

**BRODSKA
ELEKTROTEHNIKA I
ELEKTRONIKA**

OBVEZE PRISUSTVA NASTAVI (uvjet za potpis)

Predavanja	80 %	<i>Prof. dr. sc. Danko Kezić, dipl.ing</i>
Auditorne vježbe	80 %	<i>Petar Matić, dipl. ing</i>
Laboratorijske vježbe	100 %	(nadoknada)

ISPIT SE POLAŽE:

3 kolokvija (zadaci + teorija)
+ popravni kolokvij

pismeni ispit
usmeni ispit

Detalji zajedno sa *ispitnim pitanjima* na **www.pfst.hr**
(Nastavni materijali, upute za polaganje ispita)

LITERATURA

1. www.pfst.hr - upute za polaganje ispita sa ispitnim pitanjima (potražiti pod “Nastavni materijali”, kolegij “Brodaska elektrotehnika i elektronika”) – detaljno proučiti !!!
2. Prezentacija predavanja– (potražiti pod “Nastavni materijali”, kolegij “Brodaska elektrotehnika i elektronika”)
3. I. Kuzmanić, “Brodaska elektrotehnika i elektronika”, Pomorski fakultet u Splitu, 2006.
4. Danko Kezić: «Osnove radiotehnike za pomorske nautičare», Autorizirana predavanja – (potražiti pod “Nastavni materijali”, kolegij “Brodaska elektrotehnika i elektronika”)
5. I. Kuzmanić, I. Vujović, Osnove elektrotehnike – zbirka riješenih zadataka, Pomorski fakultet u Splitu, 2005.
1. I. Vujović, I. Kuzmanić, Brodaska elektrotehnika i elektronika – repertorij s uputama za laboratorijske vježbe, Pomorski fakultet, Split, 2005.

I KOLOKVIJ

I. Kuzmanić, «Brodaska elektrotehnika i elektronika»

Poglavlje 1.	Uvod	str. 1-8
Poglavlje 2.	Električni krugovi istosmjerne struje	str. 9-50
Poglavlje 3.1.	Naponski i strujni izvori	str. 51-53
Poglavlje 4.	Pretvorba električne energije	str. 63-82
Poglavlje 5.	Elektrostatika	str. 83-114
Poglavlje 6.	Prolazak električne struje kroz plinove	str. 115-117
Poglavlje 8.	Izvori istosmjerne električne struje	str. 121-129

II KOLOKVIJ

I. Kuzmanić, «Brodaska elektrotehnika i elektronika»

Poglavlje 9.	Magnetizam	str. 130-175
Poglavlje 10.	Izmjenične struje	str. 176-217
Poglavlje 11.	Rezonancija	str. 218-227
Poglavlje 14.	Trofazni sustavi	str. 248-257

III KOLOKVIJ

I. Kuzmanić, «Brodaska elektrotehnika i elektronika»

Poglavlje 16. Elektronske cijevi str. 292-310

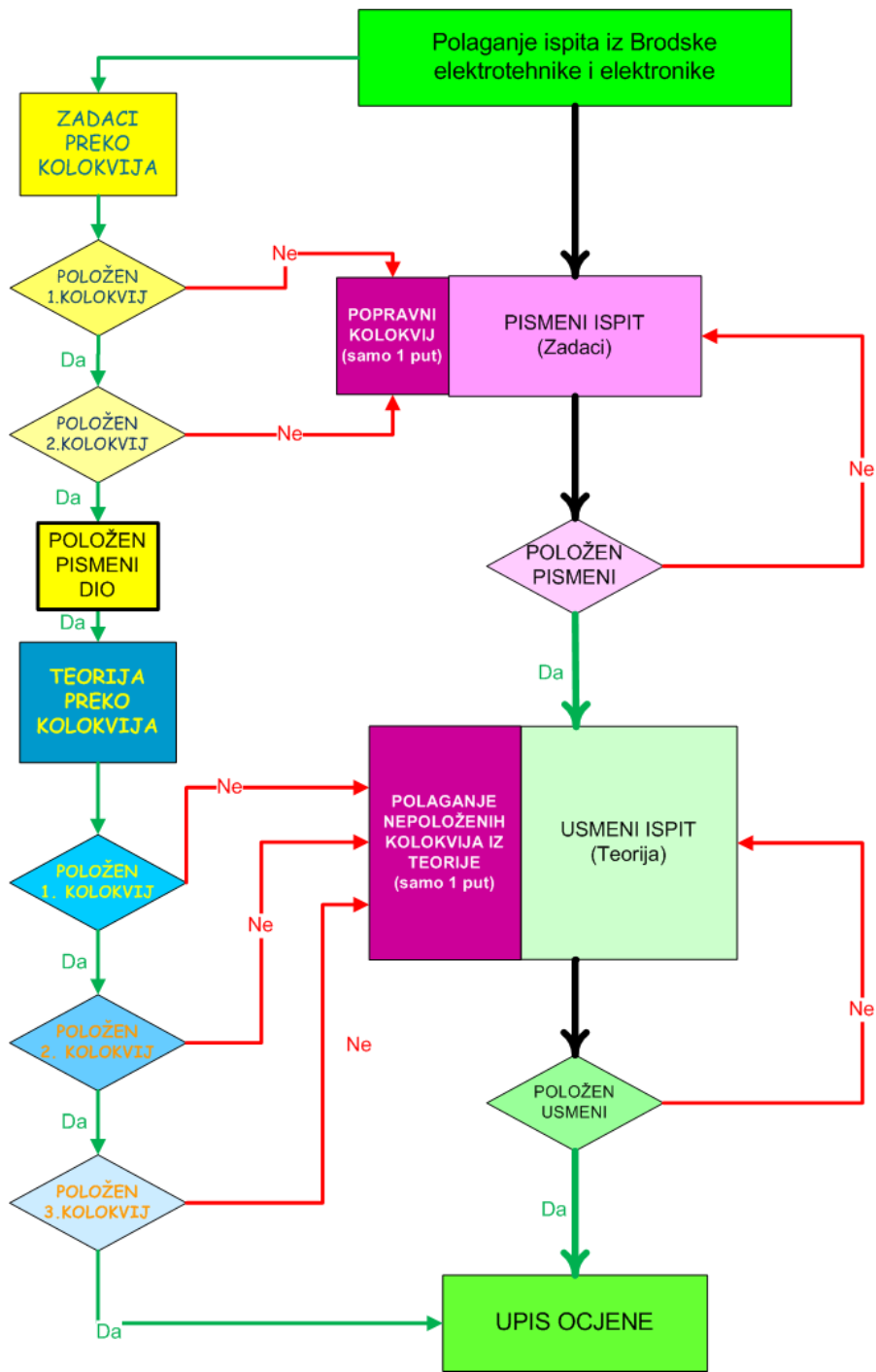
Poglavlje 17. Poluvodička elektronika i nove tehnologije str 311 – 347

*Danko Kezić: «Osnove radiotehnike za pomorske nautičare»,
Autorizirana predavanja – dostupno na web stranicama*

Naučiti cijelu skriptu, osim poglavlja:

NE 8.4. Elektronički sklopovi odašiljača

NE 9.4. Elektronički sklopovi prijemnika



WORK IN PROGRESS



I KOLOKVIJ

UVOD

Mjerni sustavi

- **Mjerenje predstavlja uspoređivanje fizikalne veličine s njenom jedinicom uz određenu točnost.**
- **Mjeriti znači eksperimentalnim putem odrediti pravu vrijednost mjerene veličine, s određenom točnošću.**



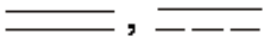

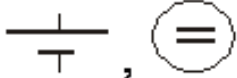




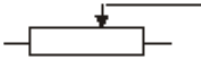






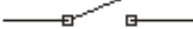

Osnovne fizikalne veličine i osnovne jedinice SI sustava

FIZIKALNA VELIČINA	OZNAKA	OSNOVNA JEDINICA SI	OZNAKA
duljina	l	metar	m
masa	m	kilogram	kg
vrijeme	t	sekunda	s
električna struja	I	amper	A
termodinamička temperatura	T	kelvin	K
množina (količina tvari)	n	mol	mol
svjetlosna jakost	I_v	kandela	cd

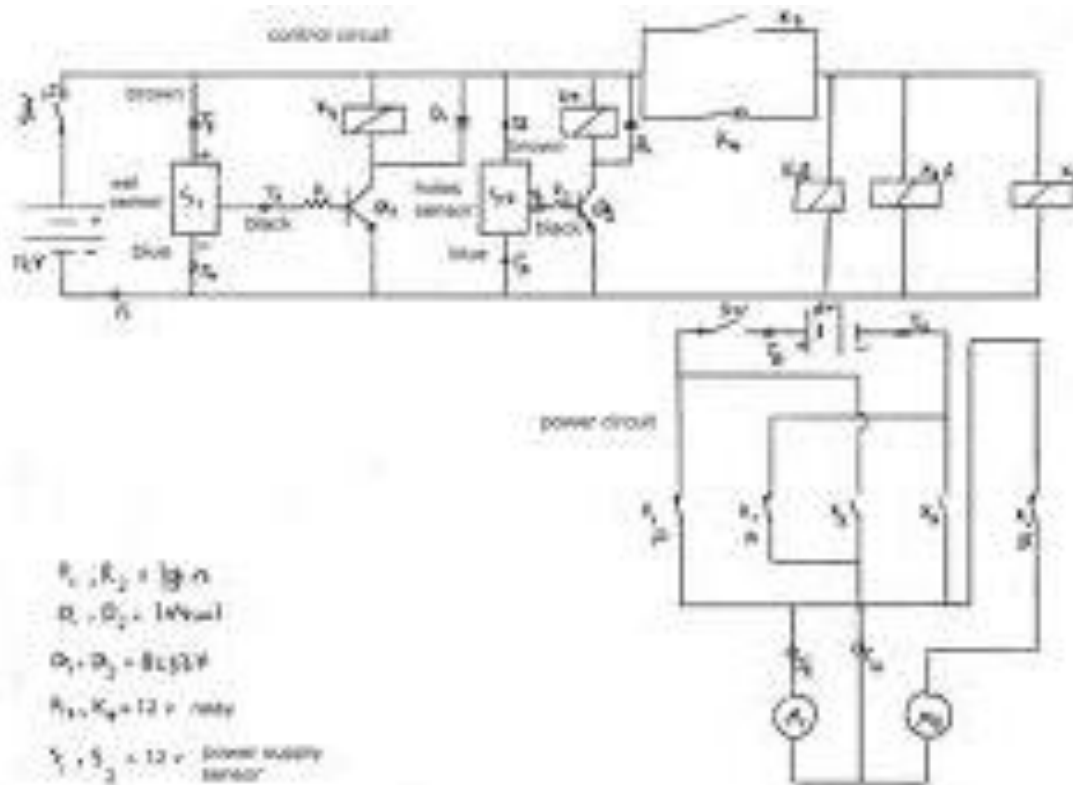
Izvedene fizikalne veličine u elektrotehnici

FIZIKALNA VELIČINA	OZNAKA	IZVEDENA JEDINICA	OZNAKA
elektricitet	Q	kulon	C
električni potencijal, napon, elektromotorna sila	φ, U, E	volt	V
jakost električnog polja	E	volt po metru	V/m
električni otpor	R	om	Ω
gustoća električnog toka	D	kulon po kvadratnom metru	C/m ²
električna vodljivost	G	simens	S
električni kapacitet	C	farad	F
magnetni tok	Φ	veber	Wb
jakost magnetnog polja	H	amper po metru	A/m
magnetna indukcija	B	tesla	T
induktivnost	L	henri	H
frekvencija	f, ν	herc	Hz
strujna gustoća	J	amper po kvadratnom metru	A/m ²
ploština	S, A	kvadratni metar	m ²
dielektričnost	ϵ	farad po metru	F/m
permeabilnost	μ	henri po metru	H/m
kružna frekvencija	ω	radijan u sekundi	rad/s
celzijeva temperatura	θ, t	Celzijev stupanj	°C
sila	F	njutn	N
snaga	P	vat	W
rad, energija, toplina	W, E, Q	džul	J

Osnovni električni simboli električnih komponenata

SIMBOL	ZNAČENJE	SIMBOL	ZNAČENJE
	oznaka istosmjernje struje		oznaka izmjenične struje
	izvor istosmjernog napona		žica, vodič
	izvor izmjeničnog sinusnog napona		otpornik
	impulsni izvor napona		otpornik s klizačem
	ampmetar		kondenzator
	voltmetar		zavojnica
	vatmetar		ohmmetar
	prekidač		osigurač

Električne uređaji su opisani električnom shemom



Pomoću električni mjernih instrumenata moguće je mjeriti razne električne veličine kao napon, jakost struje na komponentama itd. i na taj način otkriti kvar uređaja₁₄

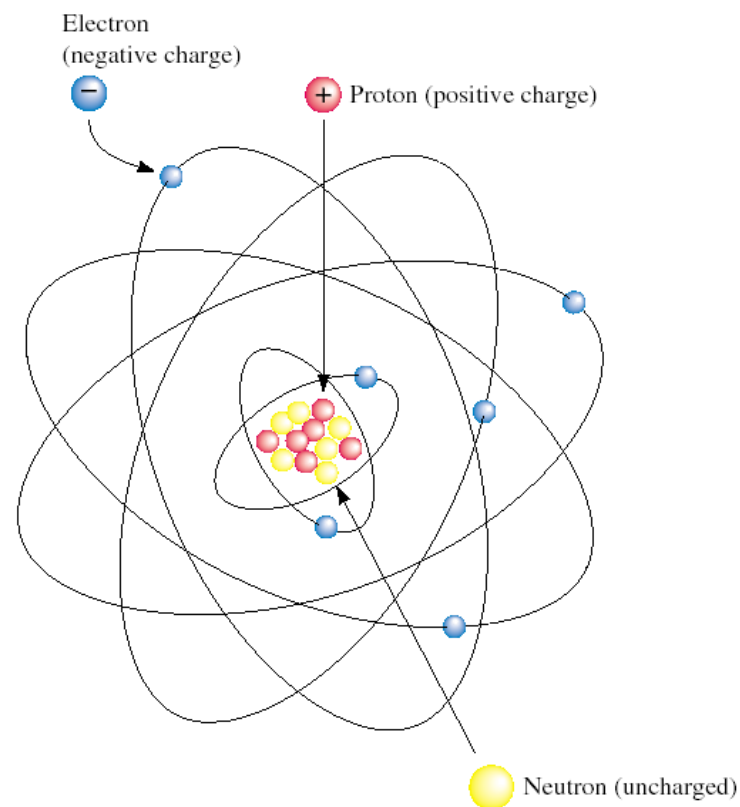
STRUKTURA MATERIJE

Materija

- Materija je sastavljena od kemijskih elemenata – osnovnih postojanih supstanci koje se razlikuju po svojim svojstvima. Pojedini elementi su srodni po svojstvima.
- Svaki kemijski element ima svoj karakterističan atom.
- Atomi se udružuju u molekule, tvoreći jednostavnije i složenije kemijske spojeve od kojih se sastoji cijeli materijalni svijet.

Atom (Ruthefordov model)

- pozitivno nabijena jezgra i elektroni (nositelji elementarnog negativnog naboja).
- Jezgra (nucleus) se sastoji od protona i neutrona.
- Protoni su pozitivnog naboja neutroni nemaju naboj.
- Protoni i neutroni se sastoje od kvarkova.



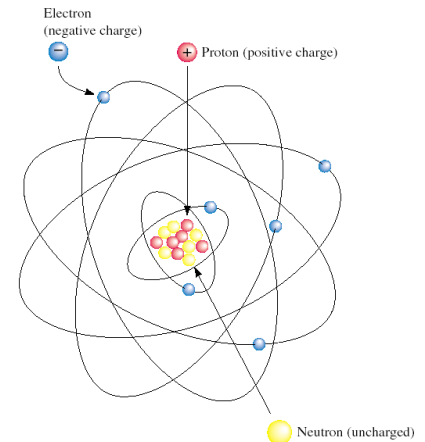
Atom

- Elektroni kruže oko jezgre.
- Između elektrona i jezgre vladaju privlačne električne sile, a između neutrona i protona vladaju privlačne nuklearne sile.

- Naboj elektrona $e = - 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

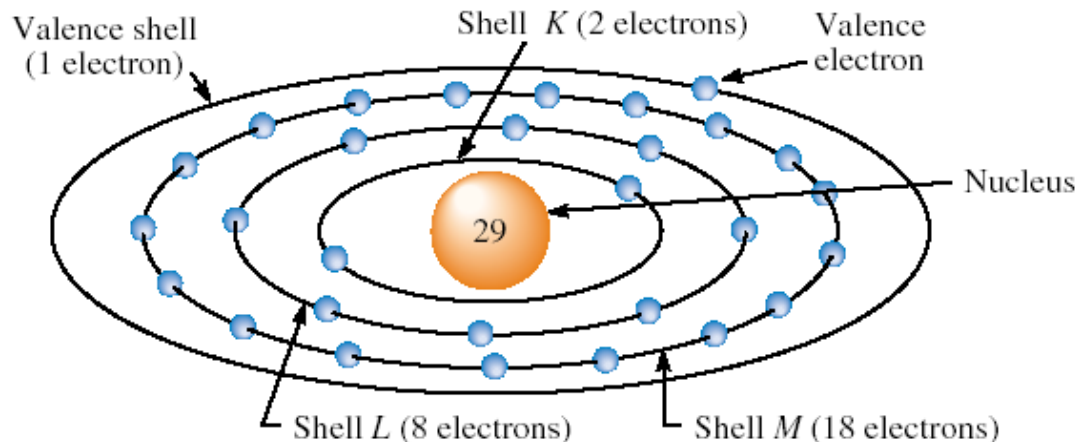
- Masa elektrona $m_e = 9,1059534 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

- Promjer atoma oko 10^{-12} m



Atom

- Rutherfordov model atoma usavršio je Danac Niels Bohr primjenivši kvantnu teoriju njemačkog fizičara Max Plancka
- Prema Bohrovom modelu, elektroni kruže oko jezgre po kvantiziranim stazama (ljuskama - engl. shells)- može biti do 7 ljuski.



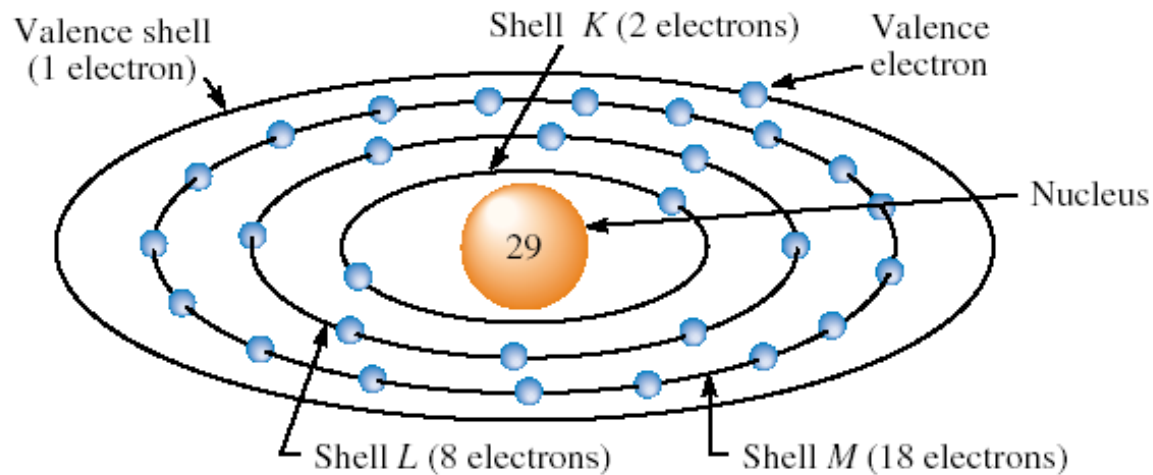
Atom

- Ljuske (od najniže prema višim) su:
K, L, M, N, O, P, Q.
- Ljuska $K(n=1)$ - najviše 2 elektrona
- Ljuska $L(n=2)$ - najviše 8 elektrona
- Ljuska $M(n=3)$ - najviše 18 elektrona
- Ljuska $N(n=4)$ - najviše 32 elektrona
- Ljuska $O(n=5)$ - najviše 50 elektrona
- Ljuska $P(n=6)$ - najviše 72 elektrona
- Ljuska $Q(n=7)$ - najviše 98 elektrona
- **Općenito, ljuska n može biti pounjena s $2n^2$ elektrona, gdje n broj ljuske.**

Gibanje elektrona oko jezgre

- Elektroni se *gibaju po stazama* koje mogu biti kružne i eliptične i *pri tom gibanju ne absorbiraju niti zrače energiju*
- Elektroni ujedno rotiraju oko sebe – *spin elektrona*.
- Elektroni mogu preskakati između ljusaka – pri tome atom prima ili odašilje elektromagnetsku energiju
- Elektron se giba oko jezgre kao val i njegova staza može biti samo *cjelobrojni umnožak njegovih valnih duljina, λ - elektron unutar atoma se ne može nalaziti van staze*

Cu



- Elektroni u zadnjoj ljuski su **valentni elektroni**
- **Unutarnje** staze su na **nižoj**, a **vanjske** na **višoj** energijskoj razini.

Apsorpcija i emisija energije u atomu

Moguće je da elektroni izlete iz atoma i tada atom nije više električki neutralan- atom postaje ion -ionizacija atoma.

Kada atom *prima (apsorbira) energiju elektromagnetskog vala*, njegov *elektron prelazi s neke od unutarnjih staza prema nekoj od vanjskih staza* .

Kada atom *daje (emitira) energiju u vidu elektromagnetskog vala*, njegov elektron prelazi s neke od vanjskih staza prema nekoj od unutarnjih staza.

Apsorbirani ili emitirani kvant energije tada iznosi:

$$E = h \cdot \nu = E_n - E_m$$

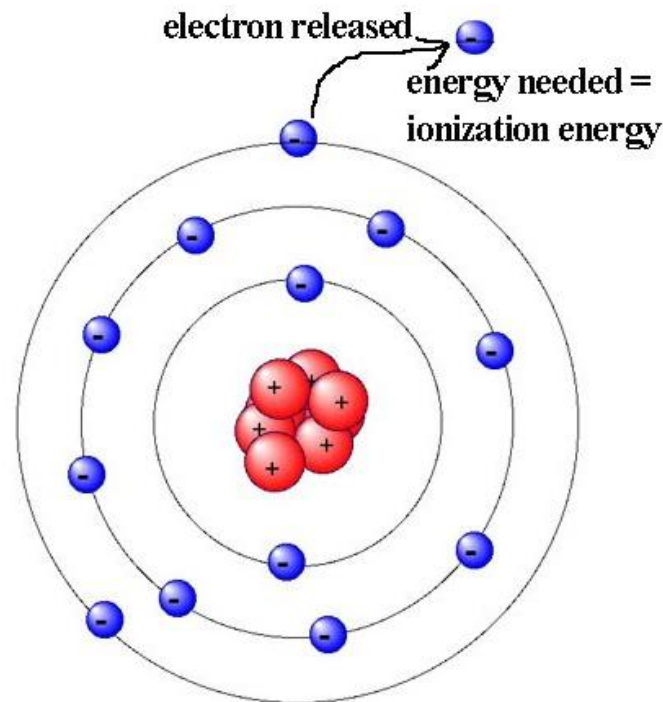
$m < n$, $n = 2, 3, 4, \dots$ broj staze

$h = 6,626176 \cdot 10^{-34}$ Js Planckova konstanta

ν - frekvencija ($c = \nu \lambda$)

E_n – energijska razina više staze

E_m – energijska razina niže staze



Periodni sustav elemenata

- Misao o srodnosti kemijskih elemenata povezao je ruski kemičar Dimitrij Mendeljejev u zakon o periodičnosti kemijskih elemenata. Objavio je periodni sustav elemenata 1871. godine.
- Svaki kemijski element ima jedinstven broj elektrona (a time i protona). Broj elektrona koji ima odgovarajući element određuje njegovo mjesto u periodnom sustavu elemenata
- Fizikalna i kemijska svojstva određena su elektronima u vanjskoj ljuski (valentni elektroni).

Periodic Table of the Elements

1 H 1.008																	2 He 4.00
3 Li 6.94	4 Be 9.01											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
19 K 39.20	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.0	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.8	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.7	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.2
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	72 Hf 178.5	73 Ta 180.1	74 W 183.9	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr 223.0	88 Ra 226.0	89 Ac 227.0	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (263)	107 Bh (262)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	110 Ds (281)	111 Rg (272)	112 Uub (285)	113 Uut (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuh (292)		

58 Ce 140.1	59 Pr 141.0	60 Nd 144.2	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 153.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0
90 Th 232.4	91 Pa 231.4	92 U 238.0	93 Np (237)	94 Pu (240)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (248)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (257)	102 No (259)	103 Lr (262)

UVOD U ELEKTRIČNE MATERIJALE

Materijali koji se koriste u električnim uređajima

1. elektrotehnički materijali - omogućuju ostvarivanje osnovne zadaće električnih proizvoda (izolatori, poluvodiči i vodiči)
2. konstrukcijski materijali - uobličavaju proizvod u jednu cjelinu prikladnu s funkcionalnih i estetskog motrišta (plastični i metalni ormari,...)
3. pomoćni materijali - obavljanje pomoćnih zadaća (zaštita od korozije, podmazivanje,).

Elektrotehnički materijali

Vodiči - Atomi metala su poredani u kristalne rešetke, a valentni elektroni atoma slabo su vezani uz jezgru, te se slobodno gibaju po kristalu (vodiči prve vrste).

Pojedine tekućine vode struju – elektroliti (vodiči druge vrste) – u tekućinama ioni vode struju

Izolatori – svi elektroni su čvrsto vezani za atome unutar materijala. Nema slobodnih elektrona. Veliki naponi mogu proizvesti nagli protok struje – proboj izolacije

Poluvodiči– izolatori koji pod određenim uvjetima (temperatura, dodavanje primjesa) mogu postati vodiči

Podjela elektrotehničkih materijala

- Poznatiji vodiči su:
 - Bakar, aluminij, srebro i dr. metali...
- Poznatiji poluvodiči su:
 - silicij, germanij, galij-arsenid...
- Poznatiji izolatori su:
 - guma, drvo, PVC, papir, zrak, destilirana voda...

ELEKTRIČNA STRUJA I NJENI UČINCI

Električna struja

Pod električnom strujom podrazumijeva se usmjereno gibanje električnih naboja.

Karakteriziraju je smjer, jakost (može biti funkcija vremena)

Električna struja ostvaruje se gibanjem elektrona u metalima (pri gibanju elektrona ne dolazi do prijenosa materije).

Električna struja ostvaruje se i gibanjem pozitivnih i negativnih iona u tekućinama i plinovima (pri gibanju iona dolazi do prijenosa materije).

- Električna struja iskazuje se *svojim učincima*. To su:
 - *toplinski učinak,*
 - *kemijski učinak,*
 - *magnetski učinak.*
- Poneki autori među osnovne učinke električne struje ubrajaju još i *fiziološki i svjetlosni učinak*, mada su oni posredno iskazani u kemijskom, odnosno toplinskom učinku.

Toplinski učinak struje

Toplinski učinak je fizikalna pojava zagrijavanja vodiča kojim prolazi električna struja.

Do zagrijavanja dolazi zbog sudaranja električnih naboja u gibanju s česticama tvari kroz koju se gibaju, čime joj povećavaju toplinsku energiju.

Stječe se utisak da električna struja nailazi na otpor okolne tvari.

Kemijski učinak struje

Kemijski učinak očituje se u razdvajanju pojedinih vodiča na sastavne dijelove pri prolasku električne struje - elektroliza.

Ovdje električna struja prolazi kroz elektrolite - vodiče druge vrsti. Vodiči druge vrsti su otopine raznih soli, kiselina i lužina.

(*Vodiči prve vrsti su metali*, i oni se ne mijenjaju na takav način prolaskom električne struje).

Magnetski učinak struje

Magnetski učinak je neizbježan pratitelj električne struje.

Iskazuje se stvaranjem magnetnih sila oko vodiča, jakost kojih je veća u blizini vodiča, a s udaljenošću opada.

Prostor u kojem se pojavljuju i osjećaju te sile naziva se magnetskim poljem.

Fiziologijski učinci struje

- Električna fiziološka struja prenosi se živcima (kemijsko – električni prijenos signala) – normalno je prisutna u čovjeku -EKG
- Posebno je opasno ako vanjska električna struja prolazi kroz srce, u kojem se nalazi i centar za generiranje srčanog ritma (proizvodi impulse od cca 1 Hz koji daju signal srcu da se stegne).
- Prolaskom vanjske izmjenične struje od npr. 80 mA i više, te frekvencije 50 Hz srčani mišić bi se trebao stegnuti 100 puta u sekundi - otprilike 80 puta brže od uobičajenog ritma.

Fiziološki učinci struje – utjecaj na čovjeka

Vrijeme prolaska struje kroz tijelo je izrazito bitno.

1. Dolazi do treperenja srca, koje više ne tlači krv.
2. Prolaskom električne struje kroz mozak dolazi do paraliziranja centra za disanje, što takođe može izazvati smrt.
3. Zagrijavanjem (*toplinski efekat*) tkiva zbog prolaska struje dolazi do zgušnjavanja bjelančevina, do rasprskavanja eritrocita, i sl.
4. Posljedica kemijskog učinka električne struje u organizmu je razgradnja stanične tekućine.

(50-100 mA je smrtno !! – tu struju može izazvati napon veći od 60 V – ovisi o otporu).

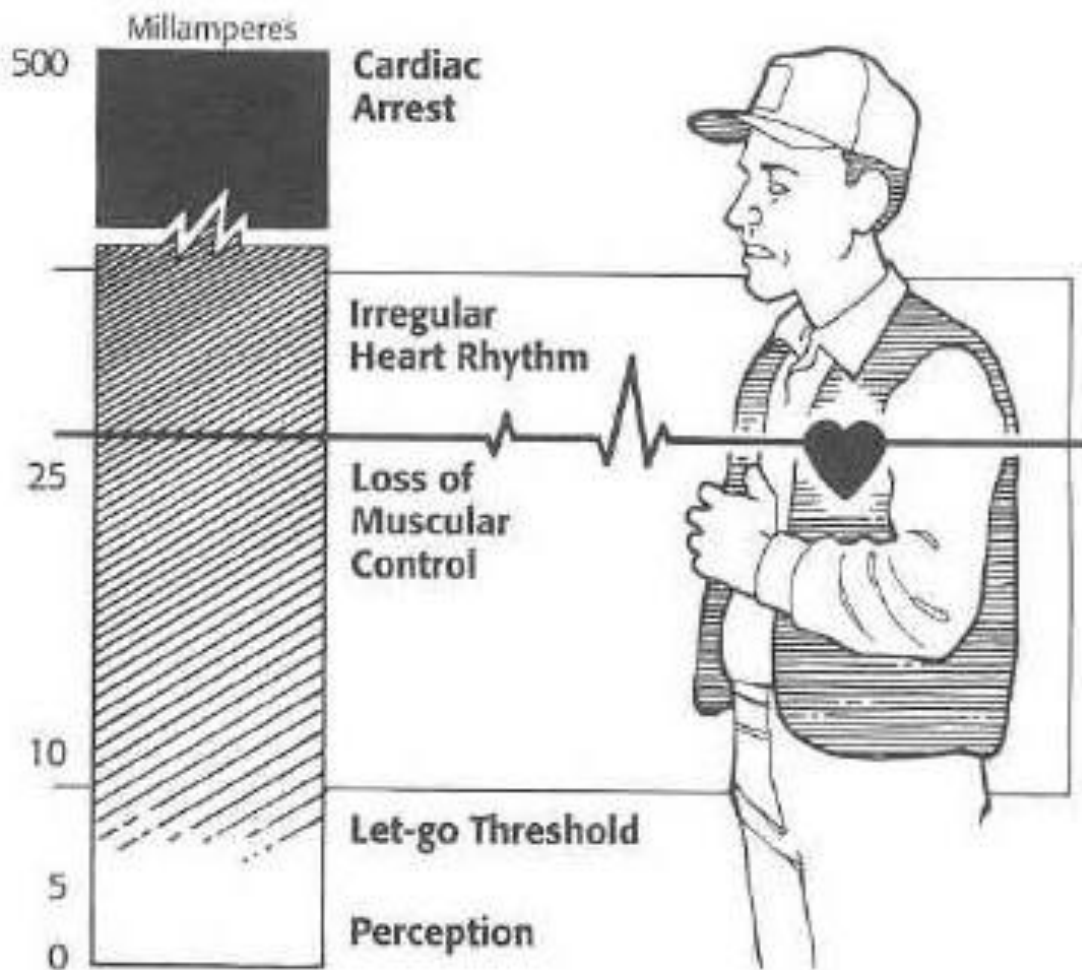


Fig. 1. Increasing levels of current above the "let-go" threshold causes loss of muscular control, irregular heart rhythm, and finally, cardiac arrest.

Electrical Shock

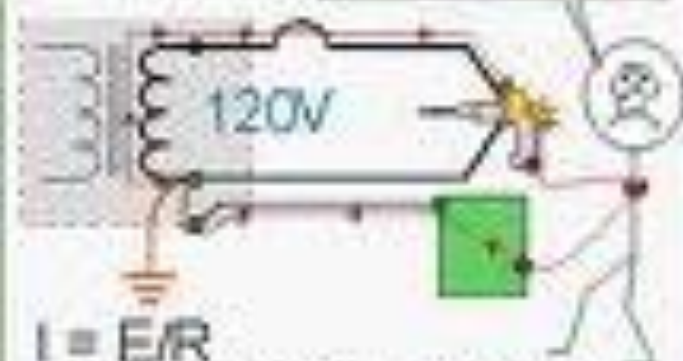
The body becomes part of an electrical path.

Line-to-ground fault energizes metal parts.

Broken Terminal



1000 Ohms



$$I = E/R$$

$$120V/1000\Omega = 120 \text{ mA}$$

Grounded Object or Surface

© Original Artist
Reproduction rights obtainable from
www.CartoonStock.com



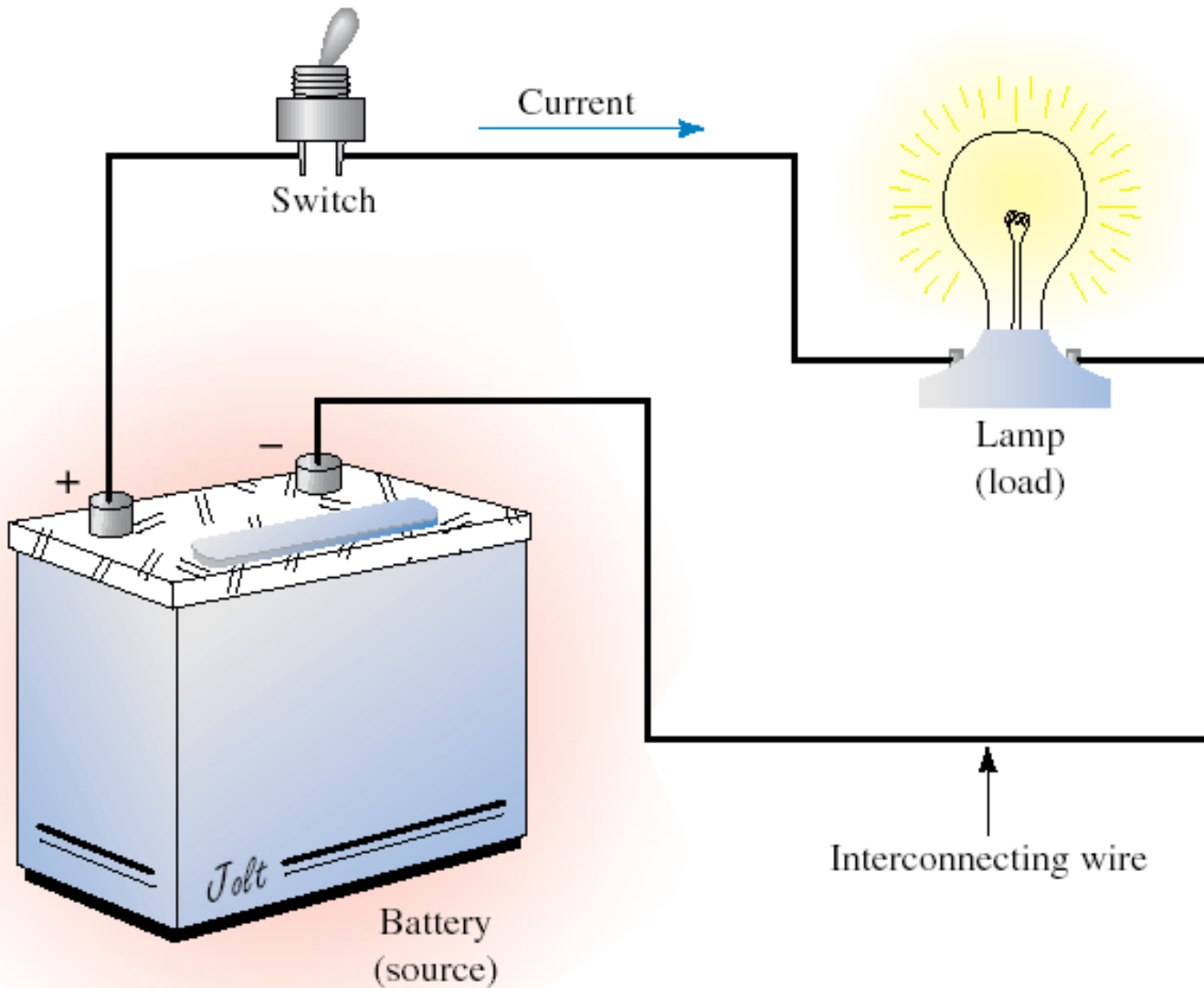


ELEKTRIČNI KRUGOVI ISTOSMJERNE STRUJE

Krug istosmjerne struje

- **Tri su osnovna dijela svakog električnog strujnog kruga:**
 - **izvor,**
 - **vodiči,**
 - **trošilo.**
- **U trošilima se vrši obratna pretvorba energije.**

Krug istosmjerne struje



Elektromotorni napon ili sila električnog izvora

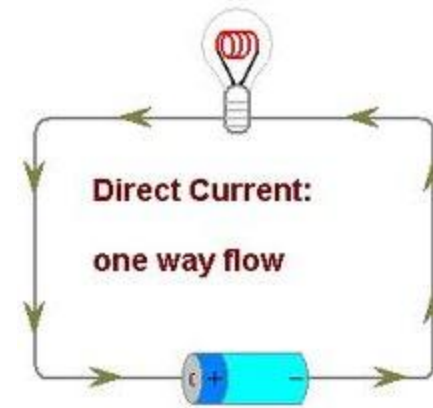
Električno nabijena tijela mogu se dobiti odvajanjem elektrona iz atoma utroškom neke druge vrsti energije, npr. Mehaničke, svjetlosne ili kemijske. Takvo odvajanje postoji u električnom izvoru.

Zbog djelovanja energije u izvoru nastaje elektromotorna napon (sila) E koja uzrokuje da jedna stezaljka izvora ima višak negativnog naboja (negativni pol), a druga manjak negativnog naboja (pozitivni pol) – između stezaljki nastaje razlika potencijala.

Elektromotorni napon ili sila

Radnja dW u izvoru pomiče naboj dQ u izvoru i stvara napon E na stezaljkama

$$E = \frac{dW}{dQ} \left[\frac{J}{C} = V \right]$$



Svaki izvor ima definiran električni napon E koji se mjeri u voltima (V).

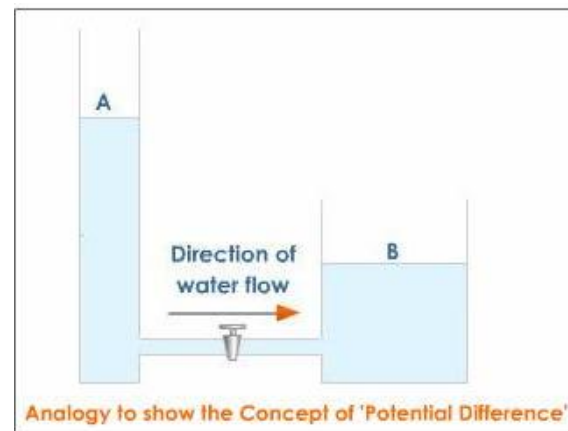
Napon je “sila” koja “gura” struju kroz trošilo i vodiče. Struja protiče kada se zatvori strujni krug

Električni potencijal

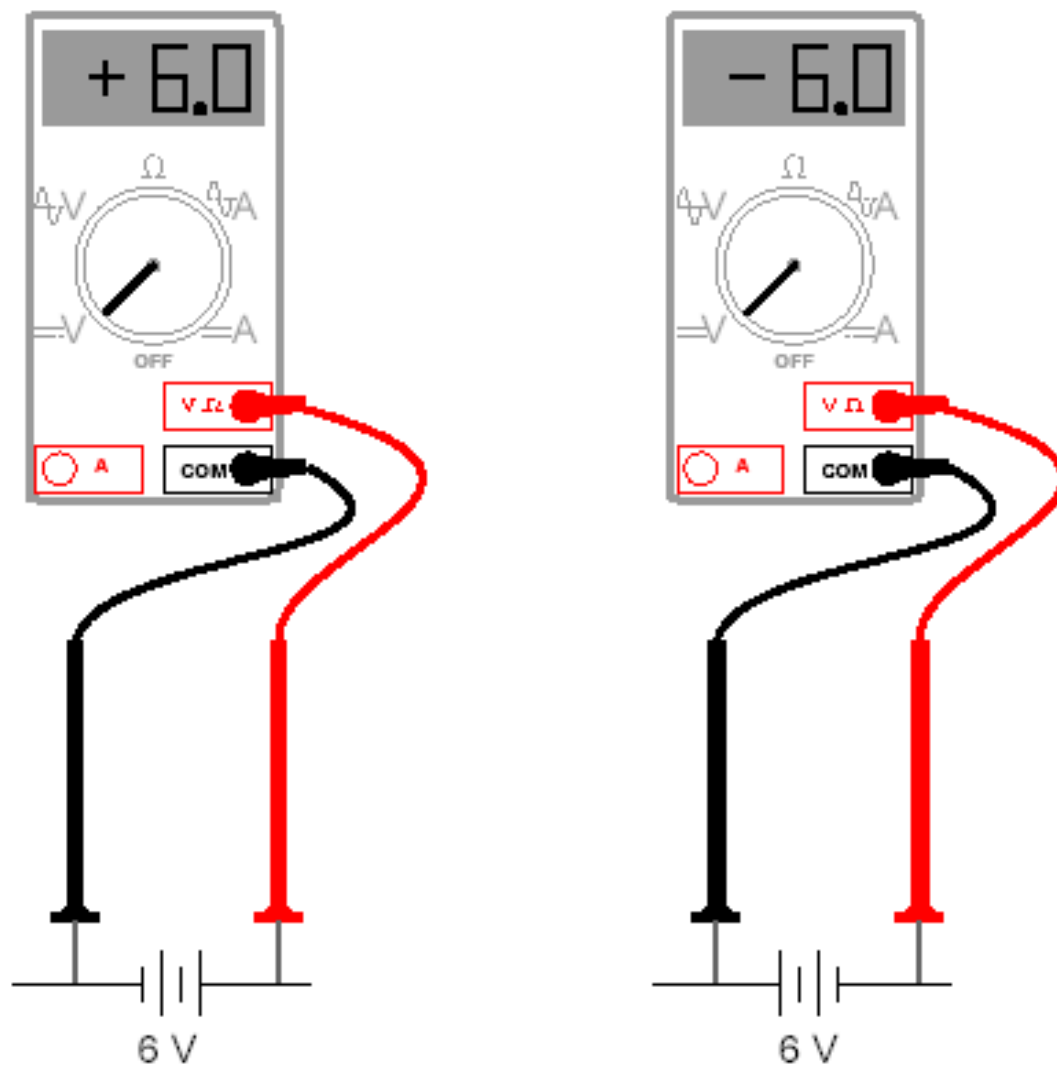
- Svaka stezaljka izvora ima određeni potencijal.
- Električni potencijal označava se s φ , i on je skalarna veličina, mjeri se u voltima (V).
 - Razlika u potencijalu između bilo koje dvije točke strujnog kruga naziva se naponom,



$$E = \varphi_2 - \varphi_1$$

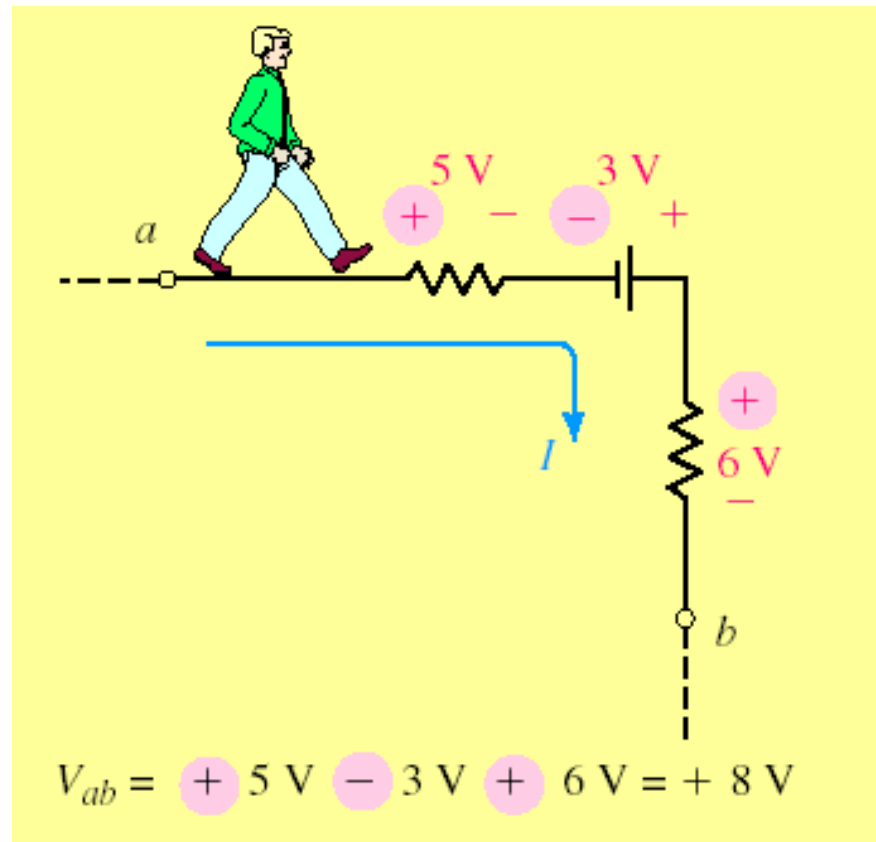


Mjerenje napona izvora



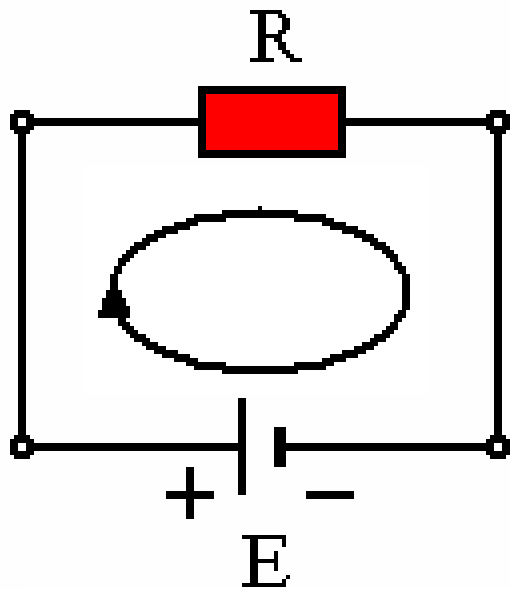
Razlika potencijala ili napon između dvije točke strujnog kruga

- Napon između točaka strujnog kruga može se odrediti kao razlika potencijala između promatranih točaka.

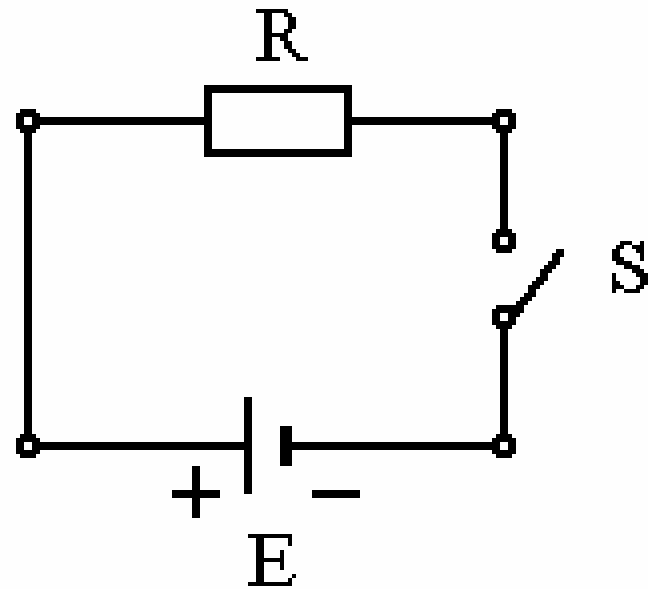


Krug istosmjerne struje

• Da bi električna struja tekla između izvora i trošila, svi dijelovi strujnog kruga trebaju biti dobro vodljivi i nigdje ne smije biti prekida – zatvoren strujni krug.

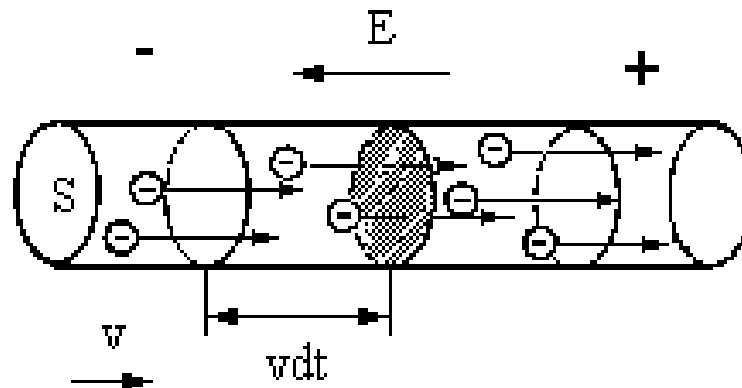
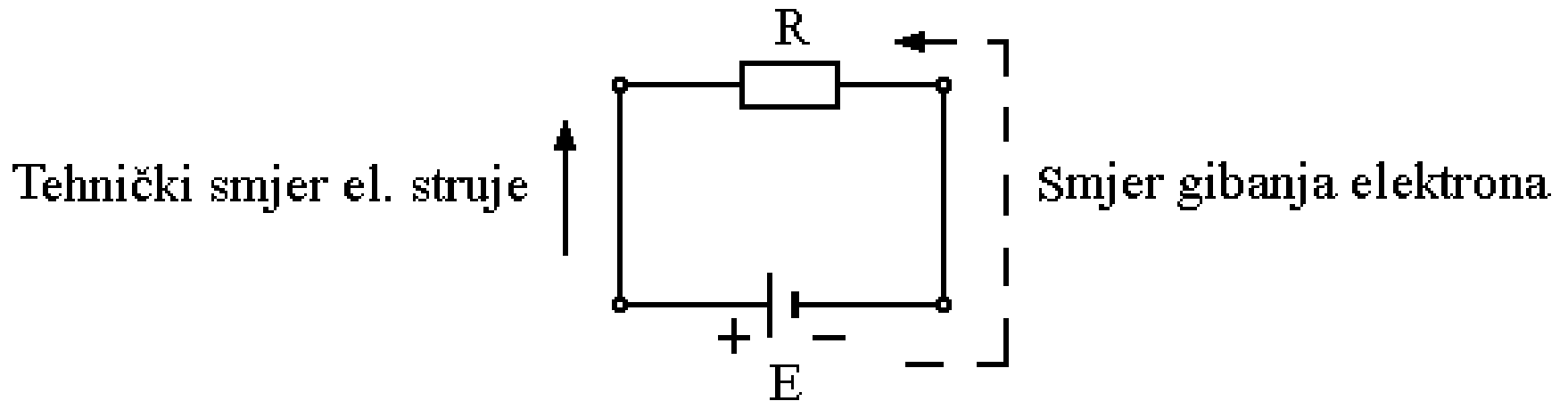


zatvoreni krug



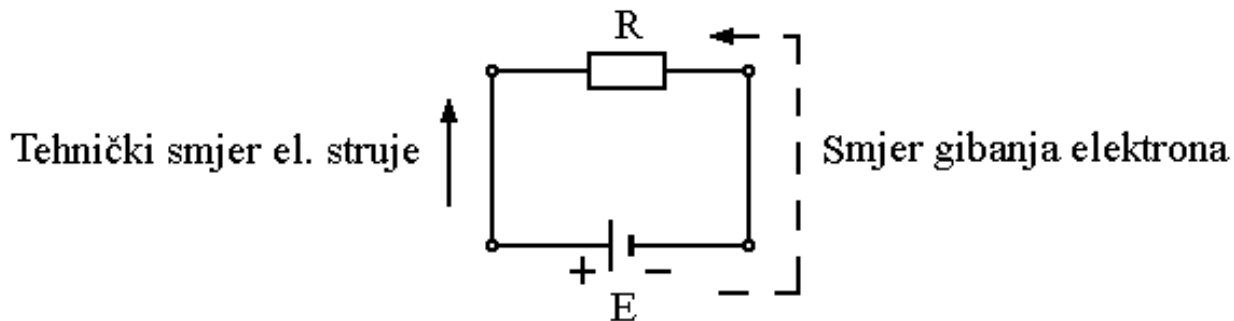
otvoreni krug

Smjer električne struje



Gibanje slobodnih elektrona u vodiču

Smjer električne struje



Istosmjerna struja stalno teče strujnim krugom u istom smjeru
(polaritet izvora se ne mijenja vremenu)

Jakost električne struje je veličina o kojoj ovisi učinak električne struje. Određuje se kao mjera količine elektriciteta koja prođe u jedinici vremena kroz vodič na jednom mjestu strujnog kruga:

$$I = \frac{Q}{t} \left[\frac{C}{s} = A \right]$$

Q –električni naboj [C]

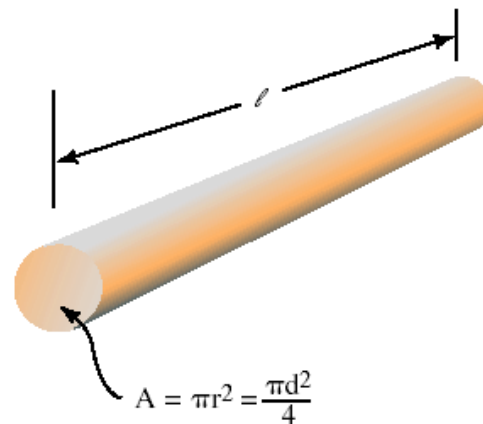
ELEKTRIČNI OTPOR I VODLJIVOST

Električni otpor i vodljivost

• Vodič pruža otpor prolasku struje – efekt sudaranja elektrona sa česticama materije

• Otpor ovisi o vrsti materijala, duljini vodiča i površini poprečnog presjeka vodiča

$$R = \rho \frac{\ell}{S} [\Omega] \quad G = \frac{1}{R} [S]$$



$$\rho = 1 \left[\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right] = 10^{-6} \Omega \text{m}$$

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = 1 \left[\frac{\text{Sm}}{\text{mm}^2} \right] = 10^6 \text{Sm}$$

Ovisnost otpora o temperaturi

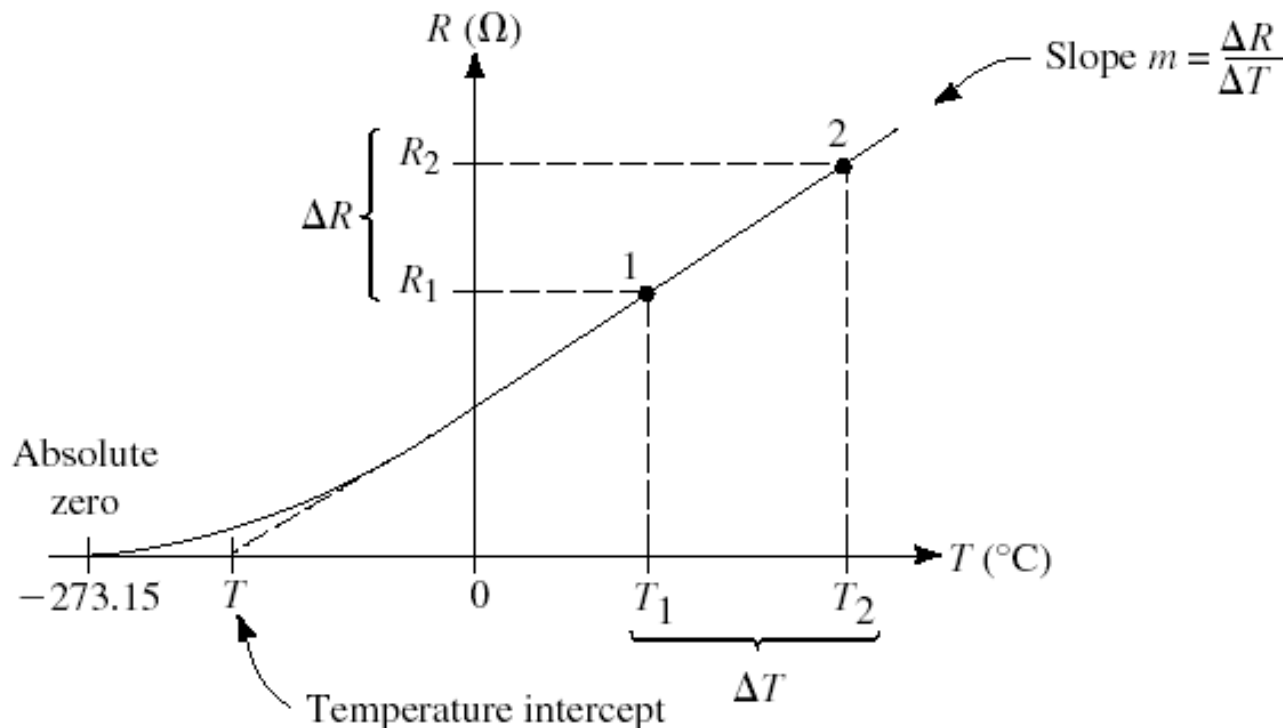
$$R = R_0 [1 + \alpha \Delta T]$$

R otpor pri stvarnoj temperaturi

*R*₀ - otpor pri sobnoj temperaturi

ΔT - razlika između stvarne i sobne temperature

α - temperaturni koeficijent materijala [C^{-1}],



Supravodljivost

Pojava iščezavanja električne otpornosti koja nastaje kao rezultat podhlađivanja vodiča do kritične temperature, naziva se supravodljivošću.

Sredstvo za hlađenje je za te temperature tekući helij. Tehnologija *tekućeg helija* je vrlo složena i skupa. Visokotemperaturni supravodiči $T_c = 100 \text{ K}^\circ$ – te temperature moguće postići tekućim dušikom.

Moguća područja primjene su: *prijenos energije, izgradnja jakih magneta, transport, električni strojevi, računalska tehnika, medicina* i sl.

Otpornici

Otpornici su elementi kruga koji reguliraju jakost struje ili ostvaruju pad napona u strujnom krugu.

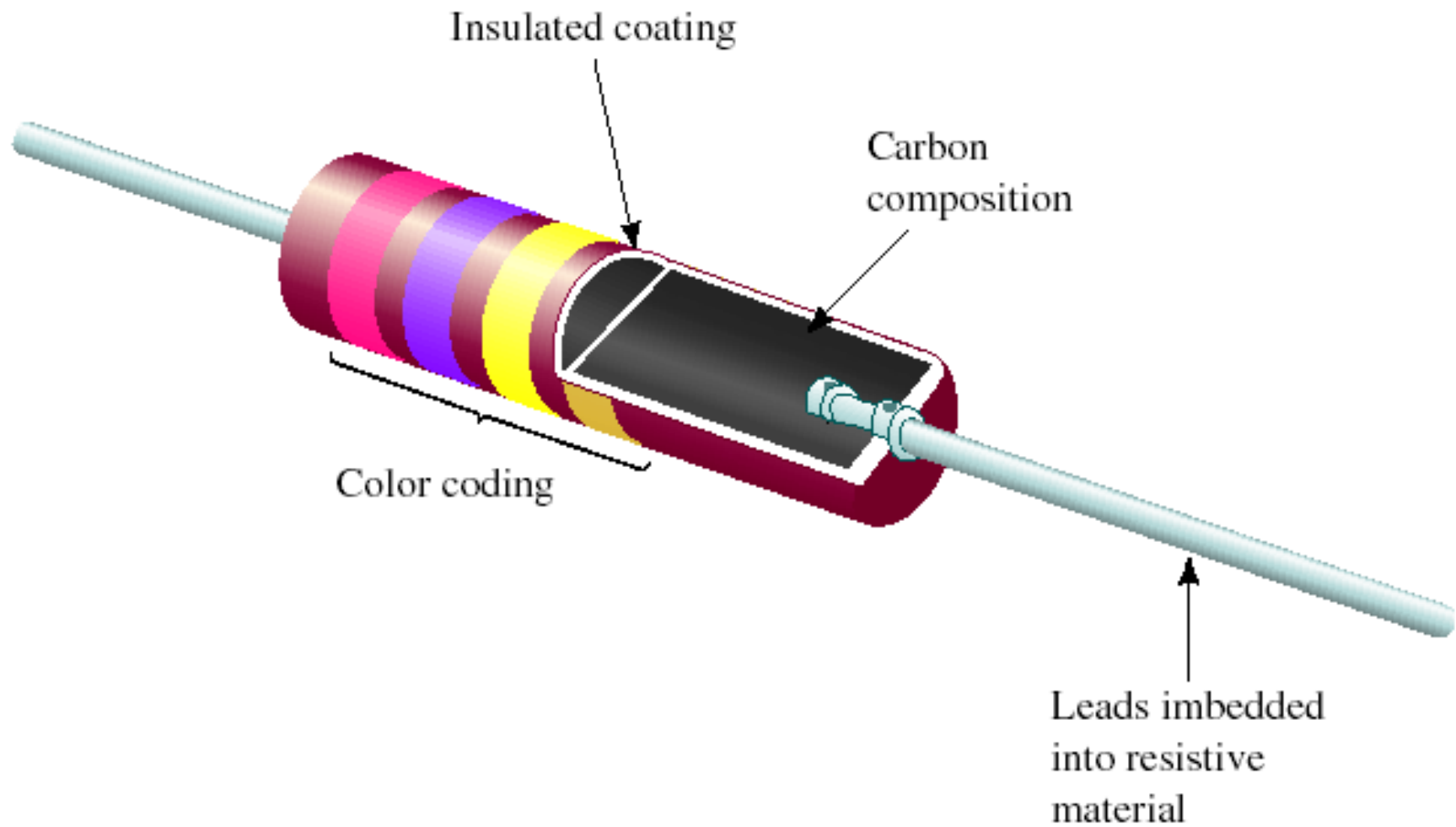


Otpornici na štampanoj pločici



Novi trend u izradi otpornika je tzv. SMD tehnologija, tj. tehnologija površinskog postavljanja.

Maseni ugljeni otpornik



Vrste i parametri otpornika

Parametri otpornika:

- *otpornost* [Ω],
- *snaga* [W],
- *tolerancija*...

Vrste otpornika: *Stalni i promjenjivi*

Prema tehnologiji izrade : *maseni, ugljično slojni, žićani ...*

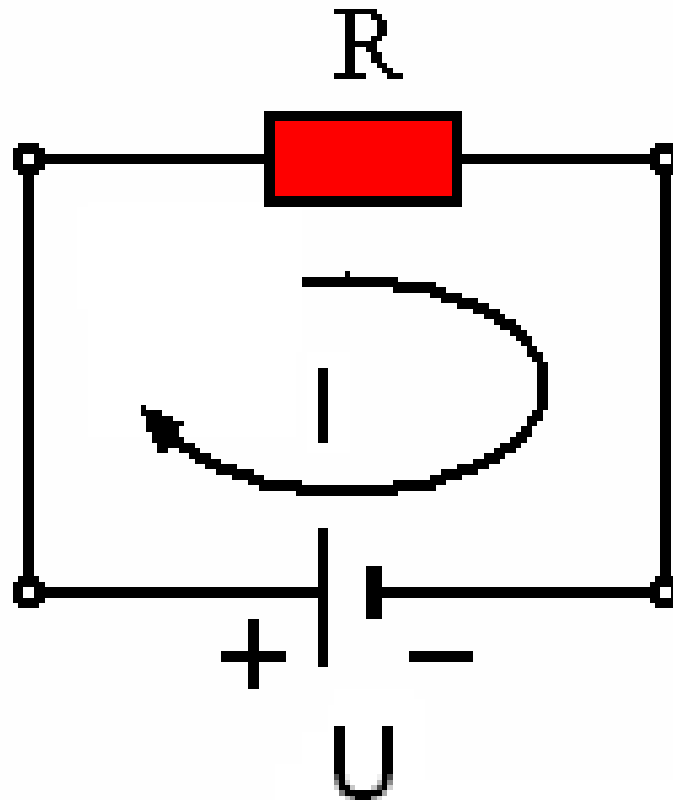
- Linearni i nelinearni: *NTC, PTC otpornici, varistori, magnetski otpornici fotootpornici, otporne trake (straingages) -senzori*

OHMOV ZAKON

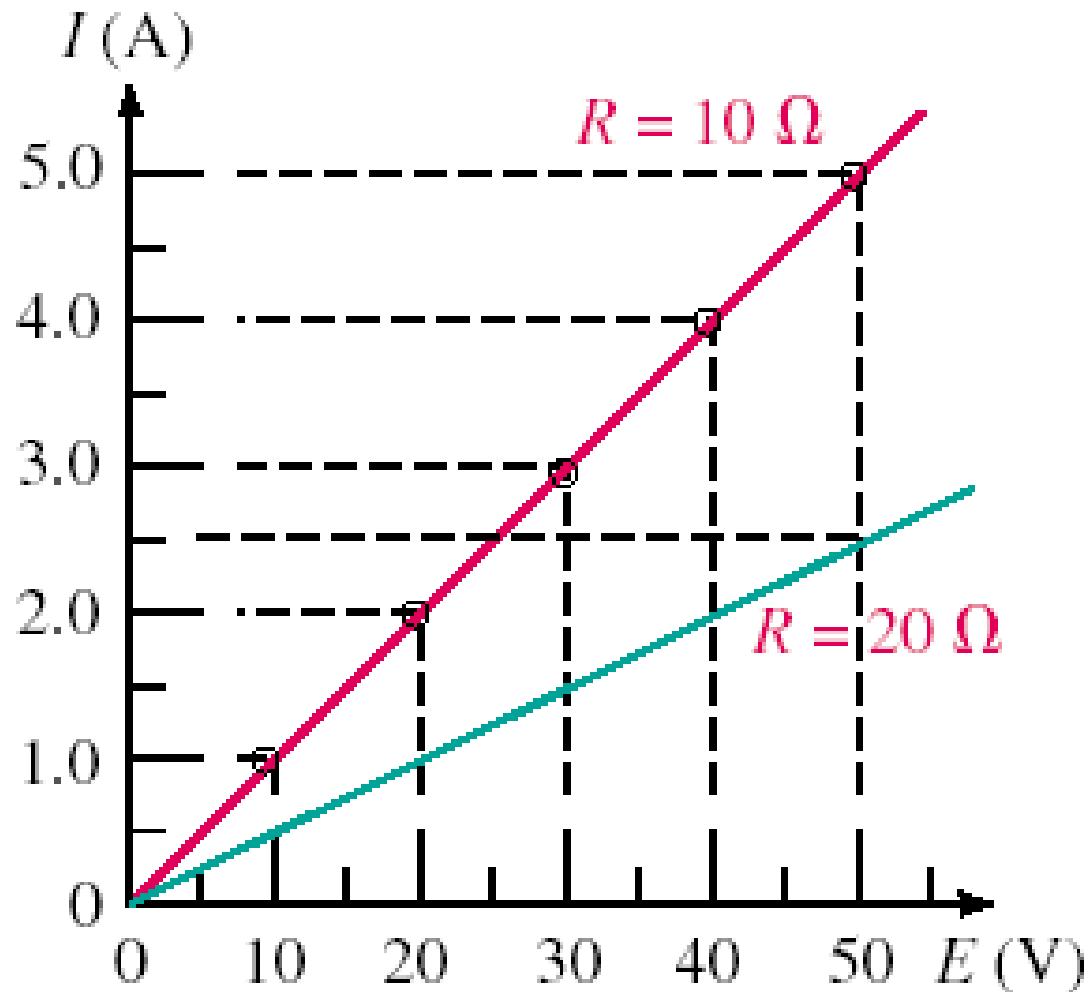
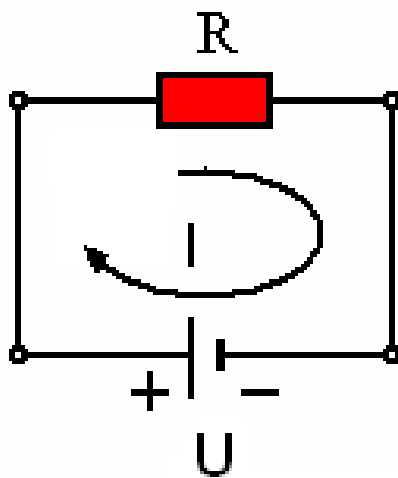
Ohmov zakon

- Njemački fizičar George Simon Ohm (1787-1854.) eksperimentalno je utvrdio da je pri konstantnoj temperaturi *jakost električne struje razmjerna naponu, a obrnuto razmjerna električnom otporu.*

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



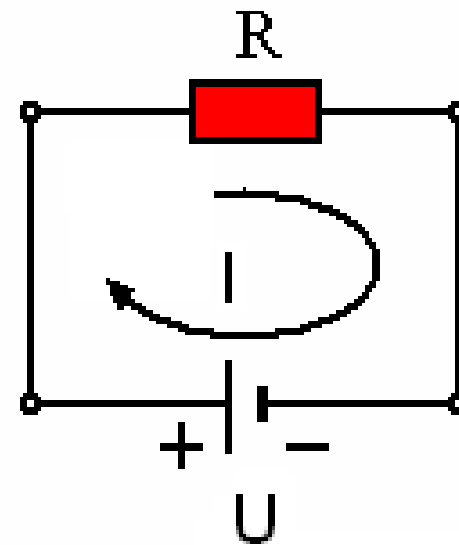
Grafička reprezentacija ohmovog zakona linearnog otpornika



Tri radna stanja električnog kruga

Tri su radna stanja električnog kruga:

- normalno radno stanje ($I=I_{\text{radno}}$)
- prazni hod ($R=\infty; I=0$)
- kratki spoj ($I=\infty; R=0$) opasno !!!



KIRCHOFFOVI ZAKONI

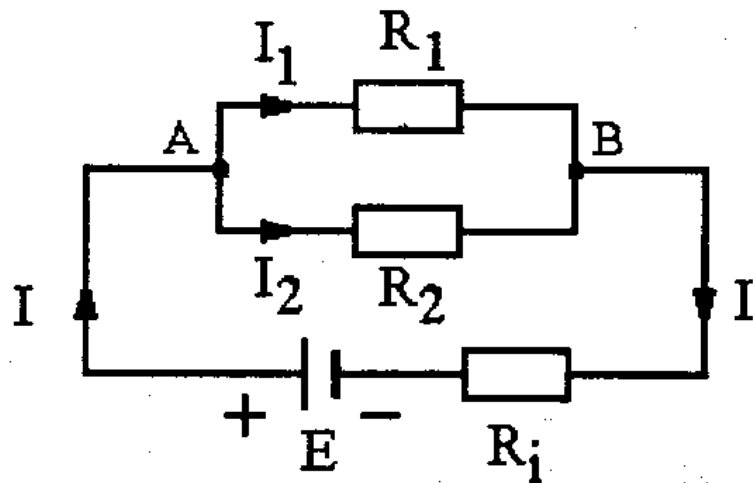
Prvi Kirchoffov zakon

Za bilo koji čvor električne mreže vrijedi da je algebarski zbroj svih struja u svakom trenutku jednak nuli

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

$$\pm I_1 \pm I_2 \pm \dots \pm I_n = 0$$

$$\sum_{\text{ulaznih}} I_i = \sum_{\text{izlaznih}} I_j$$



Drugi Kirchoffov zakon

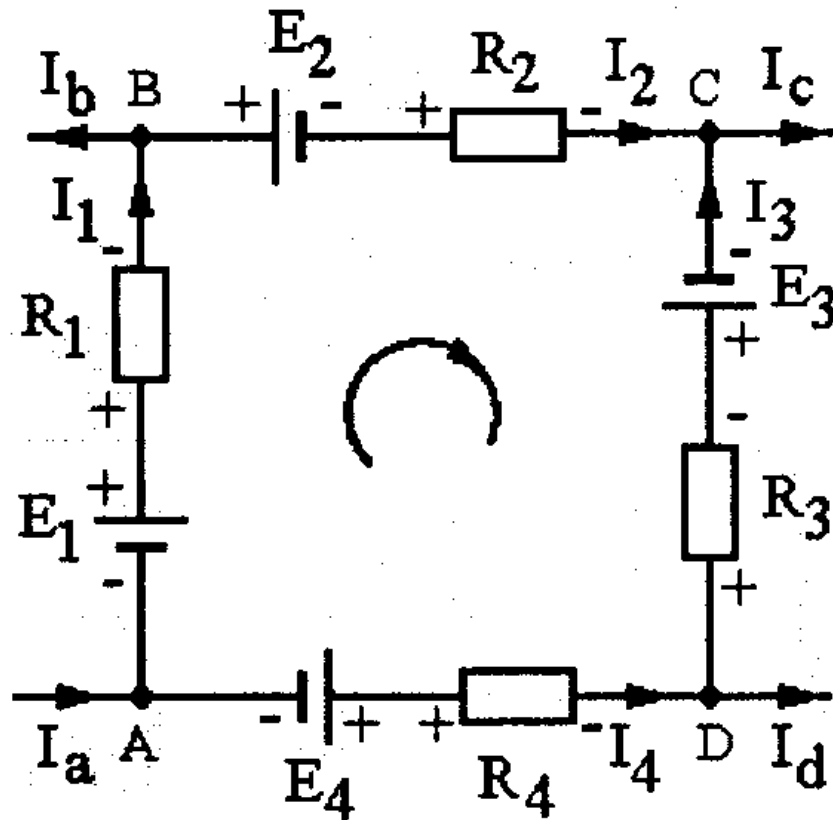
U zatvorenom strujnom krugu, algebarski zbroj napona izvora jednak je algebarskom zbroju padova napona na otpornicima.

$$\sum_i E_i = \sum_j I_j R_j$$

Oni elektromotorni naponi kojima se smjer djelovanja podudara s referentnim smjerom uzimaju se kao pozitivni, a ostali kao *negativni*.

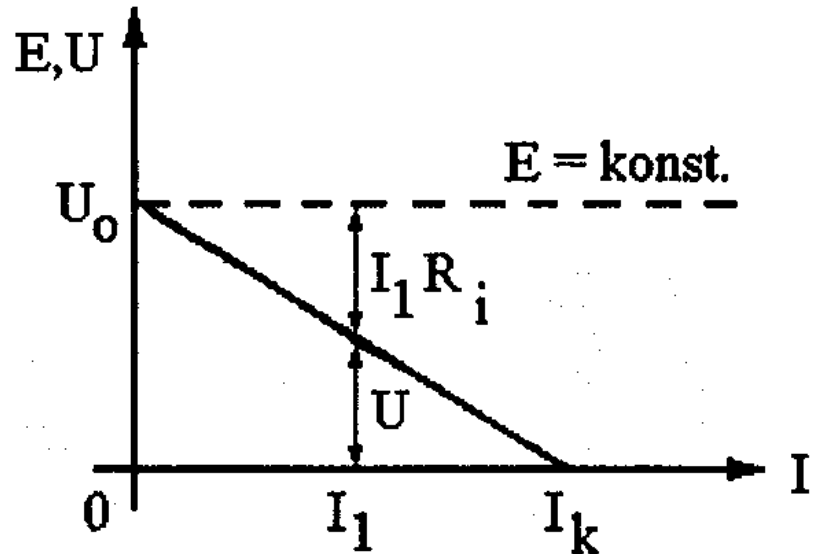
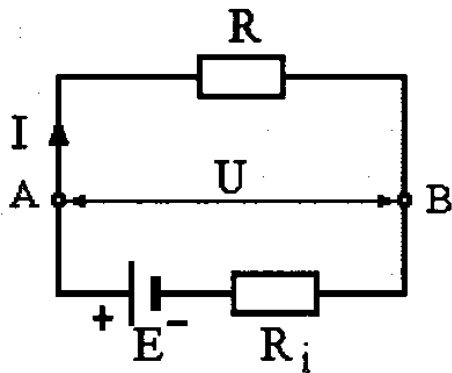
Primjer: naponsko djelilo sa dva serijski spojena otpornika.

Drugi Kirchoffov zakon



$$E_1 - E_2 + E_3 - E_4 = I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4$$

Pad napona realnog naponskog izvora



$$U = E - I R_i$$

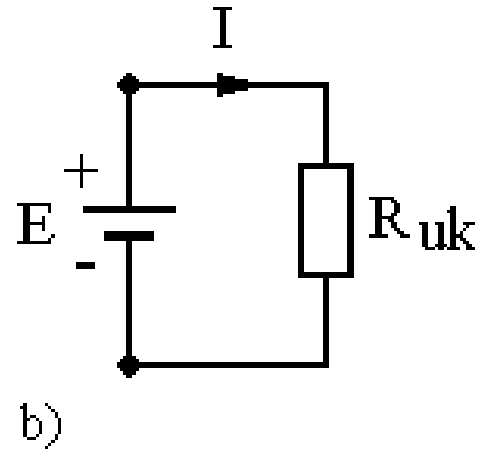
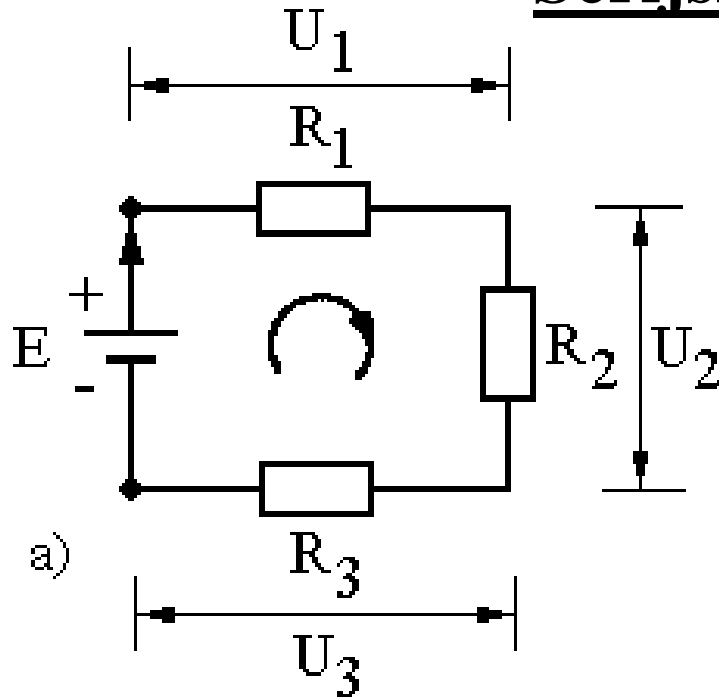
- Na unutarnjem otporu izvora, prolaskom struje I, dolazi do pada napona (idealni izvor ima $R_i=0$), pa se smanjuje napon U

SPOJEVI OTPORNIKA

SPOJEVI OTPORNIKA

- Serijski
- Paralelni
- Mješoviti
- Zvijezda
- Trokut

Serijski spoj otpornika



$$U_1 + U_2 + \dots + U_n = E$$

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n = I$$

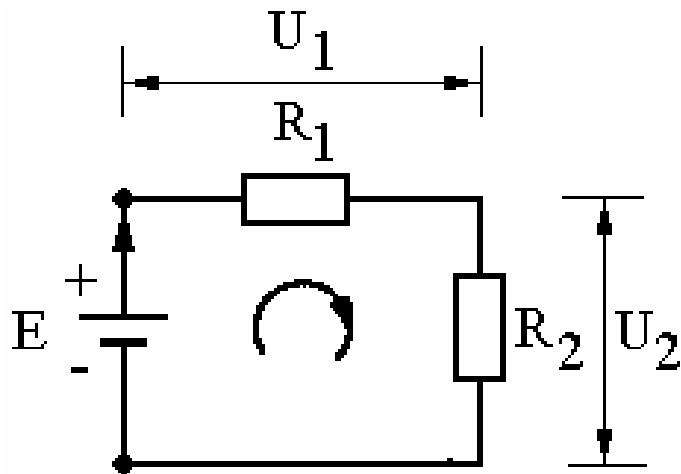
$$R_{uk} = \sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Serijski spoj dvaju otpornika – naponsko djelilo

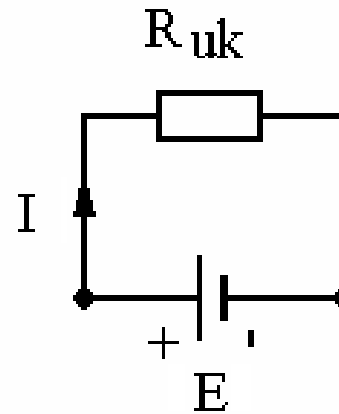
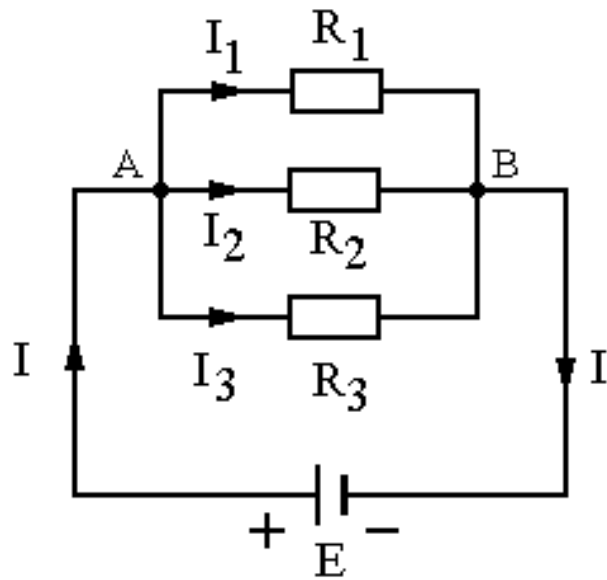
$$R_{uk} = R_1 + R_2$$

$$U_1 = E \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



Paralelni spoj otpornika



$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = I$$

$$U_1 = U_2 = \dots = U_n = E$$

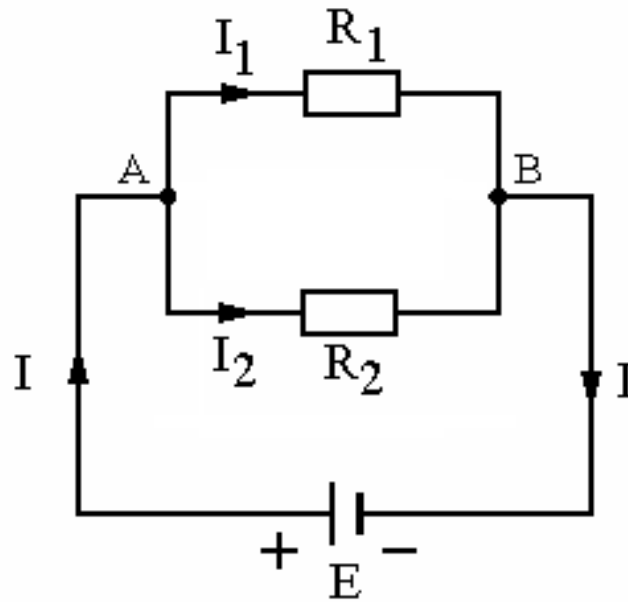
$$\frac{1}{R_{uk}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Paralelni spoj dvaju otpornika – strujno djelilo

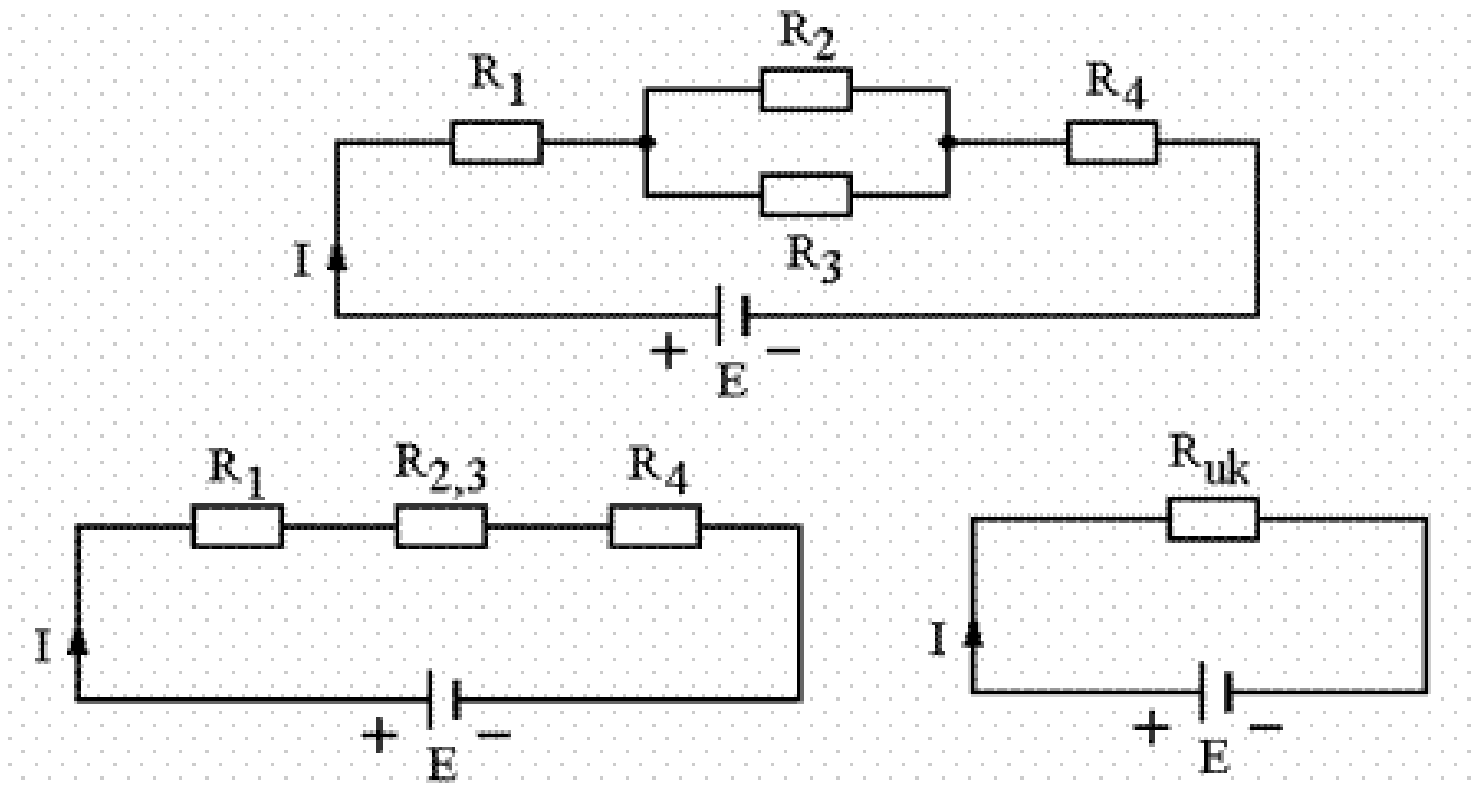
$$R_{uk} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

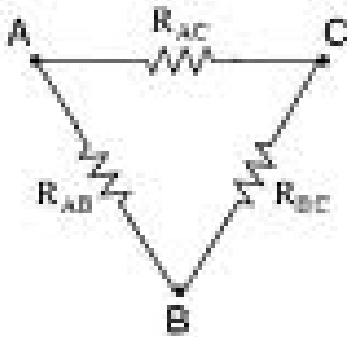


Mješoviti spoj otpornika

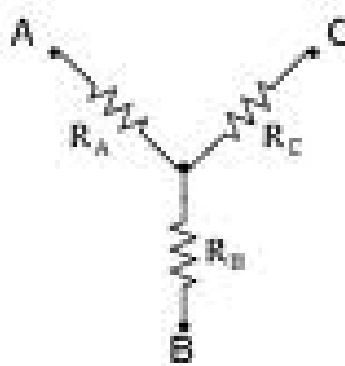


Zvezda spoj i trokut spoj

trokut



zvezda

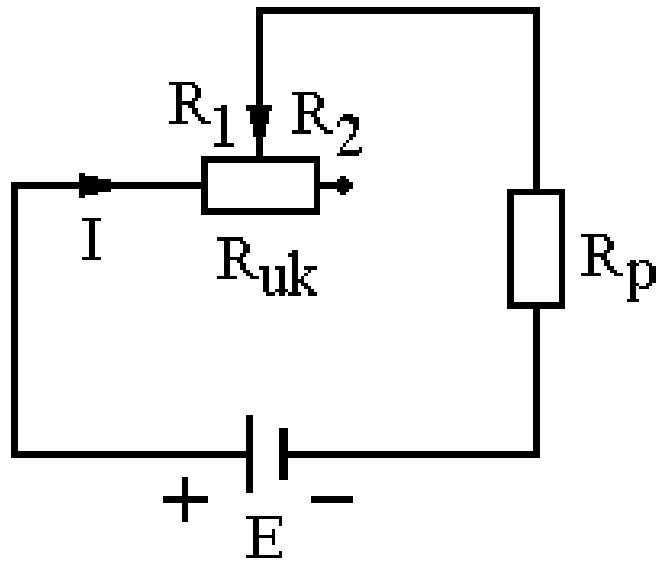


Američki simbol za otpornik



PROMJENJIVI OTPORNICI

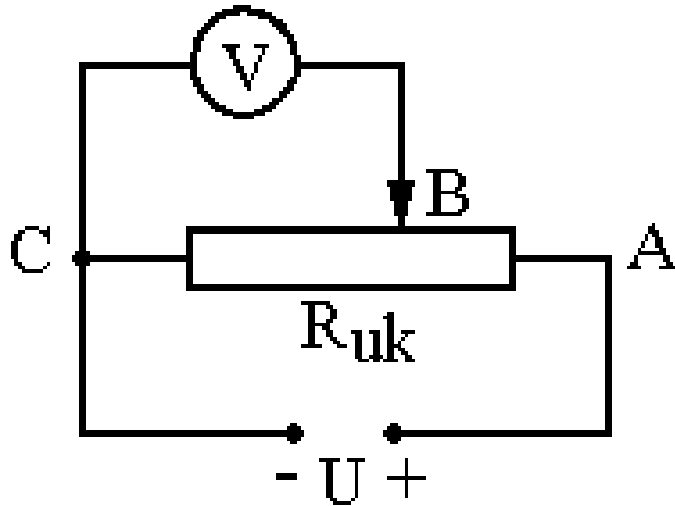
Reostat



Promjenljivi otpornici, zvani reostati, služe za regulaciju jakosti električne struje

Reostati se primjenjuju pri pokretanju elektromotora, pri nabijanju akumulatora, itd.

Potenciometar



Promjenljivi otpornici, zvani potenciometri, služe za regulaciju napona električne struje

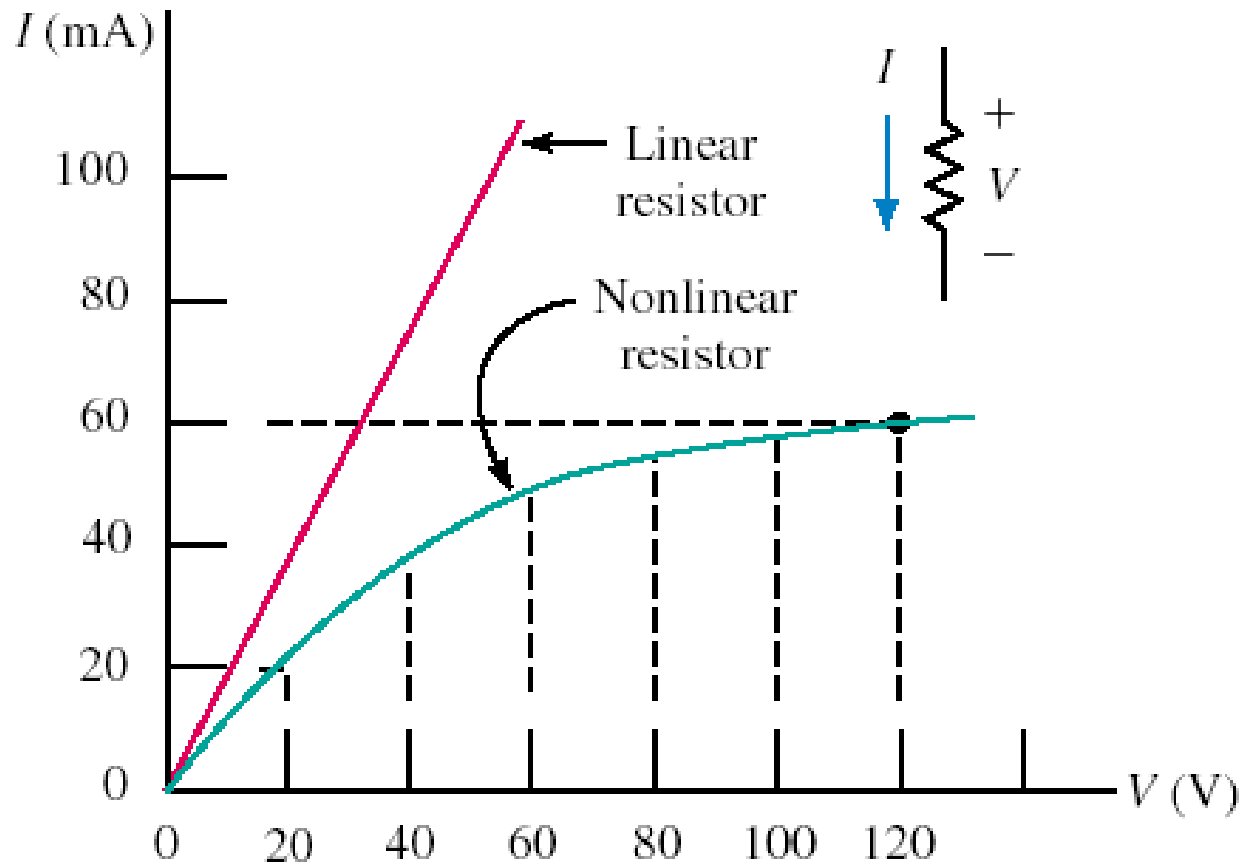
Potenciometri se primjenjuju prilikom podešavanja napona (glasnoća, kurs broda, rasvjeta)

NELINEARNI OTPORNICI

Linearni i nelinearni otpornici

- Ako se otpor otpornika ne mijenja u ovisnosti o jakosti električne struje ili iznosu narinutog napona govori se o linearnim otpornicima (stalni otpornici ili mehaničkim putem promjenjivi) – linearna U/I karakteristika
- Ako se otpor otpornika mijenja u ovisnosti o jakosti struje ili iznosu narinutog napona u krugu govori se o nelinearnim otpornicima – nelinearna U/I karakteristika

Linearni i nelinearni otpornici



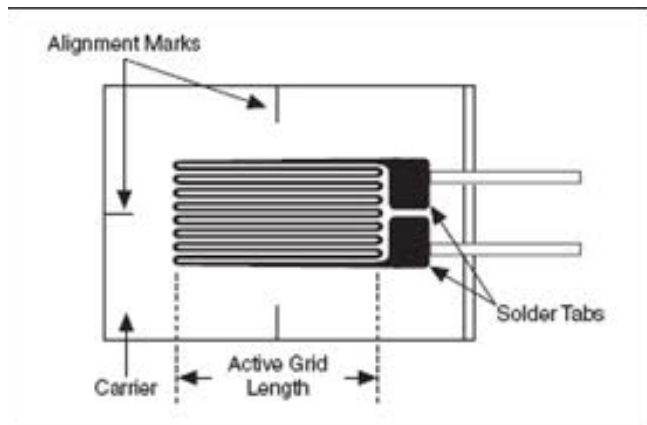
- 5 Linear and nonlinear resistance characteristics.

Nelinearni otpornici

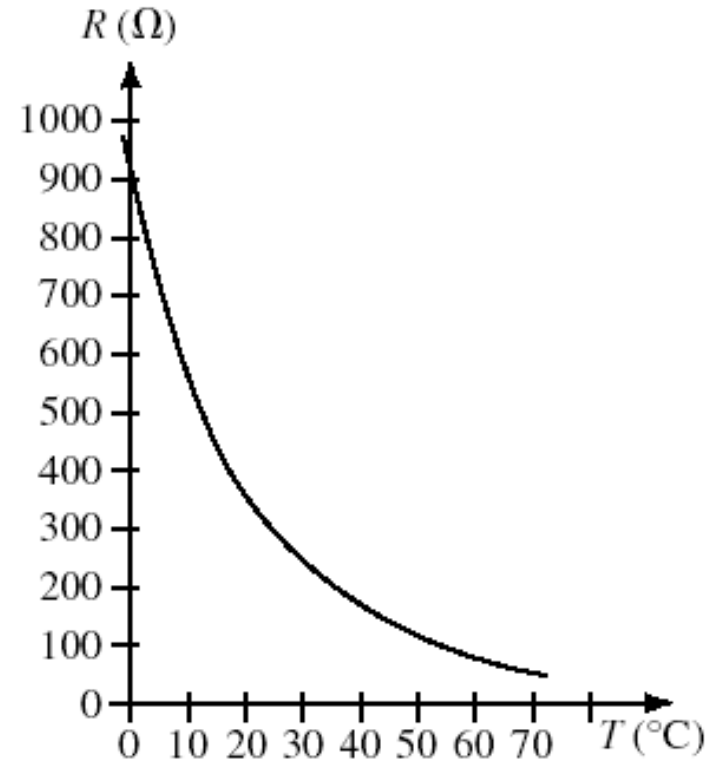
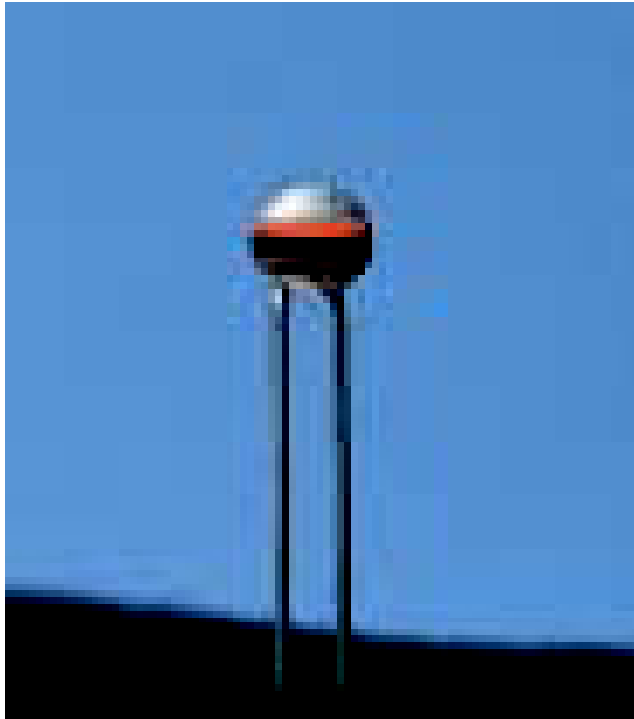
Magnetski otpornici su oni koji mijenjaju otpor s promjenom magnetnog polja, odnosno gustoće magnetnog toka, u kojem se nalaze. Nazivaju se Hallovim elementima.



Kod otpornika ovisnih o **tlaku** otpor raste s porastom tlaka kojem su izloženi – otporne trake (strain gages) – naprezanje trupa broda.



Termistori

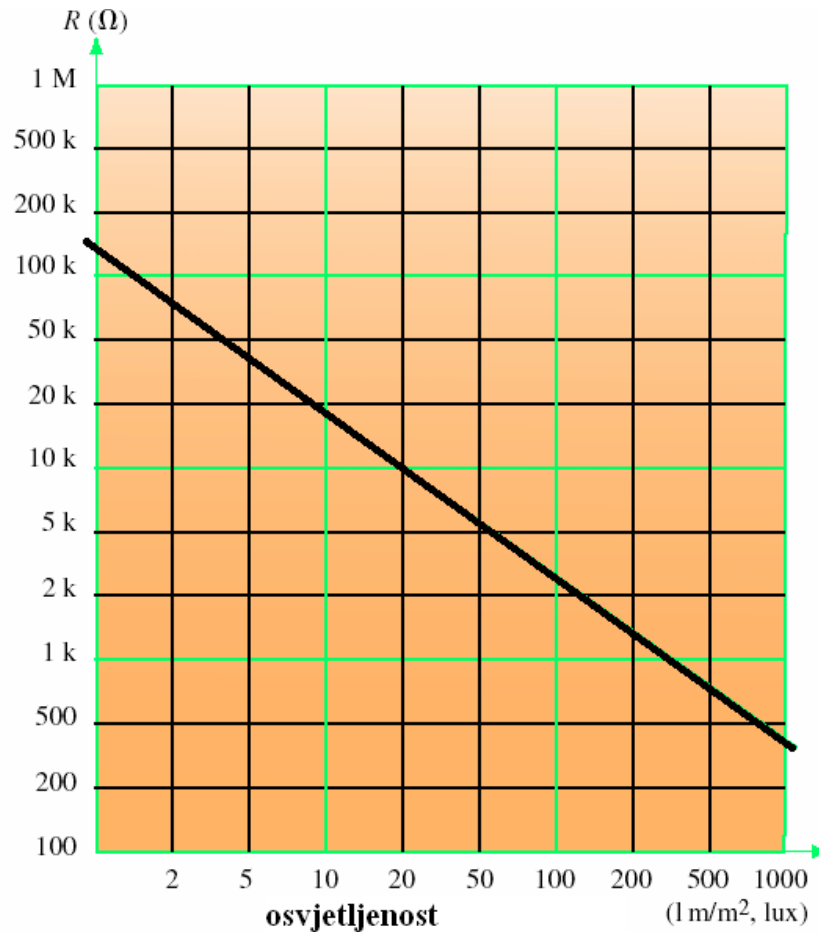
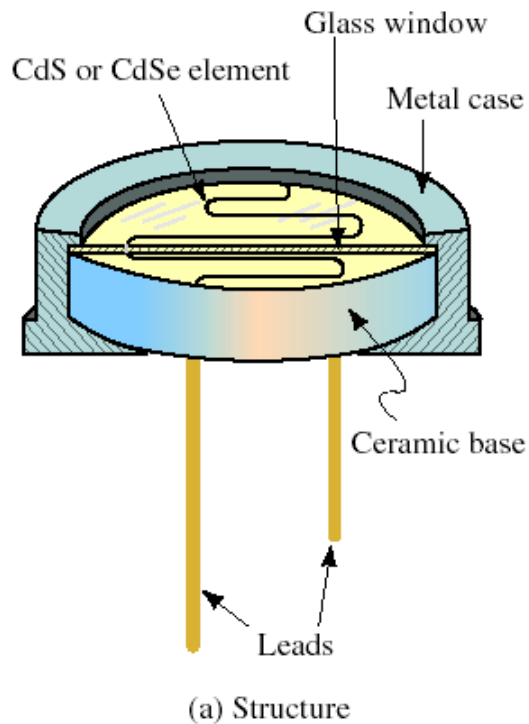


Termistori: -s **pozitivnim temperaturnim koeficijentom** – otpor se povećava rastom temperature (**PTC**)

i s **negativnim temperaturnim koeficijentom** – otpor se smanjuje povećanjem teperature (**NTC**)

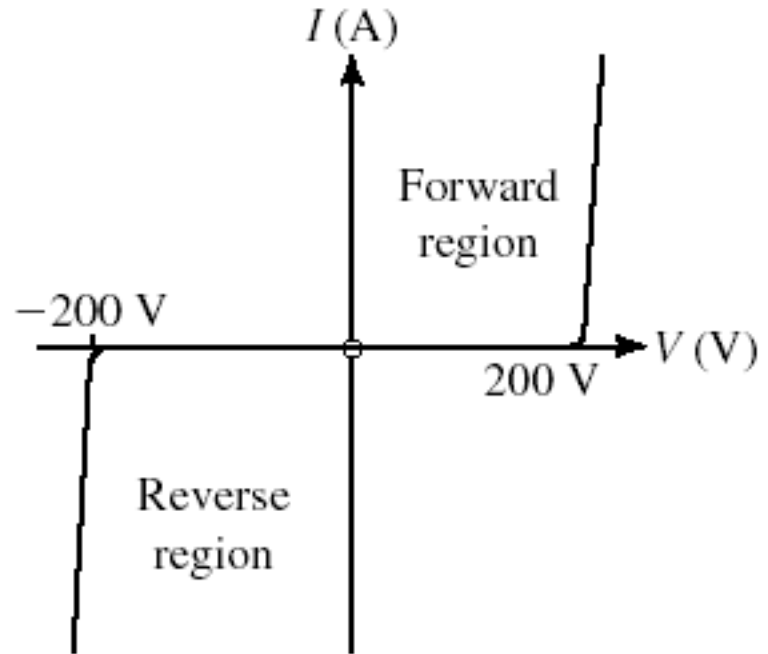
Koriste se kao **senzori temperature**

Fotootpornik



Rad *fotootpornika* zasniva se na činjenici da se električni *otpor* nekih materijala *smanjuje* kad se obasjaju svjetlošću (oslobađaju se elektroni i povećava se vodljivost – protuprovala)

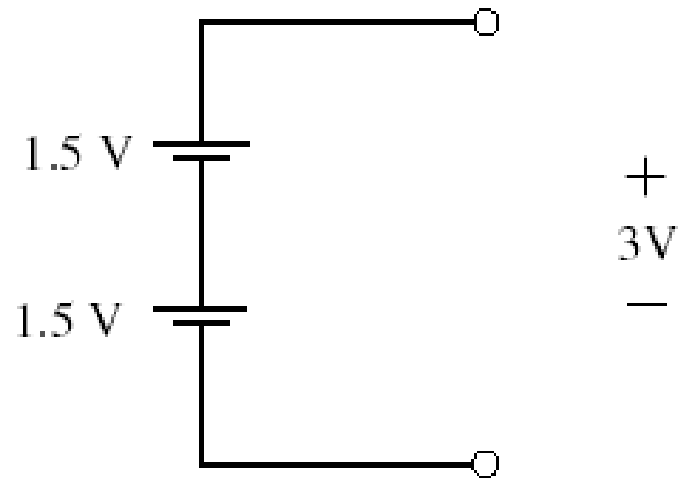
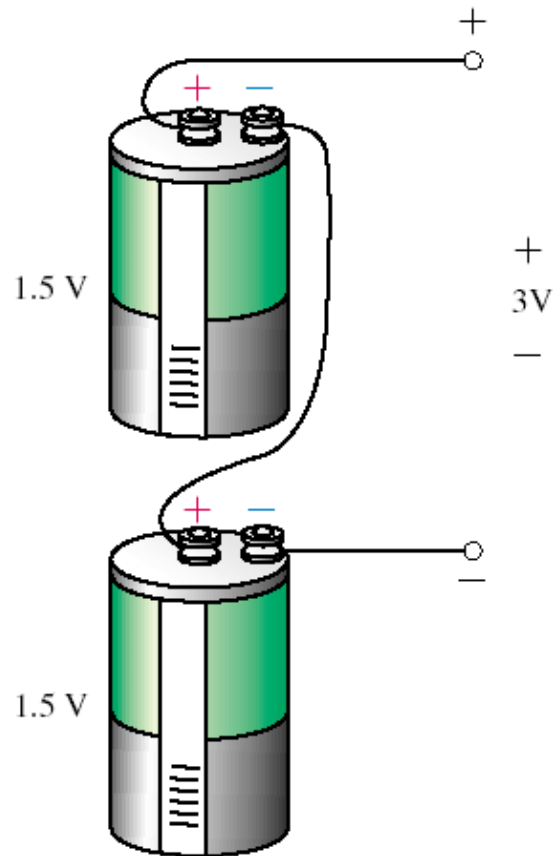
Varistor



Varistori (VDR - voltage dependent resistor) su otpornici kod kojih se otpor smanjuje s porastom napona. – zaštitni elementi

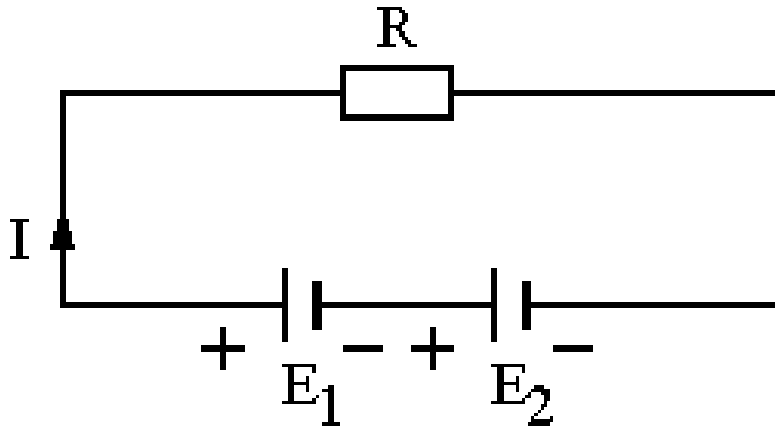
SPOJEVI IZVORA

Serijski spoj izvora



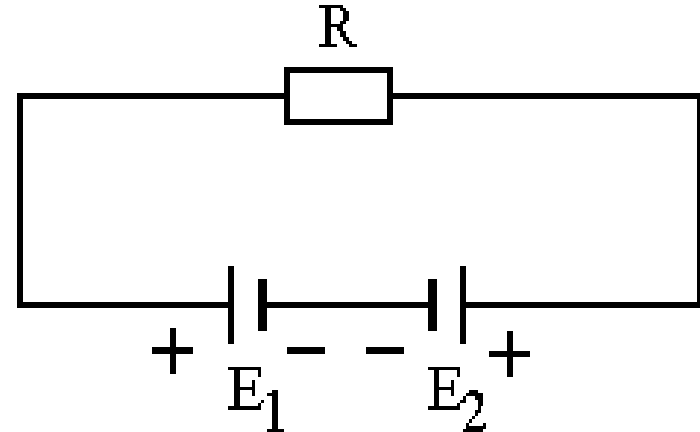
Serijski spoj izvora koristi se kada je potreban veći napon trošila od napona koju može dati jedan izvor.

