

Radiofrekvencijski sustavi

bilješke s predavanja

Jelena Mirošević

LINIJA BEZ GUBITAKA

- vrijedni $R=0$ i $G=0$, no u prirodi $R \neq 0$, ali su malu zanemarivo
- pa je impedanca linije bez gubitaka $z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$
- realna je impedanca
- koeficijent rasprostranjenja $\gamma = \alpha + j\beta = j\omega\sqrt{LC}$
imaginarni za $\alpha = 0 \Rightarrow$ prigušenje = 0 nema smanjivanja amplituda vela, samo promjena faze

LINIJA S MALIM GUBITCIMA

- vrijedni $R \ll \omega L$ $G \ll \omega C$
- karakteristična impedanca $z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ približno
- u koeficijentu rasprostranjenja ne radimo tako drastična zanemarivanja, zanemarujemo velike drugog reda, pa razvij u Taylorov red, tu uzimamo prve dva člana i na kraju imamo

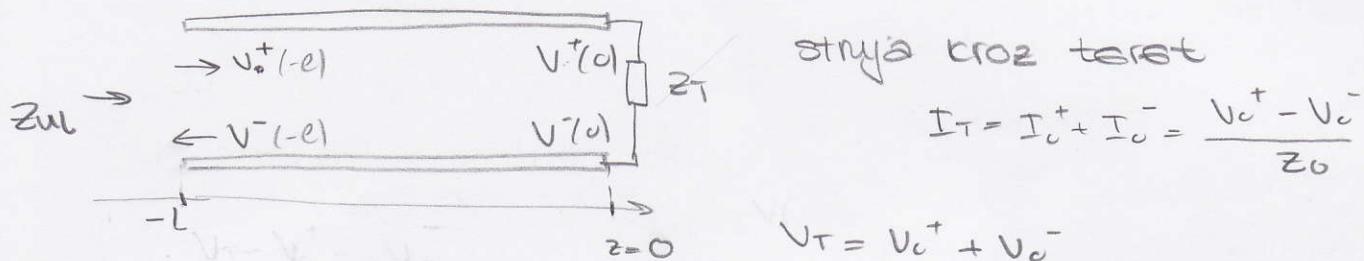
$$\gamma = \frac{1}{2} \left(R\sqrt{\frac{C}{L}} + G\sqrt{\frac{L}{C}} \right) + j\omega\sqrt{LC}$$

gubici zbog
vodljivosti materijala
(gubici u metalu)

gubici u dielektriku
koji prigušuju signal

LINIJA ZAKLJUČENA TERETOM

- išodujte postavljamo na mjestu tereta



struja kroz teret

$$I_T = I_0^+ + I_0^- = \frac{V_0^+ - V_0^-}{Z_0}$$

$$V_T = V_0^+ + V_0^-$$

$$Y(z) = Y_0^+ e^{Rz} + Y_0^- e^{-Rz}$$

$$|I_E| = \left| \frac{V_0^+}{Z_0} e^{-Rz} - \frac{V_0^-}{Z_0} e^{Rz} \right|$$

$R \in [0, 1]$

$$\Gamma_T = \Gamma(z=c) = \frac{V_0^-}{V_0^+}$$

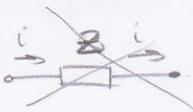
Z_T imped.

$Z_T \rightarrow$ normalizirana impedancija

PRIJENOSNE LINIJE

- gornji dio frekvencijskog spektra, pa ne ujedno klasična teorija o sklopovima

ne \leq nje isto



ulazna i izlazna struja nisu iste, ovisiti od duljini impedancije

- elementi sumjerljivi sa \rightarrow (ne VF)
- prijenosna linija je struktura koja može prenositi elektromagnetski val
- napon i struja ove se ne samo o vremenu već i o koordinati z , tu razliku imamo zbog parazitnim/koncentriranim elementima
- sveci od elemenata nesto modelira:

OTPOR - gubici zbog protoka struje

VODJIVOST gubici u dielektriku, zbo PARAL.

- C - el. en se pohranjuje
L - mag energija se pohranjuje

Fazor nači o vremenu, ima iznos i fazni kut, oni o koordinatama

$$V(z) = V_0 e^{j \phi(z)}$$

\downarrow
magnituda

Mikrofiksativne mreže i mikrovodne mreže

- nemamo viši + i - vod, nemamo par priključnica već prolaz među to su valovodi i sl.
- smjer struja je U PROLAZ, dogovorno
- linearni funkcije
- $[z]$ - matrica impedancija
- $[I]$ - vektor struja ili vektor potoučja

$$[V] = [z][I]$$

$$[I] = [\gamma][V]$$

$$[\gamma] = [z]^{-1}$$

} dobijemo ohnov zakon

zavisi vektor struje

- z parametri

$$z_{ij} = \frac{V_i}{I_j} \quad |_{\substack{V_k=0, k \neq j}}$$

$$V_1 = z_{11}I_1 + \dots + z_{1n}I_n$$

$z_{11} = \frac{V_1}{I_1} \rightarrow$ sve ostale moraju biti = 0, samo ovaj nase $\neq 0$

pobudjen prolaz samo

j. ostali prolazi nepobudjeni

- γ parametri

$$\gamma_{ij} = \frac{I_i}{V_j} \quad |_{\substack{V_k=0, k \neq j}}$$

- naponi na svim ostalim prolazima (osim na j) jednaci su nula

$$I_j = \gamma_{11}V_1 + \dots + \gamma_{1n}V_n$$

$$\gamma_{1N} = \frac{I_1}{V_N}$$

- parametri su s obzirom

na dijagonam jednaci



kako prenosimo sa I na z tako
se prenosi i sa 3 na 4

- isto \Leftrightarrow inverzija iz matrici impedancija

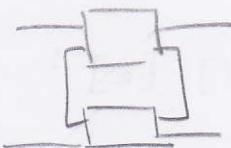
$z_{ij} = z_{ji}$ recipročna mreža

- ako su svi elementi recipročni i mreža je recipročna
 ako samo jedan element nije recipročan, nije ni
 mreža

pr. $[S] = \frac{1}{R_2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ recipročna mreža
 sa gubitima

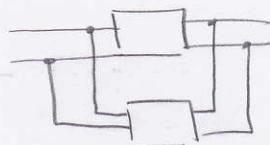
$$[Y] = \begin{bmatrix} j b_{11} & j b_{12} \\ j b_{21} & j b_{22} \end{bmatrix}$$
 bez gubitaka

