

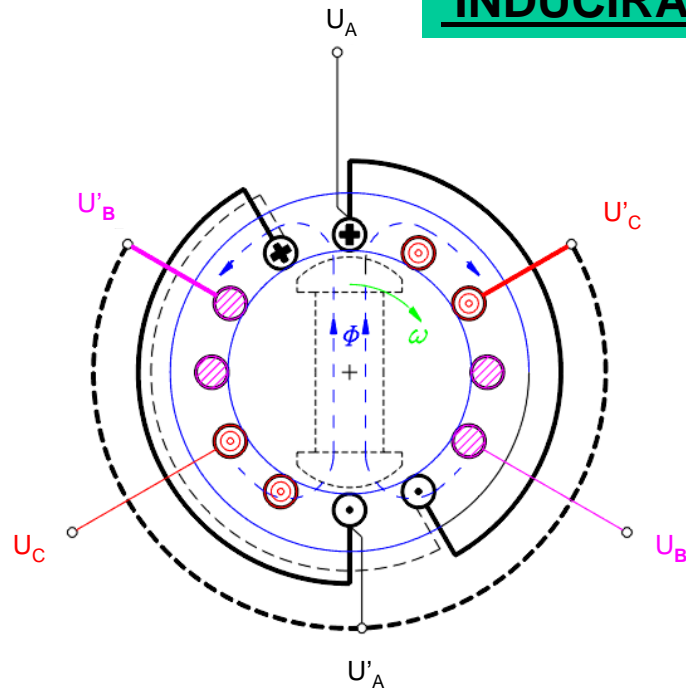
SINKRONI STROJEVI

generatori od najmanjih do najvećih snaga

motori za snage reda MW i više (dobar η , vrtnja definirana f mreže i brojem pari polova)

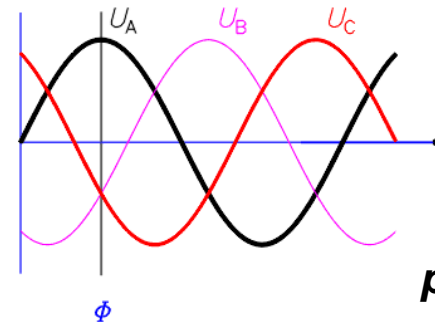
generatori i motori - jednake izvedbe - razlika u smjeru struje

INDUCIRANJE TROFAZNOG NAPONA



namoti spojeni u Y

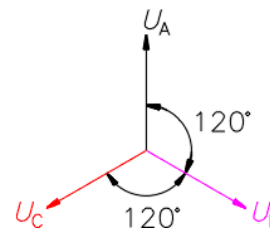
frekvencija induciranog napona (f u Hz)



$$f = \frac{p \cdot n_s}{60} \quad (\text{Hz})$$

p - broj pari polova rotora

n_s - brzina vrtnje rotora o/min



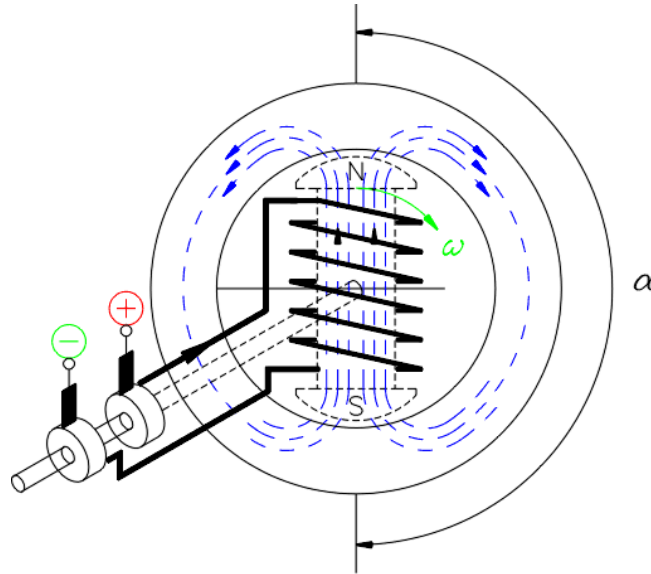
za 50Hz i dvoplani rotor
3000 okretaja u minuti

vrtnja magneta rotora generatora \Rightarrow višefazni napon u namotima statora generatora

višefazni napon na namote statora motora \Rightarrow okretno magnetno polje

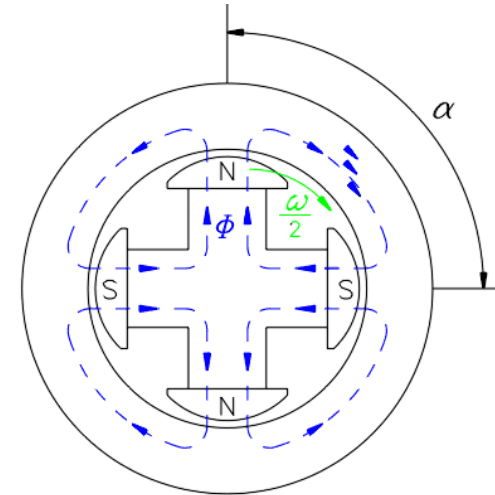
jednake izvedbe statora \Rightarrow brzina vrtnje mag. polja motora = brzini vrtnje magneta generatora

jednake izvedbe statora i rotora \Rightarrow jednake brzine vrtnje rotora generatora i motora



$$\alpha = \pi_{el.} = \pi_{geom.}$$

2-polna izvedba



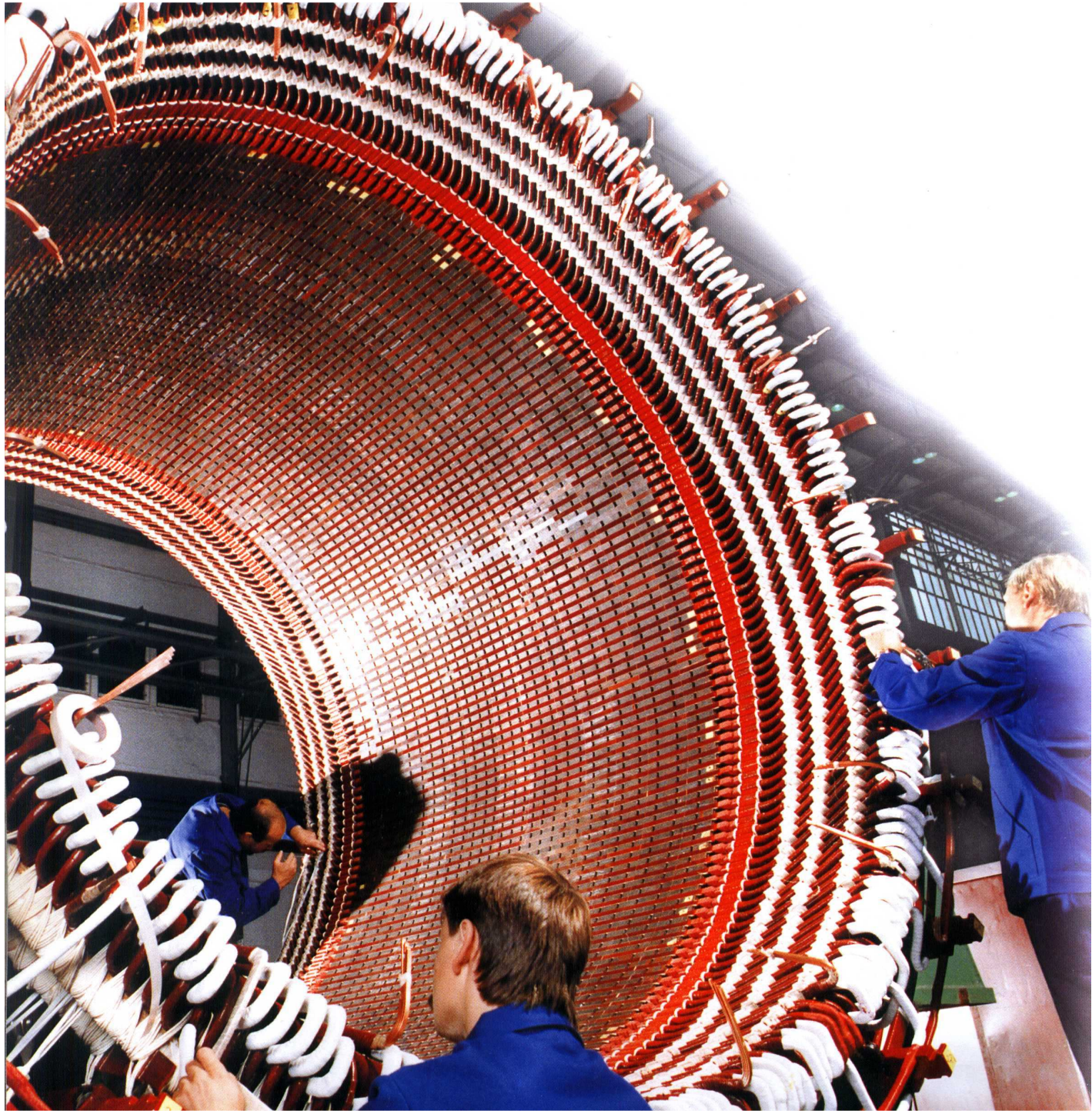
$$\alpha = \pi_{el.} = \frac{\pi}{2} \text{ geom.}$$

4-polna izvedba

broj pari polova	2	4	6	8	10	12	24
broj okretaja (za 50Hz)	3000	1500	1000	750	600	500	250

trurbogeneratori - 2 (4) pola (mali promjer - horizontalni rotori)