Serijski spoj izvora



Serijski spoj izvora

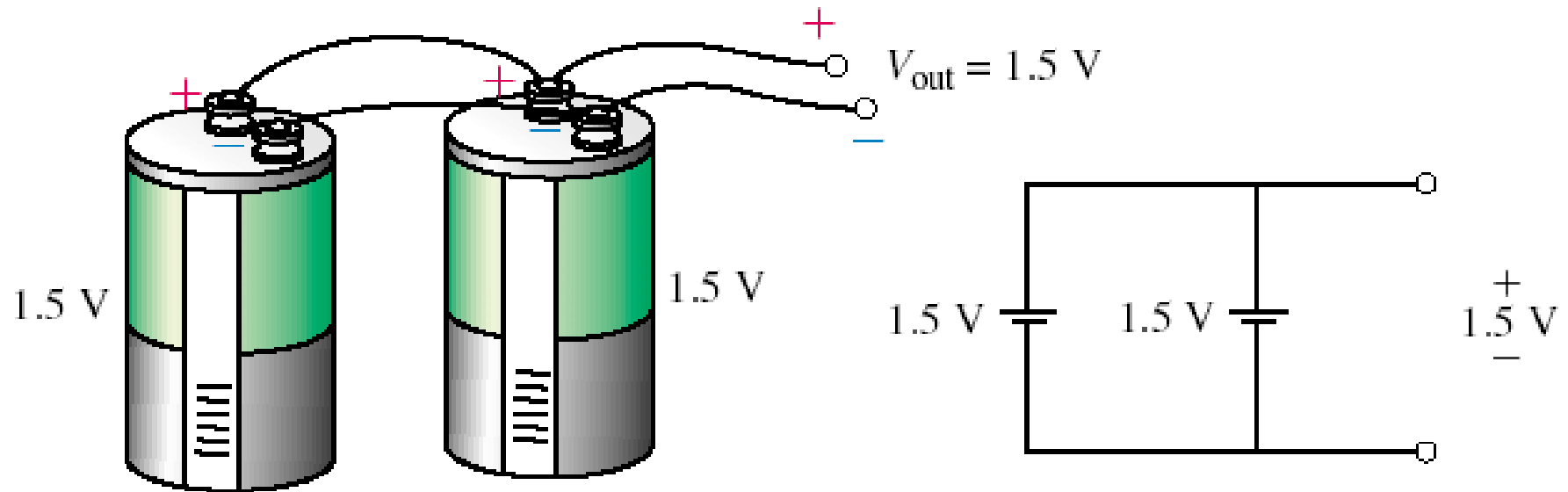
$$E = \sum_{i=1}^n E_i$$



Serijski protuspoj izvora

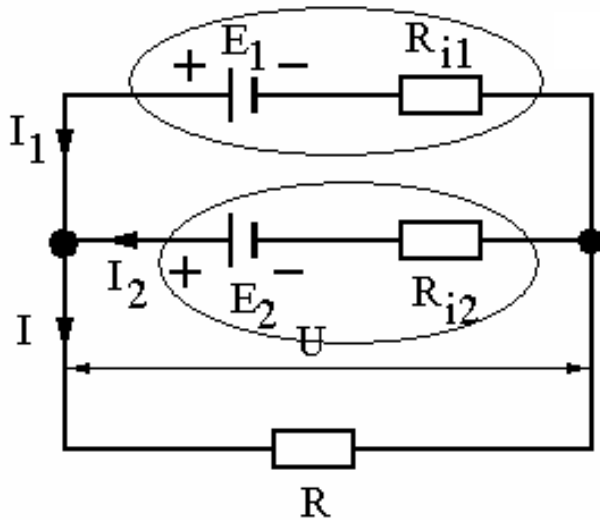
Koliki je ovdje napon na potrošaču ?

Paralelni spoj izvora



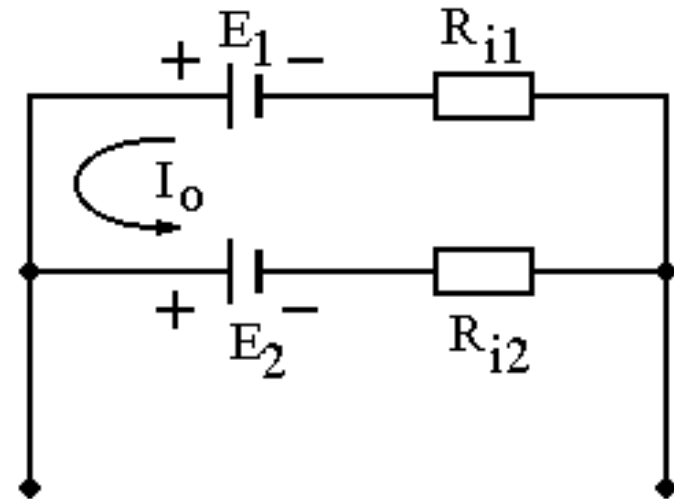
Paralelni spoj izvora koristi se kada je potrebna veća struja trošila od struje koju može dati samo jedan izvor.

Paralelni spoj realnih izvora



Paralelni spoj izvora

$$I = I_1 + I_2$$



Struja izjednačenja- nejednaki naponi !

$$I_0 = \frac{E_1 - E_2}{R_{i1} + R_{i2}}$$

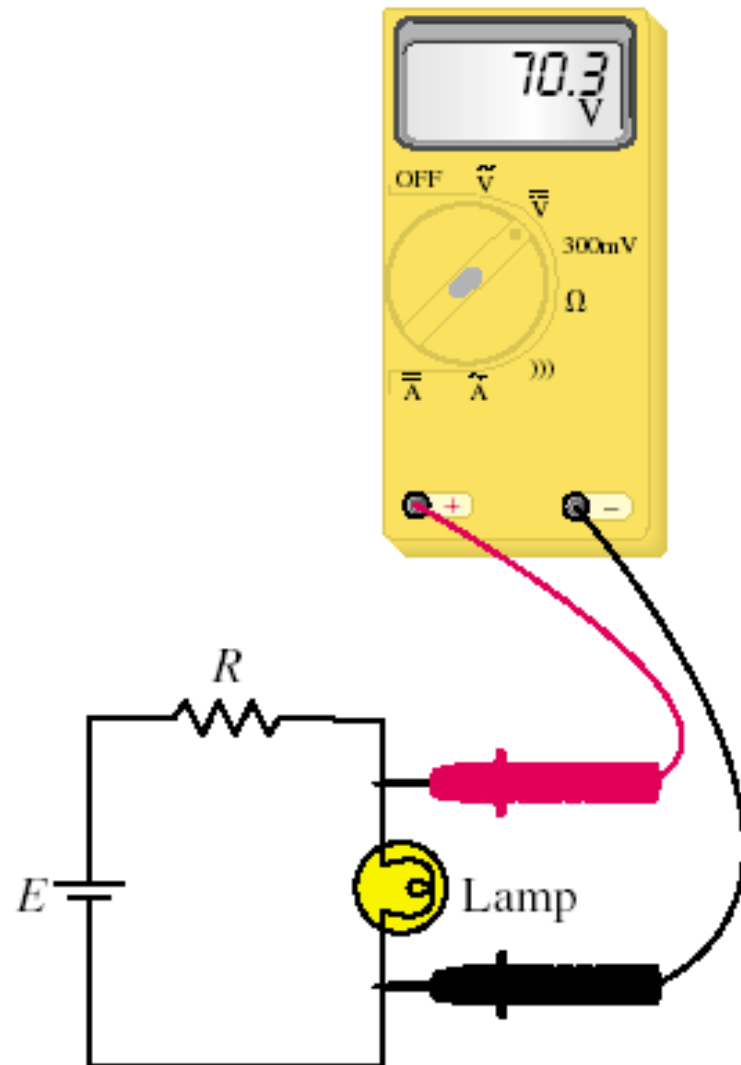
Kada R_{i1} i R_{i2} nisu jednaki, dolazi do protjecanja struje izjednačenja bez da se priključuje trošilo

MJERENJE JAKOSTI STRUJE

MJERENJE NAPONA STRUJE

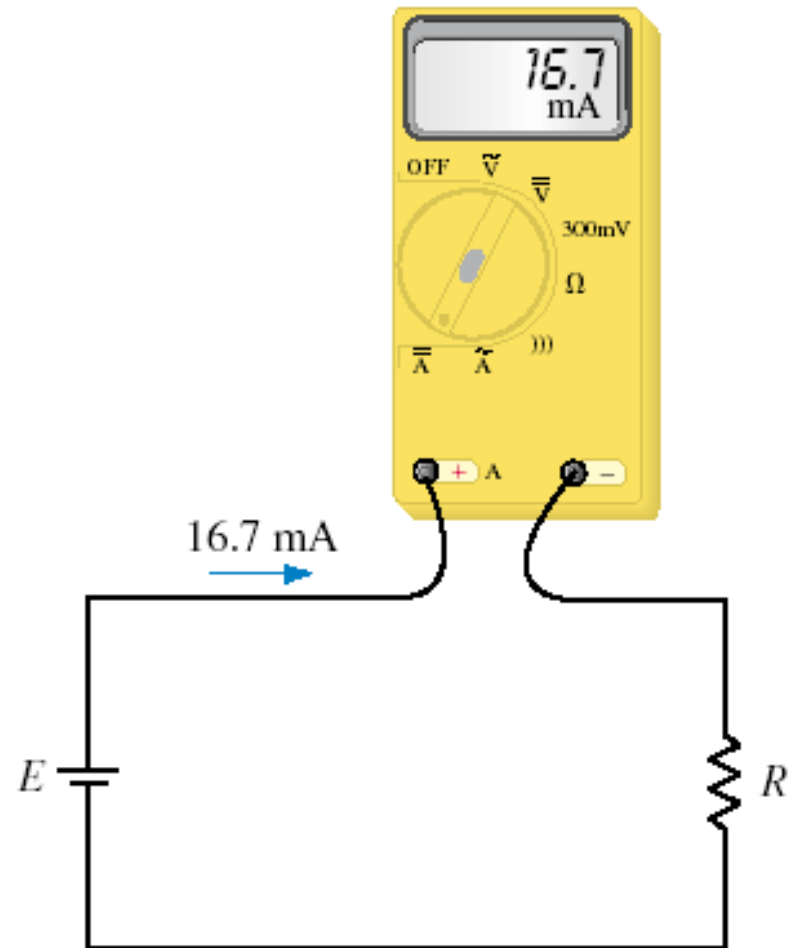
Mjerenje napona

- *Za mjerenje napona koristi se instrument voltmetar.*
- *Voltmetar se u strujni krug priključuje paralelno,*



Mjerenje jakosti

- Za mjerenje jakosti električne struje koristi se instrument ampermetar.
- Ampermetar se u strujni krug priključuje serijski,

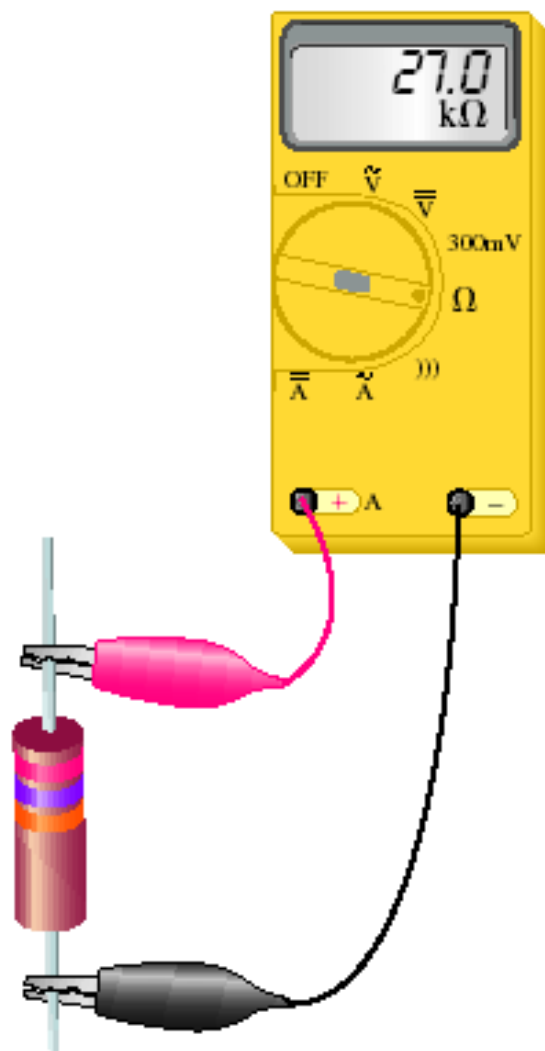


MJERENJE OTPORA

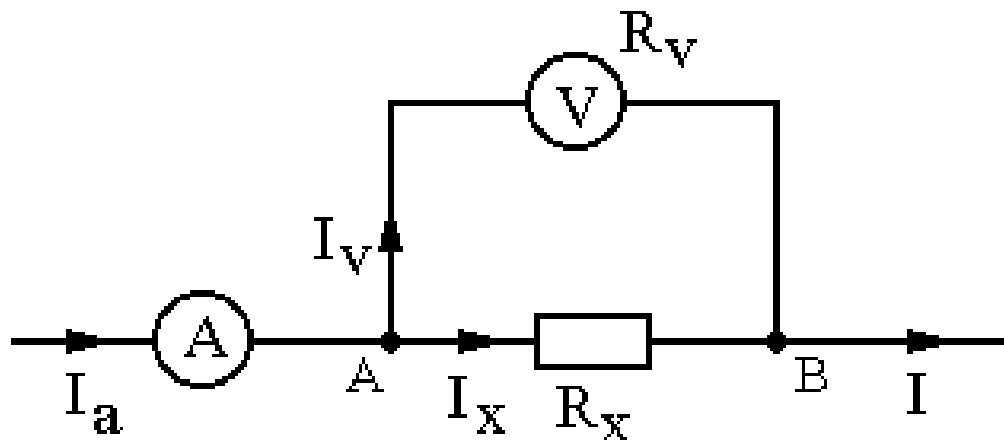
Mjerenje otpora

- Ommetrom (analognim ili digitalnim, univerzalnim instrumentom)
- U-I postupkom (mjeri se U i I, te računa
 $R = U/I$)
- Mosni postupci (Wheatstoneov most).

Mjerenje otpornika ohmometrom



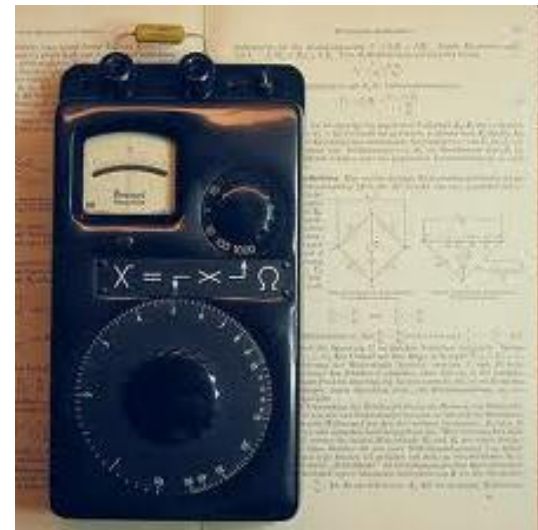
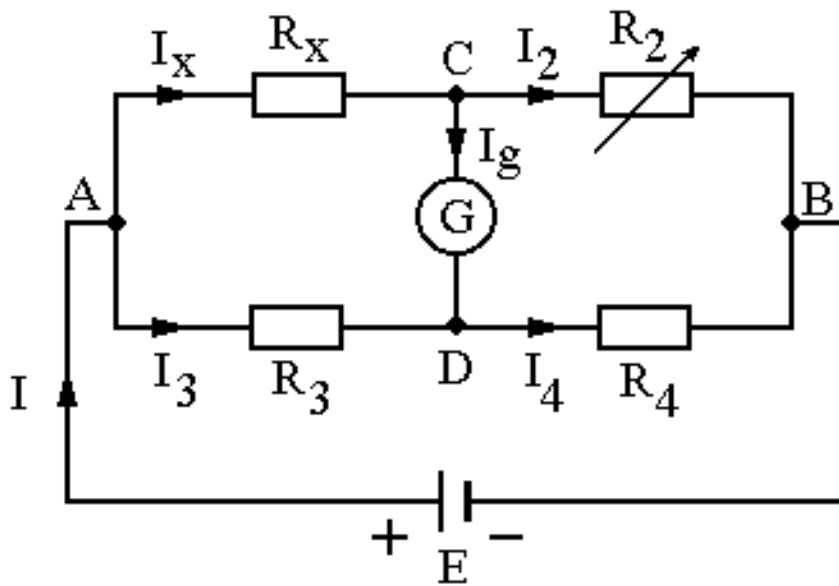
U-I postupak mjerenja otpora



- U-I postupak mjerenja otpora sastoji se od mjerenja jakosti električne struje kroz nepoznati otpornik, ampermetrom, i mjerenja pada napona na tom otporniku, voltmetrom.
- Tako očitani podaci uvrste se u jednadžbu Ohmova zakona.

Mosni postupak - Wheatstoneov most

- Wheatstoneov most koristi se za *mjerenje otpora, po iznosu, većih otpornika.*
- Most se dovodi u ravnotežu promjenom iznosa otpora R_2



$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}$$

SNAGA, RAD, ENERGIJA

Pretvorba električne energije

Energija se ne može ni iz čega stvoriti, a niti uništiti – zakon održanja energije.

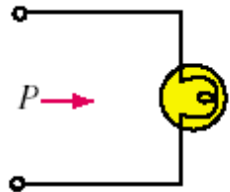
Prilikom pretvorbe energije iz jednog oblika u drugi vrijedi

$$W = W_k + W_g$$

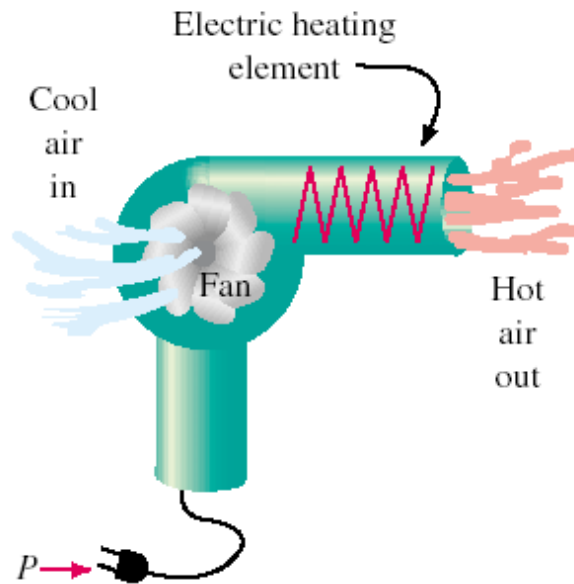
W_k - korisni (željeni) oblik energije,

W_g - gubitak energije.

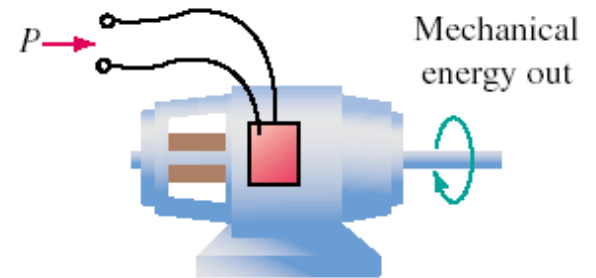
Primjeri pretvorbe električne energije



(a) A 100-W lamp produces more light energy per second than a 40-W lamp



(b) Hair dryer



(c) A 10-hp motor can do more work in a given time than a $\frac{1}{2}$ -hp motor

Električni rad i energija

- Kada je strujni krug priključen na napon U , u krugu poteče električna struja I . *Količina elektriciteta* $Q = I t$ koja sudjeluje u tom gibanju obavlja rad:

$$A = Q U = U I t \quad [\text{VAs} = \text{Ws} = \text{J}]$$

- Za električnu energiju, odnosno električni rad, u svakodnevnom životu često se koristi jedinica *kilovatsat*. Energija od 1 KWh odgovara radu koji je nužan da se teret mase 100 kg podigne na visinu 3670 metara. [$1 \text{ KWh} = 3,6 \text{ MJ}$]

Električna snaga

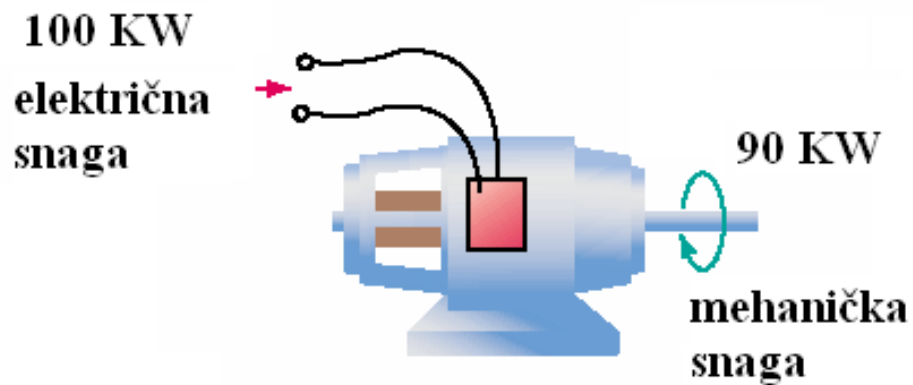
Električna snaga je brzina kojom se neka radnja može izvršiti, a određuje se radnjom koja se izvrši u jedinici vremena ($p = dA/dt$):

$$P = \frac{A}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad [W]$$

Nazivna ili nominalna snaga -najveći dopušteni iznos snage s kojim trošilo može u pogonu trajno raditi, a da se pri tome ne ošteti.

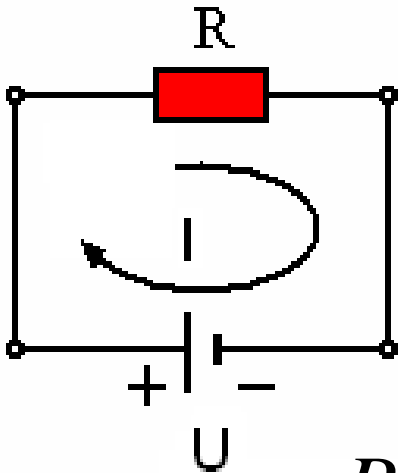
Stupanj korisnosti

$$\eta = \frac{W_k}{W_k + W_g} = \frac{P_k}{P_k + P_g} 100 [\%]$$



Stupanj korisnosti = 90 %

Zadatak: Odredi snagu na trošilu ako je $U=220\text{ V}$, $R=22\ \Omega$



$$I = \frac{U}{R} = \frac{220\text{V}}{22\Omega} = 10\text{A}$$

$$P = U \cdot I = 220\text{V} \cdot 10\text{A} = 2200\text{W} = 2,2\text{KW}$$

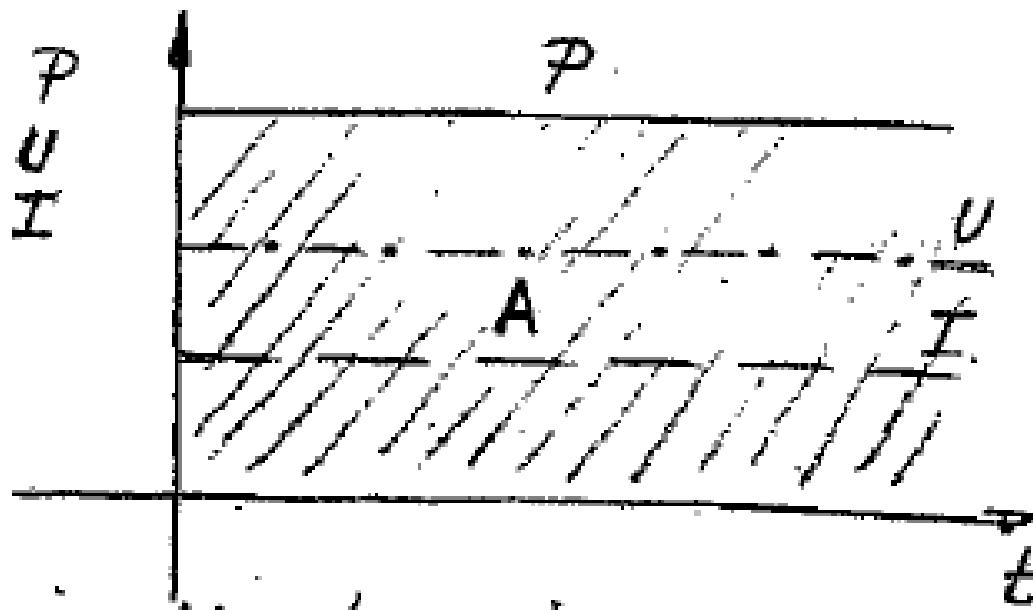
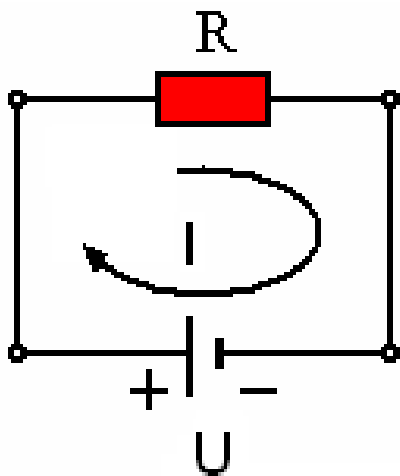
Kolika je energija potrošena na trošilu za 2h ??

$$A = U \cdot I \cdot t = 220\text{V} \cdot 10\text{A} \cdot 2\text{h} = 4,2\text{KWh}$$

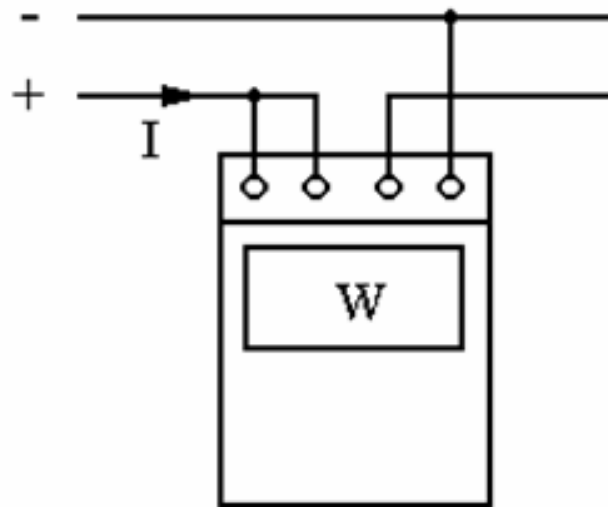
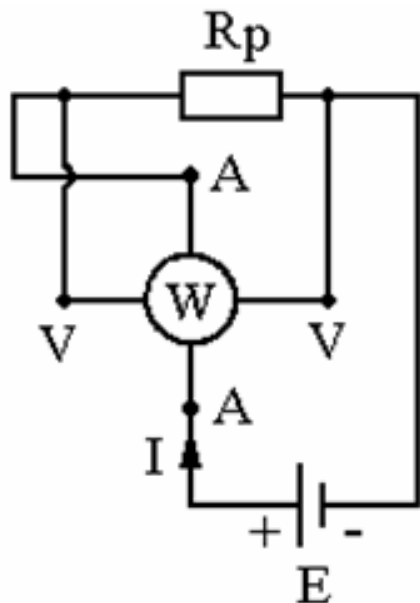
Kolika je cijena potrošene energije ako je $1\text{KWh}=0,2\text{ Kn}$??

$$4,2\text{KWh} \cdot 0,2\text{Kn} = 0,84\text{Kn}$$

Grafički prikaz napona, struje, snage i rada za slučaj istosmjerne struje



Mjerenje snage i rada električne struje



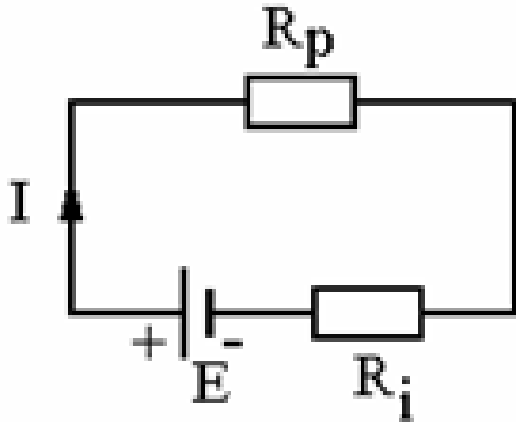
- Snaga se može mjeriti: izravno vatmetrom ili neizravno mjerenjem struje i napona.

$$P=UI \text{ [W]}$$

- Za mjerenje električnog rada utroška električne energije, odnosno njegovog, koriste se brojila.

$$W = U I t \text{ [Ws = J]}$$

Prilagodba trošila izvoru



Snaga koja se razvija na trošilu je:

$$P_p = I^2 R_p \quad I = \frac{E}{R_i + R_p}$$

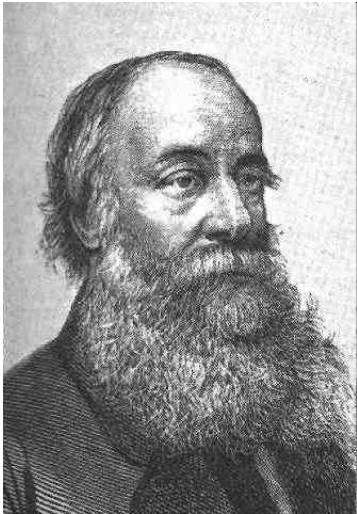
$$P_p = \frac{E^2}{(R_i + R_p)^2} R_p$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial R_p} = 0$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial R_p} = \frac{E^2 (R_i + R_p)^2 - E^2 R_p 2(R_i + R_p)}{(R_i + R_p)^4} = 0 \quad \blacktriangleright \quad R_i = R_p$$

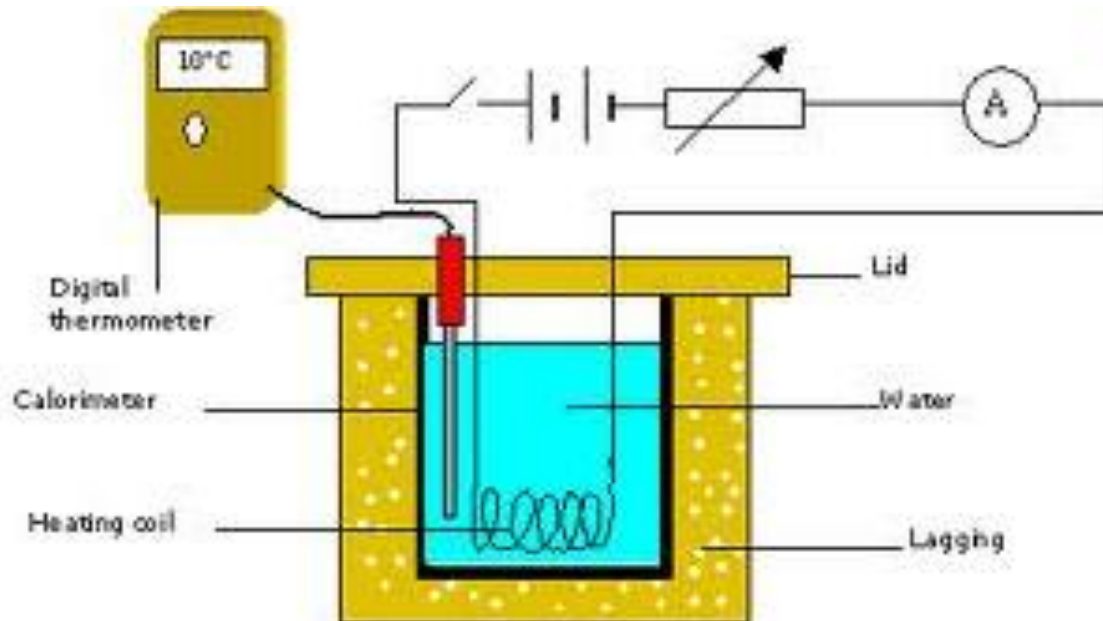
Najveća snaga na trošilu se postiže kada je otpor trošila jednak unutarnjem otporu izvora. Važno za *telekomunikacijske uređaje*, stupanj iskorištenosti samo 50% - ne vrijedi za energetske uređaje

JOULOV ZAKON I NJEHOVA PRIMJENA



Jouleov zakon

$$Q = I^2 R t \text{ [J]}$$



Jouleov zakon

Nositelji električne struje, npr. slobodni elektroni u metalnim vodičima, sudaraju se s česticama materijala vodiča, te pri tome gube dio svoje kinetičke energije.

Jedan dio te energije isijava se kao toplina. Iznos topline koja se stvara zbog sudaranja izravno je ovisan o jakosti električne struje, otporu vodiča i vremenu u kojem električna struja prolazi tim vodičem.

Razvijena količina topline određuje se izrazom:

$$Q = I^2 R t \text{ [J]}$$

Primjena: Električni grijači pretvaraju električnu energiju u toplinsku primjenom joulova zakona (bojleri, pećice, sijalice sa žarnom niti..)

ELEKTROSTATIKA

Električno polje

- Tijela mogu biti električni neutralna, pozitivno ili negativno nabijena. Tijela se mogu nabiti naprimjer trenjem.
- *Prostor* u kojem se osjeća djelovanje nabijenih tijela naziva se električnim poljem.
- Električno polje iskazuje se *mehaničkom silom na naboj* koji je unešen u to polje.

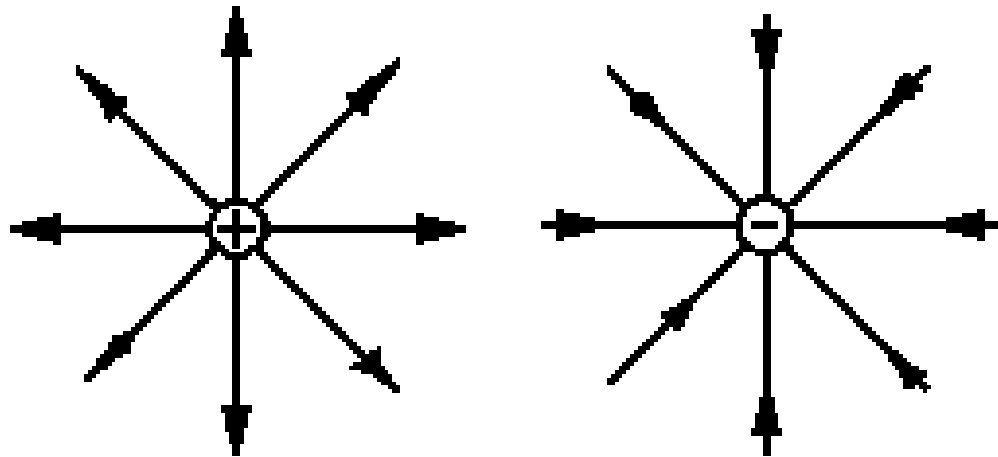
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} \left[\frac{V}{m} \right]$$

Električno polje

- Električno polje usamljenog točkastog naboja je radijalno – silnice grafički prikazuju polje.
- Jakosti električnog polja E usamljenog točkastog naboja:

$$|\vec{E}| = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

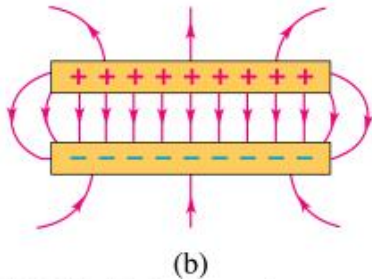
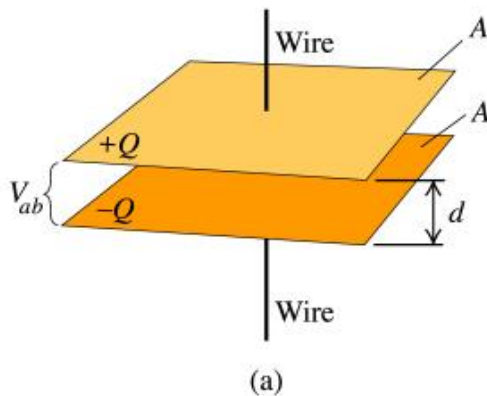
$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right]$$



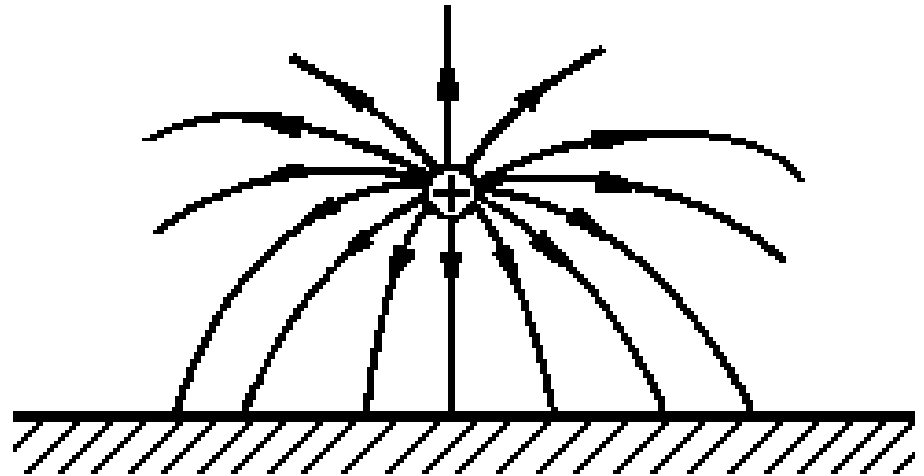
ϵ_0 *apsolutna dielektrička konstanta vakuuma (permitivnost)*
- označava sposobnost medija za “provodenje” silnica el. polja 117

Električno polje

- Električno polje je homogeno ako ima u svakoj točki jednaku jakost, pravac i smjer. U suprotnom je nehomogeno.



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.



Nehomogeno električno polje između vodiča i Zemlje

Homogeno električno polje između dvije metalne ploče

Columbov zakon

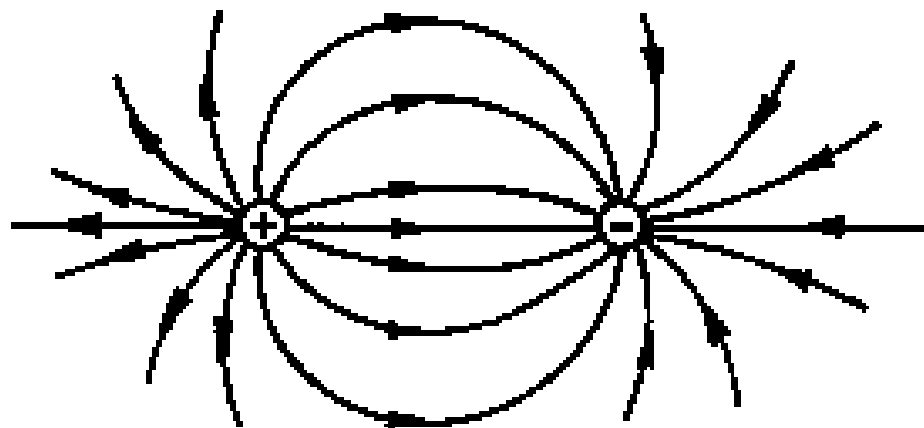
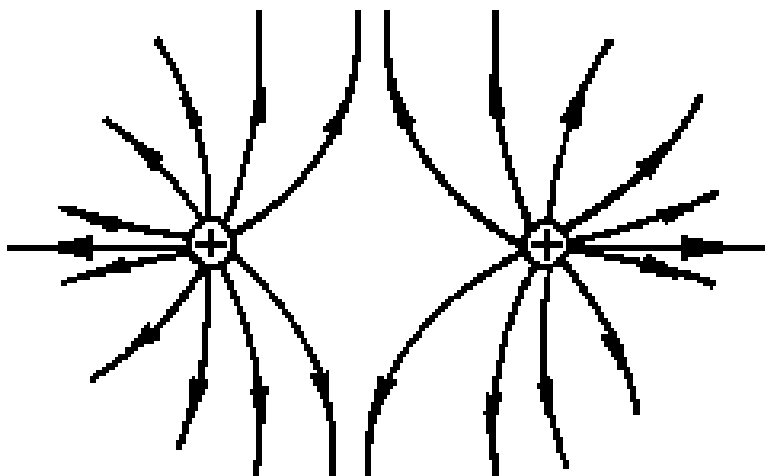
Raznoimeni električni naboji privlače, a istoimeni odbijaju.

Ako se radi o točkastim nabojima sile među nabojima mogu se izraziti Coulombovim zakonom:

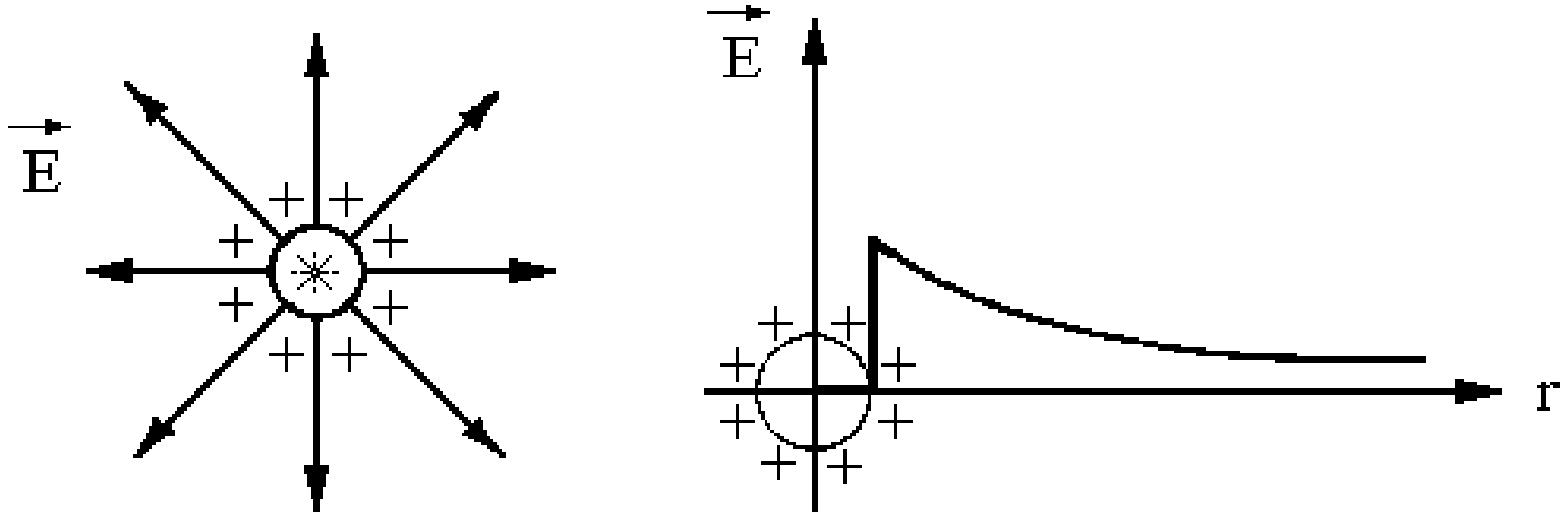
$$|\vec{F}| = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} [N]$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

ϵ_r relativna dielektrička konstanta



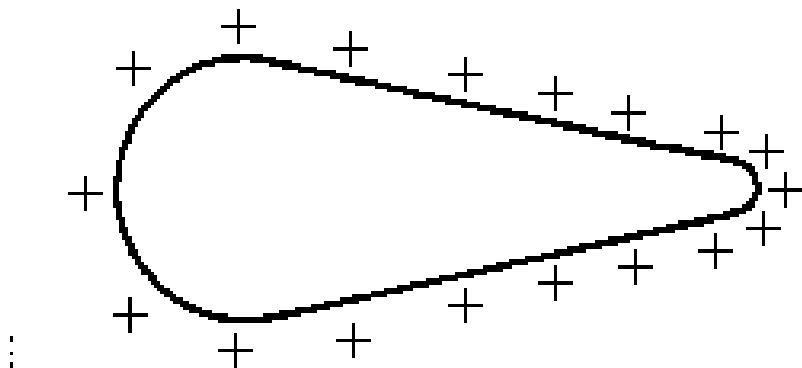
Raspodjela naboja na okruglom vodiču



Električni se naboj *raspoređuje po površini vodiča.*

Električno polje *unutar šuplje metalne kugle jednako nuli, a da je naboj na kugli jednoliko raspoređen.* Ako je kugla izrađena od *nevodiča* i cijela nabijena pozitivnim nabojem, *polje unutar nje bilo bi linearno* (pravac od središta do $r = R$), *a izvan nje kao na slici.*

Raspodjela naboja vodiču nepravilna oblika

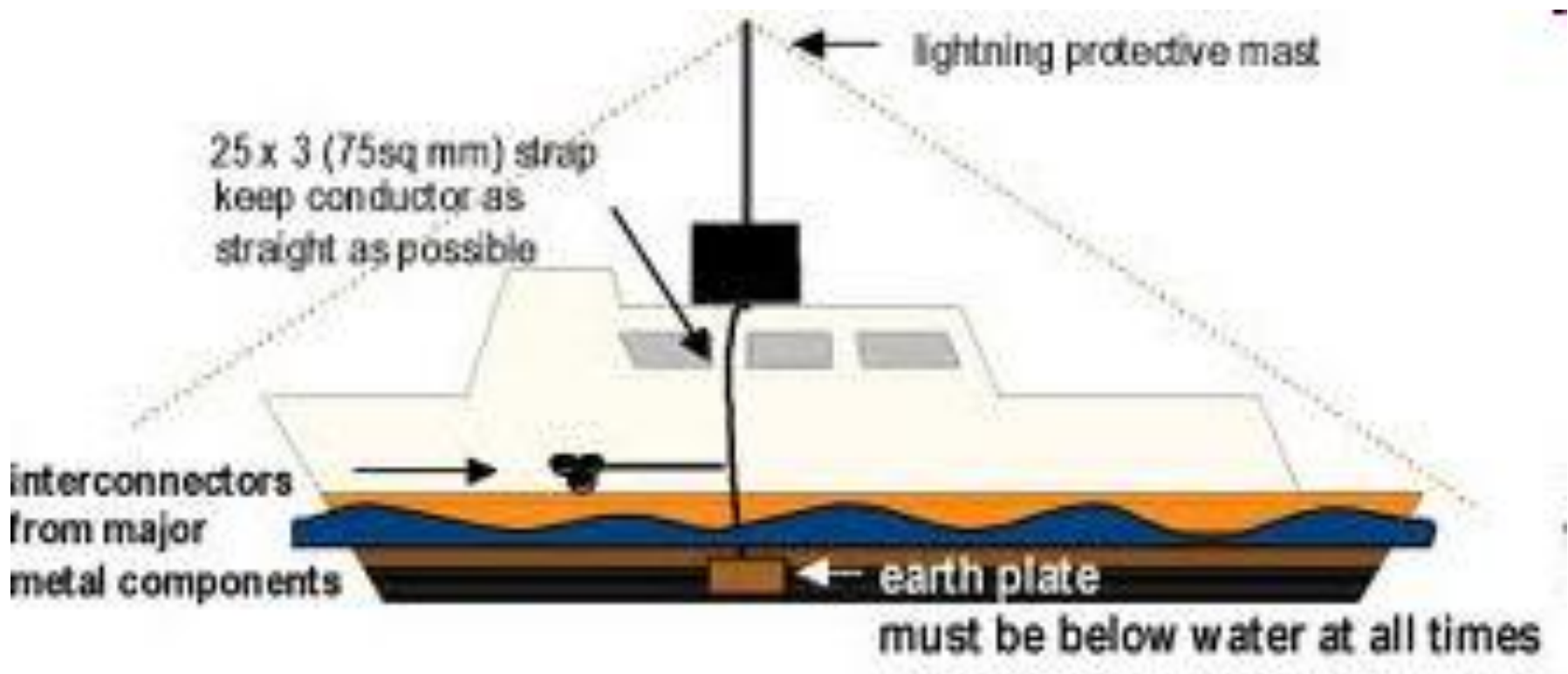


Slična je situacija i na vodičima *nepravilna oblika*: veća im je gustoća naboja na onim dijelovima koji imaju manji polumjer zakrivljenosti.

Jako polje na vrhu šiljka ionizira zrak oko šiljka i stvara se električna i zračna struju – (*električni vjetar*) – EFEKT ŠILJKA

To je uočio Benjamin Franklin, za izradbu *uzemljenog gromobrana* – *šiljak privlači grom – kišobran !!!*

Gromobran na brodu

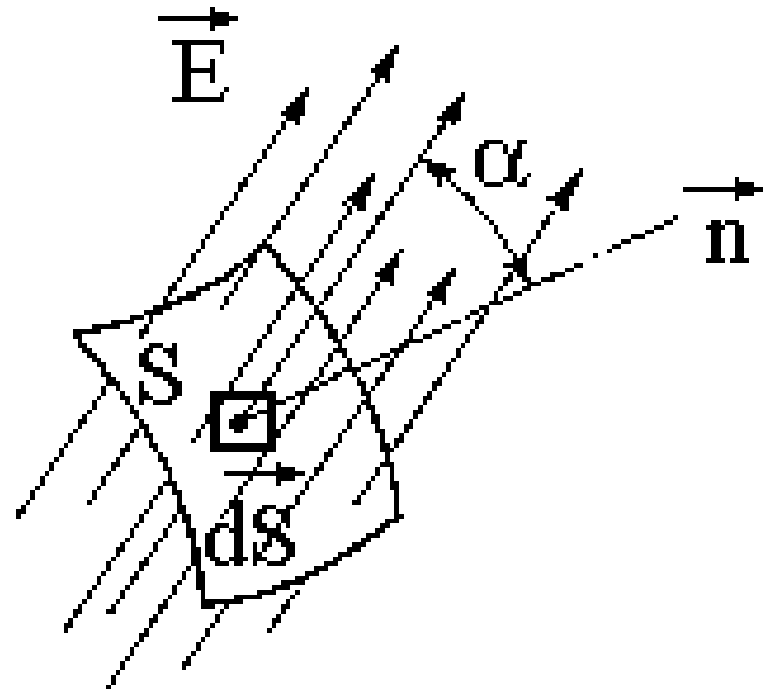


Tok električnog polja

Skup silnica kroz promatranu površinu predstavlja tok električnog polja.

Tok električnog polja određen je izrazom:

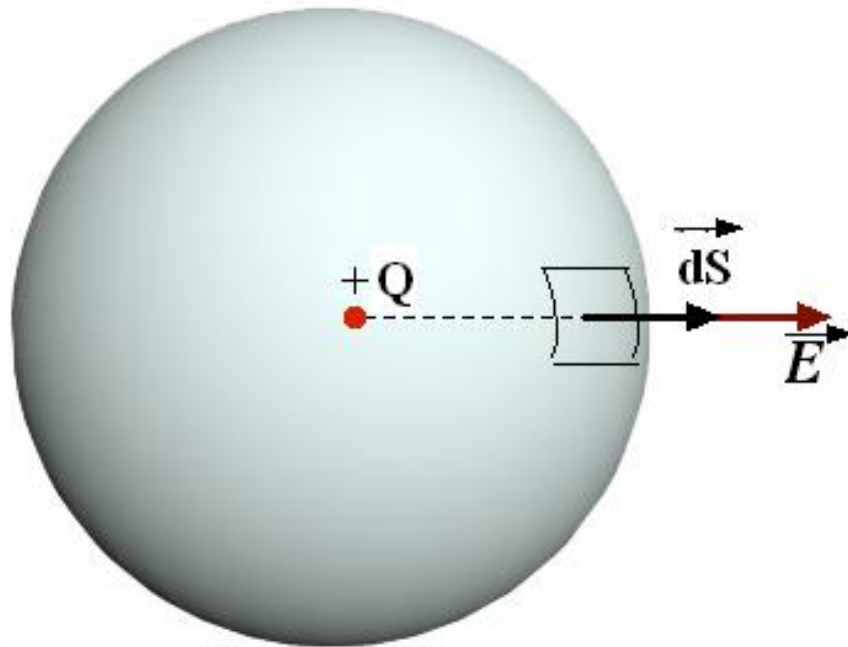
$$\psi_E = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$



Gaussov zakon

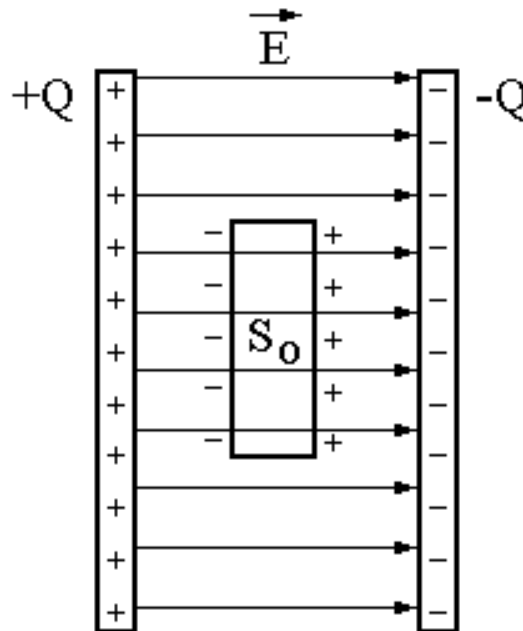
Ako se u električno polje postavi zatvorena površina bilo kakvog oblika, Gaussov zakon kaže da je ukupan tok kroz zatvorenu površinu, u smjeru od te površine, jednak umnošku $1/\epsilon_0$ i algebarskog zbroja naboja unutar te površine.

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$



Električna influencija

- Električna influencija je pojava *razdvajanja raznoimenih naboja* na vodljivom tijelu u električnom polju *bez izravnog fizičkog dodira* s nekim nabijenim tijelom.
- Slobodni elektroni koji se nalaze u nenabijenom vodljivom tijelu *premjestit će se na onu stranu tog tijela koja je bliža pozitivno nabijenom vodiču*, a s druge strane tog tijela *prevladat će pozitivni naboj atomskih jezgri*.



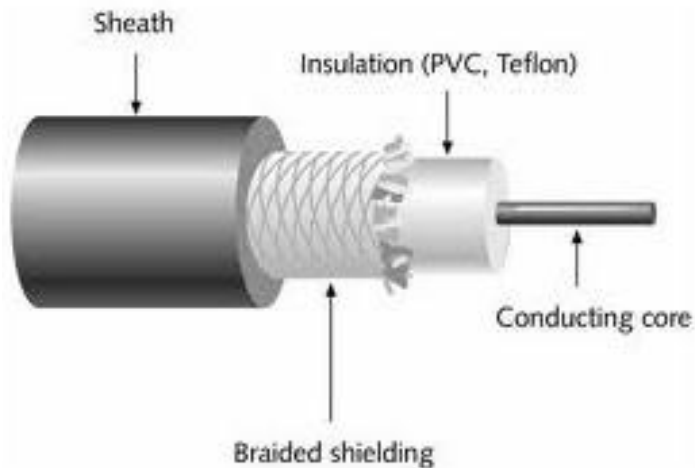
Električna influencija

- Kao mjera influencijskog djelovanja služi veličina koja se naziva vektorom električnog pomaka ili električnom indukcijom.

$$\vec{D} = \frac{Q}{S} \left[\frac{C}{m^2} \right]$$

- U unutrašnjosti nabijenih tijela nema električnog polja.

- Ako se u **unutarnjost jednog vodiča postavi drugi nenabijeni vodič**, a zatim vanjski vodič nabije, vanjski vodič ne može nikako djelovati na unutarnji vodič.
- Vanjski vodič tako štiti unutarnjega od raznih stranih električnih polja.



Faradejev kavez



Ako se tijelo nalazi unutar zatvorenog metalnog kaveza-
Nema opasnosti od groma – auto, brod

Vodiči, izolatori, dielektrici

Vodiči, izolatori, dielektrici

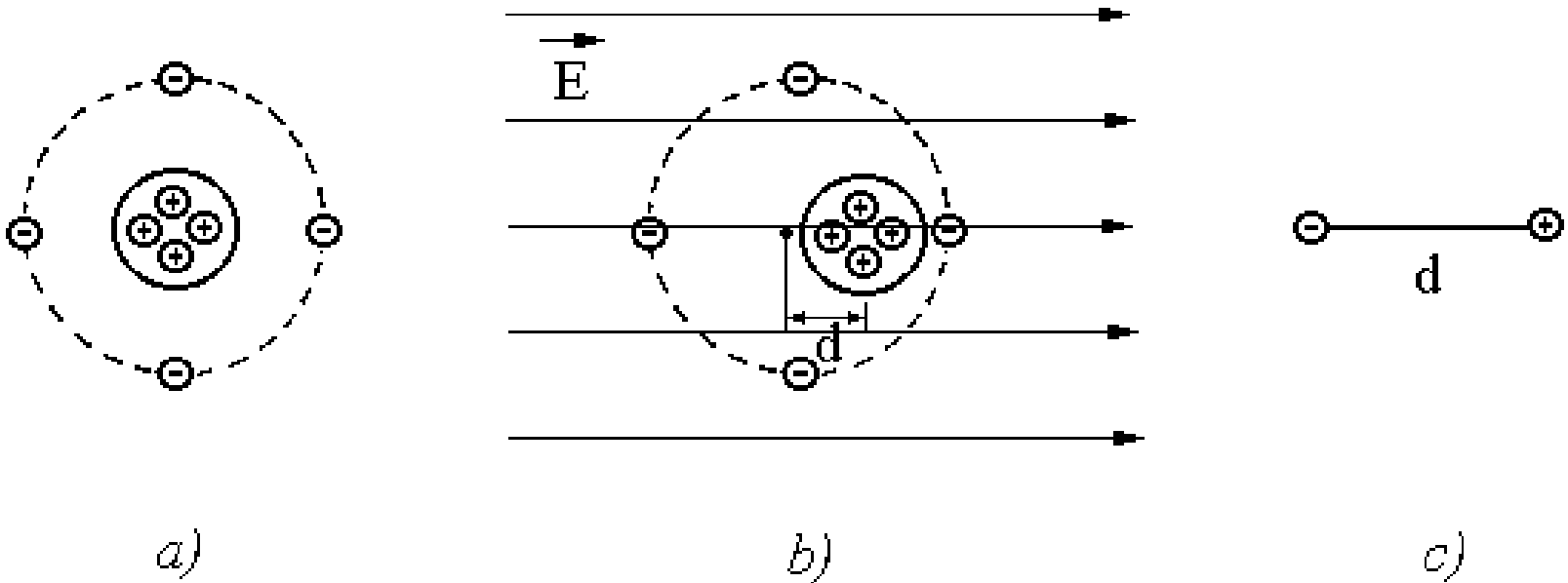
- Vodiče karakterizira prisutnost slobodnih nositelja naboja koji se pod djelovanjem vanjskog električnog polja mogu gibati u vodiču.
- Izolatori ili dielektrici su oni materijali kod kojih se naboji ne mogu premještati s jednog mjesta na drugo, jer slobodnih nositelja električnog naboja gotovo nemaju.
- Elementarni električni naboji od kojih je sastavljen izolator pod djelovanjem vanjskog električnog polja mogu se pomaknuti samo na mikroskopski male udaljenosti (ne mogu napustiti svoje atome ili molekule) osim kod izuzetno jakih električnih polja kad dolazi do uništenja (proboja) izolatora.

Vrste izolatora

Dva su tipa izolatora:

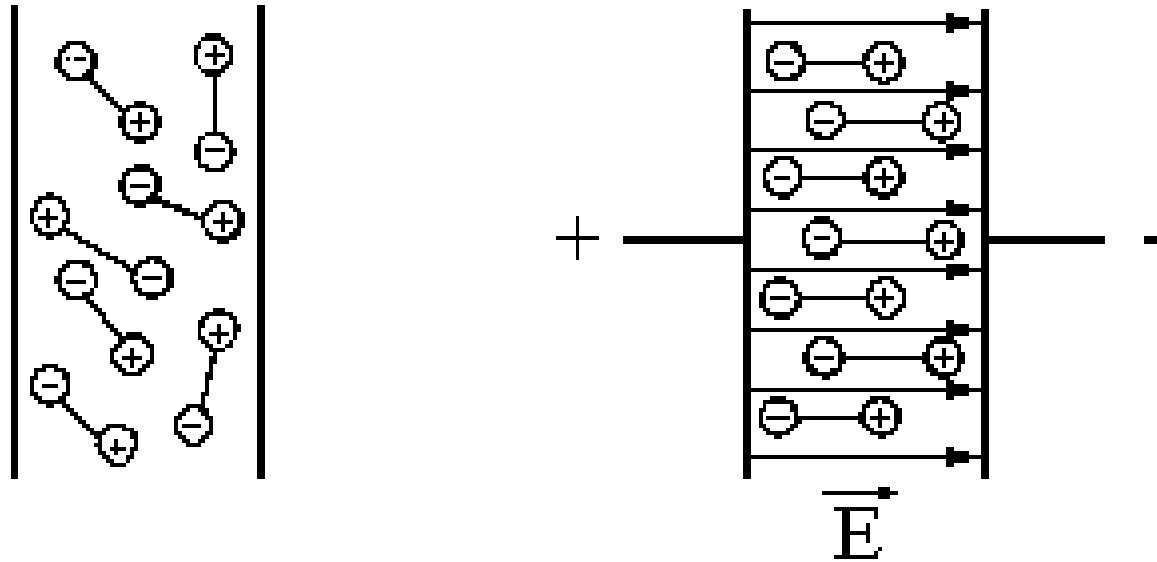
- **nepolarni** - *koji su neutralni u nepobuđenom stanju, (Ako se takav atom postavi u vanjsko električno polje, doći će do djelovanja elektrostatičkih sila i do njegove deformacije. Jezgra i elektronski omotač dobit će novi ravnotežni položaj. Nastaje el. dipol),*
- **polarni** - *koji zbog svoje građe već imaju električni dipolni moment bez djelovanja vanjskog polja*

Nepolarni atom u električnom polju



Nepolarni atom izvan (a) i u električnom polju (b,c)

Polarne molekule u električnom polju



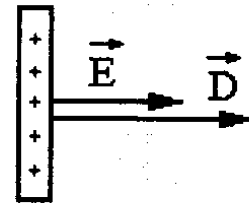
Polarne molekule bez djelovanja električnog polja i pod njegovim djelovanjem – polarizacija dielektrika

• Dielektrik je u električnom polju izložen djelovanju sila električnog polja, zbog čega dolazi do polarizacije dielektrika. Polarizacija je to više izražena što je jače električno polje.

Polarizacija dielektrika

- Djelovanjem vanjskog električnog polja dipoli se orijentiraju u smjeru električnog polja.

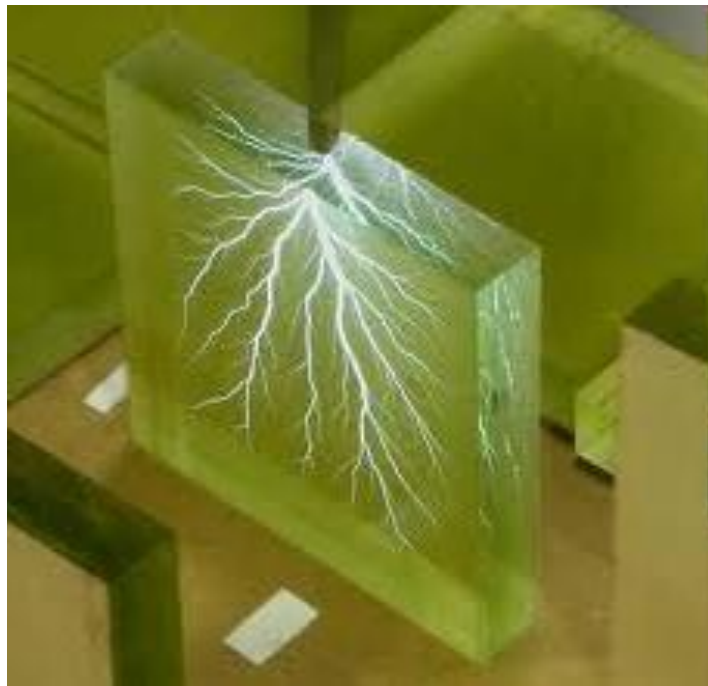
$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}$$



- Kratkotrajno pomicanje naboja u izolatoru čini struju dielektričnog pomaka.

Dielektrična čvrstoća

- Kad vanjska sila električnog polja postane jača od unutarnjih sila koje povezuju atomske jezgre i elektrone u elektronskim omotačima, dolazi do *ionizacije*, tj. takva jača vanjska sila *otrgne neke elektrone iz elektronskog omotača*, te atomi tada postaju *pozitivni ioni*.



•Ti elektroni i pozitivni ioni kreću se pod djelovanjem električnog polja u dva suprotna smjera: elektroni suprotno smjeru električnog polja, a + ioni u suprotnom.

•Na taj način *izolator gubi svoja izolacijska svojstva*. Pojava se naziva probojem dielektrika (izolatora).

Napon pri kojemu nastupi proboj naziva se probojni napon, a jakost električnog polja u trenutku proboja dielektrika je dielektrična čvrstoća.

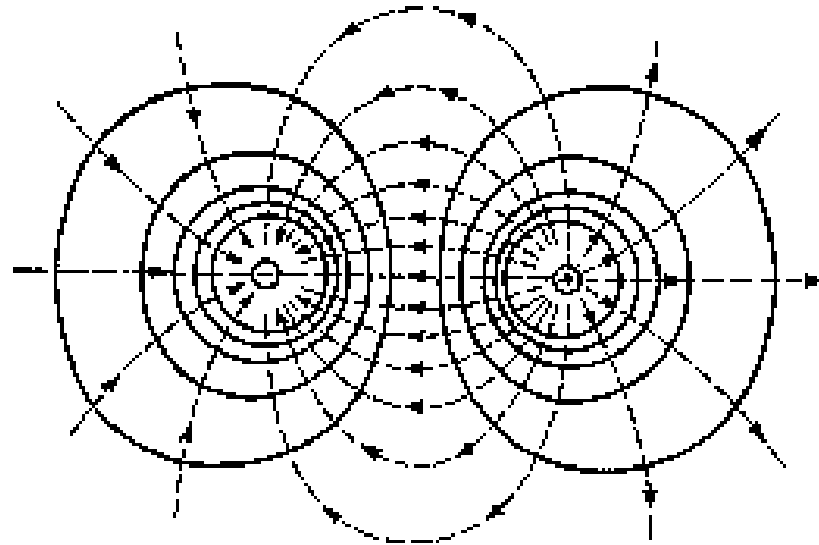
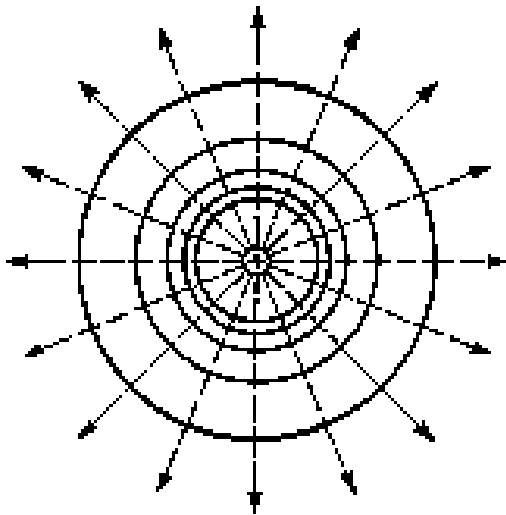
Dielektrična čvrstoća

Tablica 5.2: Dielektrična čvrstoća nekih materijala

Dielektrik	E_{δ} [kV/mm]	Dielektrik	E_{δ} [kV/mm]
drvo impregnirano uljem	2,5 - 14	najlon	15 - 25
izolacijski lak	40 - 120	papir u ulju	50 - 60
meka guma	16 - 50	polistirol	50 - 70
mramor	20 - 50	polivinilklorid	50 - 75
porculan	25 - 38	prešpan	8 - 11
staklo	10 - 50	transformatorsko ulje	8 - 20
tinjac	25 - 200	zrak	2,1 - 3

ELEKTRIČNI POTENCIJAL I NAPON

Električno polje usamljenog naboja i raznoimenih naboja



**Električno polje djeluje na sve naboje koji se nalaze u doseg
električnog polja.**

**U svakoj točki električnog polja postoji određena
potencijalna energija.**

Rad pomicanja naboja u električnom polju

Djelovanje električnog polja se iskazuje tako da električno polje nastoji pomaknuti električne naboje koji se nađu u njemu određenom silom F .

$$dW = \vec{F}d\vec{s}$$

uslijed djelovanja polja E , na naboj Q djeluje sila F i pomiče ga za put s (od točke A do točke B).

$$dW = Q\vec{E}d\vec{s}$$

$$W = Q \cdot \int_{\text{točka}_A}^{\text{točka}_B} \vec{E}d\vec{s}$$

Ukupan mehanički rad W pomicanja naboja iz točke A u točku B polja

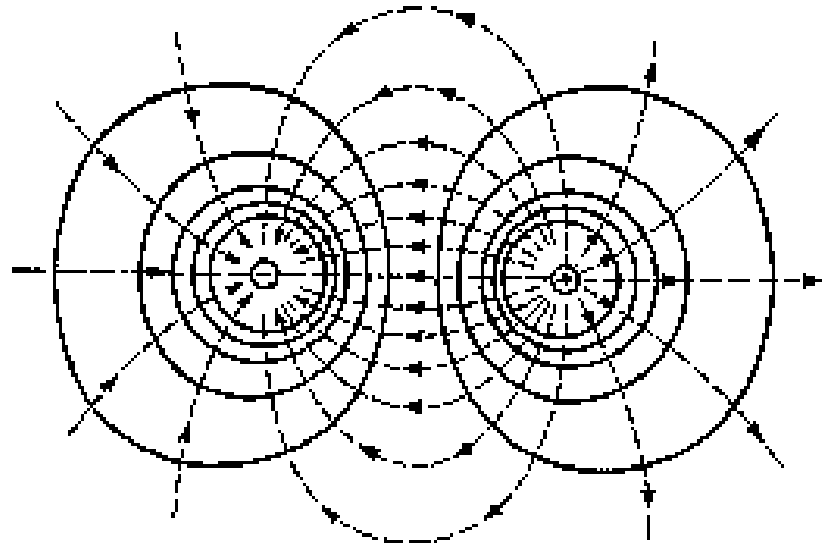
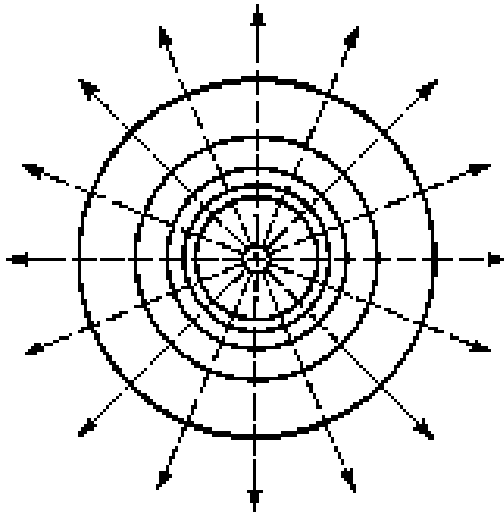
Električni potencijal

Potencijal točke A prema referentnoj točki

$$\varphi = \int_{\text{referentna_točka}}^{\text{točka_A}} \vec{E} d\vec{s} \qquad \varphi = \frac{W}{Q} [V]$$

Električni potencijal je radnja W koju bi valjalo izvršiti da se jedinični pozitivni naboj Q prenese iz neke točke izvan polja (referentna točka daleko od naboja) u neku točku električnog polja (točka A) čije su silnice usmjerene prema naboju Q .

Ekvipotencijalne plohe



Ekvipotencijalne plohe (pune crte) i **silnice** električnog polja (isprekidane crte) usamljenog pozitivnog točkastog naboja i raznoimenih točkastih naboja

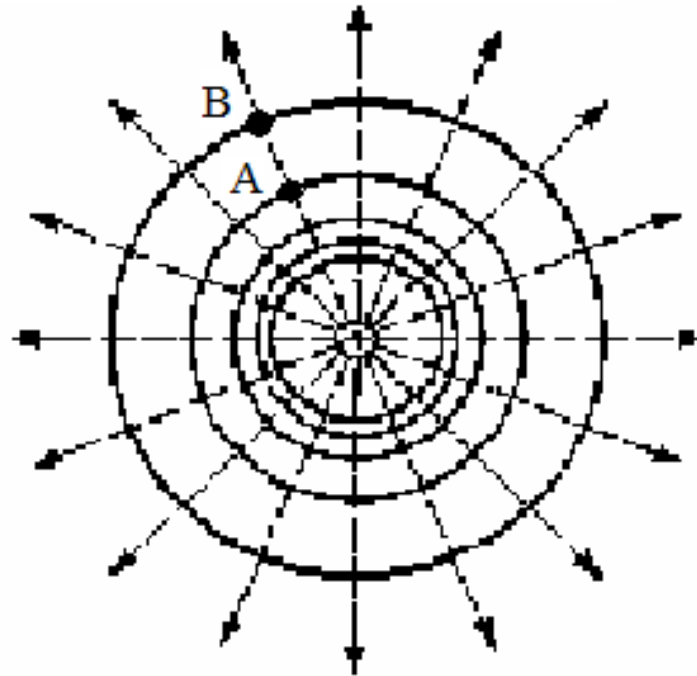
Veza potencijala i električnog polja između ekvipotencijalnih ploha udaljene za razmak n :

$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{dn}$$

Električni napon kao razlika potencijala

Električni napon predstavlja razliku potencijala između dvije točke

$$U = \varphi_2 - \varphi_1 = \int_A^B \vec{E} d\vec{s}$$



ELEKTRIČNI KAPACITET I KONDENZATORI

Električni kapacitet i kondenzatori

- Električni kapacitet je sposobnost vodiča da na sebe primi stanovitu količinu elektriciteta
- To svojstvo imaju bilo koja dva vodiča međusobno odvojena dielektrikom.

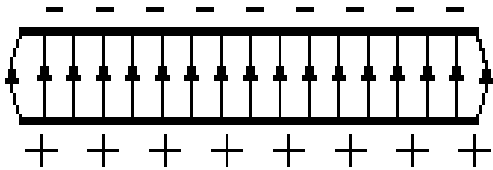
$$C = \frac{Q}{U} \left[\frac{C}{V} = \frac{As}{V} = F \right]$$

Kondenzatori

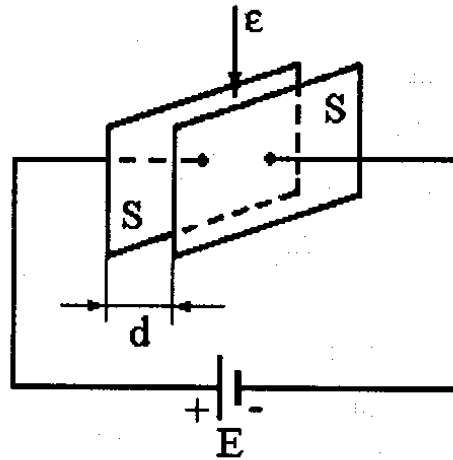
su naprave koje imaju *sposobnost pohrane električne energije*



Pločasti kondenzator



$$\vec{E} = \frac{U}{d} \left[\frac{V}{m} \right]$$



$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

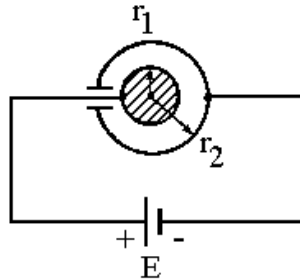
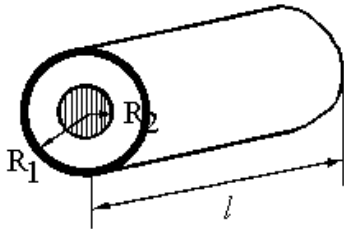
Vodiči kondenzatora nazivaju se elektrodama (oblogama).

Elektrode kondenzatora *na različitim potencijalima, između njih postoji električno polje.*

Prirodni kondenzatori su bilo koja dva vodljiva tijela ili dijela nekog elektrouređaja odvojena izolatorom, npr. zrakom, zatim kombinacija zemlja - vodič

Kondenzatori

- Prema tehnologiji izradbe kondenzatori se mogu podijeliti na više skupina: film/folija, metalizirani film, keramički, elektrolitski i tantal.



valjkasti

$$C = \varepsilon \frac{2\pi l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

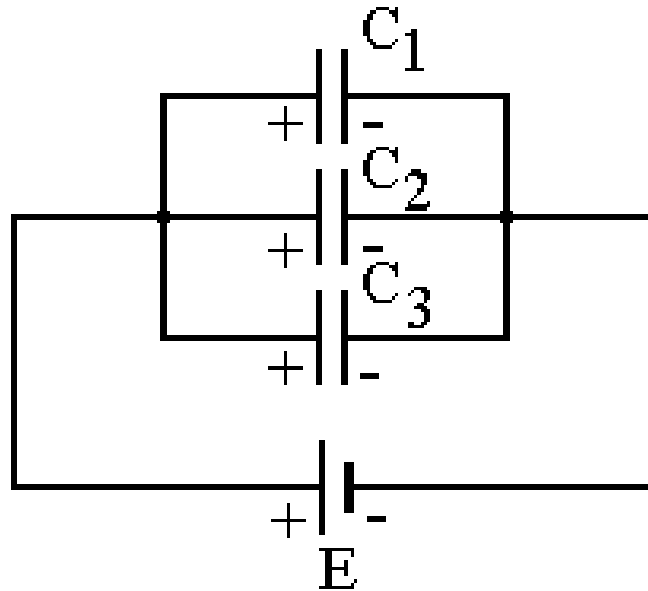
kuglasti

$$C = 4\pi\varepsilon \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}$$

Kondenzatori kojima možemo mjenjati kapacitet nazivaju se *promjenjivi kondenzatori (oznaka)*

SPOJEVI KONDENZATORA

Paralelni spoj kondenzatora

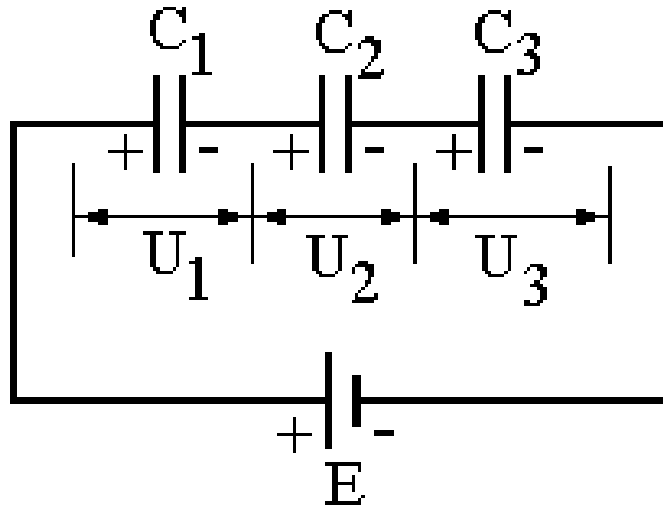


$$C = \frac{Q}{E} [F]$$

$$Q = EC_1 + EC_2 + EC_3$$

$$C_{uk} = \sum_{i=1}^n C_i$$

Serijski spoj kondenzatora

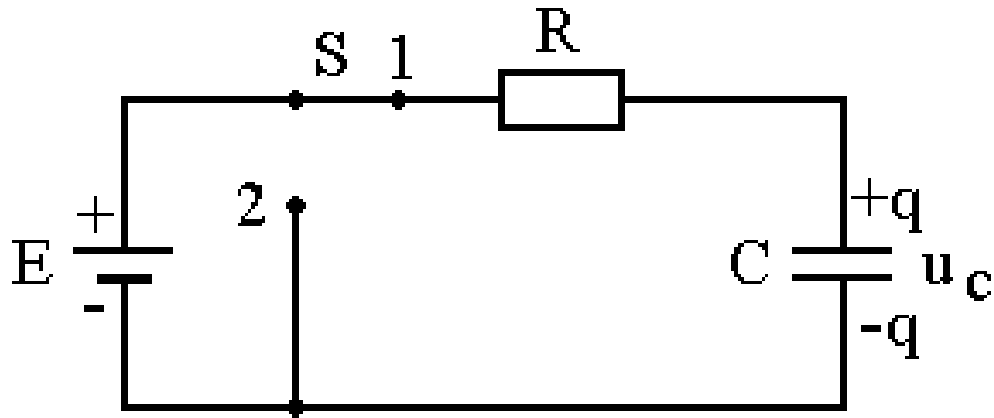


$$\frac{Q}{C_{uk}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_{uk}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

KONDENZATOR U KRUGU ISTOSMJERNE STRUJE

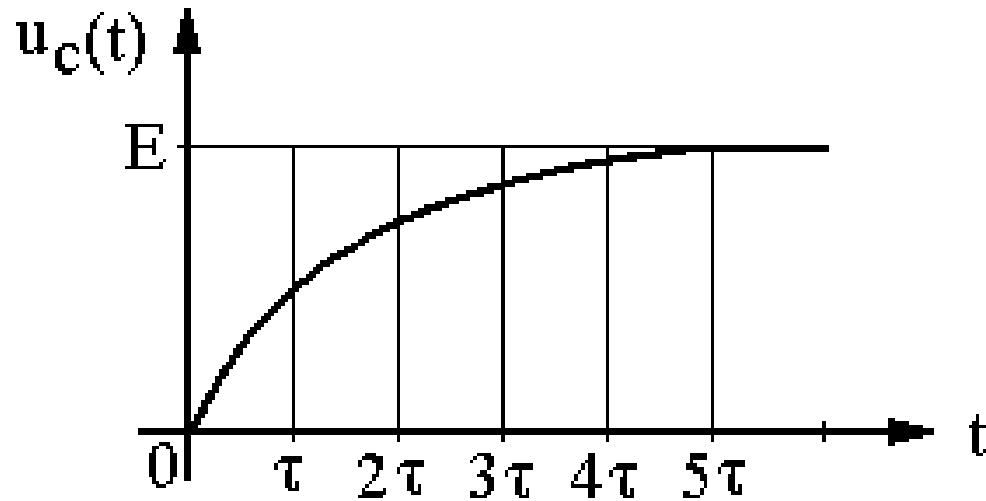
Punjenje kondenzatora



$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt}$$

$$E = RC \frac{du_c}{dt} + u_c$$

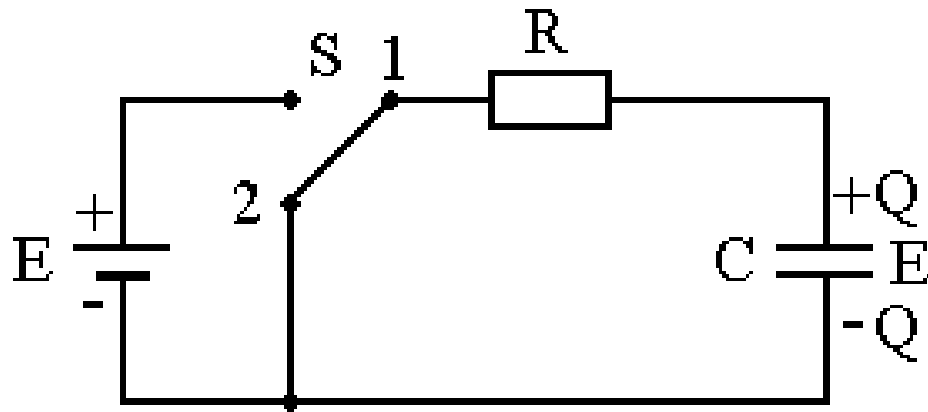
$$q = Q(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$



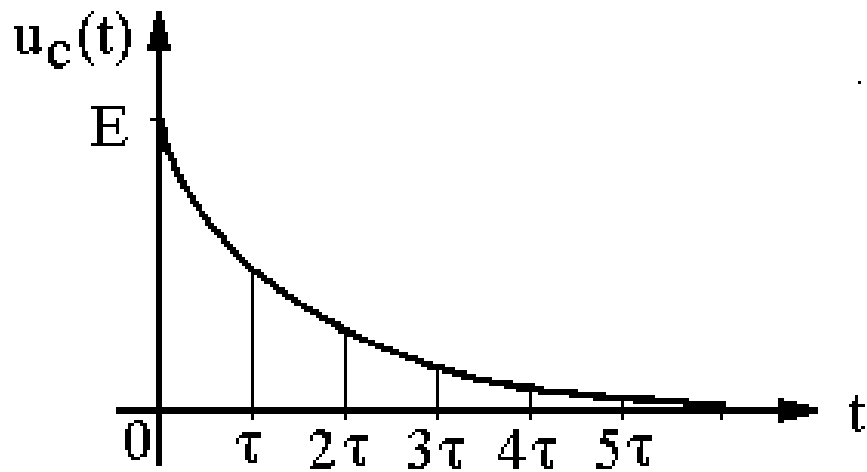
$$u_c = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$\tau = RC$$

Pražnjenje kondenzatora



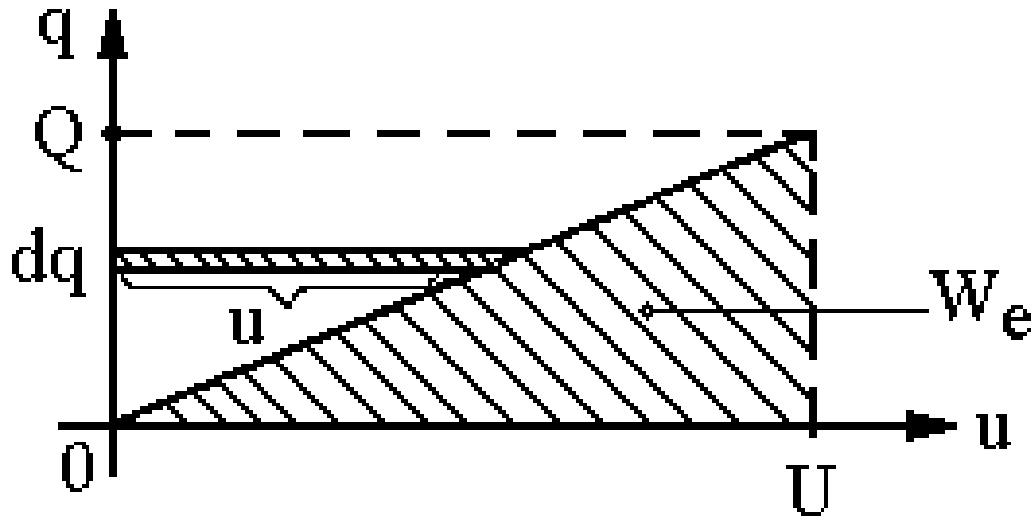
$$q = Qe^{-\frac{t}{\tau}}$$



$$u_c = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = RC$$

Elektrostatika energija kondenzatora



$$W_e = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}U^2C$$

**STATIČKI, ATMOSFERSKI
ELEKTRICITET , PROLAZ
ELEKTRIČNE STRUJE
KROZ PLINOVE**

Statički elektricitet

- Ako se tijelu *poremeti električna ravnoteža* ono se postaje *naelektrizirano* odnosno **nabijeno** statičkim elektricitetom.
- U prirodi do nabijanja tijela statičkim elektricitetom može doći:
 1. *trljanjem dviju različitih tvari,*
 2. *električnom influencijom,*
 3. *priključenjem izoliranih ploča na polove istosmjernog izvora.*

Statički elektricitet

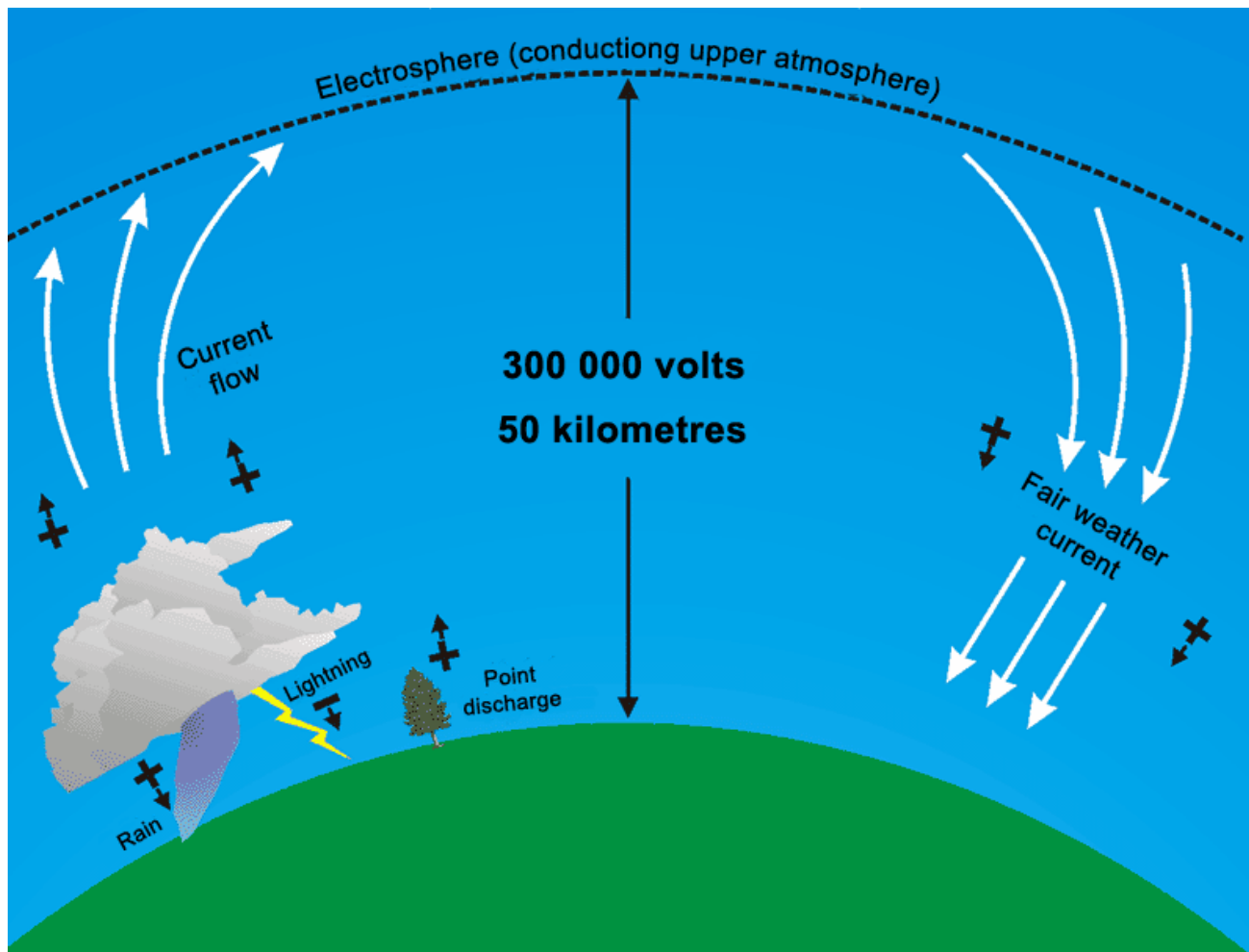
- Na brodovima su *opasne pojave statičkog elektriciteta do kojeg može doći strujanjem nevodljivih, zapaljivih tekućina.*
- S tekućinom pri tom strujanju odlaze električni naboji jednog predznaka, dok se električni naboji suprotnog predznaka skupljaju po stijenkama tankova, po cijevima, itd.
- Vrlo je opasno što se i *prah nekih materijala može nabiti statičkim elektricitetom* - te može izazvati požar.
- Na čovjeku se može stvoriti statički elektricitet češljanjem, nošenjem odjeće od sintetičkih materijala i vune, hodanjem u cipelama izrađenim od gume po plastičnom podu, itd.

Atmosferski elektricitet

- Električki nabijene čestice nastaju u atmosferi djelovanjem kozmičkih zraka, zračenja Sunca i djelovanjem radioaktivnih elemenata iz Zemljine kore i atmosfere.
- U svim slojevima atmosfere postoji višak pozitivnih iona, te je prostorni naboj atmosfere pozitivnog karaktera

Atmosferski elektricitet

- **Atmosfera i površina Zemlje mogu se promatrati kao kuglasti kondenzator, s tim što je vanjski oblog sloj atmosfere na visini između 50 i 65 kilometara – ispod ionosfere, a unutarnji oblog bi bila površina Zemlje.**
- **Jakost električnog polja je najveća oko 19 sati (Greenwich), a najmanja oko 5 sati i opada s porastom visine.**
- **Može se kazati da je ionosfera Faradayev kavez koji štiti atmosferu od ekstraterestričkog djelovanja.**



• Zemljin je naboj negativan, silnice električnog polja će biti usmjereno okomito prema površini Zemlje.

• Pri površini Zemlje jakost električnog polja je u prosjeku 120 - 130 V/m.

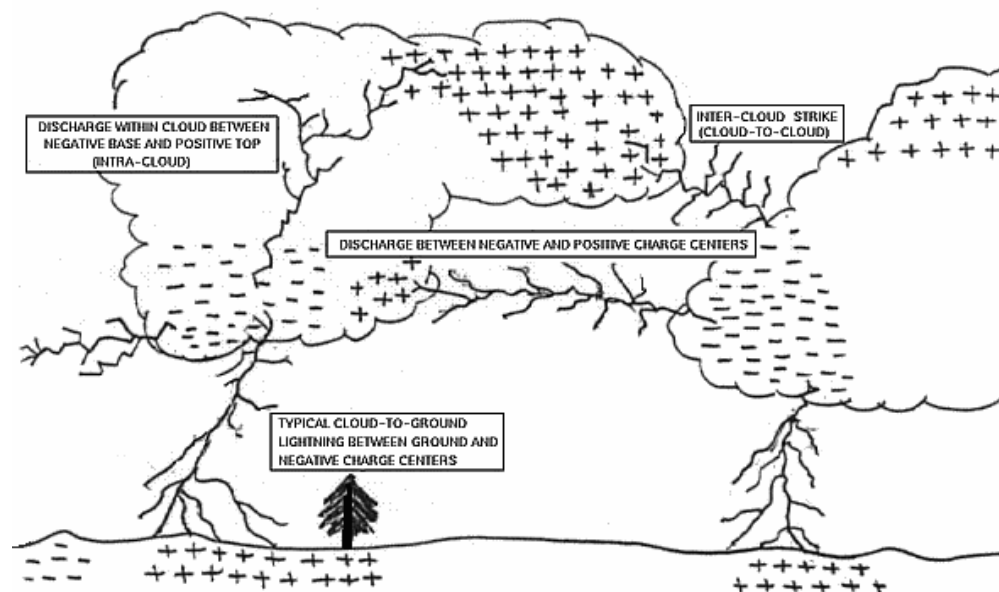
Atmosferski elektricitet

U prirodi mora *postojati generator koji obnavlja naboj i održava razliku u potencijalu između obloga spomenutog "kondenzatora".*

Smatra se da su *grmljavine* upravo taj *generator koji održava razliku u potencijalu.*

Atmosferski elektricitet

Za vrijeme grmljavine električno polje dostiže velike vrijednosti (*cumulonimbusi*).



Atmosfersko pražnjenje između olujnih, električno nabijenih, oblaka i površine Zemlje naziva se **gromom**. Električno polje postaje tako jako da se stvara **vodljiva staza između oblaka i zemlje**.

Pražnjenja između oblaka i unutar oblaka nazivaju se **munjama**.

Korona

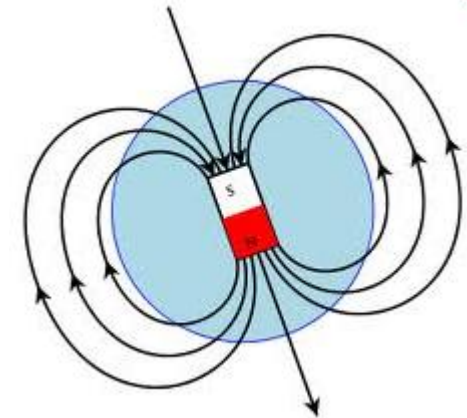
- Korona je vrsta samostalnog pražnjenja između elektroda koje imaju veoma malen polumjer zakrivljenosti, te je u njihovoj blizini električno polje znatno jače nego u ostalom prostoru. Elektrode okružuje tinjajuća svjetlost u obliku krune. Pražnjenje je praćeno siktavim šuštanjem. Pojava korone može se uočiti u vrijeme oluja na vrhovima gromobrana, na jarbolima brodova, na dalekovodima, i sl.



... "ST. BIRD'S FIRE" ON MASTS OF SHIP AT SEA.

Polarna svjetlost

• Polarna svjetlost – svijetljenje atmosfere u blizini polova. Izazvana je brzim elektronima koji dolaze sa Sunca i ioniziraju atome i molekule plina u atmosferi



PROLAZAK ELEKTRIČNE STRUJE KROZ PLINOVE

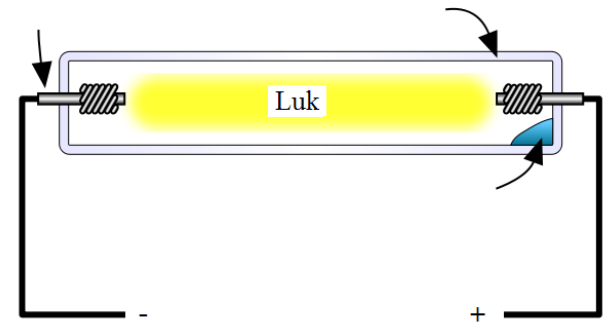
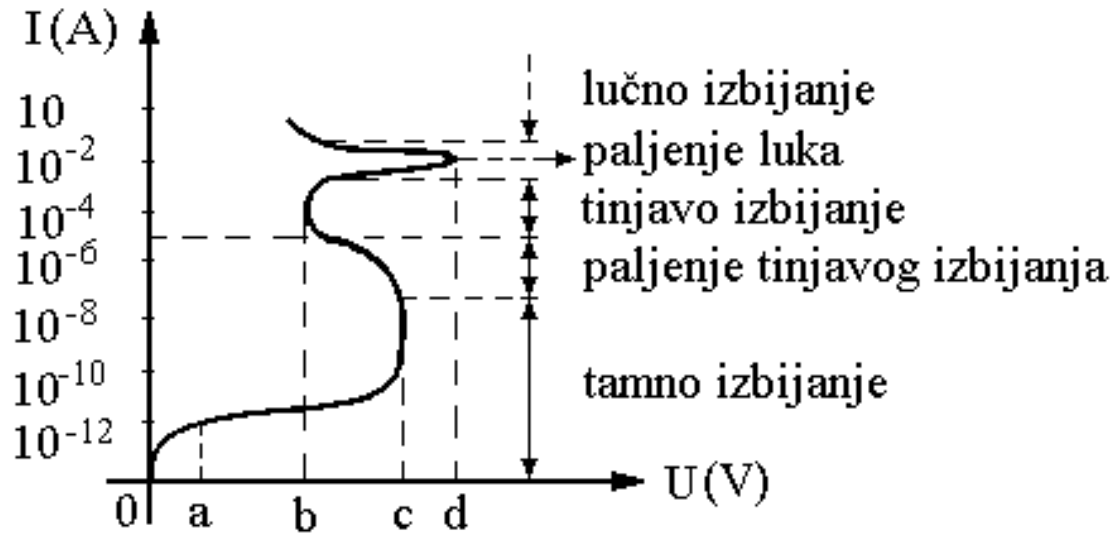
Prolazak električne struje kroz plinove

- Plinovi se pri *atmosferskom tlaku i sobnoj temperaturi* ponašaju kao izolatori, iako propuštaju struju malenog iznosa, koja se može zanemariti.
- Plin ima bolja izolacijska svojstva pri višem tlaku i nižoj temperaturi.
- Da bi u plinu došlo do prolaska električne struje potrebno ga je podvrgnuti djelovanju električnog polja koje uzrokuje gibanje slobodnih električnih naboja koji se već nalaze u plinu.

Prolazak električne struje kroz plinove

- *Slobodni električni naboji u plinu se gibaju pod djelovanjem električnog polja.*
- *Negativni naboji (anioni) gibaju se prema pozitivnoj elektrodi - anodi,*
- *Pozitivni naboji (kationi) gibaju se prema negativnoj elektrodi - katodi.*
- **To gibanje tvori električnu struju koja se razlikuje od električne struje u metalnim vodičima gdje se gibaju samo slobodni elektroni.**

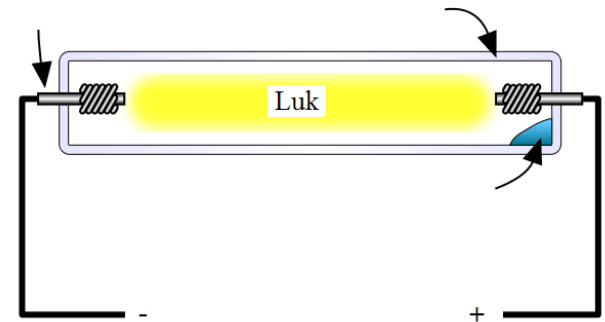
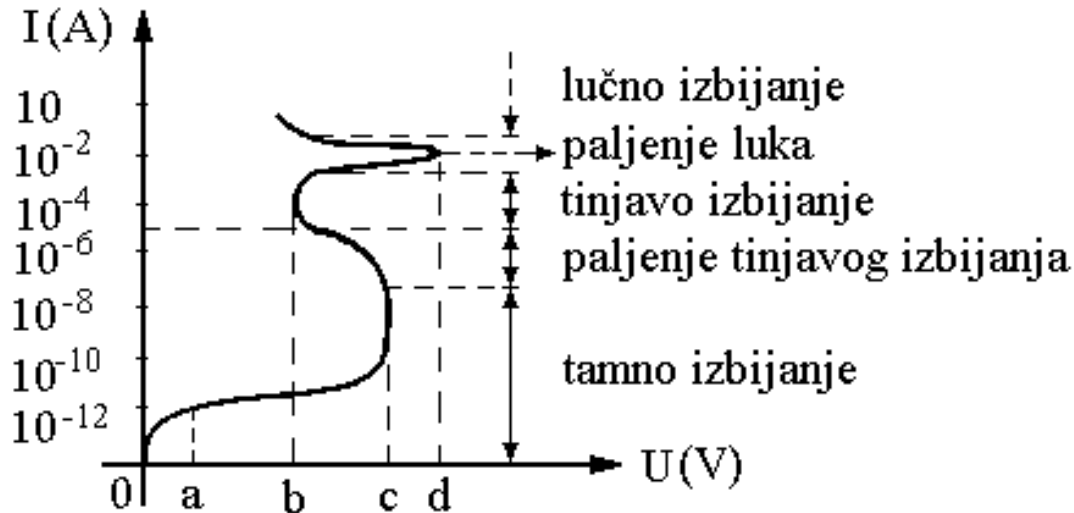
Strujno naponska karakteristika izbijanja u plinu



Područje 0-b (Townsendovo izbijanje) je tamno (nevidljivo) izbijanje pri malenim strujama.

Područje b-c napon je već toliko velik da izaziva veću ionizaciju i struju kroz plin.

Prolazak električne struje kroz plinove



Kod *točke c* napon izaziva jaku ionizaciju koja poprima oblik lavine, (struja raste, napon na cijevi pada). To je područje tinjavog izbijanja primjenjuje kod cijevi zvanih tinjalice.

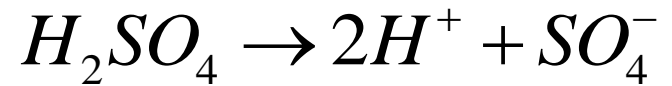
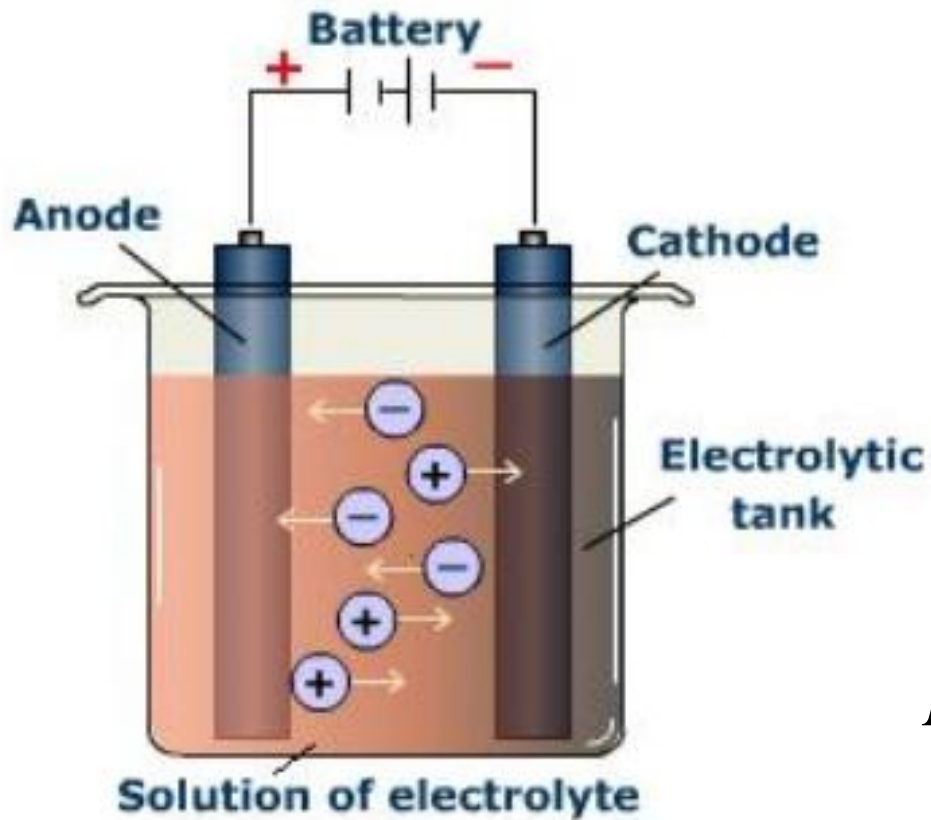
Povećanjem napona dostiže se točke d - *proboj i paljenja luka*, pa se tada naglo povećava električna struja, uz smanjenje napona. Nastaje lučno izbijanje – plinom punjenih svijetleće cijevi.

