

③. Laboratorijski izlomi RF signala

generatore signala možemo  
podijeliti u dvije skupine:

# 1. PO FREKVENCIJE GENERATORA SIGNALA

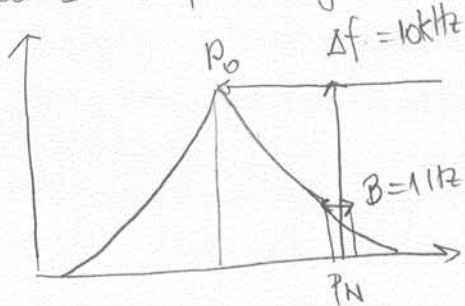
- generator signala fikсне frekvencije (CW)
- — " — — — — — cija se frekvencija menja (sweep)

## 2. PO NAČINU GENERIPANJA SIGNALA

- skalarni generator
- vektorski generator i generator proizvoljnog valnog oblika

Maksimalna raspoživa suaga  
daje vam na prilagodi kret.

Fazui sum plesanje faze



$$P_{avs} = \frac{V_g^2}{4R_g}$$

$$P_{avs} = \frac{V_g^2}{4R_g}$$
 suaga laju svaki generator  
 Atau jika piblog atau pola  
 napsia atau <sup>inlogoteni</sup> pola ode uaf teret  

$$d = 10 \log \frac{P_N}{P_0} \text{ [dBc]}$$

$$d = 10 \log \frac{P_N}{P_0} \text{ [dBc]}$$

20 - 50 dobar  
50 + odličan

- amplitudna i faza nestabilnost  
sinusoidan spektar ili jedno ili drugo  
nesinusoidan spektar oboje

# ANPUTUDNA

IAZNA



$\Rightarrow$  na prikazu



Ne možemo razlikovati da li je to spektar AM ili FM signala.

μpro

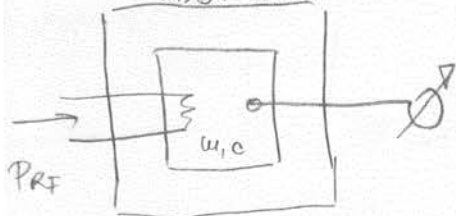


④ Kalorimetrijski princip mjerenja snage.

na VF je nemoguće direktno mjeriti snagu, nememo kontinuirani signal već modulaciju. Efekt snage je zagrijavanje. Mjerenja snage: klasične i vektorske metode.

Ako ne znamo valni oblik koristi se termički princip

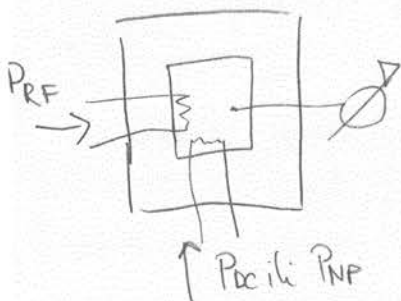
KALORIMETR S APS. POUZDANOST  
ADD. KOMORA



$$P_{RF} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\Delta t}$$

$$W = m \cdot c \cdot \Delta T = P \cdot \Delta t$$

- grijač mora biti mnogo manji od  $\lambda$  - uob upijanja pa to neće biti prilagodeno i imat ćemo totalnu refleksiju. Kasni slučajje ne znamo konstantu  $c$  pa je potrebna kalibracija



$$P_{RF} = P_{dc} \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}$$

$$P_{RF} = kmc \frac{\Delta T_1}{\Delta t}$$

$$P_{dc} = kmc \frac{\Delta T_2}{\Delta t}$$

- Prvo priključimo RF, vidimo koliko je porasla temperatura, onda spojimo NF na isto mjesto i vidimo koliko je porasla temperatura i to usporedimo.

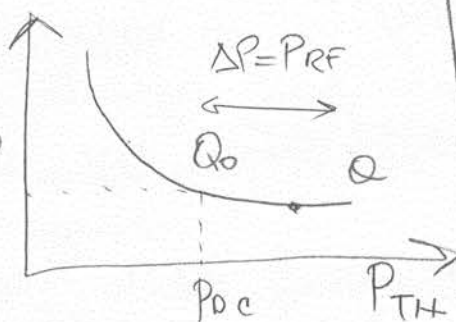
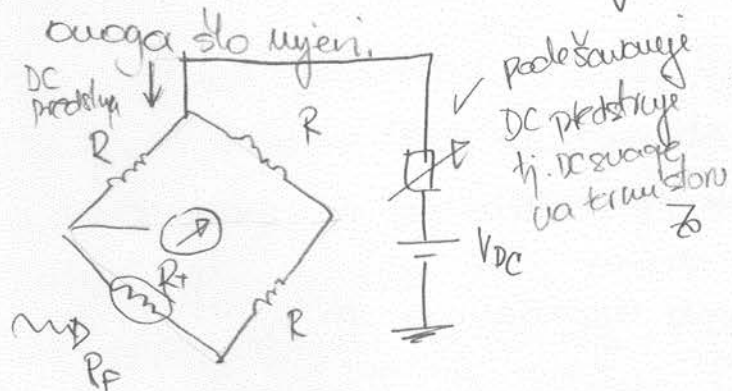
Nepraktično za terenska mjerenja, niže mjerenja je dugotrajno. Koristi se za kalibraciju dugih elementa - PRIMARNI STANDARD. Dugotrajno mjerenje integracije. Točnost ispod 0.1%. Frekv. (10 kHz - 325 GHz). Opseg mjerenja ( $10^{-8}$  -  $10^{-2}$ ). Ne može mjeriti blze promjene signala.

kalorimetar - tijelo kojemu se mijenja temp ovisno o primatelnoj energiji

mipro



5) **Bolometer** - struktura koja mjerija faktičku svojstva ovisno o predenoj snazi / energiji. Koristi se termistor - otpornik s negativnim temp. koeficijentom. S porastom temperature on pada otpor uveličavan otpornik. Mora biti mnogo manji od  $R$  da bi raspodjela potencijala u njemu bila konstantna. Radna točka se odabire tako da sve bude prilagođeno. Kad dođe  $R_F$ , promijeni se struja i otpor termistora. Problem su što nema prilagođavanja i ne razlikuje temp. okoline od



zašto otpornik u Wheatstoneovom mostu

Karakteristike mosta se mijenjaju ovisno o napajanjima. Ovisno o ispuštanju struje termistor će imati drugu radnu točku. Ako je struja mala, njegova impedancija je velika.

1.  $P_{RF} \rightarrow 0$   $P_{TH} = P_{0C}$   $Q = Q_0 \Rightarrow$  most u ravnoteži, preva nam je prilagođena

2.  $P_{RF} \uparrow$   $P_{TH} = P_{0C} + P_{RF}$   $Q_0 \rightarrow Q$

most nije u ravnoteži, radna točka se pomiče u desno.

Swampyemo struju prenapajanja da bi se  $Q$  vratila gore. Potrebno je uzeti snagu iz sustava, isto koliko koliko je došlo  $P_{RF}$ .

3)  $P_{RF} = \Delta P_{0C}$

$P_{0C} \downarrow$   $P_{TH} = P_{0C} + P_{RF} - \Delta P_{0C} = P_{0C}$

$P_{TH} \uparrow$ ,  $R_{TH} = R$

most je ponovno u ravnoteži

Swampyemo DC snage, termistor hladimo, raste otpor

znos  $R_F$  snage koju želimo izmjeriti odgovara

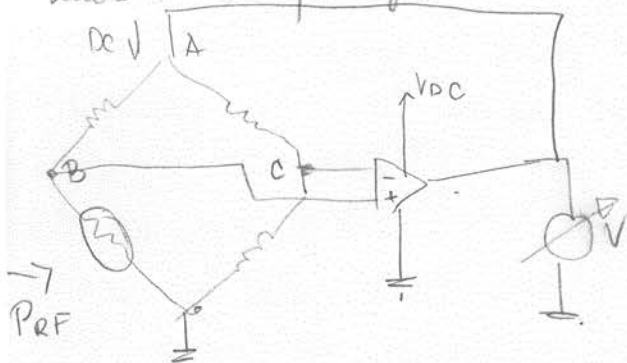
1. most u ravnoteži,  $R_T = R$ ,  $V_T = V/2$   
 $P_{0C} = \frac{V^2}{4R}$   $V_A = V$ ,  $V_B = V_C = V/2$

2) Dodaćemo  $R_F$ ,  $R_T \neq R$ ,  $V_A = V$   $V_B \neq V_C \neq V/2$

3)  $V_B \neq V_C \Rightarrow$  na izlazu diferencijalnog pojačala (A) pojavljuju se naponi točnije koji se superponiraju u izlazu

