

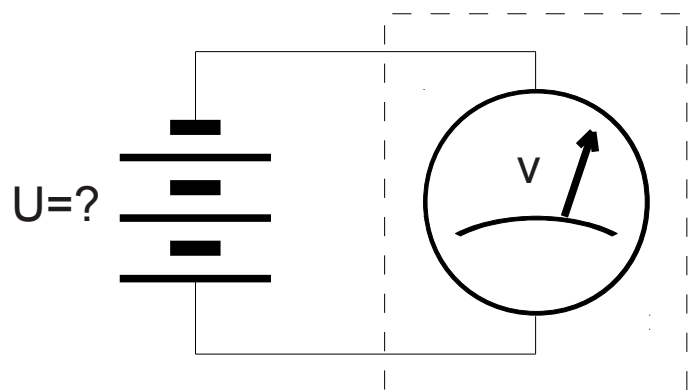
# Analizator vezij in radioamaterji

Marko Cebokli S57UUU



# Meritve signalov

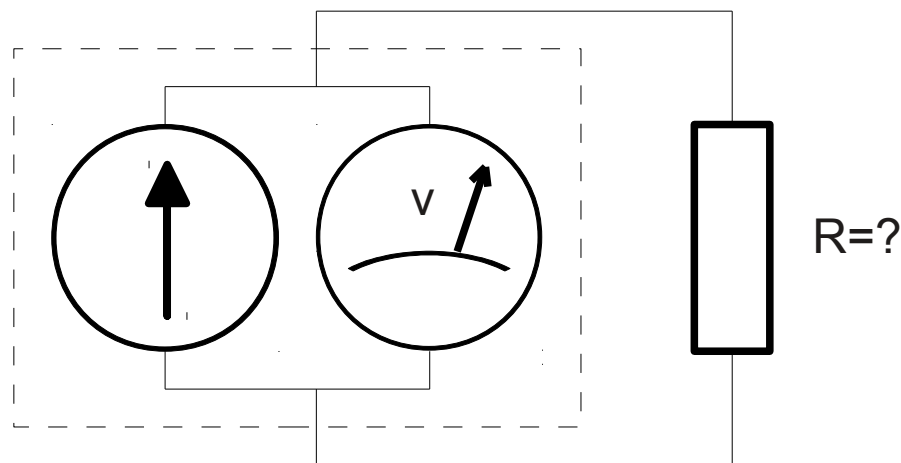
- voltmeter
- merilnik moci
- osciloskop
- analizator spektra



Zunanji vir signala

# Mertive vezij

- ohmmeter
- RLC meter
- dip meter
- analizator vezij



Vir signala je del merilne naprave,  
merimo odziv vezja na dano vzbujanje

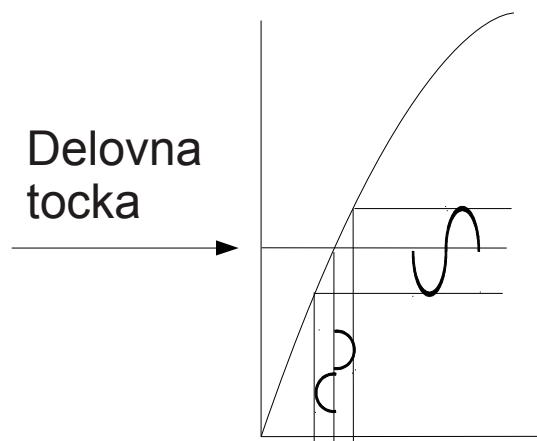
# Kaksna vezja merimo?

Z analizatorjem vezij merimo LINEARNA in CASOVNO NESPREMENLJIVA vezja

Linearnost:



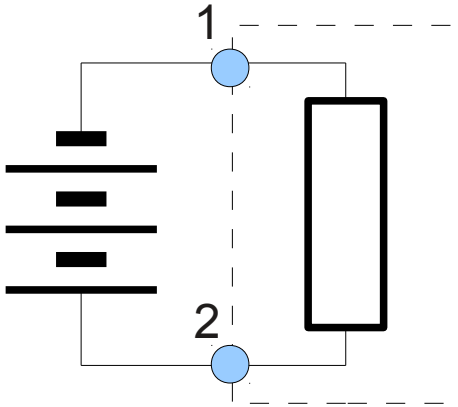
Linearnost za male signale:



- Izhod je samo skaliran in casovno zakasnen (fazni pomik)
- Če vhodno amplitudo spremenim za nek faktor, se izhodna spremeni za enak faktor
- Če je na vhodu vsota dveh signalov, je izhod enak vsoti izhodov pri posameznih vhodnih signalih
- Na izhodu so prisotne samo tiste frekvence, ki so prisotne na vhodu
- Ojacenje (slabljenje) in fazni pomik nista odvisna od amplitude in faze vzbujalnega signala
- Ojacenje (slabljenje) in fazni pomik sta lahko odvisna od frekvence

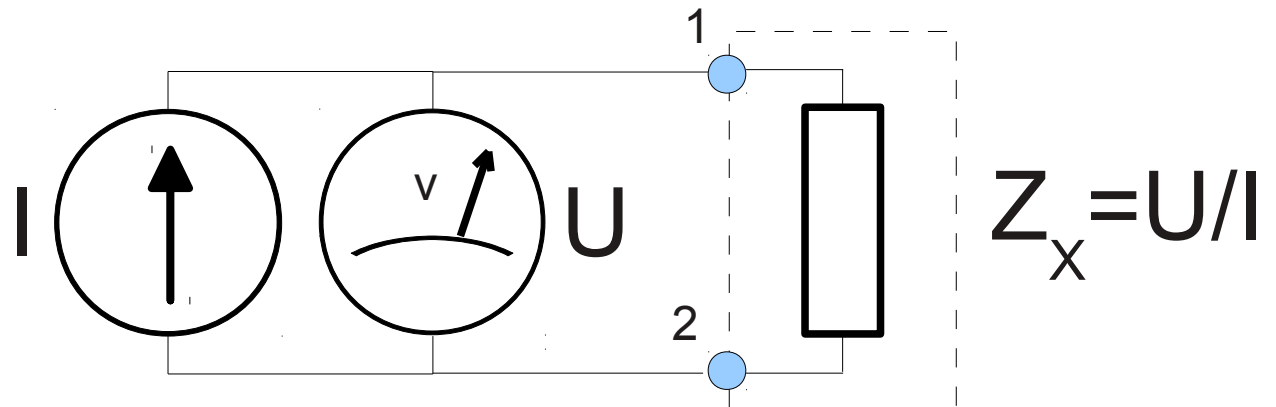
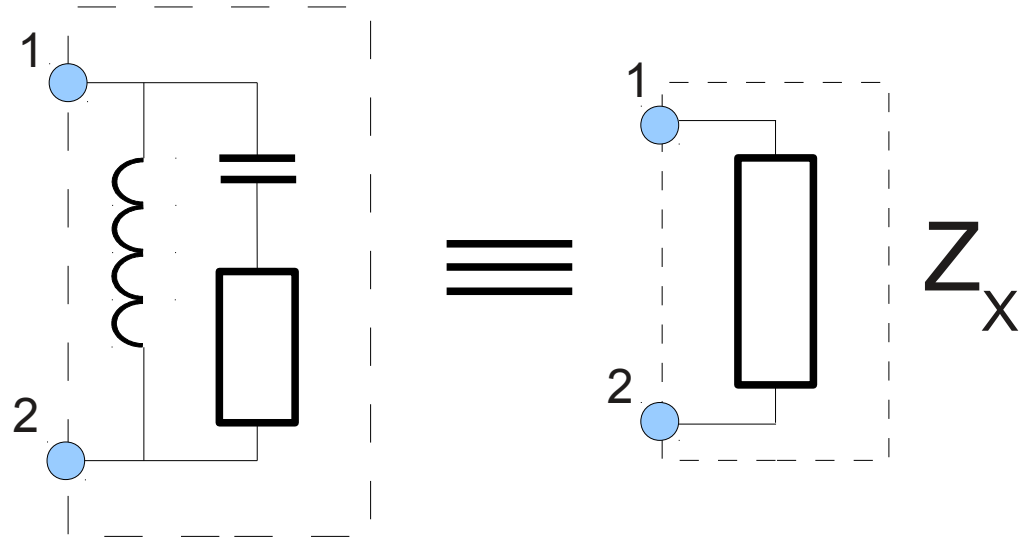
# Kaksna vezja merimo?

## 1. Dvopole (zakaj dvopoli?)



Elektricni tok tece v zaključenih tokokrogih, zato „enopolov“ nimamo.

Dvopolom lahko izmerimo IMPEDANCO



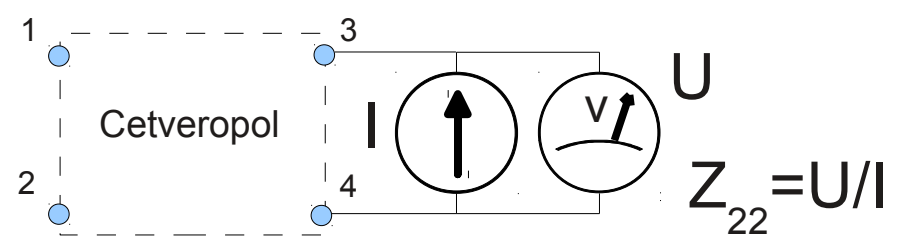
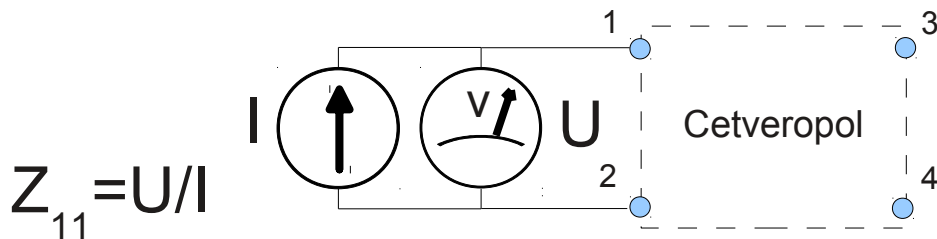
# Kaksna vezja merimo?

## 2. Cetveropole (dvovhodna vezja, „dual port“) - ponavadi vhod in izhod

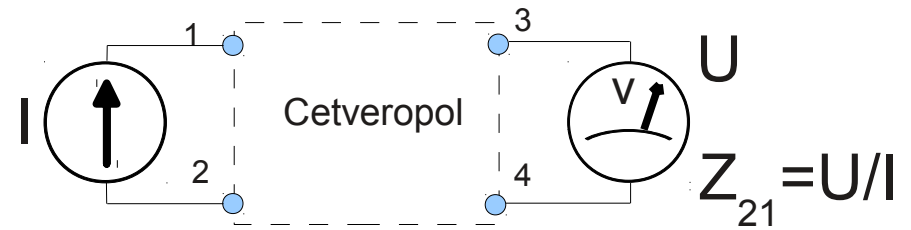
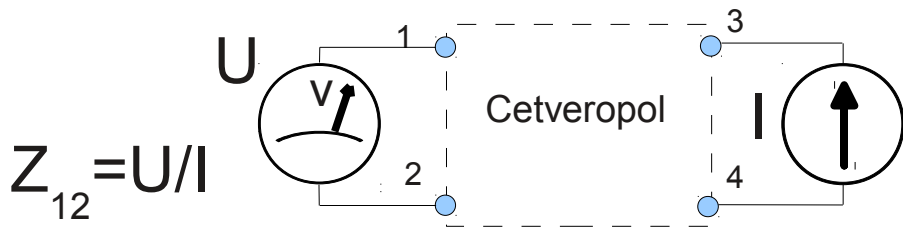
Kaj lahko merimo na cetveropolih?