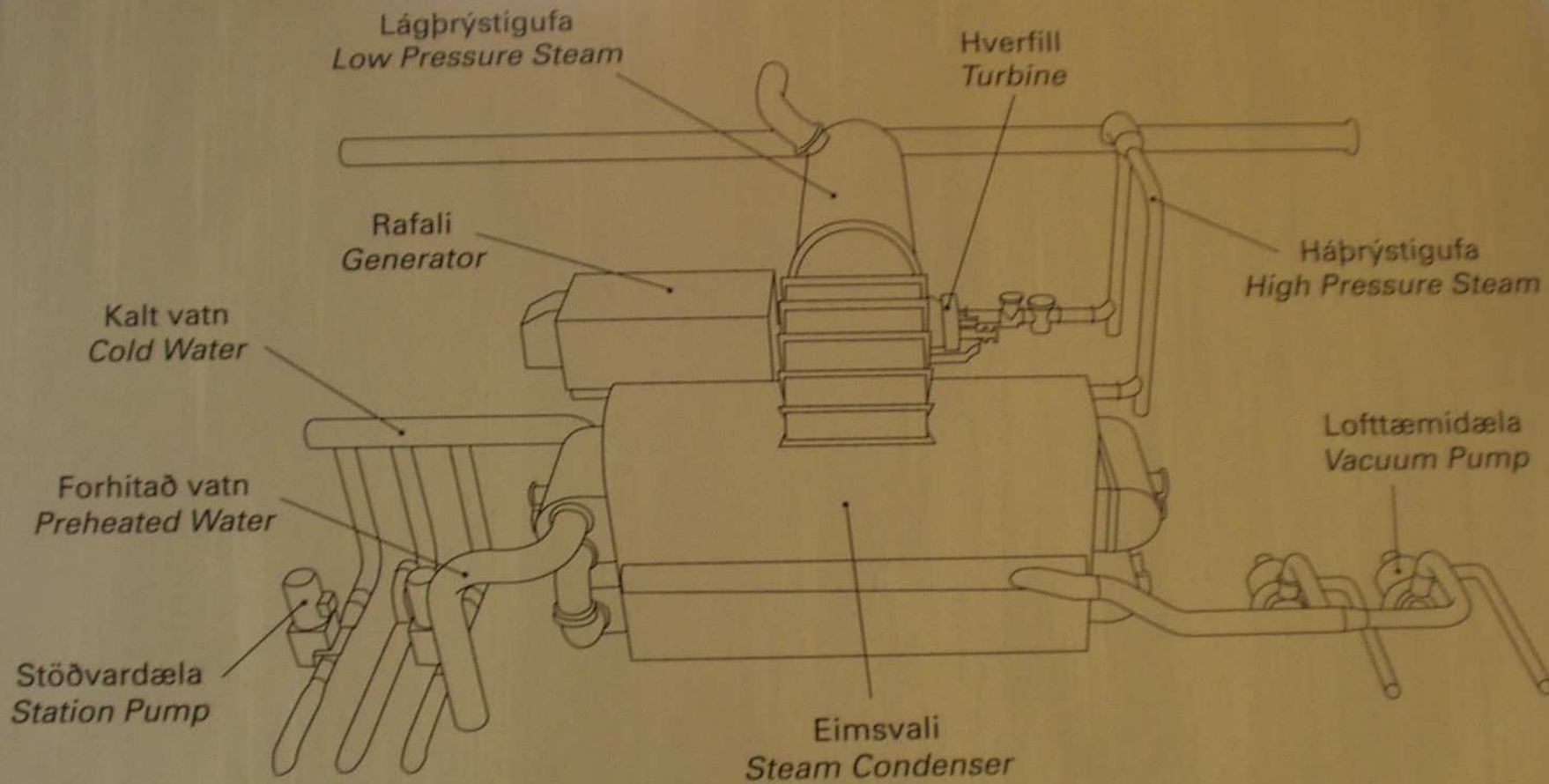
hidrogeneratori 24 i više polova (promjer 10 i više metara - vertikalni rotori)