4) Ako znamo  $V_P$  u naku  $R_F$  i prije  $R_F$  možemo dobiti

$$P_{RF} = \Delta P_{0C} = \frac{V_{prij}^2 - V_{poslije}^2}{4R}$$

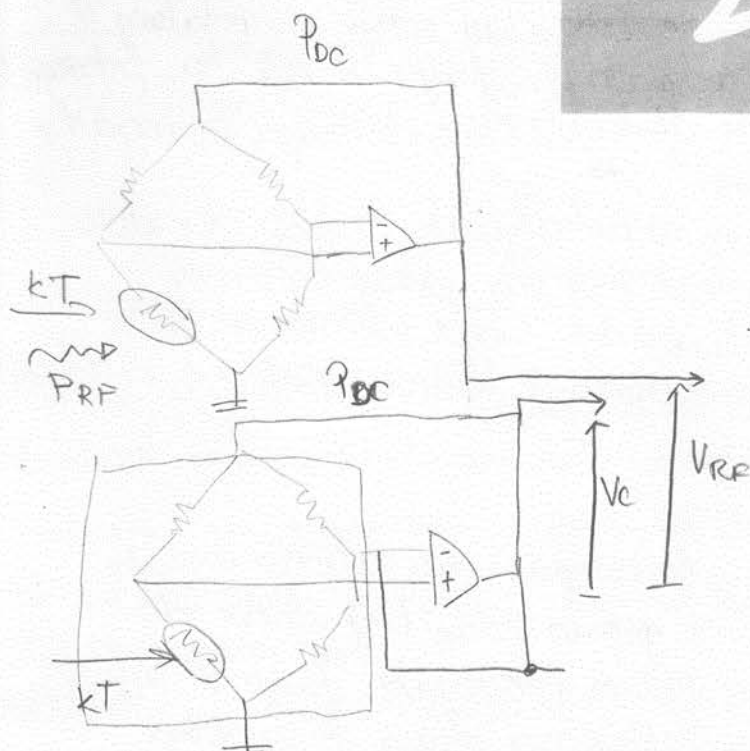


komparacija temp. okolice

mipro  
2010

$$P_{RF} = \left| \frac{V_{RF}^2 - V_c^2}{4R} \right|$$

Nakon RF napona  
nizak padne.



- dva termistora se ugrađuje u istoj  
točki, na jednom dijelu samo temp.  
okoline
- diferencijalno mjerenje
- daje blokira RF signal i mjeri  
samo sum

Bolometer je kvadrantni detektor. Točnost mjerja nego kod kalorimetra.  
Frekvencije (10 M - 100 G).

Mali opseg mjerenja ( $10^{-6}$  -  $10^{-1}$ ) W, (-30, +20) dBm, proširenje  
sprežnikom i atenuatorom. Termičko preopterećenje. Potrebno je vrijeme  
da se zagrije. Ne može direktno mjeriti vršnu snagu (srednja snaga  
kroz impuls). Nemogućnost indikacije brzih promjena snage.

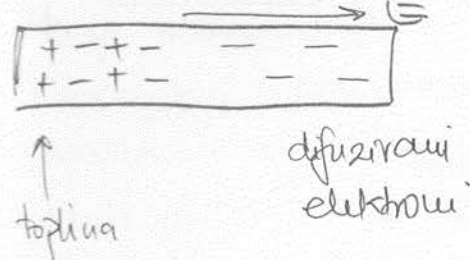
kapacitet na NF je otvoreni kraj

- li- na VF je kratki spoj

mipro

# 3) Thompsonov i Petrijev efekt

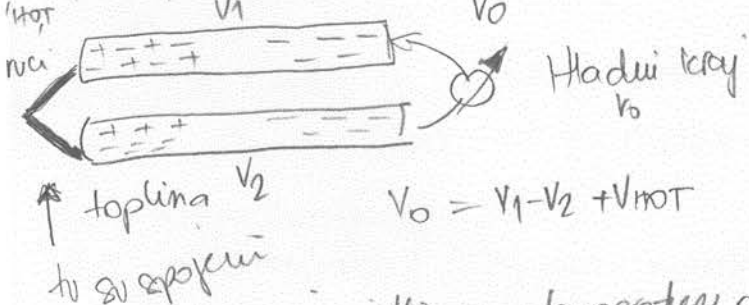
## THOMPSONOV EFEKT



Dugačku metalnu šipku zagrijavamo na jednom kraju. Dodane energiji izbijaju elektroni iz metalne rešetke. S lijeve strane imaju veliku kin. energiju i dobri su do ujitane difuzije desno. Ioni ostaju u metalnoj rešetki i ne mogu dalje. Javlja se razlika potencijala. Coulombova sila gleda u desno, difuzija se događa

sve dok ta sila i elektr. polje ne postanu iste. Ioni  $\oplus$  koji difundiraju desno na lijevoj strani ostavljaju  $\ominus$  koji ga vuče nazad (Coul. sila). Sustav će biti u ravnoteži kad sila desno postane jednaka Coul. sili koja elektrone želi vratiti nazad. Coul. sila može se opisati električnim poljem koji gleda desno, šipka je konačne dužine i dobri do razlike potencijala na krajevima  $E = \frac{V}{d}$

## PETRIJEV EFEKT



Kad spojimo dva različita metala i grijemo jedan kraj dobri do razlike potencijala. Javlja se difuzija elektrona u desno, te razlika napona na krajevima.

Termopal je napravio osjetljiv na temperaturu okoline. Doprinosi opseg mjerenja (-35, 20) dBm. Oporuži na preopterećenje od termistora. Točnost (1.5% - 5%) Frekvencija 10M-100G. Nelinearnosti od termistora. Nemogućnost indukcije izlazi promjena snage i mogućnost direktnog mjerenja vršne snage.

40K termopal + pojačalo + instrument

Ako je termistor + W. most

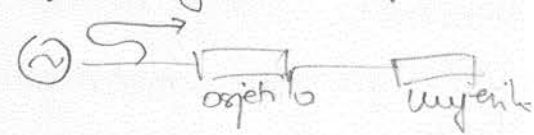
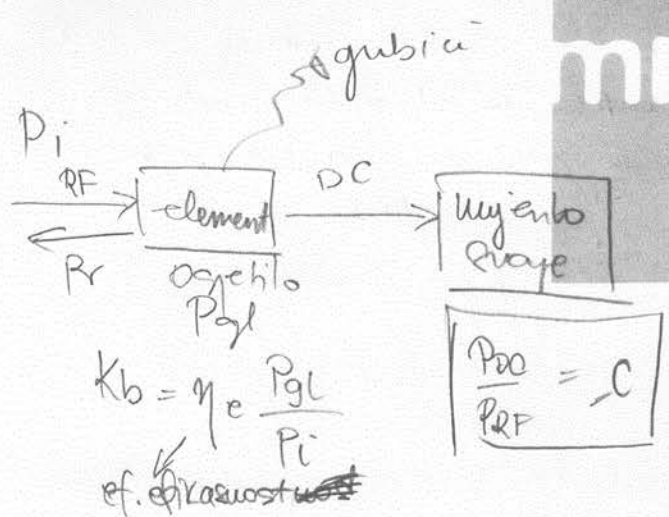
Instrument  
sve  
preporu  
o kojim  
se osjetiti radi

osjetilo snage + mjerac snage →  
glava



# 1. Efektivna efikasnost ojetila

## Progrna mjerni nesigurnost



SWR1 = 2.0 ( $r_g = 0.33$ )  
 SWR2 = 1.22 ( $r_{ogj} = 0.1$ )  
 Mjerna nesigurnost

$$M.N. = \pm 2r_g \cdot r_{ogj}$$

$$= \pm 2 \cdot 0.33 \cdot 0.1 \cdot 100\% = 6.6\%$$

$$P_{gl} + P_{ref} = P_i$$

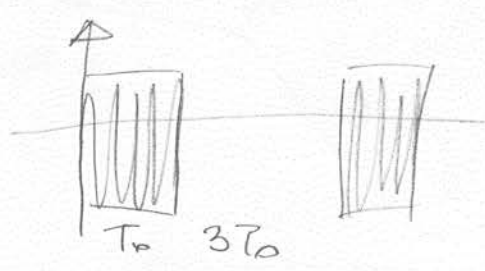
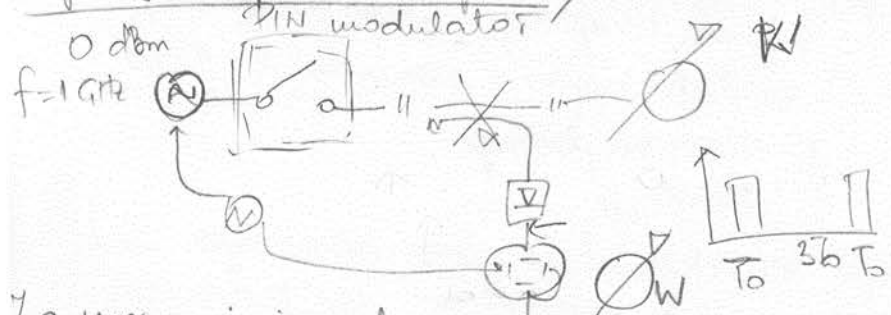
Uvjeti pogrešaka: neprikladnost generatora, točnost obrade signala, točnost ojetila (kalibracijski faktor, efektivna efikasnost)

Impedancija generatora + šum  $\Rightarrow$  2. labos (radija rečunica)

Faktor kalibracije: karakteristika glave se mjeri u frekv. području pa se rezultat množi sa CF.