Lahko izmerimo dve impedanci:

Prikljucka 1 in 2 sta „vhod 1“, prikljucka 3 in 4 pa „vhod 2“.



In lahko izmerimo, kaj „gre skozi“, v eni in drugi smeri:



Tako dobimo stiri t.i. „Z parametre“

$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$$

Oznacevanje:

$Z_{21}$

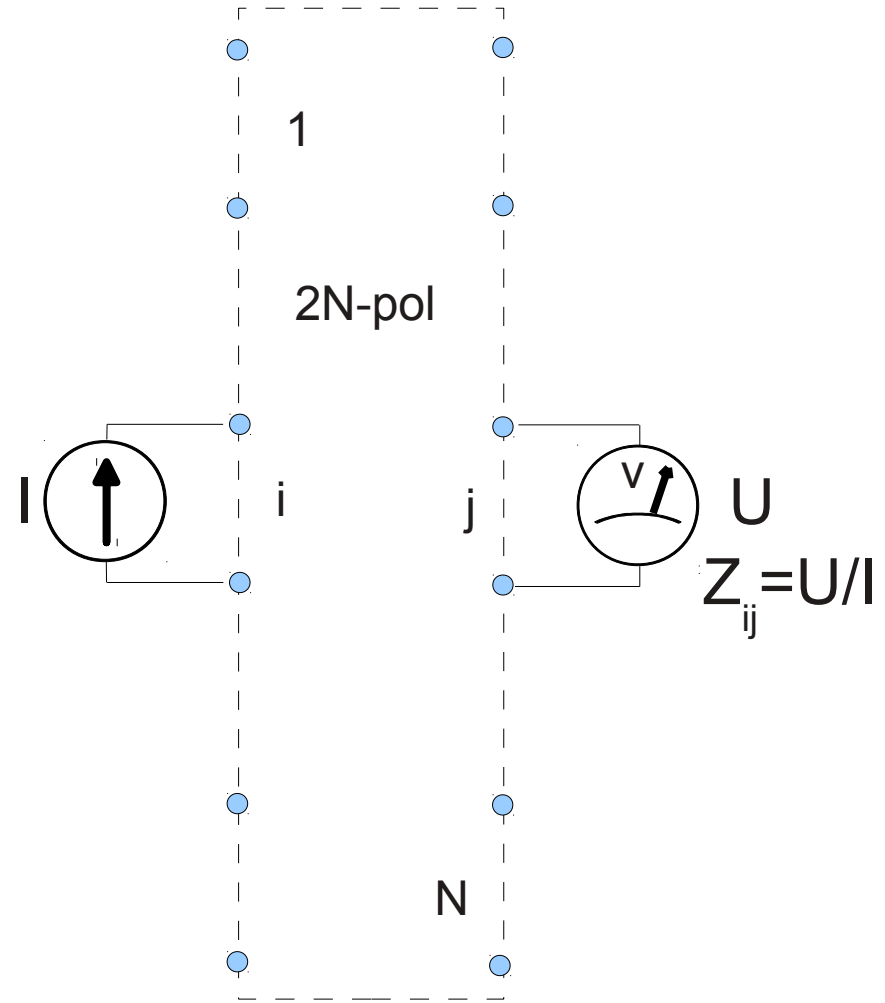
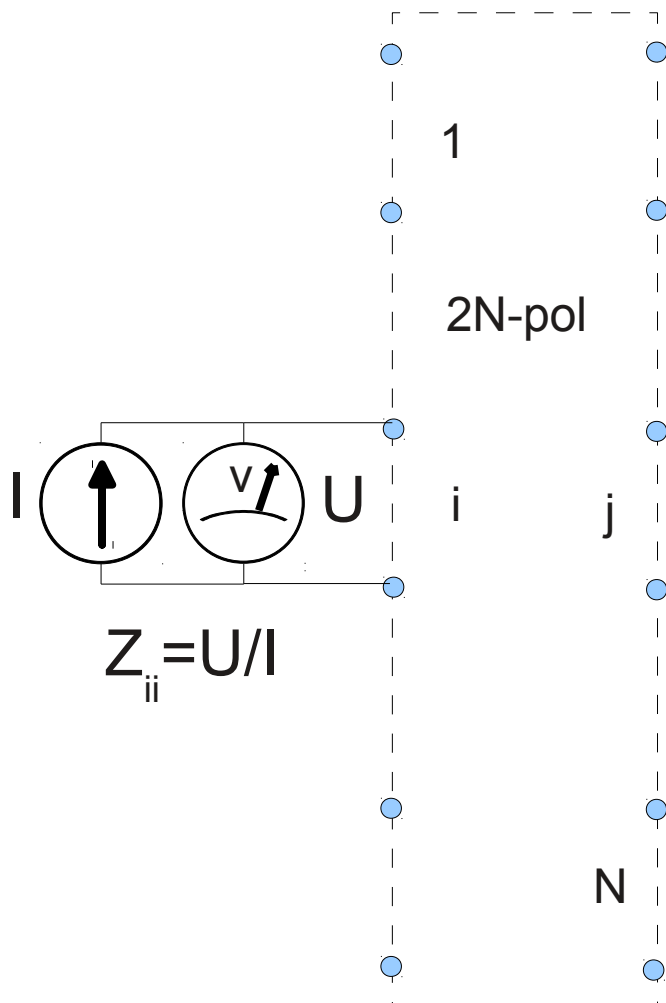
Na tem vhodu merim odziv

Na ta vhod pripeljem vzbujanje

# Kaksna vezja merimo?

Kaj pa vec kot cetvero poli? (vezja z vec kot dvema vhodoma?)

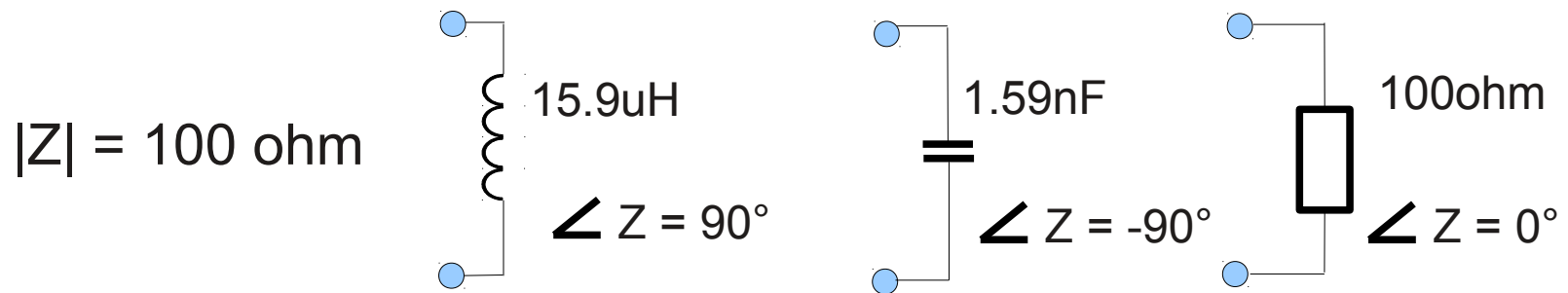
Se vedno imamo samo dve vrsti meritev: „impedanca“ in pa „skozi“, zato lahko instrument, ki lahko izmeri cetveropol, izmeri tudi vezje s poljubno mnogo vhodi.



# Skalarna / vektorska meritev

Pri delu z izmenicnimi signali moramo upoštevati tudi zakasnitve v merjenem vezju, saj te vplivaljo na fazo signala. Meritev, ki meri tako amplitudo kot fazo velicin kot so: (izmenicna) napetost, tok, impedanca, itd, imenujemo vektorska.

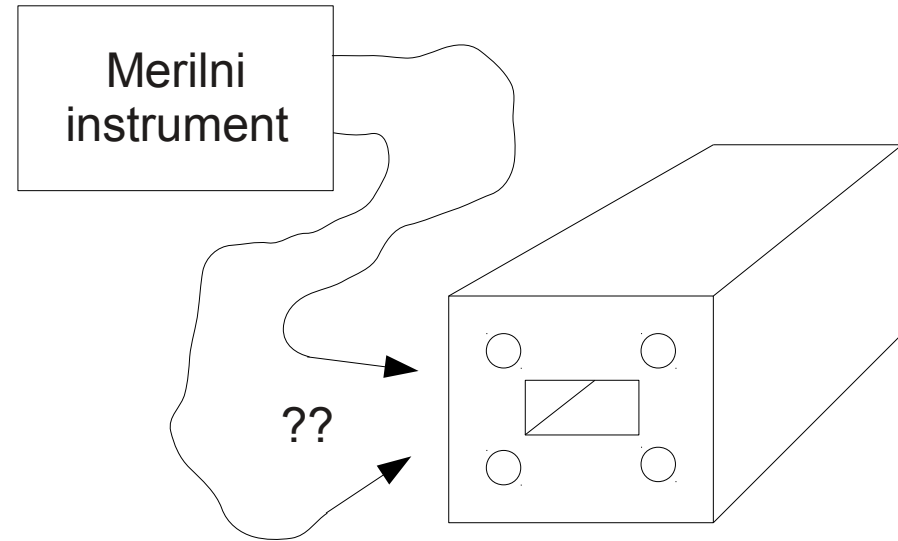
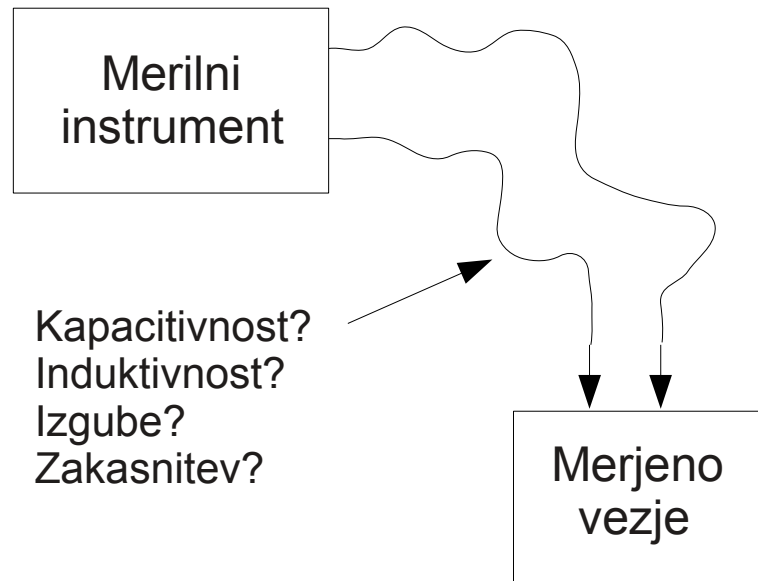
Vcasih nas zanima samo amplituda, in podatka o fazi ne potrebujemo. n. pr. pri kablu ali atenuatorju nas zanima samo slabljenje in prilagoditev, dolzina pa ne. V takih primerih lahko uporabimo skalarno meritev, vendar nam ta ne da vseh podatkov o merjencu. N.pr. na frekvenci 1MHz imajo naslednji dvopoli enako absolutno vrednost impedance, in skalarni merilnik ne bo locil med njimi:



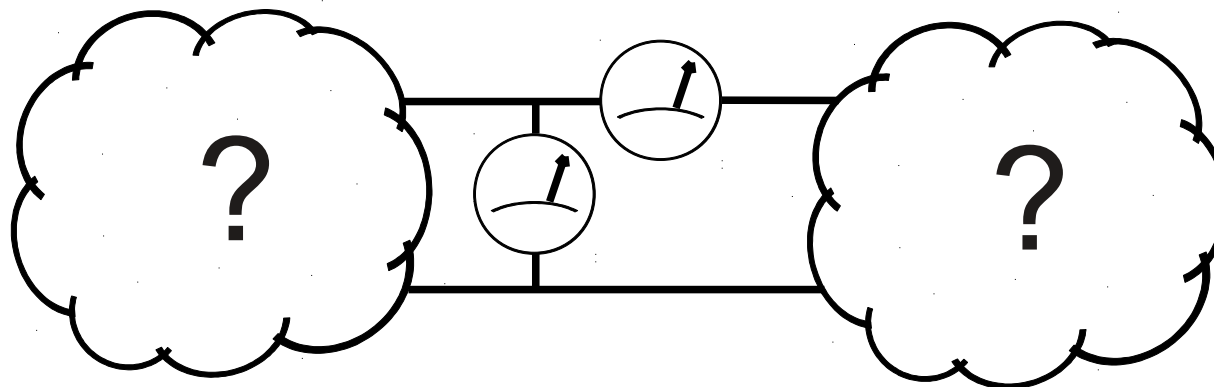
Ce zelimo na analizatorju vezij izvesti polno kalibracijo in popravljanje napak, moramo imeti podatke o fazi!

# Problemi visokofrekvenčnih meritev

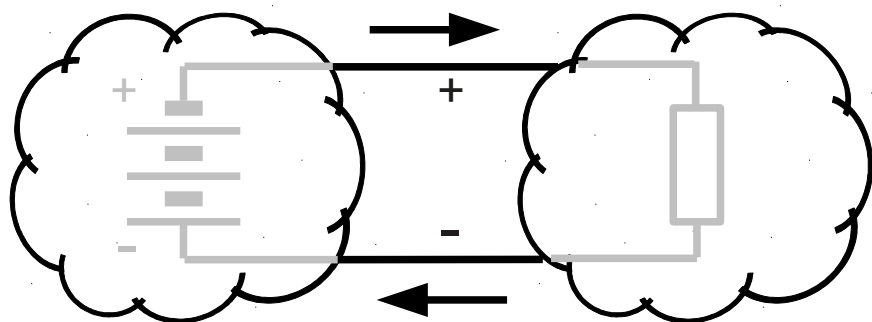
- Parazitske kapacitivnosti, induktivnosti?
- Velikost merilne opreme znaten del valovne dolzine?
- Kako priklopiti voltmeter/ampermeter na valovod?



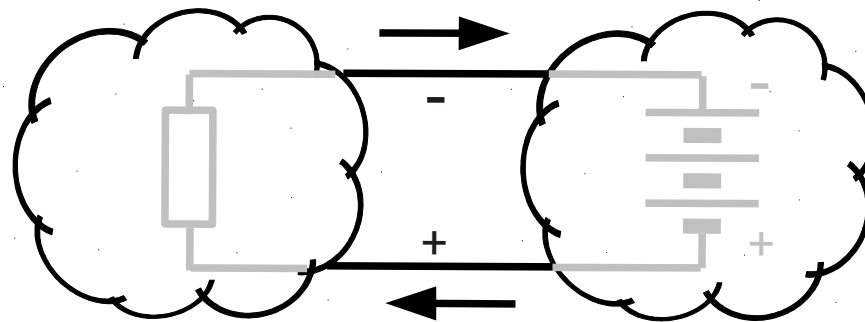
# Valovi



V katero smer potuje energija?



$$V_N = \frac{U + IZ_0}{2 \sqrt{Z_0}}$$



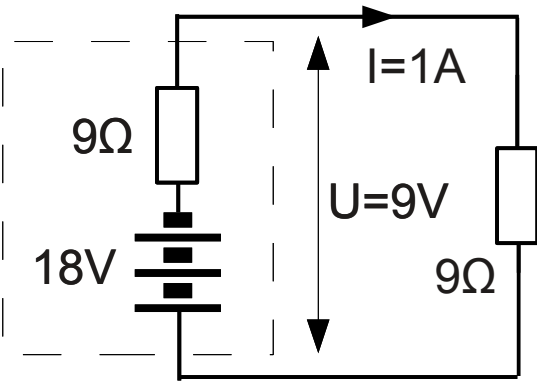
$$V_O = \frac{U - IZ_0}{2 \sqrt{Z_0}}$$



Faktor  $2 \sqrt{Z_0}$  v imenovalcu dodamo zato, da je kvadrat V enak moci

# Valovi

$$Z_0 = 9\Omega$$

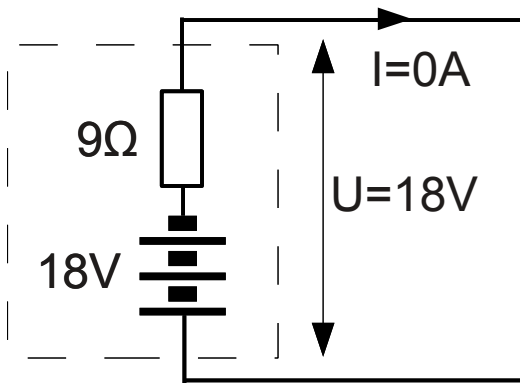


$$V_N = \frac{9 + 1 * 9}{2 \sqrt{9}} = 3$$

$$V_O = \frac{9 - 1 * 9}{2 \sqrt{9}} = 0$$

$$U = \sqrt{9} (V_N + V_O) = 9$$

$$P_B = V_N^2 - V_O^2 = 9$$

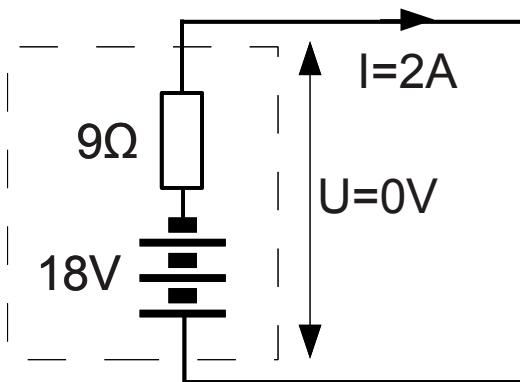


$$V_N = \frac{18 + 0 * 9}{2 \sqrt{9}} = 3$$

$$V_O = \frac{18 - 0 * 9}{2 \sqrt{9}} = 3$$

$$U = \sqrt{9} (V_N + V_O) = 18$$

$$P_B = V_N^2 - V_O^2 = 0$$



$$V_N = \frac{0 + 2 * 9}{2 \sqrt{9}} = 3$$

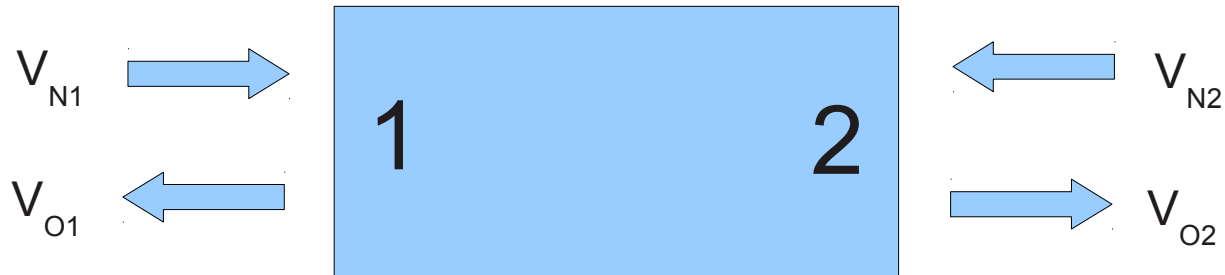
$$V_O = \frac{0 - 2 * 9}{2 \sqrt{9}} = -3$$

$$U = \sqrt{9} (V_N + V_O) = 0$$

$$P_B = V_N^2 - V_O^2 = 0$$

# S parametri

dvovhodnega vezja



$$S_{11} = \frac{V_{O1}}{V_{N1}} \Big|_{V_{N2}=0}$$

$$S_{12} = \frac{V_{O1}}{V_{N2}} \Big|_{V_{N1}=0}$$

$$S_{21} = \frac{V_{O2}}{V_{N1}} \Big|_{V_{N2}=0}$$

$$S_{22} = \frac{V_{O2}}{V_{N2}} \Big|_{V_{N1}=0}$$

# S parametri

dvovhodnega vezja

Pomen S parametrov:

$S_{11}$  in  $S_{22}$  sta odbojnosti

Odbojnost je mera neprilagoditve, glede na  $Z_0$

$$S_{11} = \Gamma_{VH} = \frac{Z_{11} - Z_0}{Z_{11} + Z_0} \quad V_O = \Gamma * V_N$$

Return loss = odbita moc / vpadna moc =  $|\Gamma|^2$

$|\Gamma| = 1$  pomeni popolno neprilagoditev: vse se odbije, odbiti val enak vpadnemu

$|\Gamma| = 0$  pomeni popolno prilagoditev,  $Z_{11} = Z_0$ : nic se ne odbije, odbiti val je nic

$|\Gamma| = 0.316$  ustreza prilagoditvi (return loss) priblizno 10dB, desetino moci se odbije

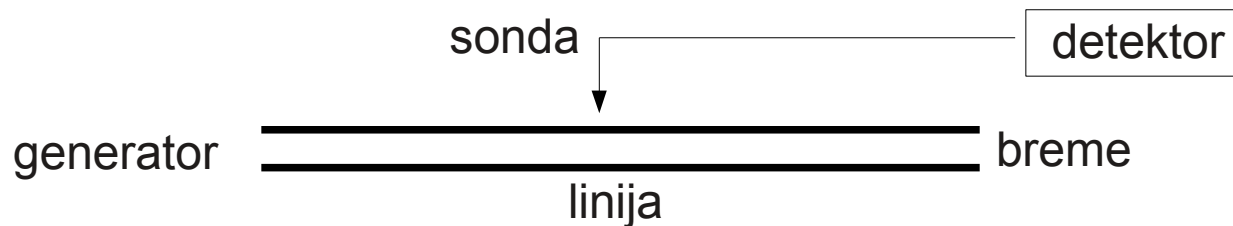
$S_{12}$  in  $S_{21}$  sta ojacenji (dusenji), ko je vezje zakljuceno z  $Z_0$

# S parametri

Kako jih merimo?