- SERIJSKI SPOJ



$$[Z] = [Z^A] + [Z^B]$$

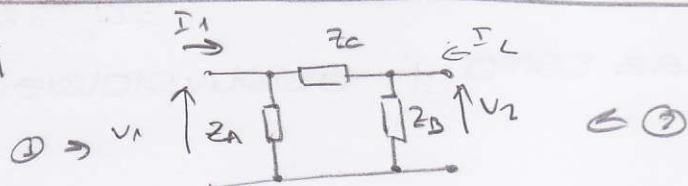
PARALELNI SPOJ



$$[Y] = [Y^A] + [Y^B]$$

ZJ

z parametri



$$Z_{11} = \frac{V_1}{I_1} \quad \left| \begin{array}{l} I_2 = 0 \\ V_2 = 0 \end{array} \right.$$

U drugom prolazu na teće struju (gledamo
 sa prolaza 1)

u drugom slučaju prolaz + otvoren, gledamo sa prolaza
 2

$$Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} \quad \left| \begin{array}{l} I_1 = 0 \\ V_1 = 0 \end{array} \right.$$

DA BI MOGLI NAPRAVITI T STLOP, STLOP MORA BITI RECIPROČAN

RASPRŠNI PARAMETRI

- upadni val snage $a_i = \frac{V_i^+}{\sqrt{Z_{in}}}$

- preneseni val snage $b_i = \frac{V_i^-}{\sqrt{Z_{in}}}$

NEREFLIKSIVNA MREŽA \Rightarrow nema na dijagonalu
 \rightarrow nema refleksije na
prolažima

GUBITCI U MREŽI

RADIOFREKVENCIJSKI SUSTAVI

- sustav koji koristi elektromagnetski val u slobodnom prostoru
- negdje oko 10^{17} Hz počinje ionizacijska zonija, oni ipak nema energiju da bi moglo izravno nam stići, neionizujuća

Vrste RF sustava

- s obzirom na razmještaj korisnika

točka - točka (1o - LP)

točka - više točaka

više točaka - više točaka

TOČKA - TOČKA

- umjesto zics duže antene (usmjereni) i zrak
- manja snaga
- na bliskim rastojanjima više sustava
- veće udaljenosti (zg-pepek, zg-zumberak i sl. tirkovi)
- usmjereni prijenos za privatne i javne korisnike
- za spajanje bazne ^{npr. banta ili meteorološke postaje} stanice sa telefonskom centralom
npr. na otoku parabolna antena puca na kopno ne centralu

TOČKA - VIŠE TOČAKA

- imamo siri snop
- primjer: radiodifuzija (TV)
radionavigacija (GPS)

VIŠE TOČAKA - VIŠE TOČAKA

- imamo primopredajne stanice
- korisnici mogu i putovati i stajati
- korisnik zove korisnika, ali preko centralne korisnik - bezal-centrala - bazaz korisnik2
- primjena: mobitski (sustav pokretnih komunikacija)
WLAN (radijske računalne mreže)

- RF sustavi s obzirom na smjer komunikacije:

: jednosmjerni (SIMPLEX)

• polu-dvosmjerni (HALO-DUPLEX)

• dvosmjerni (DUPLEX)

- jednosmjerni

• TV odašiljač odašilye konzicuma, oni mogu i ne moraju konistiti.

• GPS, satelit sinyo

- polu-dvosmjerni

• komunikacija u 2 smjera, ali ne istovremeno

• isti kanal za odašilyanje i prijem

• prekarpćenje sa odašilyanja na prijem obično se vrši ručno

• talkie - walkie, CB radio

- dvosmjerni

• GSM

• može se istovremeno slati i primati

• duplexiranje

FDD - odvajanje up-linka i down-linka po frekvenciji
(imamo 2 frekv. pojase)

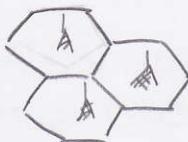
TDD - UP i DOWN ide u različitim vrem. skupinama,
tako malim da gđaju kontinuirano

Satelitski radiokomunikacijski sistemi

- omogućava komunikaciju sa puno rovnera
- pokriva ogromno geografsko područje
- digitalni podaci
- prenosi zvuk, sliku, podatke
- **GEO** (na 36 000 km)
 - s obzirom na zemlju minju
 - zbog velike udaljenosti → ogromna gusenja, potrebno malo usnopljeti, da bi na prijamniku (sa VELIKOM antenom) mogli nešto dobiti
 - jaki odasiljaci i vrlo osjetljivi prijamnici
 - manje se koristi, za ekstremne slučajevе (javljanje iz pustinje, rata i sl.)
 - kašnjenje signala zbog velikog puta
 - Prij (dial-up) downlink išao kroz putem → pomoć satelita
- **LEO** (na 500-2000 km)
 - gusenje signala je manje (nego GEO)
 - ručni telefoni
 - sateliti nisu fixni, moraju kružiti oko zemlje
 - vidljiv je 1-20min, zato potreban veliki broj satelita

Sustav mobilnih komunikacija

- PCS - osobni kom. sustavi
- podjela prostora na 6-sročne celije koje se ne preklapaju



- prva generacija (1G)

- analogni sustav
- frekvencijski pojas ima stotinjak kanala, svaki omogućava jedan telefonski razgovor
- NTT - Japan - 1979. 800-900 MHz
- NMi-900 - Europa - 1981. 450MHz
- AMPS - SAD - 1983. (AT&T) 800-900MHz
- modulacija frekvencije

- druga generacija (2G)

- 1990. početak \rightarrow GSM (u Francuskoj)
- digitalni podatci
- TDMA i FDMA koristi zbog povećanja broja kanala
- sifra, kanala 200 kHz radijskog

125 radijskih kanala \rightarrow svaki 8 vrem. odsjek \rightarrow 1000 fizičkih kanala

- paketsko prekopćavanje

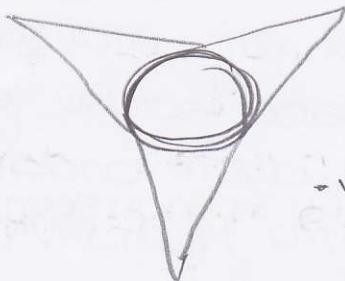
- GPRS (2.5G)
- paketski prijenos omogućava adaptivnu konstrukciju postojecog kapaciteta
- EDGE (2.75G)
- fazna modulacija sa više stanja BPSK \rightarrow kodira se paket od 3bita, a ne po jedan, pa je i brzina 3x veća nego za GSM
- SAD \rightarrow 2G TDMA i CDMA

- treća generacija (3G)

- na GSM se zasniva, uz neku nadogradnju
- veća propusnost
- UMTS (Europa) koristi W-CDMA širokopojasni pristup po kodu
- FDD i TDD
- sifra kanala 5MHz 100 govornih kanala prijenos podataka 1920 kbit/s
- UMTS (HSDPA, HSUPA)
spor up-link \downarrow
bit up-link } do 14.4 Mbit/s.