Glava mjeriča snage nije savršeno prilagođena pa će se dio snage reflektirati i uočeno izmjeriti snu  $P_i$ , nego samo  $P_{gl}$ .  
 ON: OFF = 1:1 ulazi za 3 dB  $\frac{P_{out}}{P_{out} + P_{ref}}$

### Mjerenje impulsnih signala



Za mjerenje impulsnog signala izmjerimo antenu, spojimo na diodu i ouda na osciloskop. Ako odaberećemo ON: OFF = 1:3 i iz generatora pošaljemo signal snage 0 dBm, instrument će pokazati -6 dBm što je 4 puta manje. Umjesto toga ON: OFF = 1:1, a instrument pokazuje 3 dBm, snaga odosiljača je 6 dBm. Ako povećamo pauzu, snaga raste  $\Rightarrow$  jer je dioda negativan detektor.

PIN dioda ubije signal za pola, za 3 dB. Ako na oba vatmetra izmjerimo isto, grada je jednaka nula. Efektivna efikasnost ojetila snage na oba spektruma (gornji/donji)

# ② Diodni detektor Naturni princip mjerenja.

Ulag DC pojačala i pozna radne točke problem DC prednapona

Schottkyov spoj - metal-poluprovodnik, napon može biti znatno manji od 0.3V. Dioda s jako niskom temperaturom koeficijenta karakteristika ide od nule. Radi s prednaponom od 0V (ZBS). Obična Si dioda se ne koristi jer ima prevelik prag kojena. Tad bi sustavu stalno trebali osiguravati prednapon od 0.7V koji bi kvario mjerenja jer bi u rastavu S. p. dioda stajao DC član



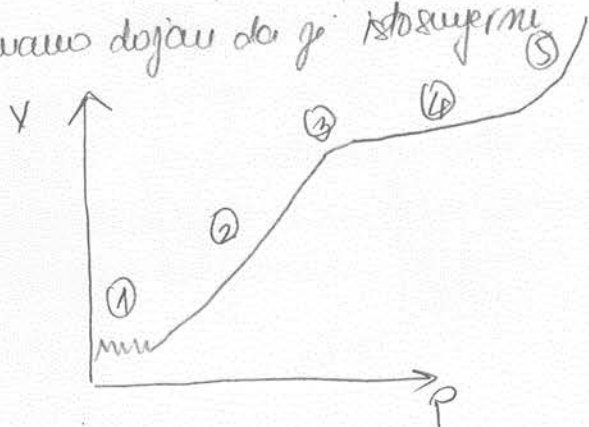
ubit će DC član jer ga vidi kao o.k. također kratko spoja više harmonika

$$i_0 = I_s (e^{\frac{V_d}{kVT}} - 1) \quad i = I_s (2V + \frac{(2V)^2}{2!} + \frac{(2V)^3}{3!} + \dots)$$

$$V_0 = V_{DC} + V_{RF} = V_{RT} \quad i = I_s (e^{2V} - 1)$$

Struja kroz diodu (i uapov u a trebu) je proporcionalna kvadratu RF napona, odnosno RF snazi.

Kvadratni detektor => u pozitivnoj polovici kondenzator se nabija u negativnoj se prazni. Dakle, statički polna puni kondenzator, on se izbija jako sporo pa linarno dojavu da je istosmjerni



1. signal je jednak šumu
2. kvadratno područje - jednaka proporcionalnost napona i snage
3. 1 dB kompresij - ubrzanu snagu dignemo za 2 dB, napon se promijeni za 1 dB
4. Linearno područje
5. Zasićenje

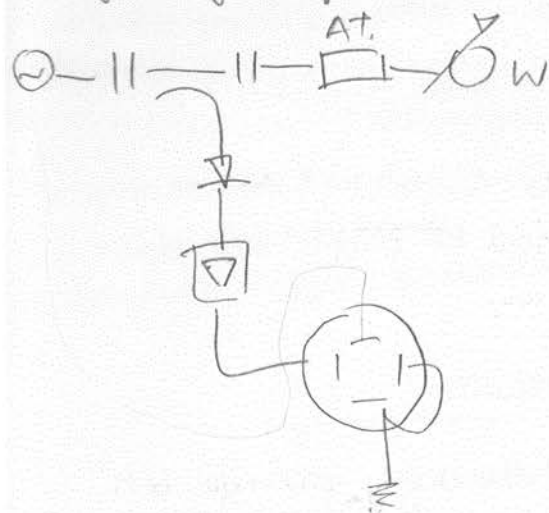
Kad na diodu dođu 2 signala pulsiraju se intermodulacijska izobličenja dok se na tranzistoru snage zbrajaju. Dioda su lake približene. Nije kvadratni detektor, problem direktnog mjerenja signala s komp. modulacijom. Nelinearni odziv. Vrlo velika osjetljivost na temp. okoline.

Vrlo brzi odziv (ms), primkladu za mjerenje brzo promjenjivih signala. Velika osjetljivost (-70 dBm). Točnost (1.5 - 5%). Frekvencije (10 MHz - 60 GHz)

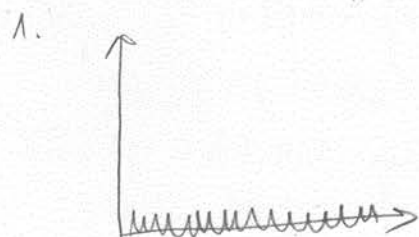
Bijelačnje: potrebno je napraviti to s nekoliko stupnjeva tranzistora izvedu koji je kondenzator, ali onda ne možemo pojačati. Treba ih direktno spojiti a to je loše jer im onda radne točke nisu odgovarajuće.



Mjeray: tang. osjetljivosti



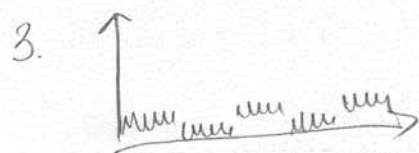
Ata iza diode stajimo  
NP Atal pa c'e odrezati  
šum i povedati osjetljivost  
sustava. Što je filter uži, to  
je niže uhićavanje i veće



Mjenimo razinu šuma bez RF signala.



Pušimo signal i mjenimo razinu signala na  
koji je superponiran šum. Signal je kvadratno modulirao



Suvajzmo razinu signala sre dok dođemo granicu  
signal + šum ne dotakne gornji razinu suvog šuma.  
Tangencijalna osjetljivost je  $20 \frac{S}{N} = 8,16 \text{ dB}$

mipro

### 3. KONEKTORI, PRIJELAZI

SD - 2 linija - max efikasnost linije. Najpouzatiji je 7 mm  
(vauyski 2R je 7). Srednji vodič ne može biti u zraku. Treba dielektrik.

BNC (Bayonet Navy Connector)  $\Rightarrow$  7 mm,  $< 1 \text{ GHz}$ , slab kontakt, lako se spaja  
Iznad 1 GHz nije pouzdan, teflon je umesto i mogu se javiti valovodni  
modovi, male & female

N  $\Rightarrow$   $< 18 \text{ GHz}$ , dva puta uvoj 7 mm, male & female

APC 7 (7 mm)  $\Rightarrow$  sexless,  $< 20 \text{ GHz}$ . Za više frekvencije moraju biti  
manji  $< 3.5 \text{ mm}$ , najmanji 1.6 mm

SMA  $\Rightarrow$  3.5 mm,  $< 26.5 \text{ GHz}$  (WiFi, Wireless) male & female  
elektrode

K  $\Rightarrow$   $< 40 \text{ GHz}$ , fizički isti kao SMA, ili drugačiji dielektrik  
od SMA

W  $\Rightarrow$  2.9 mm i 1.6 mm

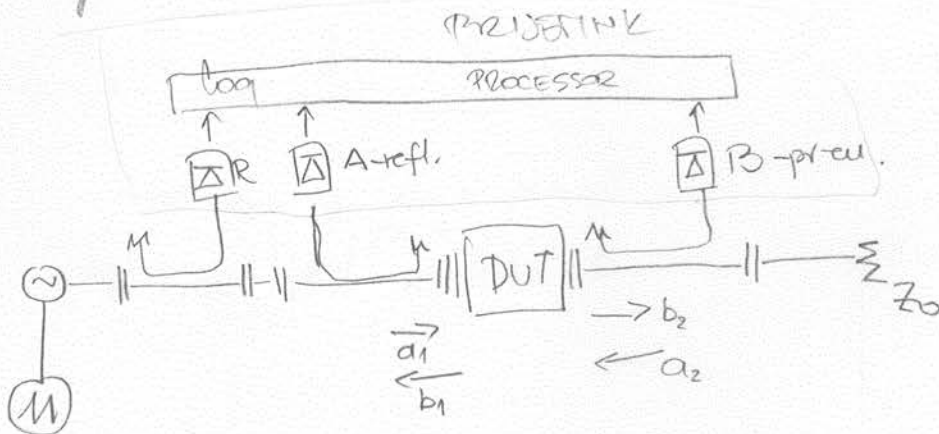
N, APC 7, SMA ne koriste se iznad 18 GHz.

10

Analizator uređaja je ujedini instrument koji omogućuje mjerenje raspršenih parametara linearnih mreža pomoću analize odziva u a danu pobudu. Dostupni su i raspršeni parametri.

mipro 2010

Frekvencijski opseg je ograničen detektorima (10 M-40 G). Dinamika također ovisi o detektoru. Može se ujedini sklopove s preobradom frekvencije. Ne može mijenjati fazu.



