Radioamaterski tečaj

Jakob Kordež [S52KJ]

Kaj je radioamaterstvo?

- **Radio** – brezžična komunikacija – prenos informacij z radijskimi valovi
- **Amaterstvo** – nepoklicna, ljubiteljska dejavnost

Radioamaterstvo je ljubiteljsko, nepoklicno ukvarjanje z radijsko tehniko in komunikacijami.

Kdo se lahko ukvarja z radioamaterstvom?

- Posluša lahko vsak
- Oddaja lahko samo tisti, ki ima **radioamatersko dovoljenje** (licenco)
  - Pridobitev dovoljenja z opravljenim **izpitom**

Kaj počnemo radioamaterji?

- **Komuniciramo** z drugimi radioamaterji po svetu
- Gradimo in **eksperimentiramo** z radijsko opremo
- Sodelujemo v **tekmovanjih in dogodkih**
  - Tekmovanja v vzpostavljanju zvez
  - Lov na skrite oddajnike (ARG)
  - Potovanja in oddajanje iz oddaljenih lokacij (DXpedicije)
- Komunikacija preko **satelitov** (umetnih in naravnih)
- **Pomoč** v izrednih razmerah
- … in še mnogo več!

Začetki radioamaterstva

1844

- Samuel Morse pošlje prvo telegrafsko sporočilo preko žice

1876

- Alexander Graham Bell izumi telefon – prenos govora po žici

1895

- Guglielmo Marconi izvede prve poskuse brezžičnega telegrafa



Začetki radioamaterstva

ZAČETEK 20. STOLETJA

- Navdušenci začnejo eksperimentirati z brezžično komunikacijo
- Gradnja lastnih radijskih postaj in anten
- Prve medcelinske zveze na kratkih valovih
- Po prvi svetovni vojni nastajajo prva radioamaterska društva

1925

- Ustanovljena IARU (Mednarodna zveza radioamaterjev) – začetek organiziranega radioamaterstva



Osnovni pojmi

Frekvenca

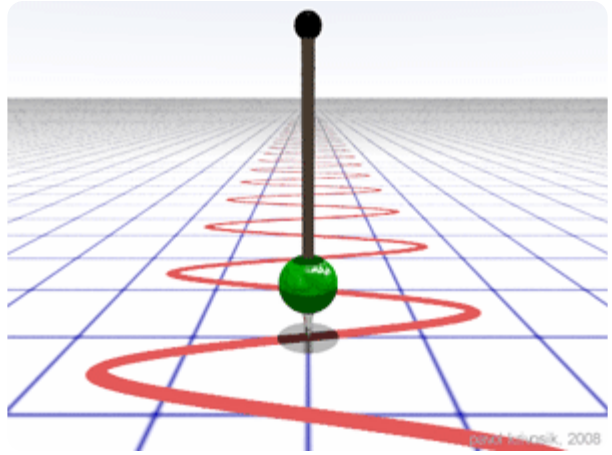
Število ponavljajočih se dogodkov v časovni enoti

Oznaka: f

Enota: Hz (*Hertz*)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{N}{t}$$

f – frekvenca (Hz)
T – perioda (s)
N – število dogodkov v času opazovanja
t – čas opazovanja (s)



Valovna dolžina

Razdalja, ki jo val prepotuje v času ene periode

Oznaka: λ (*lambda*)

Enota: m (*meter*)

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

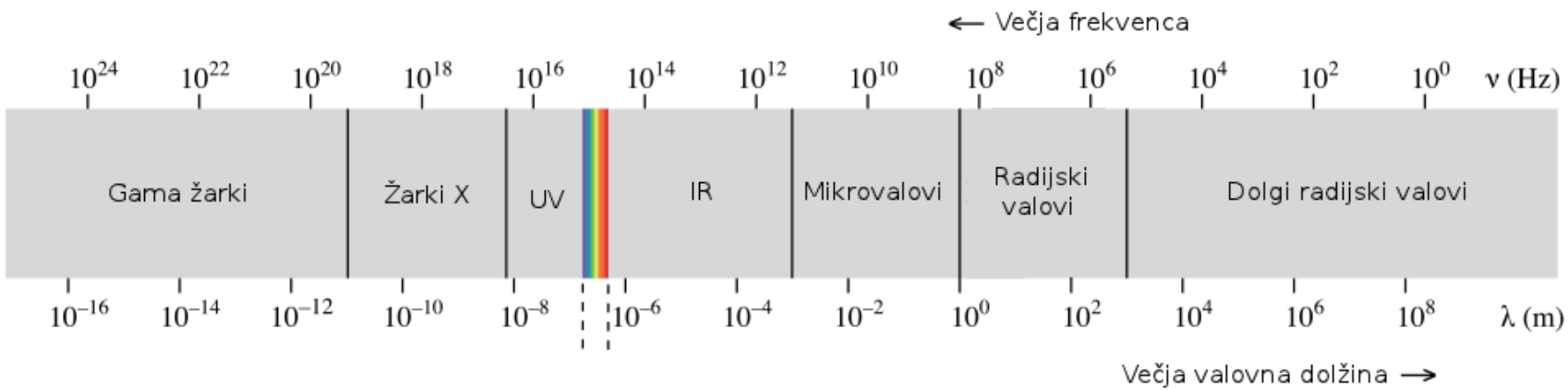
λ – valovna dolžina (m)
c – hitrost svetlobe ($\approx 3 \cdot 10^8\ \mathrm{m/s}$)
f – frekvenca (Hz)

Elektromagnetni spekter

Elektromagnetni valovi različnih frekvenc in valovnih dolžin

Radijski valovi

Elektromagnetni valovi, ki imajo frekvence nižje od 3 THz oziroma valovne dolžine daljše od 0.1 mm.



Telekomunikacije

Prenos, oddaja ali sprejem signalov, pisanih besedil, slik ali zvokov ali kakršnihkoli drugih sporočil **po žičnih, radijskih, optičnih** ali drugih elektromagnetnih sistemih.

Lahko so:

- Obojesmerne med udeleženci
- Enosmerne za več udeležencev (difuzija)

Radiokomunikacijska storitev

Storitev, ki vključuje **prenos, oddajo in/ali sprejem radijskih valov v posebne telekomunikacijske namene**

ITU RR jih definira več deset – za nas so pomembne:

- Radiodifuzna storitev in radiodifuzna satelitska storitev
- Zrakoplovna storitev in zrakoplovna satelitska storitev
- Pomorska storitev in pomorska satelitska storitev
- Kopenska storitev in kopenska satelitska storitev
- **Amaterska storitev in amaterska satelitska storitev**

Amaterska storitev

Radiokomunikacijska storitev (dejavnost), **s katero se ukvarjajo amaterji** – **ustrezno pooblaščene osebe**, ki se izključno iz osebnih pobud in brez pridobitniških namenov zanimajo za radiotehniko, in katere je namen samoizobraževanje, medsebojno komuniciranje in tehnične raziskave

Amaterska satelitska storitev

Radiokomunikacijska storitev (dejavnost), ki uporablja **vesoljske postaje na Zemljinih satelitih za iste namene kot amaterska storitev**

Radijska postaja

En ali več oddajnikov oziroma sprejemnikov s pripadajočimi napravami na enem mestu

- Sestavljajo samo oddajniki oz. samo sprejemniki
- Pripadajoče naprave so del postaje (antene, ...)
- Poznamo kombinacijsko postajo (transceiver)





Amaterska radijska postaja

Radijska postaja v radioamaterski dejavnosti, namenjena za medsebojno komuniciranje, samoizobraževanje, in tehnično raziskovanje, ki ga opravljajo radioamaterji izključno iz osebnih nagibov, brez materialnih koristi in imajo opravljen izpit.

CB postaje (Citizens Band) ne spadajo v radioamatersko dejavnost – zakone določa država.

ITU – International Telecommunication Union

Ukvarja se s tehničnim napredkom in razvojem telekomunikacij, mednarodnim sodelovanjem, ...

Deluje v okviru OZN (Združenih Narodov)
Sedež je v Ženevi, Švica

Ustanovljena 1865

Slovenija postala članica 1992

ITU pravilnik o radiokomunikacijah

Ureja celotno področje radijskih komunikacij:

- Vrste radiokomunikacijskih storitev
- Razporeditev radijskih frekvenc
- Definicije moči in anten
- Pravila za vzpostavljanje radijskih zvez
- Klicne znake radijskih postaj
- Dokumente za radijske postaje
- …

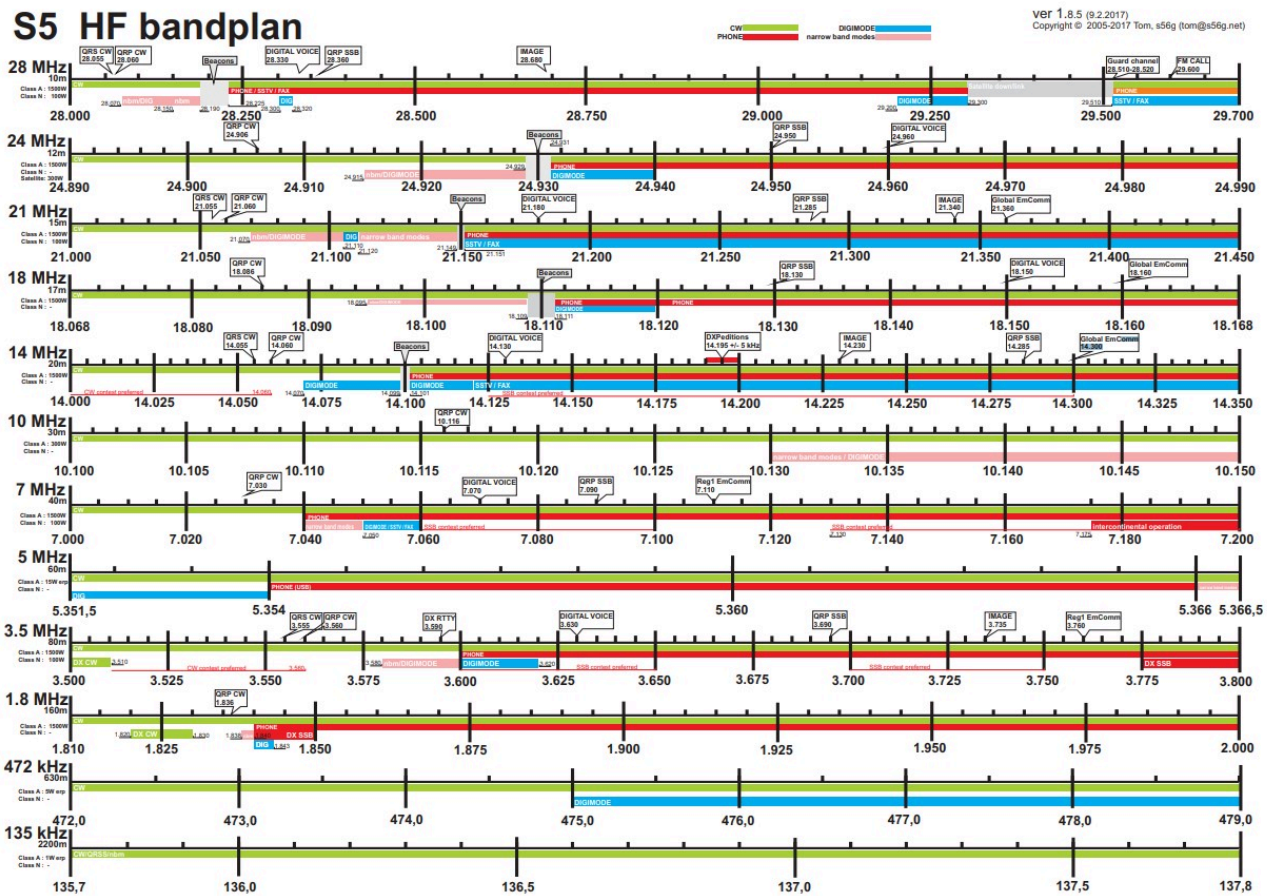


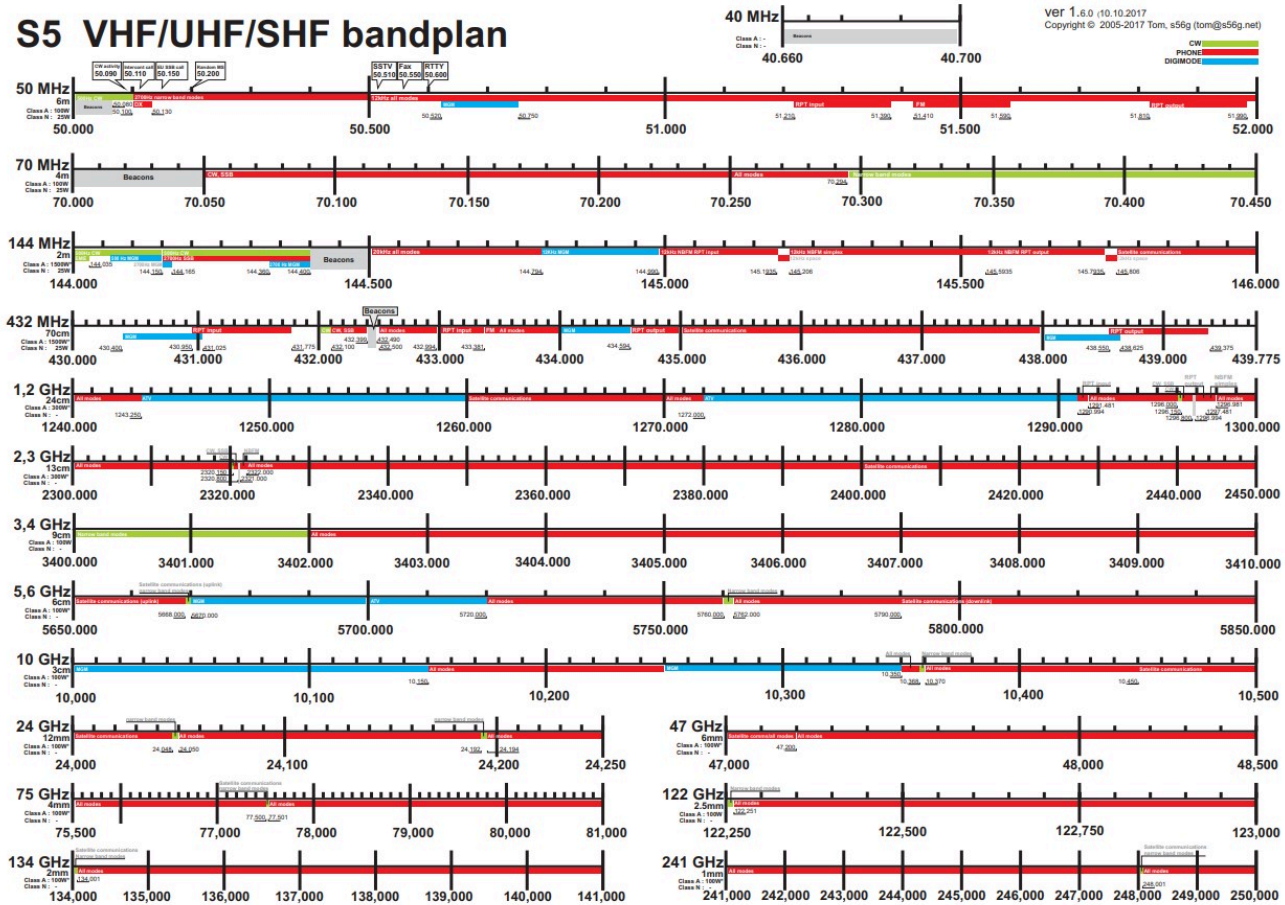
Mednarodna razdelitev radijskih frekvenc

Razdelitev (dodelitev) radijskih frekvenc posameznim storitvam **določa ITU** v Pravilniku o radiokomunikacijah (ITU RR), ločeno za vsako od treh regij.
IARU znotraj dodeljenih pasov pripravi **band plane** – priporočila, kje v pasu se uporablja katera vrsta oddaje (CW, SSB, digitalni načini, ...).

- IARU Region 1 Band plans
- Splošni akt - 4. člen (radiofrekvenčni pasovi in največje dovoljene moči)
- S5 Band Plans | S56G

...	160 m	80 m	40 m	30 m	20 m	17 m	15 m	12 m	10 m	6 m	4 m	2 m	70 cm	...
	1.8 MHz	3.5 MHz	7 MHz	10 MHz	14 MHz	18 MHz	21 MHz	24 MHz	28 MHz	50 MHz	70 MHz	144 MHz	430 MHz	


S5 HF bandplan
ver 1.8.5 (9.2.2017)
Copyright © 2005-2017 Tom, s56g (tom@s56g.net)
CW
PHONE
DIGIMODE
narrow band modes
28 MHz
10m
24 MHz
12m
21 MHz
15m
18 MHz
17m
14 MHz
20m
10 MHz
30m
7 MHz
40m
5 MHz
60m
3.5 MHz
80m
1.8 MHz
160m
472 kHz
630m
135 kHz
2200m
QRS CW 28.055
QRP CW 28.060
Beacons
DIGITAL VOICE 28.330
QRP SSB 28.360
IMAGE 28.680
Guard channel 28.510-28.520
FM CALL 29.600
QRP CW 24.906
QRP SSB 24.950
DIGITAL VOICE 24.960
QRS CW 21.055
QRP CW 21.060
DIGITAL VOICE 21.180
QRP SSB 21.285
IMAGE 21.340
Global EmComm 21.360
QRP CW 18.086
QRP SSB 18.130
DIGITAL VOICE 18.150
Global EmComm 18.160
QRS CW 14.055
QRP CW 14.060
DIGITAL VOICE 14.130
DXPeditions 14.195 +/- 5 kHz
IMAGE 14.230
QRP SSB 14.285
Global EmComm 14.300
QRP CW 10.116
QRP CW 7.030
DIGITAL VOICE 7.070
QRP SSB 7.090
Reg1 EmComm 7.110
PHONE (USB)
QRS CW 3.555
QRP CW 3.560
DX RTTY 3.590
DIGITAL VOICE 3.630
QRP SSB 3.690
IMAGE 3.735
Reg1 EmComm 3.760
QRP CW 1.836
DX CW
DX SSB
CW/QRSS/nbm
28.000
28.250
28.500
28.750
29.000
29.250
29.500
29.700
24.890
24.900
24.910
24.920
24.930
24.940
24.950
24.960
24.970
24.980
24.990
21.000
21.050
21.100
21.150
21.200
21.250
21.300
21.350
21.400
21.450
18.068
18.080
18.090
18.100
18.110
18.120
18.130
18.140
18.150
18.160
18.168
14.000
14.025
14.050
14.075
14.100
14.125
14.150
14.175
14.200
14.225
14.250
14.275
14.300
14.325
14.350
10.100
10.105
10.110
10.115
10.120
10.125
10.130
10.135
10.140
10.145
10.150
7.000
7.020
7.040
7.060
7.080
7.100
7.120
7.140
7.160
7.180
7.200
5.351,5
5.354
5.360
5.366
5.366,5
3.500
3.525
3.550
3.575
3.600
3.625
3.650
3.675
3.700
3.725
3.750
3.775
3.800
1.810
1.825
1.850
1.875
1.900
1.925
1.950
1.975
2.000
472,0
473,0
474,0
475,0
476,0
477,0
478,0
479,0
135,7
136,0
136,5
137,0
137,5
137,8


S5 VHF/UHF/SHF bandplan
ver 1.6.0 (10.10.2017
Copyright © 2005-2017 Tom, s56g (tom@s56g.net)
CW
PHONE
DIGIMODE
40 MHz
40.660
40.700
50 MHz
6m
50.000
50.500
51.000
51.500
52.000
70 MHz
4m
70.000
70.050
70.100
70.150
70.200
70.250
70.300
70.350
70.400
70.450
144 MHz
2m
144.000
144.500
145.000
145.500
146.000
432 MHz
70cm
430.000
431.000
432.000
433.000
434.000
435.000
436.000
437.000
438.000
439.000
439.775
1,2 GHz
24cm
1240.000
1250.000
1260.000
1270.000
1280.000
1290.000
1300.000
2,3 GHz
13cm
2300.000
2320.000
2340.000
2360.000
2380.000
2400.000
2420.000
2440.000
2450.000
3,4 GHz
9cm
3400.000
3401.000
3402.000
3403.000
3404.000
3405.000
3406.000
3407.000
3408.000
3409.000
3410.000
5,6 GHz
6cm
5650.000
5700.000
5750.000
5800.000
5850.000
10 GHz
3cm
10,000
10,100
10,200
10,300
10,400
10,500
24 GHz
12mm
24,000
24,100
24,200
24,250
47 GHz
6mm
47,000
48,000
48,500
75 GHz
4mm
75,500
77,000
78,000
79,000
80,000
81,000
122 GHz
2.5mm
122,250
122,500
122,750
123,000
134 GHz
2mm
134,000
135,000
136,000
137,000
138,000
139,000
140,000
141,000
241 GHz
1mm
241,000
242,000
243,000
244,000
245,000
246,000
247,000
248,000
249,000
250,000

Mednarodna zveza radioamaterjev – IARU

International Amateur Radio Union

1925 v Parizu – Amateur Radio Congress - **Ustanovitev IARU**

- Prvotno 26 držav – danes 164

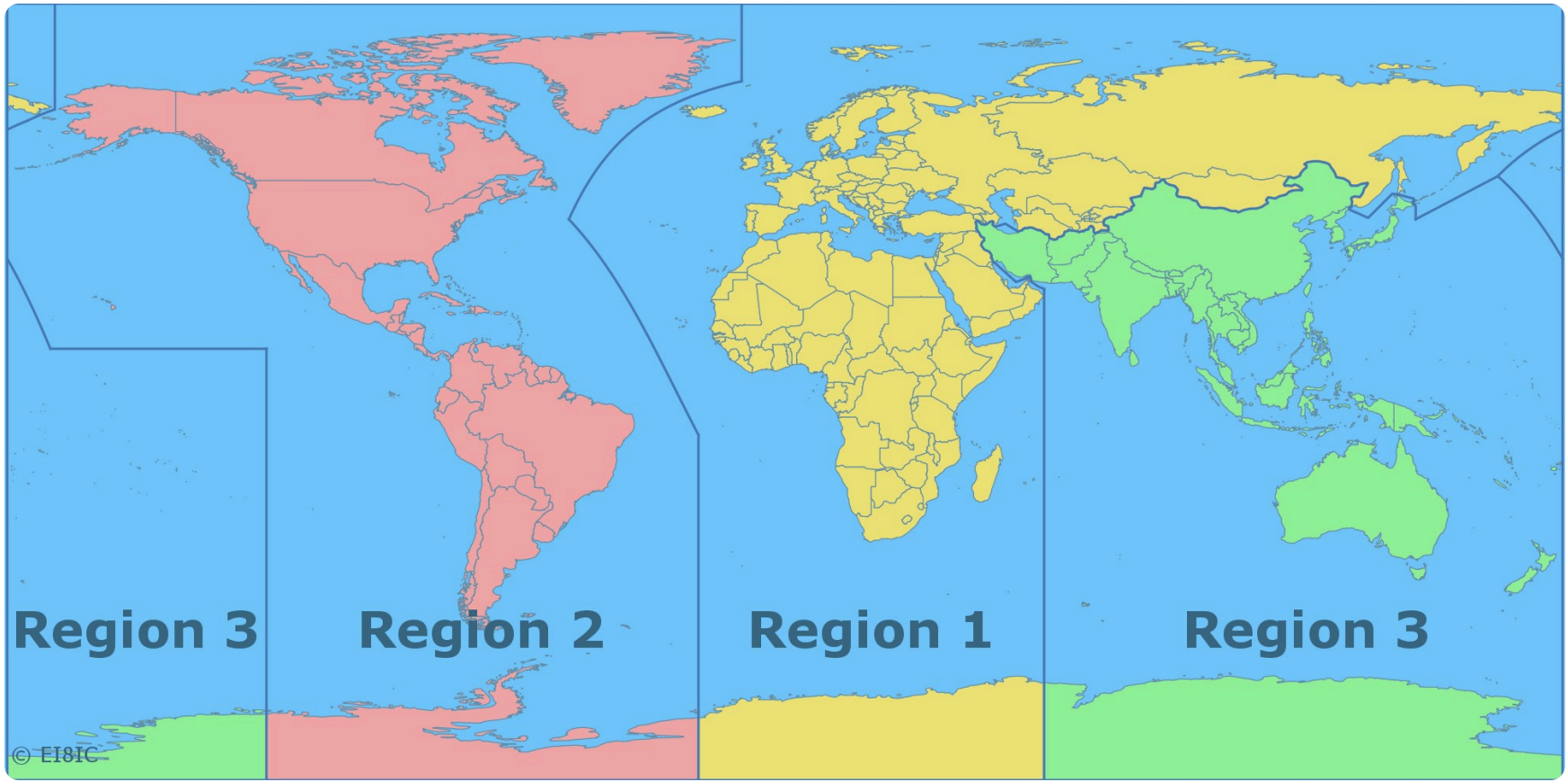
Naloge:

- Zastopanje interesov radioamaterjev na mednarodni stopnji
- Skrb za ohranjanje radioamaterskih frekvenc
- Koordinacija mednarodnih radioamaterskih dejavnosti
- Podora in skrb za razvoj radioamaterstva
- Promocija radioamaterstva kot storitve javnega interesa

Sedež v Združenih državah Amerike



Razdeljena na 3 regije



Zveza Radioamaterjev Slovenije – ZRS

Je prostovoljna, samostojna, nepridobitna zveza radioklubov.
V skladu z predpisi izvaja dejavnost javnega interesa.

Ustanovljena 1946
Na začetku kot del ZRJ (Zveze Radioamaterjev Jugoslavije)
Leta **1992 postane članica IARU**

V Sloveniji okoli 4000 radioamaterjev

- Približno 1000 včlanjenih v klube
- Približno 80 klubov

Naloge:

- Skrb za razvoj radioamaterstva v Sloveniji
- Vzgoja in izobraževanje članstva na področju elektrotehnike in telekomunikacij
- Zastopanje skupnih interesov radioamaterjev v Sloveniji
- Zastopanje Slovenije v mednarodni radioamaterski sceni
- Razvoj in vzdrževanje radioamaterskih sistemov
- Organizacija QSL biroja za radioklube in njihove člane

Predpisi za amaterske radijske komunikacije

Mednarodni predpisi

1. **Imeti moramo izpit** (z možnim preizkusom Morzejevih znakov)
2. Smejo se oddajati sporočila tehnične narave
3. **Maksimalne moči določajo državni organi**
4. Svoj **klicni znak** moramo ponavljati v kratkih presledkih (vsaj vsakih 10 minut)
5. Vzpostavljanje zvez s tujimi radioamaterji je dovoljeno
6. **Veljajo vsa splošna določila ITU RR** (razdelitev frekvenc, ...)

Slovenski predpisi

Delo radioamaterjev v Sloveniji je urejeno z zakoni in drugimi predpisi

- Zakon o elektronskih komunikacijah (ZEKom-2)
- Splošni akt o pogojih za uporabo radijskih frekvenc, namenjenih radioamaterski in radioamaterski satelitski storitvi

- **Predpisani frekvenčni pasovi** v skladu z opravljenim izpitom (A ali N)
- **Predpisane so vrste oddaj** v skladu z opravljenim izpitom (A ali N)
- **Predpisane so največje moči** oddaje v skladu z opravljenim izpitom (A ali N)
- Vse oddaje radioamaterskih postaj se morajo **identificirati s klicnim znakom**
  - na začetku in na koncu vsake oddaje ter **najmanj vsakih 5 minut** oddaje

Razreda radioamaterjev A in N

Izpit se opravlja za enega od dveh razredov (12. člen), razred določa pasove, moči in vrste oddaj (4. člen)

	Razred A	Razred N
Zahtevnost izpita	zahtevna znanja (CEPT T/R 61-02, HAREC)	manj zahtevna znanja (CEPT ERC Report 32, "Novice")
Frekvenčni pasovi	vsi radioamaterski pasovi	80 m, 40 m, 15 m, 10 m, 6 m, 4 m, 2 m, 70 cm
Največja moč	do 1500 W (na nekaterih pasovih manj, npr. 30 m: 300 W)	KV: 100 W UKV: 25 W
Satelitski pasovi	da	ne
Delo v tujini	CEPT dovoljenje (T/R 61-01)	CEPT Novice dovoljenje (ECC/REC(05)06)

Sprejem in oddaja Morsejevih znakov je **izbirni predmet** (neodvisno od razreda)

Klicni znaki

Oznaka, sestavljena iz črk in/ali številk, s katero se radijska postaja identificira. Oblika klicnega znaka je predpisana v ITU RR.

S5 9VEG

S5	– **Prefiks** – "Država"
9VEG	– **Sufiks** – Postaja znotraj "države"

Prefiksi

S5	Slovenija
9A	Hrvaška
I	Italija
OE	Avstrija
HA	Madžarska
F	Francija
DA-DR	Nemčija
EA	Španija
G, GM, GW …	Združeno kraljestvo

Pripone

Dodaja se na konec klicnega znaka

/M	**mobilna** (mobile) postaja (v vozilu)
/MM	**pomorska** mobilna (maritime mobile) postaja (čoln)
/AM	**zrakoplovna** mobilna (aeronautical mobile) postaja
/P	**prenosna** (portable) postaja

Primer: S59VEG/**MM** → Postaja S59VEG oddaja s čolna (MM)

Razpoznavanje klicnih znakov

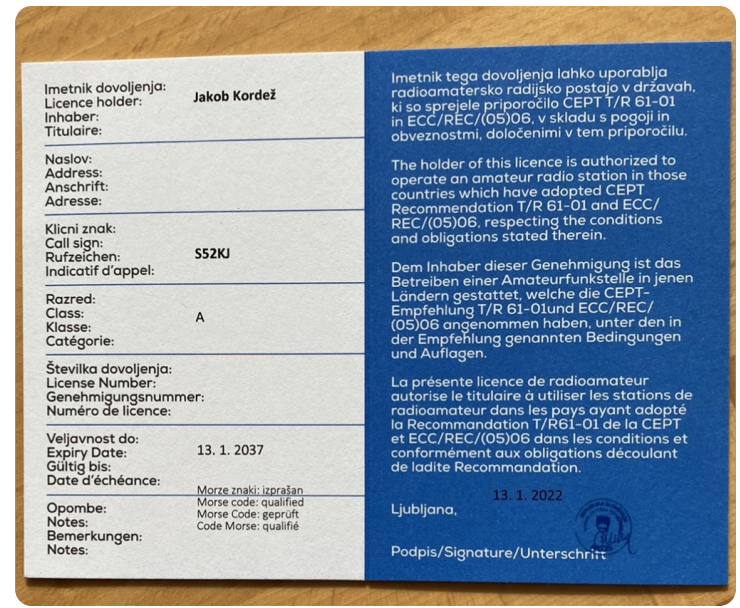
CEPT licenca

CEPT radioamatersko dovoljenje – dovoljenje, s katerim lahko radioamater upravlja radioamatersko dejavnost v državi, ki ima uveljavljena CEPT priporočila.

Pri nas ga izda AKOS (Agencija za komunikacijska omrežja in storitve RS)

Slovenija je postala članica CEPT-a 1993, prvo dovoljenje pa izdala 1998





Priporočili CEPT T/R 61-01 in T/R 61-02

CEPT T/R 61-01 – omogoča **začasno uporabo** prenosne oz. mobilne **amaterske radijske postaje v katerikoli državi**, ki je to priporočilo uveljavila. Velja za **največ 3 mesece**.

Primer: **9A**/S59VEG → Slovenska postaja (S5) je na obisku na Hrvaškem (9A)

CEPT T/R 61-02 – označuje se tudi kot HAREC, obravnava usklajene izpite za radioamaterje. Namenjen je radioamaterjem, ki želijo ostati v tuji državi več kot 3 mesece.

ECC/REC(05)06 – **CEPT Novice** dovoljenje, enakovredno T/R 61-01 za radioamaterje **razreda N** (velja le v državah, ki so priporočilo uveljavile)

Operaterstvo

Načini vzpostavljanja zvez

- Telegrafija (CW)
- Telefonija (Phone)
- Digitalni načini (DIGI / MGM)
  - RTTY
  - PSK31
  - WSJT-X (FT8, FT4, ...)
  - Packet radio
  - APRS
  - FAX
  - SSTV
  - ...

Telegrafija

- Uporaba tipkala (telegraphy key)
- Uporablja se Morsejeva abeceda
- Uporabljajo se kratice
- Hitrosti oddajanja med 25 - 200 znakov (5 - 40 besed) na minuto





Morse code – Morsejeva abeceda

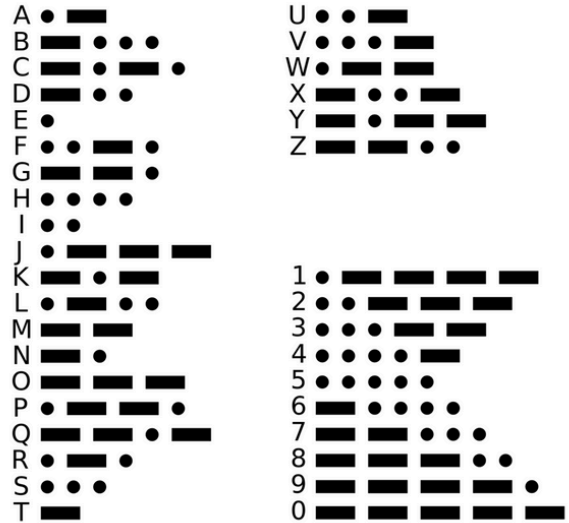
Samuel Morse 1791-1872

1835 objavil žični elektromagnetni telegraf in sistem pretvorbe besedila – Morsejevo abecedo

Kasneje sprejet mednarodni morse kod, ki se danes uporablja v telegrafiji

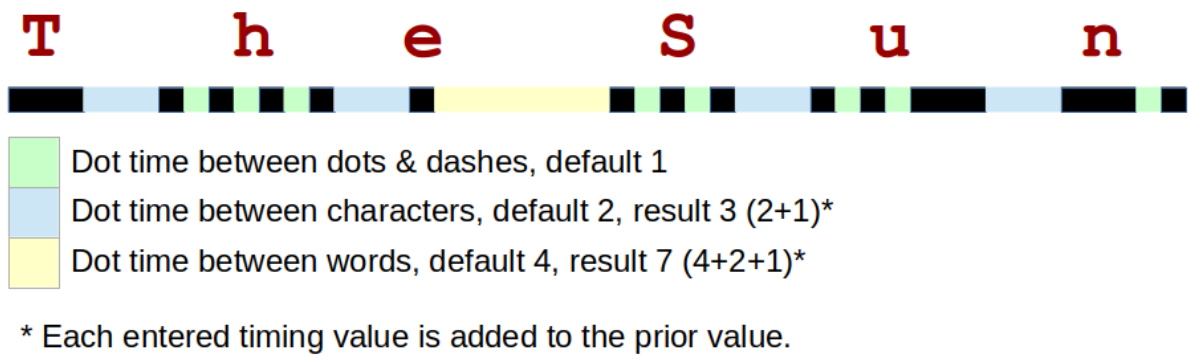
Prva javna zveza leta 1844 (Washington – Baltimore)

Po iznajdbi radia govorimo o **radiotelegrafiji**



Dolžina posameznih elementov je točno določena (1 enota označena z e):

- Kratek impulz *"dit"* (•) – 1e
- Dolg impulz *"dah"* (▬) – 3e
- Premor med impulzi v znaku – 1e
- Premor med znaki v besedi – 3e
- Premor med besedami – 7e



Kratice

Če je kratica nadčrtana, jo pošljemo kot en znak (brez presledkov med črkami).

$\overline{KA}$	začetek zveze
$\overline{VA}$ ali $\overline{SK}$	konec zveze
$\overline{VA}$ CL	konec zveze in izključi postajo
$\overline{AR}$ ali +	konec sporočila
$\overline{AR}$ K	konec sporočila in pripravljen na sprejem
$\overline{AR}$ $\overline{KN}$	konec sporočila in pripravljen na sprejem samo klicane postaje

Vse kratice so v priročniku

CQ	splošni poziv vsem postajam
CFM	potrjujem
GD	Good day (dober dan)
CS	klicni znak
DR	Dear (dragi, draga)
DE	od (uporablja pred klicnim znakom postaje, ki kliče)
PSE	prosim
NW	zdaj (now)
DX	Oddaljen; daleč stran
TFC	promet (traffic)
OM	old man (star prijatelj)
TU	hvala
R	sprejeto (roger)

Q-kod

- **Začnejo se s Q** in **Dolge 3 znake**
- Uporabljajo jih tudi druge radiokomunikacijske storitve

Lahko se uporablja v obliki vprašanja in odgovora:

QRV?	Ali si pripravljen?
QRV	Pripravljen sem.
QRL?	Ali imaš zvezo? / Je frekvenca zasedena?
QRL	Imam zvezo (ne moti)
QRU?	Imaš kaj zame?
QRU	Nimam nič zate.

Kodam lahko dodajamo tudi argumente:

QRG 21125	Tvoja točna frekvenca je 21125 kHz
QRB 10	Razdalja med postajama je 10 km
QRW S50XXX 21125	Obvesti S50XXX, da ga kličem na frekvenci 21125 kHz

Vse Q–kode v priročniku

Q-koda	Vprašanje	Odgovor
QRK	Kakšna je razumljivost mojega signala?	Razumljivost tvojega signala je ... (1-5).
QRM	Ali te motijo druge postaje?	Motijo me druge postaje.
QRN	Te moti statika?	Moti me statika.
QRO	Naj povečam oddajno moč?	Povečaj oddajno moč.
QRP	Naj zmanjšam oddajno moč?	Zmanjšaj oddajno moč.
QRS	Naj oddajam počasneje?	Oddajaj počasneje.
QRT	Naj preneham z oddajanjem?	Prenehaj z oddajanjem.
QRZ	Kdo me kliče?	Kliče te ...
QRV	Si pripravljen?	Pripravljen sem.
QSB	Ali moj signal niha?	Tvoj signal niha.
QSL	Lahko potrdiš sprejem?	Potrjujem sprejem.
QSO	Ali lahko komuniciraš z ... direktno?	Z ... lahko komuniciram direktno.
QSY	Ali naj se premaknem z oddajanjem na drugo frekvenco?	Pomakni se z oddajanjem na drugo frekvenco.
QRX	Kdaj me boš ponovno poklical?	Ponovno te bom poklical ob ... uri na ... kHz (MHz).
QTH	Kje je tvoja lokacija?	Moja lokacija je ...

Telefonija (Phone)

- Uporaba govora
- Zveze, vzpostavljene v govornem jeziku, ki ga poznata oba sogovornika
- Za slabše povezave uporabljamo tablice črkovanja
- V zvezah se kratice in Q-kod praviloma ne uporablja, vendar to ne pomeni da se ne bodo.





Mednarodna in slovenska tablica črkovanja

A	Alfa	N	November
B	Bravo	O	Oscar
C	Charlie	P	Papa
D	Delta	Q	Quebec
E	Echo	R	Romeo
F	Foxtrot	S	Sierra
G	Golf	T	Tango
H	Hotel	U	Uniform
I	India	V	Victor
J	Juliett	W	Whiskey
K	Kilo	X	X-ray
L	Lima	Y	Yankee
M	Mike	Z	Zulu

A	Ankaran	O	Ormož
B	Bled	P	Piran
C	Celje	R	Ravne
Č	Čatež	S	Soča
D	Drava	Š	Šmarje
E	Evropa	T	Triglav
F	Fala	U	Unec
G	Gorica	V	Velenje
H	Hrastnik	Z	Zalog
I	Izola	Ž	Žalec
J	Jadran	Q	Queen
K	Kamnik	W	Dvojni V
L	Ljubljana	X	Iks
M	Maribor	Y	Ipsilon
N	Nanos		

/	Stroke, slash, skozi (uporabljajo tudi "portable")
,	Decimal
.	Stop

RST sistem

Sporočanje kvalitete zveze

Tri zaporedne številke:

R	S	T
Razumljivost Readability	Jakost Strength	Ton Tone
1-5	1-9	1-9

V telefoniji se uporabljata **samo RS**.

Sistem se uporablja kot povratna informacija pošiljatelju.
Rečemo mu tudi raport (report).

Na modernih postajah pa je vgrajen tudi S-meter.



Primer:

RST je **558**
Razumljivost je odlična (**5**/5)
Moč signala je srednja (**5**/9)
Ton je skoraj popoln (**8**/9)

Čitljivost / razumljivost (R)

R1	Nečitljivo / nerazumljivo
R2	Komaj čitljivo
R3	Težko čitljivo
R4	Brez večjih težav
R5	Odlično čitljivo

Moč / jakost (S)

S1	Komaj zaznano
S2	Zelo šibko
S3	Šibko
S4	Še kar zadovoljivo
S5	Že kar dobro
S6	Dobro
S7	Zmerno močno
S8	Močno
S9	Izredno močno

Ton (T)

T1	Izredno grob / hreščeč / brneč
T2	Zelo grob
T3	Grob
T4	Precej grob
T5	Precej brneč
T6	Brneč
T7	Komaj brneč
T8	Dober / skoraj čist
T9	Odličen / čist

Radioamaterska morala in kodeksi

HAM spirit – pravila (radioamaterski bonton) lepega vedenja radioamaterjev

Komuniciranje preko radijskih postaj ne glede na:

- Nacionalnost
- Socialni status
- Raso
- Poklic
- Vero
- Starost
- Politično pripadnost
- Spol

Če kdo to krši, ga opozoriš.

Vsebina zveze

Vsaka radijska zveza je sestavljena iz več relacij.
Relacija je del zveze, ki jo odda eden od operaterjev.

Relacije

1. Klicanje
2. Vzpostavitev zveze
3. Izmenjava ostalih podatkov
4. Zaključek zveze

Klicanje

Poziv k zvezi (s splošnim klicem **CQ**)

Primer klica v telegrafiji/telefoniji:

```
CQ CQ CQ DE S59VEG S59VEG K
CQ CQ CQ this is S59VEG S59VEG over
CQ CQ CQ tukaj S59VEG S59VEG poslušam
```

Primer odgovora na poziv:

```
K1ZZ K1ZZ DE S59VEG S59VEG S59VEG AR K
```

Če smo klicali na frekvenci namenjeni za klicanje, se po vzpostavljeni zvezi navadi premaknemo na drugo frekvenco.

Klicanje kontinenta / države

Kontinenti: EU, NA, SA, AS, AF, OC
Države kličemo po prefiksu: S5, 9A, DL, F, ...

```
CQ CQ EU EU DE S59VEG S59VEG K
CQ CQ 9A 9A DE S59VEG S59VEG K
CQ CQ DX DX DE S59VEG S59VEG K
```

Klicanje oddaljene države (DX)

DX pomeni oddaljena država

Za Slovenijo:

- KV – vse izven Evrope
- UKV – razdalja se niža odvisno od frekvenčnega pasu (pri 144 MHz med 400 in 500 km)

Klicanje na tekmovanjih

TEST (− • ••• −) je kratica za contest.

```
CQ TEST S56V S56V K
```

Ali še hitreje:

```
S56V S56V TEST
```

V telefoniji:

```
S56V S56V contest
```

Odgovorimo tako, da **enkrat na hitro oddamo svoj klicni znak**.

Vzpostavitev zveze

Ko sprejmemo odziv, začnemo z uvodno relacijo.

Deli relacije:

1. Tuj klicni znak, DE, svoj klicni znak
2. Zahvala za klic
3. RST ocena
4. Povemo svoje ime, lahko tudi lokacijo (QTH)
5. Zaključimo relacijo

Posamezne dele ločimo z = oziroma -···- ali -·····-

S59XXX DE S59VEG = HLO ES TNX FER CALL = UR RST IS 599 599 = MY NAME IS JANEZ = $\overline{\text{AR}}$ S59XXX DE S59VEG $\overline{\text{KN}}$
S59VEG DE S59XXX = HLO ES UR WELCOME = UR RST IS 599 599 = MY NAME IS FRANCI = $\overline{\text{AR}}$ S59VEG DE S59XXX $\overline{\text{KN}}$

Izmenjava ostalih podatkov

Deli relacije:

1. Tuj klicni znak, DE, svoj klicni znak
2. Podatki, ki jih želimo izmenjati
3. Zaključimo relacijo

```
S59XXX DE S59VEG = PSE HW? = AR S59XXX DE S59VEG KN
```

Zaključek zveze

Deli zaključne relacije:

1. Tuj klicni znak, DE, svoj klicni znak
2. Odslovilno besedilo
3. Zaključimo relacijo

> S59XXX DE S59VEG = DR FRANCI TNX FER NICE QSO ES HPE CU AGN = ~~AR~~ S59XXX DE S59VEG ~~SK~~

Primer zveze

CQ CQ CQ DE S59VEG S59VEG CQ K
S59VEG DE S50HQ K
S50HQ S59VEG GD OM UR RST 599 599 QSL? K
S59VEG S50HQ QSL TU FER 599 UR 589 589 K
S50HQ S59VEG TU UR WX? K
…

CQ CQ CQ tukaj S59VEG S59VEG CQ, poslušam
S59VEG tukaj S50HQ
S50HQ S59VEG dober dan stari prijatelj, tvoj raport je 59 59, si sprejel?
S59VEG S50HQ sprejeto, hvala za 59, tvoj raport je 58 58
S50HQ S59VEG hvala, kakšno vreme imate?
…

Nekaj nasvetov za dobro delo

- Pred oddajanjem poslušajte frekvenco, oddate QRL? (Je frekvenca v uporabi?) in čakate odgovor
  - Velikokrat se lahko zgodi da enega sogovornika ne slišimo
- Držite se pravil in vrstnega reda radijske zveze
- Spoštujte radioamaterski bonton

Preberi: **Etika in operaterski postopki**

Časovne cone in UTC

Coordinated Universal Time ali GMT (Greenwich Mean Time)

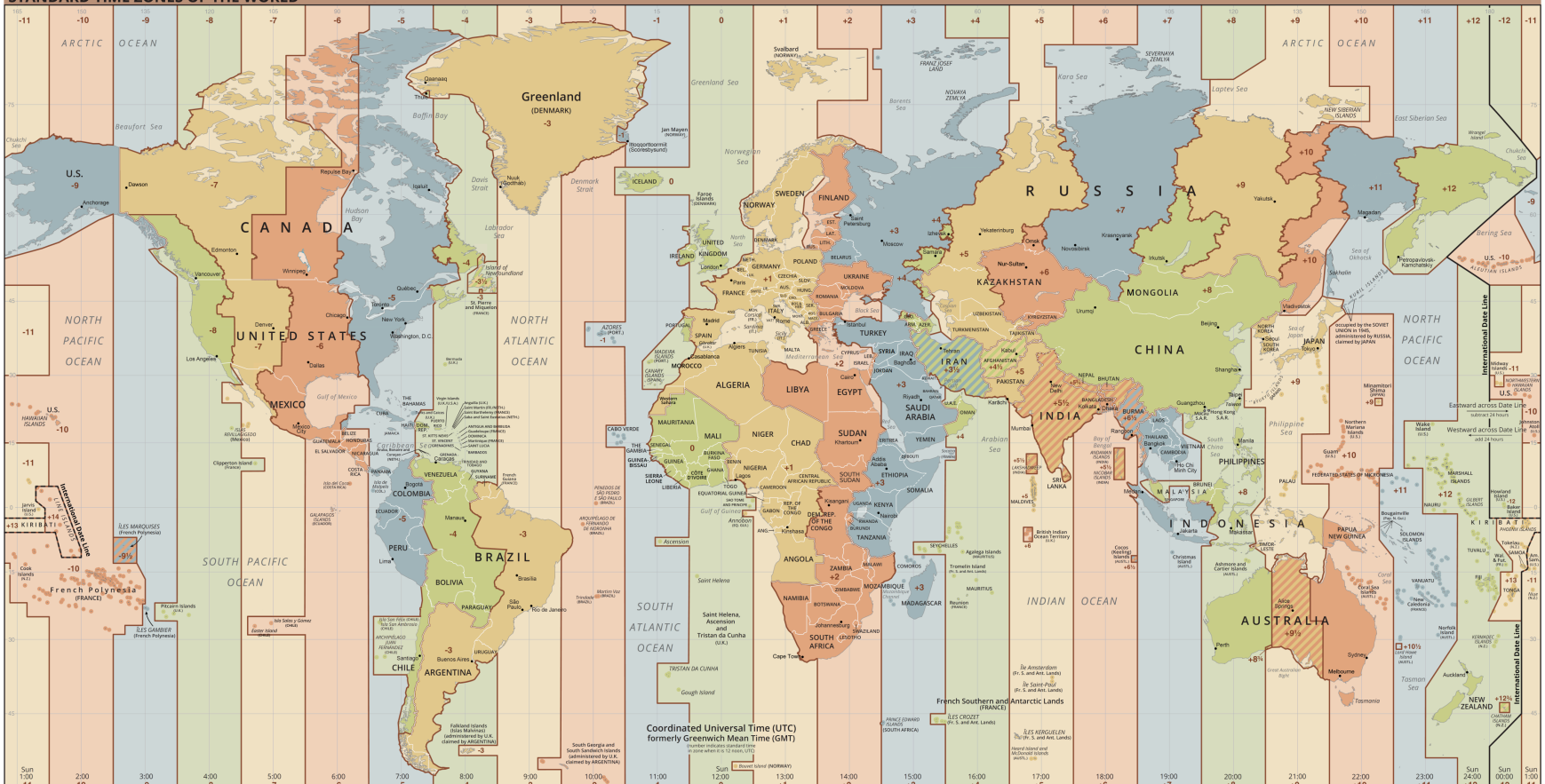
Imamo 24 časovnih pasov, mi se nahajamo v **CET (Central European Time)** ali MEZ

V zimskem času +1h, v poletnem +2h

Pozimi:
MEZ: 15:00 = UTC: 14:00

Poleti:
MEZ: 15:00 = UTC: 13:00

STANDARD TIME ZONES OF THE WORLD



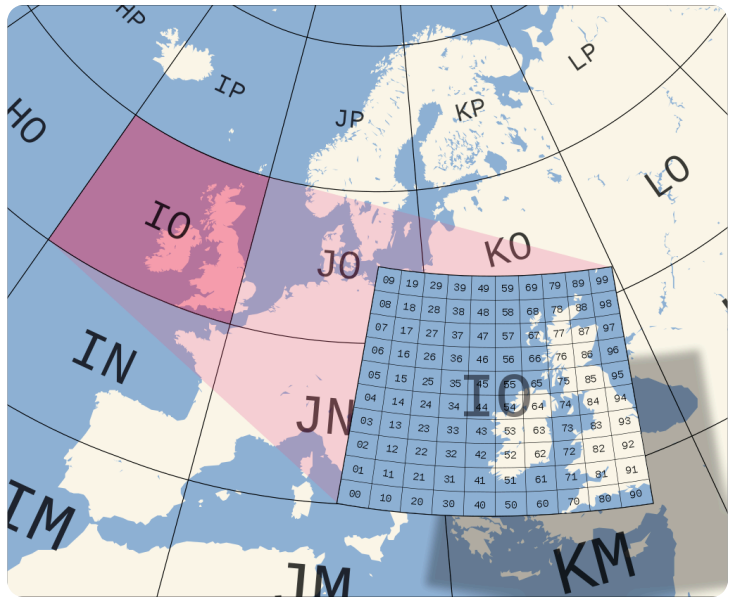
Univerzalni lokator (UL)

4 ali 6 znakovna lokacija (lahko tudi več)

1	2	3	4	5	6
Velika polja		Polja		Mala polja	
AA - RR		00 - 99		AA - XX	
20° D	10° Š	2° D	1° Š	5' D	2,5' Š

Vegova: **JN76GB**

Zemljevid UL lokatorjev



Dnevnik dela radijske postaje (LOG)

Seznam zvez in podatkov o njih

Obvezni podatki

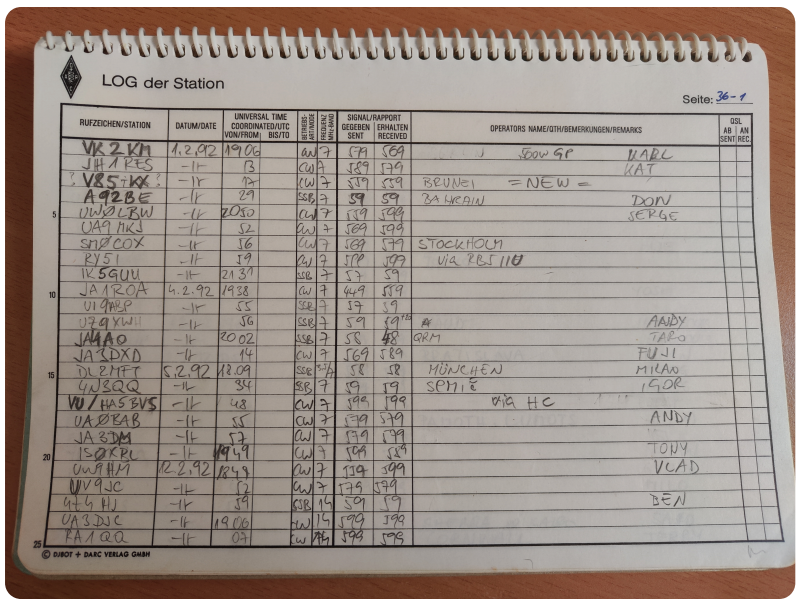
- Dan, mesec, leto
- Čas začetka zveze, pri daljših zvezah tudi konec oddajanja
- Klicni znak postaje
- Naziv frekvenčnega pasu (band)
- Vrsta oddaje (CW, SSB, FM, ...)
- Podpis radioamaterja (za klubske postaje)

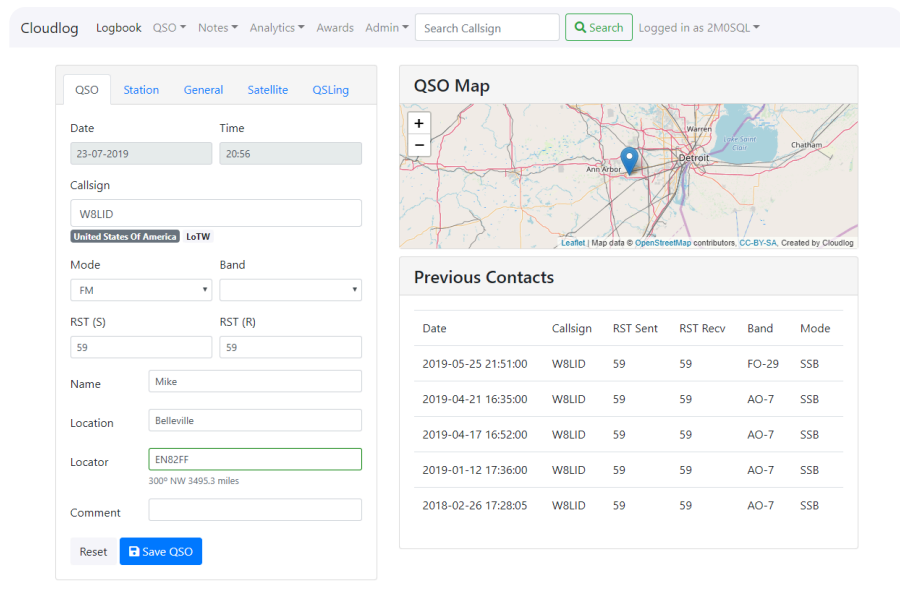
Zapis časa: **4 številke (0000 - 2359) po univerzalnem času (UTC)**

Hrani najmanj 3 leta po zadnjem vpisu

Drugi podatki ki jih vpisujemo:

- Kakovost signala (RST oz. RS)
- Lokacija postaje (UL)
- Izmenjava kartic





QSL kartica

Potrjevanje zvez

Velikost: **9x14 cm**

Običajno se pošiljajo preko **QSL biroja** – storitev za pošiljanje QSL kartic

Pred oddajo, kartice **sortiramo po državah** (DXCC entitetah)

Obvezni podatki:

- Naš klicni znak in naslov
- Klicni znak druge postaje
- Podatki o zvezi (datum, čas, način oddaje, frek. območje, poslan RST)

Danes je popularno digitalno potrjevanje zvez: LoTW, eQSL, ClubLog, QRZ.com, …



Druge informacije, primerne za na QSL kartico:

- Podatki o opremi
- UL lokatorji
- Slike domačega kraja
- Slike opreme
- Slika znamenitosti
- ...



S52KJ

JN76he • CQz 15 • ITUz 28

Jakob Kordež
Polhov gradec 125
1355 Polhov Gradec
Slovenia

CONFIRMING **2-WAY** QSO

TO RADIO **S57WX** VIA

DATE	UTC	MHZ	MODE	RST
2024-07-20	16:12	7.103	SSB	59
2024-07-20	17:14	7.029	CW	599

☐ PSE QSL ☐ TNX QSL

TRX: .....

ANT: .....

https://jkob.cc/hamradio

73 de .....


OH73ELK
Finland
WAZ: 15
ITU: 18
Loc.: KP42NG
QTH: Savonlinna
OH73ELK
your ham holiday rental QTH

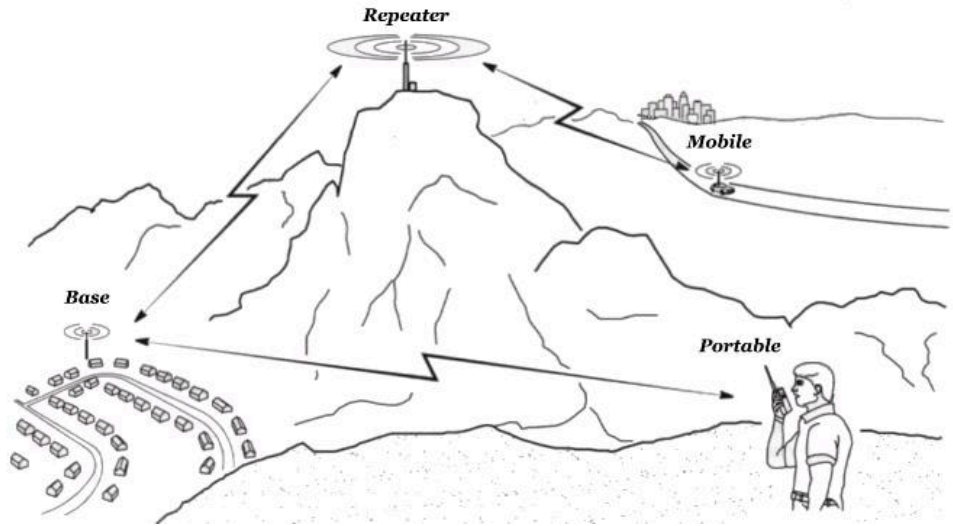

Czech DXpedition
5X3K
Republic of UGANDA
FOR GOD AND MY COUNTRY
www.cdxp.cz

Repetitorske komunikacije

Repetitor (repeater) je simpleksna ali dupleksna radijska postaja.

"Vse kar sliši, ponovi"

Uporabljamo jih, da povečamo domet mobilnih in prenosnih radijskih postaj.



Simpleks repetitor

Uporablja samo eno frekvenco.

Sporočilo snema, ko uporabnik konča z oddajo pa ga ponovno predvaja.

Prednosti:

- stroškovno cenejši
- bolj enostaven

Slabost:

- Časovni zamik

Dupleks repetitor

Uporablja 2 frekvenci, z določenimi zamiki

Kar sprejme na sprejemni frekvenci, odda na oddajni frekvenci.

Sprejemnik in oddajnik morata biti dobro filtrirana.

Repetitorski krmilnik krmili oddajnik glede na sprejemnik.

Oddajnik mora biti dobro hlajen, ker veliko časa oddaja.

Digitalni repetitorji

- DMR (Digital Mobile Radio)
- D-STAR
- Yaesu system Fusion

Premik (shift) in odpiranje repetitorja

Premik (shift, offset): razlika med oddajno in sprejemno frekvenco repetitorja.
Uporabnik oddaja na vhodni, posluša na izhodni frekvenci.

Pas	Premik (IARU R1)	Primer
2 m	**−600 kHz**	izhod 145,700 MHz → vhod 145,100 MHz
70 cm	**−7,6 MHz**	izhod 438,900 MHz → vhod 431,300 MHz

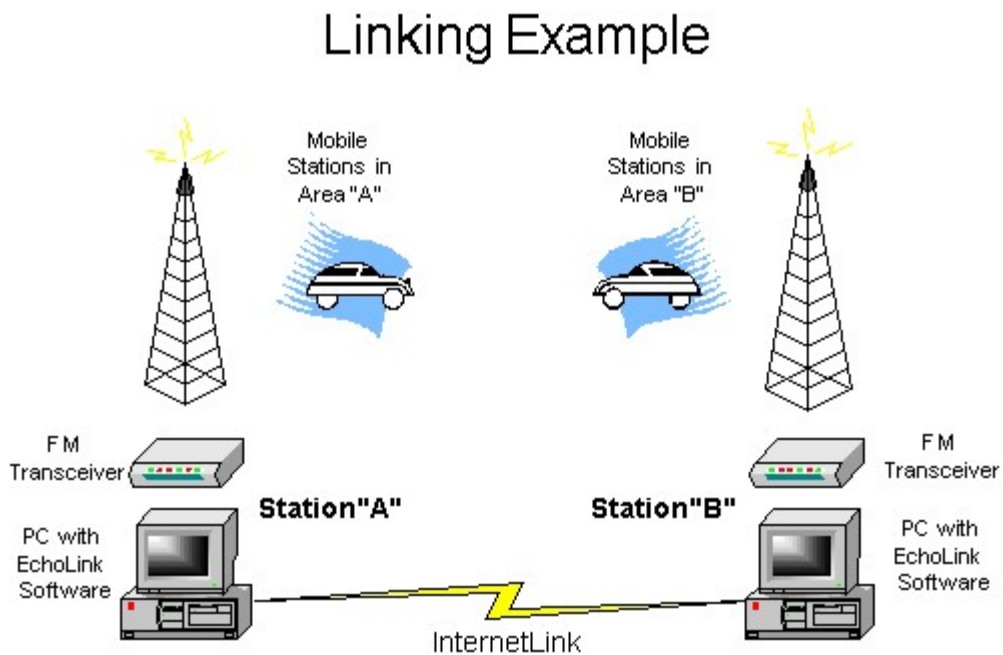
Odpiranje repetitorja (dostop):

- **CTCSS** (subton): nizkofrekvenčni ton (67 – 250 Hz), ki ga postaja oddaja skupaj z govorom, repetitor oddaja le, če sliši pravi ton
- **1750 Hz ton** (tone burst): kratek ton ob začetku oddaje (starejši način)
- **DCS**, DTMF, …

Seznam: Repetitorji ZRS

Echolink

Povezovanje repetitorjev čez internet



Radijski svetilniki

Propagation beacon

Naprava, ki na znani lokaciji oddaja karakteristične signale.

Oddajajo 24 ur na dan.

Namenjeni so za preverjanje delovanja opreme in preverjanje propagacije.

Oddajajo tudi lokator, nadmorsko višino, moč in vrsto antene.

Načini: CW, FSK, RTTY in PSK

Amaterske digitalne komunikacije

MGM – **Machine Generated Modes**

Zajema vse sedanje in bodoče vrste digitalnih komunikacij.

Na frekvenčnem pasu je že določen pas namenjen MGM-ih

Razni digitalni načini:

- SSTV – slow scan television – mirujoče slike
- FSTV / ATV – fast scan tv / amateur tv – gibljive slike
- **FT8** / FT4
- RTTY
- PSK31, PSK63, ...
- Packet radio
- ...