Prvi način, ki ima danes samo se zgodovinsko vrednost, je bila merilna linija.

Napredujoci in odbiti val po liniji potujeta v nasprotnih smereh in interferirata: ponekod se njuni amplitudi seštejeta, drugod pa odstejeta. Zato imamo na liniji maksimume in minimume, ki jih lahko zaznamo s sondo, ki jo priblizamo liniji.



Maksimum =  $|V_N| + |V_O|$ , minimum =  $|V_N| - |V_O|$  Razmerje med tema dvema vrednostima je koeficient stojnih valov, „standing wave ratio“ ali SWR. Iz položaja maksimumov glede na breme lahko ugotovimo tudi fazo odbojnosti, iz razmika med maksimumi pa frekvenco.

$$\text{SWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

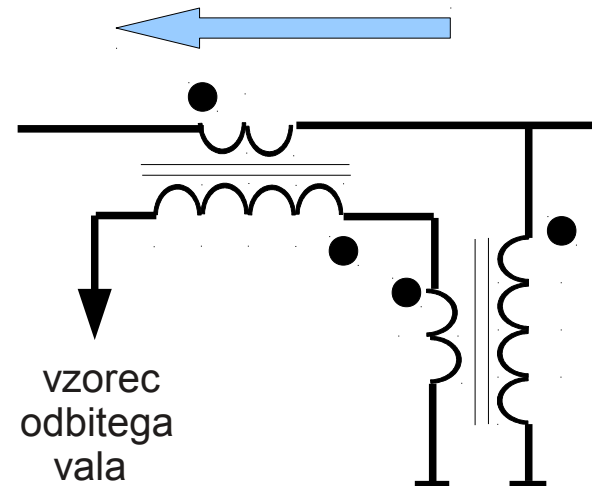
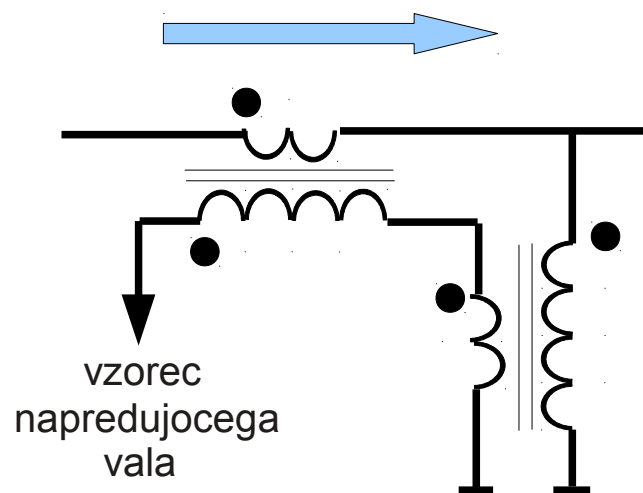
$$|\Gamma| = \frac{\text{SWR} - 1}{\text{SWR} + 1}$$

# S parametri

Kako jih merimo?

Pri sodobnih metodah meritev S parametrov najprej posebej izmerimo napredujoče in odbite valove, nato izračunamo ustrezne ulomke.

Za to potrebujemo vezja, ki ločijo med napredujocim in odbitim valom. Ena možnost je, da ustrezno definiciji  $V_N$  in  $V_O$  sestevamo vzorca napetosti in toka, n. pr. s transformatorji:



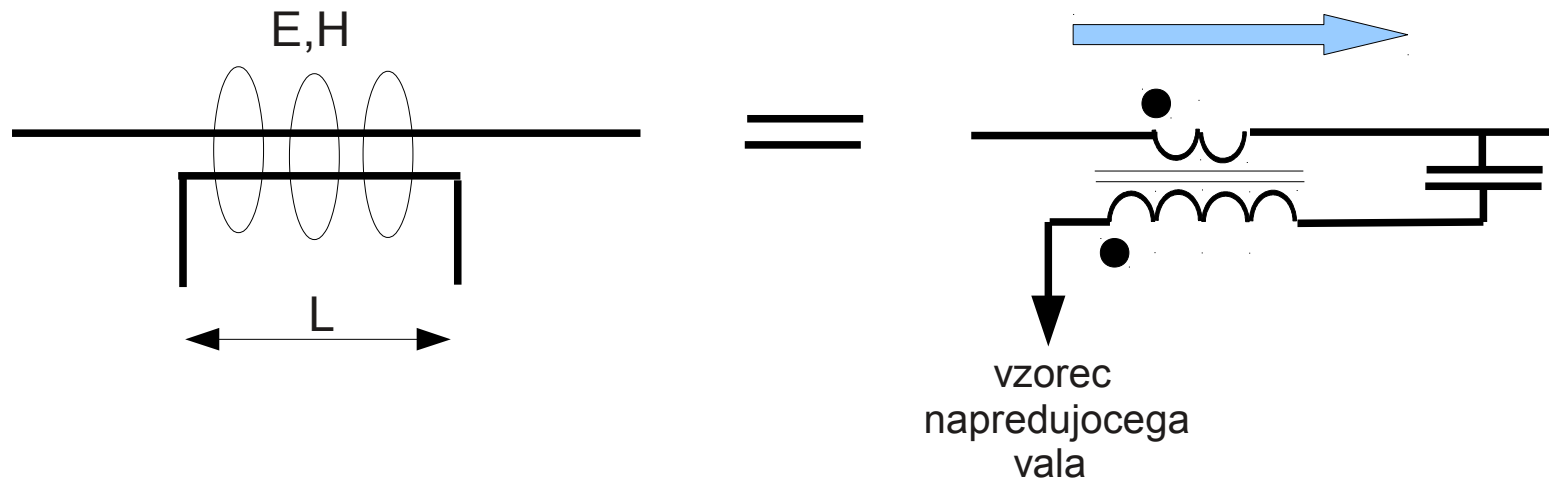
Takšna vezja so uporabna na nizkih frekvencah, do kaksnih 30MHz. Podobno so bile izvedene tudi „vilice“ v klasičnih telefonih

# S parametri

Kako jih merimo?

## Smerni sklopniki

Na visjih frekvencah je težko izdelati dobre transformatorje, za uporabimo pojav sklopa med linijami. Če liniji priblizamo kos druge linije, bosta sklopljeni tako z magnetnim kot z elektricnim poljem, kar ustreza naslednji shemi:



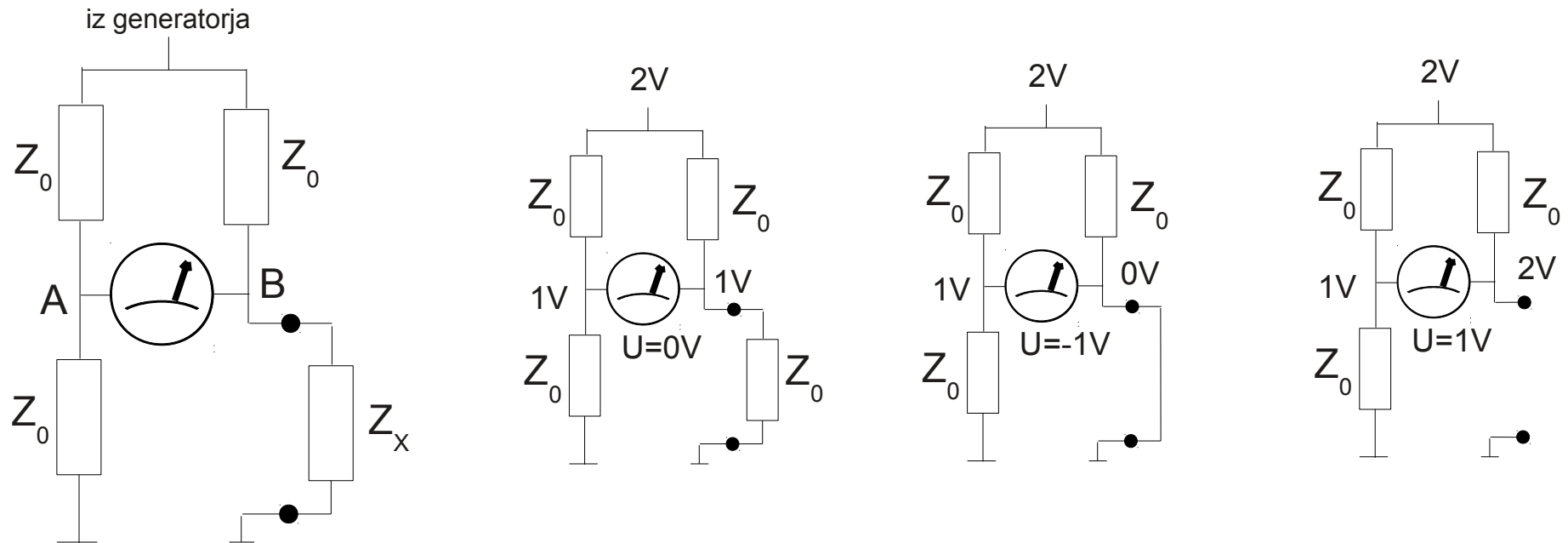
Sklop doseze maksimum pri  $L = \lambda/4$ . Taksne sklopnike lahko naredimo v koaksialni, mikrotrakasti ali kaki drugi obliki. Tudi valovode lahko podobno sklopimo tako, da v skupno steno izvrtamo luknje. Z razdaljo med linijama dolocamo, koliksen del moci se bo odcepil. V merilni tehniki imamo ponavadi sklopnike, ki odcepijo priblizno 1% moci, taksnemu recemo 20dB sklopnik.

# S parametri

Kako jih merimo?

## Mostic

Predhodno opisani linijski in transformatorski smerni sklopniki imajo dobro lastnost, da prepustijo vecino moci, in jo le mali del odcepijo za meritev. Imajo pa tudi slabo lastnost, da je sklop odvisen od frekvence. Za sirokopasovne meritve so zato primernejši mostici, ki pa vnasajo bistveno vecje izgube med generator in merjenja.



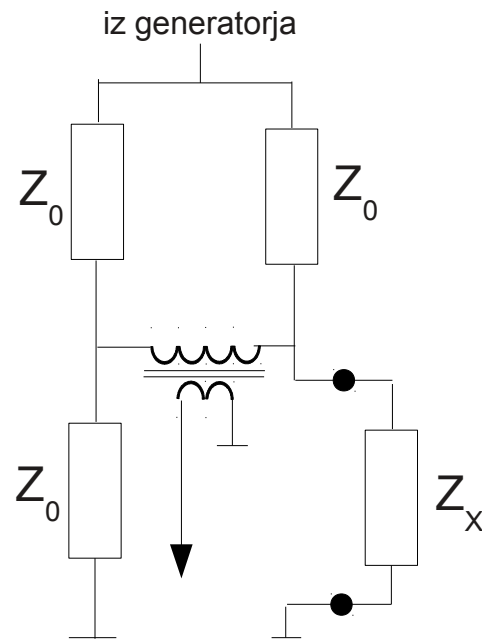
Napetost med točkama A in B je sorazmerna odbitemu valu!