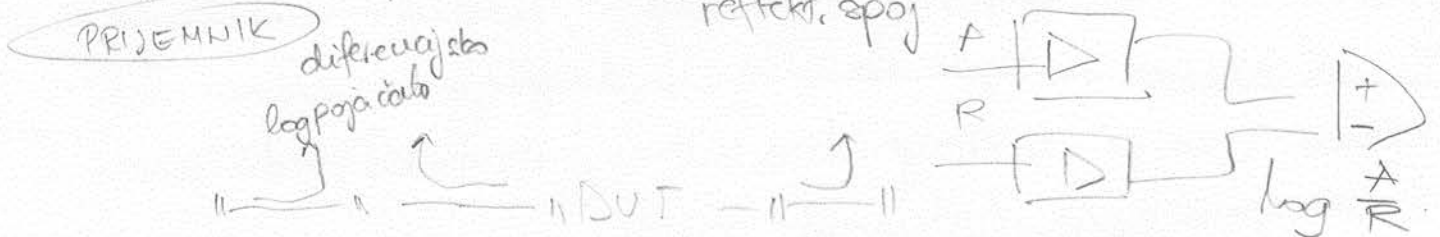
$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{B}{R}$$

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{A}{R}$$

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2=0}$$

Ali kako mjerimo  $S_{11}$  i  $S_{21}$ . Da bi izmjerili i ostale parametre potrebno je okrenuti DUT odnosno zamijeniti generator i  $Z_0$ .

Kvaliteta mreža  $\Rightarrow$  generator, splicing i DUT; prijamnik (processor) signala reflekt. spoj.



Na visokim frekvencijama uobičajeno prihvataju linije. Ako je transversalna dimenzija strukture toliko mala da se smatra EM val mnogo manji od valne dužine problem se aproksimira prihvatom linijom. Umjesto naponskih valova često se definišu normalizirani valovi - valovi snage

$$V = V_{inc} + V_{ref} = A e^{jx} + B e^{-jx}$$

$$I = I_{inc} - I_{ref} = \frac{A}{Z_0} e^{jx} - \frac{B}{Z_0} e^{-jx}$$

$$a = \frac{V_{inc}}{\sqrt{Z_0}} \quad b = \frac{V_{ref}}{\sqrt{Z_0}} \quad \Gamma = \frac{V_{ref}}{V_{inc}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

odnos napona i struje kad se val kreće u jednom smjeru.

$$Z_0 = \frac{V_{inc}}{I_{inc}} = \frac{V_{ref}}{I_{ref}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

$$Z_0 = R + j\omega L$$

$0 \leq |\Gamma| \leq 1$  kad se kreće od drugog se zrači

$$S_{ij} = \frac{b_i}{a_j} \Big|_{a_k \neq 0 \quad k \neq j}$$

mipro

ZAKO KORISTIMO RASPRŠENE PARAMETRE

MIPRO HU, Pomerio 29/1, P.P. 303, 51001 Rijeka  
tel/faks: +385 (0)51 423 984, e-mail: mipro@mipro.hr, URL: http://www.mipro.hr

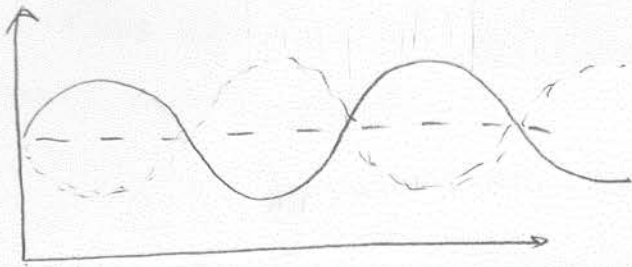
DC i AC  
detekcija



11) pogreške: nesavršenosti elementa i same mjerne uređe,  
 utjecaj nelinearnih elementa

- refleksija o generatora

Kalibracija se radi kratkim spojem i otvorenim krajem. - nesavršenost mjerne uređe



Kratki spoj je pod  $180^\circ$ ,  
 a otvoreni kraj pod  $0^\circ$ .

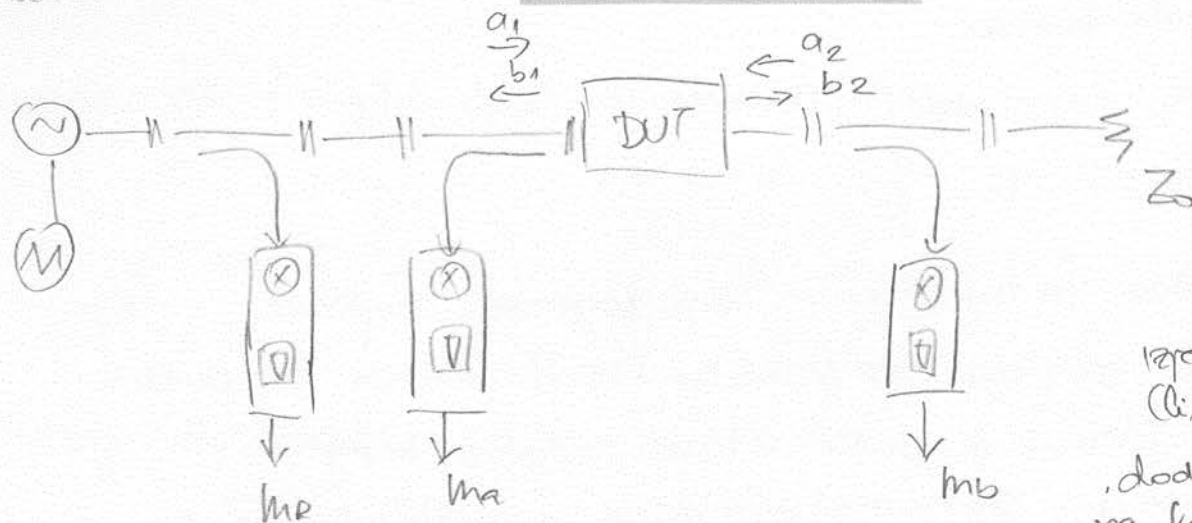
Spojujemo umjesto DUT-a nešto čemu znamo fazni kut (otvoreni kraj i kratki spoj). Ta dva signala zbrojimo, oni će se poništiti i dobit ćemo osnovni signal. ~~dobit ćemo amplitude~~  
~~To se kasnije podigne sa dva i dobijemo referentnu~~  
 razinu (to je mjerenje bez DUT-a) i tako vidimo koliko nam sam instrument griješiti.

Mjerenje  $S_{11}$  i  $S_{21} \Rightarrow$  sa sheme analizatora

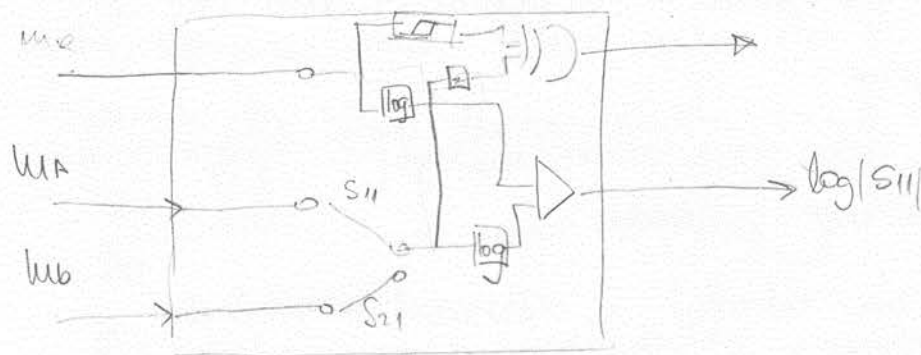
# mipro 2010

Razlika od skalarnog?  
Fazu je nemoguće izmjeriti  
na RF ravni.

② Mjalo signal spušta na  
razinu MF. Prijemnici moraju  
biti identični. Na izlazu iz A  
signal je druge faze i faza mu  
kazi, a na izlazu iz B faza mu  
pethodi.



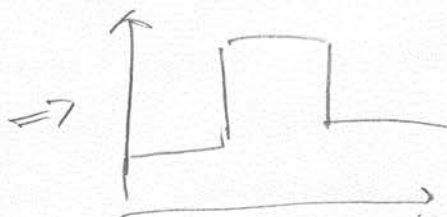
izredna čuvanje faze  
(live stream)  
doda se sklop  
za kaskadiranje  
dok se točka ne  
pomakne



Frekvencijski opseg (10M-65G). Bitovi se mijenja najviše kroz ugovor žu.  
Najviše idu do 5Hz, a najviše do 500 GHz.

Nakon mjalo signalu s istom fazom, ali na NF, i tu  
možemo upravititi fazu detekciju. Vidimo kut izmjeriti dva  
signala.

