

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE 2 - sažetak predmeta

Magnetizam - PONAŠANJE (prezentacija - SAMOSTALNO → pitanja)

→ struja stvara MAGNETSKO POLJE oko sebe

- kruži oko struje (strujice su kružnice tj. zatvorene)
- bliže jače, dalje slabije
- I. pravilo DESNE RUKÉ (palc-prsti)

[$\odot$ "iz papira"]
[$\otimes$ "u papir"]

→ ako struja KRUŽI stvara DIPOLNO polje (kao od "običnog" magneta $\overline{N|S|}$)

- II. pravilo DESNE RUKÉ (prsti-palac)
- unutar zavojnice HOMOGENO, izvan ≈ 0

$$B = \mu_0 \mu_r \left(\frac{N}{l} \right) I$$

↖ gustoća zavoja!

materijal: DIAMAGNETSKI ($\mu_r < 1$)

PARAMAGNETSKI ($\mu_r \approx 1$)

FEROMAGNETSKI ($\mu_r \gg 1$) ⇒ ELEKTROMAGNET!

→ LORENTZOVA SILA - sila kojom MAG. POLJE ($\vec{B}$) djeluje

na NABOS (q) u GIBANJU, tj. na struju (I) budući da je struja samo puno naboja koji se gibaju...

$$\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = I \cdot \vec{\ell} \times \vec{B}$$

→ iznos: $|\vec{F}| = q \cdot |\vec{v}| \cdot |\vec{B}| \cdot \sin(\alpha)$

→ Smjer: III. PRAVILO DESNE RUKÉ

→ kut između $\vec{v}$ i $\vec{B}$
→ MAX kad okomit!

MAGNETSKI TOK $\rightarrow$ „prolazak“ silnica mag. polja ($\vec{B}$) kroz neku površinu (S)

$$\Phi \text{ [Weber - Wb]}$$

$$\hookrightarrow \underline{Wb = T \cdot m^2}$$

$\rightarrow$ ovisi o kutu između $\vec{B}$ i okomice na površinu: „ α “

$$\Rightarrow \boxed{\Phi = |\vec{B}| \cdot S \cdot \cos(\alpha)}$$

[Ako je $\vec{B}$ homogen po cijeloj površini S , inače je komplikiranije, ali ideja je ista ...]

FARADAYEV ZAKON (elektromagnetne indukcije)

$\hookrightarrow$ PROMJENA magnetskog toka kroz površinu omeđenu

vodičem „uzrokuje“ (INDUCIRA) NAPON na krajnima tog

vodiča:

$$\boxed{U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}}$$



$\hookrightarrow$ LENZOVO PRAVILO - POLARITET

ZAVOJNICA S N
zavoja kao da
ima N površina
jednog zavoja ...



induciranog napona (+/-) je takav
da stvori struju koja bi (svojim,
induciranim magnetskim poljem)
SMANJILA PROMJENU mag. toka



SAMOINDUKCIJA (zavojnice)

↳ struja kroz zavojnicu → HOMOGENO mag. polje kroz sredinu

$$\rightarrow B = \mu_0 \mu_r \cdot \frac{N}{l} \cdot i$$

⇒ magnetski tok kroz zavojnicu: $\Phi = N \cdot (B \cdot S) =$

$$= \mu_0 \mu_r \cdot \frac{N^2 \cdot S}{l} \cdot i$$

→ Ako se mijenja struja (i) onda se mijenja i magnetski tok ...

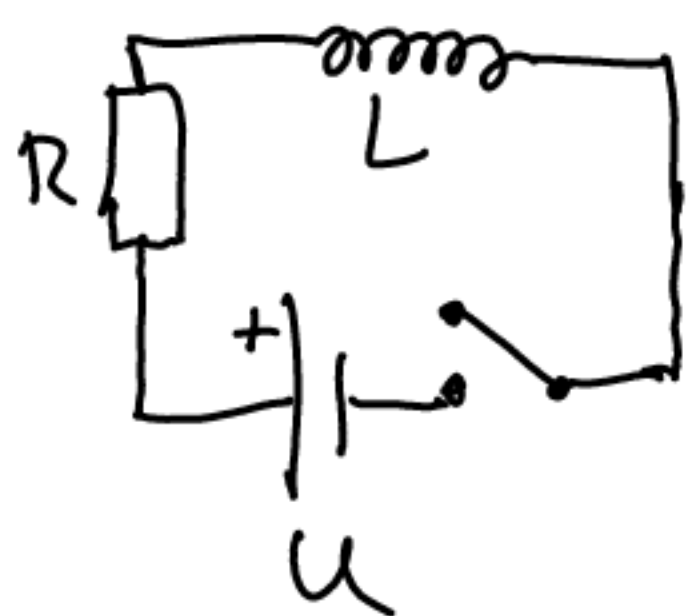
$$\Rightarrow U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{\Delta \left(\mu_0 \mu_r \frac{N^2 \cdot S}{l} \cdot i \right)}{\Delta t} =$$

$$U_i = - \left(\mu_0 \mu_r \cdot \frac{N^2 \cdot S}{l} \right) \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

↳ $= L$ (INDUKTIVITET zavojnice)
[Henry - H]

→ nešto kao OTPOR zavojnice
(na promjenu struje)

R-L krug (paljenje i gašenje, slično kao nabijanje/izbijanje R-C kruga)



- VREMENSKA KONSTANTA:

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (\text{veći } L \rightarrow \text{veći "otpor"} \rightarrow \text{duže vrijeme})$$
$$\quad \quad \quad (\text{veći } R \rightarrow \text{manja struja} \rightarrow \text{kraće vrijeme})$$

$\hookrightarrow \approx 2/3$ (60%) nakon $1 \cdot \tau$,
 $\approx 100\%$ nakon $5 \cdot \tau$

paljenje:

- napon na R raste do konačne vrijednosti (koliko?)
- napon na L pada ($U = U_R + U_L$!)
- struja RASTE do konačne vrijednosti (koliko?)
- $\rightarrow$ skicirati grafove napona i struje u vremenu!
 $U_R(t)$ $i(t)$