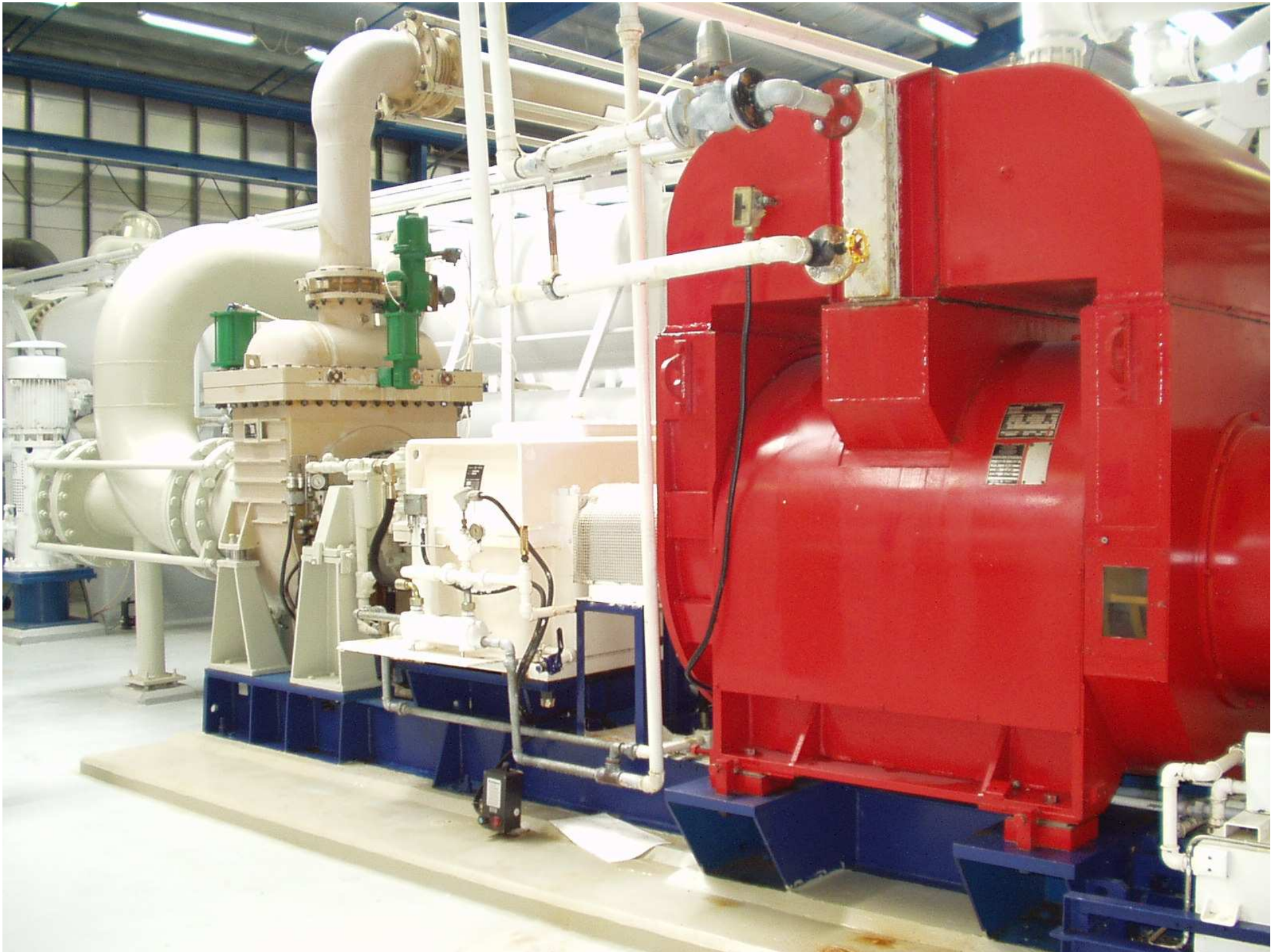




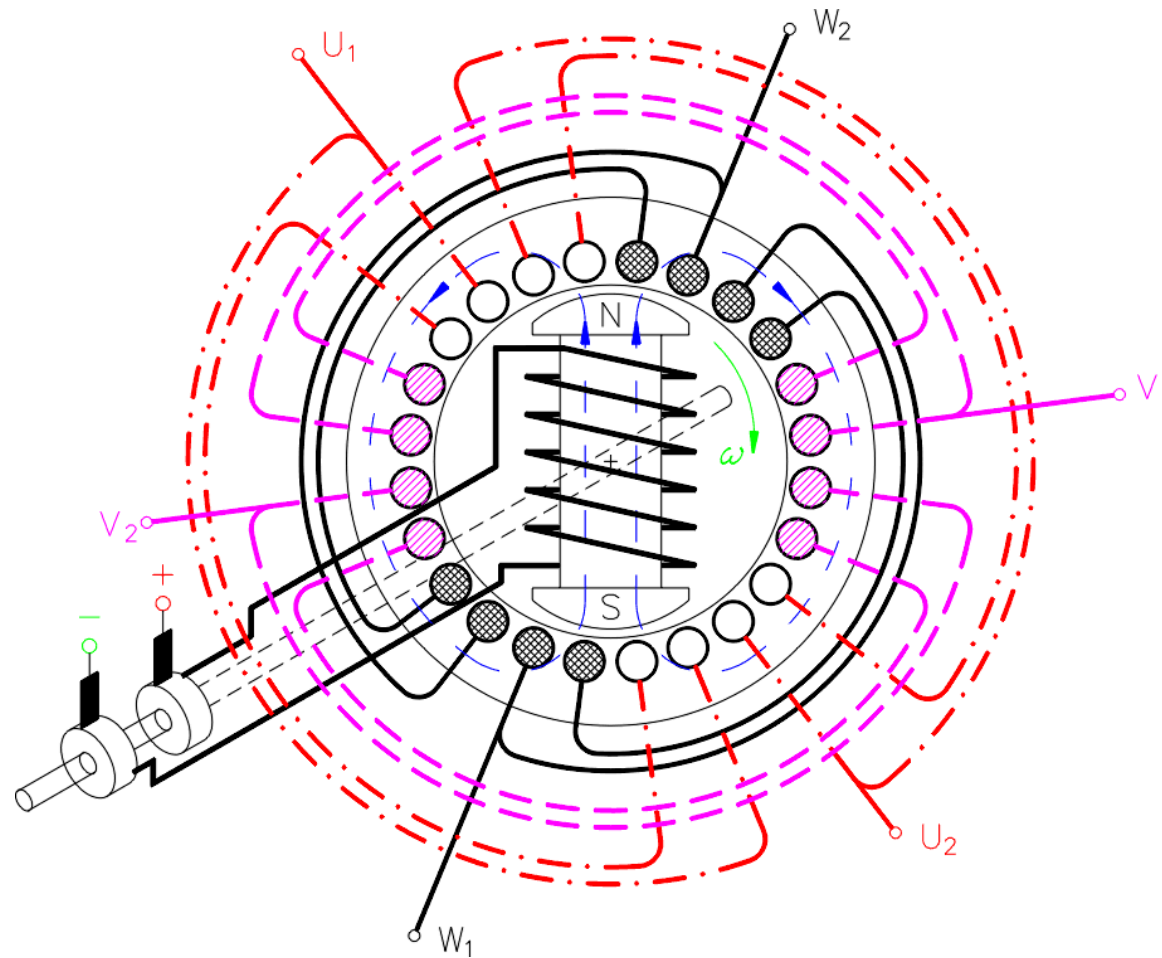






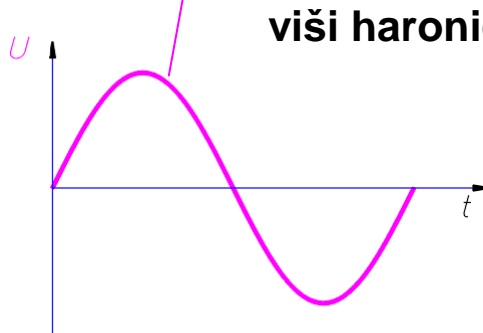
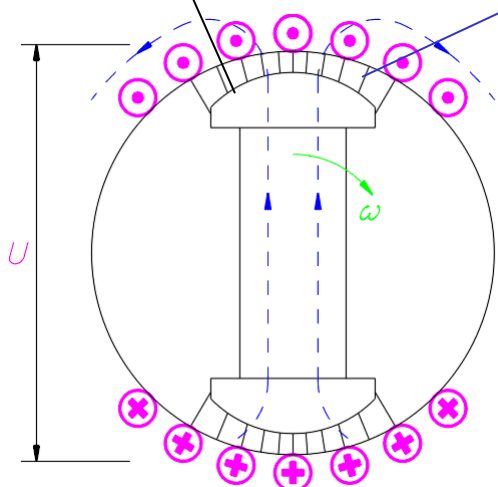


- izvedba sinkronog stroja
- stator identičan statoru asinkronog stroja
 - rotor se napaja preko kliznih prstenova



Induciranje sinusnog oblika napona

oblik kotve \Rightarrow nehomogeno polje \Rightarrow sinusni oblik generiranog napona

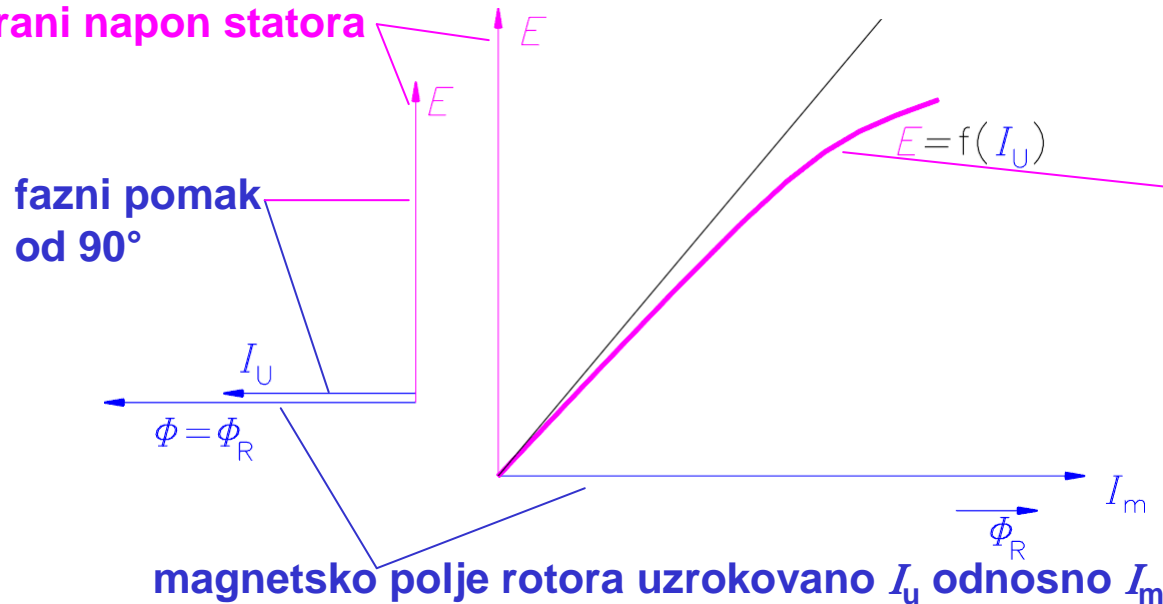


viši harmonici (3. 5. itd) \Rightarrow povećano zagrijavanje

posebno važno za generatore
jer napajaju više trošila
(elektrodistribucija)

Induciranje napona uz stalnu brzinu vrtnje rotora

inducirani napon statora

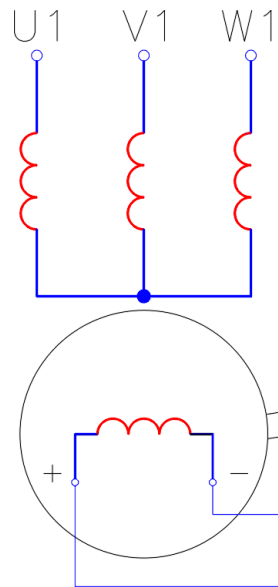


fazni pomak
od 90°

nelinearnost
ovisnosti E o Φ_R
uzrokovana
zasićenjem
magnetske jezgre

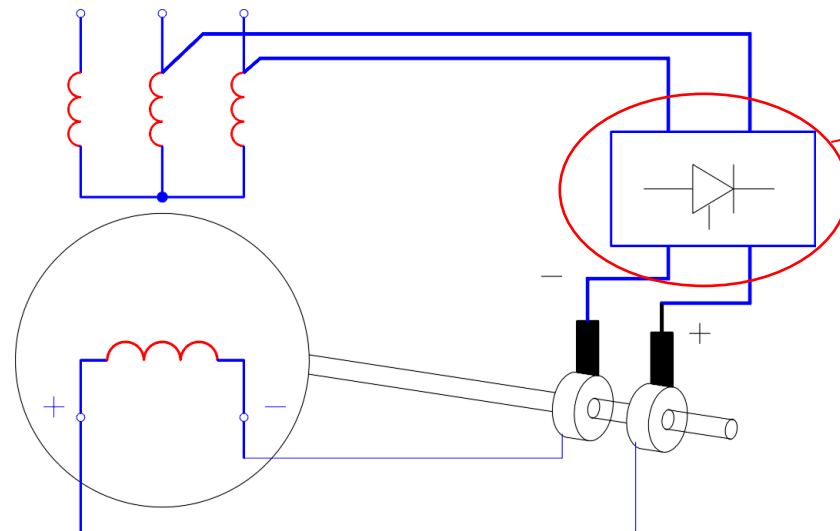
magnetsko polje rotora uzrokovano I_u odnosno I_m

UZBUDA SINKRONIH STROJEVA



napajanje rotora istosmjernom strujom

istosmjernim generatorom
zajednička osovina rotora



pomoću reguliranog ispravljača

potrebno dobro filtriranje

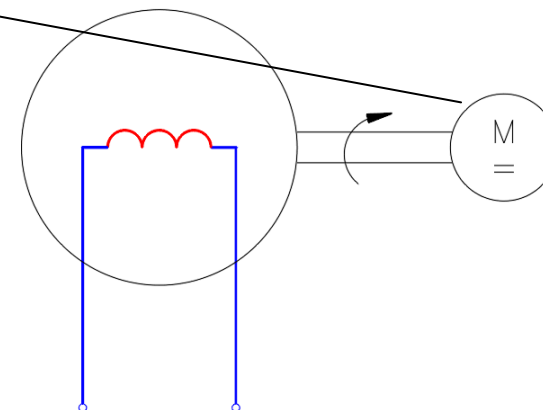
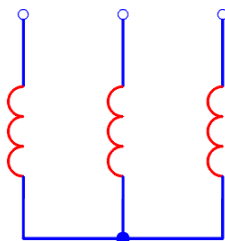
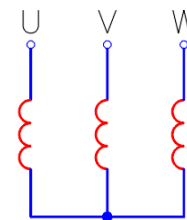
početna uzbuda remanentni
magnetizam jezgre ili
permanenti magnet