# S parametri

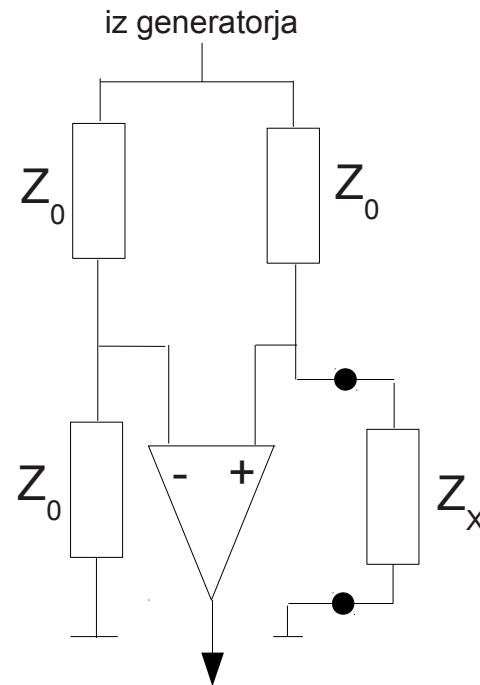
Kako jih merimo?

## Prakticne izvedbe mosticev

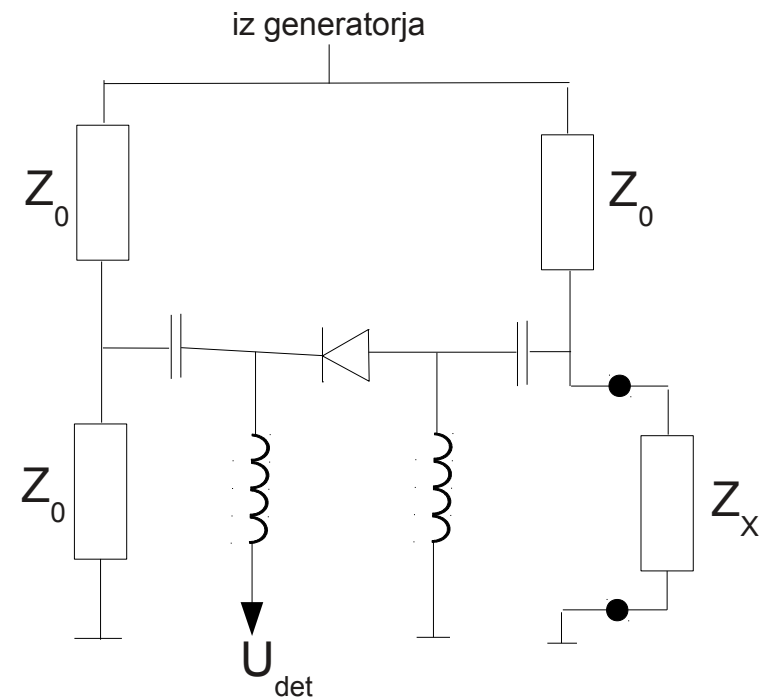
Problem klasicnega mostica je, da je tocka merjenja simetricna in „visi v zraku“, ni z eno stranjo na masi, kot bi si zeleti. Obstaja vec resitev za ta problem.



S transformatorjem  
(VF balunom)



Z aktivnim balunom



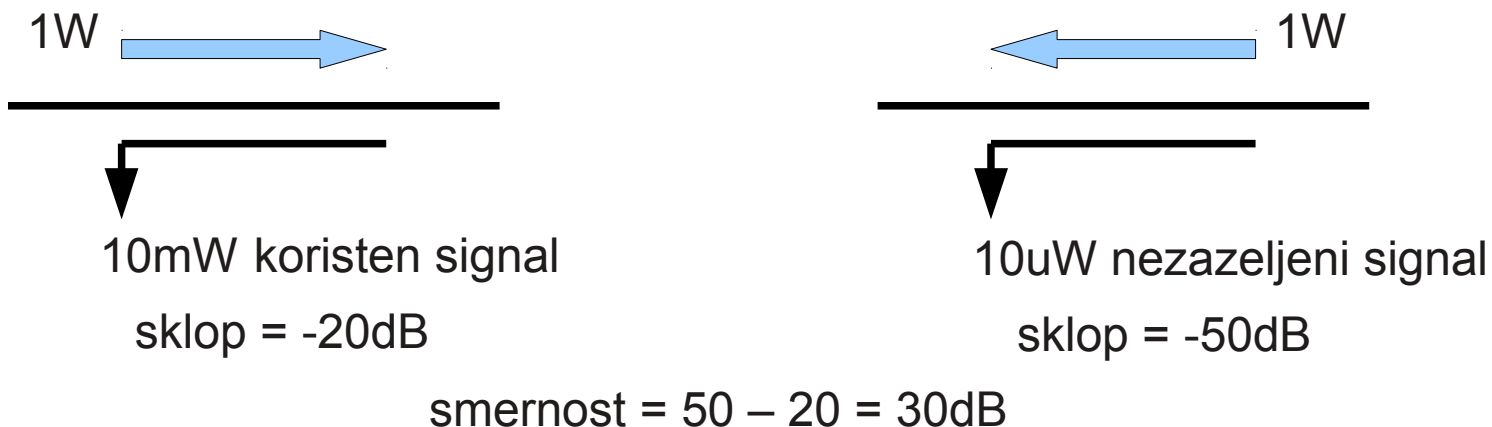
Skalarni mostic

# S parametri

Kako jih merimo?

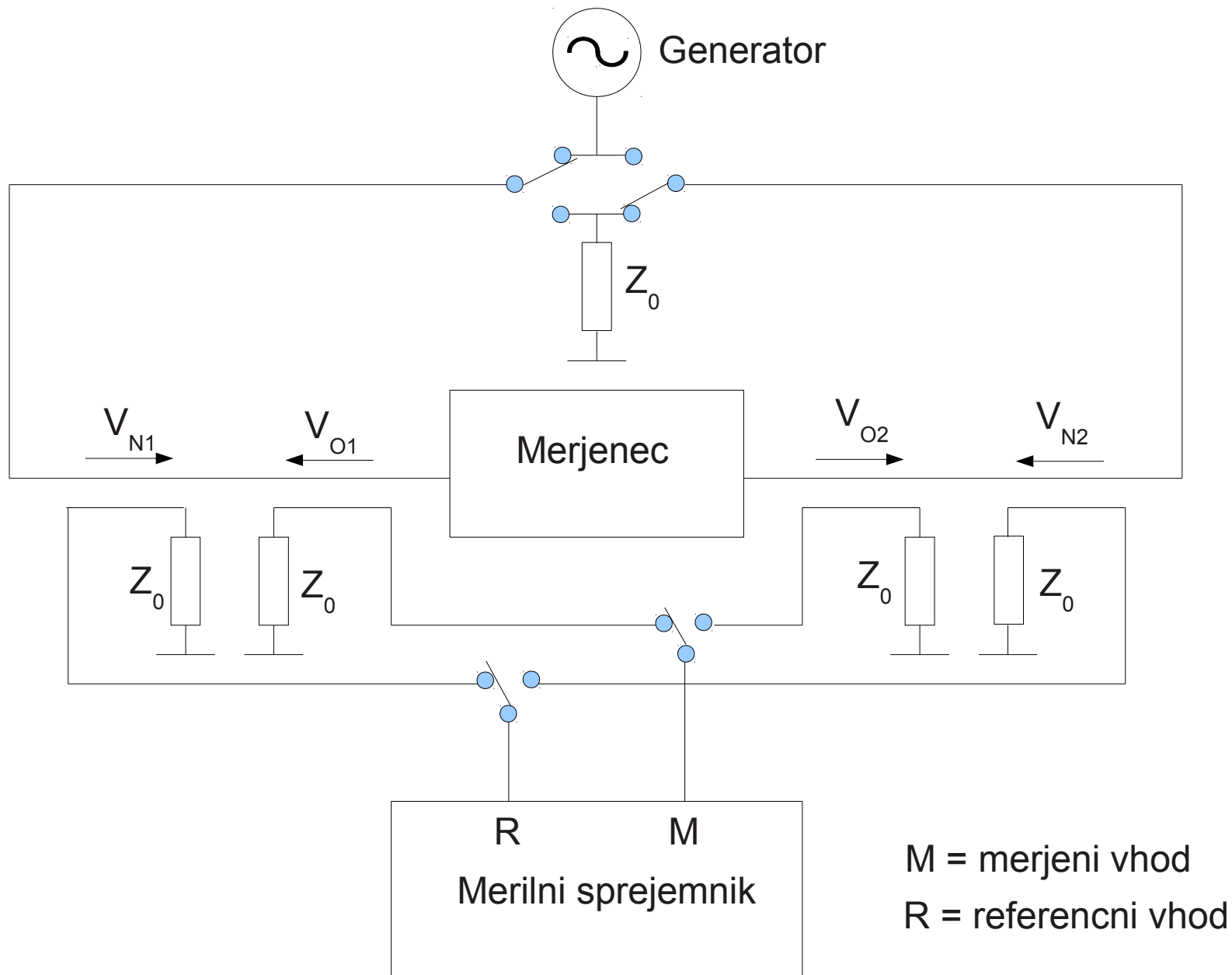
## Smernost

Idealni sklopnik ali mostic bi na izhodu dajal vzorec izključno od valov v eni smeri. V praksi se zaradi mehanskih toleranc in drugih nepravilnosti na izhod vedno pritihotapi tudi nekaj energije vala v nasprotni smeri. Ta signal povzroča merilno napako, in ga želimo čim bolj zmanjšati. Merilo kakovosti sklopnika oz. mostica je njegova smernost:



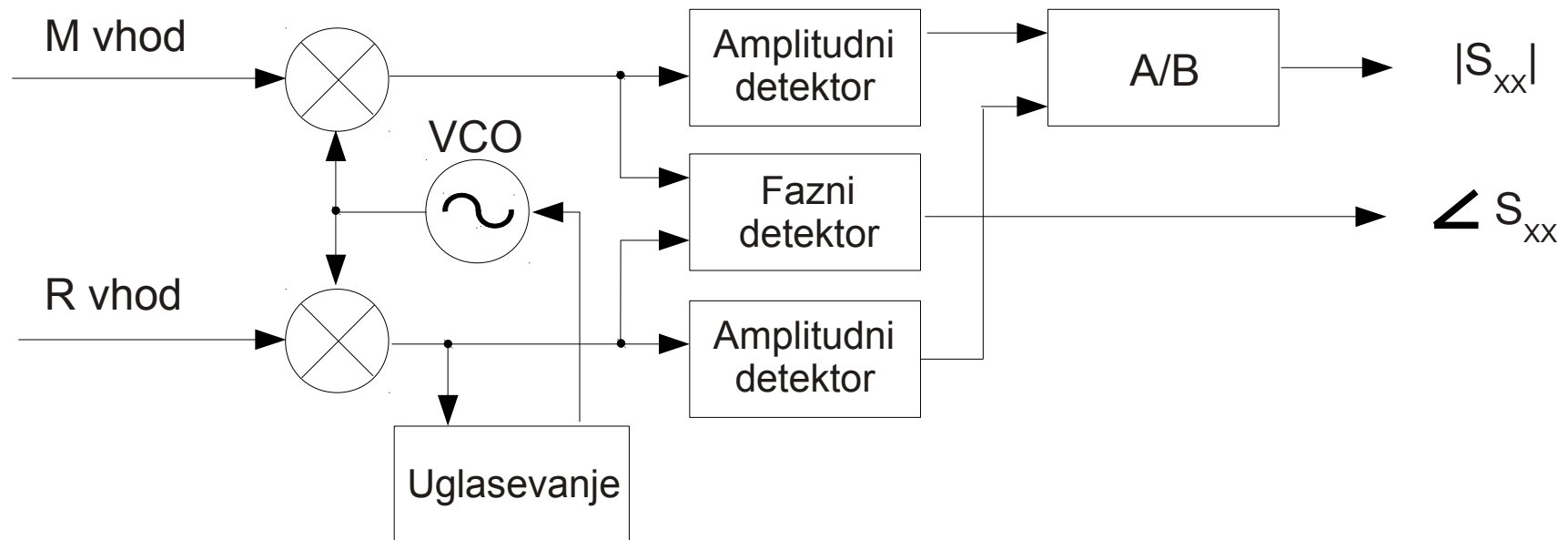
Vrhunski valovodni sklopniki imajo smernost do 50dB, dobri koaksialni pa cca 30dB. Zazeljeno je, da je smernost vsaj 10dB večja od prilagoditve merjenca. V tem primeru je napaka manjša od +2dB. Na vektorskem merilniku lahko naredimo kalibracijo, s katero močno zmanjšamo to napako.