RTTY

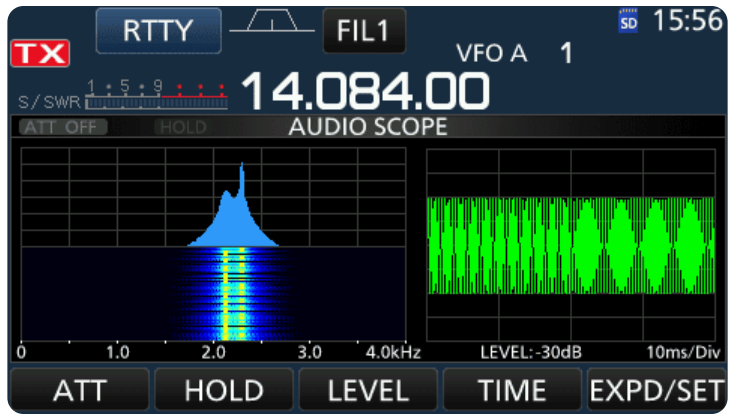
Teleprinter + radijska postaja = **Radijski teleprinter**

Logične 1 in 0 se prenašajo po ločenih frekvencah

- FSK (Frequency Shift Keying)
- Frekvenci se razlikujeta za 170, 200, 425 ali 850 Hz

Besedilo kodiramo v zaporedje bitov. Kodni tabeli:

- **BAUDOT** (5 bitni kod → 32 znakov)
- **ASCII** (7 bitni + 1 paritetni → 128 znakov)



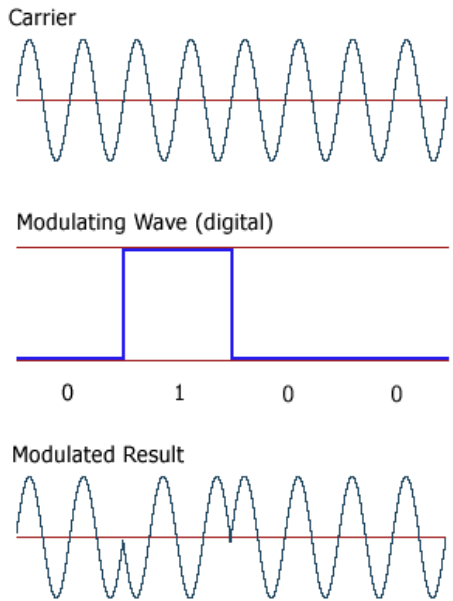
PSK31

Phase Shift Keying

31 Baud (simbolov na sekundo)

Dolžina znakov je različna (Varicode)

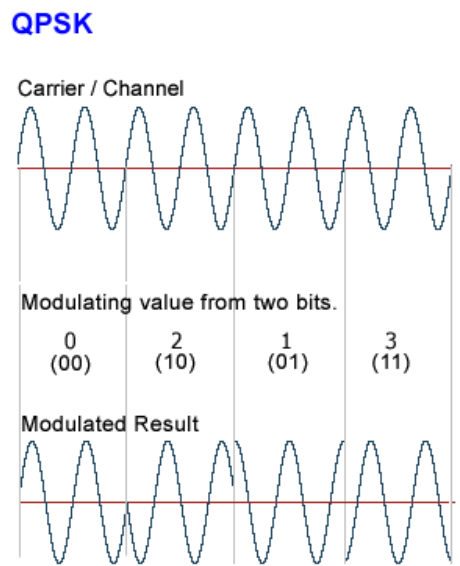
BPSK – binarni PSK – dve fazi (0° in 180°)



QPSK

Quadrature Phase Shift Keying

Štiri faze (0°, 90°, 180° in 270°)

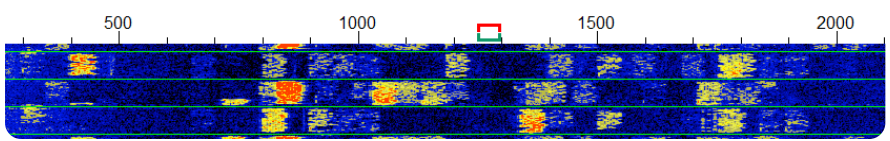


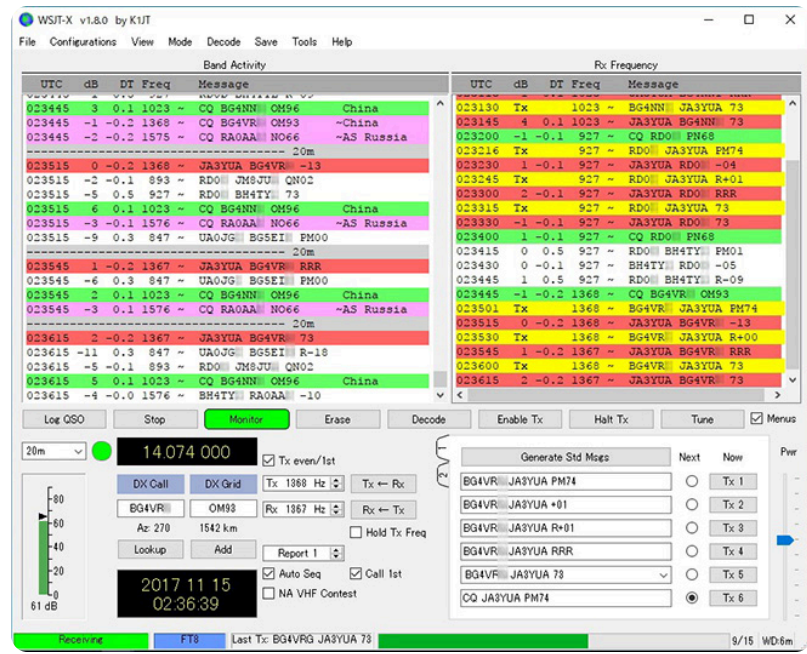
WSJT-X

Weak-signal radio communication

Program za "šibkosignalne" radioamaterske zveze

- **FT8** / FT4
- MSK144 / FSK441 (odboj od meteorskih sledi)
- JT4 / JT9 / JT65
- WSPR
- ...





Packet radio

Povezovanje računalnikov med seboj za hitrejšo izmenjavo informacij

MODEM – MOdulator DEModulator (pretvorba digitalnih signalov v analogne in obratno)

Radioamatersko omrežje, ki deluje po **protokolu AX.25**

CSMA (Carrier-sense Multiple Access) – postaja **pred oddajo posluša**, ali je kanal prost, in tako **zmanjša število trkov** med paketi

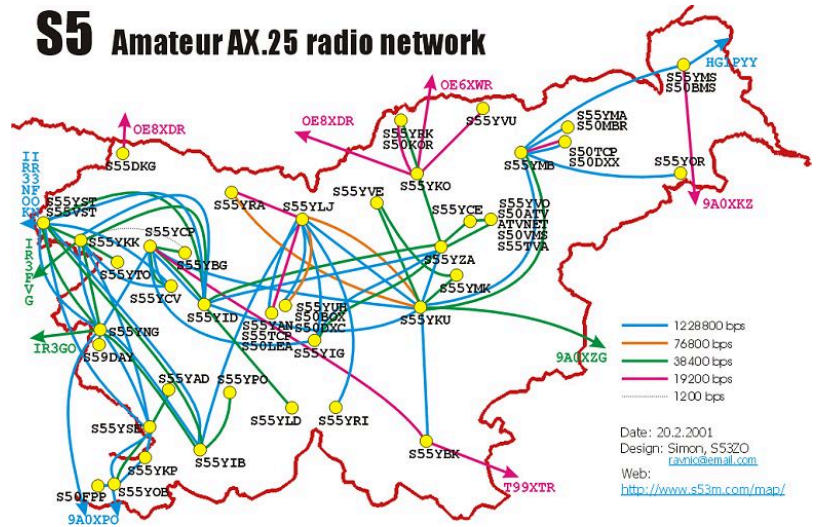


Omrežje pokriva praktično cel svet, zato je potrebna neka infrastruktura.

Paketno vozlišče – računalnik, ki je preko radijskih postaj povezan z drugimi vozlišči, ta pa usmerja podatke med omrežji.

Storitve:

- Dostop do podatkovnih baz (Keplerjeve elemente, …)
- **BBS (Bulletin Board System)**
- Pošiljanje elektronske pošte
- Vzpostavljanje zvez
- Prehod med različnimi omrežji
- …



APRS

Automatic Packet Reporting System
Včasih: Automatic Position Reporting System
Uporablja AX.25 protokol

EU frekvenca: 144,800 / 432,500 MHz

Osnovne funkcije:

- Izris geografske lokacije
- Telemetrija
- Javljanje meteoroloških podatkov
- Izmenjava sporočil med udeleženci v omrežju
- ...

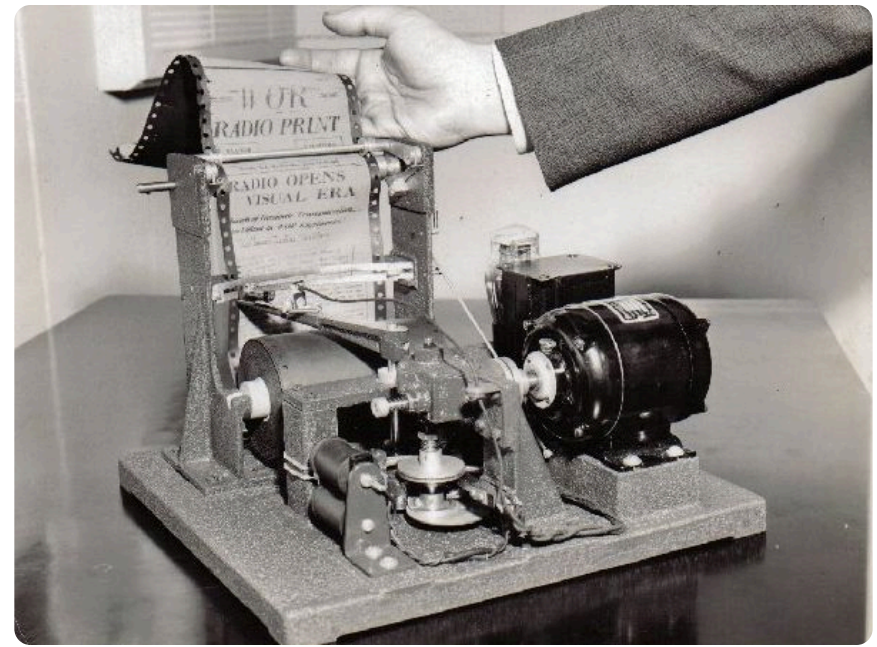


FAX

Faksimile

Prenos mirujočih **črno-belih ali barvnih** pisanih **sporočil in slik** v višjih ločljivostih

Značilno to, da pri sprejemu nastaja slika običajno direktno na toplotno občutljivem papirju



SSTV

Prenos barvnih ali črno-belih **mirujočih slik** na daljavo





FSTV (ATV)

FSTV – Fast Scan Television

ATV – Amateur Television

Prenos barvnih ali črno-belih **gibljivih slik** na daljavo





Balloon at 80,000 feet WB8ELK
Camera looking thru hole in foam box

Odboj od meteorskih sledi (MS)

Meteor-scatter

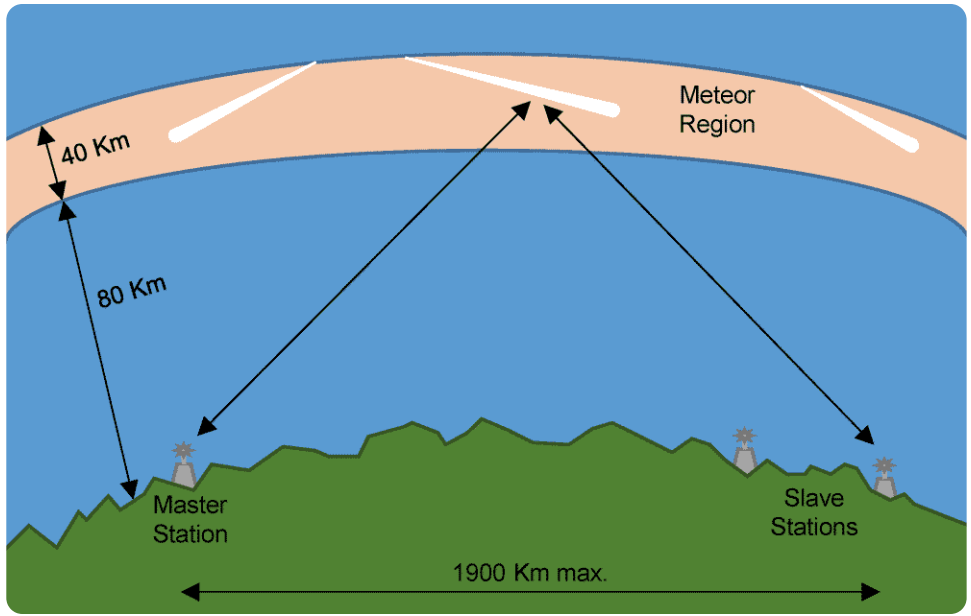
ZELO hitre zveze v telegrafiji (par milisekund, posnamemo in predvajamo počasneje)

- High Speed CW

V primeru boljših in daljših (par sekund) sledi, lahko tudi v foniji

Danes večinoma samo digitalno

- MSK144 in FSK441

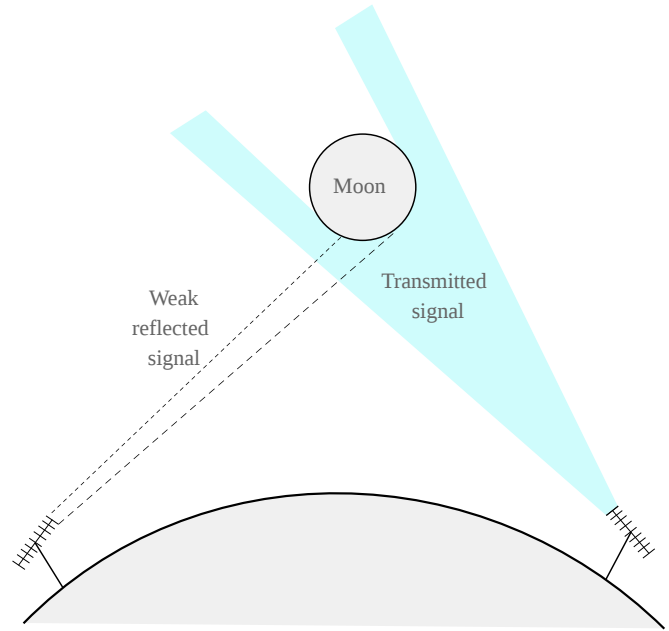


Odboj od Lune (EME)

Earth-Moon-Earth

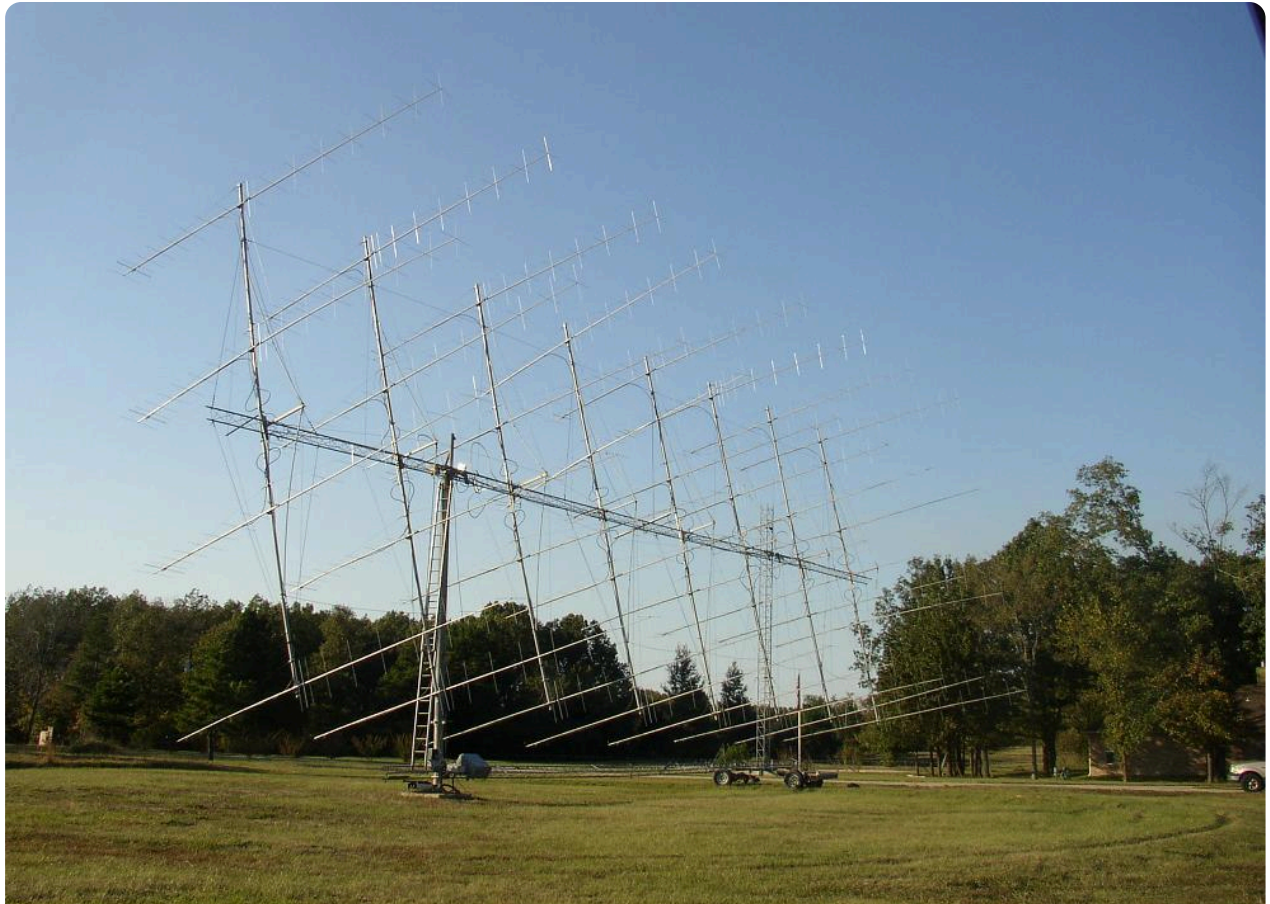
- Zelo velike moči (500–1500W)
- Usmerjene antene
- Občutljiv sprejemnik

Čas do Lune in nazaj: 2,5 s
Lahko slišimo svojo oddajo



S57Q, 2m & 70cm EME antene





W5UN EME Array with 32 2M5WL horizontal antennas, and 32 front mounted ten element vertical antennas

Satelitske komunikacije

1961 prvi satelit OSCAR
(Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio)

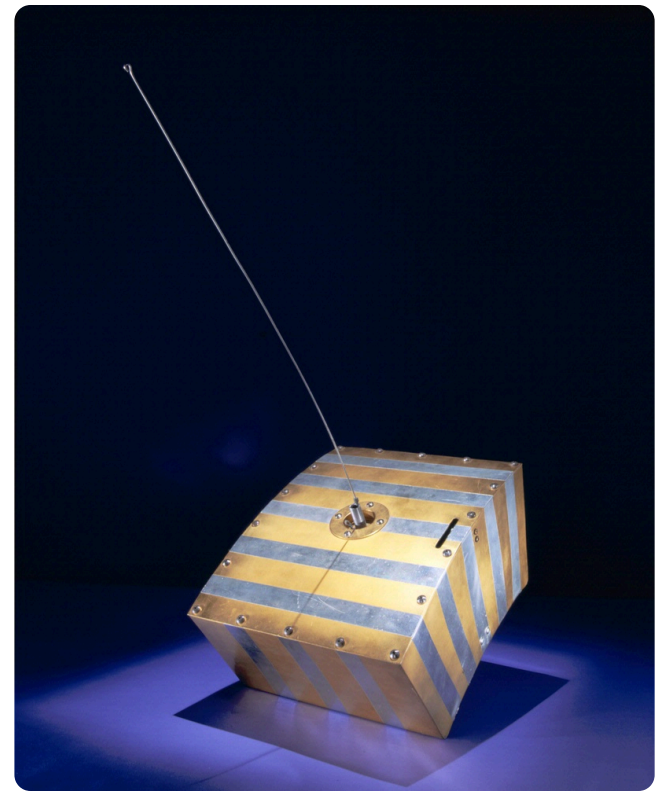
OSCAR III prvi telekomunikacijski

Danes je nekaj 100 HAM satelitov

Zveze so kratke

Frekvenca se spreminja (Dopplerjev pojav)

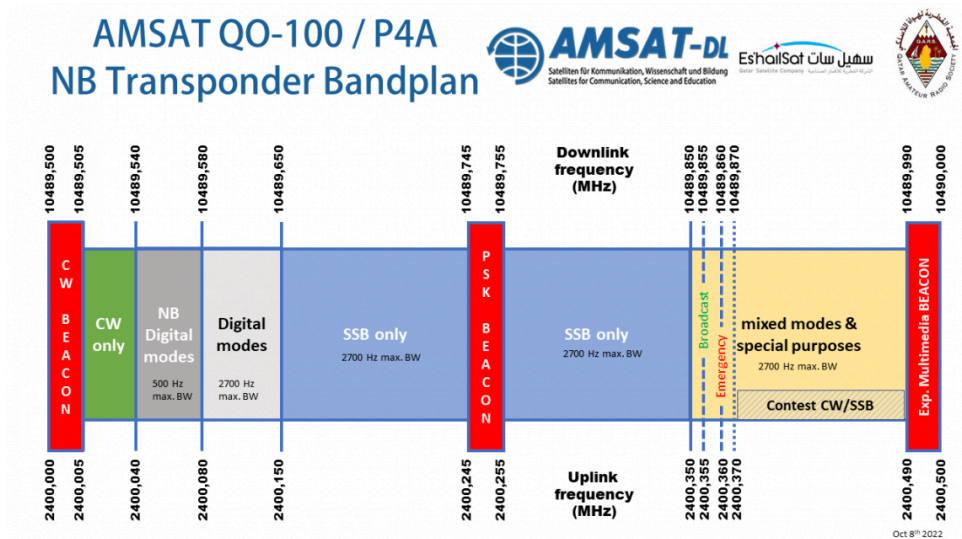
Sledenje satelitom - N2YO

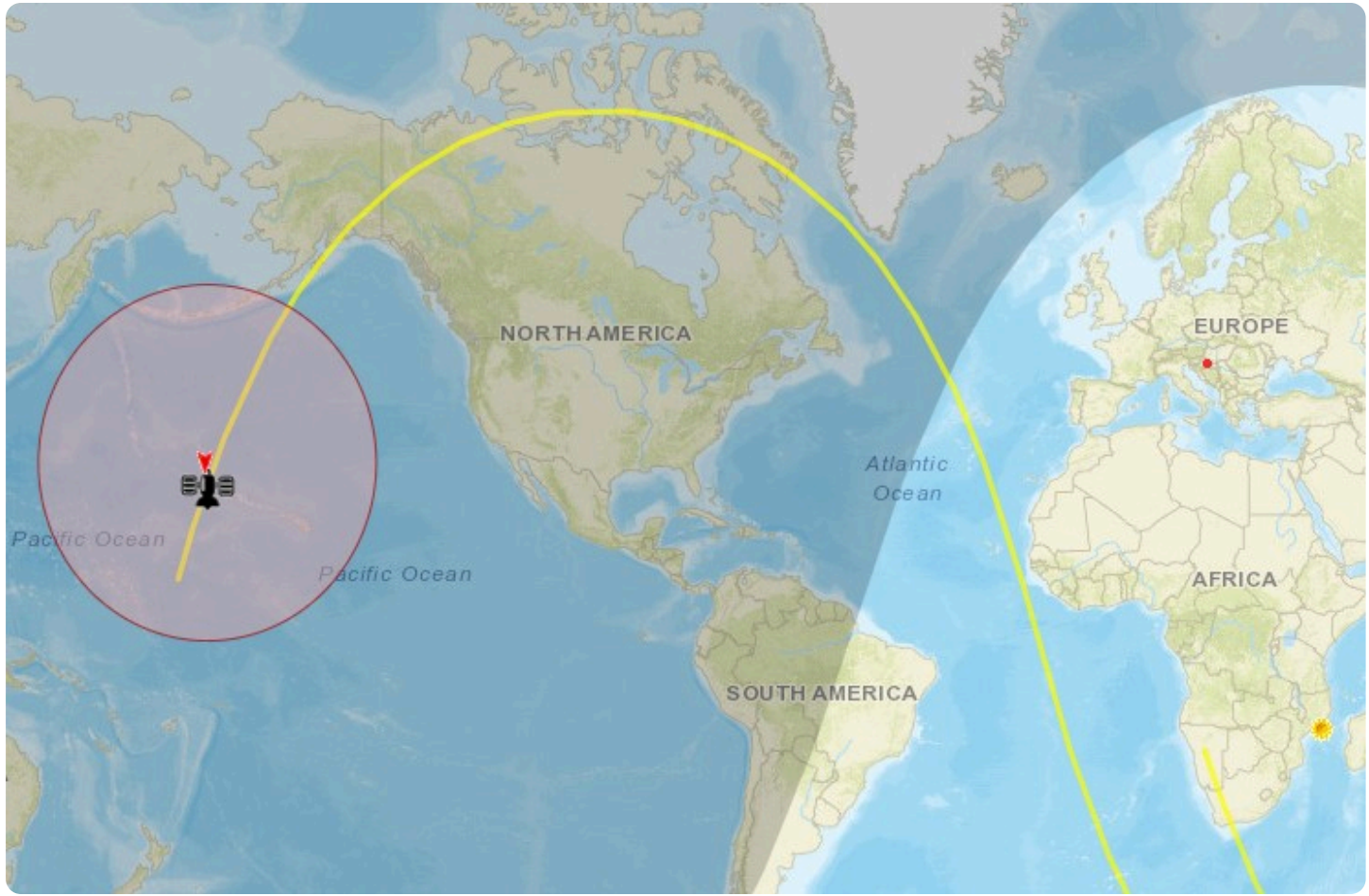


Vsak satelit vsebuje svetilnik (CW beacon)

Uplink: Frekvenca na kateri satelit posluša
Downlink: Frekvenca na kateri oddaja

Mod	Uplink	Downlink
A	2 m	10 m
B	70 cm	2m
J	2 m	70 cm



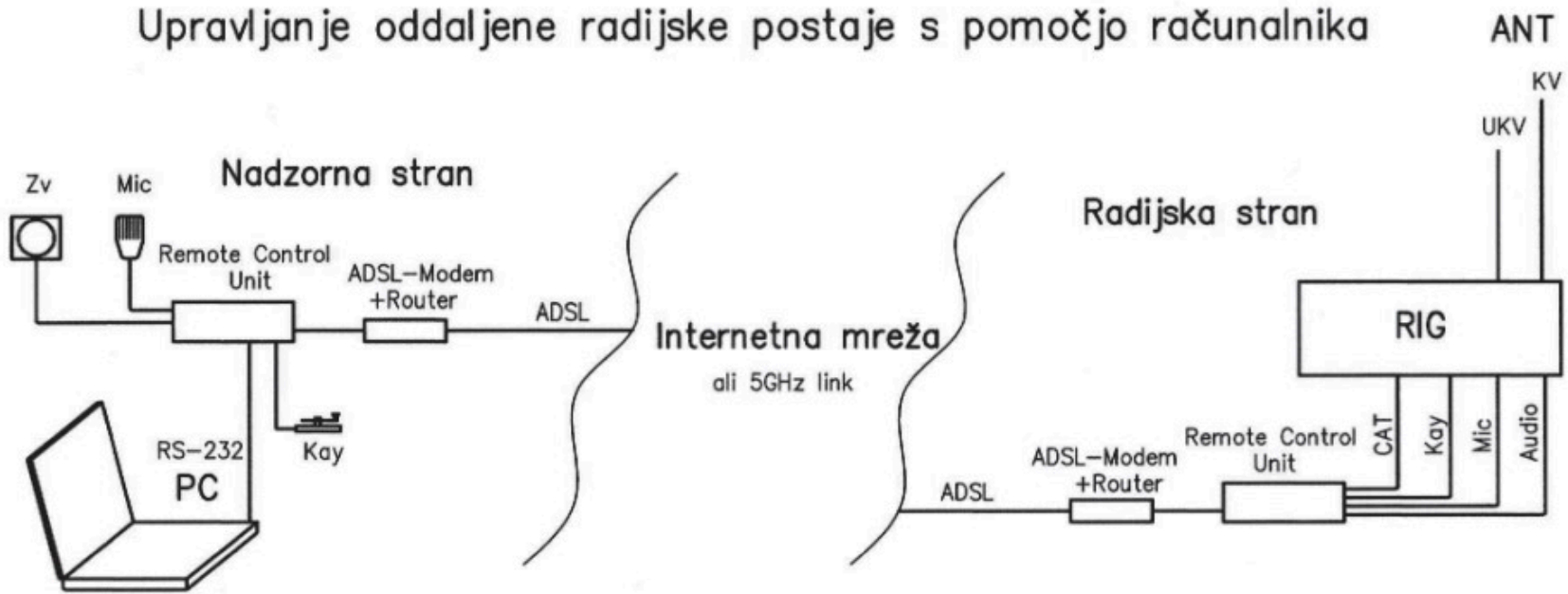

NORTH AMERICA
EUROPE
Atlantic
Ocean
Pacific Ocean
Pacific Ocean
AFRICA
SOUTH AMERICA




GALLERY

Delo na daljavo

"Remote operation"



Posebne aktivnosti (aktivacije)

- Summits on the air (SOTA)
- Parks on the air (POTA) – primer
- Islands on the air (IOTA)
- World Wide Flora & Fauna (WWFF)



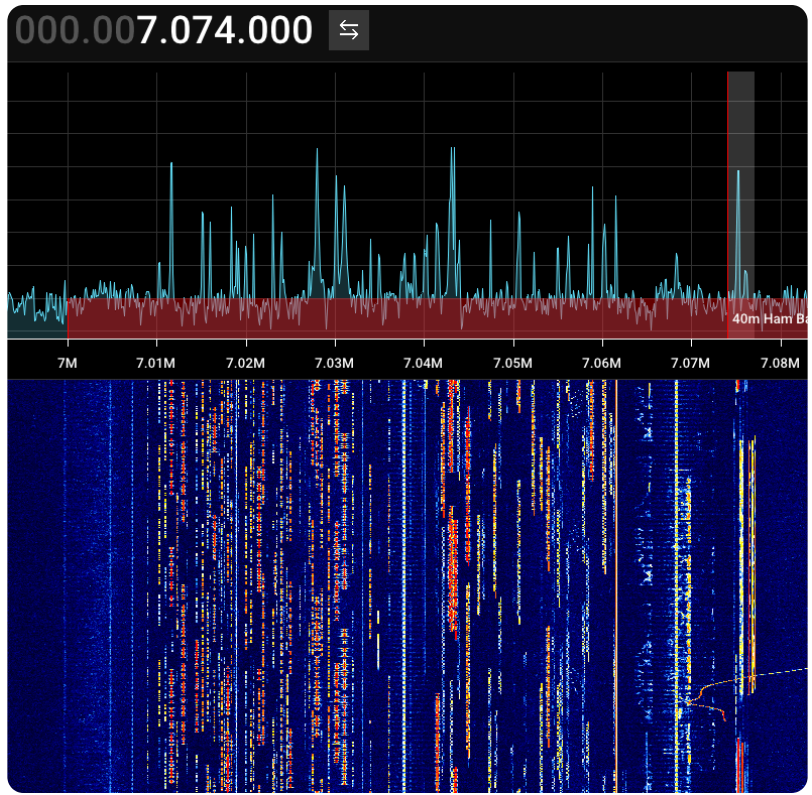


Radioamaterska tekmovanja

Vsak tekmovanje lahko omeji:

- uporabljene frekvenčne pasove
- način dela (telegrafija, telefonija, digitalno, ...)
- posebna tekmovanja:
  - odboj od Lune
  - odboj od meteorskih sledi

Po IARU so izključeni 5 MHz, 10 MHz, 18 MHz in 24 MHz (WARC)



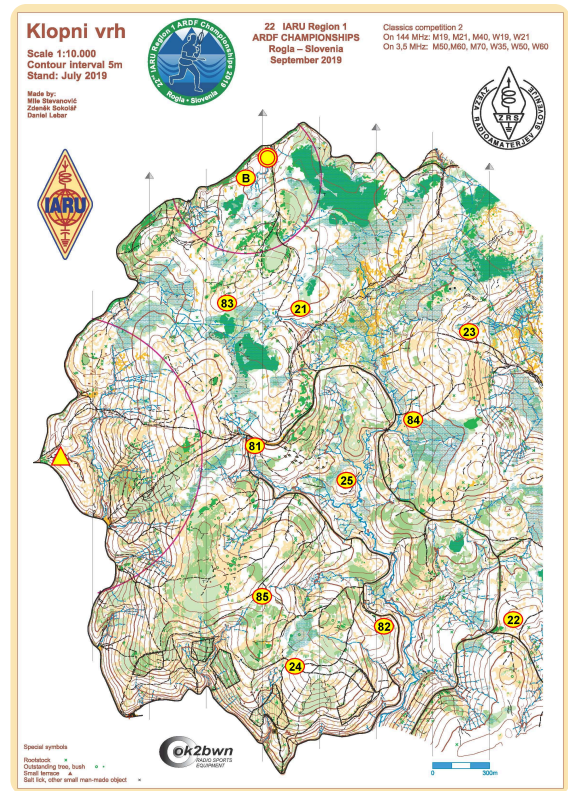
Amatersko radiogoniometriranje (ARG)

- ARDF (Amateur Radio Direction Finding)
- Lov na lisico

Športna disciplina že od 1924, v SLO 1954
KV – 80 m – 3-5 W, **UKV** – 2 m – 0,25-1,5 W





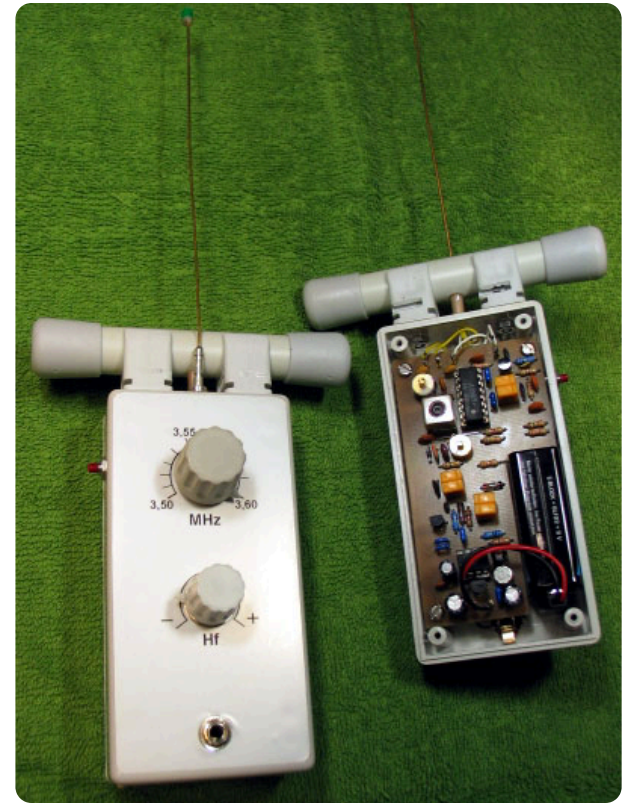


Tekmovanje ima ponavadi 3 do 5 lisic in svetilnik

Lisice oddajajo enega izmed naslednjih zaporedij:
MOE, MOI, MOS, MOH, MO5 – enostavni zapis v Morzejevi abecedi

Svetilnik ves čas »sveti« MO.

Lisice lahko iščejo tudi slepi in slabovidni v spremstvu dobrovidnega na enostavnem polju



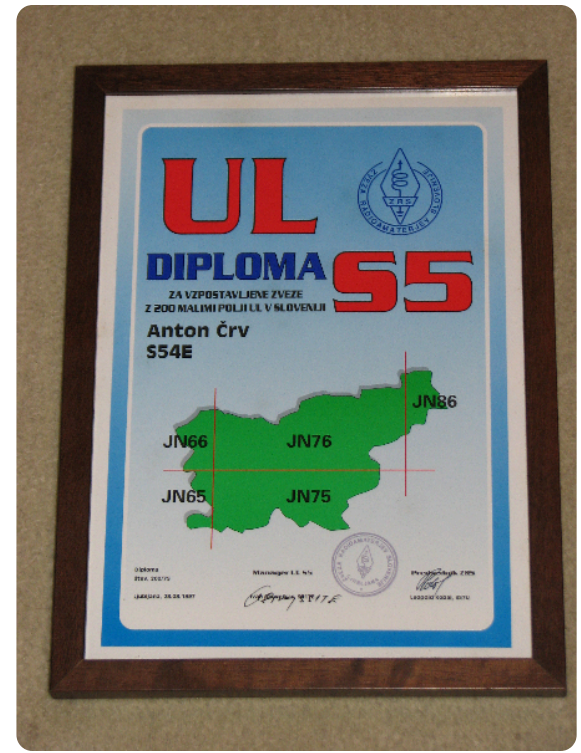
Radioamaterske diplome

Podeljene za dosežene uspehe na tekmovanjih ali določene dosežke

Izdaja jih IARU, nacionalne radioamaterske organizacije (pri nas ZRS), klubi, skupine radioamaterjev ali posamezniki, ...

Slovenski diplomi:

- Diploma Slovenija
- S5 UL Diploma



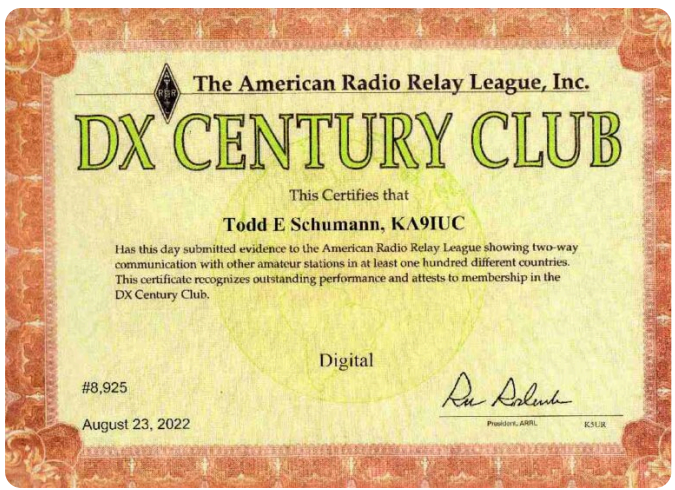
DXCC – DX Century Club Award (zveze z najmanj 100 državami po DXCC listi)

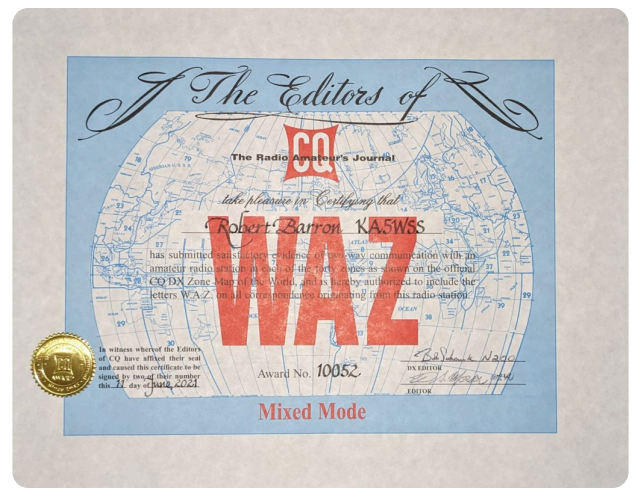
WAZ – Worked all zones (zveze s 40 conami po radioamaterski (CQ) razdelitvi sveta)

WAC – Worked All Continents (zveze z vsemi kontinenti)

WAE – Worked All Europe (zveze z vsemi evropskimi državami)

IARU REGION 1 AWARD – (zveze z radioamaterji, ki so člani prve regije IARU)





SWL

Sprejemna radijska postaja

Short Wave Listener – radioamater, ki **samo sprejema** oziroma posluša.

Ne potrebuješ izpita lahko pa zaprosiš za svoj klicni znak.

`S5-RS-xxx`

x je celo število od 0 do 9.

DX postaje

Oddaljene postaje

- KV – vse izven EU
- VHF – več kot 400 km

DX postaje najpogosteje uporabljajo **SPLIT** način dela.

Poslušajo nad (UP) ali pod (DOWN) svojo oddajno frekvenco:

- Na CW običajno 1 kHz
- Na SSB običajno 5 - 10 kHz

DX okno – Pas frekvenc, namenjen delu z DX postajami.

DXpedicije

DX ekspedicija

Potovanje radioamaterjev na **oddaljene lokacije** z namenom **aktiviranja** redkih držav.

DQRM – namerno motenje zvez

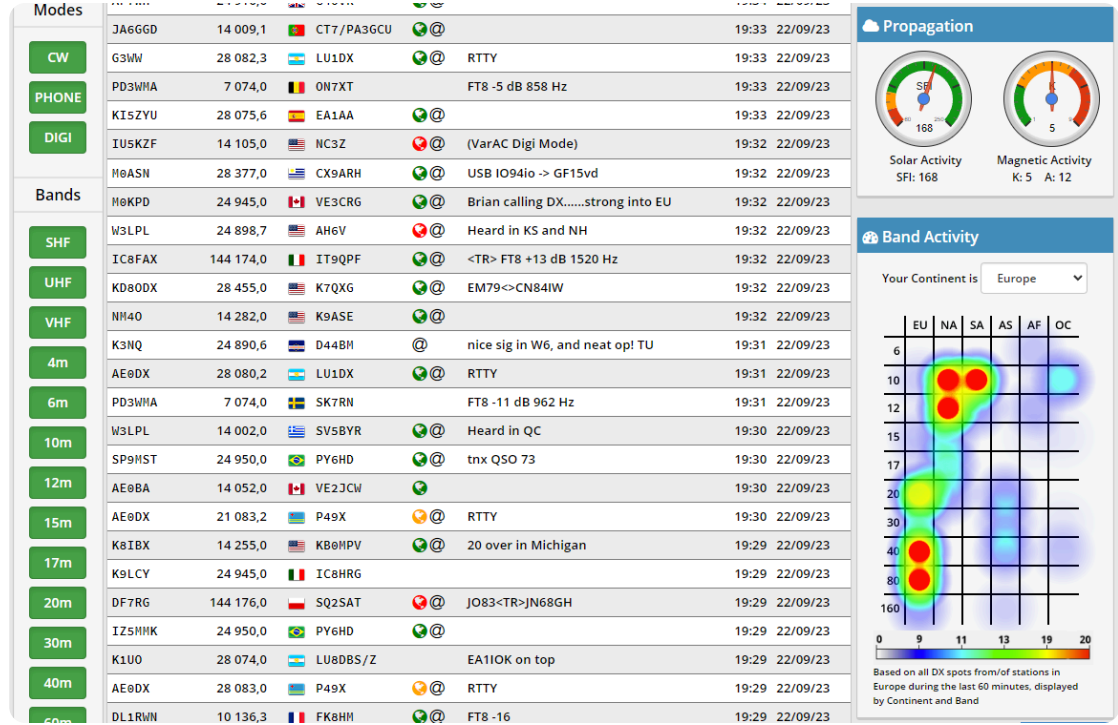


DX cluster

Je orodje za objavo podatkov o zvezah z DX postajami

Self spotting – objavljanje podatkov o frekvenci na kateri kličeš, kar ni v skladu s pravili uporabe DX clustra.
Izjeme: SOTA, POTA, WWFF, ...

- DX Summit
- DXHeat



Pileup

Množica radioamaterjev na frekvenci redke **postaje**, ki bi radi hkrati naredili zvezo z njo in **kličejo eden čez drugega**.

- Pileup avstralske postaje
- Pileup redke postaje 4U1ITU

Simplex pileup - množica postaj, ki hkrati kličejo DX postajo na frekvenci, kjer DX postaja hkrati posluša in oddaja.

Aktivnosti radioamaterjev ob nesrečah in nevarnostih

Signal za nevarnost:

- **SOS – telegrafija**
- **MAYDAY – telefonija**
- XXX (nujnost, ustreza PAN PAN) – telegrafija
- TTT (varnostno sporočilo, ustreza SECURITE) – telegrafija
- QRRR – telegrafija
- PAN PAN (večja nujnost) – telefonija
- BREAK (Vključil bi se v zvezo) – telefonija
- BREAK BREAK (nujno obvestilo) – telefonija
- BREAK BREAK BREAK (potrebujem pomoč) – telefonija



Kodeks ARON

Zakonik aktivnosti radioamaterjev ob nesrečah in nevarnostih

Sprejet leta 1992

Radioamaterji sodelujemo z:

- Ministrstvom za obrambo RS
- Upravo RS za zaščito in reševanje
- Civilno zaščito
- Center za obveščanje RS
- Regijskimi centri za obveščanje



Kadar je v nevarnosti človeško življenje ali druga katastrofa, lahko prenašamo sporočilo tretje osebe po radijski zvezi

Kodeks ARON

1. ČLEN

S kodeksom ARON se določajo pravila **vedenja in delovanja radioamaterjev** – članov ZRS **ob nesrečah in nevarnostih**, kot so elementarne nesreče (poplave, požari, viharji, plazovi, potresi), večje ekološke nesreče ali nevarnosti (onesnaževanje ali ogrožanje okolja), prometne ali druge nesreče in nevarnosti večjih razsežnosti. Ta pravila veljajo smiselno tudi za sodelovanje z radioamaterji sosednjih in drugih držav v primerih nesreč in nevarnosti mednarodnih razsežnosti.

2. ČLEN

Namen in cilj delovanja radioamaterjev po tem kodeksu je **nudenje pomoči pri zaščiti in reševanju** človeških in materialnih dobrin. Delovanje radioamaterjev temelji na humanitarnih, patriotskih in prostovoljnih osnovah v skladu s statutom ZRS in normami in principi mednarodne radioamaterske organizacije – IARU

3. ČLEN

V primeru nevarnosti ali nesreče večjih razsežnosti se radioamaterji organizirajo **samoiniciativno ali** pa **na pobudo nosilcev zaščite in reševanja** (Civilna zaščita, gasilci, Rdeči križ in drugi).

Kodeks ARON

4. ČLEN

Radioamater, ki opazi ali sprejme obvestilo o znamenjih, pojavih ali dogodkih, ki ogrožajo imetje, zdravja ali življenje ljudi, je dolžan na najhitrejši možni način o tem **obvestiti ustrezne pristojne službe** (Center za obveščanje telefon 112, policija telefon 113). Obvestilo mora imeti jedrnato vsebino:

- Kaj se dogaja oziroma kaj se je zgodilo
- Kje se dogaja
- Kdaj se je zgodilo
- Kdo obvešča.

Radioamater **samoiniciativno sproži delovanje po ARON-u, če oceni, da je nesreča ali nevarnost takšnega obsega, da zahteva takojšnje aktiviranje amaterskega radijskega omrežja**. V primeru, da je nadaljnje delovanje in pomoč radioamaterja ali več radioamaterjev še potrebno, se ukrepa po navodilu ustreznih služb.

Kodeks ARON

5. ČLEN

Radioamaterji – člani ZRS, ki sodelujejo v aktivnostih, katere obravnava kodeks ARON, se lahko organizirajo v ustrezna radioamaterska omrežja. **Radijski promet** v akcijah ARON **poteka po ustaljenem načinu** v skladu z normativi, ki urejajo delo amaterskih radijskih postaj.

6. ČLEN

Za aktiviranje in delovanje po ARON-u se **lahko uporabljajo vsa frekvenčna področja**, ki so dovoljena **za radioamatersko delo**. Radioamater uporabi frekvenco, odvisno od aparature, s katero razpolaga oziroma ocene, kako bo najhitreje prenesel obvestilo.

V primeru nesreč in nevarnosti večjih razsežnosti so priporočene frekvence: FM simpleksni kanal V40 **145.500 MHz**, FM simpleksni kanal U280 **433.500 MHz**, **repetitorji ZRS** in **3700 kHz**.

V nesrečah ali nevarnostih **največjih razsežnosti** se lahko uporabijo tudi **druga frekvenčna področja**. Ustrezna navodila v zvezi s tem izda Zveza radioamaterjev Slovenije na osnovi predhodnega dogovora s pristojnimi državnimi organi.

Kodeks ARON

7. ČLEN

Na frekvencah, kjer je sprožena ali deluje reševalna akcija, morajo vsi radioamaterji takoj prekiniti z vzpostavljanjem drugih radioamaterskih zvez. Dolžnost vsakega radioamaterja, ki sliši klic za nesrečo in nevarnost, je, da se takoj javi in se ravna po navodilih postaje, ki vodi reševalno akcijo.

8. ČLEN

Akcijo praviloma **vodi** upravna **postaja, ki je najbližja dogodkom** na ogroženem mestu. Za koordinacijo lahko deluje več upravnih postaj, če to narekujejo velikost in obseg ogroženosti ali drugi tehnični razlogi. V času trajanja akcije poteka usmerjanje in koordiniranje dela vseh sodelujočih postaj preko upravne postaje (ali več postaj).

Kodeks ARON

9. ČLEN

Obseg in intenzivnost delovanja sta odvisna od potreb na ogroženem območju. Akcija traja od prijave nesreče ali nevarnosti do sanacije razmer oziroma dokler pristojni dejavniki ne ocenijo, da aktivnost radioamaterjev ni več potrebna. Akcija preneha takoj, ali postopoma, glede na razvoj dogodkov, zaradi katerih je bila sprožena.

10. ČLEN

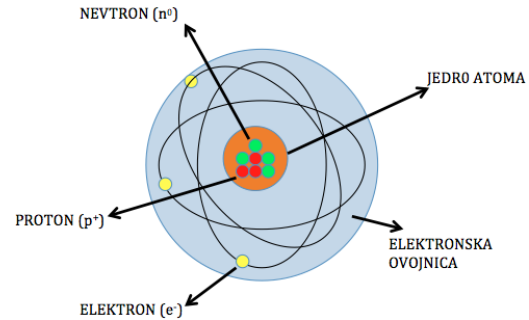
Sodelovanje v reševalnih akcijah in spoštovanje kodeksa ARON je dolžnost vsakega člana ZRS.

Oddaja se lahko izven radioamaterskih frekvenčnih pasov, če se odzivamo klicu v sili.

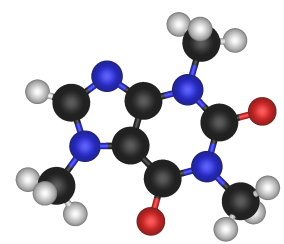
Elektrotehnika

Osnovna teorija atomov

- Najmanjši delec snovi je **atom**
  - Atom sestavljajo: **elektroni, nevtroni in protoni**
  - Atomsko **jedro** je sestavljeno iz: **protonov in nevtronov**
- Atomi se med seboj povezujejo v **molekule**

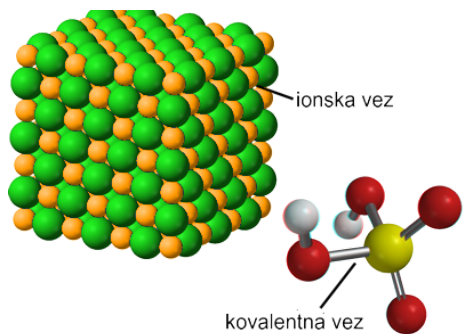


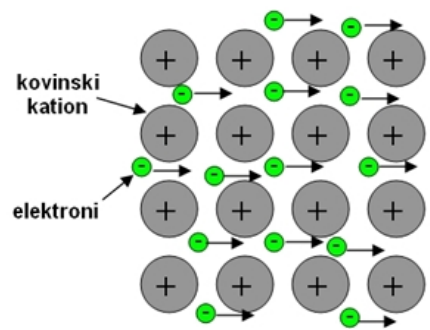
- **Element**: snov, ki jo z kemijskimi reakcijami ne moremo razstaviti na enostavnejše sestavine
- **Spojina**: snov sestavljena iz dveh ali več elementov
  - Najmanjši gradnik spojin je molekula



Kemijske vezi

- **Ionska ali elektrovalentna vez**: elektropozitiven atom odstopi elektron elektronegativnemu atomu v bližini.
  - Primer: NaCl
- **Kovalentna vez**: dva nevtralna atoma si delita enega ali več elektronov.
  - Primer: polprevodniki, vezava vodika in kisika → voda
- **Kovinska vez**: med atomi plava oblak prostih elektronov.
  - Primer: s to vezjo so povezani atomi v kovinah.





Električno polje in potencial

Električno polje je prostor, v katerem deluje električna sila na električni naboj

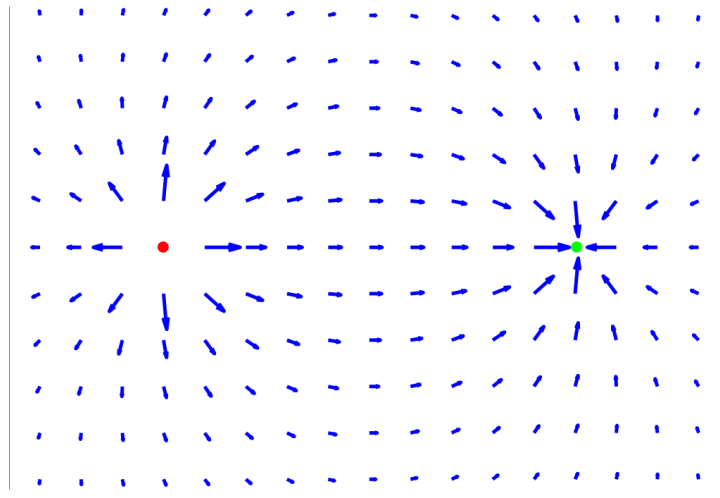
Jakost električnega polja: $E\ \left[\frac{V}{m}\right]$

Količina naboja: $Q\ [C = As]$ *Coulomb*

- En coulomb je definiran kot količina električnega naboja, ki preteče skozi prečni prerez vodnika v času ene 1s pri toku 1A.

Električni potencial: $V_p\ [V]$ *Volt*

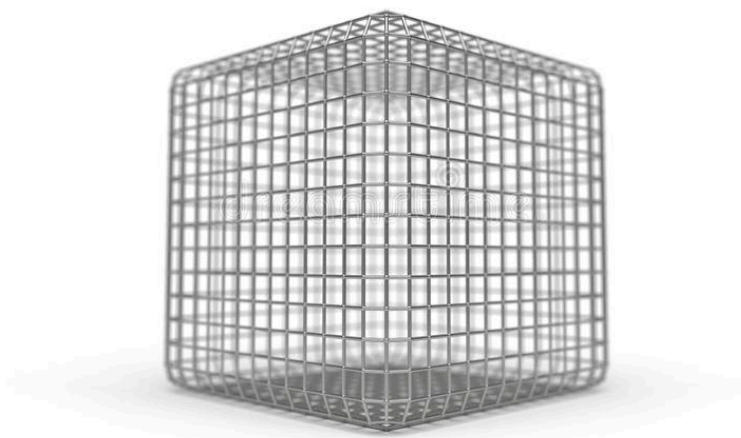
- Električni potencial v neki točki električnega polja znaša 1V, če se iz prostora izven polja prenese v dano točko pozitiven naboj 1C in se ob tem opravi delo 1J.



Coulombov zakon: $F = k_0 \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$

- kako sila med dvema točkastima električnima nabojema pojema z razdaljo

Pred električnim poljem se zaščitimo z oklapljanjem s kovinskimi materiali (Faradayeva kletka).



Električni tok in napetost

Električni tok je **usmerjeno gibanje nosilcev električnega naboja**.

Oznaka: I

Enota: A (*Amper*)

Inštrument za merjenje toka je **ampermeter**

Električni tok nastane pod vplivom razlike električnih potencialov (napetosti).

Električna napetost je definirana kot **razlika električnih potencialov**.

Oznaka: U

Enota: V (*Volt*)

Inštrument za merjenje napetosti je **voltmeter**

Predpone SI

Okrajšava	Ime	Vrednost		
…				
P	peta	10^{15}	1.000.000.000.000.000	bilijarda
T	tera	10^{12}	1.000.000.000.000	bilijon
G	giga	10^{9}	1.000.000.000	milijarda
M	mega	10^{6}	1.000.000	milijon
k	kilo	10^{3}	1.000	tisoč
h	hekto	10^{2}	100	sto
da	deka	10^{1}	10	deset
d	deci	10^{-1}	0,1	desetina
c	centi	10^{-2}	0,01	stotina
m	mili	10^{-3}	0,001	tisočina
µ	mikro	10^{-6}	0,000.001	milijonina
n	nano	10^{-9}	0,000.000.001	milijardina
p	piko	10^{-12}	0,000.000.000.001	bilijonina
…				

PRIMERI

$$1\ \mathrm{A} = 1000\ \mathrm{mA} = 0{,}001\ \mathrm{kA}$$

$$1\ \mathrm{V} = 1000\ \mathrm{mV} = 0{,}001\ \mathrm{kV}$$

$$1\ \Omega = 1000\ \mathrm{m}\Omega = 0{,}001\ \mathrm{k}\Omega$$

Prevodniki, neprevodniki in polprevodniki

Prevodniki: imajo dosti prostih nosilcev naboja, zato prevajajo električni tok.

- Zlato, srebro, baker, aluminij, …

Neprevodniki (izolatorji): nimajo prostih nosilcev naboja, zato ne prevajajo električnega toka.

- Razne gume, keramika, steklo, les, nekatere plastične mase, razne barve in laki, teflon, bakelit, destilirana voda, polivinil, …

Polprevodniki: prevajajo slabše kot prevodniki, prevodnost pa lahko spreminjamo z dodajanjem primesi.

- Silicij, germanij, … (po 4 elektroni v zunanji lupini atoma)

Električna upornost

Lastnosti snovi, da se **upira prevajanju električnega toka** imenujemo električna upornost.

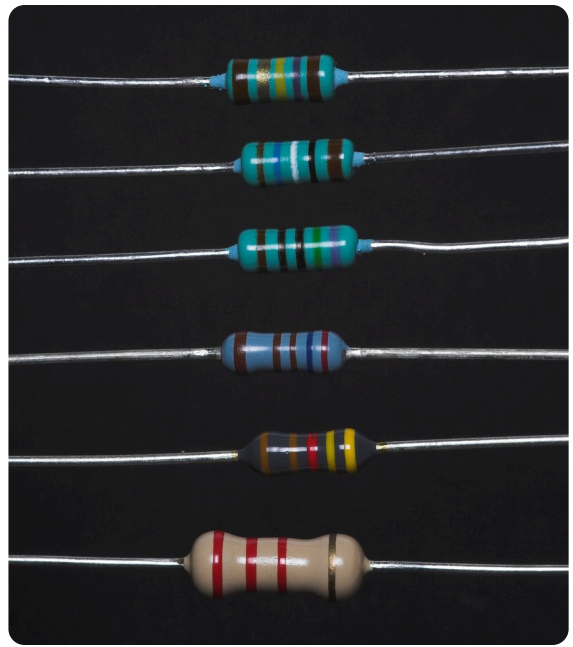
Oznaka: R

Enota: Ω (*Ohm*)

Inštrument za merjenje upornosti je **ohmmeter**

Upor je najbolj osnoven primer porabnika
(električna energija → toplota)

Glede na izvedbo ločimo: žični, slojni, polni ali masni upor

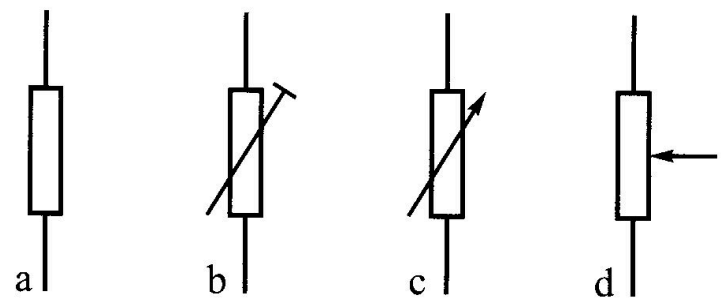


Vrste uporov

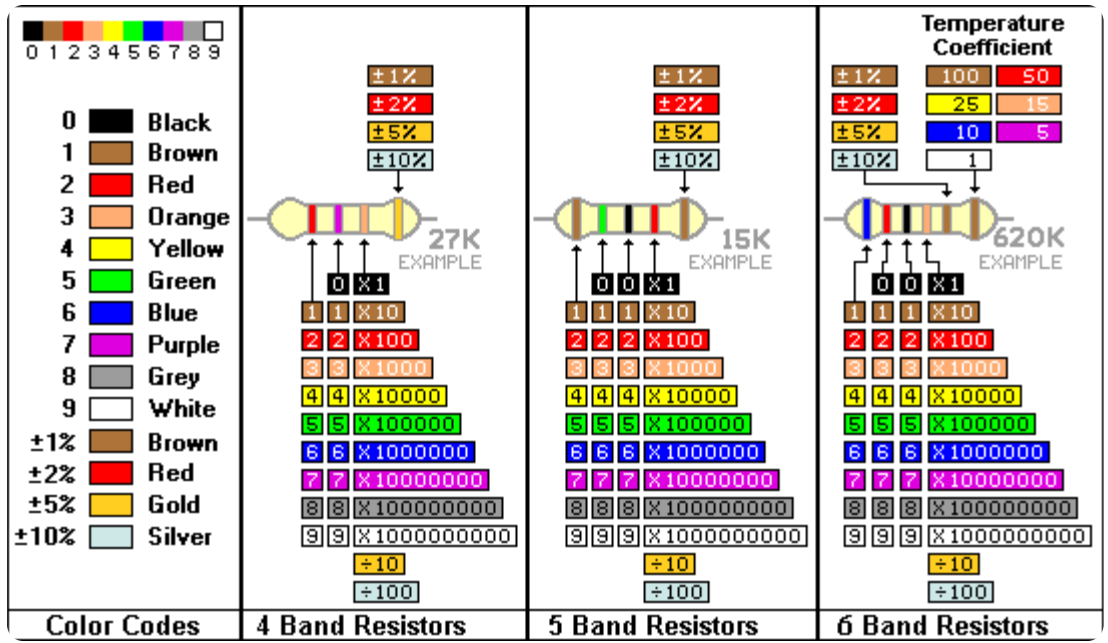
Temperaturno odvisni upori:

- **PTK** (Pozitivni temperaturni koeficient): S **segrevanjem** se **upornost povečuje**
- **NTK** (Negativni temperaturni koeficient): S **segrevanjem** se **upornost zmanjšuje**

Delimo:
a - stalni upor
b - nastavljivi upor
c - spremenljivi upor
d - potenciometer



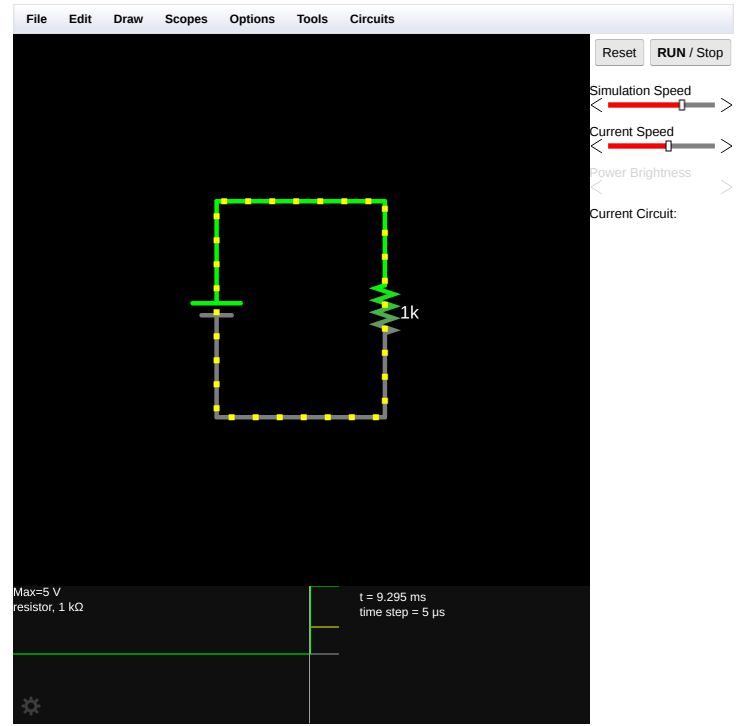
Označevanje vrednosti uporov



Enosmerni tok in napetost

Enosmerni tok: nosilci naboja tečejo le v eno smer. **Smer gibanja nosilcev naboja se s časom ne spreminja**

Enosmerna napetost: tista napetost, ki **generira enosmerni tok in se ji s časom predznak ne spreminja**



Celice in baterije

Najbolj osnoven izvor enosmerne napetosti













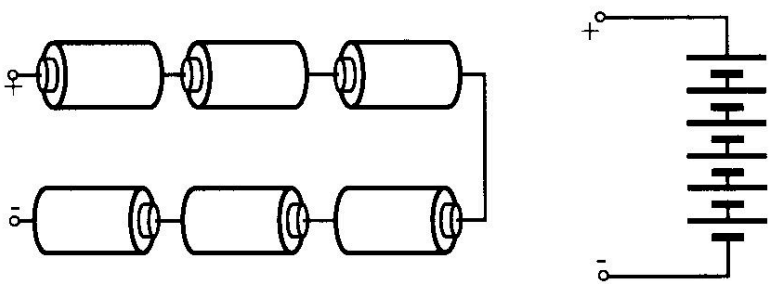
Vrste baterij

	Svinčene celice	Ni-Cd	Ni-Mh	Li-ion	Li-ion polimer	Polnilne alkalne
Nominalna napetost celice	2v	1,2v	1,2V	3,6V	3,6V	1,5V
Število ciklov polnjenja	500-800	1500	500-1000	1200	>1000	50
Lastno praznjenje (%/mesec)	3-20	10	30	5-10	5	zelo nizka
Temp. področje uporabe	-20 do 60	-40 do 60	-20 do 60	-20 do 60	0 do 60	0 do 65
Energija/teža (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	110-160	100-200	80
Obremenitev: max/priporočena	5C/0,2C	20C/1C	5C/0,5C	>2C/>1C	>2C/>1C	0,5C/<0,2

Zaporedna vezava celic

Skupna **napetost enaka vsoti** napetosti posameznih baterijskih celic.

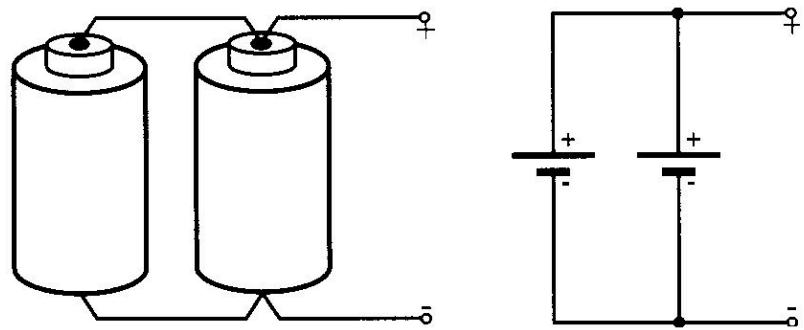
Dopustni **tok enak** dopustnemu toku **ene celice**.



Vzporedna vezava celic

Skupna **napetost enaka** napetosti **ene celice**.

Dopustni **tok enak vsoti** dopustnih tokov posameznih celic.