uobičajenije

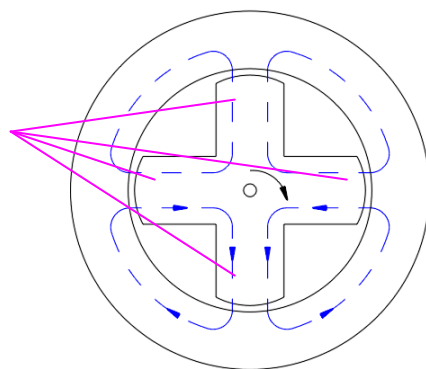
POKRETANJE I SINKRONIZACIJA

sinkronizacija na mrežu, uključivanje uzbude (motori)
uzbuda, sinkronizacija, priključivanje na mrežu (generatori)

pokretanje rotora istosmjernim motorom



istaknuti magnetni polovi rotora

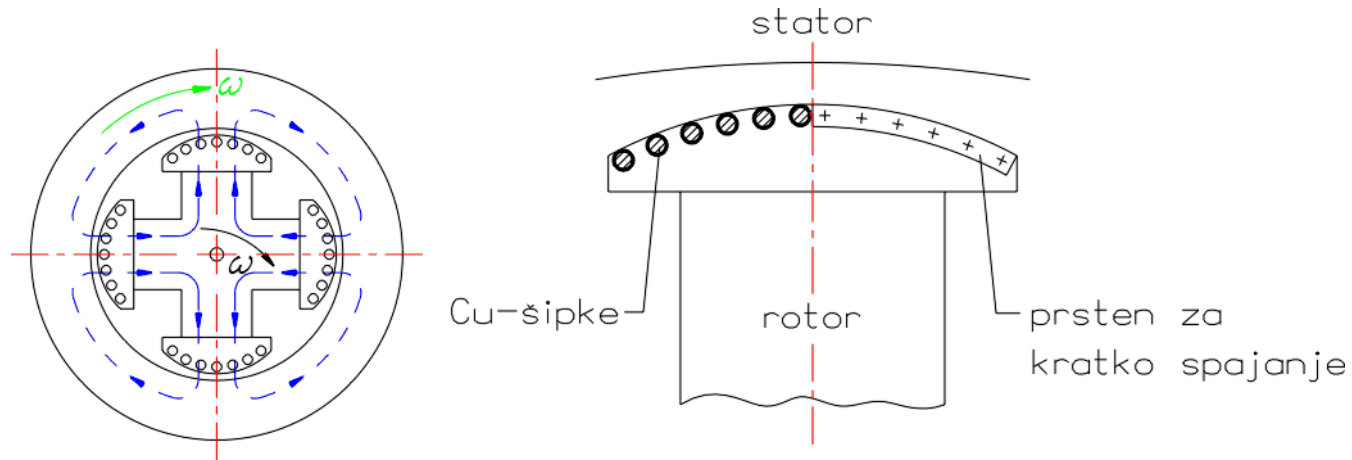


zatvaranje magnetnog kruga kroz magnetnu jezgru najkraćim silnicama ⇒ rotiranje rotora (sila elektromagneta)

sila može biti nedostatna zbog velike brzine vrtnje magnetnog polja i inercije rotora

SINKRONI MOTORI

pokretanje rotora kao kod kaveznog asinkronog motora



efikasan moment pri početku pokretanja do blizine sinkrone vrtnje

u blizini sinkrone vrtnje magnetske sile dovode u sinkronizam

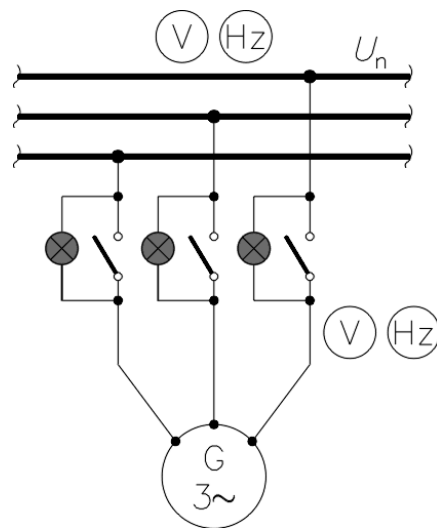
prazni hod do sinkronizma a onda priključenje uzbude, tek tada opterećenje

SINKRONI GENERATORI

jednak U + jednak redosljed faza + jednaka f + jednak φ = sinkronizam

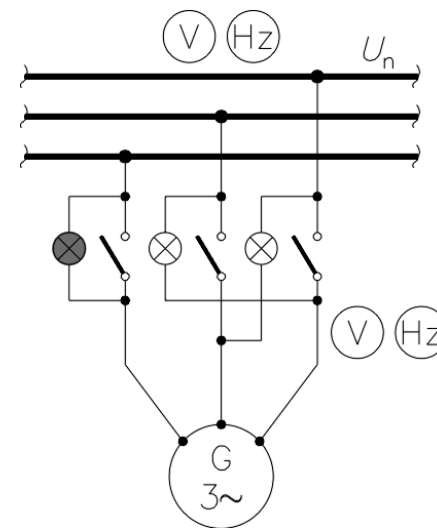
sinkronizam \Rightarrow priključivanje na mrežu

sinkronizacija
generatora
na "tamno"

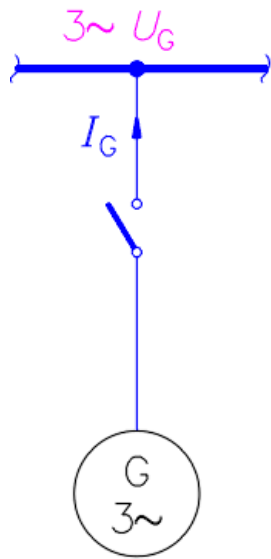


● tama
⊗ svjetlo

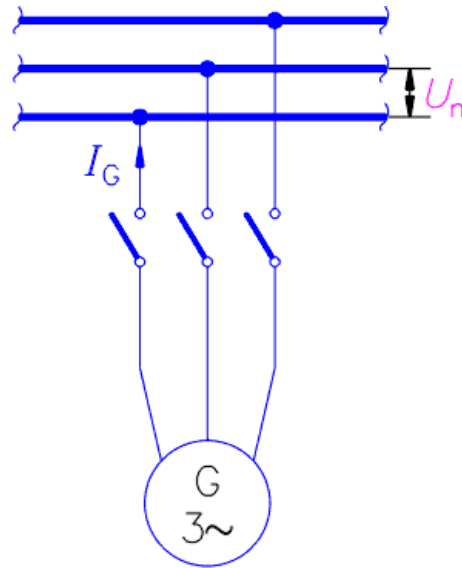
sinkronizacija
generatora
na "svjetlo"