- LTE put prema 4G do 100Mbit/s
širina kanala 20MHz

- satelitske komunikacije omogućavaju potrošenost
teško dostupnih područja
- teoretski 3 geostacionarnih satelita, no kod
njih problem gusanje
10GHz 200dB za 36 cm
velike usmjerene antene
1GHz 180dB



- komercijalni sustavi >1GHz, manje gusanje

INMARSAT - M

- geostac. sateliti
- punjenos, male brzine
- za komunikaciju sa brodovima
- male neusmjereni antene
- za kamione (preko sibira)
- antene tipa 30-50cm

- IRIDIUM - by Motorola (od 1998)
- 66 satelita (LEO)

- GLOBALSTAR - by Qualcomm (od 2000)

- 48 LEO satelita
- uređaj u koji stanu u džep

- jak trajanja satelita - nekoliko godina

- i Iridium i Globalstar bili pred raspadom (slup sport)

Navigacijski sustavi

- GPS
 - 24 satelita na 20200 km
 - NAVSTAR - početak GPS-a u vjenčini projekta
 - sustav mora vidjeti 4 satelite da bi nam signal bio konst., zbog vremenskog odstupanja, a ako znamo visinu onda su doista 3 satelite
 - u početku C/A kod, a vojska P-kodovi (protected)
 - D-GPS → za korekciju C/A koda ^{brzina na 100 km} dok je P bio zaštićen, za vojsku samo
→ relativni položaj, korekcija s dobitkom na preračunato i dobiveno
 - prijamnik dobitor OdB, prijamske razine -130dBm, jerako mal signal, kodom izdvajamo signal koji je ispod razine suma

zemljarska radiofuzija **satelitska**
- analog i dug.

WLAN - radijske računalne mreže

- neusmjereni, male antene (dobitor <0dB)
- do nekoliko -100 MW
- usmjereni antene ostvaruju domet do nekoliko km

RFID - radio frequency identification

- za sisteme kontrole pristupa
- bez dodira/kontakta
- za promet/roba/paketa za ulaz/izlaz u skladište, točno stavljanje zaliha
- za naplatu cestarine

Parametri RT sustava

- određeni su fizičkim ograničenjima
 - osnovni parametri: flaku pod
višestruki pristup.

FREKVENCIJSKO PODRUČJE

- odabran zakonskim propisima
 - vlasnik frekv. pod - resursa - država
 - ISM slobodni pojasni 2,4 GHz (ne placaju se) i WLAN i mikrovlnne i SL
 - neki pojasevi za policiju
 - odabir poasa odradjuje;

sum (on ovisi o frekvenciji) $f < 100\text{MHz}$ sum raste
 sinus kanala | Cjuno prirodnih izvora
 digitalne slike $f > 100\text{GHz}$ sum raste
 uujem raspostiranja EM vala z bog toplinskog
 suma

- sirina pojasa ovisi sto zadimo pronjekst i kako
brzo, veca sirina pojasa, veca brzina, bolja
kvaliteta (moze se istazati u % s obzirom
na naku srednju snagu)
 - dobitak antene - omjer fizickih dimenzija i
veline duljine
sto je antena veca (u odnosu na λ) veci je i
dobitak

- gubitci uzduž puta ovise o frekvenciji

VF > 5 GHz

- pravocrtno rasprostirenje
 - potrebna optika vidljivost

NF ok 1GHz

- ne treba optička vidljivost
 - zbog visokotaknog rasprostranjenja
 - podnosi kratkog vala
 - kratkovlani radio, veliki dolmati jer se val rasprostire iznad ionosfere i zemlje
 - treba 2 reflektivna površine
 - više stupaca km
 - ne treba optička vidljivost

Djelotvornost aktivnih elemenata

- < 5GHz - cijanovna granica, ispod silicijevi bip. tranz,
- jeftinci
- veliko pojačanje (stvijno) s obzirom na FET
- ne mogu se smanjiti da budu <>

na VF ide se na GaAs MESFET

- fizički poluvodič puno manji od ?
- stuplja tehnologija
- manje stvijno pojačanje
- do 100GHz frekvencija

- višestruki pristup: FDMA - po frekv.

TDMA	- po vremenu
CDMA	- po kodu

FDMA - GSM

- 25MHz, kanal 200kHz, 125 kanala up i down

TDMA - GSM

- kanal 200 kHz, vrijem odsj, 8 govornih kanala (fizičkih kanala)
- digitalni prijenos
- konstantni duguje kontinuirano, mali odsjedci

može i istodobno FDMA i TDMA $\Rightarrow 8 \times 125$

CDMA - uskopojasni signali

- svaki se kodira
- svaki kanal ima svoj kod i korisnik se u prijamnicu izdvaja kanal koji se najviše korelira sa onim u mobu

Duplexiranje - prijemnici osjetljivi 120dB

- duoamplificatori \rightarrow ne možemo izolirati ako su odesiljanje i prijam na istoj frekv, treba ih razdvojiti
- to se postiže filtrom za duplexiranje

T/R sklopke

- mjeri izloženost SPECIFIČNA APSORBIRANA ENERGIJA

SAR [W/kg] = $\frac{dW}{dt}$ u 30min → podignja temp
100kHz - 10GHz
tipična za 1°C