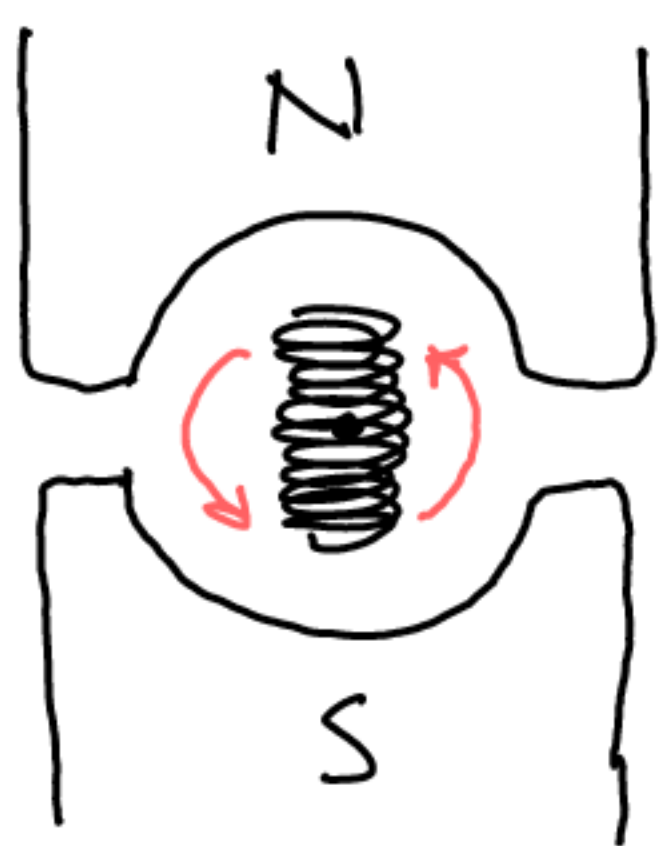
gašenje:

- struja PADA polako do konačne vrijednosti (koliko??)
- napon je onoliko bliski nuli biti u ovisnosti o R i I ! ($U_R + U_L = 0$)

$\hookrightarrow$ pa makar i struja tekla kroz zrak (koliko
se to zove ??)

$\rightarrow$ skicirati grafove napona i struje u vremenu!
 $U_L(t)$ $i(t)$

GENERATOR - promjena magnetskog toka kroz neku



zavojnicu (ARMATURU), zbog promjene kuta između površine (poprečnog presjeka zavojnice) i magnetskog polja, uslijed ROTACIJE (bilo zavojnice bilo magnetskog polja) $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ inducira se NAPON !

$\rightarrow$ Ako se osovina vrti konstantnom brzinom (jednoliko):

$$\underbrace{\alpha(t)}_{\substack{\text{kut f.} \\ \text{FAZA}}} = \omega \cdot t + \alpha_0 \leftarrow \text{POČETNI KUT (FAZNI POMAK)}$$

$\uparrow$
KUTNA BRZINA: $\omega = \frac{2\pi \text{ rad}}{T \text{ s}}$
 $\uparrow$ PERIOD

$$\rightarrow U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{\Delta (N \cdot B \cdot S \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t} = - N \cdot B \cdot S \cdot \frac{\Delta (\cos(\omega t + \alpha_0))}{\Delta t} =$$

$$= + N \cdot B \cdot S \cdot \underline{\omega} \cdot \sin(\omega t + \alpha_0)$$

AMPLITUDA

- 1) što veće jače mag. polje (B)
- 2) što veća/sira zavojnica armature (S)
- 3) što više zavoja zavojnice (N)
- 4) što brža rotacija (ω) ?

$\rightarrow$ brža rotacija $\rightarrow$ veća/
bržja promjena $\rightarrow$
veći induc. napon !

→ generatori, dakle, stvaraju IZMENJIVI NAPON:

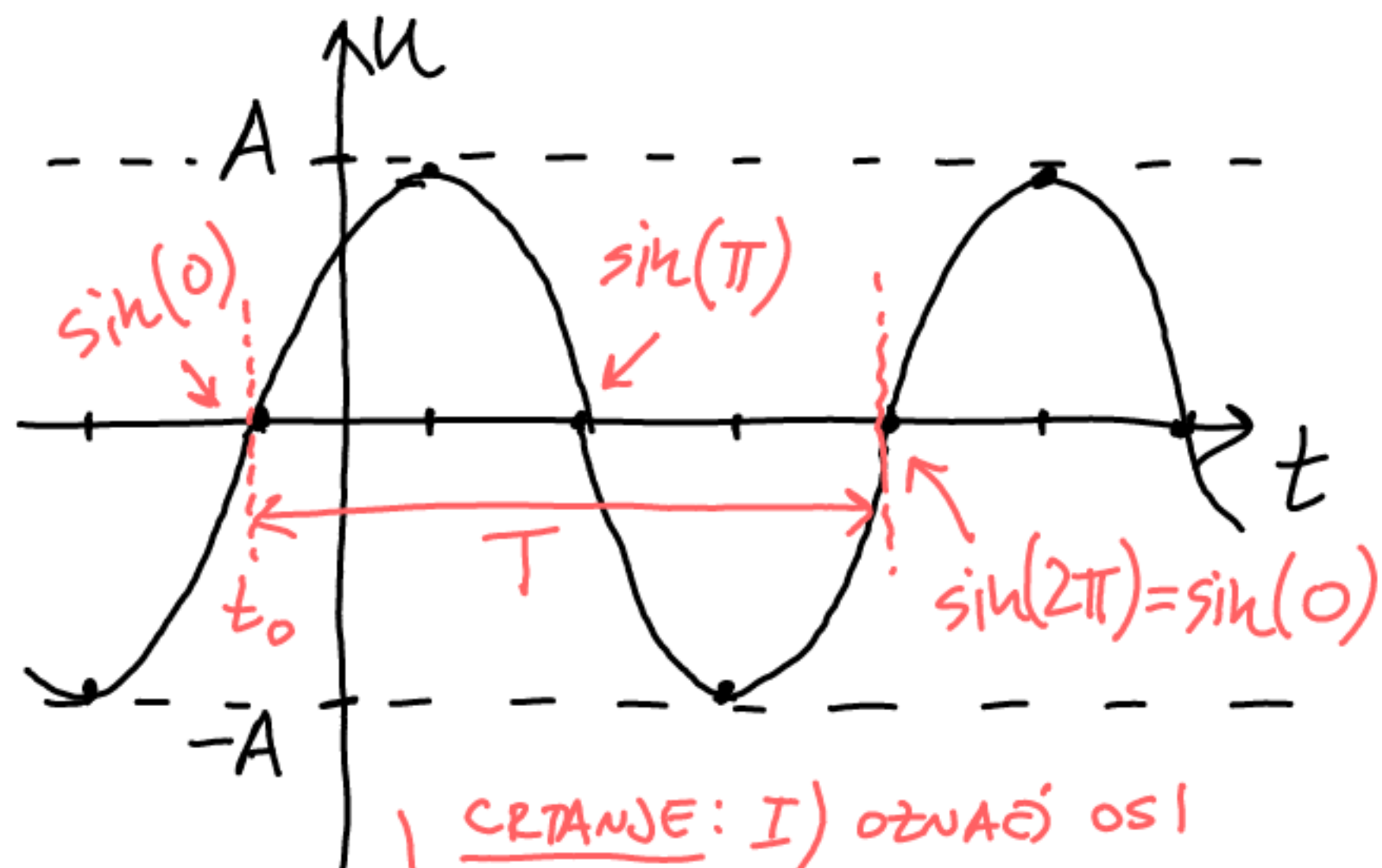
$$u(t) = A \cdot \sin(\underbrace{\omega \cdot t + \alpha_0}_{\text{FAZA}})$$