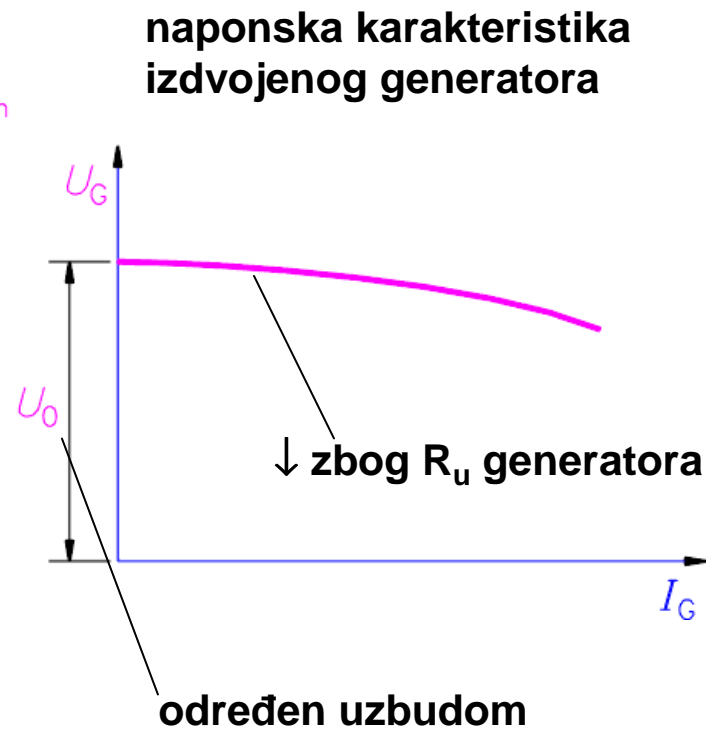
SINKRONI GENERATORI



jednopolni prikaz

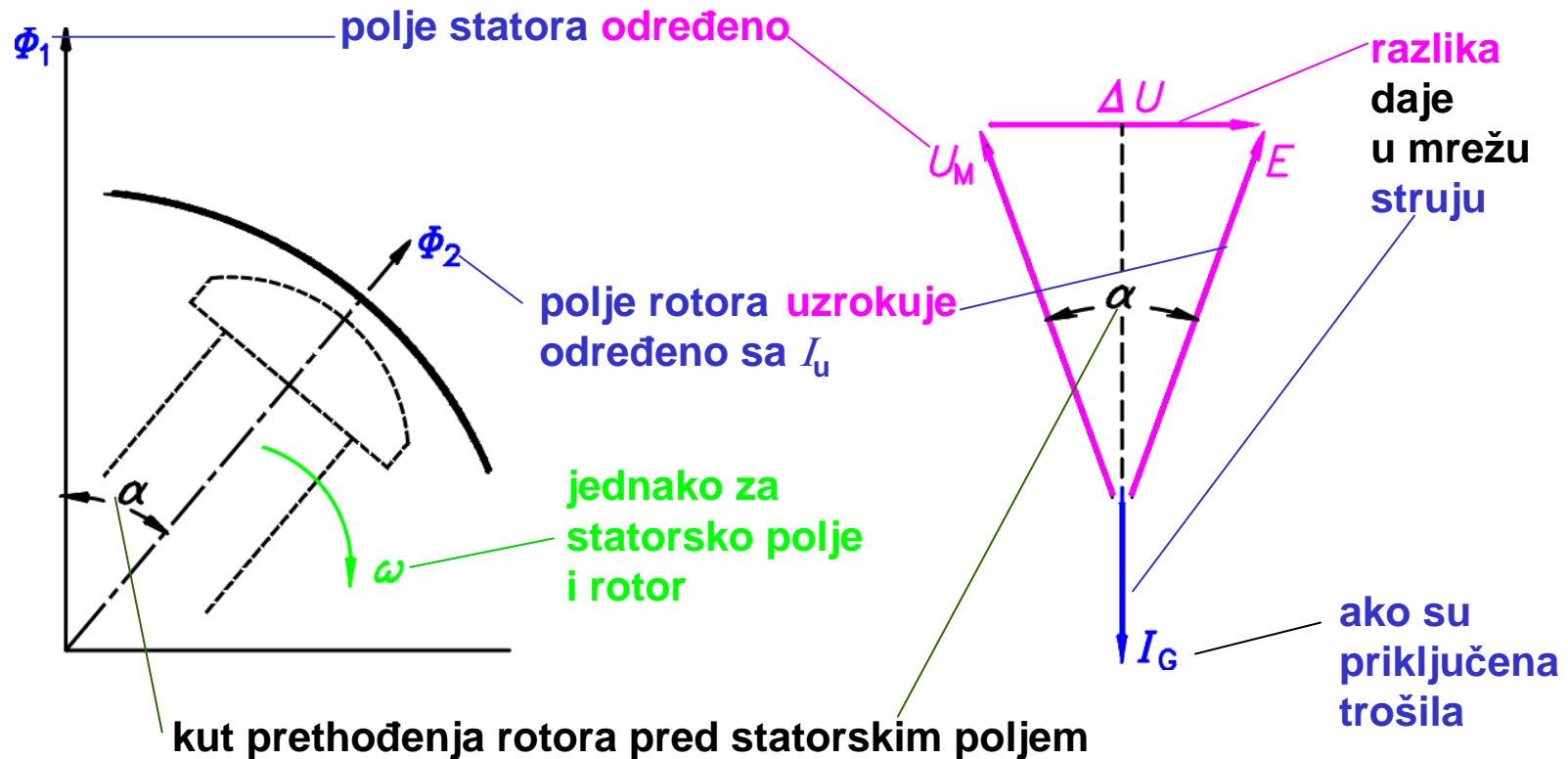


tropolni prikaz

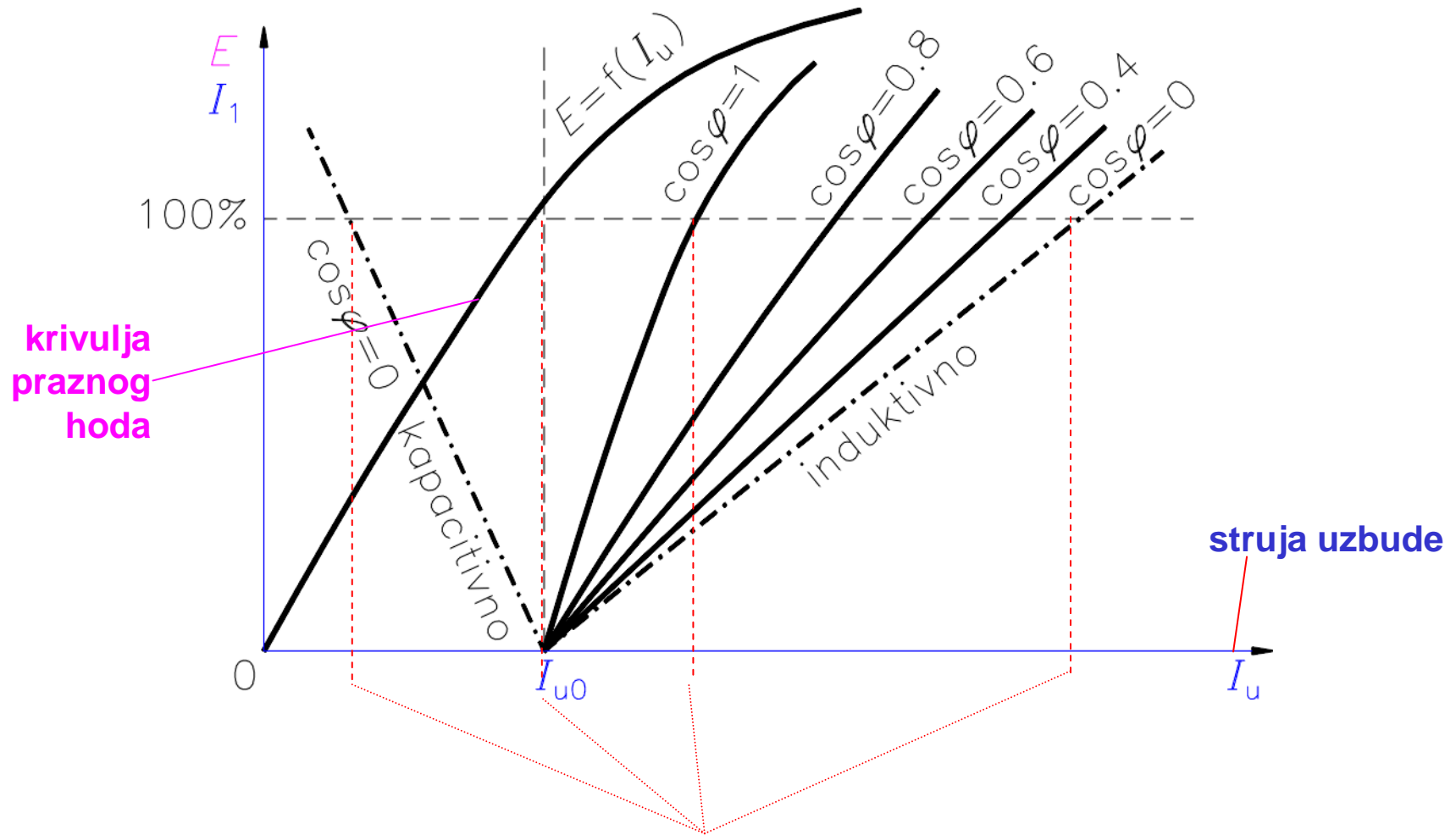


Opterećivanje paralelno spojenih generatora

1. $\uparrow I_u$ postizemo $U_0 = U_M$
2. sinkroniziramo generator na mrežu
3. priključimo generator na mrežu - nema struje u mrežu
4. "nategnemo" rotor - struja poteče u mrežu ("trošimo" moment)



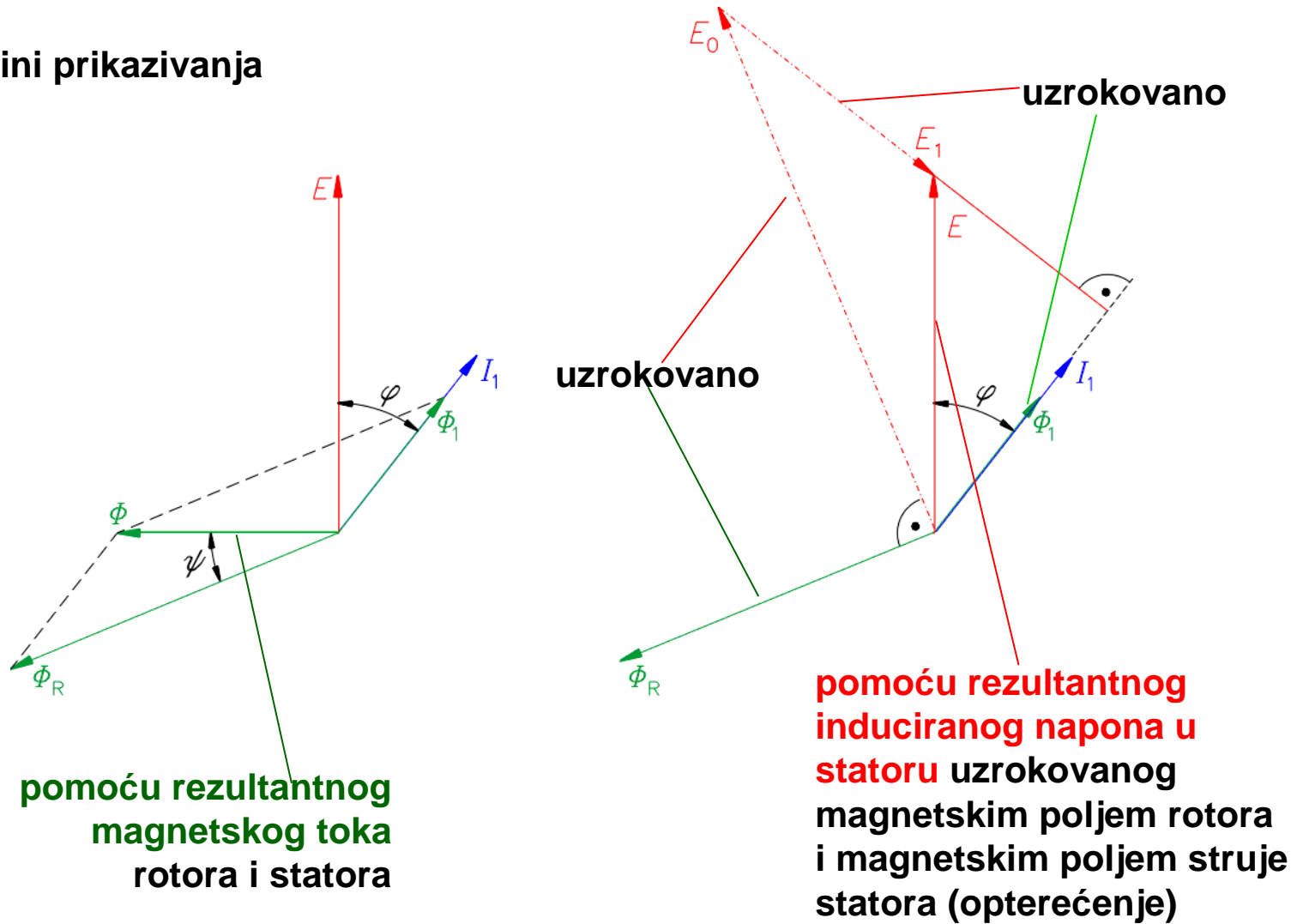
uzbuda u odnosu na prazni hod i opterećenje