ZASTITE ljudi od EM zračenja

- svi RF sustavi zrače EM energiju u prostor, ako su uređaji dobi to zračenje je svedeno na min zboog neželjenog učinka na živu organizme
- vjaci: zagrijavanje (termički učinak), kao mikrovalna pećnica, uzrok je se titranje molekula, pa imamo tranje i tako dolazi do zagrijavanja
mjerivo zagrijavanje tek na vrlo visokim snagama
- vjaci osim o snazi, ali i frekvenciji
- ionizirajuće zračenje → ne izaziva oštećenja DNA za ionizaciju atoma vodite računa treba energije od $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$
 $E = h \cdot f$ $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
granica 10^{15} Hz obično, nakon toga ionizirajuće
- izloženost se gledi kako se apsorbirana energija manifestira
- mjeri izloženosti
SPECIFIČNA APSORBIRANA SNAGA

$$\text{SAR} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right)$$

[W/kg]

$$\text{SAR} = \frac{\rho E_t^2}{\rho}$$

Snagu mjeri E_t [s/m]
 $E_t \rightarrow \text{el. polje u tlu}$

sgustocne tave

$$\text{SAR} = \rho \frac{dT}{dt} \rightarrow \text{promjena temperature tava [K/s]}$$

[J/kg]

topinski kapacitet tava

SAR se uzima u obzir
100kHz - 10GHz

- SAR od 4W/kg za cijelo tijelo u 30 minuta poduzeće tjelesnu
temp. za 1°C (to je mjerljiv efekt)

- dva područja izloženosti:

PROFESSIONALNA IZLOŽENOST → 8 sati izloženi (dnevno),
judeći to znaju 0.4W/kg max dopusteni SAR
POSEBNE OSJEĆLJIVOSTI → nemanjeno izloženi
24 sata dnevno 0.08W/kg

- mjerjenje SAR-a mora biti u strogo kontroliranim
laboratorijskim uvjetima, zato se uveče lako
mjerljive veličine REFERENTNE VELIČINE
jakost el/mag polja
gustota snage (ali sad u
slobodnom prostoru, a ne u tjesku)

- utvrđuju se granice vrijednosti referentnih veličina
i to je zakonom propisano, razlike da u smo
izloženi impulsnom zračenju ili kontinuiranom,
nasi pravilnici preuzeti (copy/paste) iz Europejskog
fatu. Pojas [100MHz; 1GHz] za mjerjenje
[300MHz; 3GHz] izloženost ...

- od 10MHz do 100MHz → dopuštena najmanja (min) snaga,
jer u tom području dimenzije tijela postaju
sumjerljive sa valnom duljinom pa može
doći do rezonancije, stojni val, to definitivno
utječe na istovar tko

- u hrvatskoj su granice oštije nego u EU,
nisi su max dopustene snage tj. magnetskog
polja [A/m]

- gустота снаге 6.25
el/mag polje 2.5

} ZA PODRUČJA POVEĆANE
OSJEĆLJIVOSTI

puta manje kod nas,
nego u EU

{ max dopustena razine za
PROFESSIONALNU IZLOŽENOST

- s porastom frekvencije dubina prodiranja EM polja u tkivo je mala, vrednost apsorpcije se dogodi u koži, a ne u organizmu, pa su na tim freku. nesito više dopuštene razine
- za NOB dopušteni $SAR = 2 \text{ W/kg}$, lokaliziran SAR (10g , a ne cijelo tijelo), zato je dopuštena viska razina EU proizvodači mobitela imaju $SAR \leq 1 \text{ W/kg}$
- bazna stanica ne pišemo o SAR , nego ERP
 $ERP = 1000 \text{ W}$
bitna je efektivna zračena snaga, ali i sigurnosna udaljnost, a one ovise o ERP -u
u urbanim uvjetima obično 250 m
a antena je pikodajuje 20 W
 $ERP = 1000 \text{ W}$ su bazne stanice van gradova, npr. bazne stanice koje pokrivaju 15ak km autoputa
- cijena: troškovi projektiranja i izrade, također i cijenu infrastrukture i održavanja objedinjuje
- pouzdanost i kvaliteta usluge \rightarrow što neovisiti to baci (zivotni vječ baterije)

OSNOVNI DJSLOVI radiofrekvencijskih sustava

- osnovni djslovi: odasiljač
prjenosni put
primnjik

ODASILJAČ

- na ulazu u odasiljač prvo imamo zelenu informaciju (analognu ili digitalnu)

pa modulator → utiskuje inf. na nosilac, pojaca

NF.

ju na zelenu razinu, tako da

nam ne trebaju ogromne antene

- da bi antena bila efektivnije

mora biti sumjerljiva sa

- potrebna širina pojasa

- modulacija ovisi katu informaciju (imamo

- on mijenja jedan od parametara

signala sa inf (amplitudu, fazu, frekv.)

- na izlazu iz modulatora je signal na

medufrkvenciji (10MHz - 100MHz) to nisu

ješ radijske frekv., ali je dobro jer nam

tu konisti jeftina, dobra elektronika, pa

nakon toga

M.F.

- mješalo modulirani signal na visku frekv., probacuje, pri tome cuva fazne odnose na nekoliko GHz imamo dva ili više stupnja mješala

- ideja: medufrkv. signal i signal iz oscilatora na mješalo, na izlazu je zbroj \Rightarrow zeleni RF signal, sačuvani su fazni odnosi

- izmedu modulatora i mješala filtar

medufrkvencijski \rightarrow iz signala selektira

1. pojaz, selektira sto će ući u mješalo

MFF \rightarrow spršćava povratak signala u modulator

12a mješavina pojasno propusni filter PPF

VF(RF)

PPF propušta samo zbroj, potrebne komponente signala, a neželjene potiskuje, na kraju

- pojačalo snage - na njega dolazi već modulirani izfiltrirani signal, poduzeće razinu snage pre odašiljanja, pa tako pojačan signal dolazi na antenu
- antena izrazi val u slobodni prostor imamo TEM val, moramo osigurati da se što više tog vala izrazi u prostor (vodeni val u TEM val u zraku)

PRUJENIK

- inverzni postupak nego na odašiljaču
- antena val iz prostora u vodeni val, može biti rezonantna (kao filter) u nekom području dobro prima, a u nečim ne, pa nam iza ne treba filter
- PPF - pogotovo ako koristimo sirokočijasne antene
- sirokočijasne
- niskosumno pojačalo jer primamo jake oslabljeni signal, prepunj suma, potrebno nam je pojačalo jer PPF ima gubite, a to nam povlačava sum, zato ako nam nužno ne treba PPF se ne stavlja malo jači od suma minimalno dodatno unosanje suma
- mješavina - RF signal sa LO i dobimo signal na medufrekvenciji ($f < 100 \text{ MHz}$) zbog loptine elektronike opet

- pa ~~MFF, HF~~ pojačava signal prije demodulacije
- demodulator → modulfrekvencijski signal možemo izdugitsuzirati

ANTENA Y

- element priлагodlje između prijenosne linije i slobodnog prostora
- polu-dvosmjerna \rightarrow radije kao T/R sklopka
dvosmjerne \rightarrow uz filter, cirkulator, hibrid
više mogućnosti

parametri antene

impedancija

- sinus poljasa \rightarrow na osnovi priлагodbe na ulaznu radnu frekvenciju za što nam treba ovisi da li nam je bitan dijagram zračenja i u npr. gustoće polarnizacije
- dijagram zračenja
pasivna antena \rightarrow isti dijagram bez obzira prima u tu odnosu recipročne \rightarrow razvojat!