$\omega = \frac{2\pi}{T}$

↑
AMPLITUDA

t_0 - trenutak kada je FAZA = 0

$$\Rightarrow \underline{\underline{\omega \cdot t_0 + \alpha_0 = 0}}$$



CRTANJE: I) OZNAČI OSI
II) A i -A crtano
III) t_0 iz α_0
IV) T i četvrtine !

→ inače se magnetsko polje STVARA pomoću ELEKTRO-
MAGNETA (jer se može regulirati iznos i time kompenzirati
npr. bržu rotaciju osovine da bi amplituda induciranog
napona bila stabilna tj. približno konstantna) →

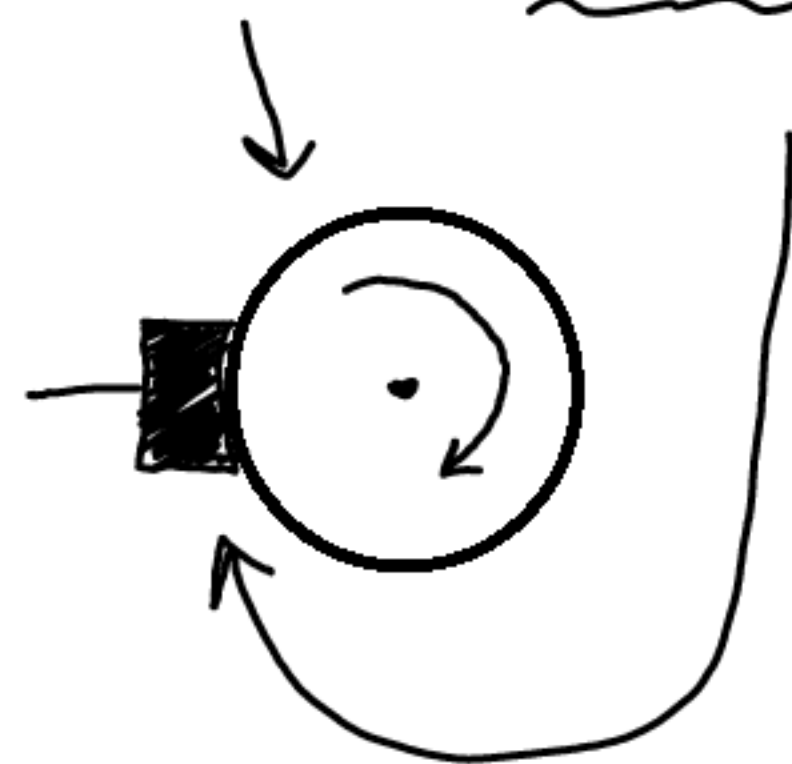
→ ZAVOJNICA POLJA (s feromag. jezgrom na ravno)

→ ako je zavojnica ARMATURE na STATORU (miruje), a
zavojnica polja na ROTORU (vrti se) to se zove:

ALTERNATOR !

Prednost: manja struja se mora
dovesti na rotor → tanje
žice, slabiji kontakti

→ Kako se ostvaruje električni kontakt s osovinom koja se (brzo) vrti ?? → KLIZNI KONTAKT : KLIZNI PRSTEN + "ČETKICA"



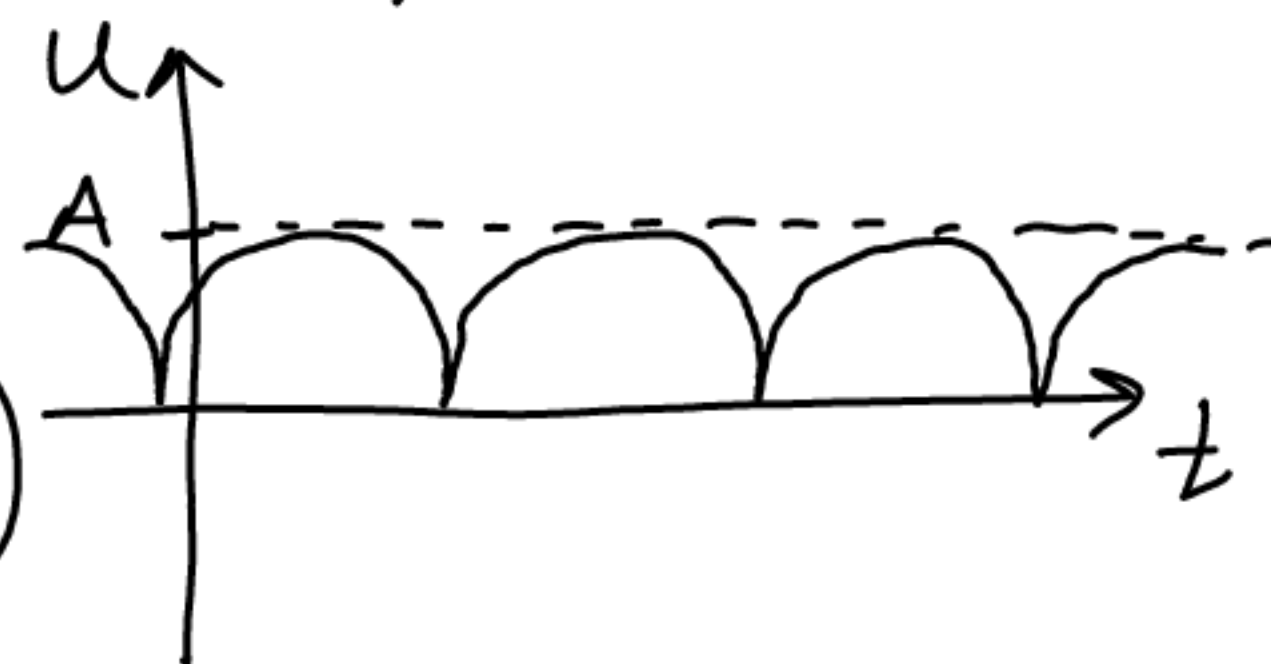
Četkica - mekani vodič (grafit)

Prsten - tvrdi vodič (metal)

Problem → TRESE / trošenje ... !