Lastnosti baterijskih celic

- **Kapaciteta**: koliko časa je celica sposobna dajati določen tok:

$$Q = I \cdot t \, [Ah]$$

PRIMER

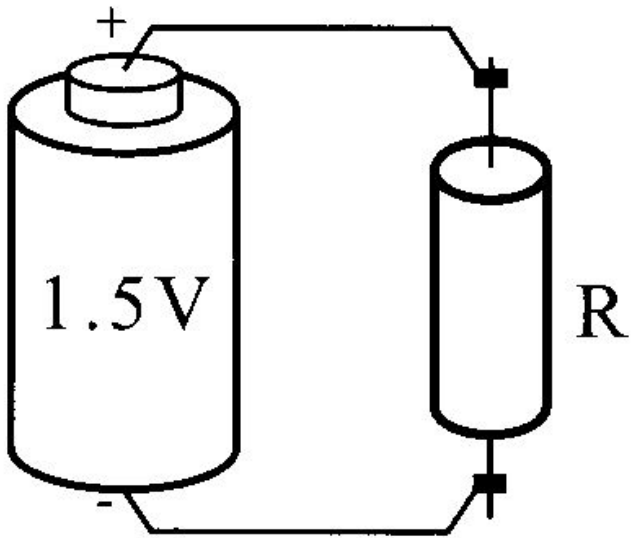
Akumulator ima kapaciteto 10 Ah. Koliko časa ga bomo lahko uporabljali, če porabnik troši 500 mA?
$t = \frac{Q}{I} = \frac{10Ah}{0{,}5A} = 20h$

- **Notranja upornost** (R_g)
- **Kratkostični tok** (I_k): **tok, ki steče če pola celice kratko spojimo z vodnikom.**

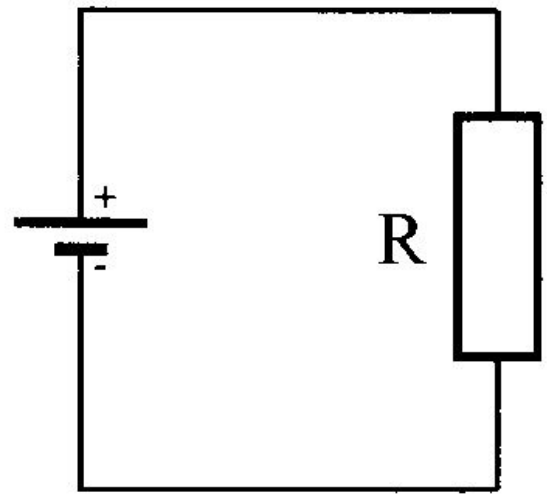
$$I_k = \frac{U_c}{R_g}$$

- **Nazivni tok** (I_n): "priporočen" / normalni tok uporabe

Električne sheme



Električni krog (baterija in upor)



Shema električnega kroga leve slike

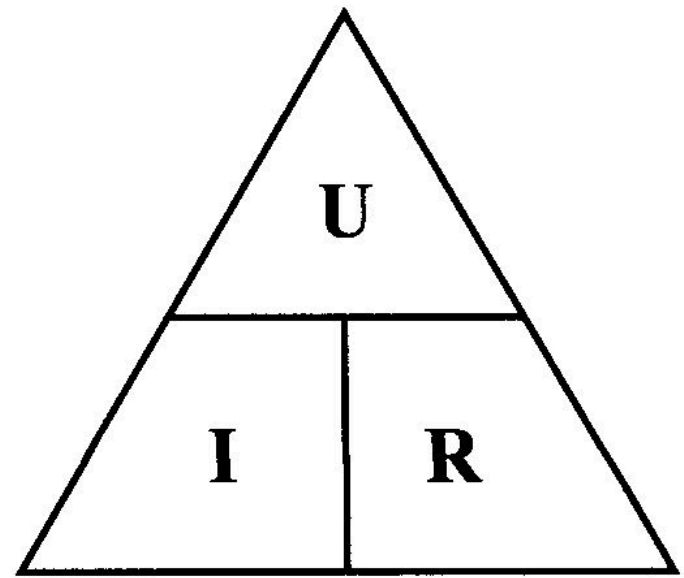
Ohmov zakon

Nemški znanstvenik Georg Simon Ohm ugotovi, da je **napetost v vezju enaka produktu toka in upornosti**.

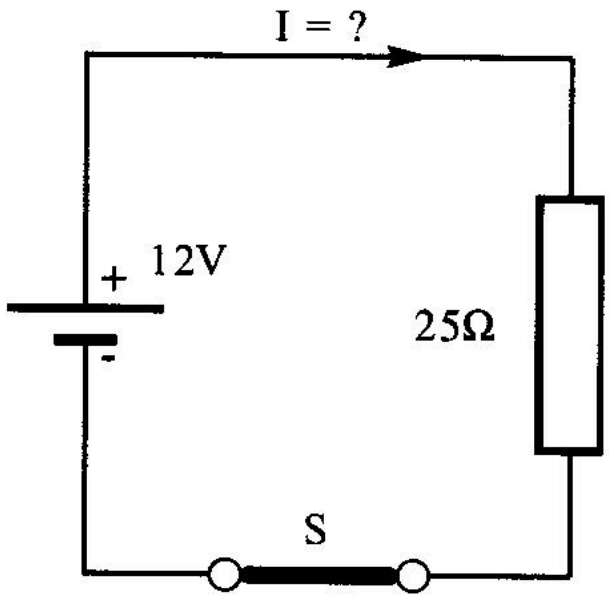
$$U = R \cdot I$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$R = \frac{U}{I}$$



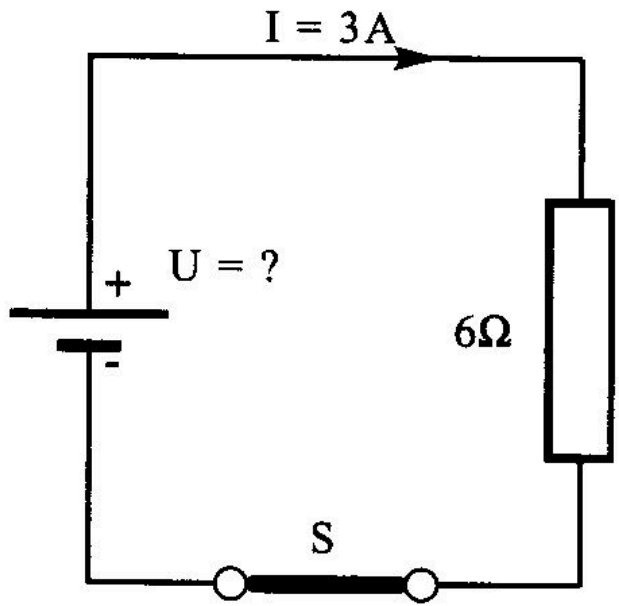
Primer 1



$$U = R \cdot I$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12\ V}{25\ \Omega} = 0{,}48\ A$$

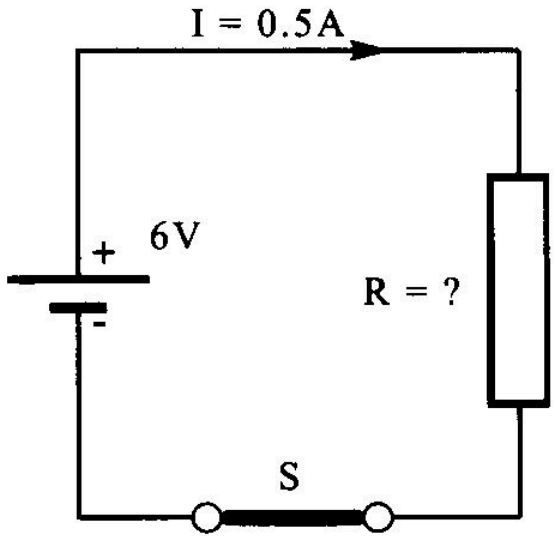
Primer 2



$$U = R \cdot I$$

$$U = R \cdot I = 6\ \Omega \cdot 3\ A = 18\ V$$

Primer 3



$$U = R \cdot I$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6\ V}{0{,}5\ A} = 12\ \Omega$$

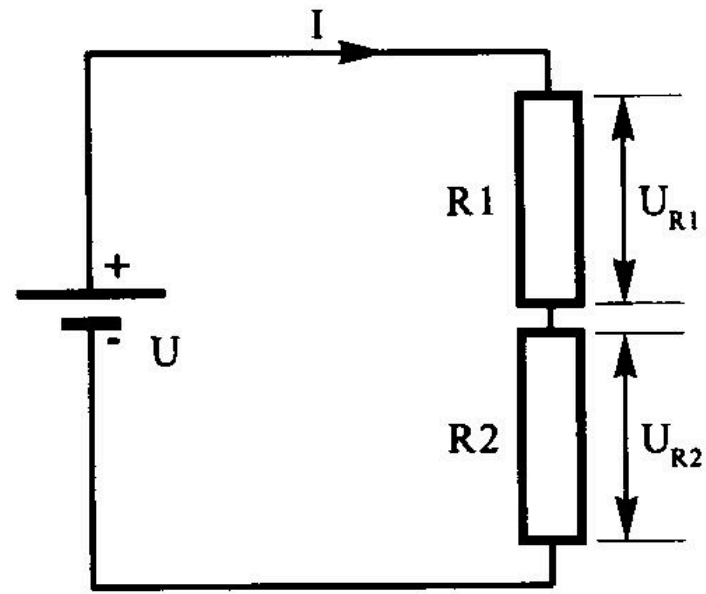
Vezava uporov

Zaporedna vezava uporov

$$R_{\text{skupna}} = R_1 + R_2 + \dots$$

$$U_{\text{skupna}} = U_{R1} + U_{R2} + \dots$$

$$I_{\text{skupna}} = I_1 = I_2 = \dots$$



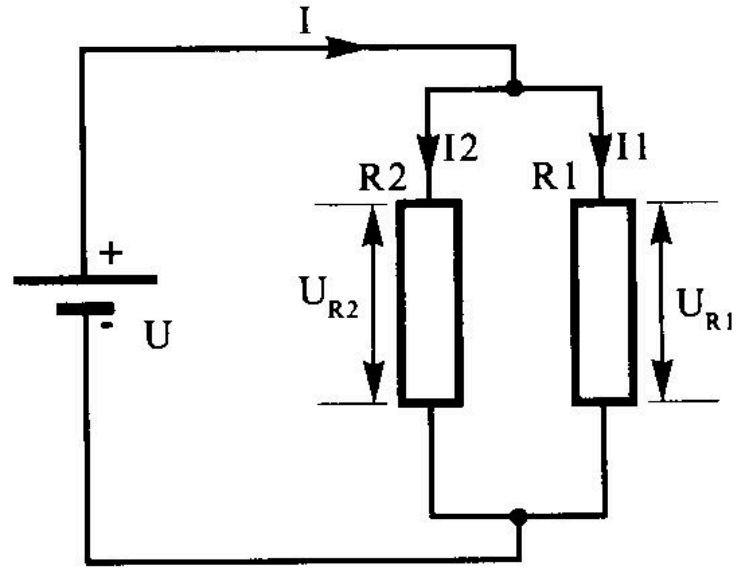
Vzporedna vezava uporov

$$\frac{1}{R_{\text{skupna}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

$$R_{\text{skupna}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots}$$

$$U_{\text{skupna}} = U_{R1} = U_{R2} = \dots$$

$$I_{\text{skupna}} = I_1 + I_2 + \dots$$

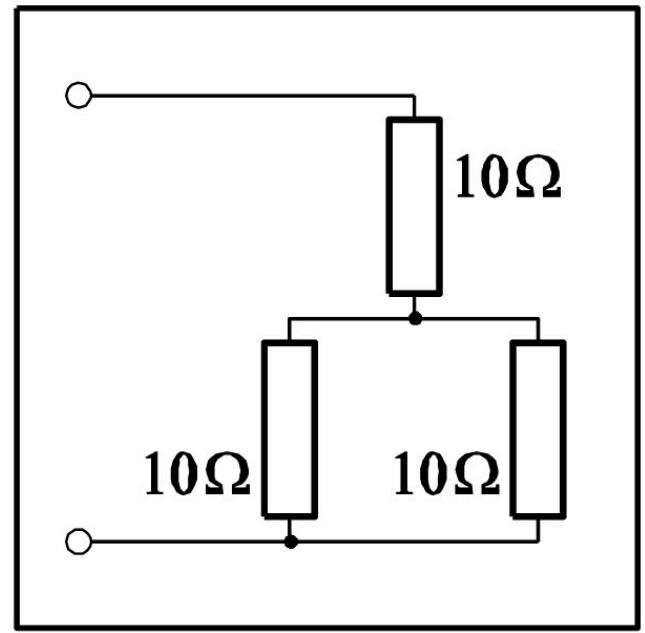


Primer

$\frac{1}{R_{\text{vzp}}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5}$

$R_{\text{vzp}} = 5\ \Omega$

$R_{\text{skupna}} = 5\ \Omega + 10\ \Omega = 15\ \Omega$

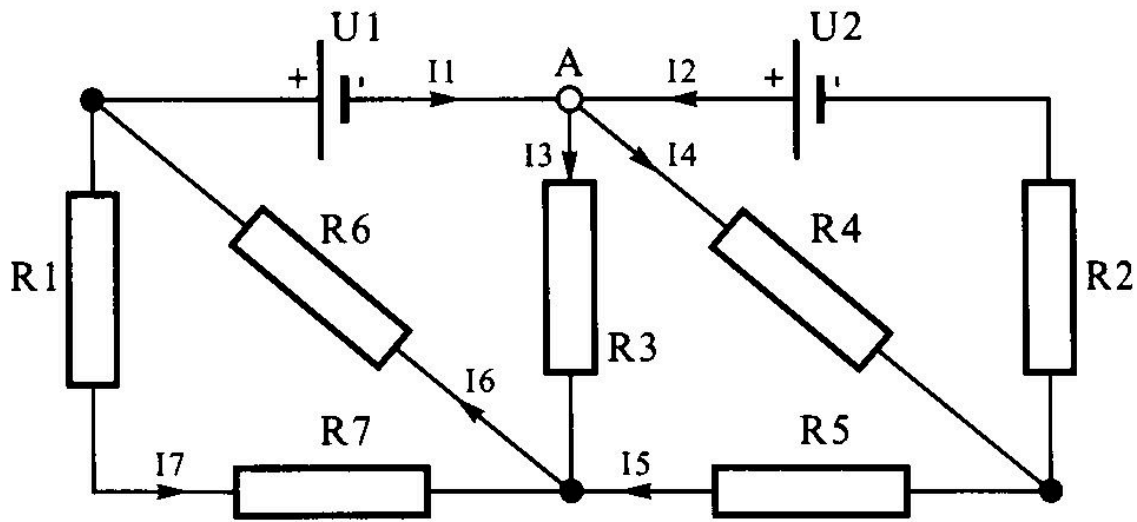


Kirchhoffovi zakoni

Razlaga

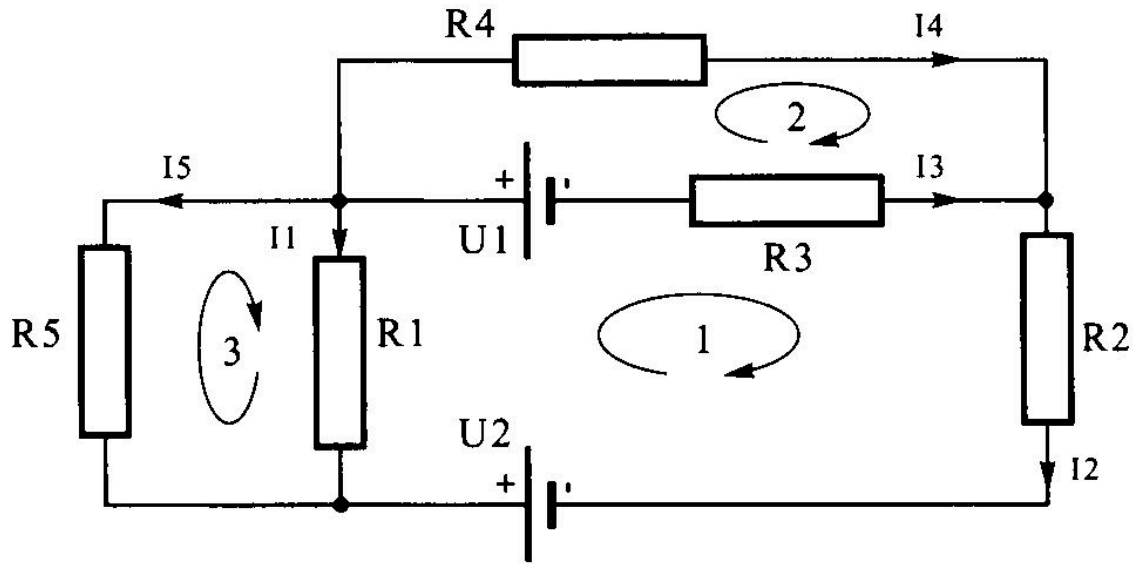
- **Prvi Kirchhoffov zakon** (vsota vseh tokov v vozlišču je enaka nič):

$$\sum I = 0$$



- **Drugi Kirchhoffov zakon** (vsota napetosti napetostnih virov v zaprti zanki vezja je enaka vsoti padcev napetosti na vseh delih vezja):

$$\sum U = \sum I \cdot R$$

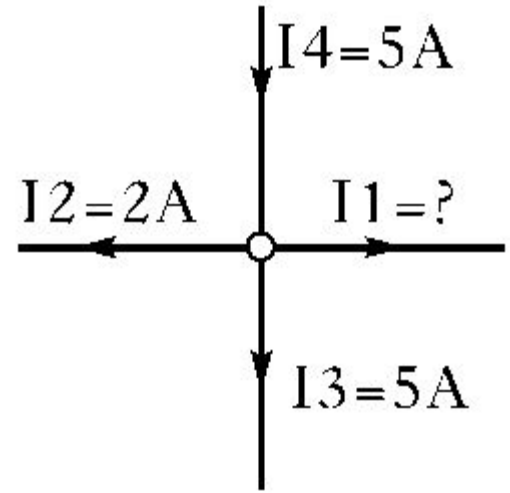


Primer (I. Kirchhoffov zakon):

$\sum I = 0$

$I_4 = I_1 + I_2 + I_3$

$I_1 = I_4 - I_3 - I_2 = 5A - 5A - 2A = -2A$

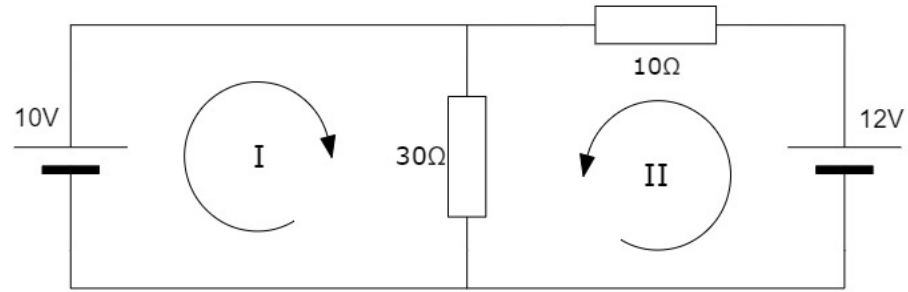


Primer (II. Kirchhoffov zakon):

Zanka 1:
$10\ V = I_2 \cdot 30\ \Omega$

Zanka 2:
$12\ V = I_2 \cdot 30\ \Omega + I_1 \cdot 10\ \Omega$

Zanka 3:
$(12\ V - 10\ V) = I_1 \cdot 10\ \Omega$



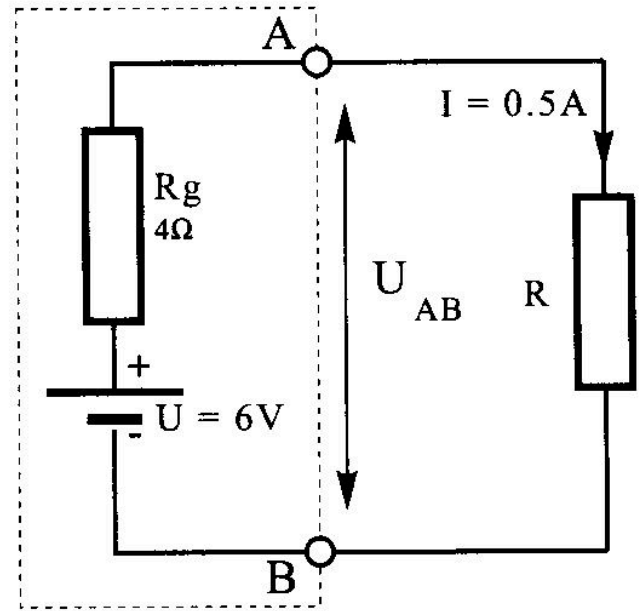
Realni napetostni vir

R_g – upornost generatorja

$I = \frac{U}{R+R_g}$

$$U_{AB} = U - R_g \cdot I = U \cdot \frac{R}{R+R_g}$$

$U_{AB} = 6\ V - (4\ \Omega \cdot 0{,}5\ A) = 4V$



Frekvenca

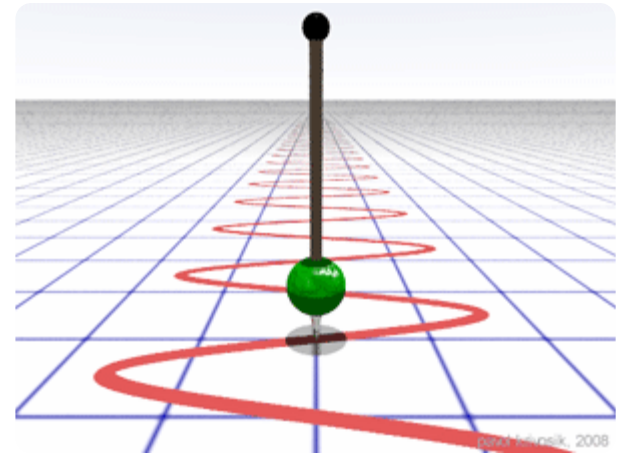
Število ponavljajočih se dogodkov v časovni enoti

Oznaka: f

Enota: Hz (*Hertz*)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{N}{t}$$

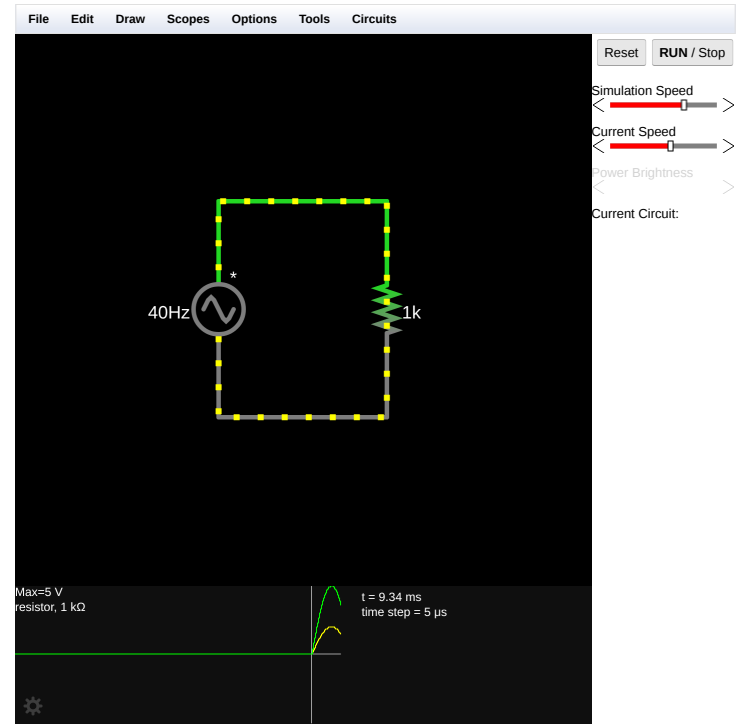
f – frekvenca (Hz)
T – perioda (s)
t – čas opazovanja (s)
N – število nihajev v času opazovanja



Izmenični tok in napetost

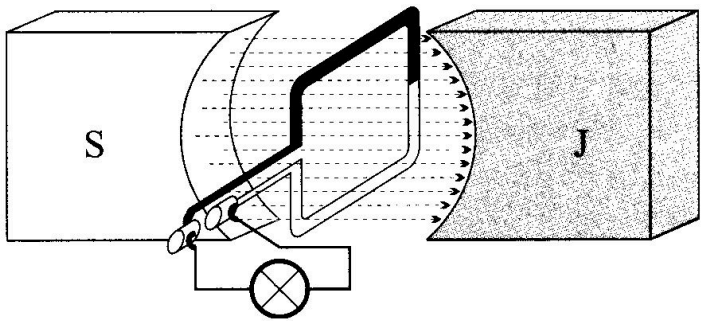
Izmenični tok: **smer gibanja** nosilcev naboja **se s časom spreminja.**

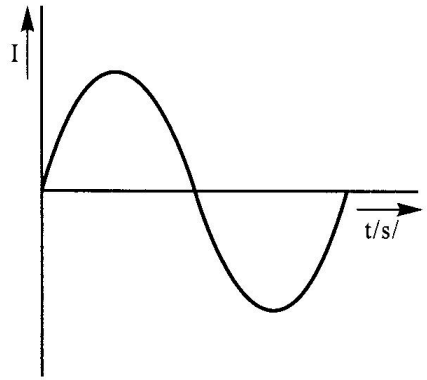
Izmenična napetost: napetost, ki se s časom spreminja

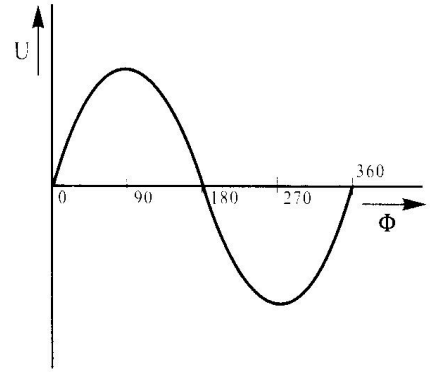


Generator izmenične napetosti

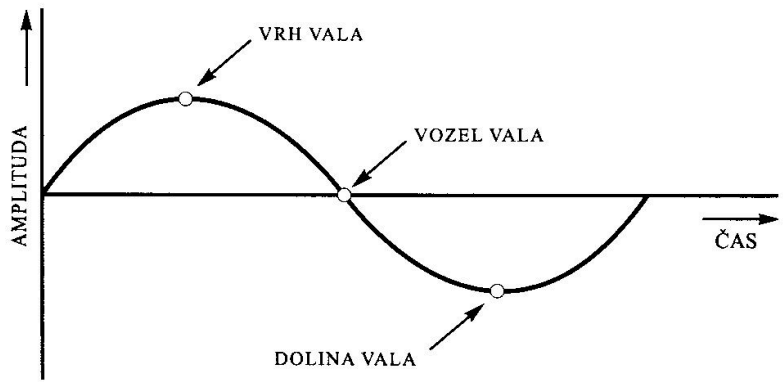
$$U = U_{max} \cdot \sin(\alpha)$$

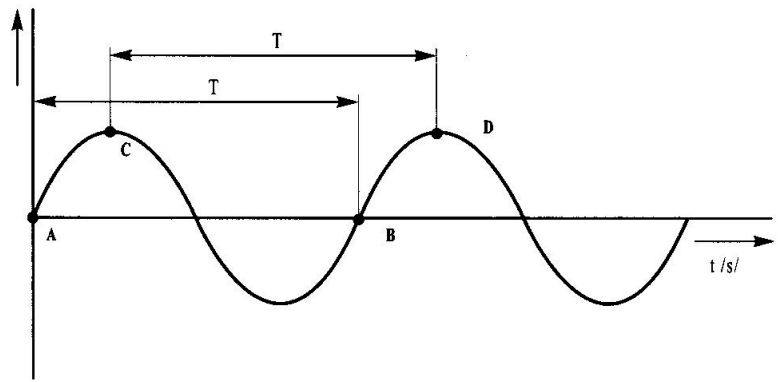






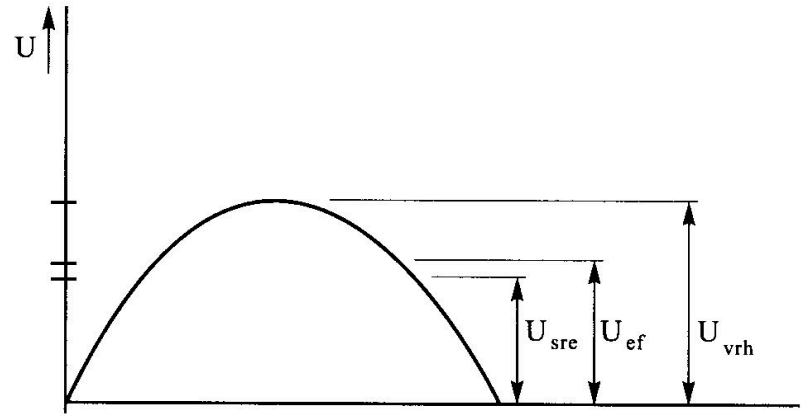
Sinusna oblika signala





Efektivna vrednost **izmenične napetosti** (U_{ef}) je enaka velikosti enosmerne napetosti, ki na bremenu povzroči **enak učinek** (efekt) **kot izmenična napetost** (svetlobni, toplotni, ...)

U_{vrh} – vrhnja (temenska) vrednost napetosti
U_{ef} – efektivna (RMS – Root Mean Square) napetost
U_{sre} – srednja vrednost napetosti



Za sinus velja:

$$U_{\mathrm{vrh}} = \sqrt{2} \cdot U_{\mathrm{ef}}$$

$$U_{\mathrm{sre}} = \frac{2}{\pi} \cdot U_{\mathrm{vrh}}$$

$$U_{\mathrm{vrh}} = 1{,}57 \cdot U_{\mathrm{sre}}$$

Valovna dolžina (λ – lambda): razdalja, ki jo val prepotuje v času enega nihaja

Hitrost širjenja:

$v = f \cdot \lambda$

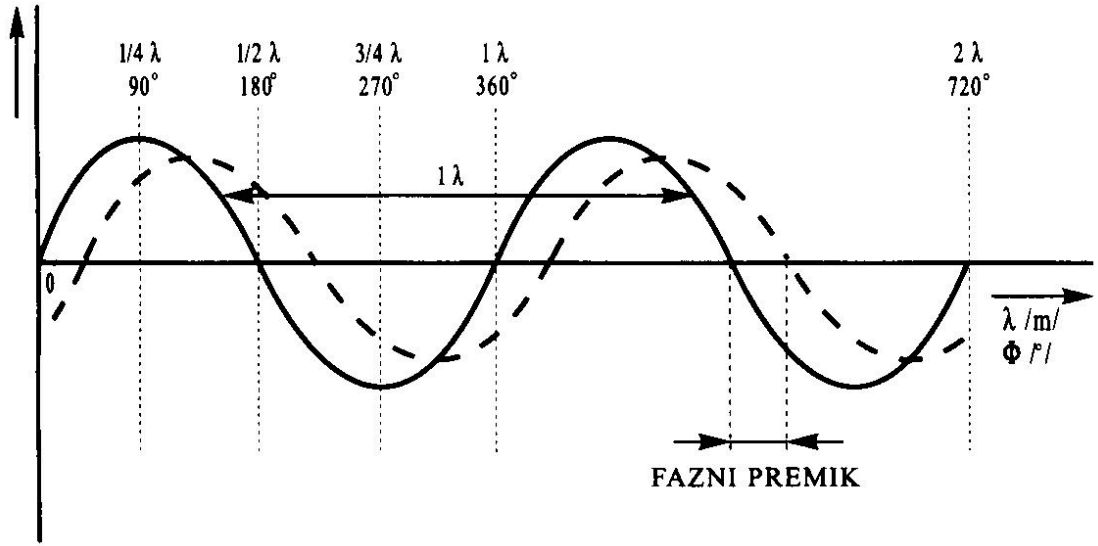
v – hitrost $\left[\frac{m}{s}\right]$

f – frekvenca $[\mathrm{Hz}]$

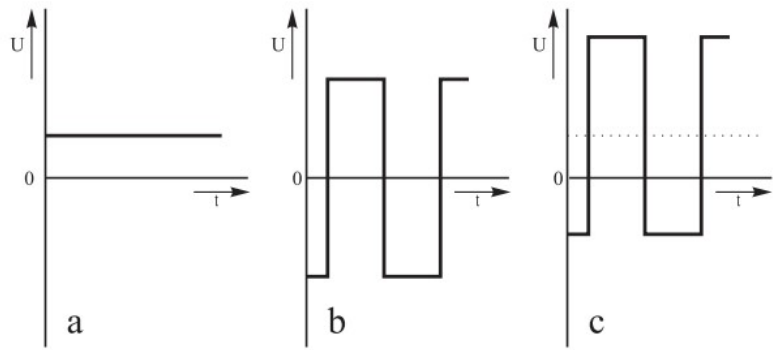
λ – valovna dolžina $[m]$

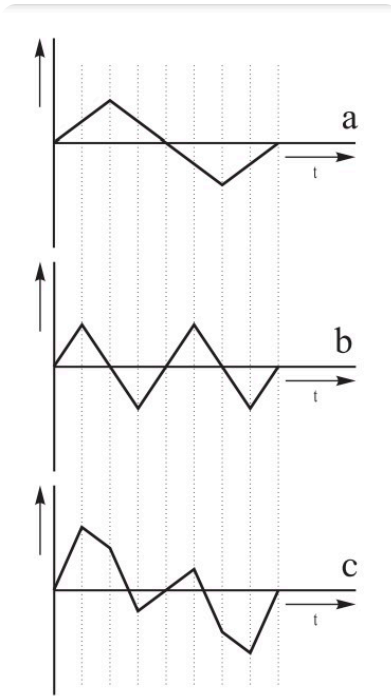
Faza valovanja:

merimo v stopinjah (°).



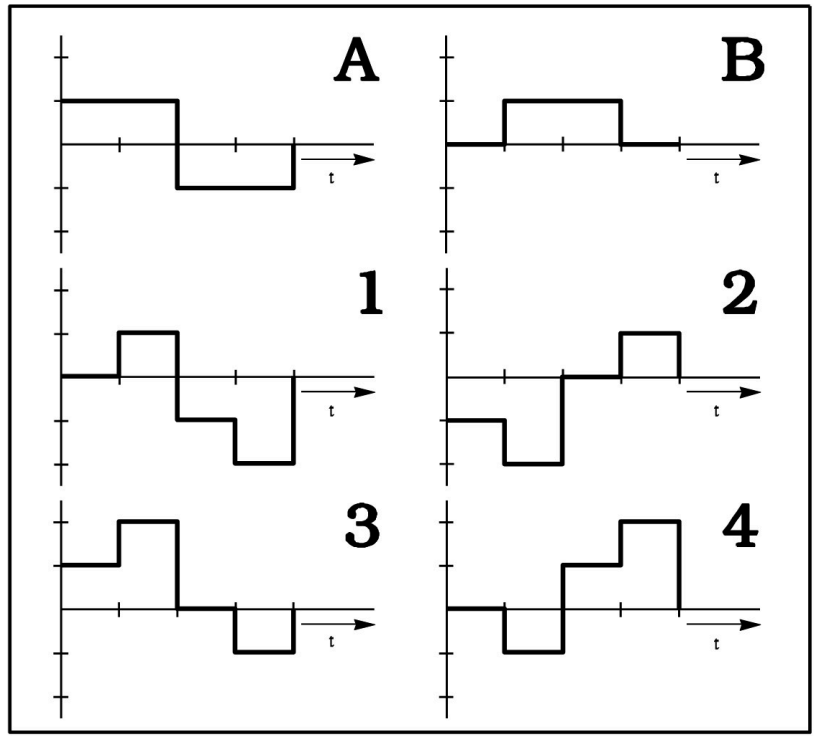
Sestavljeni signali



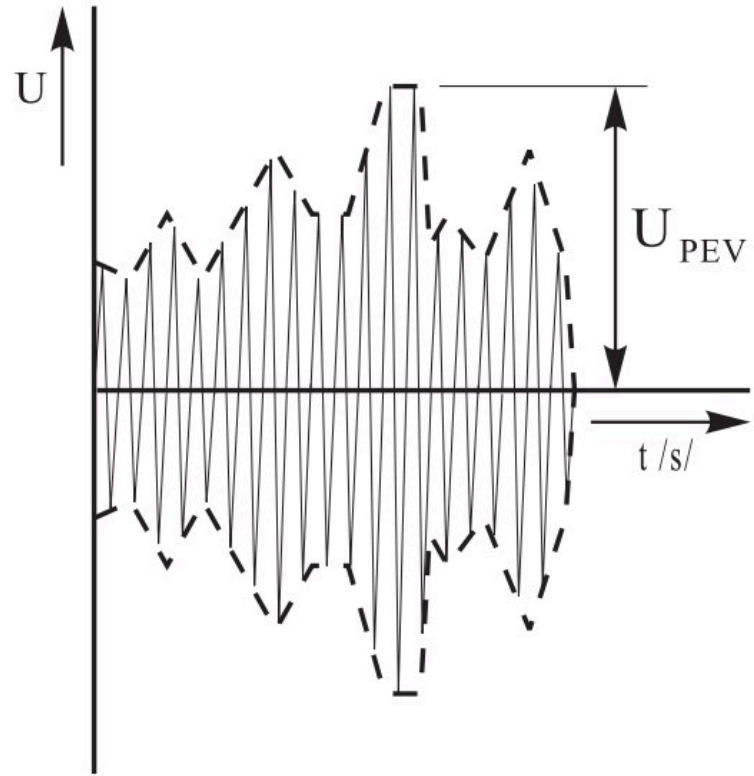


Primer

Kateri od navedenih signalov je enak vsoti signala A in B?



Peak envelope voltage (PEV): vrhnja napetost ovojnice



Električna moč in delo

Električna moč:
intenzivnost opravljanja dela električne sile

Oznaka: P

Enačba: $P = U \cdot I$

Enota: $VA = W$ (*Vat*)

Električno delo:
delo, ki ga opravi električni naboj

Oznaka: A (za energijo tudi W)

Enačba: $A = P \cdot t$

Enota: $J = Ws$ (*Joule / Vatsekunda*)

Električna moč

Enosmerne napetosti in tokovi:

$$P = U \cdot I$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$P = I^2 \cdot R$$

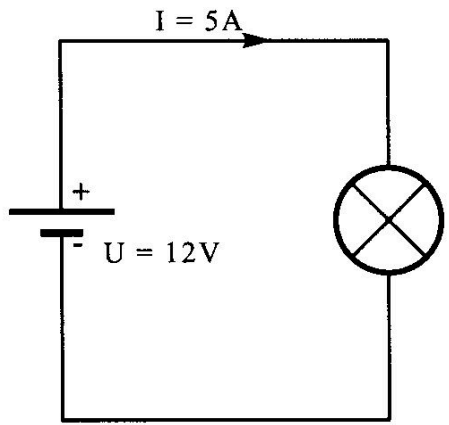
Izmenične napetosti in tokovi:
(Ohmska bremena)

$$P_{\text{sre}} = U_{\text{ef}} \cdot I_{\text{ef}}$$

$$P_{\text{sre}} = \frac{U_{\text{ef}}^2}{R}$$

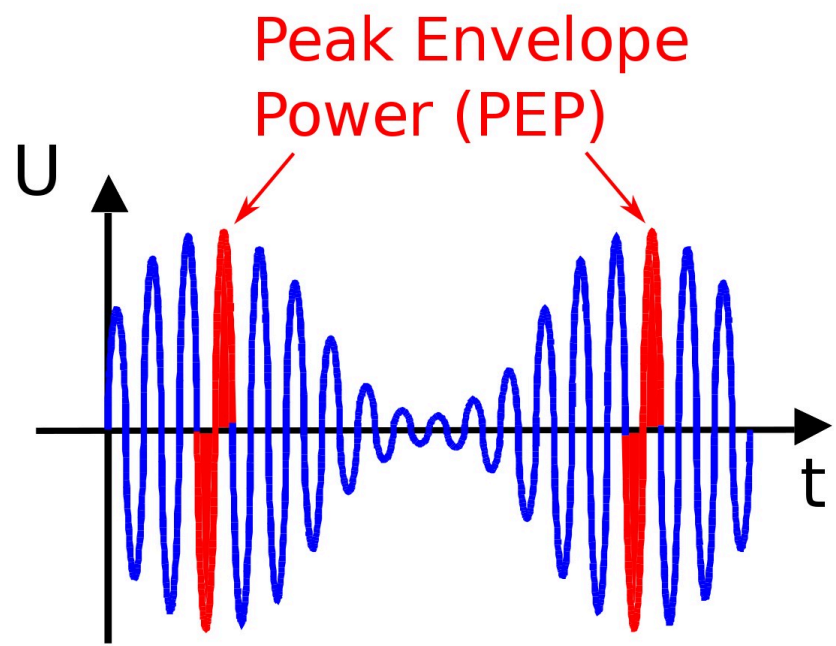
$$P_{\text{sre}} = I_{\text{ef}}^2 \cdot R$$

Trenutna moč niha, podajamo srednjo (povprečno) moč



Peak Envelope Power (PEP): vrhnja (temenska) moč ovojnice, kar pomeni največjo vršno vrednost moči preko določene periode.

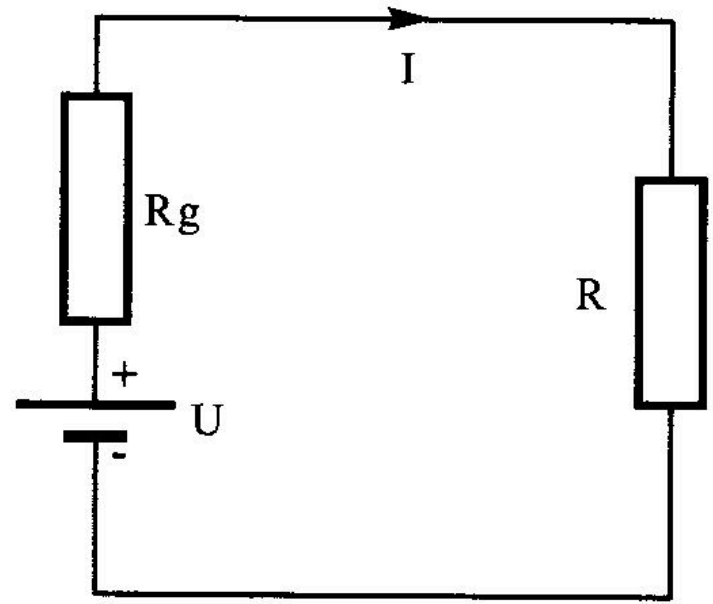
$$P_{\mathrm{PEP}} = \frac{U_{\mathrm{PEV}}^2}{2 \cdot R}$$



Prenos moči

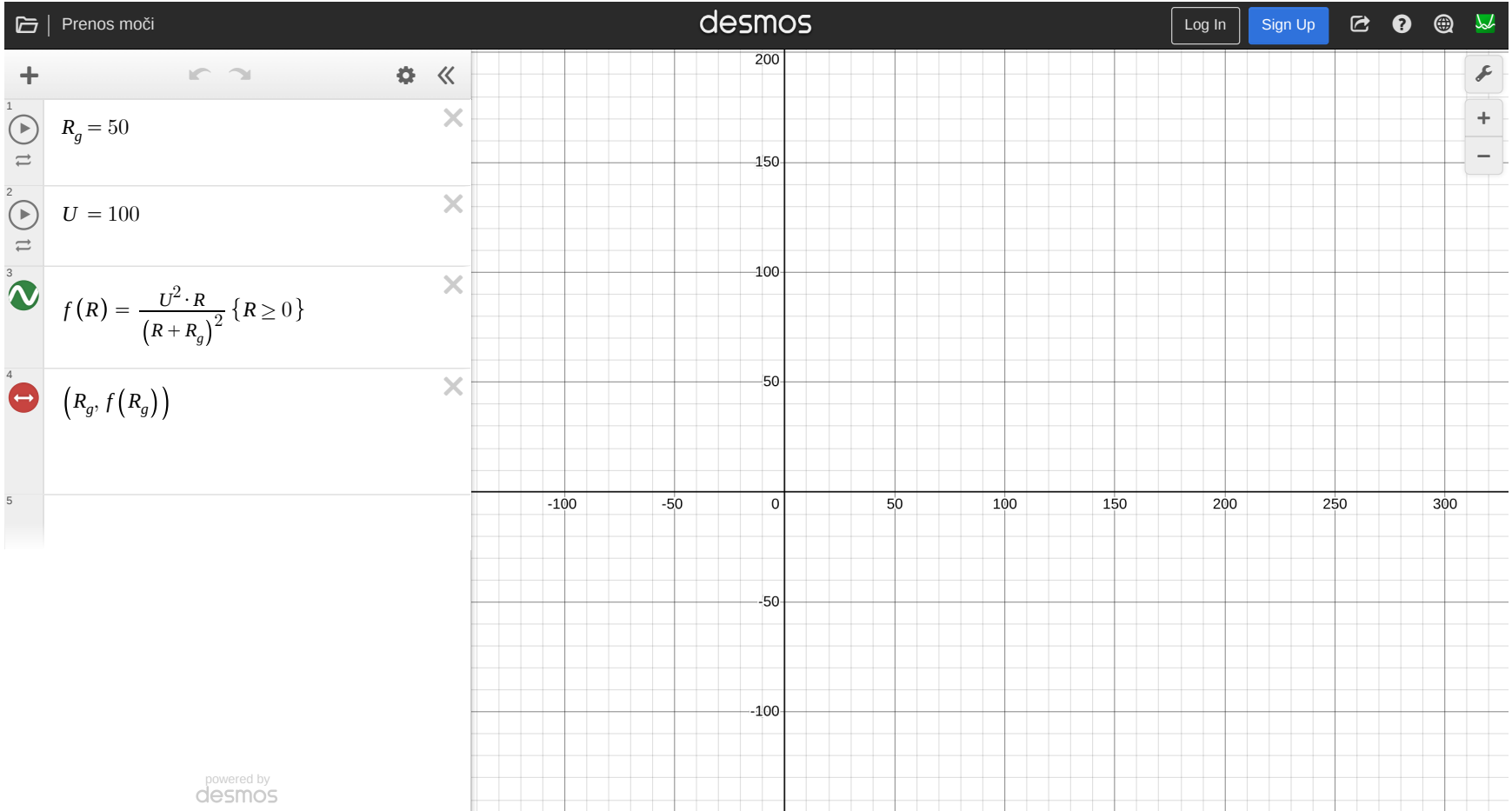
$$P = I^2 \cdot R \qquad I = \frac{U}{R + R_g}$$

$$P = \frac{U^2 \cdot R}{(R + R_g)^2}$$



Maksimalni prenos moči na breme R:
"breme prilagodimo generatorju"

$$R = R_g \quad \Rightarrow \quad P_{max} = \frac{U^2 \cdot R}{4 \cdot R^2} = \frac{U^2}{4 \cdot R}$$


Prenos moči
desmos
Log In
Sign Up
1
$R_g = 50$
2
$U = 100$
3
$f(R) = \frac{U^2 \cdot R}{(R + R_g)^2} \{R \geq 0\}$
4
$(R_g, f(R_g))$
5
200
150
100
50
-50
-100
-100
-50
0
50
100
150
200
250
300
powered by
desmos

Električna energija in izkoristek sistema

Električna energija: $W = P \cdot t \ [\mathrm{Ws}]$ *Vatsekunda*

$1\ \mathrm{kWh} = 1000\ \mathrm{W} \cdot 3600\ \mathrm{s} = 3600000\ \mathrm{Ws}$

Izkoristek sistema

η *(Eta)* – izkoristek sistema (brez enot)

$$\eta = \frac{P_i}{P_v} \quad 0 \leq \eta \leq 1$$

$$\eta = \frac{P_i}{P_v} \cdot 100 \quad 0\% \leq \eta \leq 100\%$$

P_i – izhodna moč (W)

P_v – vhodna moč (W)

Logaritem

Logaritem je **inverzna funkcija eksponente funkcije**

$$a^y = x \quad \Leftrightarrow \quad \log_a x = y$$

Prebere se: *logaritem števila x z osnovo a*

Desetiški logaritem: $\log_{10} x = \log x$

Naravni logaritem: $\log_e x = \ln x$

$$\log_a x = \frac{\log_y x}{\log_y a}$$

$$\log_a x + \log_a y = \log_a (xy)$$

$$\log_a x - \log_a y = \log_a \left(\frac{x}{y}\right)$$

$$r \cdot \log_a x = \log_a x^r$$

Decibel

Decibel je relativna enota, s katero določamo **ojačenje ali slabljenje sistema**.

$$G(dB) = 10 \cdot \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

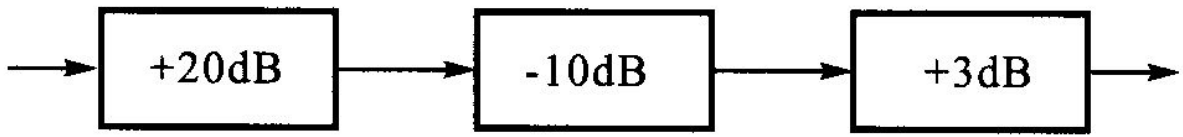
$$G(dB) = 20 \cdot \log\left(\frac{U_2}{U_1}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

Ojačenje G(dB)	Razmerje moči (P_2 / P_1)	Razmerje toka ali napetosti (I_2 / I_1),(U_2 / U_1)
+ 20	100	10
+ 10	10	3,16
+ 6	4	2,00
+ 3	2	1,41
0	1	1,00
- 3	0,50	0,71
- 6	0,25	0,50
- 10	0,10	0,32
- 20	0,01	0,10

1 S enota (na S metru) = 6 dB

Primer

Izračunaj skupno ojačenje sistema:



$$G(dB) = +20\ dB - 10\ dB + 3\ dB = +13\ dB$$

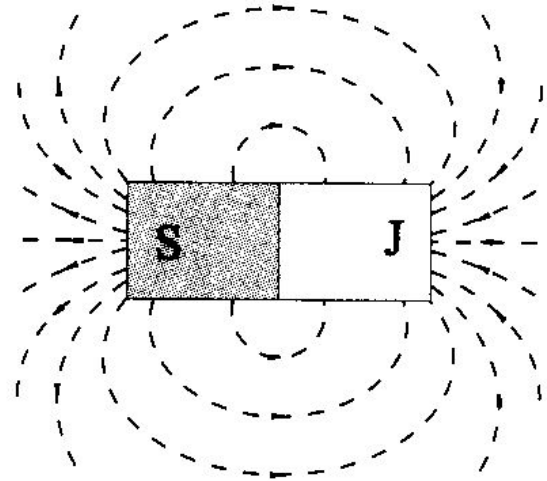
$$G = 100 \cdot 0{,}1 \cdot 2 = 20$$

Dobimo ojačenje +13 dB oz. 20 kratno ojačenje

Magnetno polje trajnega magneta

Potek magnetnega polja okoli magneta **ponazorimo s silnicami**. To so črte, ki kažejo smer polja in potekajo od severnega proti južnemu polu magneta.

Če magnet prelomimo, dobimo 2 magneta, ki imata vsak svoj severni in južni pol.



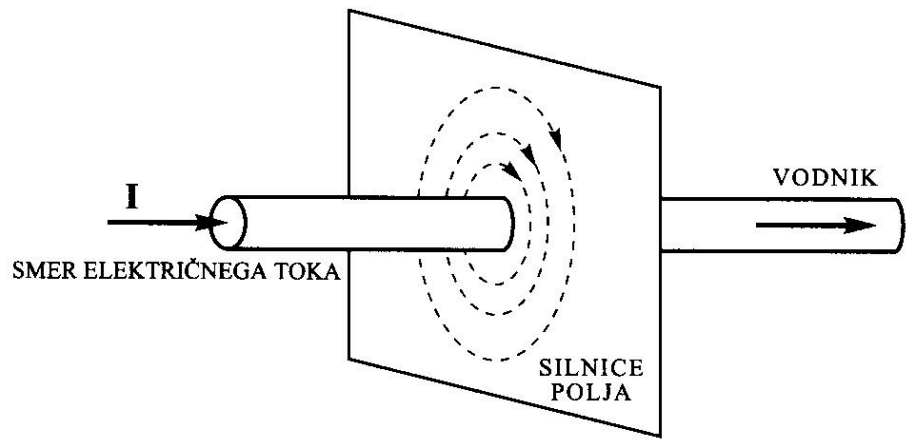
Induktivnost

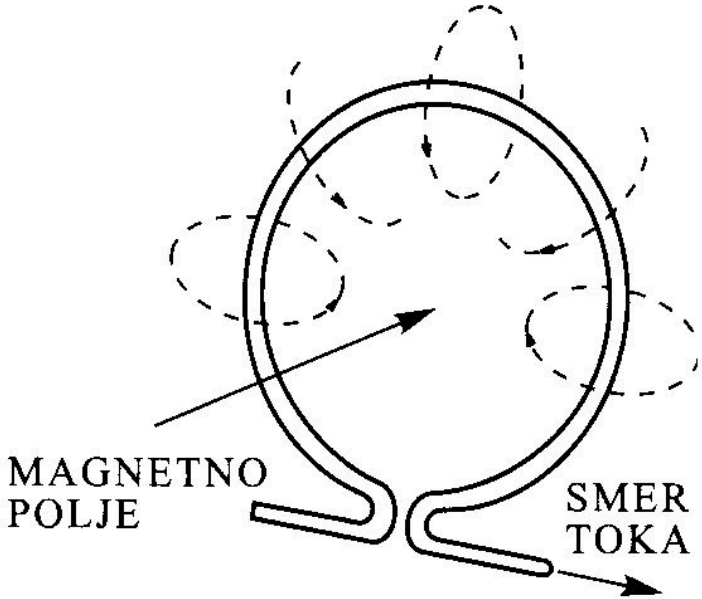
Razmerje med magnetnim pretokom skozi sklenjeno zanko in električnim tokom, ki je vzrok tega magnetnega pretoka

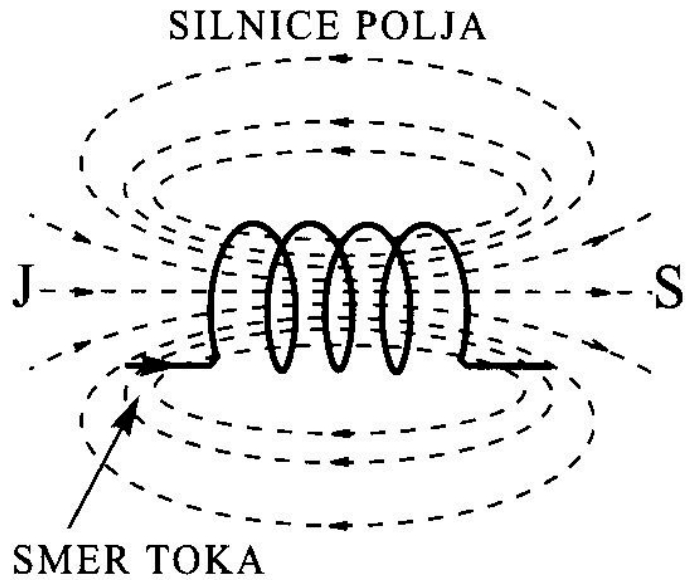
- Induktivnost tuljave je 1 H, če se skozi njo spremeni tok za 1 A v času 1 s in pri tem povzroči, da se inducira povratna napetost 1 V.

Induktivnost: $L\,[H]$ *Henry*

Pravilo desnega vijaka (smer silnic)

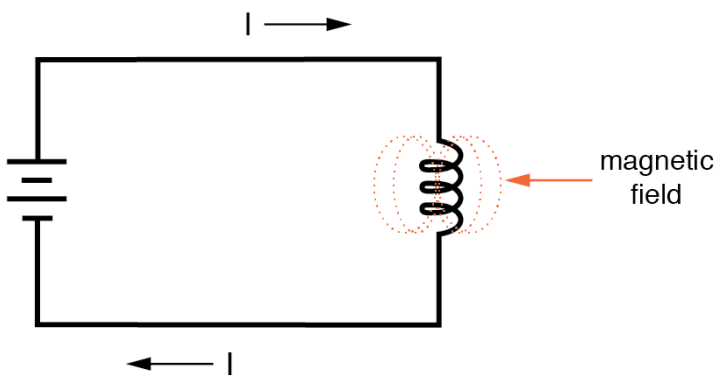


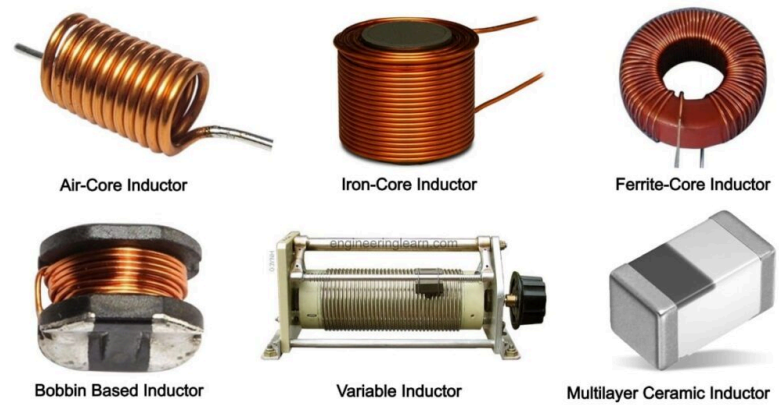

MAGNETNO
POLJE
SMER
TOKA


SILNICE POLJA
J
S
SMER TOKA

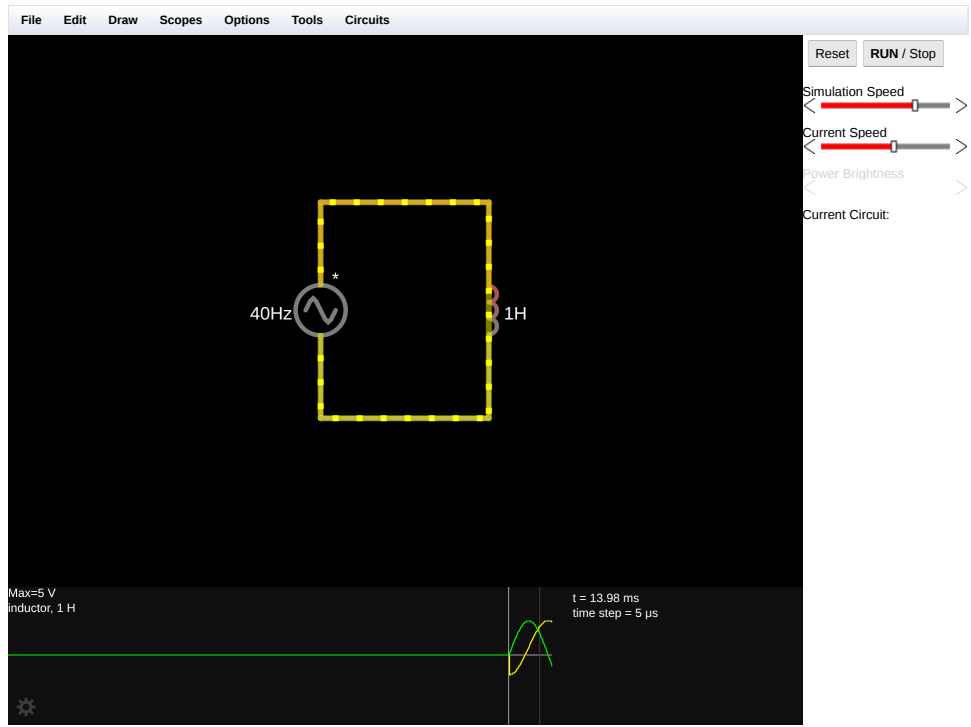
Tuljave

Animacija tuljave





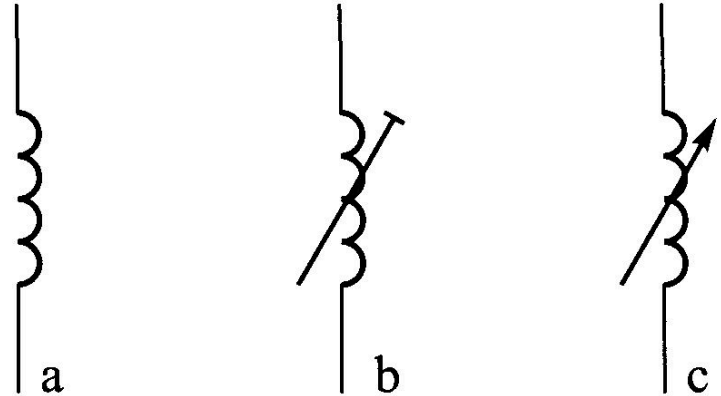
Pri idealni tuljavi vedno **tok zaostaja za napetostjo za 90°**

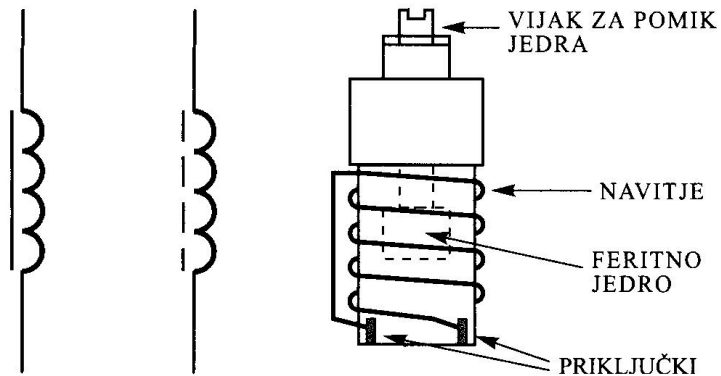


Vrste tuljav

Delimo:
a. stalna tuljava
b. nastavljiva tuljava
c. spremenljiva tuljava

Glede na jedro delimo:
a. tuljava z železnim jedrom
b. tuljava z feritnim jedrom





Jedro tuljave

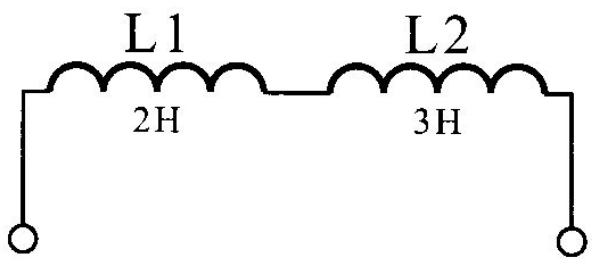
Permeabilnost: lastnost feromagnetnih materialov jedra, da **poveča induktivnost tuljave**

Vrtinčni tokovi: inducirana napetost žene po železnem jedru tok in ga segreva

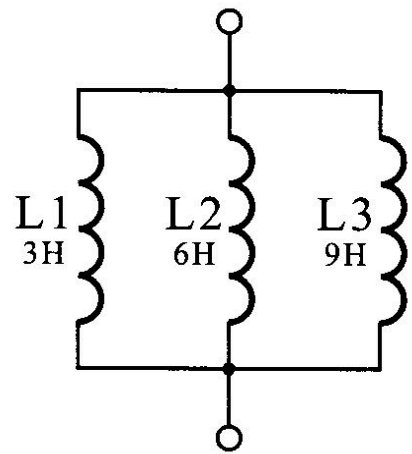
Histerezne izgube: del elektromagnetne energije, ki se porablja za "magnetno vztrajnost"

Vezava tuljav

$$L_{\text{skupna}} = L_1 + L_2 + \dots$$



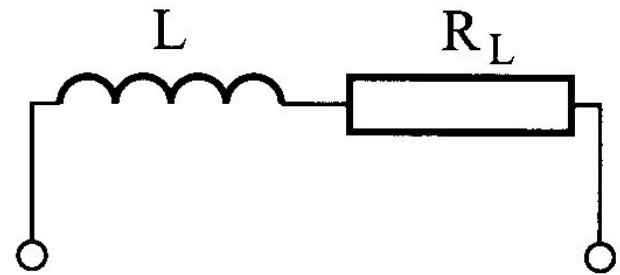
$$\frac{1}{L_{\text{skupna}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots$$



Realna tuljava

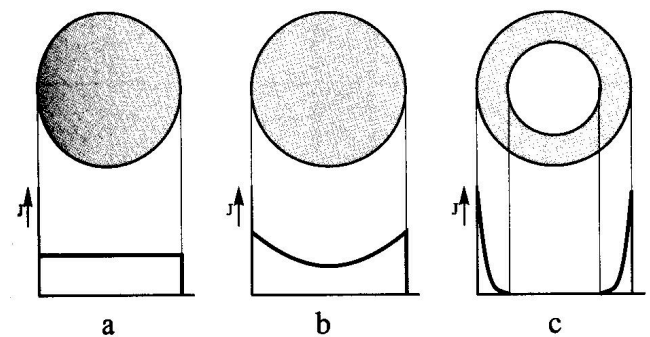
Induktivna reaktanca ali induktivna upornost:
$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$

Kvaliteta tuljave: $Q = \frac{X_L}{R_L}$



Skin efekt (kožni pojav): s frekvenco se povečuje upornost žice.

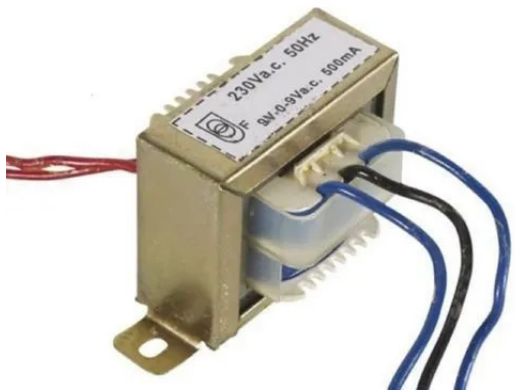
Pri višjih frekvencah tok teče predvsem po površini žice, ne po njeni notranjosti → manjši uporabni presek.

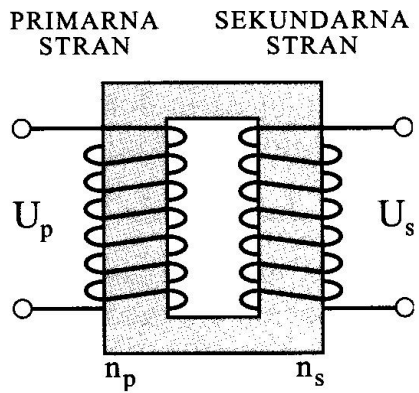


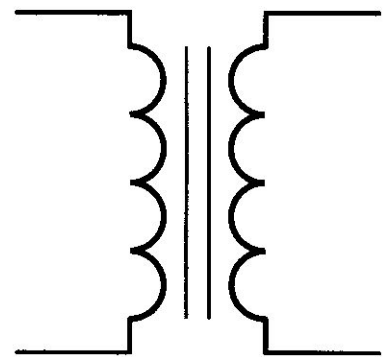
Transformator

Medsebojna induktivnost: magnetno polje ene tuljave povzroči inducirano napetost v drugi tuljavi

Sklopni faktor dveh tuljav je število, ki pove, kolikšen del magnetnega pretoka ene tuljave se sklene tudi skozi ovoje druge tuljave.
Teoretično možne vrednosti sklopnih faktorjev so med 0 in 1.