Schmidtov sklop



-da netko o dži mule,  
kuda stoji dži jedm  
na izlazu do ponovne mule.

mipro

3) Osnovna mjerenja su vektorskim analizatorom

mjerenje impedancije, kompleksni koeficijent refleksije

za mjerenje  $S_{11}$  parametara potrebno je obraditi signale  $U_{in}$  i  $U_{r}$

$$|S_{11}| = 20 \log \frac{A}{R}$$

-tamo gdje  $S_{11} \rightarrow \infty$ , DUT je najbolje prilagođen

mjerenje koeficijenta prijenosa

Za mjerenje  $S_{21}$  parametara potrebno je obraditi signale  $U_{in}$  i  $U_{out}$

$$|S_{21}| = 20 \log \frac{B}{R}$$

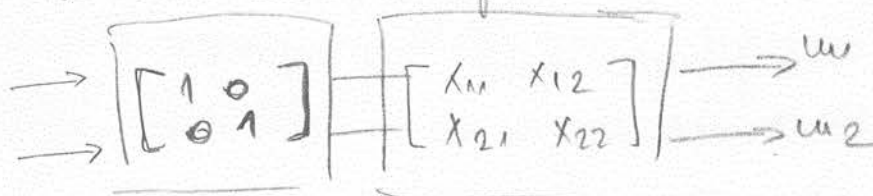
Izrazi pogrešaka pri mjerenju - zbog pogreške amplitude i faze

Što se tiče faze, kašnjenje nije jednako izvedu kanala jer putovi nisu jednaki. Potrebno je dodati u kanal dodatno kašnjenje.

Logaritmiranjem se iz tri prijamnika napravi se amplituda. To se disipirano pretoni u pravokutni signal sa Schmitt, sklopom i onda ide u sklop koji omogućuje kašnjenje

Javlja se i pogreška amplitude koju opširavamo mjerenjima pojačanja. budući da pojačanje kanala nije jednako

A analizator možemo odvojiti na idealni i četveropod pogreška.



\* zato su nam dovoljna samo 3 teteta

Četveropod pogreška opisan je su amplituda, faza i međudjelovanje kanala. Nije fizikalni, ne zadovoljava teoriju mreža - elementi su vezani \*

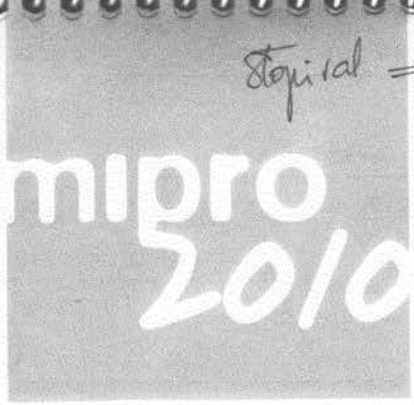
Vektorska korekcija pogreške se radi s kalibracijskim standardima. Imamo tri poznata teteta (open, short, load). Instrument ili izmjereni poton računa kompleksnu kalibracijsku matricu. Instrument računa vektorske vrijednosti u cilindričnom sustavu

error box - matrica greške se pomnoži prema vau tako da pomnožimo s  $e^{j\theta}$ . Unutra se ne može vratiti.

Pogreške imaju i kod spreznika, imaju predviđavanje izvedu kanala. Kompenziramo tako da ANA razdijelimo na idealni i četveropod pogreške



14) Mjerena linija i klasično  
mjerenje odnosa stopnja  
valova i impedancije



Stopnja  $\Rightarrow$  razmak dva max/min je  $\frac{1}{2}$

podrška -  $\boxed{DUT}$  - k.s. za totalnu refleksiju  
 |  
 unipol -  $\boxed{D}$  = maksimalna snaga prihvaćena u DC napoj  
 i vidimo jel ima napona ili ne

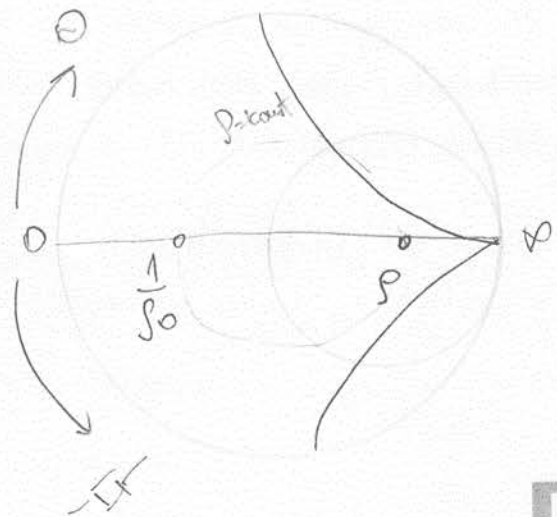
Mjerjenje impedancije  
 na kraj valovoda k.s, istanceno u max/min stopnjog  
 vala, spojujemo kret. Max vala da se pomaknemo. Izumiramo  
 razmak ta dva max, onda idemo u Smith.

$\frac{Z_r}{Z_0} = \cos \varphi$  u max st. vala

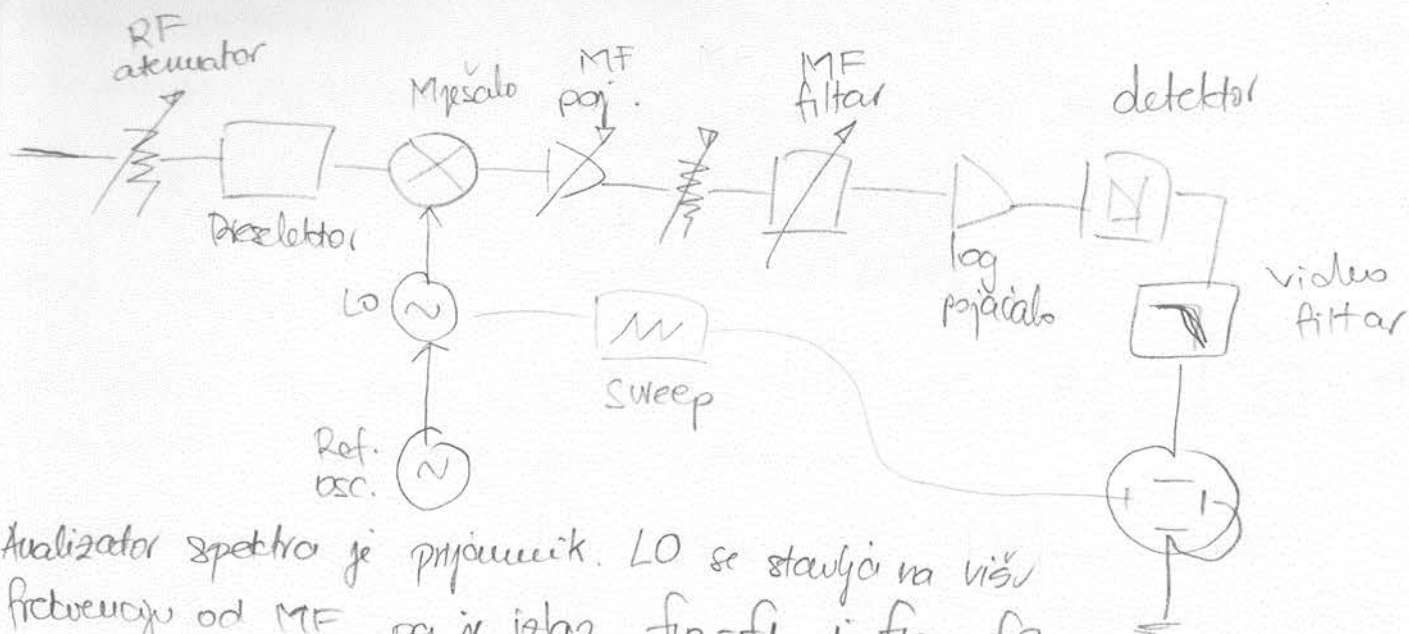
$\frac{Z_r}{Z_0} = \frac{1}{\cos \varphi}$  u min st. vala

impedancija u max  
i minimum stopnjog  
vala je realna.

U Smith ulazimo s  
 $\cos \varphi$ .



## 15. Analizator spektra



Analizator spektra je prijemnik. LO se stavlja na višu frekvenciju od MF pa je izlaz  $f_{LO} - f_1$  i  $f_{LO} - f_2$ .

Referentni oscilator je Texas na 10 MHz.

Ulozi RF attenuator služi da bi se osigurao linearni način rada i da mješalo ne bi bilo u zasićenju. Ako dardemo puno napona na ulaz povećat će se viši harmonici pa stavljam attenuator.

Predselektorom se rješavaju lošili odziva i intermodulacija.

Miješanje frekvencija se radi mogu. pojemu.

Mješalo miješa RF i LO. Mješalo ima gubitke konverzije.

Pojačalo ne možemo staviti kao prvi element da bi eliminirali šum jer bi pojačalo bilo širokopojasno. Ulaz je potreban da bi dobili širokopojasno ali imamo veliki šum.

MF pojačalo diže signal na protu razinu, koliko ga je attenuator ubio toliko ga diže. Attenuatorom osiguravamo da log pojačalo ne ode u zasićenje.

MF filter (RBW filter) je rezonantni filter. Analizator ne zna  $f_{RF}$ .

PP filter fiksne centralne frekvencije i promjenjive širine.

Video filter je NF filter. Usrednjuje šum. Ne smije se prejerati sa frekvencijom jer se kondenzatori neće stići nabiti i neće konvergovati će pojačati ima  $f_{gg}$ .

### RBW filter

Filter ima fiksnu frekvenciju, ne računamo u njezina već širinu spektra.