PROLAZAK ELEKTRIČNE STRUJE KROZ TEKUĆINE

Prolazak električne struje kroz tekućine

- Moguća je podjela vodiča na vodiče prve i druge vrste, gdje su metali vodiči prve, a otopine lužina, soli i kiselina vodiči druge vrste.
- Osim kemijski čiste vode sve tekućine vode električnu struju. Pri prolasku električne struje dolazi do kemijskih promjena tekućih vodiča.
- Spomenute otopine nazivaju se elektroliti, a elektrolizom se nazivaju kemijski procesi koji se zbivaju pri prolasku električne struje kroz elektrolite.
- Prolazak električne struje prati razvijanje Jouleove topline, i rastavljanje molekula elektrolita na ione. Ta se pojava naziva elektrolitičkom disocijacijom.

Prolazak električne struje kroz elektrolit



Prolazak električne struje kroz tekućine

- Kroz tekućine se gibaju ioni u dva smjera, pa se uspostavlja dvojna struja. Ioni su nezanemarivih masa pa osim prijenosa naboja imamo i prijenos materije (to nije slučaj u vodičima).
- Na dodirnoj površini elektroda-elektrolit mogu nastati:
 1. *Djelovi atoma i molekula elektrolita talože se na elektrodi (metal na katodi) i ona postaje sve deblja*
 2. *Izlučeni djelovi iz elektrolita stvaraju plinove koji odlaze u atmosferu*
 3. *Izlučeni djelovi iz elektrolita kemijski reagiraju sa metalom elektrode koja postaje sve tanja*

IZVORI ISTOSMJERNE ELEKTRIČNE STRUJE

Izvori istosmjerne električne struje

Izvori električne struje mogu biti:

- *kemijski,*
- *toplinski (nuklearne baterije),*
- *svjetlosni, (fotonaponski elementi - solarne ćelije)*
- *mehanički (istosmerni generatori)*

Kemijski izvori električne energije:

- *primarni izvori*, ili galvanski članci (elementi) – *neobnovljivi izvori*
- *sekundarni izvori*, ili akumulatori – *obnovljivi izvori*
- *Bitni su napon i kapacitet baterije!*

PRIMARNI KEMIJSKI IZVORI

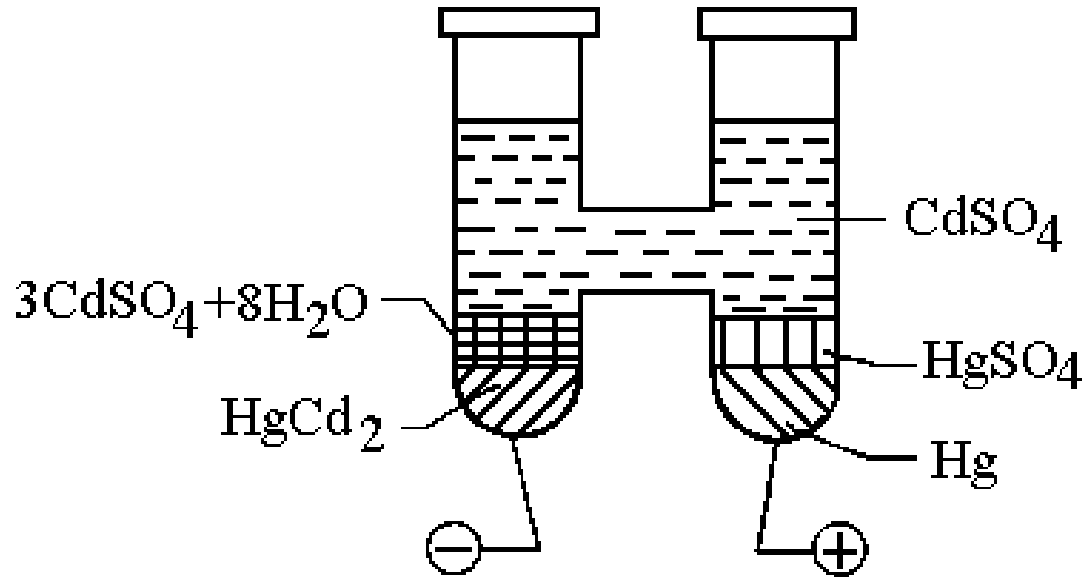
Primarni kemijski izvori

- Ako se u elektrolit urone dvije elektrode od različitih materijala, svaka elektroda dobiva prema elektrolitu određeni potencijal (EMN), kojemu je uzrok elektrolitička polarizacija.
- Ako su elektrode od istog materijala uronjene u elektrolit, neće biti razlike u potencijalu!
- Što su materijali udaljeniji u nizu iz tablice elemenata među elektrodama je viši napon.

Prvi primarni članak napravio je *Alessandro Volta* (1745-1827), a kasnije su razvijeni i mnogi drugi: *Leclanchéov*, *alkalni-MnO₂*, *litijev*, *itd.*

Materijal Electrode		Potencijal [V]
litij	Li	-3,02
kalij	K	-2,922
kalcij	Ca	-2,87
natrij	Na	-2,712
magnezij	Mg	-2,34
mangan	Mn	-1,05
cink	Zn	-0,762
krom	Cr	-0,71
kositar	Sn	-0,136
olovo	Pb	-0,126
vodik	H ₂	0
bakar	Cu	+0,3448
srebro	Ag	+0,7995
klor	Cl ₂	+1,3583
fluor	F ₂	+2,85

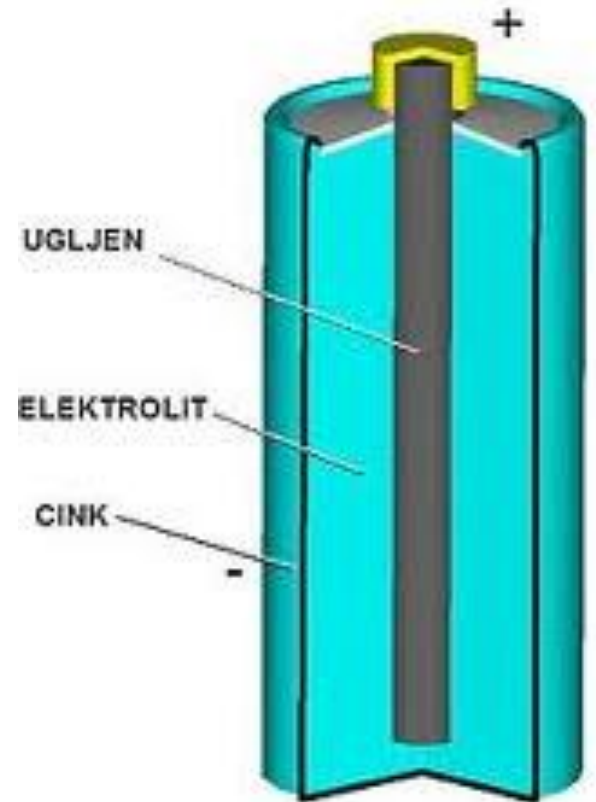
Primarni članak - Westonov članak



- *Katoda* je od *kadmij-amalgama* (HgCd_2) pokrivenog slojem kristala *kadmij-sulfata* (CdSO_4).
- *Anoda* je od žive Hg , a depolarizator je *živin sulfat* (Hg_2SO_4).
- *Elektrolit* služi *zasićena vodena otopina kadmij-sulfata* (CdSO_4).
- Tijekom duljeg vremena daje *izuzetno konstantan napon* (**1,01865 V**), te se njime koristi kao etalonom napona.
- Napon članka *ovisi o temperaturi*.

Primarni članak - Leclanchéov članak

- Elektrolit je vlažna smjesa salmijaka (NH_4HCl),
- Pozitivni pol - anoda je ugljeni štapić obložen prahom mangan-dioksida (MnO_2), koji služi kao **depolarizator**.
- Negativni pol - katoda, je od cinka (Zn) i ujedno je i posuda.
- *Napon članka je 1,5 (V). Serijski spojena takva tri članka, daju plosnatu bateriju od 4,5 (V).*



Primarni članak - Alkalni članak

- razlikuje se od Leclanchéovog članka samo po *elektrolitu -kalijevoj lužini*
- **Napon** članka je *1,5 V*
- Može se neprekidno *prazniti jačim strujama*
- *Kapacitet u mAh* veći i do **10 puta** od Laclansheovog članka
- Može se *dugo skladištiti* i podnosi *niske temperature*



Primarni članak

Živin oksid - cink članak

- Malih dimenzija u obliku *dugmeta*
- *Napon* članka je *1,35 i 1,4 V*
- Može se neprekidno *prazniti jačim strujama*
- *Kapacitet cca 1100 mAh*
- Može se dugo *skladištiti* i *podnosi niske temperature*
– *otrovna živa*
- Slušni aparati, kalkulatori, kamere...



Primarni članak - Litijev članak

- *Najbolji primarni izvor energije*
- *Napon članka je 3 V*
- *Veliki kapacitet*
- *Može se dugo skladištiti i podnosi niske temperature -40 +100*
- *EPIRB, SART, pace-maker*



SEKUNDARNI KEMIJSKI IZVORI

Sekundarni kemijski izvori

- *Sekundarni kemijski izvori* električne struje ili *akumulatori* su *obnovljivi izvori* električne energije.
- Mogu se nakon *pražnjenja* ponovo *napuniti* priključivanjem na ispravljač – efikasnost punjenja.
- Broj *ciklusa punjenja i pražnjenja* može biti vrlo velik (tisuću i više puta)

Kemijski izvori električne struje - akumulatori

1. Klasični akumulatori s tekućim elektrolitom

- *Olovni,*
- *Srebrni (u kombinaciji s cinkom i s kadmijem),*
- *Čelični,*
- *Nikal – kadmijev*
- *Nikal - metalhidridni*

2. Gel ili VRLA (*Valve Regulated Lead-Acid*) *akumulatori*

3. AGM (*Absorbed Glass Mat*) *akumulatori*

Klasični akumulatori s tekućim elektrolitom



Klasični akumulatori s tekućim elektrolitom

Prednost:

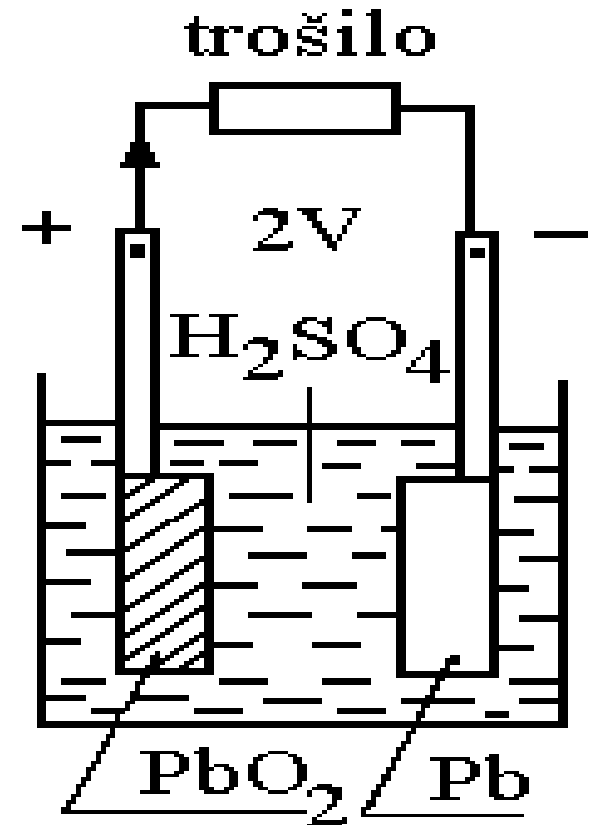
- *Značajno nižu cijena,*
- *manja težina,*
- *maksimalna tolerancija napona punjenja,*

Mane:

- *montiraju se na plovilima jedino u vertikalnom položaju,*
- *mogućnost curenja elektolita,*
- *potrebna je stalna kontrola i održavanje,*
- *potrebna je ventilacija prostora,*
- *manji broj ciklusa pražnjenja i punjenja,*
- *prosječni vijek trajanja 2-3 godine,*
- *moguć kratki spoj unutar olovnog akumulatora zbog olovnog sulfata koji se s vremenom taloži na dnu akumulatora.*

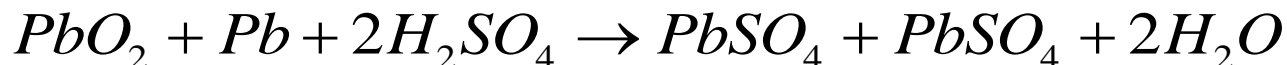
Olovni akumulatori

- Anoda je olovni superoksid, a katoda olovo.
- Sumporna kiselina je elektrolit koji se razblažuje destiliranom vodom.
- Napon koji daje takva ćelija je **2V**



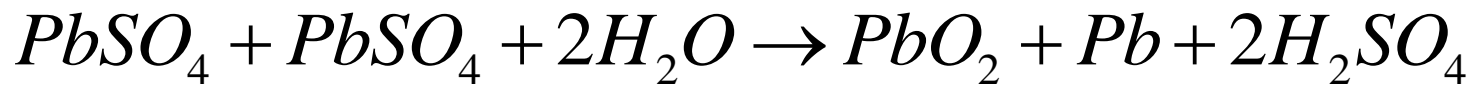
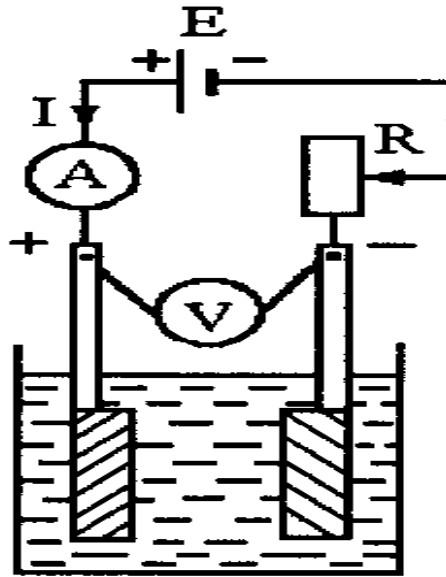
Olovni akumulatori - pražnjenje

- Dok se akumulator prazni on predaje trošilu električnu energiju, električna struja prolazi i kroz elektrolit.
- Nastaje slijedeća kemijska reakcija:



- Pražnjenjem akumulatora elektrode se po sastavu postupno izjednačavaju (sulfatiziraju) te napon postupno opada.
- Kada napon padne ispod 1,85 V, zabranjena je daljnja uporaba, jer bi to otežalo/onemogućilo postupak punjenja.

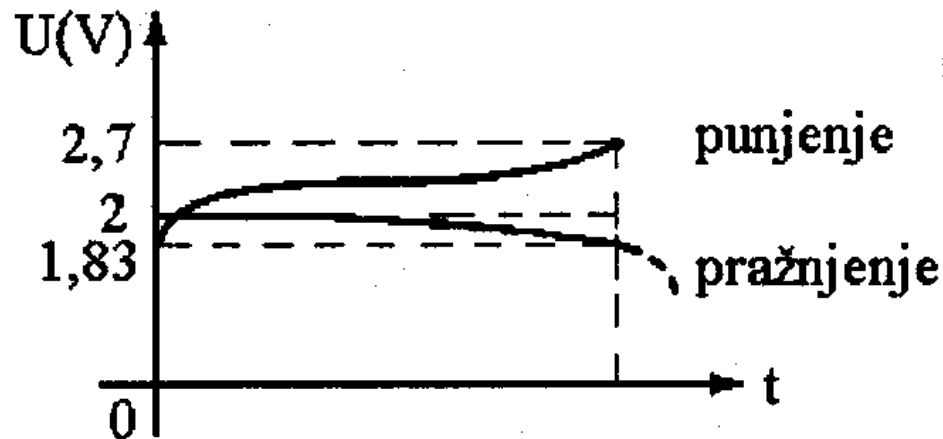
Olovni akumulatori - punjenje



Pažnja!

- Prilikom punjenja kroz čepiće ćelija izlazi tzv. plin praskavac opasnost eksplozija !!!!!
- U slučaju da kožu dotakne elektrolit, potrebno je isprati to mjesto.

Olovni akumulatori – krivulja punjenja i pražnjenja



Kapacitet akumulatora – umnožak jakosti struje i vremena pražnjenja [Ah].

Akumulator koji ima 45 Ah može davati struju od 45 A u vremenu od 1 sat ili naprimjer 15 A u vremenu od 3 sata.

Gustoća kiseline pokazuje stanje napunjenosti akumulatora (bonometri)

Čelični ili alkalijski akumulatori

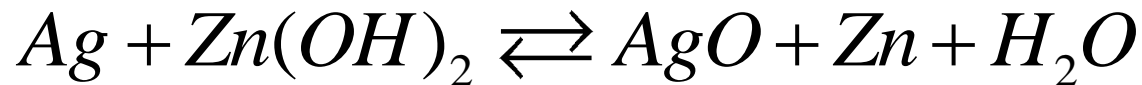
- *Elektrolit* alkalijskih ili čeličnih akumulatora je *vodena otopina kalijeve lužine (KOH)*, *anoda je nikal(III)-hidroksid ili Ni₂(OH)₆*, *katoda željezo, Fe*
- *Kemijski proces je reverzibilan, a elektrolit se uopće ne mijenja.*
Napon po ćeliji 1,2 V (opseg napona 1,15V-1,8V)



- *Manja osjetljivost na preopterećenje, veća trajnost i manja težina od olovnih*

Srebreni akumulatori

- *Elektrolit* srebrnih akumulatora je *vodena otopina kalijeve lužine (KOH)*, *anoda* je od *srebra*, *katoda* cink.
- Kemijski proces je *reverzibilan*. Opseg napona **1-2,1 V**



prazan

pun

- **Mala masa, obujam, neosjetljivost na temperature**

**Gel ili VRLA
(Valve Regulated
Lead-Acid)
akumulatori**

**AGM (Absorbed
Glass Mat)
akumulatori**

Gel akumulatori - nikal kadmij...

Elektrolit je imobiliziran između ploča u obliku želatinozne mase



Gel akumulatori - nikal kadmij...

Prednosti

- *nije potrebno nikakvo održavanje,*
- *moguća je montaža u bilo kojem položaju,*
- *nema izlaženja plina praskavca prilikom punjenja,*
- *ako su kleme izolirane mogu raditi pod vodom,*
- *otporni su na vibracije i udarce,*
- *stupanj samopražnjenja je malen,*
- *vijek trajanja 5-8 godina,*
- *brzo se pune, a mogu se prazniti do 50% nominalnog kapaciteta,*

Nedostaci

- *duplo veća cijena od klasičnog akumulatora,*
- *potrebni posebni punjači, pa se na brodu teško obnavljaju.*

AGM akumulatori

Elektolit je imobiliziran u staklenoj vuni



AGM akumulatori

Prednosti:

- *tehnološki najnapredniji,*
- *dug vijek trajanja,*
- *vrlo velik broj ciklusa punjanja i pražnjenja,*
- *niski stupanj samopražnjenja,*
- *nije potrebno održavanje,*
- *može raditi u različitim položajima,*
- *nema plinova prilikom punjenja,*
- *otporan na vibracije i udarce,*

Mane:

- *visoka cijena,*
- *vrlo je osjetljiv na visinu napona punjenja,*
- *izrađuje se samo u nekoliko veličina.*

Uporaba i smještaj akumulatora na brodovima

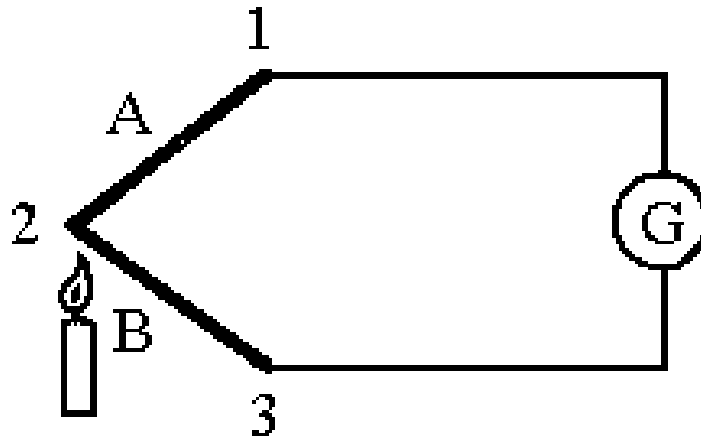
- Akumulatori na brodu namijenjeni su za rasvjetu u nužnosti, signalizaciju, telefoniju, rasvjetu u nužnosti, dojavu požara, alarmna zvonca, pozivna zvonca, rezervne radiouređaje, električne satove, itd. Najčešći napon baterija u uporabi je 24 V i 60 V.
- Na brodu se akumulatorijske baterije čuvaju u posebnim prostorijama.

Uporaba i smještaj akumulatora na brodovima

- Prostorije u kojima se čuvaju akumulatori trebaju biti smještene visoko na brodu, da u slučaju nesreće mogu biti što dulje izvan vode, jer se njima u principu opskrbljuju električnom energijom uređaji za nužnost.
- *U tim prostorijama nužna je dobra **provjetrenost**, zbog plinova koji se oslobađaju, pod treba biti otporan na djelovanje kiselina i lužina.*
- *U tim prostorijama sve električne naprave ili uređaji moraju imati protueksplozijsku zaštitu*

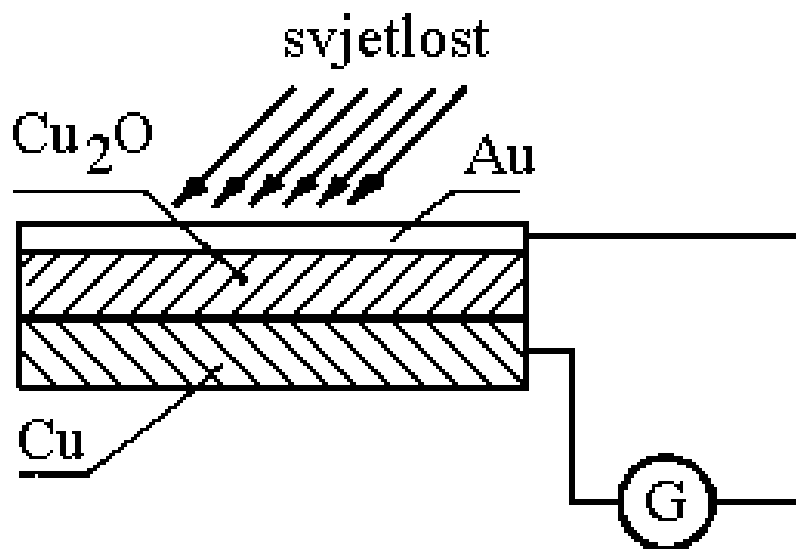
**Toplinski i
svjetlosni izvor
istosmjerne
električne
energije**

Toplinski izvori električne struje - termoelementat



- **Termoelementi** (termoparovi) su naprave u kojima se toplinska energija pretvara u električnu.
- **Dva vodiča izrađena od različitih materijala, A i B, spojena su čvrsto (zalemljena) na kraju 2. Slobodni su im krajevi, 1 i 3, povezani. Ako se spojno mjesto 2 zagrijava, u strujnom krugu će poteći električna struja.**
- **Porast temperature uzrokuje povećanje difuzije elektrona iz jednog materijala u drugi**

Svjetlosni izvori električne struje



Svojstvo na temelju kojeg neki materijali (K, Na, Si, Rb, Cz, Se, Li, Cu_2O , itd.) oslobađaju elektrone kada se obasjaju svjetlošću, naziva se fotoelektricitet, a primjenjuje se za izradbu fotootpornika i fotoelemenata (fotogeneratorske ćelije).

Postoje još i solarne ćelije.

II KOLOKVIJ

MAGNETIZAM

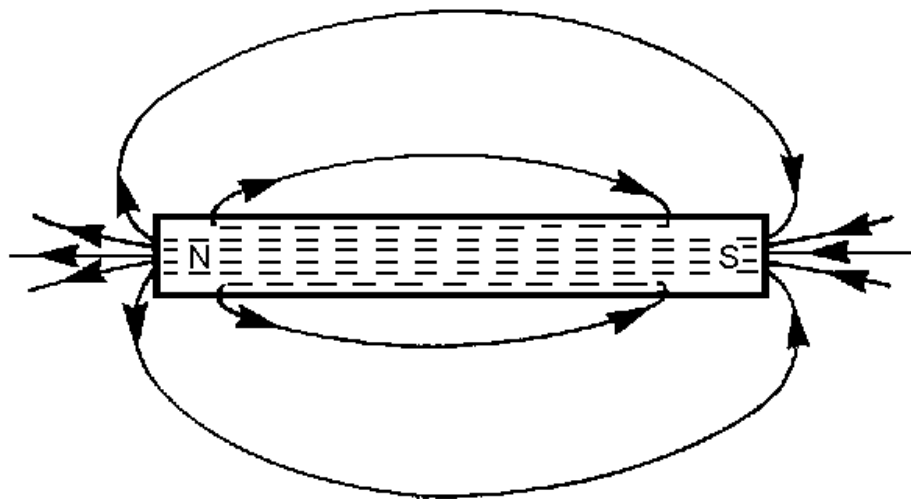
Prirodni (permanentni) magneti

Grci su prije 2500 g znali da neke vrste željeza iskopane u *Magneziji* (današnja Tesalija) imaju osobinu privlačenja prema željezu i legurama, niklu, kobaltu i još nekim materijalima.

To svojstvo privlačenja izraženije je na krajevima magnetu.

Krajevi magneta nazivaju se polovima. U sredini ravnog magneta nalazi se neutralna zona.

Raznoimeni magnetski polovi se privlače, a istoimeni se odbijaju.



Magnetsko polje

• Magnetskim poljem naziva se prostor u kojem se opažaju magnetski učinci.

• Dva su temeljna magnetska učinka: mehanička sila i elektromagnetska indukcija.

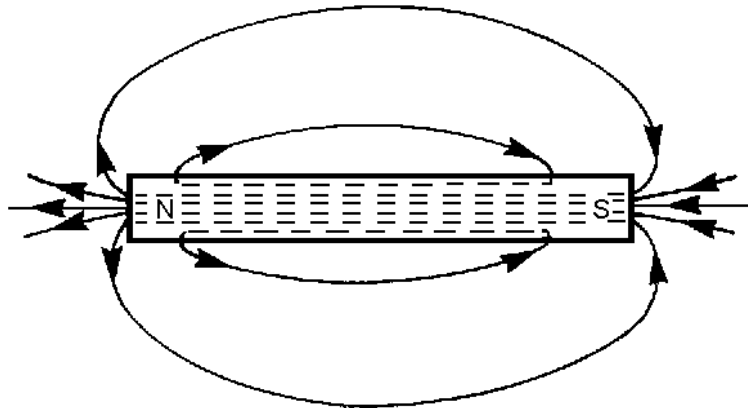
Permanentni magnet

Silnica je linija koja je zatvorena sama u sebe i pokazuje kako u pojedinoj točki prostora djeluje *magnetska sila*.

Silnice izvire iz sjevernog magnetskog pola i ulaze u južni magnetski pol.

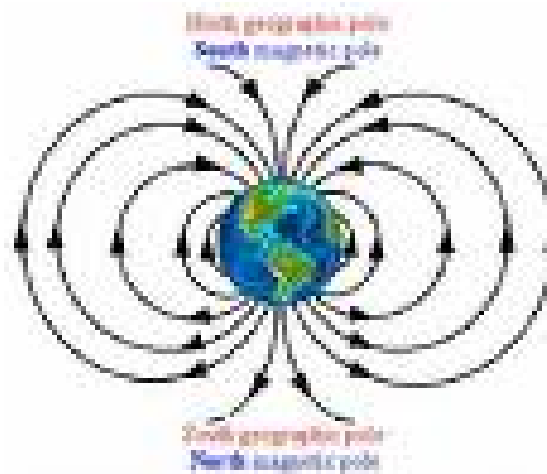
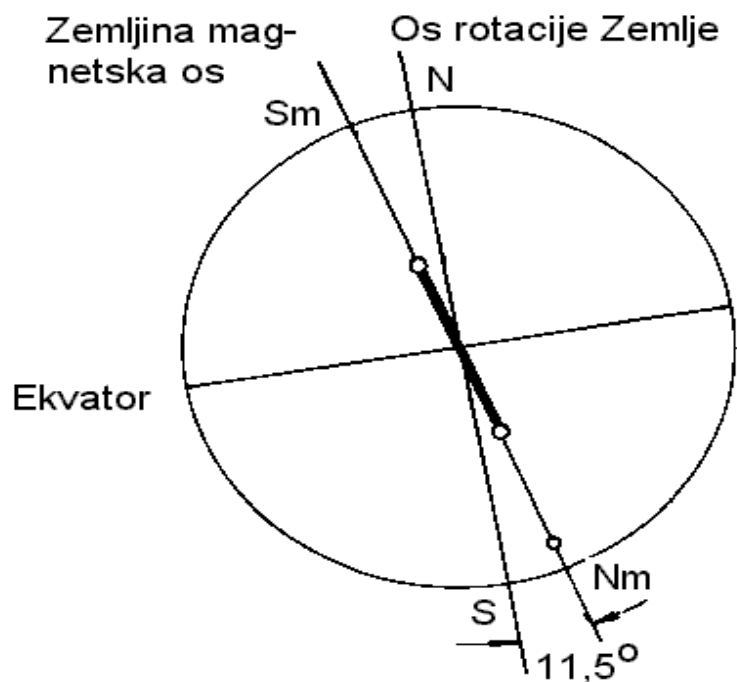
Tangenta na silnicu pokazuje smjer magnetske sile.

Gustoća magnetskih silnica na pojedinom mjestu je mjera veličine magnetske sile.



Zemljin magnetizam

Blizu zemaljskih polova postoje magnetski polovi zemlje promjera cca 150 milja čiji se položaj vremenom mijenja.



Magnetska deklinacija (u nautici varijacija) i inklinacija

Kut kojeg zatvaraju geografski meridijan i magnetska igla koja se može slobodno vrtjeti u vodoravnoj ravnini naziva se magnetskom deklinacijom, a u navigaciji varijacijom.

Varijacija je istočna ili pozitivna kada se sjeverni pol magnetske igle otkloni *istočno* od geografskog meridijana

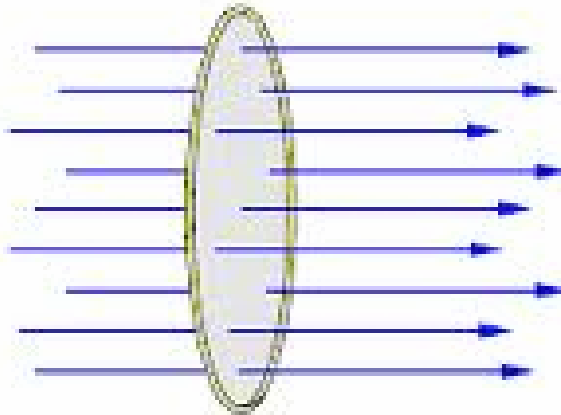
Kut kojeg zatvaraju vodoravna ravnina i magnetska igla koja se može slobodno vrtjeti u okomitoj ravnini naziva se magnetskom inklinacijom (na magnetskom polu je 90° a na magnetskom ekvatoru je 90°).

Magnetski tok, Magnetska indukcija

Magnetski tok Φ

Skup silnica (linija) magnetskog polja kroz neku plohu naziva se magnetskim tokom Φ .

Magnetski tok je skalarna veličina. Jedinica magnetskog toka je Weber [Wb = Vs].

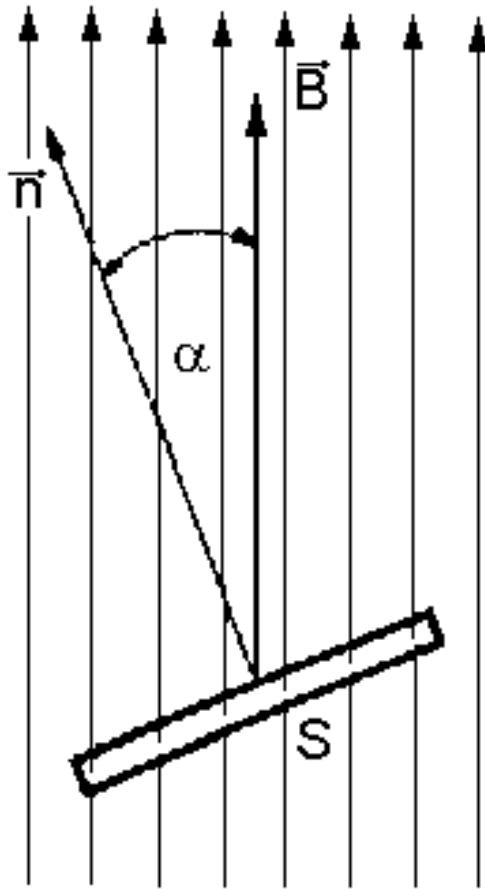


Magnetska indukcija B

Iznimno važna fizikalna veličina koja karakterizira magnetsko polje je gustoća magnetskog toka (mag. indukcija) $B = \Phi/S$ predstavlja omjer magnetskog toka Φ i površine presjeka S kroz koji taj tok prolazi.

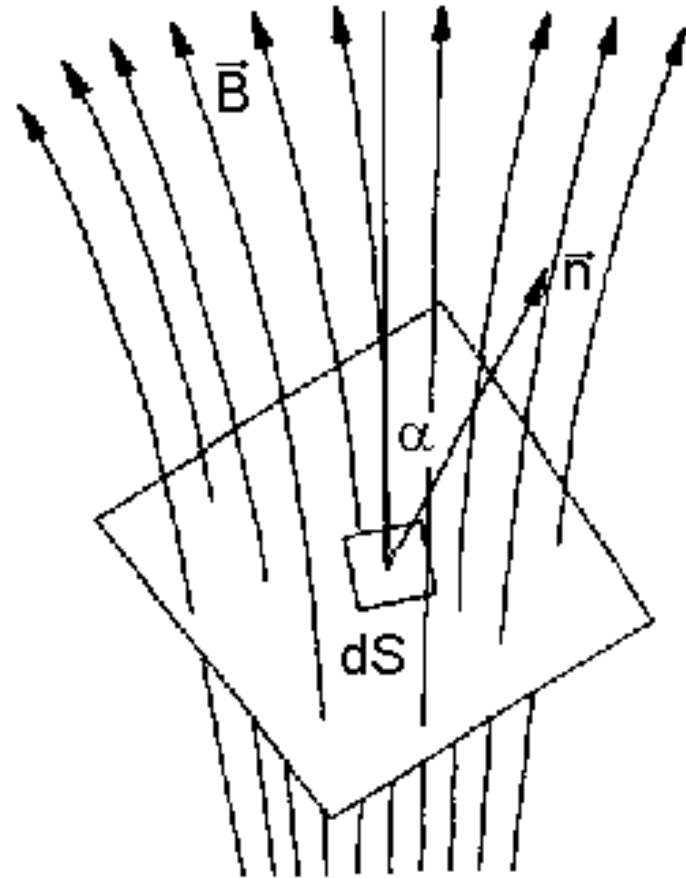
Gustoća magnetskog toka je vektorska veličina. Jedinica gustoće magnetskog toka je *Tesla* [Wb/m^2].

Homogeno i nehomogeno magnetsko polje



homogeno polje

$$\phi = \vec{B} \cdot S \cdot \cos \varphi$$



nehomogeno polje

$$\phi = \int_S d\phi = \int_S \vec{B} \cdot dS \cdot \cos \varphi$$

Elektromagnetizam

Elektromagnetizam

- Bitan iskorak u proučavanju magnetskih pojava ostvario je Oersted otkrićem da magnetska igla mijenja položaj kada je u blizini vodiča kojim protječe električna struja.
- 1820. godine Ampère je dokazao da između dva paralelna vodiča kojima protječu električne struje postoje mehaničke sile.

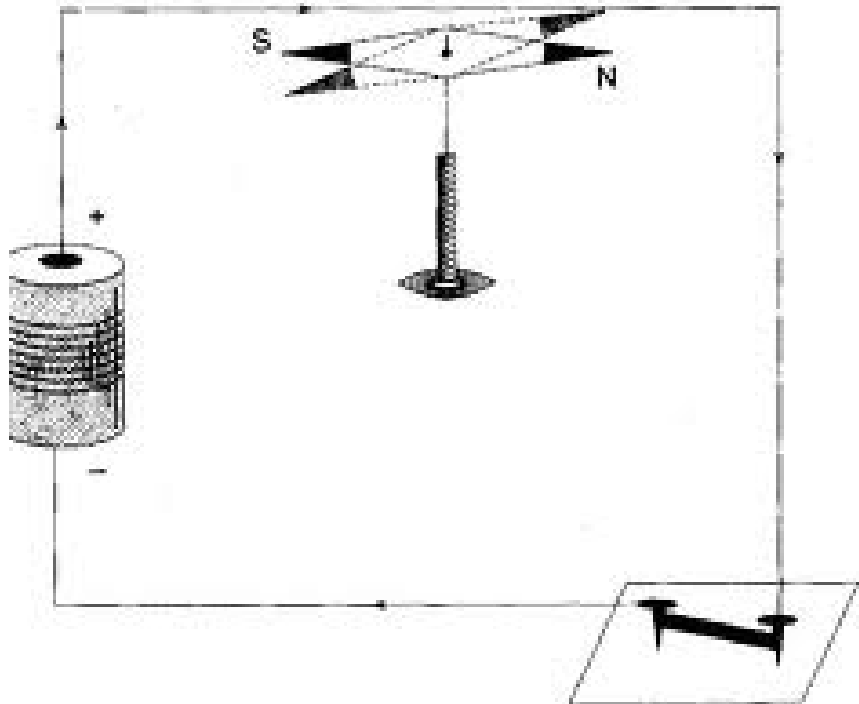


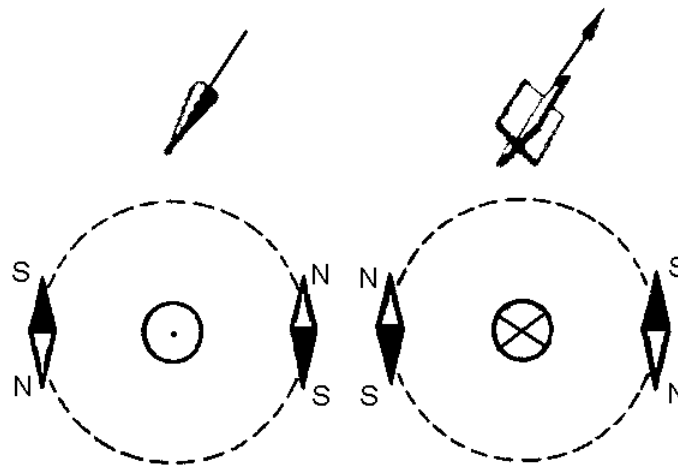
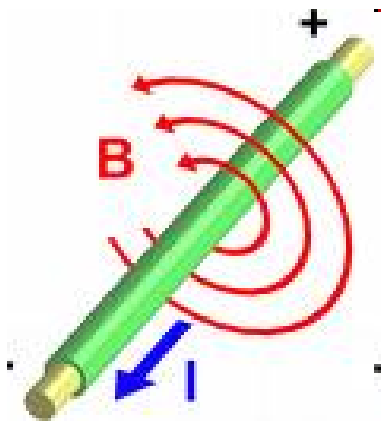
Fig. 6.16 Oersted's Experiment

Magnetska uzbuda ili jakost magnetskog polja H

U prostor oko vodiča kroz koji prolazi struja djeluje magnetska uzbuda H - jakost magnetskog polja (koja se mjeri u A/m) i opada proporcijonalno kvadratu udaljenosti od vodiča.

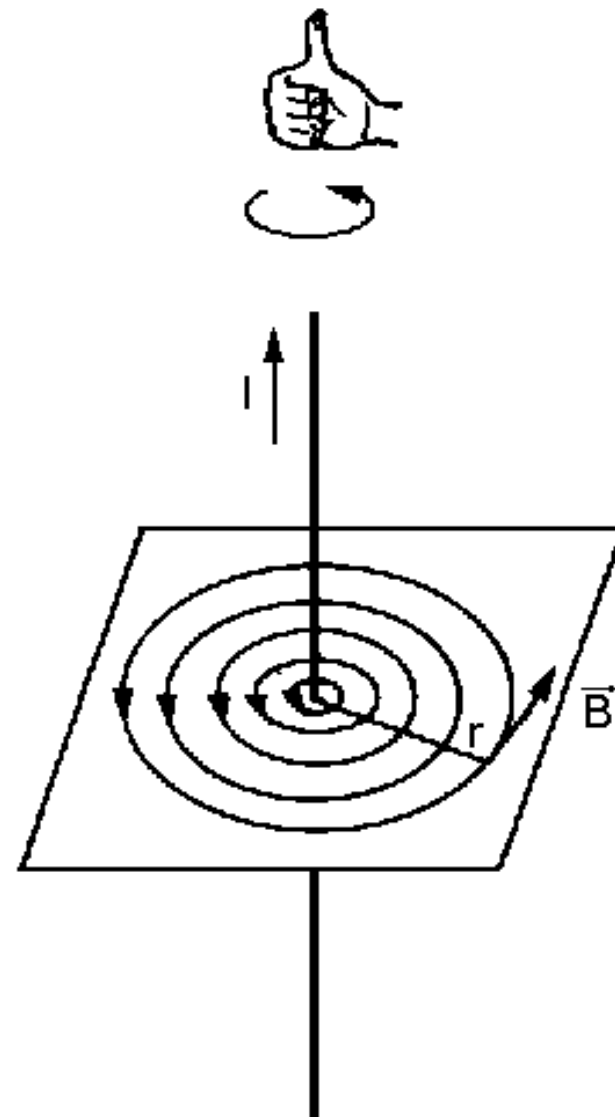
Magnetska uzbuda H izaziva stvaranje magnetskog toka Φ (veći tok Φ što je veći H i što je bolja provodnost mag. silnica u mediju)

Magnetski tok Φ , pa prema tome i magnetska indukcija B (gustoća silnica) ovisi o magnetskoj vodljivosti materijala oko vodiča tkz. magnetskoj permeabilnosti.

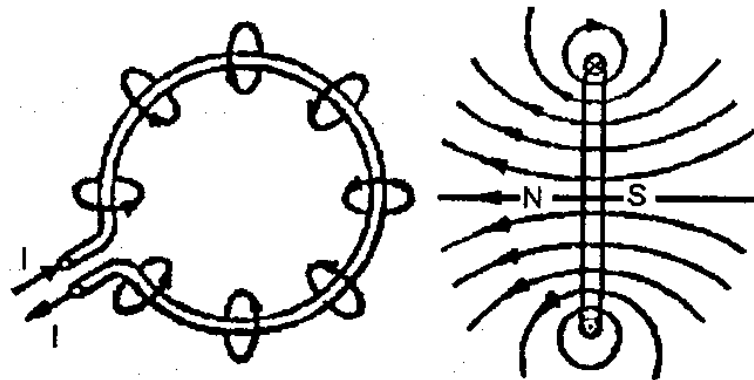
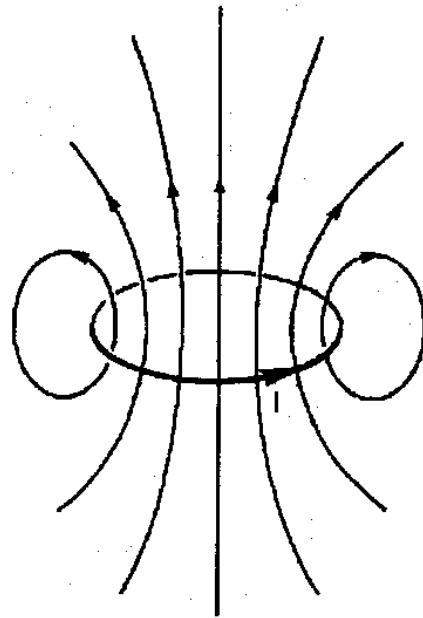


Pravilo desne ruke za vodič

- Ako se palac desne ruke postavi u smjer protjecanja električne struje, savijeni ostali prsti desne ruke pokazuju smjer polja.
- Smjer vektora B (H – jakost magnetskog polja) u nekoj točki određen je tangentom u toj točki na silnicu magnetskog polja koja prolazi tom točkom.

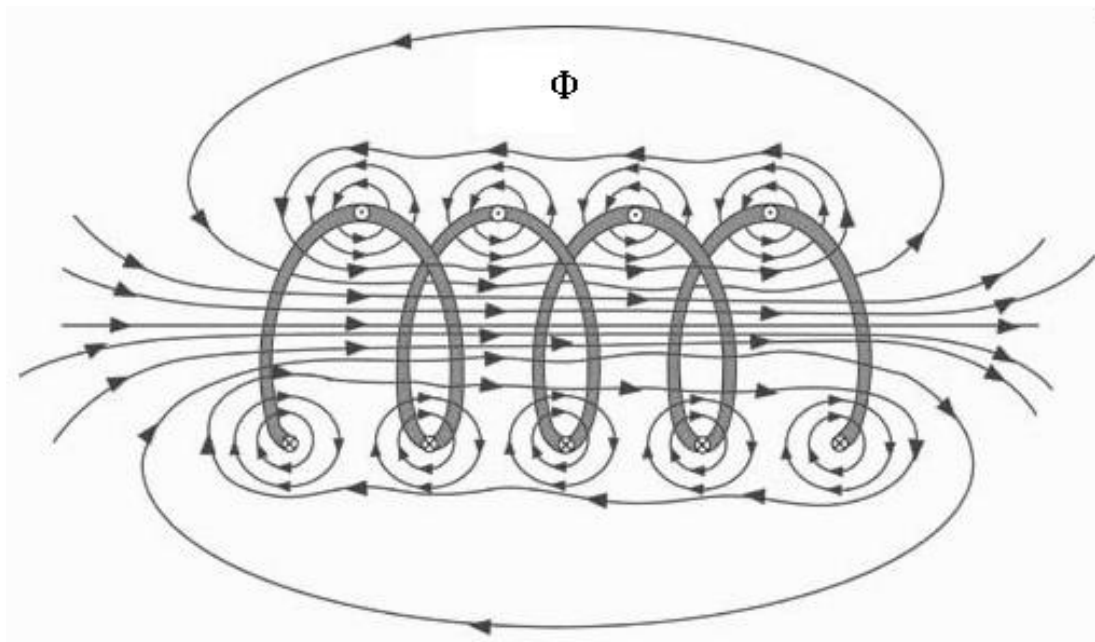


Magnetsko polje zavoja



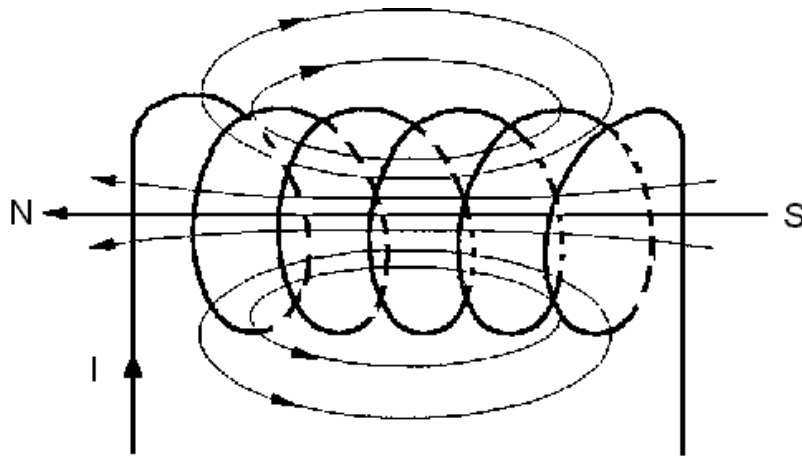
Magnetsko polje svitka

Svitak kojim protječe električna struja ponaša jednako kao permanentni magnet (elektromagnet).



Pravilo desne ruke za svitak (zavojnicu)

- Ako se savinuti prsti desne ruke postavi u smjer protjecanja električne struje kroz svitak, palac pokazuje smjer odakle silnice izlaze – smjer polja.
- *B (magnetska indukcija) je najveća unutar svitka (najgušće silnice)*

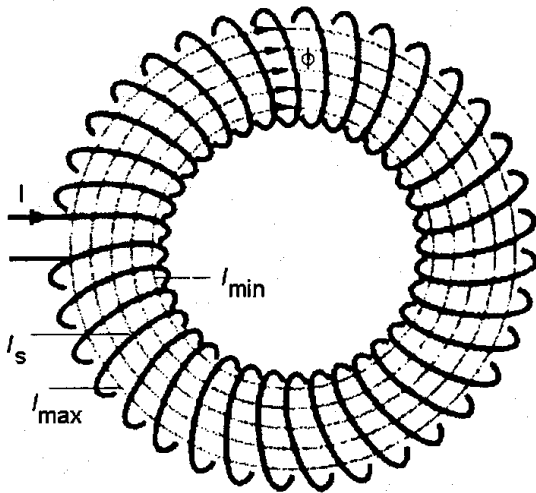


TORUSNI SVITAK



ZAKON PROTJECANJA

Magnetski napon zatvorene konture (Hdl) (cijele silnice) jednak je magnetskom protjecanju $\Theta=IN$ (magnetomotorna sila):



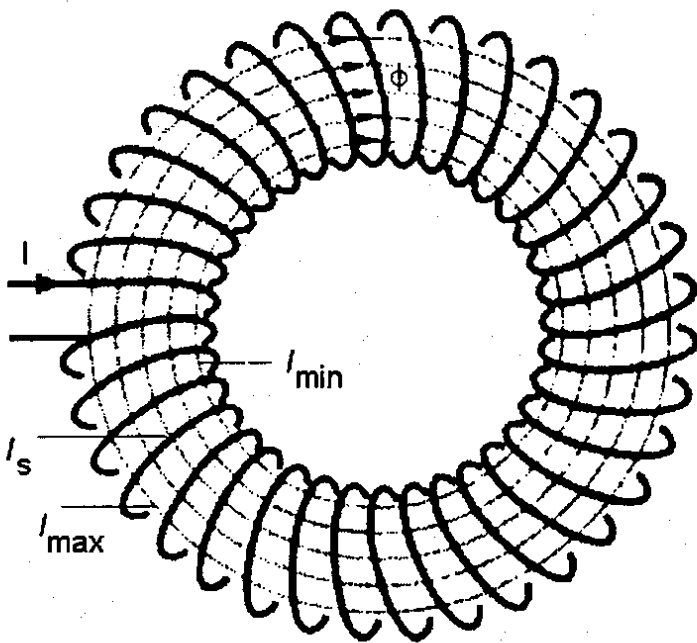
Slika 9.12: Torusni svitak

$$\oint H \cdot dl = I \cdot N = \sum_{i=1}^n I_i = \Theta$$

$\Theta = I \cdot N [Az]$ - magnetsko protjecanje ili magnetomotorna sila

Jakost magnetskog polja i indukcija u torusu

- Magnetska uzbuda ili jakost magnetskog polja (H) i magnetska indukcija (B) su povezane relacijama:



Slika 9.12: Torusni svitak

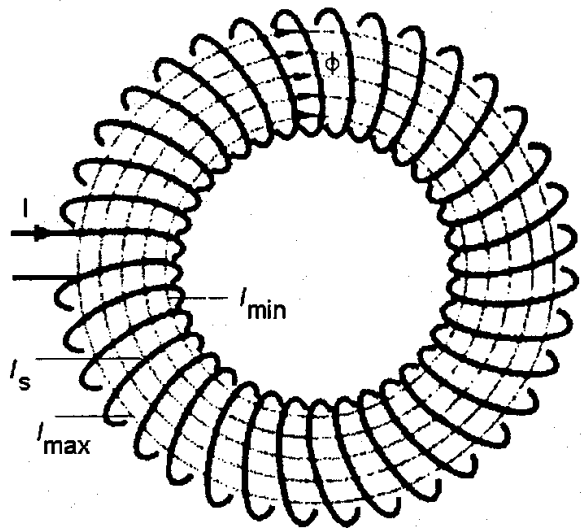
$$H = \frac{I \cdot N}{\ell} \text{ [Wb]}$$

$$B = \mu \cdot H \text{ [T]}$$

magnetska permeabilnost

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{\text{H}}{\text{m}} \right]$$

Ohmov zakon za magnetski krug



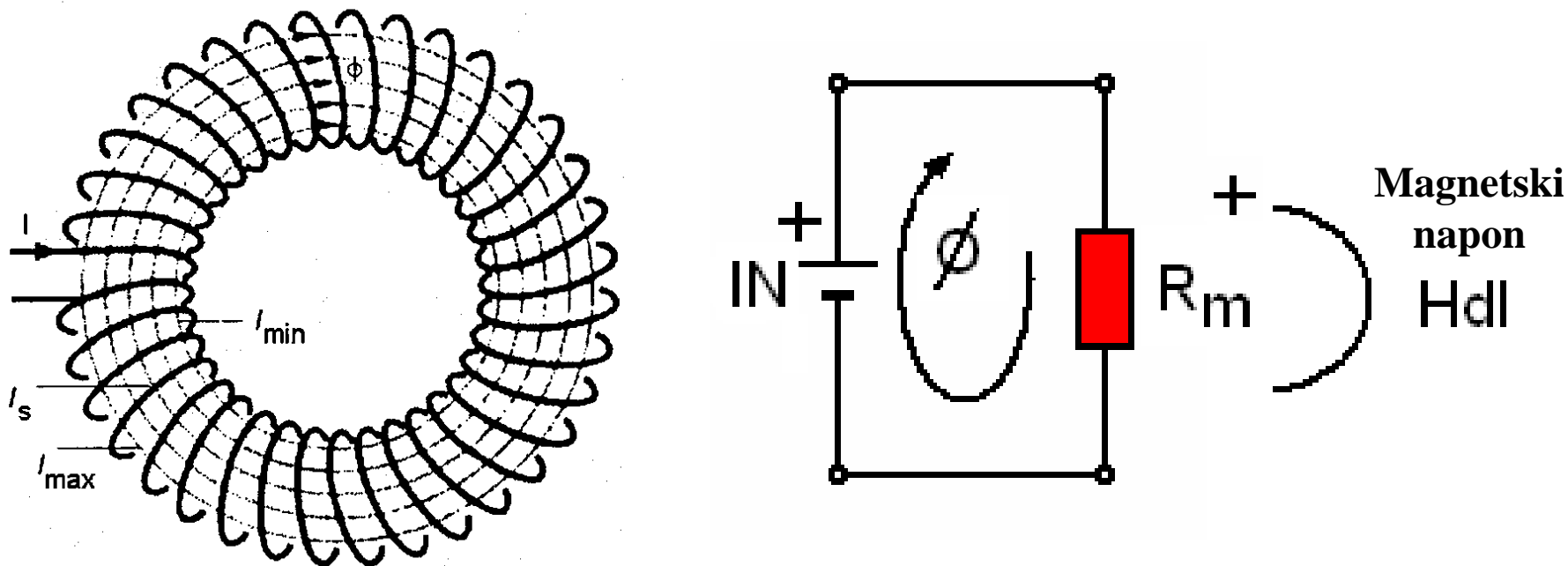
Slika 9.12: Torusni svitak

$$\phi = B \cdot S = \mu \cdot H \cdot S = \frac{I \cdot N}{\frac{\ell}{\mu \cdot S}} = \frac{\Theta}{R_m}$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$R_m = \frac{l}{\mu \cdot S} \left[\frac{A}{Vs} = \frac{1}{H} \right] \quad - \text{magnetski otpor}$$

Torusni svitak – analogija sa električnim krugom



Slika 9.12: Torusni svitak

Magnetomotorna sila Θ stvara magnetsku uzбудu H koja generira tok Φ i indukciju $B = \mu H = \Phi/s$, čija veličina ovisi o permeabilnosti medija μ .

ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA

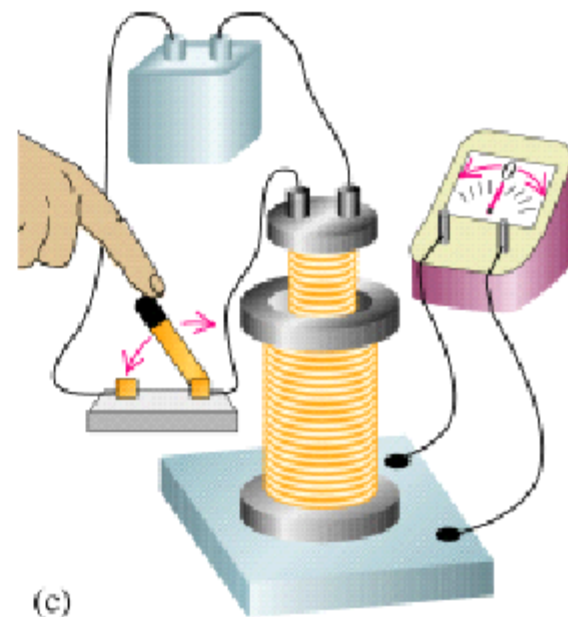
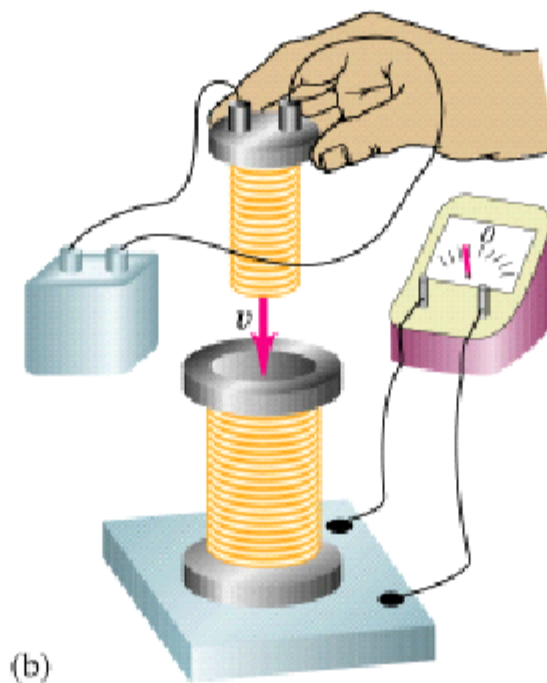
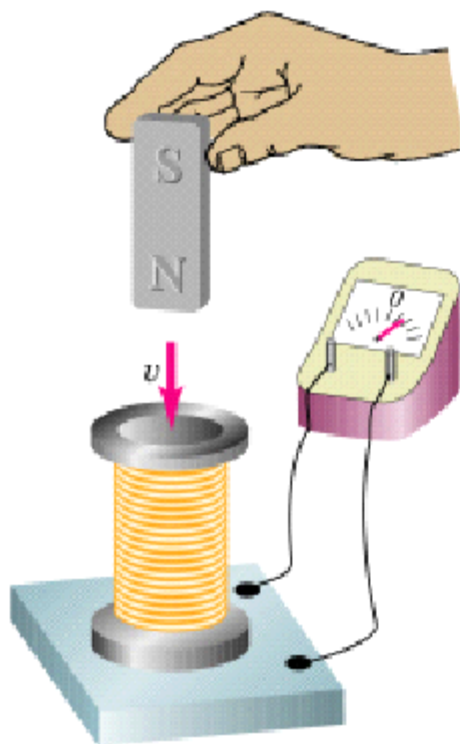
Elektromagnetska indukcija

Ukoliko imamo dva svitka tada:

-prilikom uključivanja ili isključivanja toka istosmjerne električne struje u jednom svitku dolazi do pojave napona (induciranja elektromotornog napona) u drugom zatvorenom svitku koji se nalazi u blizini prvog svitka;

-se pri promjeni položaja jednog svitka u odnosu na položaj drugoga svitka, kojim protječe istosmjerna električna struja, također inducira elektromotorni napon u prvom svitku.

Elektromagnetska indukcija



Elektromagnetska indukcija

- Iznos induciranog napona razmjeran brzini promjene magnetskog toka i broju zavoja svitka.

$$e = - N \frac{d\phi}{dt}$$

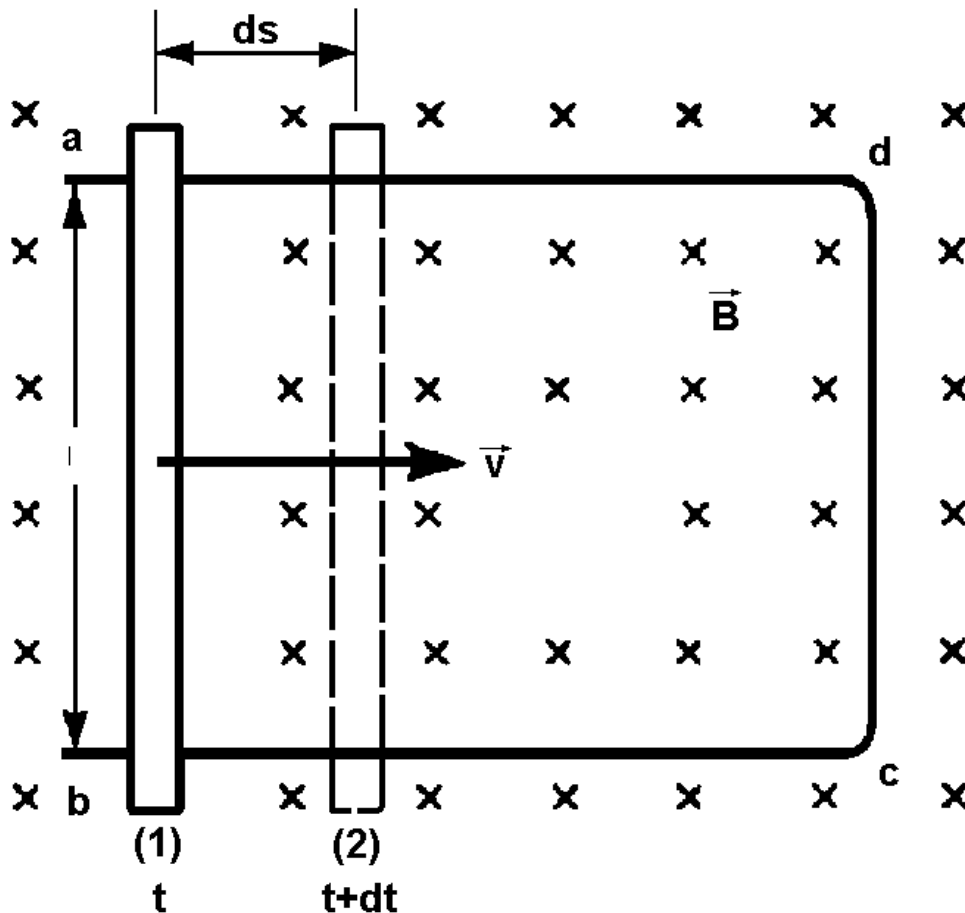
- Značenje minusa objašnjava se Lencovim zakonom: smjer induciranog napona uvijek je takav da se od tog napona stvorena struja svojim magnetskim učinkom protivi promjeni magnetskog toka uslijed kojeg je došlo do induciranog napona.

NAPON POMICANJA

NAPON ROTACIJE

Napon pomicanja

- Vodič se giba po vodljivom okviru brzinom okomito u odnosu na magnetsko polje gustoće B . Naponom pomicanja dat je izrazom:



$$\Phi_1(t) = B \cdot S_{abcd}$$

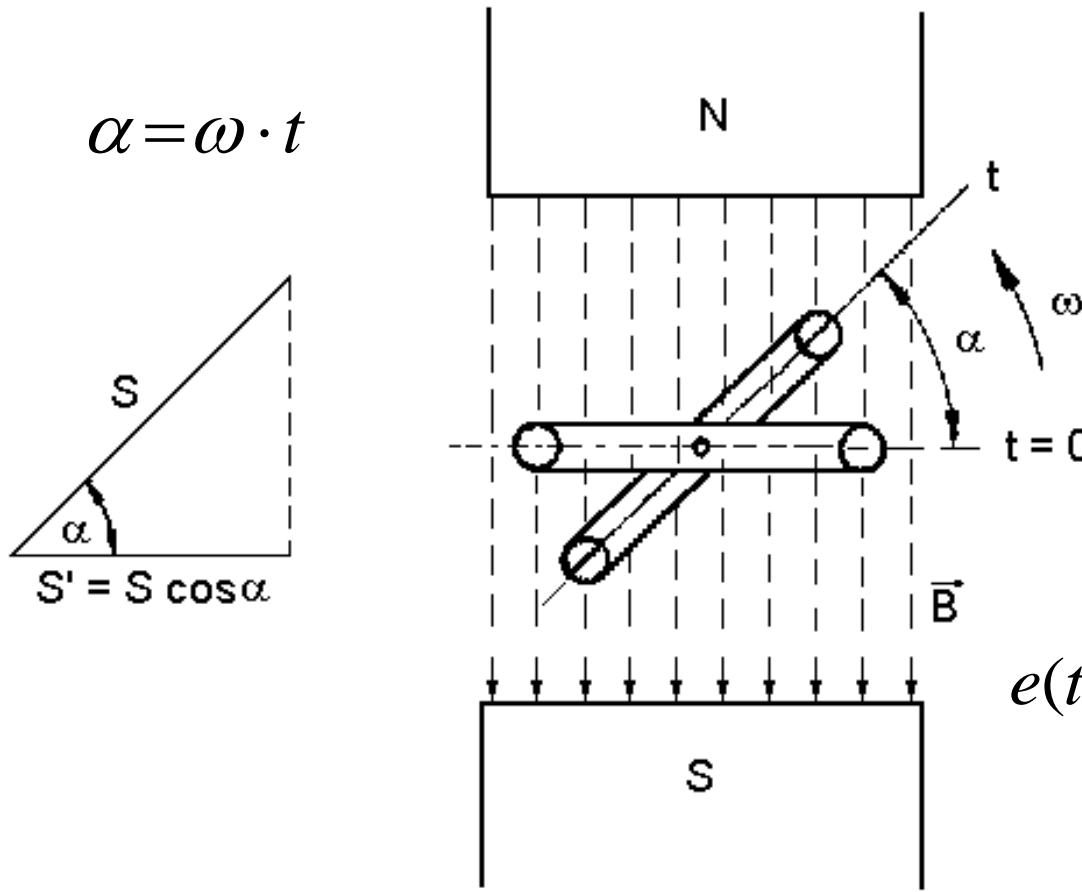
$$\Phi_2(t + dt) = B \cdot (S_{abcd} - l \cdot ds)$$

$$d\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$$

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = B \cdot l \cdot v$$

Napon rotacije

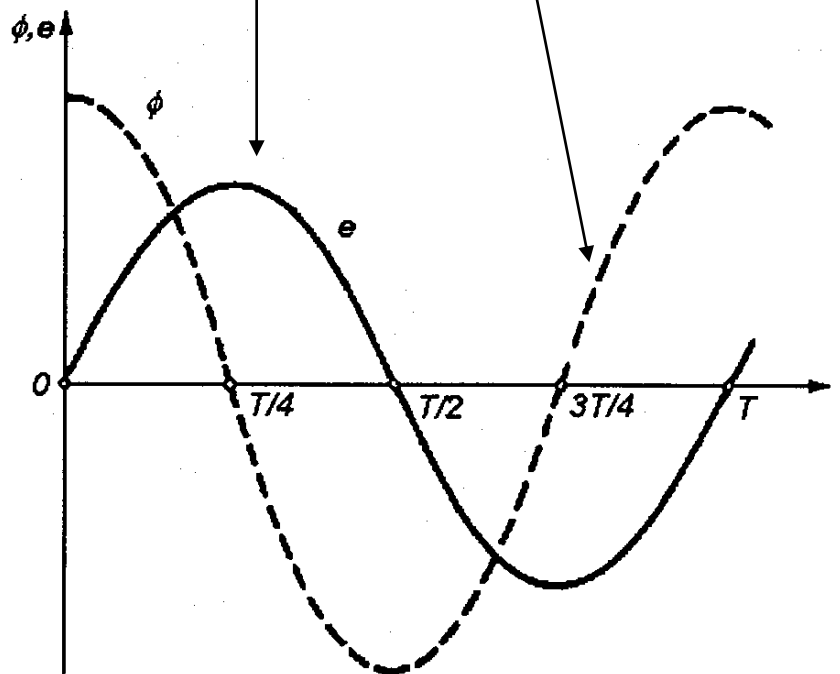
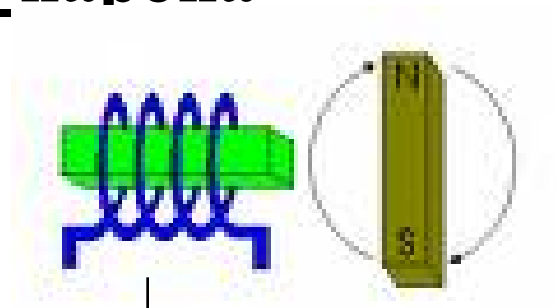
- Do induciranog napona može se doći i na način da svitak rotira u homogenom magnetskom polju indukcije B . Takav napon naziva se *naponom rotacije*, a u biti to je načelo rada generatora izmjenične struje.



$$e(t) = -N \frac{d\phi(t)}{dt} =$$
$$-N \frac{d}{dt} (B \cdot S \cdot \cos \omega t)$$

$$e(t) = N \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

Grafički prikaz magnetskog toka i induciranog izmjeničnog napona



**T – period izmjeničnog
napona [s]**

**$f=1/T$ – frekvencija (broj
titraja u s [Hz])**

SAMOINDUKCIJA MEĐUINDUKCIJA

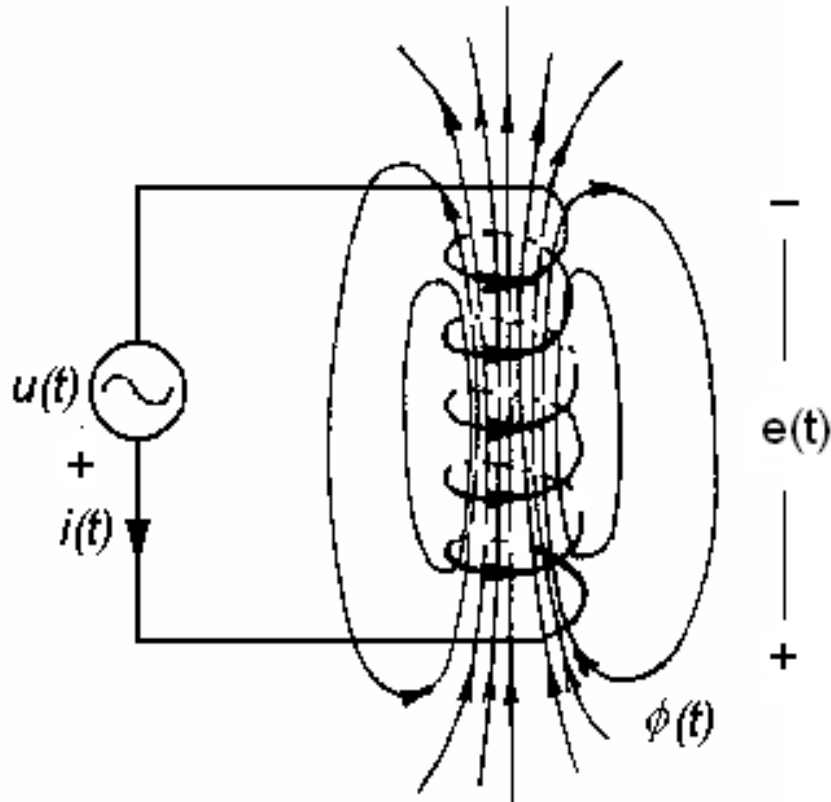
Svitak sa magnetskom jezgrom posjeduje induktivitet



$$L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot S}{l} \quad [H]$$

Samoindukcija

Pojava da se u istoj zavojnici (svitku) kojom protječe izmjenična električna struja inducira napon $e(t)$, kao posljedica promjenjivog magnetskog toka $\Phi(t)$, naziva se samoindukcija, a tako inducirani napon naziva se naponom samoindukcije.



$$e(t) = -L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

Međuidukcija

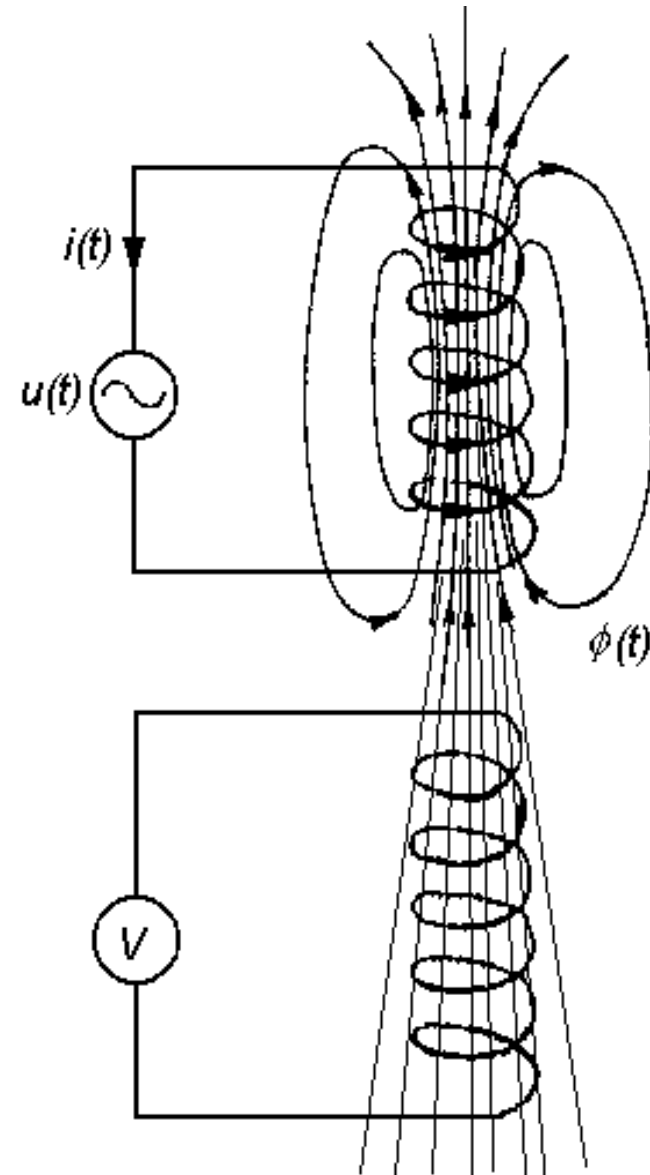
- Pojava stvaranja napona u donjem svitku kao posljedica promjenjivog magnetski toka u gornjem svitku koji obuhvaća i zavoje donjeg svitka naziva se međuidukcija.

$$e_2(t) = -N_2 \cdot \frac{d\phi(t)}{dt} = -N_2 \cdot \frac{N_1}{R_m} \cdot \frac{di_1(t)}{dt}$$

$$e_2(t) = -M_{1,2} \cdot \frac{di_1(t)}{dt}$$

$M_{1,2}$ - koeficijent međuidukcije (međuiduktivitet). Ukazuje na magnetsku povezanost prvog i drugog svitka.

$$M_{1,2} = \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

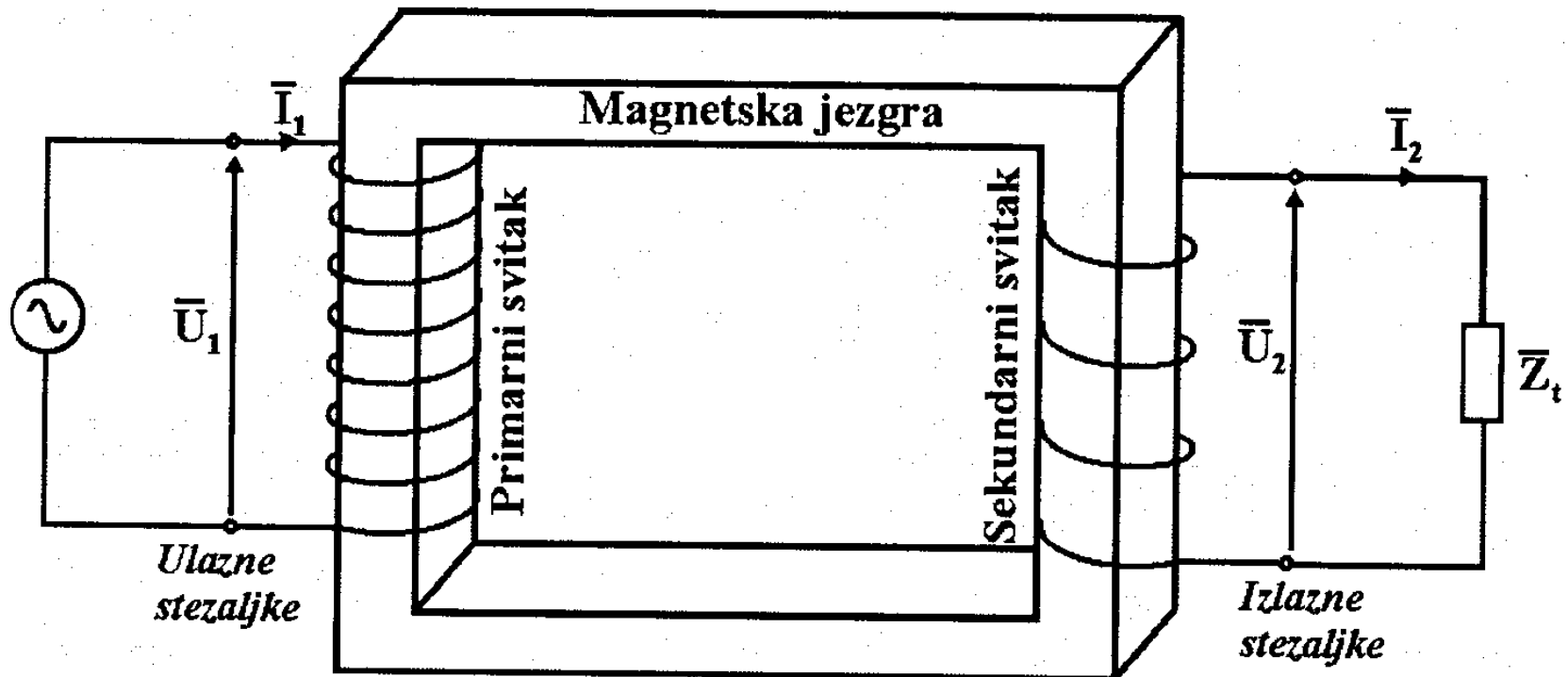


TRANSFORMATOR

Transformator

- **Transformator** statička je elektromagnetska naprava (električni stroj bez pokretnih dijelova) koji **povećava ili snižava izmjenični napon** na principu elektromagnetske indukcije.
- Pri tome se **ne mijenja frekvencija struje**. Pretvorba se vrši uz vrlo **mali utrošak energije** (toplina),
- Transformatori mogu biti **energetski, regulacijski, mjerni, laboratorijski, autotransformatori i specijalni**.

Jednofazni transformator



Jednofazni transformator

- Transformator se sastoji od dvije zavojnice (**primar i sekundar**) koje su električki izolirane, a povezane su magnetnim tokom.
- Magnetski tok **prolazi kroz magnetsku jezgru** (u nekim slučajevima i kroz zrak).

1. transf. jednađžba

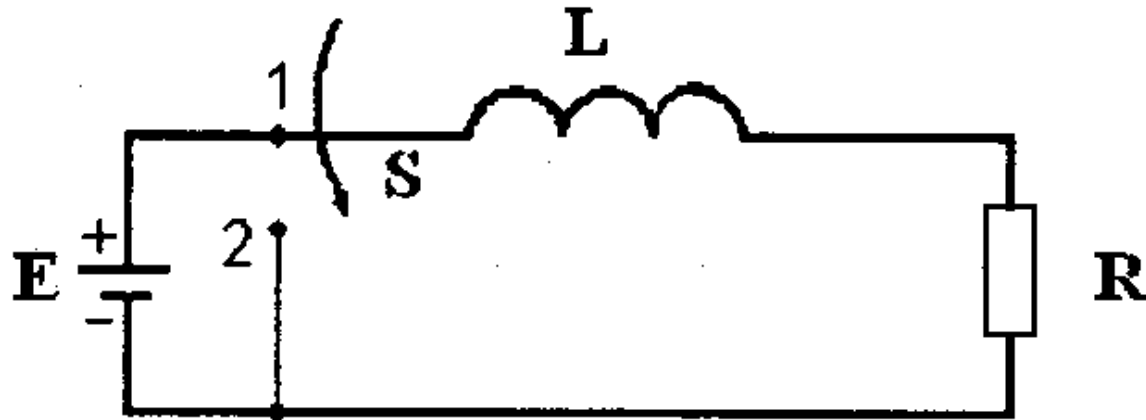
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

2. transf. jednađžba

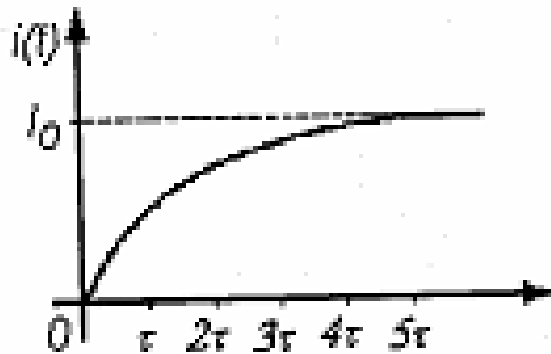
$$W_1 = W_2 \Rightarrow P_1 = P_2 \Rightarrow U_1 I_1 = U_2 I_2 \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

INDUKTIVITET U KRUGU ISTOSMJERNE STRUJE

Induktivitet u istosmjernom krugu



Sklopka u položaju 1

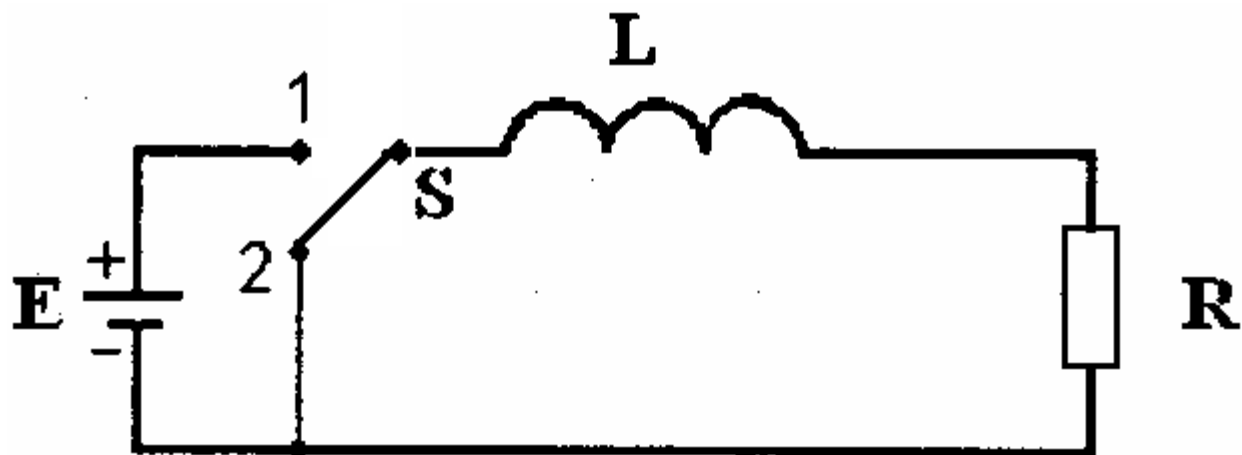


$$i(t) = I_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

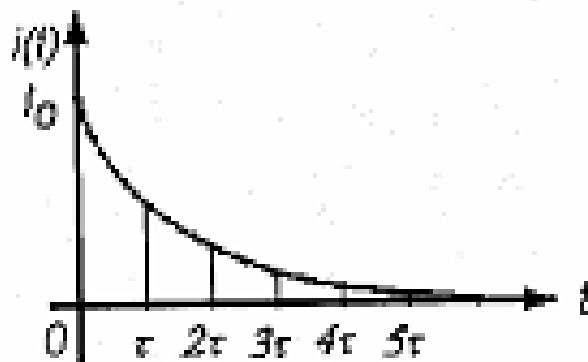
$$\tau = \frac{L}{R}$$

Svaki svitak posjeduje induktivitet L koji se mjeri u [H]

Induktivitet u istosmjernom krugu



Sklopka u položaju 2



$$i(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Energija magnetskog polja u induktivitetu

$$W_m(t) = L \cdot \int_0^I i(t) \cdot di(t) \qquad W_m = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

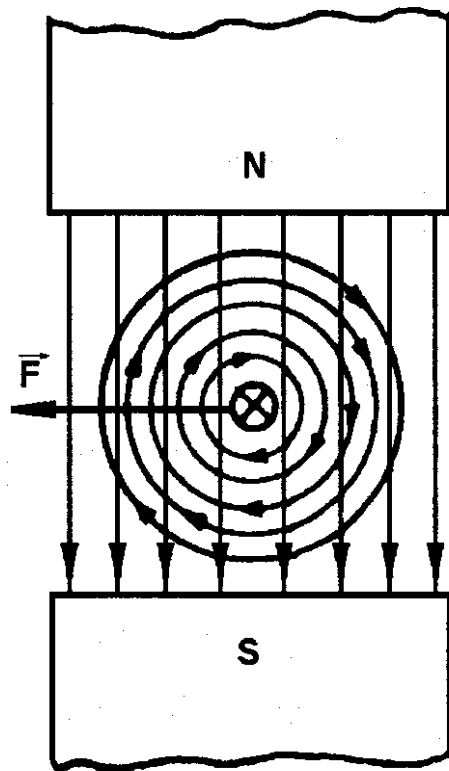
- Magnetska energija pohranjena u volumenu V dana je izrazom:

$$W_m = \frac{1}{2} \cdot B \cdot H \cdot V \qquad W_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu_0} \cdot V$$

- Ta energija je element za proračun **privlačne sile** elektromagneta.

SILE U MAGNETSKOM POLJU

Sila na vodič kojim protječe struja a nalazi se u magnetskom polju

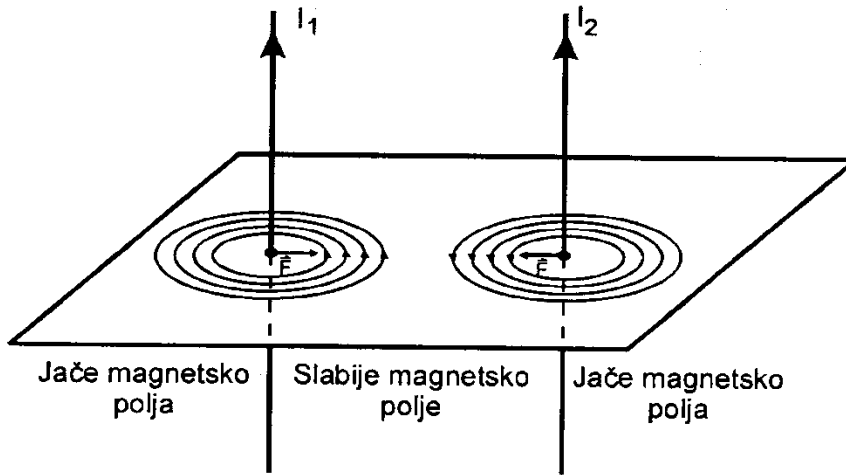


$$\vec{F} = B \cdot l \cdot I$$

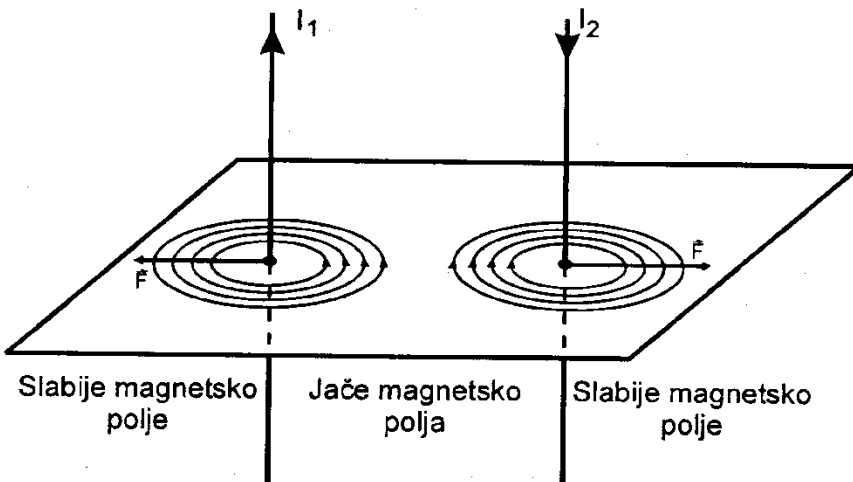
Pravilo lijeve ruke:

Ako se lijeva ruka postavi tako da silnice magnetskog polja upadaju na dlan ispružene lijeve šake i ako ispruženi prst pokazuju smjer struje, onda palac pokazuje smjer djelovanja sile.

Međusobno djelovanje ravnih vodiča kojima protječu električne struje

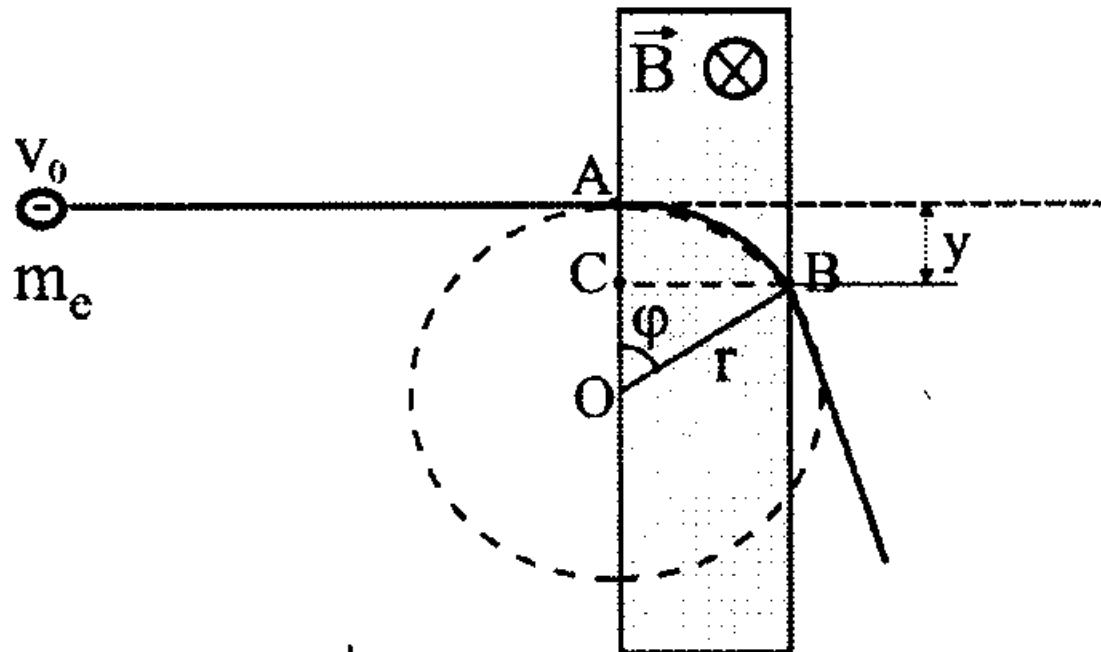


$$F_1 = \mu_0 \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \ell_1$$



$$F_2 = \mu_0 \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \ell_2$$

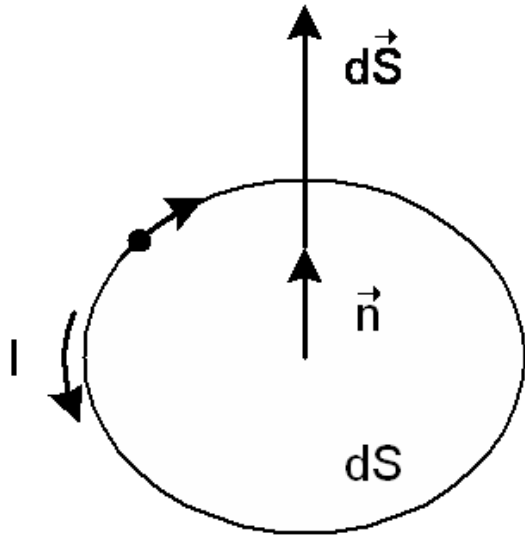
Sila na naboj u gibanju



$$F = Q \cdot v \cdot B$$

MAGNETSKA SVOJSTVA MATERIJALA

Magnetska svojstva materijala



Magnetski moment petlje:

$$\vec{m} = I \cdot \vec{n} \cdot dS$$

\vec{n} vektor normale

Magnetska svojstva materijala mogu se objasniti međudjelovanjem vanjskog polja i magnetskih dipola.

Svaki kružeći elektron može se nadomjestiti ekvivalentnom malom strujnom petljom koja omeđuje površinu dS , a električna struja I petlje teče suprotno od smjera kruženja elektrona.

Magnetski materijali

dijamagnetski

-bizmut, zlato, bakar, srebro, germanij, silicij, grafit, aluminijev oksid, itd.

-Silnice se šire kad prolaze kroz materijal, $\mu_r < 1$

paramagnetski

-zrak, aluminij, kromov klorid i oksid, paladij, željezni oksid, željezni klorid, itd.

-Silnice samo prolaze kroz materijal, $\mu_r \sim 1$

feromagnetski

-željezo Fe, kobalt Co, nikal Ni, gadolinij Gd, disprozij Dy, terbij Tb, holmij Ho, erbij Er i njihove slitine

-Silnice se skupljaju u materijalu, $\mu_r \gg 1$

Feromagnetski materijali

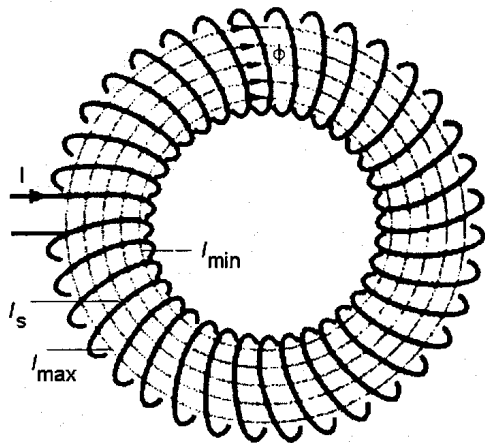
Magnetski momenti atoma grupirani su u magnetske domene (10^{15} atoma). *Unutar* jedne domene magnetski su momenti, zbog jakog međudjelovanja, usmjereni uvijek u jednom pravcu (spontana magnetizacija).



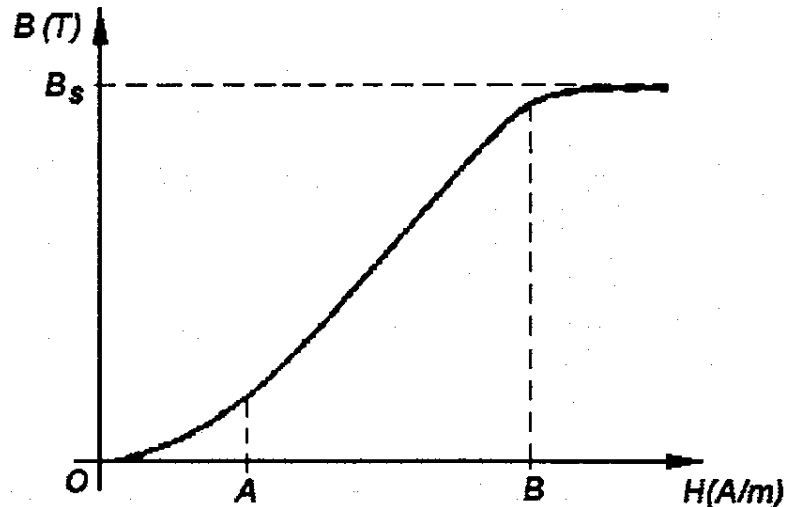
•Bez narinutog vanjskog magnetskog polja magnetski momenti pojedinih domena proizvoljno su orijentirani pa je ukupna magnetiziranost materijala jednaka nuli.

•Sa narinutim vanjskim magnetskim poljem magnetski momenti pojedinih domena se orijentiraju u istom smijeru.

Krivulja magnetiziranja istosmjernom strujom torusnog svitka sa feromagnetskim materijalom



Slika 9.12: Torusni svitak

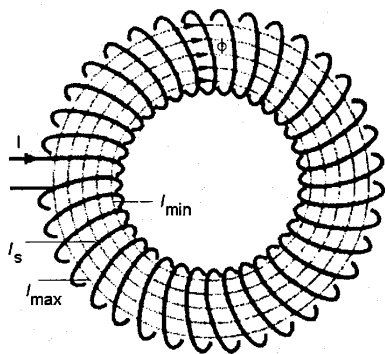


OA –područje reverzibilnog pomaka domena, domene se vrate kada vanjskog polja nestane

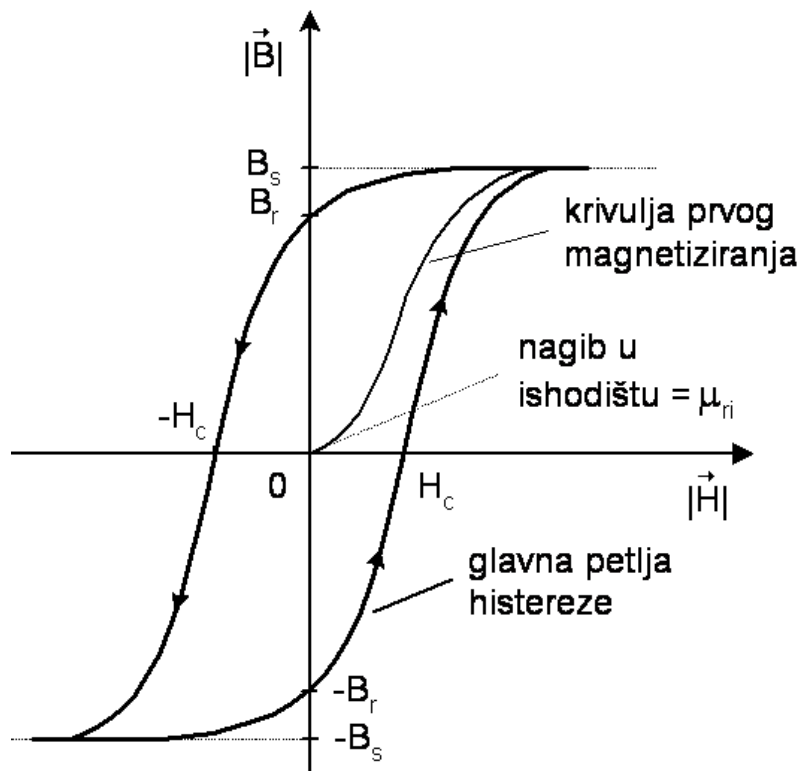
AB –područje ireverzibilnog pomaka domena (neke od domena trajno ostaju usmjerene u pravcu vanjskog polja i kada ono nestane)

$\geq B$ - područje zasićenja (sve domene trajno ostaju usmjerene u pravcu vanjskog polja)

Krivulja magnetiziranja izmjeničnom strujom -Petlja histeroze



Slika 9.12: Torusni svitak



Remanentna indukcija
 B_r je vrijednost za:

$$|\vec{H}| = 0$$

Koercitivna jakost
magnetskog polja
(Koercitivna sila) H_c je
vrijednost za :

$$|\vec{B}| = 0$$

Feromagnetski materijali i temperatura

- Svaki feromagnetski materijal karakterizira Curieva feromagnetska temperatura T_{cf} .
- Porastom temperature, zbog termičkog gibanja atoma oko ravnotežnog položaja, slabi magnetiziranost domena.
- Na temperaturama bliskim T_{cf} (željezo 1043 °C, kobalt 1395 °C , nikal 631 °C) domene su razorene, a na još višim temperaturama feromagnetski materijal ima svojstva paramagnetskog.

Podjela feromagnetskih materijala

Feromagnetski materijali se po obliku petlje histereze dijele na meke i tvrde.

Meki su uske petlje histereze i male vrijednosti koercitivne jakosti magnetskog polja ($H_c < 800 \text{ A/m}$). (*čisto željezo, meki čelik, slitine željeza i silicija, željeza i nikla, željeza, silicija i aluminiya, željeza i kobalta, željeza, nikla i kobalta, željeza, nikla i molibdena, željeza, nikla i kroma ...*)

Tvrđi imaju široku petlju histereze i veliku vrijednost koercitivne jakosti magnetskog polja. (*martenzitni čelici, slitine željeza, aluminiya i nikla, željeza, aluminiya, nikla i kobalta, bakra, nikla i kobalta, oerstit 900, slitina metala rijetkih zemalja,...*)

Meki feriti (nikal – cink, mangan - cink feriti,...)

Tvrđi feriti (barij ferit – stalni magnet, kobalt ferit)

Vrtložne struje

- Kad se masivni *metalna jezgra nalazi u promjenjivom magnetskom polju* u njoj će se inducirati vrtložne struje: male zatvorene strujne petlje unutar vodiča, koje zagrijavaju jezgru !!!!
- Da bi se umanjila pojava vrtložnih struja jezgre se izrađuju iz tankih limova koji su međusobno izolirani (jezgre transformatora). Na taj se način tim strujnim petljama povećava put i otpor.

BRODSKI MAGNETIZAM

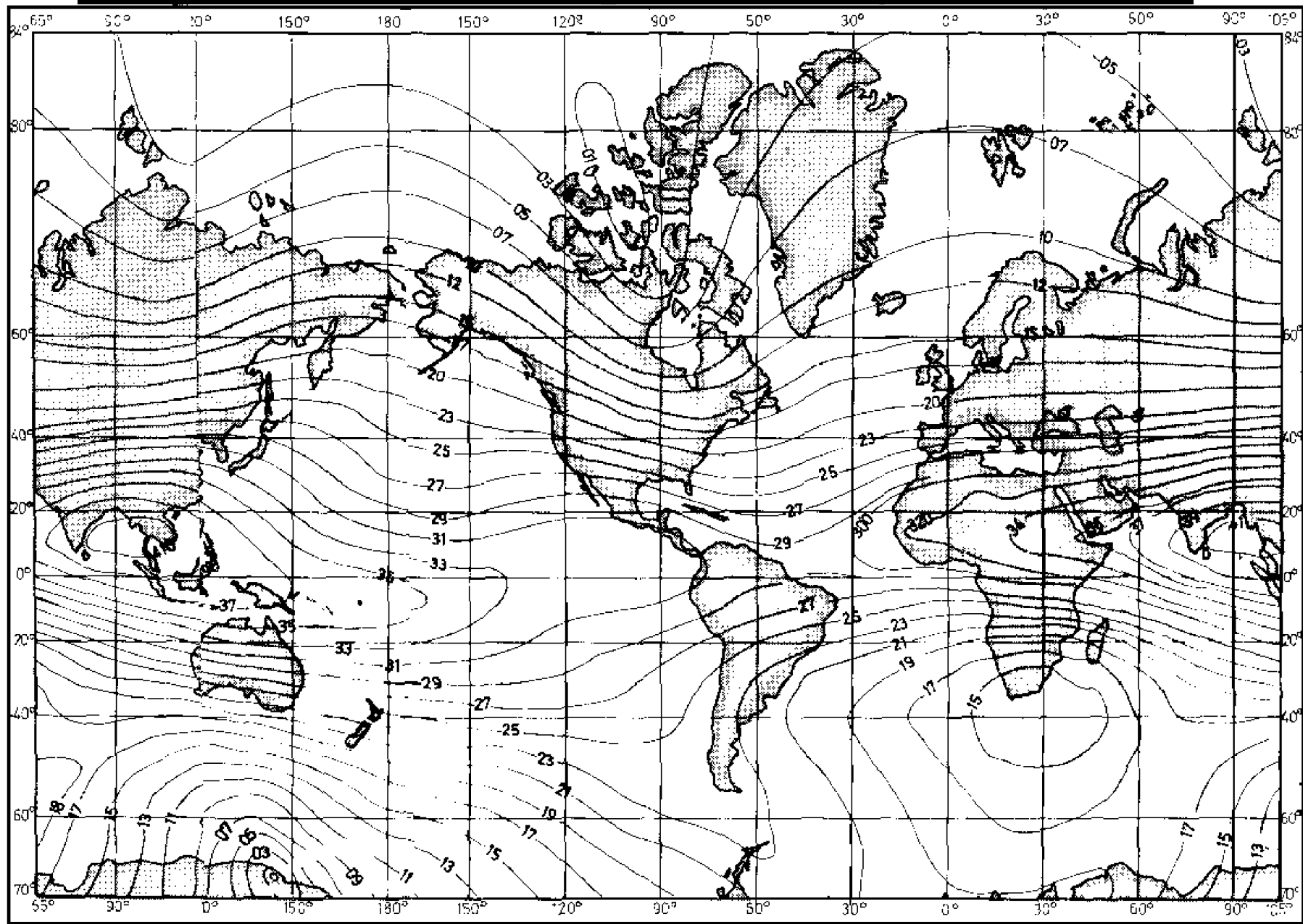
Brodski magnetizam

- Zemlja se može zamisliti kao magnetski dipol čija je os pomaknuta od osi rotacije.
- Promatraju li se magnetske silnice u odnosu na površinu Zemlje vidi se da će na nekoj proizvoljnoj poziciji silnice upadati u ravninu koja tangira zemljinu kuglu u toj točki pod nekim kutom α .
- Vektor rezultatnog iznosa magnetske indukcije ili polja može se rastaviti na vodoravnu i okomitu komponentu.

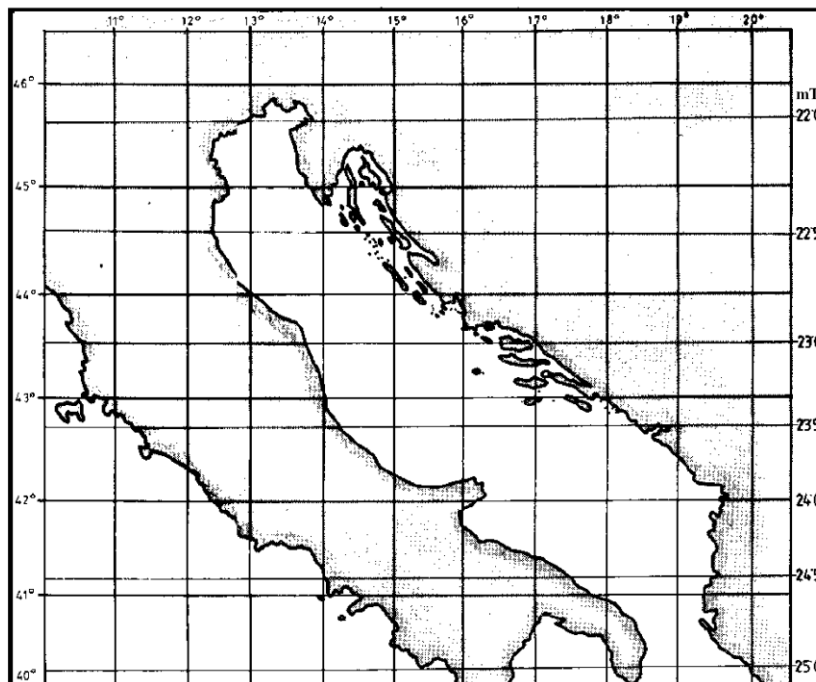
Brodski magnetizam

- Na magnetskoj karti svijeta označene su linije istog iznosa magnetske indukcije. Nazivaju se ekviinducijskim ili izoinducijskim linijama.
- Oko ekvinducijskih linija, uz određenu toleranciju, postoje pojasevi iste vodoravne komponente (ekvihore) i okomite (ekviverte).
- Okomita komponenta je pod pravim kutom u odnosu na ravnu površinu mora, a vodoravna ima otklon u odnosu na meridijan za kut deklinacije (varijacije) ϑ .