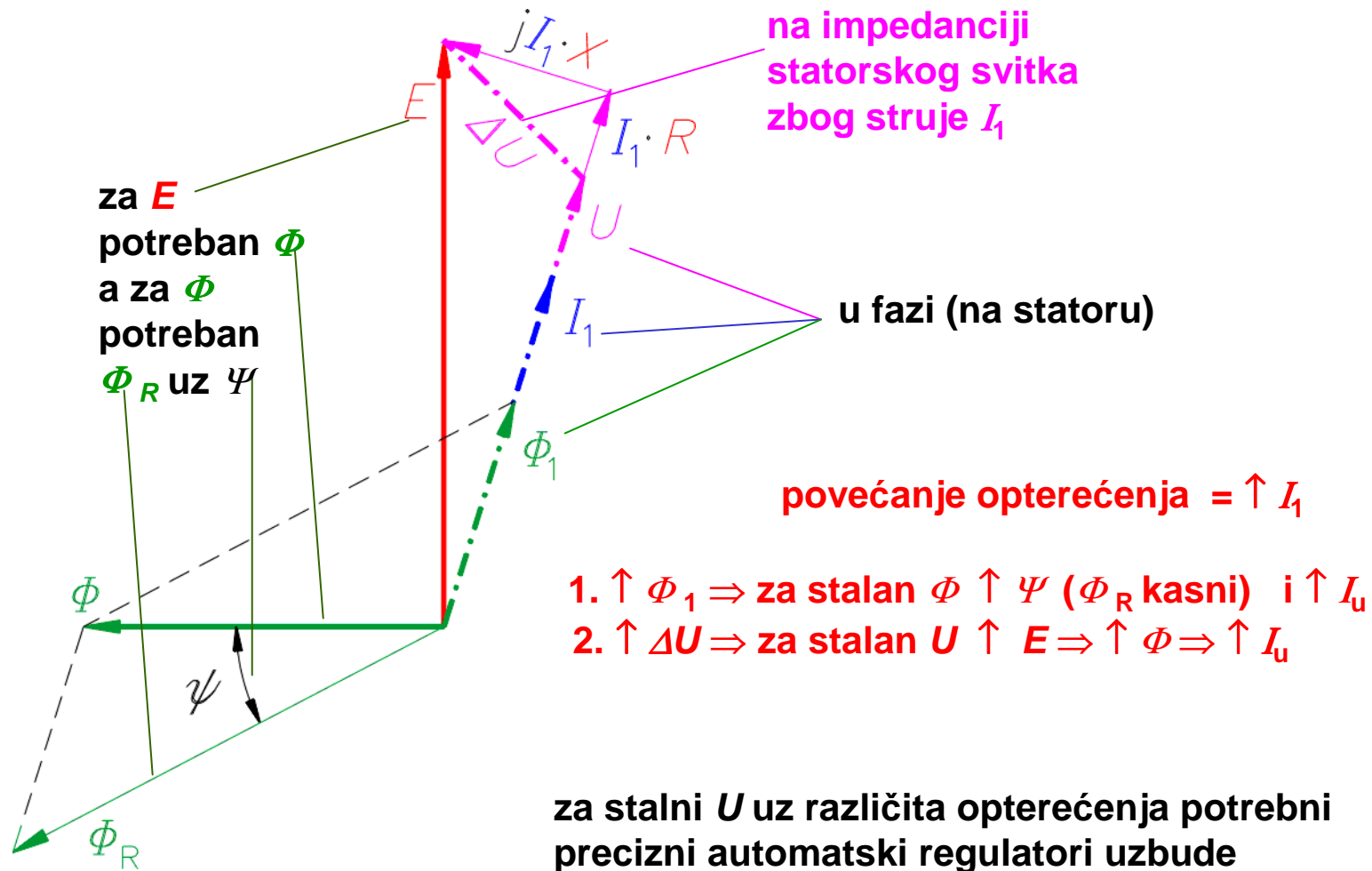
vrijednosti uzbude potrebne za različite vrste opterećenja

Kazalični prikazi opterećenja generatora

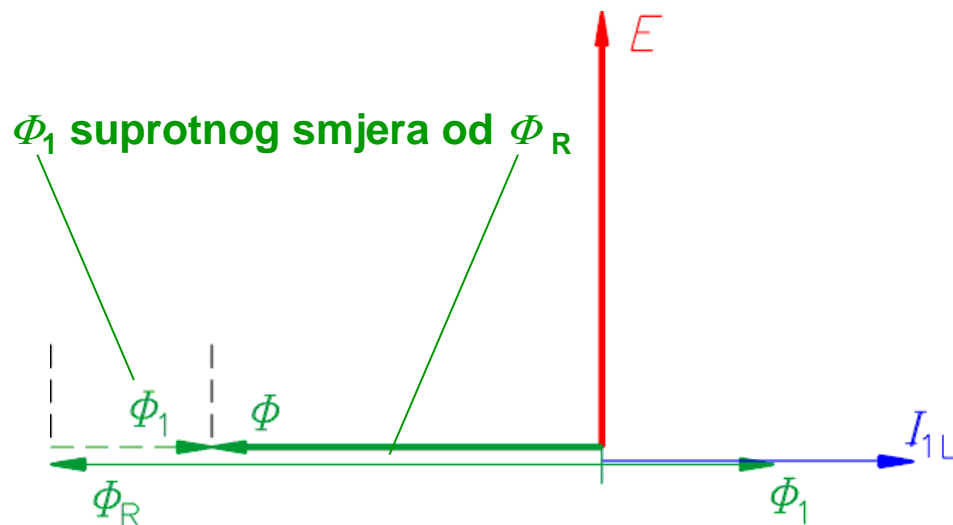
načini prikazivanja



opterećenje samo sa R ($\cos\varphi = 1$) snaga u kVA \approx kW



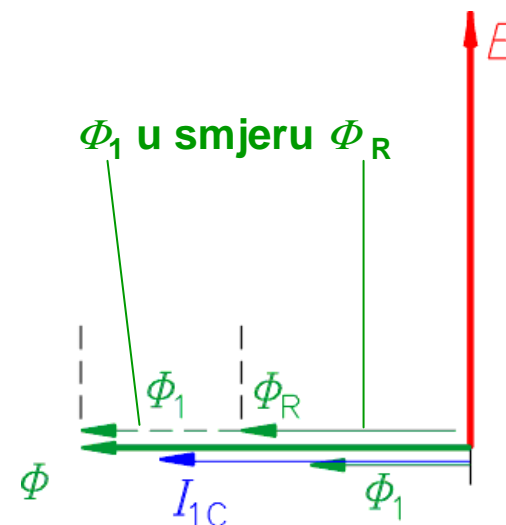
opterećenje samo sa L ($\cos \varphi = 0$)



nije potreban dodatni moment (nema Ψ) rotor bez kuta prethođenja

povećanje uzbude \Rightarrow induktivna struja
(preuzbuđen generator)

opterećenje samo sa C ($\cos \varphi = 0$)

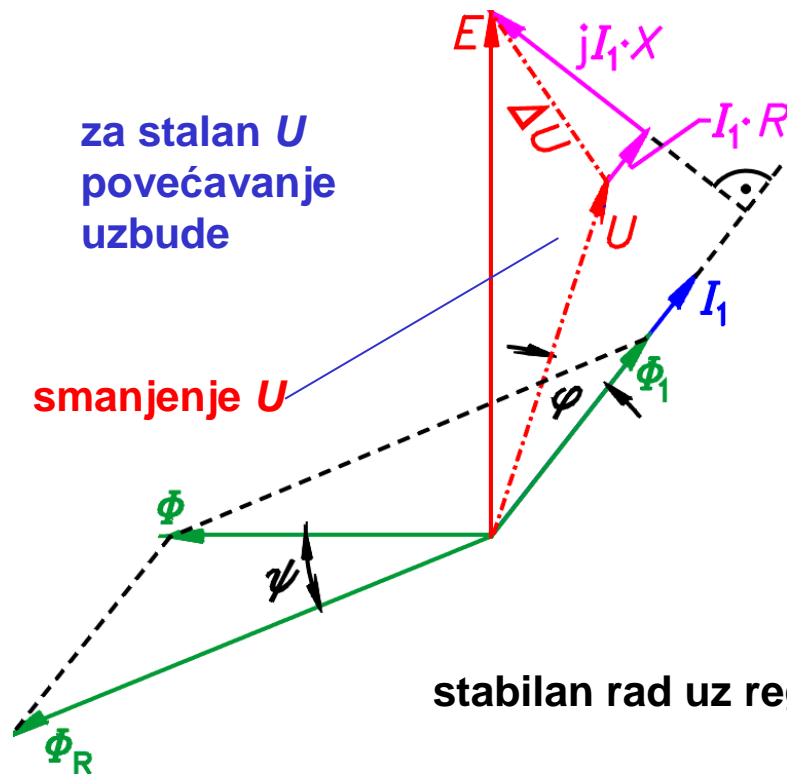


smanjenje uzbudne \Rightarrow kapacitivna struja
(poduzbuđen generator)