# Analizator vezij



# Analizator vezij

Merilni sprejemnik



Zahteve:

- široko področje vhodnih frekvenc (tudi več dekad!)
- velika dinamika M kanala
- natančnost meritve

# 1950: Rohde & Schwartz Z-G Diagraph

Teza: 63kg

Meritve do 2.4 GHz



# 1967: HP 8410

100MHz ... 18GHz



S-parameter test set je iz leta 1969



Novejši komplet (cca 1980)

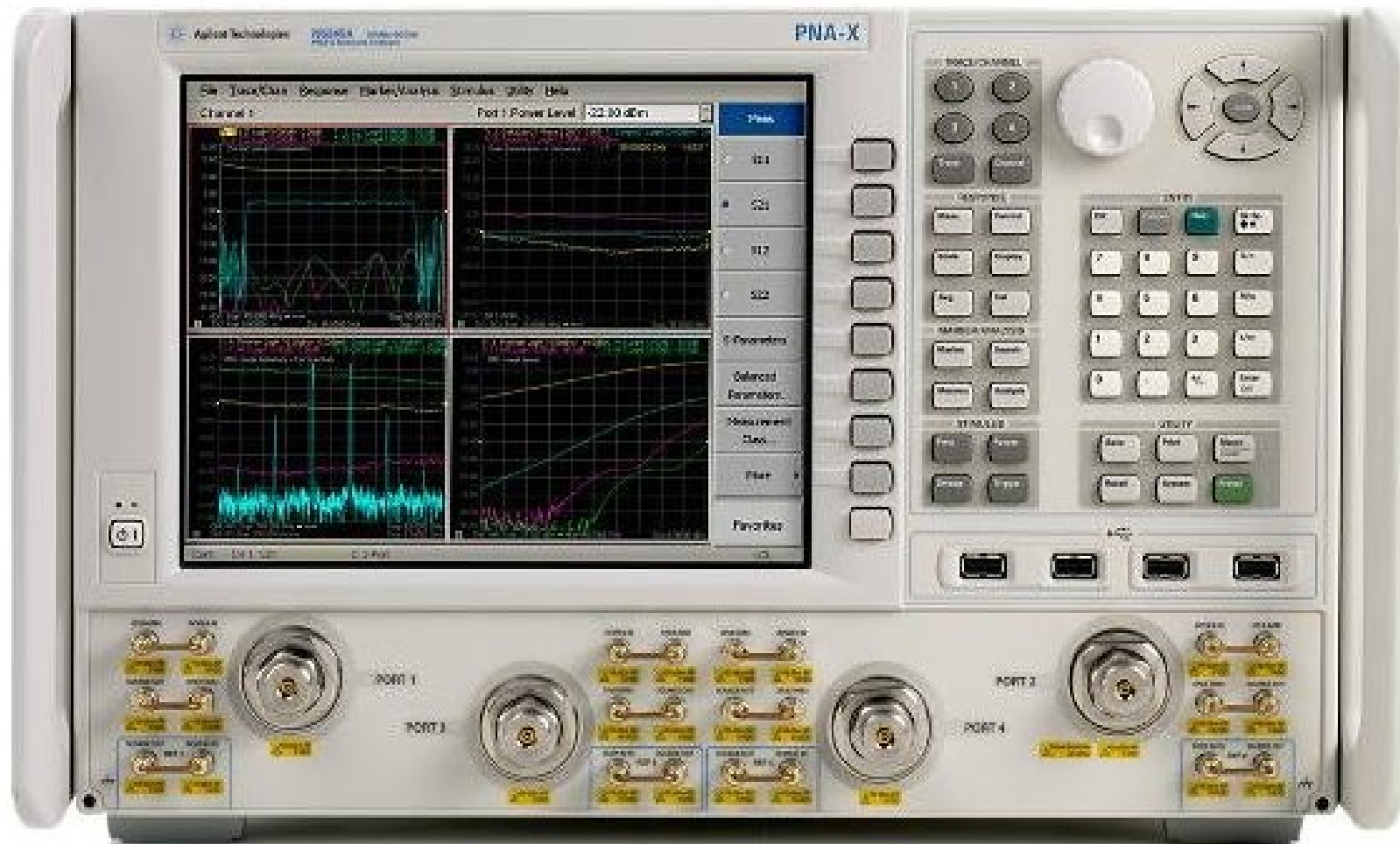
# 1985: HP8753A

Popolnoma digitaliziran, kalibracije, povprečenje, preračun  
v časovni prostor, itd.



# 2012: Agilent PNA-X

Verzije do 1THz, meri tudi sumno stevilo itd



Osnovan je na Windows OS – treba je paziti na viruse!

# Nizkocenovni in „naredi sam“ analizatorji vezij

Spletna stran <http://www.rigexpert.com/index?s=articles&f=aas>  
jih nasteje vec kot 40!

## Analizatorji na osnovi diodnih detektorjev

VK5JST analyzer  
MFJ analyzers  
UT2FW antenna analyzer  
AEA Technology 140-525 Antenna Analyst  
Palstar ZM-30  
SARK100

## Analizatorji na osnovi logaritemskih detektorjev na delovni frekvenci

RigExpert AA-520 (also: AA-500)

## Analizatorji na osnovi logaritemskih in faznih detektorjev na delovni frekvenci

MiniVNA  
MAX6  
OH8LQ analyzer  
AVR Embedded Antenna Analyser  
T100 (Times Technology)  
RigExpert AA-230, AA-230PRO  
TAPR VNA  
VR2VNA

## Heterodinski analizatorji

Array Solutions analyzers  
DG8SAQ analyzers  
Scotty's Modularized Spectrum Analyzer (MSA)  
SARK-110  
RigExpert AA-30 and AA-54  
RigExpert AA-170, AA-600 and AA-1000

## Analizatorji na osnovi direktne konverzije

BX-110 (DL1SNG)  
N2PK analyzer  
PA1ARE  
Experimental (unnamed) HF analyzer  
Network analyzer 150MHz by Jacques Lacroix  
MiniVNA PRO

## Drugi (ni tocnih podatkov)

Autek Research analyzers	SWR ONE (COMM-connect)
FeatureTech analyzers	LA Techniques Ltd. analyzers
ANA 2700 Meret	Bode 100
Измеритель КСВН панорамный P2-135	
TimeWave TZ-900 (AntennaSmith)	Tomco TE1000
Vectronics SWR-584B	VNA-3B («Стоянов и Граматиков»)
WE-030A/B, WE-520A, WE-1002A (Waterbeach Electronics Ltd)	
Modern AEA Technology analyzers	LISIC ATS3505B

# »Naredi sam« vektorski analizatorji vezij

Problemi:

- Klasična oblika, z analognim merilnim sprejemnikom, ki je fazno uklenjen na »prostotelec« generator, je zelo zahtevna za izdelavo, točnost pa ni posebno dobra. Takšen analizator tudi ne omogoča kalibracije.
- Komercialni analizatorji s sintetiziranim generatorjem uporabljajo zelo zapletene sheme sinteze in mesanja, da pokrijejo široko frekvenčno področje z zelo majhnimi frekvenčnimi koraki.

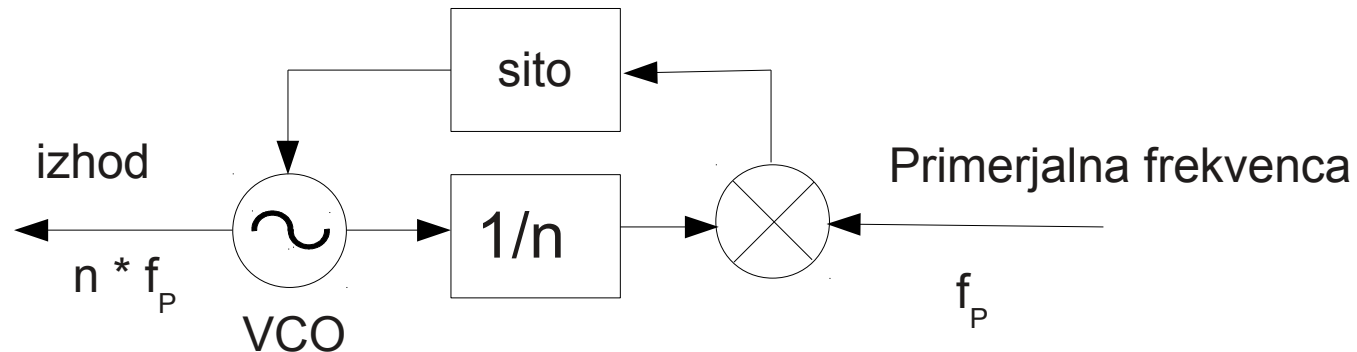
Možna rešitev za amatersko izvedbo: ločena sintetizatorja za generator in lokalni oscilator sprejemnika, ki ju upravlja računalnik.

Kakšen sintetizator izbrati?

Na voljo imamo: klasične PLL cipe s celostevilskim delilnikom, direktne digitalne sintetizatorje, in pa nove PLL cipe z ulomkovim delilnikom, vgrajenimi VCOji in dodatno verigo delilnikov.