- usmjerenost i dobitak izlita se iz dijagrama zračenja

usmjerenost \rightarrow usporedba izotropnog radijatora i gustoće snage naše antene, dakle promatrajmo ono što IZLAZI iz antene dobitak \rightarrow opst usporedba sa izotropnim radijatorom, ali gledamo ono što je PRIVEDENO anteni, gledamo GUBITKE

pokazuju koliko antena usmjerjava EM val, izražava se u relativno u v dB

$$G = k D$$

$$k \leq 1$$

faktor proporcionalnosti

svesmjerni dijagram zračenja $\rightarrow D \leq 1$

$$G = kD = \frac{4\pi}{\lambda^2} Af$$

- ako je antena voda (mjereno u λ) imamo veci dobitak, veci snop
- zracenje je je dalekovitije kada je antena rezonantna tj. sumjerenja sa λ

- polarizacija - kemiya koju opisuje vrh vektora elektricnog polja u smjeru maximuma zracenja

linearna polarizacija \rightarrow pravac ($A_0 = \perp$)

kružna polarizacija \rightarrow kružnica ($A_0 = \pm$)

polarnito eliptična \rightarrow vertikalna, mala os

- ulazna impedanca u odnosu na predstavu teret, dok je u prijemniku ona izvor signala, nadjemo ju kao generator dio energije ods u slobodni prostor, te konisno potrošena snaga opisuje se kao snaga na otporu R_Z , a gubitci zbog zagnjavanja antene i sučno gubitci na otporu R_d , te uskladistvo u buskom polju X_A

$$Z_A = R_Z + R_d + jX_A \quad \text{svi ovisi o frekvenci}$$

faktor iskoristenja antene

$$\kappa = \frac{R_Z}{R_Z + R_d}$$

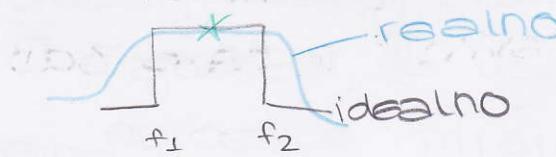
- temperatura sume bitno za prijemnik, mjeri za snagu koju antena preda prijemniku
2 izvora: venjski izvor (zracenje iz svemira i slučni prirodni izvori), te sum nastao u samoj anteni (zbog gubitaka), umjetni (nastao zborog cijekovog djelovanja)

FILTAR

- dvostrukni sklop
- propuštaju signal u željenom pojasu
- imamo ga u prijamniku i odasiljачu za određivanje sinusa polasa
- služi za potiskivanje neželenih komponenti

Vrste filtere

- niskopropusni
- visokopropusni
- pojasno propusni
- pojasnozaporni
- strmina odreza → kroz brzinom raste gubanje izvan pojasa propustanja, što strmiji filter bolje potiskuje neželjenu frekvenciju.



- uneseni gubici na vrhu * nadamo imati 0dB jer je filter realni sklop, ima filter svoj nesigurni koji unosi
- amplitudna karakteristika - promjena gubanja sa frekvencijom
- fazna karakteristika → kako nam se faza mijenja na izlazu iz filtra, bitna je kad imamo složeni signal (a ne samo sin), imamo signal sastavljen od različitih faza koje se moraju na kraju isto tako složeni, bitno kada nam je bitan oblik našeg složenog signala
- uvećat se stavlja izvana, sve ostalo u chip, ali on uvećat solo
- ostri zantjevi za pojasno propusne filtre ($< 100 \text{ MHz}$)
SAW → strmi odrezi i kvarc

MF

- 800MHz - 4GHz \rightarrow altri s dielektričnim rezonatorima
- RF/VF \rightarrow supinski rezonatori \rightarrow ispunjeni zrakom jer tu kao nemamo gubitke

POJACALO

- niskosumno pojacalo \rightarrow ulazni stupanj prijemnika
- pojacalo snage \rightarrow izlazni stupanj odasiljaca
- faktor suma \rightarrow koliko suma unosi, jake bitno za prijemnik
- izoblikanje zbog neispravnosti komponenti
zasićanje ako izlazni signal ne prati uvisarno ulazni signal
intermodulacija \rightarrow zbrojene ulaznih frekvencija
ulaz 1dB \rightarrow intermod II reda \rightarrow 2dB
III reda \rightarrow 3dB

MJEŠALO

- troprolažni sklop
 - služi za konverziju frekv.
 - mješanje na neispravnom elementu
 - produkt koji želimo izdvajamo pomoći filteru
 - pasivno mješalo \rightarrow diode, ne pojaceva, izlaz niza razina snage od ulaza imamo gubitke pretvarače
 - aktivno imamo manje gubitke pretvarače, nakad cak i dobite imaju bolju izdaju RF-LO
-

Oscilator

- zasniva se na neinvizarnom elementu, pa zato ne nastaje samo zeleni sin signal već i harmonici
- osnovne osobine:

stabilnost frekv.

temp. stabilnost \rightarrow kako nam se osigurava mijenja s promjenom temp [ppm/ $^{\circ}\text{C}$]

vremenska stabilnost \rightarrow elementi stare $\xrightarrow{10^6}$ svremenom
pa se mijenja i karakteristika osculatora

kratkotrajna [ppm/dan], dugotrajna [ppm/god]

koliko se frekv. mijenja dok redimo ↓

ponovljivost (od ponavljanja upsuma)

podnosi ugađanja frekv.