kompensatori - sinkroni generatori za proizvodnju jalove energije

veliko kapacitivno opterećenje \Rightarrow
nije potrebna uzbuda - samouzbuđni generatori
(uz napon induciran remanentnim magnetizmom)

opterećenje induktivnom impedancijom



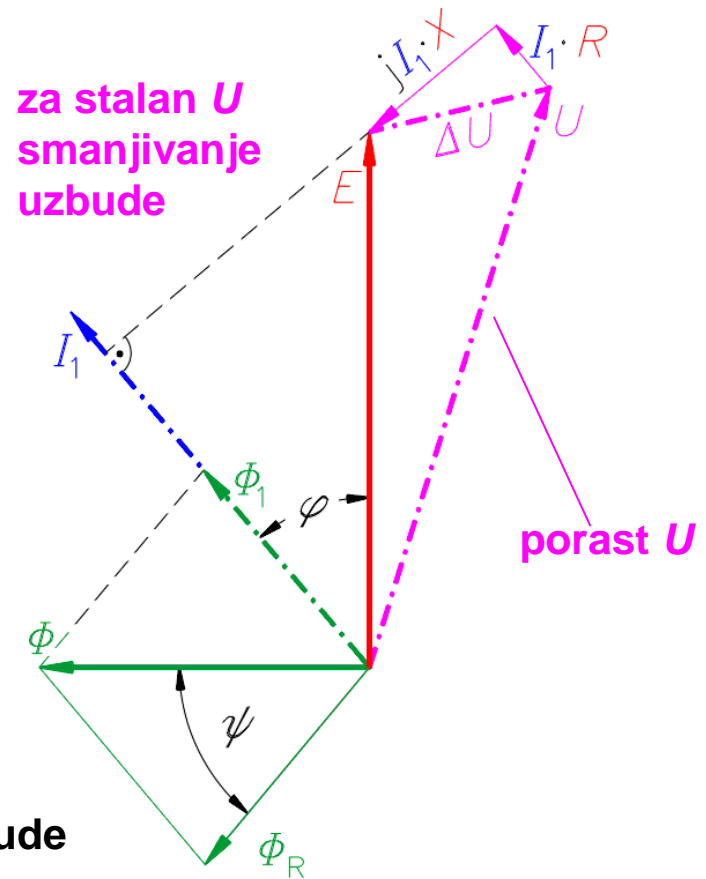
za stalan U
povećavanje
uzbude

smanjenje U

stabilan rad uz regulaciju uzbude

standardan način rada
elektroenergetskih mreža
uz $\cos \varphi = 0,85 - 0,95$

opterećenje kapacitivnom impedancijom



za stalan U
smanjivanje
uzbude

porast U

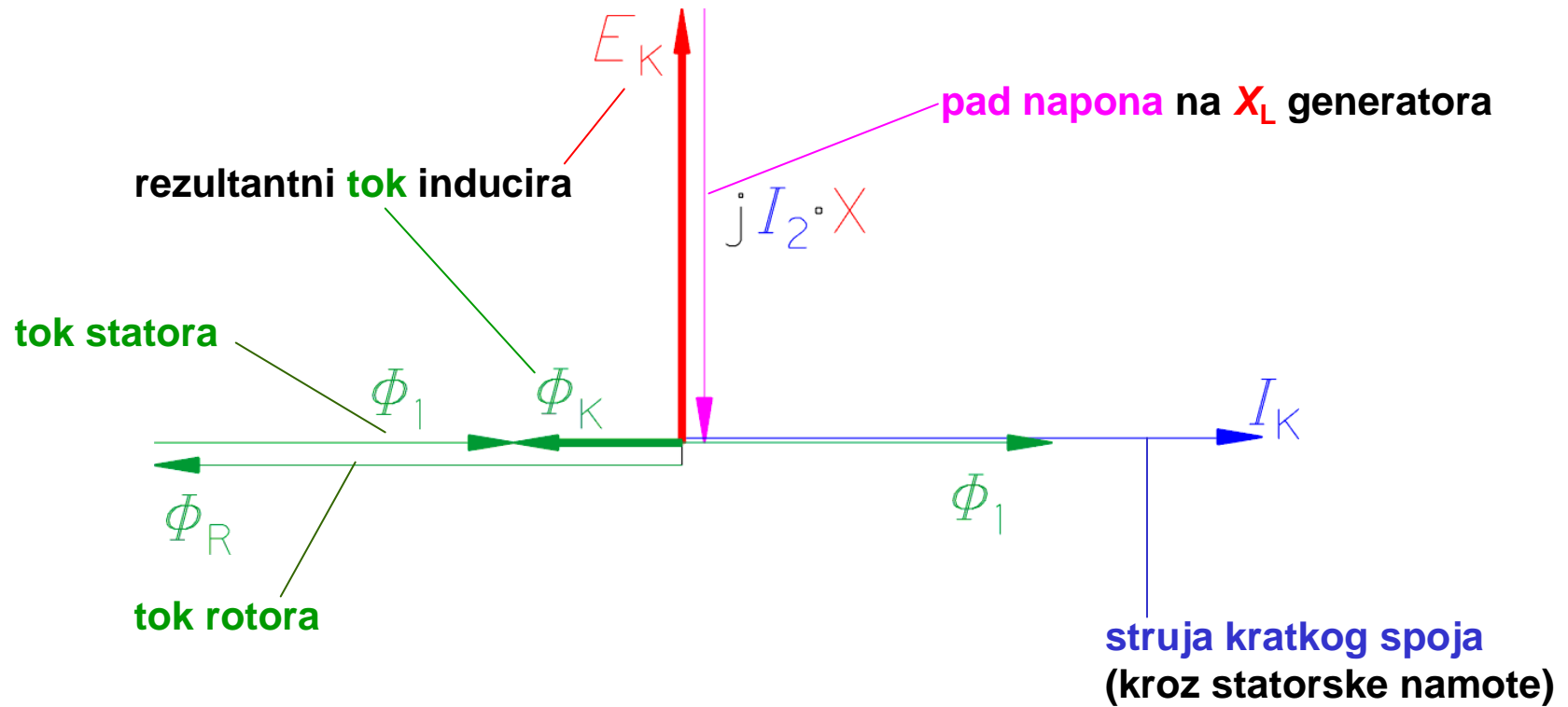
lako može izazvati oscilacije mreže
i raspad cijelog elektroenergetskog sustava

koristi se samo kod
samouzbudnih generatora

za dimenzioniranje generatora važna snaga u kVA

generator u kratkom spoju

Z generatora $\approx X_L$ generatora $\Rightarrow I_K \approx$ induktivna \Rightarrow KS odgovara čistom L opterećenju



Paralelni rad generatora

uvjeti

jednaki nazivni naponi

jednake frekvencije

jednak broj faza

jednak fazni pomak

jednak redoslijed faza

isti smjer vrtnje magnetskog polja

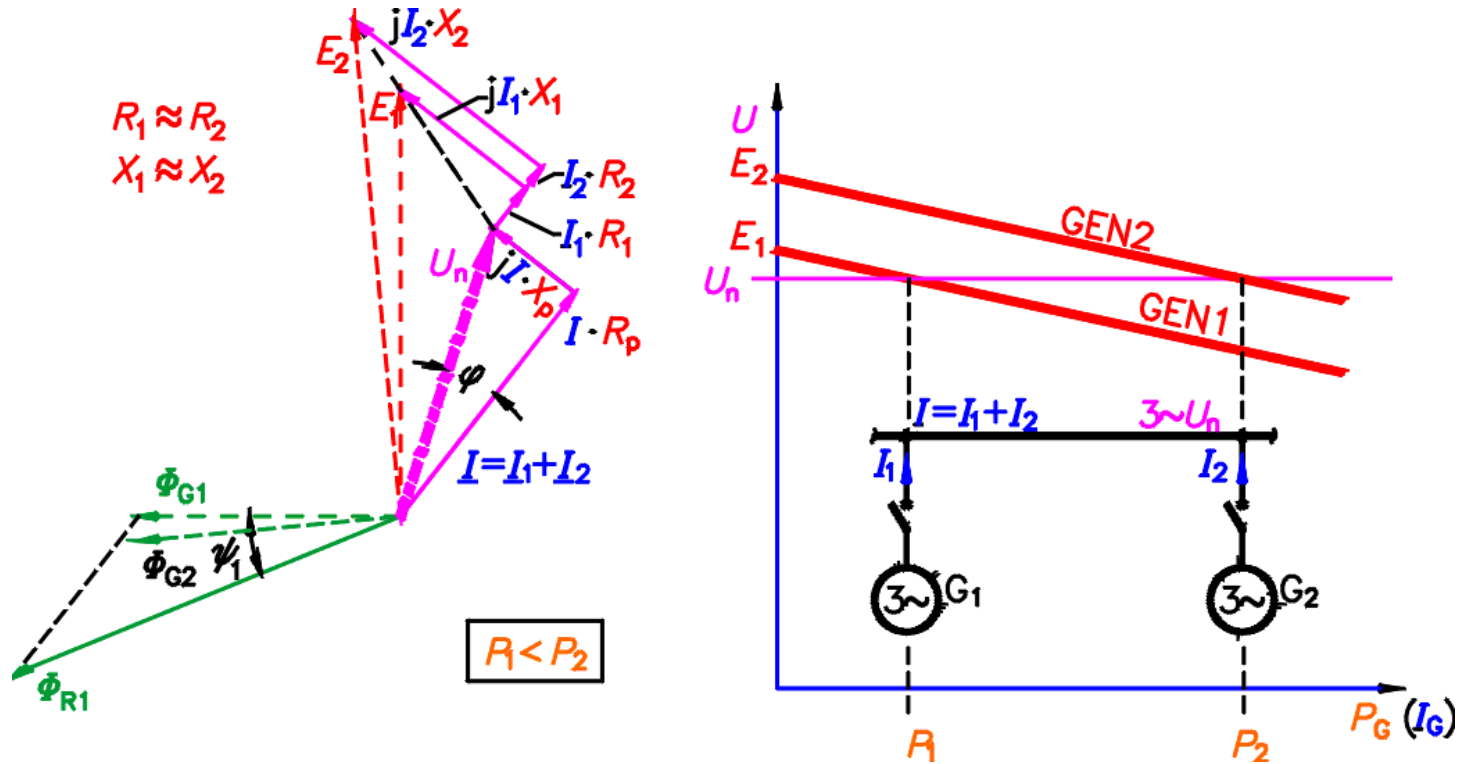
= mogućnost sinkronizacije

podjednake karakteristike opterećenja

podjednake snage (za izrazito \neq snage - prilagođene unutrašnje Z)

