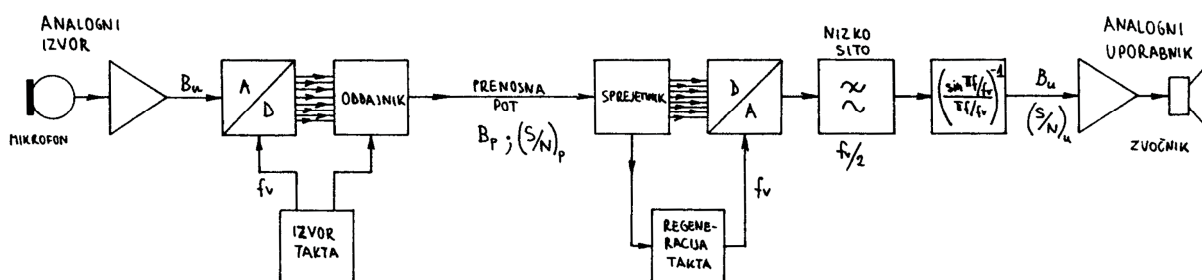


## VAJA 27: Popačenje analognih signalov pri številskem prenosu

### 1. Številski (digitalni) prenos analognih signalov

Za prenos analognih signalov pogosto uporabljamo številski (digitalni) prenos. Izraz številski ali digitalni seveda ne pomeni kaj dosti, saj je vsak prenos po resničnih prenosnih poteh v resnici analogen. V resnici gre za številsko predelavo signala tako na oddajni strani kot na sprejemni strani. S primerno predelavo signala za prenos predvsem boljše izkoristimo prenosno pot, kjer je običajno na razpolago večja pasovna širina  $B_p > B_u$ , vendar slabše razmerje signal/šum.

Osnovni gradniki številskega prenosa analognih signalov so prikazani na Sliki 1. Signal iz analognega izvora najprej pretvorimo v številsko obliko z A/D pretvornikom. Izhod A/D pretvornika nato pripravimo za prenos v oddajniku. Oddajnik vsebuje vsaj vzporedno/zaporedno pretvorbo, običajno pa tudi kompresijo podatkov in zaščitno kodiranje.



Omejitvi številskega prenosa:

- ① Vzorčna frekvenca  $f_v$  (pasovna širina  $B_u < f_v/2$ )
- ② Točnost vzorcev (število bitov  $N$ )

Slika 1: Številski (digitalni) prenos analognih signalov

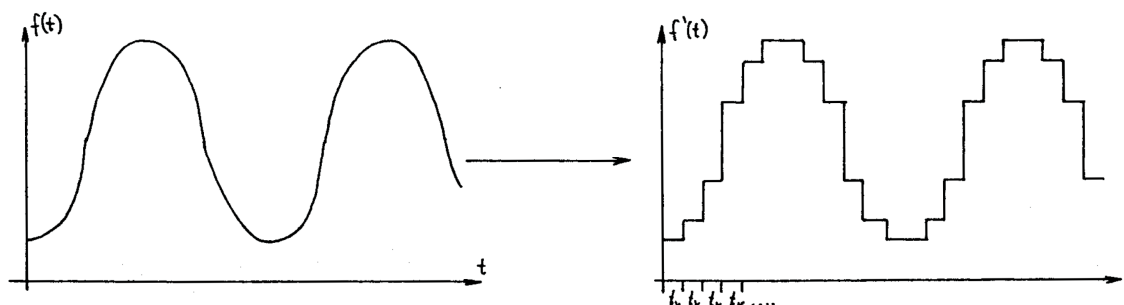
Sprejemnik na drugem koncu zveze vsebuje vsaj regeneracijo takta ter zaporedno/vzporedno pretvorbo, običajno pa tudi dekodiranje s popravljanjem napak pri prenosu in dekompresijo. Izhod D/A pretvornika gre najprej skozi nizkoprepustno sito, kjer se odstranijo neželeni produkti vzorčenja. Ker izhod D/A pretvornika niso delta impulzi kot v teoriji, pač pa stopničke, ki trajajo celotno periodo vzorčenja, je treba še popraviti (odstraniti) frekvenčni odziv stopničke v obliki  $\sin(\pi \cdot f / f_v) / (\pi \cdot f / f_v)$ .

Pri številskem prenosu se takoj srečamo z dvema omejitvama analognega signala. Prvo omejitev predstavlja vzorčna frekvenca  $f_v$ , ki določa največjo prenašano pasovno širino  $B_u$  uporabniškega analognega signala. Jasno mora biti  $B_u < f_v/2$  s smiselno rezervo glede na možnost izdelave ustreznih nizkoprepustnih sit za analogni signal. Časovno vzorčenje sicer samo po sebi ne kvira kvalitete analognega signala, ki ima omejeno pasovno širino  $B_u$ .