- najčešće se ugađa promjenom napona, najčešće titrajni krug (induktivitet + kapacitet)
- dana s VCO - voltage controlled oscillator
- ugađanje af oto fo ili od fmin do fmax
- bitna je osjetljivost ugađanja (tj. razina unutar 1%) je ok za naš radio hpr, ali u oscilatoru mora bitno biti ugađati \rightarrow promjena se izražava [$\mu\text{Hz/V}$]

AM/FM SUM

- osniva se kao modulacija
- idealno bi bilo da dobijemo \sin , no realno dobijamo \sim zbog AM i FM suma
- kod ugađa je FM sum izraženiji od AM suma

FM - razina suma s obzirom na nosioce, na određenoj udaljenosti od nosilaca u određenoj sini pojasa 1Hz

$$[\text{dBc}/\text{Hz}]$$
$$\frac{\Delta P}{\text{RBW}}$$

Razine harmoničkih komponenti

- gledamo s obzirom na korisni signal pa su jedinice opet dBc
- obično se mjeni do 3. harmonika jer se oni daleko gube u sumu



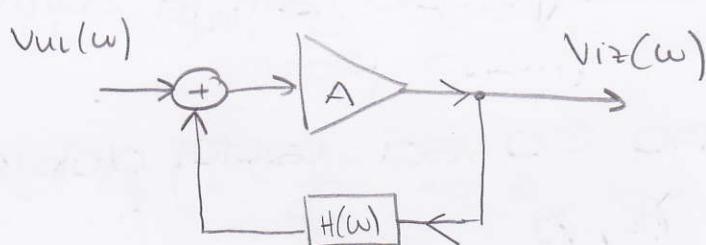
- tipične vrijednosti

stabilnost frekv 2-5 ppm/°C

fazni sum $-80 - 110 \text{ dBc/Hz}$

↳ obično se ovaj fazni sum ne može biti dobiti pa se koristi razna tehnika za stabilizaciju zadanje frekvencije (kristal i sl.)

- osnovna namjena oscilatora: pretvorba istosmjerne energije u izmjenični signal
- učinom sin zbog oistocenja, nemamo bočnih komponenti
- sin oblik proizvode harmonički oscilatori
- sumovi i bočne komponente moramo da ih iskoristimo
- oscilator prikazujemo kao pojačalo s povratnom vezom



$$V_{iz}(w) = A[V_{ui}(w) + H(w) \cdot V_{iz}(w)]$$

$$\Downarrow$$

$$V_{iz}(w) = \frac{A}{1 - AH(w)} \cdot V_{ui}(w)$$

faktor ovisi o pojačanju pojačala i faktoru povratne veze

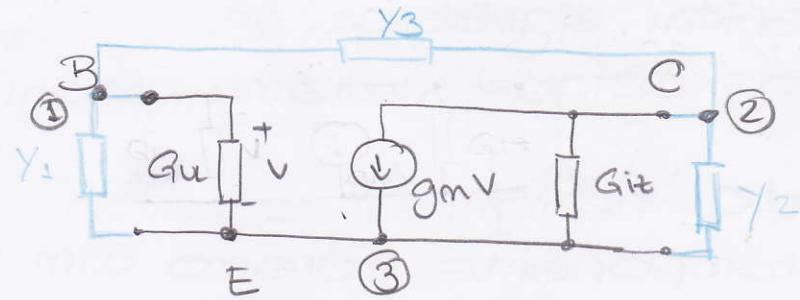
ako nam nazivnik ods. u 0 → bez ulaznog signala imamo nesto na izlazu

$$A + H(w) = 1$$

↑
Barthauserov (Nyquistov)
vrijet samo pobude

ukupna faza mora biti 0° a $H(w)$ može toliko oslabiti signal koliko ga A pojača

Tranzistorски осцилатори



- ista shema i za FETove
- sve su realni brojevi
- nema povratnog djelovanja, ovo nam je samo pojacalo *dodamo ovo pivo gore*
- potrebno je da imamo što veći faktor dobrote
Tako odabirimo Y_1, Y_2, Y_3
- SZE $V_3 = 0$ referentni cuvor

$$\textcircled{1} \quad (Y_1 + Y_3 + G_{uu}) \cdot V_1 - Y_3 V_2 = 0$$

$$\textcircled{2} \quad -Y_3 \cdot V_1 + (G_{iz} + Y_2 + Y_3) V_2 = -g_m V$$

$$V = V_1$$

- imamo veliki izlazni otpor, pa uzimamo da je izlazna vodljivost mala

$$(Y_1 + Y_3 + G_{uu}) V_1 - Y_3 V_2 = 0$$

$$(g_m - Y_3) V_1 + (Y_2 + Y_3) V_2 = 0$$

$$V_1 \neq 0 \quad V_2 \neq 0 \rightarrow \text{determinanta} \neq 0$$

$$Y_1 = jB_1 \quad Y_2 = jB_2 \quad Y_3 = jB_3$$

- determinanta

$$jG_{UL}(B_2 + B_3) - (B_1 + B_3)(B_2 + B_3) + jg_m B_3 + B_3^2 = 0$$

i imaginarni i realni dio izjednačimo s nulom

$$X_1 = \frac{1}{B_1} \quad X_2 = \frac{1}{B_2} \quad X_3 = \frac{1}{B_3}$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0$$

$$X_3 + X_2 \left(1 + \frac{g_m}{G_{UL}} \right) = 0$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0 \rightarrow X_3 = -X_2 - X_1$$

$$X_3 + X_2 \left(1 + \frac{g_m}{G_{UL}} \right) = 0 \Rightarrow X_1 = \frac{g_m}{G_{UL}} X_2$$

X_1 i X_2 moraju biti istog predznaka,

znači da su ili kapacitativni ili induktivni.

znači X_3 mora

biti suprotnog predznaka

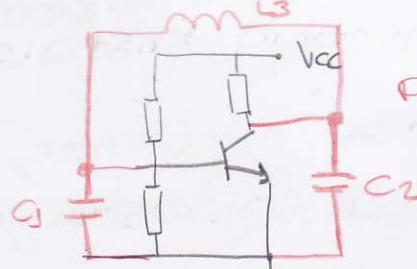
$X_1, X_2 \rightarrow + \rightarrow X_3 \rightarrow -$