Jakost vodoravne komponente mag. Polja [A/m]



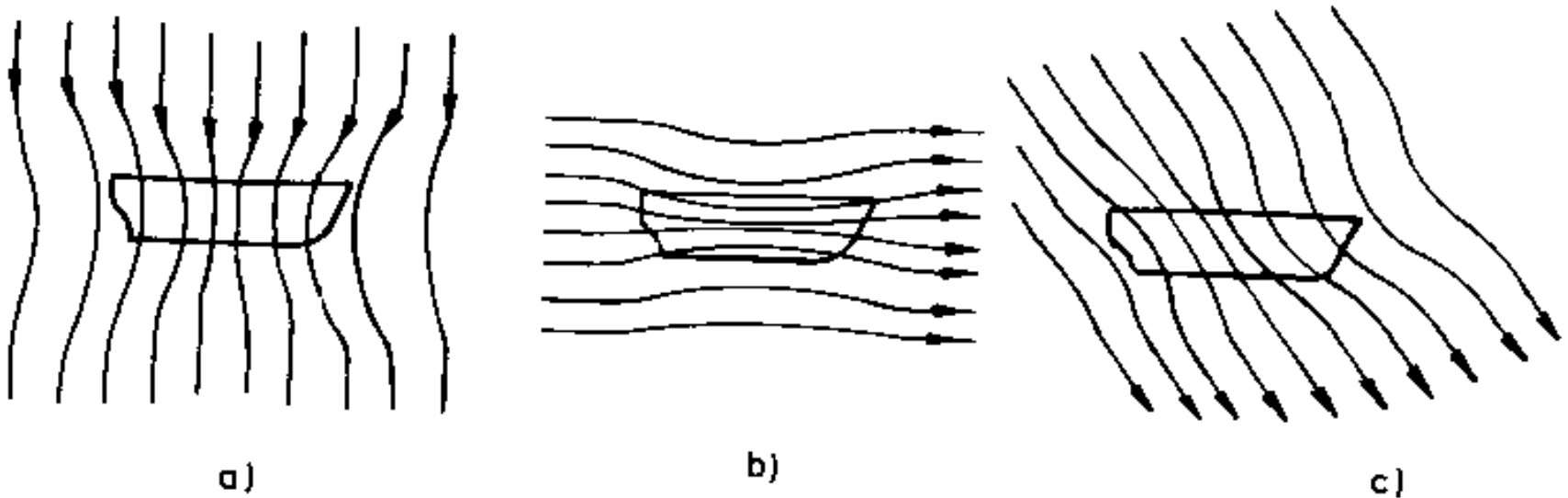
Jakost vodoravne komponente mag. Polja [A/m]



Kod Splita je intenzitet okomite komponente magnetskog polja Zemlje 38 [μT], a vodoravne 23 [μT]. Jadran se može smatrati jednom magnetskom zonom s tolerancijom ± 2 [μT] po okomitoj komponenti i $\pm 1,5$ [μT] po vodoravnoj.

Brodski magnetizam

- Ako se u homogenom magnetskom polju zemlje nađe brod od feromagnetskog materijala, homogenost magnetskog polja će se poremetiti. Unutar feromagnetskog materijala se pod utjecajem magnetskog polja orijentiraju magnetski momenti te se ovakav magnetizam naziva inducirani brodski magnetizam.



Sl. 9 – Tok magnetskih silnica u okolini brda:

a) na magnetskom polu; b) na magnetskom ekvatoru; c) na nekoj geografsko – magnetskoj širini .

Brodski magnetizam

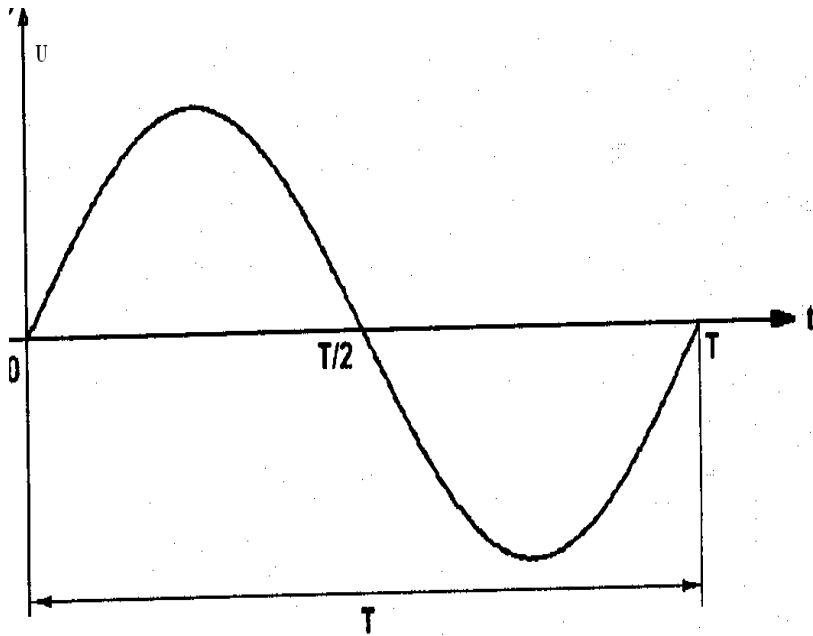
- **Intenzitet induciranog brodskog magnetizma mijenja se po sinusoidi kako brod mijenja kurs. Komponente magnetske indukcije također se mijenjaju ako brod posrće ili se ljulja.**
- **Brodski magnetizam može se iskoristiti za aktivaciju podvodnih mina u vojnim primjenama. Stoga se brodski magnetizam nadzire, a povremeno i kompenzira, tj. poništava u posebnim stanicama za kompenzaciju.**

IZMJENIČNE STRUJE

Uvod u izmjenične struje

- **Izmjenične struje su vremenski promjenljive struje kojima se pored jakosti mijenja i smjer.**
- **Od najvećeg su interesa periodički promjenljive izmjenične veličine.**

Uvod u izmjenične struje



$$f(t) = f(t + u \cdot T)$$

$$f = \frac{1}{T} \left[\frac{1}{s} = Hz \right]$$

Izmjenični napon se periodički ponavlja

Iznos izmjenične veličine u određenom trenutku vremena naziva se trenutnom vrijednošću izmjenične veličine

FAZORSKI PRIKAZ IZMJENIČNE STRUJE

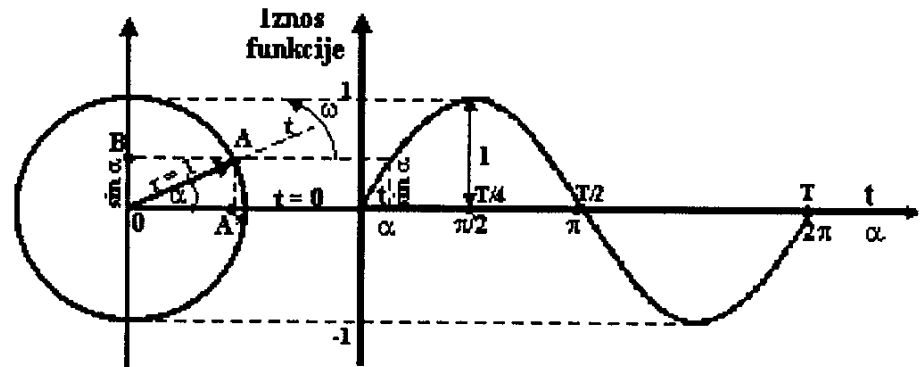
Fazor

Sinusne veličine mogu se osim kao funkcije vremena pokazati i vektorski (fazorski) – često puta zgodnije.

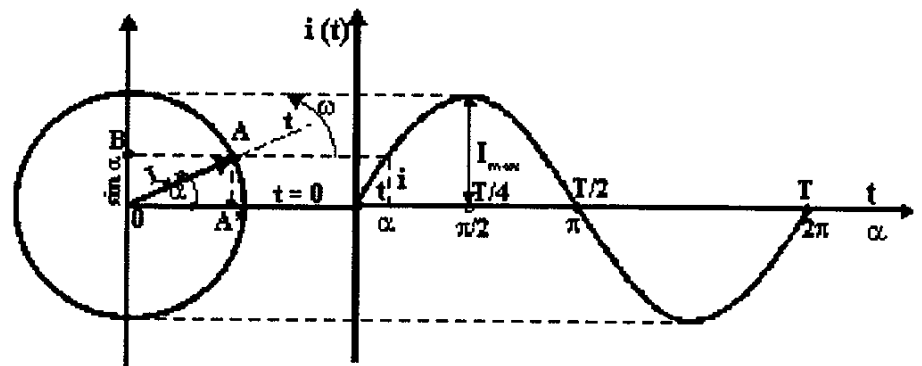
Fazor rotira konstantnom brzinom ω u smjeru suprotno od kazaljke na satu. Projekcija fazora na okomitu os jednaka je sinus kuta $\alpha = \omega t$.

Dužina vektora jednaka je maksimalnoj vrijednosti sinusne veličine

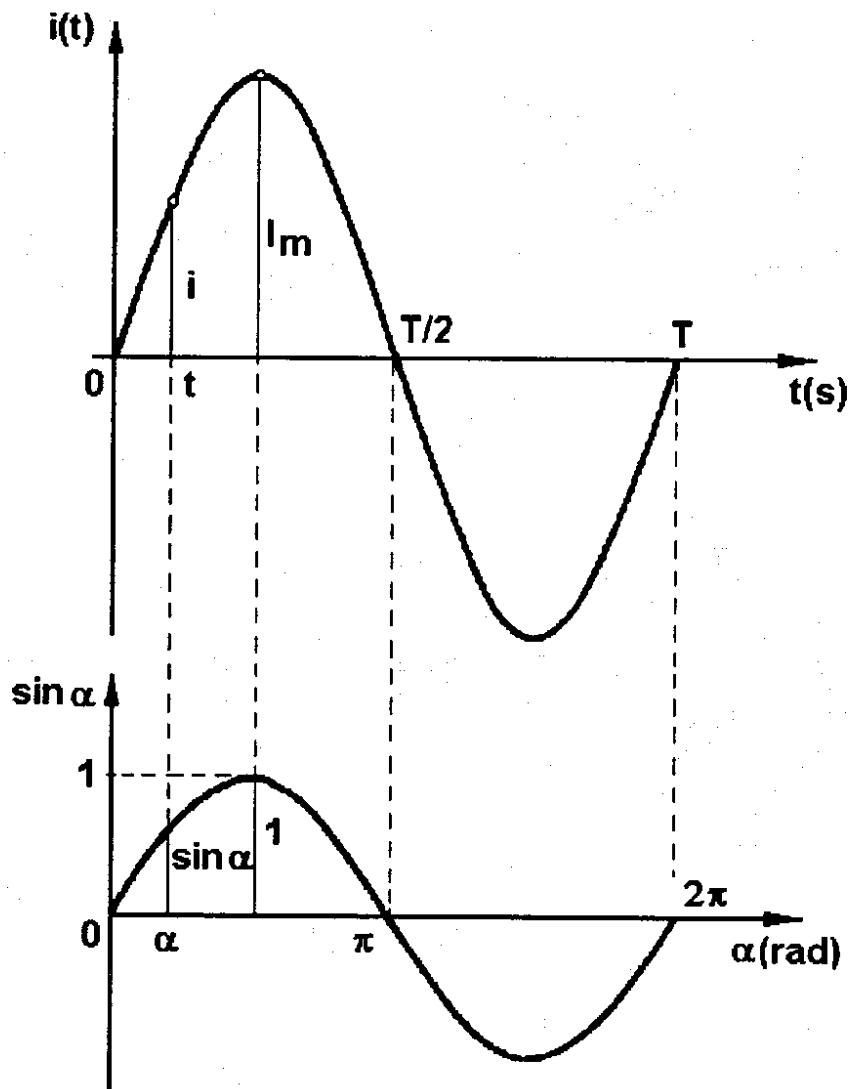
Kut koji fazor zatvara sa horizontalnom osi u $t=0$ predstavlja fazni pomak.



a)



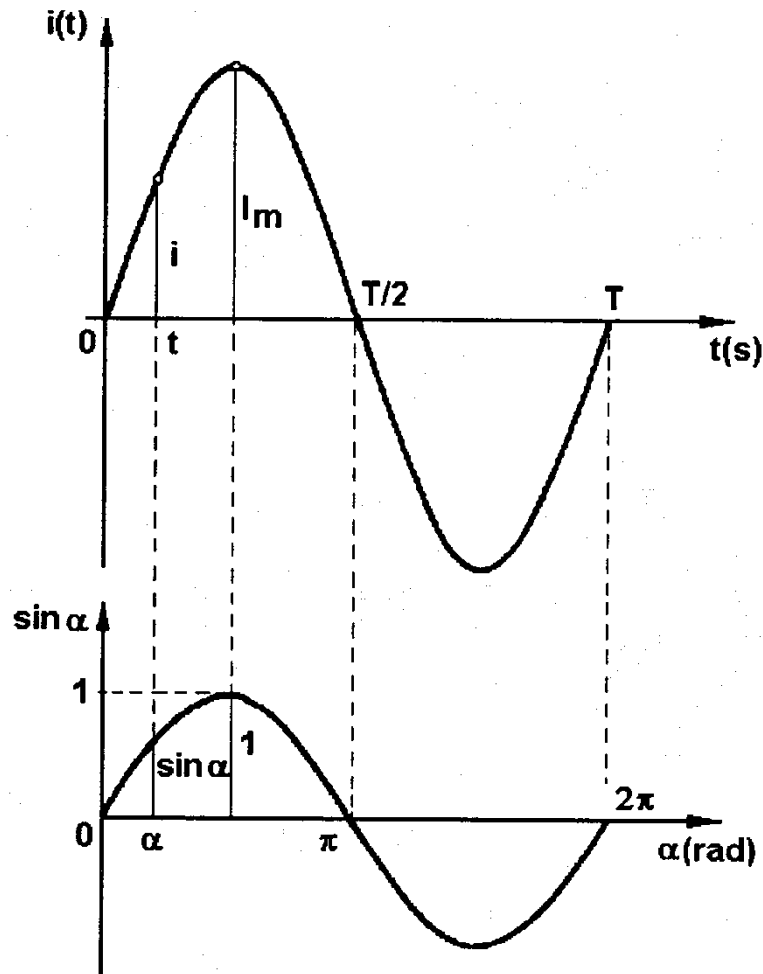
Izmjenična struja kao funkcija vremena i kuta



$$i(t) : I_m = \sin \alpha : 1$$

$$i(t) = I_m \cdot \sin \alpha$$

Izmjenična struja kao funkcija vremena i kuta



Sinusoida kao funkcija vremena:

$$t : T = \alpha : 2\pi$$

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t$$

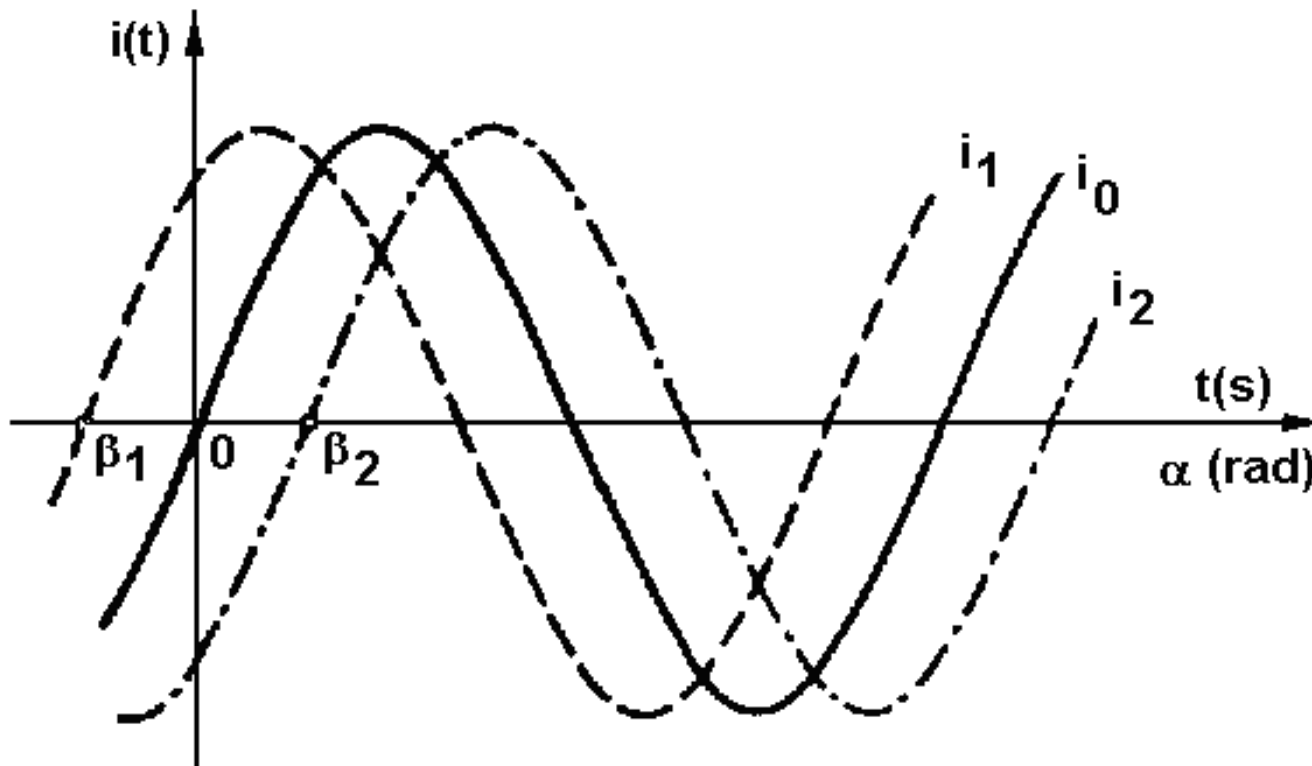
$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

ω – kružna frekvencija

$$\alpha = \omega \cdot t$$

$$i(t) = I_m \cdot \sin \omega \cdot t$$

Fazni pomak



$$i_1(t) = I_m \sin (\omega \cdot t + \beta_1)$$

$$i_2(t) = I_m \sin (\omega \cdot t - \beta_2)$$

$$i_0(t) = I_m \sin (\omega \cdot t)$$

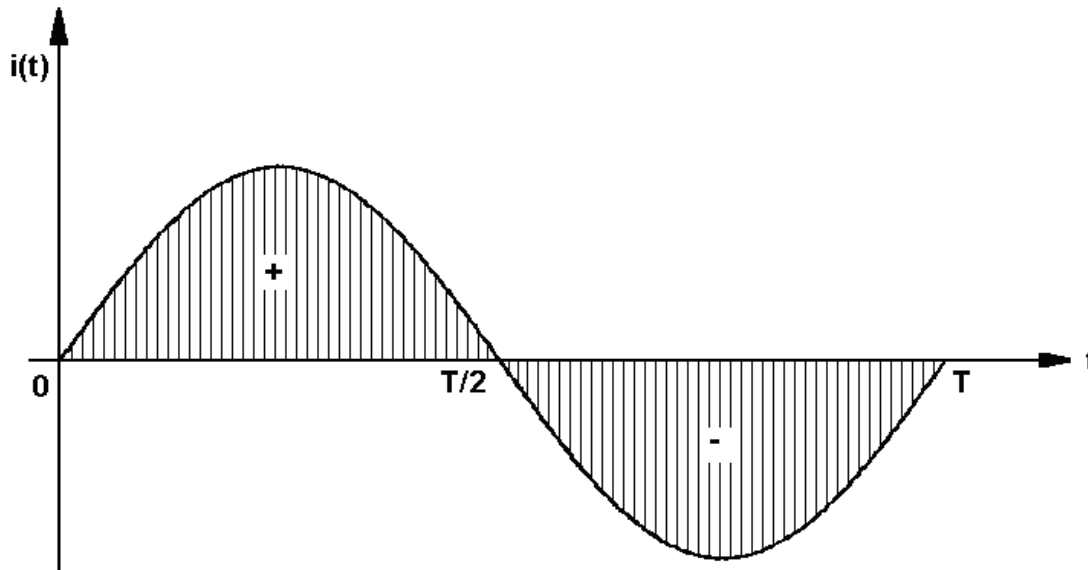
**SREDNJA,
SREDNJA ELEKTROLITSKA,
EFEKTIVNA VRIJEDNOST
IZMJENIČNE STRUJE**

Srednja vrijednost izmjenične struje

- Srednja vrijednost izmjenične struje u vremenskom intervalu T definirana je izrazom:

$$I_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) \cdot dt$$

- Za sinusoidalnu izmjeničnu struju očigledno je da je srednja vrijednost jednaka nuli.



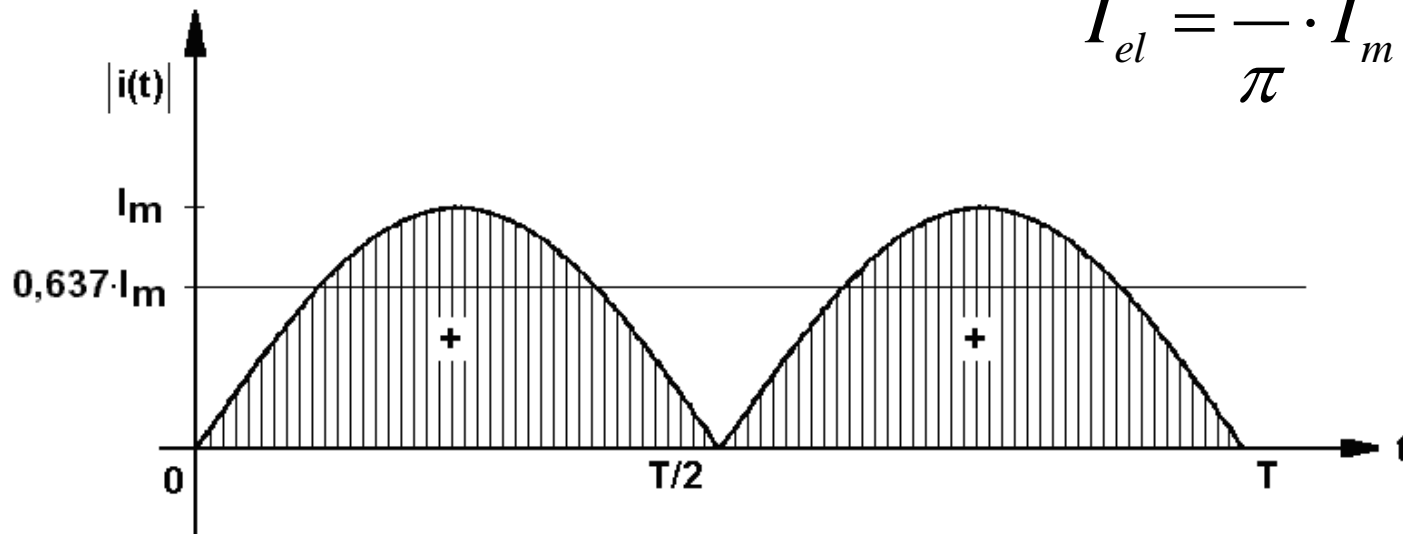
Elektrolitska srednja vrijednost izmjenične struje

- Elektrolitska srednja vrijednost izmjenične struje u vremenskom intervalu T definirana je izrazom:

$$I_{el} = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| \cdot dt$$

- Za sinusoidalnu izmjeničnu struju elektrolitska srednja vrijednost jednaka je

$$I_{el} = \frac{2}{\pi} \cdot I_m = 0,637 \cdot I_m$$

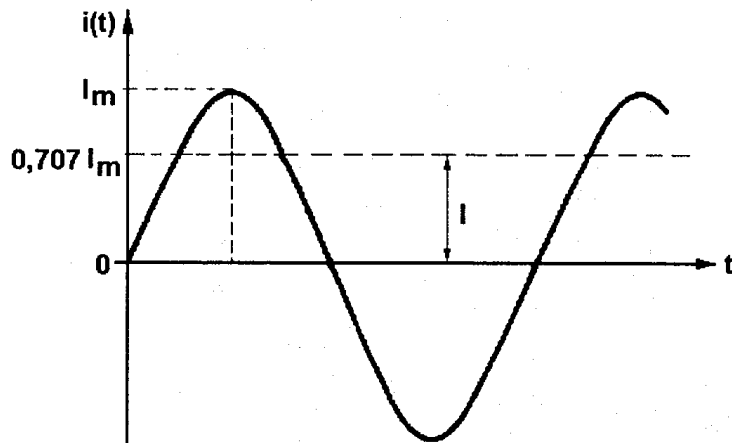


Efektivna vrijednost izmjenične struje (RMS value)

- Efektivna vrijednost izmjenične struje odgovara onoj vrijednosti konstantne istosmjerne struje I koja na otporniku otpornosti R proizvede istu količinu topline kao ta izmjenična struja u istom vremenu na istom otporniku

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) \cdot dt}$$

- Za sinusoidalnu izmjeničnu struju *efektivna vrijednost jednaka je*



$$I_{ef} = 0,707 \cdot I_m$$

OMJERNI FAKTORI

Omjerni faktori

- Najčešće se mjere efektivne vrijednosti sinusne izmjenične struje.
- Instrumenti koji mjere efektivnu vrijednost su *jako skupi*. Zbog toga se izrađuju jeftini mjerni instrumenti koji mjere elektrolitsku srednju vrijednost koju je lako izmjeriti, te se tako dobivena vrijednost pomnoži sa omjernim faktorom (faktorom oblika) da se dobije efektivna vrijednost.
- Omjerni faktori su:
 - faktor oblika,
 - tjemeni faktor,
 - srednji faktor

Faktor oblika

- Faktor oblika je omjer efektivne i elektrolitske srednje vrijednosti izmjenične veličine.
- Za sinusni valni oblik:

$$\xi = \frac{\frac{I_m}{\sqrt{2}}}{\frac{2 \cdot I_m}{\pi}} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1,11$$

Tjemeni faktor

- Tjemeni faktor je omjer maksimalne i efektivne vrijednosti izmjenične veličine.
- Za sinusni valni oblik:

$$\sigma = \frac{I_m}{\frac{I_m}{\sqrt{2}}} = \sqrt{2} = 1,414$$

Srednji faktor

- Srednji faktor je omjer elektrolitske srednje i maksimalne vrijednosti izmjenične veličine.
- Za sinusni valni oblik:

$$\zeta = \frac{2 \cdot I_m}{\pi} = \frac{2}{\pi} = 0,637$$

POJEDINAČNA OPTEREĆENJA IZVORA IZMJENIČNE STRUJE

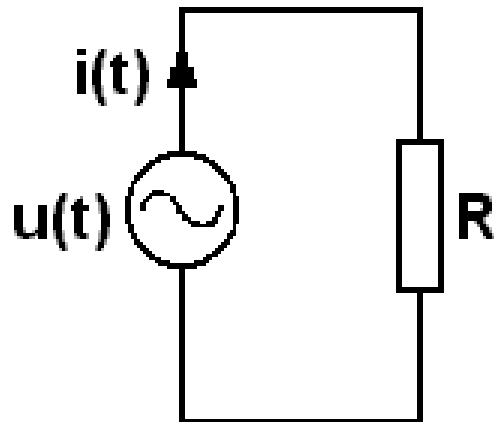
Opterećenja u izmjeničnom strujnom krugu

- radno (djelatno) opterećenje izmjeničnog strujnog kruga;
- induktivno opterećenje izmjeničnog strujnog kruga;
- kapacitivno opterećenje izmjeničnog strujnog kruga.

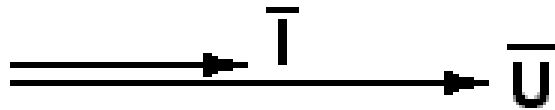
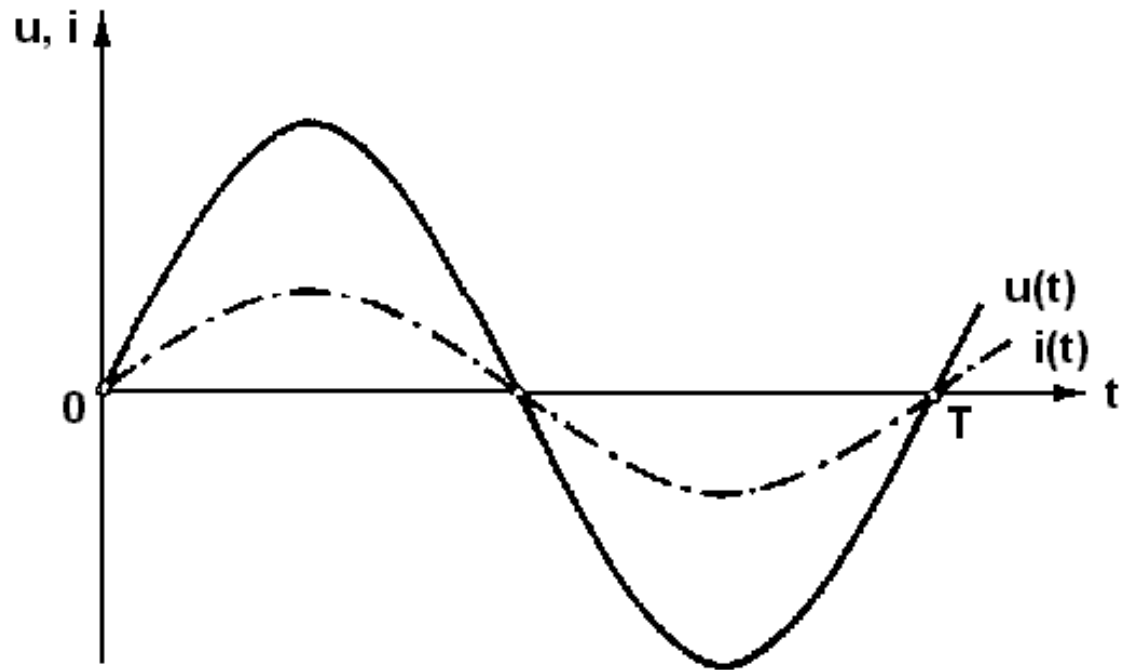
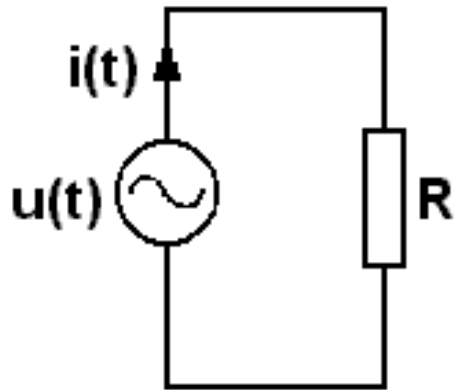
RADNO OPTEREĆENJE

Radno opterećenje

- Pod radnim opterećenjem podrazumjeva se opterećenje koji ne stvara ni magnetsko ni elektrostatsko polje, već samo otporno (omsko) opterećenje.
- Idealno radno opterećenje ne postoji, ali za niske frekvencije takvim opterećenjem mogu se smatrati: žarulje, grijači otpornici.



Radno opterećenje



$$u(t) = U_m \cdot \sin \omega t$$

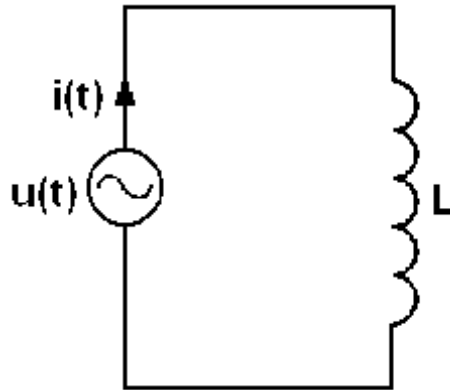
$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{U_m}{R} \cdot \sin \omega t = I_m \cdot \sin \omega t$$

$$\varphi = 0^\circ - 0^\circ = 0^\circ$$

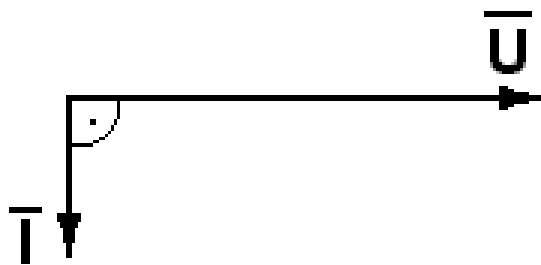
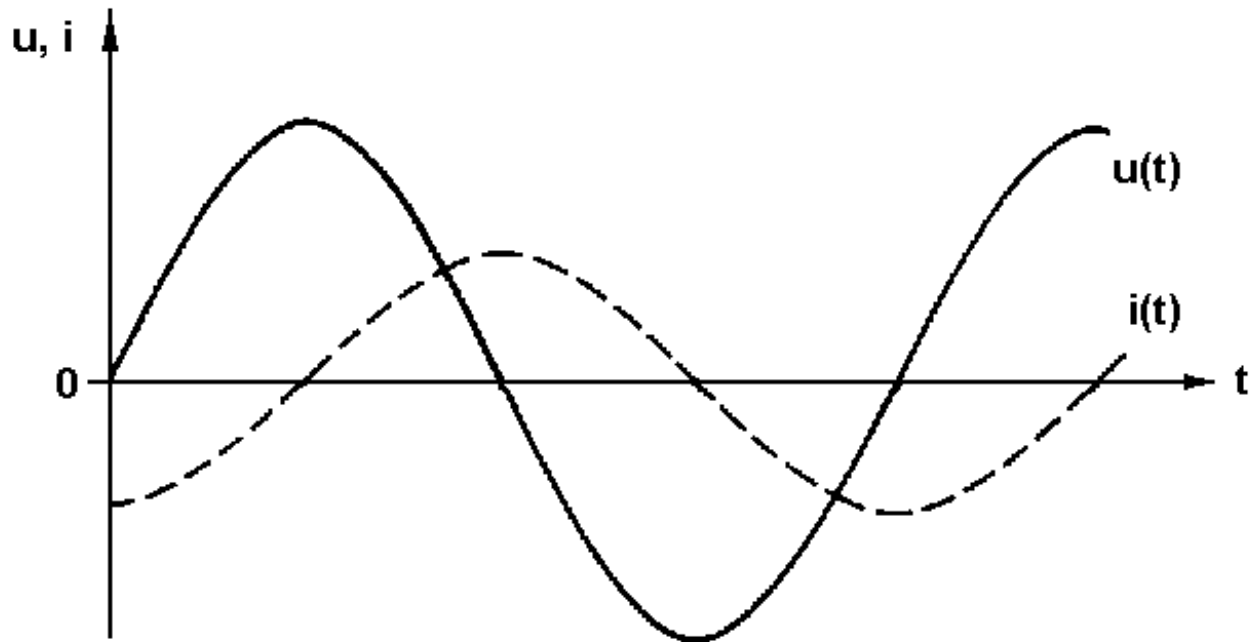
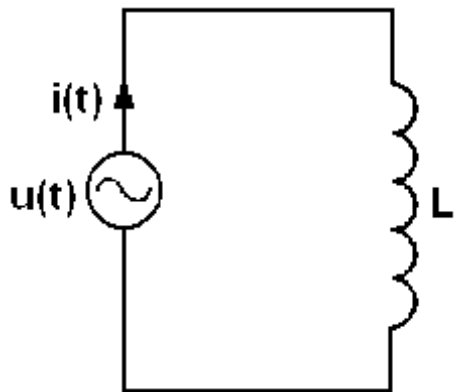
INDUKTIVNO OPTEREĆENJE

Induktivno opterećenje

- Pod induktivnim opterećenjem podrazumijeva se opterećenje koji stvara magnetsko polje.
- Induktivnim opterećenjem mogu se smatrati zavojnice bez i sa magnetskom jezgrom, releji, elektromotori, transformatori ...



Induktivno opterećenje



$$u(t) = U_m \cdot \sin \omega t$$

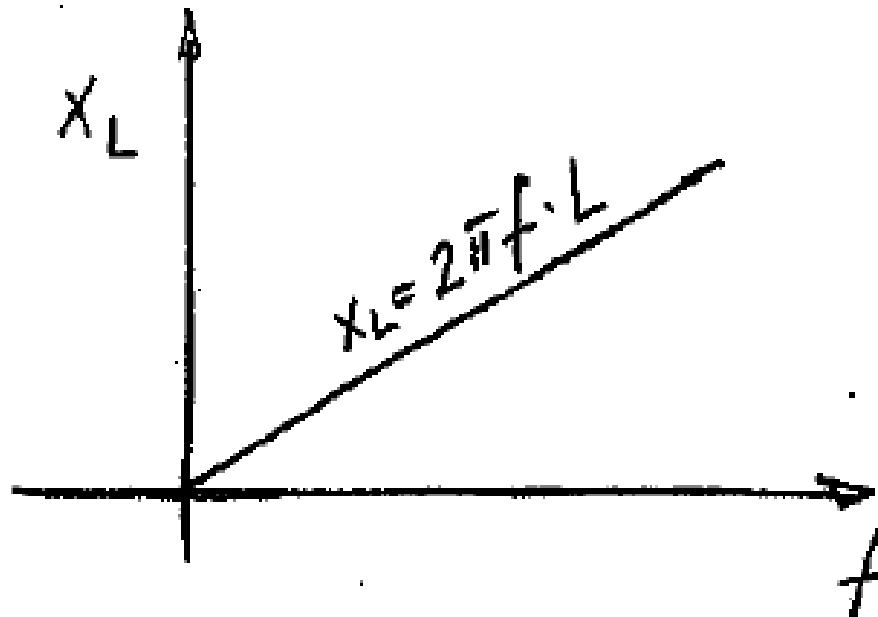
$$i(t) = I_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\varphi = \alpha_u - \alpha_i = 0^\circ - (-90^\circ) = +90^\circ$$

Induktivni otpor u izmjeničnom strujnom krugu

Povećanjem frekvencije povećava se i induktivni otpor

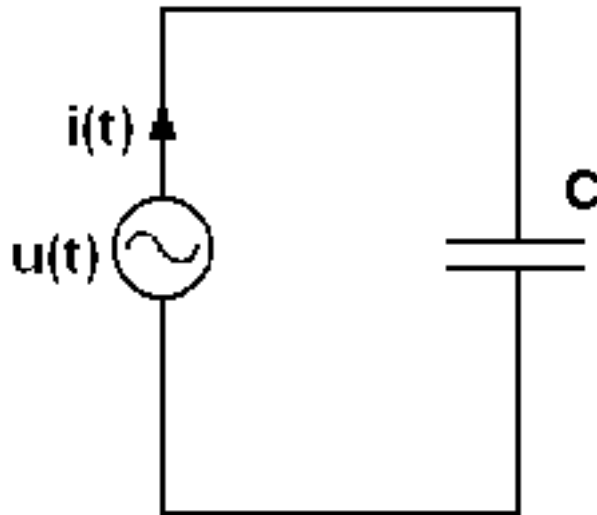
$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \left[\text{Hz} \cdot \text{H} = \frac{1}{\text{s}} \cdot \frac{\text{Vs}}{\text{A}} = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega \right]$$



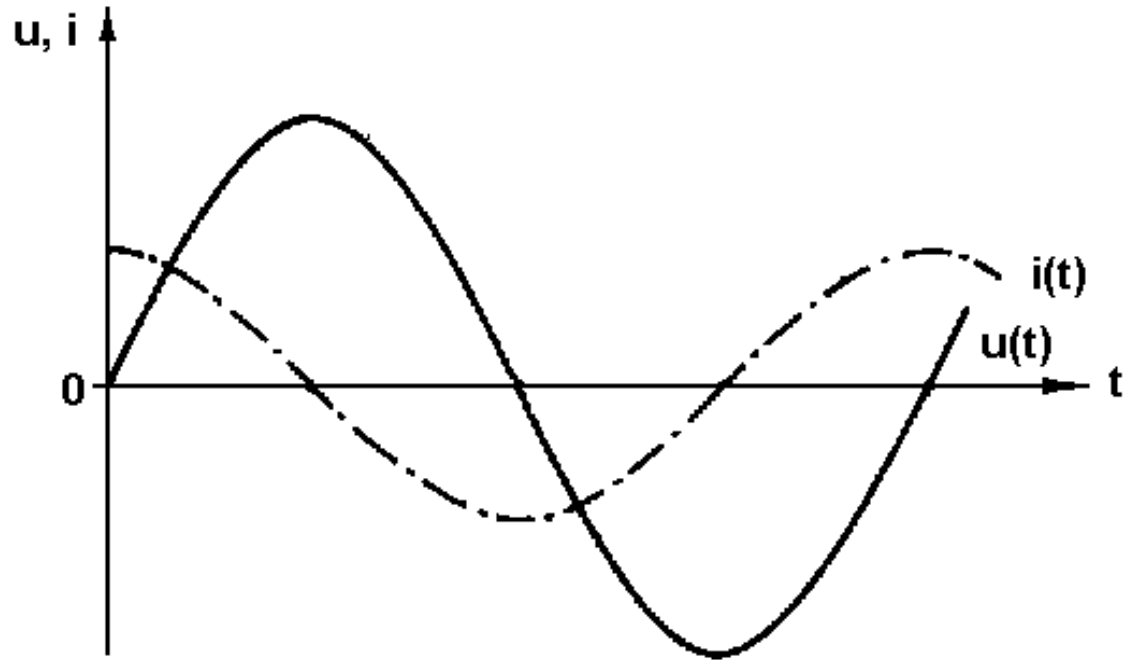
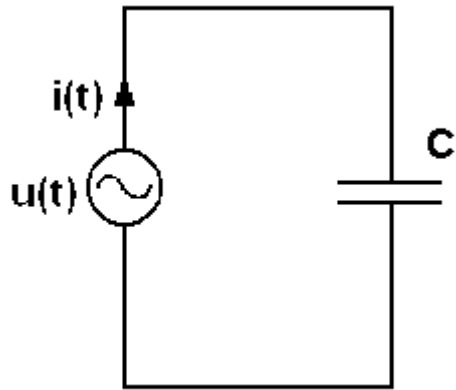
KAPACITIVNO OPTEREĆENJE

Kapacitivno opterećenje

- Pod kapacitivnim opterećenjem podrazumjeva se opterećenje koji stvara kapacitivno polje.
- Kapacitivnim opterećenjem mogu se smatrati kondenzatori, fluorescentne lampe, ali i električni strojevi u posebnim režimima rada



Kapacitivno opterećenje



$$u(t) = U_m \cdot \sin \omega t$$

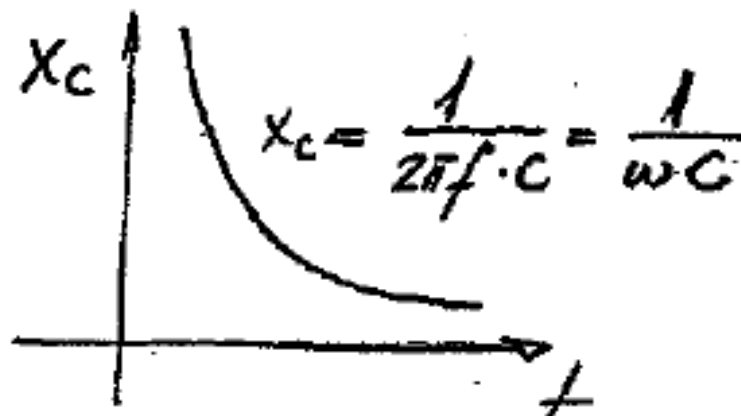
$$i(t) = I_m \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\varphi = \alpha_u - \alpha_i = 0^\circ - (90^\circ) = -90^\circ$$

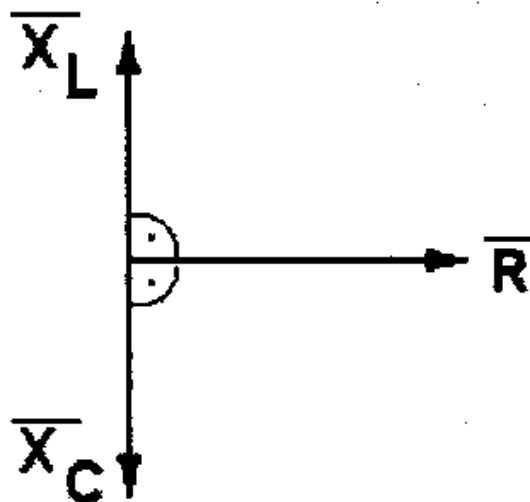
Kapacitivni otpor u izmjeničnom strujnom krugu

Povećanjem frekvencije smanjuje i kapacitivni otpor

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \left[\frac{1}{\frac{1}{s} \cdot \frac{As}{V}} = \frac{V}{A} = \Omega \right]$$



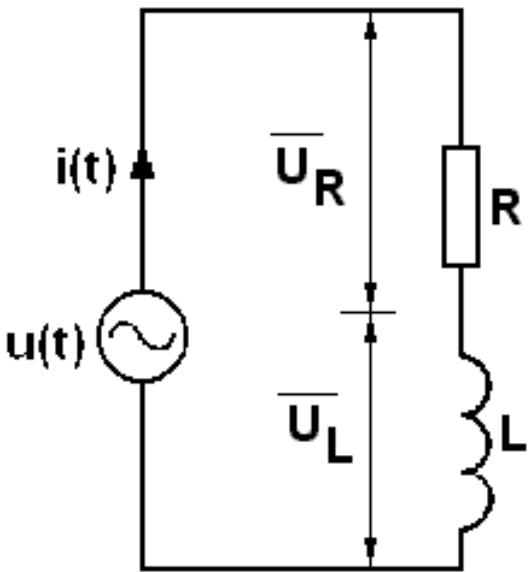
Fazorski prikaz otpora u izmjeničnom strujnom krugu



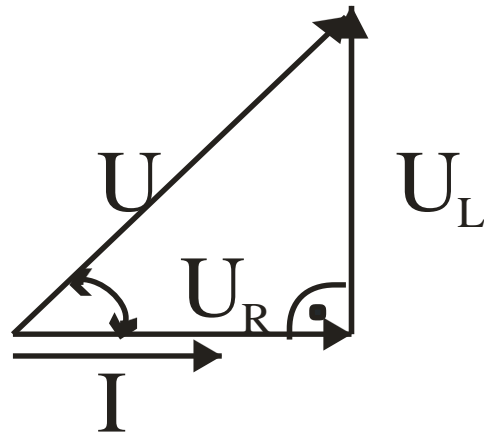
Otpor u izmjeničnom strujnom krugu koji se sastoji od radnog opterećenja i/ili induktivnog te kapacitivnog otpora naziva se impedancija Z.

SPOJEVI RAZLIČITIH OTPORA U IZMJENIČNIM MREŽAMA-IMPENDANCIJA

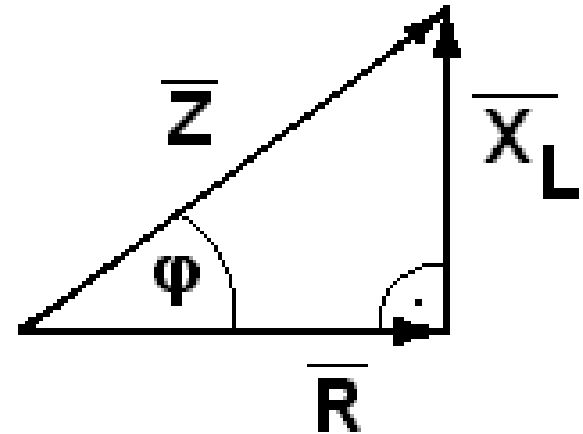
Serijski spoj radnog i induktivnog otpora



Vektorski dijagram



Trokut impendancije



$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L =$$

$$\vec{Z} = \vec{R} + \vec{X}_L$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$\vec{I} \cdot (\vec{R} + \vec{X}_L) =$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$\vec{I} \cdot \vec{Z}$$

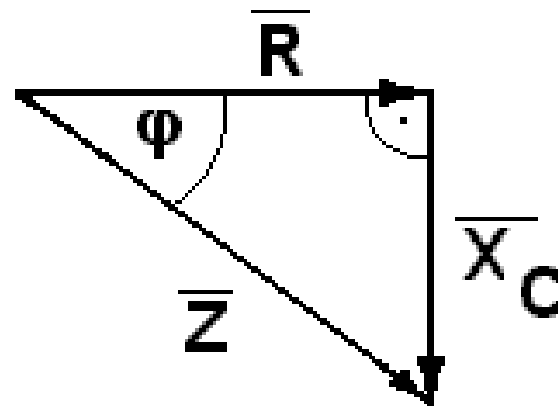
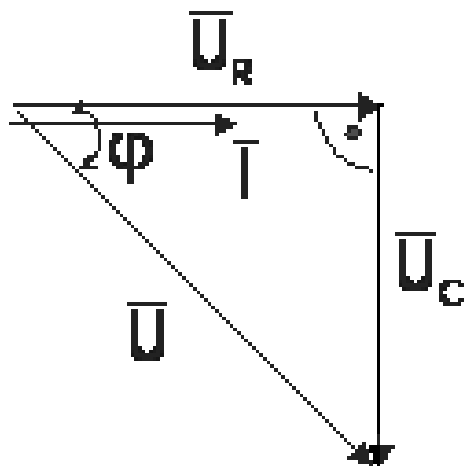
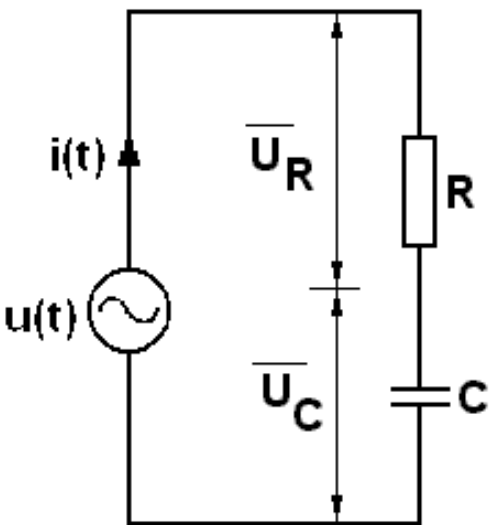
$$\varphi = \arctg \frac{X_L}{R}$$

$$0^\circ < \varphi < 90^\circ$$

Serijski spoj radnog i kapacitivnog otpora

Vektorski dijagram

Trokut impendancije



$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_C =$$

$$\vec{I} \cdot (\vec{R} + \vec{X}_C) =$$

$$\vec{I} \cdot \vec{Z}$$

$$\vec{Z} = \vec{R} + \vec{X}_C$$

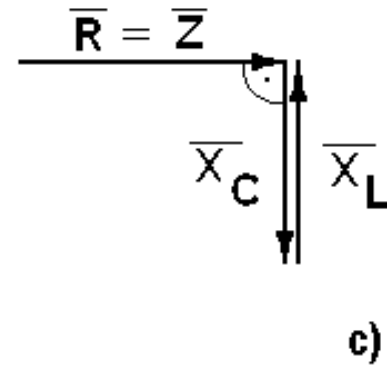
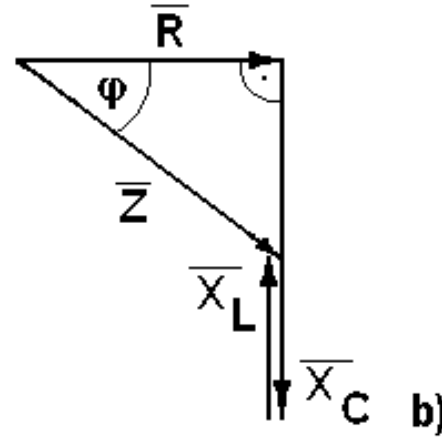
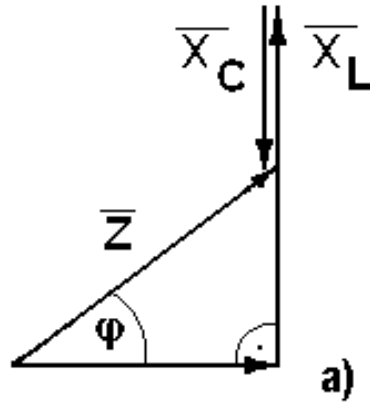
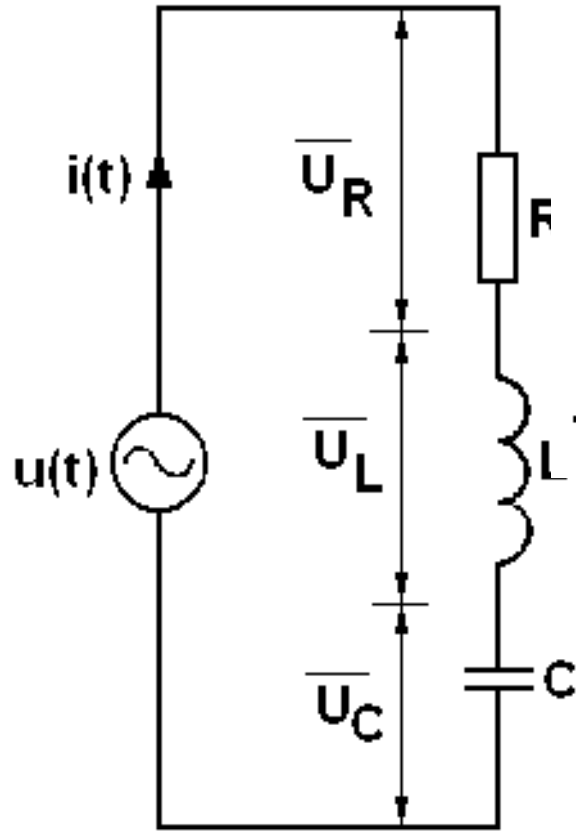
$$Z = \sqrt{R^2 + (-X_C)^2}$$

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

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{-X_C}{R}$$

$$-90^\circ < \varphi < 0^\circ$$

Serijski spoj radnog, induktivnog i kapacitivnog otpora



$$|\bar{X}_L| > |\bar{X}_C|$$

$$|\bar{X}_L| < |\bar{X}_C|$$

$$|\bar{X}_L| = |\bar{X}_C|$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = R$$

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C =$$

$$\varphi = \text{arctg} \frac{X_L - X_C}{R}$$

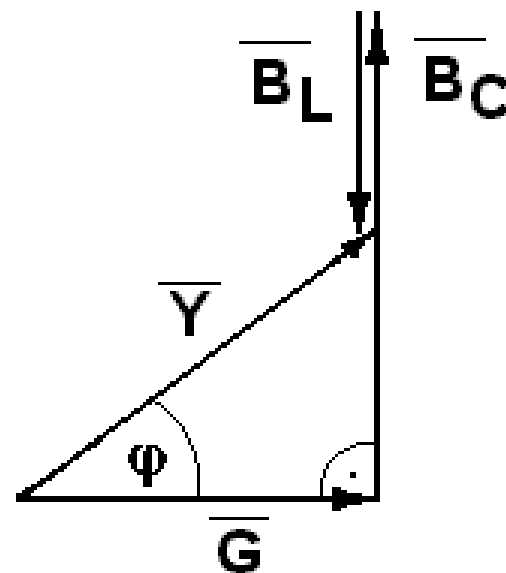
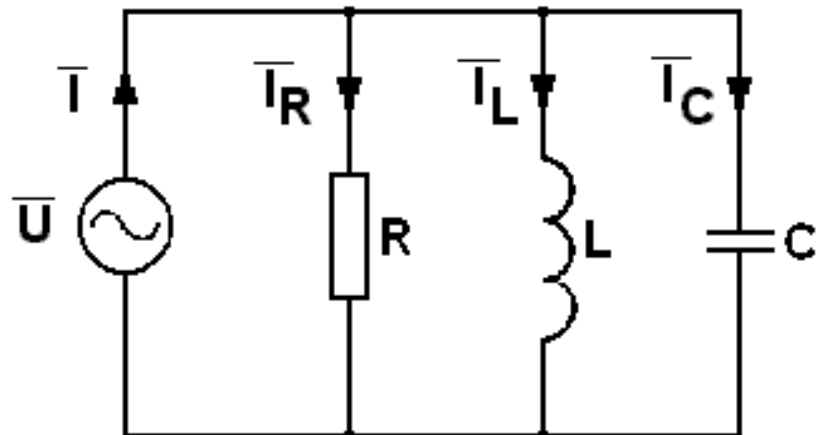
$$\varphi = 0^0$$

$$\vec{I} \cdot (\vec{R} + \vec{X}_L + \vec{X}_C) =$$

$$\vec{I} \cdot \vec{Z}$$

Paralelni spoj radnog, induktivnog i kapacitivnog otpora

Trokut vodljivosti



Admitancija

$$\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_L + \vec{I}_C =$$

$$\vec{U} \cdot (\vec{G} + \vec{B}_L + \vec{B}_C) =$$

$$\vec{I} \cdot \vec{Y}$$

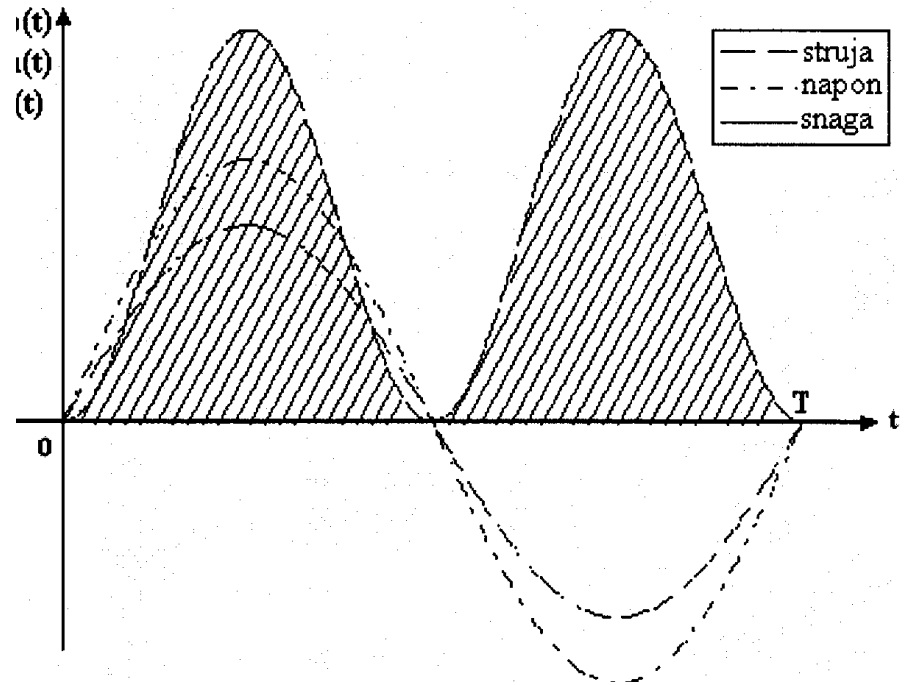
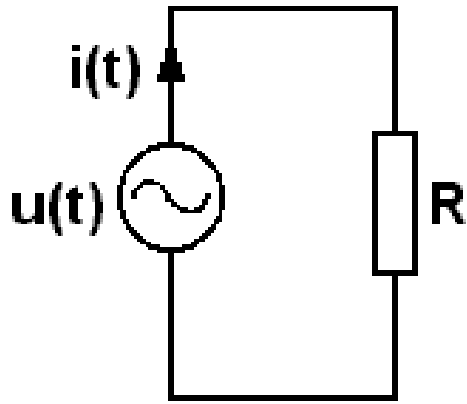
$$|\vec{Y}| = Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$$

Susceptancija

$$G = \frac{1}{R} \quad B_L = \frac{1}{X_L} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} \quad B_C = \frac{1}{X_C} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

SNAGA IZMJENIČNE STRUJE

Snaga na radnom trošilu



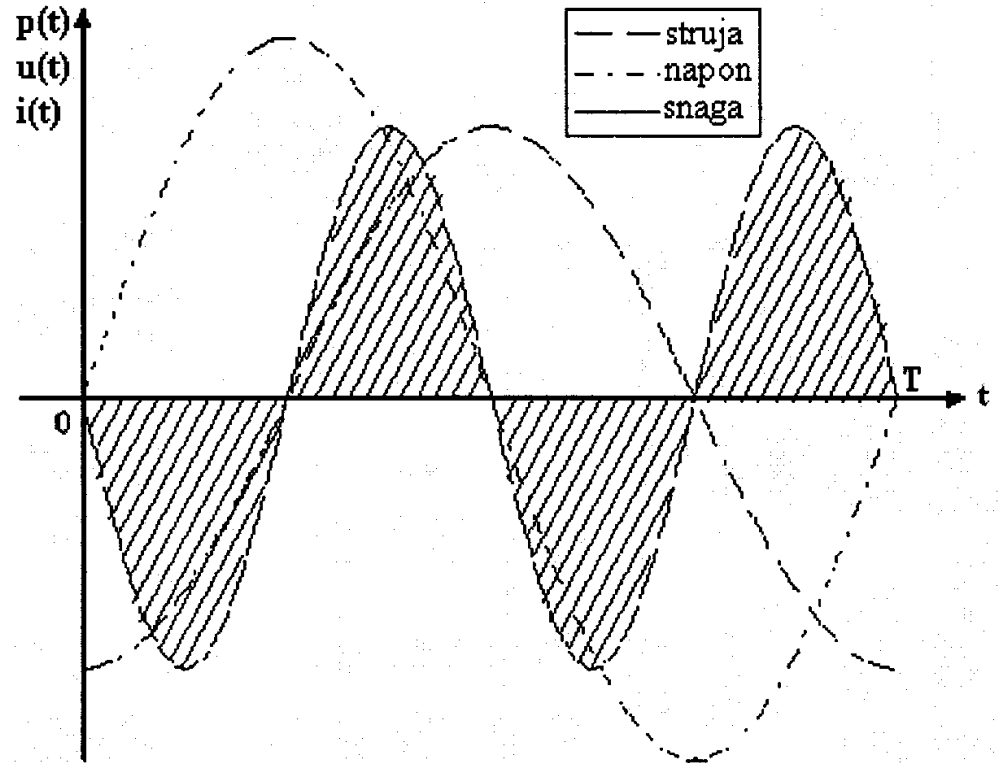
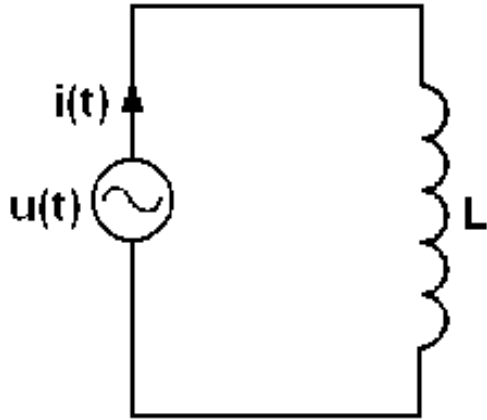
$$u(t) = U_m \cdot \sin \omega t$$

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = (U_m \cdot \sin \omega t) \cdot (I_m \cdot \sin \omega t)$$

$$p(t) = U_{ef} I_{ef} (1 - \cos 2\omega t)$$

Radna snaga se troši na potrošaču

Snaga na induktivnom trošilu



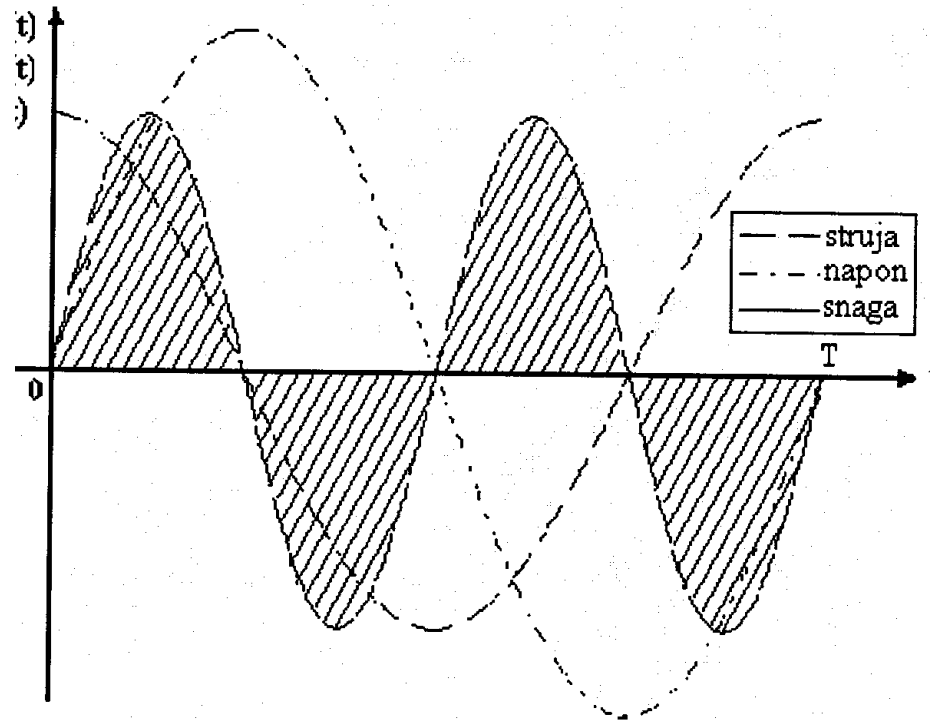
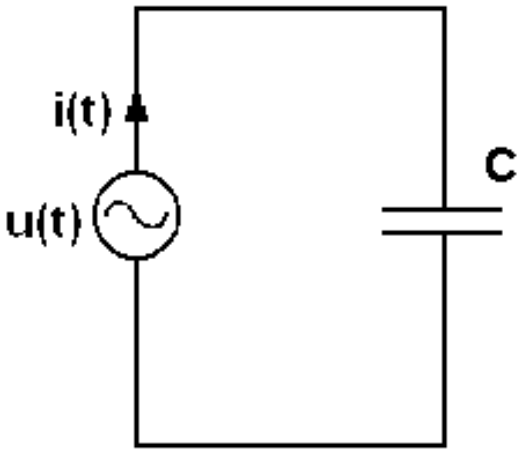
$$u(t) = U_m \cdot \sin \omega t$$

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = (U_m \cdot \sin \omega t) \cdot (I_m \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}))$$

$$p(t) = -U_{ef} I_{ef} \sin 2\omega t$$

Induktivna jalova snaga titra između trošila i izvora
Snaga se ne troši na potrošaču

Snaga na kapacitivnom trošilu



$$u(t) = U_m \cdot \sin \omega t$$

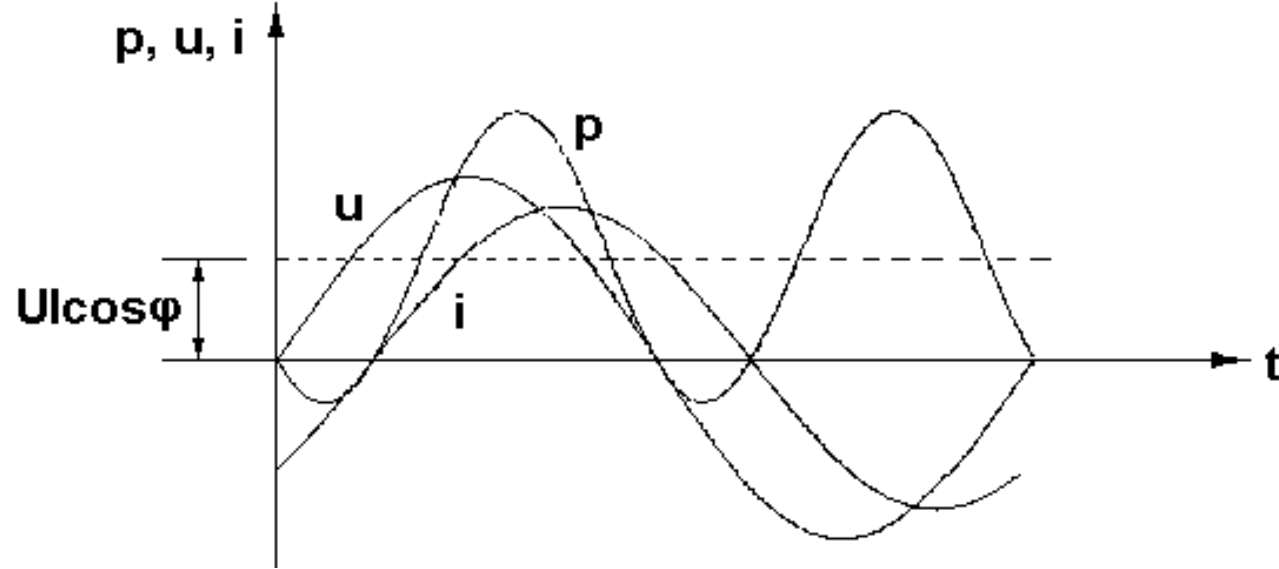
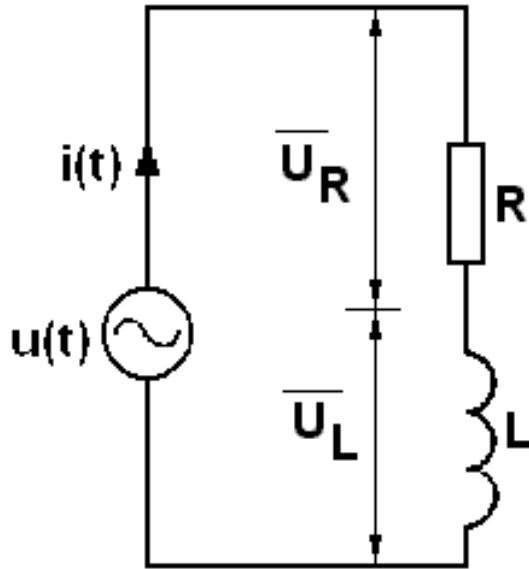
$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = (U_m \cdot \sin \omega t) \cdot (I_m \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}))$$

$$p(t) = U_{ef} I_{ef} \sin 2\omega t$$

Kapacitivna jalova snaga titra između trošila i izvora
Snaga se ne troši na potrošaču

**SNAGA NA RADNO
INDUKTIVNOM TROŠILU
(ELEKTRIČNI MOTOR)**

Snaga na radno - induktivnom trošilu



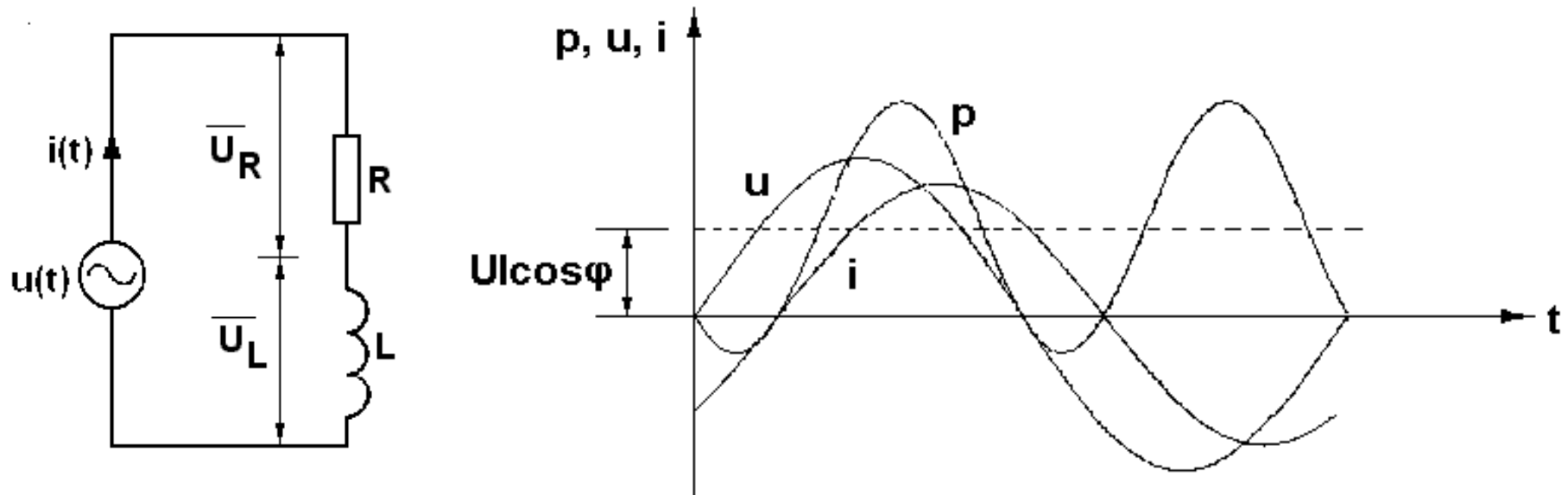
$$u(t) = U_m \cdot \sin \omega t \quad i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m \cdot \sin \omega t \cdot I_m \cdot \sin(\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = 2 \cdot U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)]$$

Snaga na radno - induktivnom trošilu

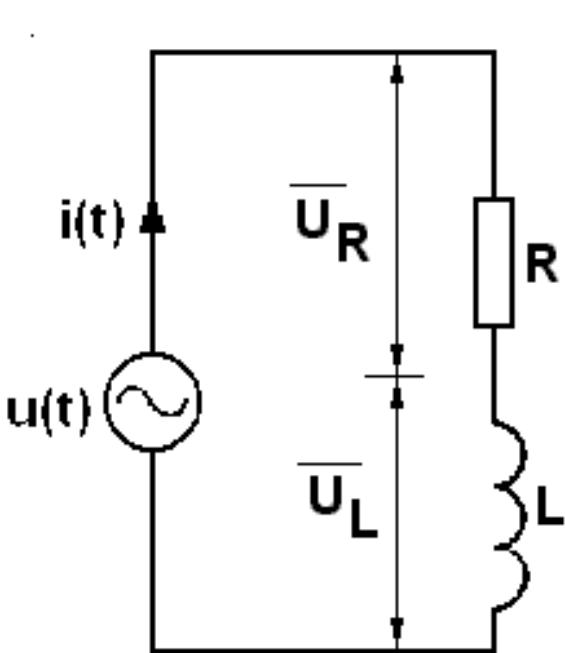


Snaga radno – induktivnog tereta je periodička i harmonička funkcija, ali dvostruke frekvencije (2ω) u odnosu na frekvenciju napona i struje (ω).

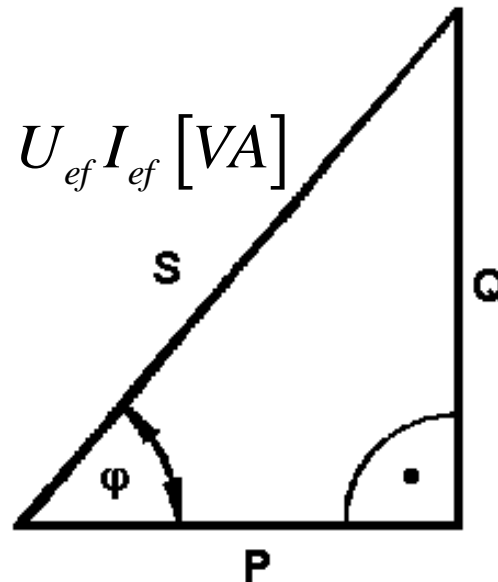
Funkcija snage oscilira oko osi paralelne s osi apscisa, a koja je za iznos $\underline{U_{ef} I_{ef} \cos \varphi}$ udaljena od apscise.

Jedan dio snage je konstantan i iznosi $U_{ef} I_{ef} \cos \varphi$, a drugi oscilira oko konstantne vrijednosti po zakonu $U_{ef} I_{ef} \sin \varphi$

Trokut snage na radno - induktivnom trošilu



$$S = U_{ef} I_{ef} [VA]$$



$$Q = U_{ef} I_{ef} \sin \varphi [VAR]$$

$$P = U_{ef} I_{ef} \cos \varphi [W]$$

U izmjeničnom strujnom krugu razlikujemo:

- Prividnu snagu S
- Radnu snagu P
- Jalovu snagu Q

Prividna, radna i jalova snaga

- Umnožak efektivnih vrijednosti napona i struje sa $\cos \varphi$ (faktorom snage) u nekom vremenu predstavlja korisni rad kojeg može obaviti energija izmjenične struje i naziva se radna (djelatna ili aktivna) snaga.

$$P = U_{ef} I_{ef} \cdot \cos \varphi \quad [W]$$

- Cilj je postići veći faktor snage, jer je tad i djelatna snaga na trošilu veća. Maksimalni faktor snage je 1 i tada je $\varphi = 0$.

- Umnožak efektivnih vrijednosti napona i struje predstavlja prividnu snagu:

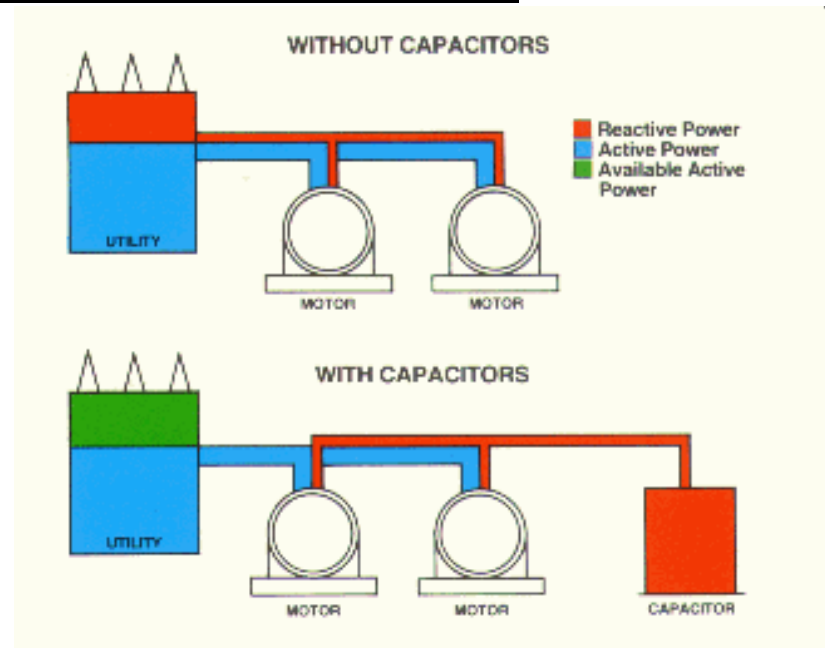
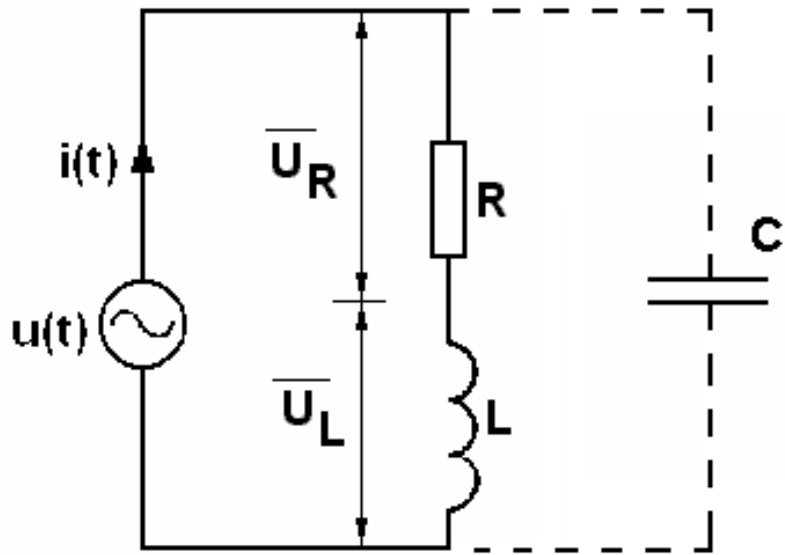
$$S = U_{ef} \cdot I_{ef} \quad [VA]$$

Jalova ili reaktivna snaga karakterizira osciliranje energije između izvora i trošila određena je izrazom:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad [VAR]$$

KOMPENZACIJA FAKTORA SNAGE

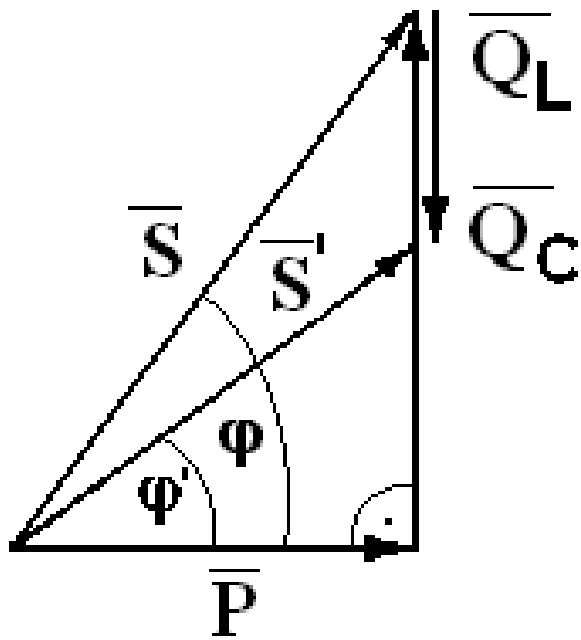
Kompensacija faktora snage



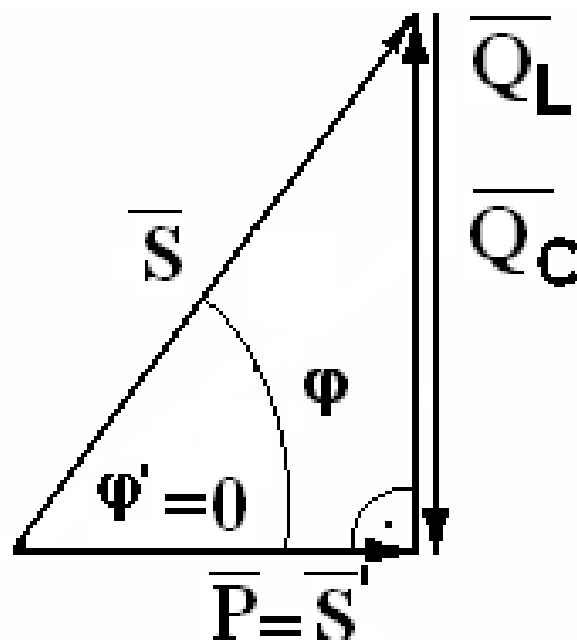
• Električnim strojevi (generatori, motori, transformatori) uglavnom induktivnog karaktera zbog velikog broja svitaka, pa im je loš faktor snage.

• Faktor snage se može popraviti dodavanjem u strujni krug kondenzatora ili baterija kondenzatora na strani trošila. Na taj način jalova snaga ne titra između induktiviteta i izvora nego između induktiviteta i kondenzatora. – rasterećenje prenosnog voda.

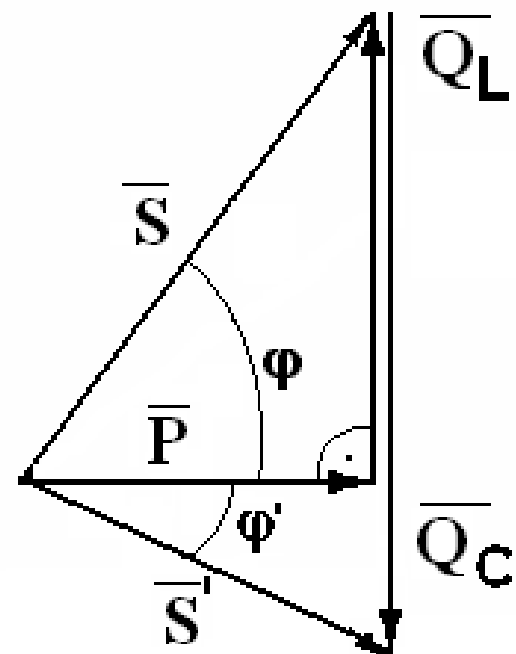
Vrste kompenzacije



Djelomična kompenzacija



Potpuna kompenzacija



Nadkompenziran slučaj

PRILAGOĐENJE SNAGE

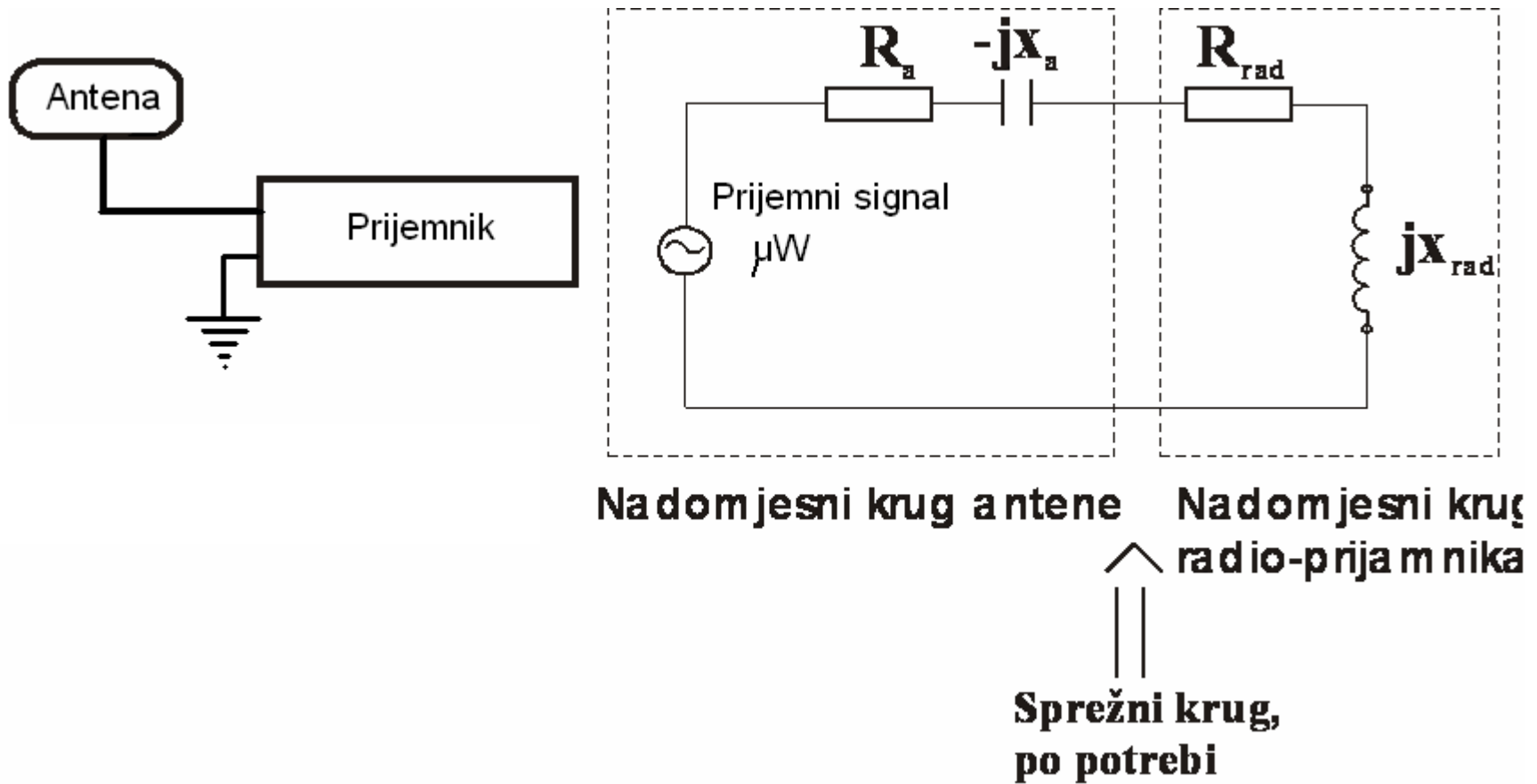
Teorem o o prilagođenju

- *Za zadani izmjenični izvor srednja snaga isporučena trošilu bit će maksimalna ako su reaktivni otpori izvora i trošila jednakih iznosa, ali suprotnog karaktera (induktivni – kapacitivni ili obrnuto).*
- **Kod prilagođenja je iskoristivost svega 50%, pa se prilagođenje koristi samo u elektronici, telekomunikacijama i radiokomunikacijama, a ne i u elektroenergetskim mrežama.**
- **Za serijski spoj trošila i naponskog izvora vrijedi:**

$$Z_t = Z_i^*$$

$$P_{\max} = U^2 / 4R_t$$

Primjer prilagođenja radio-prijemnika

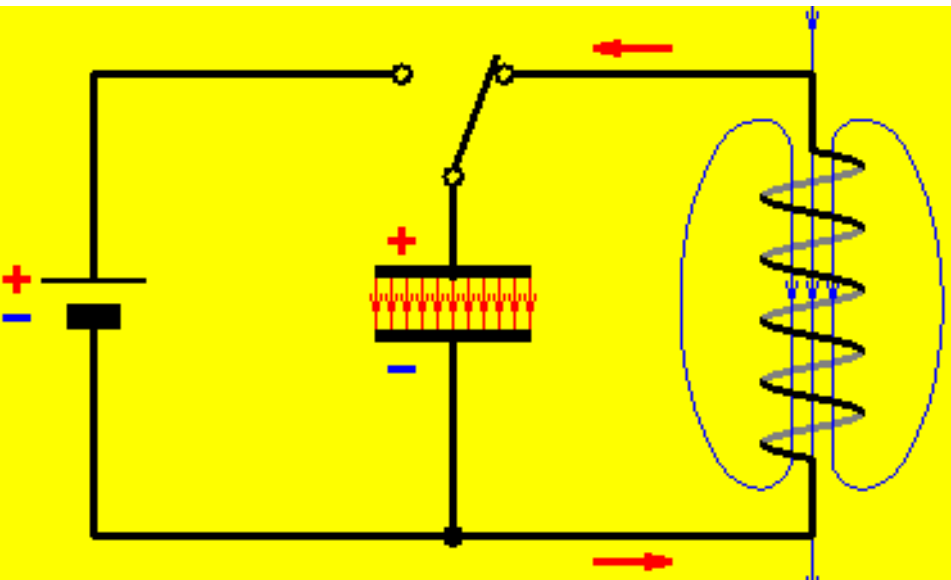


$$X_a = X_{rad}$$

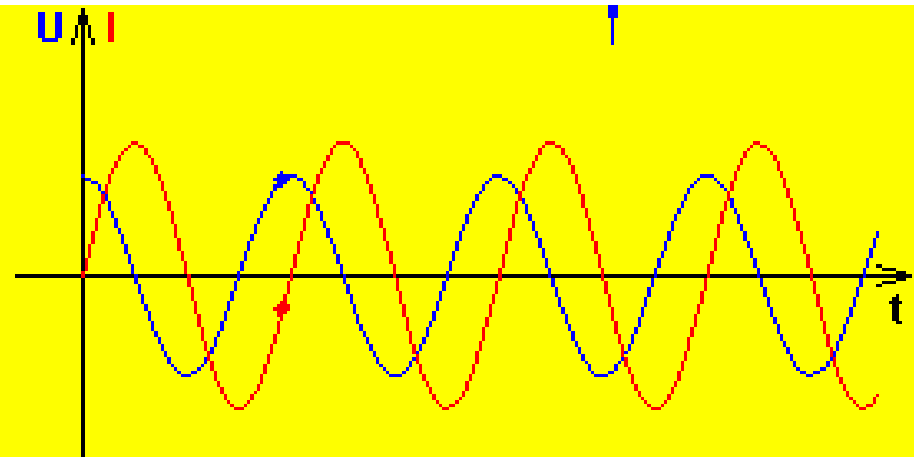
$$\eta = 0,5$$

TITRAJNI KRUG I REZONANCIJA

Nepriгуšeni titrajni krug –idealan slučaj



Napon i struja kondenzatora

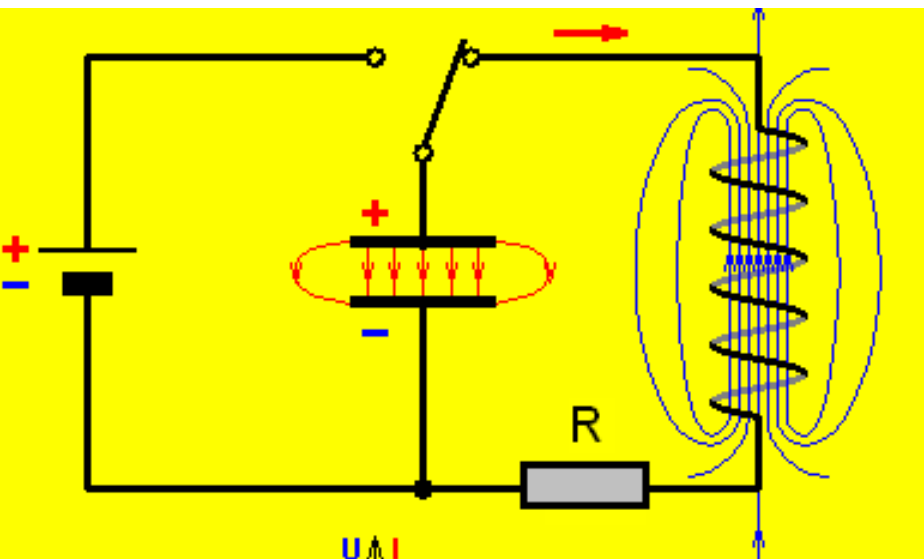


- Prebacivanjem sklopke nakon nabijanja kondenzatora, nastaju nepriгуšene oscilacije električne energije (kondenzator) i magnetske energije (zavoјnica) na rezonantnoj frekvenciji.

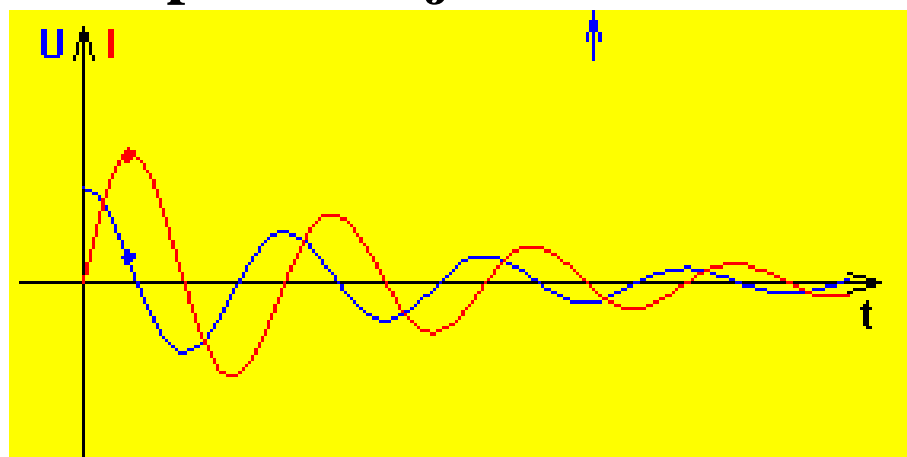
$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}}$$

- Nema disipacije energije pa oscilacije traju beskonačno dugo.

Prigušeni titrajni krug –realni slučaj



Napon i struja kondenzatora

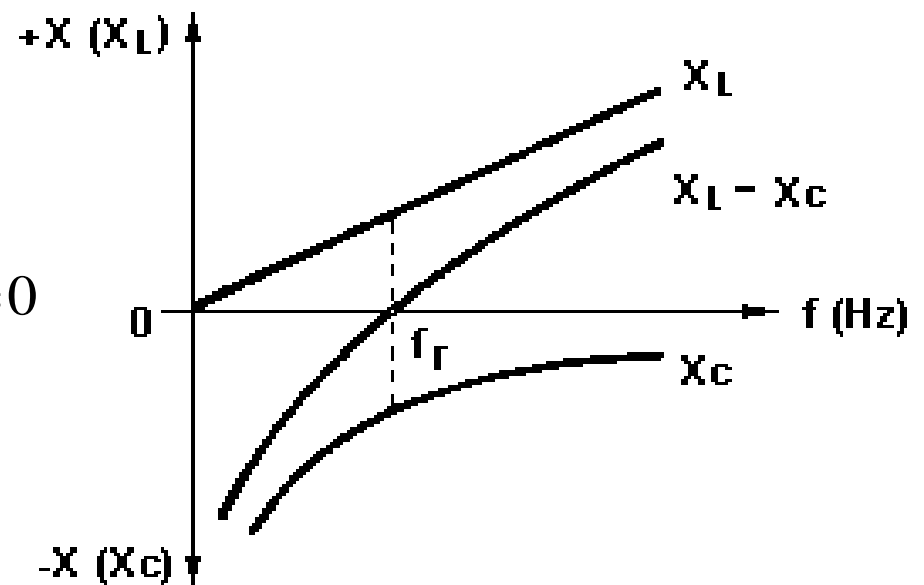
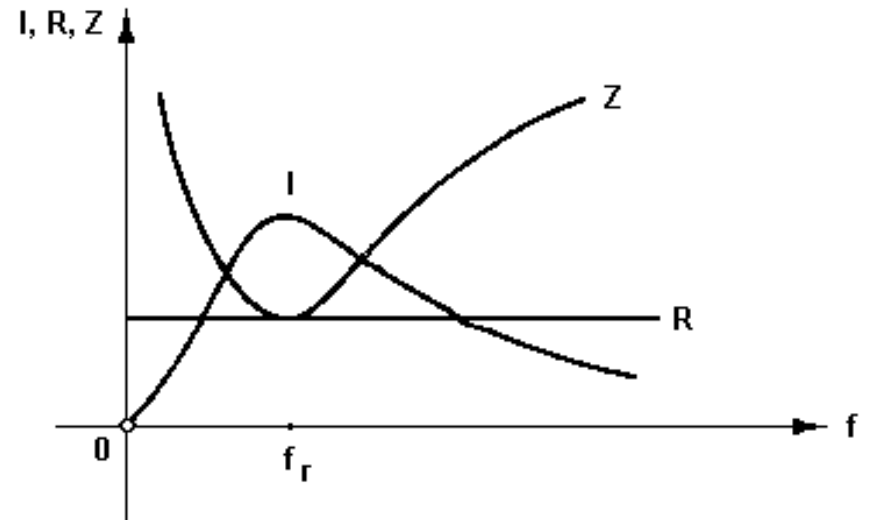
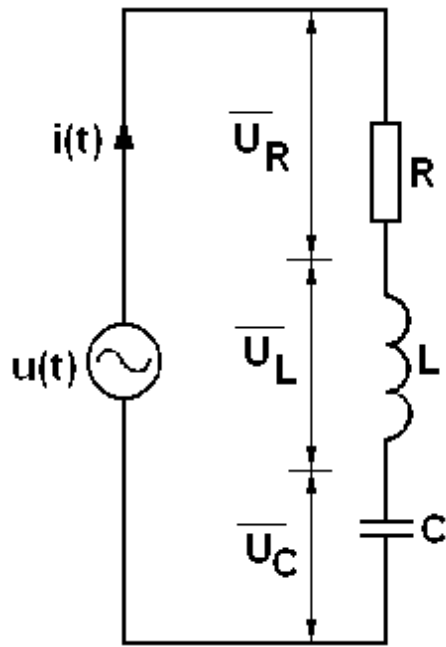


- Prebacivanjem sklopke nakon nabijanja kondenzatora, nastaju prigušene oscilacije električne energije (kondenzator) i magnetske energije (zavojnica) na rezonantnoj frekvenciji.
- Energija se rasipa na otporniku R pa oscilacije ubrzo nestaju. – u izvoru elektromagnetskih valova (u odašiljaču se sklopka neprestano prebacuje da bi se dobile neprigušene oscilacije !!). Na visokim frekvencijama nastaje EM val.

Rezonancija

- Rezonancija je pojava koja se javlja u slučajevima kada se frekvencija prinudnih oscilacija (vanjskog izvora) poklapa s frekvencijom vlastitih oscilacija. Posljedice razonancije u mehaničkim sustavima su vibracije (brod, automobil, vlak, visoki C – pucanje čaše, rušenje drvenog mosta stupanjem).
- U elektroenergetskim sustavima zbog rezonancije nastaju nagli porasti napona koji oštećuju električne strojeve. U elektroničkim komunikacijskim sustavima se koristi npr. za izdvajanje željene prijemne stanice i selektivno pojačanje neke frekvencije.
- Električni krug u rezonanciji djeluje kao čisto djelatno trošilo, jer se reaktivne (jalove) komponente poništavaju.

Serijska (naponska) rezonancija



$$\begin{aligned}\bar{Z} &= \bar{R} + \bar{X}_L + \bar{X}_C \\ &= R + jX_L - jX_C \\ &= R + j(X_L - X_C)\end{aligned}$$

$$X_L - X_C = 0$$

$$\omega_r \cdot L = \frac{1}{\omega_r \cdot C} \quad f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}}$$

Serijska (naponska) rezonancija

- Na rezonantnoj frekvenciji apsolutni iznosi induktivnog i kapacitivnog otpora su jednaki, a kako su suprotnog predznaka, međusobno se poništavaju.
- Na rezonantnoj frekvenciji cijeli krug djeluje kao čisto omski otpor. Struja i napon su u fazi, tj. fazni kut je jednak nuli.
- Rezonanciju se može postići promjenom frekvencije, kapaciteta ili induktiviteta. U rezonanciji je struja maksimalna, jer je rezonanti otpor minimalan!

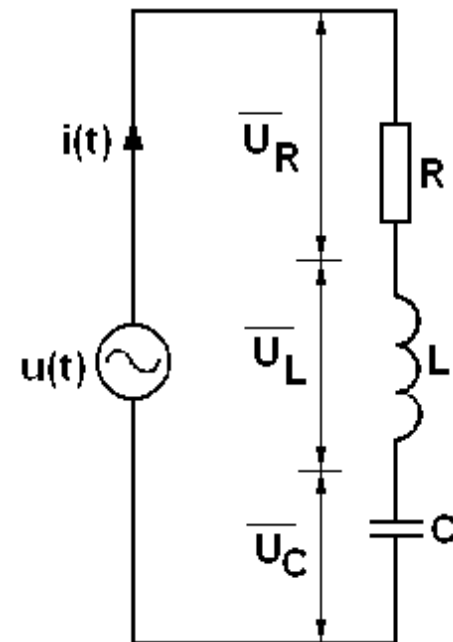
Dobrota i prigušenje

- Dobrotom strujnog kruga definiraju se rezonantna svojstva tog kruga.
- Dobrotom strujnog kruga Q naziva se omjer napona na induktivnom (ili kapacitivnom) otporu pri rezonantnoj frekvenciji i napona izvora:

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

- Prigušenjem strujnog kruga d naziva se recipročna vrijednost dobrote strujnog kruga. U krugu s većim prigušenjem brže prestaju slobodne oscilacije.

$$d = \frac{1}{Q} = R \sqrt{\frac{C}{L}}$$



TROFAZNI IZMJENIČNI SUSTAV

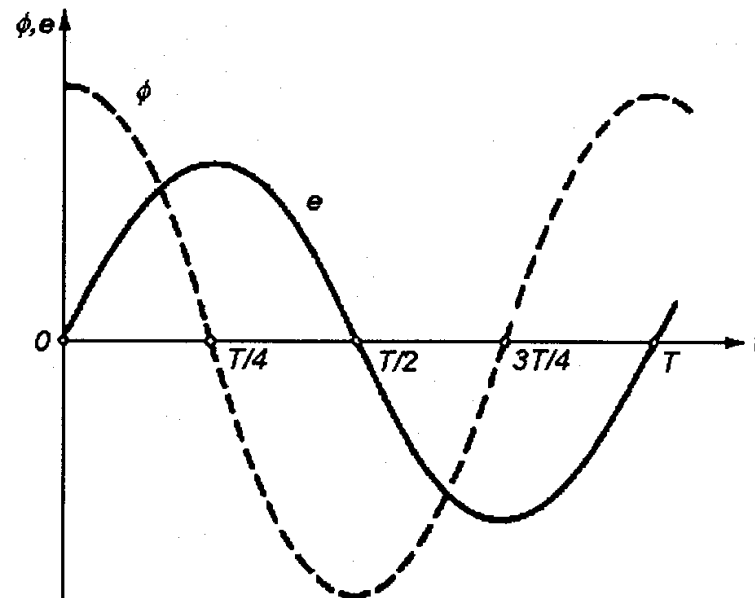
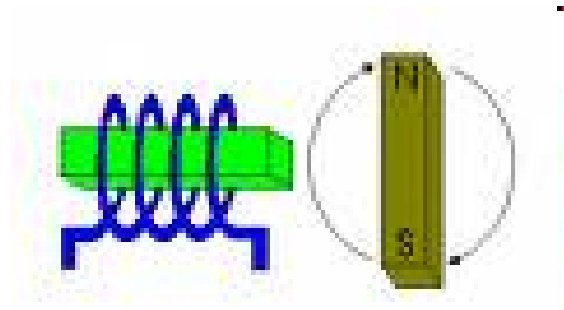
Jednofazni i trofazni sustav

- **Najjednostavniji je jednofazni sustav.** Spajanjem dva jednofazna sustava, može se dobiti dvofazni sustav, s tri trofazni, itd.
- Današnji generatori izmjenične struje su isključivo *trofazni izmjenični generatori*.

Prednosti trofaznog sustava nad jednofaznim

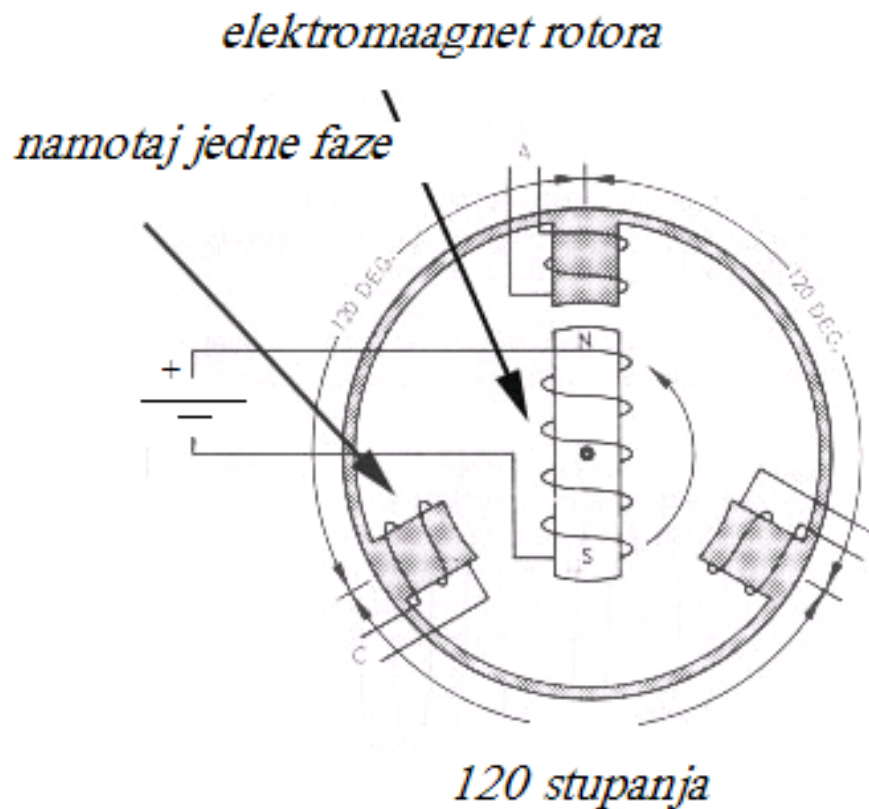
- omogućavanje **ekonomičnijeg prijenosa električne energije**, s manjim gubicima i uštedom materijala za vodove;
- Trofazni sustav omogućuje generiranje **okretnog magnetskog polja**, na kojem se temelji rad većine rotacijskih strojeva (24 MW sinkroni propulzijski motor)
- Napon izmjenične struje se može **lako transformirati na veći**. Visoki napon se koristi **za prijenos većih snaga i pogon velikih električnih motora**
- **trenutna snaga simetričnog trofaznog trošila je konstantna bez obzira na vrstu spoja;**
- trofazni uređaji su **robustni i ekonomični**.