→ KOMUTATOR - "prepolovljeni" klizni prsten da bi se polaritet kontakata zamijenio svakih pola kruga...

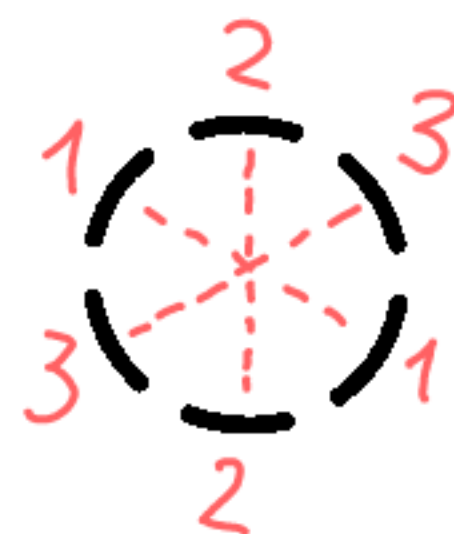
⇒ ISTOSMJERNI NAPON (DC)
(kao i s punovalnim ispravljačem)



↳ dodaje se C na izlaz za "peglaenje" napona...

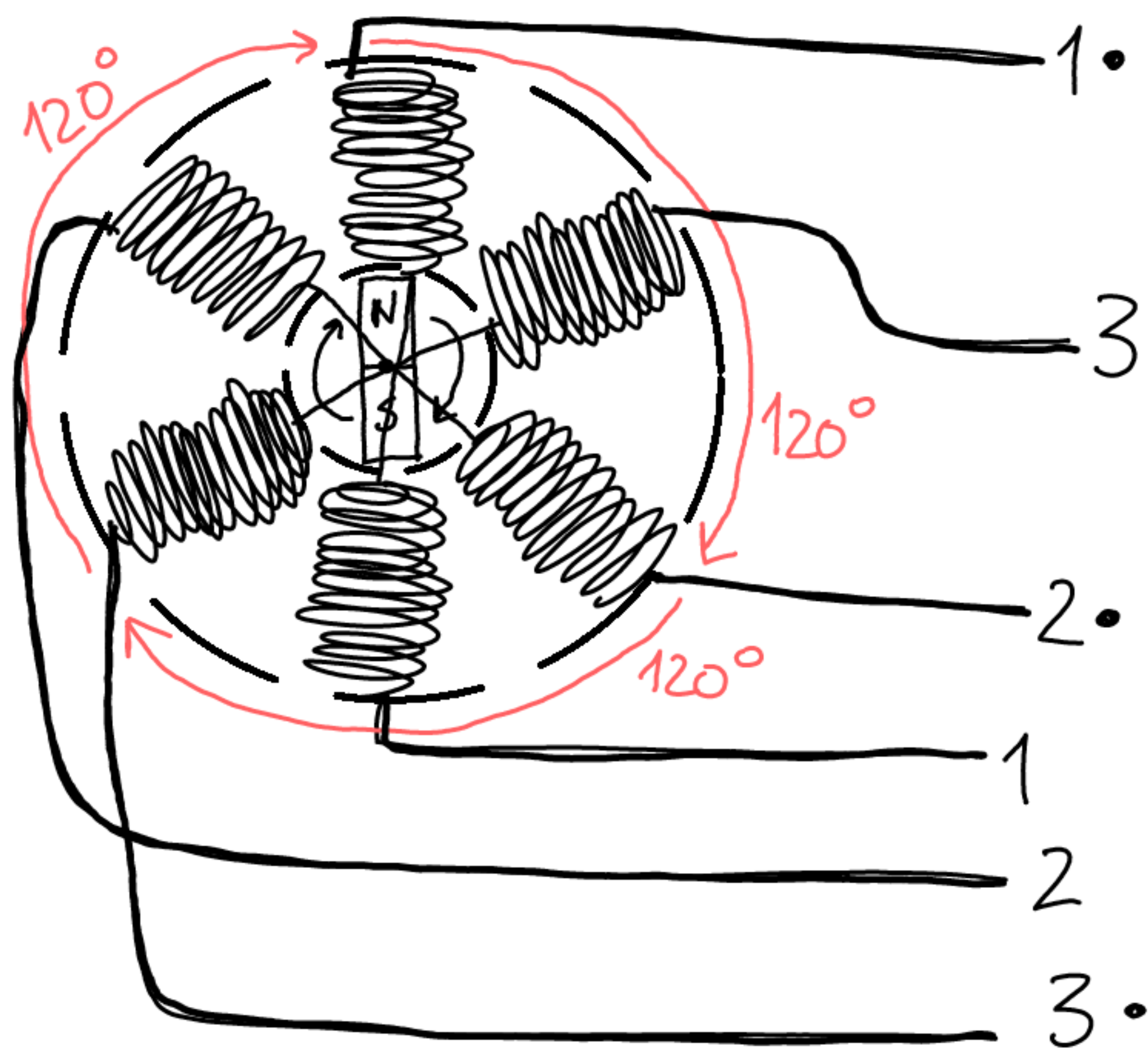
→ ako ima više zavojnica armature onda komutator ima 2 "pločice" tj. 2 prekida za svaku, npr.

za DC generator s 3 armature:



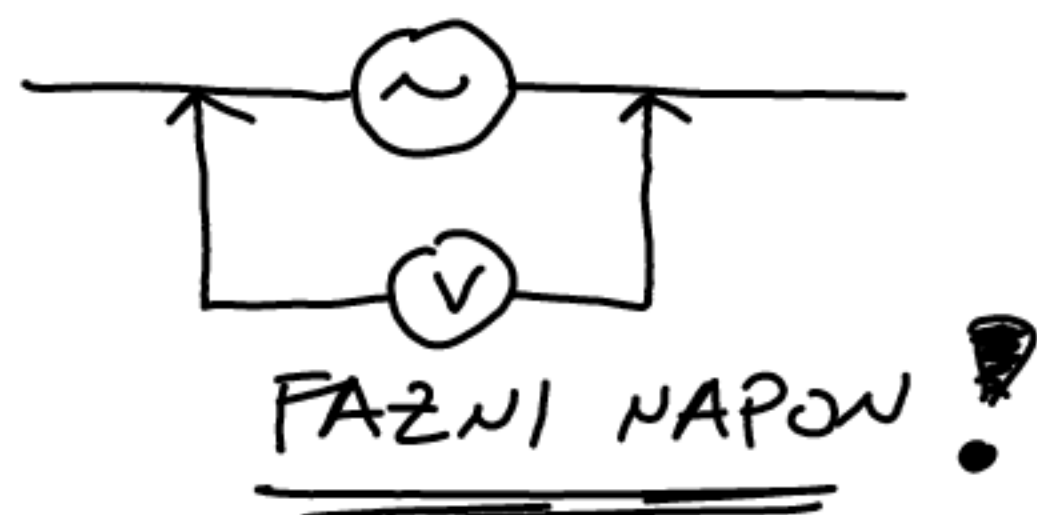
Uobičajen broj ARMATURA za AC generatore / alternatore:

TRI → Trofazni napon tj. struja!



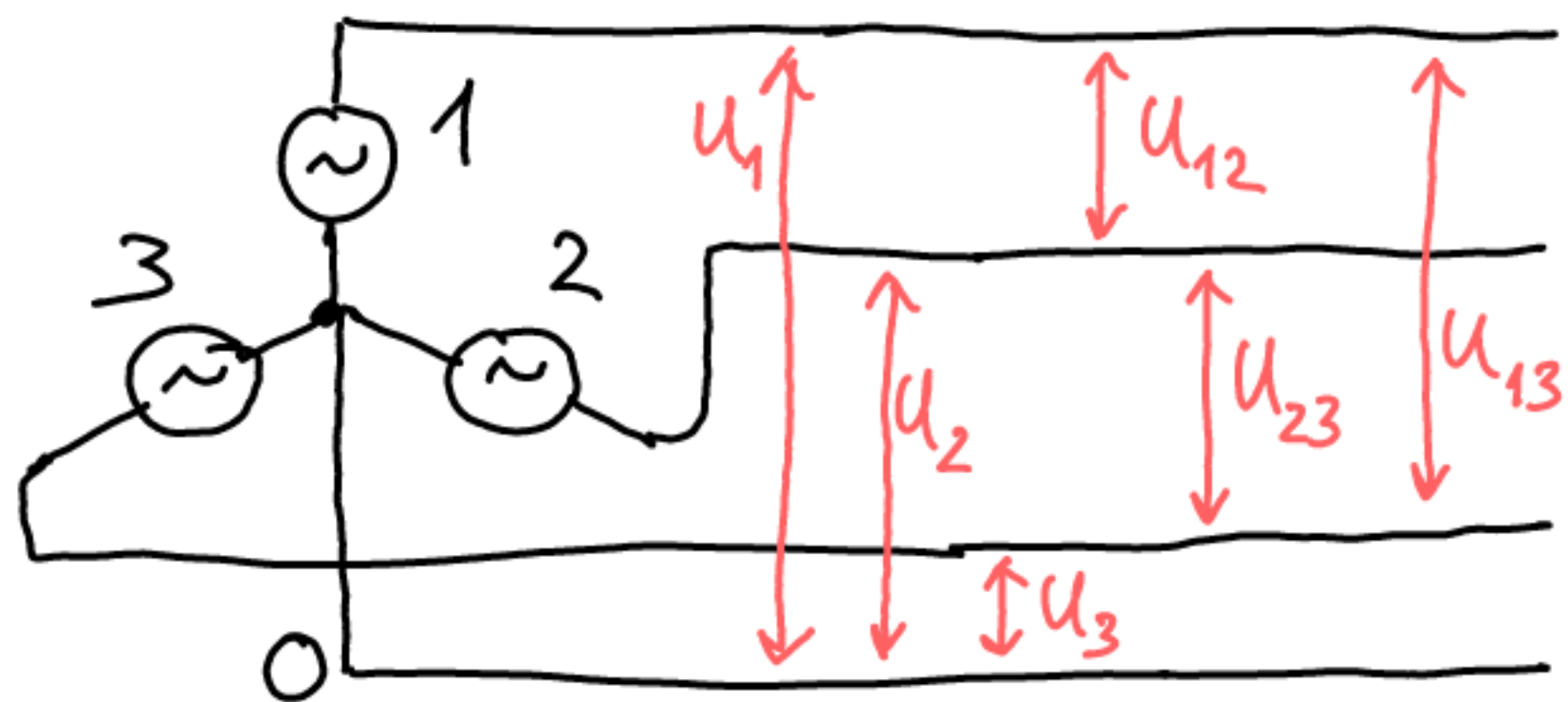
Pomak u FAZI: 120° tj. $\frac{2\pi}{3}$ rad

Svaka ARMATURA je kao jedan AC izvor, jedna FAZA:



DVA načina spajanja:

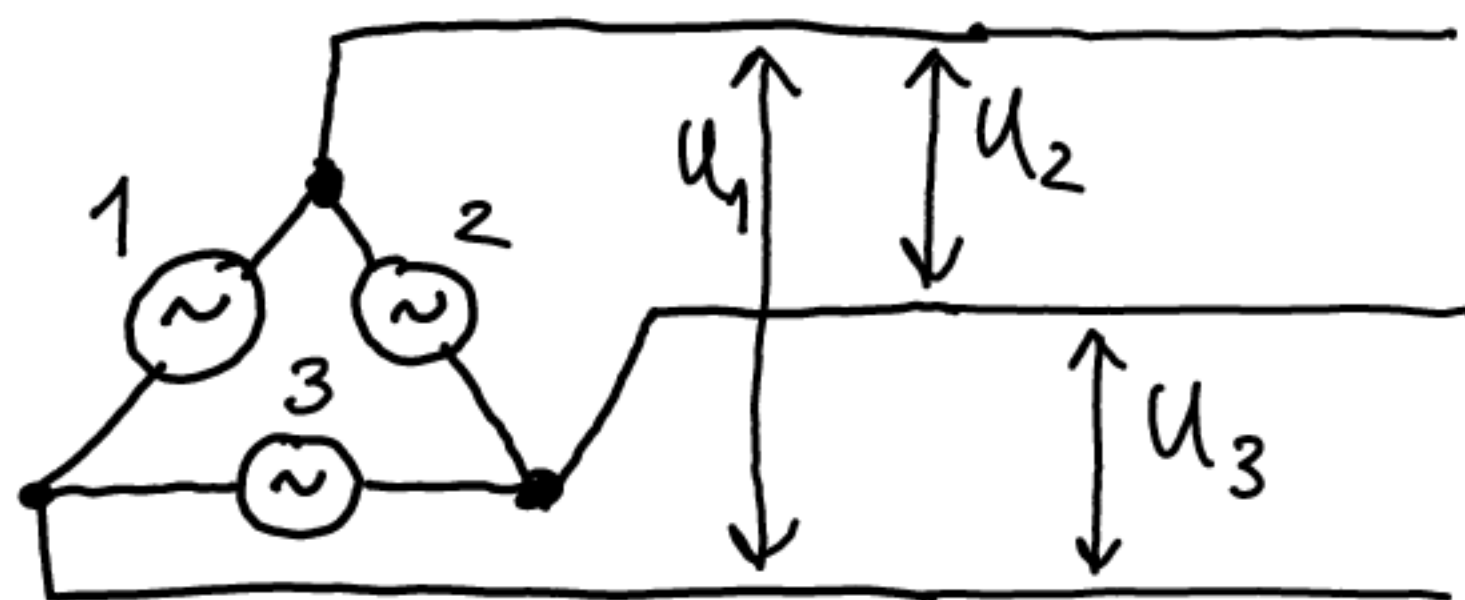
I) ZVIJEZDA



$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_f \leftarrow \text{FAZNI NAPON (od 1 faze)}$$

↑
LINIJSKI NAPON (između 2 faze)

II) TROKUT

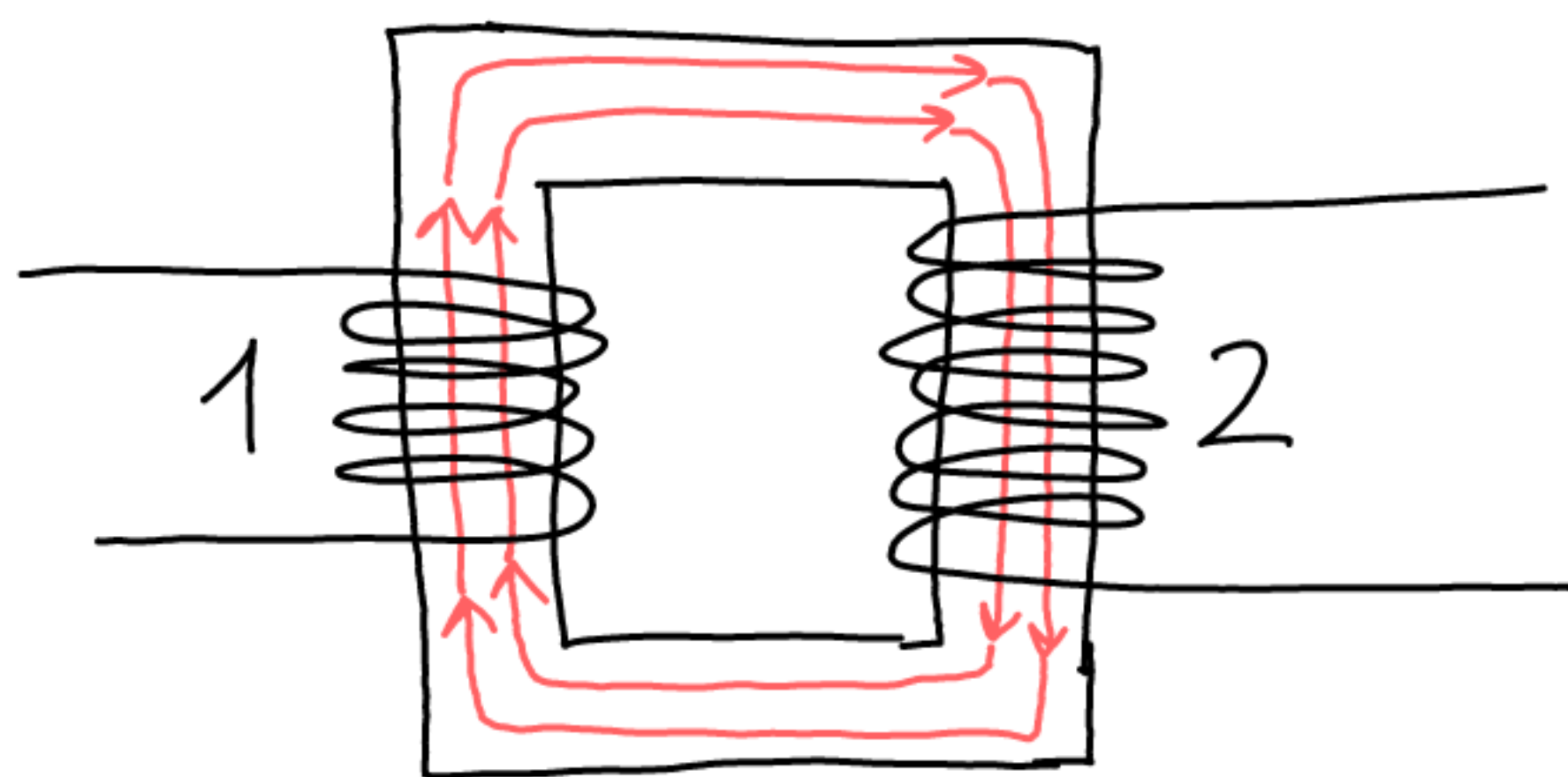


→ nema nul-vodiča

→ nema linijskog napona, tj. $U_L = U_f$

→ VEĆA MAX. STRUJA (za $\sqrt{3}$)

TRANSFORMATORI - prijenos magnetskog TOKA kroz jednu zavojnicu do druge → uglavnom koristeći FEROMAGNETSKU JEZGRU (vodič magnetskog polja)



2 zavojnice: PRIMAR (1)
i SEKUNDAR (2)

AC struja u primaru uzrokuje promjenjivo magnetsko polje, koje jezgrom "putuje" do sekundara i tamo INDUCIRA napon (a BEZ direktnog KONTAKTA)!

$$U_1 = -N_1 \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}} \rightarrow \text{više "zavoja",}$$
$$U_2 = -N_2 \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \text{veći napon!}$$

Transformator, dakle, služi za promjenu IZNOSA napona (AMPLITUDE), što postiže jednostavno i efikasno (problem kod DC napona).