$X_1, X_2 \rightarrow - \rightarrow X_3 \rightarrow +$

X_1 i X_2 kapaciteti, X_3 induktivni

$$X_1 = \frac{1}{\omega C_1} \quad X_2 = \frac{1}{\omega C_2}$$

$$X_3 = \omega L_3$$



Colpittsov
oscilator

povratna veza

Svet okreće se 180° fazu i onda po nešto i fazni ujet zadovoljen

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0 \Rightarrow \omega_c = \sqrt{\frac{1}{L_3} \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2} \right)}$$

jos 180° kroz granu povratne veze rezonantna frekvencija FREKVENCIJA TITRANJA COLPITSOVOG OSC.

$$X_1 = \frac{g_m}{G_{UL}} X_3 \Rightarrow$$

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{g_m}{G_{UL}}$$

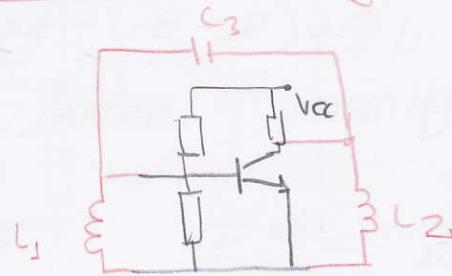
NUŽNI UVJET ZA OSCLIRANJE COLPITSOVOG OSCLATORA

x_1 i x_2 induktiviteti, x_3 kapacitet

Hartleyev osculator

$$x_1 = \omega_0 L_1 \quad x_2 = \omega_0 L_2$$

$$x_3 = \frac{-1}{\omega_0 C_3}$$



fazu transistor skreće za 180° ; i grana još za 180°

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{C_3(L_1 + L_2)}}$$

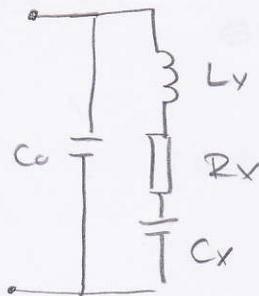
$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{g_m}{G_{uc}}$$

Kristalni oscilatori

- visoki faktor dobrota, oscilacija se bazi mjenjajući sa frekvencijom
- stabilizacija se dobija piezoelektričnim učinkom
 - na plohamu okomitim na mehaničke rile nastaje nepon fizičko pomicanje kristala
- nemaju su kristali taj učinak, najčešći kristal je kvarc a on ima, on se najčešće koristi za stabilnost osculatora
- rezonanca kristala ovisi o nadimnu kriteriju rezonanca s obzirom na os
- svojstvena frekv. kristala \Rightarrow dobija se rezonanciju, gde je onda pretvorba max, visoki faktor dobrote 10 000-100 000, a to znači visoka impedanca

- shema kristalne jedinice

$L_x \rightarrow$ masa kristala



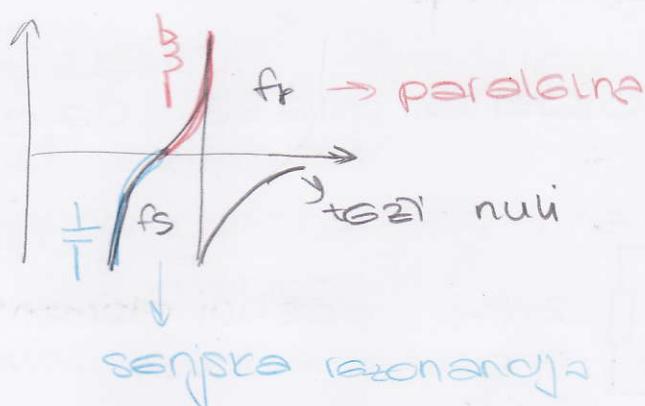
$C_x \rightarrow$ elasticnost, vraca ga

$R_x \rightarrow$ gubici u kristalu

$C_0 \rightarrow$ kapacitet učista za ugradnju

ova shema je skoč je u okolini rezonantne frekvencije

- na početku je sve kapacitivno, povećamo frekv. reaktancija = 0, R_x je po mali, da snagrana = 0, sve postaje induktivno, sve dok kapacitet ne dođe u



$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_x \left(\frac{C_0 C_x}{C_0 + C_x} \right)}}$$

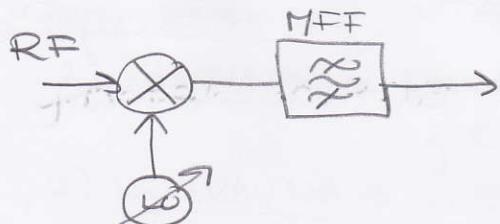
$$f_s = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_x C_x}}$$

Piercov osculator

- kristal radi između serije i paralelne rezonančne

Naponom upravljeni osculatori

- potreba za ugađanjem frekvencija oscuiranja



$$f_{MF} = f_{RF} - f_{LO}$$

medufrek. nam
ostaje ista

V_T
počeseg
učinkuj
 \leftrightarrow

\leftarrow VARAKTOR

promjena kapaciteta u
visnosti o reverznom
naponu (obrnuto proporc.)

Clapp-Garrettov osculator

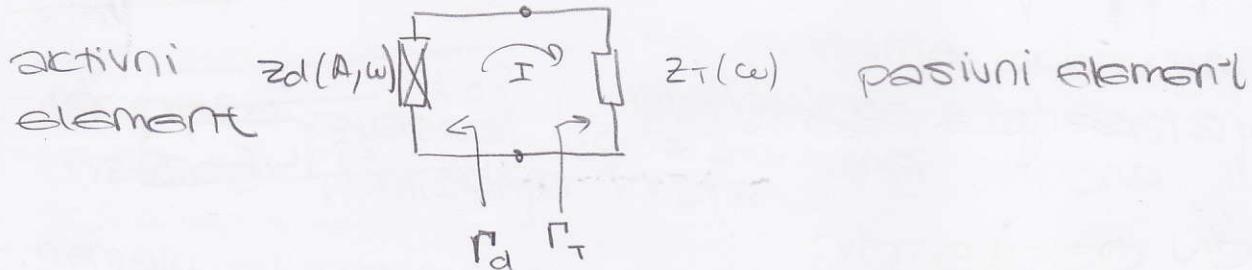
- primjer napornom upravljanog generatora
- imamo emitorsku degeneraciju



- istosmjernu komponentu izduramo uz pomoć ob
- koristi se na NF, audiofisku do max 500MHz