Princip generiranja jednofaznog napona



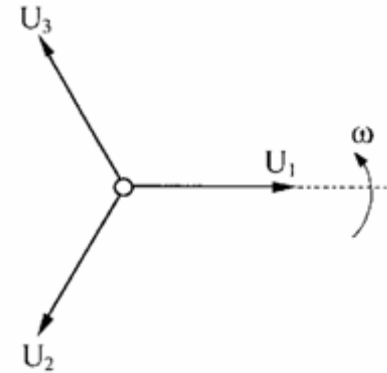
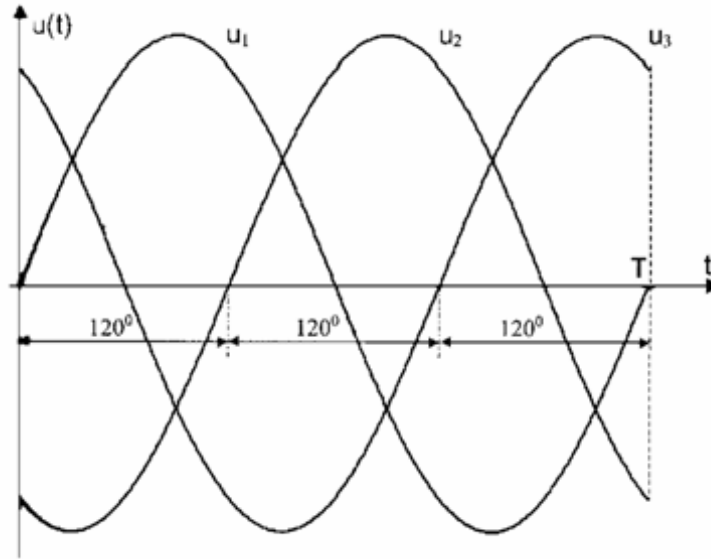
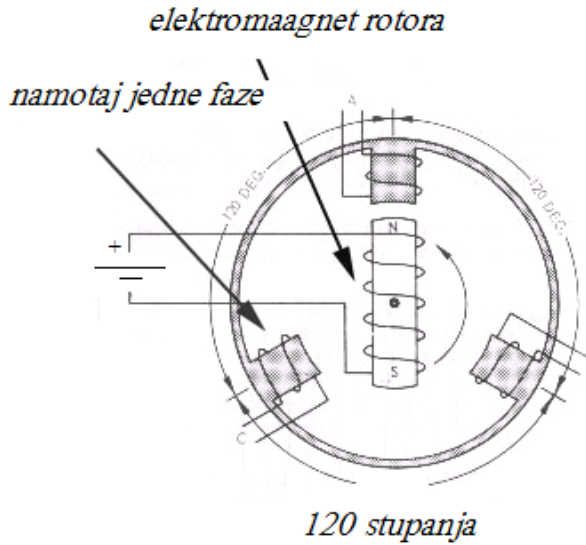
Permanentni magnet rotira (rotor), a zavojnica miruje (stator) 332

Princip generiranja trofaznog napona



Zavojnice su geometrijski pomaknute za 120°

Jednadžbe trofaznog napona



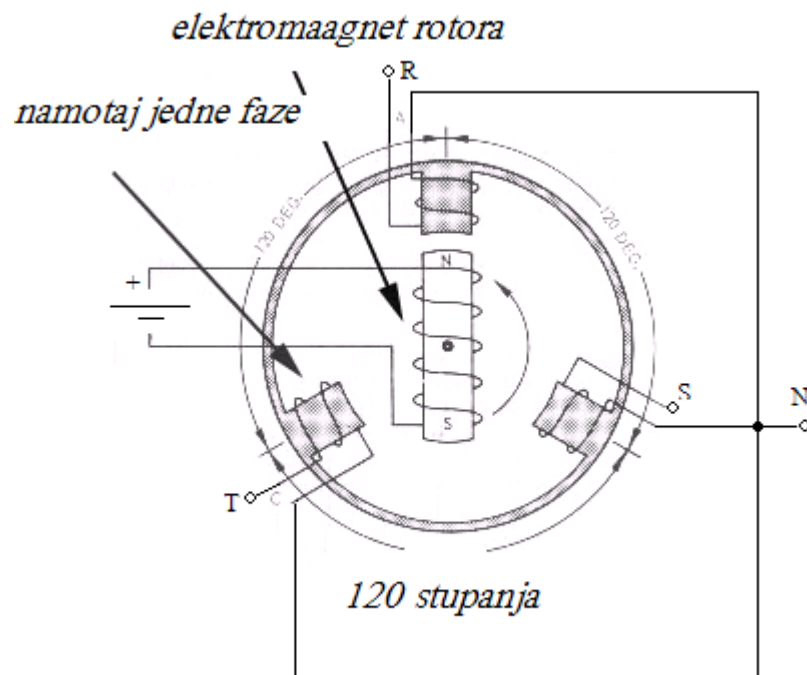
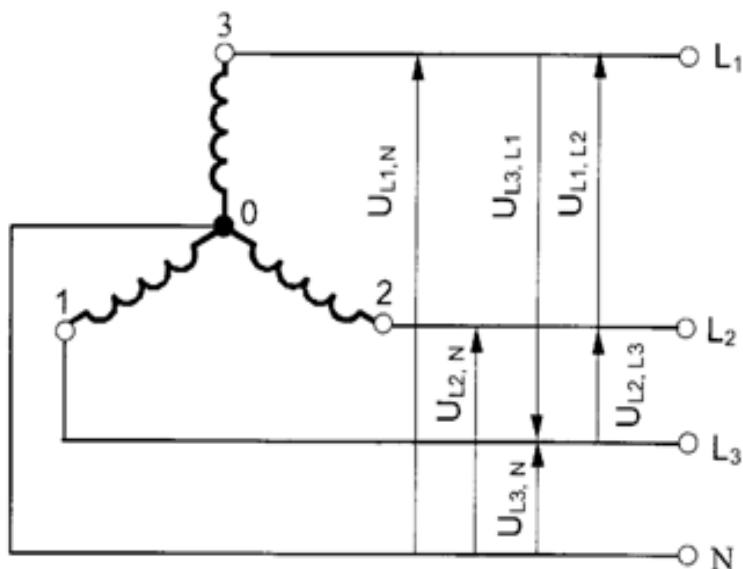
$$u_1(t) = U_{\max} \sin \omega t$$

$$u_2(t) = U_{\max} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_3(t) = U_{\max} \sin(\omega t - 240^\circ) = U_{\max} \sin(\omega t + 120^\circ)$$

SPOJEVI IZVORA I TROŠILA U TROFAZNOM SUSTAVU

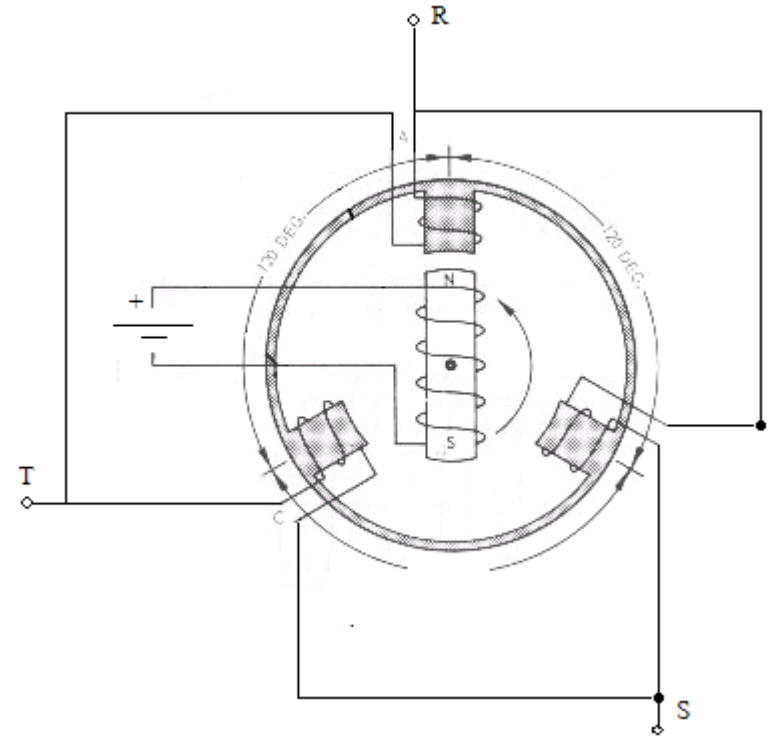
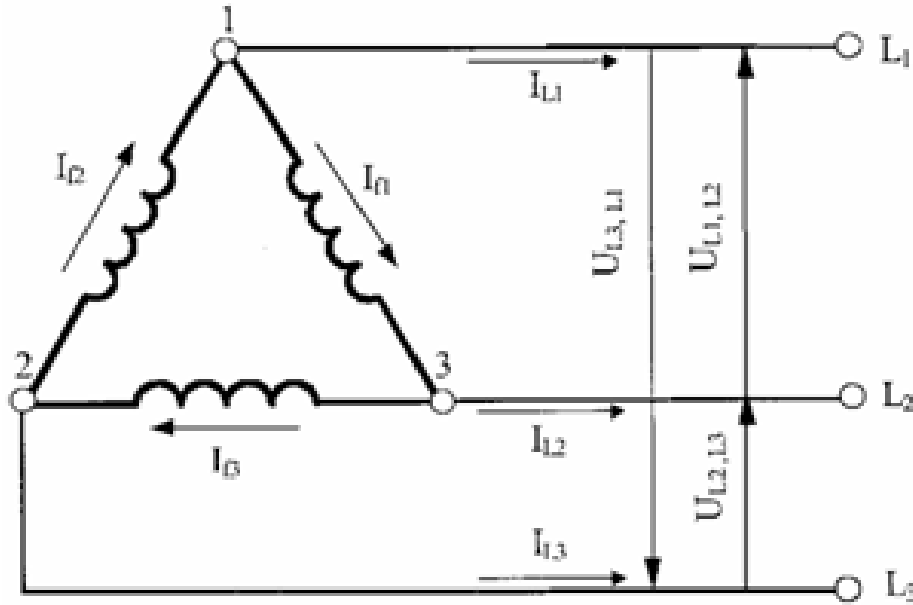
Spoj izvora ili trošila u zvijezdu



$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_F \quad I_L = I_F$$

Dobije se spajanjem krajeva svakog statorskog namotaja generatora međusobno u zajedničku točku – nul točka

Spoj izvora ili trošila u trokut



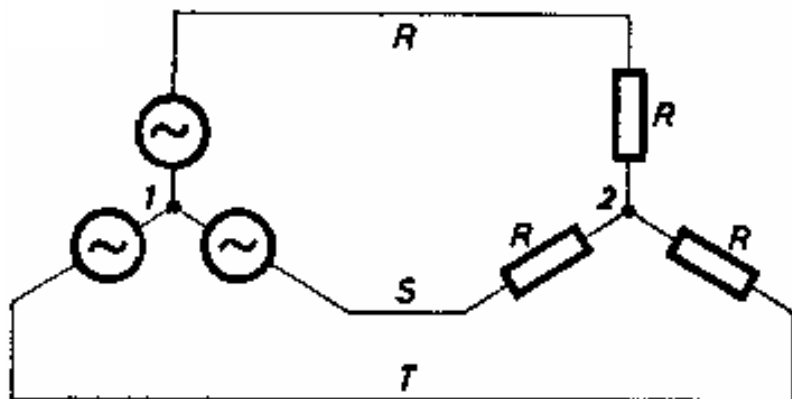
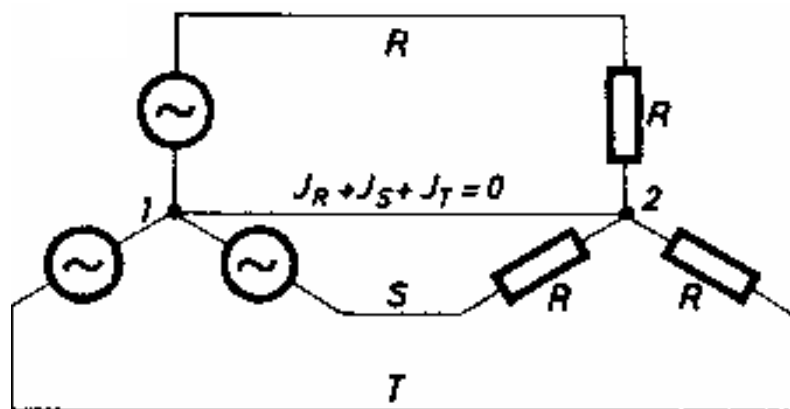
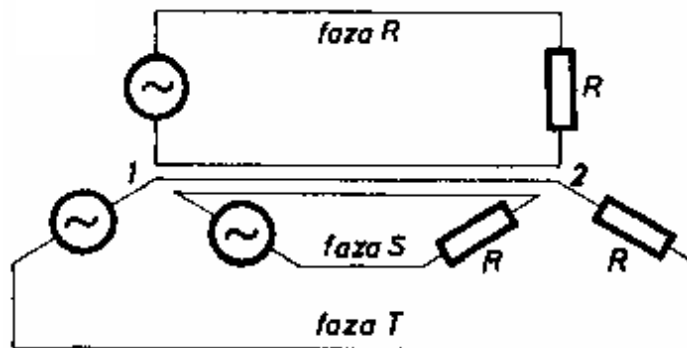
$$U_L = U_F$$

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_F$$

Dobije se spajanjem krajeva prvog namota generatora na početak drugoga, zatim kraja drugoga na početak trećega i kraja trećega na početak prvoga .

SPOJEVI IZVORA I TROŠILA TROFAZNOG SUSTAVA

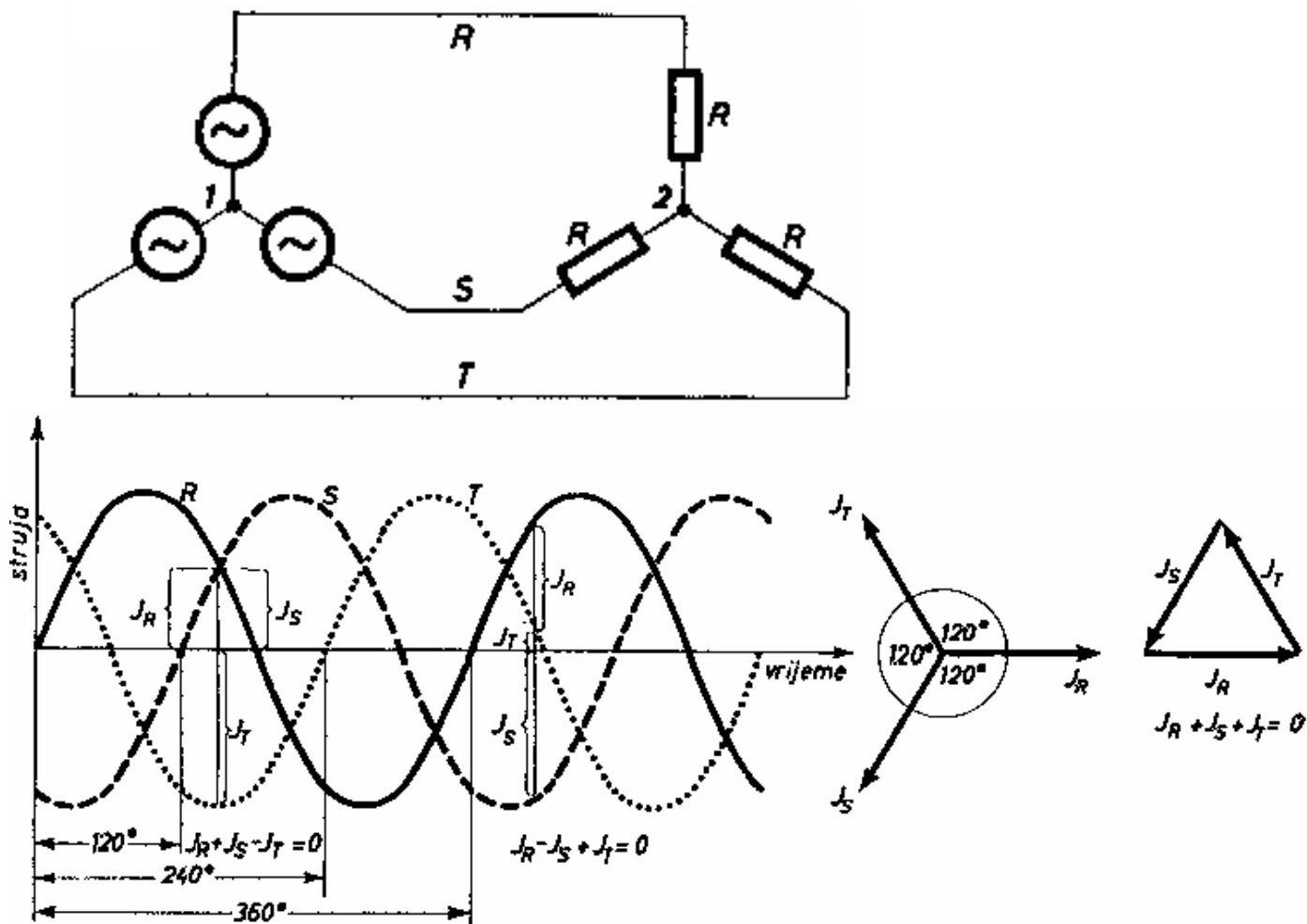
Zvijezda –zvijezda spoj



Ako su trošila nesimetrična
– teče struja kroz nul vod

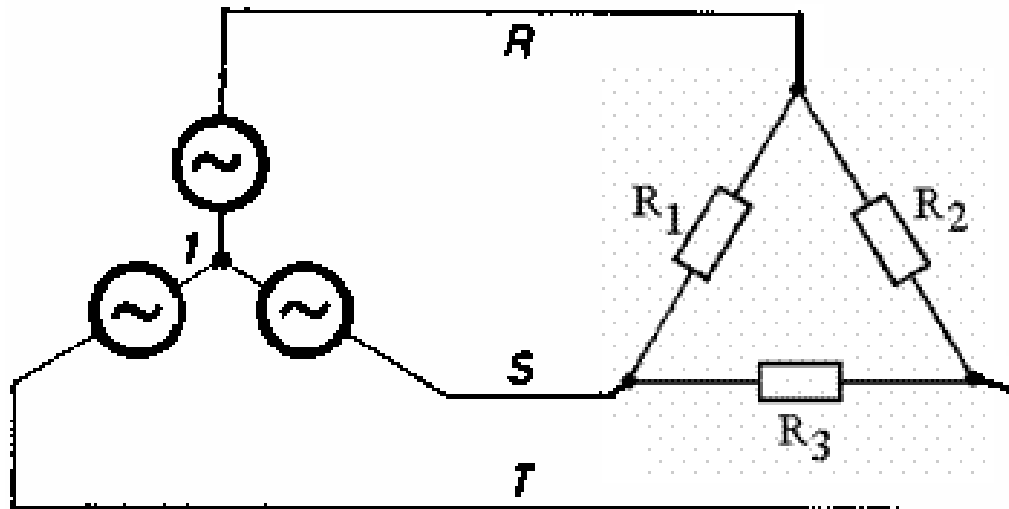
Ako su trošila simetrična
– nul vod nije ni potreban

Zvijezda –zvijezda spoj bez nul vodiča



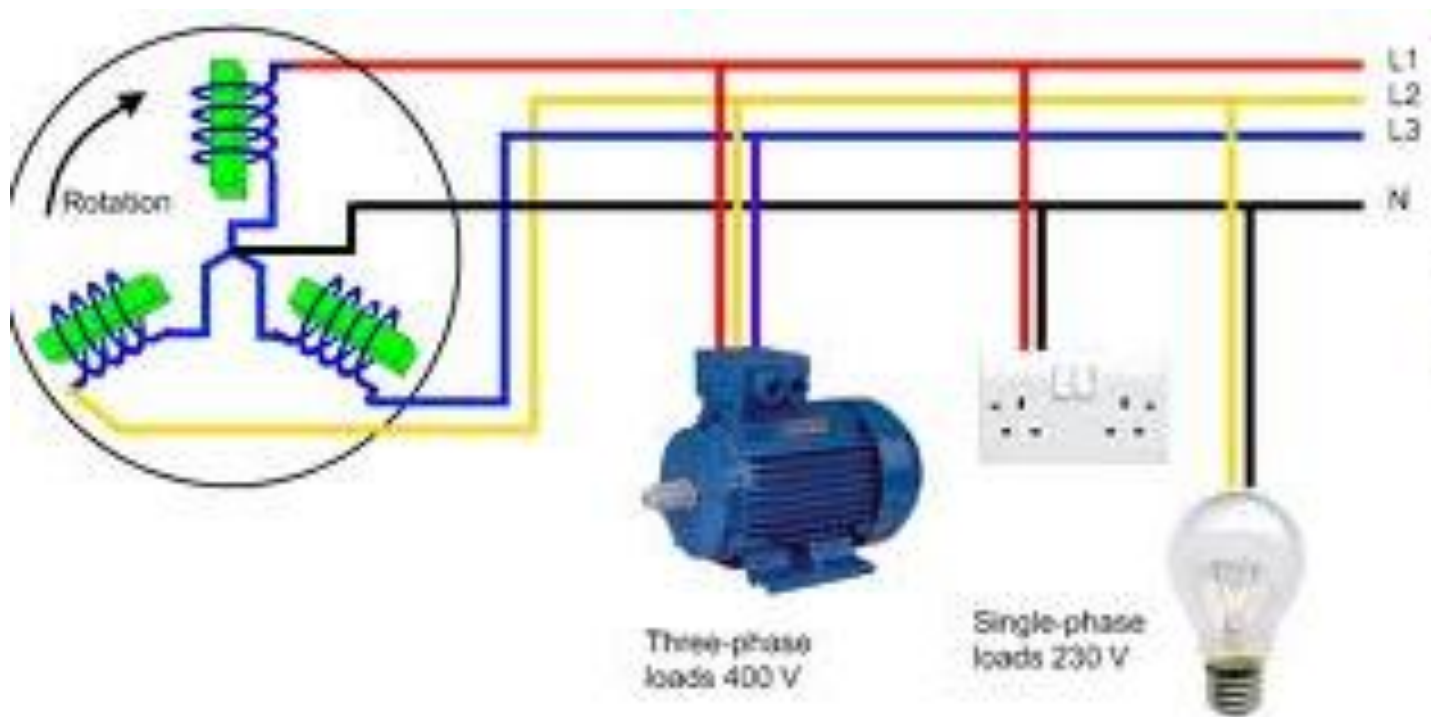
*Povratni vodič nije potreban ako je trošilo simetrično
– jednaki otpori u sve tri faze*

Zvijezda – trokut spoj bez nul vodiča



Moguće su i druge kombinacije spojeva

Spajanje trofaznih i jednofaznih trošila



Snaga u trofaznim sustavima

- Trofazno simetrično trošilo ima u svakoj grani jednako opterećenje:

$$\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = \bar{Z}$$

Radna snaga:

$$P_{uk} = 3 \cdot P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi = 3 \cdot U_L \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

Jalova snaga:

$$Q_{uk} = 3 \cdot Q = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \sin \varphi = 3 \cdot U_L \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi$$

Prividna snaga:

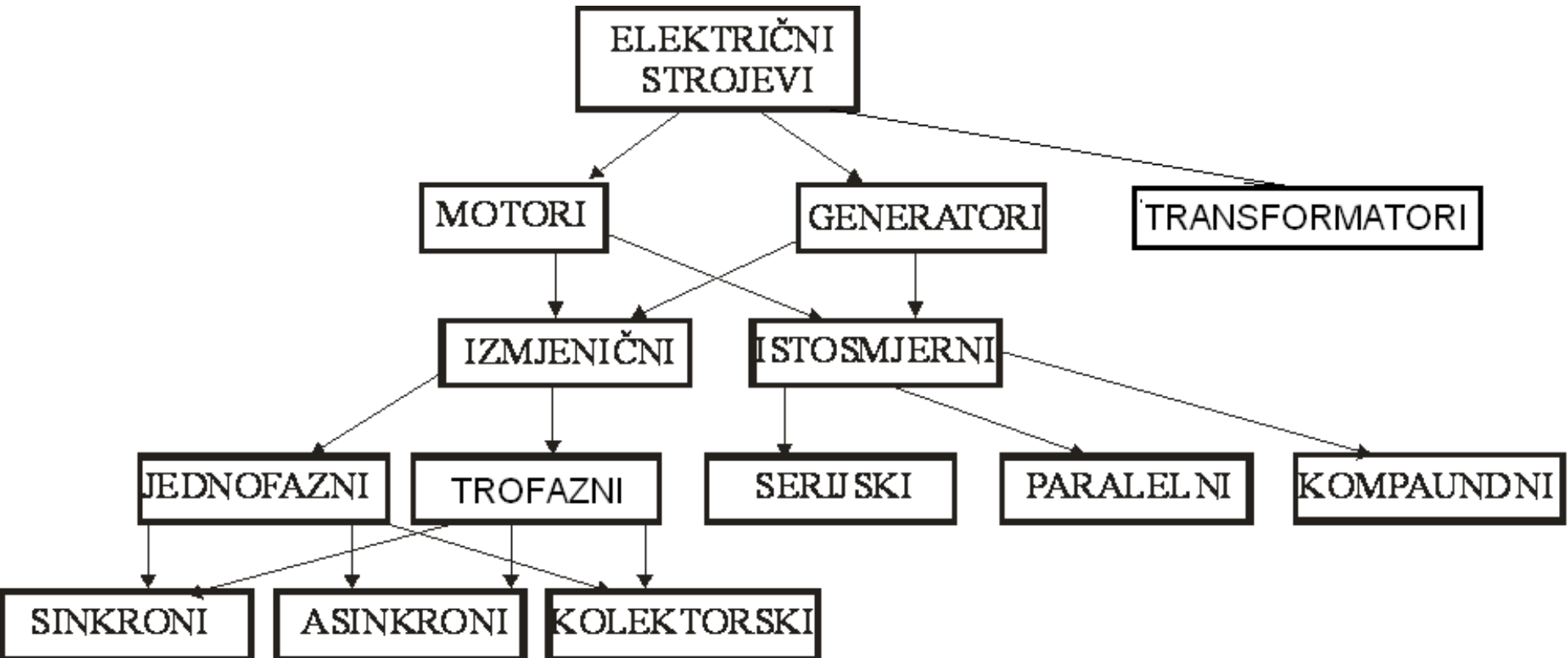
$$S_{uk} = 3 \cdot S = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi = 3 \cdot U_L \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$$

ELEKTRIČNI STROJEVI

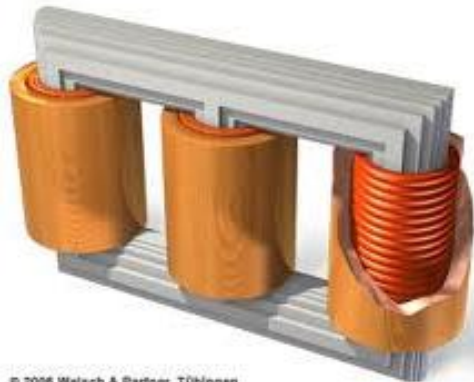
Namjena električnih strojeva

ELEKTRIČNI STROJ	ULAZNA ENERGIJA	IZLAZNA ENERGIJA
EL. GENERATORI	mehanička	električna
EL. MOTORI	električna	mehanička
TRANSFORMATORI	električna	električna

Podjela električnih strojeva



Trofazni transformator

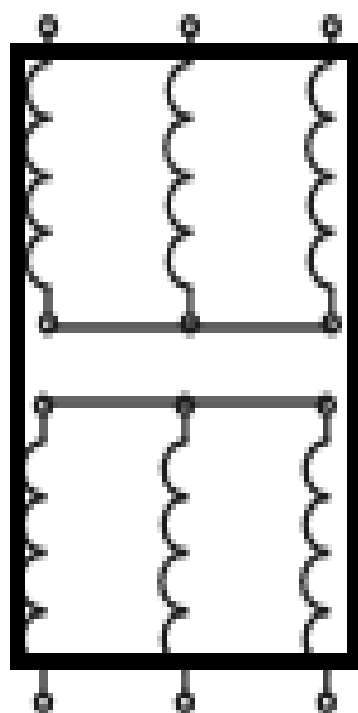


© 2006 Weisch & Partner, Tübingen
scientific multimedia



Trofazni transformator

Ulazne stezaljke

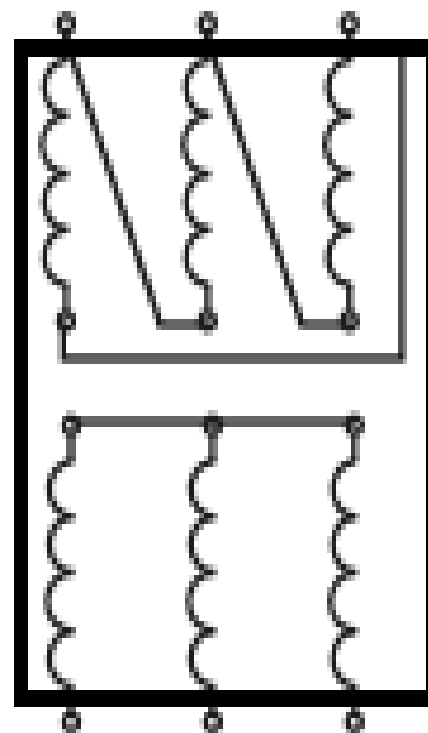


Ključšte

Izlazne stezaljke

3-fazni transformator
spoj zvijezda-zvijezda

Ulazne stezaljke



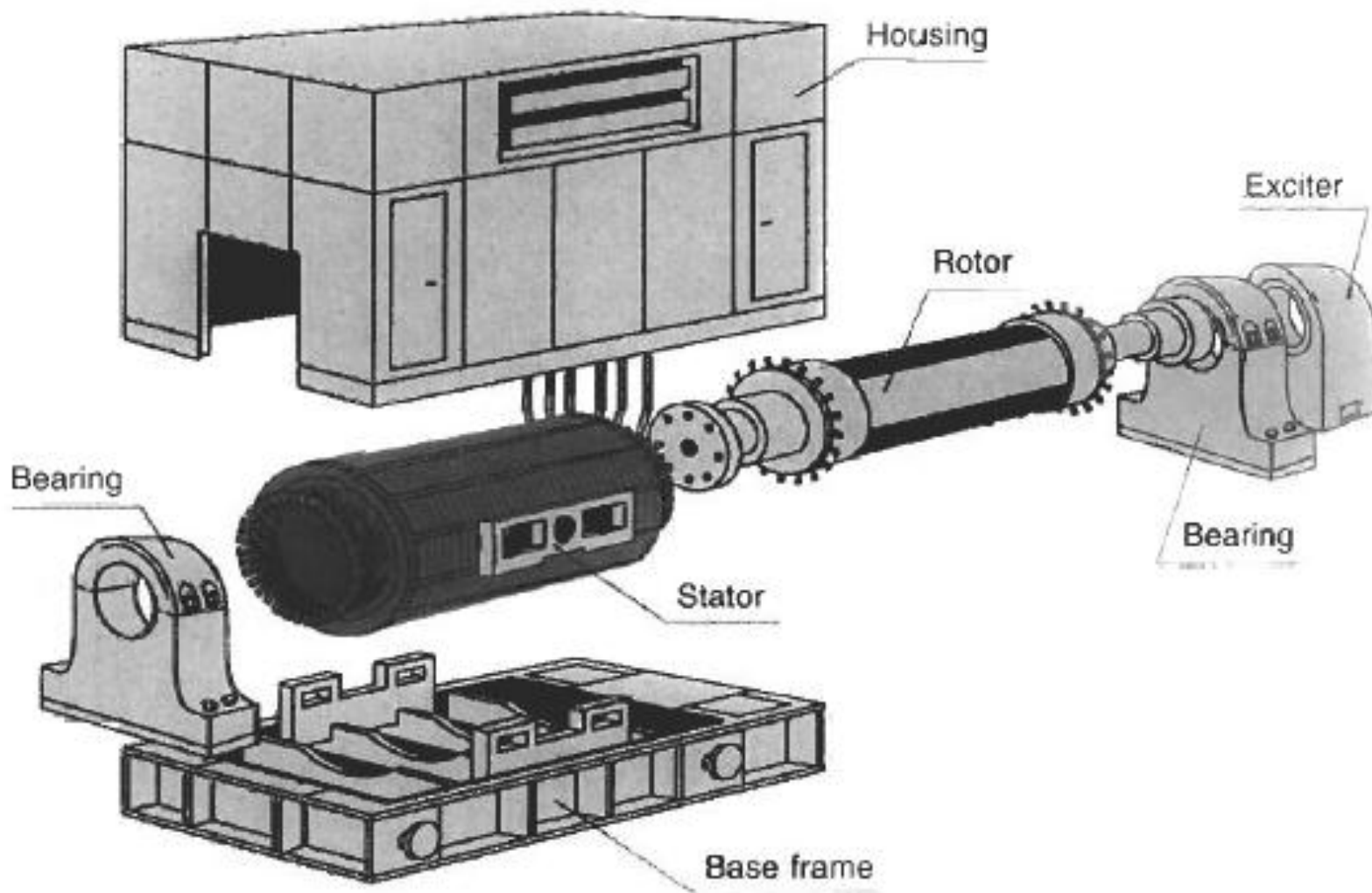
Ključšte

Izlazne stezaljke

3-fazni transformator
spoj trokut-zvijezda

IZMJENIČNI TROFAZNI GENERATOR

Trofazni sinkroni generator -alternator



Trofazni sinkroni generator

- Rotor se okreće, jer ga pokreće pogonski stroj (brzohodni turbogeneratori do 3000 o/min, dizel motor oko 750 o/min).
- Pošto se rotor okreće, za stator će nastalo polje izgledati kao promjenjivo te će se inducirati izmjenični sinusoidalni napon.
- Opterećenje generatora se mijenja a time i izlazni napon, pa se, zbog održavanja stalnog izlaznog napona, neprestano mijenja struja uzbude (*manji napon na izlazu – jača struja uzbude i obratno*) – automatska regulacija napona

Da bi **frekvencija** napona bila konstantna mora se **održavati sinkrona brzina vrtnje rotora**:

Frekvencija izlaznog napona

$$f [Hz] = \frac{n_s \left[\frac{\text{okr}}{\text{min}} \right] \cdot p}{60} \quad 351$$

IZMJENIČNI MOTORI

Okretno magnetsko polje

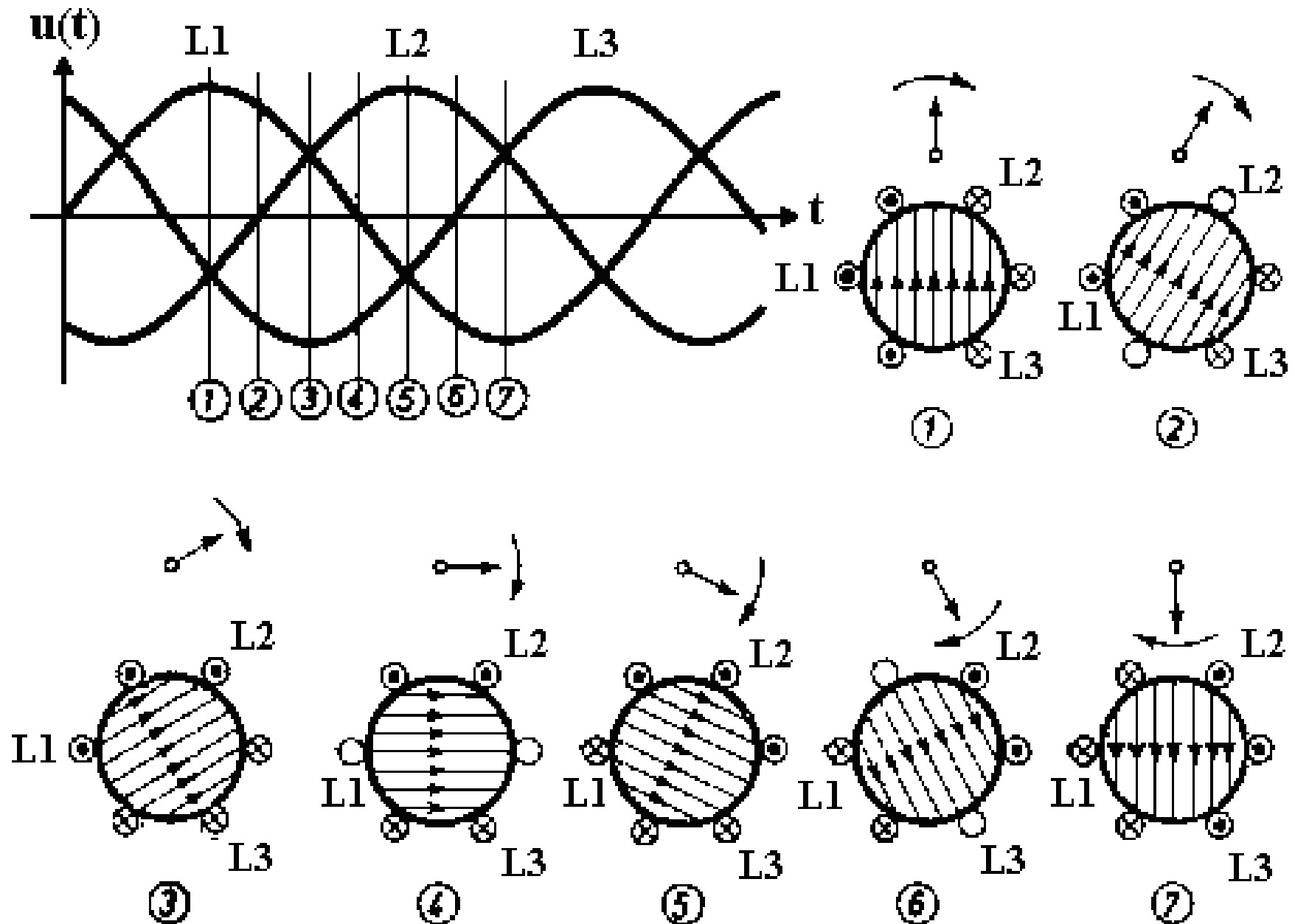
- Ako se **tri namotaja koja se napajaju trofaznom izmjeničnom strujom prostorno razmaknu**, svaki će od namotaja stvarati svoje magnetsko polje
- U svakoj točki prostora postoji **rezultantno magnetsko polje dobiveno vektorskim zbrajanjem polja pojedinih namotaja**.
- Os rezultantnog polja **pomiče se duž namotaja** tako da se uvijek nalazi iznad onog faznog namotaja u kojem je struja maksimalna.

Okretno magnetsko polje

- Dakle, s pomoću trofazne struje dobiva se **u namotajima koji miruju magnetski tok koji rotira - okretno magnetsko polje**
- *Promjena smjera okretnog polja postiže se promjenom redosljeda faza trofaznog sustava.*



Okretno magnetno polje



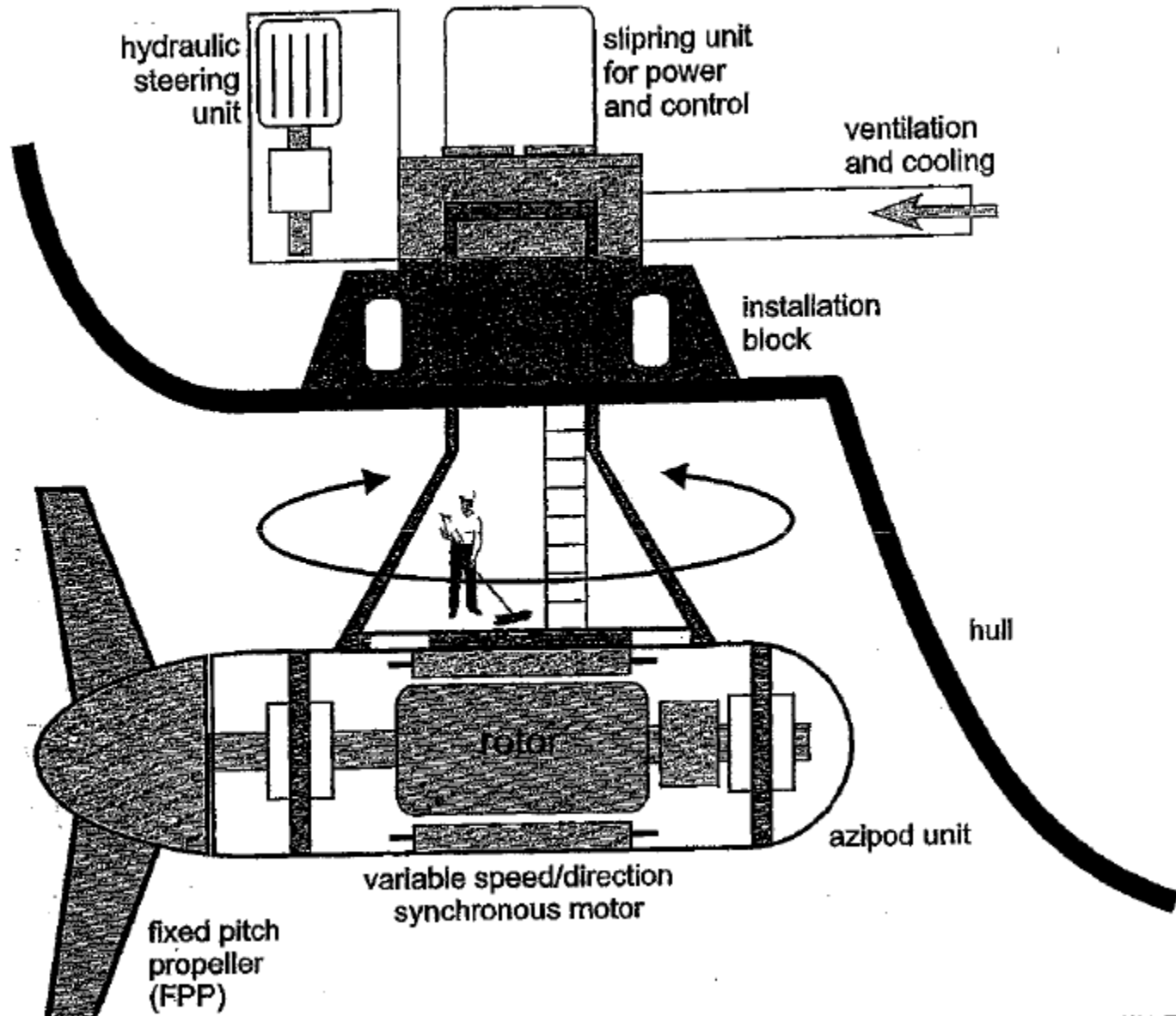
Sinkroni motor

- Sinkroni motor izgleda jednako kao sinkroni generator s jedinom razlikom što mu se **na stator dovodi trofazna struja, a rotor se okreće pod djelovanjem okretnog magnetskog polja.**
- Rotor se može izvesti kao **permanentni magnet ili elektromagnet** tako da se na rotor dovodi istosmjerna struja preko kliznih koluta. **Okretno polje statora vuče magnet rotora za sobom i on se okreće sinkronom brzinom.**
- **Prednost: brzina vrtnje ne mjenja s opterećenjem, jer je čvrsto vezana za brzinu vrtnje okretnog polja. Vrlo velika efikasnost 98 %.**

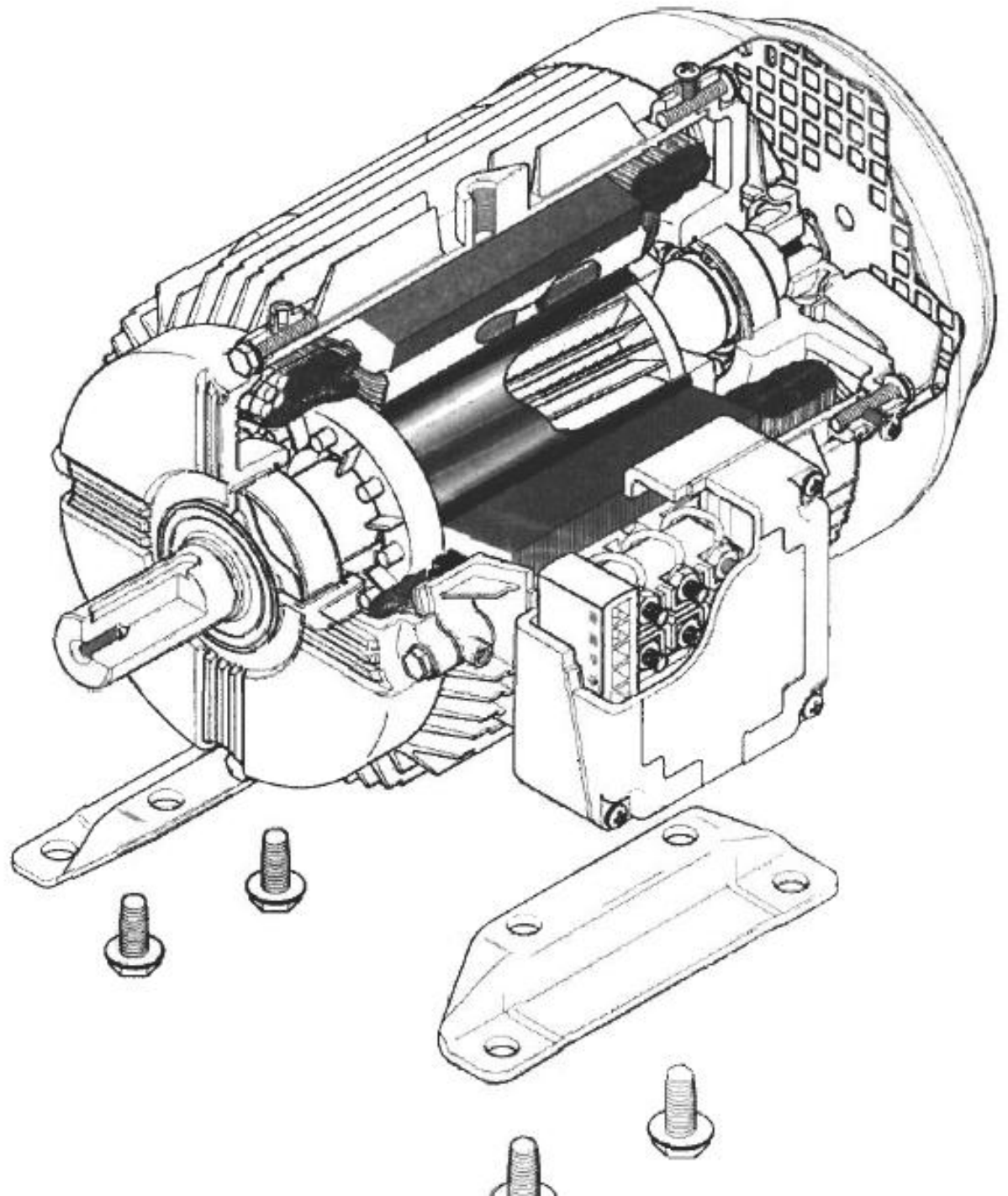
$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \left[\frac{\text{okr}}{\text{min}} \right]$$

Mana: problem dovodenja rotora do sinkrone brzine.

Azipot



Asinkroni motor



Asinkroni motor

- Asinkroni motor **ima stator na koji se dovodi trofazna struja** (isto izgleda kao i stator sinkronog motora), a rotor se sastoji od zavojnica u kojima se inducira napon pod djelovanjem statorskog okretnog magnetskog polja.
- *Inducirani napon u rotoru izaziva struje rotora koji ga magnetiziraju i on se okreće pod djelovanjem okretnog magnetskog polja statora.*
- Rotor se može izvesti kao *kavez (kratkospojni) rotor* ili kao *kolutni (fazni) rotor*.
- Da bi okretno polje induciralalo napone u vodičima rotora, mora biti neka **relativna brzina između okretnog polja i rotora**. *Zaostajanje rotora* za okretanjem magnetskog polja statora zove se **klizanje**

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

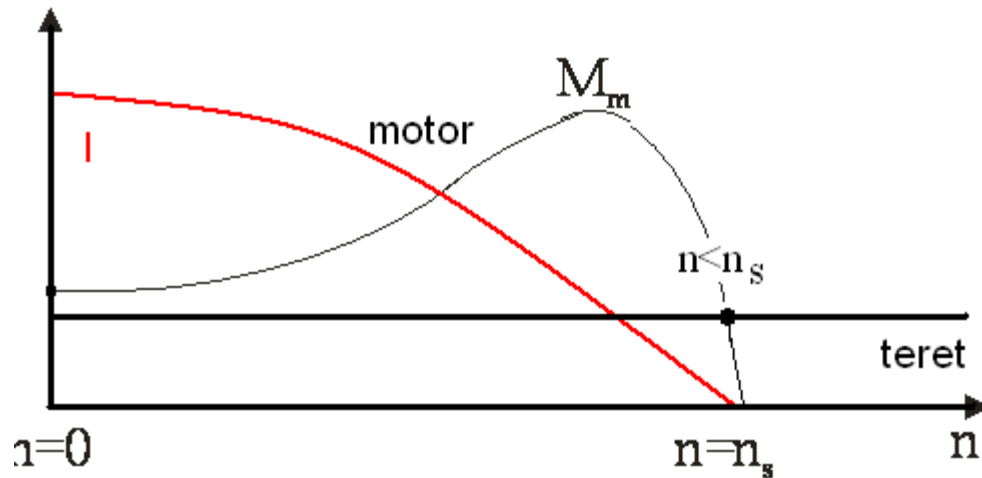
Kavezni (indukcijski) motor:

Kada se stator asinkronog motora priključi na napon mreže, namotima poteče struja koja stvara okretno magnetsko polje. Ono uzrokuje indukciju napona na rotoru. Kada bi motor bio zakočen, događala bi se transformacija te bi motor funkcionirao kao transformator, pa se često ovi motori nazivaju i **indukcijskim motorima**. Svi su *štapovi rotora međusobno spojeni, pa inducirani napon uzrokuje protok struje*. Po pravilu lijeve ruke, mehanička sila pokušava zakrenuti rotor u smjeru vrtnje okretnog magnetskog polja. – problem velike struje pokretanja !!

Kolutni motor:

Motorima s kolutnim rotorom **fazni namot rotora i statora imaju jednak broj polova**. Krajevi namota rotora spojeni su u zvijezdu, dok su počeci izvedeni na tri koluta koji su na osovini. Po kolutima klize četkice koje vode struju na *trofazni otpornik*. Uloga otpornika je postupno **zalijetanje motora** i smanjenje struje rotora prilikom zalijetanja. Kad se motor zaleti isključuje se otpornik.

Momentna karakteristika kaveznog asinkronog motora

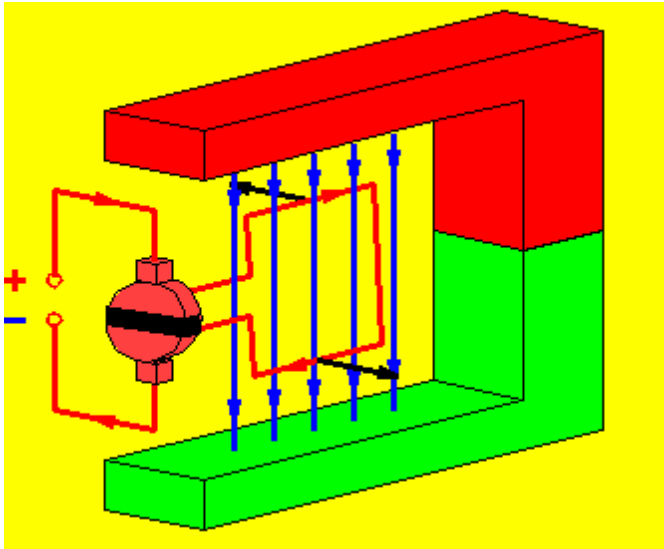


U mirovanju je $s=1$, $n=0$ te je **pokretni moment motora veći od momenta tereta**. Motor ulazi u područja zaleta i doseže maksimum momenta M_m na **70-90% sinkrone brzine**. Nakon toga se moment motora **naglo smanjuje i izjednačava se sa momentom tereta** kada rotor postiže **zadanu brzinu n koja je manja od sinkrone brzine n_s** .

Pri svakom pokretanju statorski namot **povuče iz mreže veliku struju**, što uzrokuje pad napona mreže. Cilj postupaka pokretanja motora je smanjiti struju pokretanja (**zvjezda- trokut spoj**). 361

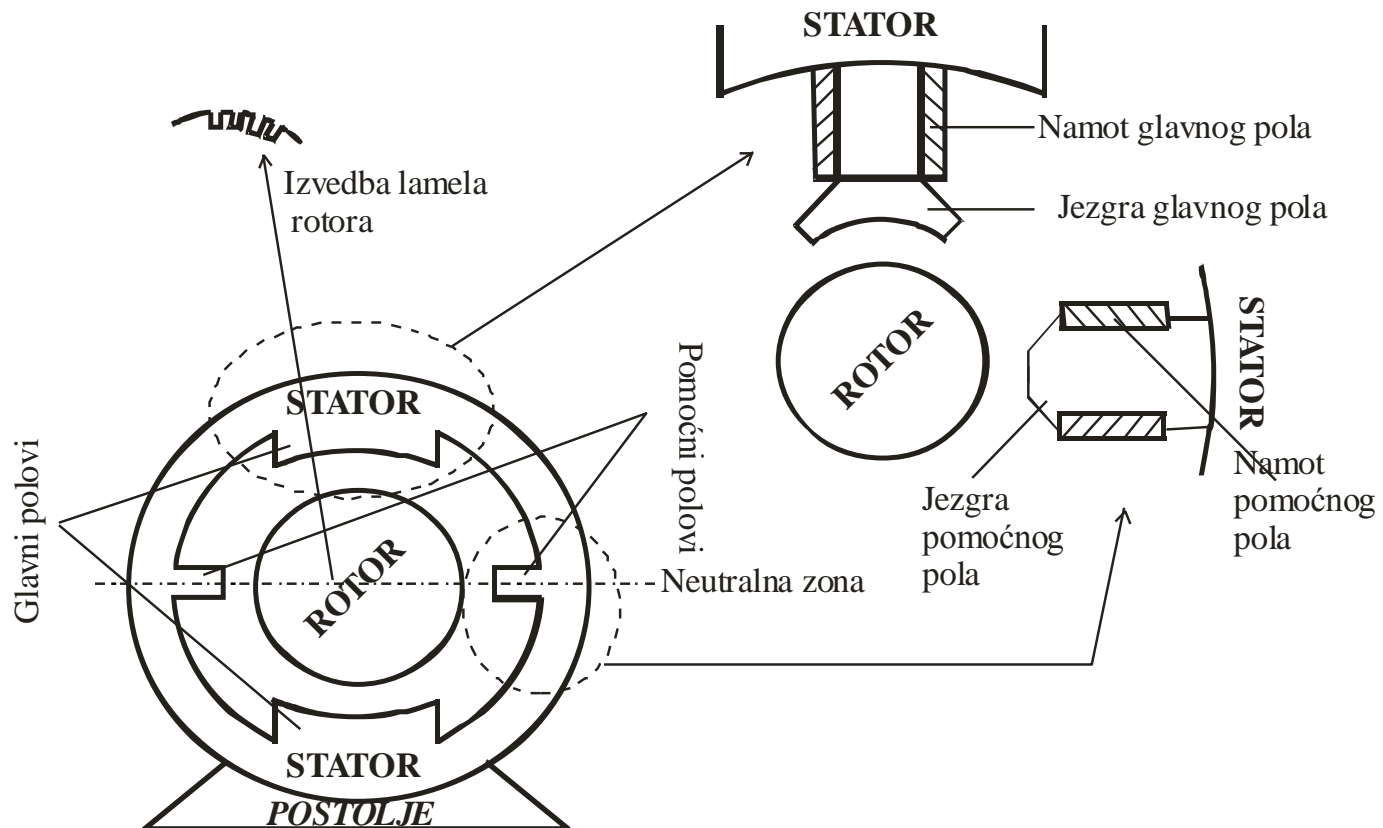
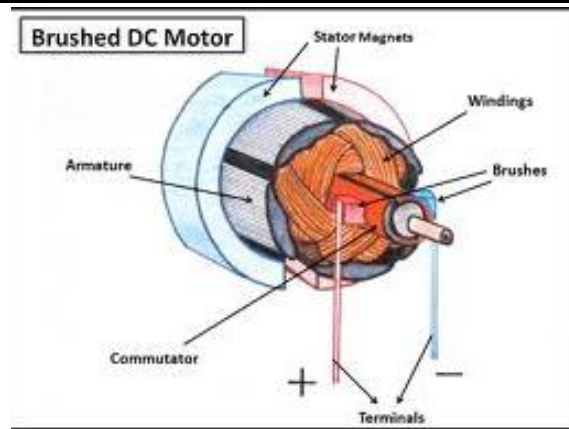
ISTOSMJERNI STROJ

Princip rada istosmjernog stroja



- **Stator** može biti permanentni magnet ili elektromagnet na koji se dovodi struja uzbuđe – **uzbudni namot** statora.
- **Rotor** je s vanjskim krugom spojen preko komutatora – **armaturni namot**

Konstrukcija istosmjernog stroja



Generatorski rad istosmjernog stroja

- **Uzbudnim dijelom stroja** naziva se onaj dio koji nosi uzbudni namot ili permanentne magnete. Uzbuda je smještena na istaknutim polovima i u zračnom rasporu ispod polova stvara polje indukcije B . U tom polju se vrti rotor (armatura), pa se u rotorskim vodičima induciraju naponi.
- **Armaturni** dio nosi namot u kojem se inducira napon. Svaki vodič prolazi naizmjenice ispred N- i S- pola te se **smjer napona induciranog u vodiču mijenja**. Unatoč tome, na četkicama koje klizu po komutatoru (lamelle komutatora spojeni su s vodičima armature), pojavljuje se uvijek napon istog smjera.
- **Komutator** koji se vrti s četkicama koje miruju zapravo je mehanički ispravljač struje **mehanički pretvara izmjeničnu u istosmjernu struju**.
- Kada se na četkice priključi trošilo, **istosmjerna struja protječe kroz trošilo**.

Motorski rad istosmjernog stroja

Ako se umjesto trošila na četkice stroja priključi **vanjski izvor istosmjernog napona**, poteći će struja iz vanjskog izvora u rotor istosmjernog stroja. Na vodiče rotora kroz koje protječe struja djeluje **sila** jer se vodiči nalaze u magnetskom polju statora.

Promjenom polariteta napona vanjskog izvora mijenja se smjer sila na vodiče i rotor se okreće u suprotnom smjeru.

Prema **načinu na koji se napajaj namoti uzbude** istosmjerne strojeve dijelimo na strojeve sa:

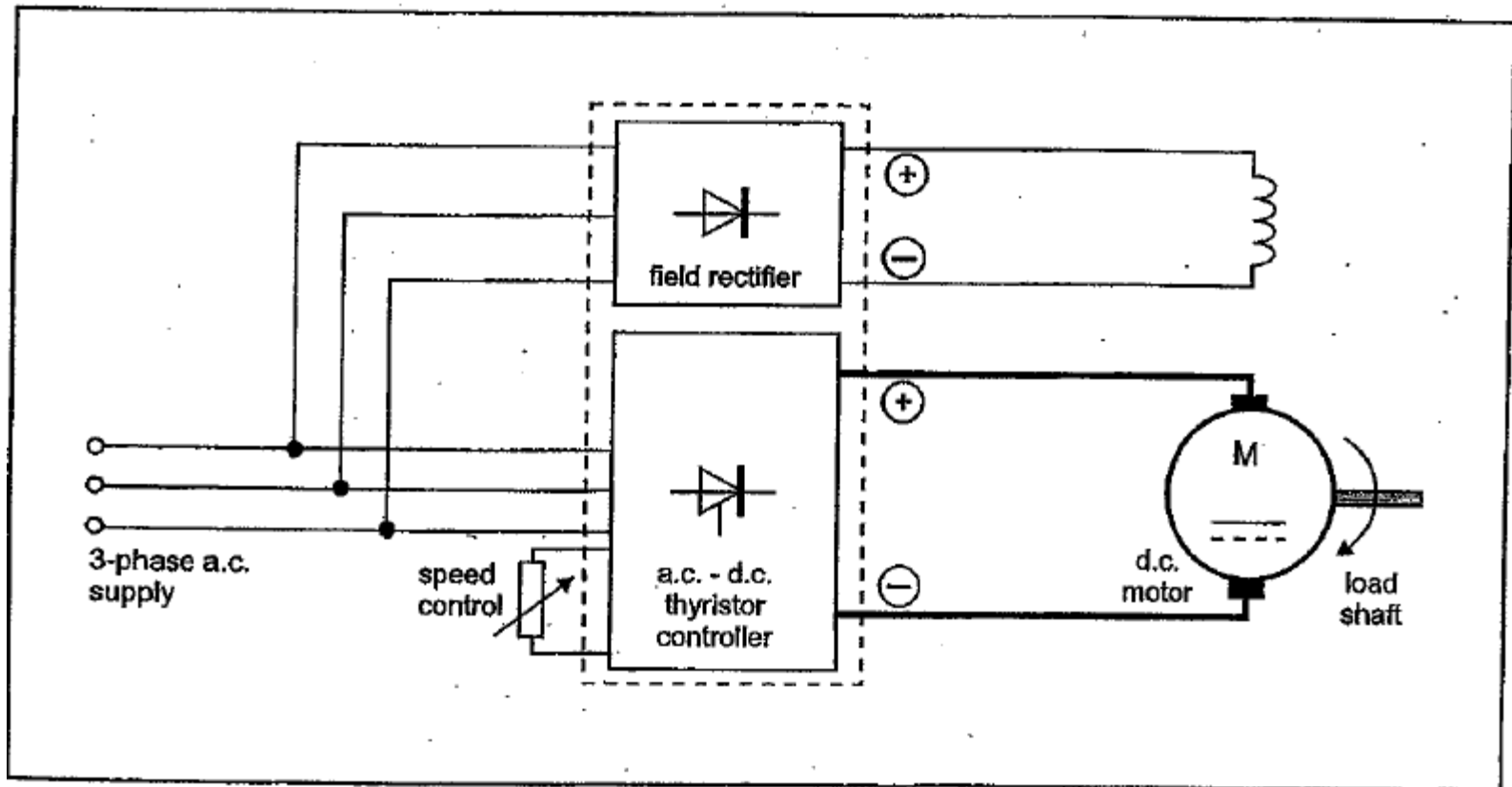
nezavisnom uzbudom – napajanje uzbude iz vanjskog izvora

serijskom uzbudom – uzbuda serijski spojena sa armaturom

paralelnom uzbudom – uzbuda paralelno spojena na armaturu

serijsko-paralelnom (kompaundnom) uzbudom

Regulacija broja okretaja istosmjernog motora



Elektromotorna propulzija na brodovima

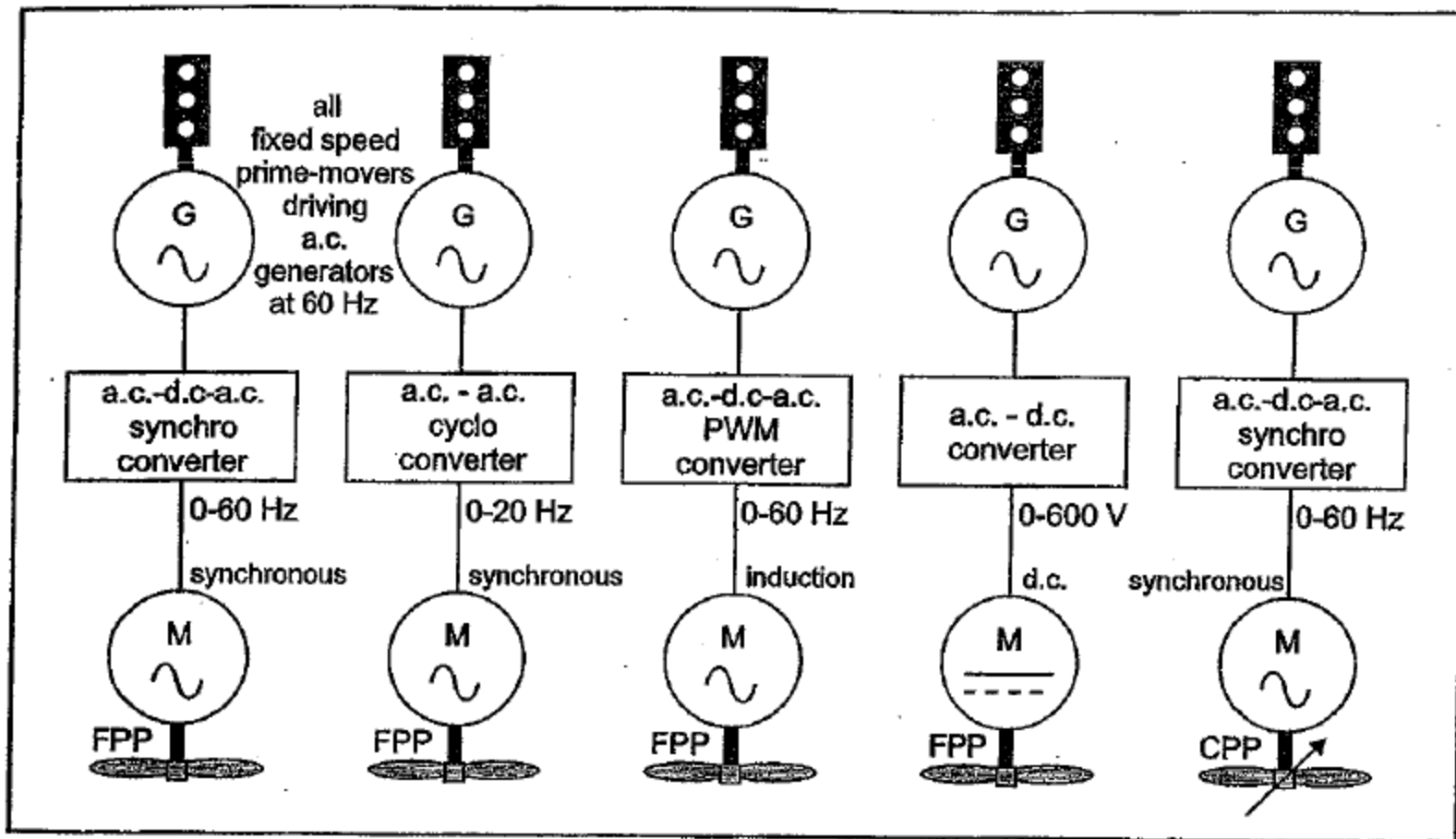


Fig. 8.3 Electric propulsion options.

REŽIMI RADA ELEKTRIČNIH STROJEVA

Režimi rada električnih strojeva

- **Prazan hod** – nema korisnog djelovanja, trošila nisu priključena, stroj je spreman za preuzimanje opterećenja. (*Motor koji nema mehaničko opterećenje. Generator i transformator bez otpora na izlaznim stezaljkama*) – U principu dozvoljen režim rada – osim za serijski istosmjerni motor)
- **Nazivno opterećenje** – kada su mehanička i električka opterećenja u skladu sa karakteristikama stroja – normalno radno stanje.
- **Kratki spoj** - zbog prevelikog opterećenja prestaje korisna pretvorba energije. Razvija se velika toplina, pa se stroj treba zaštititi od kratkog spoja. (*Motor kojemu se rotor zaustavi. Generator i transformator s kratko spojenim izlaznim stezaljkama*) – **Nedozvoljen i opasan režim rada – zaštita !!!**

RAZVOD ELEKTRIČNE ENERGIJE NA BRODU

Izvori i trošila na brodu

- **Izvori energije na brodu mogu biti:** *generatori, akumulatorske baterije, solarne ćelije, električni pretvarači i priključak za kopno.*
- **Trošila na brodu mogu se podijeliti na:** *elektromotorni pogon, topilnska, rasvjetna, navigacijska i komunikacijska, itd.*

Povijesni razvoj elektrifikacije broda

- Teretni brod „Columbia“ 1880. godine. 115 žarulja.
- Teretni brod „Oregon“ porinut 1883. godine. 500 žarulja.
- Danas su brodovi nezamislivi bez električnog pogona pomoćnih strojeva strojarnice, palubnih strojeva, gospodarskih uređaja i uređaja radionice, grijanja ili klimatizacije, navigacijskih elektroničkih i komunikacijskih uređaja, signalizacije i rasvjete.
- Specijalni brodovi koji imaju električnu propulziju (Cruseri, ledolomci, kablopolagači, i brodovi sa zahtjevnim manevriranjem, dinamičko pozicioniranje ...)

Povijesni razvoj elektrifikacije broda

U početku se koriste **istosmjerni izvori** (dinamo – generator istosmjerne struje), a prvi je ugrađen 1880. Od 1896 na brodove se uvode i pričuvne akumulatorske baterije.

Napredak postaje uvođenje izmjenične struje koja od 1955. postaje izvor za razna brodska trošila.

Od 1965. proizvode se veliki trofazni **sinkroni samouzbudni kompaundni generatori**, s vrlo brzom regulacijom napona te postaju glavni izvori električne struje na brodu. **Istosmjerni izvor postaje pomoćni izvor na velikim brodovima**, dok je ostao osnovni samo na malim brodovima.

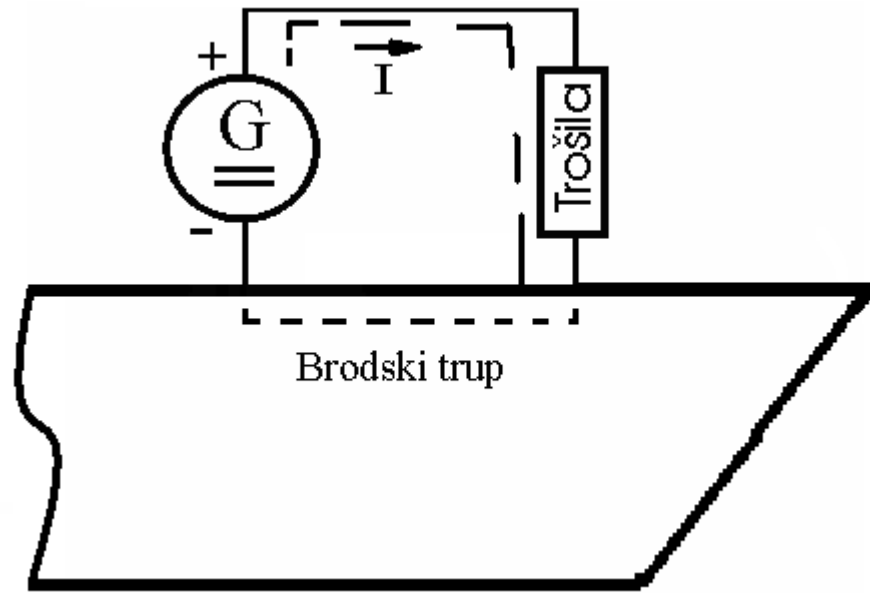
Uvođenje velikih elektromotora za pogon brodova zahtjeva **visoki napon na brodu** (6000 V).

Razvod i razdioba električne energije na brodu

1. za **istosmjernu struju** (*jednovodni s upotrebom brodskog trupa kao povratnog vodiča do 50 [V], dvovodni izolirani, trovodni*),
2. za **jednofaznu izmjeničnu struju** (*jednovodni ili dvovodni*),
3. za **trofaznu izmjeničnu struju** (*trovodni izoliran u sve tri faze, trovodni uzemljen zvjezdištem s tri izolirane faze, trovodni s tri izolirane faze i nul vodom i trovodni s tri izolirane faze i uzemljenim nul-vodom priključenim na zvjezdiše izvora*).

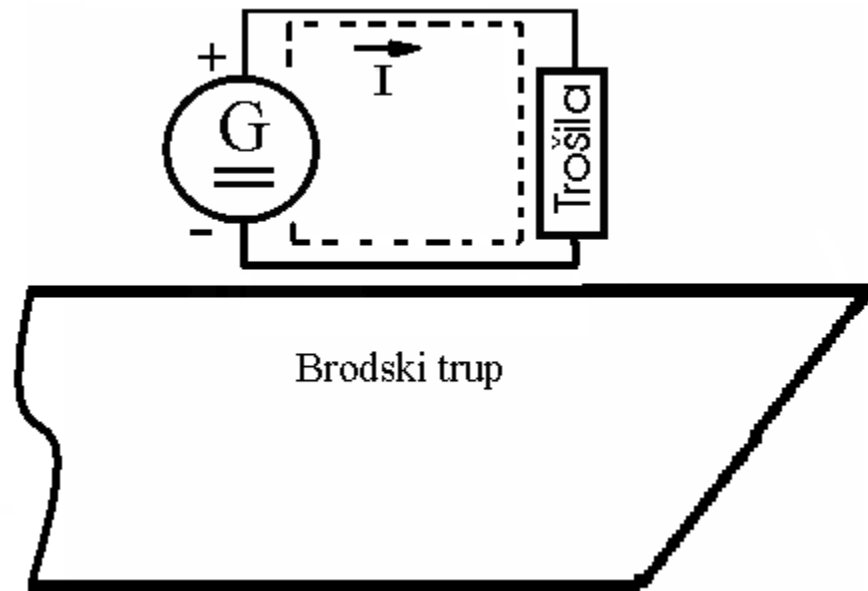
RAZDIOBA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA BRODU

Jednofazna izmjenična ili istosmjerna struje – jednovodni sustav



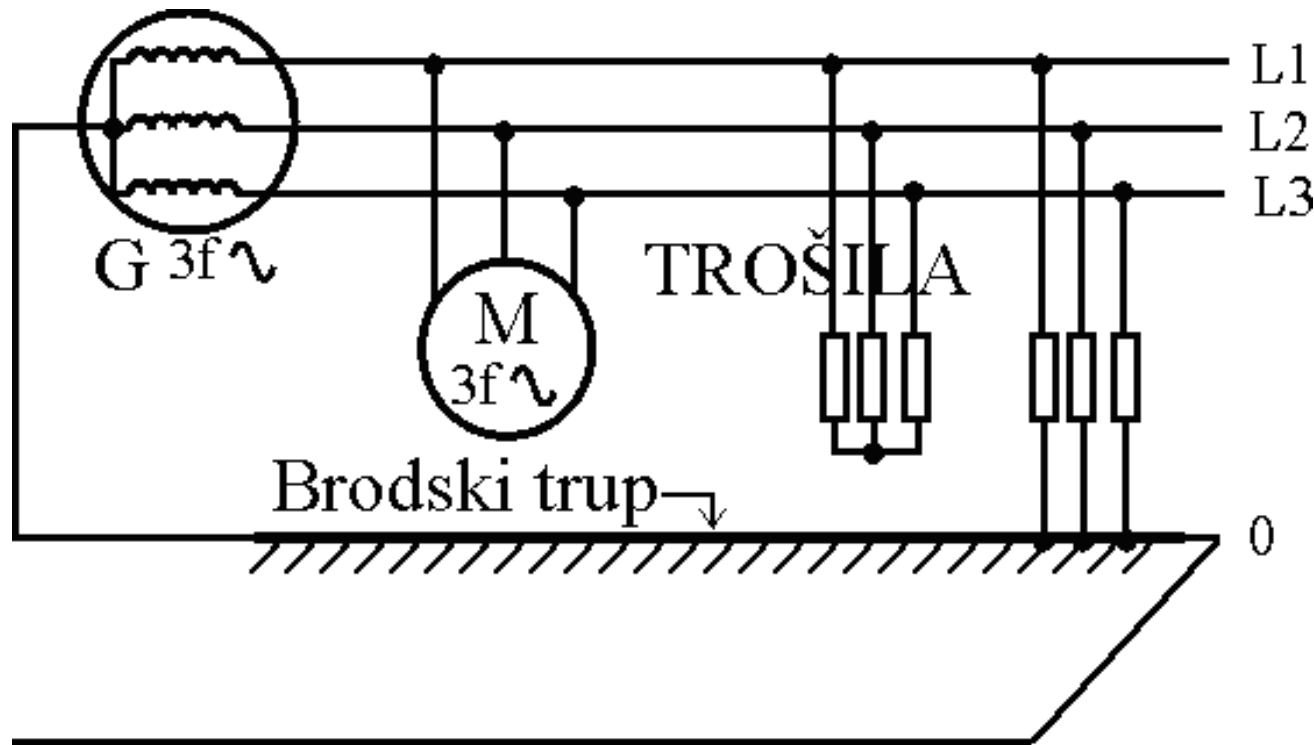
- Kod jednovodnog sustava koristi **jedan vodič kao + pol, a kao drugi vodič za - pol koristi se brodski trup.**
- Opasno !!

Jednofazna imjениčna ili istosmjerna struja – dvovodni sustav



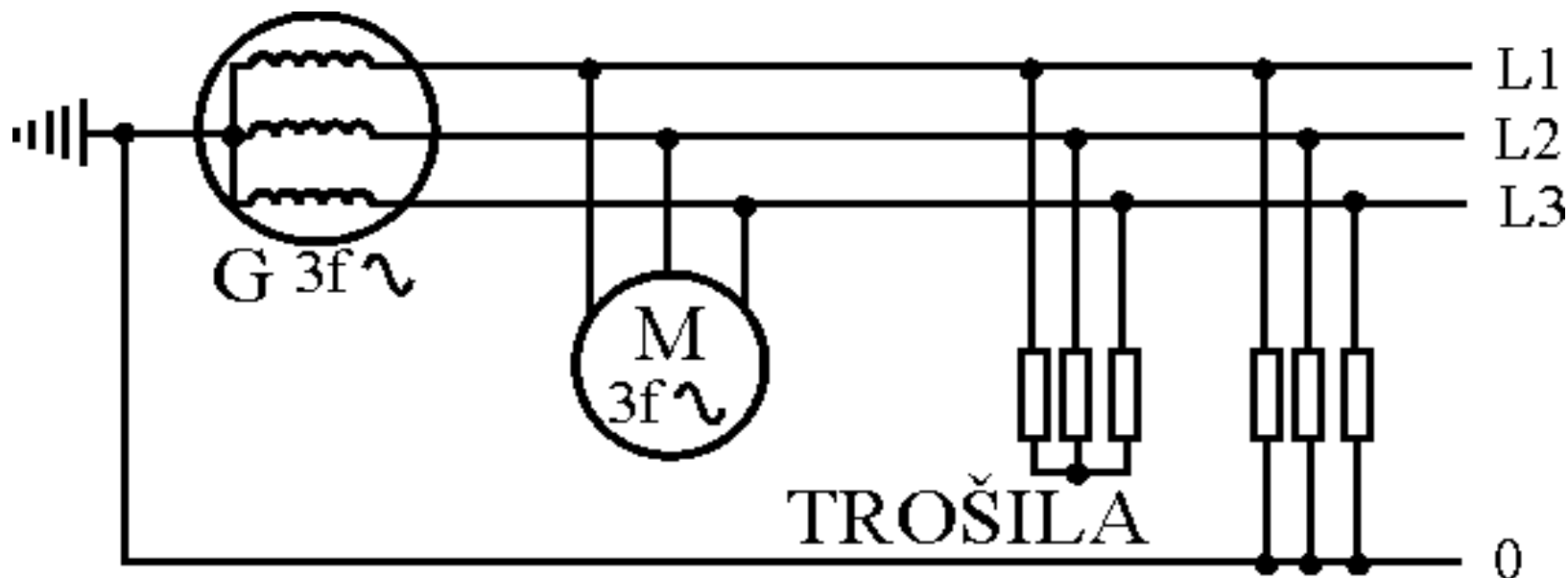
- **Ne koristi se brodski trup za razvod električne struje.**

Trofazna izmjenična struja – trovodni sustav gdje brodski trup služi kao nul vod



- **Jeftini i posebno opasni zbog požara – zabranjeni za tankere**
- **Laka dijagnostika kvara i izolacija pokvarenog dijela kruga**

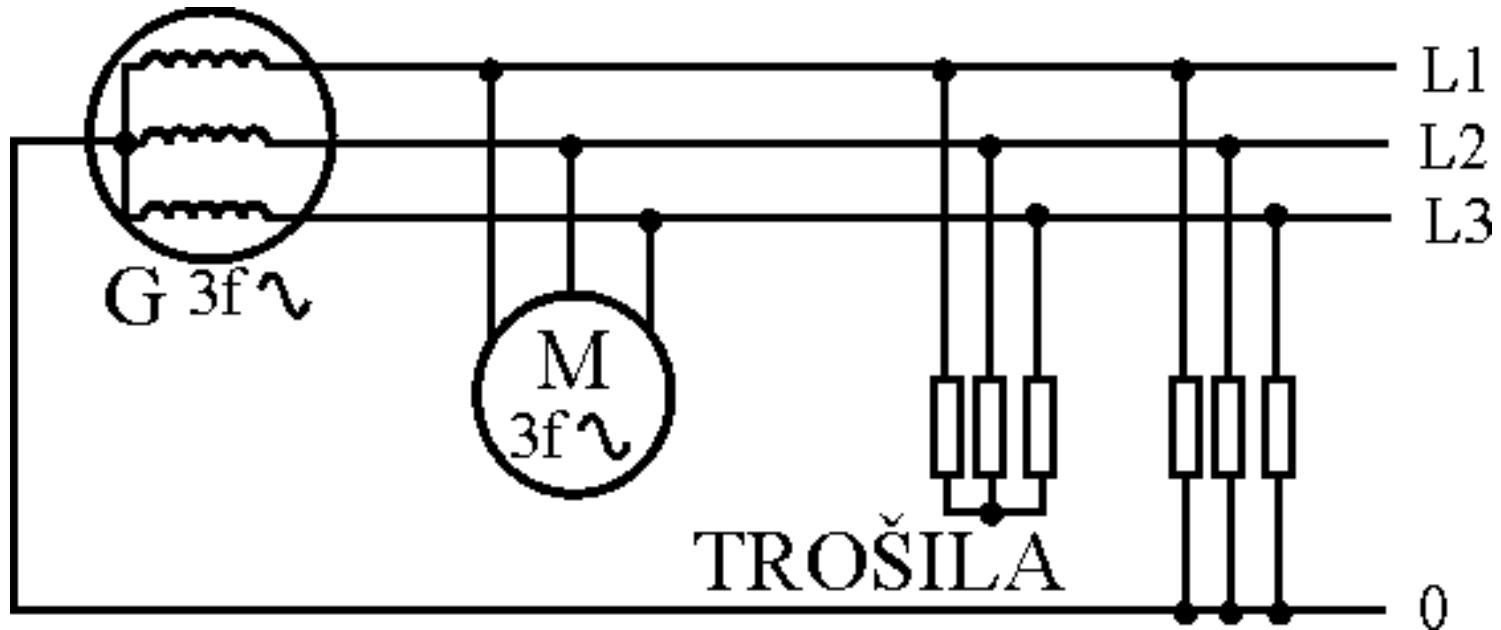
Trofazna izmjenična struja – trovodni sustav s nul vodom uzemljenim na zvjezdište izvora



• Također opasan (nešto manje od prethodnog) jer je zvjezdište uzemljeno na trup (smanjuje se struja kvara ako se zvjezdište uzemljuje preko otpornika)

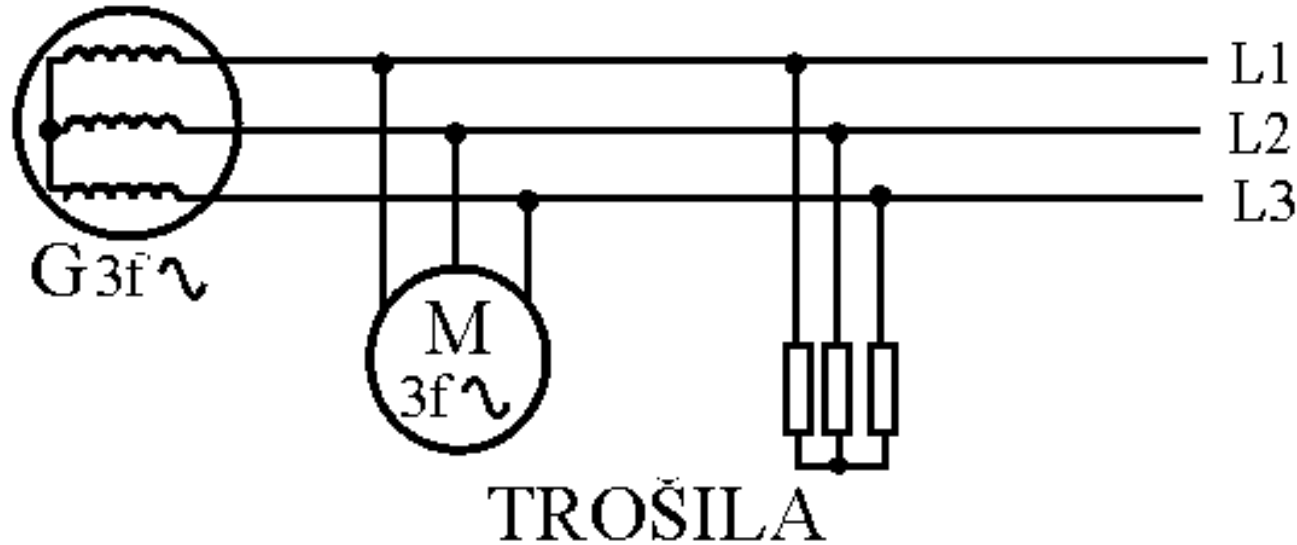
• Laka diagnostika kvara i izolacija pokvarenog dijela kruga³⁸⁰

Trofazna izmjenična struja – trovodni sustav s nul vodom



- Mogu se koristiti jednofazna trošila
- **Pogodni za tankere** – nema opasnosti od požara jer ne može nastati iskra između faze i trupa broda (uzemljenje nije spojeno s trupom)
- Teško je otkriti kvar u slučaju proboja jedne faze na trup broda

Trofazna izmjenična struja – trovodni sustav bez nul voda

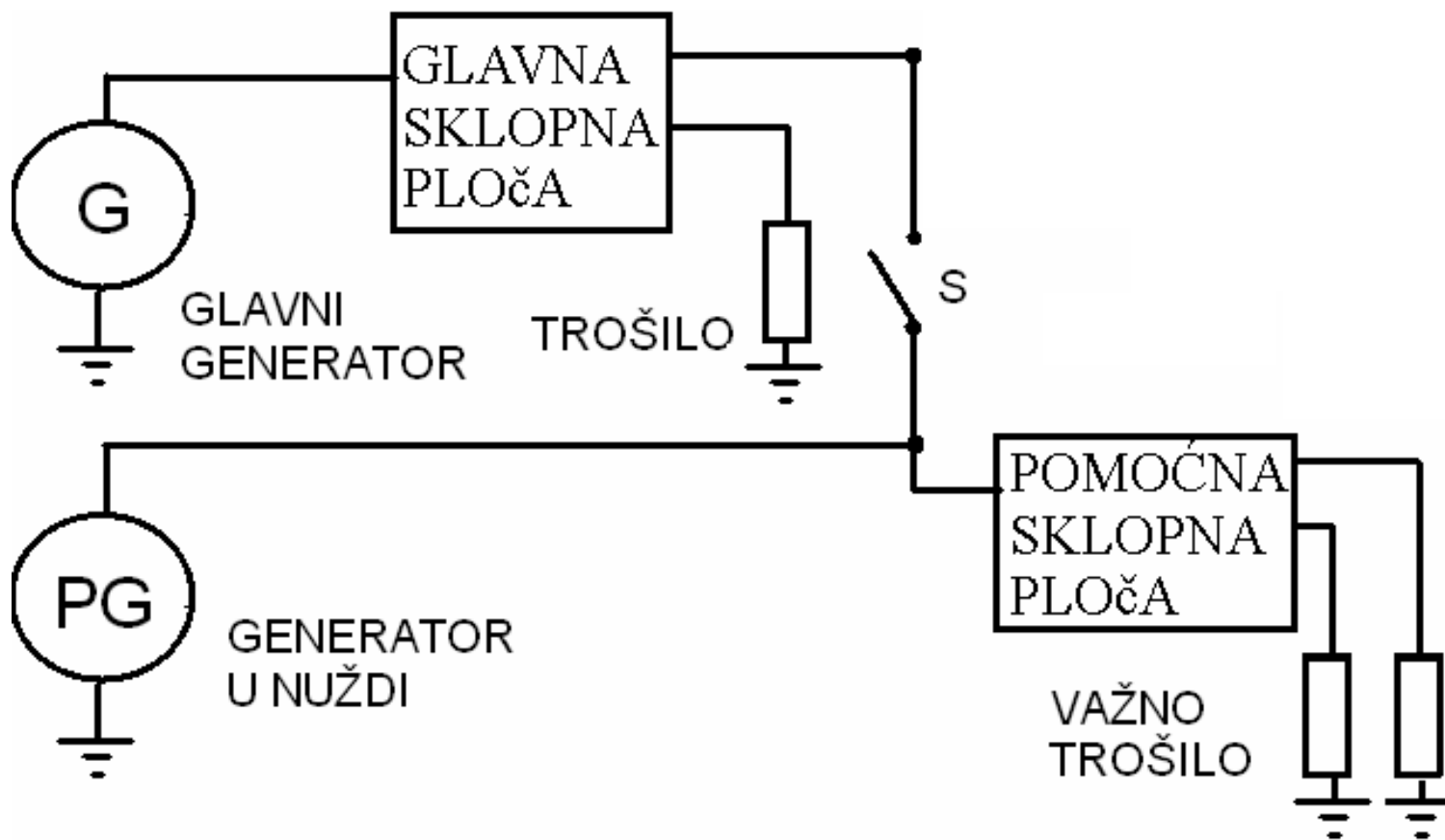


- **Idealan za tankere i LNG – vrlo siguran**
- **Teško je otkriti kvar u slučaju proboja jedne faze na trup broda, teško izolirati dio ruga u kvaru**
- **Ne mogu se koristiti jednofazna trošila**

Razvodne ploče

- **Glavna sklopna (razvodna) ploča** je mjesto električnog sustava gdje se **dovodi energija iz generatora i odvodi prema trošilima** izravno ili preko ostali sklopnih uređaja (pomoćne sklopne ploče, uputnici, razdjelnici, pultovi i upravljački ormari).
- **Sklopni uređaji** sastoje se od **sklopki, pokretača, prekidača, osigurača, okidača, releja, mjernih i signalizacijskih uređaja**. Postoje i elektroenergetski sustavi s više naponskih razina te može biti i više glavnih sklopnih ploča.
- **Sklopna ploča za nuždu (pomoćna sklopna ploča)** sa sklopnim uređajima za **generator u nuždi** mora se nalaziti u razini glavne palube, obično na palubi čamca za spašavanje.

Glavna i pomoćna razvodna ploča



U **normalnom radu** radi jedan ili više glavnih generatora, PG ne radi, S uključena

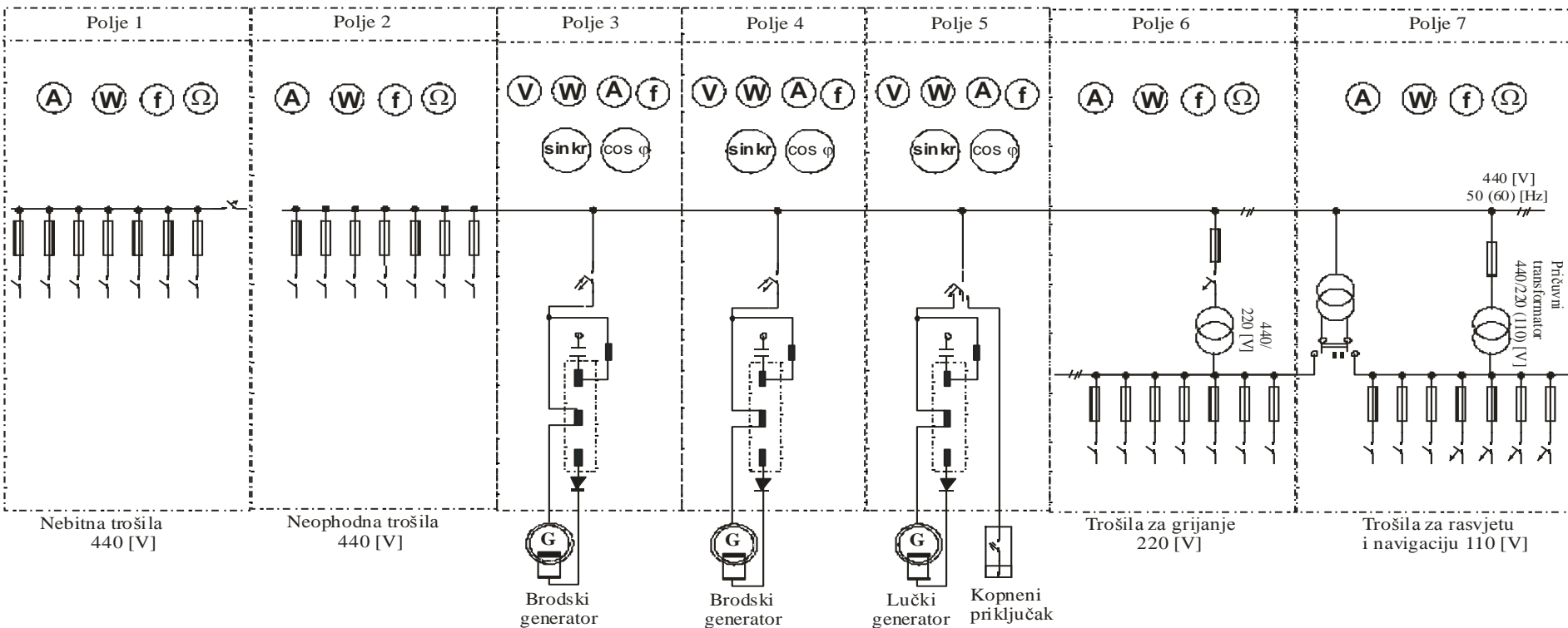
U slučaju **otkaza glavnog generatora**, S isključuje i automatski se pokreće PG. Odspaja se glavna ploča, napajaju se važna trošila

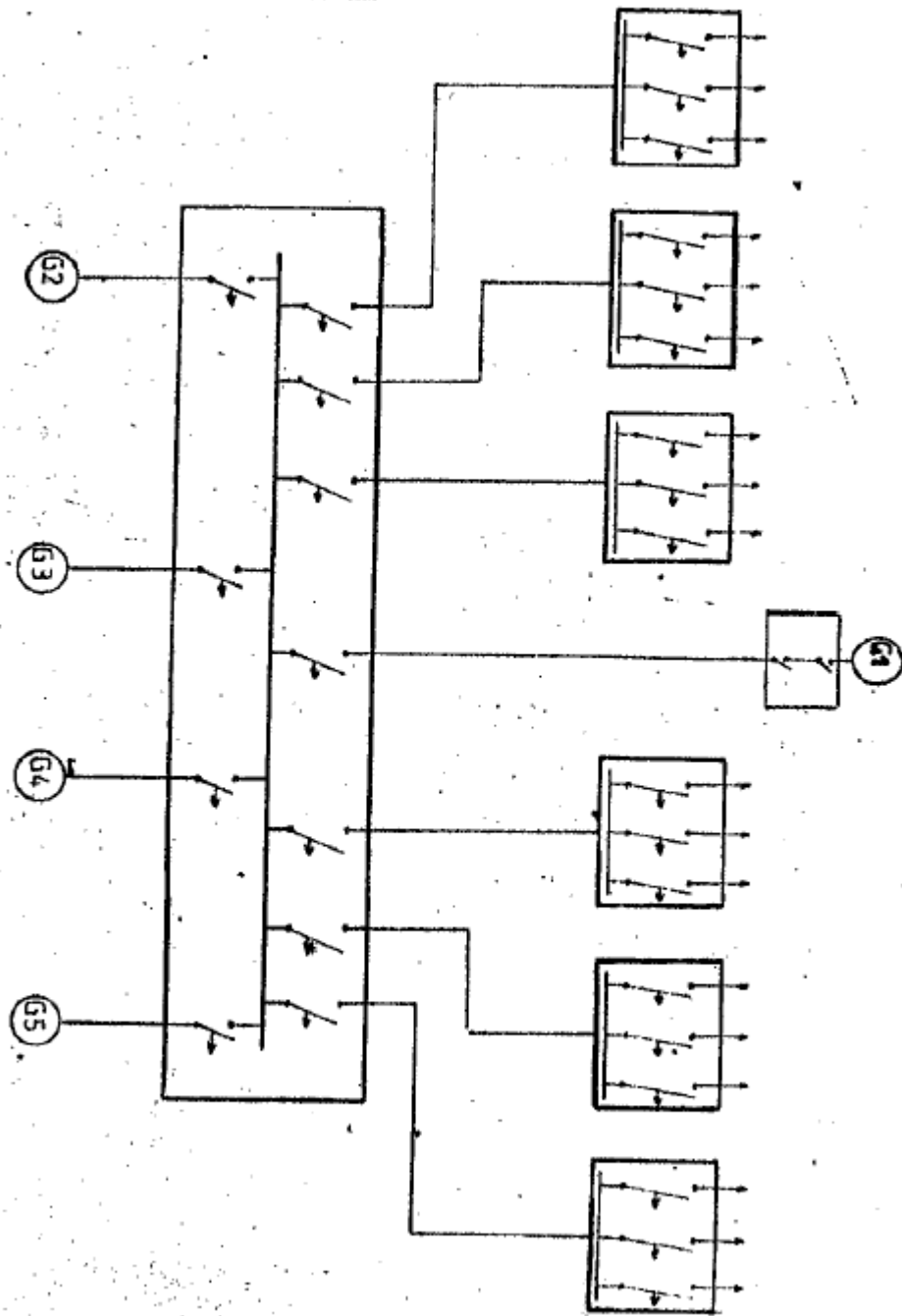
Glavna razvodna (sklopna) ploča

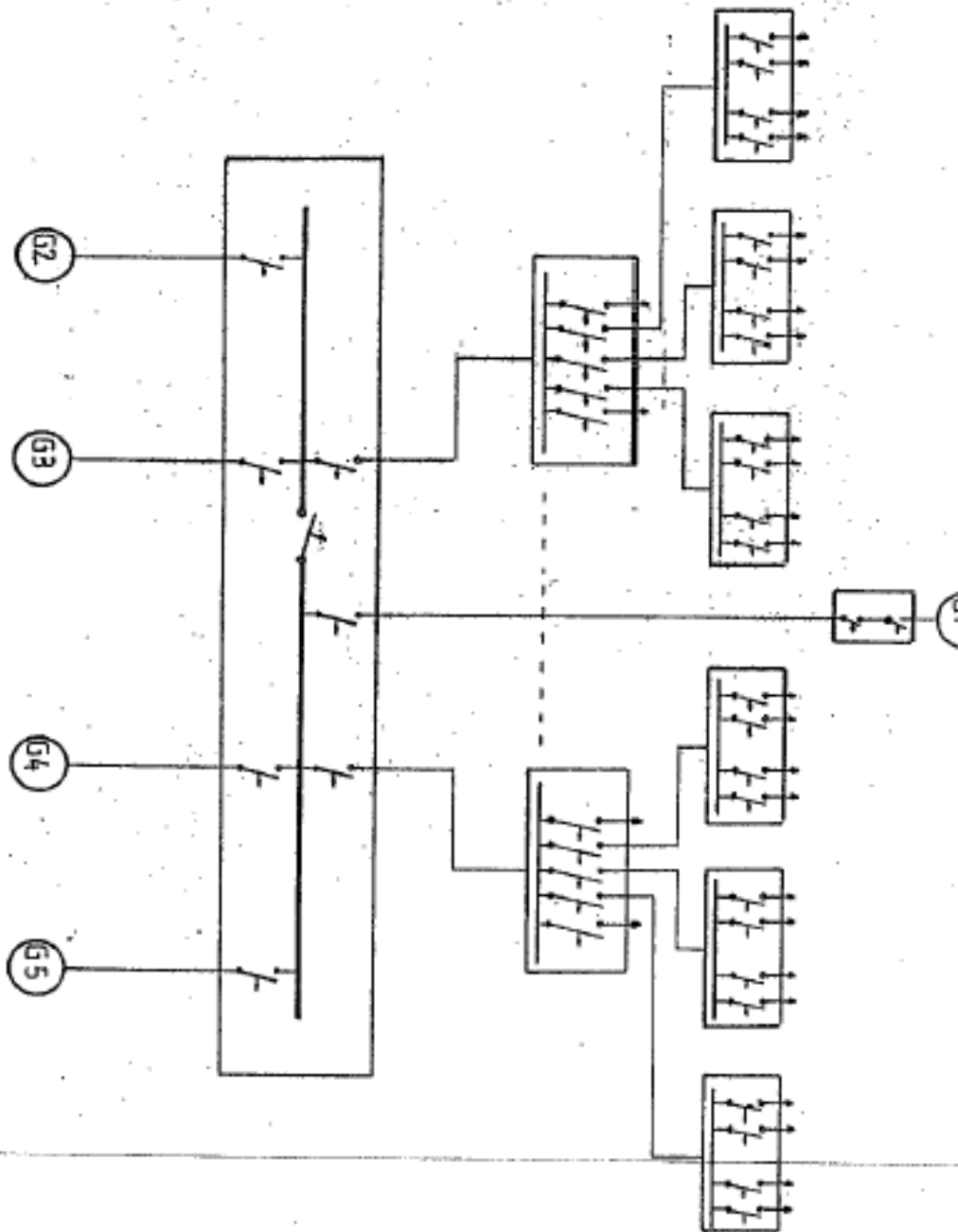
Podjeljena je na polja generatora, važnih trošila i manje važnih trošila.

- 1. Polja generatora - dovodi se energija glavnih generatora i priključak na kopno.** Polje sadrži *voltmetar, vatmetar, ampermetar, frekvenciometar, sinkronizacijske lampice, preklopku unutar regulatora pogonskog stroja, preklopke za instrumente, kontrolne lampice za glavnu sklopku i ručicu glavne sklopke.*
- 2. Polja manje važnih trošila – pomoćna sklopna ploča za manje važna trošila** (crpka hidrofora, kompresori, štednjaci, ventilacija, sidrena vitla,...). Polje sadrži *uz gore spomenuto, i preklopke za pojedina trošila.*
- 3. Polja važnih trošila – spojen sa generatorom za nuždu.** Polje sadrži *ampermetar, voltmetar, vatmetar, $\cos \varphi$ - metar i frekvenciometar.* Napaja važna trošila, osvjetljenje, pozicijska svjetla, uređaji kormila, uređaji za zatvaranje pregrada, dojava požara, radio uređaji, Imaju i ručice sklopki, prekidače i preklopke za pojedine važne uređaje i trošila.

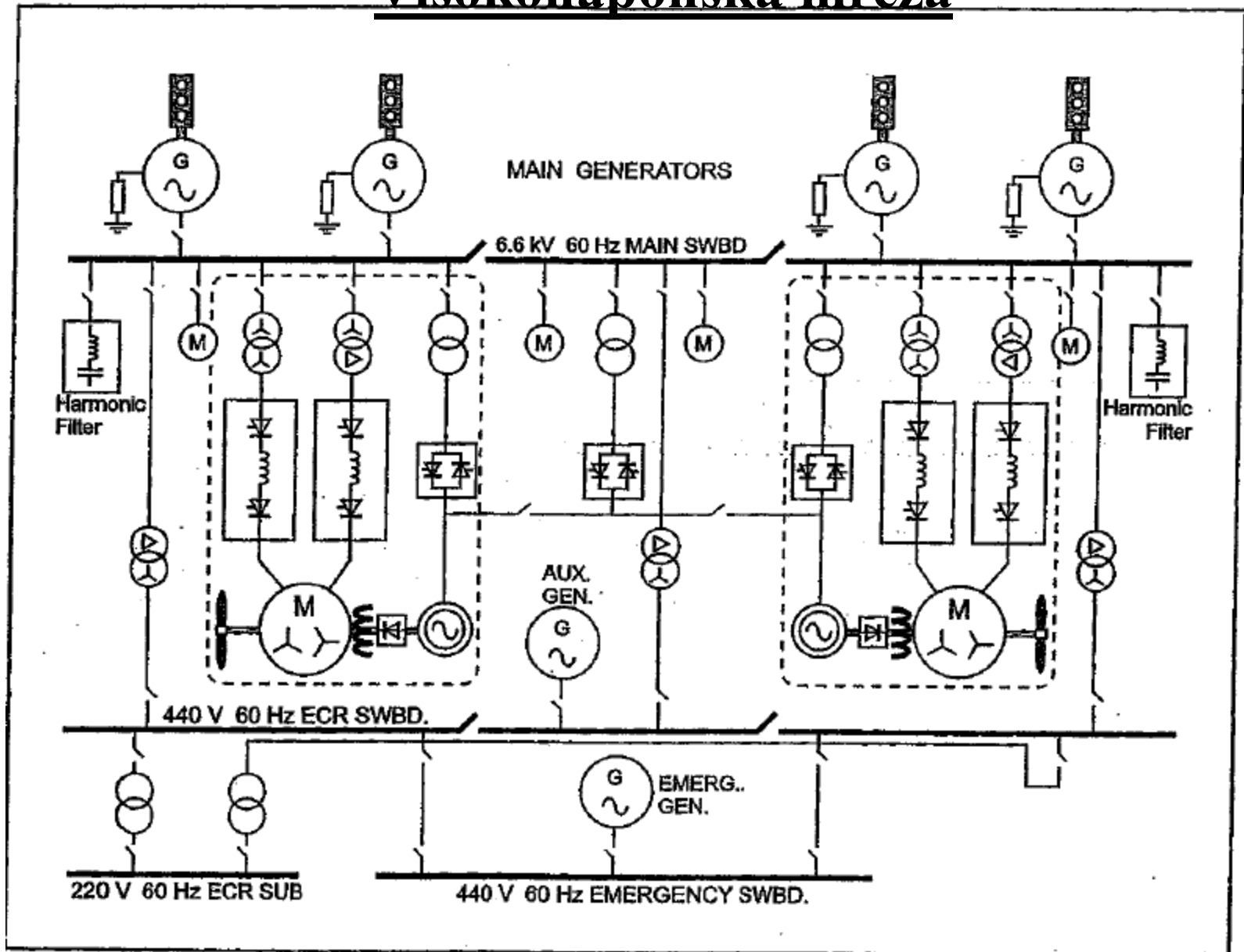
Glavna razvodna ploča



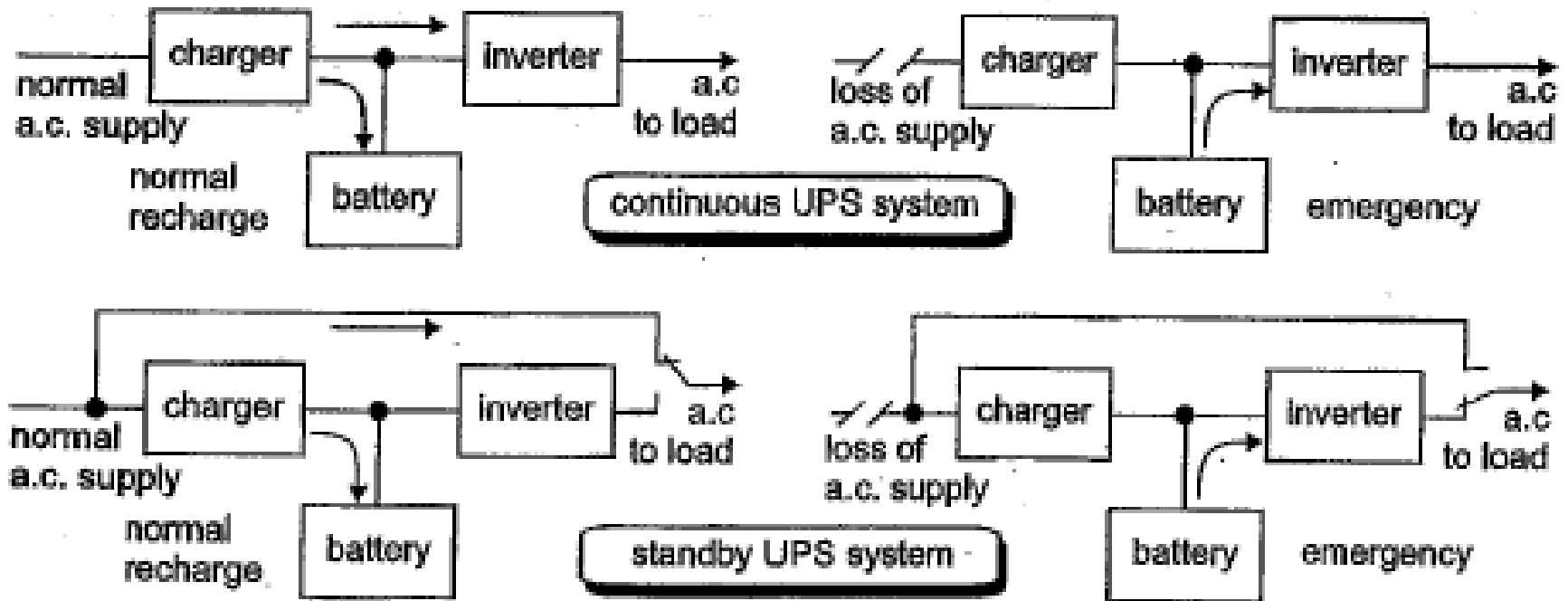




Visokonaponska mreža

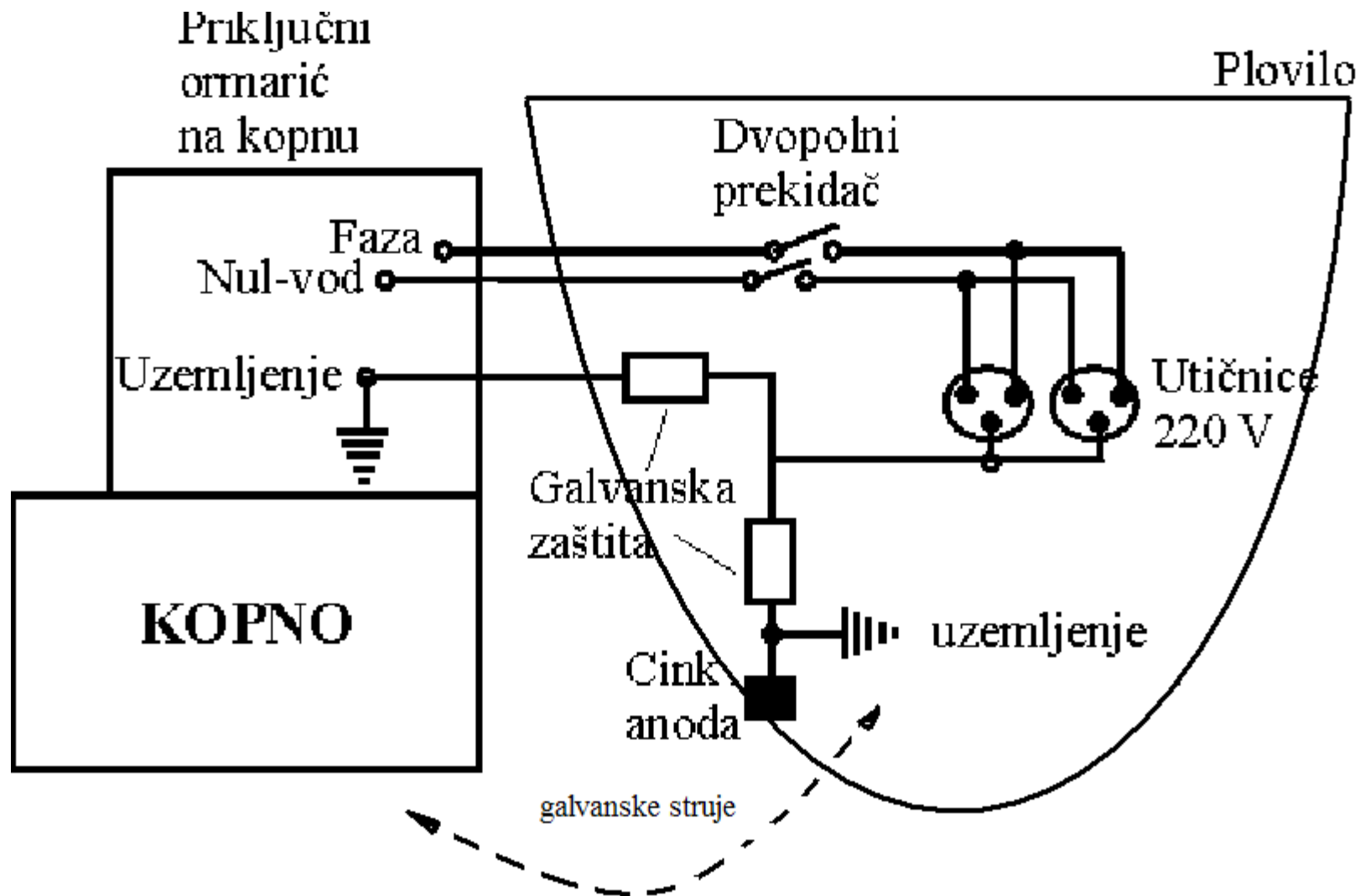


UPS – besprekidno napajanje



Namjena UPS (uninterruptible power supply) jest da **premosti nestanak struje** u trenutku nastanka “black-out” na brodu.