# »Naredi sam« vektorski analizatorji vezij

## Klasicni PLL sintezatorji s celostevilskim delilnikom



Prednosti:

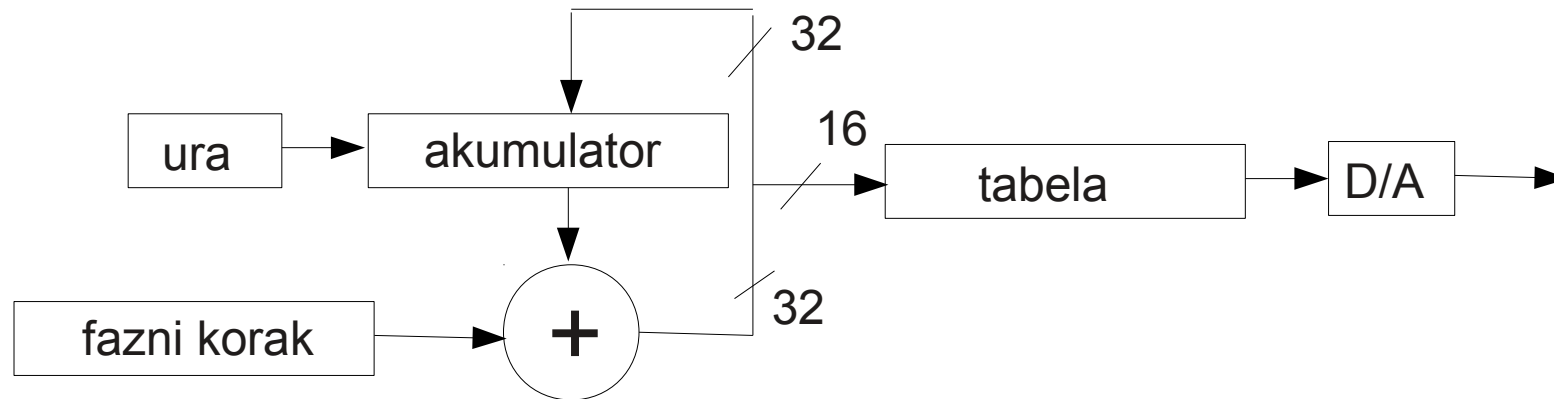
- lahko delujejo na visokih frekvencah, do 10GHz in vec

Slabosti:

- VCO tezko pokriva vec kot oktavo. Sirse frekvencno podrocje kot pokriva, vecji so problemi s faznim sumom. Ce zelimo pokriti velik relativen razpon frekvenc, moramo uporabiti mesanje navzdol. Mesanje dveh visokih frekvenc, da dobimo nizko frekvenco, ni optimalno glede faznega suma.
- za cist spekter je zazeljena visoka primerjalna frekvenca, kar pa pomeni velik korak po frekvenci – problem, ce zelimo delati z nizko medfrekvenco, ali pa pri meritvi zelo ozkopasovnih sit.

# »Naredi sam« vektorski analizatorji vezij

## Direktni digitlni sintezatorji



### Prednosti:

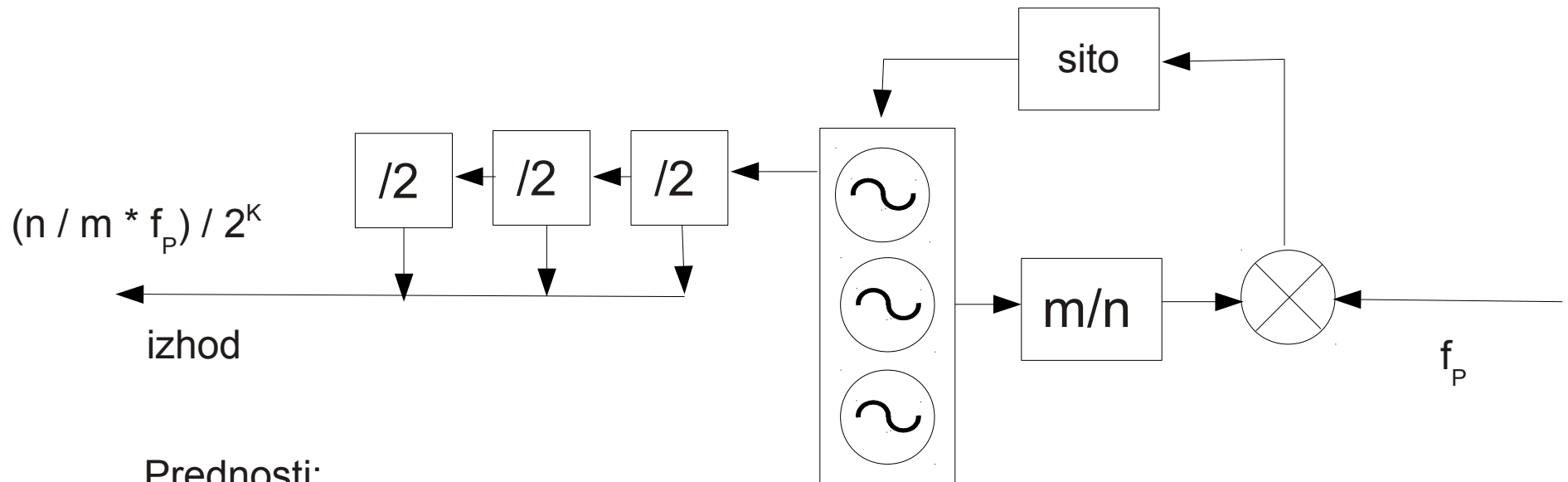
- velik relativni razpon frekvenc
- zelo majhen frekvenčni korak
- majhen fazni sum

### Slabosti:

- izhodne frekvence samo do nekaj sto MHz

# »Naredi sam« vektorski analizatorji vezij

PLL sintezatorji z ulomkovim delilnikom, vgrajenimi VCOji in delilno verigo



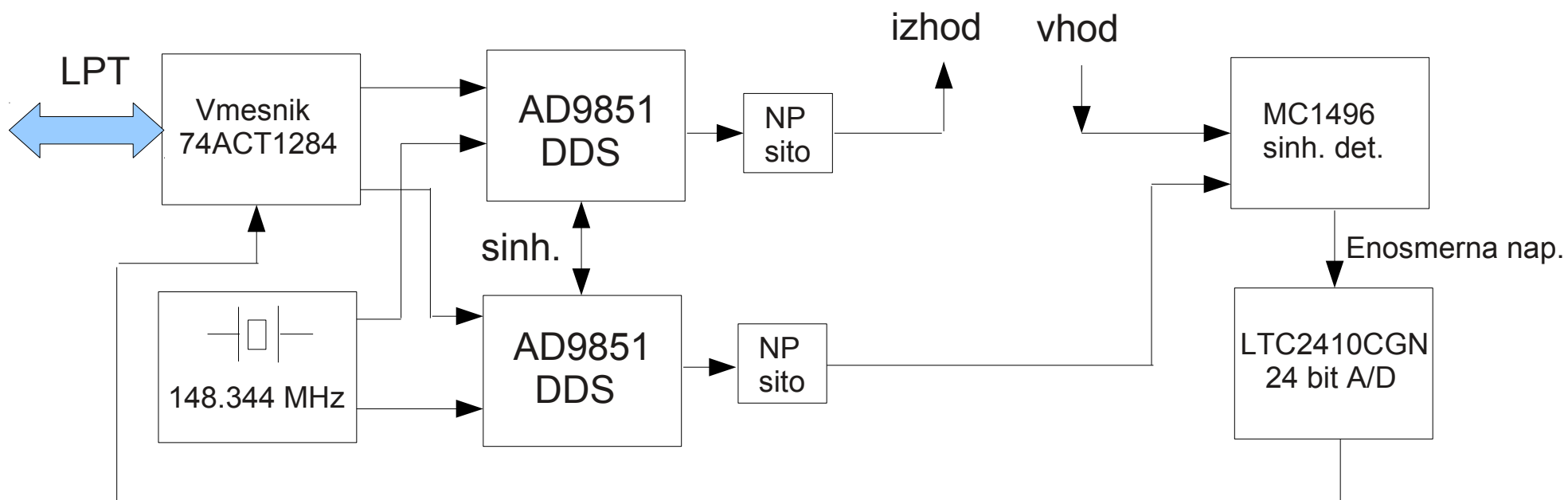
Prednosti:

- frekvenčni korak mnogokrat manjši od primerjalne frekvence
- sežejo do visokih frekvenc (trenutno do 4.4 GHz)
- delilna veriga omogoča pokrivanje širokega frekvenčnega področja
- več VCOjev z manjšim razponom => manjši fazni sum

Slabosti:

- korak se vedno večji kot pri direktnih digitalnih sintezatorjih

# N2PK VNA



# N2PK VNA

„direct conversion“, mesanje na frekvenco nič (sinhrona detekcija)

Sinhroniziran generator in LO, ne rabi referencnega vhoda

Sekvenčno merjenje I in Q komponent – enostavnejši sprejemnik

Dobro:

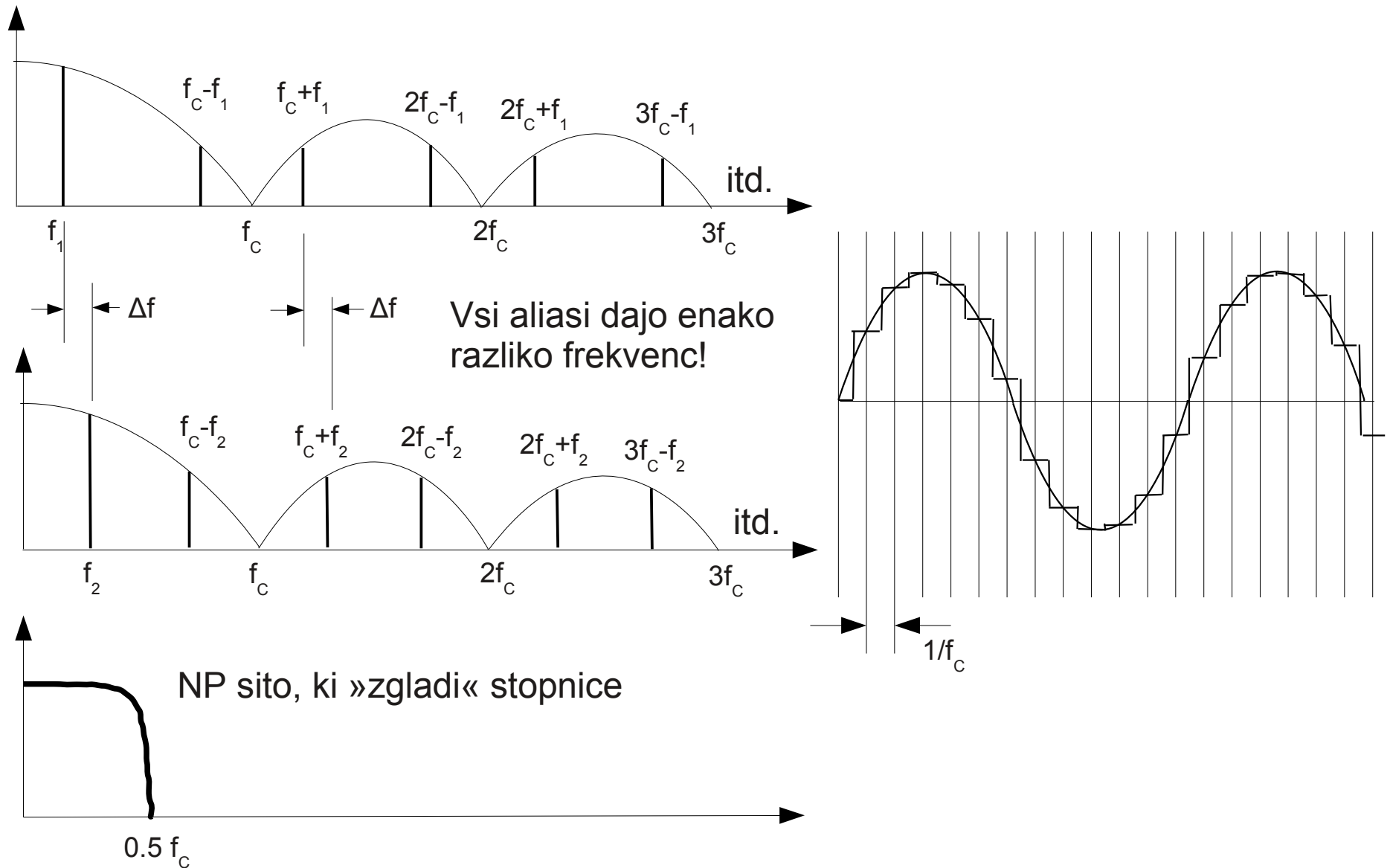
- zelo fin frekvenčni korak, lahko meri n. pr. kristalna sita
- veliko dinamično področje