Ako suzima u njezina širinu - razdijeli čemo komponente i svaki čemo šum, ali će brzina sweepanja biti manja. Duže vrijeme sweepanja

Šuma manje pogreška.

$$R \approx \sqrt{\frac{S}{T}}$$

Ako je šuma RBW filtra velika  
više se sweepanja bit će kratko  
ali u spektru neće biti vidjeti  
sve komponente signala.

RBW se mjeri u kolicima  
od 3.

mipro  
2010

Video filter mora biti 10 puta širi od RBW filtra. Filter se mora utirati.  
karakterizator se poboljšava, ako ne stigne linarno greška u  
amplitudi, a tako um je više potrebno za to linarno i greška u fazi.  
Ako se video filter, više se sweepanja se produžilo, ali linarno je  
i šuma manje.

## KARAKTERISTIKE

- frekvencija  $\Rightarrow 9k - 29$
- točnost  $\Rightarrow 0.5 \text{ dB}$  za amplitudu (jedino ako se mjeri sinusni signal  
na jednoj frekvenciji. Za frekvenciju se točnost definiše jedino ako  
ima sintezator.

- osetljivost je ograničena šumom. Minimalni šum je  $N = kTB$   
šuma prijemnika ograničena je MF filterom. Što je on už, i faktor šuma  
je už.  $P_{\text{min}} = kTB = -174 \text{ dBm/Hz} + 10 \log B_{\text{RBW}}$

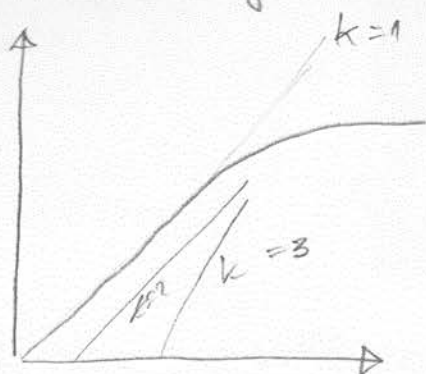
Tipičan faktor šuma je 30 dB jer je širokopojasno, uvećalo ima gubitke

- Oscilator mora biti jako stabilan, fazi šum ograničena više sweepanja
- kodiraju i dio amplitud podnoge ovisi o mjerenoj podnogi, faznom šumu  
i višim harmoničima. To je odnosi izvedu najjednj i najvišeg signala  
koji se mogu uzeći iz odnosa. Viši harmonici nastaju kao posljedica  
uveličanja RF signala s višim harmoničima LO. Frekv. signala  
brzog odziva mjeri položaj brže nego frekv. pravog signala.

mipro



⑥. Nizduo pojačalo nije linearno.



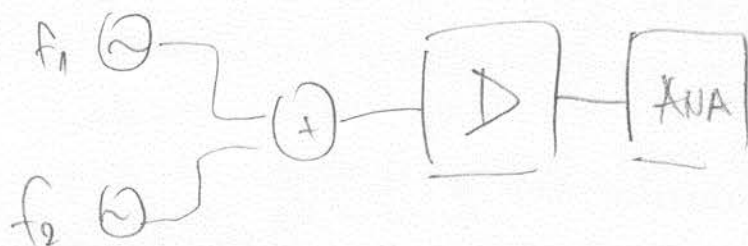
$$V_o = a_0 V_i + a_1 V_i^2 + a_2 V_i^3 + \dots$$

- ako dođemo do kv. člana imamo izobličenje
- tako da na ulazu stojimo za 2dB, na izlazu stojimo za 1dB

- uđemo 2 signala, izlaz 2 signala opet
- ako preovlada kvadratni član imamo  $\omega f_1 \pm \omega f_2$
- ako je 3. reda  $(m+m)=3$   $f_1 \pm 2f_2$

Na plotu analizator spektra, vidimo da se desilo s nosiocem ( $f_1 + 2f_2$ ). Filterm produžimo, točko gdje se 3. presječe s

1. je  $P_3$



Za druge razlike surge  
Gledamo koliko je  
Porastao osnovni harmonik  
i 3 harmonik

To uočavamo i gdje  
se sijetku je  $P_3$

② Ujetenje EM polja ujednačavajuće  
 i ujetenje  $e(x,y,z,t)$   
 $h(x,y,z,t)$

Matematički model - reprezentacija  
 i uaji ist formu postav

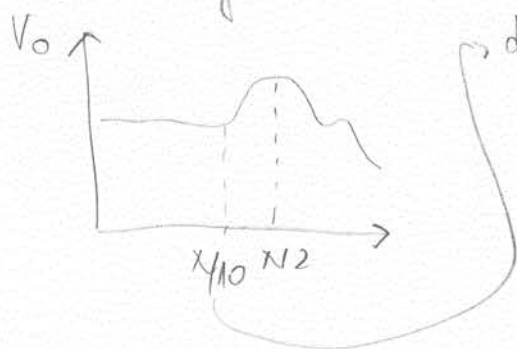
$$|E| = \frac{|H|}{\eta_0} \quad (\text{samo za ravnu val, kad su E i H u fazi})$$

Problem predušavanja  
 zbog kabela pa  
 o stavlja lugu  
 s velikom otporom.

Odobijadka antena je kratki dipol. Ponaša se kao kondenzator. Ima jako električno polje dok ima je mag. polje skoro nula.  
 Potrebno su 3 antene za ujetenje polja, po jedna za svaku komponent polja. Antene trebaju biti manje jer tako manje remete raspođel polja, ali je i rezolucija manja.  
 Veću osjetljivost ima sistem s većom antenom t kad antena s većom usmjerenosću.

$\lambda/2$  dipol

$l_{ef} = \frac{L}{2}$  dužina antene na kojoj raspodjelu struje možemo prikazati jednolikom. Kad je antena kratka, imamo trokutnu raspodbu struje.

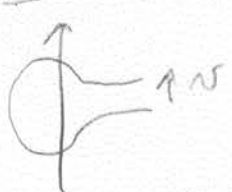


do tuda vrijedi trokutna raspodba struje

$$V_0 = l_{ef} E = \frac{L}{2} \cdot E \neq f(\omega)$$

i dalje imamo problem osjetljivosti

Antena petlja - potrebno za ujetenje mag. polja



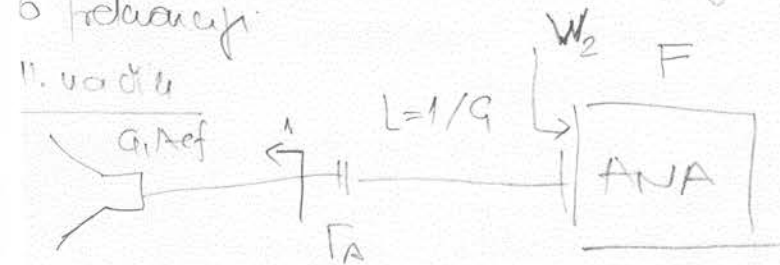
$$V = -j\omega S \mu_0 H = C' \omega \cdot H = f(\omega)$$



Ako znamo sve o elektr. polju preko teorema o dualnosti možemo dobiti sve o mag. polju.



Za mjerenje uama treba prijemnik, to može biti diodni detektor, to se danas stavlja u antenu. U kabelima se inducira više struje nego u anteni. Zbog se naprave integrirano od nekog slova ima jako velik otpor, smotku njih je elekt. polje - kapacitet. El. gubimo ovo je integrator tj. u frekv. domeni to je HP filter. Osjetljivost sustava ograničena je disipacijom. Ovo nam daje strokovnjakovo mišljenje, bez informacije o frekvenciji.



$$\frac{P_r}{P_0} = G_0 G_p \cdot \left( \frac{\pi}{4\pi L} \right)^2$$

$$W_1 = A_{ef} \cdot P = A_{ef} \cdot \frac{E^2}{\eta} \quad W_2 = W_1 \cdot L$$

bez prilagodbe  $W_1' = W_1 (1 - |\Gamma_A|^2)$



## 17. Faktor šuma

Osim analizatora spektra, potreban nam je i analizator snaga.

$$N = KTB \cdot F \cdot L$$



$$F_{12} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

$$N = -174 \text{ dBm} + 10 \log \text{BBW}$$

Video Pittor stavlja na maksimum, izintegriramo i dobijemo  $N = -120 \text{ dBm}$ . Ispoređujući ova dva rezultata, dobivamo faktor šuma analizatora spektra. Šum analizatora možemo smanjiti pojačavanjem. Ako imamo pojačalo s koeficijentom  $F$  i veličinom  $G$ , onda se dugičlan gubi i ostaje samo faktor šuma pojačala. Pojačalo mora biti širakopajsko. Problem su veličanost i intermodulacija.