Priključak za kopno



ELEKTRIČNA RASVJETA

Električna rasvjeta

Električni izvori svjetlosti su uređaji koji električnu energiju pretvaraju u svjetlosnu. Izvori svjetlosti zrače i elektromagnetske valove duljine od 380 do 780 nm, koje čovjek okom registrira kao svjetlost.

Do pretvorbe električne energije u svjetlosnu može doći:

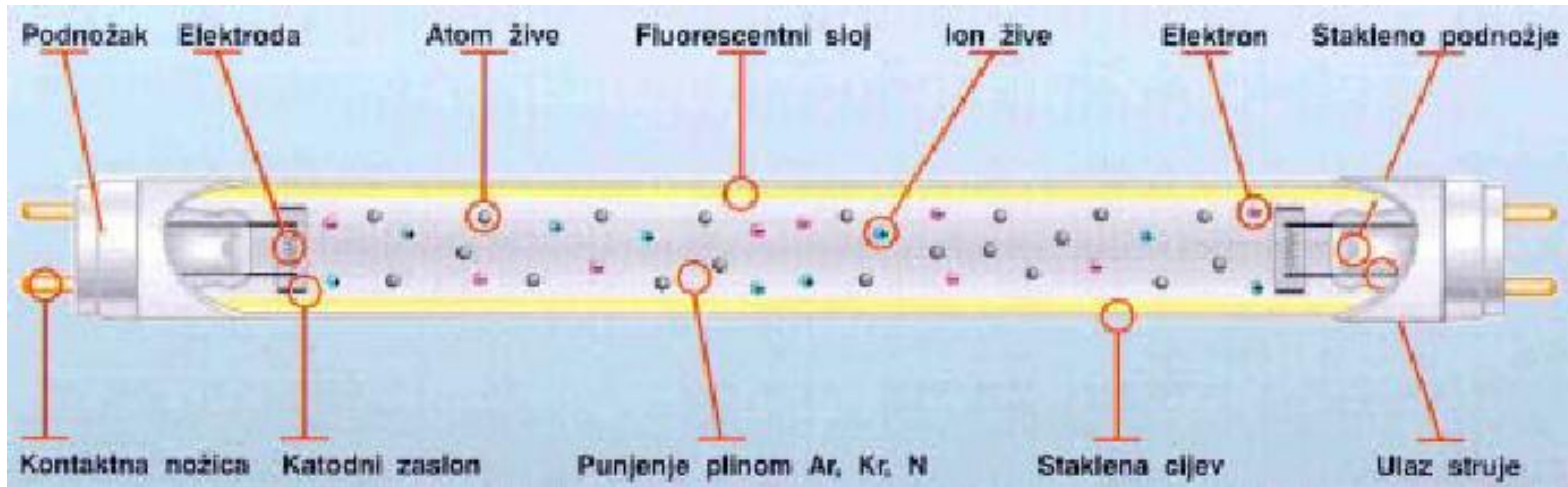
- - na temelju zagrijavanja wolframove žice (joulova toplina) - žarulje sa žarnom niti
- - na temelju emitiranja “hladne” svjetlosti - fluorescentne sijalice i svjetleće diode

Žarulja sa žarnom niti



Napušta se jer troši puno energije – mala efikasnost, mala trajnost

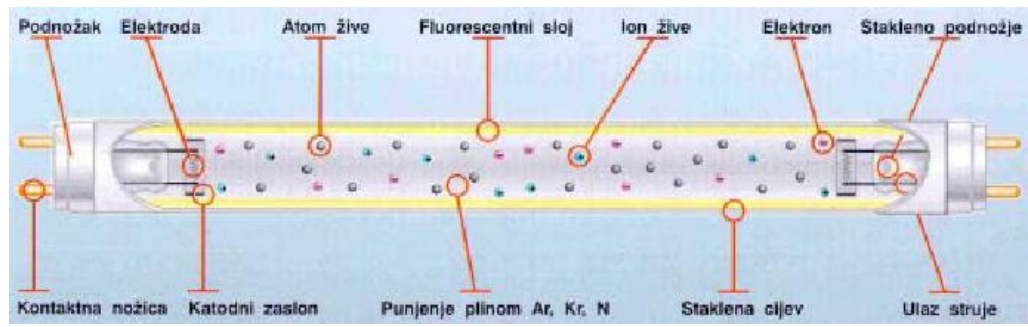
Flourescentna žarulja



*Struja elektrona prolazi kroz plin u kojemu se nalaze pare Hg.
Elektroni se sudaraju sa atomima Hg i nastaje UV zračenje.*

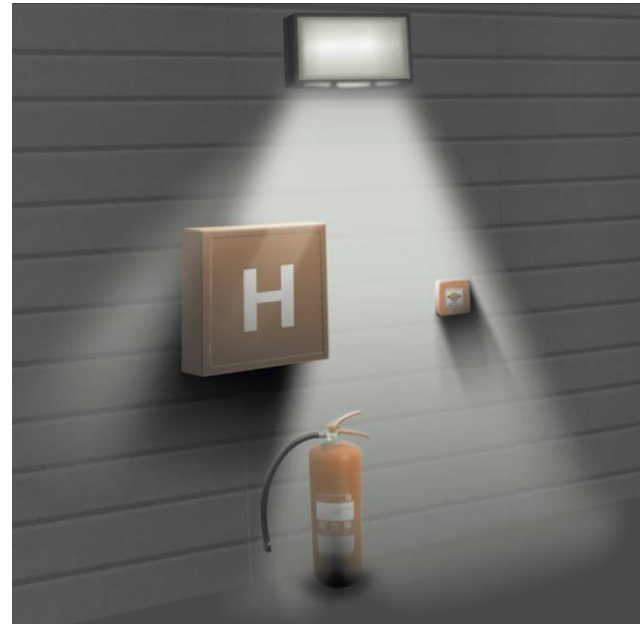
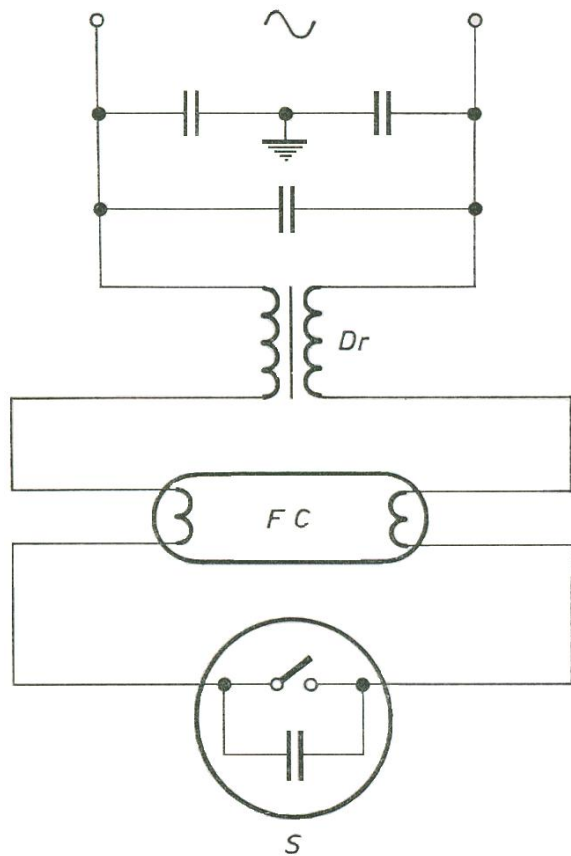
*UV zrake padaju na flourescentni sloj na stjenci cijevi i emitiraju
“hladnu” svjetlost – mala potrošnja struje*

Flourescentna žarulja



- Fluorescentna rasvjeta ima veliku svjetlosnu učinkovitost.
- Žarulje su manje osjetljive na promjene temperature od ostalih izvora svjetlosti, te se koriste na niskim i visokim temperaturama, na mjestima izloženim promjenama vremenskih prilika, i sl.
- Pogodne su za detaljnu rasvjetu manjih prostora i kao indikatorska svjetla.

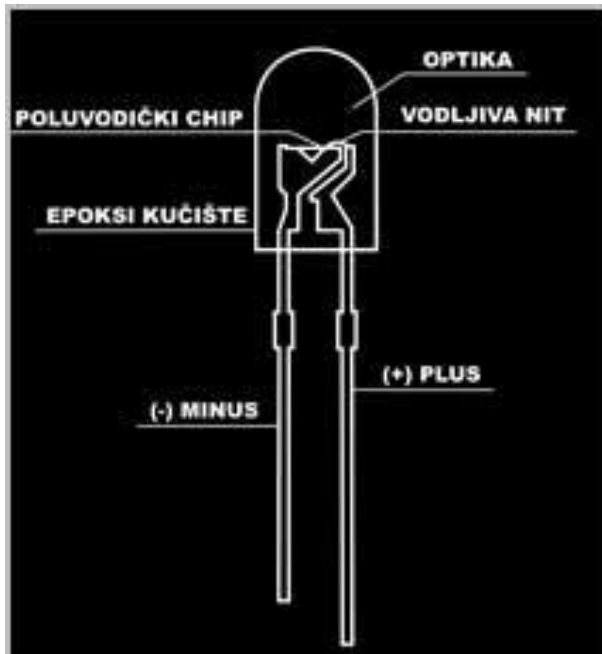
Shema spajanja flourescentne žarulje



Sigurnosne svjetiljke imaju ugrađene **akumulatore**



Svjetleće diode – trajne i efikasne



Prolaz struje kroz poluvodički čip izaziva **preskakanje elektrona iz gornjih u donje orbitale** – posljedica emisija svjetlosti

Mala potrošnja struje, velika efikasnost

Posebности brodske rasvjete

- Kao stalna rasvjetna tijela na brodovima se susreću uglavnom fluorescentne cijevi i sijalice visoke jačine električnog pražnjenja, te izvori svjetlosti sa žarnom niti žarulje.
- Armatura rasvjetnih tijela može biti:
 - nepromočive izvedbe,
 - protueksplozijske izvedbe,
 - otporna na djelovanje vode i soli.

Posebnosti brodske rasvjete

- Sijalice s visokom jačinom električnog pražnjenja uglavnom se koriste za osvjetljenje jarbola i ostalih manje pristupačnih mjesta. Svojstven im je dug vijek trajanja, oko 24000 sati rada. Nedostatak koji im donekle ograničava uporabu je opasnost od izazivanja požara i pojave korozije ako se razbiju.
- Navigacijska i signalna svjetla moraju biti vodonepropusna, izrađena od materijala otpornih na djelovanje korozije, s posebnim Fresnelovim lećama.
- Njihov položaj (svjetlo na jarbolu, krmeno svjetlo, pramčano svjetlo, pramčano sidreno svjetlo, svjetlosne oznake pri tegljenju) i boja zadani su međunarodnim propisima. Ta rasvjeta nadzire se s posebne kontrolne ploče iz kormilarnice.

NAPRAVE ZA ZAŠTITU UKLAPANJE I PRIJENOS ELEKTRIČNE ENERGIJE

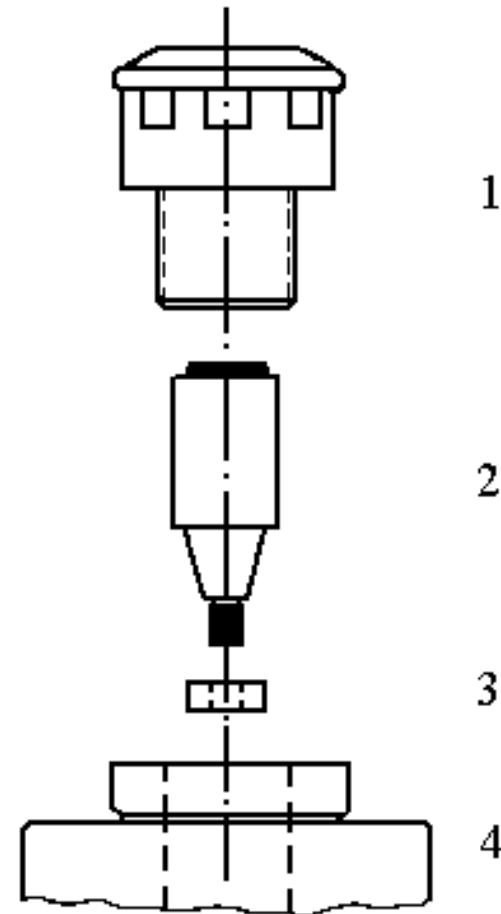
Zaštitni elementi - osigurači

Vrste osigurača:

- Prekostrujni osigurači (elektromagnetski i rastalni) prekidaju strujni krug kada struja pređe maksimalnu dozvoljenu vrijednost. Mogu biti brzi ili tromi osigurači.
- Bimetalni osigurači su vrsta prekostrujnih osigurača takođe prekidaju strujni krug kada struja pređe maksimalnu vrijednost. Spadaju u trome osigurače. Često se koriste u pomoćnim krugovima koji isključuju glavni krug.
- Podnaponski i prekonaponski osigurači prekidaju strujni krug kada u krugu napon padne ispod ili iznad dozvoljene granice. Spadaju u brze osigurače,

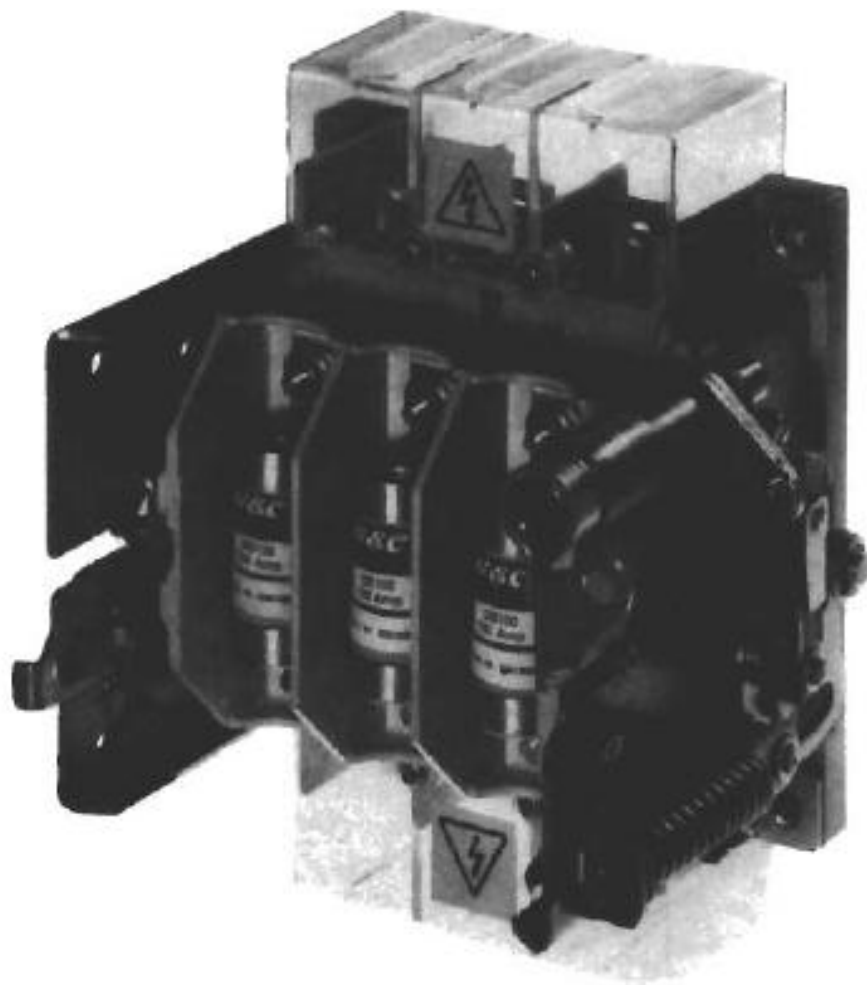
Rastalni prekostrujni osigurač – zastarjelo napušta se!!

- Prekida strujni krug kojega štiti kada *jakost električne struje prijeđe dopuštenu vrijednost.*
- Na mjestu gdje rastalna nit *pregori javlja se svjetlosni luk s visokom temperaturom.*
- Da ne dođe do požara ili nekih drugih štetnih posljedica, *rastalna nit se okružuje kremenim pijeskom i sve se zatvara u porculanski omotač.*

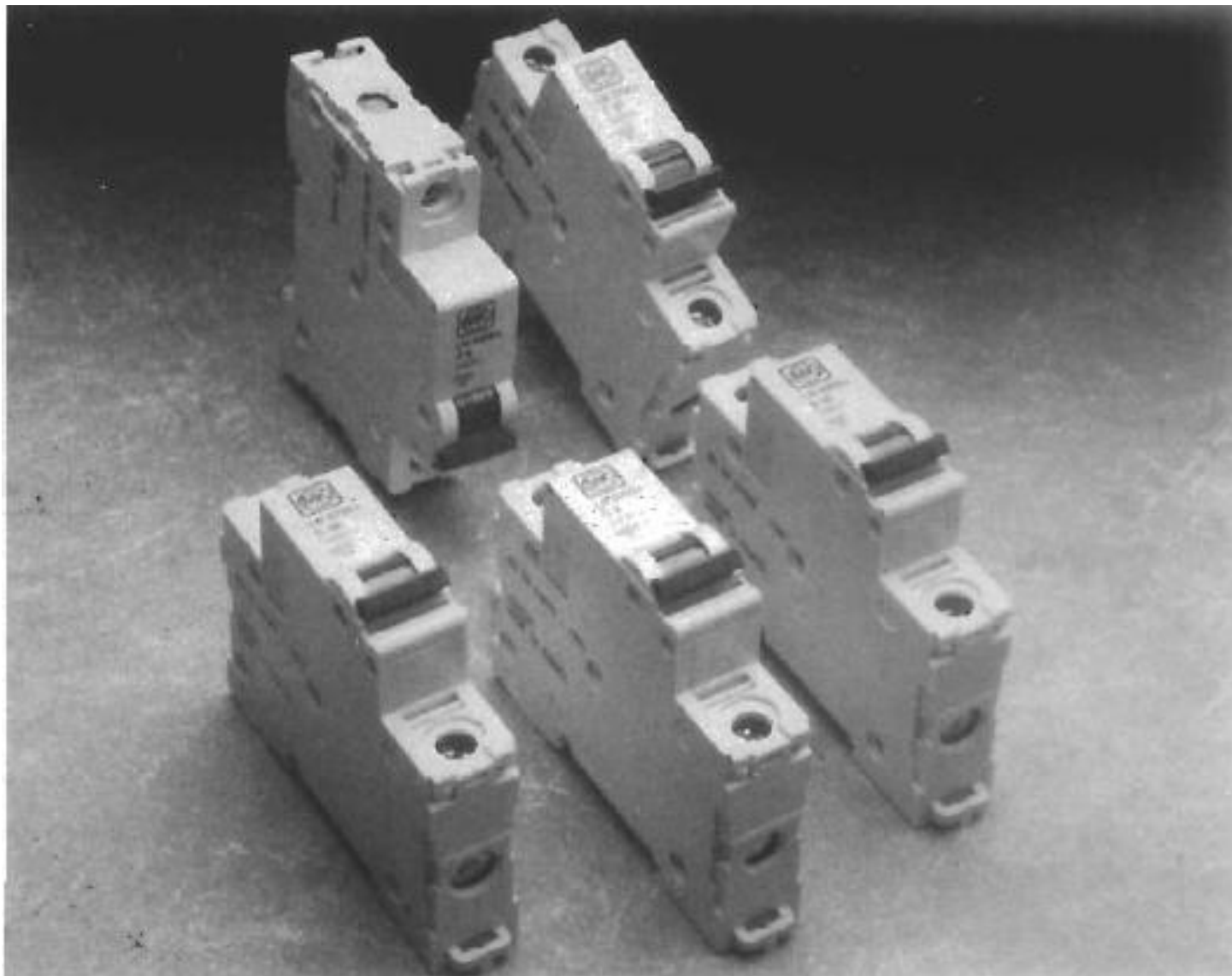


Slika 4.3: Rastalni osigurač tipa D (1- kapa s navojem; 2- topljivi umetak; 3- kalibarski prsten; 4- osnova)

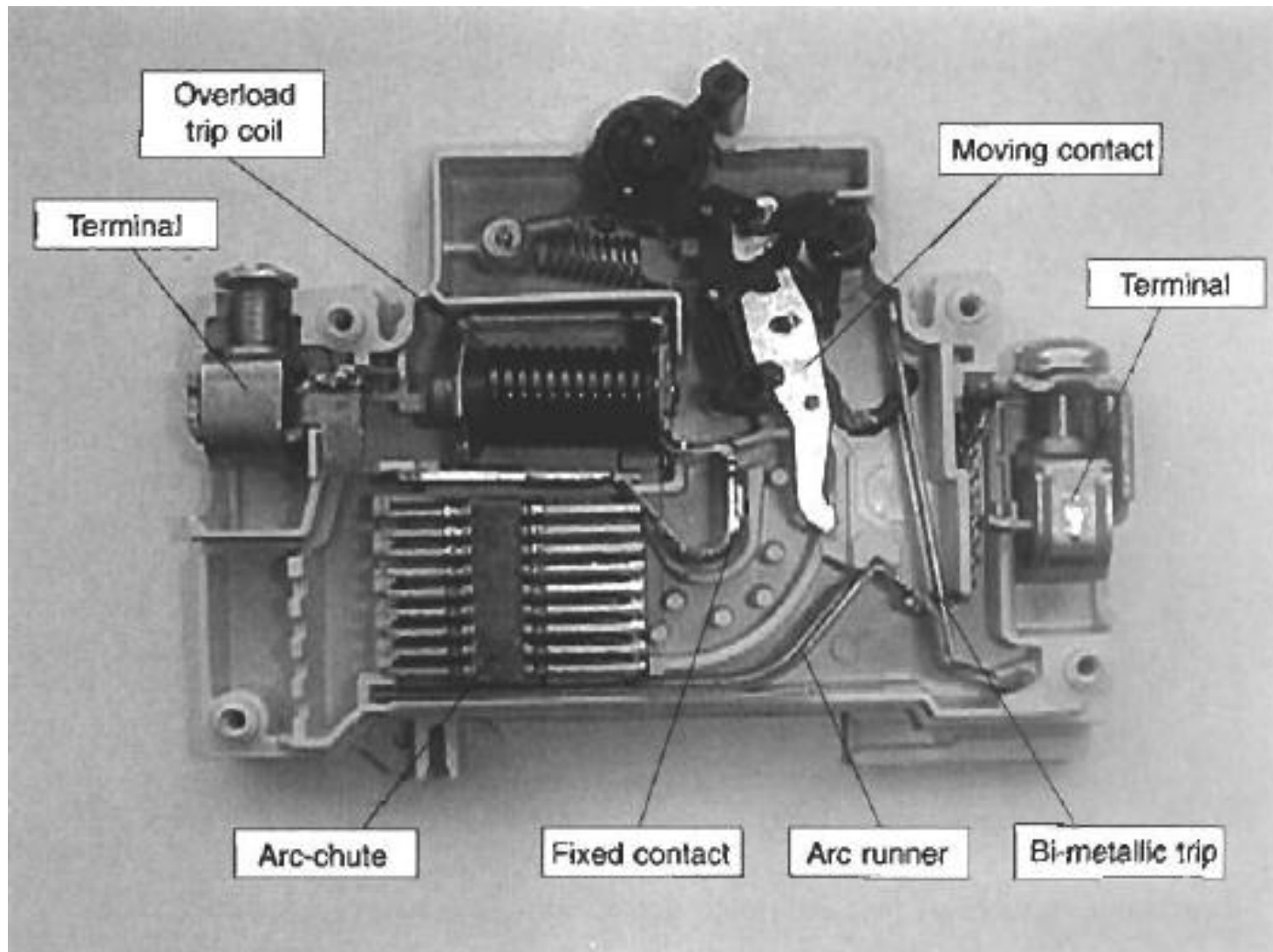
Brzi rastalni osigurači za zaštitu elektroničkih sklopova



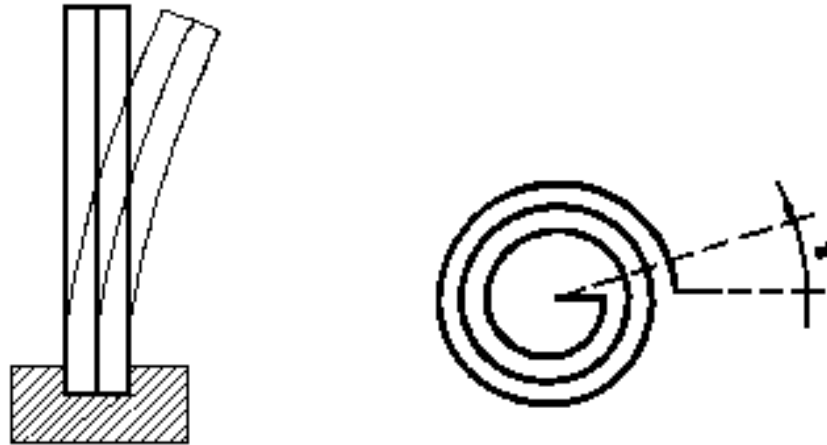
Automatski (brzi ili tromi) osigurač



Automatski osigurač



Tromi osigurači - bimetali



- Bimetale tvore dvije međusobno spojene metalne trake izrađene od dviju različitih slitina različitih koeficijenta rastezanja. Prolaskom struje povećava se temperatura traka, koje se različito rastežu i bimetal se savija na jednu stranu.
- Bimetali se, između ostalog, rabe za bimetalnu zaštitu.

Zaštitni elementi - bimetalni

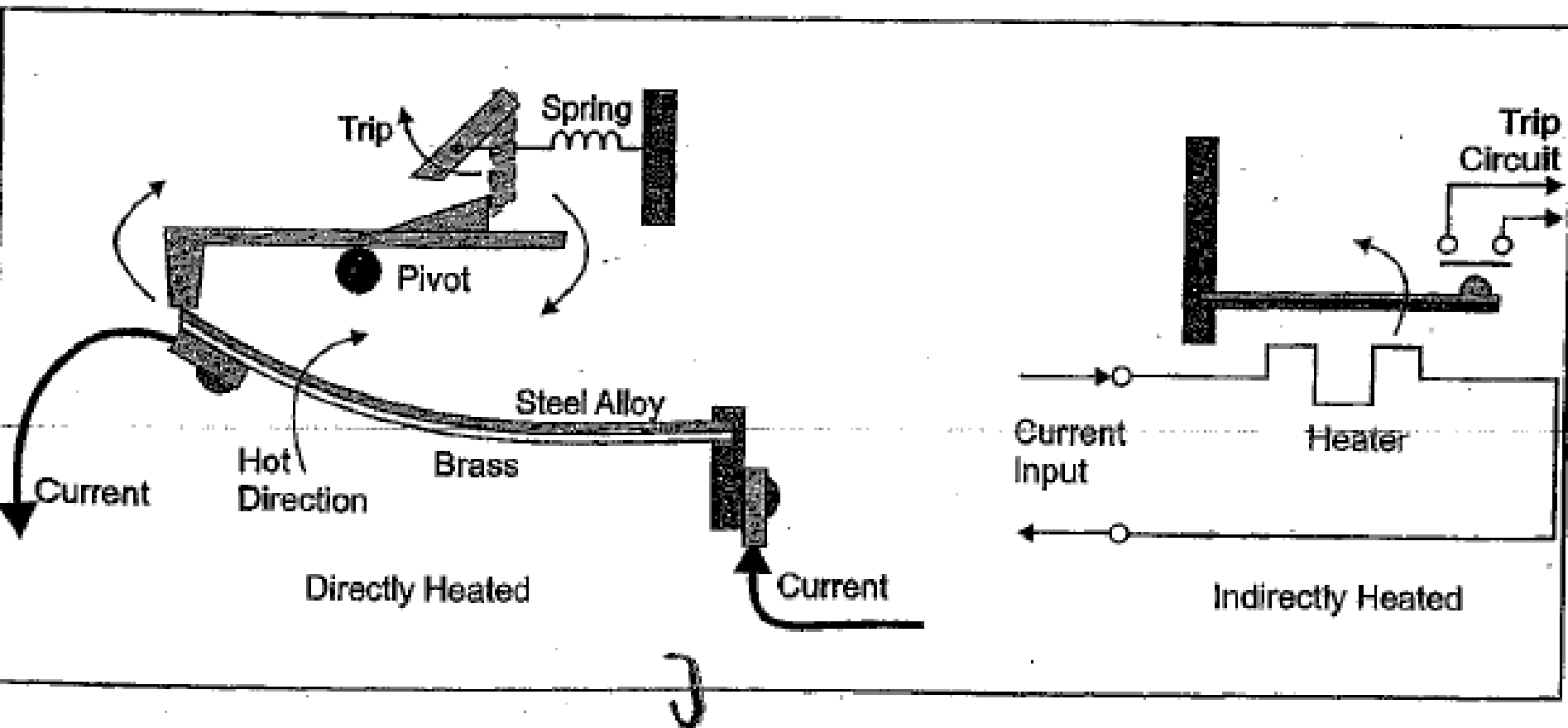


Fig. 2.28 Bimetallic thermal relay action.

Naprave za uklapanje strujnih krugova

Sklopke služe za uklapanje i isklapanje strujnih krugova do nazivne struje.

Prekidač je sklopni uređaj koji može uklapati i prekidati i nominalne i struje kratkog spoja do svoje nazivne (uklopne i prekidne) vrijednosti .

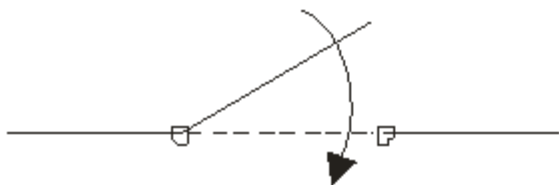
Sklopnici i kontaktori su elektromagnetske sklopke za daljinsko uključivanje trošila.

Tipkalo je uređaj koji služi za ručno kratkotrajno spajanje ili prekidanje kontakta ako su struje manje od 10 [A].

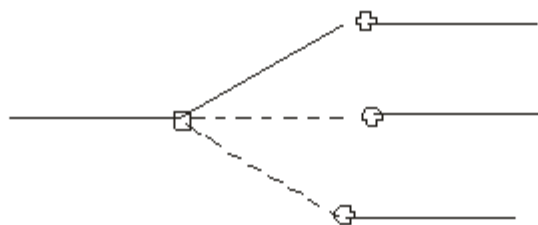
Razvodni uređaji služe za razvođenje ili grananje električnih vodiča.

Simboli naprava za uklapanje strujnih krugova

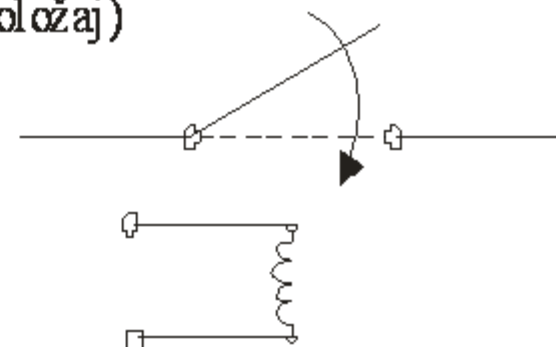
Mehanički prekidač
(pritiskom na prekidač
mehanički se zatvara
strujni krug)



Sklopka ima više
mogućih položaja
od prekidača, ali u
samo jednom se
može nalaziti



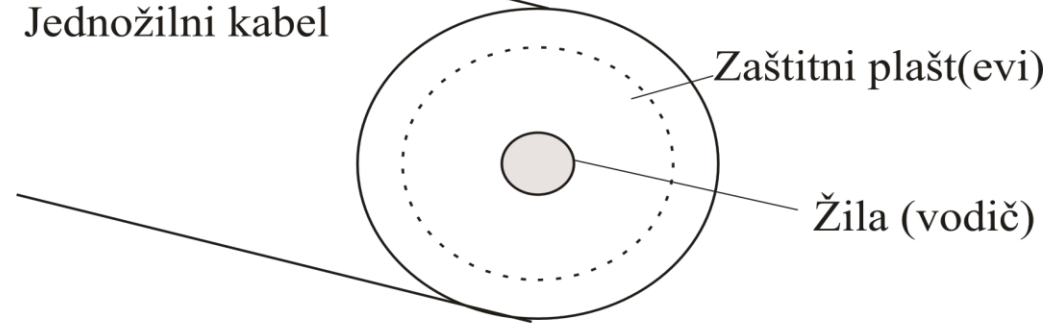
Elektromagnetski prekidač
(kad struja poteče kroz zavojnicu
javlja se magnetsko polje koje
privuče kontakt u odgovarajući
položaj)



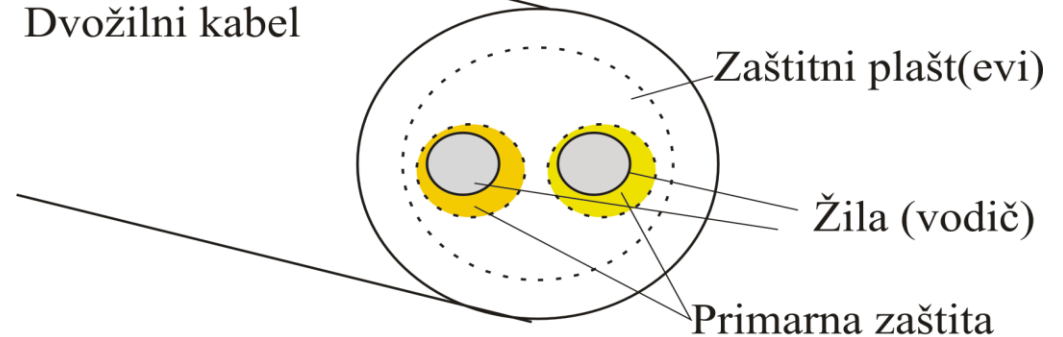
Kabeli

- Služe za prijenos *informacija ili energije.*

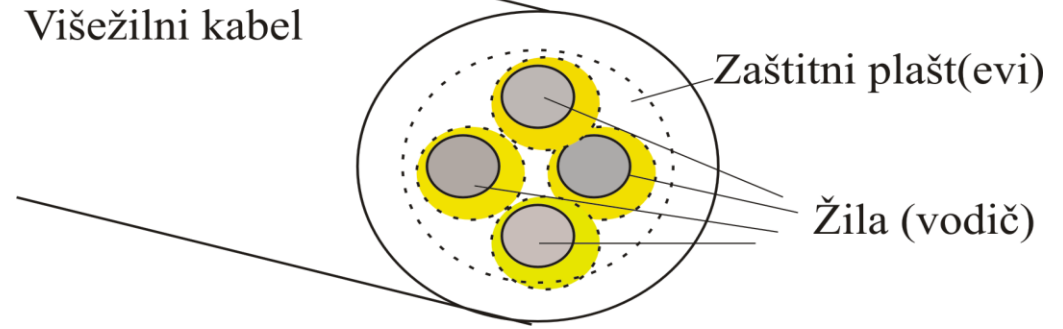
Jednožilni kabel



Dvožilni kabel



Višežilni kabel



Brodski kabeli

Prema namjeni mogu se podijeliti na:

- *brodske energetske kabele* za napone do 1000 V (mogu imati od 1 do 4 žile, s presjekom žile do 400 mm²),
- *signalne kabele* (mogu imati više tankih žila debljine do 1,5 mm²) za povezivanje kontrolnih zvrčnokompasnih i signalnih uređaja, za daljinsko upravljanje, za iskazivanje rezultata mjerenja itd,
- *telekomunikacijske kabele, optički kablovi*
- *kabele za posebne namjene*, teško gorivi kabeli (vatrodojava), kabele za demagnetizaciju broda (degausizacija - npr. s brodskim trupom kao zaštita od magnetskih mina, i sl.),

Brodski kabeli



Všezžilni kabel

Četverožilni kabeli

Dvožilni kabel

Optičko vlakno ("žila")

Zaštita žile

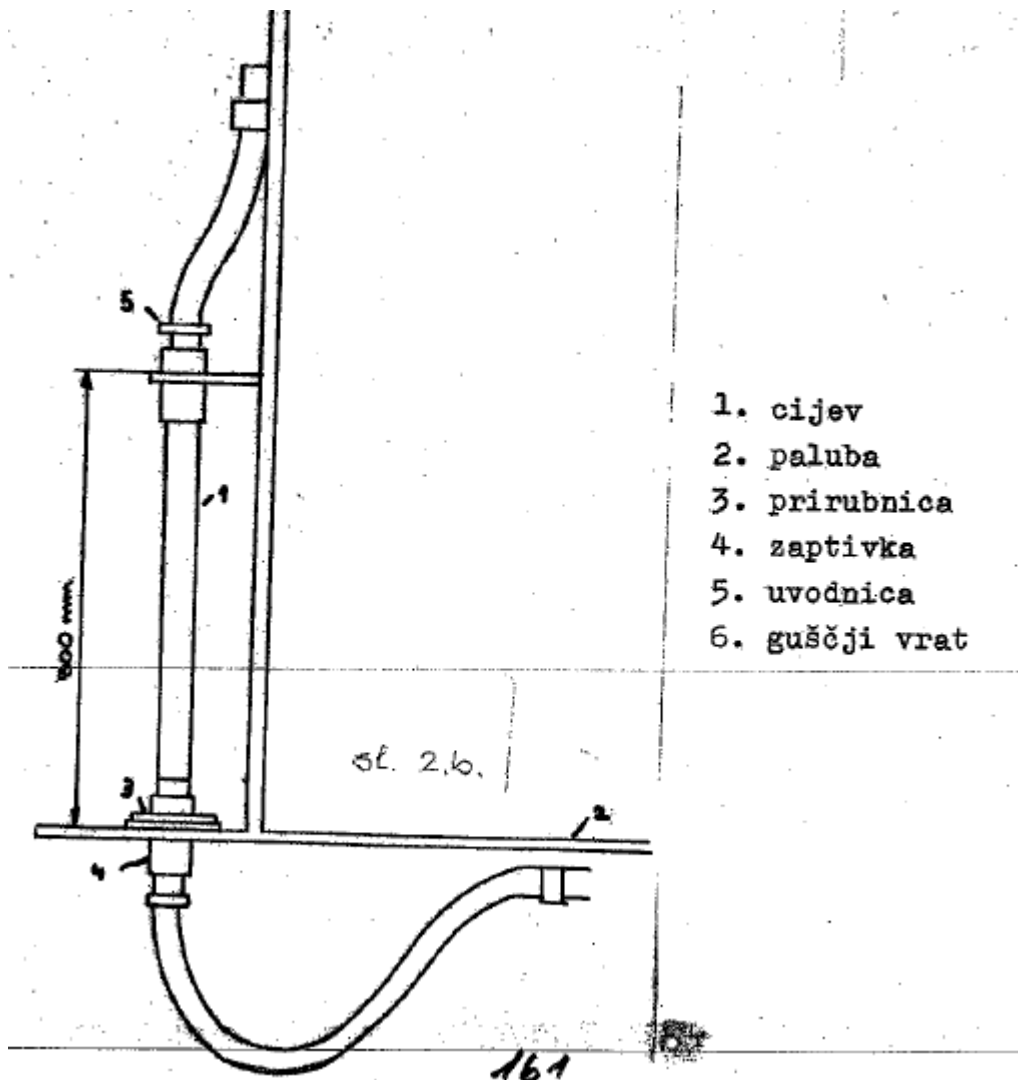
Kevlar



Zaštita kabela

Optički kabel

Brodski kabeli



Neke posebnosti brodskih kabela

- Brodski kabele trebaju imati veliku električnu čvrstoću-veliku mehaničku čvrstoću, otpornost na djelovanje vlage, lužine, kiseline, ulja i soli.
- Za izolaciju brodskih kabela rabi se veliki broj materijala: polivinil, teflon, polietilen, guma, azbest, itd.
- Kabelska ispuna često su jutena vlakna impregnirana katranom, parafinom, i sl. Izvana se postavlja tzv. vanjski plašt (od olova, sintetičke mase ili čak platna).
- Posebnu brigu treba voditi o uzemljenju. Kabele se uzemljuju na oba kraja, a oni koji se prekidaju uzemljuju se na mjestu svakog prekida, na prolazima kroz pregrade i palube, te na uvodima u kućišta.

Gubitak snage u vodovima

Gubitak snage u vodu nastaje jer postoji otpor vodiča.

Vodič se zagrijava uslijed prolaska struje.

Gubitak snage u postotcima je:

$$P_{\%} = \frac{\Delta P}{P_i} \cdot 100 = \frac{IR_v}{U_i} 100$$

P_i – snaga izvora

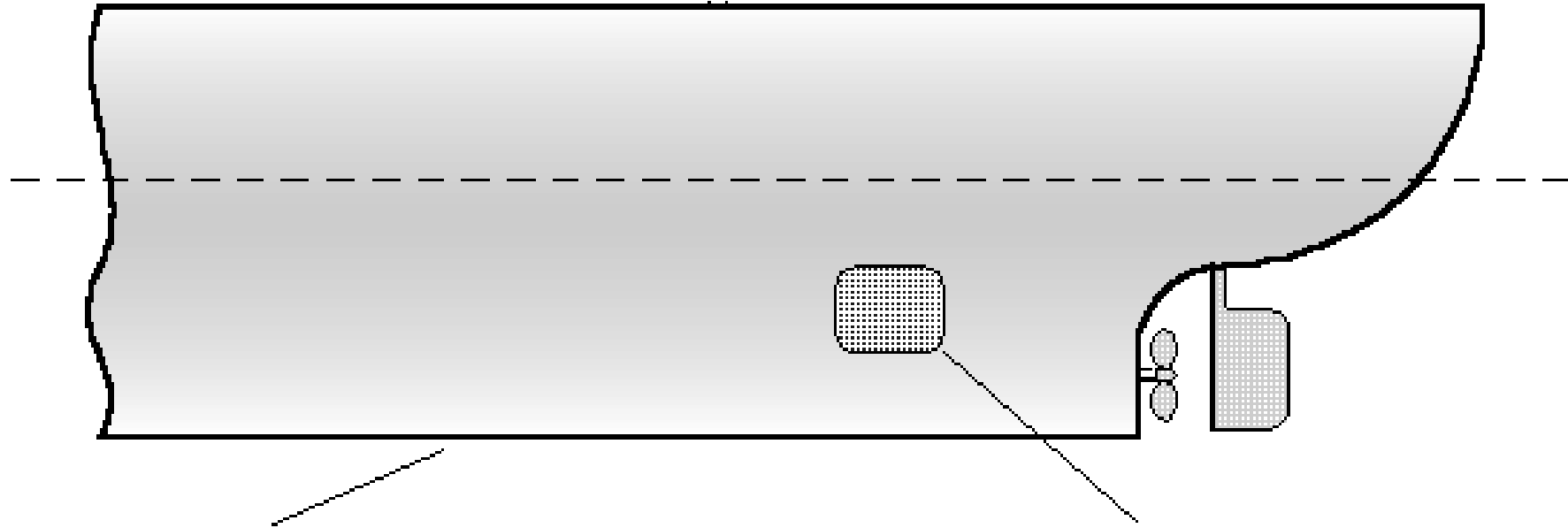
ΔP – gubitak snage u vodiču

R_v – otpor vodiča

U_i – napon izvora

ZAŠTITA OD KOROZIJE

Zaštita od korozije



trup broda katoda - čelik
zaštićen od korozije

zaštitna anoda - cink
koji korodira

Zaštita čeličnog trupa broda predstavlja anoda od cinka. Zaštitu metala od galvanske korozije moguće je postići i vanjskim narinutim naponom suprotnog polariteta i jednakog ili većeg iznosa od ukupne elektromotorne sile galvanskih struja koji nagrizaју trup broda.

BRODSKO UZEMLJENJE

Brodsko uzemljenje

Zaštitno uzemljenje na brodovima izvodi se prema pravilima klasifikacijskog registra brodova koji izdaje klasu za određeni brod i važno je za sigurnost posade i broda.

Svi metalni dijelovi brodskih električnih uređaja i dijelovi električne opreme moraju biti uzemljeni.

Uzemljenje prenosive opreme treba izvesti uzemljenjem kontaktom u utičnici i žicom za uzemljenje u prenosivom kabelu.

Presjek vodiča za uzemljenje mora udovoljavati propisanim zahtjevima. Utičnice za napone od 100 [V] i iznad moraju imati treći kontakt za uzemljenje.

Brodsko uzemljenje

- **Vodiči za uzemljenje spaja se na trup broda posebnim vijcima.**

Vijak za uzemljenje izrađuje se od mesinga ili slitine otporne na koroziju. Promjer vijka ne smije biti manji od 6 [mm]. Mjesto na trupu broda gdje se spaja uzemljenje mora biti očišćeno i korozivno i galvanski zaštićeno

- **Sekundarni namotaji svih transformatora moraju biti uzemljeni.**

Metalni oplati za zaštitu od elektromagnetske interferencije, kao i metalni omotači kabela za zaštitu od mehaničkog oštećenja, moraju biti uzemljeni. Viseća vrata panela na kojima su ugrađene sklopke i instrumenti moraju biti uzemljena s pločom preko posebno fleksibilnog uzemljenja.

- **Na kompozitnim brodovima u svrhu uzemljenja mogu se koristiti metalne pramčane pregrade ili drugi dijelovi metalnih konstrukcija koji su u svim uvjetima plovidbe uronjeni.**

Brodsko uzemljenje

- Ugradbena električna oprema uzemljuje se s pomoću vanjskog vodiča za uzemljenje ili posebnom žilom za uzemljenje u napojnom kabelu. Posebno uzemljenje nije potrebno, ako je samim načinom ugradnje osiguran pouzdan vodljivi spoj kućišta s metalnim trupom broda u svim uvjetima korištenja.
- Pouzdan je samo zavaren spoj. Presjek bakrenog vodiča ne smije biti manje od vrijednosti navedenih u tablicama pojedinog klasifikacijskog registra.
- Aluminijsko nadgrađe pričvršćeno na čelični trup broda, ali izolirano od njega, mora biti uzemljeno svakih deset metara, a najmanje dva posebna voda za uzemljenje presjeka ne manjeg od 16 [mm²].

Brodsko uzemljenje

Također je potrebno uzemljiti Wiking/Johnsonove spojke na cjevovodima na otvorenoj palubi, a ono mora biti izvedeno svakih 30 [m] duljine cjevovoda.

Za cjevovod balasta potrebno je na prirubnici zavariti podmetače za uzemljenje, a za cjevovode tereta i uzemljenje preko rolina na usisu tlaka. Za cjevovode pranja i pare i iza grijača izvodi se uzemljenje preko rolina.

Zaštita od smetnji radio stanice može se postići montiranjem kabela u električno neprekidnu metalnu cijev ili upotrebom kabela s metalnim opletom.

Drveni brodovi imaju metalnu ploču koja se nalazi na vanjskoj uronjenoj oplati na koju se uzemljuju njihova električna trošila.

Zaštita od groma

- Svi brodovi moraju imati zaštitu od udara groma, jer taj udar može izazvati požar ili eksploziju. Gromobranski uređaj se sastoji od gromobrana, odvodnog voda i uzemljenja.
- Metalni jarboli ne trebaju poseban gromobranski uređaj, ako postoji njihov pouzdan vodljivi spoj s metalnim trupom broda ili s uzemljenjem. Treba predvidjeti mogućnost priključka odvoda na kopneno uzemljenje.
- Za tankove tereta, procesne sustave te cjevovode zapaljivih proizvoda, koji su u stanju stvoriti zapaljive plinove i smjese, koji nisu trajno spojeni na trup broda zahtjeva se vodič za uzemljenje za odvod statičkog elektriciteta, ako je električni otpor između navedene opreme i trupa broda veći od 1 [MΩ].
- Kod pretakanja plina ili nafte tanker ili LNG mora biti električki spojen sa terminalom !!!

III KOLOKVIJ

OSNOVE ELEKTRONIKE

Elektroničke cijevi

- Elektronke ili elektronske cijevi su aktivni elektronički elementi. Nositelji električne struje u elektronskim cijevima su elektroni koji se gibaju u vakuumu ili u plinu niskog tlaka.
- Prva dioda (termionski ventil) - 1904. Fleming. Lee de Forest 1906. godine - u diodu uveo još jednu elektrodu te dobio triodu, koja je ima mogućnost regulacije električne struje.
- Od 1950. elektronke se napuštaju zbog otkrića poluvodiča. Od tada su cijevi u upotrebi uglavnom za specijalne namjene.



Elektroničke cijevi

Elektroničke cijevi mogu biti: vakuumske i plinom punjene.
PROŠLOST !!!



Elektroničke cijevi

Svaka vakuumska cijev sastoji se od staklene, ponekad metalne, cijevi s visokim vakuumom, u kojoj se nalaze metalne elektrode: katoda i anoda.

Katoda je elektroda na nižem potencijalu (emitira elektrone), a anoda je elektroda na višem potencijalu i prima elektrone. Iz katode izvire elektroni, ulaze u prostor u vakumu i putuju prema anodi.

Između dviju temeljnih elektroda, katode i anode, mogu biti i druge elektrode (rešetke). Potencijalima na rešetkama može se regulirati tok elektrona od katode prema anodi.

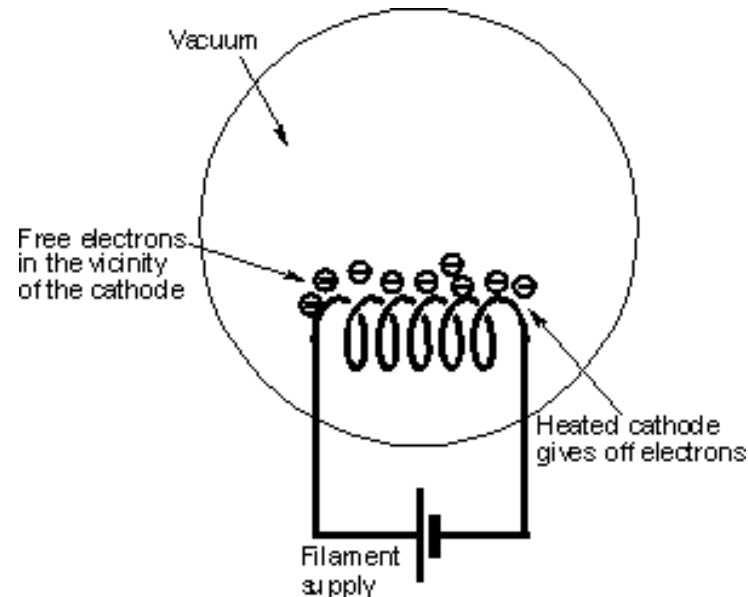
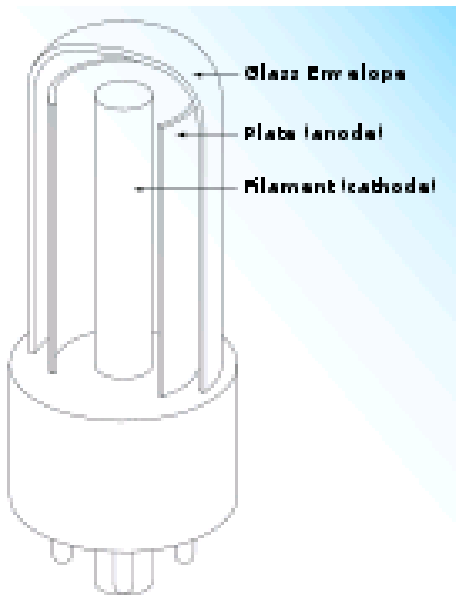


Emisija elektrona iz metala

- Da bi elektron napustio metal potrebno mu je privesti energiju dovoljnu da svlada privlačne Coulombove sile koje postoje između jezgre i elektrona u elektronskom omotaču.
- Razlikuju se četiri vrste emisija elektrona:
- emisija električnim poljem – energiju im daje električno polje;
- sekundarna emisija - energiju dobijaju sudarom sa drugimelektronima
- fotoemisija – energiju dobijaju iz svjetlosti
- termoionska emisija

Termoionska emisija

•Do emisije elektrona na termoionski način dolazi dovođenjem topline, tj. zagrijavanjem katode. Na višim temperaturama dio elektrona dobiva dovoljnu količinu energije i može napustiti katodu. Katode mogu biti izravno i neizravno grijane.



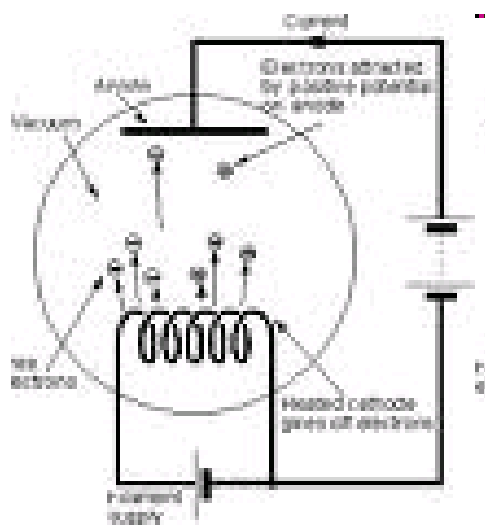
Vakumska dioda

Ispravljačko djelovanje diode:

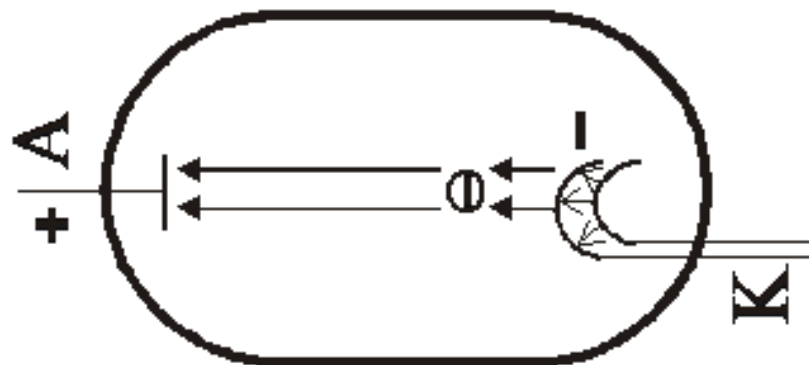
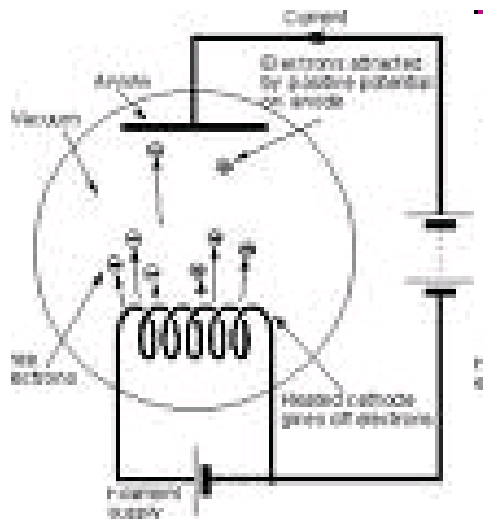
Kroz diodu struja prolazi samo u jednom smjeru.

- Katoda se žari.

- Dolazi do značajne emisije elektrona iz materijala katode.



Vakumska dioda



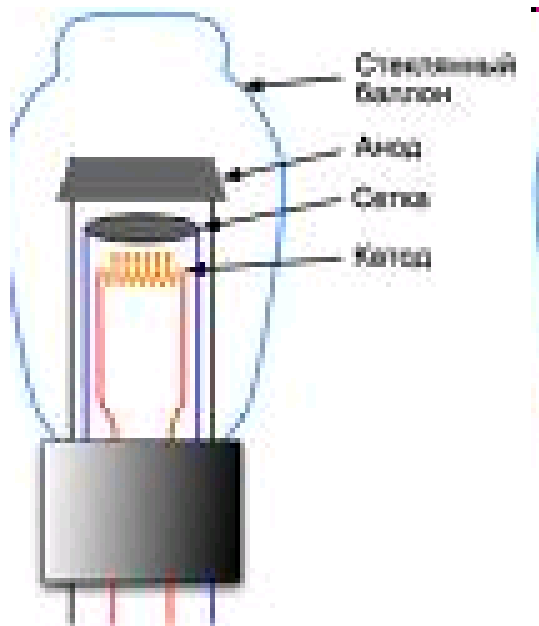
Vakuumaska dioda s neizravno grijanom katodom

Ako je anoda je pozitivnija od katode, privlači emitirane elektrone i kroz cijev protječe struja. Kroz cijev protječe struja.

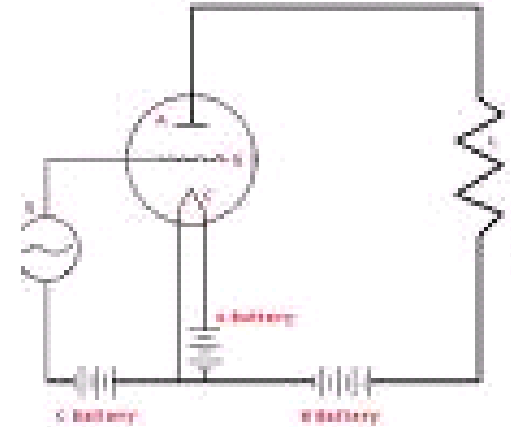
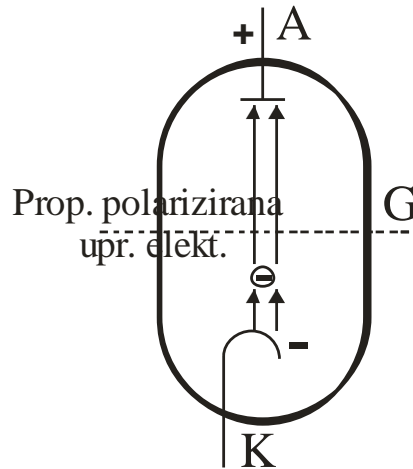
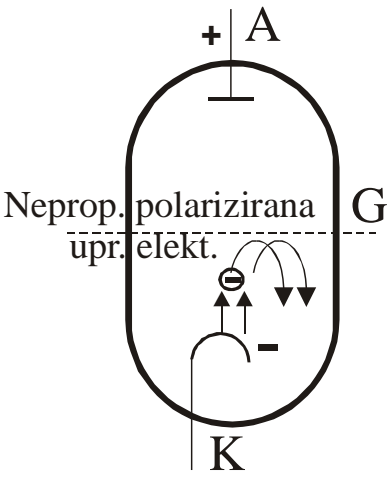
Ako je anoda negativnija od katode odbijati će emitirane elektrone, te se oni vraćaju na katodu. Kroz cijev ne protječe struja

Vakumska Trioda

- Rešetka se izrađuje od tankih žičica između kojih mogu prolaziti elektroni. Promjenom napona između rešetke i katode mijenja se raspodjela potencijala u cijevi te se tako regulira tok elektrona.



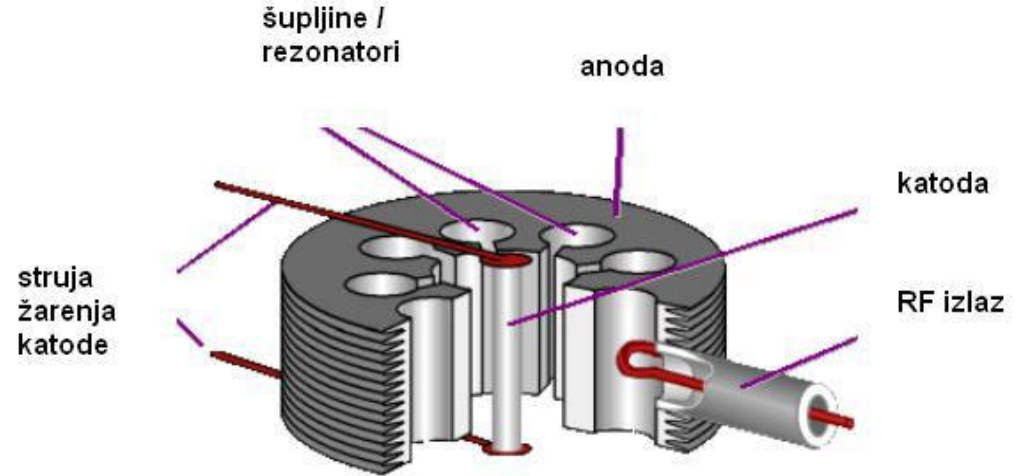
Vakumska Trioda



U cijevi sada postoje dva električna polja: anodno polje koje ubrzava elektrone i rešetkino polje koje koči kretanje elektrona. Rešetkino polje ima velik utjecaj jer je rešetka bliža katodi. Ipak anodno polje je jače.

Dovodeći na rešetku veći negativni napon smanjuje se tok elektrona kroz cijev. S dovoljno visokim negativnim naponom rešetke može se potpuno blokirati struja kroz cijev. Triode mogu služiti za pojačanje struje – pojačala.

Magnetron



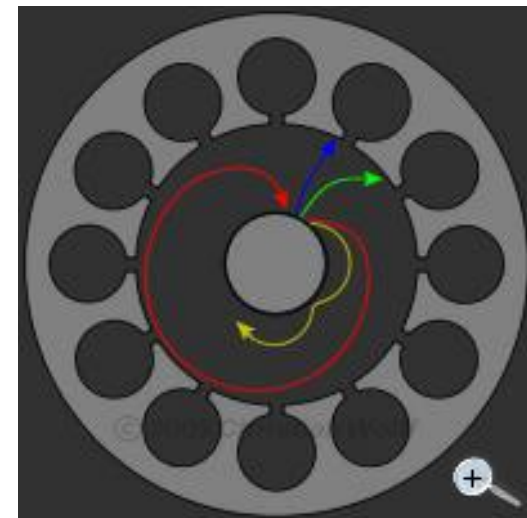
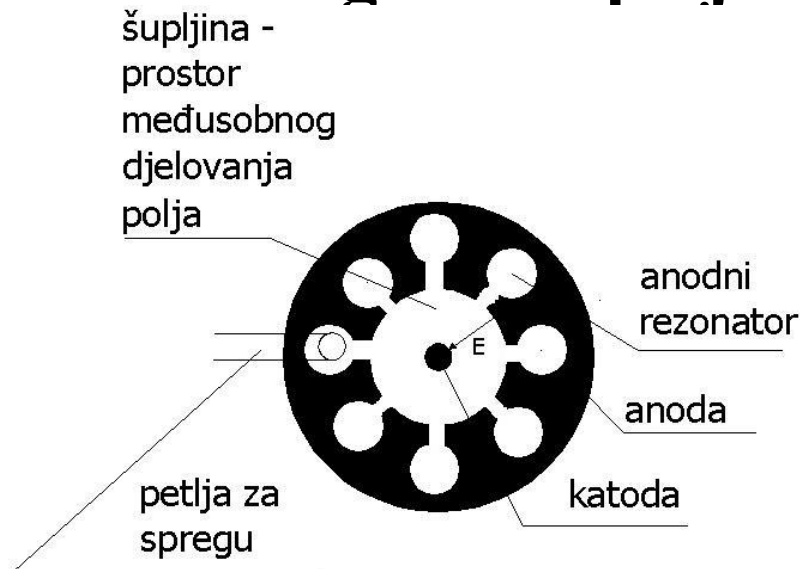
Slika 1.3. Magnetron

Magnetron (magnetska dioda) je cijev s dvije elektrode u kojoj se elektroni kreću pod djelovanjem i električnog i magnetskog polja, koja djeluju međusobno okomito.

Magnetron se upotrebljava kao oscilator snage na frekvencijama od približno 1,5 GHz (20 cm) do približno 15 GHz (2 cm). Ima veliku impulsnu snagu i do 4 MW, visoki anodni napon do 50 KV. Koriste se u radarima.

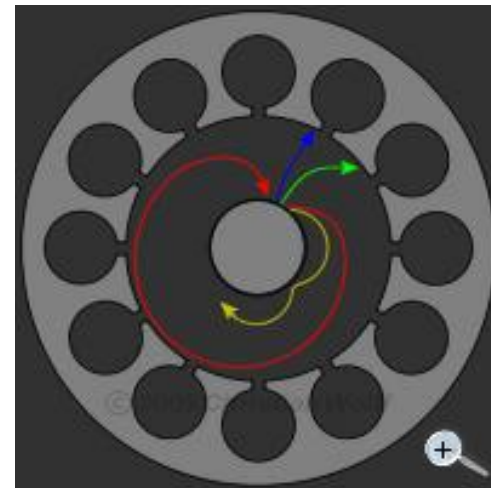
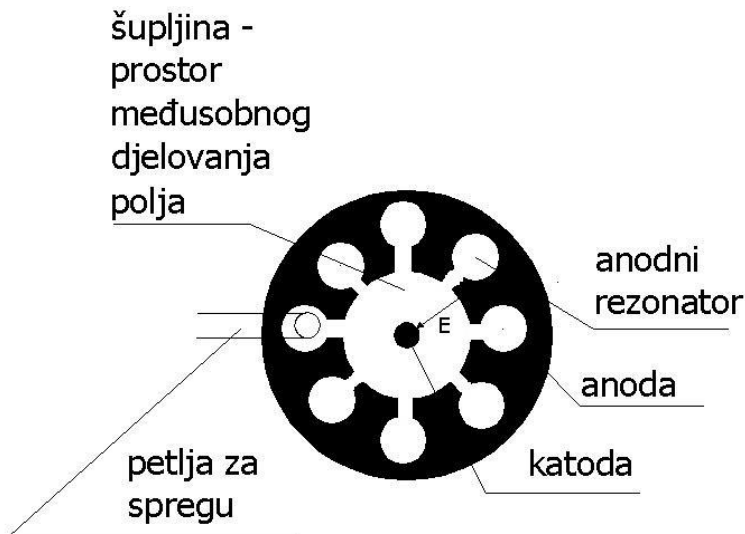
Magnetron

- Magnetron ima cilindričnu katodu koja emitira elektrone i oko nje koncentrično smještenu cilindričnu anodu sa šuplinama koje predstavljaju rezonatore.
- Elektroni se ne kreću samo radijalno od katode do anode pod utjecajem električnog polja, jer na njih utječe još okomito magnetsko polje.

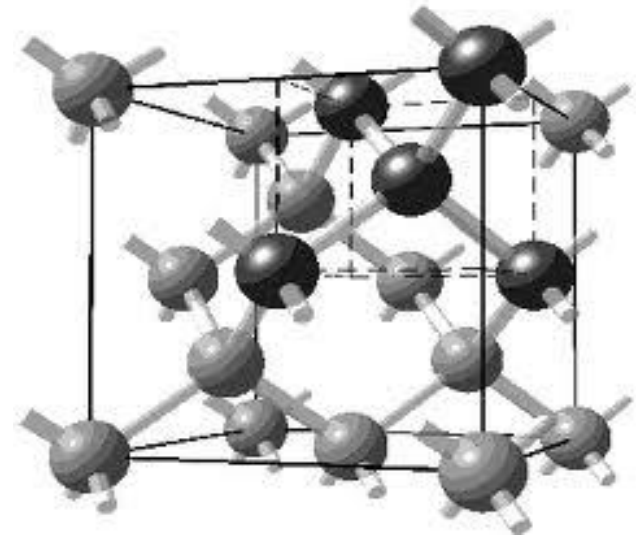


Magnetron

- Prolazeći pokraj rezonatora elektroni mu *predaju dio svoje energije*, jer nailaze na visokofrekvencijsko električno polje koje ih usporava. Tako se podržavaju visokofrekvencijske oscilacije u rezonatorima.
- Iz rezonatora se valovodom elektromagnetska energija usmjeruje ka anteni.



POLUVODIČKI ELEKTRONIČKI ELEMENTI



Poluvodički materijali mogu se podijeliti na:

- prirodne elemente Ge, Si
- prirodne kemijske spojeve (i legure),
- umjetno načinjene spojeve (keramika).

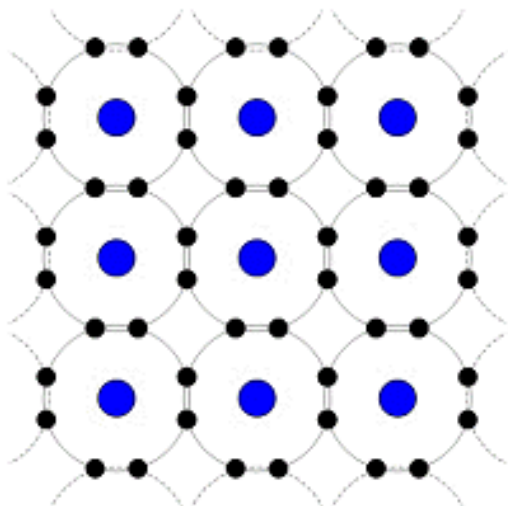
Podjela poluvodičkih materijala

• Poluvodički materijali imaju električnu otpornost između $10^{-5} \Omega\text{m} < \rho < 10^4 \Omega\text{m}$. Posjeduju negativni temperaturni koeficijent otpora.

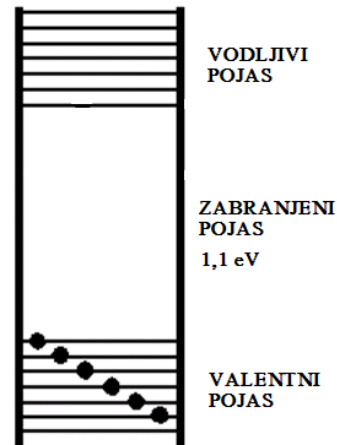
Atomi poluvodičkih materijala spajaju se kovalentnim vezama, tvoreći parove elektrona zajedničkih za oba atoma.

Pure Silicon

● Silicon nuclei



energija (eV) ↑

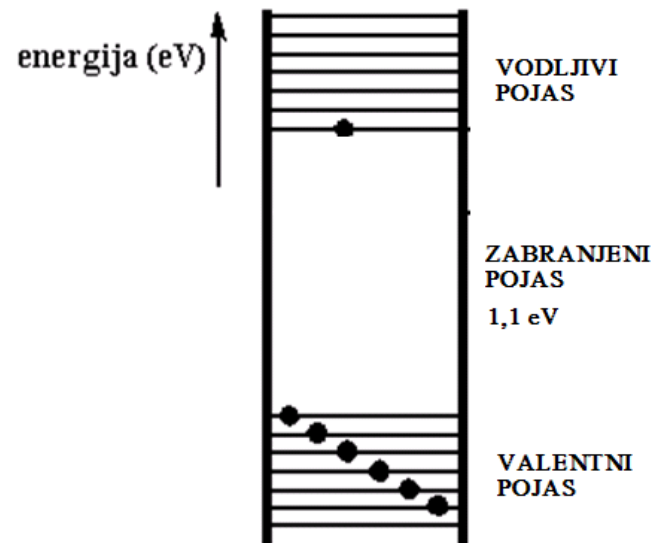
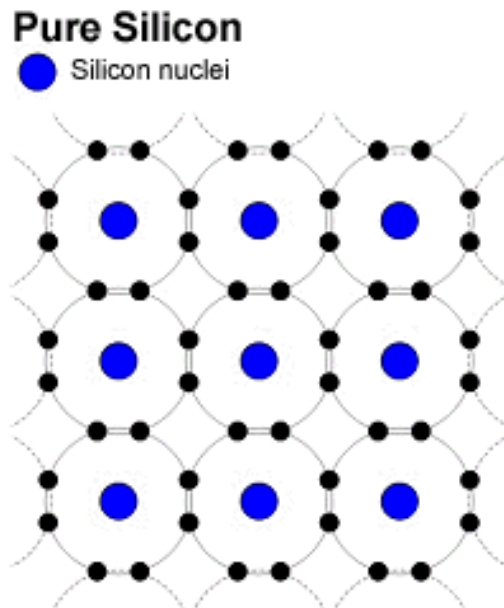


Poluvodički kemijski element	Zabranjeni energijski pojas E_G [eV]
bor	1,1
ugljik	5,2
silicij	1,1
germanij	0,75
kositar	0,08
fosfor	1,5
arsen	12
antimon	0,12
sumpor	2,5
selen	17
telur	0,36
jod	1,25

Čisti ili intrinzični poluvodiči

Pri temperaturi apsolutne nule nema slobodnih elektrona i nema vodljivosti.

Povećanjem temperature veze se kidaju i postoji nešto slobodnih elektrona, te uz djelovanje električnog polja dolazi do vodljivosti.



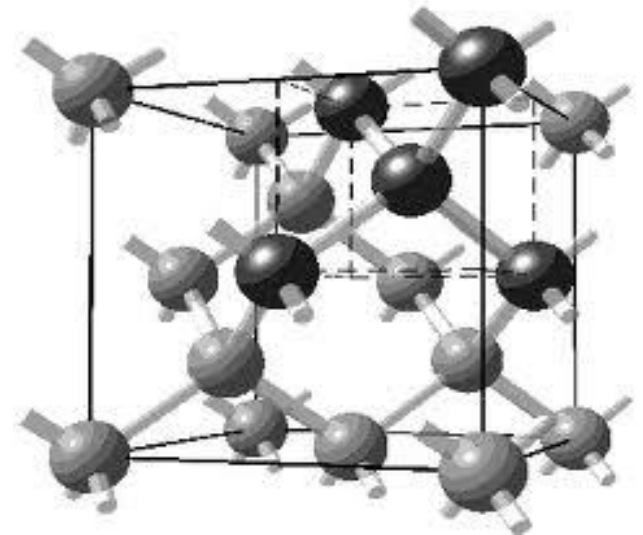
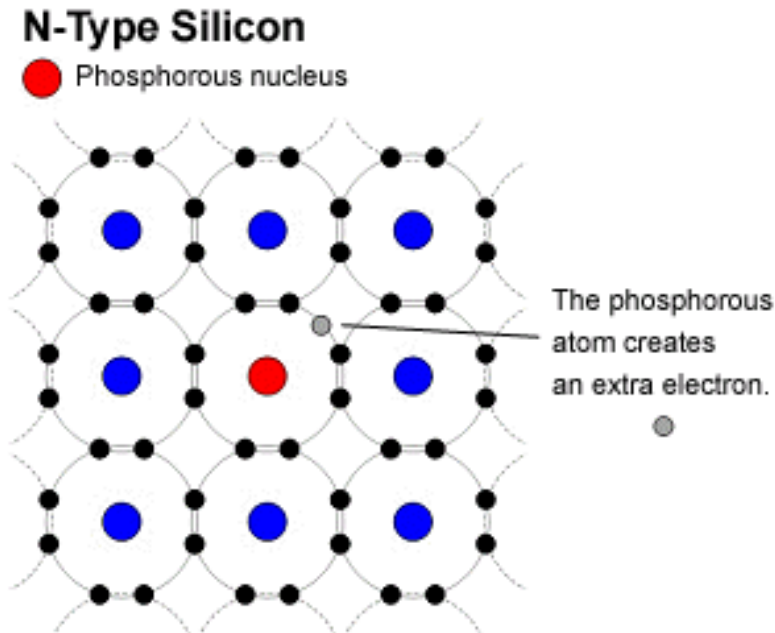
Poluvodiči sa dodanim primjesama

- Primjese unose novе energijske razine u zabranjeni pojas i time značajno utječu na vodljivost poluvodiča.
- U poluvodiču s primjesama postoje *slobodni nositelji elektriciteta* (elektrona i šupljine) i *vezani nositelji elektriciteta*: ioni primjesa (negativni akseptori i pozitivni donori).
- Slobodni nositelji naboja mogu biti *većinski i manjinski*.
- U N-tipu poluvodiča većinski nositelji su elektroni, a manjinski šupljine.
- U P-tipu poluvodiča većinski nositelji su šupljine, a manjinski elektroni.

Dopirani ili ekstinskični poluvodič N - tipa

Dodavanjem 5-valentne primjese (npr. N, P, As, Sb, Bi) u čisti monokristal *germanija ili silicija* (četverovalentni) primjesa će se kovalentnim vezama vezati sa četiri susjedna Si ili Ge atoma, a peti elektron primjese ostaje slobodan u vodljivom pojasu.

Peterovalentni atom primjese naziva se atom donora (donorske primjese).



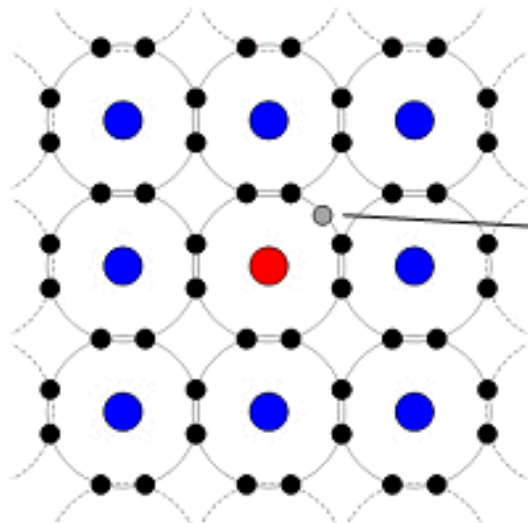
Dopirani ili ekstinskični poluvodič N - tipa

Uslijed termičkog gibanja slobodni elektroni gibat će se kaotično, a kada djeluje vanjsko električno polje protjecat će električna struja.

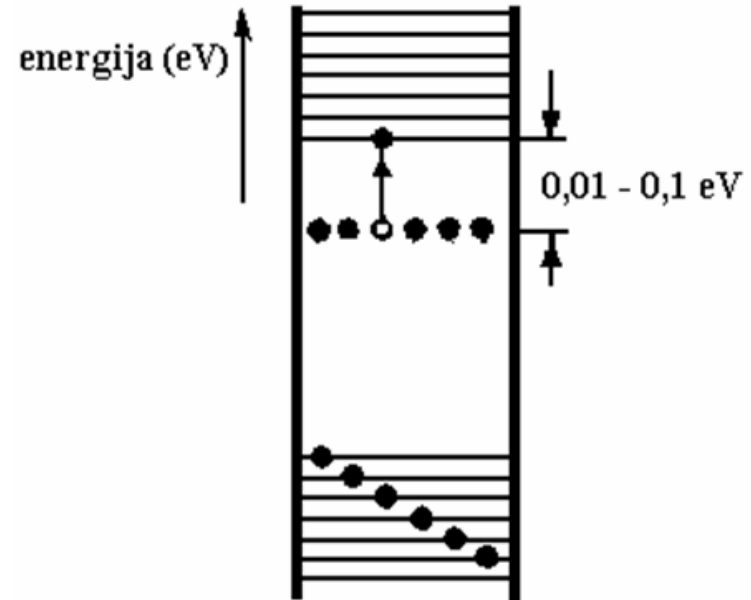
Glavni nosioci naboja u N tipu poluvodiča su elektroni u vodljivom pojasu

N-Type Silicon

● Phosphorous nucleus



The phosphorous atom creates an extra electron.



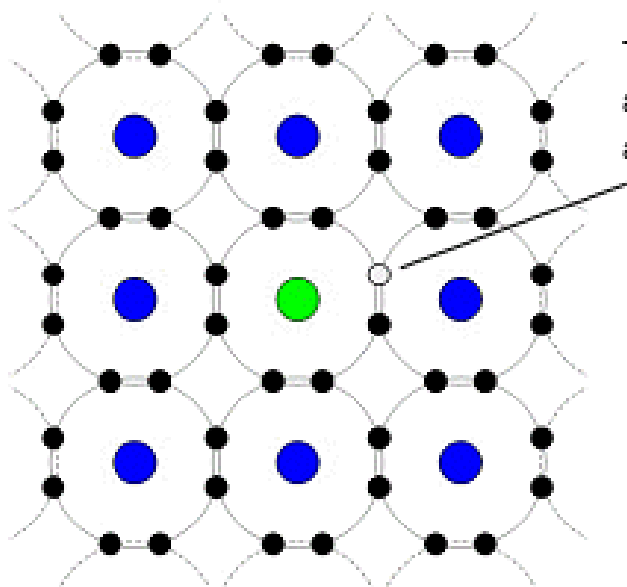
Dopirani ili ekstrinzični P - tip poluvodiča

Dodavanjem trovalentne primjese (npr. In, B, Al, Ga) u čisti monokristal Ge ili Si nedostaje jedan elektron za ostvarivanje kovalentne veze te nastaje tzv. šupljina.

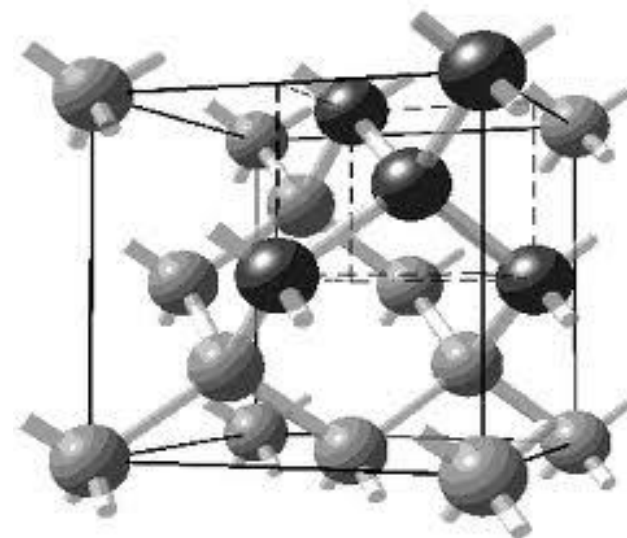
Trovalentni atom primjese naziva se atom akceptora (primatelj).

P-Type Silicon

● Boron nucleus



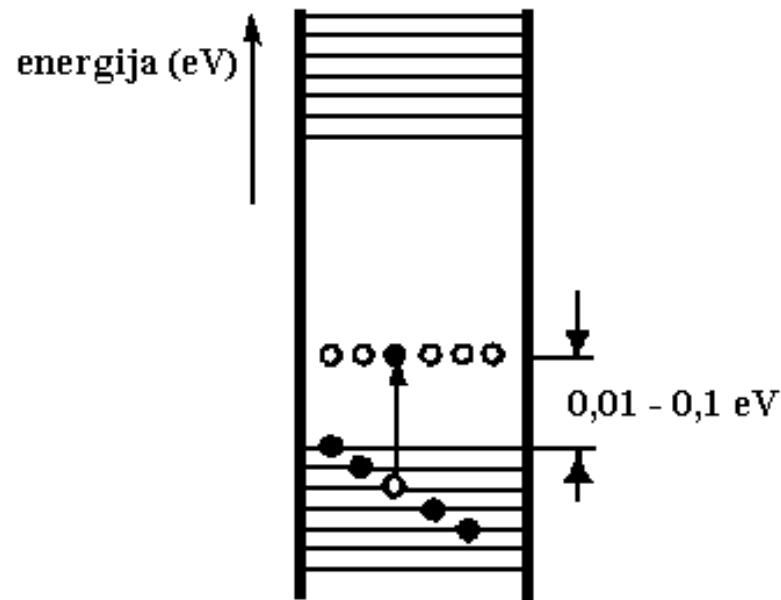
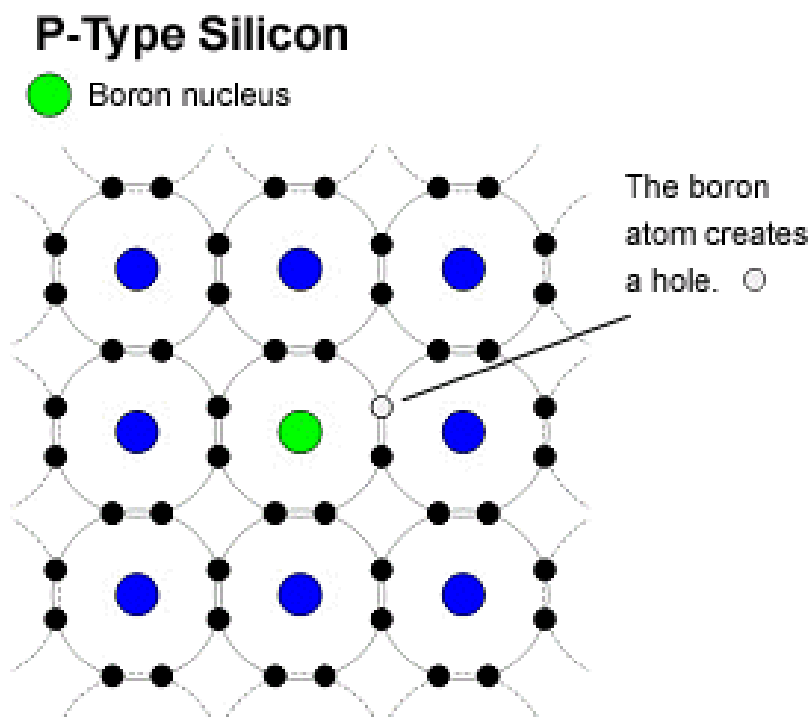
The boron atom creates a hole. ○



Dopirani ili ekstrinzični P - tip poluvodiča

Trovalentne primjese stvaraju slobodne energijske razine u valentnom pojasu tako da uslijed vanjskog polja može doći do gibanja elektrona u valentnom pojasu koji nastoje popunjavati nastale šupljine – pa onda govorimo o gibanju šupljina.

Glavni nosioci naboja u P tipu poluvodiča su šupljine u valentnom pojasu.

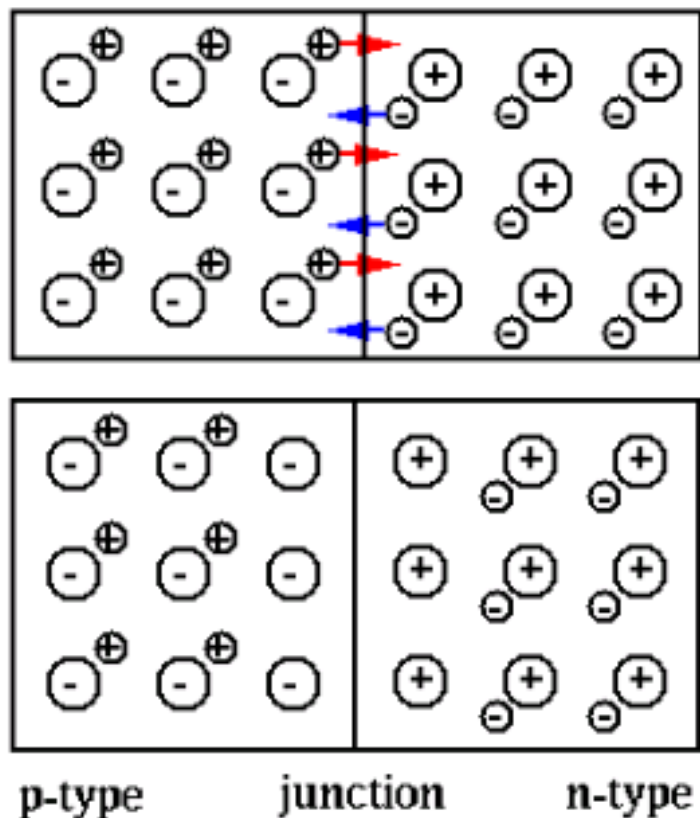


PN SPOJ

PN spoj

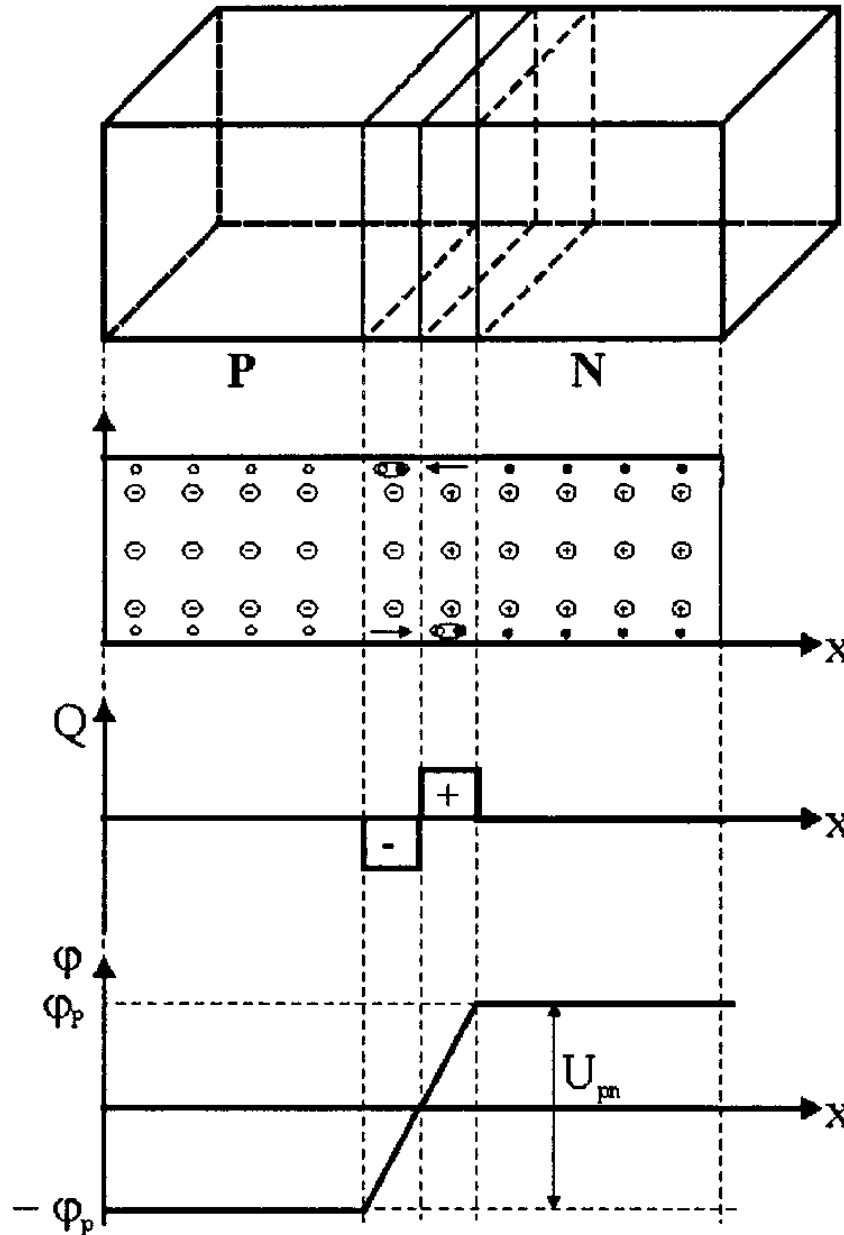
PN spoj nastaje spajanjem dva tipa poluvodiča, P i N tipa.

Na graničnoj plohi dolazi do formiranja potencijalne barijere koja sprječava prijelaz elektrona sa N na P stranu i šupljina sa N na P stranu.



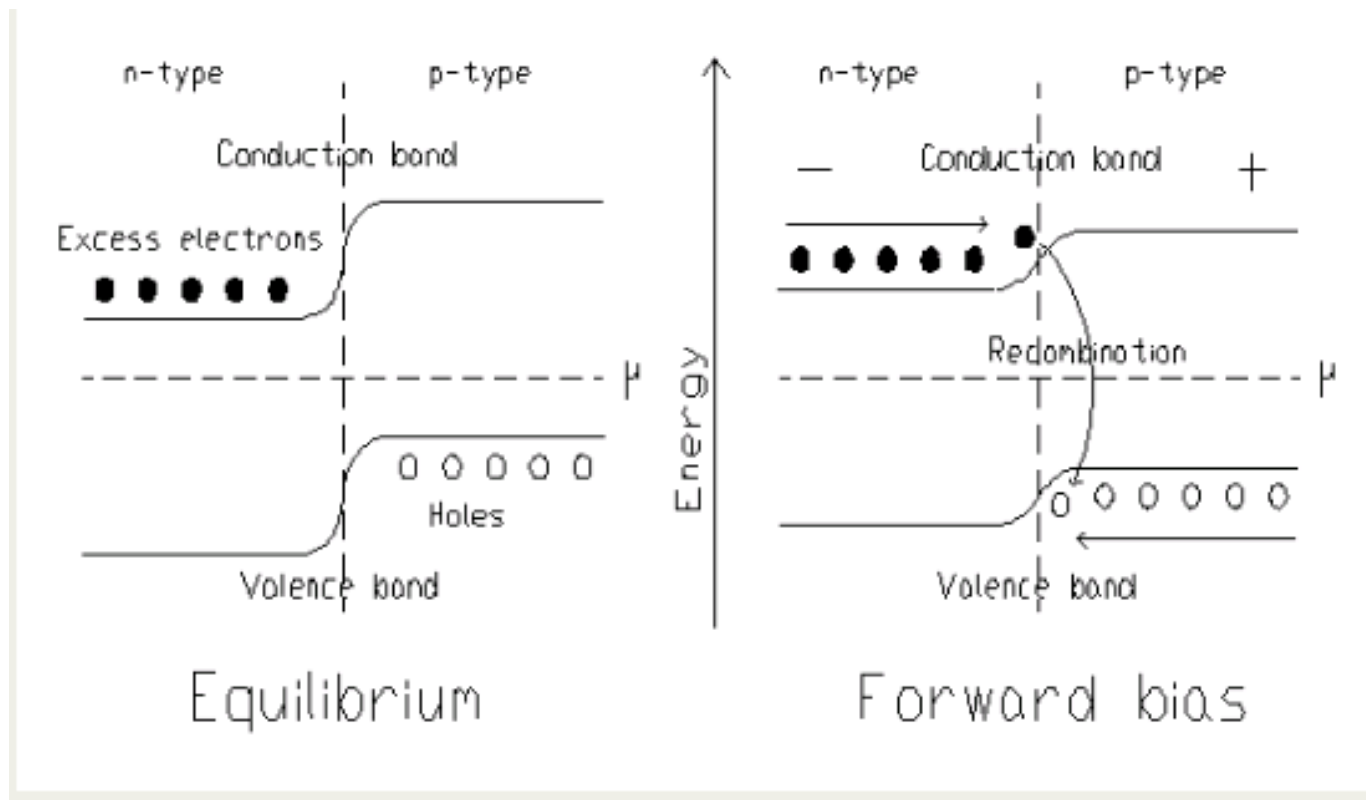
PN spoj

Barijera nastaje radi pomicanja slobodnih nosioca naboja u okolici dodirne površine PN spoja.



PN spoj

Ovisno o polaritetu vanjskog narinutog napona može se povećati ili smanjiti potencijalna barijera, odnosno može se regulirati broj elektrona i šupljina koje prelaze barijeru – jakost struje.

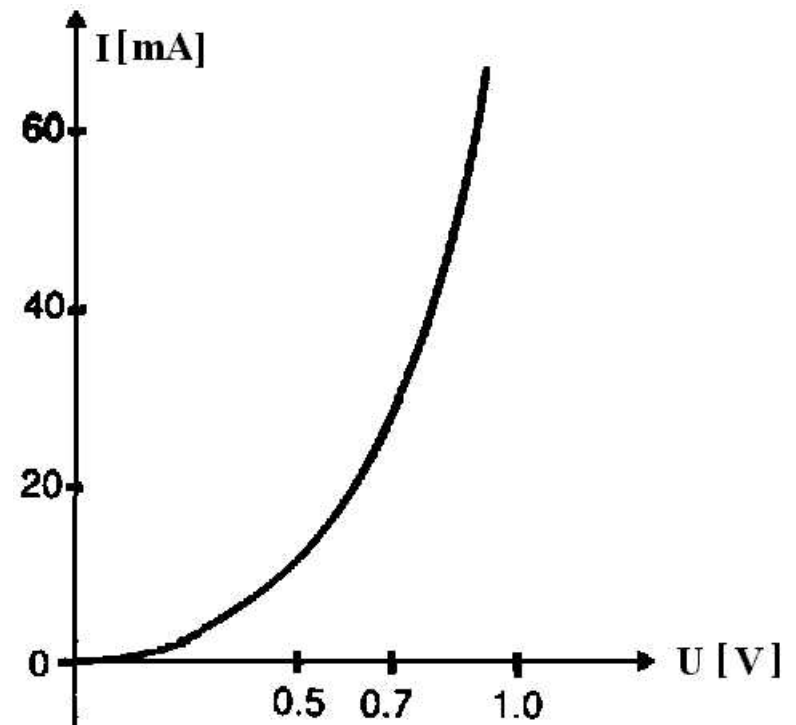
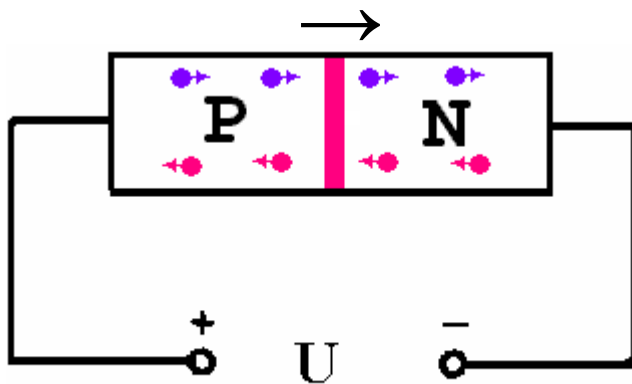


POLUVODIČKA DIODA

Strujno naponske karakteristike diode

- Kad je N kraj priključen na negativni, a P kraj na pozitivni napon PN spoj je propusno polariziran i tada je otpor malen, reda veličine Ω .

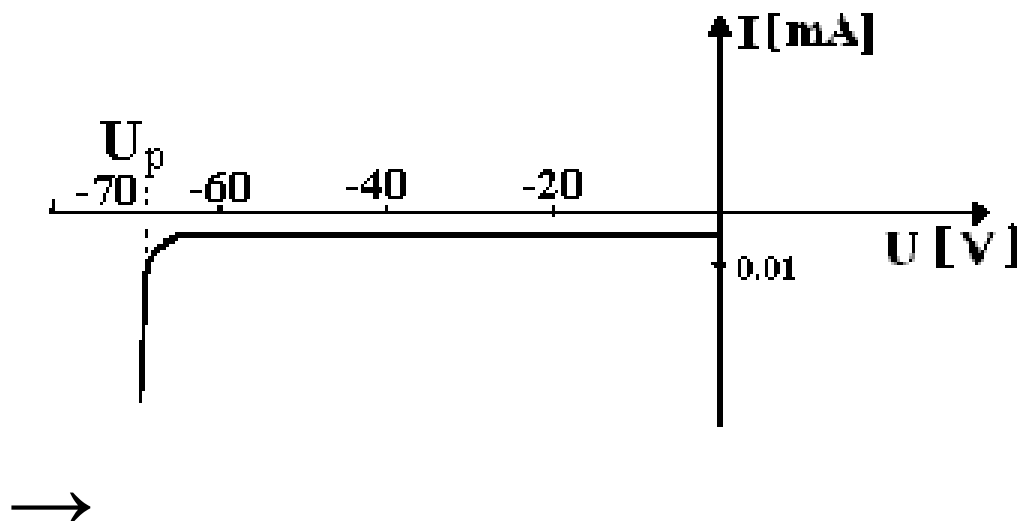
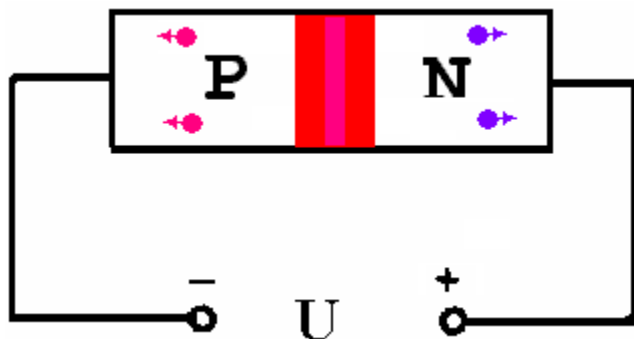
Propusno stanje



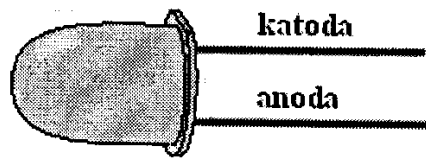
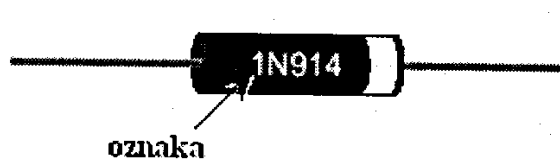
Poluvodička dioda

- Kad je N kraj priključen na pozitivni, a P kraj na negativni napon PN spoj je nepropusno polariziran, a otpor je velik reda veličine nekoliko desetaka ili stotina $M\Omega$.

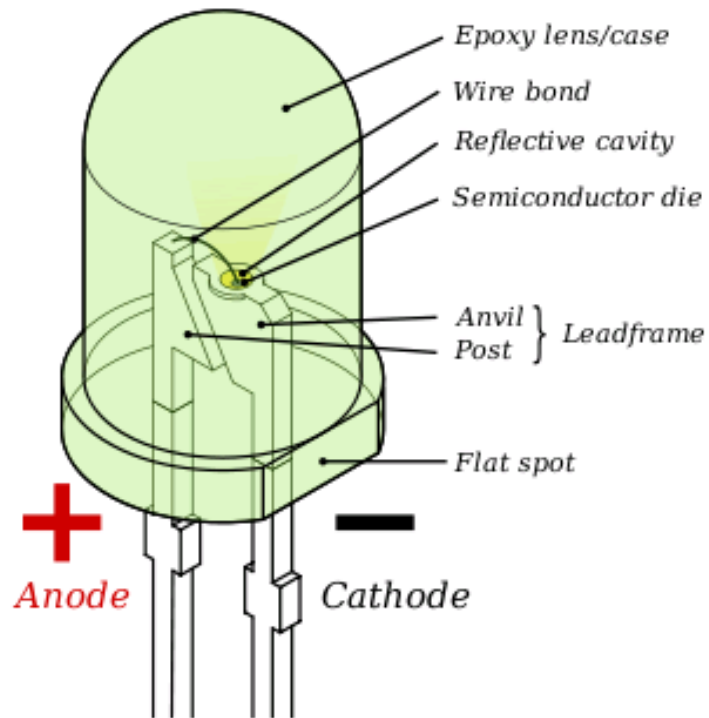
Nepropusno stanje



Poluvodička dioda i LED dioda



LED dioda

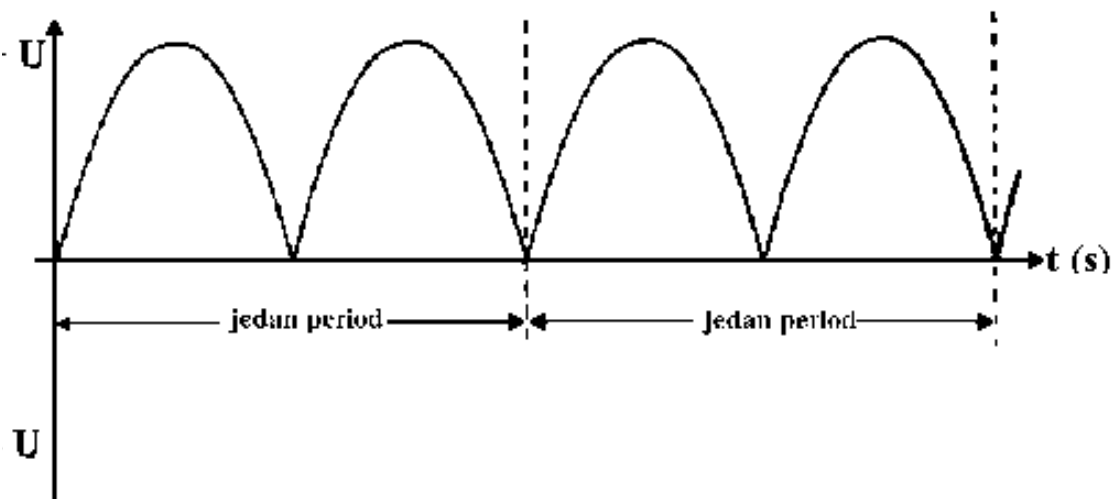
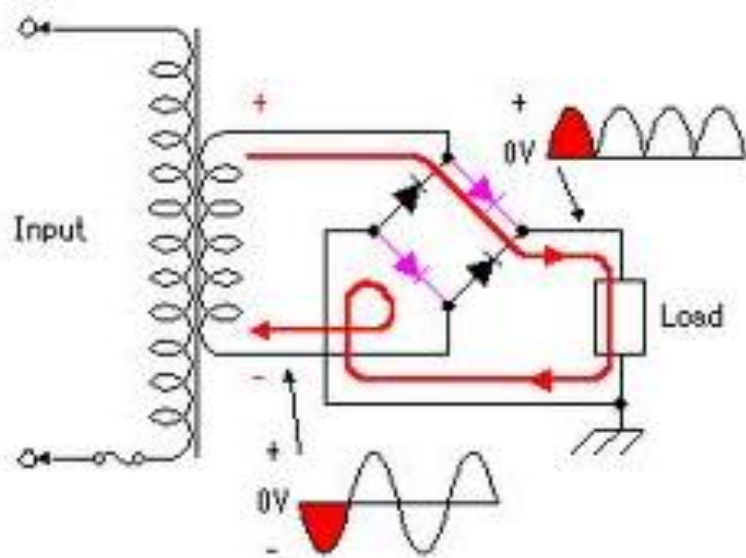
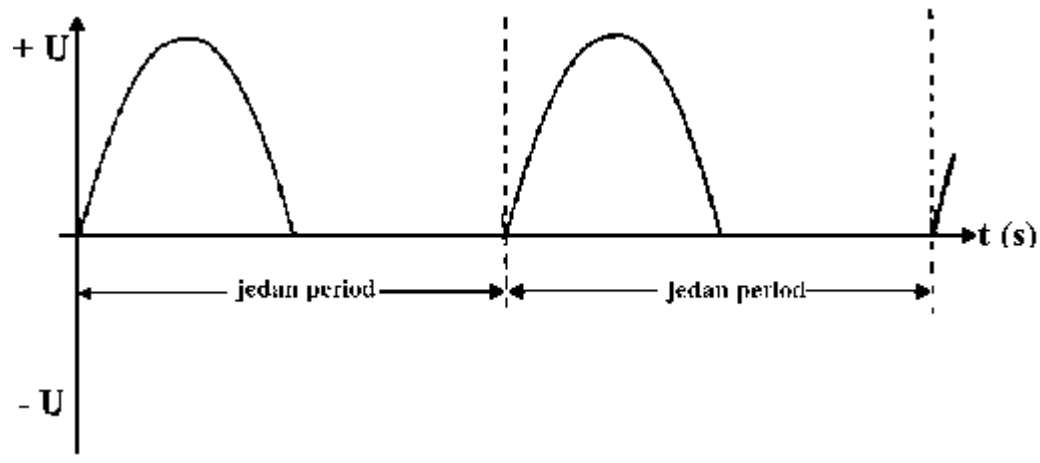
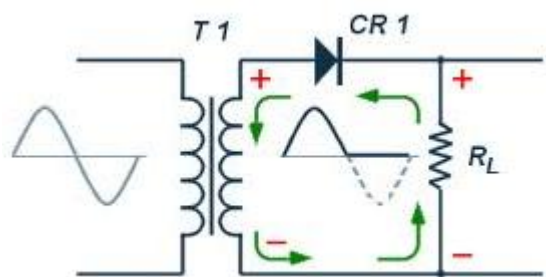


• Diode se izrađuju za slabe i za jake struje (on nekoliko mA do 6000 A).