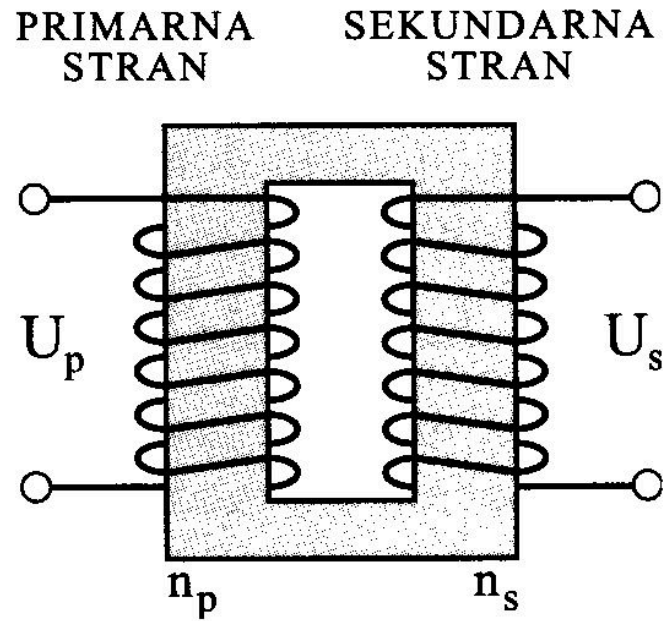




Izkoristek transformatorja:

$$P_s = \eta \cdot P_p$$

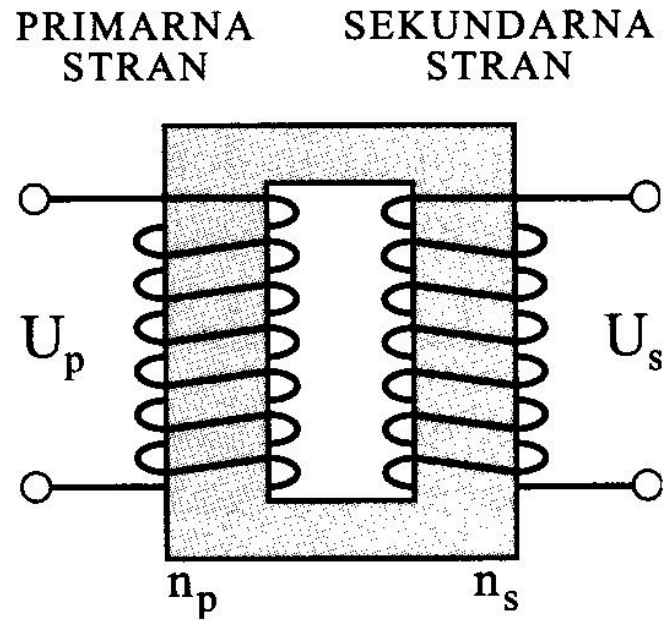
P_p – moč na primarju (W)
P_s – moč na sekundarju (W)
η – izkoristek transformatorja



Razmerja napetosti, toka in števila navojev:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{n_p}{n_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

U_p – napetost primarja (V)
U_s – napetost sekundarja (V)
I_p – tok primarja (A)
I_s – tok sekundarja (A)
n_p – število ovojev primarja
n_s – število ovojev sekundarja



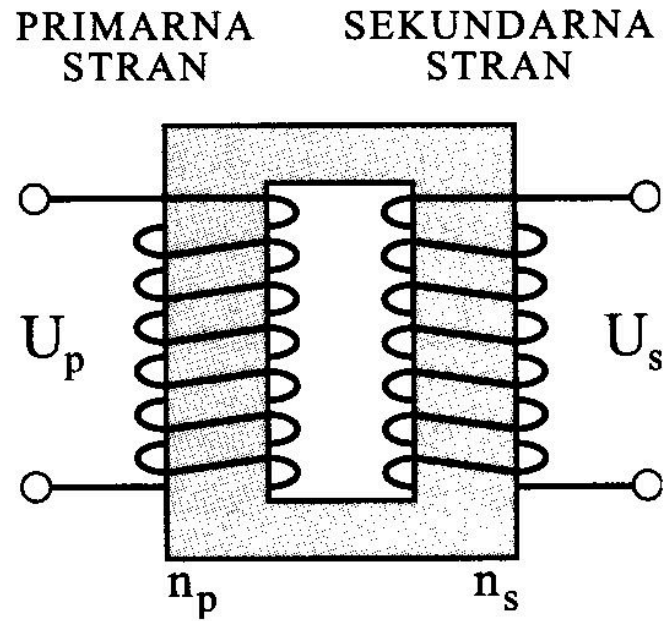
Primer

Izračunaj napetost in tok na sekundarju transformatorja, če je na primarju napetost 230 V in tok 2 A. Število ovojev na primarju je 1000, na sekundarju pa 100.

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{n_p}{n_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{1000}{100}$$

$$U_s = \frac{U_p}{10} = \frac{230\ V}{10} = 23\ V$$

$$I_s = I_p \cdot 10 = 2\ A \cdot 10 = 20\ A$$

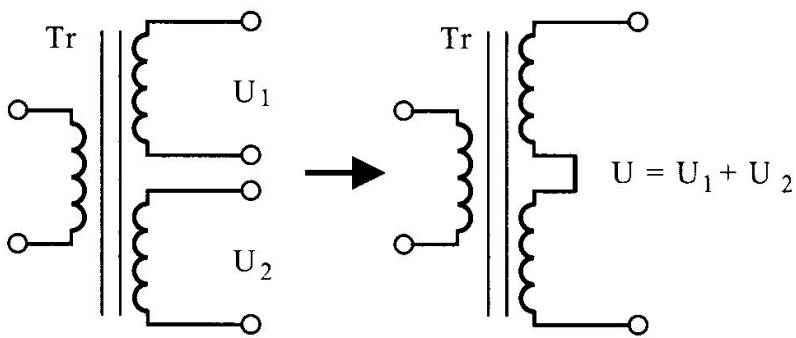


Uporaba transformatorjev

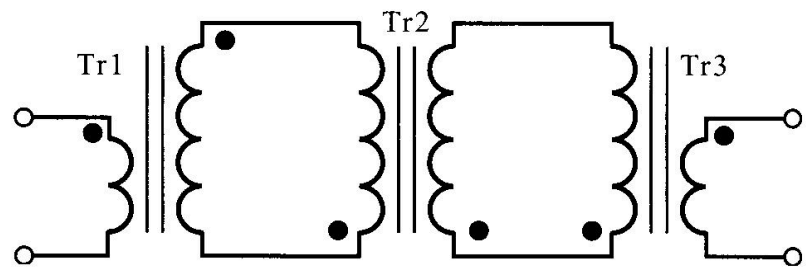
- izoliranje enega dela vezja od drugega (galvanska ločitev)
- dviganje ali nižanje napetosti (napajalniki)
- **impedančna transformacija oz. prilagoditev**

Vezave transformatorjev

Zaporedna vezava navitij



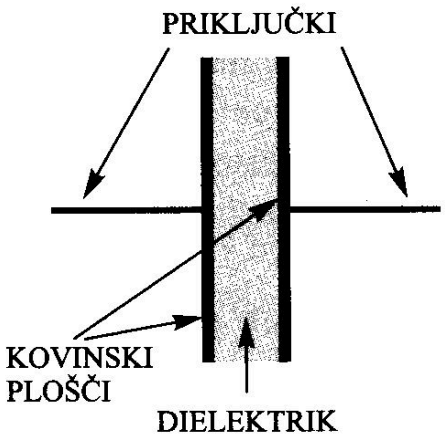
Kaskadna vezava

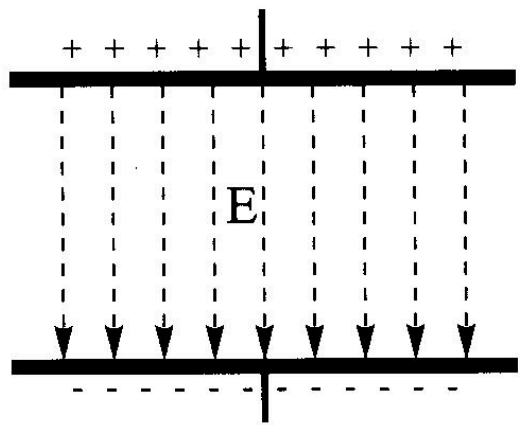


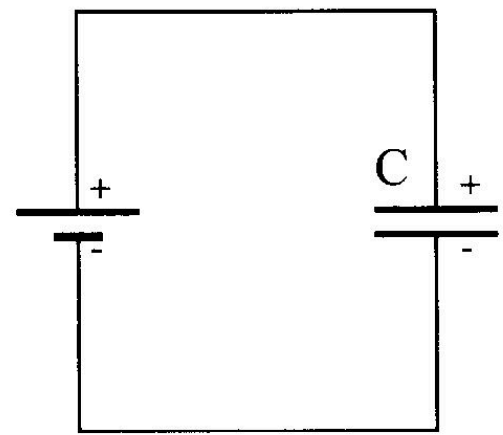
Kapacitivnost

Zmožnost **shranjevanja električne energije** v obliki **električnega naboja**, ki ustvari **električno polje**

Kapacitivnost: $C\ [F]$ *Farad*



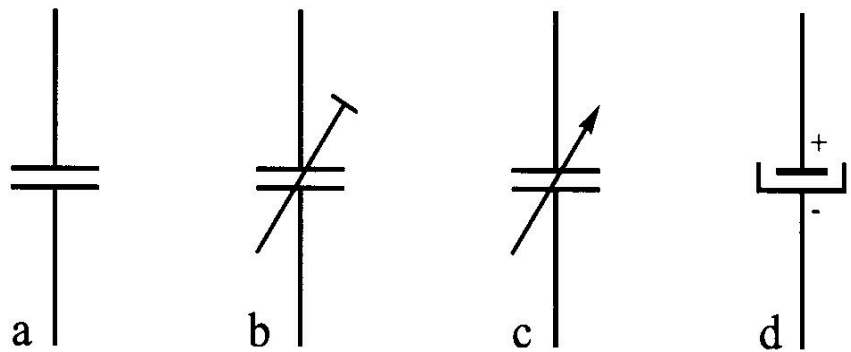




Kondenzatorji

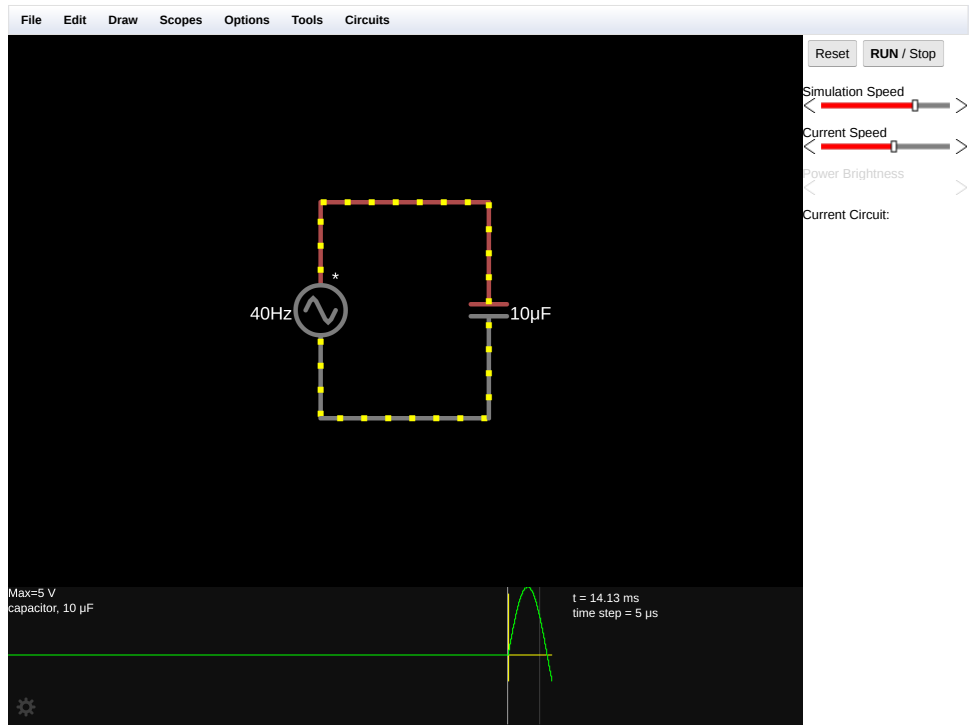
Razlaga kondenzatorja

a. stalni kondenzator
b. nastavljivi kondenzator
c. spremenljivi kondenzator
d. elektrolitski kondenzator





Pri idealnem kondenzatorju **tok fazno prehiteva napetost za 90°**



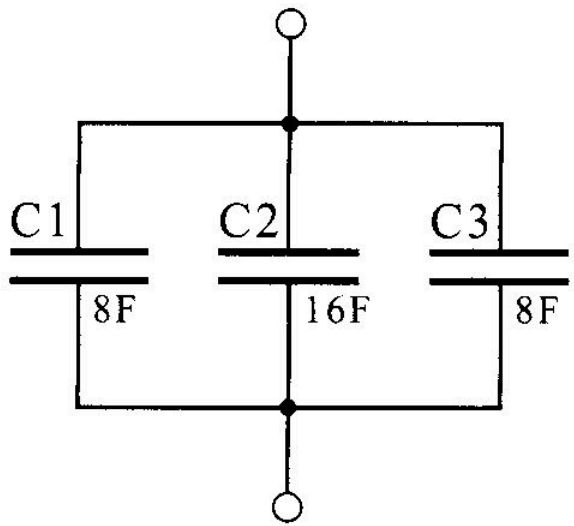
Realni kondenzatorji

Izgubni (prečni) **tok** kondenzatorja: tok, ki teče skozi kondenzator zaradi neidealnega dielektrika.

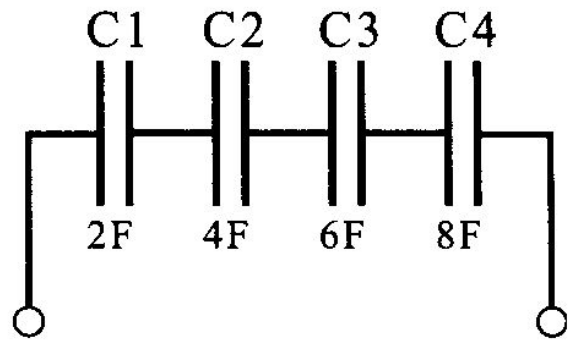
Temperaturna odvisnost kondenzatorja: vzrok je sprememba dielektrika, saj se mu spreminja dielektrična konstanta.

Vezave kondenzatorjev

$$C_{\text{skupna}} = C_1 + C_2 + \dots$$



$$\frac{1}{C_{\text{skupna}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$



Reaktanca

Upiranje izmeničnemu toku

V praktičnih vezjih se pojavijo kombinacije obeh:

Induktivna reaktanca: $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$

Kapacitivna reaktanca: $X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$

Zato raje govorimo o **reaktanci**, ki ima lahko **induktivni** ali **kapacitivni značaj**

Reaktanca: X $[\Omega]$ *ohm*

Vrednost reaktance se **spreminja glede na frekvenco**

Reaktančna bremena ne trošijo električne energije (jalova moč)

Velja ohmov zakon: $U = X \cdot I$

Impedanca

Vsota upornosti in reaktance

Vsa praktična vezja vsebujejo reaktančne in ohmske upornosti

Impedanca: $Z = R + jX\ [\Omega]$ *ohm*

$Z = R + jX_L$
→ impedanca upornosti R in reaktance induktivnega značaja

$Z = R - jX_C$
→ impedanca upornosti R in reaktance kapacitivnega značaja

Velja ohmov zakon: $U = Z \cdot I$ (bolj kompleksno zaradi imaginarne komponente)

Resonanca

Obstaja frekvenca kjer se **vrednost kapacitivne reaktance izenači induktivni reaktanci** → se izničita

$$X_C = X_L$$

$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Te frekvenci pravimo **resonančna frekvenca**, pojavu pa **resonanca**

Impedanca pri resonančni frekvenci: $Z = R \pm j0 = R$

Filtri

Izločanje določenih frekvenc

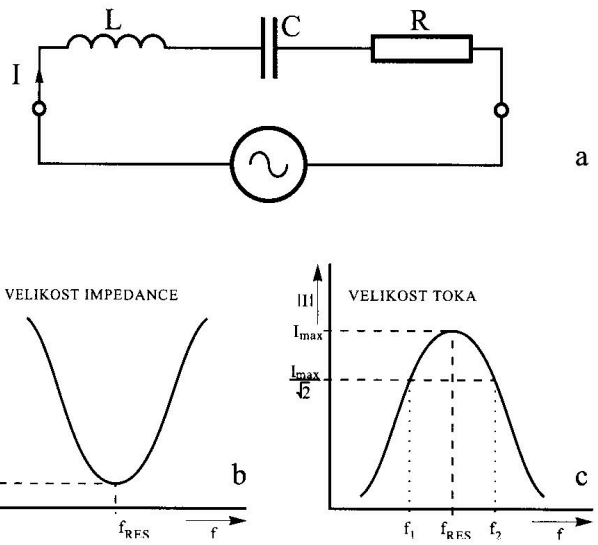
Vezja, ki prepuščajo izmenične tokove določenih frekvenc, medtem ko tokove drugih frekvenc zelo oslabijo ali pa jih sploh ne prepuščajo

Sestavljeni iz pasivnih elementov (kondenzatorjev, tuljav in uporov)

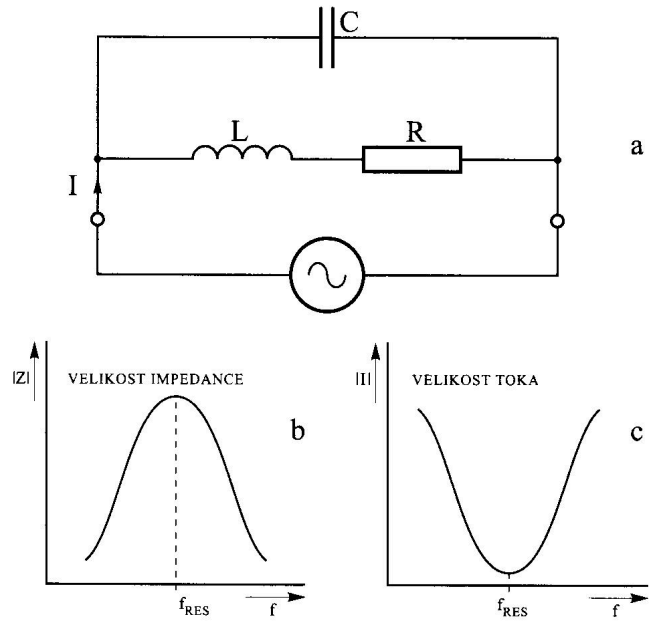
Tuljava dobro prepušča nizke frekvence, kondenzator pa visoke

Zaporedni in vzporedni nihajni krog

Zaporedni nihajni krog
v resonanci prepušča tok



Vzporedni nihajni krog
v resonanci ne prepušča toka



Zaporedni nihajni krog

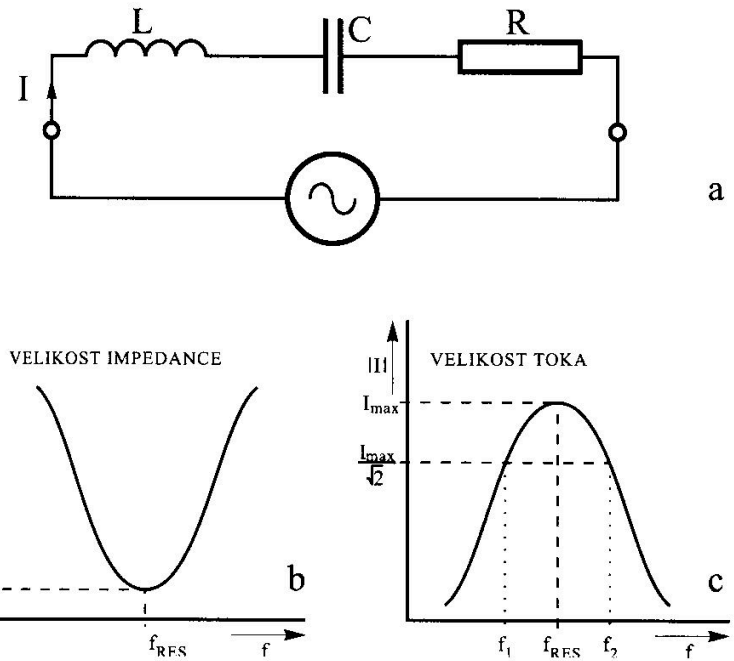
Resonančna frekvenca: $f_{RES} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Kvaliteta nihajnega kroga: $Q = \frac{X_L}{R}$ ali $Q = \frac{X_C}{R}$

Pasovna širina (bandwidth): $B = f_2 - f_1$
f_1 in f_2 odčitamo kjer je vrednost toka $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}71$ oz. $-3dB$

$$Q = \frac{f_{RES}}{B}$$

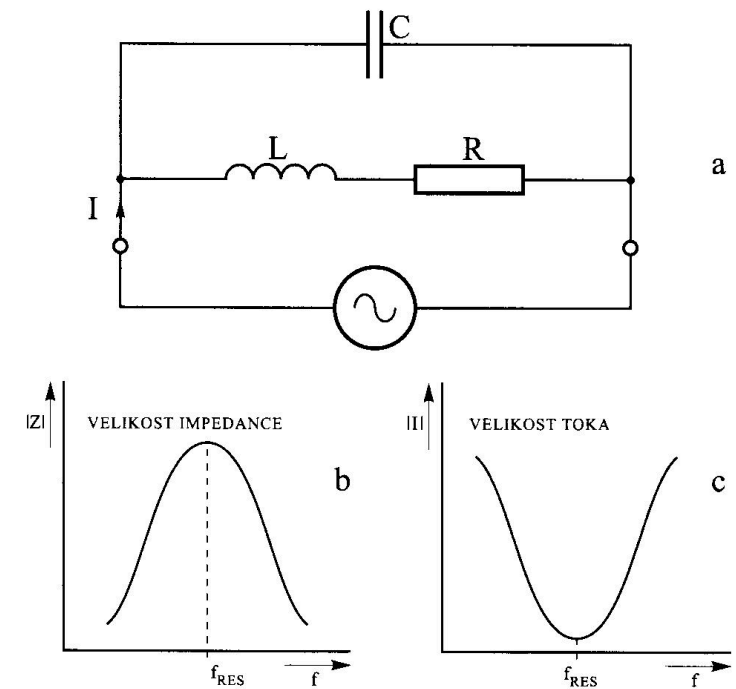
Napetost na tuljavi in kondenzatorju v zaporednem nihajnem krogu sta pri resonančni frekvenci **Q-krat večji od napetosti izvora** ampak fazno **zamaknjeni za 180°**



Vzporedni nihajni krog

Enačbe za resonančno frekvenco, kvaliteto in pasovno širino so enake kot pri zaporednem nihajnem krogu

Velikost toka skozi vezje je pri resonančni frekvenci majhna, v **tuljavi in kondenzatorju** pa je lahko **tok Q-krat večji**



Vrste filtrov

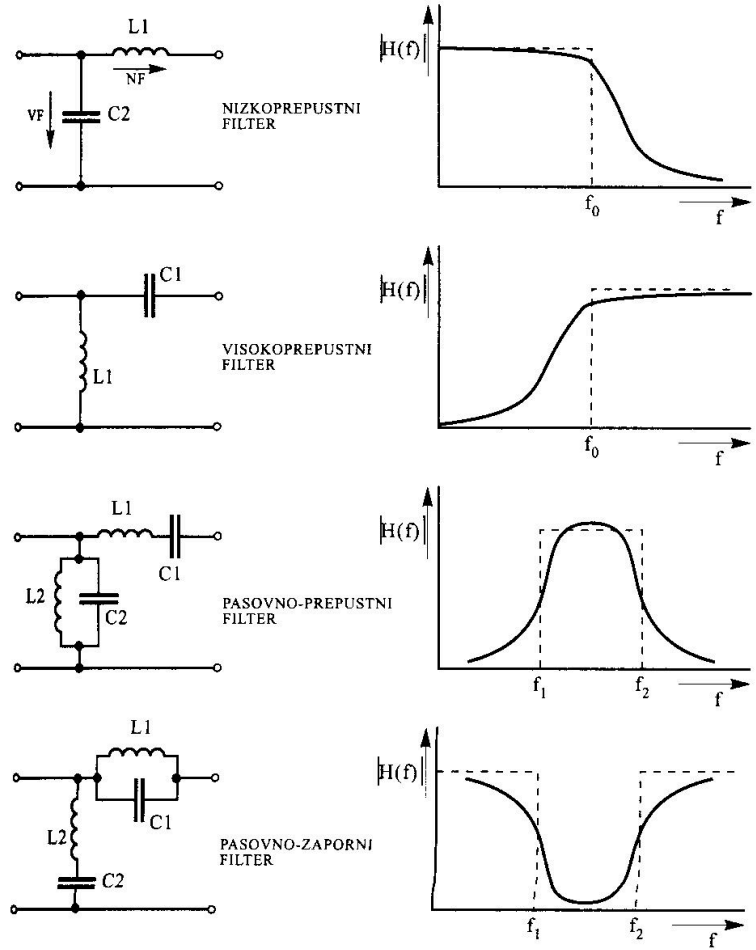
Filtre delimo po različnih merilih, npr. frekvenčni pas:

- **Nizkoprepustni** filter
- **Visokoprepustni** filter
- **Pasovnoprepustni** filter
- **Pasovnozaporni** filter

Amplitudni frekvenčni odziv: pove katere frekvence filter prepušča in katere slabi

Prenosna funkcija: pove vpliv filtra na amplitudo in fazo vhodnega signala

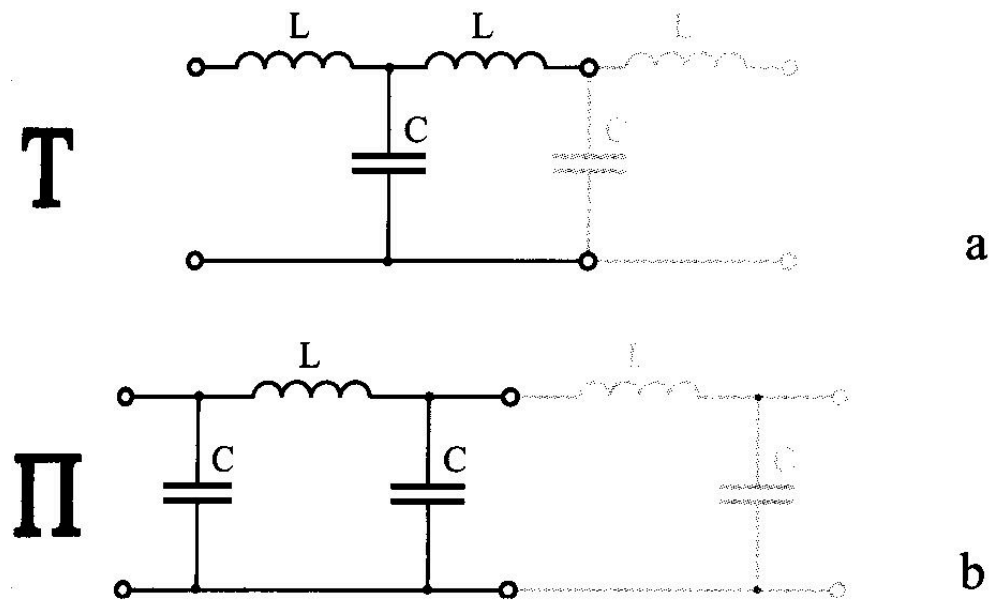
Vsak filter povzroči **fazni zamik**



T in Π (Pi) filtri

Red filtra: število elementov v vezju

Višji kot je red filtra, bolj se amplitudni odziv približuje idealnemu



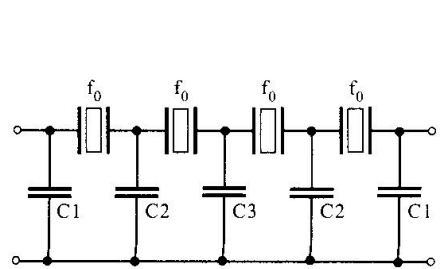
Kristalni filter

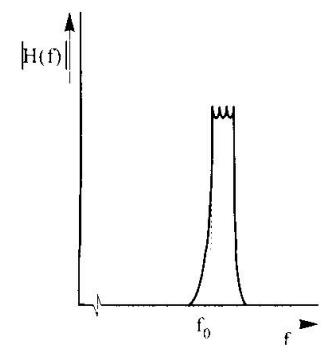
Zelo ozki pasovnoprepustni ali pasovnozaporni filtri z **zelo veliko kvaliteto Q**

Overtonska frekvenca: nihanje ploščice kremenovega kristala na mnogokratniku osnovne frekvence kristala

Overtonski oscilator: kristal lahko niha le na overtonskih frekvencah, ki so lihi mnogokratniki osnovne frekvence







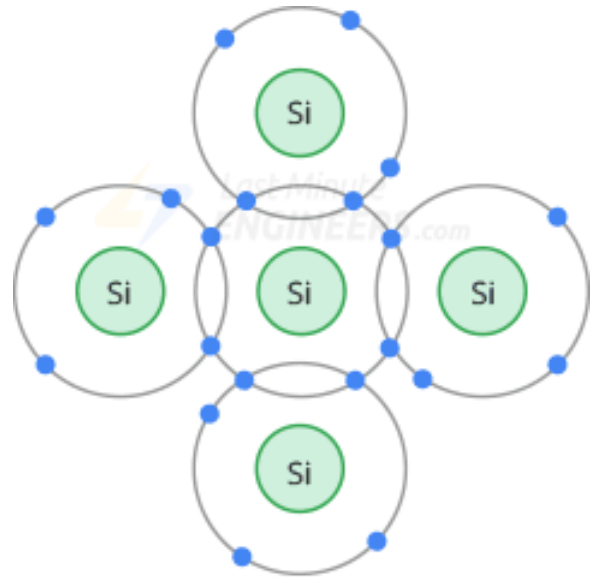
Polprevodniki

Silicij / germanij

Štiri elektroni v zunanji ovojnici

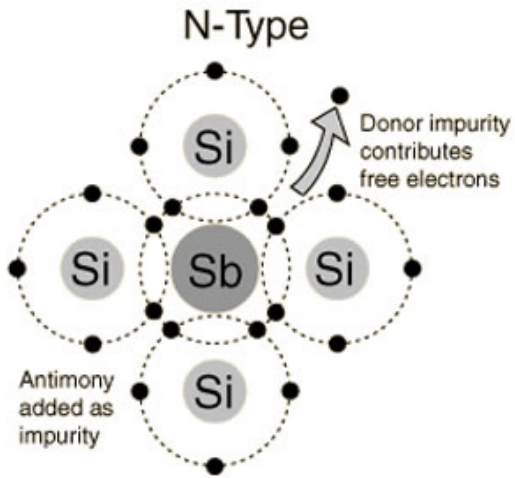
Čisti polprevodnik, **ne prevaja** električnega **toka** (kovalentna vez)

Polprevodnikom **dodajamo primesi** (Dopiranje)



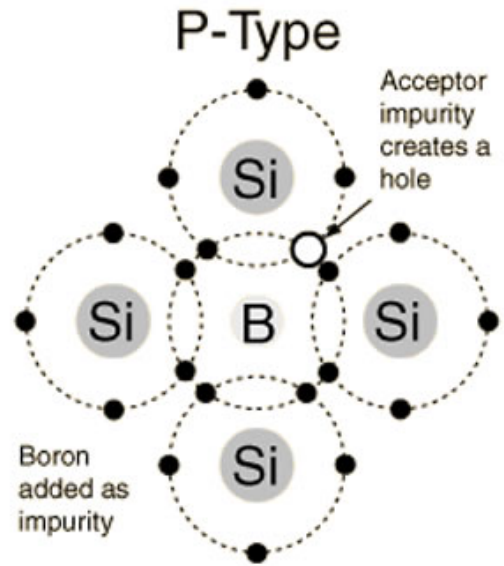
N tip polprevodnika

Donorji: petvalentne primesi, kot so fosfor, arzen, antimon, ki povečajo v polprevodniku število prostih elektronov



P tip polprevodnika

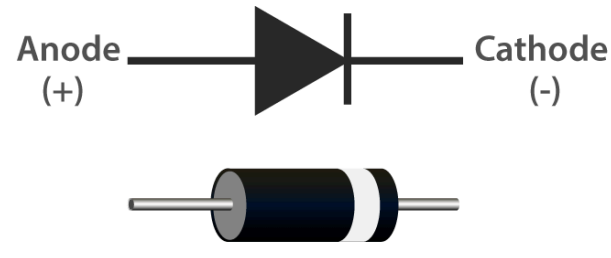
Akceptorji: trivalentne primesi, kot so, bor, aluminij, galij, indij, ki ustvarijo gibljive vrzeli

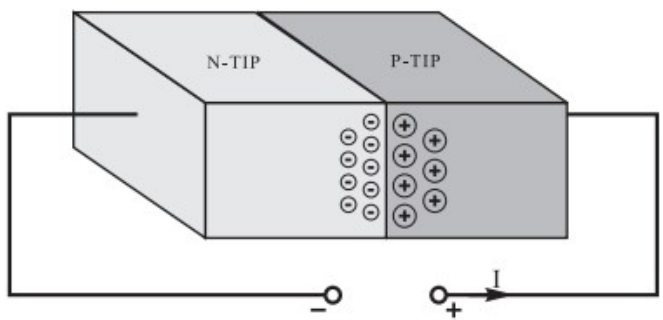


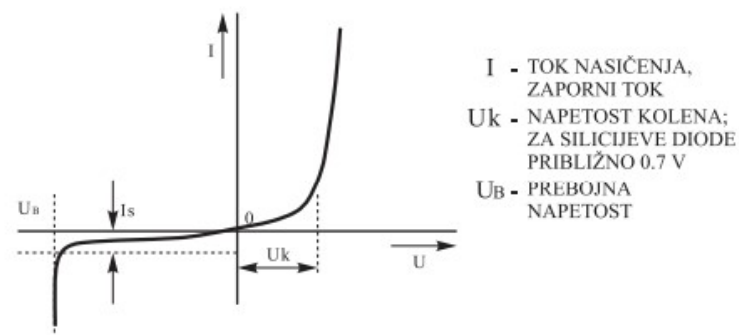
Dioda

PN spoj *brez upornosti* **prevaja tok** le **v eno smer**

Dioda v zaporni smeri prevaja majhen tok, ki ga imenujemo **zaporni tok ali tok nasičenja**

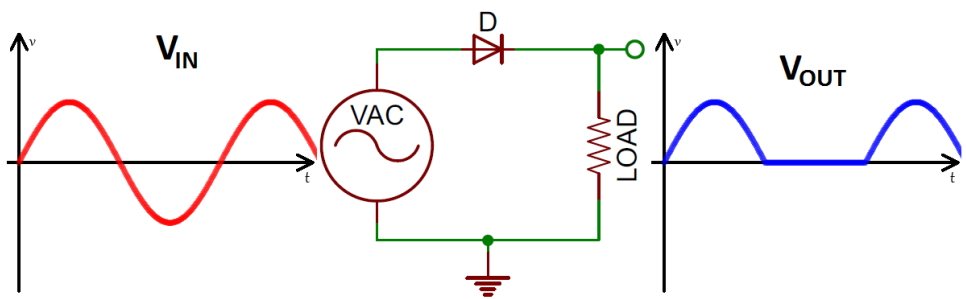




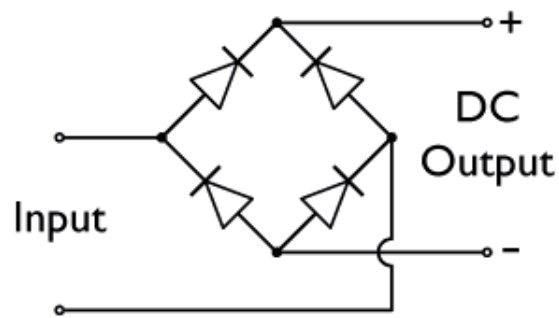


Uporaba diode v elektronskih vezjih

- Usmerniki
- Frekvenčni množilniki in mešalniki
- Dioda kot stikalo
- Dvosignalni krmilniki
- Stabilizatorji napetosti

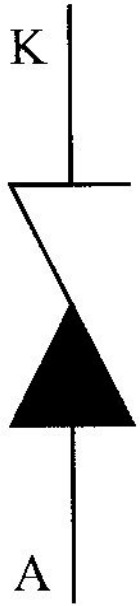


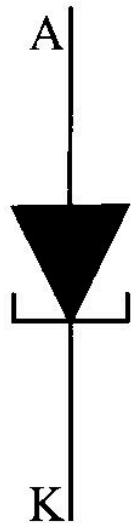
Polvalni usmernik



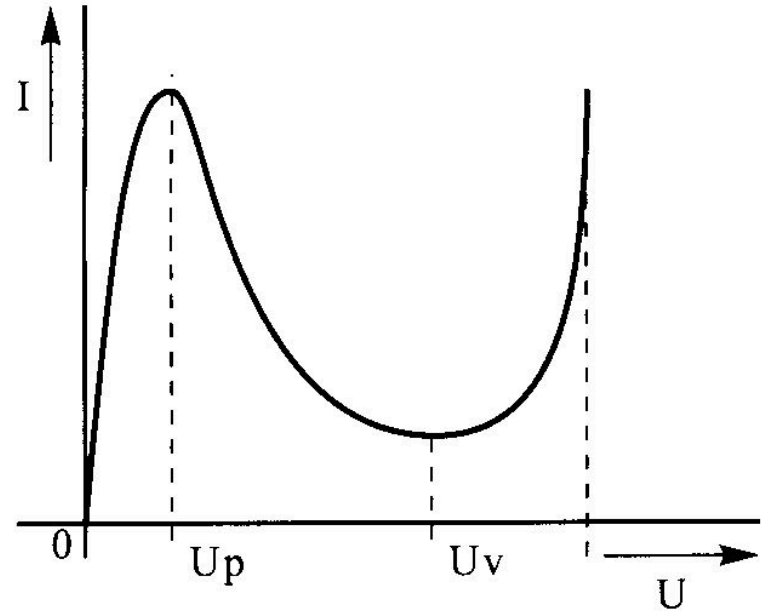
Polnovalni usmernik

Posebne vrste diod



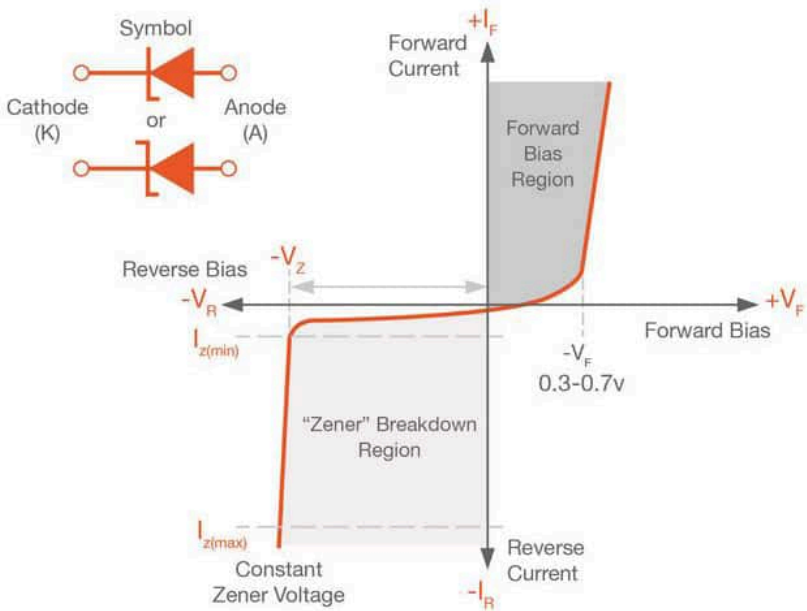


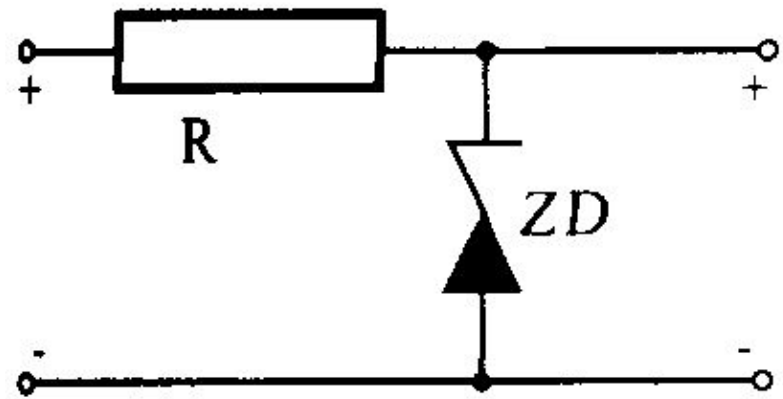
Zener dioda
Kot stabilizator napetosti



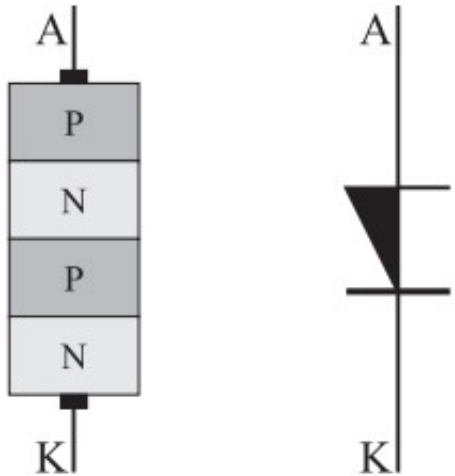
Tunelska dioda
Uporabljamo za ojačevalnike in oscilatorje

Uporaba zener diode

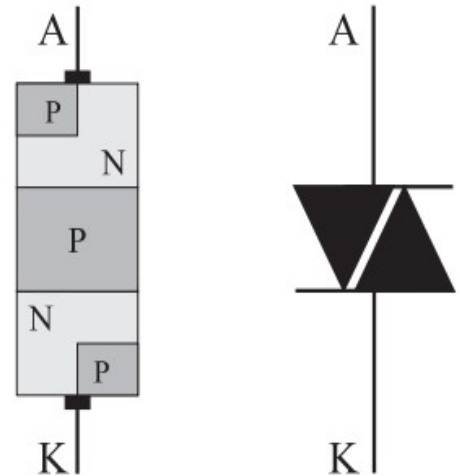




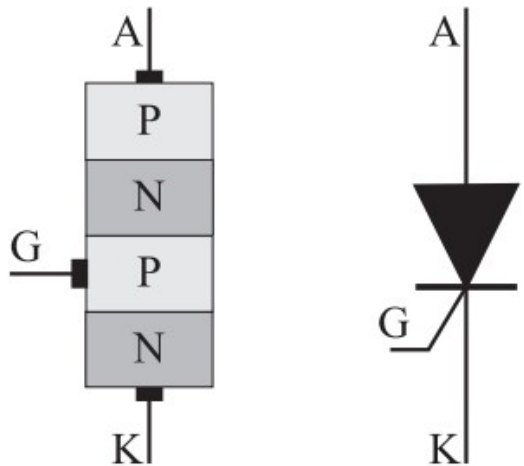
Zener diodo priključimo v vezju zaporno
Zaščita pred previsoko napetostjo



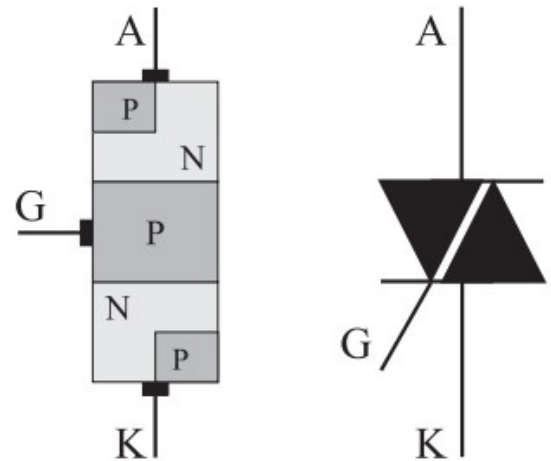
Štirislojna dioda (PNPN)
Preklopni element: prevaja, ko napetost preseže prebojno
(Shockleyeva dioda)



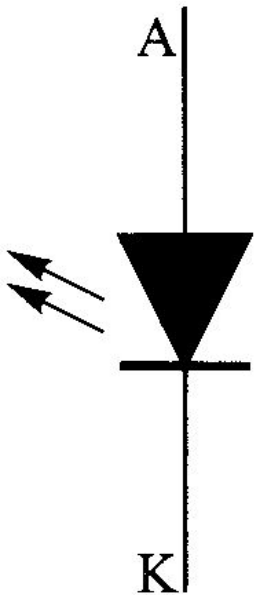
Bilateralno diodno stikalo (diak)
Začne delovati po preboju
prebojne napetosti



Tiristor
Deluje kot stikalo



Triak
Dvosmerni tiristor

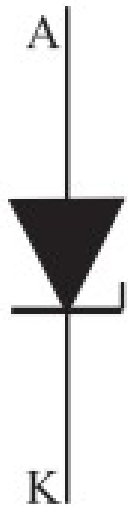




Svetleča dioda (LED)
Pretvarja el. energijo v svetlobo



Fotodioda
Meritev svetlobe
(zaporni tok je odvisen od osvetlitve)



Schottky dioda
Izredno hitro delovanje, majhen padec napetosti



Varaktorska (varicap) dioda
Dioda s kapacitivnostjo, odvisno od zaporne napetosti

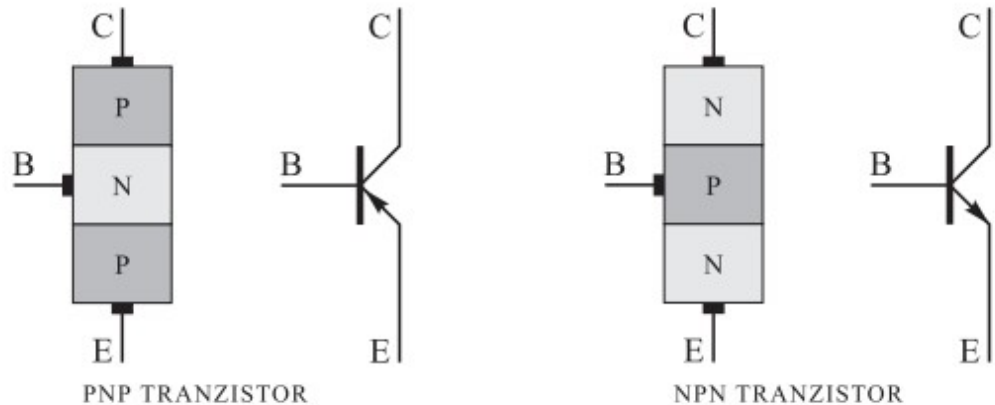
Tranzistor (bipolarni)

"Transfer resistor" → transistor

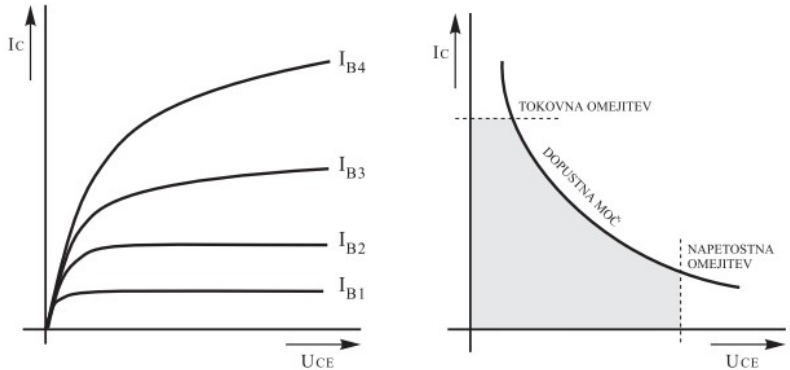
BJT – Bipolar Junction Transistor

Priključki:

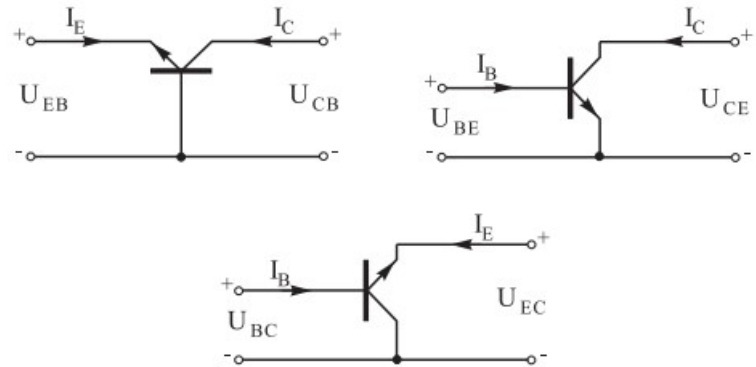
- Baza (**Base**)
- Kolektor (**Collector**)
- Emitor (**Emitter**)



Tok med kolektorjem in emitorjem krmilimo z (mnogo manjšim) tokom med bazo in emitorjem. Pri NPN tranzistorju tok teče iz kolektorja v emitor, pri PNP obratno.



$\frac{I_C}{U_{CE}}$ in močnostna karakteristika tranzistorja

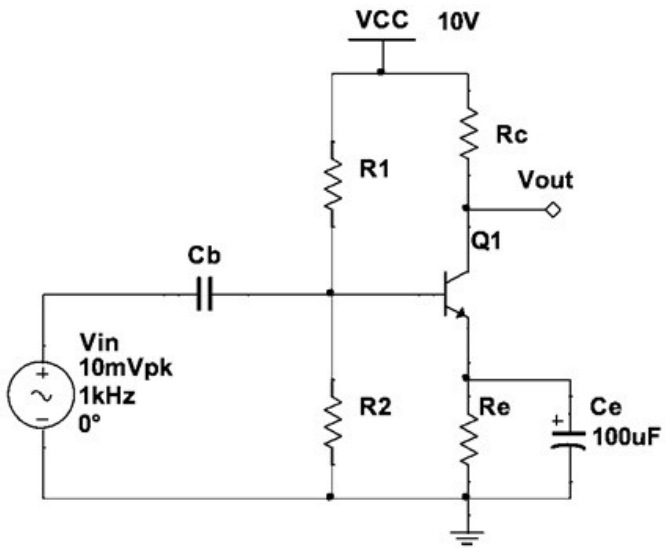


Možne orientacije tranzistorja

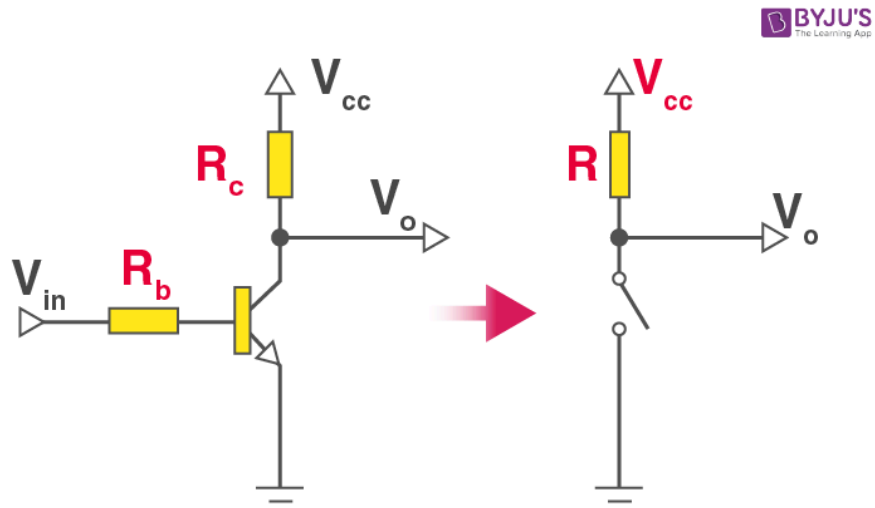
Tokovno ojačenje tranzistorja s skupno bazo: $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$

Tokovno ojačenje tranzistorja s skupnim emitorjem: $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

Uporaba tranzistorja



Tranzistor kot ojačevalnik



Tranzistor kot stikalo

Tranzistor (unipolarni)

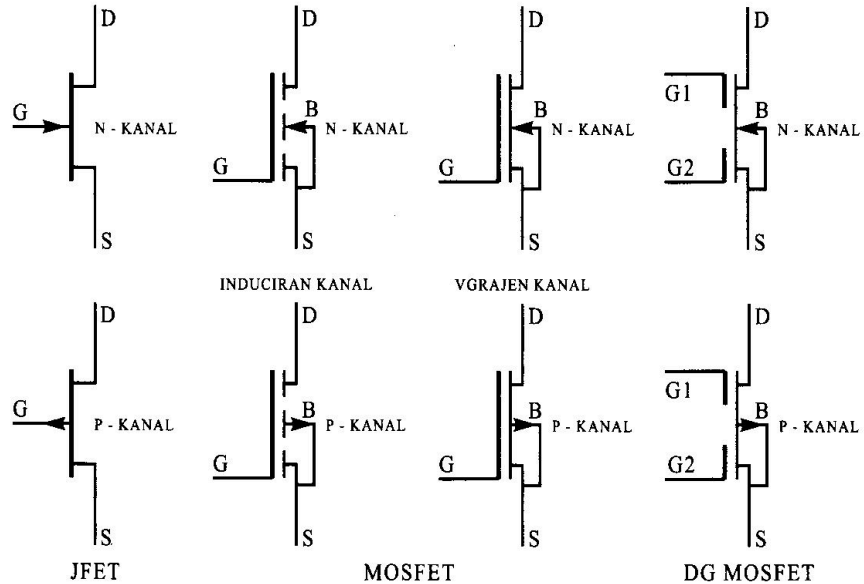
FET – Field Effect Transistor

Priključki tranzistorja:

- Ponor (**Drain**)
- krmilna elektroda (**Gate**)
- Izvor (**Source**)

Vrste unipolarnih tranzistorjev:

- s PN spojem ali spojni FET (**JFET**)
- z izolirano krmilno elektrodo (IGFET, **MOSFET**)
- Dualgate MOSFET (**DG MOSFET**)



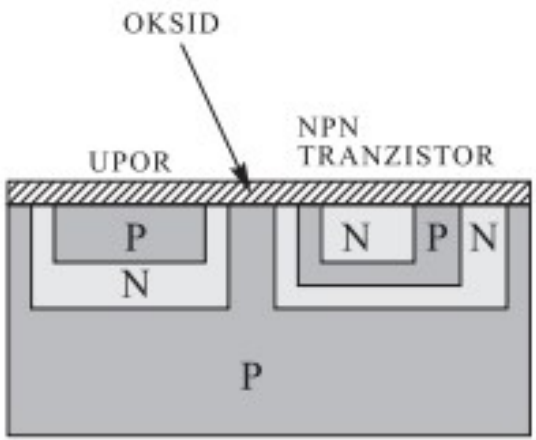
Razlike med BJT in FET

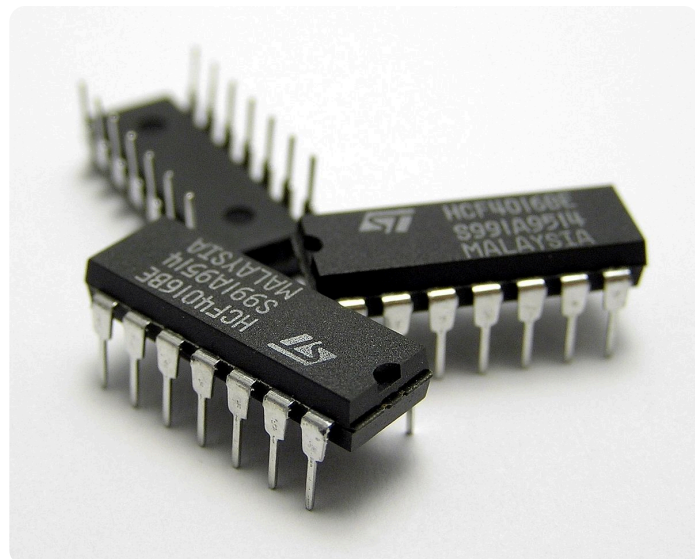
Bipolarni tranzistor (BJT)	Unipolarni tranzistor (FET)
krmiljen **s tokom** (baza)	krmiljen **z napetostjo** (vrata)
nizka vhodna upornost	zelo visoka vhodna upornost (ne obremenjuje vira)
obe vrsti nosilcev naboja (elektroni in vrzeli)	samo ena vrsta nosilcev naboja
manjši šum pri nizkih frekvencah	manjši šum na VF, občutljiv na statično elektriko

Integrirana vezja

Najbolj pogosto uporabljeni elementi v elektronskih vezjih

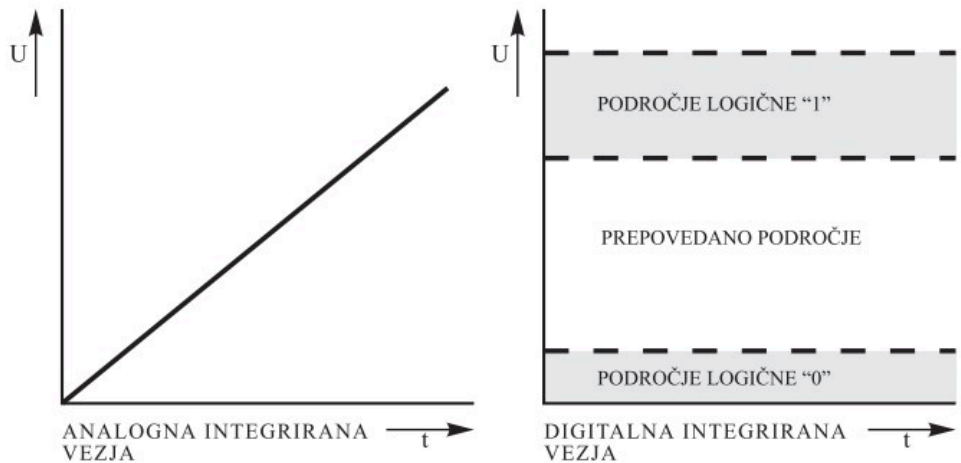
Skupek elementov (diode, tranzistorji, ...) skrčimo na čim manjši prostor





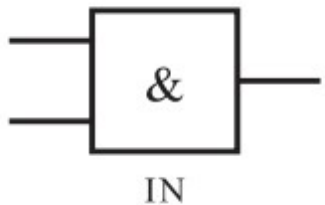
Digitalna integrirana vezja

Digitalna integrirana vezja poznajo le dve logični stanji:
0 in **1** oz.
izklopljeno in **vklopljeno** oz.
nizka in **visoka** napetost



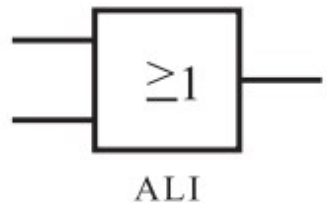
Osnovna logična vezja

Vrata IN (AND)



A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Vrata ALI (OR)



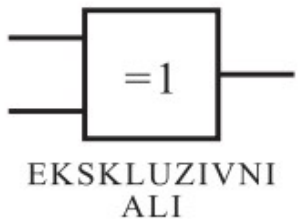
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Vrata NE (NOT)



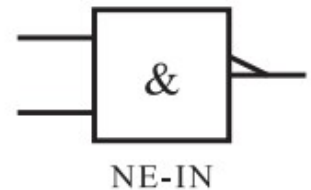
A	Y
0	1
1	0

Vrata ekskluzivni ALI (XOR)



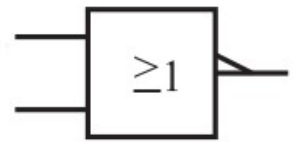
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Vrata NE-IN (NAND)



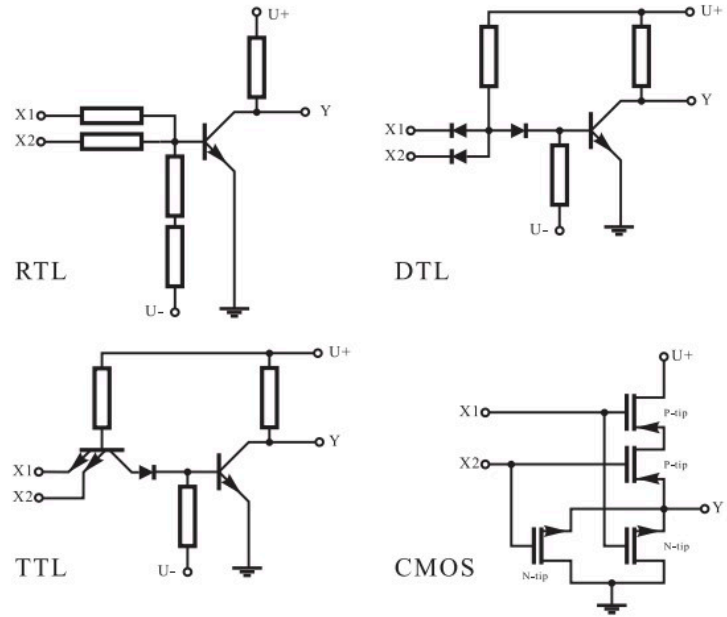
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Vrata NE-ALI (NOR)



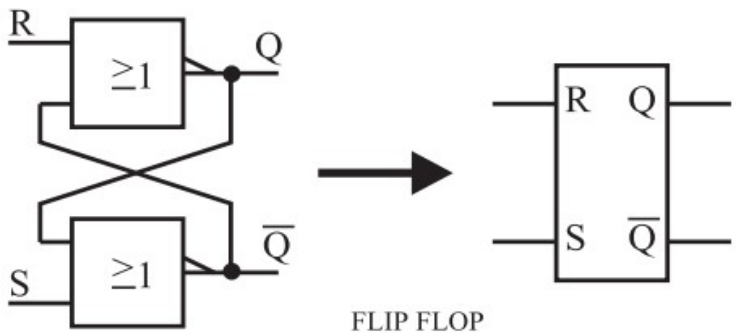
NE-ALI
(NOR)

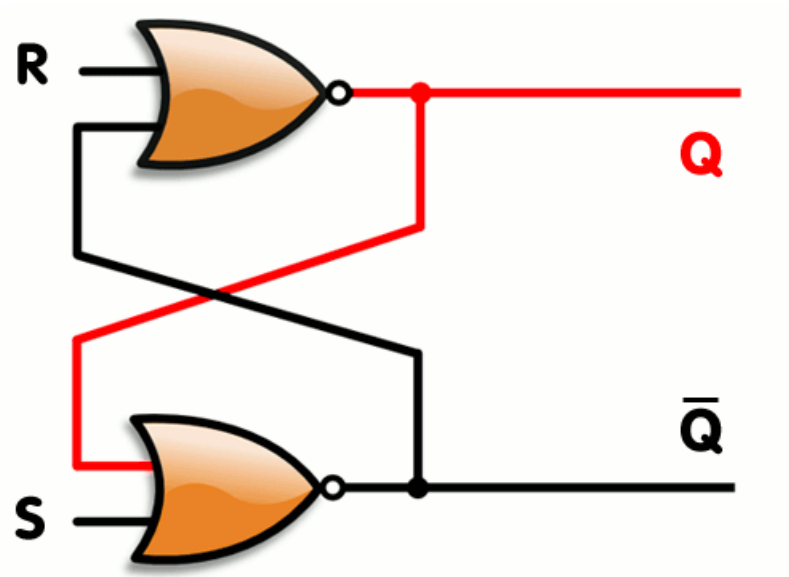
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



Najbolj razširjena so vrata **NAND in NOR** zaradi njune enostavnosti in cenovne ugodnosti
Univerzalna vrata: Druga vrata (NOT, AND, OR, ...) lahko sestavimo iz NAND in NOR

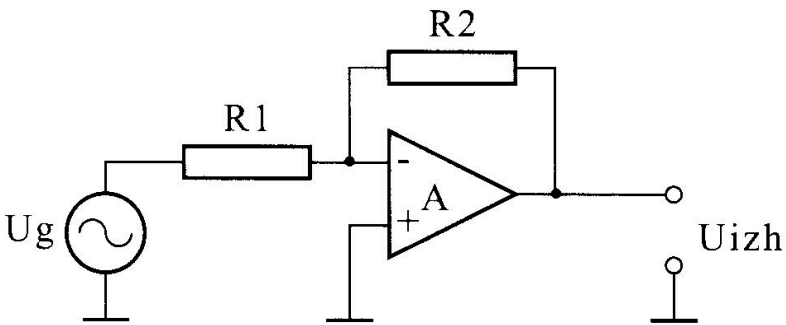
Flip flop



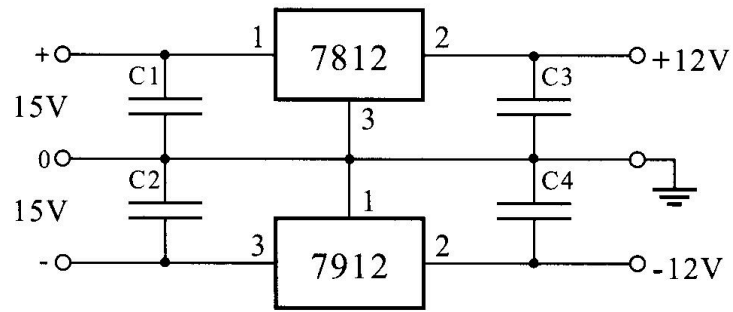


Analogna integrirana vezja

Pri analognih integriranih vezjih **izhodni signal zvezno sledi spremembi vhodnega signala**