Faktor šuma je proporcionalan s BBW

$$N = KTB + 10 \log \text{BBW}$$

# Analizator spektra - način rada

definisano RF (0 GHz 3 GHz)

LO & automatski uvrješta na (3 GHz, 6 GHz)

Centralna frekvencija od RBW ide na  $f_{min}$  tj.  $f_{max}$ , RF

Šaljeno 0 Hz. Na LO je 3 GHz, RBW je na 3 GHz i vidljiva učta na prikazu. To je zapravo signal od LO. Sweep ide na 4 GHz to RBW dodu 4 GHz i miša se trevidi

Šaljeno 1 GHz.  $3 - 1 = 2$  neće upasti u spektar

$4 - 1 = 3$  upada u RBW i na prikazu vidimo peak na 1 GHz

Šaljeno 3 GHz.  $3 - 3 = 0$

$4 - 3 = 1$

$5 - 3 = 2$

$6 - 3 = 3$  ulazi ga i imamo ga prikaz

Javlja se artefakti zbog rubnih uvjeta. Nakon mješanja imamo triju komponenti ( $f_{RF} - f_{LO}$ ,  $f_{RF} + f_{LO}$ ,  $f_{RF}$ ,  $f_{LO}$ ,  $2f_{RF}$ ,  $3f_{RF}$ ...). Ako ovako odaberemo filter sječe i ostaci će samo  $f_{RF}$  i  $f_{LO}$  te artefakti na rubu.

RF ( $f_1$ ,  $f_2$ )

LO ( $f_2$ ,  $2f_2$ )

LO ( $f_2$ , ~~11...19~~)

~~$f_1 - f_2$ ,  $f_1 + f_2$~~   $\Delta f = f_1 - f_2$

RBW =  $f_g - f_d$

RBW na  $f_1$  i  $f_2$  - pos. frekvencija

RF 11...15

$f = 12$

LO 15...19

12, 15...19

RF<sub>12</sub>

MJEŠANJE

↑

15...19

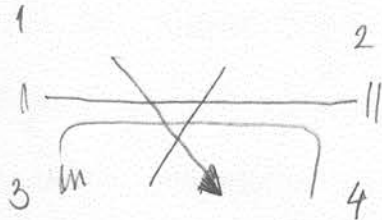


## Kako radi spregnik

Parametri:

- sprega  $C$
- usuyerenost  $D$
- izolacija  $I$

mipro  
2010



$$C = 10 \log \frac{P_1}{P_4}$$

ovijer ovaj što uđe kroz ovo što izade

$$I = 10 \log \frac{P_1}{P_3}$$

idealno je na  $P_3$  nula pa je ovo beskonačno

$$D = 10 \log \frac{P_1}{P_3}$$

ovijer ovaj što želimo kroz ovo što nećemo

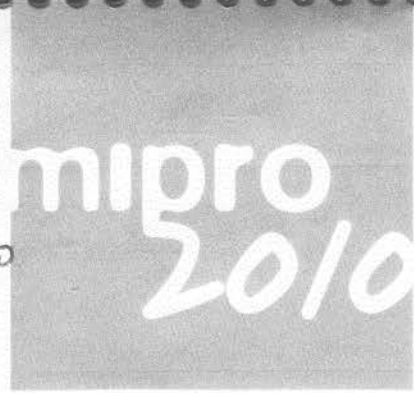
Tipičan spregnik 3 dB (50% sprega). Spregnik se može iskoristiti i kao djelitelj i zbrajač

mipro



14. Mjena linija itd.

Kad imamo liniju na kraju ce doci do refleksije i imat ce uval incidentni i reflektivni val



Kad  $Z_L \neq 0, Z_0$  imamo stojni val koji nije oslar.

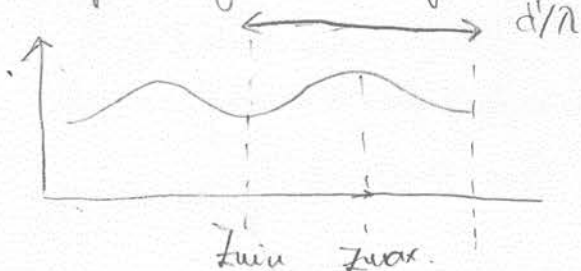
Omjer stojnih valova definiramo kao  $OSV = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$   $\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_0 + Z_L}$

Uzduzno liniju, napravimo prorez i tu udeemo s malom antenom. Na to spojimo detektor i pojačalo. Spojimo kratki spoj (faza je 180).

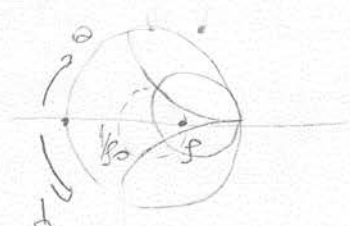
U minimumu i maksimumu fazoni suje i uapora su na istoj osi pa je impedancija realna.

$MAX \Rightarrow Z = OSV \cdot Z_0$   $MIN \Rightarrow Z = \frac{1}{OSV} \cdot Z_0$

Znamo impedanciju na te dvije tocke

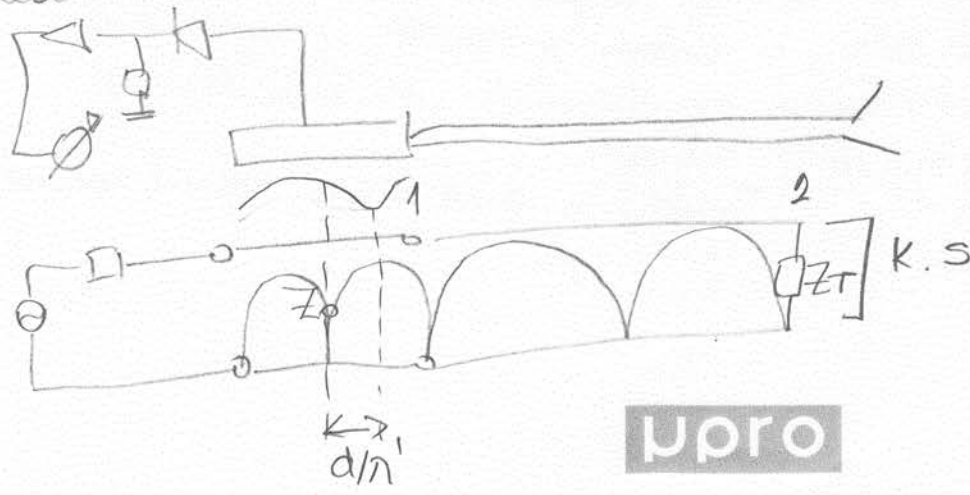


- sa vrijednosti OSV ulazimo u Smith.



Znamo udaljenost između teta i min (uvijek idemo od minimuma prema kraju. Za tu udaljenost se vratimo u Smithu i očitamo impedanciju.

PROBLEM PONAKA REF. ZAVRNE

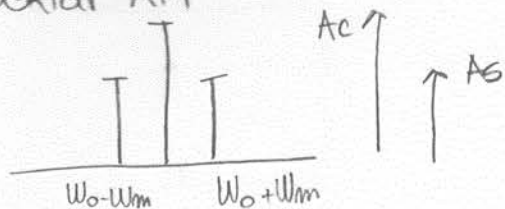


- razumim 2 moramo preseliti na 1
- mjesto teta spojimo KS
- skiciramo KS (spojimo teret i iz tereta (u) s matricom u minimum KS
- Za idiko se ponaknemo i u Smithu.



## 16. Mjerenje AM i FM

spektar AM



$$m = \frac{V_{nu}}{V_0}$$

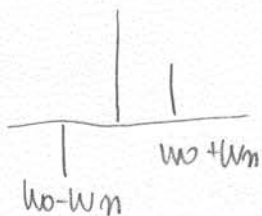
$$m = \frac{2A_s}{A_c}$$

Da bi do mjerenja, analizator

mora biti u linearnom režimu. Kad indeks modulacije raste, ouda točne komponente raste.

Kad AM modulacije mijenja se snaga odašiljača

FM



$$m = \frac{\Delta f}{f_m}$$

- snaga odašiljača se ne mijenja, jer se kod FM mijenja samo frekvencija

- indeks modulacije je odnos između devijacije frekvencije i modulatorske frekv.

odliku

Spektar AM i uskopojasnog FM analizator spektra

ne vidi se jer kvadratični detektor. U slučaju odredivanja modulatorske frekv.

FM signal može se koristiti filteri razlučivosti u zero spanu

Učinu rada. Spektar FM je opisan Bess funkcijom.

Kako indeks modulacije raste, tako se spektar širi. Za  $m = 2.4048$  možemo de praci kroz nulu.

Spojimo odašiljač, dobijemo spektar, zapisemo  $V_{m1}$ . Nakon toga podižemo signal do  $m = 2.4048$  kad možemo ode u nulu. Zapišemo  $V_{m2}$

$$\left( \frac{\Delta f_2}{f_{m2}} \right) = 2.4048 \Rightarrow \text{izračunamo } \Delta f \text{ (f_m znamo)}$$



$$\frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = \frac{f_{m1}}{f_{m2}}$$

↑ znamo

## MJERENJE IMPULSNOG I BODARSKOG SIGNALA

A analizator spektra nije zamisli za mjerenje impulsnog moduliranog signala. Zato jer supep radi tačku po tačku, a impuls se može pojaviti na bilo kojoj frekvenciji i bilo kad i može se dogoditi da smo mi tu frekvenciji već prošli i možemo mišić izmjeriti.