Mikrovlnni osculatori

- mrežu analiziramo preko raspršnih parametara
 Γ koefficijentata refleksije
- osculator \rightarrow jedno prolazna mreža daje energiju u mrežu



$$[z_d(A, \omega) + z_T(\omega)] I = 0$$

$$z_d(A, \omega) + z_T(\omega) = 0 \Rightarrow -z_d(A, \omega) = -z_T(\omega)$$

energija potrošena na terenu je energija koju daje aktivni element

$$\Gamma_T = -\Gamma_d$$

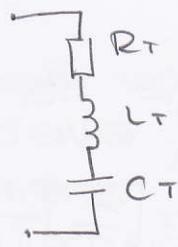
$$X_T = -X_d$$

donam X_d
prodaj X_T
onečišćuju

$$\Gamma_d \cdot \Gamma_T = 1$$

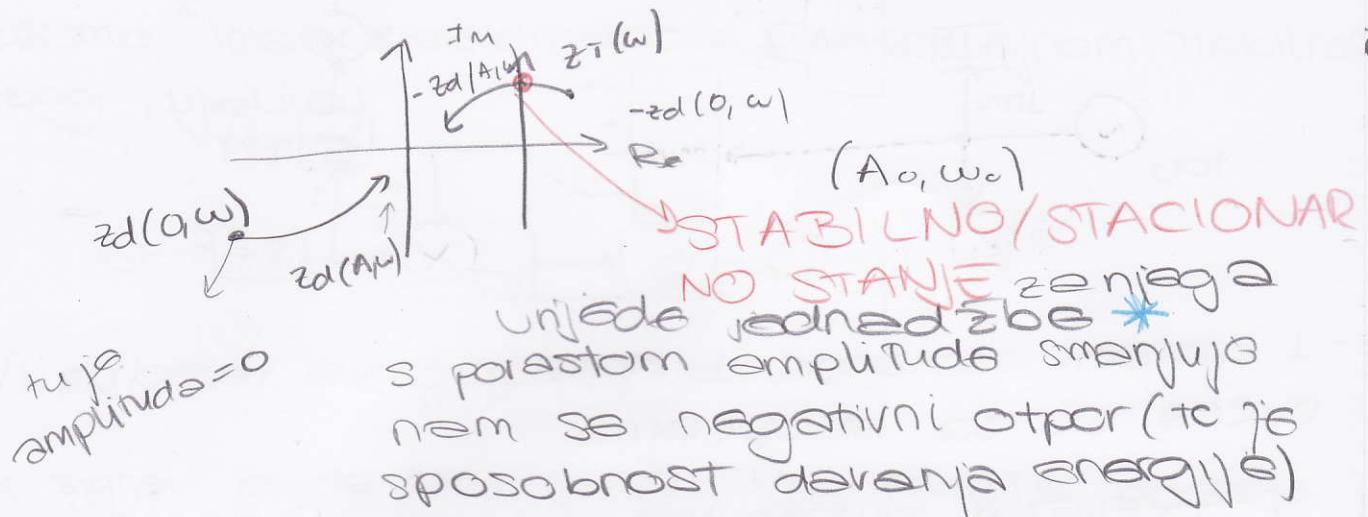
ne NF

VI



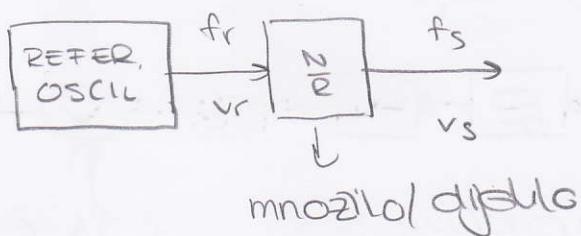
ostaje samo R_T , ne

ostaje induktivitet



Sintezatori frekvencije

- vrlo fina razlučivost
- nije moguce kontinuirano \rightarrow na izlazu je hit DISKRETNIH, gustih, ali diskretnih
- \downarrow stabilni izvor \rightarrow referentni osculator
- broj frekvencija ovisi o namjeni



Sinteza frekvencije:

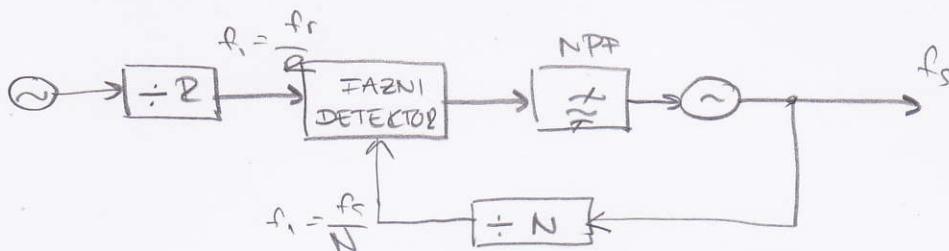
1) IZRAVNA \rightarrow 1 osc. i sklopovi za \times ili $/$ ili mješanje, alterniranje

2) NEIZRAVNA \rightarrow 1. stabilan osc sa frekv. ili faznom stabilizacijom

3) IZRAVNA DIGITALNA \rightarrow podaci se otaju iz memorije (obuci signala)

NEIZRAVNA

- pomoću fazom sinkronizirane zamske
- ona omogućava pogodanje točne frekvencije za to treba vremena
- sadrži džensu frekvencije
- možemo imati problema sa kreativnom stabilnošću (zbog džensa)



- dok signal prolazi kroz zamsku i još reagira, prolazi dosta vremena
- izravna i neizravna ista stabilnost i ista razmjerost, ali je izravni punuuno veći
 - $f_s = f_c \cdot \frac{1}{R}$ } određuje razmjerost

RF i mikrovalne analogne zamke

0.1 - 10ms vrijeme preklopčavanja

- djelija se ne-ekstabilnim djelovanjem frekvencije

$$f_s = \left(N + \frac{1}{2} \right) f_1$$

IZRAVNA DIG - nije za mikrovalne frekvencije

- u memoriji zapisane vrijednosti sin fje i tan u registru frekvencije
- \uparrow brzina promjena f \rightarrow broj fazova veći

brzo promjene

- imamo D/A

$$\boxed{f_{max} = \frac{f_c}{4}}$$

$$f_{min} = \frac{f_c}{2^n}$$

- sum kvantizacije \rightarrow dodatna smetnja na signal iz snim.

snage sume $P_S = \frac{1}{2^{N-1}} = -G(N-1)$ [dB]

d2 bi blo ispod godisca $N \geq 15$ bitova