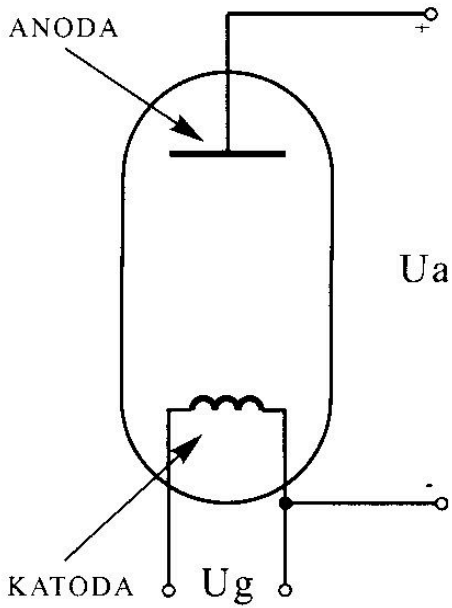
Operacijski ojačevalnik

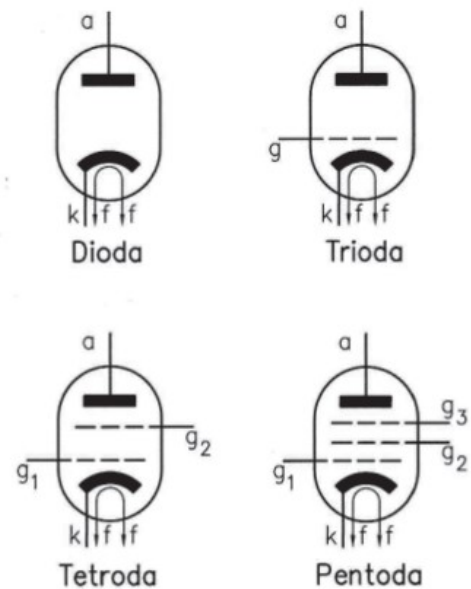


Stabilizirani napajalnik za simetrično napetost

Elektronske cevi (elektronka)

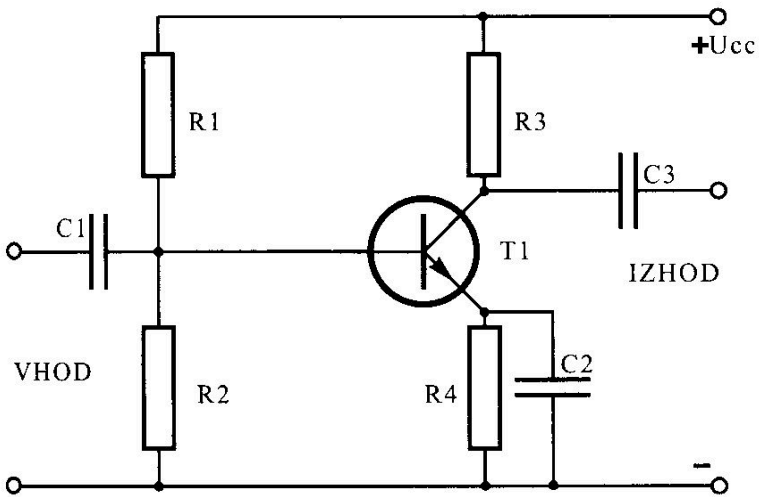
Kljub silnemu napredku tehnologije na področju tranzistorjev elektronske cevi še niso izgubile popolne veljave v **končnih stopnjah močnostnih ojačevalnikov**



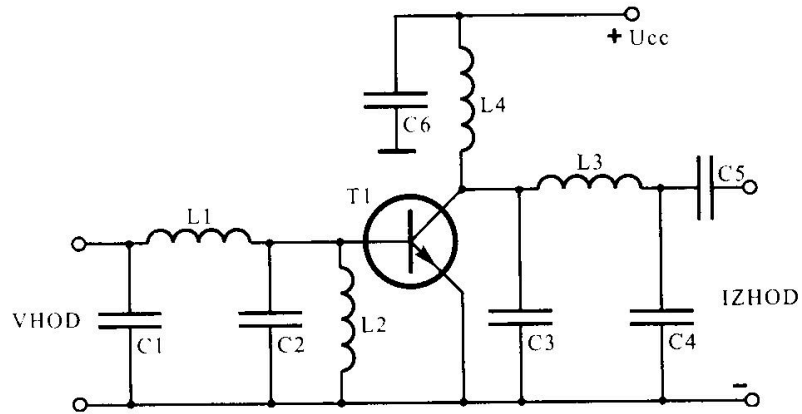


NF in VF ojačevalnik

Preveliko **segrevanje** lahko privede do **uničenja ojačevalnika**, zato je potrebno poskrbeti za **primerno hlajenje**



Načelna shema NF ojačevalnika (zvok)



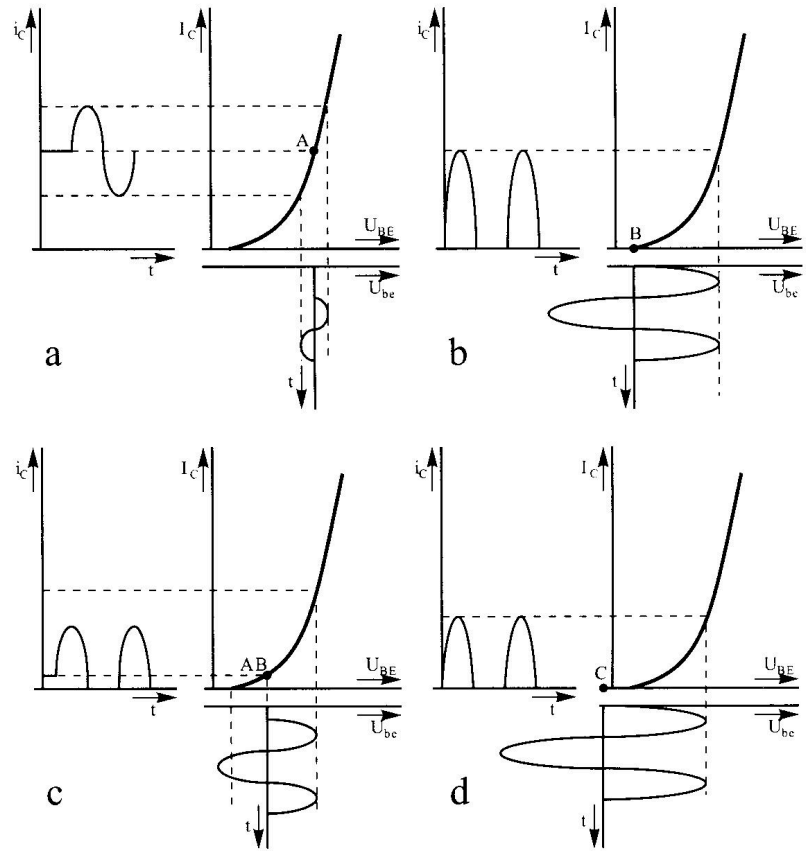
Načelna shema VF ojačevalnika (radijski signali)

Razred delovanja ojačevalnikov

Nastavitev delovne točke določa kvaliteto ojačevalnika, predvsem glede **linearnosti**, pa tudi glede ojačenja toka A_I, napetosti A_U in **izkoristka** η

Glede na **postavitev delovne točke ločimo**:

- Razred A
- Razred B
- Razred AB
- Razred C



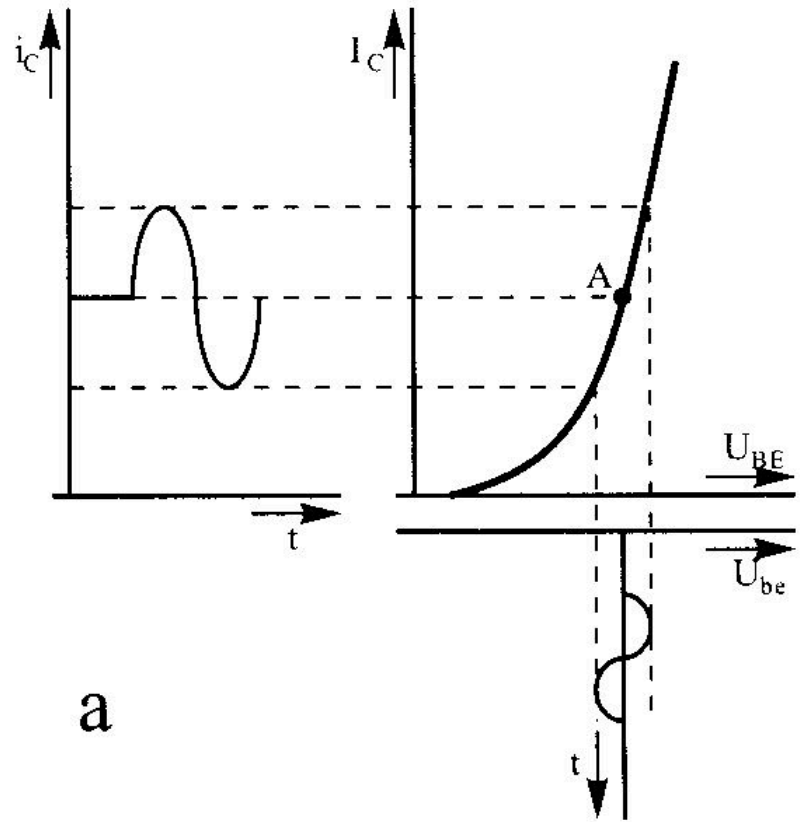
Razred A

Delovna točka: se nahaja v linearnem delu $\frac{I_C}{U_{BE}}$ karakteristike, zato teče skozi tranzistor enosmerni kolektorski tok, ne glede na prisotnost vhodnega signala

Izkoristek: **zelo majhen** (30%), majhna izhodna moč

Linearnost: **popačenje najmanjše**, linearnost največja

Uporaba: v VF tehniki za SSB ojačevalce, QPSK, QAM ...



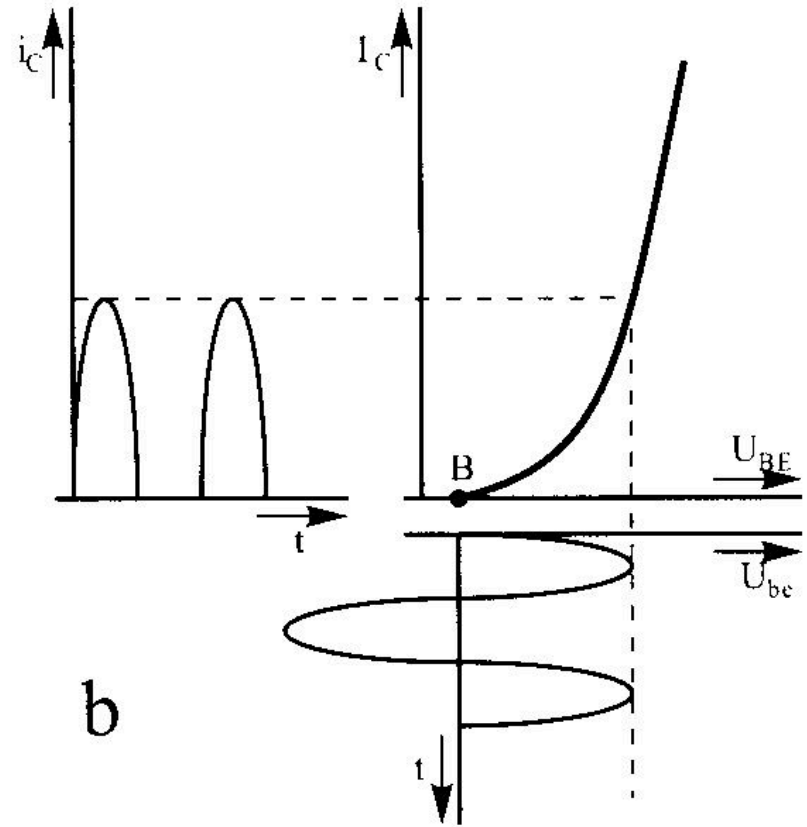
Razred B

Delovna točka: se nahaja v spodnjem delu $\frac{I_C}{U_{BE}}$ karakteristike običajno v točki, kjer preneha teči kolektorski tok, ko ni na vhodu signala

Izkoristek: **dosti večji** kot v razredu A (65%), prav tako izhodna moč

Linearnost: **veliko popačenja**

Uporaba: v ojačevalnikih moči



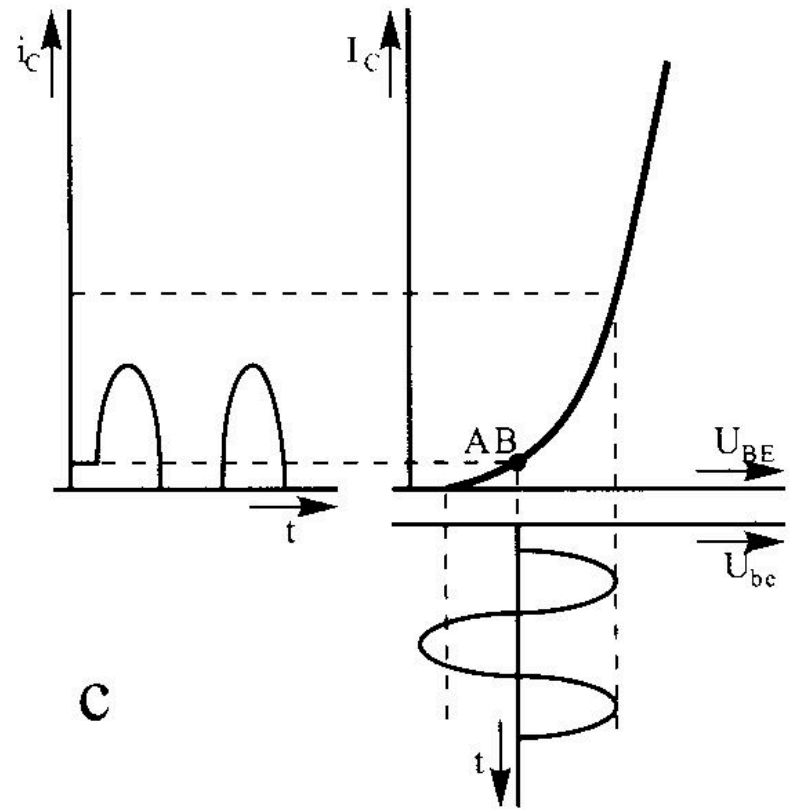
Razred AB

Delovna točka: zaradi zakrivljenosti karakteristike $\frac{I_C}{U_{BE}}$ v njenem spodnjem delu, se popačenju ne moremo izogniti, zato v AB razredu delovno točko postavimo v vmesni položaj

Izkoristek: **med razredoma A in B** (50-60%)

Linearnost: **boljša kot B**, popačenje drastično zmanjša

Uporaba: ojačevanje napetosti in tudi moči



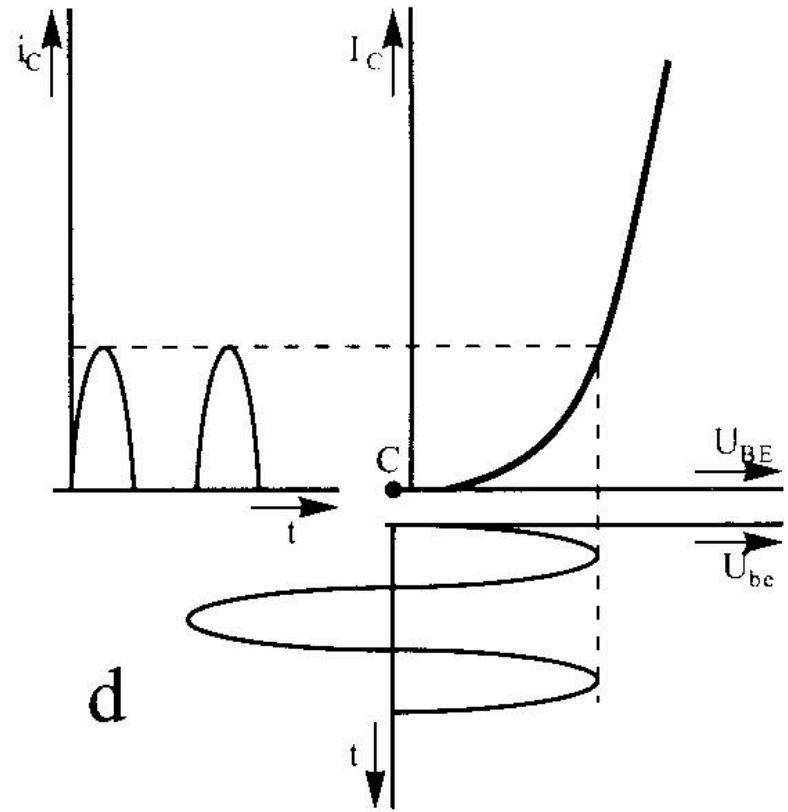
Razred C

Delovna točka: se nahaja v zapornem področju tranzistorja

Izkoristek: **najboljši**, tok skozi tranzistor teče samo v vrhovih period vhodnega signala (80%)

Linearnost: **zelo slaba**, popačenja največja

Uporaba: primeren za signale kjer se ne spreminja amplituda (**CW**, **FM** in FSK), predvsem v VF tehniki, v NF vezjih ni uporaben



Razred D

"Digitalen" način delovanja (PWM)

Zelo dober izkoristek

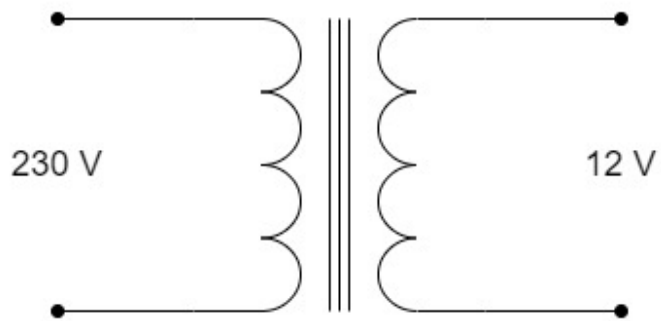
Linearnost / popačenje ni pomembno

Napajalnik – usmernik

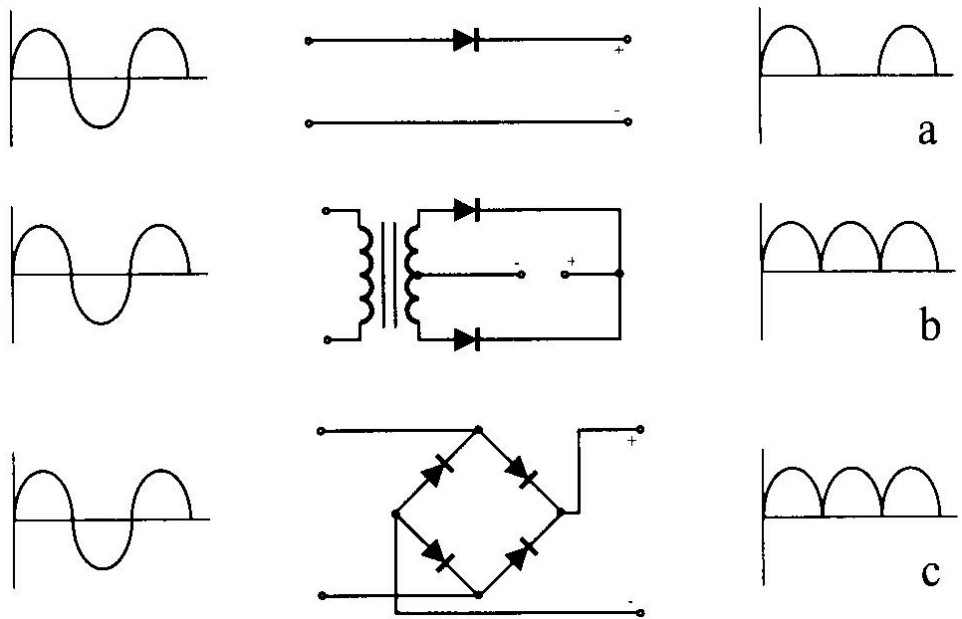
Imamo 230V izmenični vir napajanja, želimo pa 12V enosmerni tok

Napetost znižamo

Izmenično napetost znamo znižati z uporabo transformatorja

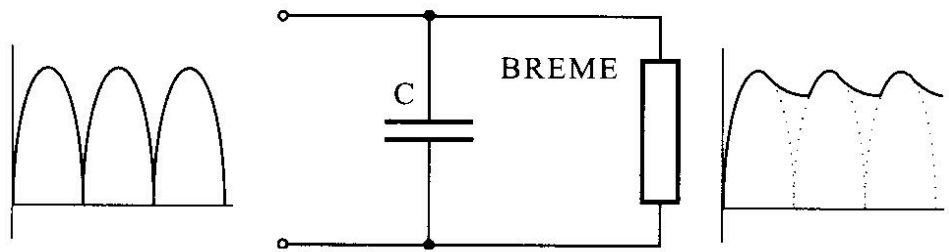


Usmernik

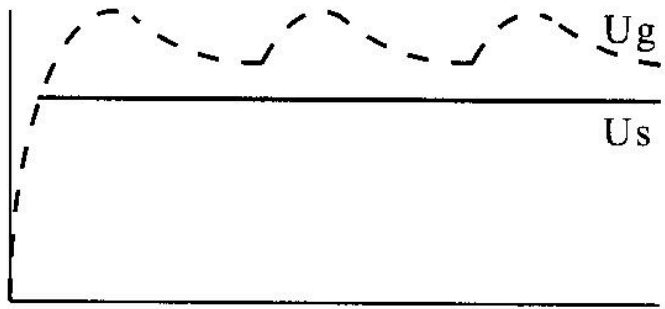


Polvalno in polnovalno usmerjanje

Gladilnik

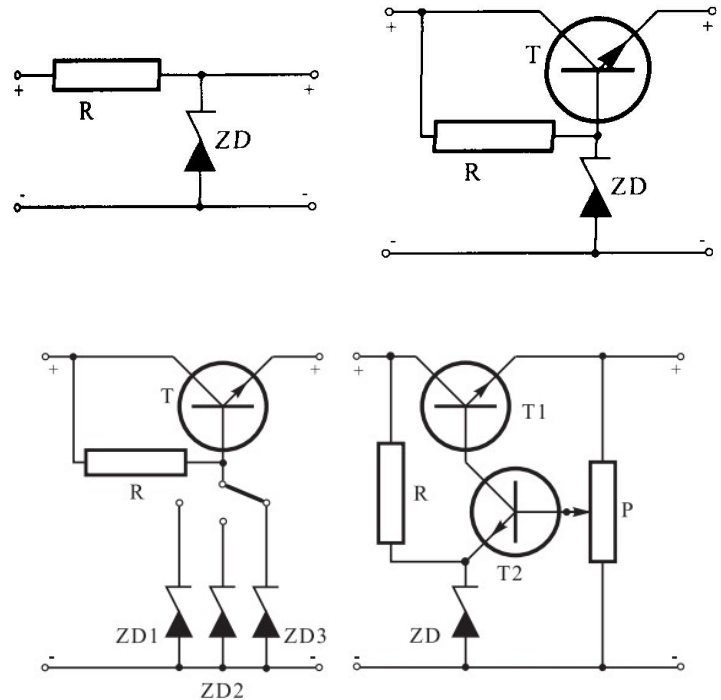


Stabilizator



Ug - GLAJENA NAPETOST
Us - STABILIZIRANA NAPETOST

Glajena in stabilizirana napetost

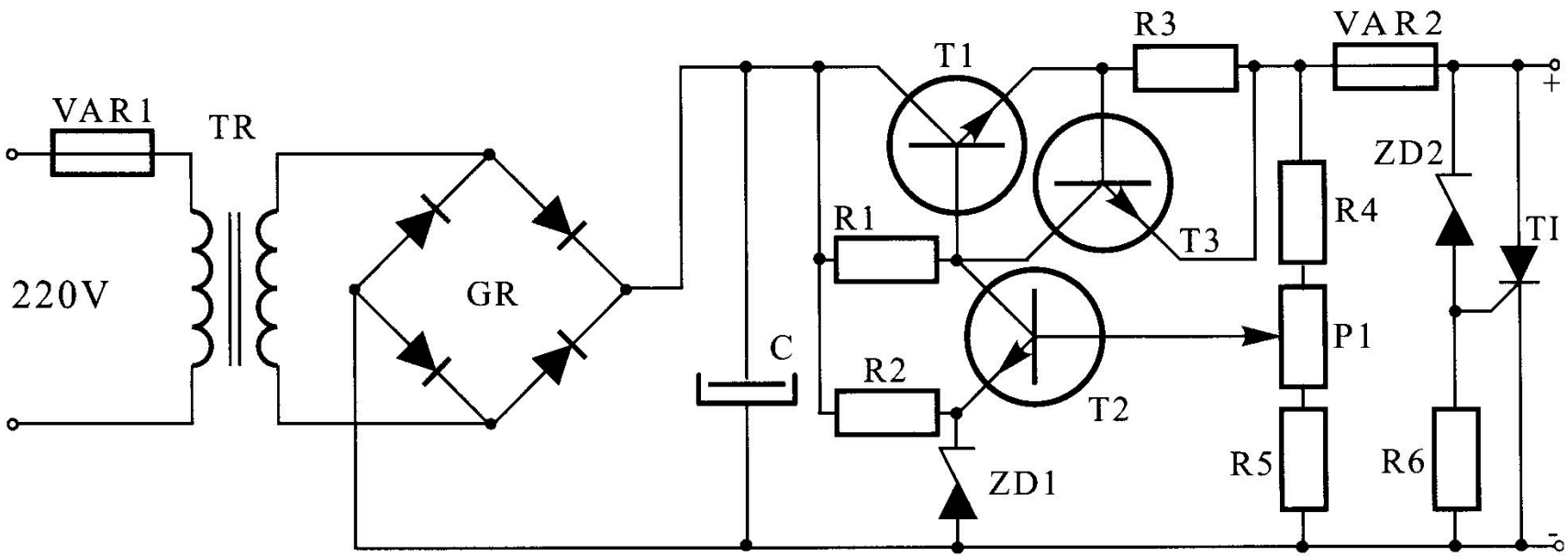


Zaščita

- Napajalnik zaščitimo pred prevelikim tokom / kratkim stikom
  - varovalka pred transformatorjem in pred izhodom
  - omejitev toka s tranzistorji
- Naprave na izhodu napajalnika zaščitimo pred preveliko napetostjo
  - zener dioda, tiristor in varovalka na izhodu

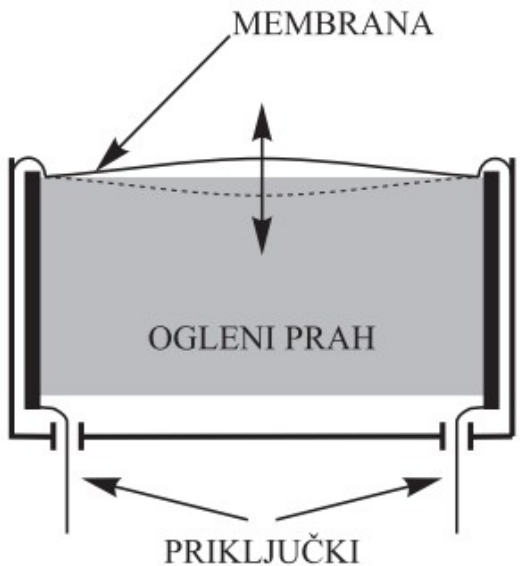
Izvedba linearnega napajalnika



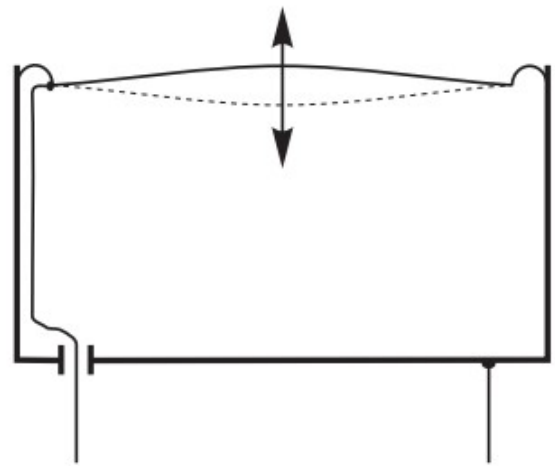


Mikrofoni

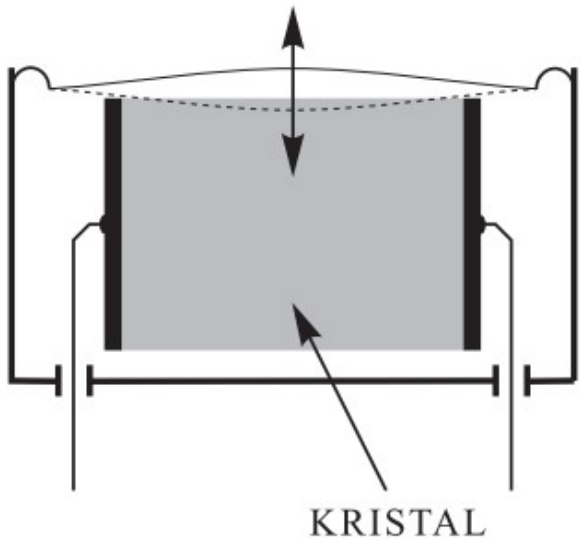
Mikrofon je naprava, ki zvočna nihanja pretvori v električno napetost



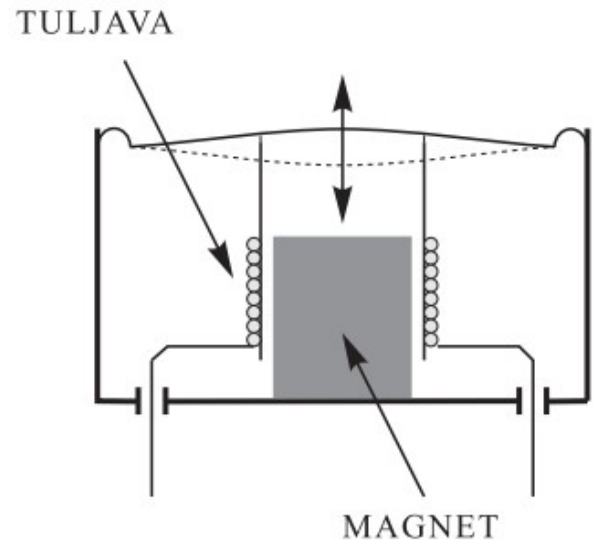
Ogleni mikrofon



Kondenzatorski mikrofon



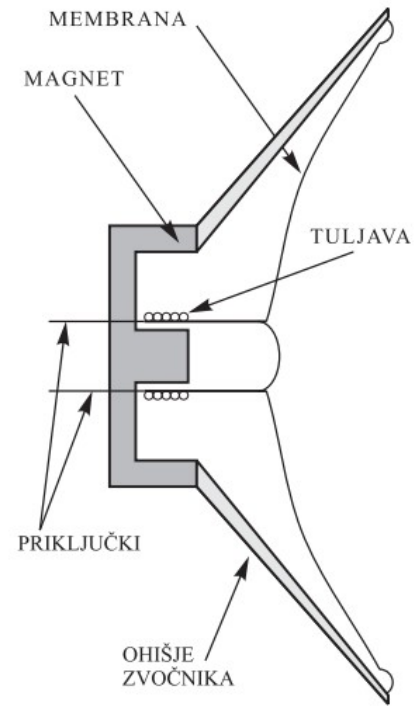
Kristalni mikrofon



Dinamični mikrofon

Zvočnik

Električno napetost pretvarja v mehansko nihanje membrane



Radiotehnika

Signali

Signali so nosilci informacij

Nosilni val / Nosilni signal / Nosilec: Radijski val določene frekvence, ki “nosi” informacijo

Modulacija: postopek, s katerim nosilni val **opremimo z informacijo**

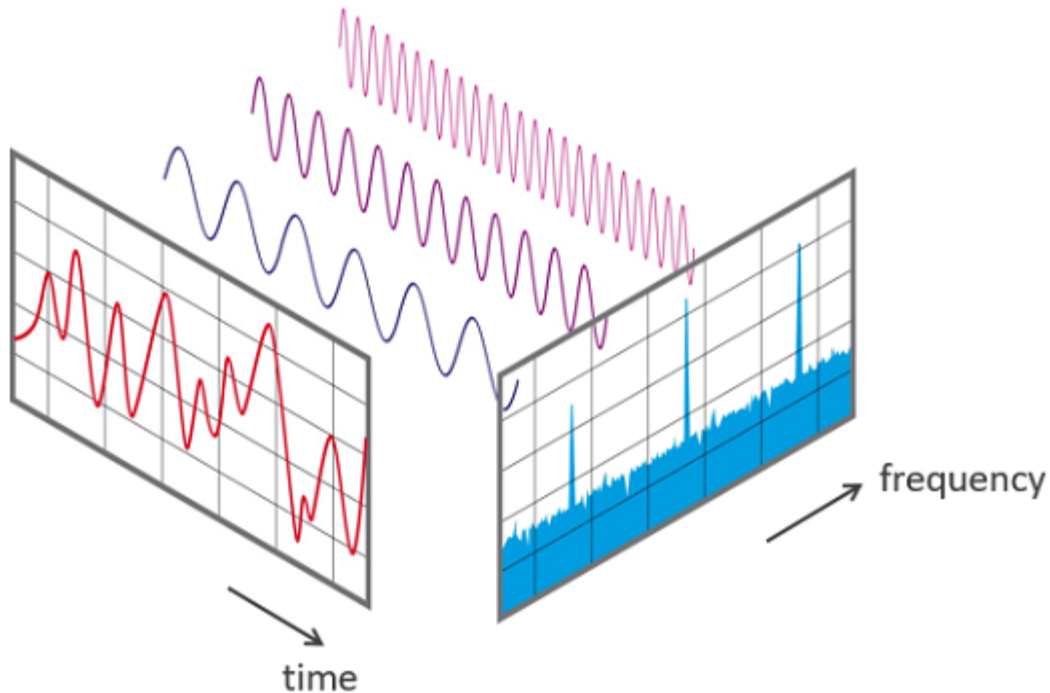
Sinusni signal:

- primeren za uporabo, ker se **pri prehodu skozi linearno električno vezje njegova oblika ne spremeni**
- Spremeni se mu lahko **le amplituda in faza**

VSAK signal lahko obravnavamo kot **vsoto sinusnih signalov različnih amplitud in frekvenc**

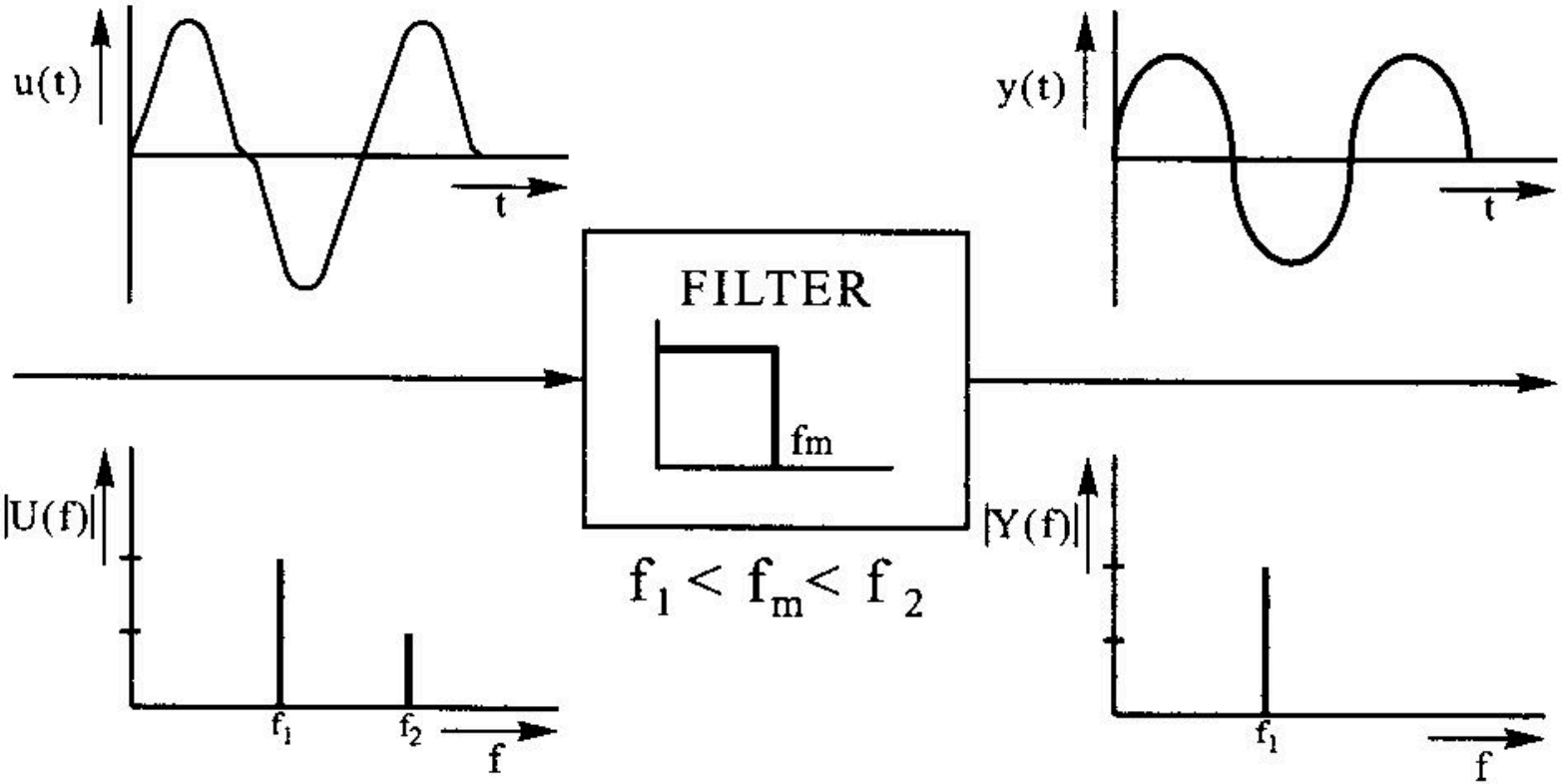
Frekvenčni spekter: podaja informacijo o zastopanih frekvencah signala, amplitudi

Frekvence sinusnih signalov, ki so večkratniki osnovne frekvence imenujemo **višje harmonske komponente** (harmoniki)



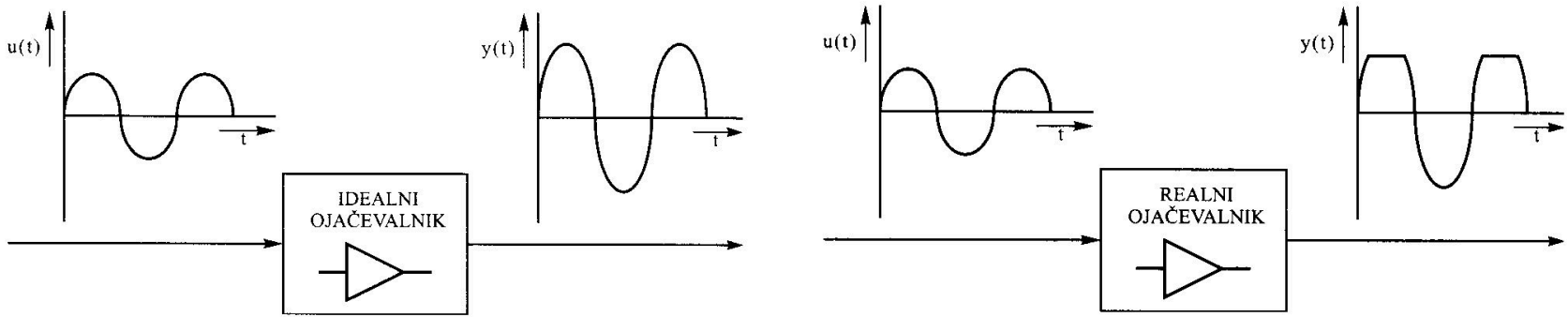
Fazni zasuk: **vsak filter povzroči fazni zasuk**!

Filtriranje signala: izločitev določenih frekvenčnih komponent



Če želimo signalom spremeniti amplitudo jih ojačimo ali oslabimo.

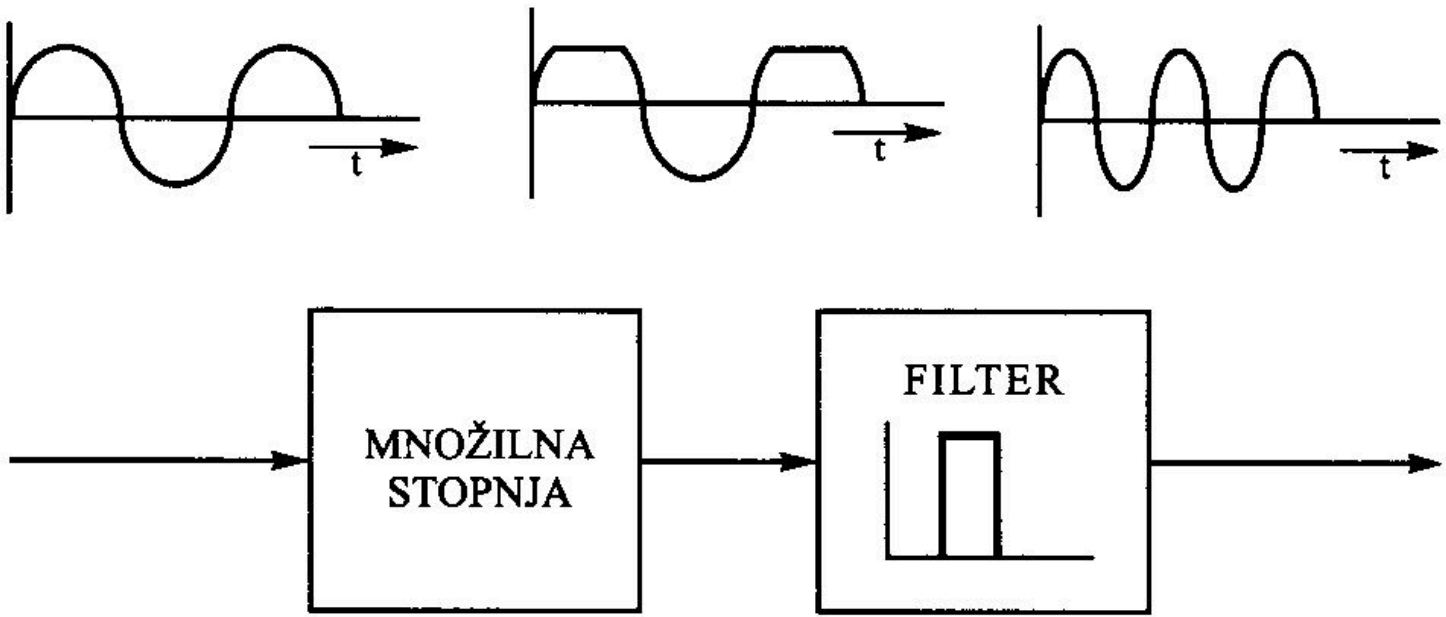
- **Ojačevalnik**: naprava, ki signale ojača (poveča amplitudo)
- **Slabilnik** (**atenuator**): naprava, ki signale slabi (zniža amplitudo)



Množenje frekvenc

Lastnost ojačevalnikov, da popačijo signal (signal vsebuje višje harmonske komponente) nam pride prav pri tako imenovanem **množenju frekvenc**

Množilna stopnja: realni ojačevalnik v C razredu

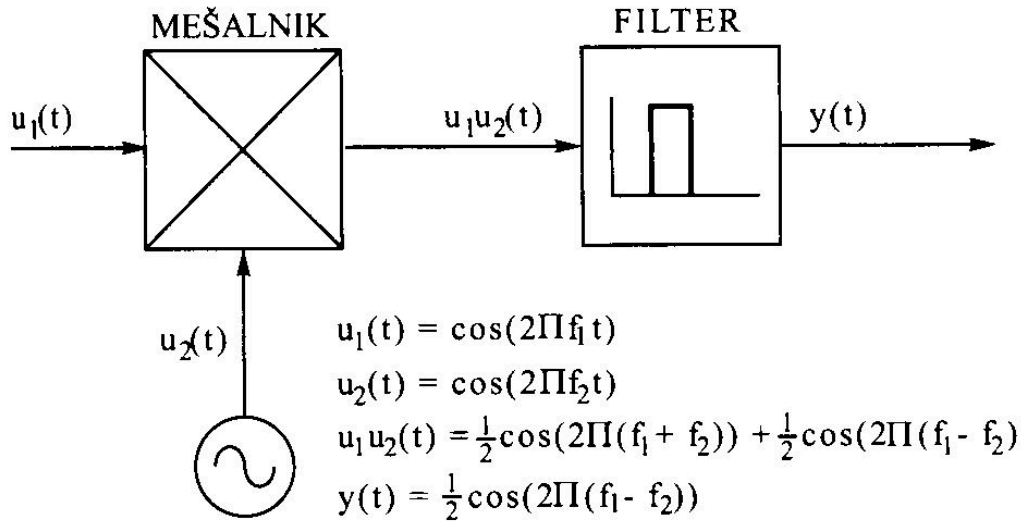


Mešanje signalov

V mešalnik pripeljemo signal f_1 in f_2 , na izhodu mešalnika dobimo:

- $f_1 + f_2$ (mešanje navzgor)
- $f_1 - f_2$ (mešanje navzdol)

V praksi se pojavijo še višje harmonske komponente



Primer

Če mešamo $f_1 = 576$ MHz in $f_2 = 144$ MHz dobimo na izhodu:

- $f_1 + f_2 = 720$ MHz
- $f_1 - f_2 = 432$ MHz

Če želimo samo 432 MHz ali 720 MHz, dodamo filter.

Modulacija

Nosilec **moduliramo z informacijskim signalom**, postopek imenujemo **modulacija**.

Obratni postopek, ki **izlušči informacijo na sprejemni strani iz nosilca** imenujemo **demodulacija**.

$$u(t) = A \cdot \cos(2\pi f t + \varphi)$$

Za prenos informacije spreminjamo enega od parametrov:

- amplitudo → **Amplitudna** modulacija (**AM**, A3E)
- frekvenco → **Frekvenčna** modulacija (**FM**, F3E)
- fazo → **Fazna** modulacija (**PM**, G3E)

Pasovna širina

Bandwidth

Če se signal s časom **hitro spreminja**, potem ima **širok frekvenčni spekter** oz. zahteva veliko **pasovno širino**!

Pasovna širina in frekvenca nosilca sta tesno povezani: Večja kot je pasovna širina, višja mora biti frekvenca nosilca

Pasovna širina realnega vzporednega nihajnega kroga, ki ima Q faktor od 10 do 100, se giblje od 1 do 10% okrog resonančne frekvence.

$$0{,}01 < \frac{B}{f_c} < 0{,}1$$

B – pasovna širina

f_c – frekvenca nosilca

Prenos informacij **omejuje tudi šum**.

Zgornja meja zmogljivosti komunikacijskega sistema:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

C – kapaciteta kanala (bit/s)

B – pasovna širina

$\frac{S}{N}$ – razmerje signal/šum

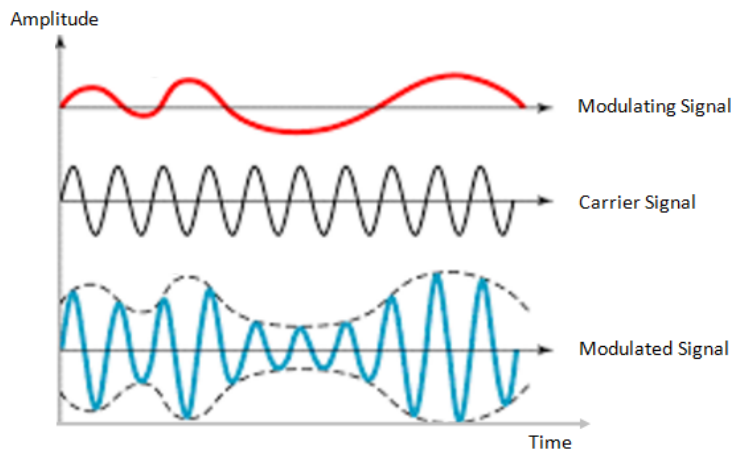
Amplitudna modulacija – AM

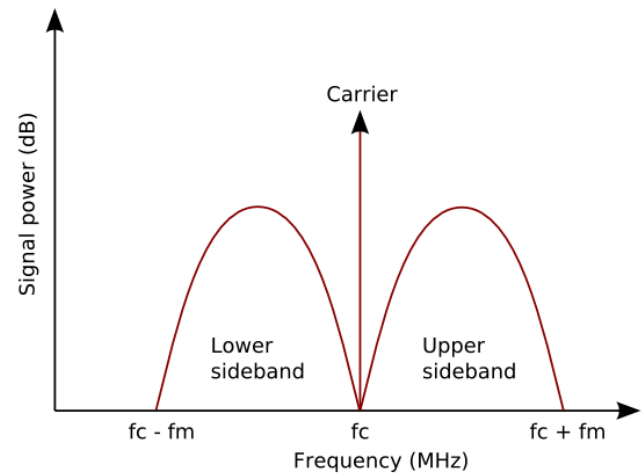
Spreminjamo **amplitudo nosilca**

Pasovna širina AM signala:

$B = 2 \cdot W$

W – pasovna širina modulacijskega signala



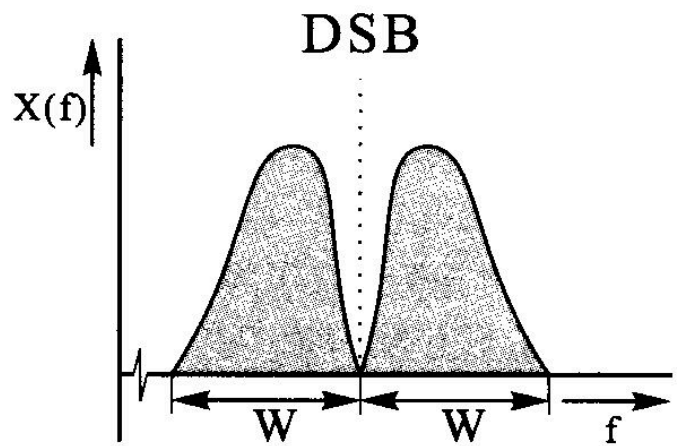


Double-SideBand – DSB

AM brez nosilca

Izkaže se, da pri AM modulaciji najmanj 50% moči porabimo za nosilec, ki sploh ne nosi nobene informacije.

Nosilec potlačimo DSB-SC (Double-SideBand Suppressed-Carrier) ali krajše **DSB**.

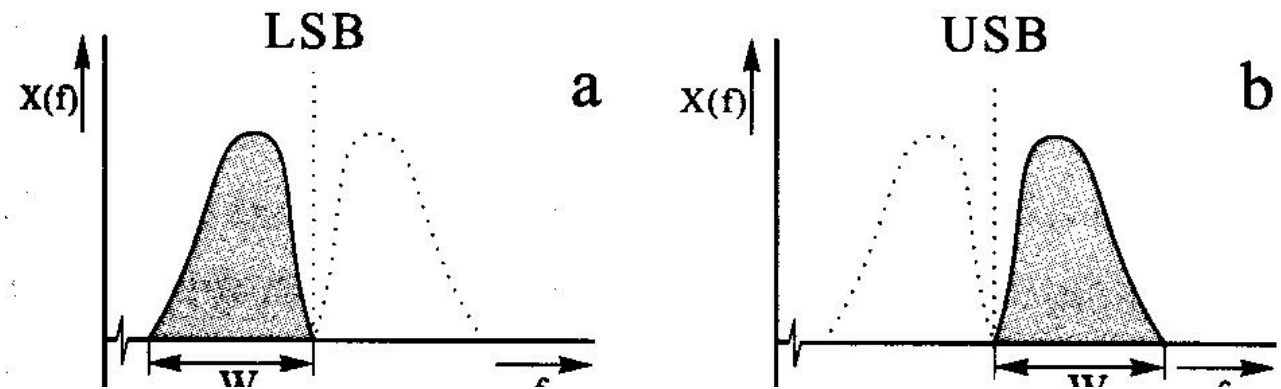


Single-SideBand – SSB

Polovica DSB

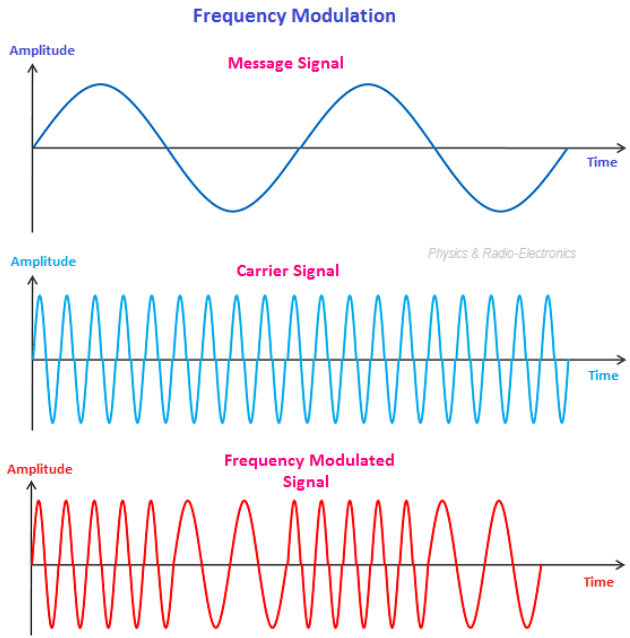
Da privarčujemo še na pasovni širini signala odstranimo še enega od bočnih pasov, saj na obeh prenašamo enako informacijo in dobimo enobočno modulacijo, ki jo označimo s **SSB** (single-sideband).

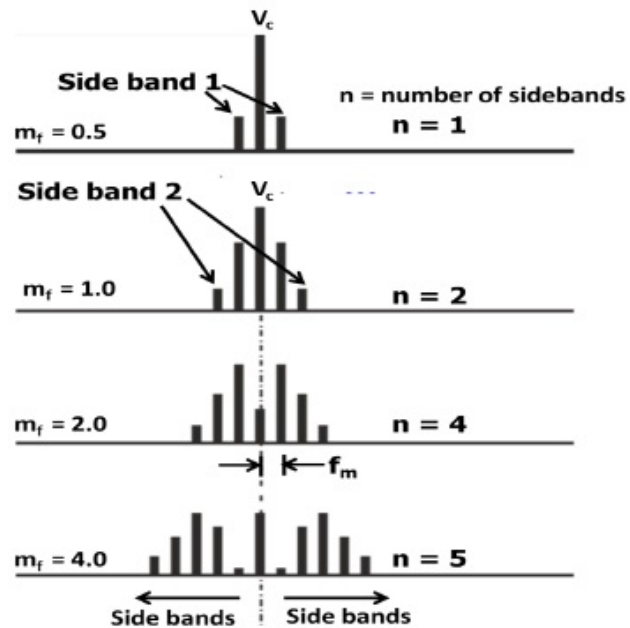
- **LSB** – spodnji bočni pas (lower sideband)
- **USB** – zgornji bočni pas (upper sideband)



Frekvenčna modulacija – FM

Spreminjamo **frekvenco nosilca**





Pasovna širina FM signala:

$B = 2 \cdot W + 2 \cdot D$

W – max frekvenca modulacijskega signala

D – frekvenčna deviacija

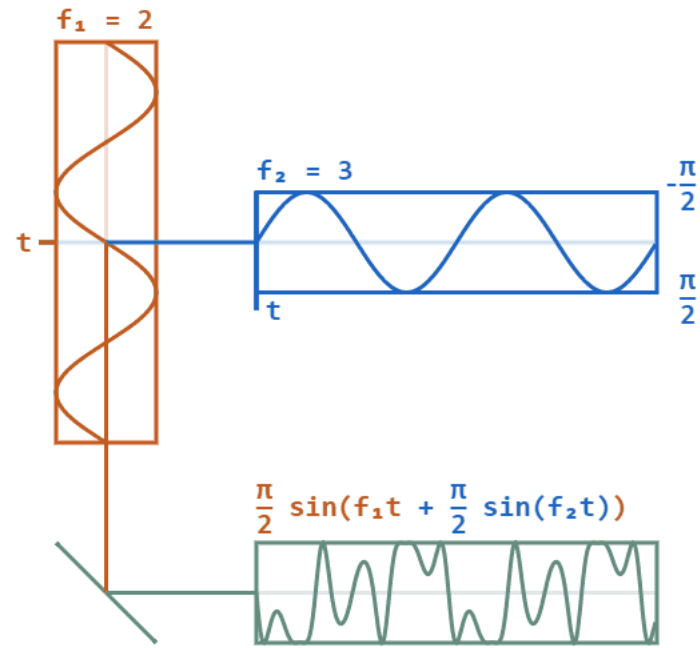
Frekvenčna deviacija je definirana kot **največji odmik frekvence FM signala od nosilne frekvence** in je sorazmerna amplitudi modulacijskega signala.

Fazna modulacija – PM

Spreminjamo **fazo nosilca**

Ker spreminjamo fazo, spreminjamo tudi frekvenco, zato se tudi pri fazni modulaciji **pojavi frekvenčna deviacija**

Ogled animacije je možen na:
https://en.wikipedia.org/wiki/Phase_modulation

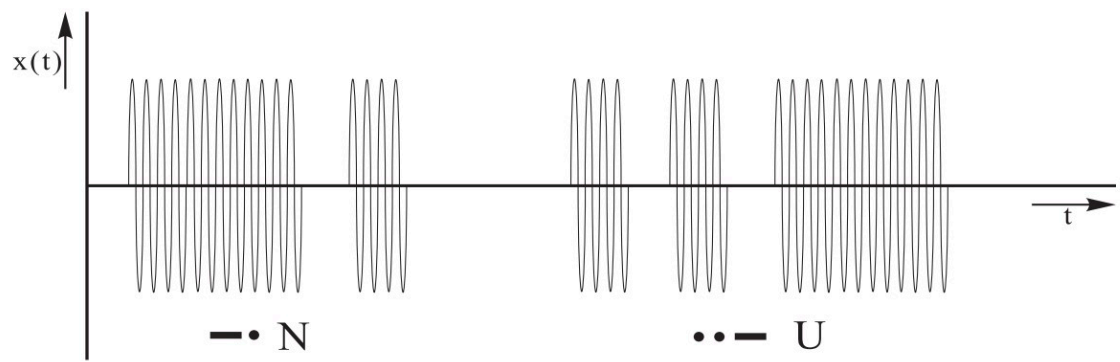


Telegrafija (CW)

Continuous wave

Najpreprostejši način moduliranja nosilnega vala.
Nosilec preprosto **vklapljamo in izklapljamo** v ritmu vnaprej dogovorjenih znakov (Morse kod).

Ima **najmanjšo pasovno širino** (100 Hz), oddajamo/sprejemamo samo eno frekvenco.



Oznake vrst oddaj (ITU)

Tričlenska oznaka: **vrsta modulacije nosilca** – **narava modulacijskega signala** – **vrsta prenesene informacije**

1. znak – modulacija nosilca	
A	AM z obema bočnima pasovoma
J	SSB s potlačenim nosilcem
F	frekvenčna modulacija
G	fazna modulacija

2. znak – modulacijski signal	
1	digitalni, brez podnosilca
2	digitalni, s podnosilcem
3	analogni (en kanal)

3. znak – informacija	
A	telegrafija, sprejem na uho
B	telegrafija, avtomatski sprejem
D	podatki
E	telefonija (govor)
F	televizija (slika)

Primeri

A1A	telegrafija (CW)	**A3E**	AM telefonija	**J3E**	SSB telefonija
F3E	FM telefonija	G3E	PM telefonija	F1B	RTTY (FSK)
J2B	PSK31 (preko SSB)	J2D	FT8, podatki	F3F	FM televizija (ATV)

Radijski oddajnik

Oddajanje radijskih signalov

Radijski oddajnik: naprava, ki ustvari radiofrekvenčni signal, ga opremi z informacijo, ojača in nato pošlje v anteno, kjer se izseva v prostor

Elektronski sklopi, ki proizvajajo radiofrekvenčne (RF) signale:

- električni oscilatorji
- RF sintetizatorji

Oscilatorji

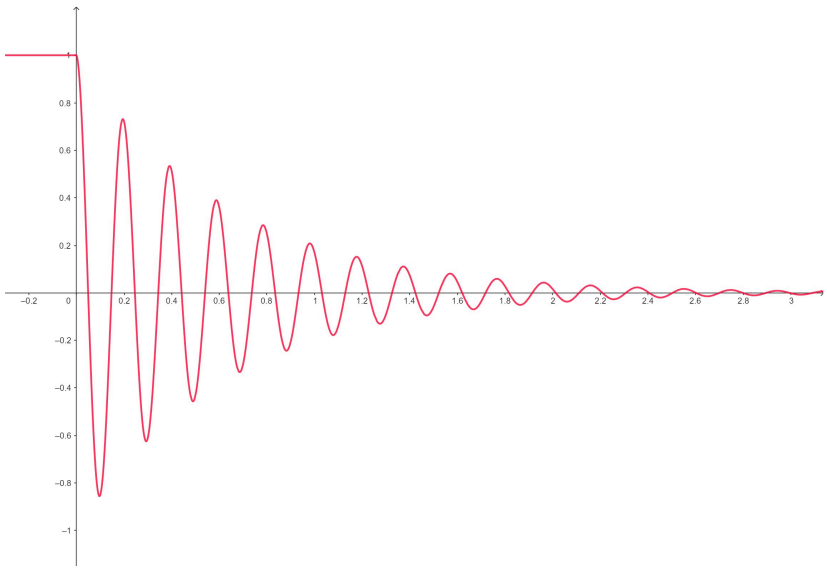
Električni **oscilator**: **izvor izmeničnih tokov** ali napetosti **določene frekvence**

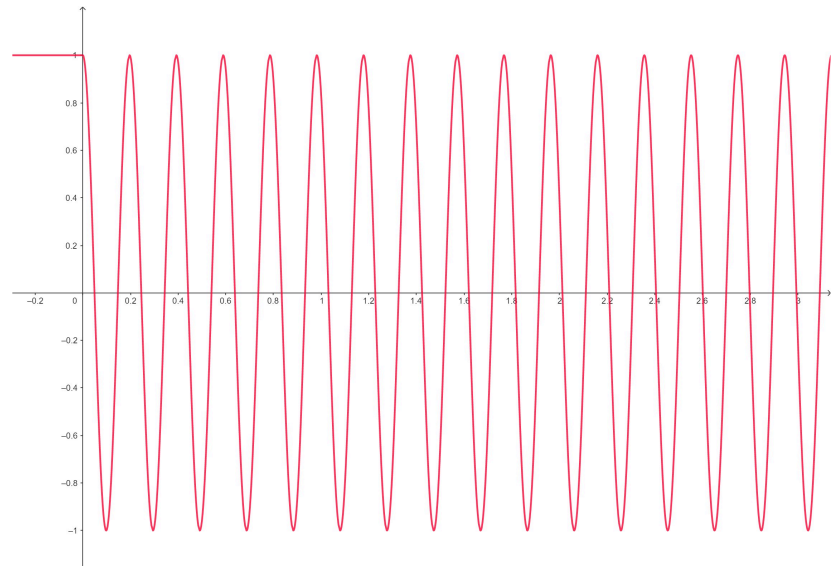
Oscilator na področju radijskih frekvenc → RF oscilator

Prva stopnja oddajnika, določa frekvenco na kateri bo oddajnik deloval

Če nihajnemu krogu dovedemo začetno energijo, ta zaniha (dušeno).