Potrebno je  $B_{BW} \leq 0.1$

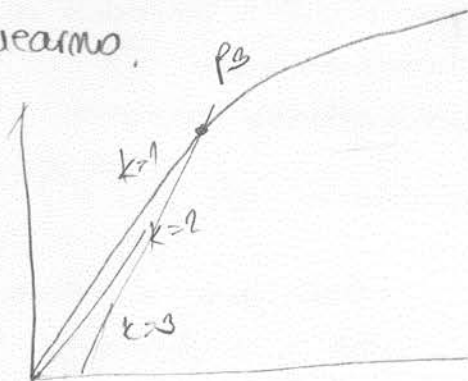
Stavljamo diodu i kratki dipol.

+

Trebalo bi znat odnos signal-penzu,

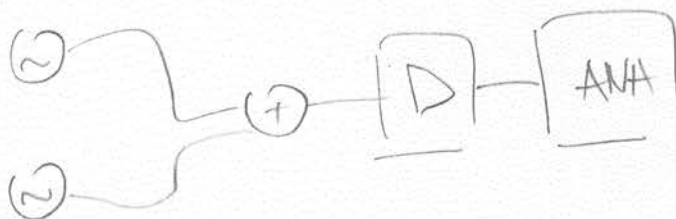
# MJERENJE PRESJECISNE TOČKE 3. REDA

Nijedno pojačalo nije  
linearno.



$$V_o = a_0 V_i + a_1 V_i^2 + a_2 V_i^3 + \dots$$

Ako imamo situaciju s kvadratnim članom, putaju se izobličuju, imamo  $u_{f1} \neq u_{f2}$   
 Ako je 3. reda, onda je  $m+n=3$   
 Presječna točka ujeslo gdje se sjeku pravci  $k=1$  i  $k=3$



- Uzmemo 2 razlike snage
- zapišemo koliko je porastao
- 1. harmonik i 3. harmonik
- Ao produžimo i gdje se
- Presjete je  $P_3$

mipro



# 1. NERAVNE ŠUMA . Y. METODA

Šum je stohastička vrijednost.

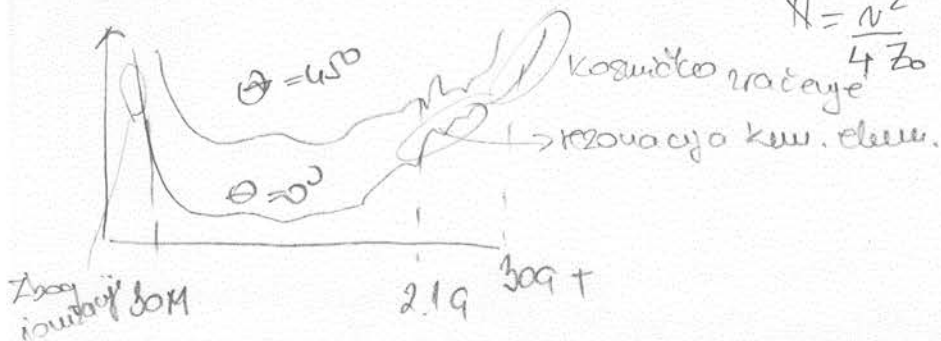


- kad se ovo izintigira po  $\int_{-\infty}^{\infty} v(t) dt = 0$

- ovo dde prebacimo gore i očišćemo gornju o srednjoj vrijednosti kvadrata šuma  $\overline{v^2}$

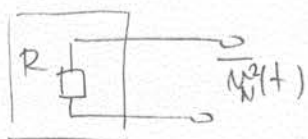
- ovaj šuma je razumio gibanje nosioca

$$N = \overline{v^2} \quad (\text{normalizirano sa } Z_0 = 1)$$



- šum ovisi o frekvenciji ali i o elementu

- neću šum na većem kutu jer je duži put kroz atmosferu



bitotaji izvor šuma uadanyjstano otporikom koji šumi

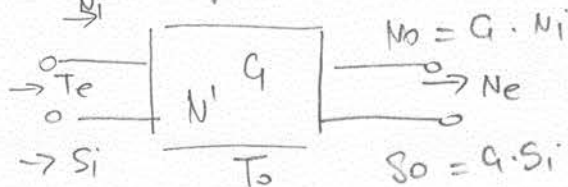
$$\overline{N_N^2} = \int_{f_1}^{f_2} 4 R(f) P(f) df$$

$$P(f) = \frac{hf}{e^{hf/kT} - 1} = \dots = \frac{f_0}{kT}$$

$$N_N^2 = 4 k T B R$$

$$N = k T B \Rightarrow \text{term. šum otpornika}$$

efektivna temperatura šuma



$$F = \frac{(S/N)_{\text{input}}}{(S/N)_{\text{output}}}$$

$$F = \frac{S_i / k T_0 B}{G S_i / G (k T_0 B + k T_e B)}$$

$$= 1 + \frac{T_e}{T_0}$$

- šum je jako mali i teško ga je mjeriti

- trebamo izvor koji jako šumi. - labilska dioda

## Y METODA



mjerac snage s pojačalom mora biti izuzetno osjetljiv

Oporuk - hladni izvor  $k T_e B$   
dioda - topli izvor  $k T_h B$

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= k B G (T_e + T_{ef}) \\ N_2 &= k B G (T_h + T_{ef}) \end{aligned} \right\}$$

$$F = 1 + \frac{T_{ef}}{T_0}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{T_h}{T_e} = Y$$

- opisuje šum glau  
- teško biti slovesi

$$M_R = C_R \cdot P_R = C_R \cdot |a_1|^2$$

$$P_R = \frac{1}{2} |a_1|^2$$

$$P_A = \frac{1}{2} |b_1|^2$$

$$\frac{A}{R} = C \frac{|b_1|^2}{|a_1|^2}$$

Zbog refleksija na generatoru, ulazi i transverzski i reflektirani val.  
Ta dva vala idu istim putom, odnosno faze su im različite. Zbog  
toga je potrebno pronaći kalibraciju s otvorenim krajem i kratkim  
spojem.

① Na VF bitne su dimenzije strukture u odnosu na valnu dužinu. Relativna veličina je veličina elementa u odnosu na  $\lambda$ . Kada je  $\lambda \ll \lambda$  može se konstituti

mipro  
2010

U kut izvedu struje i napona je teško mjeriti, zapravo ljezmo mjere, nemoguće je direktno mjeriti fazu.

$$\lambda = \frac{v_p}{f} = \frac{c}{v \cdot f}$$

Ohmov i Kirch. Zakoni Problem pristupanja teretu.

Na NF struja je konstantna. Superiudar mjeri samo veličinu, a ne i fazu. Nemamo pravljenje u fazi. DUT je najčešće otplova.

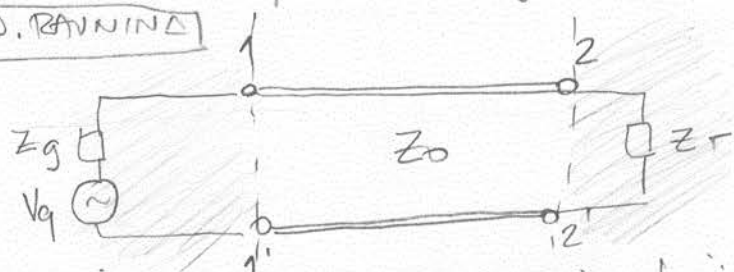
Na visokim frekvencijama struja pada duž linije, najveća je u početku. Javlja se stojni val zbog konduktivne struje.

$$NF \Rightarrow P = U \cdot I^2 = U \cdot I \cdot \cos \phi$$

NF  $\Rightarrow$  Možemo jako teško mjeriti poj. UHF problem izmjereni

UHF problem izmjereni iz DTA izlazi snaga i frekvencija.

HD. RAVNINA



Faza se mijenja kroz liniju.

Javlja se dva toka energije koji teku u suprotnim smjerovima.

Na VF se javlja problem pristupanja teretu. Struje i naponi se mjeruju sudaljenostima i teško ih je teško definirati. Zato se radi mjeriti snage, jer je ista od generatora i tereta i ne ovisi o udaljenosti. Frekvenciji snagu koristimo da opišemo generator. (na liniji bez gubitaka)

Promjena faze se događa na svim frekvencijama. Ako je promjena faze  $\Delta \phi \rightarrow 0$ , možemo napon smatrati konstantnim i po amplitudi i fazi. Alijet  $\lambda \ll \lambda$ . Promjena faze se događa zbog konduktivne struje.

MEKKA RAVNINA - referentna ravnina generatora i tereta

- pomak po liniji, faza se mijenja s  $\beta l$

Prijet valovod. Izvedu talibrnog dipola i valovoda imaju pigole koji je potrebno opisati. Znamo dužinu toga i frekvenciju i računamo  $\beta l$  i rezultate na analitičkom pomatrenju za toliko.

Upro



1) Makroskopski elektromagnetizam  $\rightarrow$  kad se ne može zauzeti konacno  
mali signal jer su dimenzije elemenata sustava reda veličine  
duljine ili veće od veličine duljine.  $E(x, y, z, t)$   $H(x, y, z, t)$   
Parametri za mjerenje: snaga, frekvencija, separabilni, spektar, faktor šuma,  
EM polje, jer su to sve skalarni veličine. Snaga je skalaru  
produkt dva vektora. Može se i vektorski upotrijebiti.  
 $\swarrow$  nije skalar