Energija je i dalje očuvana $\Rightarrow P_1 = P_2$

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \Rightarrow \boxed{\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2}}$$

Tipična primjena: transformatori SNAGE. Gdje je prenijeti što više el. energije prilikom promjene iznosa NAPONA / STRUJE...
Efikasnost $> 90\%$. (pa i preko 99% kad se baš potruže).

GUBITCI U TRANSFORMATORU:

- 1) gubitak mag. polja $\rightarrow$ rješenje: DOBRA (FEROMAG.) JEZGRA
- 2) gubitak u jezgri (vrtložne struje $\rightarrow$ grijanje) $\rightarrow$ rješenje:
[Faraday!] LAMELIJANA JEZGRA
- 3) gubitak u zavojnicama (otpor žice $\rightarrow$ grijanje) $\rightarrow$ rješenje:
dobar vodič,
debele žice,
hladeње, ...

Postoje svakakvi transformatori... za senzore (struje i napona), za radijske / frekvencijske potrebe itd. Neki od njih ne trebaju jezgru (snajžna efikasnost, veći gubici, ...)...

RAČUN S IZMENLJIVIM (AC) VELIČINAMA - svaku izmjenjivu veličinu prikazati kao KOMPLEKSNII BROJ (i onda računati s njima, zakoni/jednadžbe su iste kao za DC, ili vrlo slični)

KOMPLEKSNII BROJEVI - brojevi koji su zapravo PAROVI

2 broja: REALNI DIO i IMAGINARNI DIO

$$z = \underline{a} \cdot \textcircled{1} + \underline{b} \cdot \textcircled{i}$$

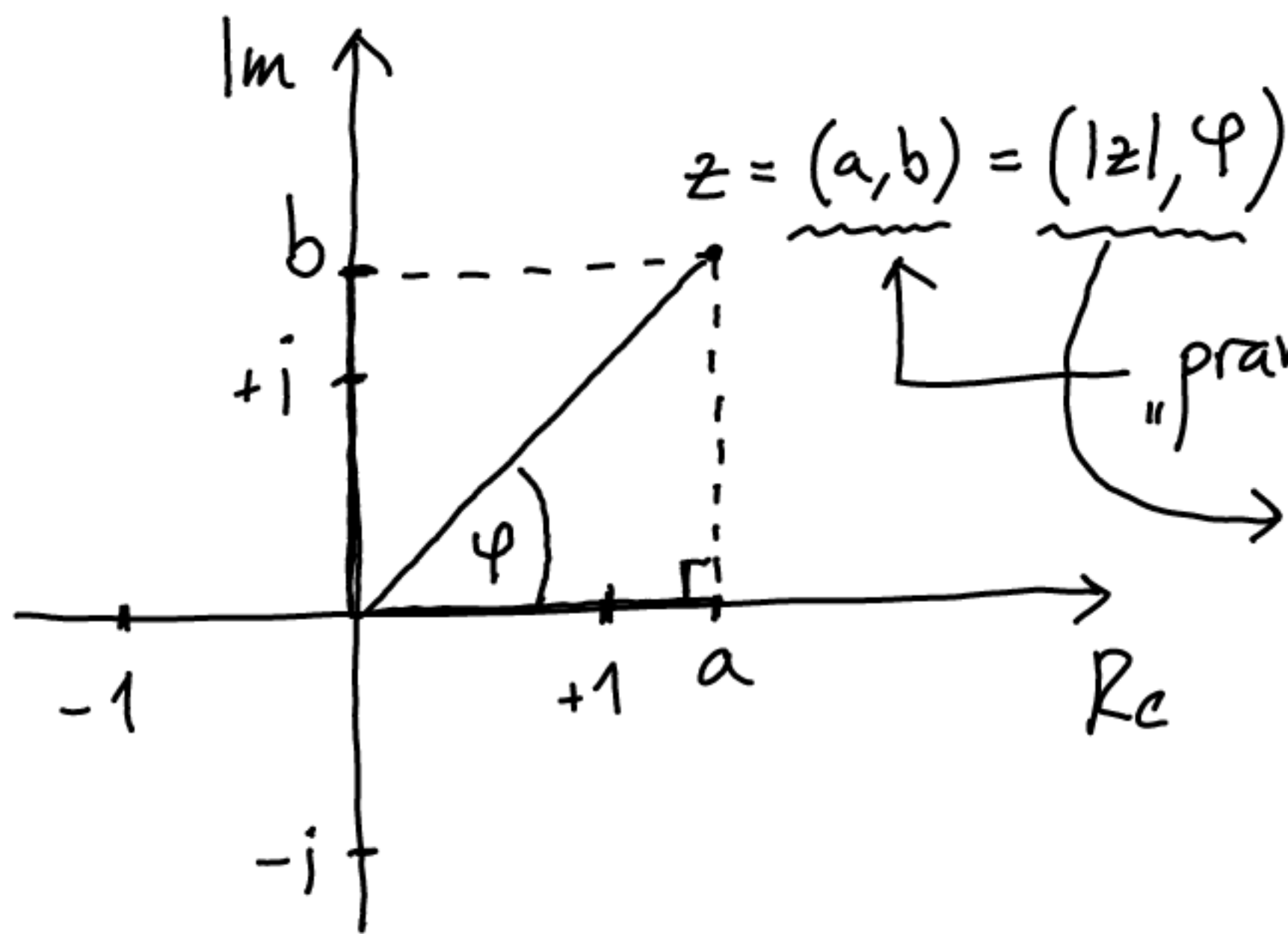
$\downarrow$ realna jedinica $\downarrow$ imaginarna jedinica

$$\boxed{i = \sqrt{-1}}$$

$$\Rightarrow i^2 = (\sqrt{-1})^2 = \underline{-1}$$

itd...