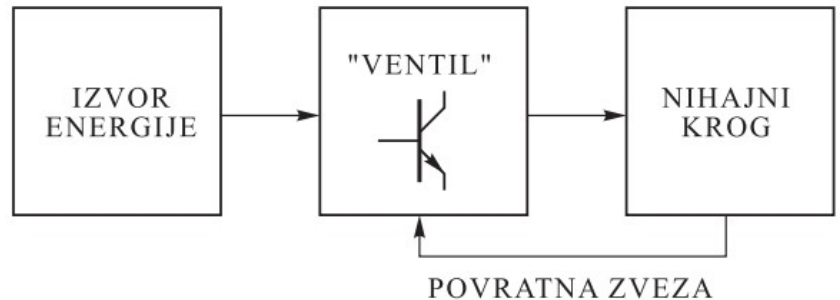
Želimo nedušeno nihanje → oscilator





Osnovni elementi oscilatorja

- **Izvor energije**
  - enosmerne napetosti
- **Nihajni krog**
  - določa frekvenco
- **"Ventil"** (tranzistor ali elektronka)
  - dovajanje energije nihajnemu krogu
- **Povratna zveza**



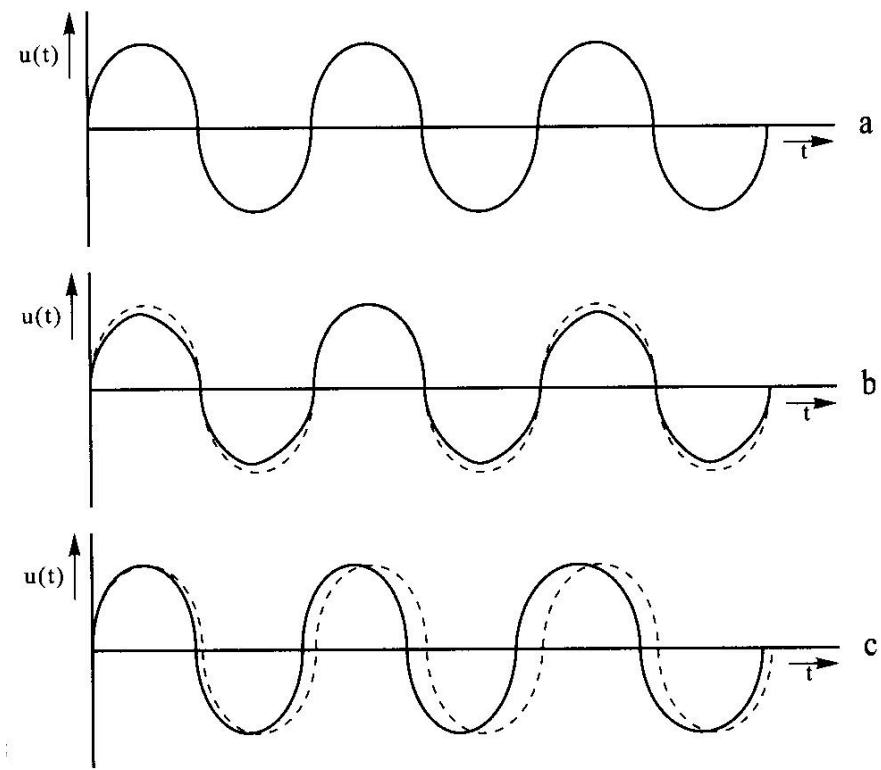
Realni oscilatorji

Amplitudni šum: nezaželeno spreminjanje amplitude

Fazni šum: nezaželeno spreminjanje faze

Dobremu oscilatorju se frekvenca čimmanj spreminja (je **stabilen**), nanj vplivajo:

- mehanska in električna izvedba
- starost
- temperaturne spremembe



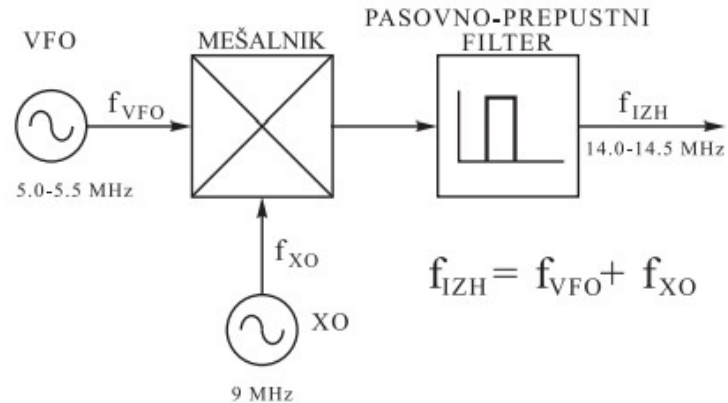
Vrste oscilatorjev

- **Kristalni** oscilatorji (**XO**)
- **Kristalni** oscilatorji **spremenljive frekvence** (**VXO**)
  - kristalu zaporedno/vzporedno vežemo spremenljiv kondenzator ali zaporedno tuljavo
- Oscilator **spremenljive frekvence** (**VFO** – Variable Frequency Oscillator)
  - LC nihajni krog, zaporedno vežemo spremenljiv kondenzator
- **Napetostno kontroliran** oscilator (**VCO** – Voltage Controlled Oscillator)
  - LC nihajni krog z varaktorsko (varicap) diodo

Heterodinski oscilator

"Heterodyning" – kombiniranje ali mešanje dveh signalov

Zgornja meja VFO-ja z dobro stabilnostjo: 7-10 MHz



Pri višjih frekvencah se uporablja **heterodinski oscilator** (Heterodyne oscillator)

Signal iz **VFO**-ja **mešamo s** signalom **XO** (kristalnega oscilatorja) in nato **s filtrom izločimo signal želene frekvence**

RF sintetizatorji

Danes vlogo VFO prevzeli frekvenčni sintetizatorji:

- PLL sintetizator
- DDS sintetizator
- Kombinacija obeh

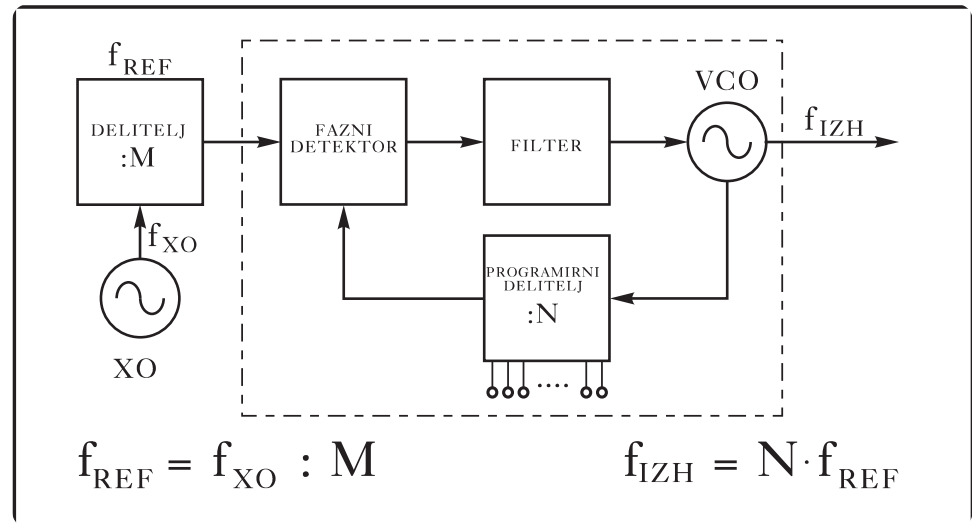
PLL sintetizator

PLL – Phase-Locked Loop

Uporabimo **VCO**, ki ga **s pomočjo povratne zanke stabiliziramo** (fazno sklenjena zanka)

Frekvenco **nastavljamo digitalno s programiranjem programirnega delitelja**

Referenčna frekvenca (f_{REF}) določa najmanjši frekvenčni korak



Primer PLL sintetizatorja

Imamo PLL sintetizator. Zanka se je že ujela. Referenčna frekvenca je 100 kHz, programirni delitelj pa je nastavljen tako, da deli s 128. Kolikšna je izhodna frekvenca?

$$f_{\mathrm{IZH}} = N \cdot f_{\mathrm{REF}}$$

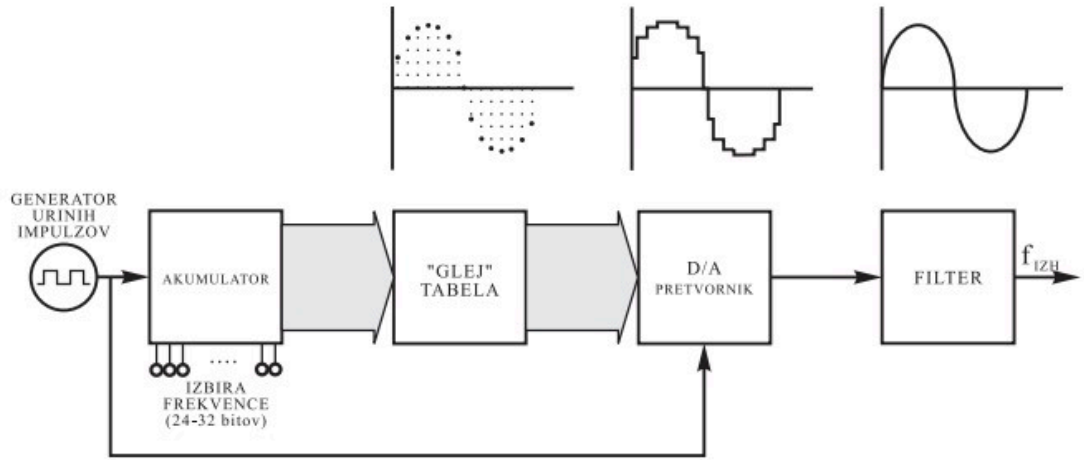
$$f_{\mathrm{IZH}} = 128 \cdot 100\ \mathrm{kHz} = 12800\ \mathrm{kHz} = 12{,}8\ \mathrm{MHz}$$

Direktni digitalni sintetizator – DDS

Vrednosti sinusa vnaprej izračunamo in jih shranimo v tabelo (look-up table)

Ko preberemo iz tabele, pretvorimo v analogni signal in ga filtriramo

Frekvenco določa generator urnih impulzov (clock)



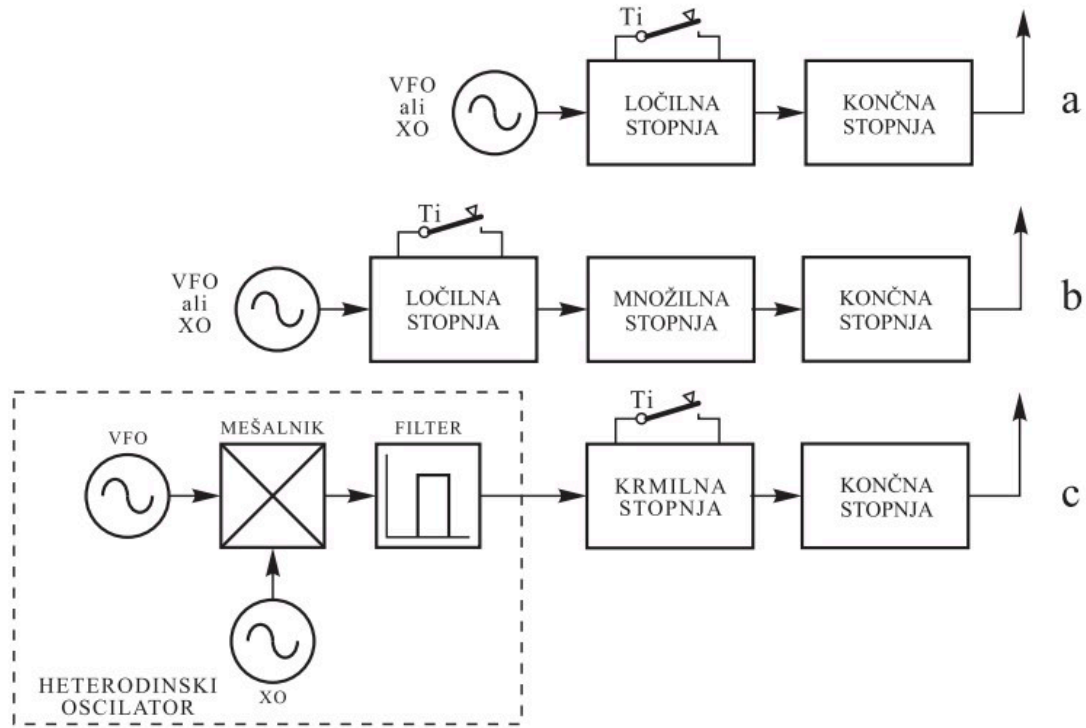
Zgradba oddajnika

- **Oscilator**
- **Ločilna stopnja** (Buffer)
  - prepreči vpliv naslednje stopnje na oscilator
- **Krmilna stopnja** (Driver)
  - ojača signal na moč pri kateri bo delovala končna stopnja
- **Končna stopnja** (PA – Power Amplifier)
  - ojača signal in filtrira višje harmonike
  - izkoristek: 40-70%

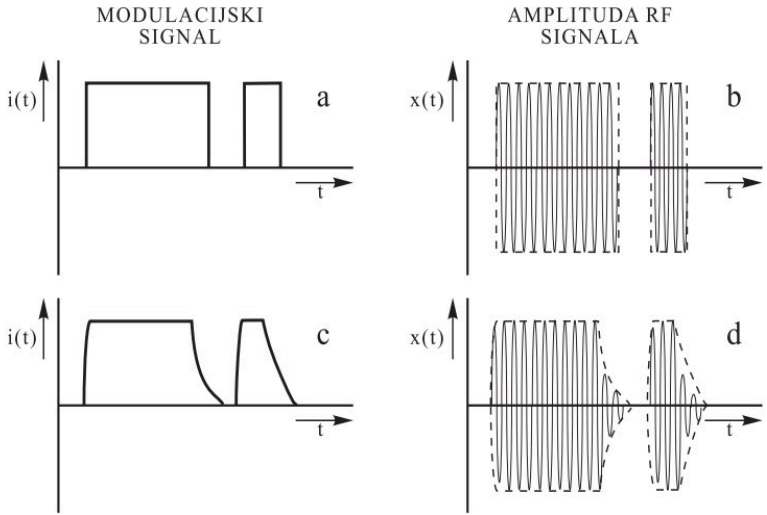
Vse stopnje morajo biti impedančno prilagojene → za največji prenos moči

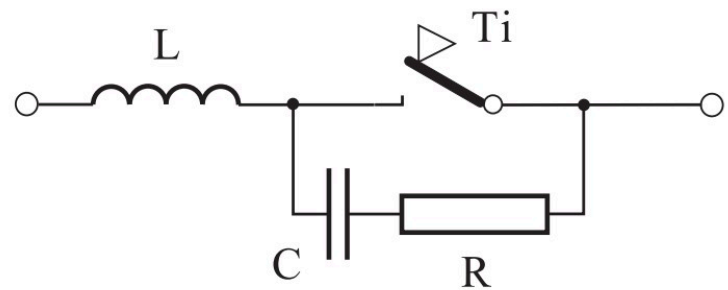
CW oddajniki

Ojačevalnik razreda C



"Klik" in "Anti-klik" filter



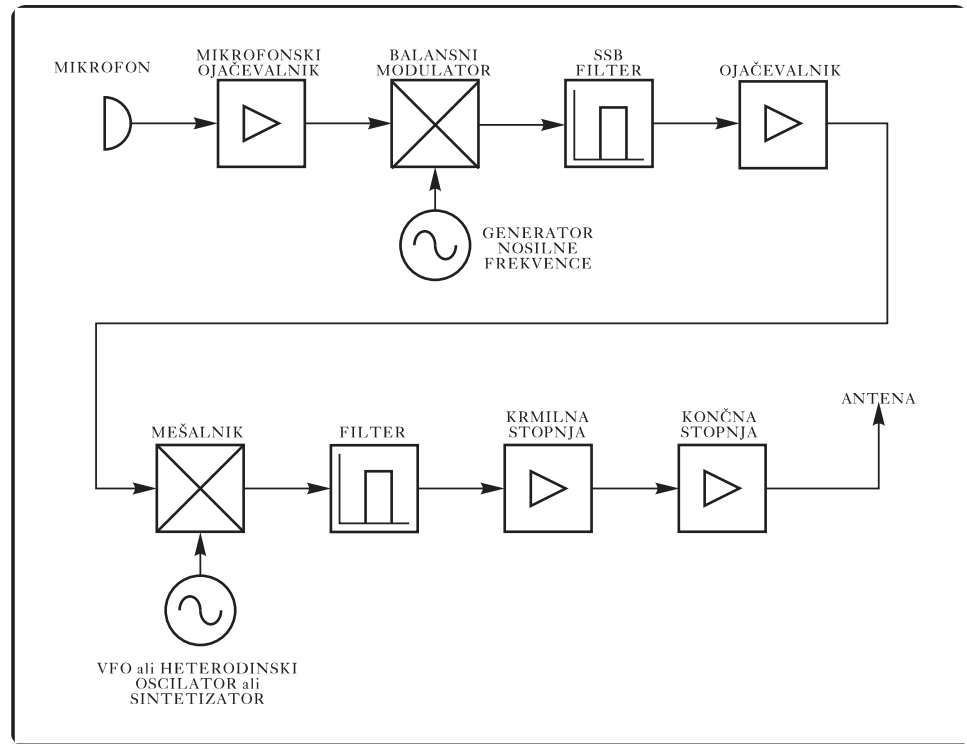


SSB oddajniki

Balansni modulator, vhodni modulacijski signal in nosilni val → DSB signal

DSB signal s SSB filtrom (kristalni, 1.8 – 3 kHz) pretvorimo v USB ali LSB signal

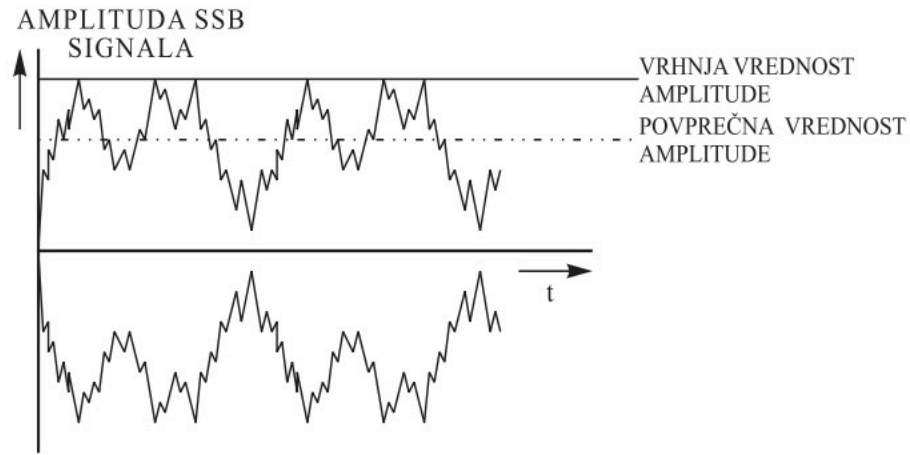
Ojačevalnik razreda A ali AB



Ovojnica SSB signala

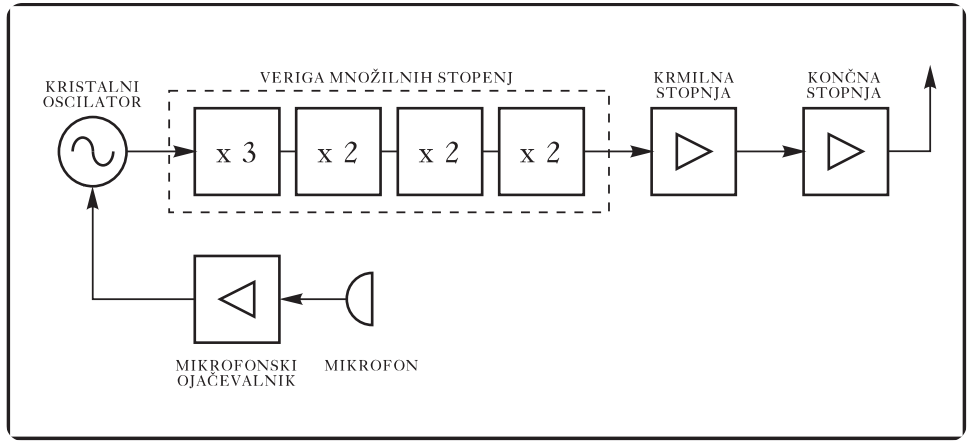
Želimo da je razlika med vrhnjo in povprečno vrednostjo amplitude čim manjša

- Audio **clipper**: **poreže vrhove** zvočnega signala
- Audio **compressor**: **drži** zvočni **signal v določenem območju**
  - ojačevalnik s povratno vezavo
- Obstajata tudi RF clipper in RF compressor oz. **ALC** (Automatic Level Control)

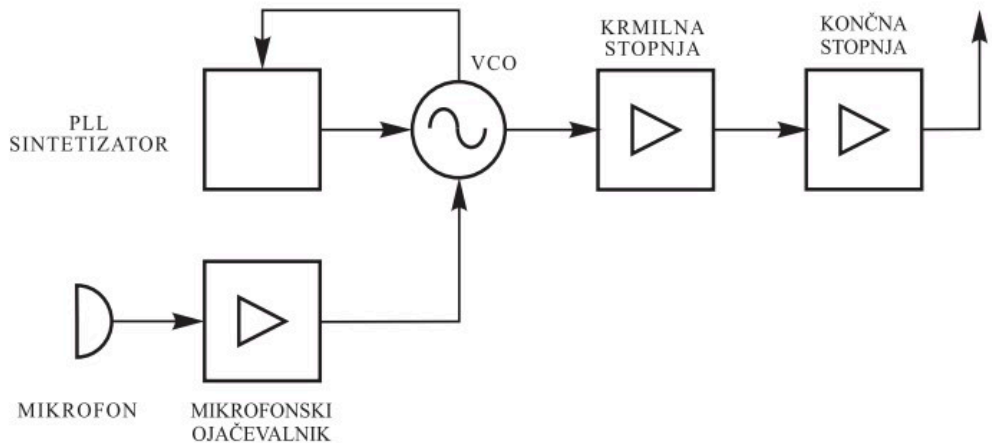


FM oddajniki

- Kvaliteten prenos govora
- Ne uporablja na KV (velika pas. širina)
  - Izjema 10 m
- Zaporedno kristalu vezana varaktorska dioda, ki spreminja frekvenco
- Signal nato "prestavimo" v pravilno frekvenčno območje
  - množilne stopnje
- Ojačevalnik razreda C



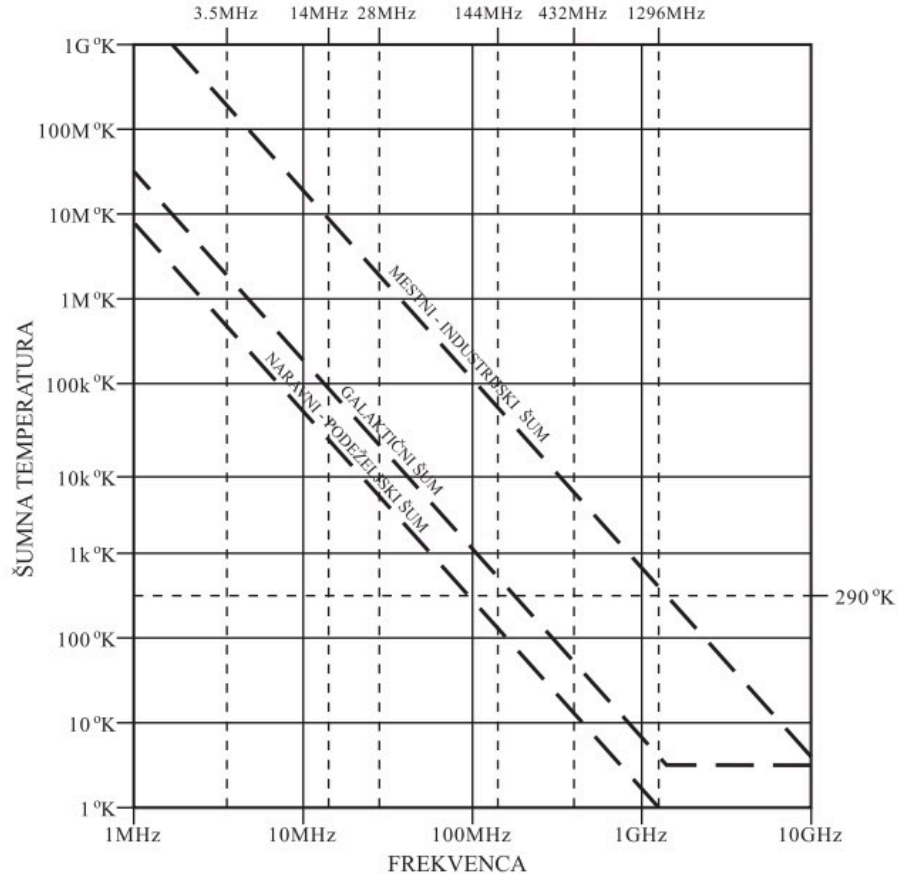
FM oddajnik s PLL sintetizatorjem



Radijski sprejemniki

Šum

- **Termični šum**
  - Naključno gibanje elektronov po prevodnikih in polprevodnikih
  - Odvisen od **pasovne širine** in **temperature**
    - pri 0 K je moč šuma 0
- **Šum okolice**
  - Naravni šum iz neba ali človeškega izvora
  - Predstavimo s **šumno temperaturo** antene (T_a)
    - namesto antene upor segret na temperaturo T_a
  - Močno odvisen od **frekvence**


3.5MHz
14MHz
28MHz
144MHz
432MHz
1296MHz
1G °K
100M °K
10M °K
1M °K
100k °K
10k °K
1k °K
290 °K
100 °K
10 °K
1 °K
ŠUMNA TEMPERATURA
MESTNI - INDUSTRIJSKI ŠUM
NARAVNI - PODEŽELSKI ŠUM
GALAKTIČNI ŠUM
1MHz
10MHz
100MHz
1GHz
10GHz
FREKVENCA

Razmerje signal/šum

Signal/noise ratio (SNR, S/N)

Razmerje med močjo koristnega signala in močjo šuma

$$\frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{\text{moč signala}}{\text{moč šuma}} \right) \, [\text{dB}]$$

Šumni faktor in šumno število

Vsaka stopnja (ki je izvor termičnega šuma), poslabša razmerje signal/šum, ki ga dobi na vhodu

Šumni faktor (**F**, noise factor) pove **koliko se poslabša razmerje signal/šum**

$$F = \frac{\mathrm{SNR}_{\mathrm{vh}}}{\mathrm{SNR}_{\mathrm{iz}}}$$

Bolj pogosto uporabljamo **šumno število** (**NF**, noise figure)

- **šumni faktor** v dB

$$NF = 10 \log F \ [\mathrm{dB}]$$

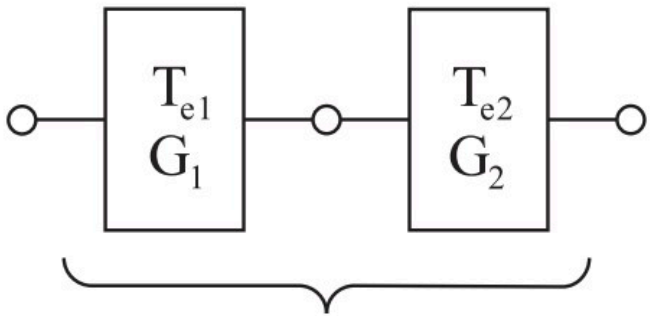
Ekvivalentna šumna temperatura

Na vhod stopnje priključimo na 0 K ohlajen upor, šum na izhodu stopnje je termični šum same stopnje. Upor segrevamo, dokler ne bo šum na izhodu dvakrat povečal. Temperatura upora v tej točki je **ekvivalentna šumna temperatura**.

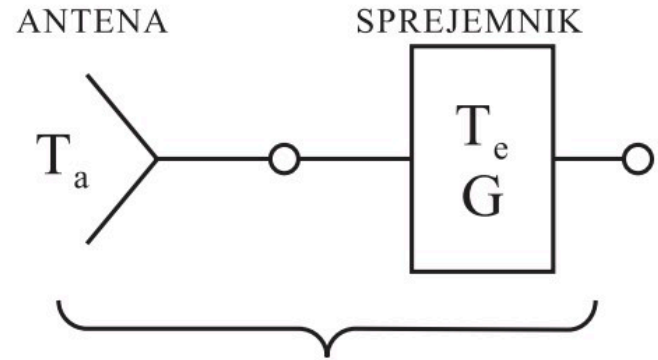
$$T_e = T_o\left(10^{\frac{NF}{10}} - 1\right) = T_o(F-1)\ [\mathrm{K}]$$

$$T_o = 290K$$

Skupna ekvivalentna šumna temperatura (sistema)



$$T_e = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_1}$$



$$T_s = T_a + T_e$$

- **Na nižjih frekvencah** (KV) je **šumna temperatura antene** tako **velika**, da se termični šum sprejemnika skoraj ne pozna
- Na višjih frekvencah (šumna temperatura antene je majhna), se uporablja dobre **nizko šumne predojačevalce**, kot **prva stopnja** sprejemniškega sistema

Primer

Imamo dve zaporedno vezani stopnji.
Ekvivalentna šumna temperatura prve stopnje je 100 K, njeno ojačenje pa je 10.
Ekvivalentna šumna temperatura druge stopnje je 500 K, njeno ojačenje pa je 100.
Kolikšna je skupna ekvivalentna šumna temperatura?

$$T_e = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_1}$$

$$T_e = 100\ \mathrm{K} + \frac{500\ \mathrm{K}}{10} = 150\ \mathrm{K}$$

Osnovni pojmi

Občutljivost

- **Kako močan mora biti RF signal** na vhodu sprejemnika, da bo na izhodu **razmerje signal/šum 10 dB**
- Boljša kot je občutljivost, šibkejše signale lahko sprejemamo
- **Obratnosorazmerna pasovni širini**
  - SSB sprejemnik ima boljšo občutljivost kot FM sprejemnik
- Podajamo relativno glede na 1 mW ali napetost na vhodnih sponkah

$$P_{dBm} = 10 \log \left(\frac{P}{1\ \mathrm{mW}} \right) \left[\mathrm{dBm} \ / \ \mathrm{dB_{mW}} \right]$$

$$U_{\mathrm{ef}} = \sqrt{P \cdot R}\,[\mathrm{V}] \quad R = 50\ \Omega$$

Selektivnost

- **Prepuščanje signala v določenem pasu**, in **dušenje signalov izven** njega
- To dosežemo z ustreznimi pasovno-prepustnimi filtri
  - CW: 500 Hz
  - SSB: 2.4 kHz
  - FM: 15 kHz

Dinamično območje

- **V kakšnih mejah se lahko giblje jakost vhodnega signala**
  - Okoli 80 dB do 120 dB
  - **Spodnja meja**: termični šum in šum okolice
  - **Zgornja meja**: obnašanje sprejemnika pri močnih signalih
    - preobremenitev, intermodulacijsko popačenje, ...

Preobremenitev

- Na sprejemniku se pojavi zelo močan RF signal, **sprejemnik postane neobčutljiv** "ogluši"

Intermodulacijsko popačenje

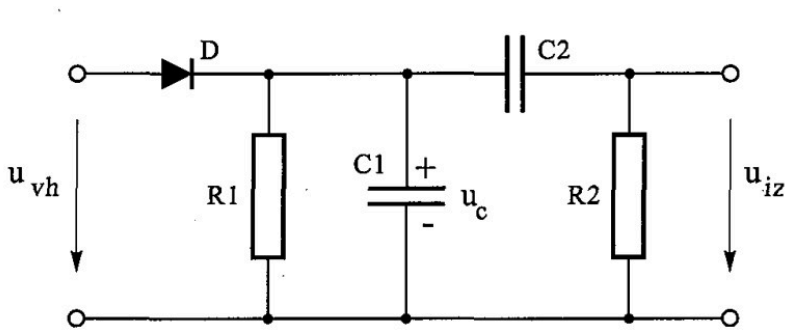
- Intermodulation distortion (**IMD**)
- Sprejemniki so **sestavljeni** tudi **iz nelinearnih vezij** → **pojavijo se nezaželene komponente spektra**, ki jih težko izločimo, če so blizu želenim frekvencam
- Intermodulacijska produkta tretjega reda: $2f_1 - f_2$ in $2f_2 - f_1$
  - tudi višji redi, ampak imajo dosti manjšo jakost
- Merilo za linearnost je **presečna točka intermodulacije tretjega reda** (**IP3** – third-order intercept point)
  - podajamo v dBm
  - Čim **višji** je **IP3**, **boljši** je **sprejemnik**

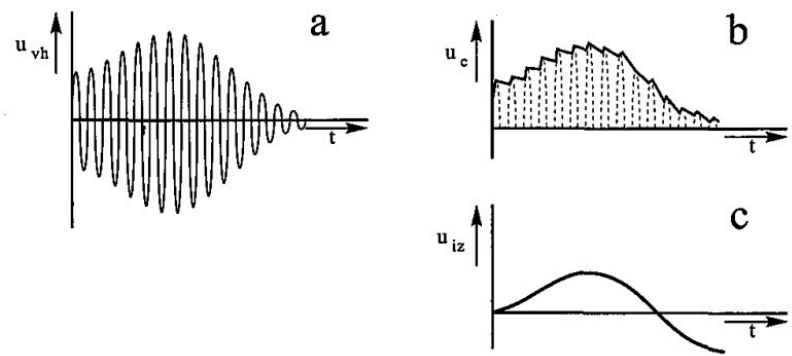
Detektorji

Iz signala **izluščijo informacijo** (demodulacija → demodulator)

Detekcija AM signalov

Detektor ovojnice: vhodni signal usmerimo z diodo in filtriramo z nizkoprepustnim filtrom





Detekcija CW signalov

Nosilec vklapljamo po ritmu

Detektiramo tako, da **mešamo s signalom**, ki ima **malenkost nižjo ali višjo frekvenco**, ki ga generiramo z **BFO** (beat frequency oscillator)

En izmed produktov je v nizkofrekvenčnem (NF) področju, ostalih se znebimo

PRIMER

Želimo detektirati CW signal s frekvenco 3550 kHz, na BFO nastavimo frekvenco 3550.5 kHz, dobimo RF signal s frekvenco 7100.5 kHz in NF signal s frekvenco 0.5 kHz oz 500 Hz. Ta signal lahko poslušamo.

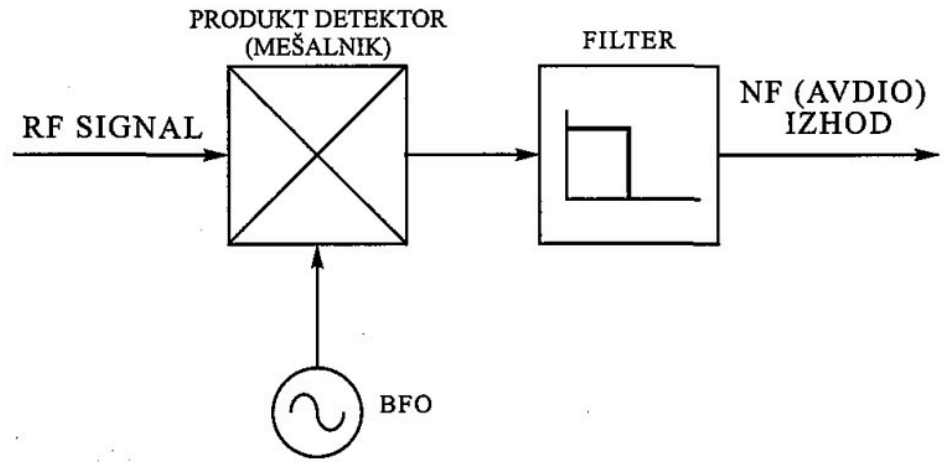
Detekcija SSB signalov

V **detektor pripeljemo manjkajoči nosilec**, ki ga generiramo z **BFO**

Signal detektiramo z **produkt detektorjem** (mešalnik), izhod je produkt SSB signala in primerno izbrane frekvence BFO

Izhod mešalnika filtriramo z nizkoprepustnim filtrom

S produkt detektorjem **lahko detektiramo tudi CW in AM signale**

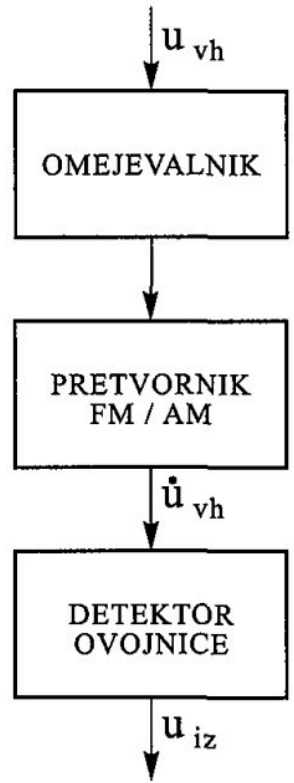


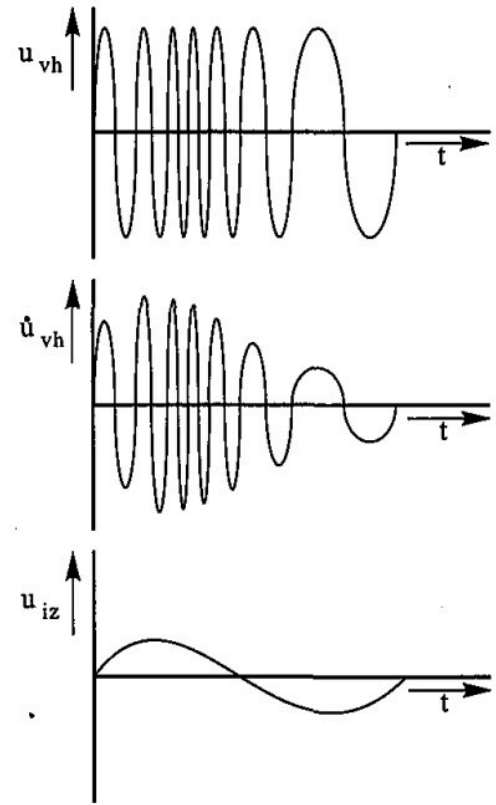
Detekcija FM signalov

Frekvenčni diskriminator

FM signal **pretvorimo v AM** signal, ki ga detektiramo z **detektorjem ovojnice**

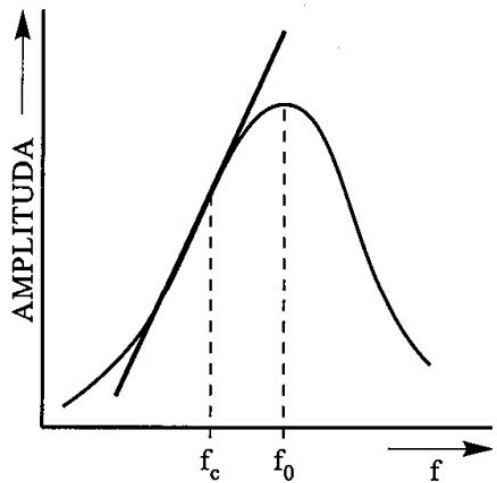
Omejevalnik (limiter) zagotovi **konstantno amplitudo** pred FM-AM pretvorbo



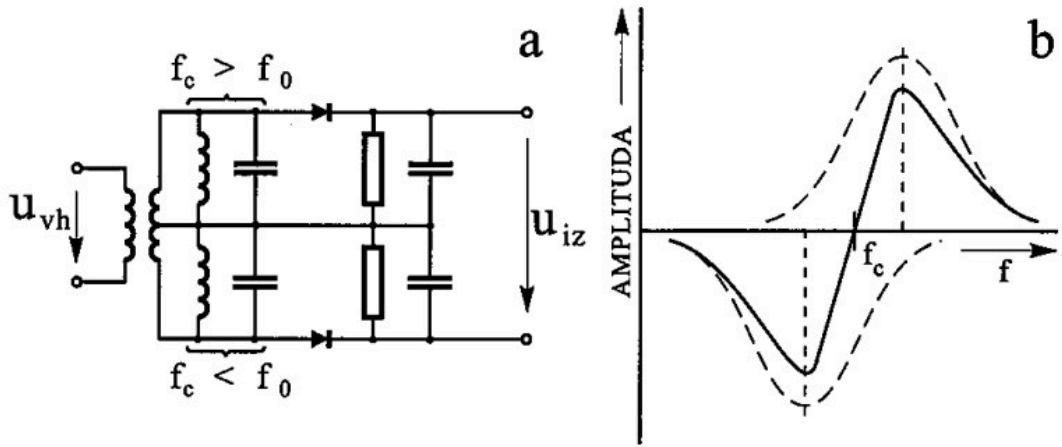


FM-AM pretvorba

Izkoristimo **linearno odvisnost amplitude od frekvence**



LC nihajni krog

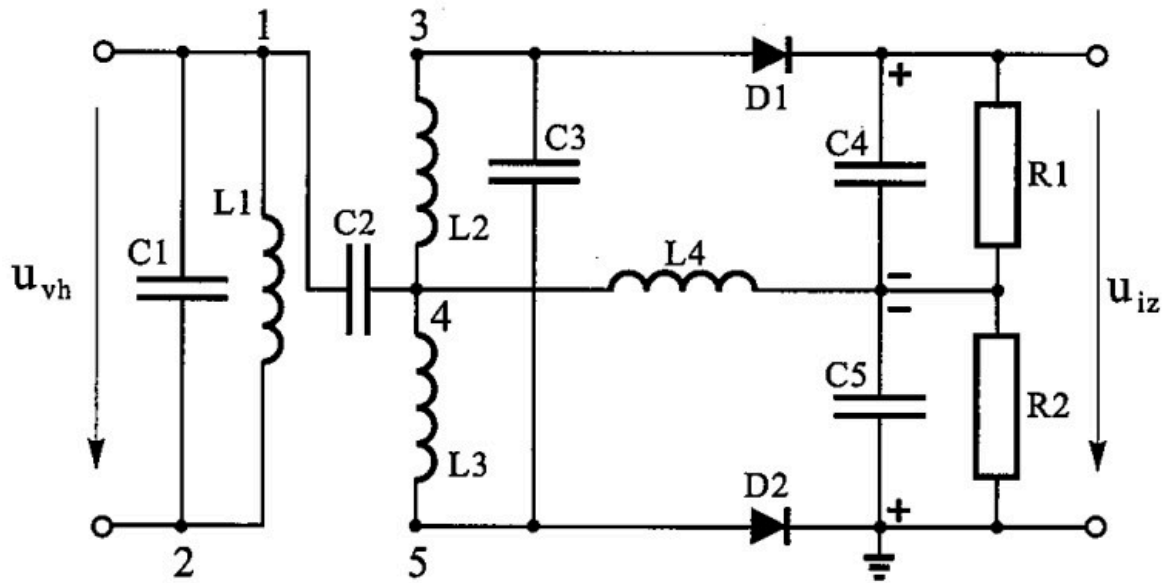


Balansni diskriminator

Povečamo frekvenčno območje linearnosti

Izkoristimo **linearno fazno karakteristiko**

Diskriminator s faznim zamikom (phase-shift discriminator)
oz. **Foster-Seeley diskriminator**

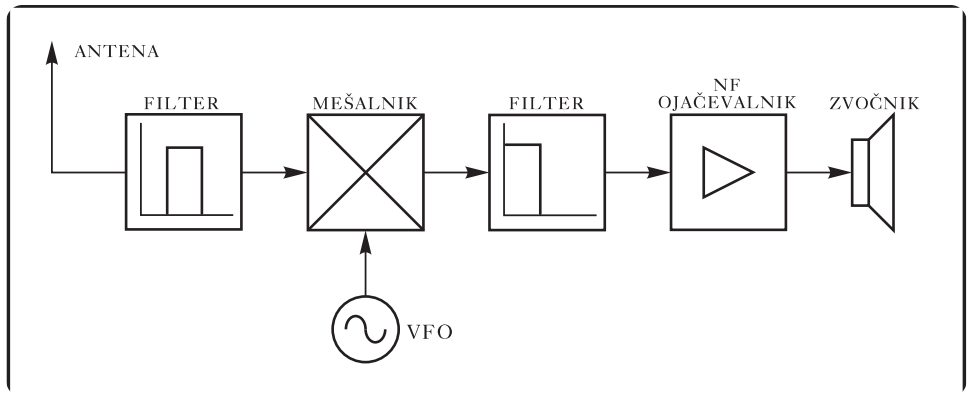


Sprejemnik z direktnim mešanjem

Sprejemanje CW in SSB signalov (tudi AM)

CW:
Če frekvenco VFO nastavimo na frekvenco signala, ga ne bomo slišali (**zero beat**)
Frekvenco VFO nastavimo malo nad ali pod frekvenco signala

SSB / AM:
Frekvenco VFO nastavimo na frekvenco nosilca



Uporablja se predvsem na nižjih frekvencah KV (šum neba >> šum mešalnika)

Signal ojačamo po demodulaciji (80 – 100 dB) → lahko pojavi **mikrofonija** (mehanski tresljaji), motnje se ojačajo na zvočnik

CW ali SSB selektivnost dosežemo s filtri med ojačevalnikom in zvočnikom

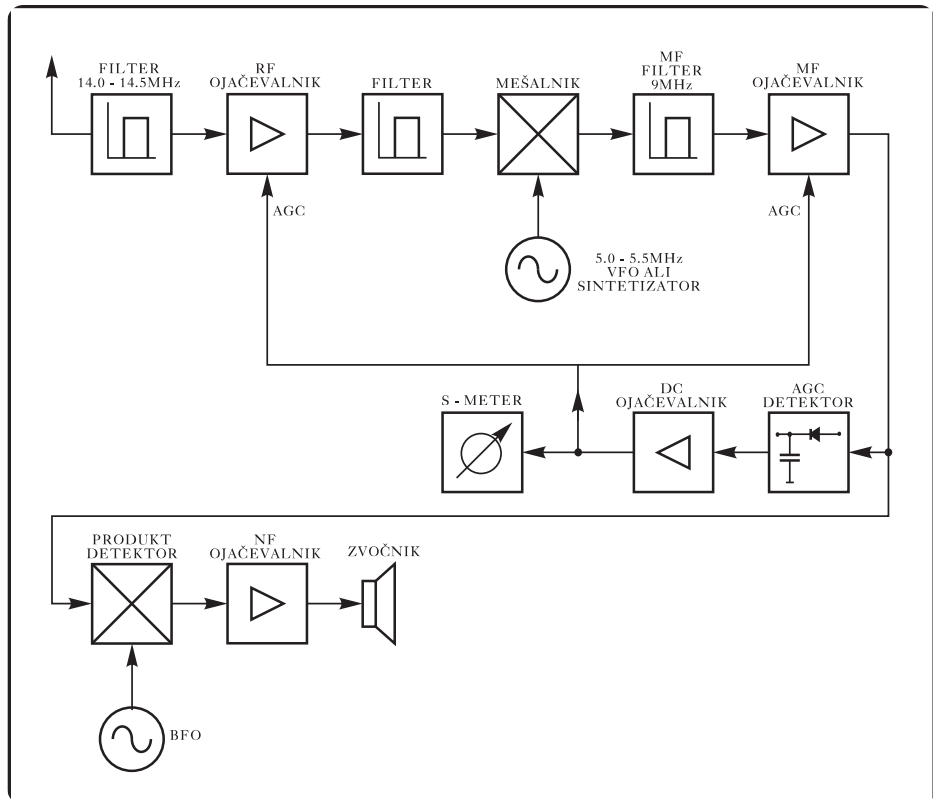
Superheterodinski sprejemnik

Vhodni signal **mešamo** (konvertiramo) na **eno ali več medfrekvenc** (brez izgube informacije)

Sproti filtriramo neželene frekvence iz mešalnika

Sodobni sprejemniki pokrivajo zelo široko frekvenčno območje, dobri ojačevalniki se dajo narediti samo za ožja frekvenčna področja
Zato je smiselno **vse signale prestaviti** na neko **skupno medfrekvenco** (MF) in jih obdelati tam

Preselektor: pasovnoprepustna filtra pred in za RF ojačevalnikom



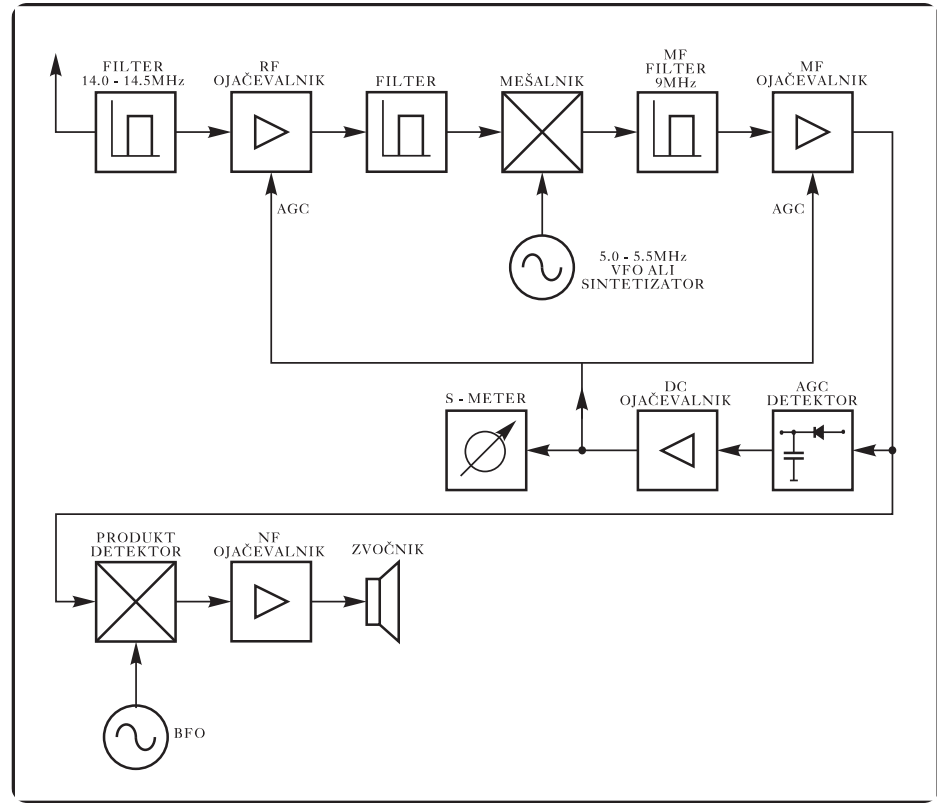
Želimo, da se ojačenje sprejemnika spreminja glede na jakost signala

AGC (automatic gain control): vezje za **avtomatsko regulacijo ojačenja**

Izhod AGC vezja lahko uporabimo za ocenjevanje jakosti signala

S-meter (signal meter): S-stopnje (1-9, vsaka ≈ 6 dB), če je signal močnejši od 9, se podajo decibeli (npr.: +20 dB)

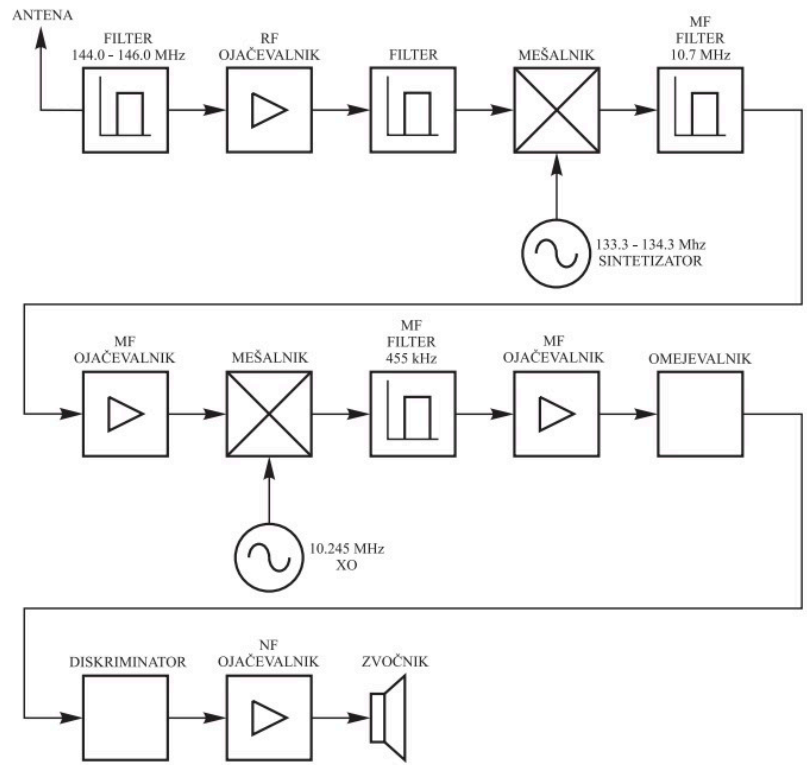
Squelch: ko je signal manjši od določene meje, NF signal izklopi



Problem zrcalnih frekvenc: če 14 MHz signal mešamo s signalom 5 MHz, dobimo medfrekvenčni signal 9 MHz (14 - 5). Problem nastane če pride na vhod 4 MHz signal saj se tudi ta meša na 9 MHz (4 + 5).

Delimo (po številu medfrekvenc):

- enojni superheterodinski sprejemnik
- dvojni superheterodinski sprejemnik
  - prva visoka (proti zrcalnim frekvencam)
  - druga nizka (boljša selektivnost)

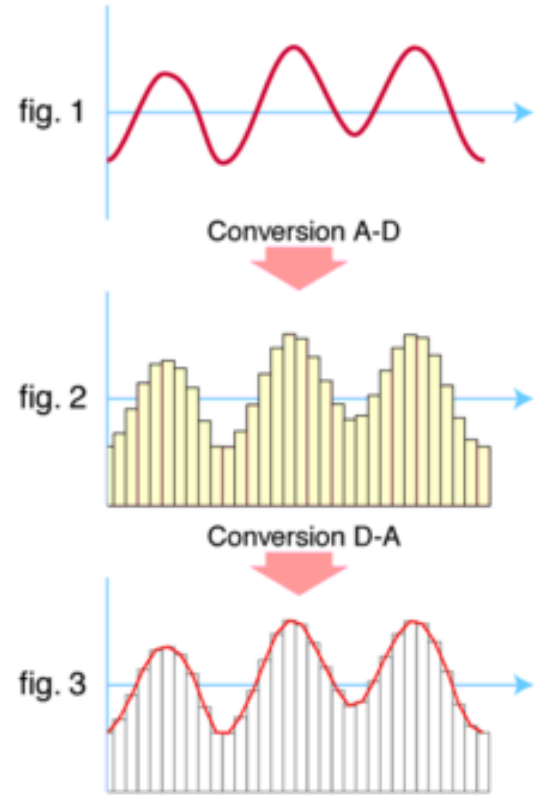


Vzorčenje signalov

Pretvorba analognega signala v digitalnega z **A/D** pretvornikom imenujemo **vzorčenje**

Minimalna vzorčevalna frekvenca pri digitalni obdelavi signalov je enaka **dvakratniku najvišje frekvence vzorčenega signala**

- **Nyquistov kriterij** (Nyquistova frekvenca vzorčenja)
- Nyquistova frekvenca = polovica vzorčevalne frekvence (najvišja frekvenca, ki jo še lahko pravilno vzorčimo)



Kvantiziranje: vrednosti vzorca priredimo najbližje možne diskretne vrednosti

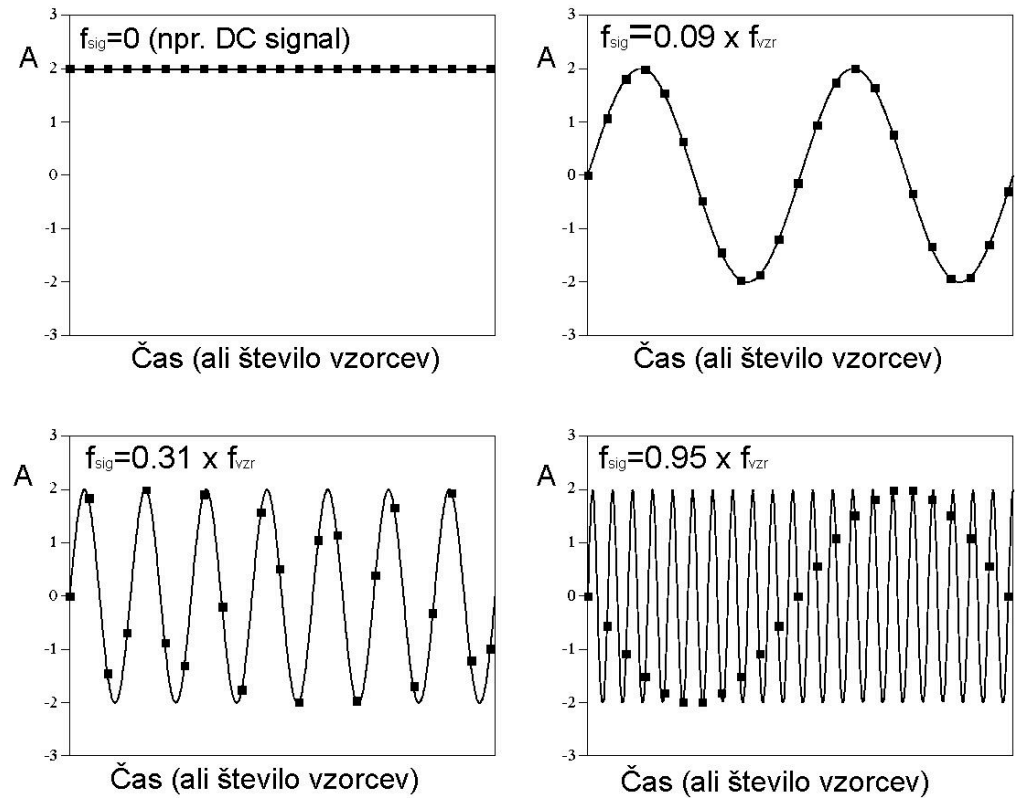
Kvantizacijski nivo

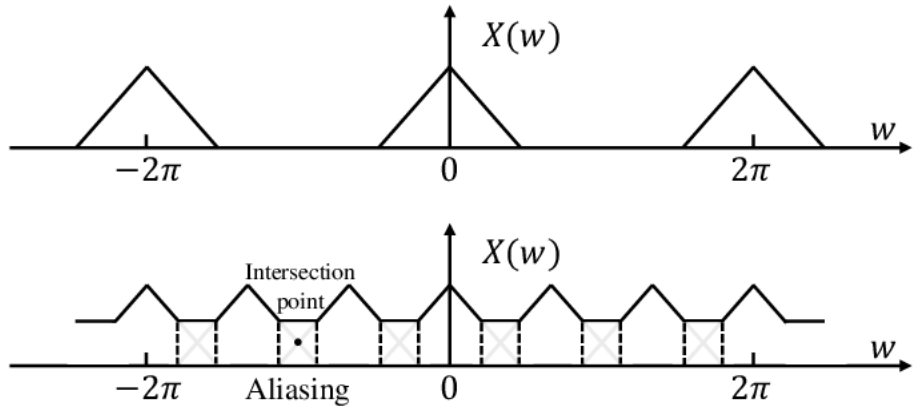
- Število kvantizacijskih nivojev $= 2^n$, n je število bitov

Kvantizacijski šum ali napaka: negotovost ko na podlagi diskretne vrednost signala ni mogoče zagotovo sklepati na pravo vrednost prvotnega signala

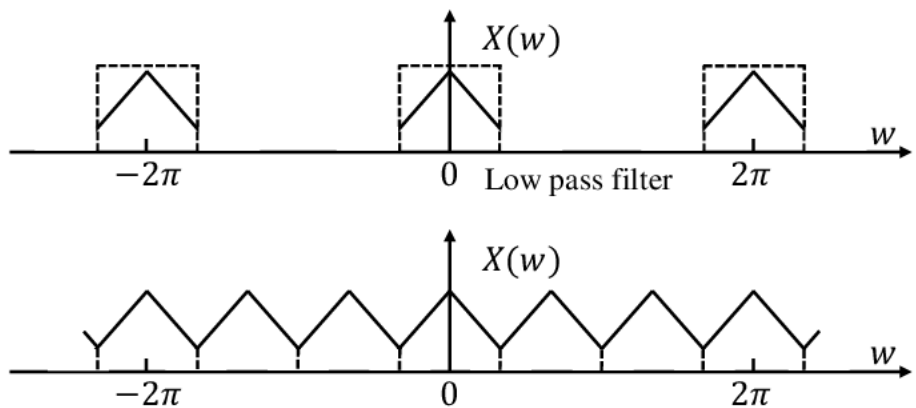
Aliasing (popačeno zaznavanje): spektralno prekrivanje pri vzorčenju analognega signala

Anti-aliasing filter (protiprekrivni filter): omeji pasovno širino vhodnega signala pred digitalno obdelavo





(a) Down-sampling without anti-aliasing



(b) Down-sampling with anti-aliasing

Digitalno procesiranje signalov

DSP (Digital Signal Processing)

Konvolucija: rezultat matematične **kombinacije dveh signalov**, kjer dobimo kot rezultat tretji signal. Izredno pomembna operacija pri DSP.