Slabo:

- ker nima R vhoda, brez kalibracije sploh ne more meriti
- samo do 60MHz, ker zaradi enakih frekvenc ne more uporabiti aliasov
- počasna meritev, manj kot dve točki na sekundo
- precej komplicirano vezje, meritev zelo majhnih enosmernih napetosti

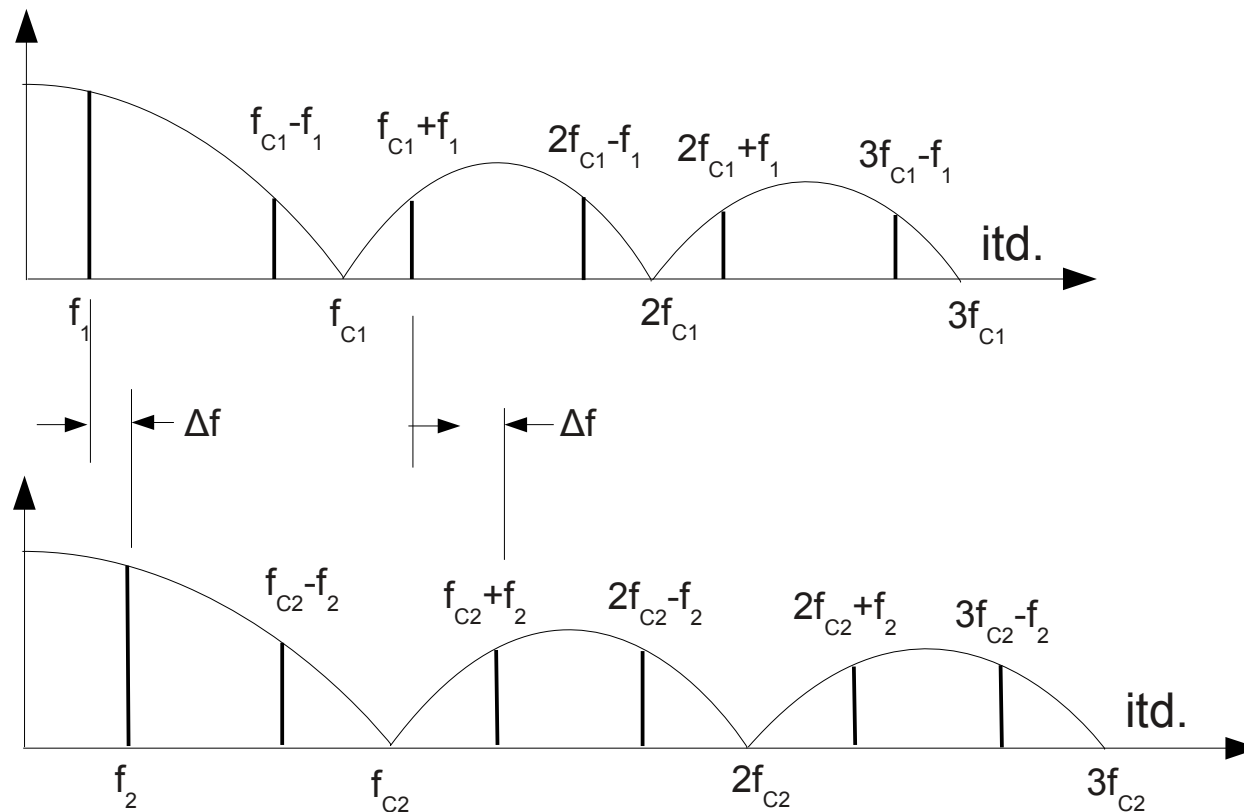
# Spekter DDS generatorja

Kako bi lahko koristno uporabili „nezazeljene“ frekvenčne komponente?



# Spekter DDS generatorja

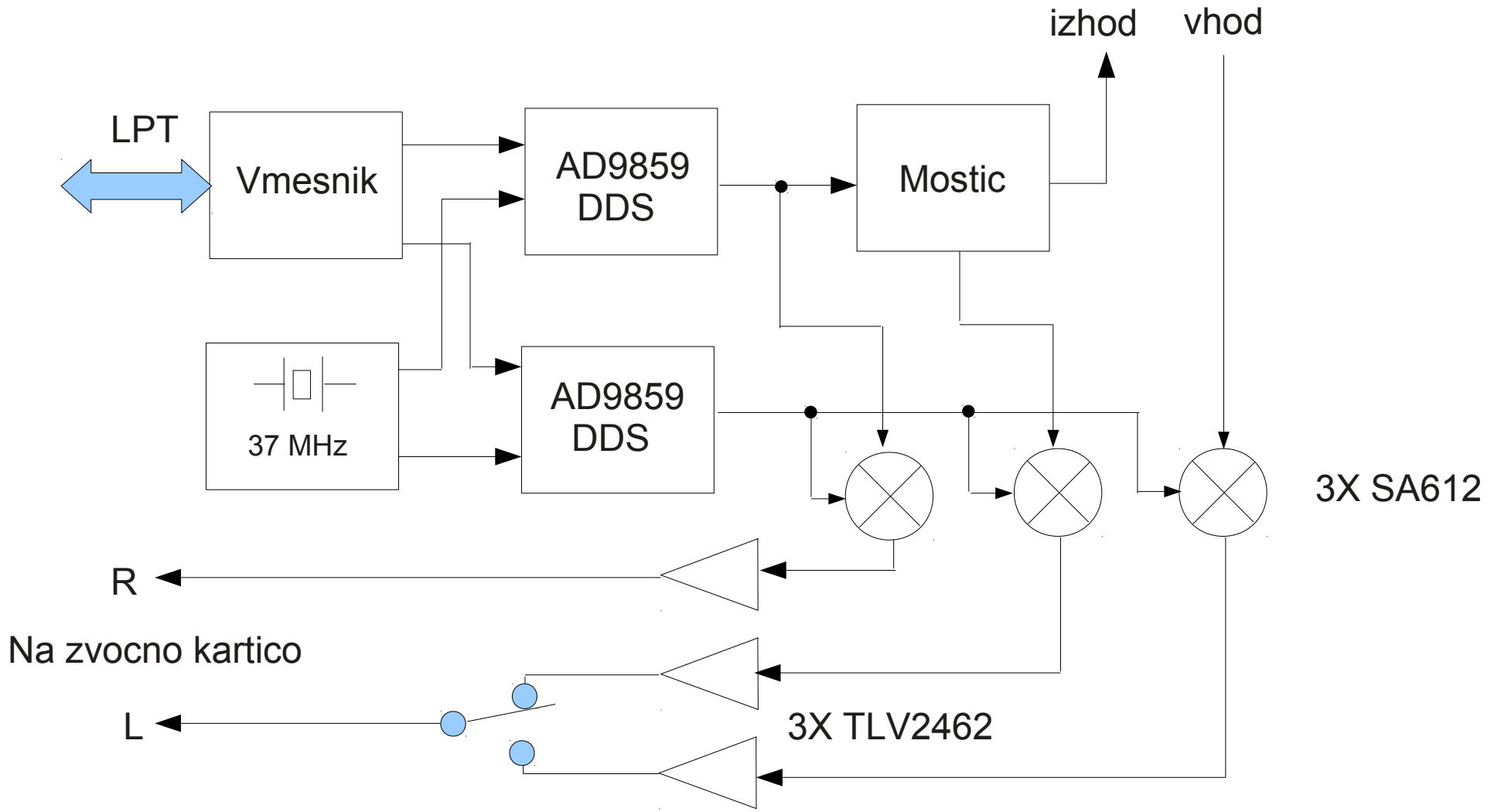
Kako bi lahko koristno uporabili „nezazeljene“ frekvenčne komponente?



Resitev: za DDSja uporabimo različni frekvenci ur!

Sodobni DDS cipi vsebujejo nastavljiv mnozilnik ure, tako da lahko dva cipa poganjamo iz istega kristala, in kljub temu nastavimo vsakemu drugacno uro.

# DG8SAQ VNWA



# DG8SAQ VNWA



# DG8SAQ VNWA

Uporablja zvocno kartico kot medfrekvencni vhod

Fazna in amplitudna detekcija programsko (DSP)

Uporablja aliase in overclocking za razsiritev frekvencnega podrocja

Dobro:

- Enostavno vezje
- Siroko frekvencno podrocje (1kHz do 1.3GHz)
- Zelo fin frekvencni korak
- Vgrajen mostic

Slabo:

- CLOSED SOURCE WINDOWS ONLY SW !!!
- na visjih frekvencah manjsi dinamicni obseg
- na merjencu je prisotnih vec frekvenc (nelinearnost...)

# Tezave pri uporabi PC racunalnika kot krmilnika analizatorja vezij

PC racunalnik je po eni strani zelo privalčen kot krmilnik analizatorja vezij: povsod je na voljo, ima veliko racunsko moc za procesiranje signala, in ima zelo luksuzne možnosti graficnega prikaza in GUI vmesnika. Vendar pa ima tudi dolocene slabosti.

Glavna tezava je sinhronizacija oddaje in sprejema. Za nastavljanje frekvence in branje vhoda moramo uporabiti neodvisne sistemske klice, tudi ce je oboje na istem vmesniku. Zaradi nakljucnih zakasnitev v operacijskem sistemu, ne moremo vedeti, koliko casa bo minilo od nastavljanja frekvence, pa do takrat, ko bo odziv prisel na vhod. Ce hocemo biti prepričani, da beremo odziv na frekvenco, ki smo jo nazadnje nastavili, moramo malo pocakati. To pa seveda upocasni meritev.

# Kam naprej?

ADF4351 sintezator vgrajenimi VCOji, ulomkovim delilnikom in verigo izhodnih delilnikov

- Frekvenčni obseg: 34MHz do 4.4GHz
- Modulo ulomka do 4095: korak na 2.2do 4.4 GHz bandu 5 kHz pri primerjalni frekvenci 20MHz, korak 60Hz na področju do 70MHz
- Nizek fazni sum (na spodnjih bandih primerljiv z DDS)