja za simulacijo (npr. EWB), modeliranje (npr: <http://www.philips.com>) in načrtovanje PLL vezij (npr.: <http://www.national.com/appinfo/wireless>).

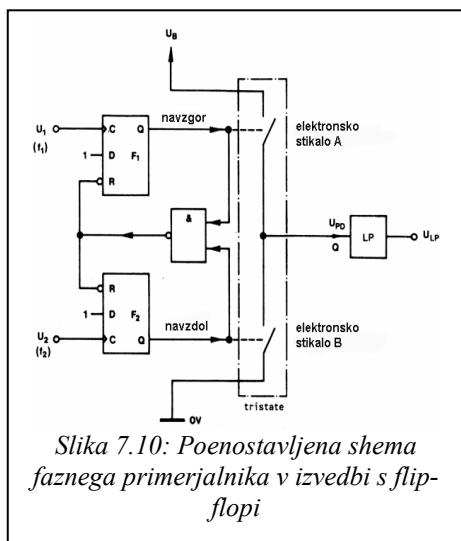
7.2.3 IZVEDBE FAZNIH PRIMERJALNIKOV

V uporabi sta dve vrsti faznih primerjalnikov. Za XOR fazni primerjalnik je značilno, da je občutljiv samo na fazne spremembe v obsegu $\pm 90^\circ$. Za fazni primerjalnik s Flip-flopi pa je poleg fazne značilna tudi frekvenčna občutljivost.

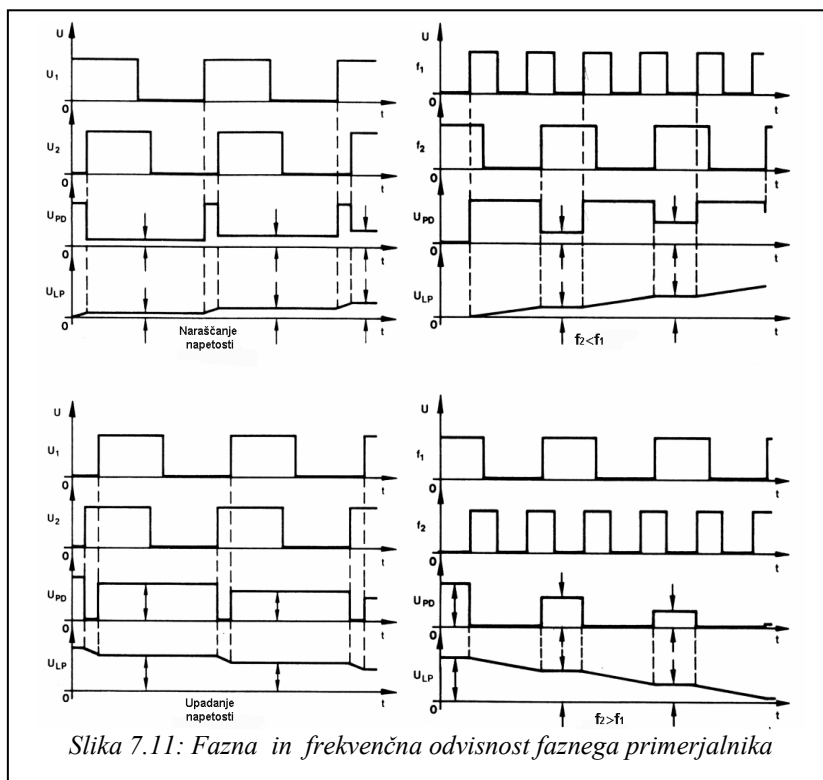
Fazni primerjalnik v izvedbi z XOR vrati



Fazni primerjalnik v izvedbi s flip-flopi

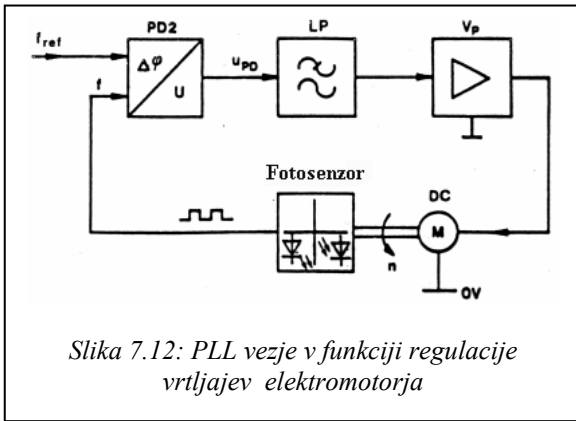


Opis vezja-opravi študent!