Drugo omejitev predstavlja točnost posameznih vzorcev, z drugimi besedami število bitov (binarnih mest števila)  $N$ , s katerimi ponazorimo vsak vzorec. Napake pri zaokroževanju analogne veličine na številsko vrednost prinašajo kvantizacijski šum. Razmerje signal/šum je zaradi tega pri številskem prenosu vedno navzgor omejeno z vrednostjo, ki jo dopušča izbrana točnost zaokroževanja. Dodatno poslabšanje razmerja signal/šum seveda prinesejo napake pri prenosu oziroma izgubna kompresija podatkov v oddajniku.

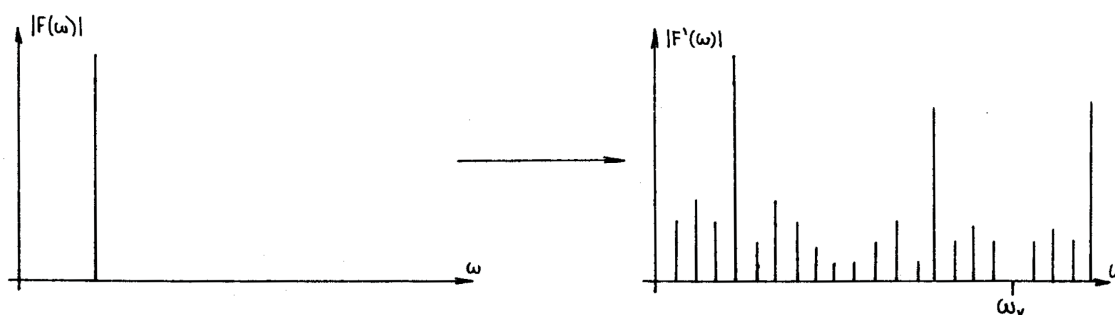
Popačenje signala pri številskem prenosu, kot bi ga videli na zaslonu osciloskopa v časovnem prostoru, je prikazano na Sliki 2. Signal na izhodu D/A pretvornika ima obliko stopničk, saj D/A pretvornik običajno uporabljamo tako, da na vhodnih sponkah zadržimo staro vrednost

do prihoda nove. Nizkoprepustno sito seveda odstrani ostre robove stopnič, tudi frekvenčni odziv stopničke lahko kompenziramo, ostane le šum zaokroževanja zaradi omejenega števila bitov  $N$  po vzorcu.



Slika 2: Popačenje signala v časovnem prostoru

Po nizkoprepustnem situ bi na osciloskopu težko ločili izhodni analogni signal od vhodnega. Zaokroževalni šum lažje opazujemo v frekvenčnem prostoru na zaslonu spektralnega analizatorja. Razen želene spektralne črte sinusnega signala dobimo še bogastvo malih spektralnih črtic zaokroževalnega šuma, kot je to prikazano na Sliki 3.



Slika 3: Popačenje signala v frekvenčnem prostoru

Slika na zaslonu se zrcalno ponavlja okoli frekvence vzorčenja in njenih harmonikov. Zrcalne slike odstrani nizkoprepustno sito. Tudi brez nizkega sita jakost zrcalnih slik upada s frekvenco, saj je celotna slika pomnožena s spektrom stopničk na izhodu D/A pretvornika. Obilica črtic zaokroževalnega šuma okoli želenega signala seveda ostane, ne glede na vstavljeno nizko sito.

Razen teoretskega šuma zaokroževanja moramo običajno računati tudi z neidealnostjo A/D in D/A pretvornikov. Glavna pomanjkljivost A/D pretvornikov so neenakomerno velike stopničke v prenosni funkciji. Pri D/A pretvornikih pa največje motnje prinašajo prehodni pojavi pri preklopu vhodnega signala na novo vrednost.

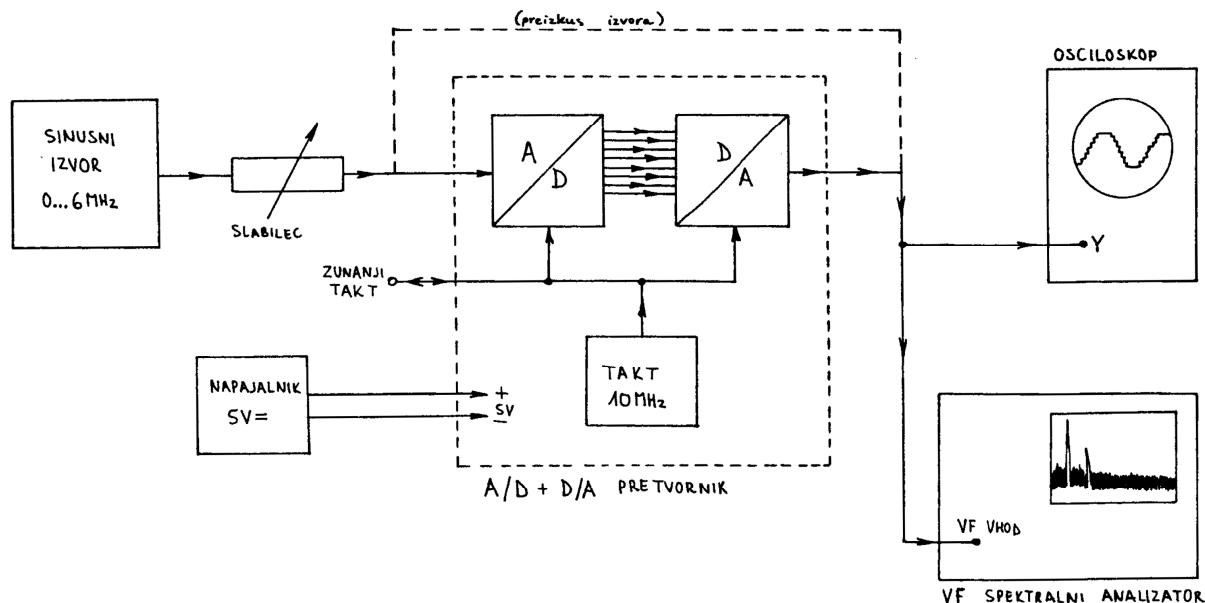
## 2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Visokofrekvenčni sinusni izvor za področje 0...6 MHz z nastavlјivim slabilcem na izhodu.
- A/D pretvornik in D/A pretvornik z ustreznim izvorom takta.
- Analogni osciloskop (60 MHz).
- Visokofrekvenčni spektralni analizator 0...1 GHz.
- Napajalnik 5V 1A za A/D in D/A pretvornika.

- Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov je prikazana na Sliki 4.



Slika 4: Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov

### 3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Za vajo si oglejmo učinke vzorčenja in zaokroževanja pri številskem prenosu na sinusnem signalu v časovnem in frekvenčnem prostoru. Ker nas sam prenos ne zanima, povežemo številski izhod A/D pretvornika naravnost na vhod D/A pretvornika. Izlode D/A pretvornika peljemo hkrati na osciloskop in na visokofrekvenčni spektralni analizator, da lahko hkrati opazujemo dogajanje v časovnem in v frekvenčnem prostoru.

V vaji uporabimo 8-bitna A/D in D/A pretvornika, ki dopuščata frekvenco vzorčenja vse do 30 MHz. A/D pretvornik je vrste "flash", se pravi vsebuje uporovno lestvico, 255 primerjalnikov (za vsako stopničko posebej) in kodirnik na 8 bitov. "Flash" A/D pretvorniki so najhitrejši in na vhodu ne potrebujejo dodatnih analognih vezij (*sample-and-hold*).

D/A pretvornik vsebuje tudi vmesni pomnilnik za en vzorec. Vpis v vmesni pomnilnik krmilimo s taktom. Do prihoda naslednjega taktne impulza zato izlode D/A pretvornika zadrži predhodno stanje. Tudi A/D pretvornik krmilimo s taktom in tako določamo trenutke vzorčenja vhodnega signala.

Čeprav sta A/D in D/A pretvornika izdelana za 8 bitov, ju za vajo lahko preklopimo tako, da uporabimo manj bitov. Povezava med A/D in D/A pretvornikoma je zato izvedena z mostički. Še enostavneje pa znižanje števila uporabljenih bitov dosežemo tako, da znižamo amplitudo vhodnega analognega signala s slabilcem na izlode sinusnega izvora. Učinkovitost ukrepa opazujemo na osciloskopu, saj ima uporabljeni A/D pretvornik vgrajeno avtomatsko regulacijo ojačenja, ki se v določenih mejah prilagaja vhodnemu signalu tako, da je vseh 8 bitov polno izkoriščeno.

Za vajo si najprej oglejmo izhodni signal izvora neposredno, brez A/D in D/A pretvorb, z osciloskopom in spektralnim analizatorjem. Pri povezavi teh merilnikov upoštevamo, da je le spektralni analizator zaključen na impedanco koaksialnega kabla, vhod osciloskopa pa je visokoohmski. Kabel s signalom zato vodimo do T-člena na vhodnih sponkah osciloskopa in od tam naprej do spektralnega analizatorja.

Nato vstavimo enoto z A/D in D/A pretvornikoma ter opazujemo dogajanje pri različnih jakostih in različnih frekvencah vhodnega signala. Pri tem pazimo, da je slabilec na vhodu spektralnega analizatorja vedno smiselno nastavljen. Posebno pozornost si zaslužijo slučaj, ko je frekvenca vzorčenja točen mnogokratnik frekvence vhodnega signala!

#### **4. Prikaz značilnih rezultatov**

Za vajo izmerimo popačenje signala, ki ga definiramo kot razmerje med močjo željenega signala in vsoto moči vseh neželjenih signalov. Pri meritvi seveda upoštevamo le signale do polovice vzorčne frekvence, saj na višjih frekvencah dobimo že zrcalno sliko istega signala. Hkrati premikamo frekvenco izvora in skušamo poiskati najslabši možni slučaj, ko so neželjeni signali najmočnejši.

Iz slike na osciloskopu lahko hkrati razberemo, koliko bitov A/D in D/A pretvornikov sploh uporabljamo oziroma preverimo, da A/D pretvornik ni prekrmljen. Kot končni rezultat vaje narišemo graf, ki predstavlja razmerje signal/šum kot funkcijo števila bitov A/D in D/A pretvorb.