Konvolucija: $y[n] = x[n] * h[n]$

Konvolucijska vrsta: $y[i] = \sum_{j=0}^{M-1} h[j] \cdot x[i-j]$

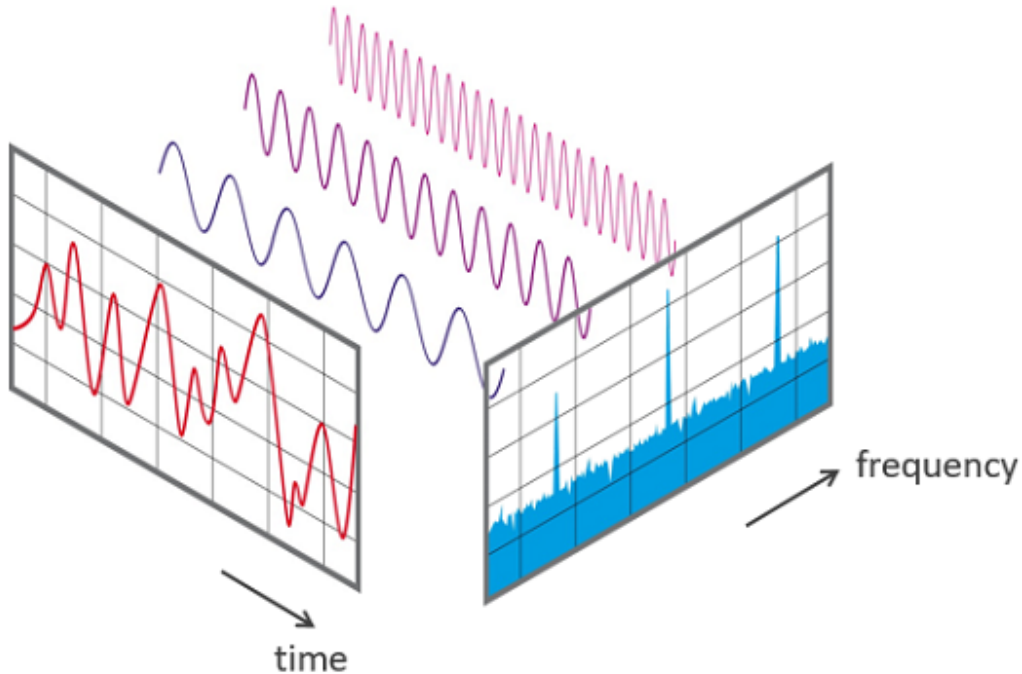
Digitalni filtri

- **FIR** – filter s končnim impulznim odzivom
- **IIR** – filter z neskončnim impulznim odzivom

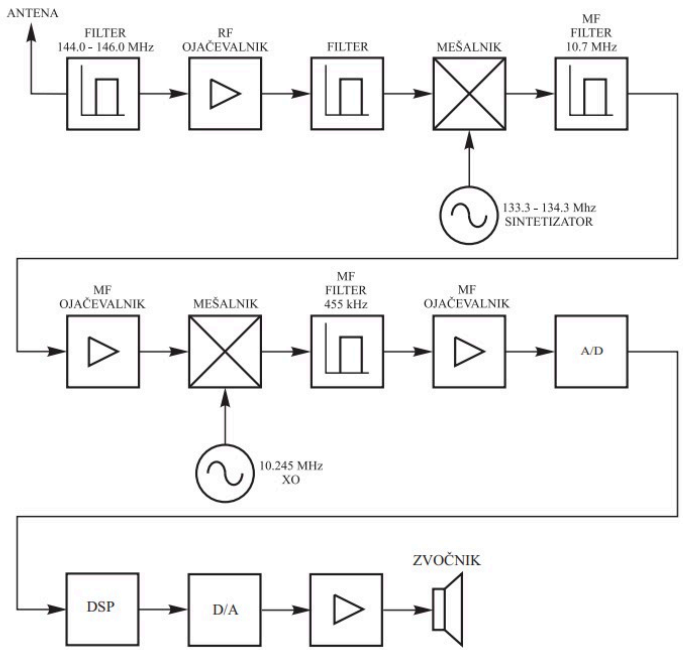
Fourierova transformacija – pretvorba signala iz časovnega prostora v frekvenčni prostor

Diskretna Fourierova transformacija (**DFT**) – z digitalnimi signali

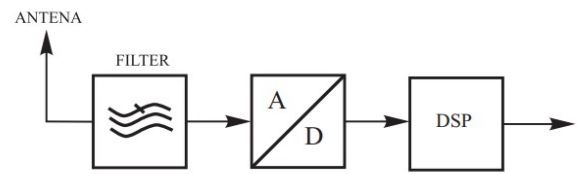
Hitra Fourierova transformacija (**FFT**) – učinkovitejša in hitrejša metoda za izračun DFT

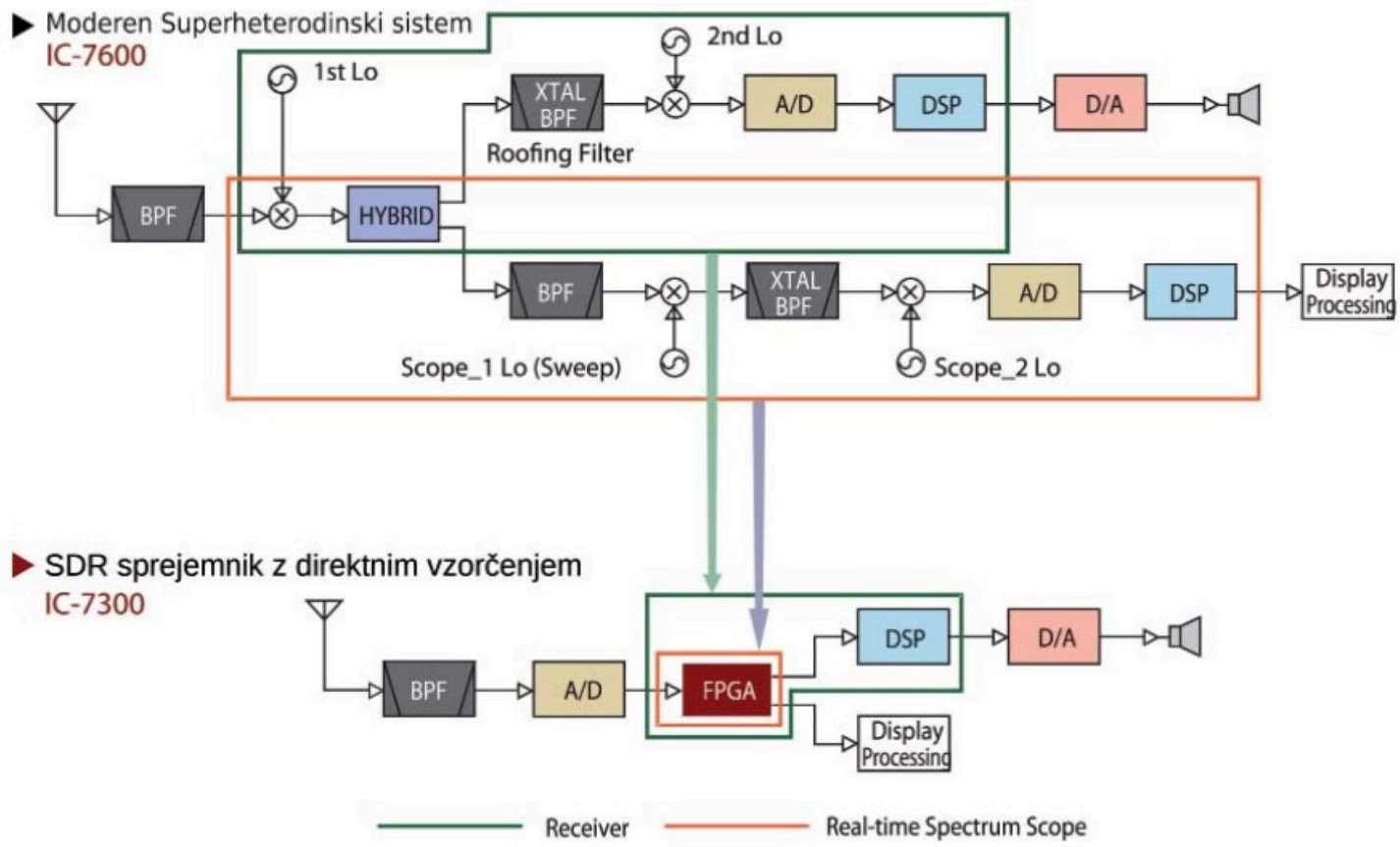


SDR sprejemnik



Idealni SDR sprejemnik




Moderen Superheterodinski sistem
IC-7600
1st Lo
2nd Lo
XTAL BPF
A/D
DSP
D/A
Roofing Filter
BPF
HYBRID
BPF
XTAL BPF
A/D
DSP
Display Processing
Scope_1 Lo (Sweep)
Scope_2 Lo
SDR sprejemnik z direktnim vzorčenjem
IC-7300
BPF
A/D
FPGA
DSP
D/A
Display Processing
Receiver
Real-time Spectrum Scope

Valovanje

Prenos energije v obliki valov

- Valovanje vode – voda kot medij za prenos
- Zvok – valovanje zraka
- **Elektromagnetno valovanje** – valovanje elektromagnetnega (EM) polja

Elektromagnetno valovanje

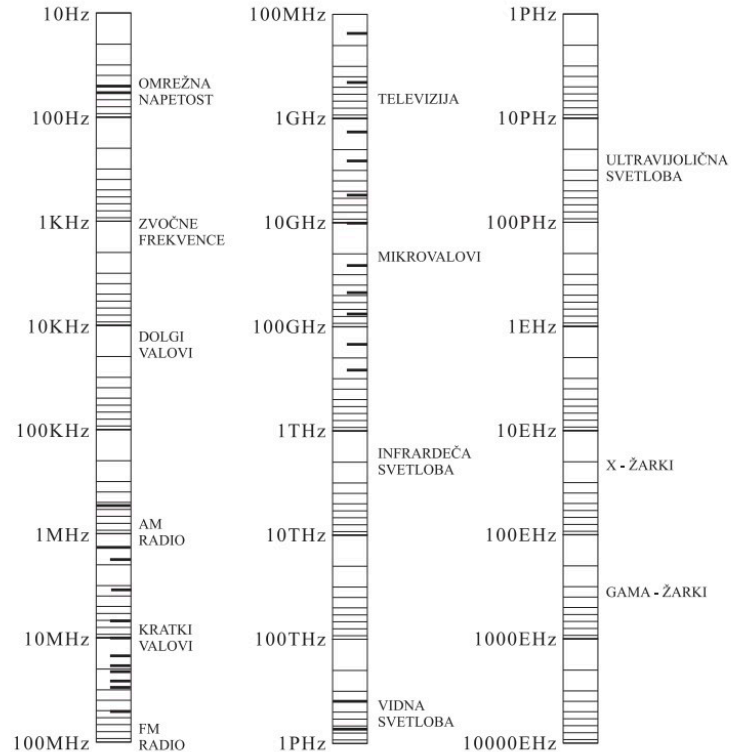
V praznem prostoru se širijo s **hitrostjo svetlobe**:
$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

$$c = f \cdot \lambda \qquad f = \frac{c}{\lambda} \qquad \lambda = \frac{c}{f}$$

f – frekvenca valovanja (Hz)
λ – valovna dolžina (m)

$$f = \frac{300}{\lambda} \qquad \lambda = \frac{300}{f}$$

f – frekvenca valovanja (**MHz**)
λ – valovna dolžina (m)



Primera

Kakšna je frekvenca valovanja z valovno dolžino 80 m?

$$f(\mathrm{MHz}) = \frac{300}{80} = 3{,}750\mathrm{MHz}$$

Kakšna je valovna dolžina valovanja s frekvenco 145.0 MHz?

$$\lambda = \frac{300}{145} = 2{,}07\mathrm{m}$$

Frekvenčna delitev

Ime	Okrajšava	Frekvenca	Valovna dolžina
Zelo nizke frekvence	VLF	3 kHz – 30 kHz	> 10 km
Nizke frekvence	LF	30 kHz – 300 kHz	10 – 1 km
Srednje frekvence	MF	300 kHz – 3 MHz	1000 – 100 m
Visoke frekvence	**HF**	3 MHz – 30 MHz	100 – 10 m
Zelo visoke frekvence	**VHF**	30 MHz – 300 MHz	10 – 1 m
Ultra visoke frekvence	**UHF**	300 MHz – 3 GHz	100 – 10 cm
Super visoke frekvence	SHF	3 GHz – 30 GHz	10 – 1 cm
Ekstremno visoke frekvence	EHF	30 GHz – 300 GHz	1 – 0.1 cm

Razširjanje radijskih valov

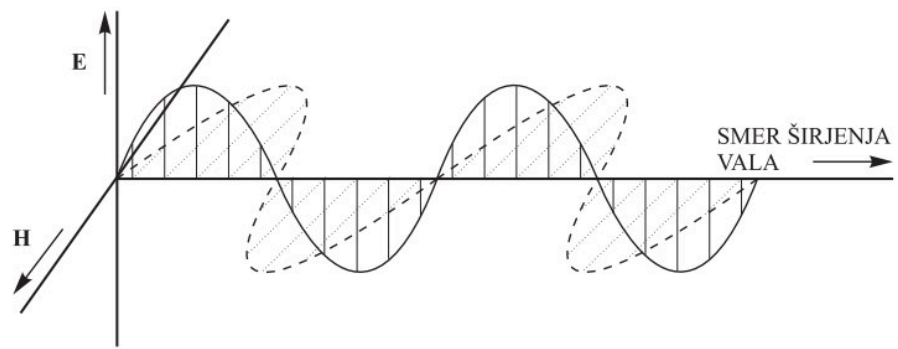
EM valove pri razširjanju lahko ovira atmosfera, zemlja, voda, objekti, ...

Razširjajo v se ravnih linijah, **z večanjem razdalje** se **jakost zmanjšuje**

Jakost pada s **kvadratom razdalje** (pri 2 km od izvora je moč 1/4 moči pri 1 km)

Pravokotni polji:

- E – **električno polje**
  - posledica napetosti
- H – **magnetno polje**
  - posledica toka



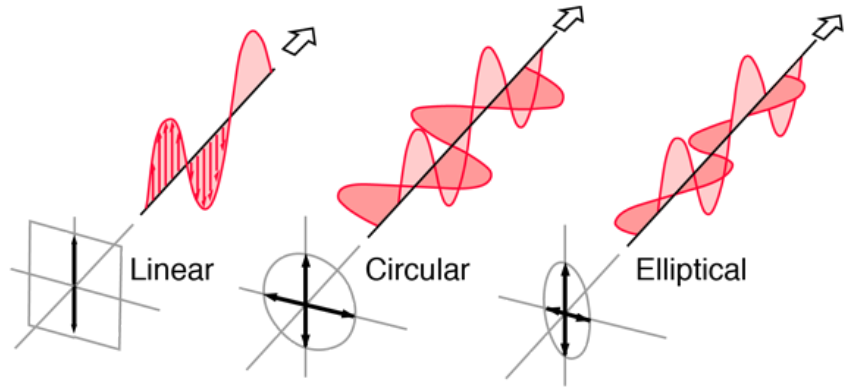
Polarizacija

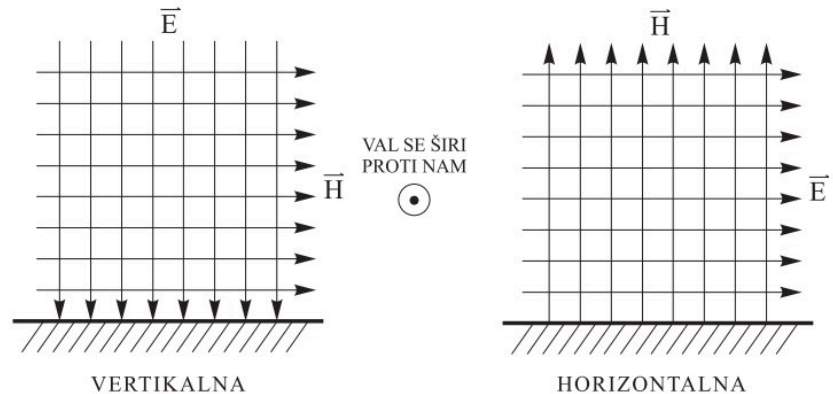
Smer električne komponente (**E**) določa **polarizacijo** valovanja

Vrste polarizacij:

- Linearna
  - **vertikalna** (FM, več šuma)
  - **horizontalna** (KV, SSB, CW)
- Krožna
  - desna / leva
  - uporaba v UKV, sateliti
- Eliptična

Odboji in nepravilnosti v ionosferi povzročajo spreminjanje polarizacije



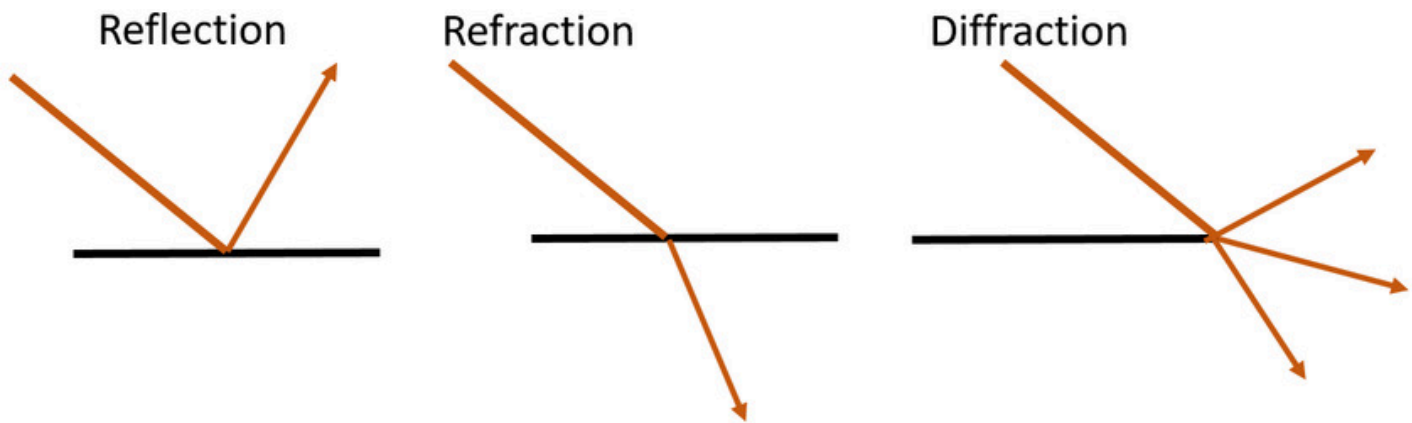


Odboj, lom in uklon valovanja

Odboj ali **refleksija** – usmerjeno (ravna površina) ali difuzijsko (valovanje se razprši) odbijanje od površin

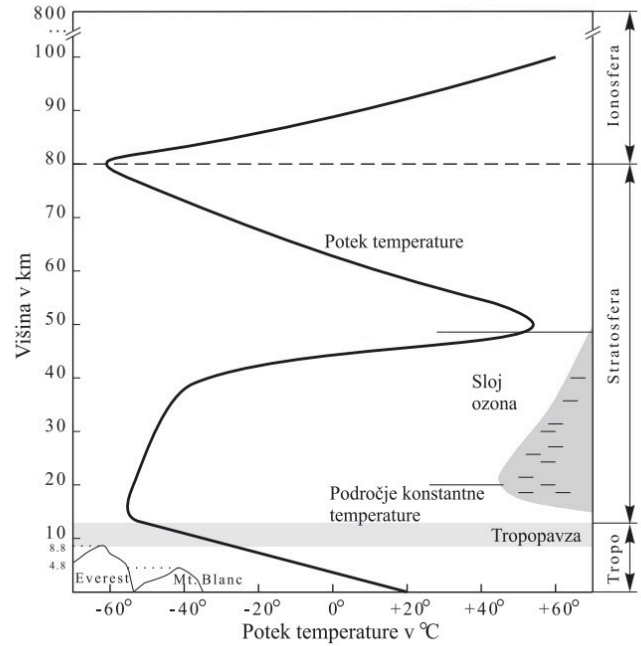
Lom ali **refrakcija** – nastane pri prehodu med dvema prenosnima snovema z različnimi dielektričnimi konstantami (različna hitrost razširjanja svetlobe)

Uklon ali **difrakcija** – nastane na robovih ovir, zelo frekvenčno odvisen (višje frekvence se uklonijo manj)



Zemeljska atmosfera

- Troposfera
  - 0 - 11 km
  - meteorološki procesi
  - temperatura z višino pada (–50 °C)
  - stanje pomembno za razširjanje UKV valov
- Stratosfera
  - 11 - 50 km
  - ne vsebuje vode
  - ozonska plast
- Mezosfera
  - 50 - 80 km
- Ionosfera



Ionosfera

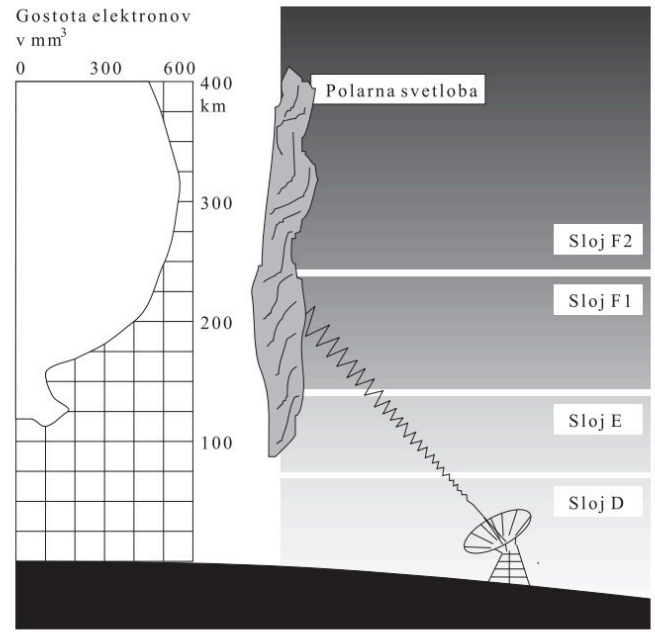
80 - 800 km

Sestavljena iz velikega števila **elektronov in ionov**, nastanejo **zaradi UV in rentgenskih žarkov sonca** (nevtralne molekule se cepijo)
Rekombinacija: ponovna združitev elektronov in ionov

Radijski valovi se "odbijajo" (počasno zavijajo)

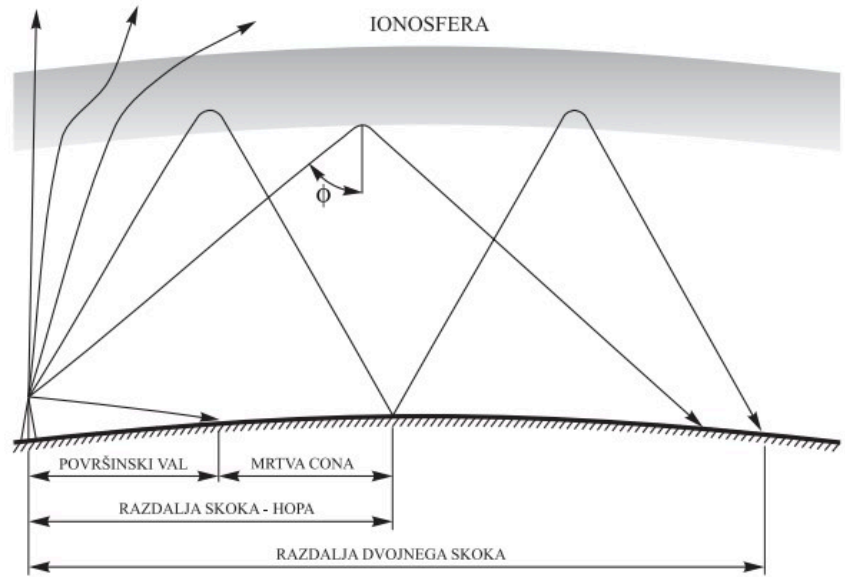
Sloji:

- **D** sloj (80 km) – prisoten le čez dan
- **E** sloj (120 km)
- **F** sloj – ponoči in v času nizke aktivnosti sonca en sloj
    - **F1** (220 km) in **F2** (400 km)



Delitev radijskih valov glede na razširjanje

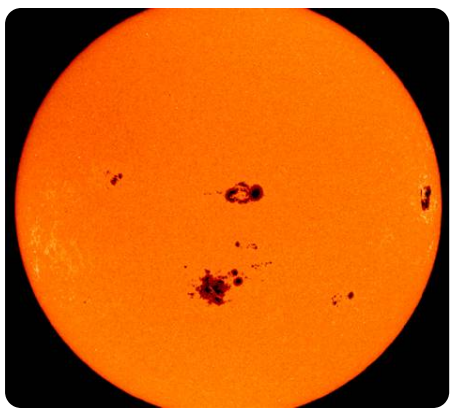
- **Površinski** oz. **talni**
  - širijo ob površini zemlje
  - dolgi in srednji valovi (LF, MF)
- **Troposferski** oz. **direktni**
  - širijo v troposferi
  - UKV valovi
  - če zadenejo oviro, se odbijejo
- **Prostorski** oz. **ionosferski**
  - širijo v prostor in odbijejo od ionosfere (lahko tudi večkrat – skoki)
  - kratki valovi (KV)

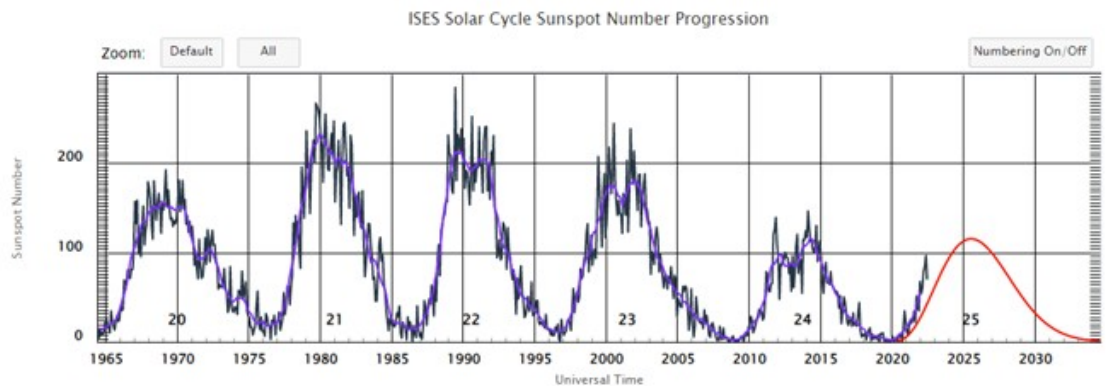


Aktivnost sonca – solarni ciklus

Solarni maksimum – največja aktivnost sonca (11 let)

Največ UV sevanja, ko je veliko sončnih peg (ciklus sončnih peg)





Vpliv sonca na posamezne sloje ionosfere

- F sloj
  - **F2 najpomembnejši** sloj **za DX na KV**, rekombinacija počasna → obstaja **tudi ponoči**
  - F1 obstaja le čez dan, poleti bolj pogost, nezaželen, ker slabi signale
- E sloj
  - Formira se samo nad predelom Zemlje, ki ga osvetljuje Sonce
  - Maksimum doseže okoli poldneva
  - **Sporadični E sloj** (Es – E sporadic)
    - **Občasen pojav močne ionizacije**, podoben oblaku
    - Lahko odbija UKV valove
- D sloj
  - Gostota prostih elektronov majhna → odbija le zelo dolge valove (VLF, LF)
  - KV (predvsem 160 m in 80 m) čez dan **absorbira** (slabi)
  - Po sončnem zahodu, hitra rekombinacija

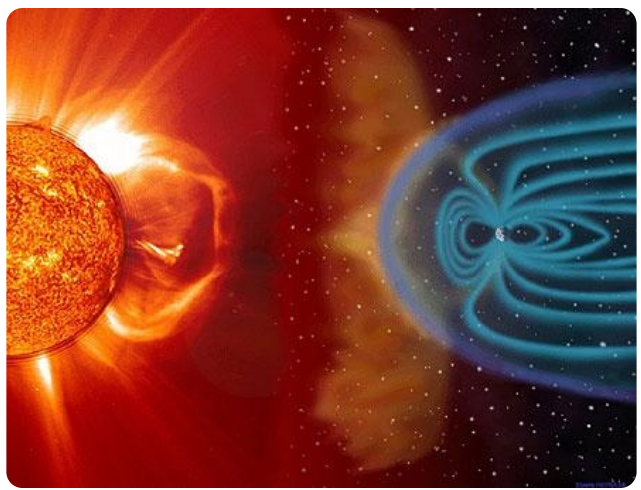
Motnje v ionosferi

Posledica aktivnosti sonca (povečano sevanje ali sončni veter)

Povečanje ionizacije v D sloju slabi signale

Kot motnje štejemo tudi polarno svetlobo (aurora) in sporadični E sloj (Es)





Kritična frekvenca, najvišja in najnižja uporabna frekvenca

f_{kr}, LUF in MUF

Kritična frekvenca (f_{kr}): **najvišja** frekvenca valovanja, ki se **pod kotom 90° odbije** od ionosfere.

Najvišja uporabna frekvenca (MUF – Maximum usable frequency): **najvišja** frekvenca valovanja, ki se **pod vpadnim kotom φ še odbije**.

$$\mathrm{MUF} = \frac{f_{\mathrm{kr}}}{\cos(\varphi)}$$

Najnižja uporabna frekvenca (LUF – Lowest usable frequency): tudi frekvenca slabljenja, najnižja frekvenca v KV za prostorski val. Nižje frekvence se bodo v ionosferi absorbirale.

Fading (presih)

"feding"

Nihanje jakosti signala (QSB)

Vzroki:

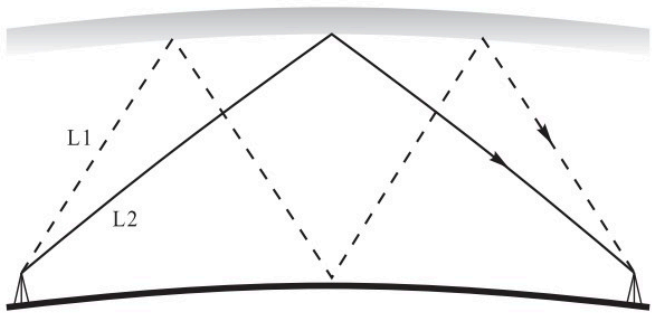
- Različne poti signala do sprejemnika
- Spreminjanje ionizacije
- Povečanje absorpcije D sloja
- Odboj od dveh različnih slojev
- Odbijanje od objektov

Primer QSB

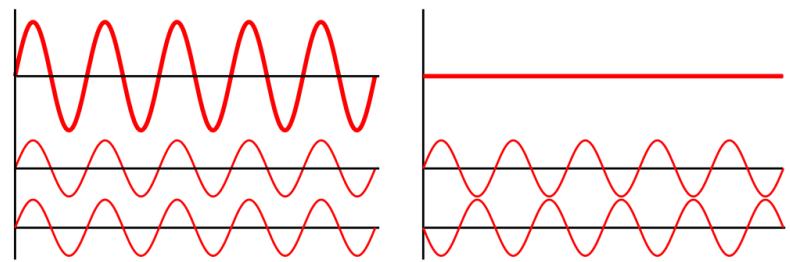
Fading zaradi interference

Zaradi različnih poteh signala do sprejemnika pride do **interference**

Signali **v fazi jakost povečajo**, signali **iz faze jakost zmanjšajo** ali v skrajnem primeru (180°) popolnoma izginejo



VAL PRIDE DO SPREJEMNE ANTENE PO DVEH RAZLIČNO DOLGIH POTEH (L1>L2)



Pogoji razširjanja valov na KV področju

- **2200 m (135,7 kHz – 137,8 kHz)**
  - površinski val, ne odbija od ionosfere
- **630 m (472 kHz – 479 kHz)**
  - površinski val, ne odbija od ionosfere
- **160 m (1,8 MHz – 2 MHz)**
  - čez dan D sloj absorbira, lahko se odbijajo od E sloja
  - atmosferske in industrijske motnje
  - dobre propagacije predvsem pozimi in ponoči
- **80 m (3,5 MHz – 3,8 MHz)**
  - čez dan D sloj absorbira, lahko se odbijajo od E sloja
  - dobre propagacije ponoči ali pozimi
  - podnevi možne lokalne zveze

- **60 m (5,3515 MHz – 5,3665 MHz)**
  - značilnosti med 80 m in 40 m pasom
  - dobre propagacije ponoči ali pozimi
- **40 m (7 MHz – 7,2 MHz)**
  - podobno kot 80 m pas, možne daljše razdalje tudi čez dan
  - siva linija (gray line) – med dnevom in nočjo
  - atmosferske najbolj izrazite poleti
- **30 m (10,1 MHz – 10,15 MHz)**
  - ponoči možne zveze po celem svetu, čez dan po Evropi (1500 km)
  - manj industrijskega šuma
- **20 m (14 MHz – 14,35 MHz)**
  - pravi DX pas, praktično vedno odprt
  - atmosferski in industrijski šum ni problem
- **17 m (18,068 MHz – 18,168 MHz)**
  - podobno kot 20 m pas

- **15 m (21 MHz – 21,45 MHz)**
  - potrebna velika sončna aktivnost za DX
  - že odvisen od E sporadika
- **12 m (24,89 MHz – 24,99 MHz)**
  - podobno kot 15 m in 10 m pas
- **10 m (28 MHz – 29,7 MHz)**
  - meji na UKV področje → značilnosti UKV in KV
  - močno odvisen od sončne aktivnosti
  - odprt samo čez dan

Pogoji razširjanja valov na UKV in višjih področjih

UKV valovi (nad 30 MHz) **praviloma prebijejo ionosfero** – redno razširjanje je troposfersko (direktno)

Uporabljamo jih za:

- Direktne zveze (optična vidljivost)
- Zveze preko satelitov
- Odboj od Lune (EME)
- …

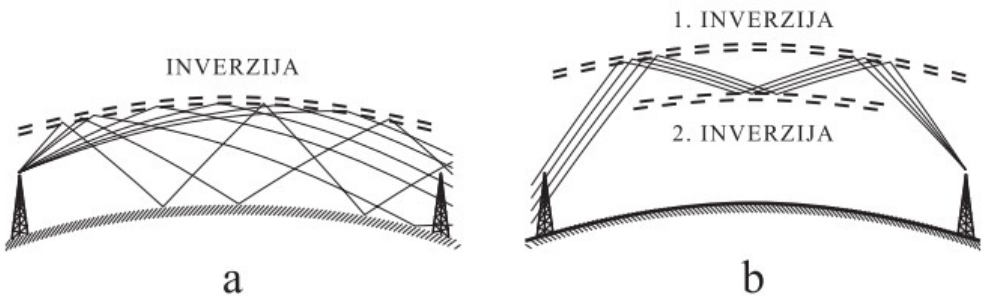
Izjeme so občasni ionosferski pojavi (sporadični E sloj, aurora, FAI, TEP) – najbolj jih občuti 6-metrski pas (50 MHz), ki se pri močni ionizaciji (Es) obnaša kot 10-metrski pas.

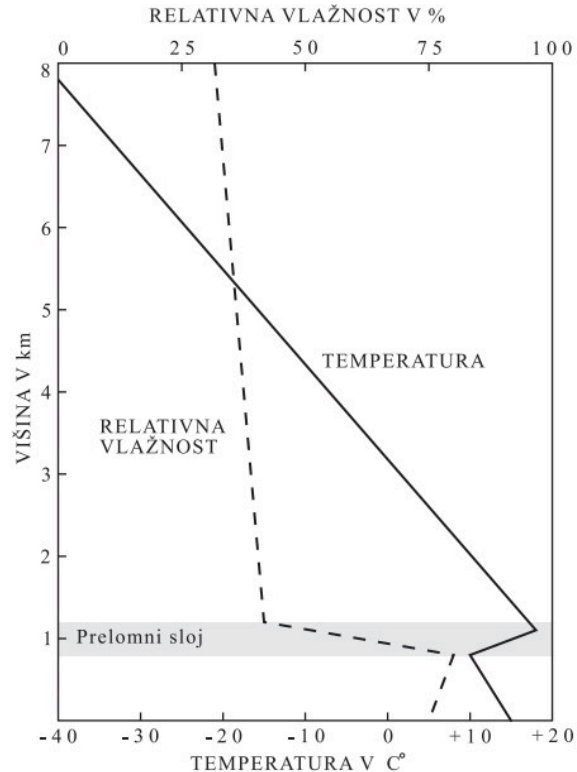
Temperaturna inverzija

UKV valovi pri prehodu skozi pas inverzije zavijejo nazaj proti Zemlji

Višji kot je pas, večji je domet

Možna tudi dvojna inverzija

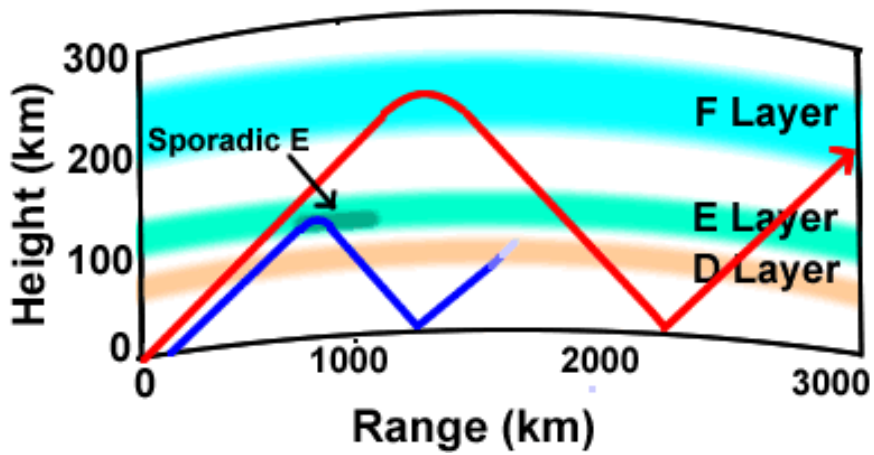




Sporadični E sloj – ES

V območju E sloja nastane **oblak velike koncentracije elektronov**, ki odbija UKV valove

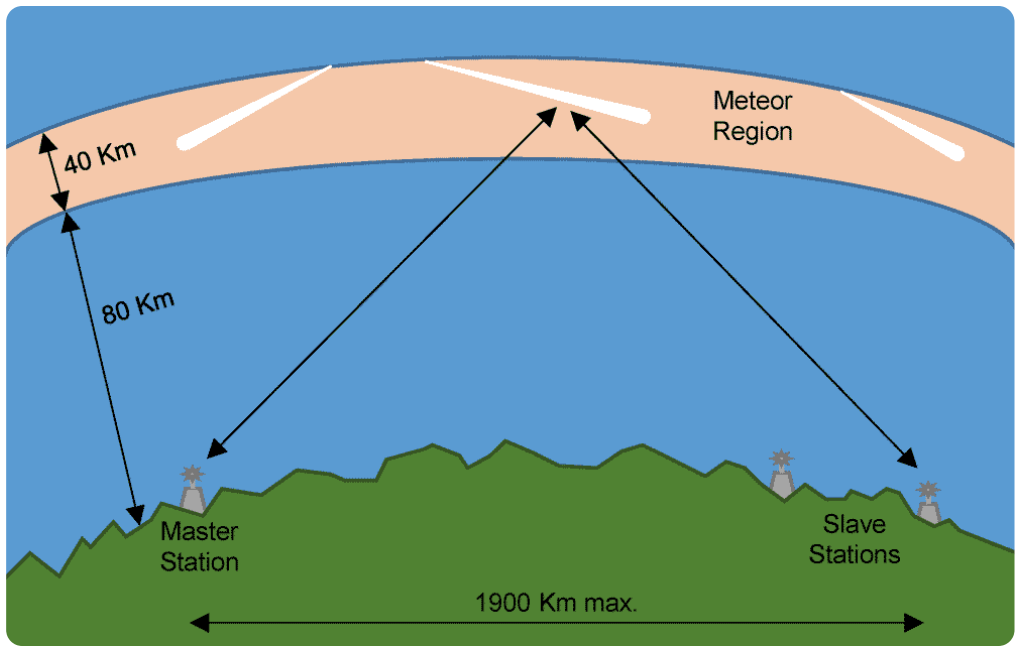
Domet poveča tudi do 2000 km



Odboj od meteorskih sledi – MS

Meteor, ki izgoreva, pušča za sabo zelo **močno ionizirano sled**, ki odbija UKV valove

Večji meteor → daljše izgorevanje → daljše zveze



Odboj od polarne svetlobe – AURORA

V območju Zemljinega pola zelo **močno ioniziran del E sloja**, ki lahko odbija UKV valove

Odboj je zelo difuzen, signali so zelo šumni (predvsem samo CW)

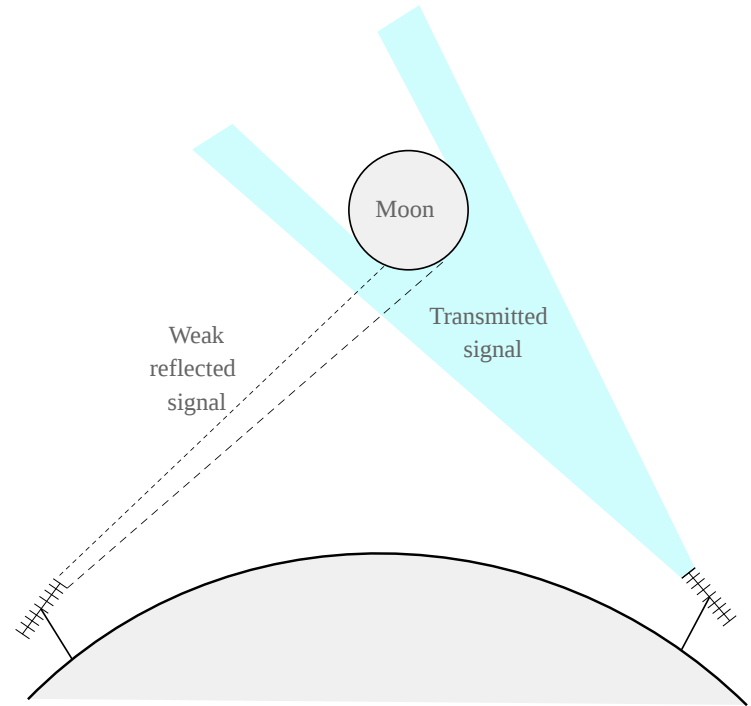


Odboj od Lune – EME

Signal do Lune in nazaj potuje približno 2,5 sekunde

Potrebne velike moči in dobre antene zaradi dolgih razdalj in slabljenja

Pri odboju se lahko spremeni polarizacija



Transalpska propagacija – TAP

FAI (Field Aligned Irregularity) – nepravilnosti v porazdelitvi polja

Oddani signal spremeni smer

Najpogosteje se pojavlja od sredine maja do konca julija

Transekvatorialna propagacija – TEP

Nenavadno dolge zveze (okoli 4000 km) v smeri sever – jug

Iz naših krajev je možno vzpostaviti zveze z amaterji na območju južne Afrike

Delo preko umetnih satelitov

UKV valovi nemoteno prebijejo ionosfero

Lahko tudi z manjšimi močmi in enostavnimi antenami

Običajno oddajamo in sprejemamo na različnih frekvenčnih pasovih ("Cross band")



Značilnosti nekaterih UKV področij

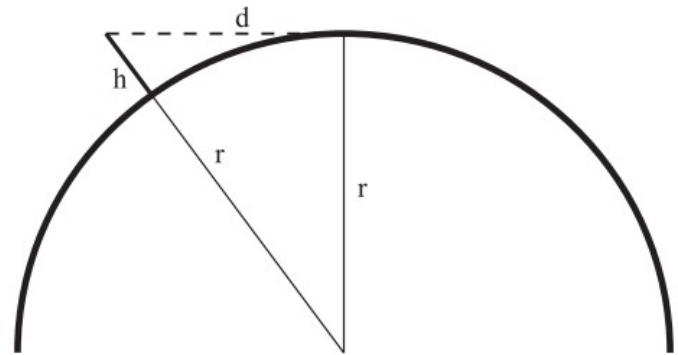
- **6 m (50 MHz – 52 MHz)**
  - V času maksimalne aktivnosti Sonca pravi DX pas
  - Poleti pogosti pojavi Es
- **2 m (144 MHz – 146 MHz)**
  - Najpopularnejši UKV pas
  - troposfersko razširjanje, inverzija, Es, FAI, aurora, EME, sateliti
  - Lokalne zveze in FM repetitorji
- **70 cm (430 MHz – 440 MHz)**
  - Predvsem troposfersko, posebni pojavi redki
  - sateliti, EME, Packet Radio, DMR

Višji frekvenčni pasovi predvsem na eksperimentalni ravni in redkeje uporabljeni

Vpliv višine antene na doseg valov

Višje postavljena antena je *načeloma* boljša antena

Višje postavljena antena → nižji kot sevanja → daljši skok (hop) signala



$$d = 4{,}13 \cdot \sqrt{h}$$

d – oddaljenost (km)

h – višina antene nad okoliškim terenom (m)


Antene

Antena

Kaj dela antena?

Električno moč iz oddajnika pretvori v **elektromagnetne valove** in jih **izseva v prostor**.

Tudi obratno: EM valovi, ki zadenejo anteno povzročijo nihanje elek. delcev v anteni

Kaj so signali, kaj motnje?

Dolžina antene

Ponovimo:

$$\lambda\,(\mathrm{m}) = \frac{300}{f\,(\mathrm{MHz})}$$

Tipične resonančne dolžine: $\mathbf{\frac{1}{2}\lambda}$, $\frac{1}{4}\lambda$, $\frac{3}{4}\lambda$, 1λ

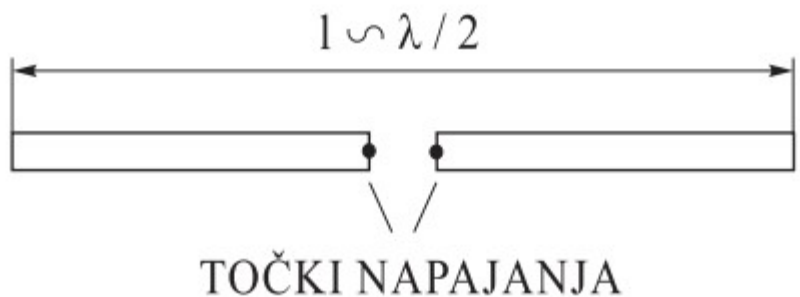
Polvalni dipol

Antena z dvema poloma, ki sta skupaj dolga pol valovne dolžine

Najbolj **razširjena** in **najpreprostejša** antena

Uporablja se tudi kot sestavni del drugih anten (npr. yagi)

Referenčna antena: z njo določamo ojačenje drugih anten (več kasneje)



Dolžina polvalnega dipola

$$l\,(\mathrm{m}) = \frac{150}{f\,(\mathrm{MHz})} \cdot k$$

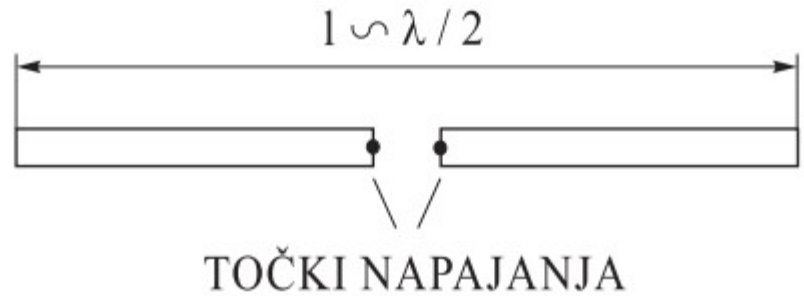
l – dolžina v metrih

f – frekvenca v MHz

k – faktor vitkosti

k je odvisen od **razmerja valovne dolžine** in **debeline vodnika**

$$0{,}93 \lesssim k \lesssim 0{,}98$$



Impedanca antene

Impedanca: **Razporeditev toka in napetosti** v točki.

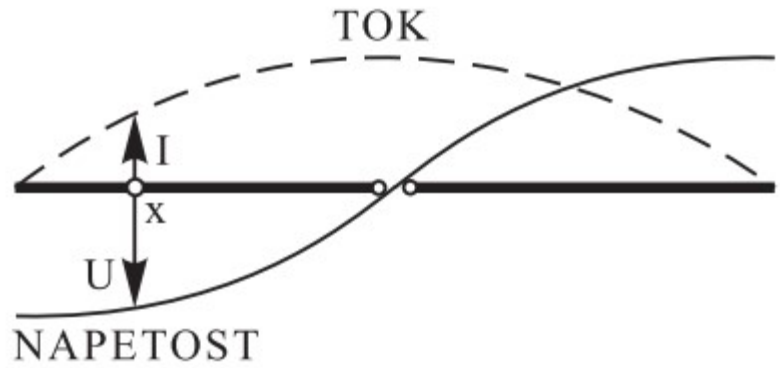
Napetost in tok fazno zamaknjena za 90° oz. $\frac{1}{4}\lambda$

$$Z = \frac{U}{I}$$

Resonančna antena: impedanca je **ohmska**

Antena **predolga**: pojavi se **induktivna reaktanca**
Antena **prekratka**: pojavi se **kapacitivna reaktanca**

Impedanco antene razumemo kot impedanco **v točki napajanja**



Sevalna upornost

Z njo določamo več lastnosti antene

Računa se v **točki največje amplitude toka**
Ekvivalentna upornost, na kateri bi se porabila vsa moč oddajnika

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_s}}$$

η – (eta) izkoristek
R_i – upornost žice
R_s – upornost sevanja

Na upornost sevanja vplivajo:
višina antene, **predmeti v okolici**, kvaliteta tal, dimenzije oblika antene, ...

Skrajševalni faktor

Ločimo **mehansko** in **električno dolžino antene**
Enaki le v primeru neskončno tanke žice, v praznem prostoru

Faktor vitkosti: debelejši vodnik ⇒ večja kapacitivnost
Nihajni krog: večja kapacitivnost ⇒ nižja frekvenca
Torej: debelejšo anteno moramo skrajšati
Za polvalni dipol iz žice okoli 0,98

Na KV področju se pojavi še **efekt koncev** (izolator + konec žice)
Iz prakse, najugodnejši skrajševalni faktor: 0,95

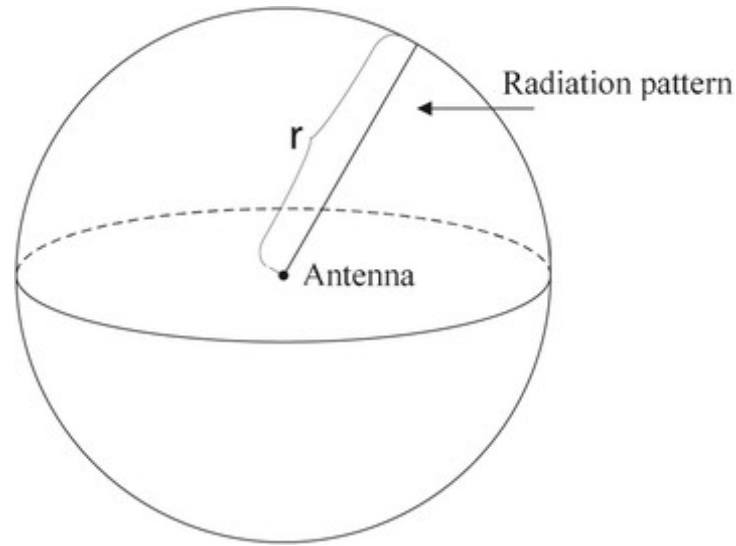
Sevanje antene

Izotropna antena:

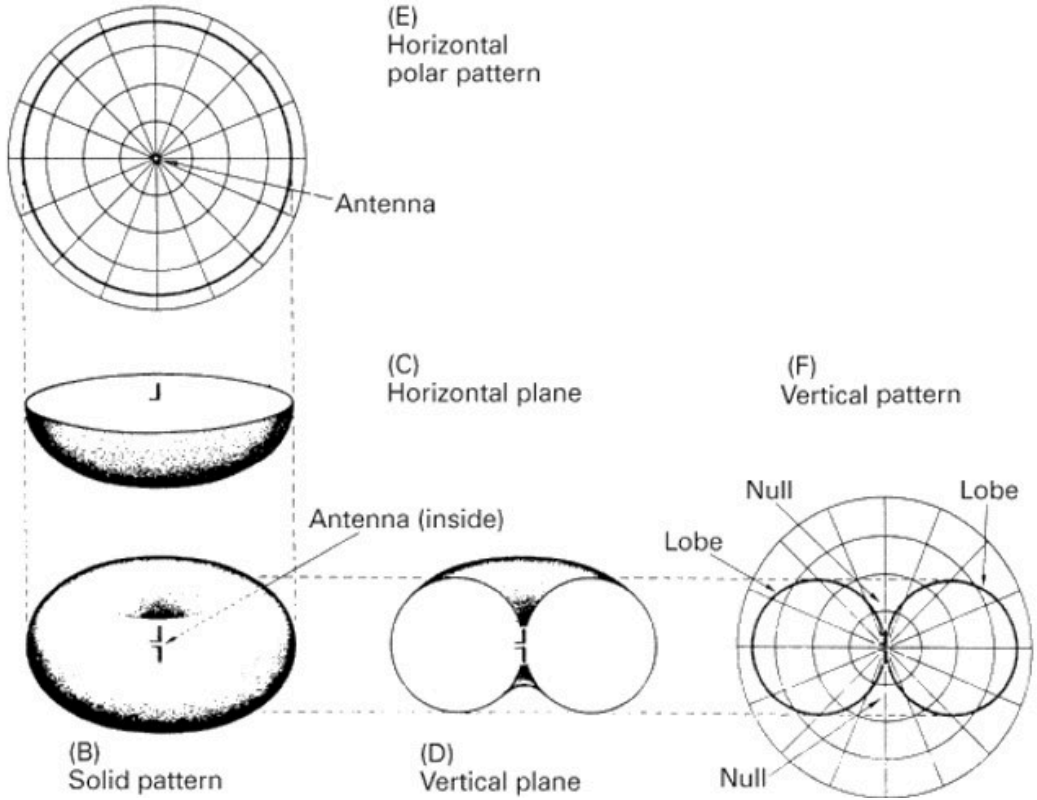
- Točkast izvor, seva v vse smeri enako
- V praksi je NE moremo narediti

Usmerjenost sevanja predstavimo s:

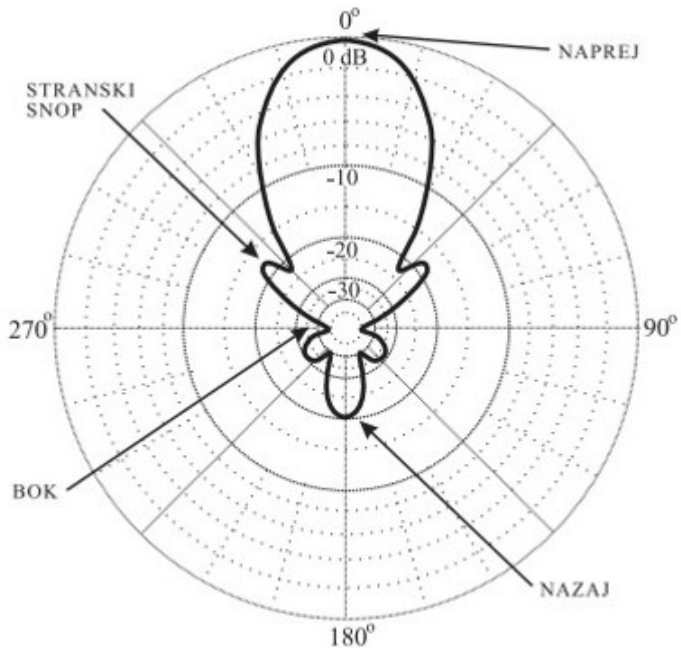
- 3D sliko, ali s
- horizontalnim / vertikalnim sevalnim diagramom



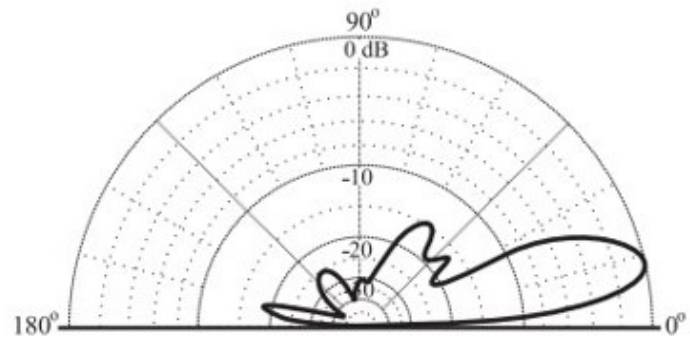
Sevalni diagram



Horizontalni sevalni diagram



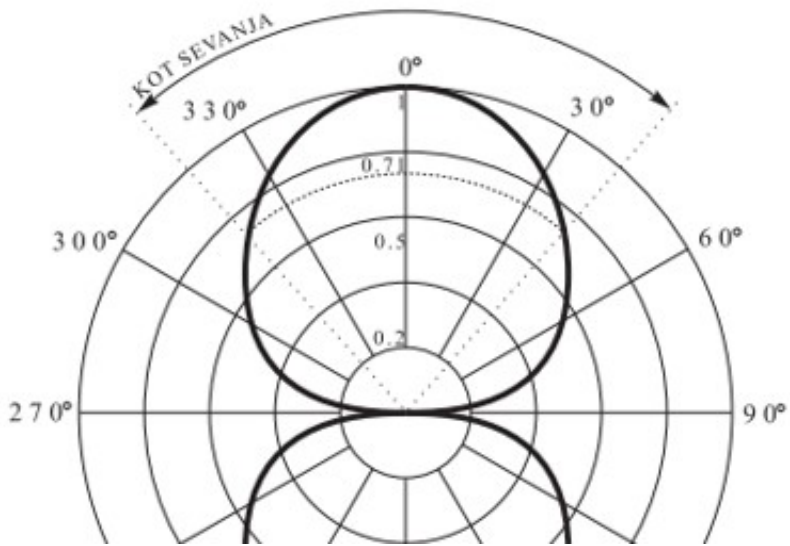
Vertikalni sevalni diagram

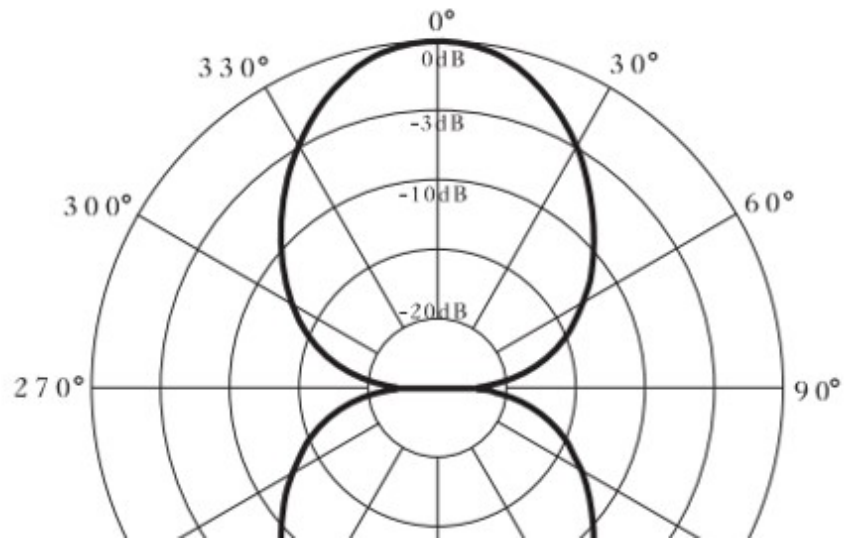


Kot sevanja

Širina sevanja antene v glavni smeri

V diagramu na glavnem snopu pri **0,71** maksimalne vrednosti.
To je 50 % padec moči oz. **-3dB**.

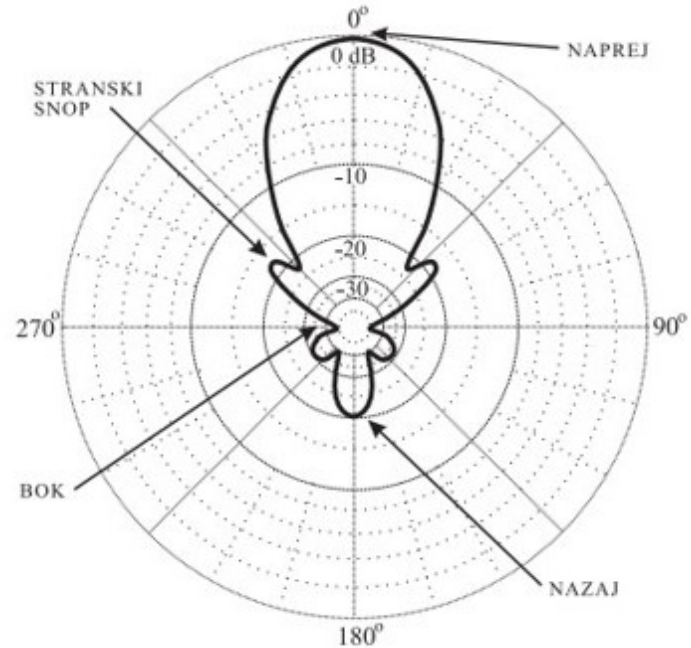




Razmerja sevanja

F/B ratio – front to back ratio:
razmerje med napetostjo v smeri maksimalnega sevanja (0°) in njemu nasprotnega sevanja (180°)

F/S ratio – front to side ratio:
razmerje sevanja v direktni smeri in sevanja v bočni smeri (90°, 270°)



Dobitek antene (ojačenje)

Gain

Razmerje ojačenja moči glede na referenčno anteno

$$G = \frac{P_1}{P_2}$$

P_1 – moč, ki jo potrebuje **referenčna** antena
P_2 – moč, ki jo potrebuje **merjena** antena
(za enako jakost polja v isti točki)

$$G(\mathrm{dB}) = 10 \cdot \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{U_1}{U_2}\right)$$

Referenčne antene

Izotropna (točkasta) antena:
Ojačenje merimo z **dBi – decibel glede na izotropni radiator**

Polvalni dipol:
Ojačenje merimo z **dBd – decibel glede na dipol**

Ojačenje dipola glede na izotropni radiator je 2,15 dBi (1,64-krat)

Efektivna izsevana moč – ERP

$$P_{\mathrm{ERP}} = G \cdot P$$

PRIMER

Imamo oddajnik z močjo 25 W, anteno z ojačenjem 12 dBd in napajalni kabel, v katerem imamo 2 dB izgub. Iz navedenega je razvidno, da je skupno ojačenje antenskega sistema 10 dB oziroma 10-krat.

$$P_{\mathrm{ERP}} = 10 \cdot 25\ \mathrm{W} = 250\ \mathrm{W}$$

"Ob uporabi dipola bi za isto efektivno moč potrebovali 250 W oddajnik."

$$P_{\mathrm{EIRP}}(\mathrm{W}) = 1{,}64 \cdot P_{\mathrm{ERP}}(\mathrm{W})$$

$$P_{\mathrm{EIRP}}(\mathrm{dB}) = P_{\mathrm{ERP}}(\mathrm{dB}) + 2{,}15$$

Praktične oblike anten

Polvalni dipol

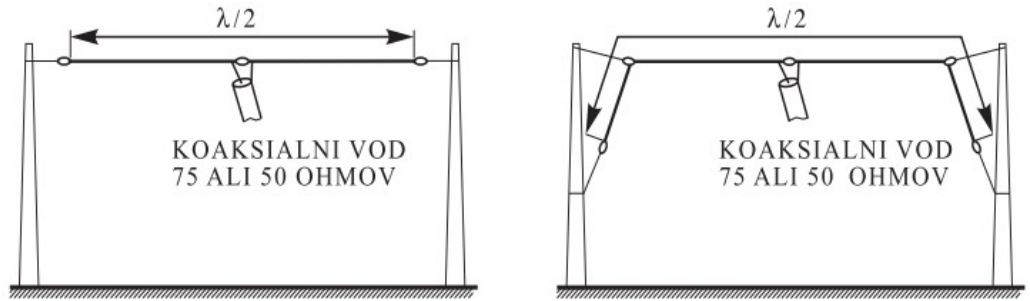
Še enkrat:

$$l(\mathrm{m}) = \frac{150}{f(\mathrm{MHz})} \cdot k$$

Ne seva na vse strani enako

Ločimo:

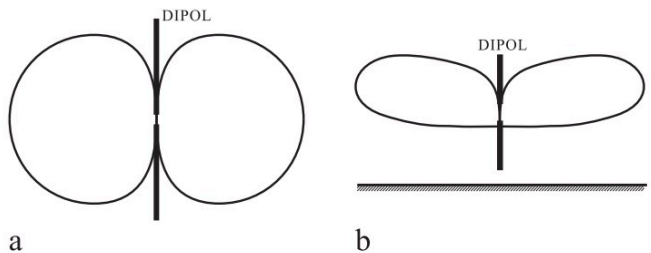
- horizontalni dipol
- vertikalni dipol



Če nimamo prostora lahko zavijemo konce proti tlom, to vpliva na sevalni diagram, resonanco in impedanco antene.

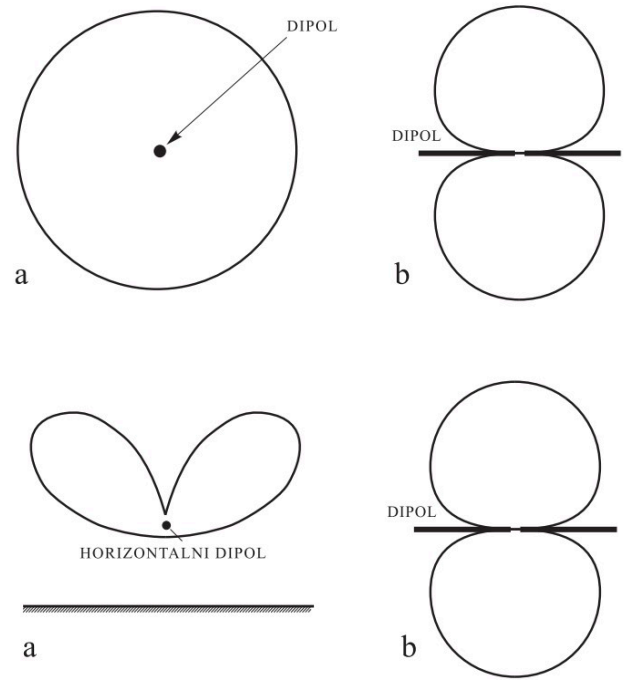
Idealno postavljen **vsaj $\frac{1}{2}\lambda$ od tal**, če ni, se popači sevalni diagram.

Vertikalni sevalni diagram vertikalnega dipola



a. v praznem prostoru
b. blizu tal

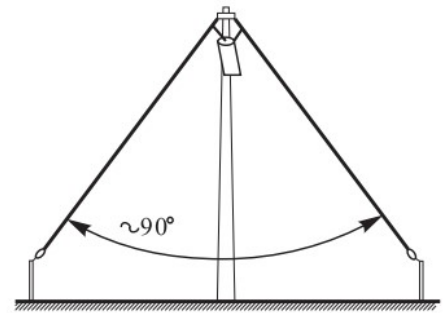
Horizontalni dipol



Obrnjeni V – Inverted V

Varianta dipola (zaradi bližine koncev tlom je resonančna dolžina nekaj % krajša)

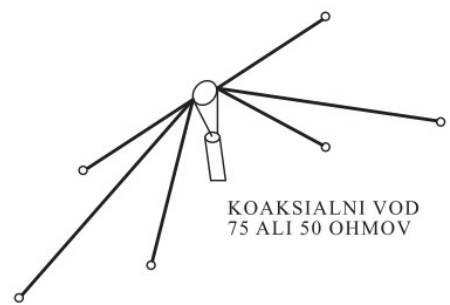
- Potrebuje le eno visoko točko
- Okoli 90° (60 - 120°)
- Konci vsaj 3 m od tal (zaradi varnosti mimoidočih)



Uglašujemo jo s:

- spreminjanjem **dolžine žice** in
- spreminjanjem **naklona**

Možno napajanje več anten različnih dolžin.

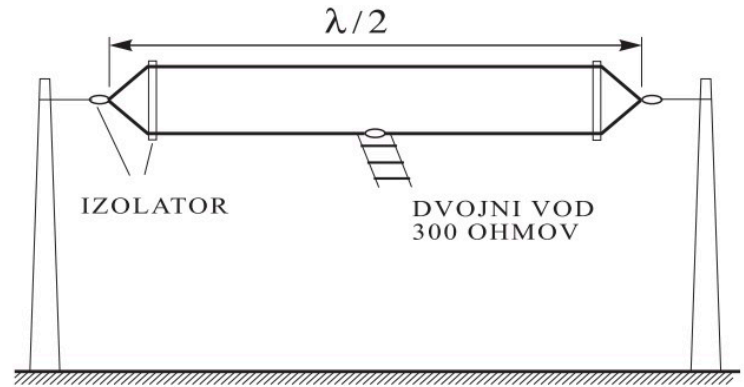


Zaprt (zavit) polvalni dipol

Uporablja predvsem na UKV področju (tudi KV).
Tudi varianta dipola – bolj **širokopasoven**.