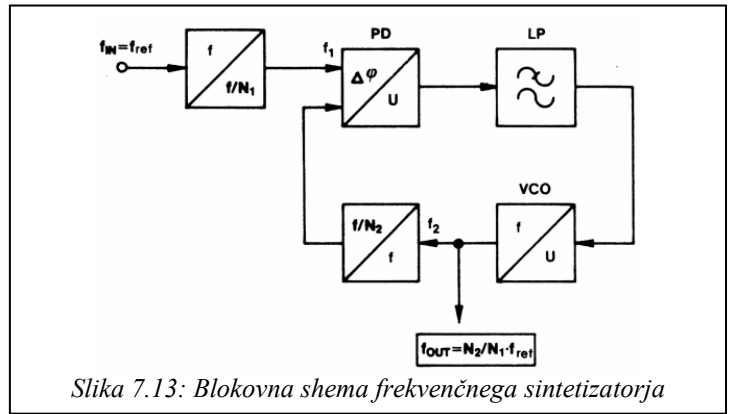


7.2.4 PRAKTIČNI PRIMERI PLL VEZIJ

V praksi se PLL vezje pogosto uporablja v funkciji frekvenčnega sintetizatorja. V tem primeru se PLL dopolni še z ustreznim frekvenčnim delilnikom, ki frekvenco VCO-ja oz. vhodno frekvenco deli z ustreznim količnikom. Tudi v tem primeru se na faznem primerjalniku frekvenci izenačita, vendar pa VCO niha na pripadajoči višji frekvenci, katera pa predstavlja istočasno izhodni signal.

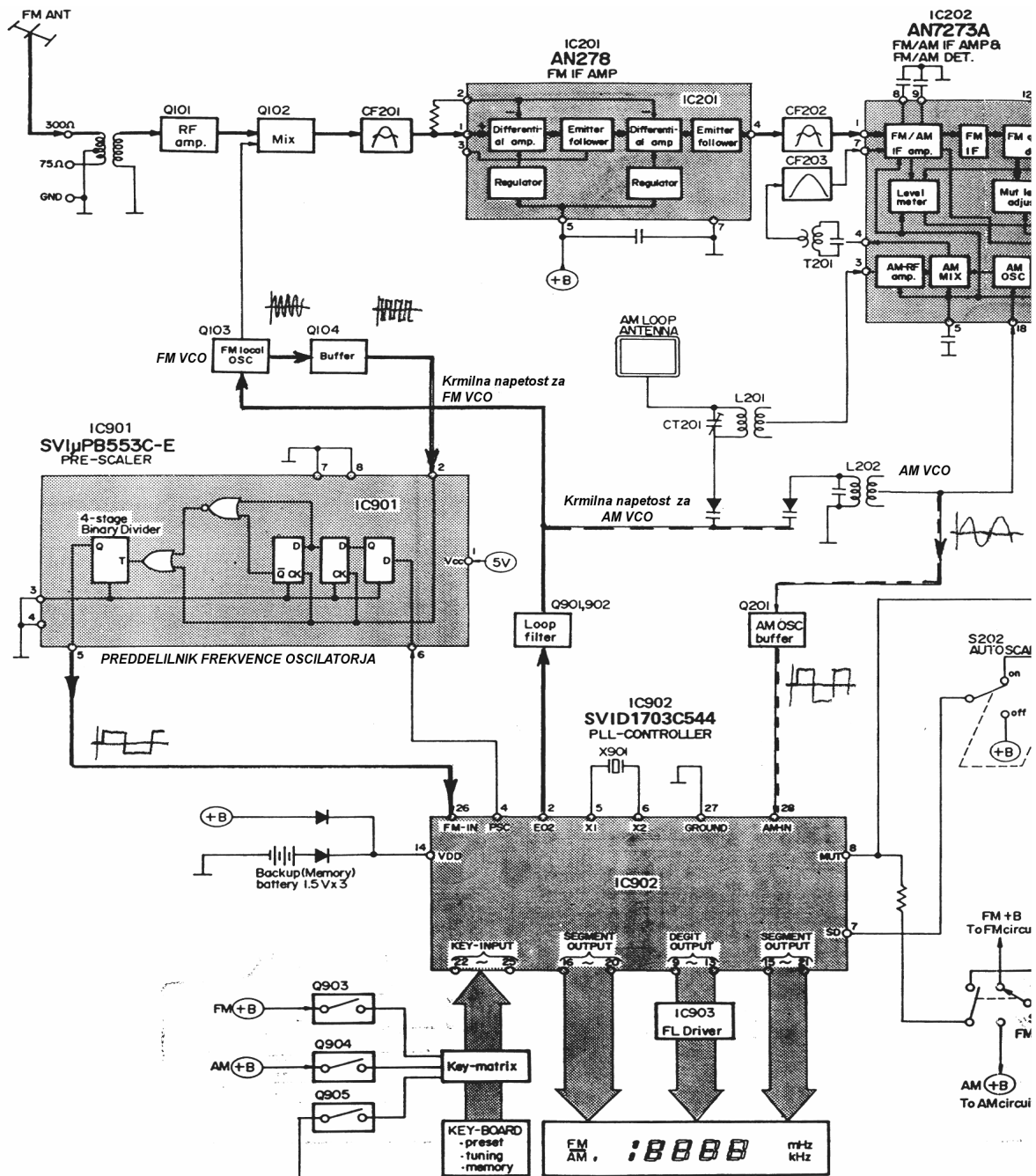


Slika 7.12: PLL vezje v funkciji regulacije vrtljajev elektromotorja



Slika 7.13: Blokovna shema frekvenčnega sintetizatorja

Primer uporabe PLL vezja pri radijskem sprejemniku (vir Matsushita Electric)



Slika 7.14: Praktična izvedba PLL vezja za FM in AM sprejemnik