- Mogu se prikazati kao TOČKA u RAVNINI (tzv. kompleksnoj ravlini):



normalan „+“
↓
„pravokutni“ oblik: $z = a + b \cdot i$
„polarni“ oblik: $z = |z| \angle \varphi$

↑
posebna i neodvojiva OZNAKA

$|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$ - MODUL kompleksnog broja (HIPOTENUZA)

$$\left. \begin{aligned} \tan(\varphi) &= \frac{b}{a} \\ \sin(\varphi) &= \frac{b}{|z|} \\ \cos(\varphi) &= \frac{a}{|z|} \end{aligned} \right\}$$

trigonometrija potrebna za pretvaranje između 2 oblika/zapisa kompleks. broja

Kompleksno konjugirani broj (z^* od $z = a + b \cdot i = |z| \angle \varphi$)

$$z^* = a - b \cdot i = |z| \angle -\varphi \quad (\text{provjeri geometrijski da to vrijedi})$$

$$\Rightarrow z \cdot z^* = (a + b \cdot i) \cdot (a - b \cdot i) = a^2 - (b \cdot i)^2 = a^2 + b^2 = |z|^2 \quad !$$

ZBRANJE/ODUZIMANJE kompleksnih brojeva:

$$z_1 \pm z_2 = (a_1 + b_1 \cdot i) \pm (a_2 + b_2 \cdot i) = (a_1 \pm a_2) + (b_1 \pm b_2) i$$

$\Rightarrow$ u PRAVOKUTNOM obliku ! (ako nisu mora ih se prebaciti)

$\rightarrow$ PAZITI NA PREDZNAKE I ZAGRADE !

MNOŽENJE/DJELJENJE kompleksnih brojeva:

$$z_1 \cdot z_2 = (|z_1| \angle \varphi_1) \cdot (|z_2| \angle \varphi_2) = (|z_1| \cdot |z_2|) \angle \varphi_1 + \varphi_2$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{|z_1| \angle \varphi_1}{|z_2| \angle \varphi_2} = \left(\frac{|z_1|}{|z_2|} \right) \angle \varphi_1 - \varphi_2$$

$\Rightarrow$ u POLARNOM obliku ! (ako nisu mora ih se pretvoriti)

Alternativno (ne preporučujem):

$$z_1 \cdot z_2 = (a_1 + b_1 \cdot i) \cdot (a_2 + b_2 \cdot i) = \dots = \underbrace{(\quad)}_{\text{Re}} + \underbrace{(\quad)}_{\text{Im}} \cdot i$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{z_1 \cdot z_2^*}{z_2 \cdot z_2^*} = \frac{(a_1 + b_1 \cdot i)(a_2 - b_2 \cdot i)}{|z_2|^2} = \dots = \frac{(\quad)}{|z_2|^2} + \frac{(\quad)}{|z_2|^2} \cdot i$$

izmnožiti zagrade, sjetiti se da $i^2 = -1$

Izmenična veličina kao kompleksni broj:

$A \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha_0)$ $\xleftrightarrow{\text{NAPON \& STRUJA}}$ $\left(\frac{A}{\sqrt{2}} \right) \angle \alpha_0$!

NAPON ili STRUJA NIJE JEDNAKO! EFEKTIVNA VRIJEDNOST!

(jer to nisu iste stvari, samo se jedna predstavlja drugom)

→ datke, DIREKTNO u POLARNI OBLIK!

→ kut može biti u $^\circ$ ili u rad (sa i bez π eksplicitno)

npr. $57^\circ = 57^\circ \cdot \frac{\pi \text{ rad}}{180^\circ} = 0.317 \cdot \pi \text{ rad} = 0.995 \text{ rad}$

podrazumijeva se kada piše „ π “, pa se može izostaviti, ali SAMO onda

AC krugovi:

- umjesto otpora: IMPEDANCIJA (Z) (kompleksni otpor)

$$\begin{aligned} \rightarrow Z_R &= R \angle 0^\circ && (\text{struja i napon U FAZI}) \\ \rightarrow Z_L &= \omega \cdot L \angle +90^\circ && (\text{struja KASNI za naponom}) \\ \rightarrow Z_C &= \frac{1}{\omega \cdot C} \angle -90^\circ && (\text{struja RANI za naponom}) \end{aligned}$$

→ pravila (formule) za serijski i paralelni spoj

ISTA kao u DC krugovima!

- Ohmov zakon - ISTI: $\boxed{1 = \frac{U}{Z}}$

- Kirchhoffovi zakoni - ISTI: 1) $\sum_n I_n = 0$, za svaki čvor
2) $\sum_n U_n = 0$, za svaku petlju

- Snaga: $S = U \cdot I^*$ ← bitno! $= \frac{U \cdot U^*}{Z^*} = \frac{|U|^2}{|Z|} \angle \varphi_s$
 $= |S| \angle \varphi_s$
 $= \bar{P} + Q \cdot i$
 $= I \cdot I^* \cdot Z = |I|^2 \cdot |Z| \angle \varphi_z$

PRIVIDNA
SNAGA
[V·A]

PROSJEČNA
REALNA
(AKTIVNA)
SNAGA
[W]

JALOVA
(REAKTIVNA)
SNAGA
[VAR]

$\varphi_s = \varphi_z$!

→ FAKTOR SNAGE: $\frac{P}{|S|} = \cos(\varphi_s)$

→ kompenzacija faktora snage - dodavanje kondenzatora (ili zavojnice) da bi se povećao faktor snage tj. smanjio udio JALOVE snage (koja opterećuje sustav, a ne radi koristan rad)...

→ najčešće kondenzator paralelno cijeloj mreži...

Rezonancija - frekvencija za koju je $\text{Im}(Z_{uk}) = 0$,

datle za koju je impedancija, a time i snaga, potpuno realna !

↳ pronalazi se tako da se pišava jednačina:

$$\text{Im}(Z_{uk}) = 0, \text{ s } \omega \text{ kao nepoznanicom !}$$

KORACI: 1) Napisati IZRAZ za Z_{uk} , s ω kao nepoznanicom

2) Razdvojiti na realni i imaginarni dio

3) Imaginarni dio izjednačiti s 0

4) Rješiti jednačinu za ω