Impedanca je okoli 300 Ω, to pomeni, da anteno napajamo z:

- 300 Ω odprtim vodom ali pa
- 50 Ω koaksialnim vodom z 6:1 (balunom)



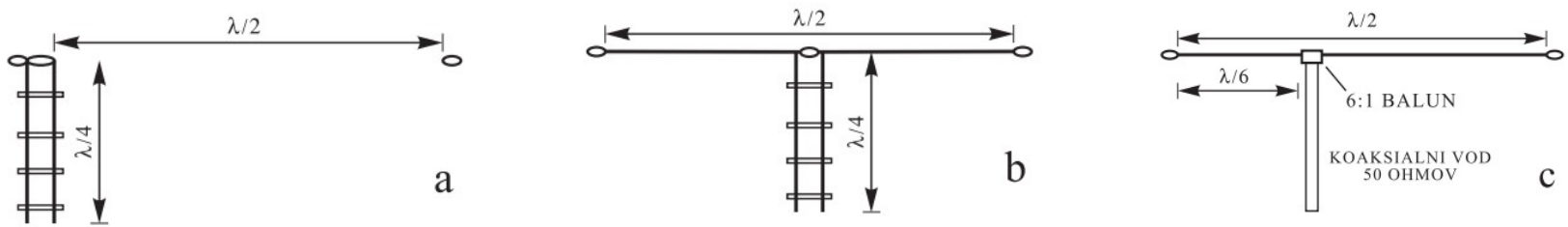
Dipol antene za delo na več frekvenčnih pasovih

"Multiband dipoli"

Zepp antena: polvalna antena, napajamo z odprtim vodom dolg $\frac{1}{4}\lambda$
Ločimo: **Enojni** (a) in **dvojni** (b) Zepp

Windom antena (c): polvalna antena, napajamo na $\frac{1}{3}$ dolžine antene (impedanca 300 Ω ⇒ 6:1 balun in koaksialni vod)

Dvojna Windom antena: dve anteni na istem balunu, pokrijemo več pasov



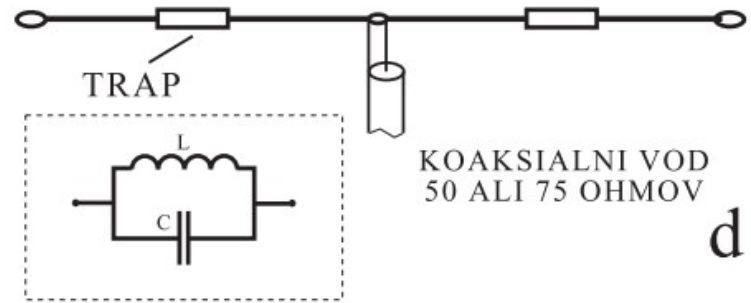
"Trap" dipol

Dipol s pastmi

V antenski žici imamo **vgrajena posebna vezja**/pasti ali "trape"

Pasti so **vzporedni nihajni krogi** – pri resonanci **velika upornost**

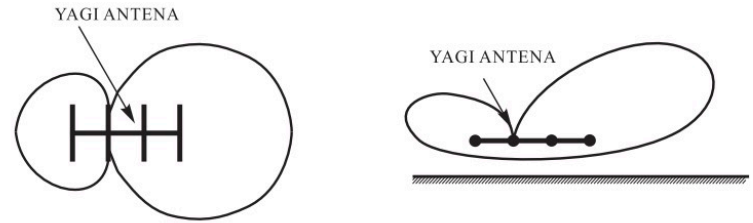
W3DZZ antena: z enim parom trapov pokrije več amaterskih pasov
To dosežemo s pravilnim razmerjem med L in C

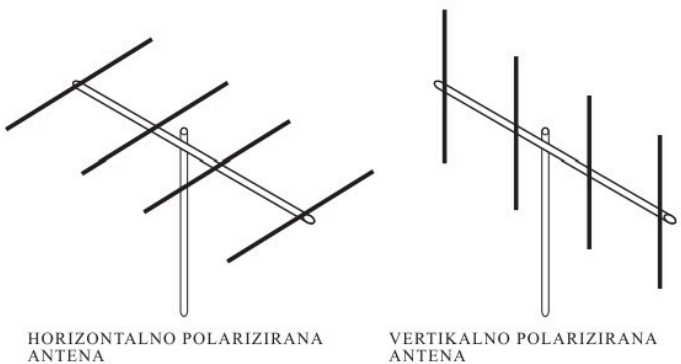


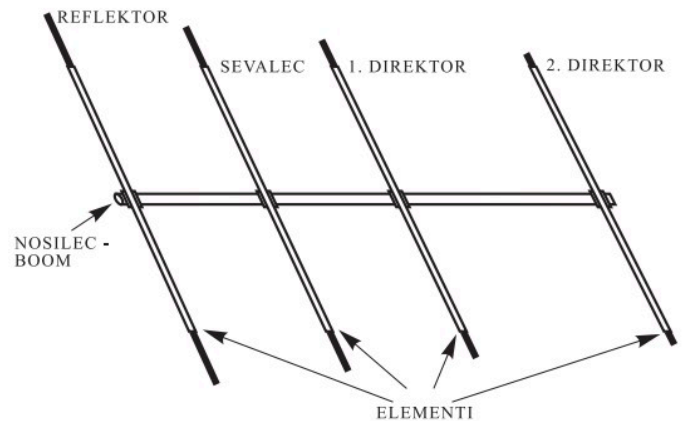
Yagi–Uda antena

Tipična predstavnica **usmerjenih** anten

Aktivni element: **sevalec**
Parazitni elementi: **reflektor**, **direktorji**



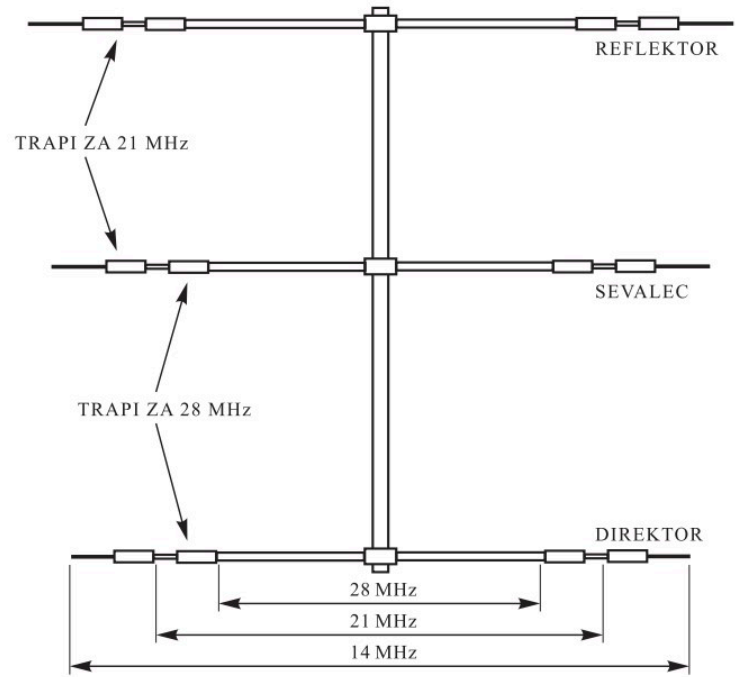




Več direktorjev → ožji glavni snop
Po določeni velikosti, ni smiselno povečevanje.



"Multiband" Yagi antena



Zančne (loop) antene

Quad (4) in **Delta** (3) **Loop**

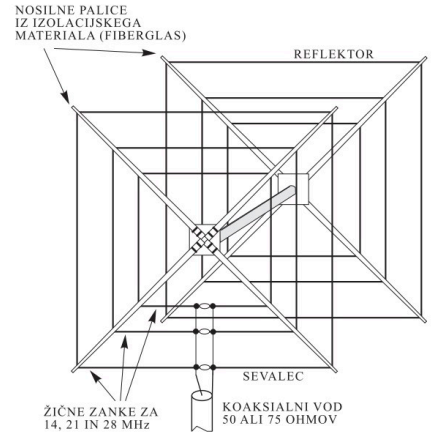
Dva ali več kvadratov/trikotnikov

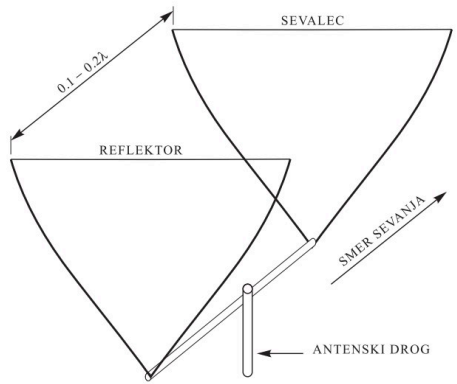
Sevalec (dolg λ), reflektor (λ + 3-5%), direktorji (λ - 3-5%)

Razmik približno 0,2 λ

Nižji vertikalni kot sevanja na majhnih višinah
Manj občutljive na šum
Slabša odpornost na vreme

KV – prevladujejo loop, UKV – yagi





Logaritmično – periodične dipol antene (LPDA)

"log-periodik" (LP)

Najpogostejše za TV sprejemnike

Pokrivajo **širok frekvenčni pas**, konstantno obnašanje

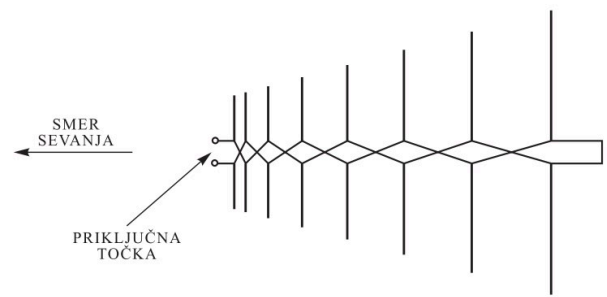
Najdaljši in najkrajši določata zgornjo in spodnjo mejo frekvenčnega pasu

Razmiki določajo ojačenje antene

Napaja na sprednjem delu

Predolgi – reflektorji, prekratki – direktorji





Long – wire antena (LW)

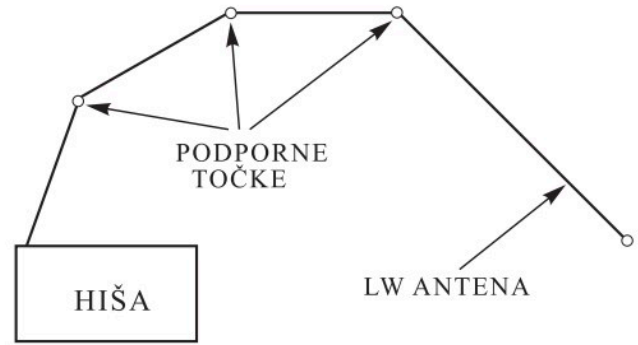
Ko nimamo prostora za polvalni dipol ali usmerjeno anteno

Žica postavljena čim višje, ne nujno v ravni liniji

Moramo uporabljati **prilagoditveno vezje** (prilagodimo impedanco)

Idealna dolžina je nekaj valovnih dolžin

Na najnižji frekvenci mora biti dolga vsaj $\frac{3}{4}\lambda$



Vertikalne antene

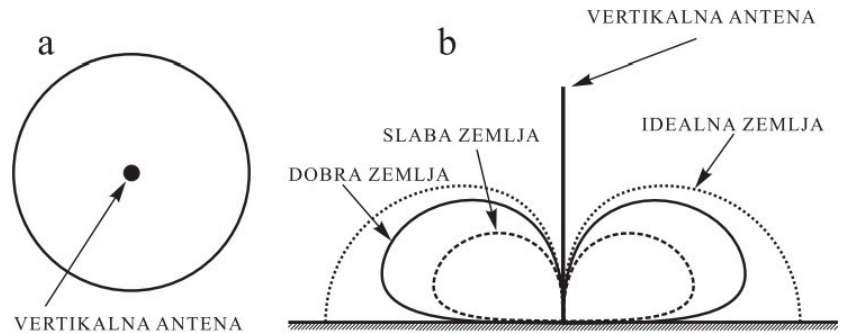
Malo prostora, delo iz vozila, ročne postaje

Dobro narejena in primerno **ozemljena**!

Horizontalno seva v vse smeri enako ("omnidirekcionalna"), vertikalno precej usmerjena

Polovica vertikalnega dipola ($\frac{1}{4}\lambda$), druga polovica je zemlja pod anteno

Ozemljimo z **radiali** (na ali pod zemljo) 0,2 - 0,5 λ



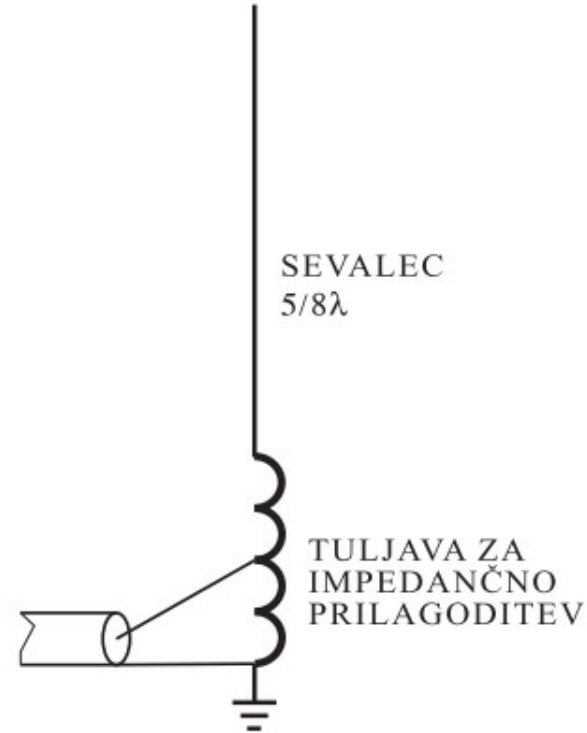
Na KV pogosto dodamo "trape"

$\frac{1}{4}\lambda$ najbolj razširjena,
AMPAK optimalni kot sevanja dosežemo z $\frac{5}{8}\lambda$

Problemi: **ni napajalnih vodov** s pravilno impedanco
in antena **ni resonančna** (kapacitivna)

Pomagamo si s tuljavo pri vznožju

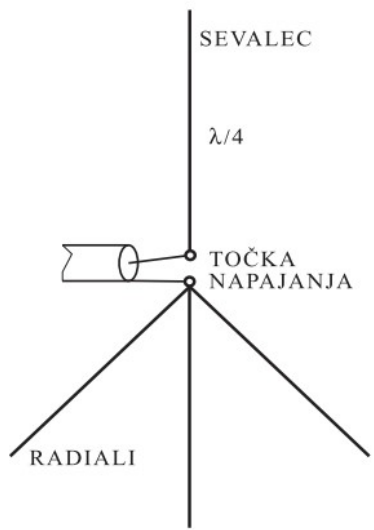
Oddaja: odlična
Sprejem: **več šuma** kot horizontalne



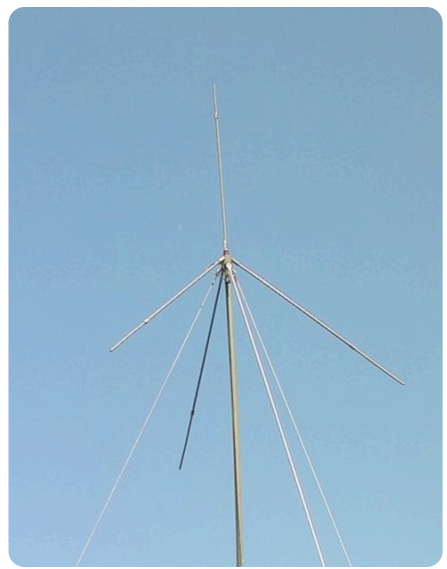
Ground plane – GP antene

Vertikalna antena postavljena visoko nad zemljo – potrebujemo "**umetno zemljo**" ali "ground plane"

Radiali – žica (KV) ali aluminijaste cevi







Parabolična antena

Predvsem na UHF in SHF

Zakaj? Na 144MHz je premer reflektorja okoli 15m

Reflektor – "**parabolično zrcalo**"
Sevalec – **v gorišču**

Sevalci različnih oblik – z menjavo, različni frekvenčni pasovi

VELIKO ojačenje in **ozek kot sevanja**

Satelitske in EME (lahko tudi tropo) zveze



Umetna antena

Ne seva energije v prostor

Upori primerne moči

Predstavljajo popolnoma prilagojeno breme

Uglaševanje in testiranje oddajnikov



Postavljanje anten

VARNOST!!





Napajanje anten

Antenski / napajalni vod

Poveže anteno in oddajnik

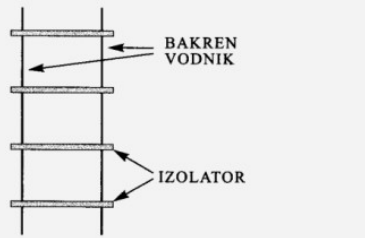
Največji prenos moči: končna stopnja oddajnika in antena **impedančno prilagojena**

Dober vod:

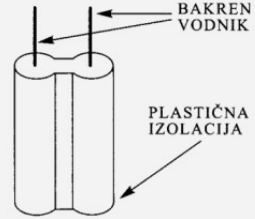
- **ne sme sevati**
- **energija** pri prenosu **se ne sme izgubiti**
- mora imeti **konstantne električne karakteristike**
- mora biti odporen na **vreme**

Vrste antenskih vodov

Dve glavni vrsti: **dvožilni** in **koaksialni** vod

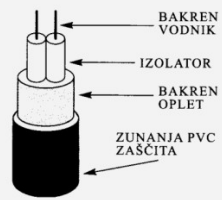


Dvožilni vod z zračnim izolatorjem

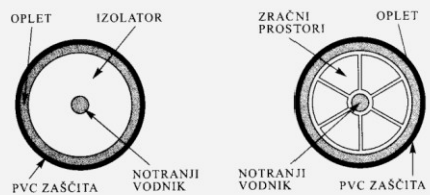


Dvožilni vod z izolatorjem iz plastične mase





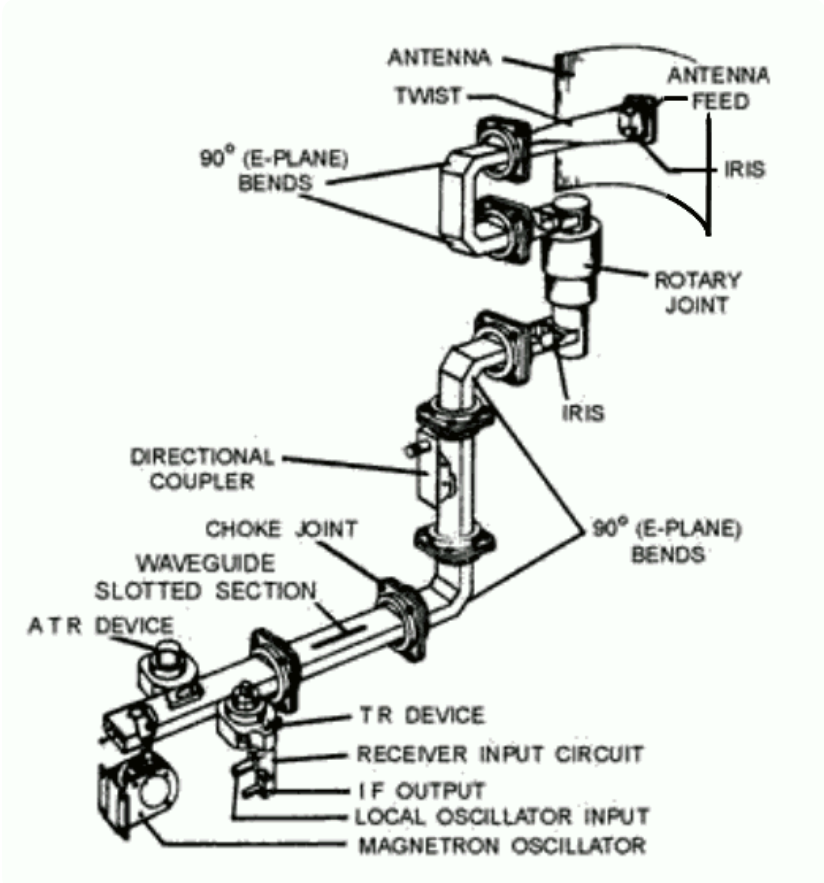
Dvožilni oklopljeni simetrični vod



Zgradba koaksialnega voda



Valovod (Waveguide) – cev ustreznega preseka (za mikrovalovno področje)



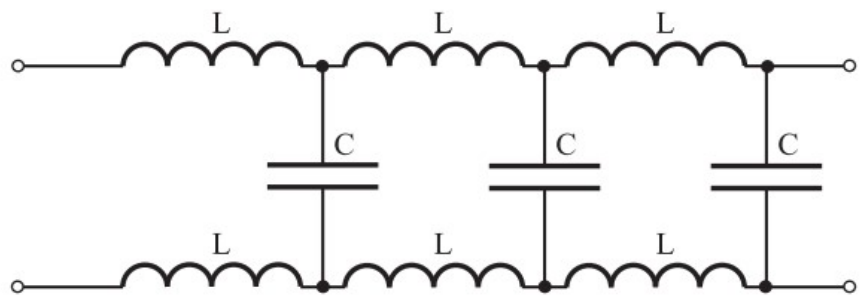
Karakteristična impedanca voda (Z)

Razmerje napetosti U in toka I na neskončno dolgem vodniku

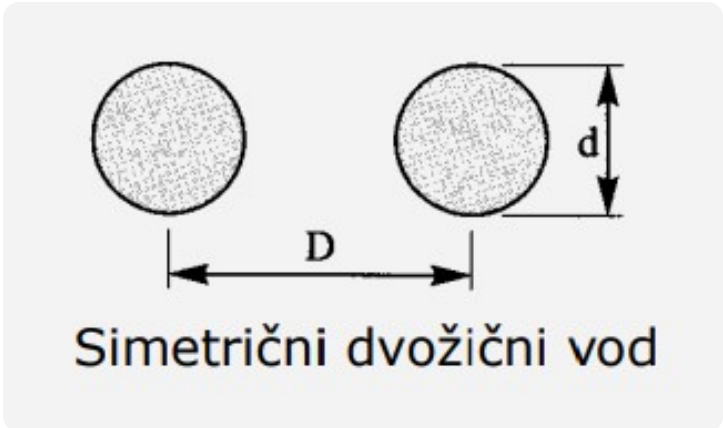
Impedanca (zračni izolator):

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

L – "debelina vodnika"
C – "medsebojna razdalja"

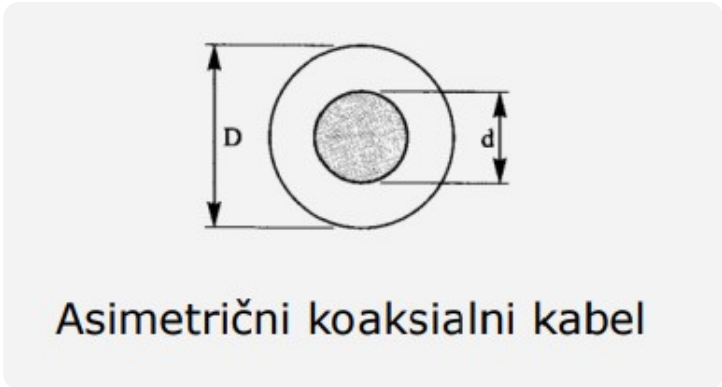


Dvožilni antenski vod



$$Z(\Omega) = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \ln \frac{2 \cdot D(\mathrm{mm})}{d(\mathrm{mm})}$$

Koaksialni vod



$$Z(\Omega) = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \ln \frac{D(\mathrm{mm})}{d(\mathrm{mm})}$$

Vpliv dielektrika

Hitrost širjenja valovanja v snovi:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

v – hitrost v snovi ($\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$)
c – hitrost svetlobe (300000 $\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$)
ε_r – relativna dielektrična konstanta

Skrajševalni faktor koaksialnega voda:

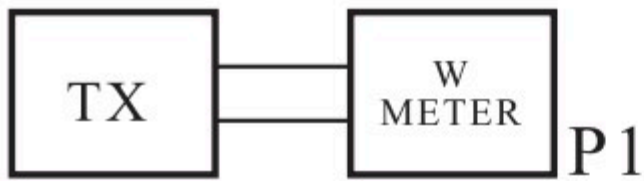
$$V = \frac{v}{c} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

Snov	ε_r
Zrak	1,0
Teflon	2,0
Polietilen	2,3
Pleksi steklo	3,0 … 3,6
Polivinil (PVC)	3,1 … 3,5
Epoksi smola	3,5
Porcelan	6,5

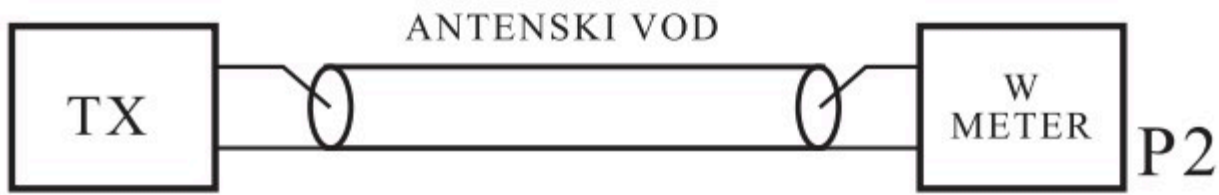
Tip koaksialnega kabla	V
RG58 (polni PE)	0,66
RG213 (polni PE)	0,66
RG174 (polni PE)	0,66
RG8X (penjeni PE)	0,78
H155	0,81
H500	0,81
Aircell 7	0,83
Ecoflex 10	0,86

Izgube v napajalnih vodih

Izgube zaradi ohmske **upornosti žice** (skin efekt), **izgube v dielektriku** in **sevanja voda**



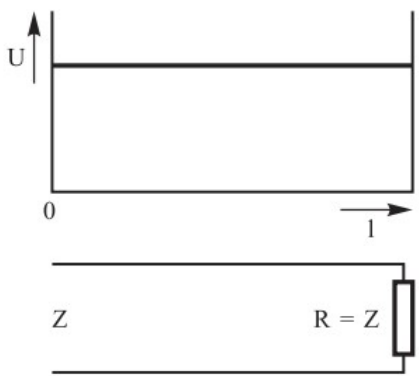
$$G_{IZG}(dB) = 10 \cdot \lg \frac{P2}{P1}$$



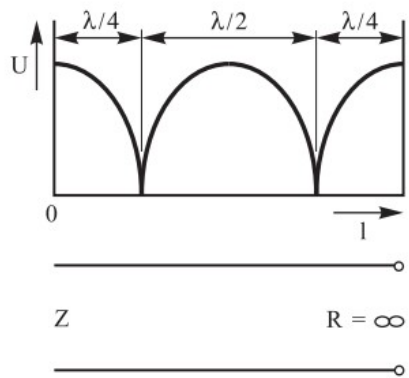
Porazdelitev toka in napetosti vzdolž voda

Stojno valovanje

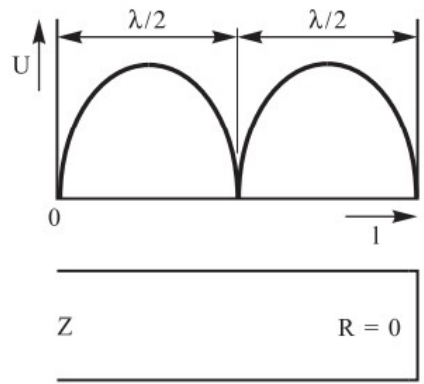
Prilagojeno breme
R = Z



Odprt vod
R = ∞

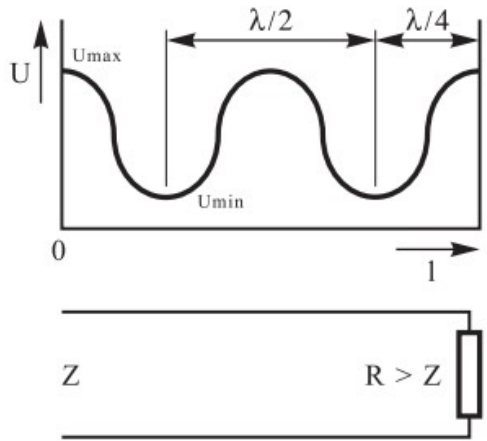


Kratko sklenjen vod
R = 0

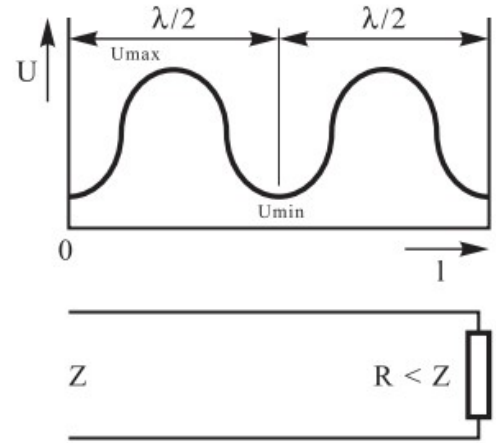


Del VF energije se potroši na bremenu, preostali del se vrne

R > Z



R < Z



Razmerje stojnega valovanja (SWR)

"Standing wave ratio"

$$\mathrm{SWR} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$$

Merimo s **SWR metrom**

Slab SWR povzroči:

- Izgube / gretje / poškodbe na antenskem vodu
- Manjša izsevana moč
- **Poškodba končne stopnje** na oddajniku!

Dopustna meja: SWR = 3 (25% moči)

SWR	% Izgube moči
1,0	0,0 %
1,2	0,8 %
1,4	2,7 %
1,6	5,0 %
1,8	8,0 %
2,0	11,0 %
2,2	14,0 %
2,4	17,0 %
3,0	25,0 %
6,0	51,0 %
10,0	67,0 %

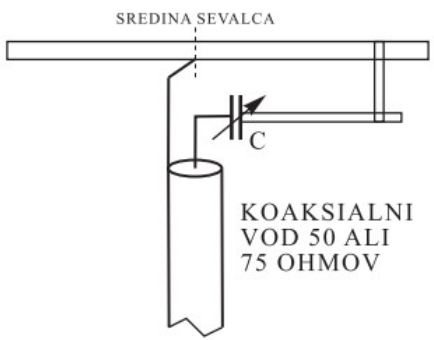
Elementi za prilagoditev in transformacijo

Gama: s kratkostično objemalko in spremenljivim kondenzatorjem prilagajamo SWR

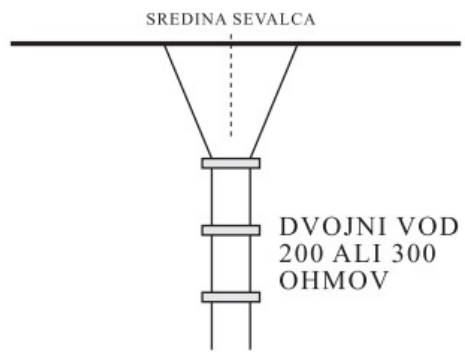
Delta: priključne žice na sredino dipola, sredino lahko ozemljimo

Hairpin: Lažje kot gama, ampak mora sevalec biti prekinjen in v primeru koaksa potreben člen za simetriranje (balun)

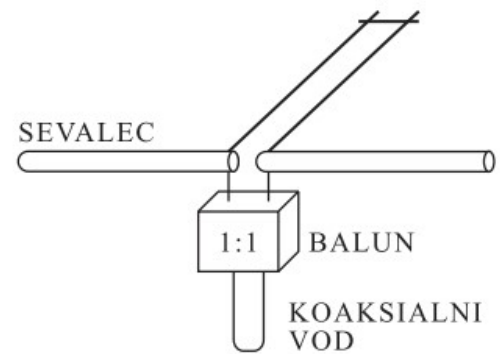
Gama



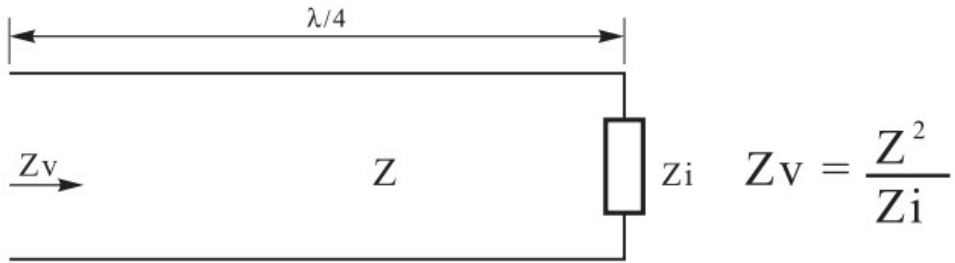
Delta

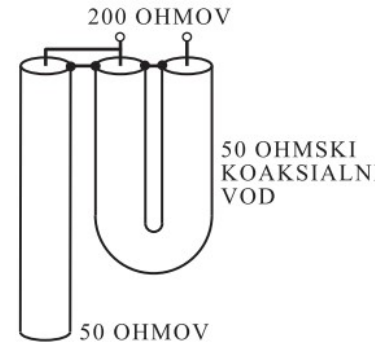


Hairpin



Transformatorji impedance





Četrtvalni transformator impedance

$$Z_t = \sqrt{Z_v \cdot Z_i}$$

Z_t – karakteristična impedanca $\frac{1}{4}\lambda$ odseka voda

Z_v – vhodna, Z_i – izhodna impedanca

Primer: $\sqrt{50 \cdot 112{,}5} = 75\ \Omega$

Upoštevamo skrajševalni faktor voda!

Polvalna zanka

Transformira impedanco 4:1

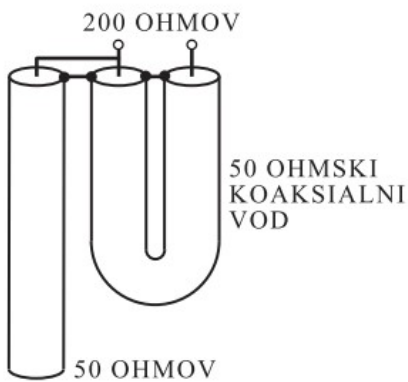
Omogoča simetriranje

Transformatorji za simetriranje

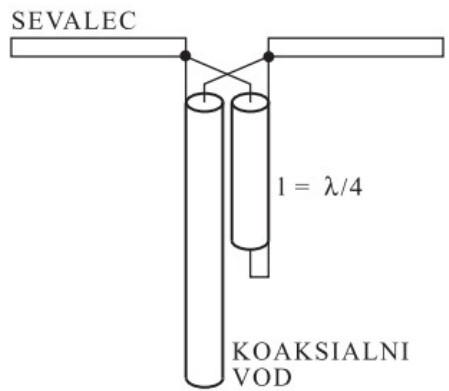
Polvalni dipol (simetrični) -?- koaksialni vod (nesimetrični)

Balun (**bal**anced-**un**balanced) – prehod, simetrično na nesimetrično

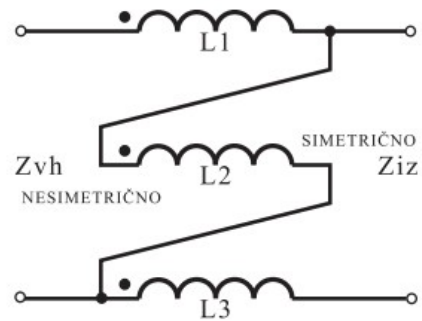
Polvalna zanka



Bazooka simetrirni člen

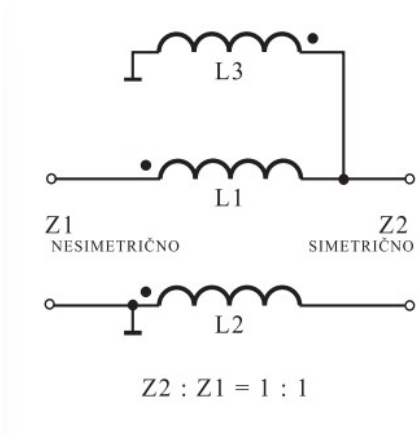


Trifilarno navitje

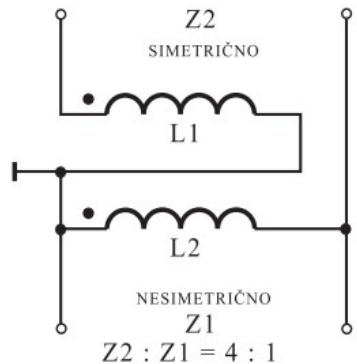


Zvh : Ziz = 1 : 1

1:1 Balun



4:1 Balun



1:1 Balun



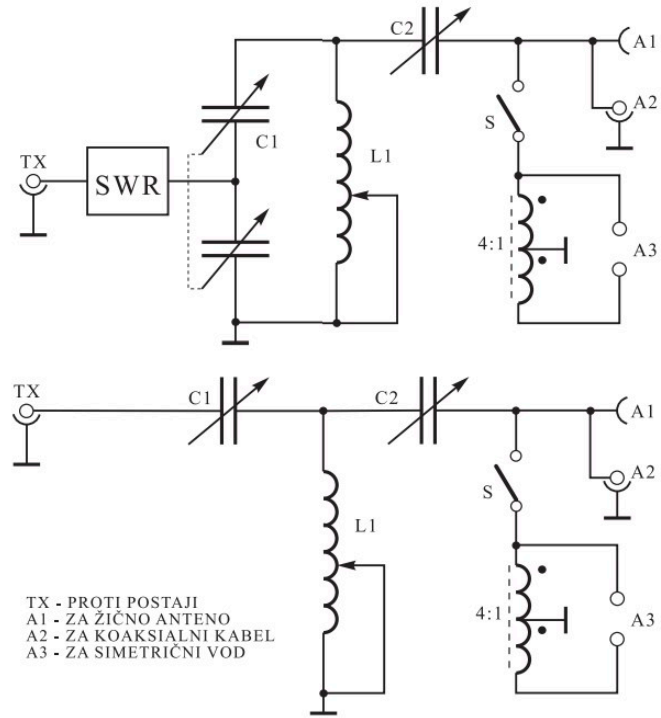
In še mnogo več ...

Antenski tunerji

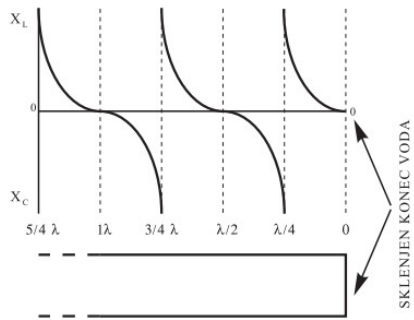
Anteno prilagodi na impedanco oddajnika

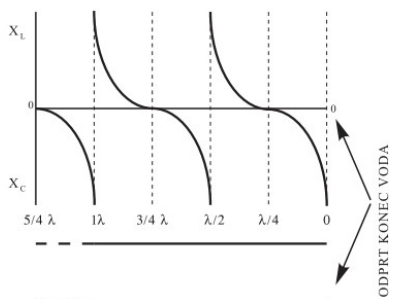
Tuner **NE naredi antene resonančne**

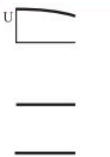
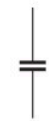
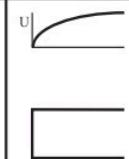
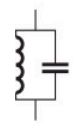
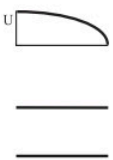
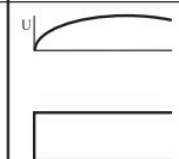
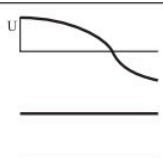
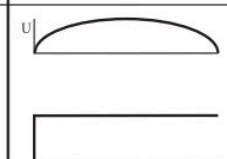
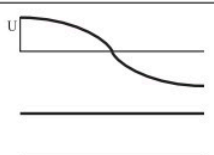
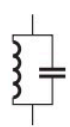




Napajalni vod kot element za uglaševanje





DOLŽINA VODA	SKLENJEN VOD		ODPRT VOD	
	PORAZDELITEV NAPETOSTI	DELUJE KOT	PORAZDELITEV NAPETOSTI	DELUJE KOT
$l < \lambda/4$				
$l = \lambda/4$				
$l > \lambda/4$ in $l < \lambda/2$				
$l = \lambda/2$				

Motnje

Vzroki za nastanek in ukrepi za preprečevanje

Antene
Napajanje z oklopljenim antenskim vodom → manj sevanja v okolico

Priključek na električno omrežje
Motnje iz električnega omrežja lahko odpravimo z vgradnjo filtrov in dušilk

Višji harmoniki (večkratniki oddajne frekvence)
Nastanejo v nelinearnih stopnjah oddajnika (končna stopnja v razredu C) → **nizkoprepustni filter** na izhodu oddajnika

Parazitne oscilacije
Nezaželeno nihanje ojačevalnika na nepredvideni frekvenci → pravilna gradnja oddajnikov in ojačevalnikov (oklapljanje, kratke povezave, blokirni kondenzatorji)

Motnje zaradi intermodulacijskih popačenj
Premočni signali → sprejemnik pride v nelinearno območje

Preprečevanje motenj
Oklapljanje in blokiranje vseh delov naprav, ki generirajo neželeno VF energijo

Motnje zaradi lastne oddaje

Premodulacija (splatter)
Prevelik modulacijski signal (previsoko nastavljen mikrofonski ojačevalnik, prevelika deviacija pri FM) → signal se razširi na sosednje frekvence in moti sosednje postaje

Nezaželena sevanja (spurious emissions)
Harmoniki in druge stranske komponente – Splošni akt predpisuje, koliko morajo biti oslabljene glede na oddajno moč (npr. pod 30 MHz vsaj 50 dB pod srednjo močjo)

Ukrepi

- **Nizkoprepustni filter** (KV) oz. pasovni filter (UKV) med oddajnikom in anteno
- **Feritni obroči** (dušilke) na napajalnih, avdio in antenskih kablih → preprečijo VF tok po plašču kabla
- Dobra **ozemljitev** postaje in **simetriranje** antene (balun)
- Nastavitve, preizkusi in **meritve oddajnika samo na umetni anteni** (zahteva Splošnega akta)

Vrste motenj

Radijske motnje (RFI – Radio Frequency Interference):
radioamaterska postaja lahko vzrok ali žrtev
Radijski šum je posledica iskrenja, razelektritev, delovanja električnih strojev, …

Televizijske motnje (TVI – Television Interference):
preobremenitev sprejemnika, ko je oddajna antena preblizu televizijski anteni

Druge vrste motenj
Motnje zaradi predolgih (audio/video) kablov (delujejo kot antene)


Meritve

Napake pri meritvah

Merilni napaki pravimo tudi pogrešek

Netočnost inštrumenta:
Zaradi težavnosti odčitavanja, občutljivosti inštrumenta, merilnih pogojev, vgrajenih elementov in ostalega ...

Vpliv frekvence:
Pri izmeničnih veličinah lahko frekvenca vpliva na meritev toka ali napetosti. Vsi inštrumenti so frekvenčno omejeni in lahko merijo signale do neke maksimalne frekvence.

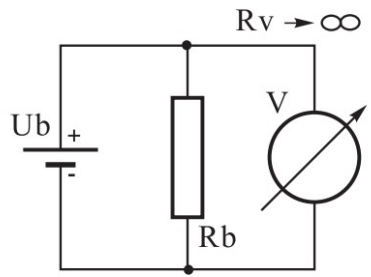
Vpliv notranje upornosti inštrumentov:
Notranja upornost voltmetra/ampermetra vpliva na meritev napetosti/toka.

Vpliv oblike merjene napetosti:
Tudi oblika napetosti vpliva na meritev veličin, ponavadi imamo inštrumente, ki merijo sinusno napetost oz. tok

Merjenje napetosti

Voltmeter priključimo **vzporedno** z bremenom

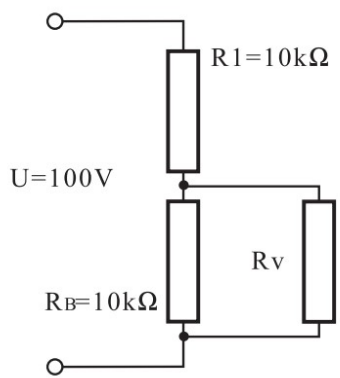
Upornost voltmetra podajamo v ohmih na volt (**Ω/V**),
želimo večjo notranjo upornost (digitalni voltmetri),
s tem manj vpliva na rezultat meritve



$$U_v = U \cdot \frac{R_N}{R_1 + R_N} \qquad R_N = \frac{R_B \cdot R_V}{R_B + R_V}$$

U_v – izmerjena napetost

R_N – nadomestna upornost (R_B, R_V)



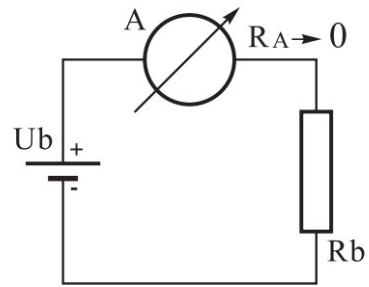
Merjenje toka

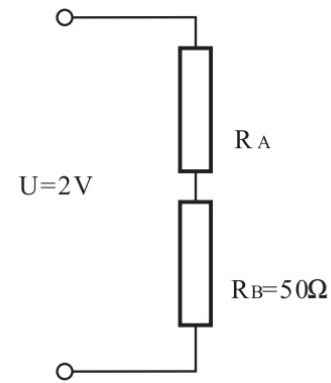
Ampermeter priključimo **zaporedno** bremenu

Želimo čim nižjo notranjo upornost

$$I = \frac{U}{R_A + R_B}$$

R_A – upornost ampermetra

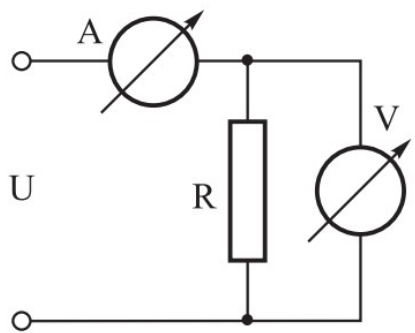




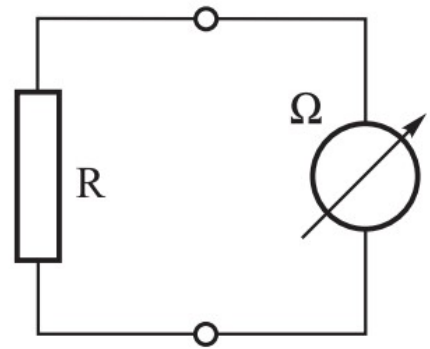
Merjenje upornosti

$$R = \frac{U}{I}$$

Posredno merjenje upornosti



Merjenje upornosti z **ohmmetrom**



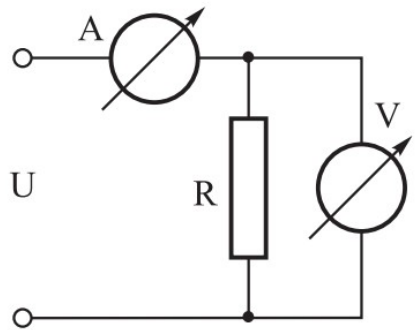
Merjenje moči

$$P = U \cdot I \qquad P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$$

Če želimo prave podatke o moči,
moramo pravilno obremeniti izhod (50 Ω)

Želimo φ čim bližje 0°

Posredno merjenje moči (voltmeter in ampermeter)



Merjenje VF moči

VF wattmeter vežemo med oddajnik in anteno (ali umetno anteno)

- Meri **moč naprej** (forward) in **odbito moč** (reflected) → iz razmerja dobimo tudi SWR
- **Umetna antena** (dummy load) zagotovi pravilno breme 50 Ω in ne seva
- Pri SSB merimo **PEP** (vršno moč ovojnice), pri CW/FM pa srednjo moč
- Moč, ki jo prejme antena: $P_{\text{ant}} = P_{\text{naprej}} - P_{\text{odbita}}$

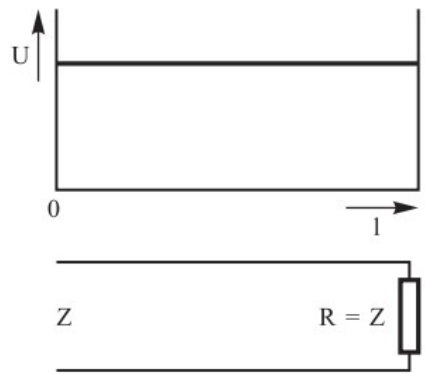


Merjenje stojnega valovanja

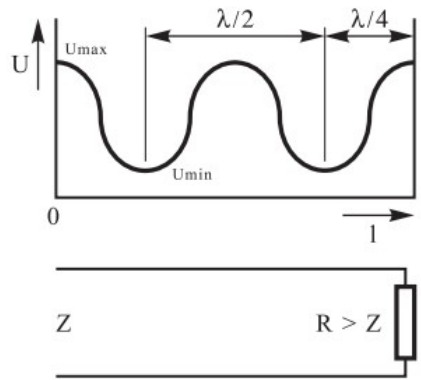
Uporabimo **reflektometer** oz. SWR meter

$$\mathrm{SWR} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$$

SWR: 1,0



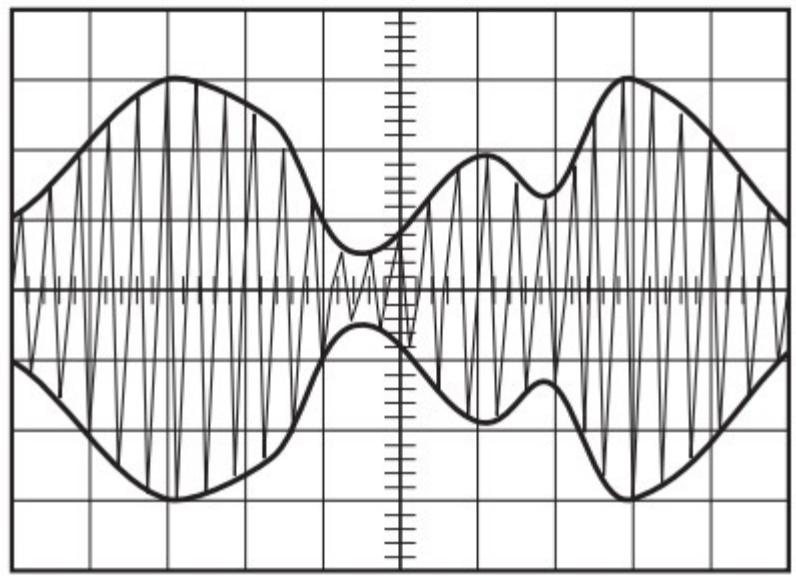
SWR: > 1,0



Merjenje oblike VF signala

Uporabimo **osciloskop**

Amplitudna modulacija



Merjenje frekvence

Več možnosti:

- Štejemo število impulzov v določenem času $f = \frac{N}{T}$
- Uporabimo VF indikator
  - Nihajni krog, ki ga nastavimo na določeno frekvenco
- Uporabimo Grid-Dip meter
  - Meri frekvenco pasivnih nihajnih krogov, kondenzatorjev, tuljav

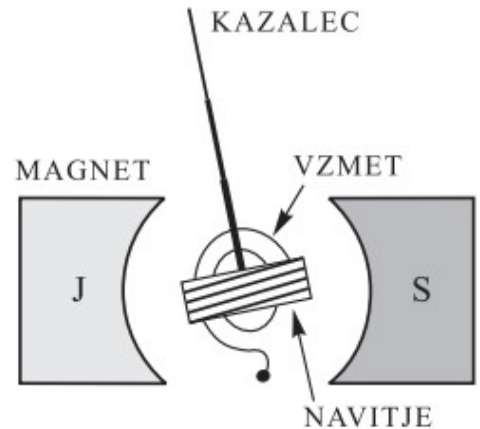
Inštrument z vrtljivo tuljavico

Merilni inštrumenti

Tok skozi navitje povzroči zasuk zaradi magnetnega polja

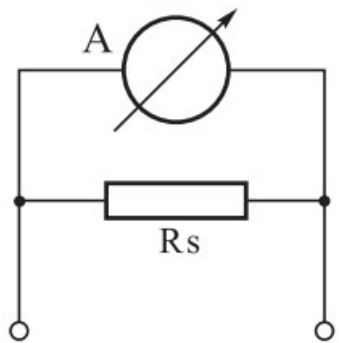
Proti magnetni sili deluje sila vzmeti

Lahko teče le majhen tok (50 μA)

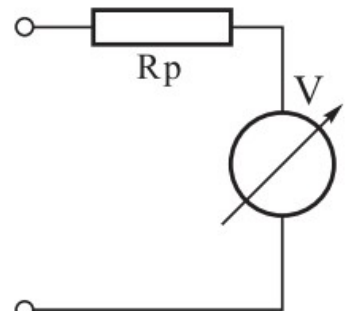


Da zmanjšamo tok / napetost skozi tuljavico, vežemo dodatni soupor / predupor odvisno od maksimalne vrednosti, ki jo želimo meriti

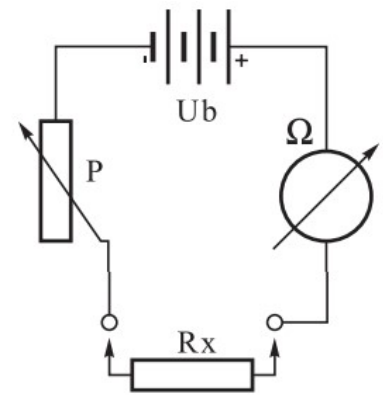
Soupor



Predupor



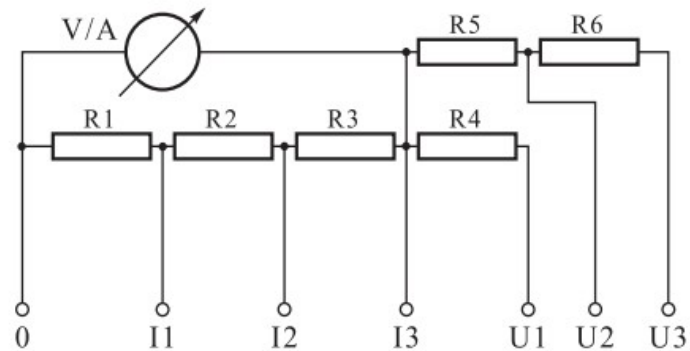
Merjenje upornosti



Multimeter

Merilni inštrumenti
Multimeter – merilnik, ki meri več različnih veličin

AVO meter – Amper Volt Ohm meter



Analogni multimeter



Digitalni multimeter



Reflektometer

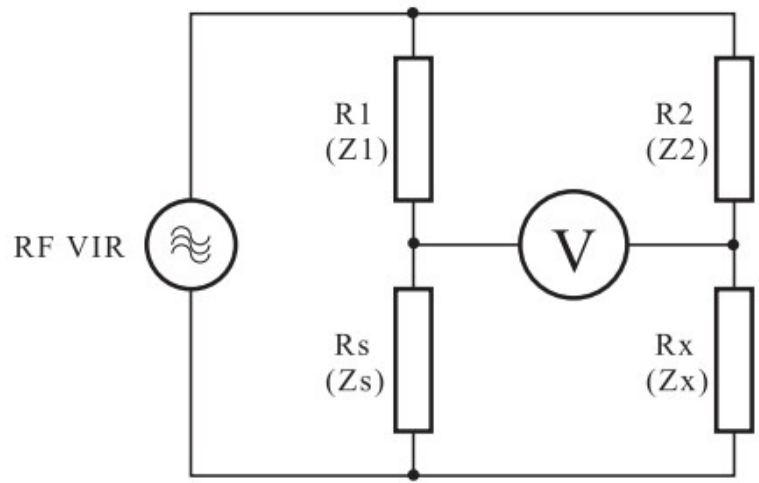
Merilni inštrumenti
Merilec odbitih (reflektiranih) valov

Odbojnost lažje izmerimo kot impedanco bremena

Vrednosti od 0 (popolnoma prilagojeno) do 1 (popolnoma neprilagojeno)

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

Z – impedanca bremena
Z_0 – referenčna impedanca (50 Ω)
Γ (Gama) – velikost odbojnosti



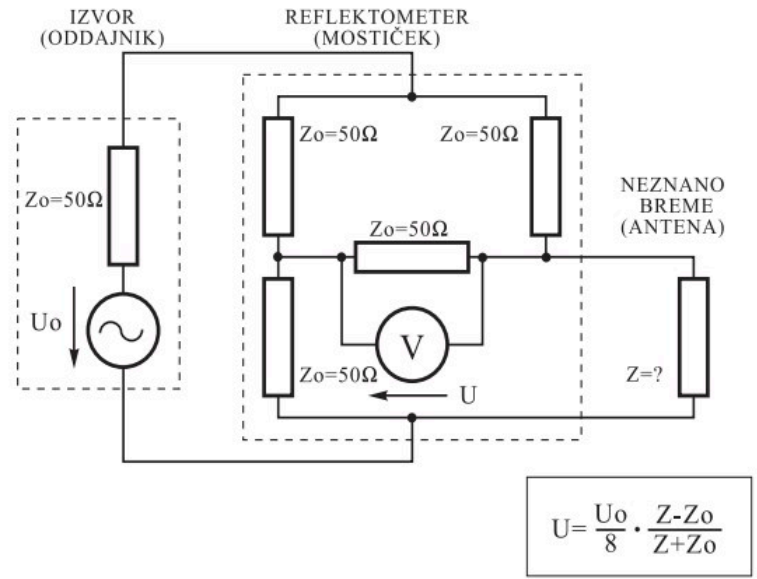
SWR meter

Merilni inštrumenti

Valovitost (SWR) – razmerje stojnega vala

Vrednosti od 1 (popolnoma prilagojeno) do ∞ (popolnoma neprilagojeno)

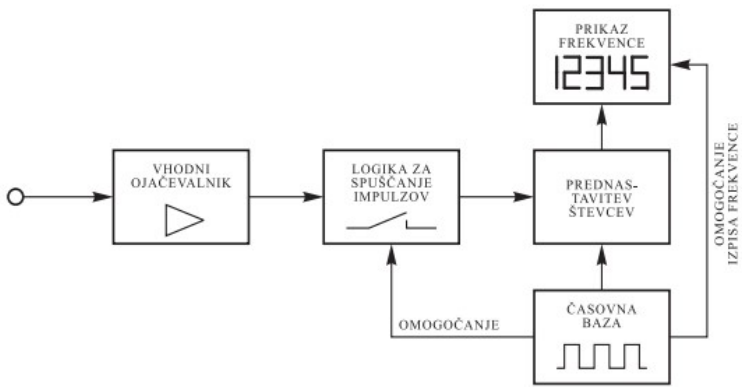
$$\mathrm{SWR} = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma}$$



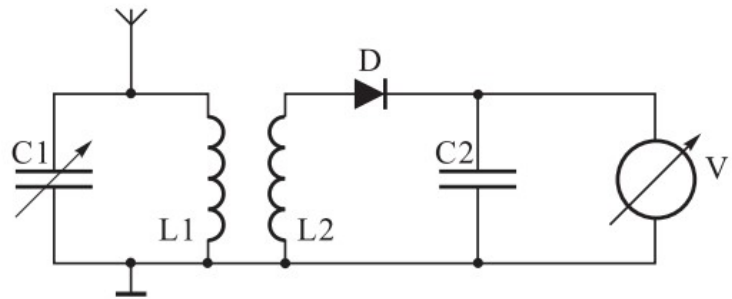
Frekvenčni merilnik

Merilni inštrumenti

Števec frekvence



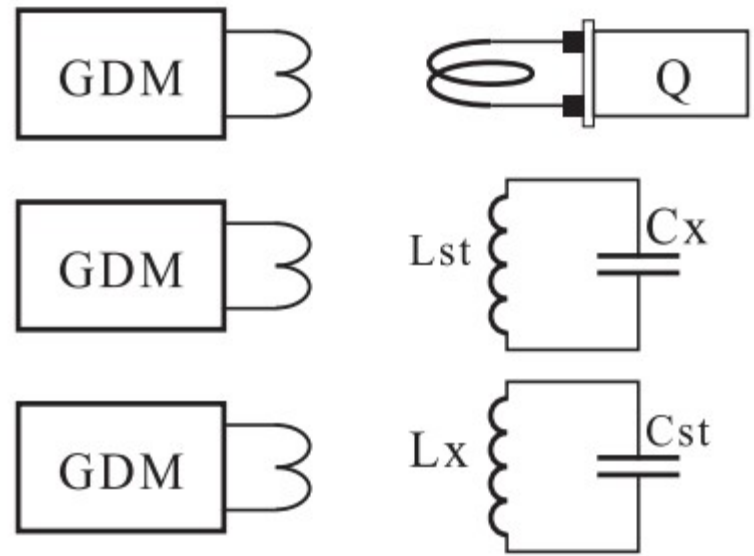
Frekvenčni indikator



GRID-DIP meter

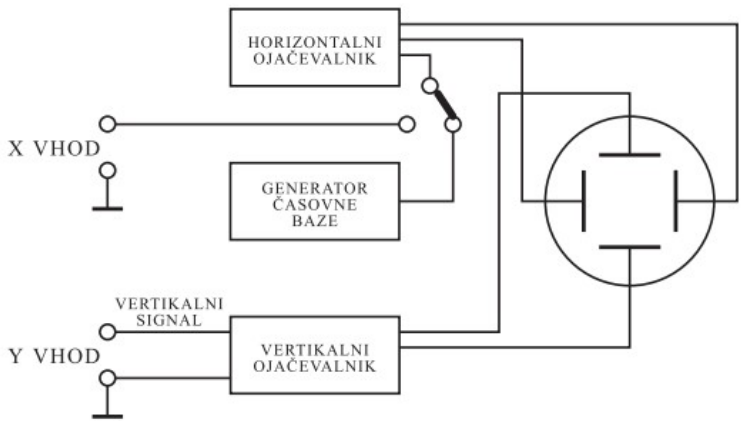
Merilni inštrumenti
Merimo:

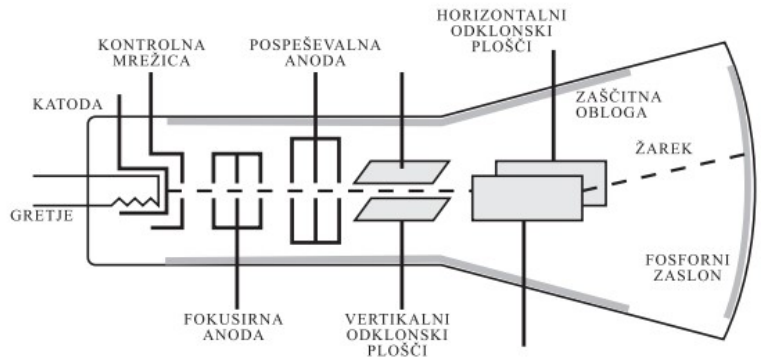
- **Resonančno frekvenco** nihajnega kroga
- **Kapacitivnost** kondenzatorja
- **Induktivnost** tuljave



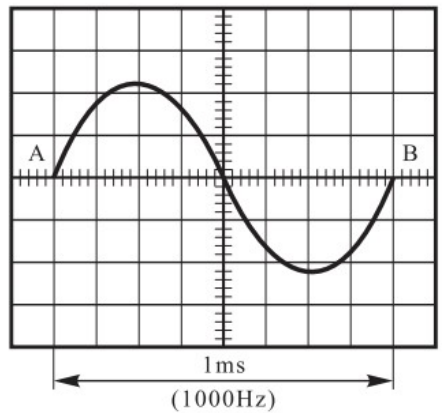
Osciloskop

Merilni inštrumenti









$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.001\ \text{s}} = 1000\ \text{Hz}$$

Spektralni analizator

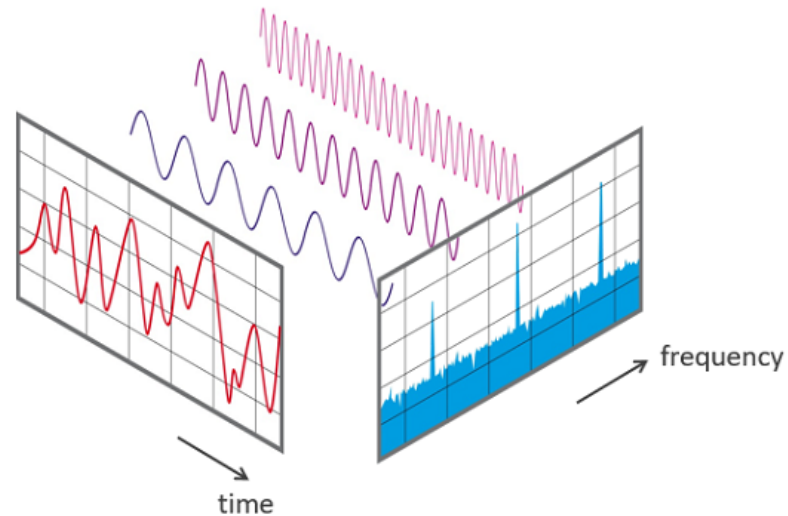
Merilni inštrumenti

Prikazuje signal v **frekvenčnem prostoru**: na vodoravni osi frekvenca, na navpični amplituda (običajno v dBm)

Osciloskop: kdaj (čas) ↔ spektralni analizator: katere frekvence

Z njim merimo:

- **višje harmonike** in nezaželena sevanja oddajnika
- **pasovno širino** oddaje in premodulacijo
- **intermodulacijske produkte**
- šum in signale na sprejemni anteni



Varstvo pri delu

Nevarnost pri delu z električnim tokom: izogibajmo se napetostim, višjim od 50 V, ki so že lahko nevarne!

Nevarnost VF energije: Nikoli se ne dotikajmo naprav v obratovanju! Pri visokih oddajnih močeh lahko pride do opeklin kože. Opekline lahko zaznamo že pri 10 W. Pri 1500 W oddajniku se na priključnih sponkah antene pojavi napetost:

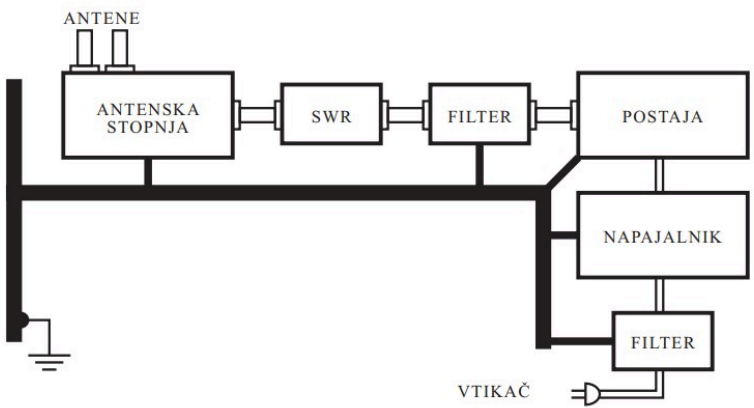
$$U = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{1500\ \mathrm{W} \cdot 50\ \Omega} = 273\ \mathrm{V}$$

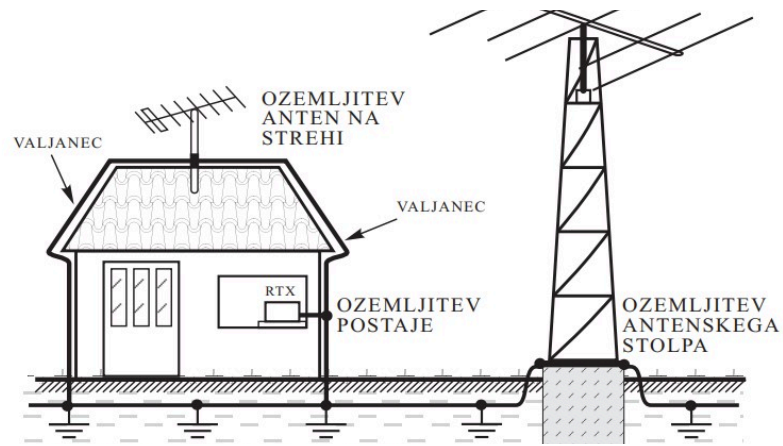
Nikoli ne glejmo v usmerjene antene, saj so oči slabo prekrvavljene in lahko pride do trajnih posledic

Nevarnost udara strele

Antena na strehi ali jamboru je izpostavljena udaru strele:

- **Jambor in antenski vod ozemljimo** z debelim vodnikom po najkrajši poti (strelovod)
- Vgradimo **prenapetostno zaščito** (odvodnik) na antenskem vodu, pred vstopom v stavbo
- Ob nevihti **antenske vode odklopimo** od postaje in jih ozemljimo
- Dobra ozemljitev postaje hkrati zmanjša verjetnost nastanka motenj





Primeri vprašanj

Kaj naredimo z varovalko, ki je pregorela?

a) Varovalko zamenjamo z novo, ki je predvidena za večji tok
b) Varovalko premostimo s kosom žičke
c) Varovalko zamenjamo z novo, ki je predvidena za isti tok

Pred odpiranjem usmernika, ki deluje pri napetosti 230 V, moramo:

a) izključiti stikalo usmernika
b) iz usmernika odstraniti varovalko
c) dovodni 230 V omrežni kabel izključiti iz omrežja