• Kod manjih struja hlade se zrakom, a kod većih struja vodom ili uljem.

ISPRAVLJAČI

Poluvalno i punovalno ispravljanje izmjenične struje



GMDSS na brodu



- Note 1 Console needs battery supply to operate MF/HF + telex, will not operate on mains alone.
- Note 2 Printer + VDU run off 240 V monitor socket.

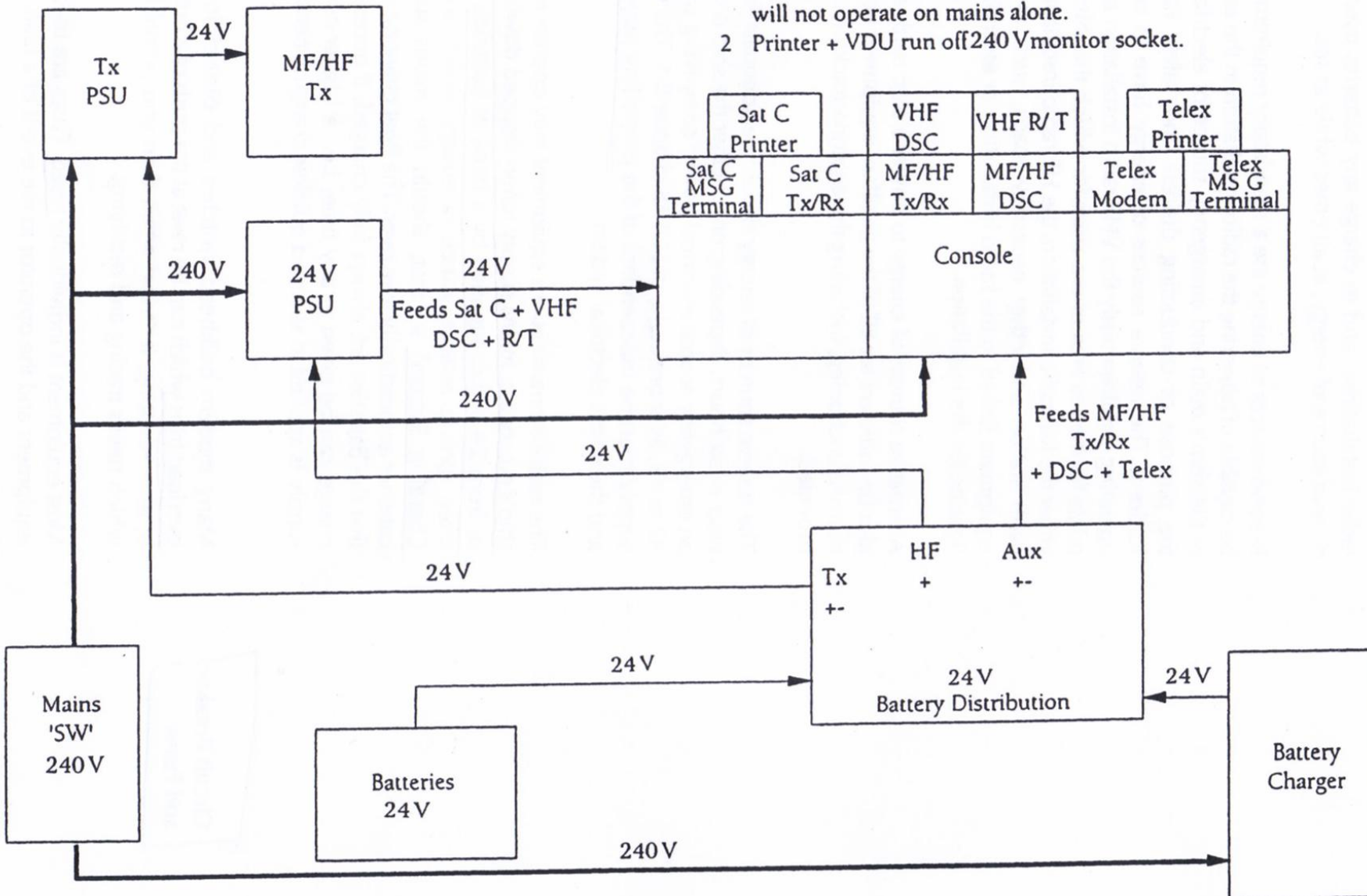
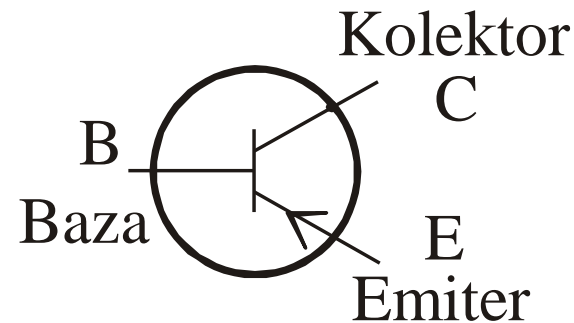
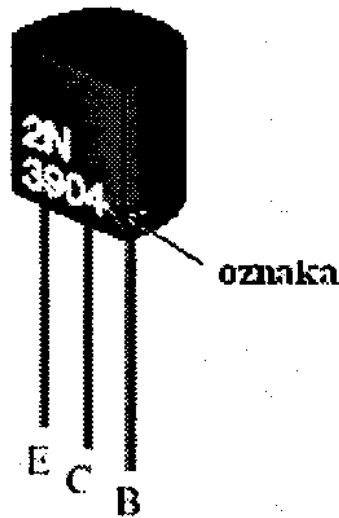


Figure S15-1 Example ship radio station power supply

POLUVODIČKI TRANZISTORI

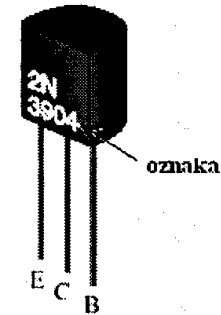
Bipolarni tranzistor



Tranzistor je dobio ime iz engleskih izraza transfer resistor (prijenosni otpor).

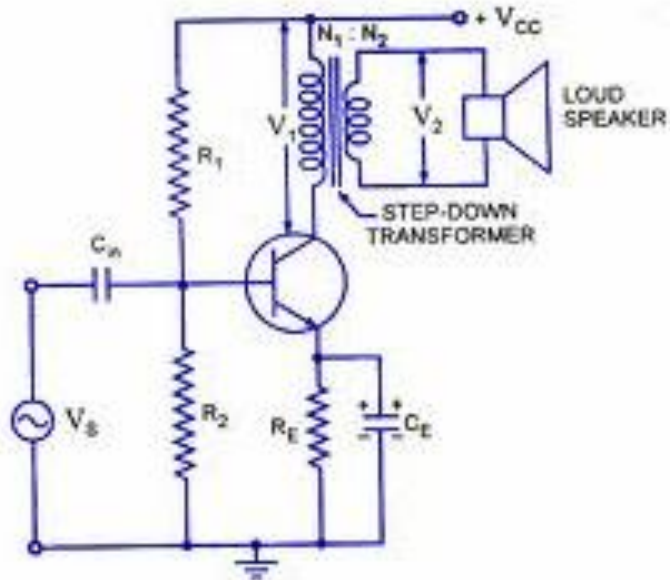
Promjena malene struje na bazi utječu na promjenu velike struje između kolektora i emitera tranzistora –
tranzistorski efekt pojačanja struje.

Tranzistor



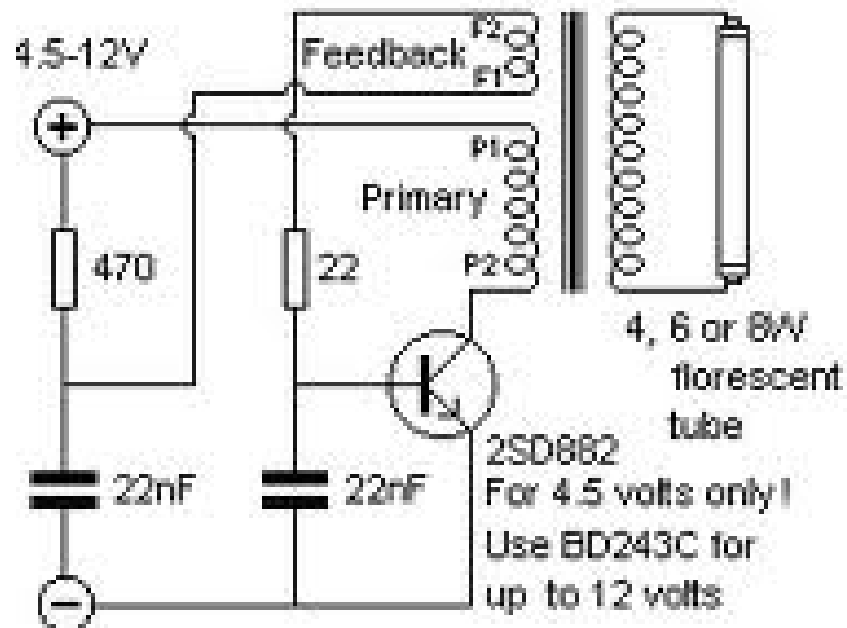
- Upravljačko svojstvo jedno je od glavnih svojstava tranzistora. Ono omogućuje upravljanje velikim snagama, strujama i naponima u izlaznom krugu s malom snagom, strujom i naponom na ulazu.
- Osim kao pojačalo, tranzistor se može koristiti kao oscilator (generira izmjeničnu struju određene frekvencije) ili kao elektronička sklopka.

Primjena tranzistor



Transformer-Coupled Class A Power Amplifier

Pojačalo

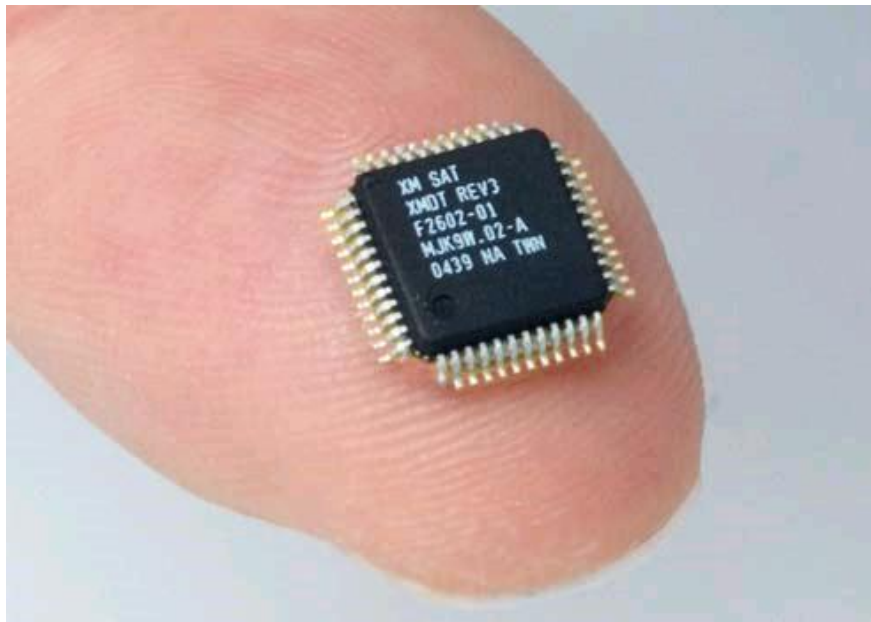


Oscilator - Inverter

Chip

- Danas se u praksi primjenjuju integrirani sklopovi - chip.

Pod chipom se podrazumijevaju kombinacije sastavnih elektroničkih elemenata (mnoštvo tranzistora, dioda...), smještenih na poluvodičkim materijalima, koji se ne daju razdvojiti, a tvore funkcionalne jedinice (10 i više milijuna tranzistora).



Elektronički sklopovi i uređaji



Analogni i digitalni sklopovi

Elektronički uređaji



Problematično temperatura, vlaga radijacija

OSTALE POJAVE U POLUVODIČIMA

U poluvodičima se javljaju:

- termoelektrične pojave:

- Seebeckov efekt,
- Peltierov efekt,
- Thomsonov efekt,

- elektromagnetske i termomagnetske pojave:

- Hallov efekt,
- Ettingshausenov efekt,
- Nernstov efekt,
- Righi-Leducov efekt,

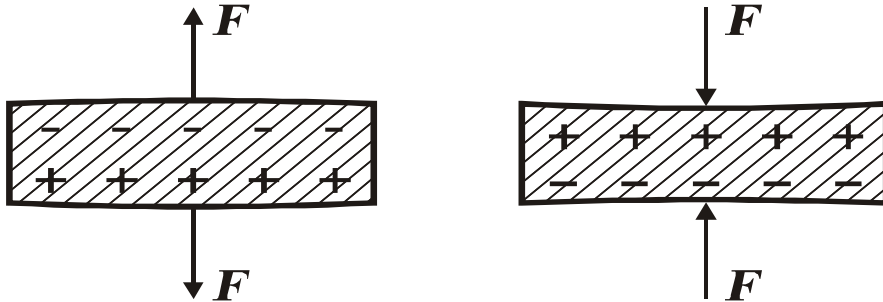
- fotoelektrične pojave:

- fotovodljivost,
- fotonaponski efekt,
- elektroluminescencija,

- piezoelektrične pojave:

- piezoelektrični efekt.⁴⁶⁶

Piezoelektrične pojave



Ultrazvučni mjerač dubine

Piezoelektrični efekt je pojava stvaranja električnog naboja na površini posebno odrezanog kristala koji je elastično deformiran vanjskom silom.

Najznačajniji piezoelektrični materijali su kvarc (SiO_2), Seignettova sol i turmalin, a u novije vrijeme PZT keramike.

Primjene piezoelektičnog efekta

Elektromehanički pretvornici pretvaraju električnu energiju u mehaničku i obrnuto. Koriste se pasivno i aktivno.

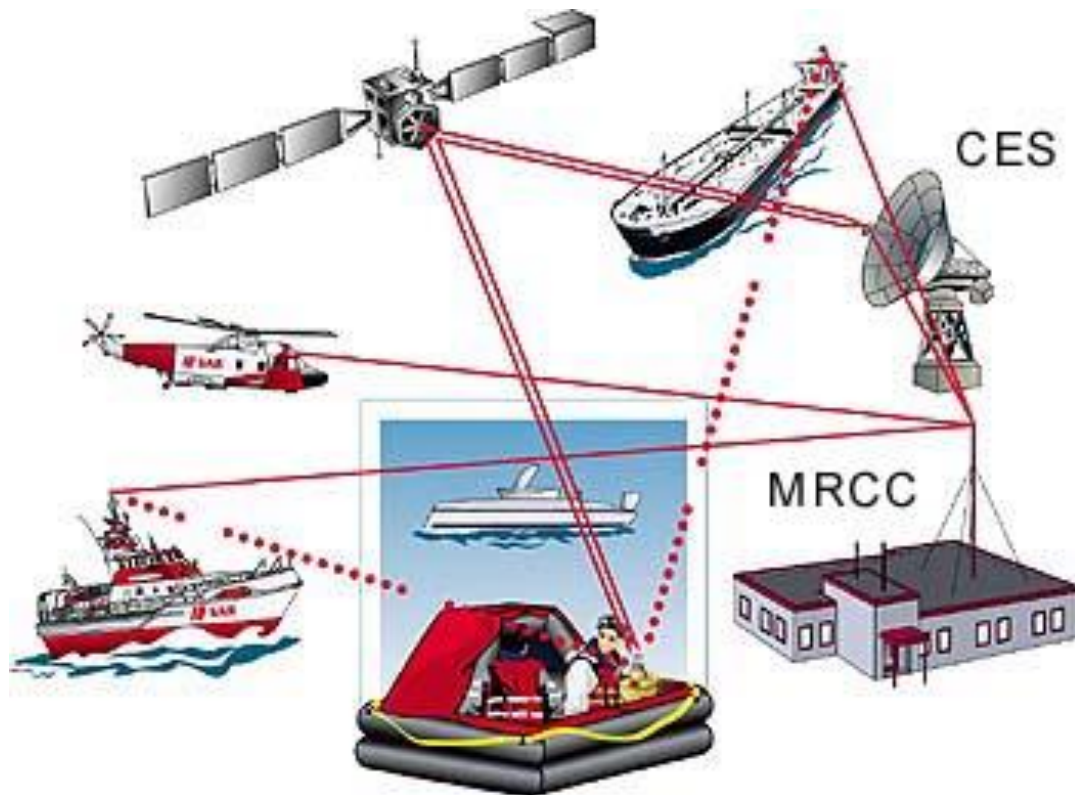
Pasivno kao senzori, kad samo primaju signale. Tu se izravno piezoelektrična svojstva koriste da bi se proizveo napon iz vanjskog naprežanja. Ovaj način uključuje *hidrofone, podvodne prislušne naprave, mikrofone, fonograme, mjerne trake dinamičkog naprežanja, senzore vibracija, dubinomjere, senzore razine i dr.*

U aktivnom modu se koriste za slanje akustičkih signala u medij. To uključuje *nedestrukcijske procjene, dubinometri, ink jet štampače, mikropozicijske naprave, mikropumpe, ultrazvuk u medicini.*

OSNOVE PRIMO PREDAJNE TEHNIKE

Radiokomunikacije i telekomunikacije

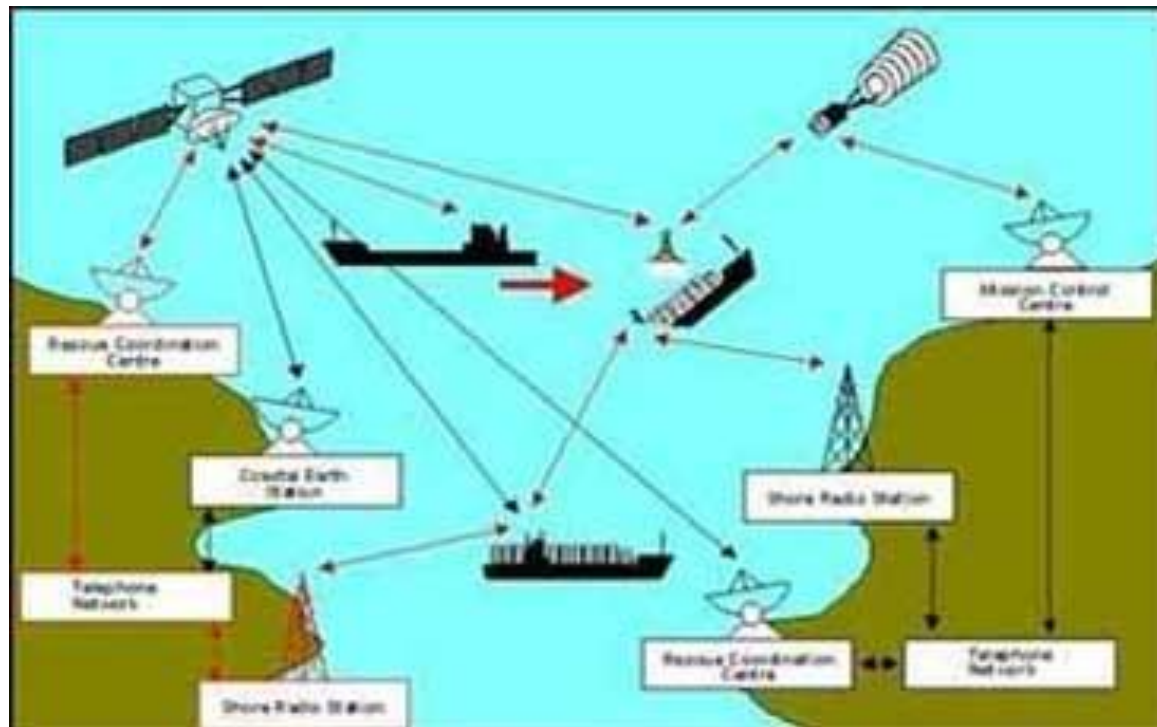
RADIOKOMUNIKACIJE I TELEKOMUNIKACIJE su područje **znanosti i komunikacijske tehnike** koji se bave **odašiljanjem, prijenosom i prijemom poruka** (tona, slike, podataka) **elektromagnetskim valovima** uz upotrebu elektroničkih elemenata i sklopova potrebnih za taj proces.



Radiokomunikacijske službe i uređaji

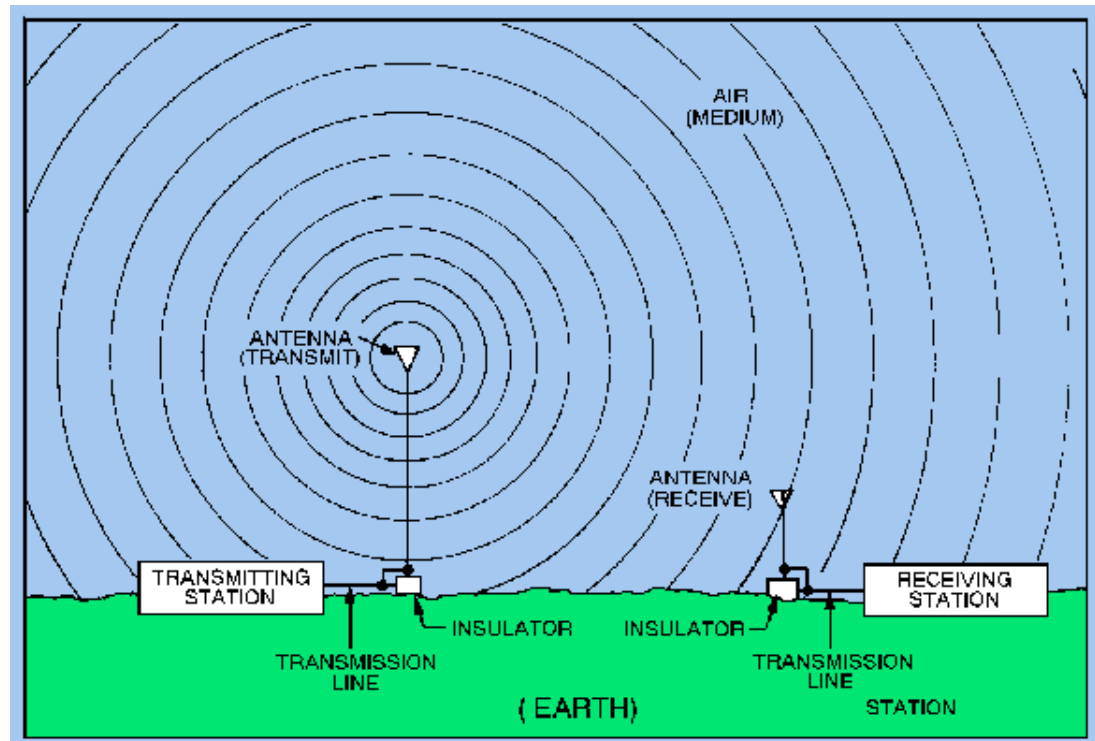
Radiokomunikacijski uređaji tehnička su osnova svih **radiokomunikacijskih službi** kao što su:

- zemaljske usmjerene veze (radiorelejne veze),
- pokretne radiokom. službe (zemaljske, pomorske i zračne),
- satelitske radiokomunikacijske službe,
- radiodifuzija,
- radioastronomija,
- radar,
- radionavigacija, radiolokacija,
- daljinsko upravljanje.



Osnovni pojmovi iz radiokomunikacija

Zadatak je predajnika je da modulira val nosioc
signalom koji se želi prenijeti a prijamnika da iz
prijenosnog medija izdvoji željeni modulirani signal i iz
njega što vjernije rekonstruira izvorno odaslanu
poruku.



Osnovni pojmovi iz radiokomunikacija

Radiokomunikacijski sustav sastoji se od tri osnovna dijela: *odašiljača, prijenosnog sredstva i prijamnika.*

Odašiljač služi za transformaciju poruke (modulacijskog signala) u pogodan oblik (modulirani signal) kako bi se što djelotvornije prenio do prijamnika.

Transformacija signala poruke naziva se **modulacijom**, a svrha joj je da se odaslani signal što bolje prilagodi uvjetima prijenosa.

Osnovni pojmovi iz radiokomunikacija

Modulator, koji se nalazi u odašiljaču, služi da bi se signal poruke utisnuo u val nosilac i tako prenio do prijamnika.

Val nosilac je signal sinusnog oblika kojemu je jedan od parametara (amplituda, frekvencija ili faza) nakon prolaza kroz modulator proporcionalna vremenskoj promjeni modulacijskog signala.

Osnovni pojmovi iz radiokomunikacija

Prijenosno sredstvo je sredstvo u kojem se šire elektromagnetski valovi najčešće atmosfera u blizini Zemljine površine, a pri satelitskim komunikacijama i svemirski prostor.

Kako se prijenosni sustav svojom tromošću opire, brzina je promjene signala ograničena parametrom sustava koji se naziva *širinom frekvencijskog pojasa* (engl. *Bandwidth*). Što je veća širina frekvencijskog pojasa, više se informacija može prenijeti kroz prijenosni sustav.

Osnovni pojmovi iz radiokomunikacija

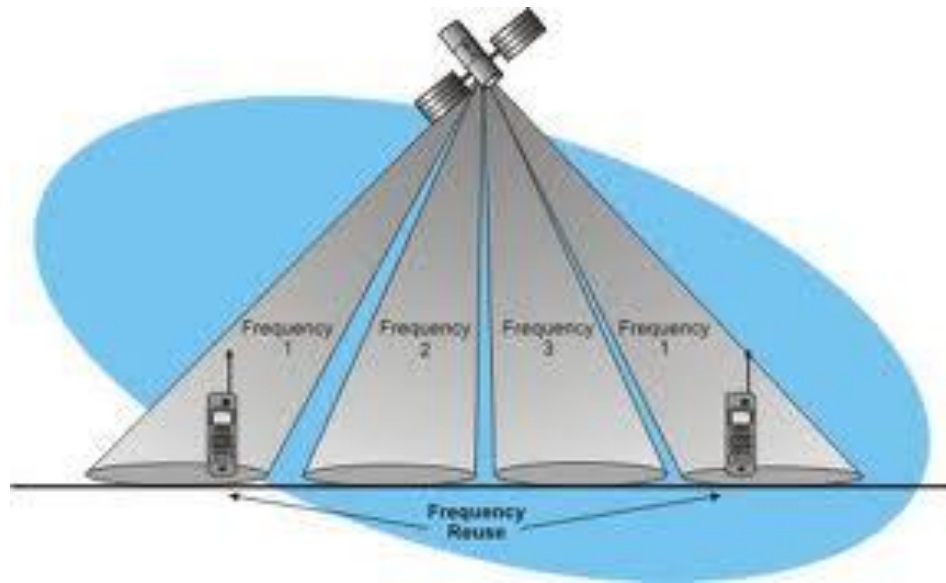
Kanal – frekvencijski pojas ograničene širine preko kojeg se ostvaruje radio veza. Njega čini frekvencija odašiljanja (Tx) i frekvencija prijema (Rx). Frekvencije mogu biti uparene ili neuparene.

Kvaliteta kanala određena je kapacitetom podataka koji se može prenjeti kanalom, odnosom BW kanala.

Satelitske veze imaju daleko veći BW od MF, HF i VHF veza, te zato omogućuju prijenos velikih brzina preko kanala.

MULTIPEKSIRANJE
istodobno korišćenje
komunikacijskih kapaciteta

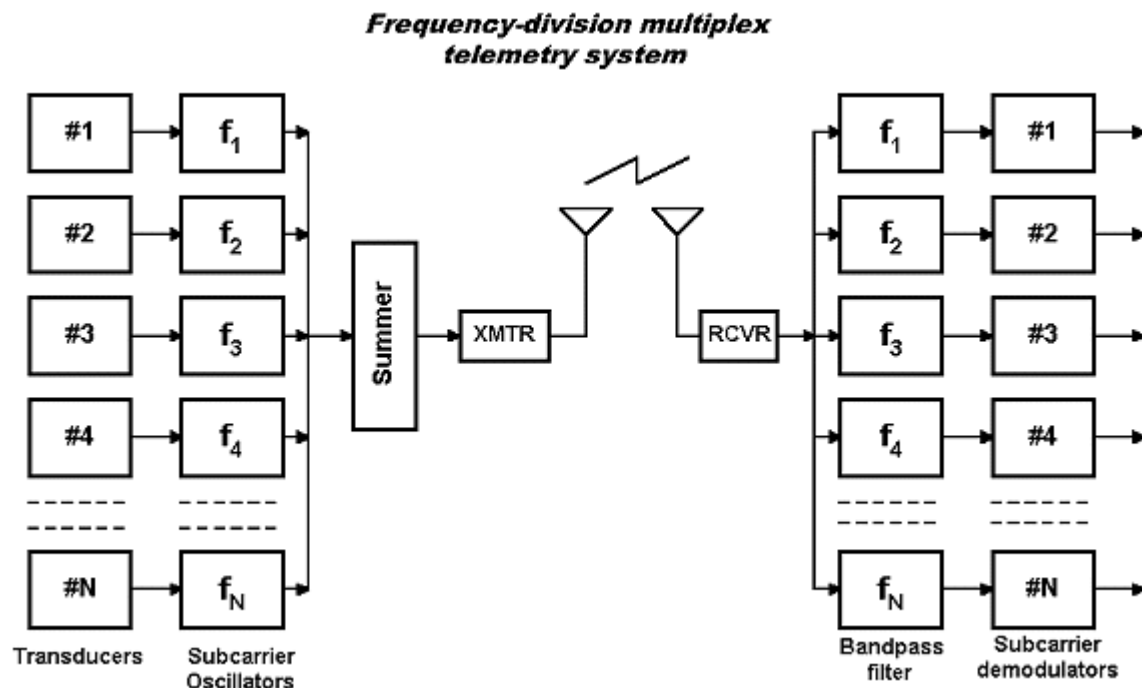
Prostorni multiplex (SDM space division multiplex)



Ograničeni broj resursa (istih frekvencija ili kanala) se dodjeluju većem broju korisnika koji su prostorno udaljeni da se nemogu ometati.

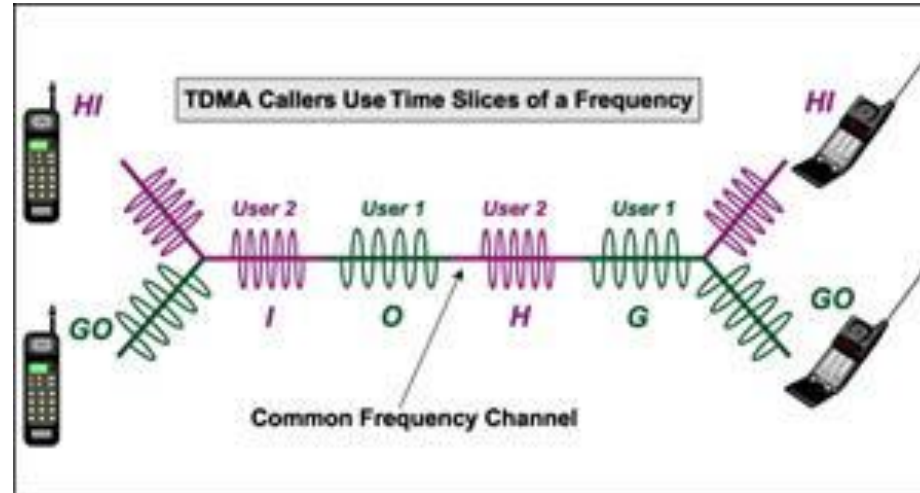
Primjerice VHF uređaji, mobilna telefonija.

Frekvencijski multiplex (FDM frequency division multiplex)



Omogućuje se istovremeni prijenos za više korisnika na način da se široko frekventno područje (HF, MF ili VHF band) raspodjeli na niz radnih kanala koji emitiraju na različitim frekvencijama i ne mogu se međusobno ometati.

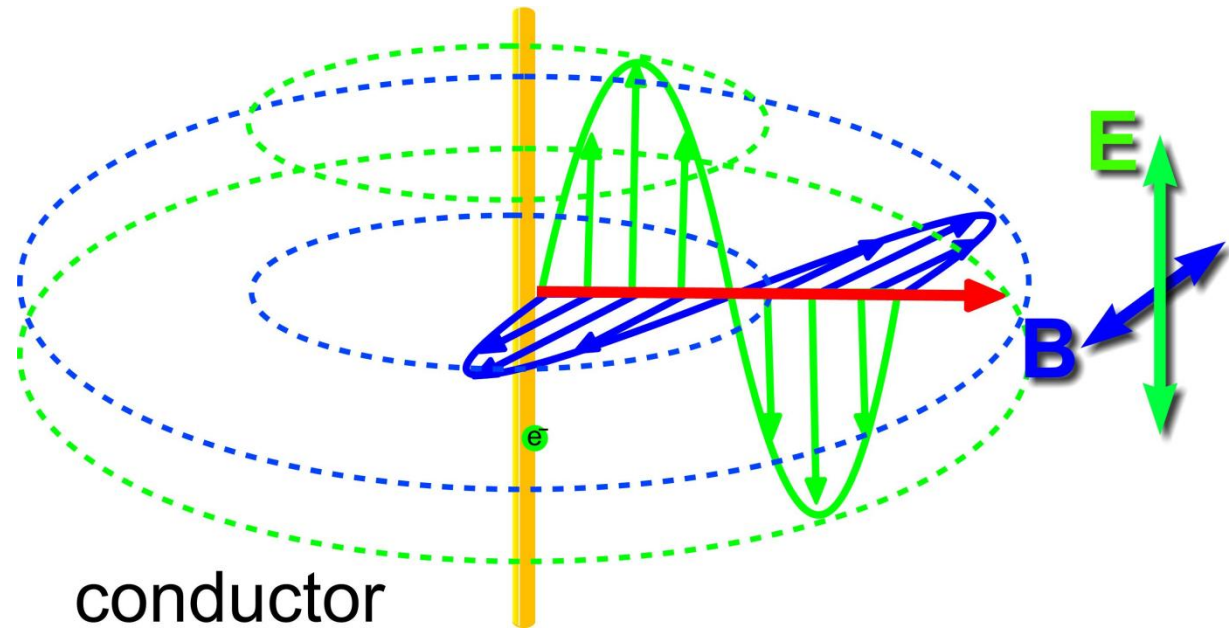
Vremenski multiplex (TDM frequency division multiplex)



Omogućuje se istovremeni prijenos za više korisnika na način da se ista frekvencija vremenski raspodjeli na niz korisnika (samo dva korisnika u isto vrijeme) i tako se ne mogu međusobno ometati.

Prekapčanje se odvija velikom brzinom.

ELEKTROMAGNETSKI VALOVI



Elektromagnetski valovi

Elektromagnetski val je prirodna fizikalna pojava u kojoj učestvuju promjenjiva električka i magnetska polja, pri čemu promjene jednog polja uzrokuju nastanak drugog, tako da se izaziva val koji se, jedanput izazvan, širi konačnom brzinom (brzinom svjetlosti kroz vakum) a kroz ostale medije nešto sporije.

Svjetlost je elektromagnetski val vrlo visoke frekvencije.

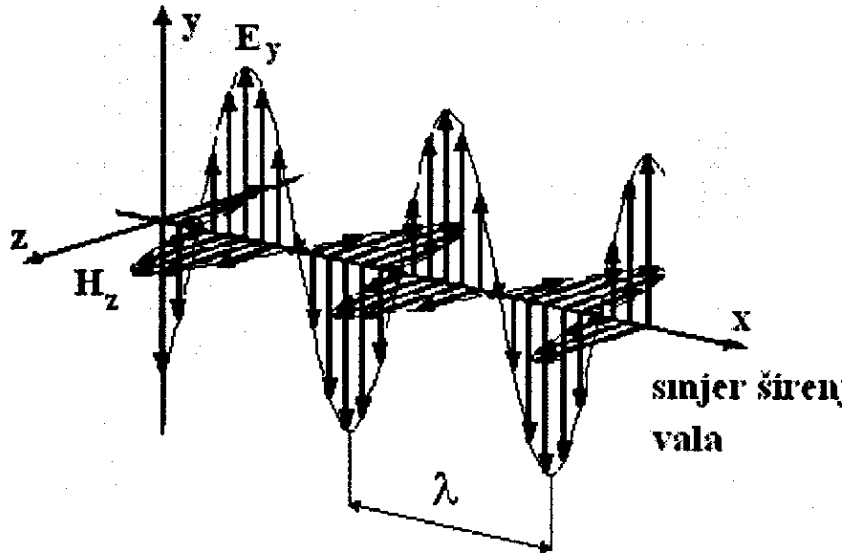
Elektromagnetski valovi

Elektromagnetski valovi se rasprostiru u obliku koncentričnih, stalno rastućih kugla, čije plohe slijede jedna za drugom s međusobnim razmakom od jedne valne duljine.

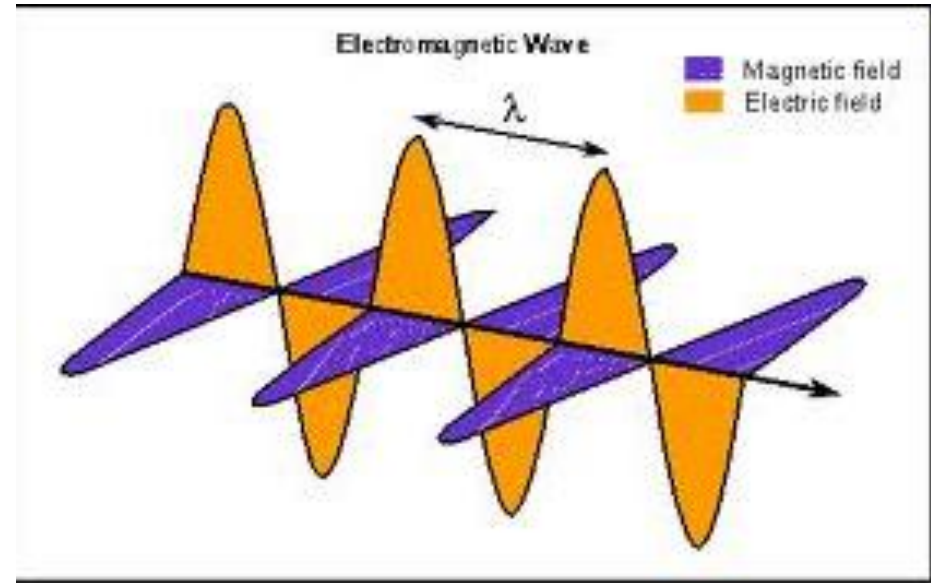
Radiovalovi se zrače iz predajne antene napajane iz izlaznog stupnja nekog odašiljača strujama radijskih frekvencija (RF).

U prijemnoj anteni elektromagnetski valovi izazivaju induciranje struja istih radio frekvencija.

Valna duljina elektromagnetskog vala



Slika 17.42: Elektromagnetski val



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

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

Brzina elektromagnetskog vala

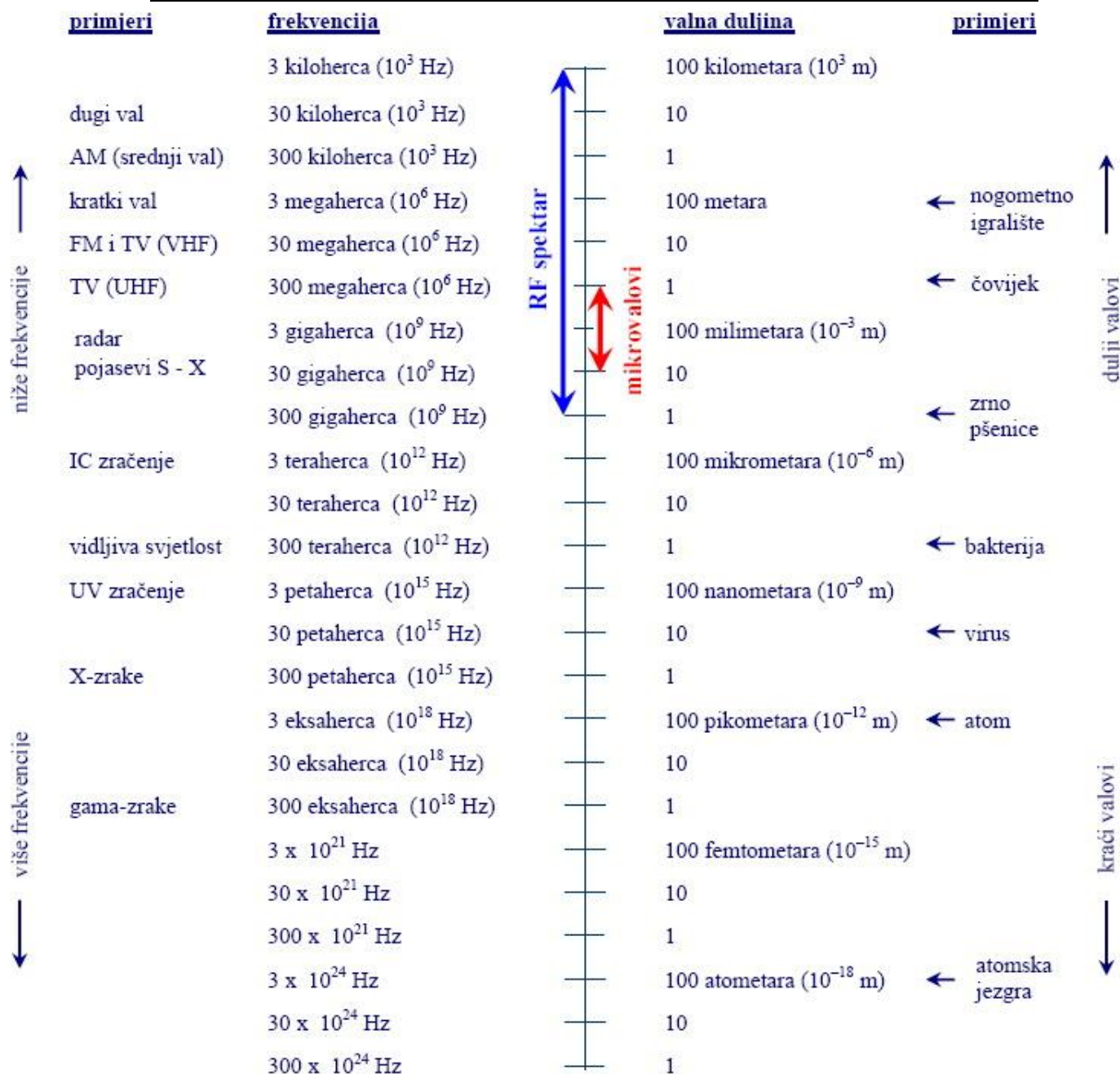
Brzina elektromagnetskog vala u vakuumu jednaka je brzini svjetlosti od približno 300 000 km/s.

U izolatorima brzina rasprostiranja je znatno manja i ovisi o dielektričnosti izolatora. U destiliranoj vodi (koja je dobar izolator), brzina rasprostiranja radiovala je samo 1/9 od one u slobodnome prostoru.


Metali ne vode elektromagnetski val. Samo radiovalovi vrlo niskih frekvencija prodiru do 20 m u more.

Kod viših frekvencija, u VHF području, temperatura i sadržaj vlage u zraku jako utječu na tu brzinu. U troposferi se više guši elektromagnetski val veće frekvencije.

Spektar elektromagnetskih valova




Podjela RF radiofrekvencija

Naziv	Oznaka	Frekvencija	Valna dužina	Primjena 
Extremely low frequency (ekstremno niske frekvencije)	ELF	3 to 30 Hz	10,000 km to 100,000 km	čujne frekvencije kada se pretvore u zvuk, jednosmjerna komunikacija s podmornicama
Super low frequency (super niske frekvencije)	SLF	30 to 300 Hz	1,000 km to 10,000 km	čujne frekvencije kada se pretvore u zvuk, elektrodistribucija (50 Hz, 60 Hz)
Ultra low frequency (ultra niske frekvencije)	ULF	300 to 3000 Hz	100 km to 1,000 km	čujne frekvencije kada se pretvore u zvuk, komunikacija u rudarstvu
Very low frequency (vrlo niske frekvencije)	VLF	3 to 30 kHz	10 km to 100 km	čujne frekvencije kada se pretvore u zvuk

Podjela radiofrekvencija

Naziv	Oznaka	Frekvencija	Valna dužina	Primjena 
Low frequency (niske frekvencije)	LF	30 to 300 kHz	1 km to 10 km	međunarodni radioprijenos, navigacijskei radi far,
Medium frequency (srednje frekvencije)	MF	300 to 3000 kHz	10 m to 1 km	navigacijski radio far, AM radioprijenos , pomorske i zračne komunikacije
High frequency (visoke frekvencije)	HF	3 to 30 MHz	10 m to 100 m	kratki val, CB radioprijenos
Very high frequency (vrlo visoke frekvencije)	VHF	30 to 300 MHz	1 m to 10 m	FM radioprijenos , TV prijenos , zrakoplovstvo

Podjela radiofrekvencija

Naziv	Oznaka	Frekvencija	Valna dužina	Primjena 
Ultra high frequency (ultra visoke frekvencije)	UHF	300 to 3000 MHz	10 cm to 100 cm	TV prijenos, mobilna telefonija, bežične mreže, mikrovalna pečnica
Super high frequency (super visoke frekvencije)	SHF	3 to 30 GHz	1 cm to 10 cm	bežične mreže, satelitske veze, mikrovalne veze, satelitska televizija,
Extremely high frequency (ekstremno visoke frekvencije)	EHF	30 to 300 GHz	1 mm to 10 mm	Mikrovalni prijenos podataka, radio astronomija, udaljena detakcija, napredna oružja, napredni protuprovalni sustavi

OSNOVNE KARAKTERISTIKE ELEKTROMAGNETSKOG VALA

OSNOVNE KARAKTERISTIKE ELEKTROMAGNETSKOG VALA

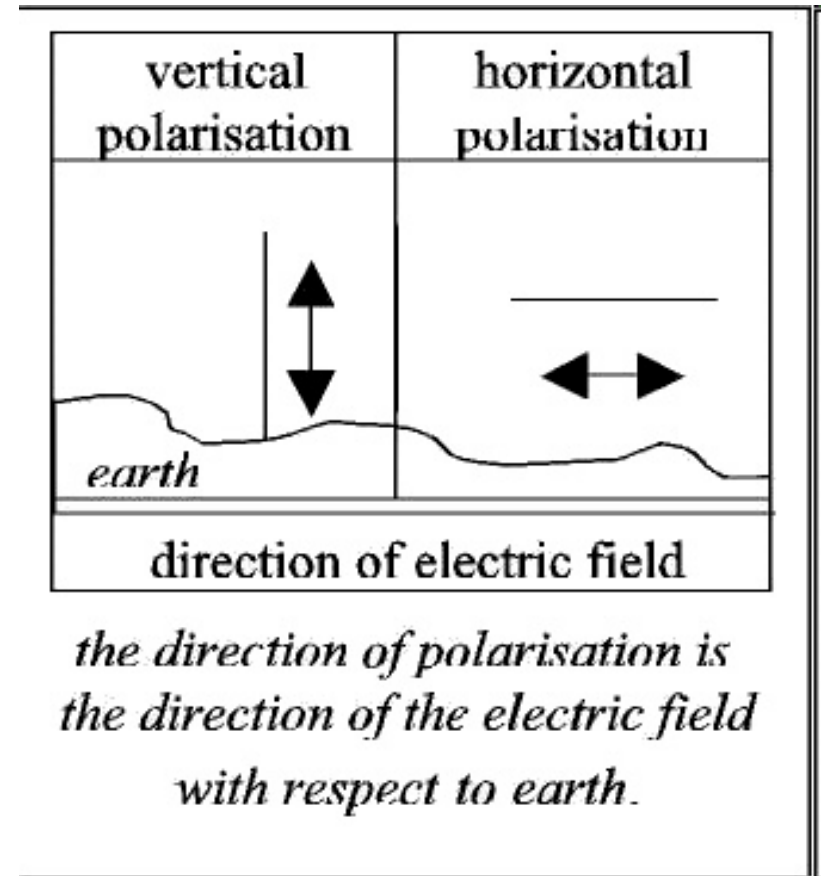
- Polarizacija vala**
- Jakost polja**
- Gustoća snage**

Polarizacija vala

Polarizacija vala određena je **pravcem silnica električnog polja u odnosu na površinu zemlje.**

Ako su **silnice električnog polja okomite na površinu tla** tada je to **vertikalna polarizacija** elektromagnetskog vala,

a ako su te **silnice paralelne u odnosu na Zemljinu površinu** govorimo o **horizontalnoj polarizaciji.**



Za svemirske komunikacije koristi se kružna ili **cirkularna polarizacija vala**
Neke radiokomunikacije koriste vertikalnu a neke horizontalnu polarizaciju – to se može vidjeti po prijemnoj i predajnoj anteni

Jakost polja

Energija vala koji se rasprostire smanjuje se povećanjem udaljenosti od izvora, jer se raspoređuje na sve veću površinu i **obrnuto je proporcionalna udaljenosti od izvora vala** .

Jakost polja elektromagnetskog vala mjeri se kao **napon između dviju točaka koje leže na jednoj električnoj silnici polja u ravnini valne fronte**.

Jakost polja se izražava u **milivoltima po metru (mV/m)**
ili mikrovoltima po metru ($\mu\text{V/m}$)

Gustoća snage

Omjer kvadrata jakosti polja i gustoće snage p je impedancija slobodnog prostora (Z) koja iznosi 377Ω .

Gustoća snage:

$$p = \frac{E^2}{Z}$$

Gustoća snage opada s kvadratom udaljenosti od izvora.

Jakost polja od 1 V/m odgovara gustoći snage vala od $2,65 \text{ mW/m}^2$.

**KARAKTERISTIKE
RASPROSTIRANJA
ELEKTROMAGNETSKIH
VALOVA**

Karakteristike rasprostiranja elektromagnetskih valova

Elektromagnetski valovi se u svemiru šire pravocrtno.

U zemljinoj atmosferi na rasprostiranje radiovalova utječu mnogi čimbenici, kao što su:

- 1. meteorološke osobine nižih slojeva atmosfere (troposfere),**
- 2. električna svojstva tla i njegova fizička konfiguracija,**
- 3. stanje ionosfere**
- 4. drugi čimbenici ovisno o frekvenciji radiovalova**

Zemljina atmosfera

Troposfera je donji sloj atmosfere

Prostire se od površine zemlje do 8-11 km u polarnim krajevima i umjerenim širinama, a u tropskim krajevima do 15-18 km. Taj sloj sadrži 4/5 ukupne mase atmosfere i svu vodenu paru atmosfere. U njemu se odvijaju sve meteorološke pojave (vjetar oblaci, kiša ..)

Ionosfera je vanjski, električni vodljivi sloj zemljine atmosfere

Proteže se od 60-80 km pa do 1000 km iznad zemlje – prema podacima sa satelita gornja granica je čak ~20.000 km.

Ionosfera predstavlja razrijeđenu plinovitu plazmu, tj sastoji se od molekula iona i plina u kojemu su prisutni u određenoj koncentraciji i slobodni elektroni. Postoje 4 ionosferska sloja D, E, F1 i F2.

**POJAVA KOJE NASTAJU
PRILIKOM
RASPROSTIRANJA
ELEKTROMAGNETSKIH
VALOVA KROZ ATMOSFERU**

Pojava koje nastaju prilikom rasprostiranja elektromagnetskih valova kroz atmosferu

- 1. apsorpcija (gušenje),**
- 2. refrakcija (lom),**
- 3. refleksija (odbijanje)**
- 4. difrakcija (ogib)**
- 5. disperzija (raspršivanje)**

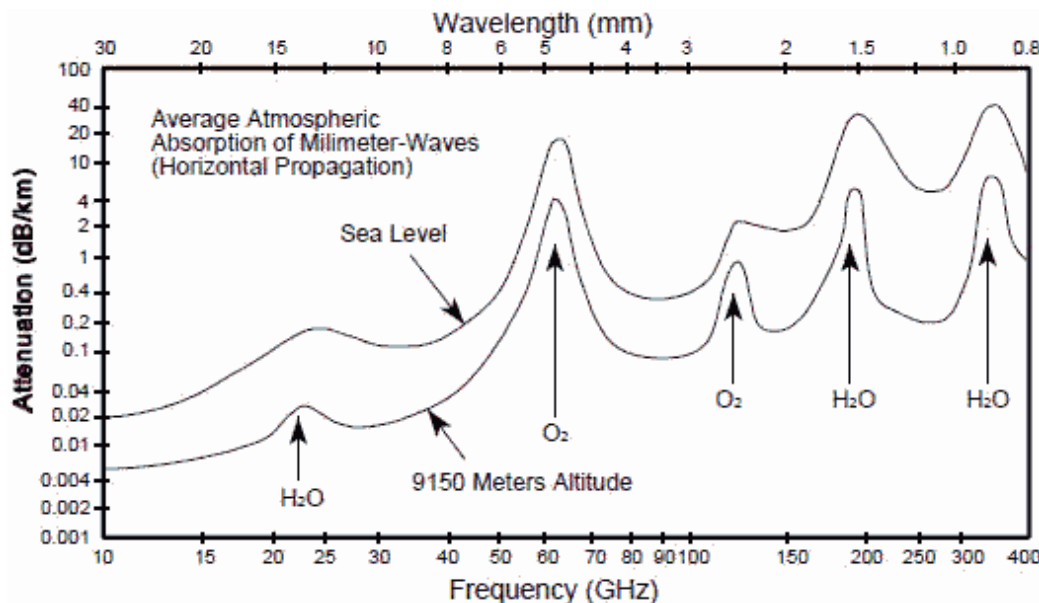
Apsorpcija (gušenje)

Apsorpcija (slabljenje intenzivnosti) elektromagnetskog vala dolazi uslijed *uzajamnog djelovanja između elektromagnetskog polja i materije, kojim se djelovanjem elektromagnetska energija pretvara u druge oblike energije.*

Apsorpcija (gušenje)

Apsorpcija elektromagnetskih valova u troposferi *jako se povećava sa porastom frekvencije (vidi sliku)*, a naročito je velika na frekvencijama u blizini *vlastitih frekvencija titranja molekula plina i vode.*

Molekule kisika najviše apsorbiraju elektromagnetski val na 60 i 118,75 GHz, a vodena para na 22,2 i 183 GHz.



Refrakcija (lom)

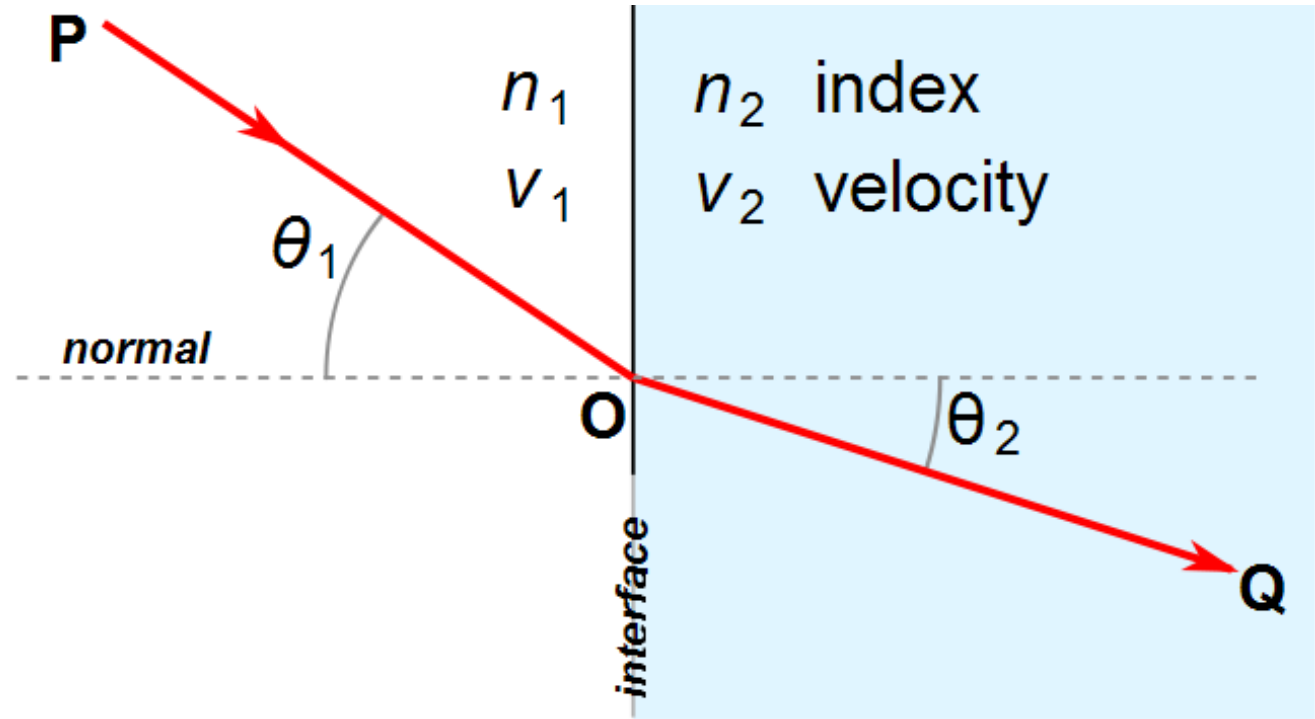
Refrakcija je promjena smjera širenja vala uzrokovana promjenom elektrodinamičkih svojstava medija (dielektričnost, magnetska susceptibilnost).

Elektrodinamička svojstva medija izražavaju se njegovim indeksom loma (indeksom refrakcije).

$$n = \sqrt{\epsilon\mu}$$

Indeks loma ovisi o frekvenciji vala i o stanju medija kojim se prenosi (temperatura, tlak, sastav ...).

Refrakcija (lom) – snellov zakon



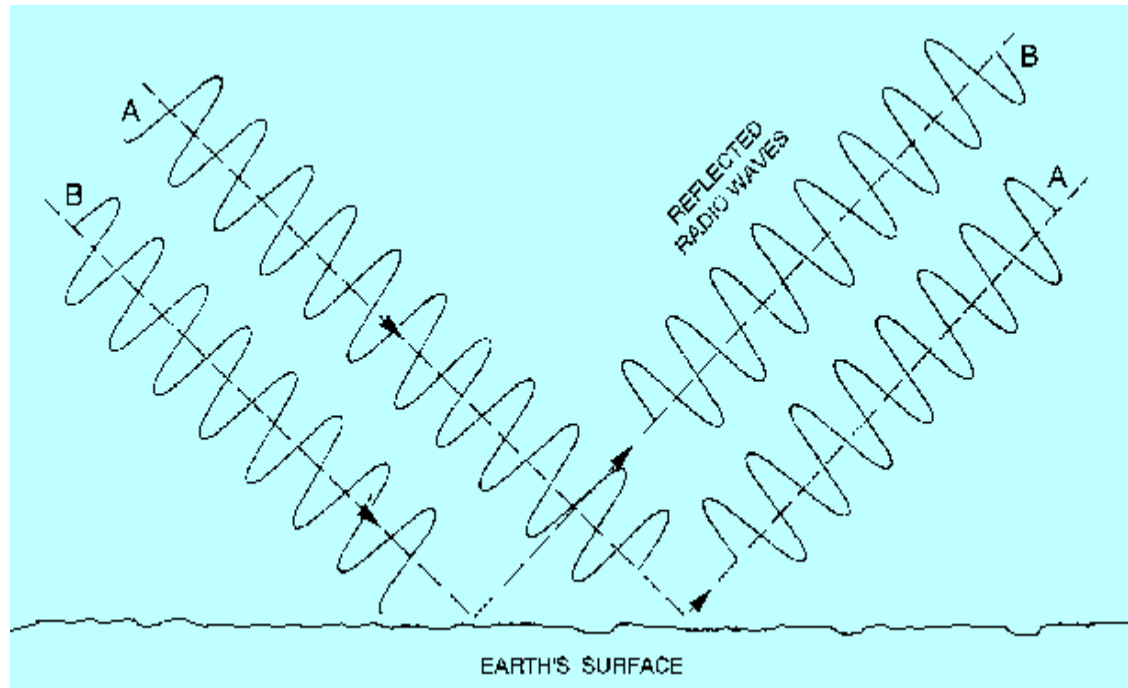
$$n = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sqrt{\mu_1 \epsilon_1}}{\sqrt{\mu_2 \epsilon_2}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

*Ionosferska refrakcija savija radio valove prema zemlji,
Postoji i obalna refrakcija površinskih valova – goniometar !!!⁵⁰³*

Refleksija (odbijanje)

Refleksija je odbijanje elektromagnetskog vala od neke prepreke.

Prilikom refleksije vala dolazi i do promjene njegove faze.



Refleksija (odbijanje)



Radio valovi se reflektiraju od ionosfere, inverznih slojeva troposfere, od površine zemlje, od slojeva stijena pod površinom ispod zemlje, različitih objekata na zemlji i od antenskih reflektora.

Intenzitet refleksije ovisi o frekvenciji vala i također o njegovoj polarizaciji.

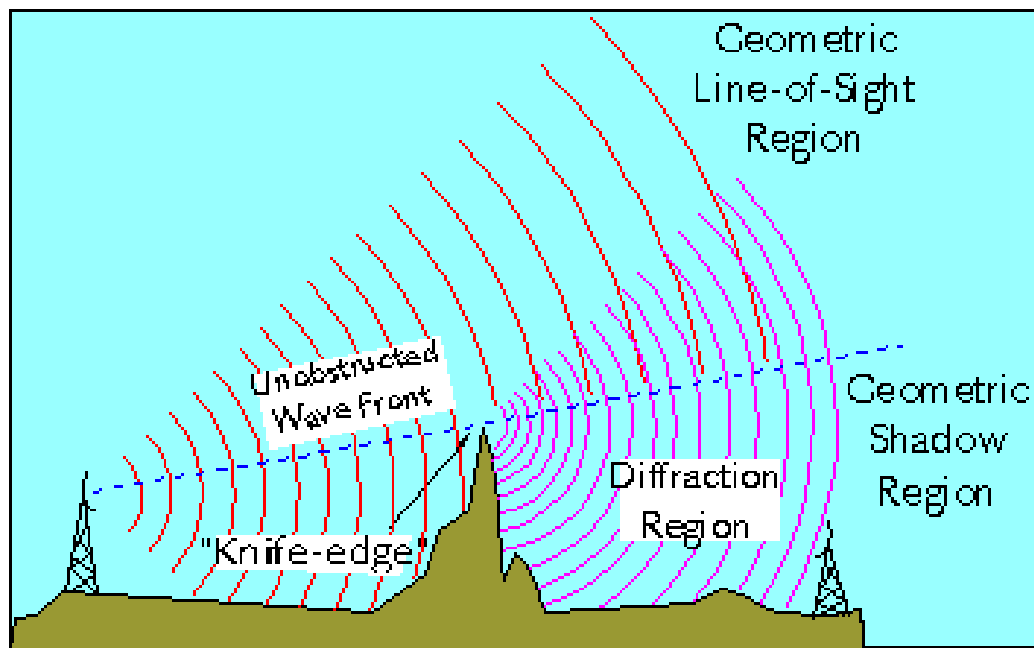
Difrakcija (ogib)

Difrakcija je pojava koja nastaje kada na rubu prepreke koja se nalazi ispred vala dolazi do ogibanja valova, tako da dio elektromagnetskog vala skreće sa pravocrtne putanje i ogiba se iza prepreke.

Na taj način se mogu primiti radio valovi i iza prepreke (na primjer otoka ili gorskog lanca) iako ne postoji optička vidljivost prijemne i odašiljačke antene.

Difrakcija (ogib)

**Tako na primjer brod može imati VHF vezu sa obalnom stanicom iako se nalazi iza otoka koji zaklanja prolaz elektromagnetskog vala odaslanog sa obalne stanice.
(VHF valovi se šire pravocrtno !!!)**



knife-edge effect

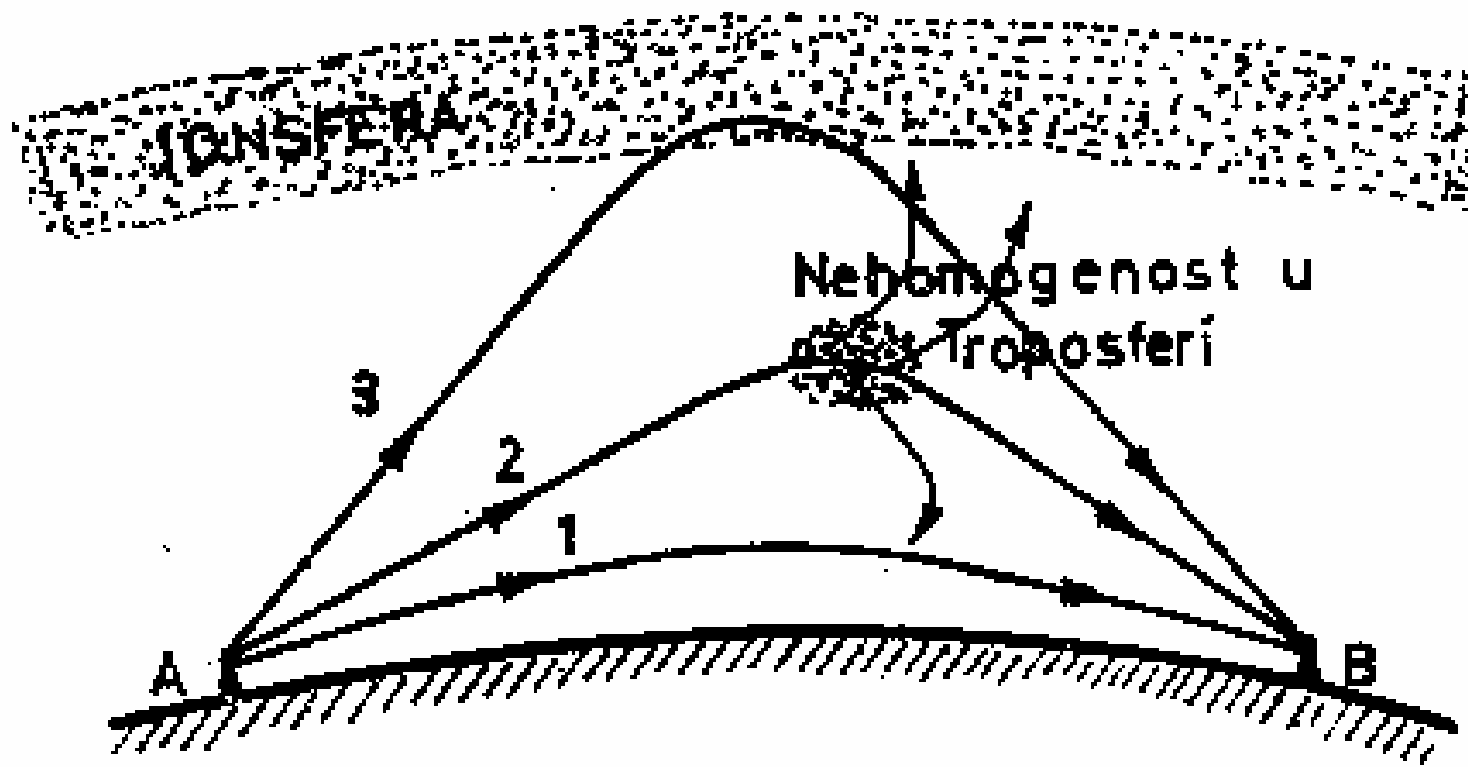
Disperzija (raspršivanje)

Kada se refrakcija, refleksija i difrakcija pojavljuju istovremeno na način da ih je nemoguće razdvojiti govorimo o raspršivanju radiovalova ili disperziji.

To se događa naročito u donjoj troposferi zbog pojava turbulencija koje uzrokuju nepravilne promjene indeksa loma u prostoru i vremenu.

Uslijed pojave disperzije, jedan manji dio energije radio valova se vraća na zemlju a drugi se rasprši u prostor.

Ionosferska i troposferska refrakcija, disperzija



Val 1 savija se prema zemlji zbog troposferske refrakcije

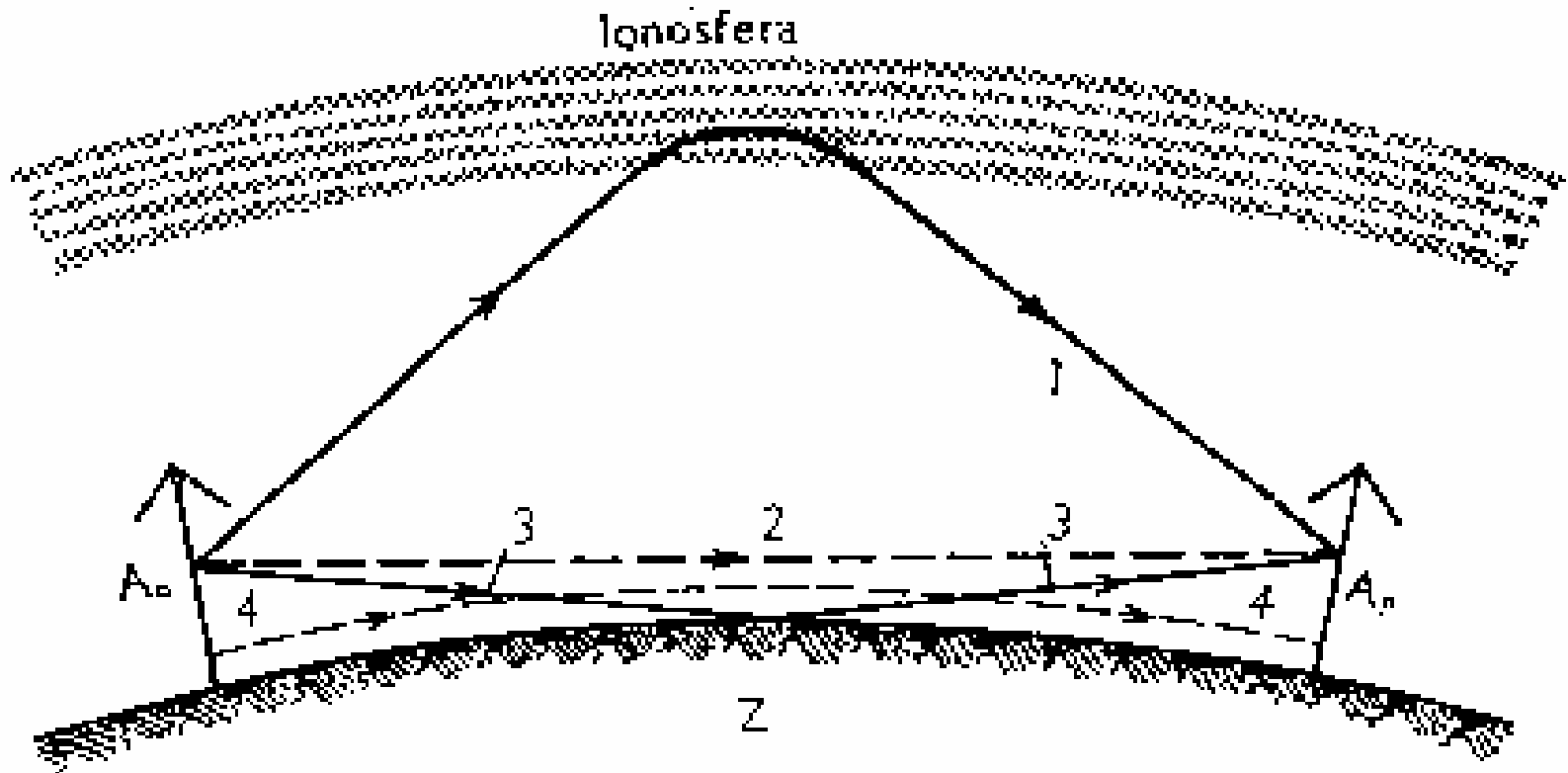
Val 2 se raspršuje u troposferi

Val 3 savija se prema zemlji zbog ionosferske refrakcije

**NAČINI
RASPROSTIRANJA
ELEKTROMAGNETSKIH
VALOVA**

Načini rasprostiranja elektromagnetskih valova

PROSTORNI, DIREKTNI, REFLEKTIRANI, POVRŠINSKI VAL



Vrste zračenih valova. 1 Prostorni val, 2 direktan val, 3 reflektirani val (od površine Zemlje), 4 površinski val; Z površina Zemlje, A_0 antenna odašiljača, A_1 antenna prijemnika

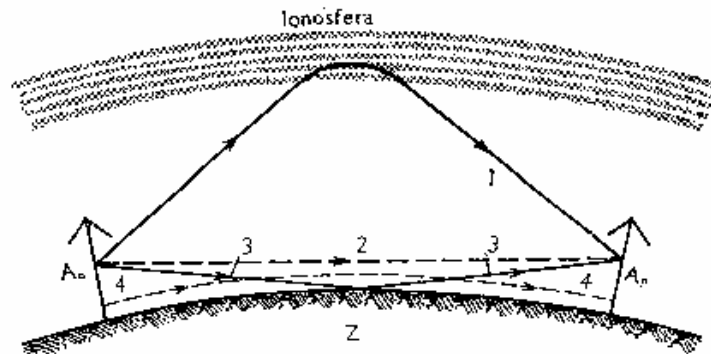
Površinski val

Površinski val zove se elektromagnetski val koji se širi uz samu površinu zemlje.

Rasprostiranje površinskim valom je glavni način rasprostiranja radiovalova za frekvencije do 2 MHz. *Iznad 2 MHz apsorpcija vala u troposferi naglo raste.*

Val prati zemljinu površinu ne napuštajući je od odašiljačke do prijemne antene i na njega manje utječu promjene u atmosferi i doba dana nego na druge načine rasprostiranja.

Apsorpcija površinskog vala je vrlo mala na vrlo niskim frekvencijama (ispod 500 KHz), tako da se na tim frekvencijama može ostvariti komunikacija širom svijeta u svako doba dana i godine.

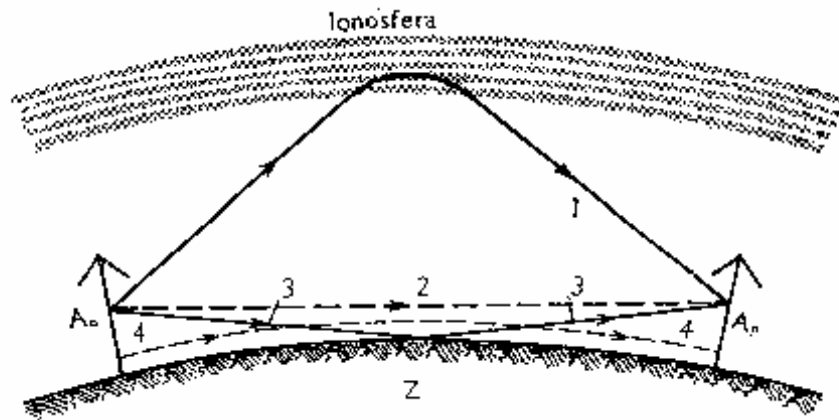


Vrste zračenih valova. 1 Prostorni val, 2 direktan val, 3 reflektirani val (od površine Zemlje), 4 površinski val; Z površina Zemlje, A_0 antena odašiljača, A_n antena prijemnika

Prostorni val

Prostorni val usmjeren je prema gornjim dijelovima atmosfere i odatle se pod određenim uvjetima vraća na zemlju.

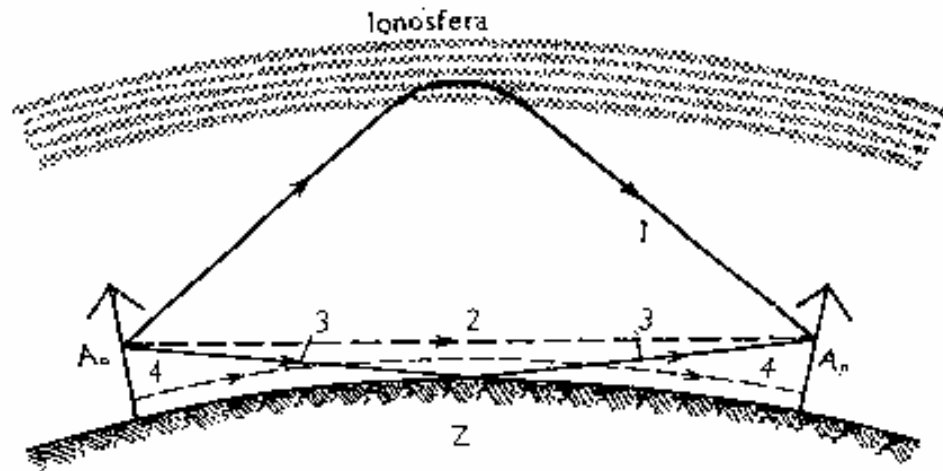
O troposferskom prostornom valu govorimo kada se val prostire samo kroz niže slojeve atmosfere (troposferu), a o ionosferskom prostornom valu govorimo kad se širi kroz visoke slojeve atmosfere (ionosferu), te o svemirskom prostornom valu kad se probija kroz atmosferu i odlazi u svemirski prostor.



Vrste zračenih valova. 1 Prostorni val, 2 direktan val, 3 reflektirani val (od površine Zemlje), 4 površinski val; Z površina Zemlje, A_0 antena odašiljača, A_1 antena prijemnika

Direktni val

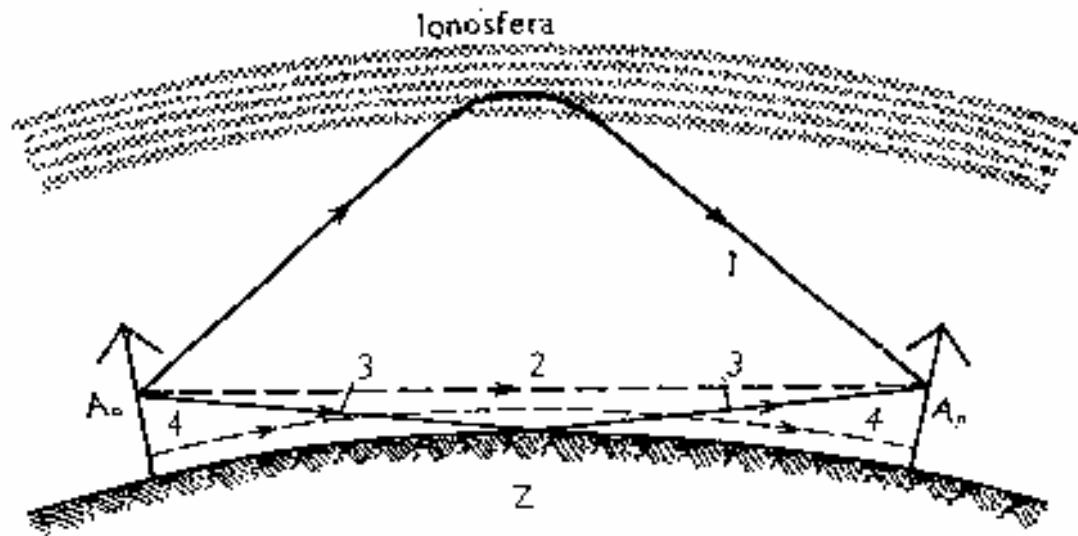
Direktni val širi se pravocrtno ili gotovo pravocrtno od odašiljačke antene prema mjestu prijema koji je u mjestu njegove «vidljivosti» tj. iznad radio horizonta



Vrste zračenih valova. 1 Prostorni val, 2 direktan val, 3 reflektirani val (od površine Zemlje), 4 površinski val; Z površina Zemlje, A_0 antena odašiljača, A_n antena prijemnika

Reflektirani val

Reflektirani val je elektromagnetski val koji se na svom putu reflektira od površine zemlje.



Vrste zračenih valova. 1 Prostorni val, 2 direktan val, 3 reflektirani val (od površine Zemlje), 4 površinski val; Z površina Zemlje, A_0 antena odašiljača, A_n antena prijemnika

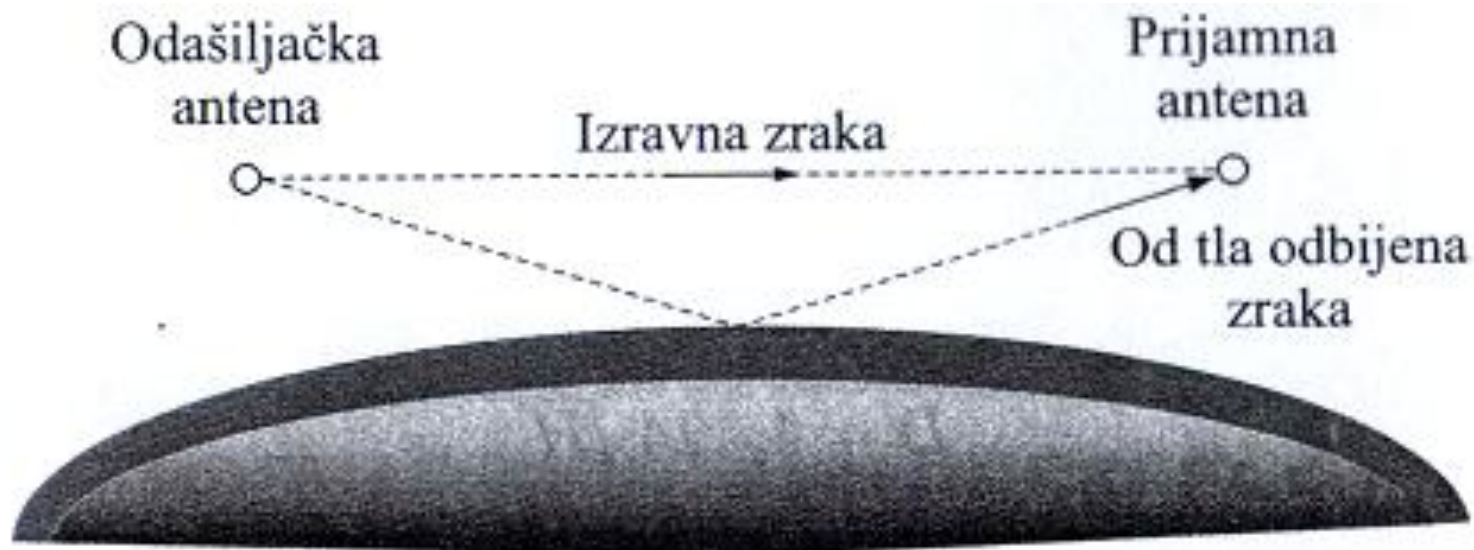
TROPOSFERSKO RASPROSTIRANJE PROSTORNOG VALA

Troposfersko rasprostiranje valova iznad 50 MHz

Troposfera jako utječe na radiovalove frekvencija iznad 50 MHz i to na slijedeće načine:

- 1. absorbicija ili gušenje radio valova jako se povećeva s povećanjem frekvencije radio valova.**
- 2. mjesne nehomogenosti u dijelu troposfere uzrokuju raspršivanje vala (skater),**
- 3. velike i nagle promjene vlažnosti i temperature između horizontalnih slojeva troposfere uzrokuju refrakciju i refleksiju vala.**

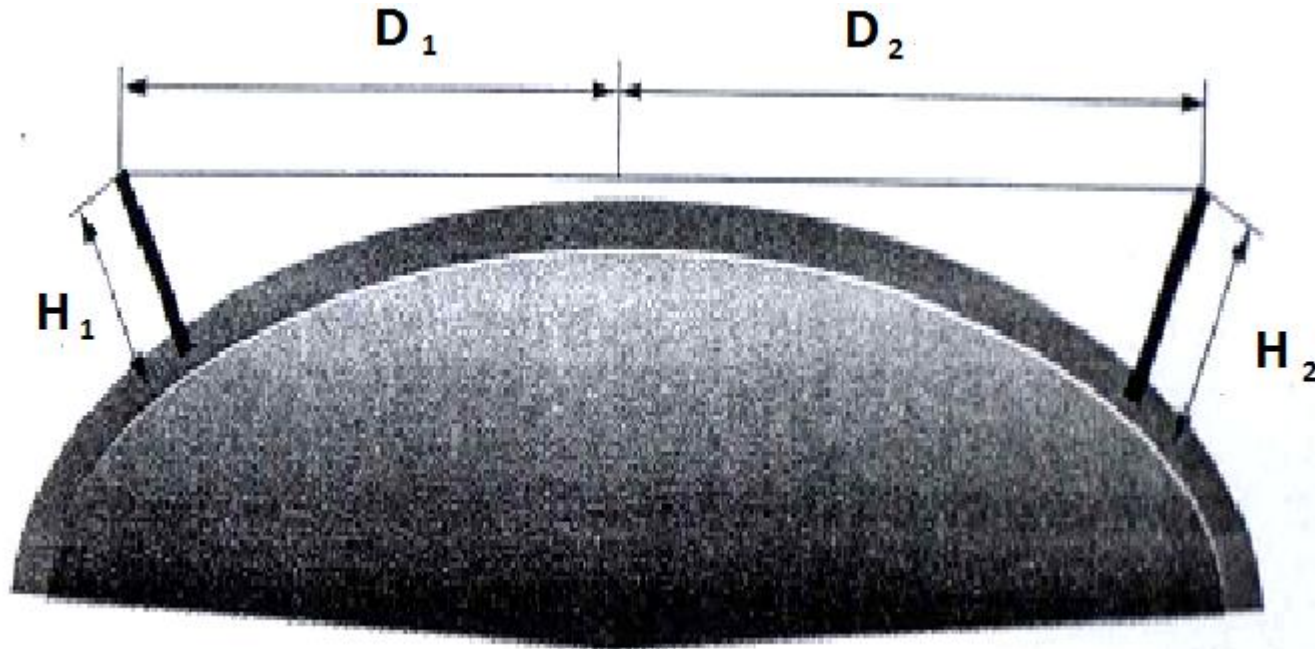
Rasprostiranje valova visokih frekvencija



U prijemniku se odbijeni i izravni radioval mogu zbrajati ili poništavati (ovisno o faznoj razlici) –feding . – Posebno za VHF

Radiohorizont

Radiohorizont je mjesto točaka na kojima izravni val iz izvora dodiruje Zemljinu površinu



$$D_{ukupno} [NM] = D_1 + D_2 = 2,5 \cdot \left(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2} \right)$$

IONOSFERSKO RASPROSTIRANJE PROSTORNOG VALA

Slojevi ionosfere

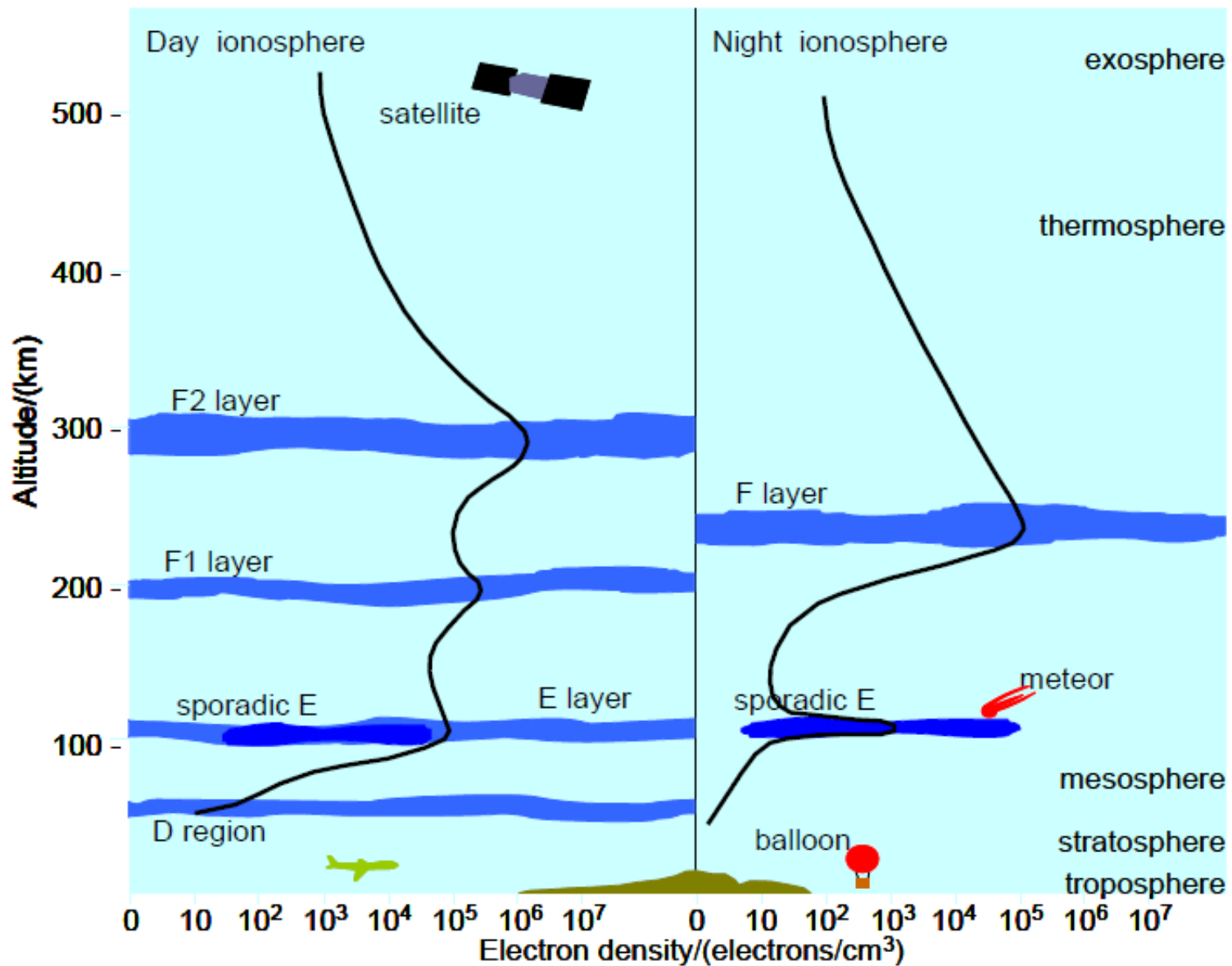
Razlikujemo nekoliko ioniziranih slojeva u ionosferi:

- **D- sloj (60-90 km) – samo danju, noću se stapa sa E slojem**
- **E- sloj (90-130 km)**
- **F₁ – sloj (180-210 km) - samo danju, noću se stapa sa F₂ – slojem**
- **F₂ – sloj (300-400 km ... 500 km)**

Slojevi ionosfere tijekom dana i noći



Slojevi F₁ i F₂ stapaju se noću u jedan F sloj
D sloj noću nestaje



D sloj – postoji samo danju

- D-sloj se proteže 60-90 km iznad zemljine površine.
- Najveća gustoća elektrona je kratko nakon mjesnoga podneva na visini 80 km, a najmanja je tijekom noći kada zbog obilnije rekombinacije D-sloj nestaje.
- Radiovalovi vrlo niskih i ekstremno niskih frekvencija (VLF i ELF) odbijaju se od D-sloja.
- Srednje i visoke frekvencije (MF i HF) prolaze kroz D-sloj uz jaku apsorpciju.
- Što je frekvencija vala viša, lakše prodiru kroz D sloj, tako da radiovalovi u VHF i UHF području imaju manje slabljenje.

E sloj – jak danju, noću postoji ali je oslabljen

E-sloj je 90-130 km iznad Zemljine površine.

Sloj E je postojaniji od sloja D te noću preostaje mali dio E-sloja.

Srednje frekvencije (MF) se danju u ovom sloju skoro potpuno apsorbiraju, a noću se mogu od njega i reflektirati prema zemlji.

Visoke frekvencije (VF) prolaze proz E sloj prema F slojevima uz slabljenje.

Elektromagnetski valovi u VHF i UHF području prolaze kroz E-područje s neznatnim slabljenjem.

F₁ sloj – postoji samo danju

F₁-sloj je 180-210 km iznad Zemljine površine.

Sloj se spaja sa slojem F₂ tijekom noći

Sloj F₁ se vlada približno jednako kao i sloj E, uz znatniju razliku u dnevnom maksimumu sunčevoga zračenja te

ima znatno manji utjecaj na rasprostiranje radiovalova od F₂ sloja.

F₂ sloj

Nalazi na visini 300-400 km (ponekad i vise od 500 km) iznad Zemljine površine (dnevni maksimum 13-15 h)

F₂-sloj ima najveću gustoću elektrona od svih slojeva i najvažniji je za radiokomunikacije na velike udaljenosti u području HF (1-30 MHz)

Visoke frekvencije (HF) i srednje frekvencije (MF ako prođu noću kroz E sloj) se odbijaju uzrokujući njihov povratak na zemlju i uspostavljanje radio veze na udaljenostima većim od 4000 km.
(jednostruko odbijanje).

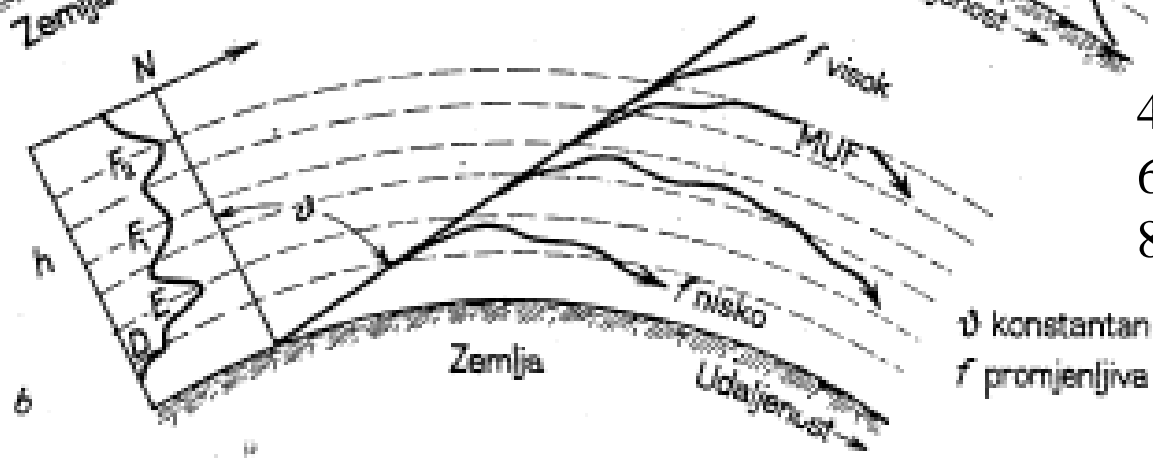
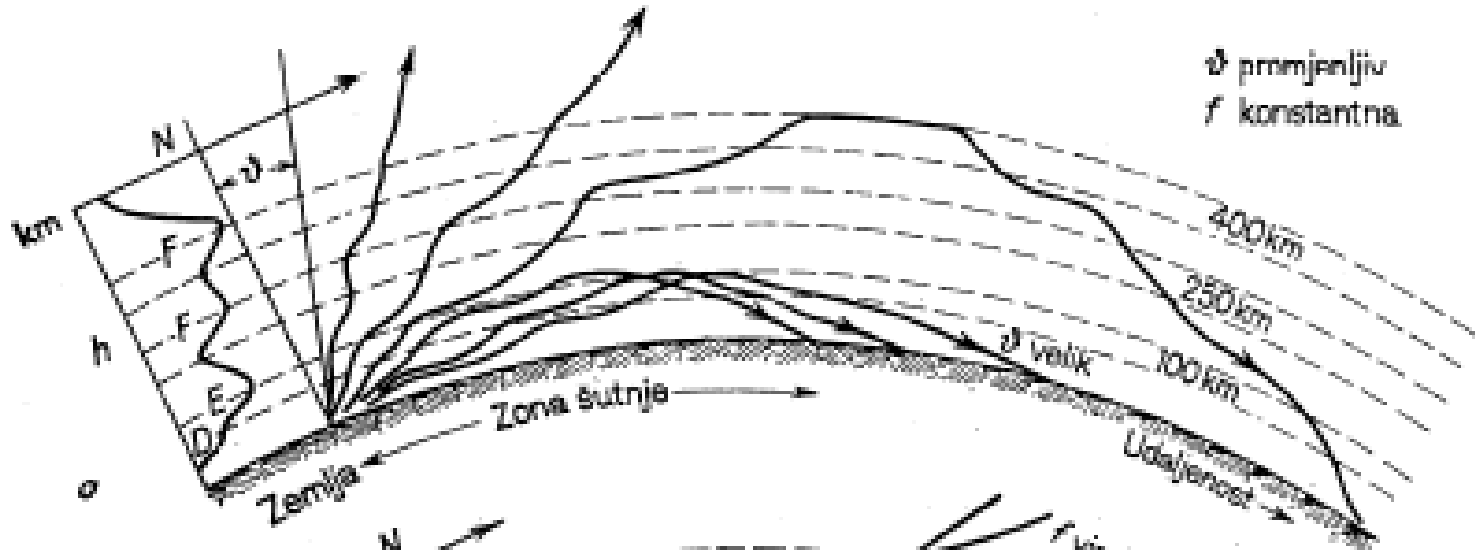
Moguće je i višestruko odbijanje ionosferskog vala od ionosfere i zemlje i teoretski takav HF radio val može obići cijelu zemlju.

F₂ sloj

Veća frekvencije daje veći domet nakon jedne refleksije, no ako se pređe preko određene frekvencije, radio valovi odlaze u svemir.

Radiovalovi u VHF UHF SHF području prolaze kroz F₂ sloj s određenim slabljenjem i odlaze u svemir.

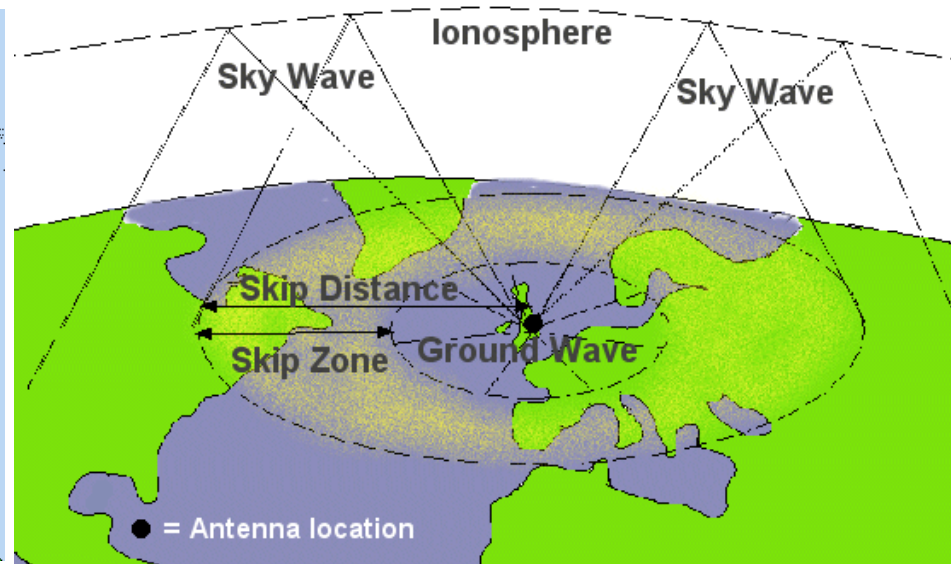
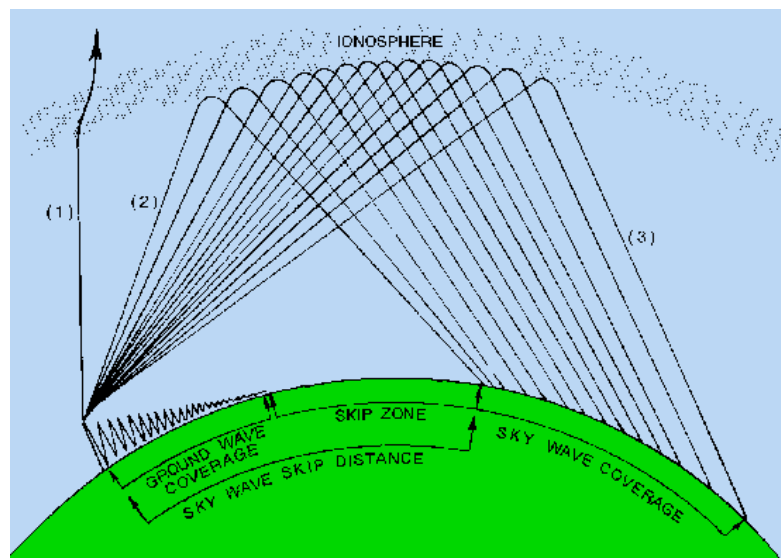
Gustoća ionizacije na pojedinim visinama atmosfere i refrakcija radiovalova a) pri stalnoj frekvenciji odašiljanja i promjenjivom kutu zračenja i b) pri stalnom kutu zračenja i promjenjivoj frekvenciji



- 4 MHz – do 1000 km
- 6 MHz – do 1500 km
- 8 MHz – do 2000 km
-

KRITIČNI UPADNI KUT KRITIČNA FREKVENCija

Preskočna udaljenost jednostruke refleksije (MF, HF)



- A-C ima prijem površinskog vala
- C-B nema više prijema jer nema površinskog vala uslijed apsorpcija vala te nastaje mrtva zona,
- B – prijem ionosferskog vala

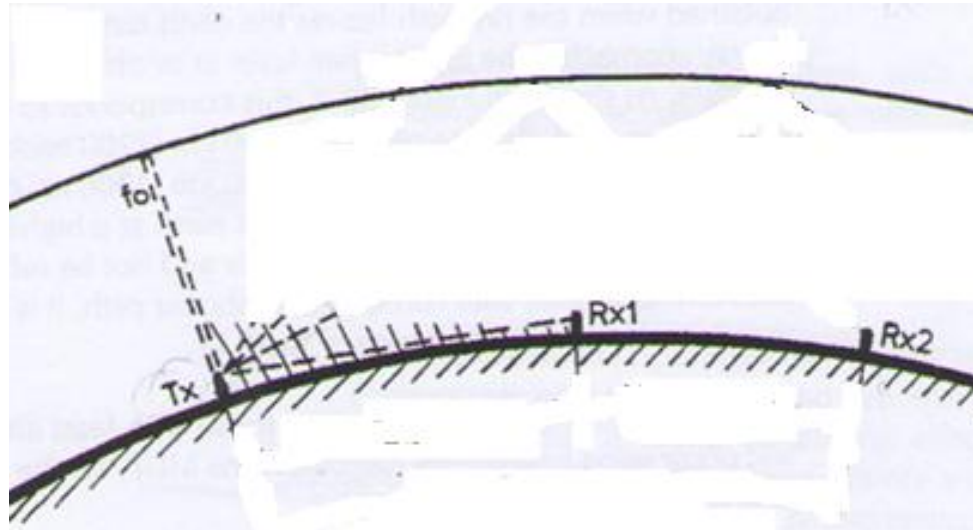
Postoje i tzv. višestruke refleksije, pa feding može nastati radi prijema više ionosferskih valova koji su međusobno poništavaju (protufazni signali)

Kritična frekvencija

Kritična frekvencija f_0 je najviša frekvencija vala, koji upada okomito na ionosferski sloj ($\theta=0$), a koji se još odbija natrag prema Zemlji.

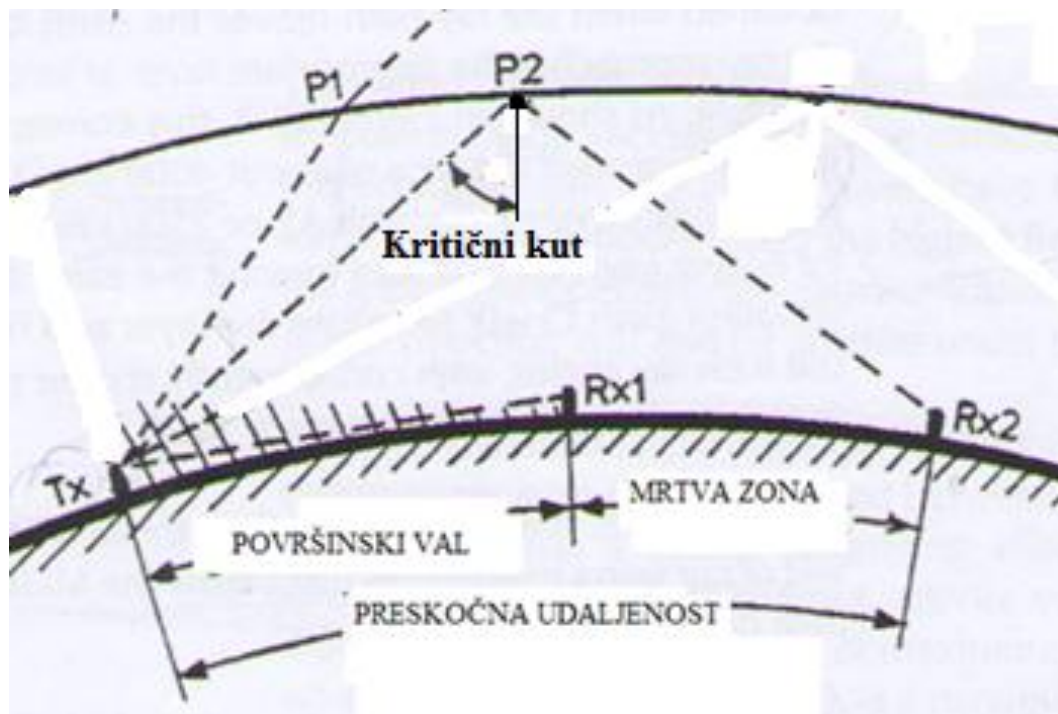
Kritična frekvencija je za E-sloj je 1-4 MHz a za F_2 sloj je 2-13MHz.

Ako je $f_{\text{odašiljača}} < f_0$ elektromagnetski val ne može pobjeći u svemir – Ne može se uspostaviti komunikacija sa satelitima.



Kritični kut

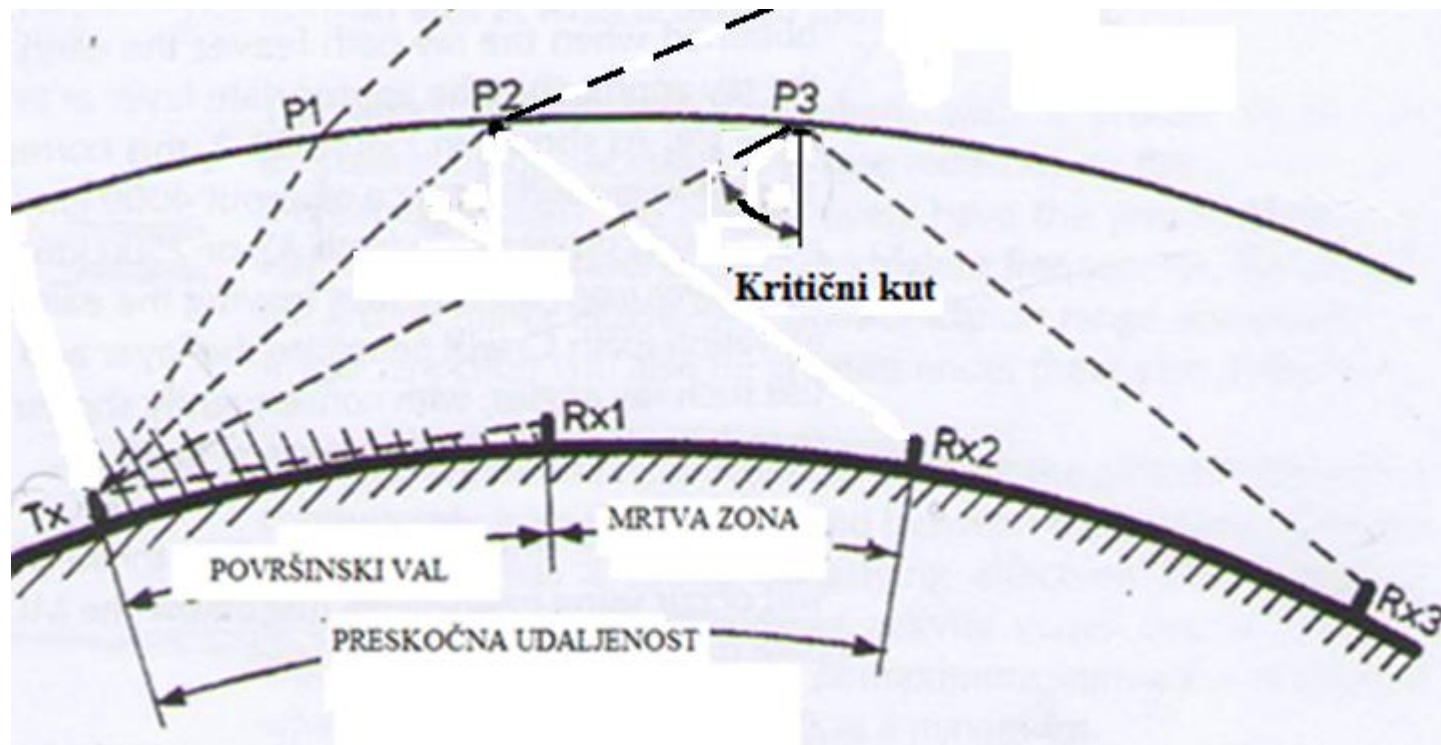
Ako je $f_{\text{odašiljača}} > f_0$ dio zračenja elektromagnetskog vala lijevo od P2 pobjegne u svemir, a desno od P2 se vrati na zemlju.



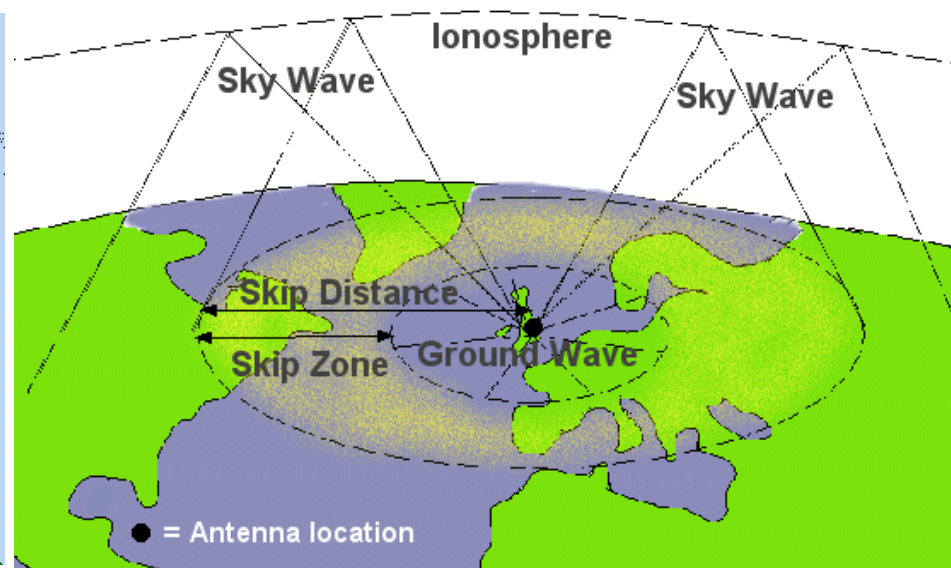
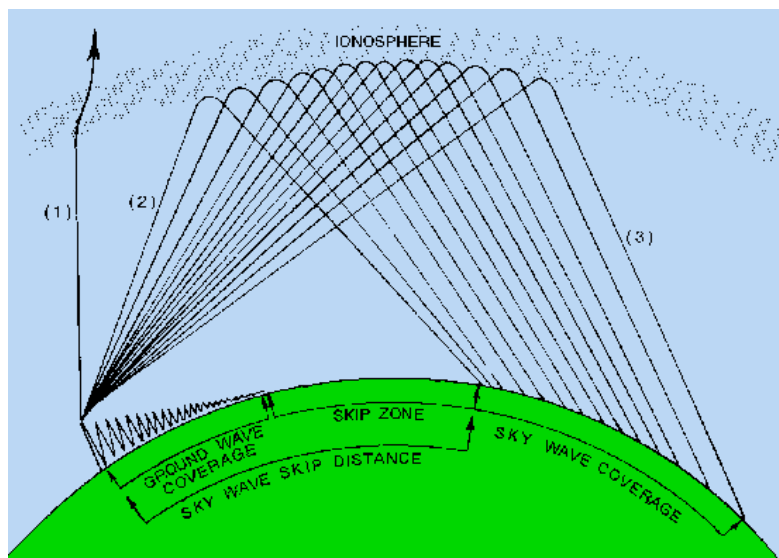
$$f_{\text{odašiljača}} = \frac{f_0}{\cos \vartheta_{\text{kritični}}}$$

Kritični kut ϑ_{krit} je najmanji kut upada ϑ elektromagnetskog vala na ionosferski sloj pri kojem još postoji odbijanje elektromagnetskog vala natrag prema Zemlji.

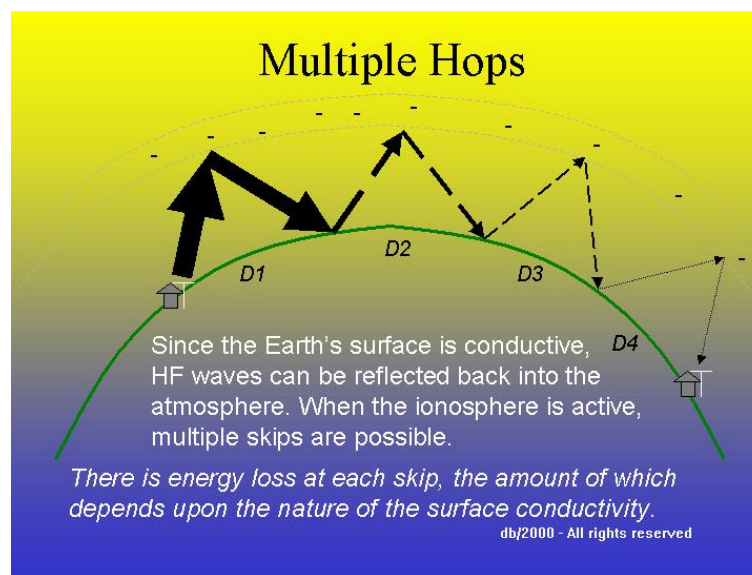
Povećanjem $f_{\text{odašiljača}}$ povećava se θ_{krit} a time i povećava preskočna udaljenost.



Preskočna udaljenost i višestruke refleksije (MF, HF)



Postoje i tzv. višestruke refleksije, pa feeding može nastati radi prijema više ionosferskih valova koji su međusobno poništavaju (protufazni signali)

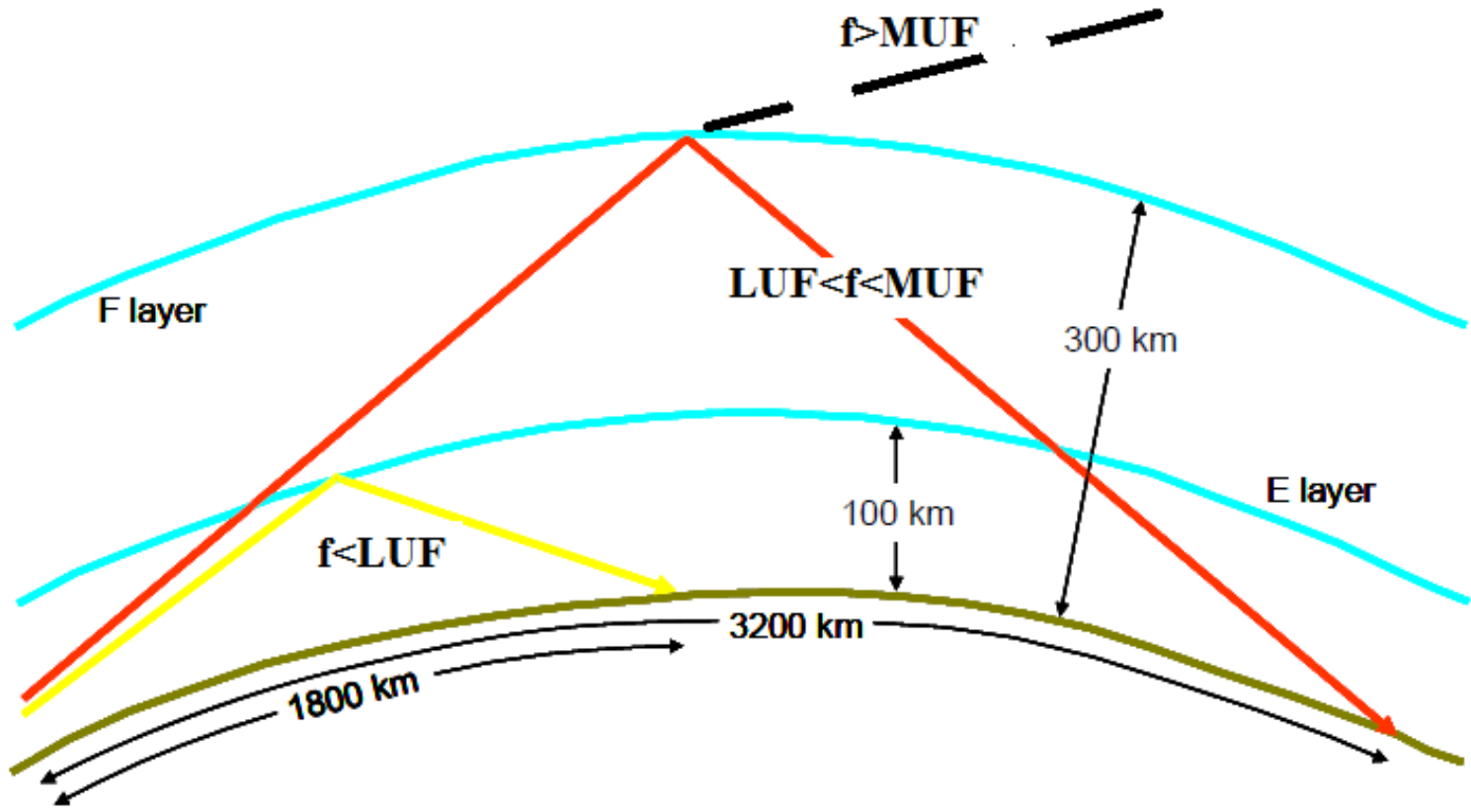


MAXIMUM AND LOWEST USABLE FREQUENCY

MUF i LUF

Najviša uporabljiva frekvencija MUF (MUF, eng. Maximum usable frequency) je najveća frekvencija pri kojoj je moguće ostvariti daleku radiovezu (radiovalovi se još odbijaju progresivnim lomom sloju F2). Iznad frekvencije MUF valovi odlaze u svemir.

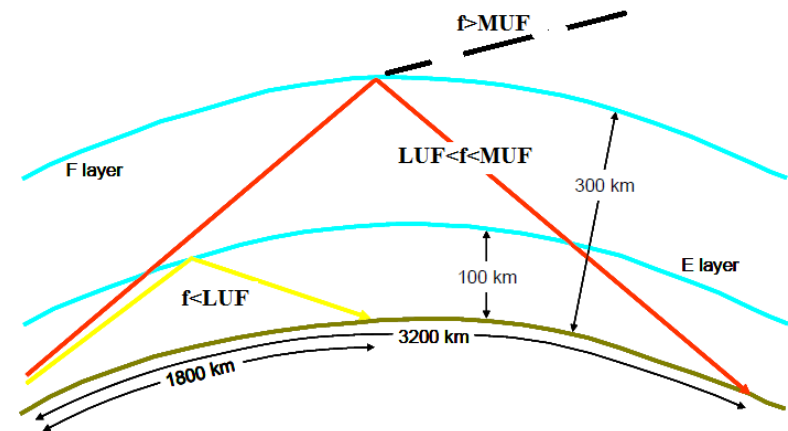
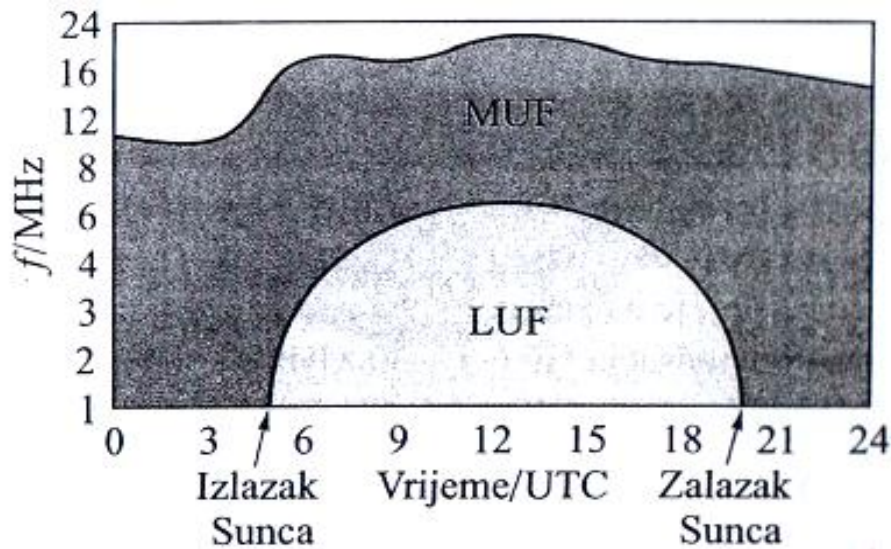
Najniža uporabljiva frekvencija LUF (LUF, eng. Lowest usable frequency) je frekvencija pri kojoj se radiovalovi probijaju sloj E i odbijaju se od najgornjeg F2 ionosferskog sloja. Ispod LUF, valovi ne stižu do F2 ionosferskog sloja, već se uguše ili reflektiraju u D ili E sloju.

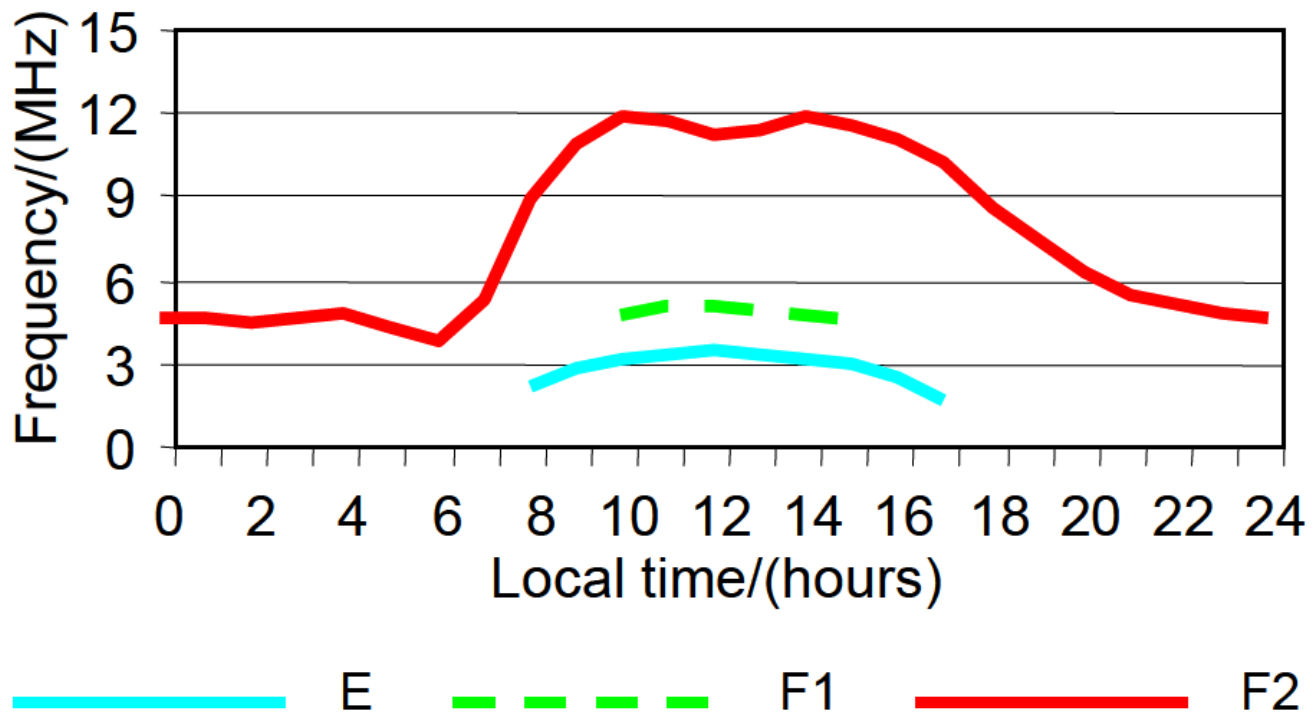


Za ostvarenje dalekih veza se preporučuje raditi na frekvencijama 0,8 MUF-a (ne preko frekvencije MUF).

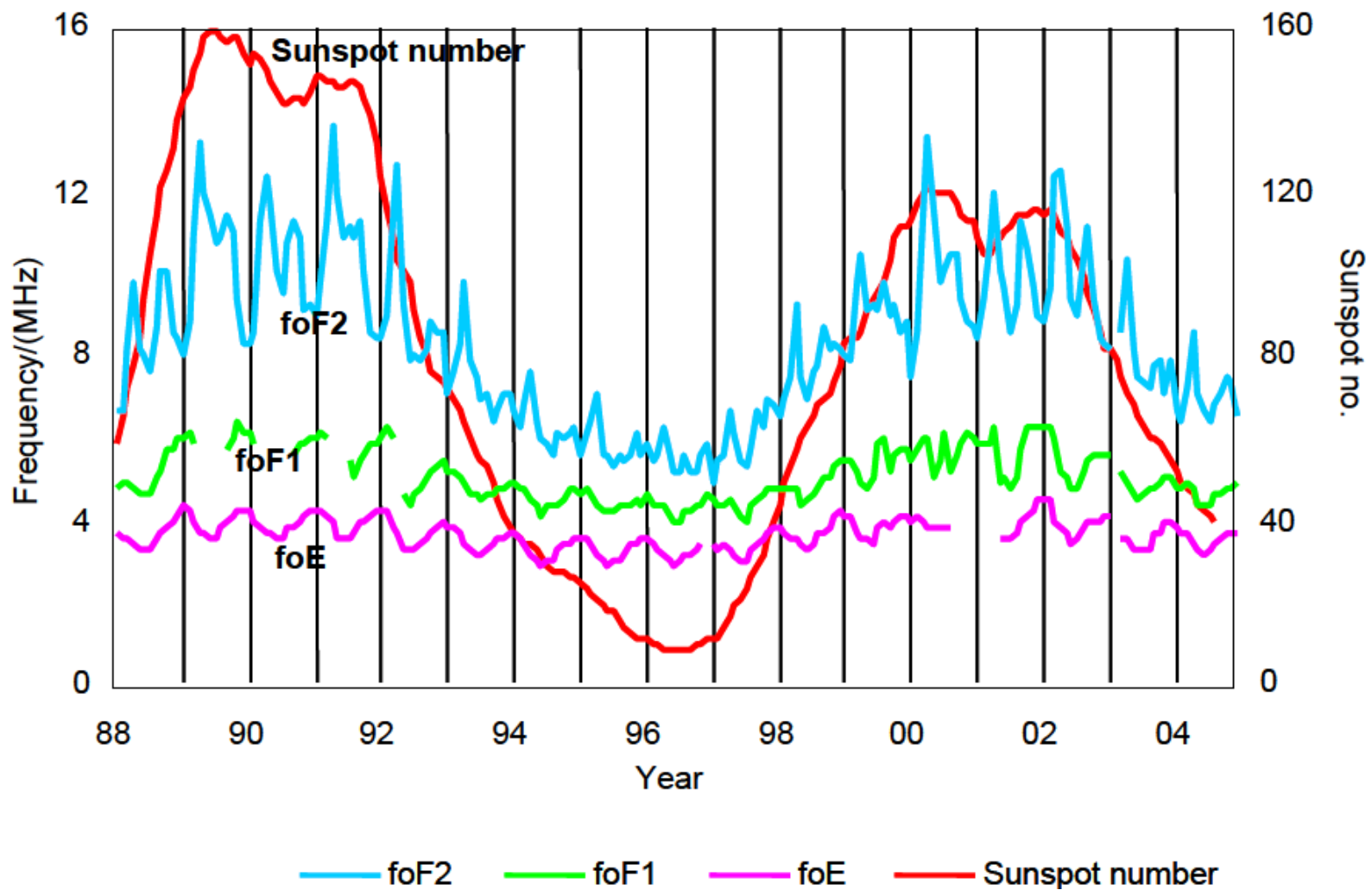
Primjerice, vjerovatnost ostvarenja daleke veze je znatno veća na 25 MHz nego na 14MHz.

Promjenu maksimalne upotrebljive frekvencije (MUF) i minimalne upotrebljive frekvencije (LUF) tijekom dana i noći za uvjete rasprostiranja prostornog (ionosferskog) vala ostvarene u HF području iz Francuske prema Islandu.





Canberra



**ŠIRENJE VALOVA OVISNO
FREVENCIJSKOM PODRUČJU
VALOVA**

elektromagnetski valovi do 100 KHz (ELF, dio SLF)

Šire se kao površinski i prostorni val koji se reflektira od ionosfere na visini 60 do 90 km (D sloja).

Valovi ovog frekventnog područja šire se između površine zemlje donje ionosfere kao u nekom sfernom valovodu. takvi su (mirijametarski) valovi prikladni za veze na velike udaljenosti (npr. do 10000 km). Odašiljači sange 170 KW, antene dugačke).

Koristili su se u navigacijskim sustavima Omega, te za komunikaciju sa uronjenim podmornicama, jer ovi valovi mogu prodrijeti do 20 tak metara ispod površine mora.

elektromagnetski valovi 100 KHz – 10 MHz (dio ULF, VLF, LF, MF, dio HF)

Šire se pretežno kao **površinski val** i taj val se uglavnom koristi za održavanje radioveza.

Njihov **domet se povećanjem frekvencije postepeno smanjuje od otprilike 1000 km na najnižim frekvencijama do nekoliko stotina ili desetaka kilometara na najvišim radi troposferske apsorpcije. MF cca 300 NM.**

Prostorni val tih frekvencija u toku se dana **uglavnom apsorpira u ionosferskim slojevima D i E. Noću se prostorni val u pravilu reflektira od sloja F ionosfere i omogućuje i veće domete.**

Time se tumači pojava da se danju mogu na **MF primati samo lokalne i bliske radiodifuzijske stanice, a noću i vrlo udaljene.**

elektromagnetski valovi 10 MHz – 30 MHz (HF)

Imaju mali domet površinskog vala (od nekoliko desetaka za više frekvencije do nekoliko stotina kilometara za niže frekvencije), HF cca 150 NM te stoga površinski val ne dolazi u obzir za održavanje veza pomoću tih valova.

Ako je radna frekvencija valova pravilno odabrana, tj ako je ona između donje uporabljive frekvencije (LUF) i gornje uporabljive frekvencije (MUF) prostorni val se u vraća prema površini zemlje.

Na ovaj način se uz relativno male snage odašiljača mogu ostvariti prijenos informacija na velike i najveće udaljenosti.

Udaljenost jednog skoka radiovala nakon refrakcije u ionosferi iznosi najviše 4000 km.

**elektromagnetski valovi viši od 30 MHz
(VHF,UHF,SHF,EHF)**

Ovi valovi **ne pobuđuju više elektrone u ionosferi na oscilacije** pa stoga bez refleksije i refrakcije, uz malu apsorpciju prodiru kroz gornje slojeve atmosfere **u svemirski prostor**.

Površinski val tih frekvencija vrlo se brzo apsorpira pa mu je **domet svega koji kilometara** (kod radara je snaga vala velika pa su dometi veći).

Zemaljske radio veze s valovima tih frekvencija mogu se ostvariti samo **direktnim i od površine zemlje reflektiranim valom**. Pri tome može na određenim točkama prijema doći do **ponišćavanja reflektiranog i direktnog vala** uslijed toga što su protufazni, te do nestanka prijema (**fedinga**).

Prostorni val tih frekvencija stoga za zemaljske veze nije upotrebljiv, ali dolazi u obzir za **radio veze koje se ostvaruju preko satelita**.⁵⁴⁶

OSNOVNI NAČINI PRIMOPREDAJE

Simplex veza



U jednom trenutku može se samo komunicirati u jednom smjeru.

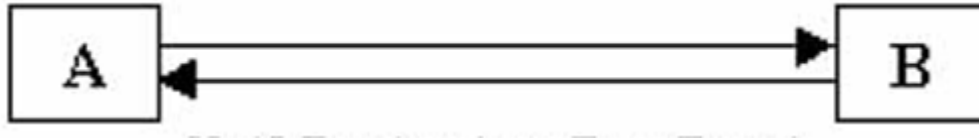
Predajna i prijemna frekvencija su iste za obje stanice.

$T_x(A,B)=2600$ KHz, $R_x(A,B)=2600$ KHz,

Svi sve slušaju – važno kod veza u pogibli.

Ovo je kanal sa neuparenim frekvencijama

Polu duplex veza (Half duplex)



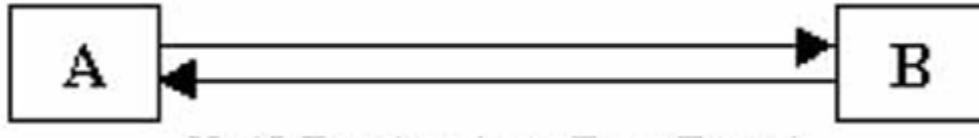
U jednom trenutku može se samo komunicirati u jednom smjeru. Svaka stanica ima zajedničku predajnu i prijemnu antenu.

Frekvencije odašiljača i prijemnika se razlikuju (uparene frekvencije)

$T_x(A)=2600$ KHz, $R_x(A)=2751$ KHz,

$T_x(B)= 2751$ KHz, $R_x(B)=2600$ KHz.

Duplex veza (Full duplex)



U jednom trenutku može komunicirati u oba smjera (satelitske veze). Može se upadati u riječ. Svaka stanica ima odvojenu predaju od prijema.

Frekvencije odašiljača i prijemnika se razlikuju (uparene frekvencije)

$T_x(A)=2600$ KHz, $R_x(A)=2751$ KHz,

$T_x(B)= 2751$ KHz, $R_x(B)=2600$ KHz.

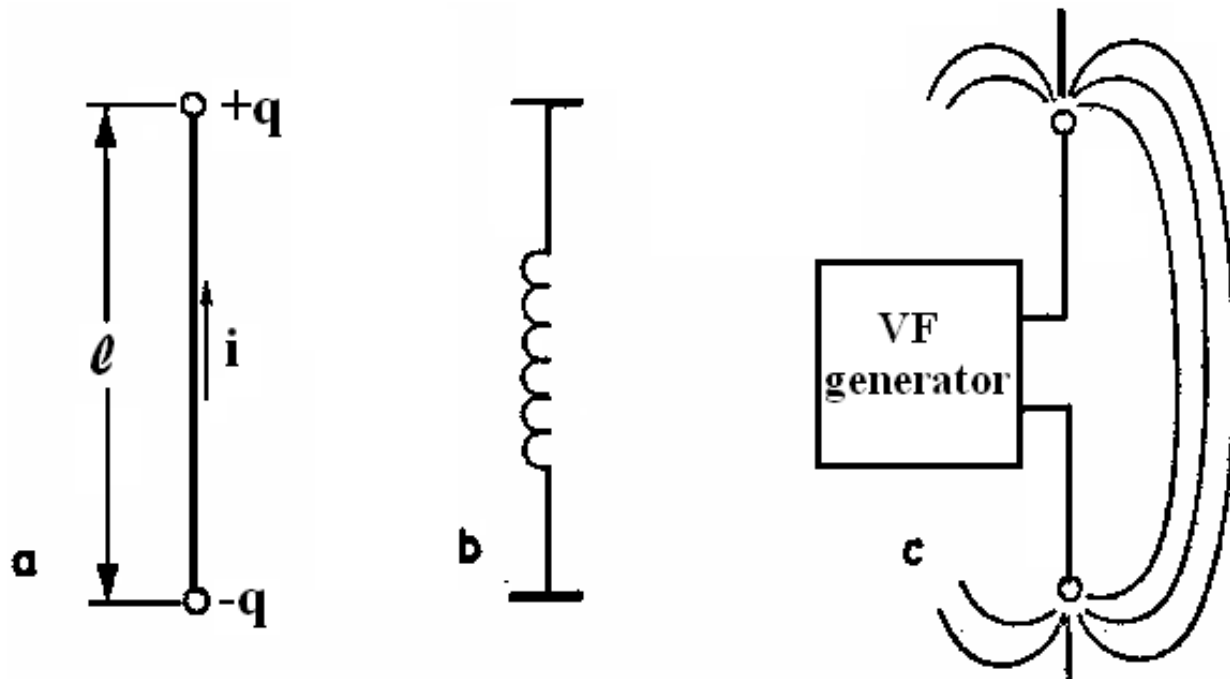
ODAŠILJAČ

Odašiljač

Odašiljač je elektronički uređaj u sustavu radio-prijenosa koji služi za stvaranje moduliranog prijenosnog elektromagnetskog vala dovoljne snage i pogodne visoke frekvencije.

Tim se signalom napaja antena zrači elektromagnetski val i time omogućuje prijenos informacije do udaljenog korisnika.

Princip generiranja radiovalova u odašiljačima

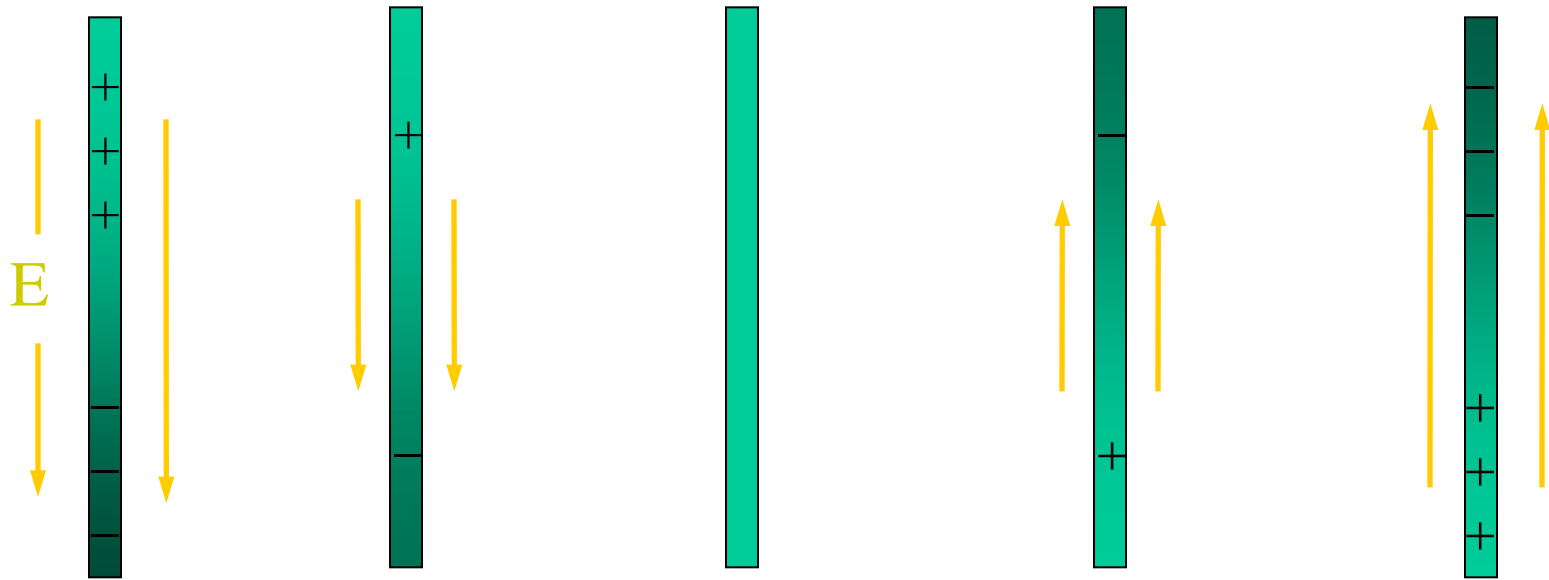


Najjednostavnija antena - Hertzov dipol kao otvoreni oscilacijski krug

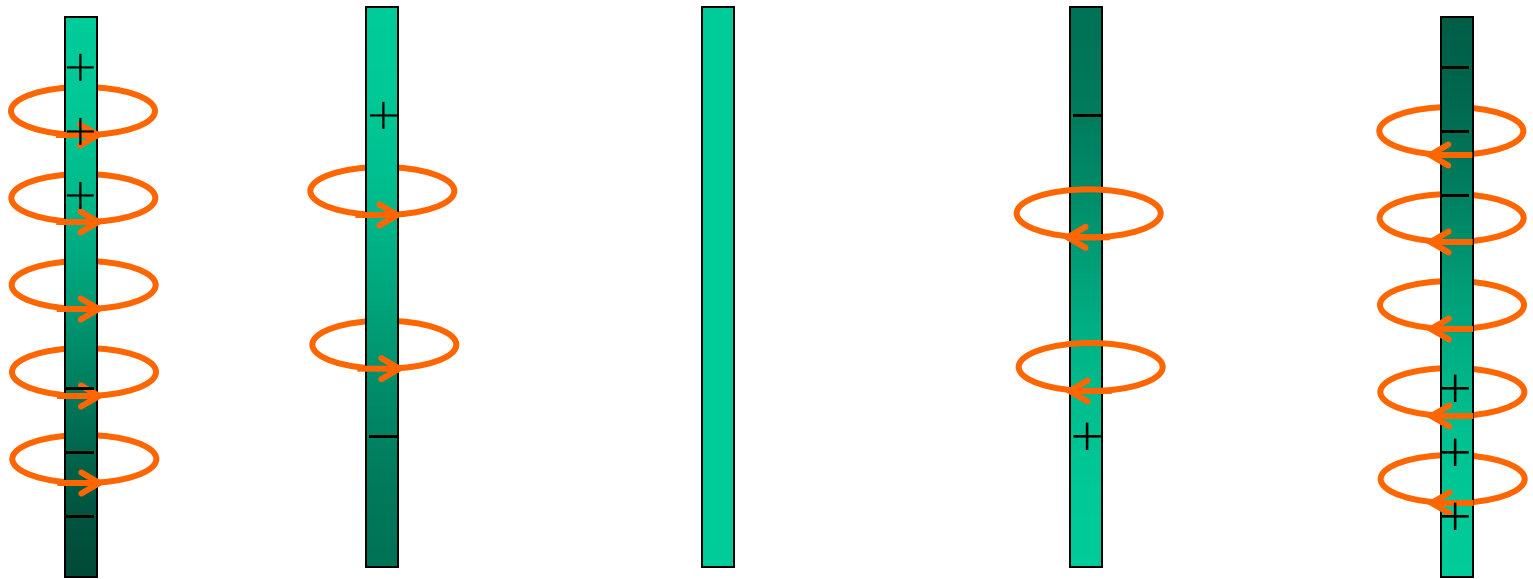
Kapacitet krajeva antene i induktivitet vodiča sačinjavaju otvoreni titrajni krug.

Dipolu se dovodi energija iz VF generatora, u anteni dolazi do titranja struje, antena zrači elektromagnetsku energiju u prostor.

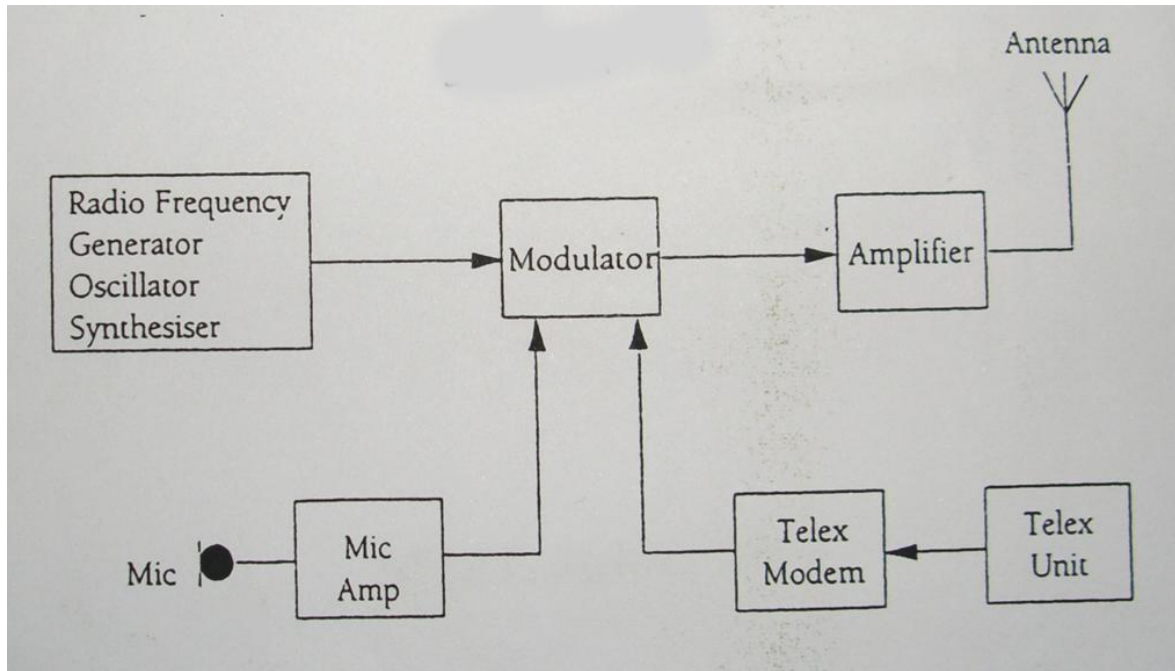
Stvaranje promjenjivog električnog i magnetskog polja u anteni odašiljača



Stvaranje promjenjivog električnog i magnetskog polja u anteni odašiljača



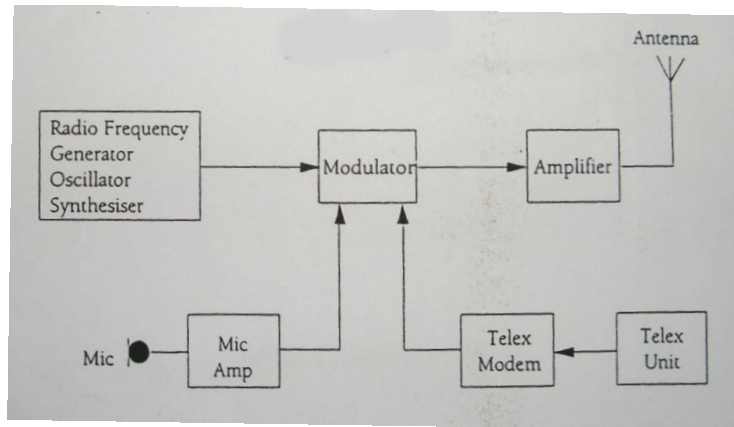
Osnovna blok shema odašiljača



Odšiljač se sastoji od elektroničkih sklopova, koji se pak sastoje od elektroničkih elemenata (diode, tranzistori, otpornici, kondenzatori zavojnice).

Sklopovi su: oscilator, modulator, NF pojačalo, VF pojačalo ..

Osnovna blok shema odašiljača



1. **Mikrofon** pretvara zvučne titraje u električne titraje niske (zvučne) frekvencije.
2. **Niskofrekvencijsko pojačalo** pojačava slabe signale iz mikrofona.
3. **Visokofrekvencijski oscilator** proizvodi signal visoke frekvencije stalne amplitude. Taj signal u anteni stvara val nositelj.
4. **Visokofrekvencijsko pojačalo** pojačava visokofrekvencijske signale dobivene iz VF oscilatora.
5. **Modulator** utiskuje signale zvučne frekvencije iz mikrofona u visokofrekvencijske signale iz oscilatora.
6. **Izlazno pojačalo** pojačava modulirane VF signale koji se vode u antenu.
7. **Elementi za prilagođavanje** služe za prilagodbu signala karakteristikama antene sa ciljem da se signali emitiraju sa što manje gubitaka.
8. **Antena** služi za odašiljanje moduliranih VF signala.

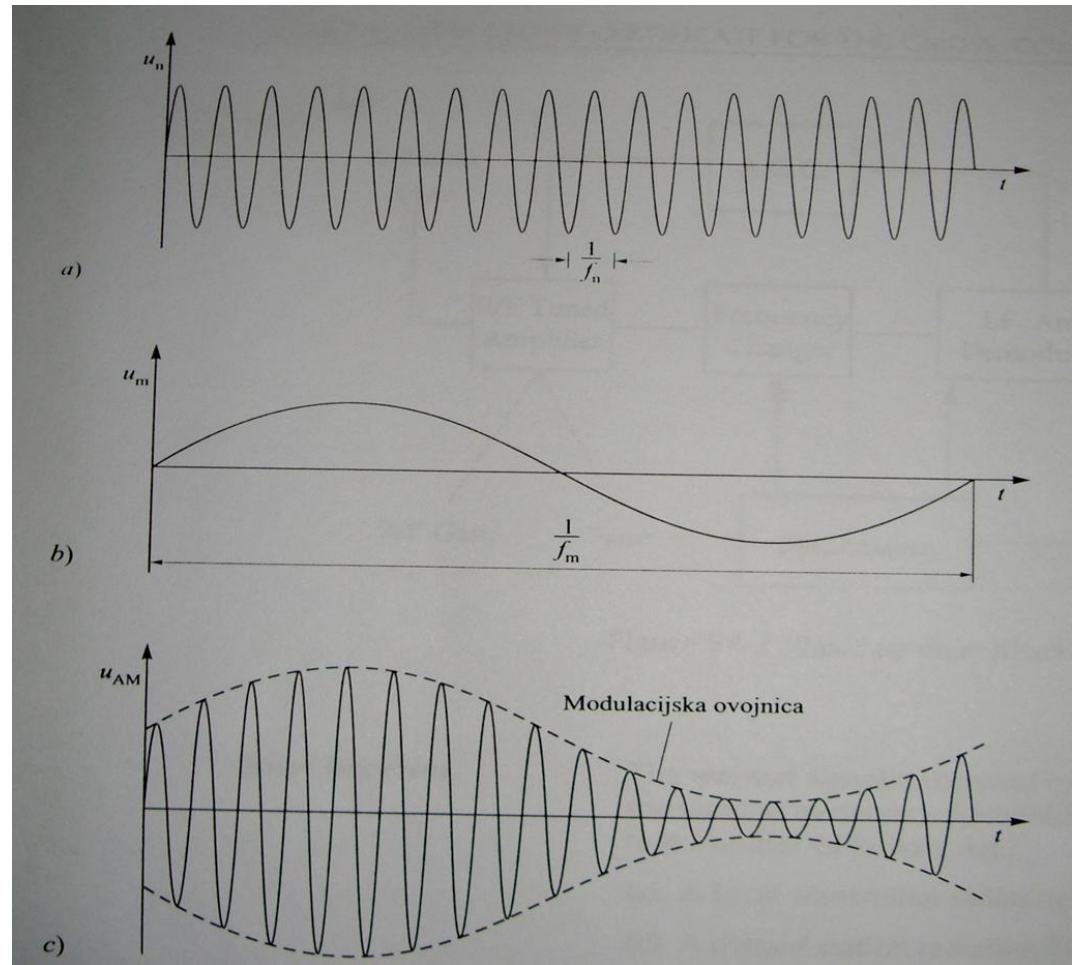
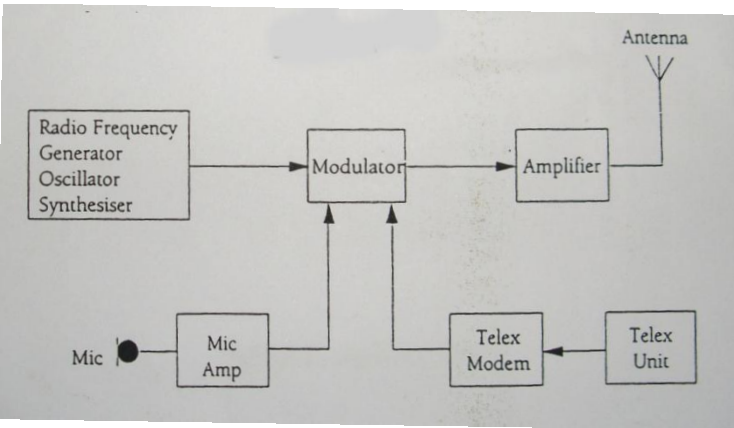
MODULACIJA

Modulacija

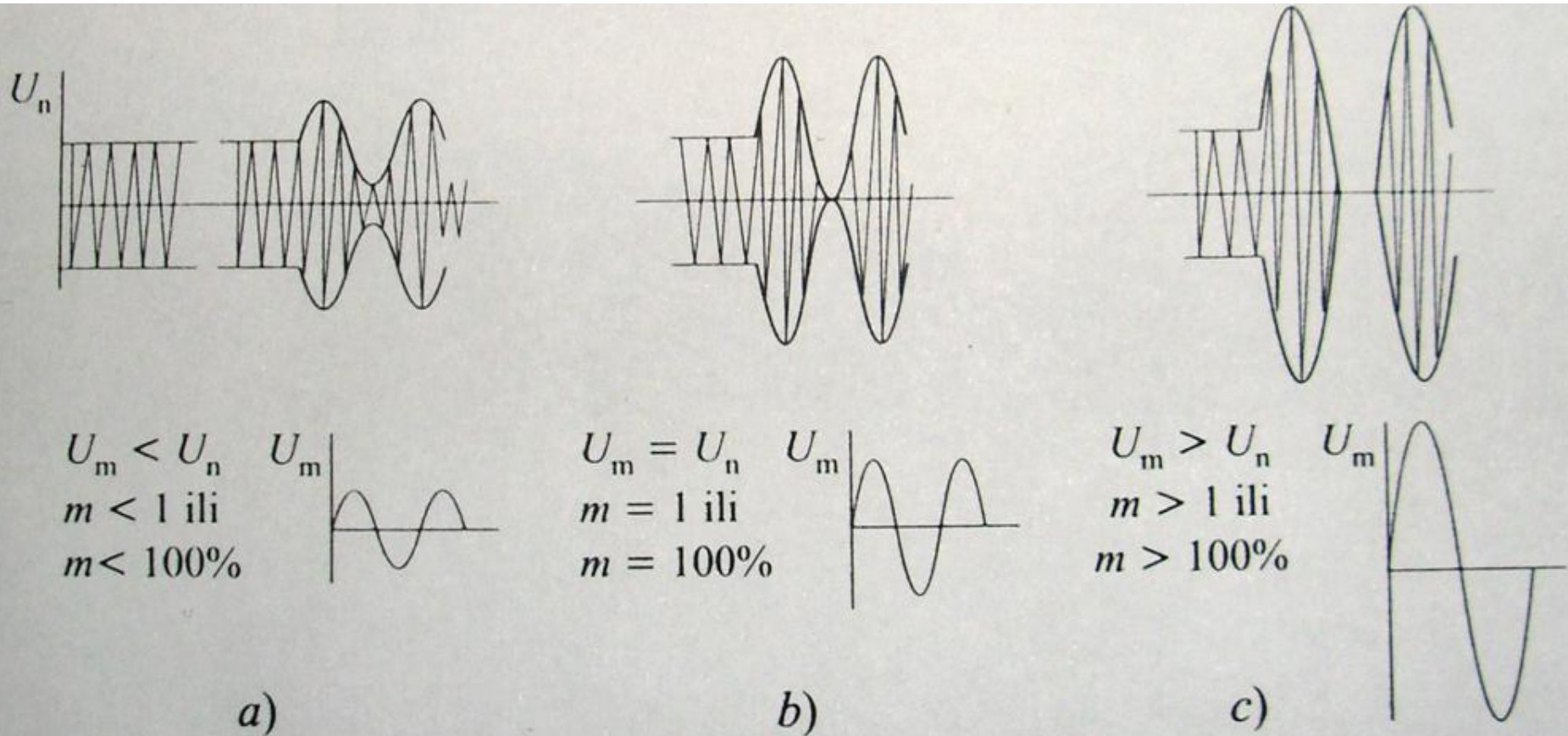
Modulacija je oblikovanje visokofrekvencijskih (VF) oscilacija vala nositelja u odašiljaču s pomoću niskofrekvencijskih (NF) oscilacija informacije kao što su govor, glazba, podaci

Oblikuje se jedan od parametara vala nosioca: Amplituda (AM), frekvencija (FM) ili faza (PM), na takav način da se u prijarniku prenošena informacija može lako otkriti i postupkom obratnim od modulacije – tkz. demodulacijom izdvojiti i reproducirati u obliku pogodnom za slušni – audio ili vidni – video prijam.

Amplitudna modulacija



Dubina amplitudne modulacije

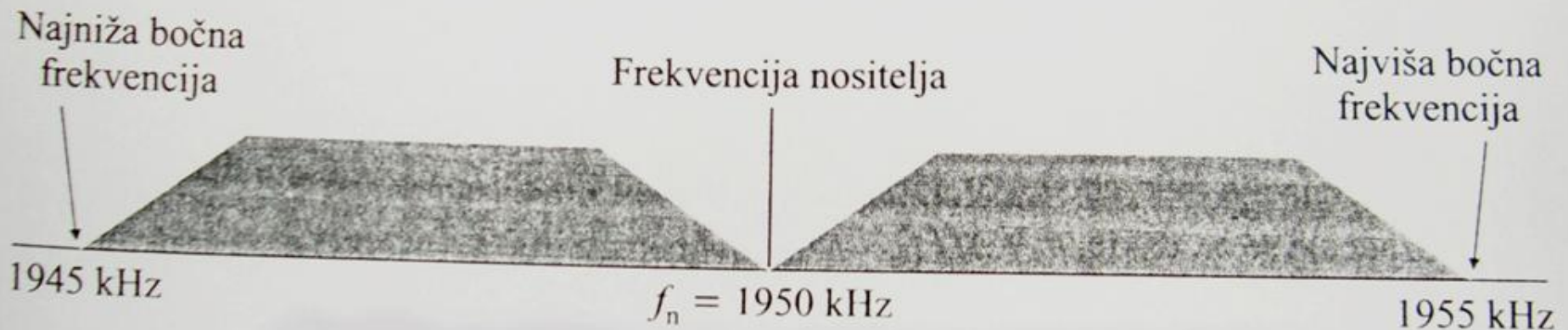


Bočni pojasevi (DSB)

Postupkom modulacije, nastaju tkz. bočni pojasevi koji zauzimaju određeni spektar frekvencija u mediju gdje se širi EMV. Dvije radio stanice ne mogu emitirati na frekvencijama na kojima dolazi do preklapanja njihovih bočnih pojaseva – frekvencije emitiranja moraju biti udaljene.

frekvencija nositelja
modulacijska frekvencija
najviša bočna frekvencija
najniža bočna frekvencija

$$f_n = 1950 \text{ kHz}$$
$$f_m = 5 \text{ kHz}$$
$$f_n + f_m = 1955 \text{ kHz}$$
$$f_n - f_m = 1945 \text{ kHz}$$



LSB

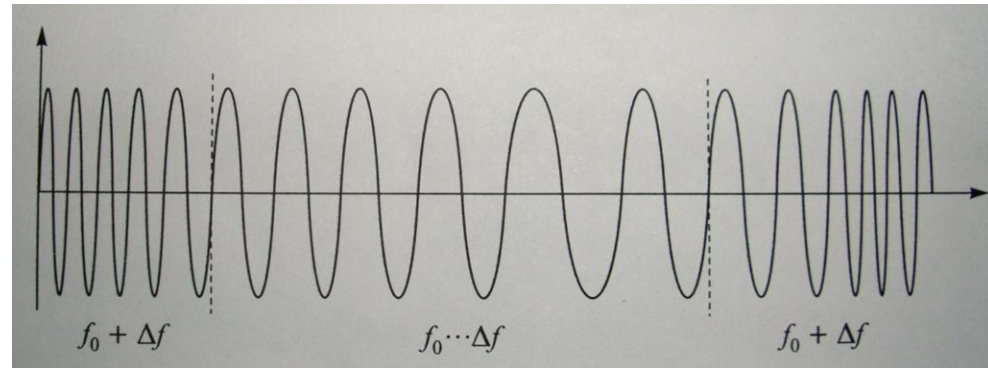
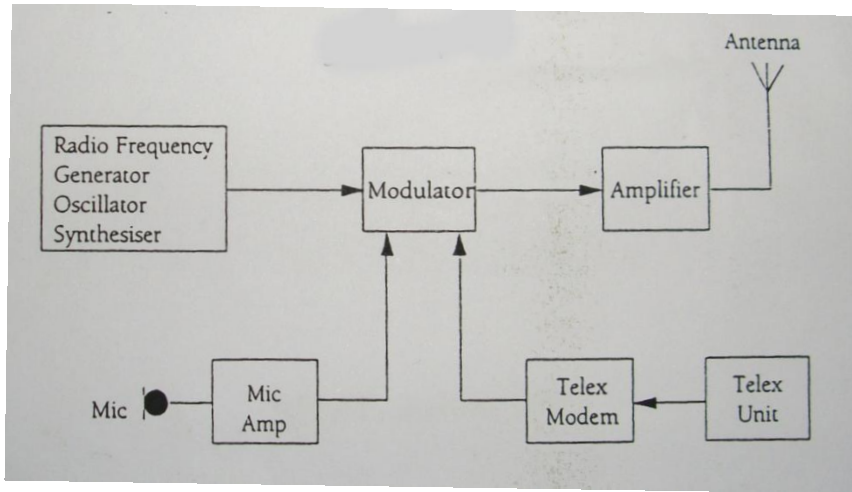
USB

Prijenos jednim bočnim pojasem (SSB)

Frekvencija nositelja ne sadrži informaciju koja se prenosi, pa se može i bez njega, a i donji i gornji bočni pojas sadrže potpunu jednaku informaciju, pa je dovoljno prenositi samo jedan bočni pojas – zauzima se manji frekventni pojas i više stanica može emitirati na istom prostoru.

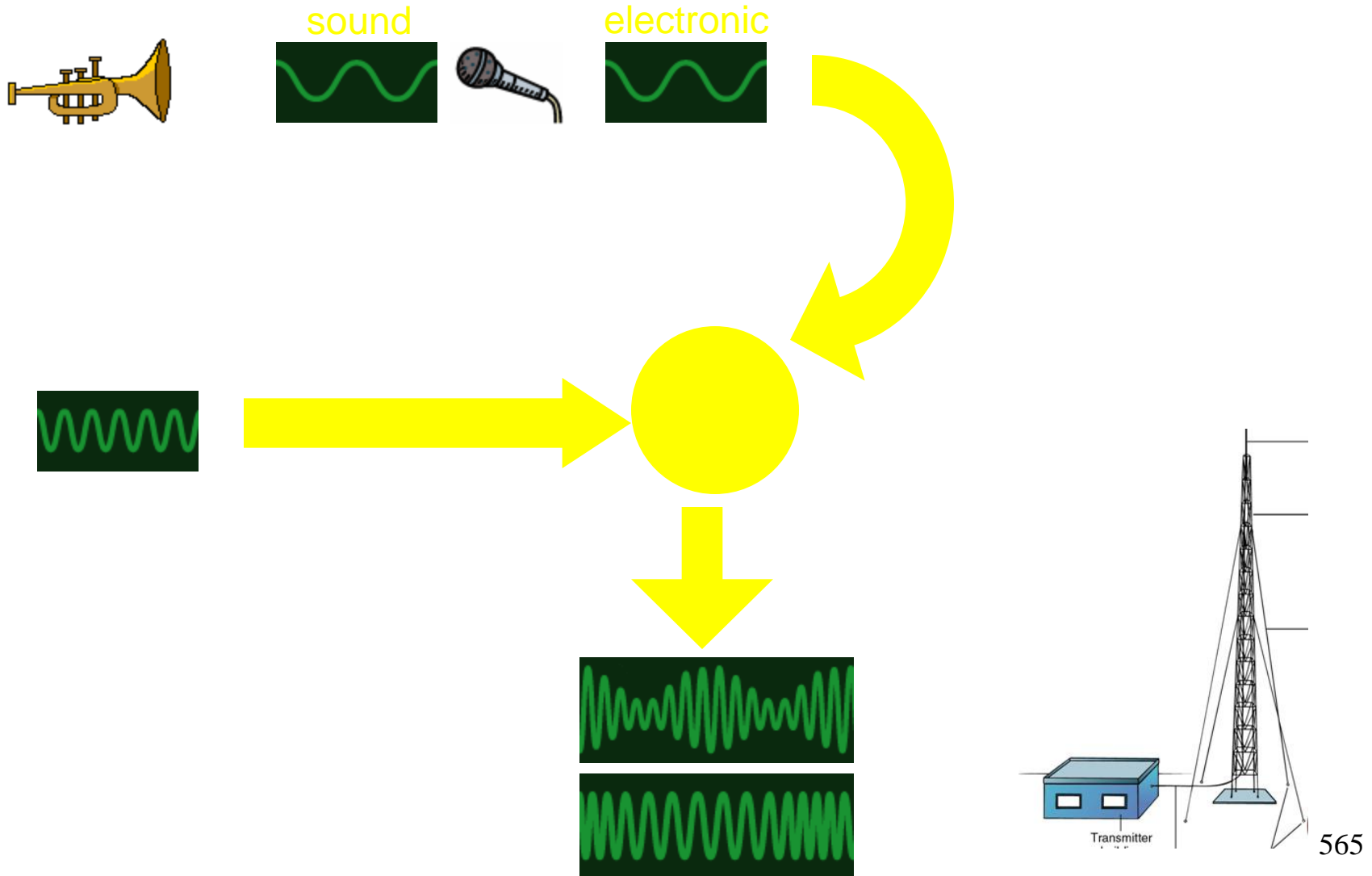
SSB (single side band) modulacijski postupak koji štedi frekvencijski spektar. (DSB dozvoljen samo kod emitiranja u pogibli).

Frekvencijska modulacija



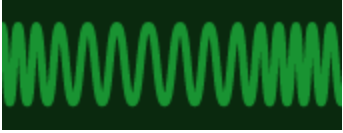
Omjer devijacije frekvencije, Δf , i modulacijske frekvencije f_m , naziva se indeksom modulacije i označuje se m , gdje je $m = \Delta f / f_m$:

Information is transmitted by modulation

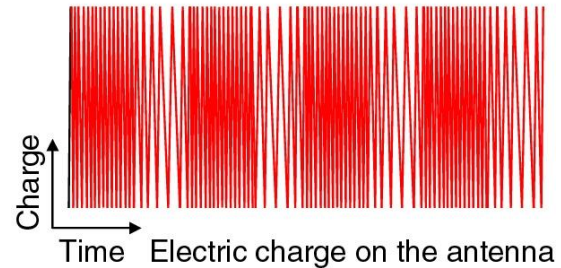
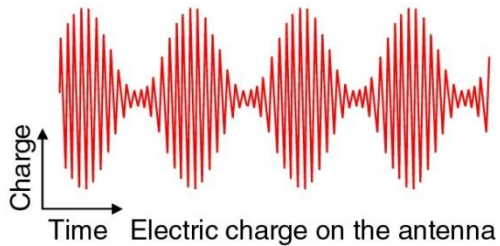
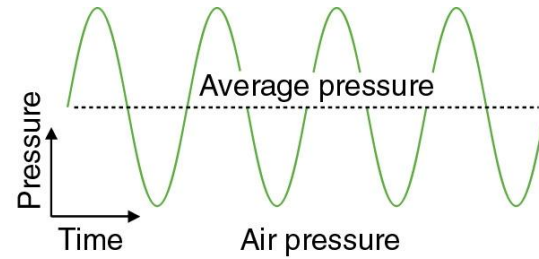
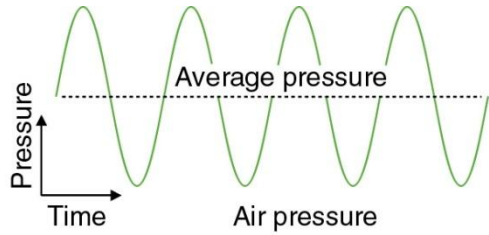




AM = Amplitude modulation



FM = Frequency modulation



Fazna i impulsne modulacije

Pri frekvencijskoj modulaciji, frekvencija je proporcionalna modulacijskom signalu, a pri faznoj modulaciji fazni pomak je proporcionalan modulacijskom signalu.

Za prijenos digitalnih signala koji imaju samo dva stanja (logička jedinica i nula) mogu se upotrijebiti promjene amplitude, frekvencije i faze nosioca ili njihove kombinacije

kvantizirana promjena amplitude u ritmu digitalnog signala (engl. Amplitude Shift Keying, ASK),

kvantizirana promjena frekvencije u ritmu digitalnog signala (engl. Frequency Shift Keying, FSK),

kvantizirana promjena faze u ritmu digitalnog signala (engl. Phase Shift Keying, PSK),

istodobna promjena i amplitude i faze, također u ritmu digitalnog signala (engl. Amplitude Phase Keying, APK).

NAČINI OZNAČAVANJA VRSTA MODULACIJE

Način označavanja vrste modulacija

Vrsta radioemisije označava se sa tri simbola: slovo, broj i slovo.

Slovo na prvom mjestu označava vrstu modulacije vala nositelja:

A - amplitudna modulacija s oba bočna pojasa i punim valom nositeljem;

H - amplitudna modulacija s jednim bočnim pojasom i punim valom nositeljem;

R - amplitudna modulacija s jednim bočnim pojasom i smanjenim ili promjenjivim valom nositeljem;

J - amplitudna modulacija s jednim bočnim pojasem i potupno potisnutim valom nositeljem;

B - amplitudna modulacija s dva međusobno neovisna bočna pojasa sa smanjenim valom nositeljem;

F - frekvencijska modulacija

G - fazna modulacija

Način označavanja vrste modulacija

Brojka na drugom mjestu predstavlja prirodu modulacije signala vala nositelja:

- 1 – jedan kanal koji sadržava kvantiziranu radiotelegrafsku ili digitalnu informaciju,**
- 2 – jedan jedini kanal koji sadržava kvantiziranu ili digitalnu informaciju, a koristi se moduliran pomoćnim nositeljem (telex),**
- 3 – jedan kanal koji sadržava analognu informaciju (npr. govor;**
- 7 – dva ili više kanala koji sadržavaju kvantiziranu ili digitalnu informaciju:**
- 8 – dva ili više kanala koji sadržavaju analogne informacije.**

Način označavanja vrste modulacija

Slovo na trećem mjestu označava vrstu informacije:

A – radiotelegrafiju za prijem na sluh;

**B – radiotelegrafiju za automatsku predaju i prijem
(npr. teleprinterska);**

C – faksimil;

D – prijenos podataka, telemetrija, telekomanda;

E – telefonija i radiodifuzija;

F – televizija.

Radiotelefonija Primjeri označavanja radioemisije

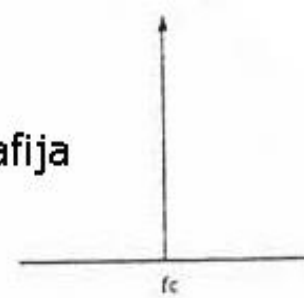
- A3E** - dva bočna pojasa (DSB) – LF/MF/HF sa širinom 9 KHz
- H3E** - SSB s punim valom nositeljem (MF/HF) (dozvoljeno samo na 2182 KHz) – neefikasno 2/3 snage je u nosiocu
- R3E** - SSB sa smanjenim valom nositeljem (MF/HF) - neefikasno
- J3E** - SSB s ukinutim valom nositeljem (MF/HF)– preferira se
- F3E** - frekventno modulirano (VHF);
- G3E** - fazno modulirano (VHF);

Radioteleks i DSC

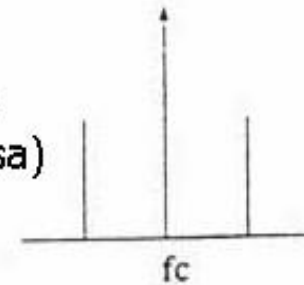
- F1B** - frekvencijski modulirana telegrafija za automatski prijem(DSC);
- J2B** - radiotelex sa jednim bočnim pojasom;
- G2B** - fazna modulacija. Jedan jedini kanal koji sadrži kvantiziranu ili digitalnu informaciju, sa moduliranim pomoćnim valom nositeljem.

Modulacije koje se koriste u pomorstvu

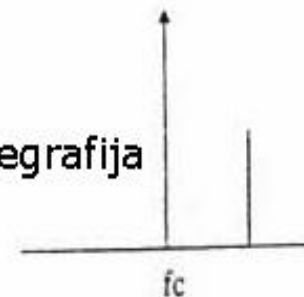
A1A Nemodulirana Morze telegrafija



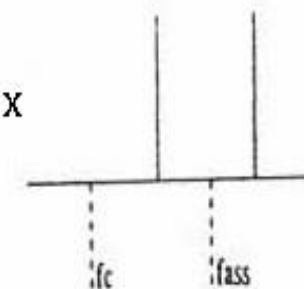
A2A Modulirana Morze telegrafija
DSB (prijenos oba bočna pojasa)



H2A SSB modulirana Morzeova telegrafija

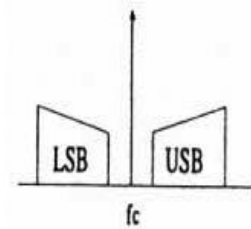


J2B SSB radiotelex

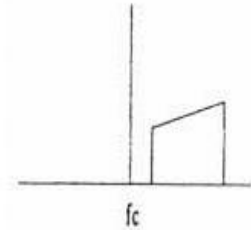


Modulacije koje se koriste u pomorstvu

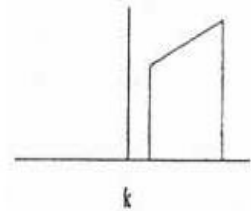
A3E DSB telefonija



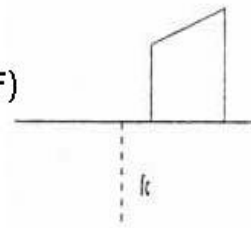
H3E SSB pun nositelj telefonije (2182kHz)



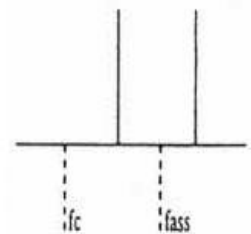
R3E SSB smanjene nositelj telefonija



J3E SSB potisnuti nositelj telefonija (MF i HF)



F1B/G2B SSB radiotelex



Legenda: f_c - noseća frekvencija , f_{ass} - dodjeljena frekvencija

PRIJEMNIK

Prijemnik

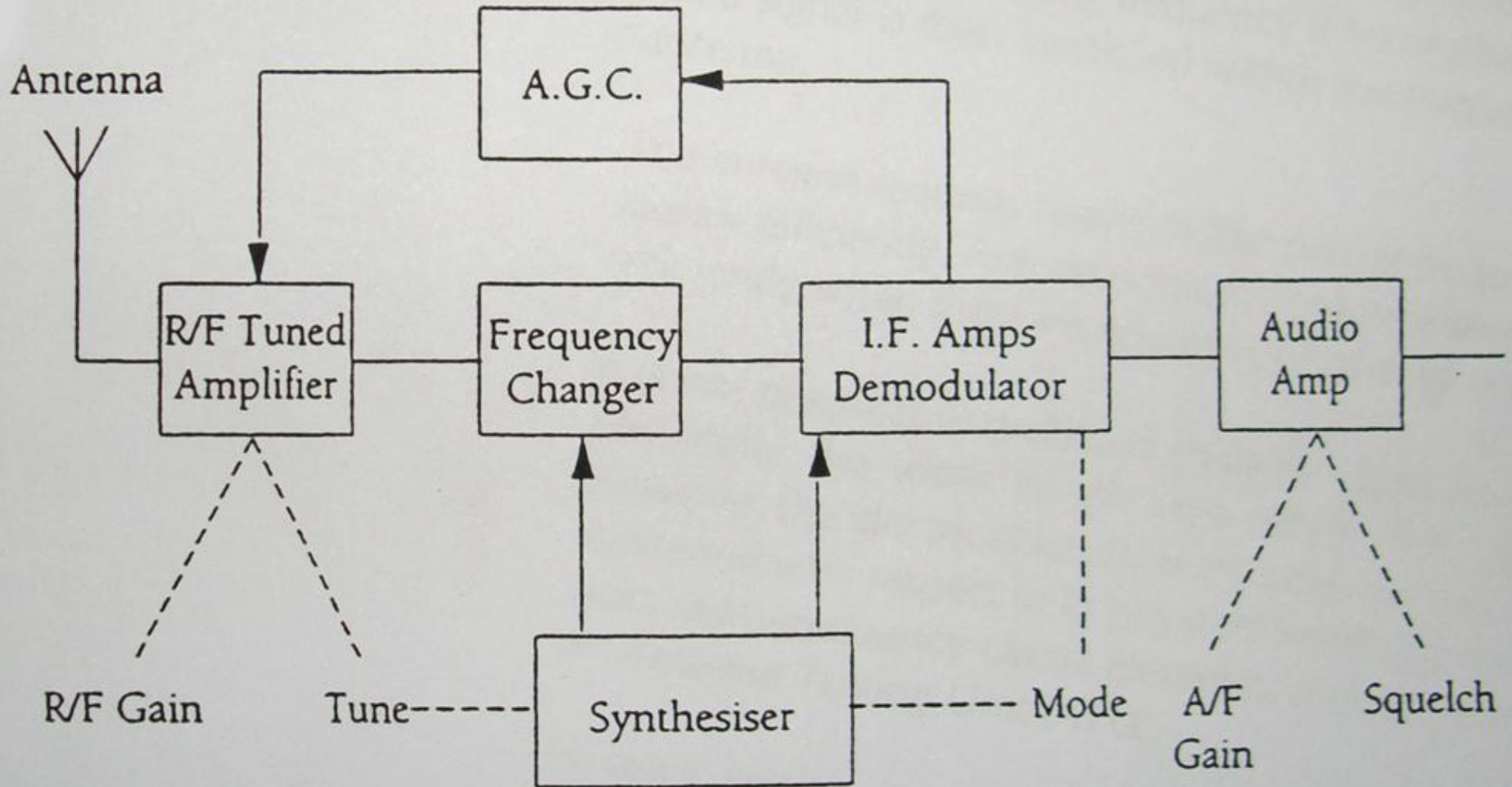
Prijemnici su naprave sastavljene od niza elektroničkih sklopova s pomoću kojih se iz signala što ih u anteni induciraju modulirani elektromagnetski valovi izdvaja, pojačava i detektira signal koji sadrži željenu informaciju.

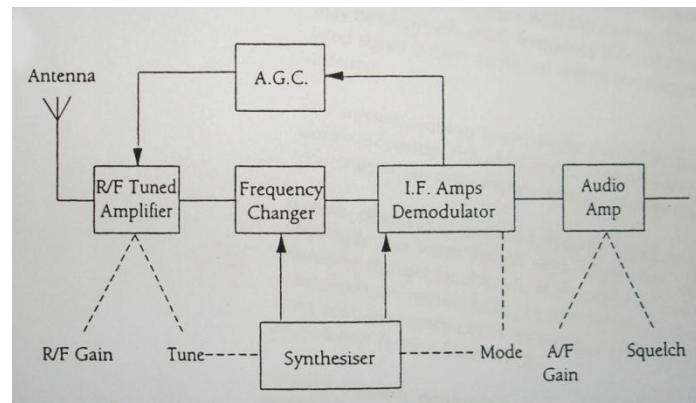
Prijemnik

Prijemni signali se razlikuju uvelike u jačini zbog raznih faktora:

- zračenje lokalnog odašiljača male ili veće snage
- zračenje udaljene stanice visoke ili srednje snage
- varijacijama u ionosferi koje mogu utjecati na signale MF noću ili HF u bilo koje vrijeme
- simulatno primanje površinskih i prostornih valova na MF noću koje mogu konstantno varirati u snazi, jačini i fazi i djelovati jedan s drugim – feding
- HF signali mogu doći prijamnik putovanjem različitim putevima, opet uzrokujući feding

Osnovna blok shema prijemnika





Antena prima modulirane elektromagnetske valove mnogih radio-postaja. **Ulazni titrajni krug** odvaja iz VF titraja samo titraje jedne frekvencije, tj. samo signale jedne radio-postaje na koju je podešen. **Lokalni oscilator** (Synthesiser) proizvodi nemonulirane visokofrekventne električne titraje kojih se frekvencija može mijenjati .

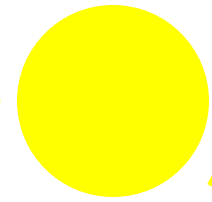
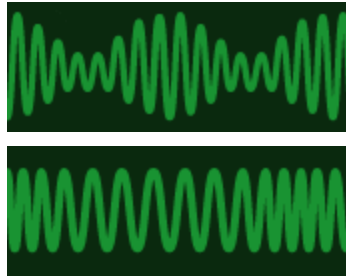
Stupanj za miješanje (Frquency changer) miješa modulirane titraje (propuštene kroz ulazni titrajni krug) s nemonuliranim titrajima iz lokalnog oscilatora, i tako stvara modulirane titraje konstantne međufrekvencije.

Međufrekvencijsko pojačalo pojačava međufrekventne titraje odbijene iz stupnja za miješanje.

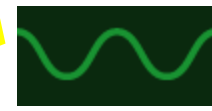
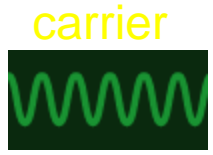
Detektor ili demodulator odvaja NF električne titraje zvučne frekvencije iz električnih titraja međufrekvencije.

Niskofrekvencijsko pojačalo pojačava izdvojene električne titraje zvučnih frekvencija.

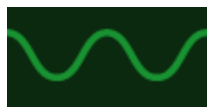
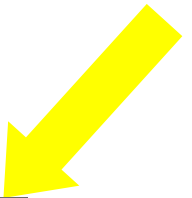
Zvučnik pretvara električne titraje zvučnih frekvencija u zvuk.



demodulator

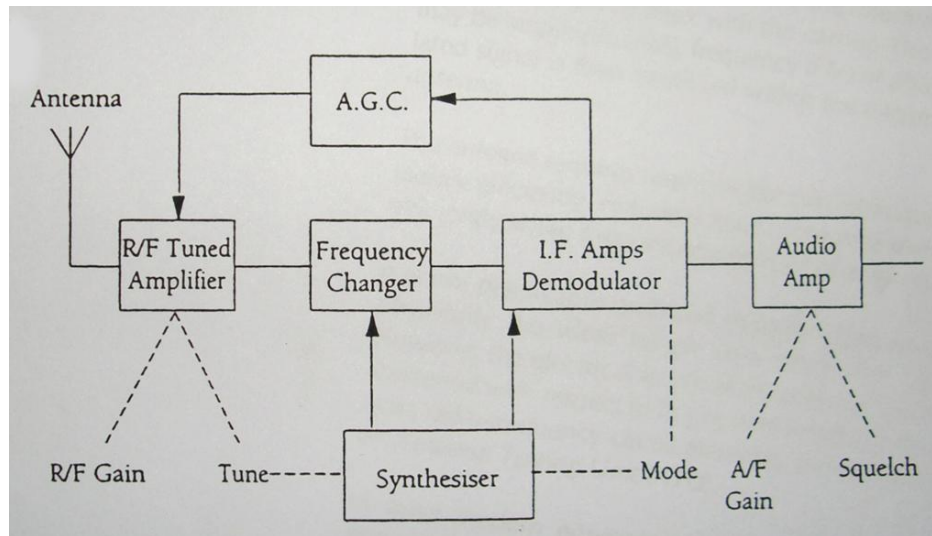


signal



sound

Osnovne kontrole prijemnika



R.F.GAIN – Radio Frequency Gain or Sensitivity – radio frekvencijsko pojačanje.

Podešava frekvencija signala koji dolazi iz antene u R/F pojačalo.

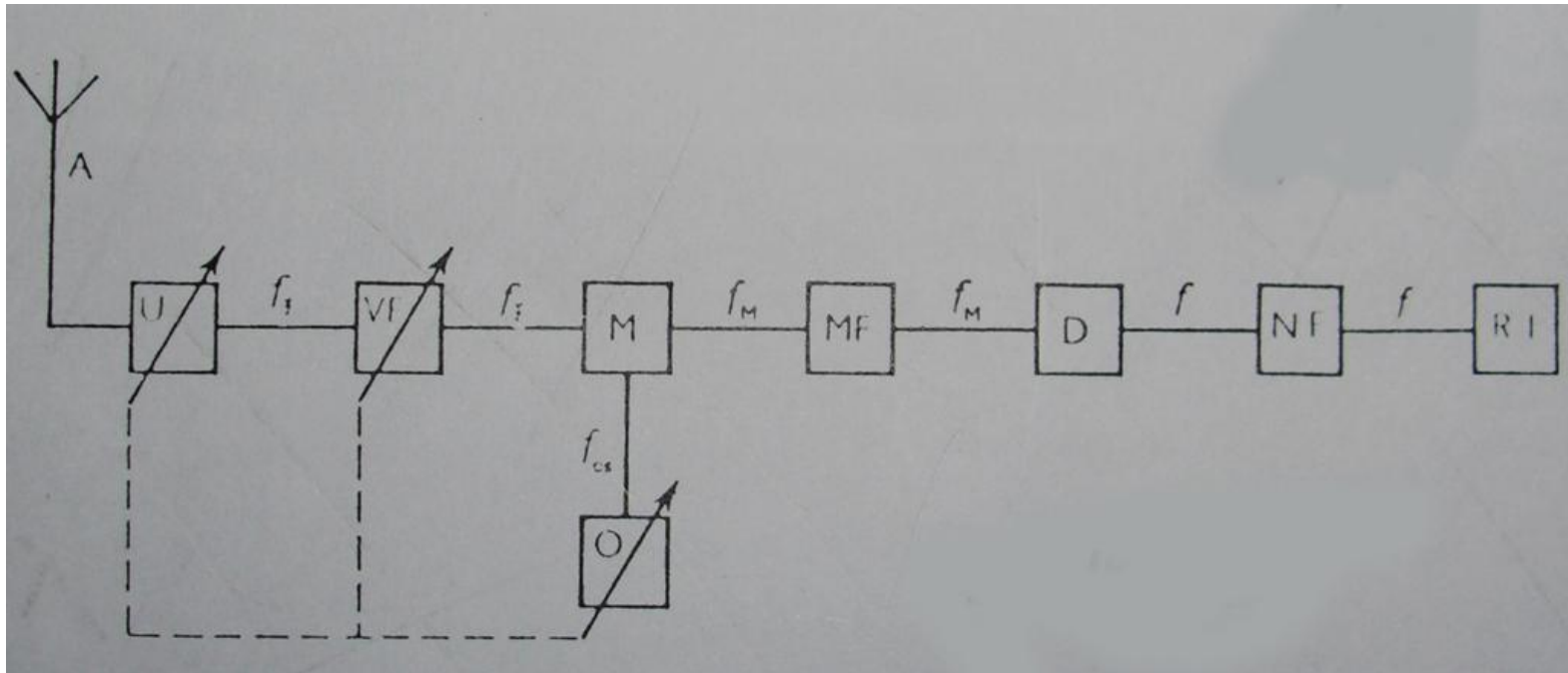
AGC – Automatic Gain Control – automatska kontrola pojačanja. održava jednaku kvalitetu prijema i za slabe i za jake primljene signale.

CLARIFIER, TUNE fino podešavanje frekvencije.

CLASS OF EMISSION (MODE CONTROL) – vrsta rada. Sa ovim se dugmetom prijatelj postavlja na onu vrstu emisije kojom se želi raditi.

SQUELCH i VOLUMEN (A.F. GAIN) Squelch i volumen (A.F. GAIN) služi za podešavanje izlazne snage signala u zvučniku ili slušalici. Squelch isključuje šum u zvučniku u zvučniku ili slušalicama kada nema signala u eteru.

Superheterodinski prijemnik



A - prijemna antena, U - ulazni sklop, VF - visokofrekvencijsko pojačalo, M - stupanj za miješanje, MF - međufrekvencijsko pojačalo, O - oscilator, D - demodulator, NF - niskofrekvencijsko pojačalo, RI - uređaj za reprodukciju informacije, $f_{\dot{z}}$ - frekvencija željenog signala, f_{os} - frekvencija signala lokalnog oscilatora, f_M - frekvencija međufrekvencijskog signala, f - frekvencija informacije

Radiogoniometar

Radio-goniometar je prijemni radio-uređaj koji služi za određivanje smjera u kojem se nalazi izvor radio valova.

Radio smjerom se naziva se smjer određen radio-goniometrom, a predstavlja kut između neke referentne vodoravne razine kroz radio-goniometar i vodoravne razine koja prolazi kroz objekt u kojem se nalazi odašiljač i radio-goniometar.

Radio smjer računa se u smjeru kazaljke na satu. Ako se za referentni smjer uzme uzdužnica broda (val pramca) govorio se o pramčanom smjeru, a ako se uzme astronomski merdijan govori se o pravom smjeru (azimutu).

ANTENE

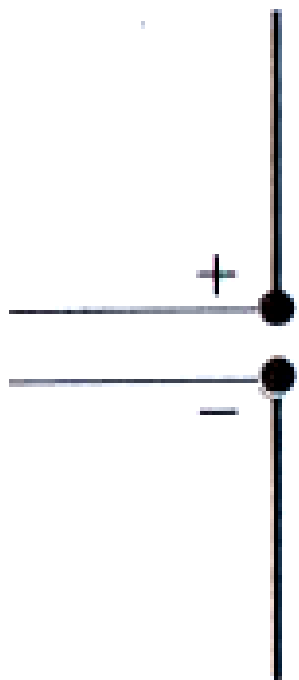
Antene

Antena je uređaj koji *pretvara titranje visokofrekventne električne struje generirane u odašiljaču u elektromagnetski val koji se širi u prostor, i obratno, pretvara primljeni elektromagnetski val u titraje električne struje koji se pojačavaju i obrađuju u prijemniku.*

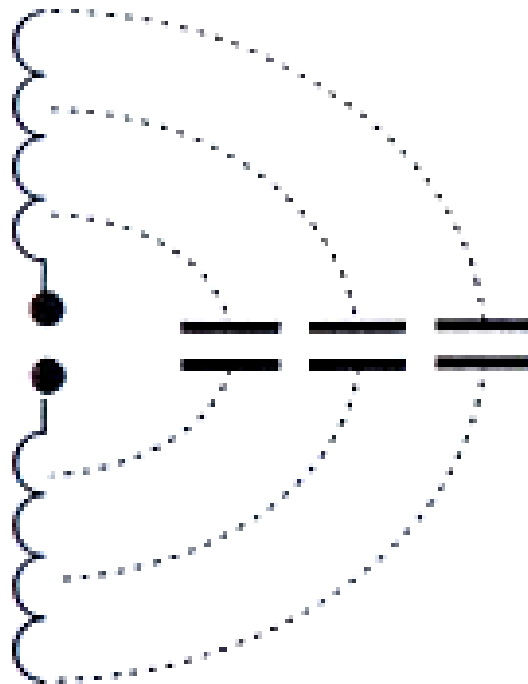
Antene mogu biti predajne, prijemne, primopredajne. Takođe mogu biti usmjerene ili neusmjerene.

Najefikasnije su antene čija je duljina jednaka cijeloj, polovici ili četvrtini valne duljine elektromagnetskog vala kojeg primaju ili odašiljaju.

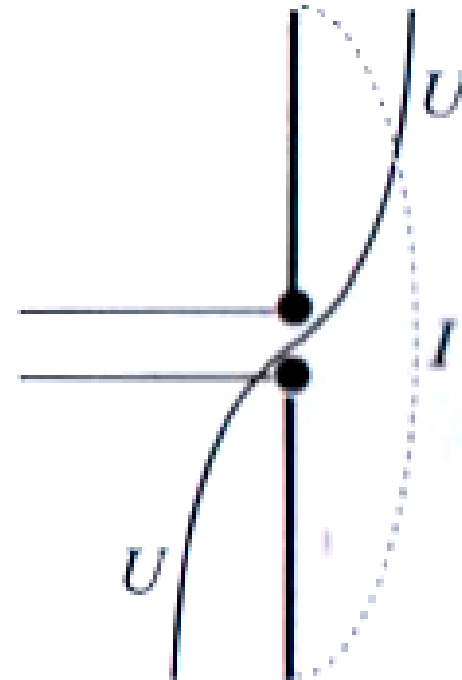
Poluvalni Herzov dipol ($\lambda/2$) dipol



a)



b)



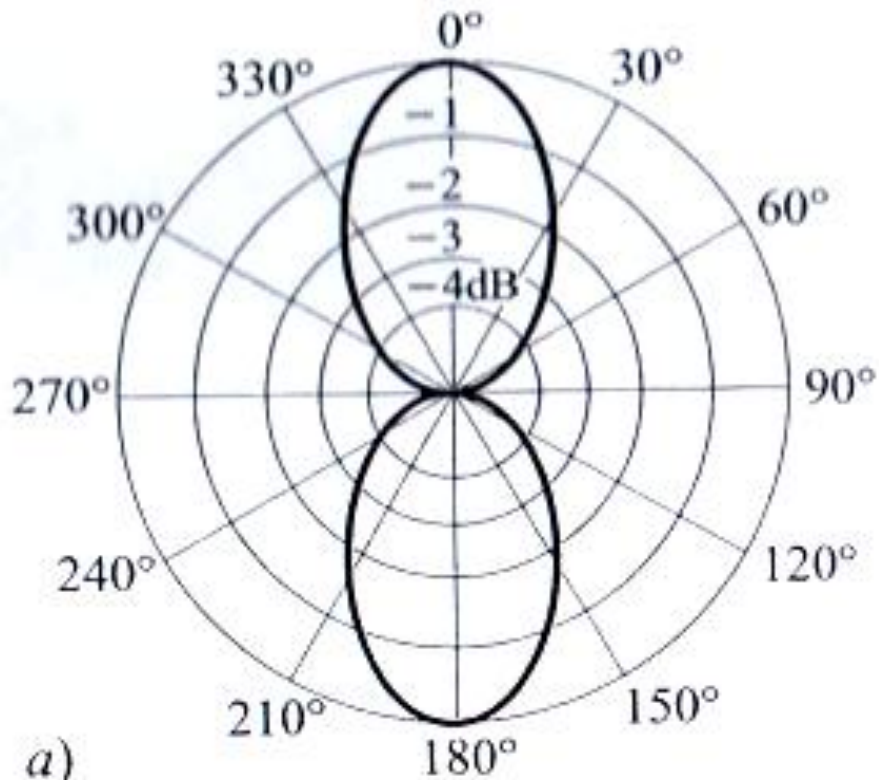
c)

$$l = \frac{150}{f} [MHz]$$

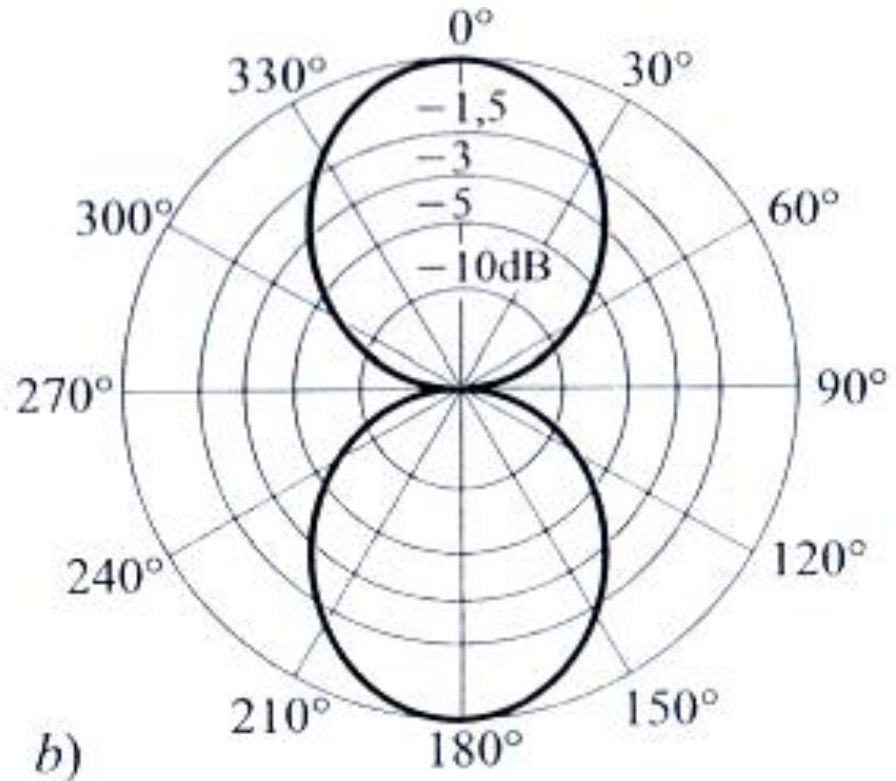
Dijagrami zračenja antene

Dijagram zračenja antene grafički je prikaz raspodjele zračenja antene u horizontalnoj, vertikalnoj ili nekoj odabranoj ravnini.

Poluvalni dipol



Snaga zračenja



Napon signala

Dijagrami zračenja antene

Uz dijagram zračenja neke usmjerene antene daju se i sljedeće karakteristične veličine:

usmjerenost: svojstvo antene koncentrirati energiju zračenja u jednu ili više glavnih latica;

širina snopa zračenja: širina u stupnjevima glavne laticice između dvaju pravaca na kojima je nanijeta relativna vrijednost zračene snage jednake polovici najveće zračene snage (- 3dB);

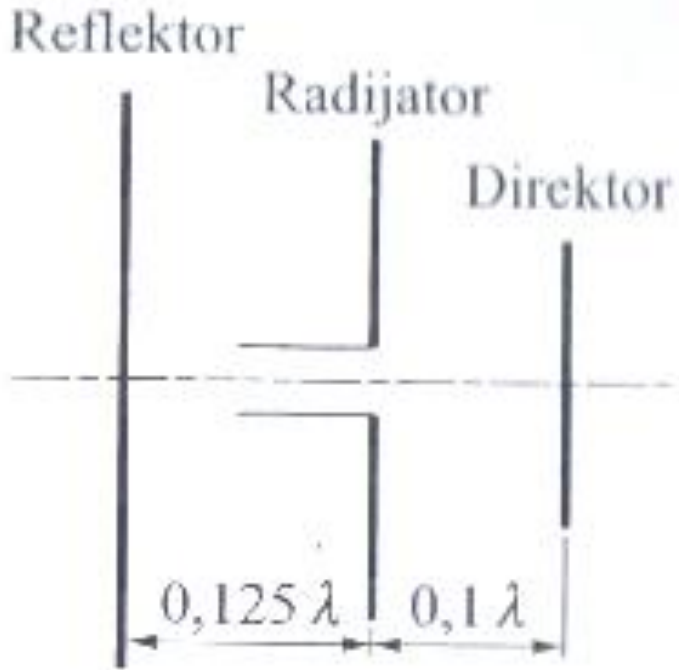
omjer naprijed-natrag: omjer snaga zračenja prema naprijed i prema natrag, npr. omjer naprijed-natrag kod dipola iznosi 1 (tj. 0 dB);

omjer naprijed-bočno: omjer snage zračenja u smjeru glavnog zračenja u smjeru 0° i snage bočnog zračenja u smjeru 90° ;

dobitak antene: porast efektivne izračene snage u željenom smjeru glavne laticice;

efektivna izračena snaga (e.r.p.): umnožak snage privedene antene u odnosu na poluvalni dipol u danome smjeru;

Usmjerenost antene – Yagijev niz



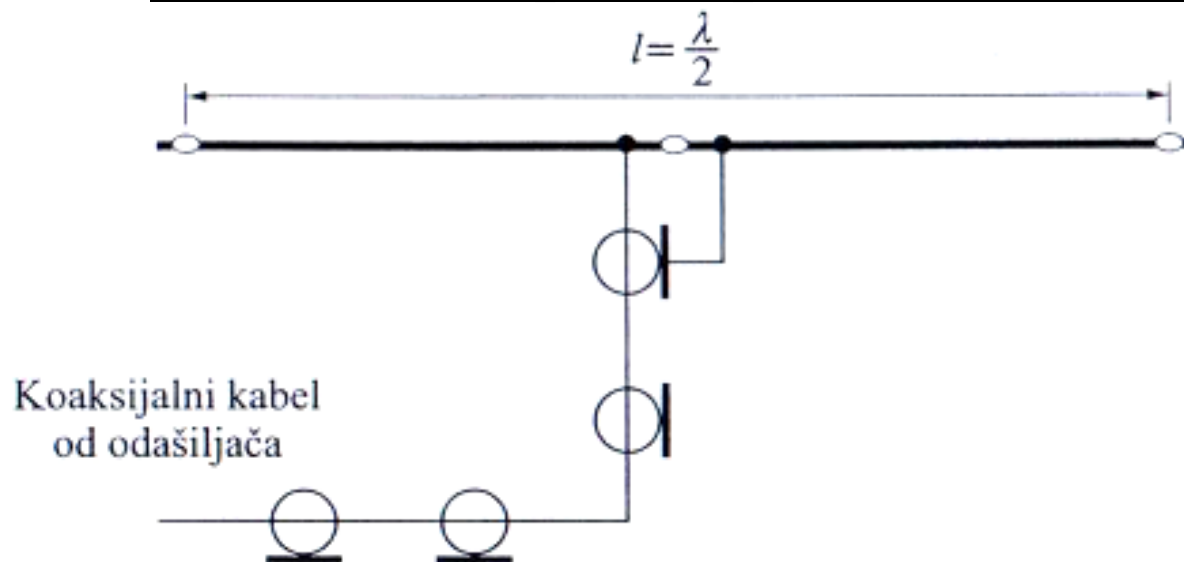
a)



b)

PRIMJERI ANTENA

Poluvalni dipol napajan u sredini

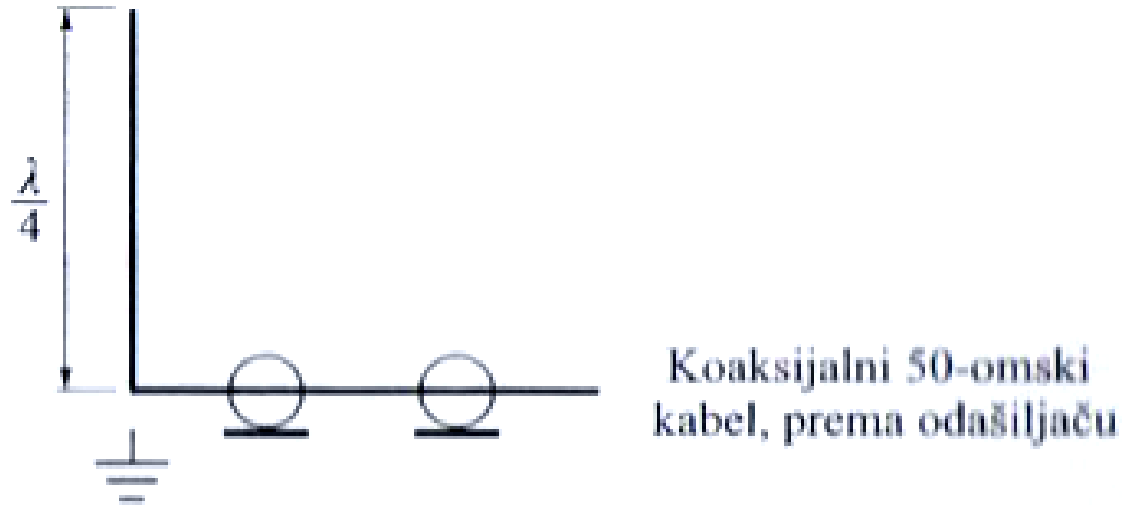


izmjerne: $\frac{142.5}{f} [MHz]$

dobitak: $G = 2.14 \text{ dB}$

napojni vod: koaksijalni kabel 50 ili 70 Ω

Vertikalna antena HF/MF



izmjere: $l = k \lambda/4$

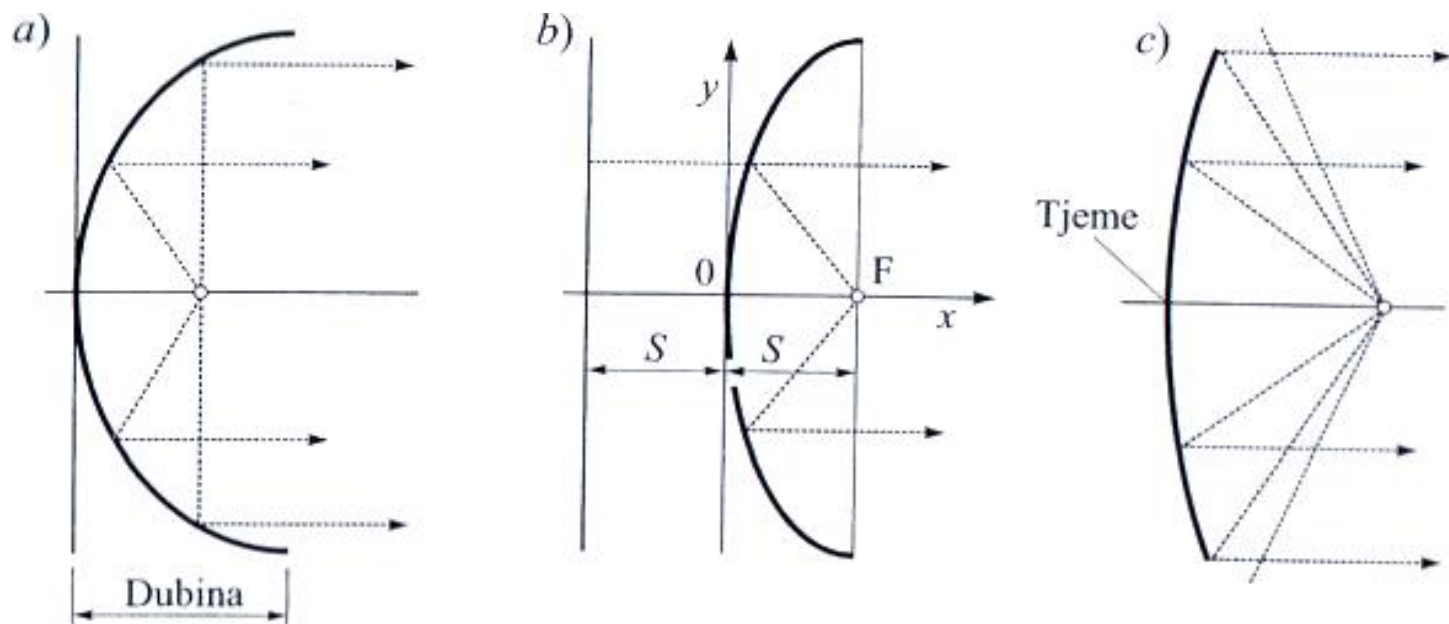
napojni vod: koaksijalni kabel 50Ω

Brodsko VHF Metz antena



**Antena sa pojačanjem od 3 dB (2 puta pojačava)
se najviše se koristi za brodice**

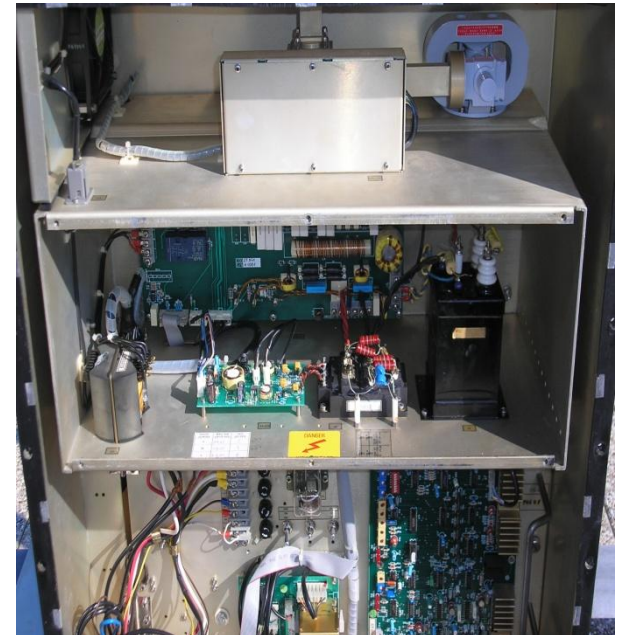
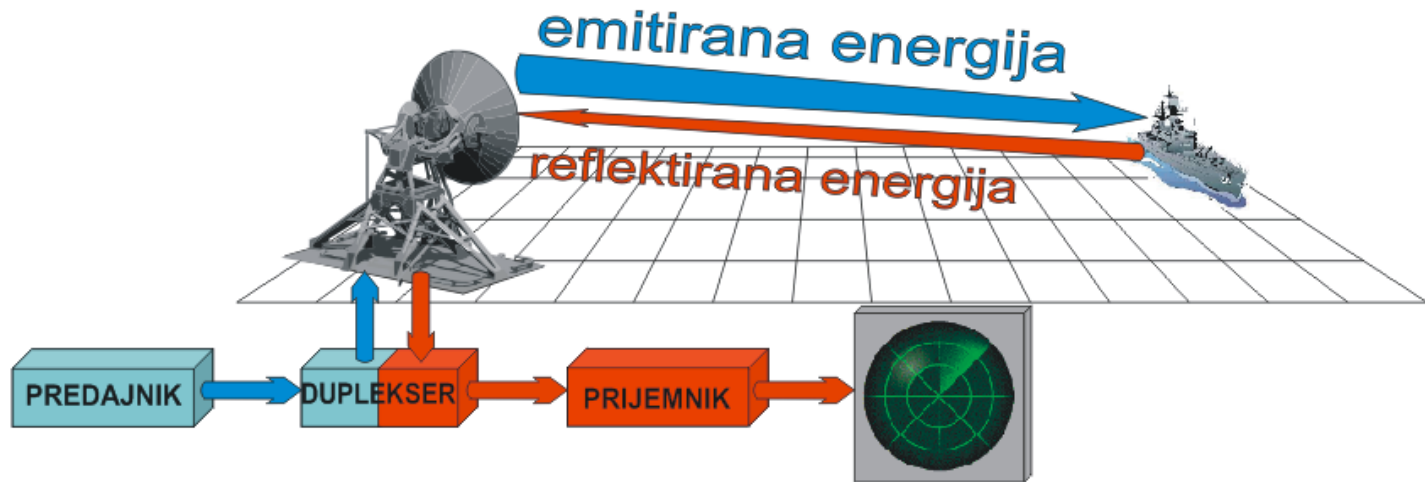
Parabolična antena iznad 400 MHz - radar



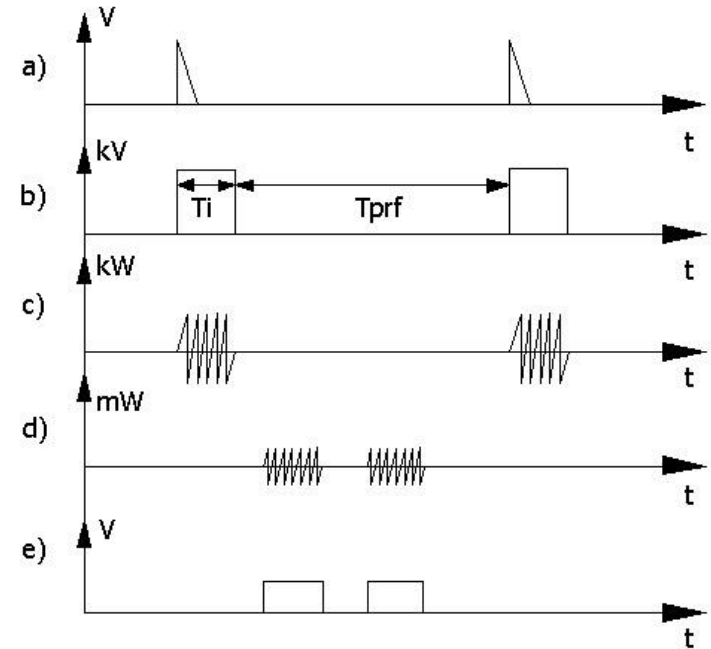
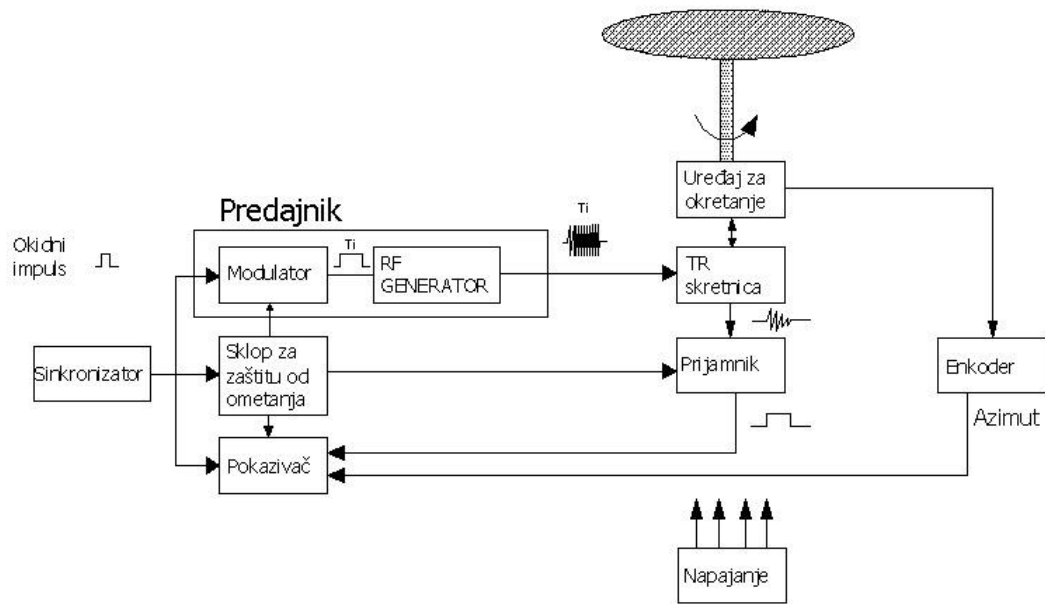
dobitak: može $G > 50\text{dB}$

napojni vod: koaksijalni kabel $50\ \Omega$, valovod

Načelo rada radara



Blok shema radara



Slika 1.2 Vremenski dijagram principa rada impulsnog radara

MF/HF Wire i Whip antene

Na brodu se koriste žične (wire) antene i vertikalne (whip) antene.

Žičana antena može biti smještena između dva jarbola .