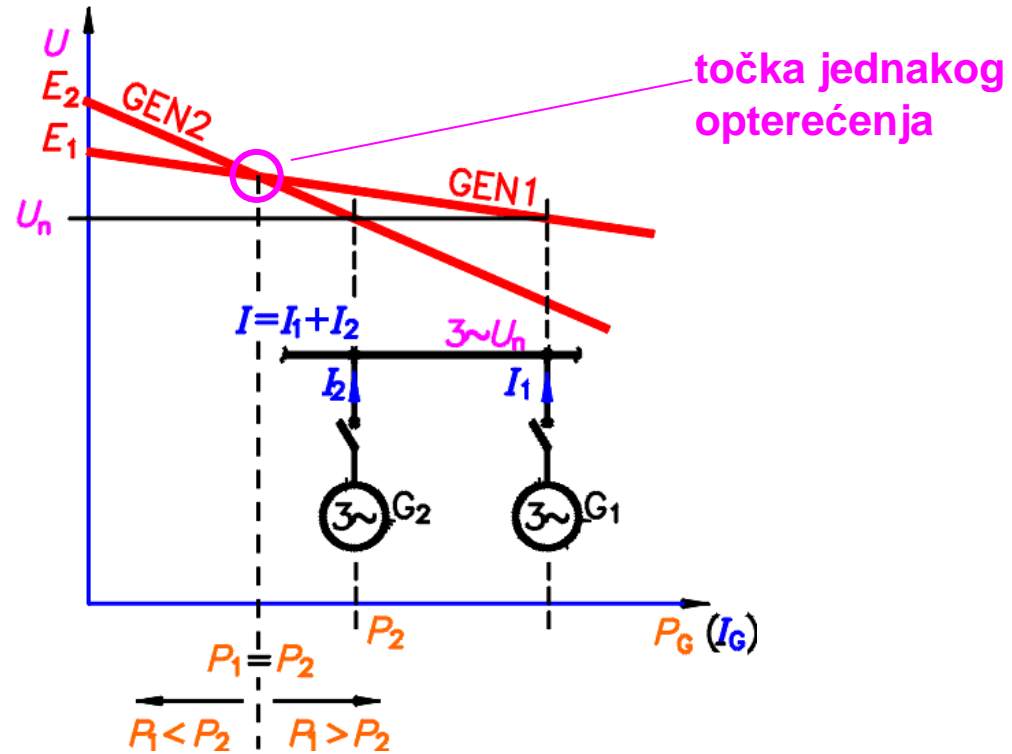
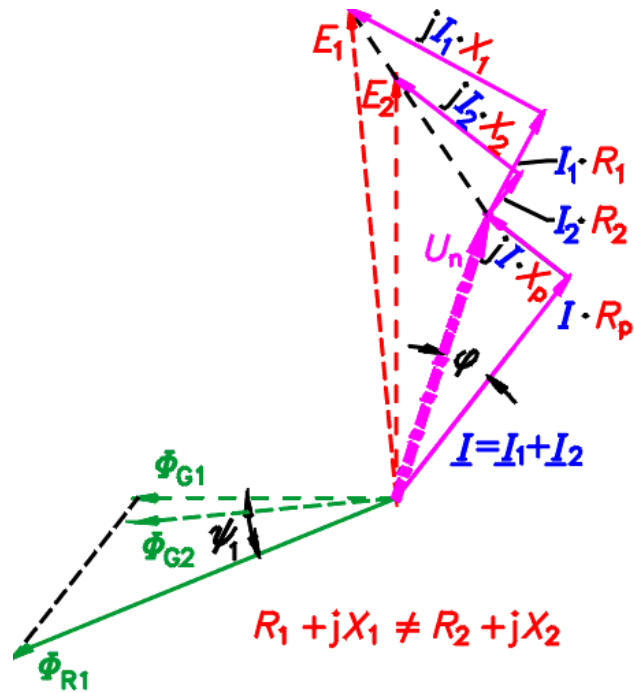
opterećenje proporcionalno snagama generatora
zbog toga naponi kratkog spoja moraju biti obrnuto proporcionalni snagama

podjednake impedancije \Rightarrow paralelne karakteristike



opterećenje ovisi o (induciranom) naponu praznog hoda
 nazivni naponi su im jednaki
 snaga $G_1 <$ snage G_2 za usklađen raspored opterećenja

izrazito različite impedancije \Rightarrow karakteristike se sijeku



padovi napona na Z_u nisu proporcionalni opterećenju $Z_u G_1 < Z_u G_2$

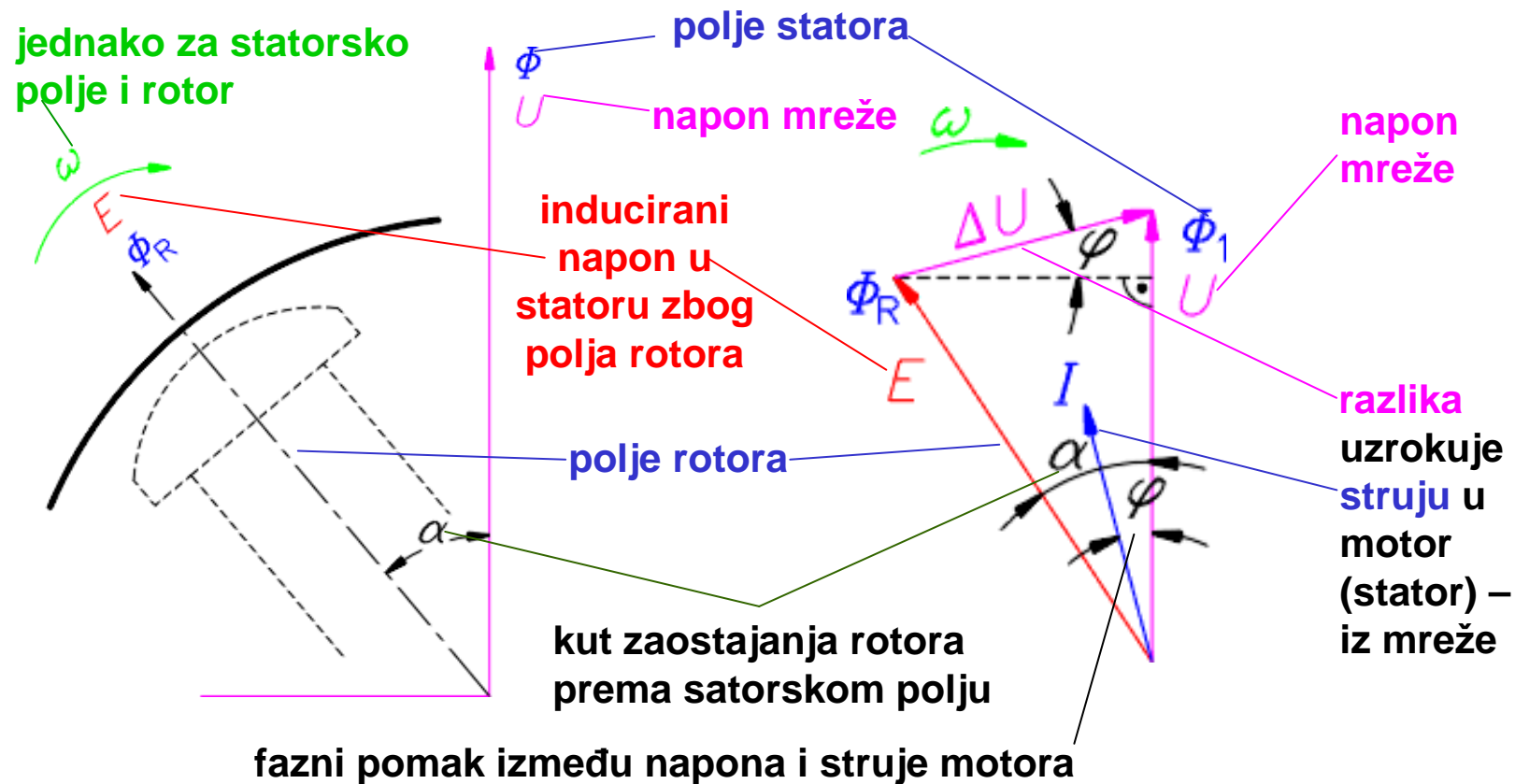
promjenom napona praznog hoda (I_{uz}) pomicanje presjecišta karakteristika \Rightarrow prilagođavanje opterećenja nazivnim snagama generatora

SINKRONI MOTORI

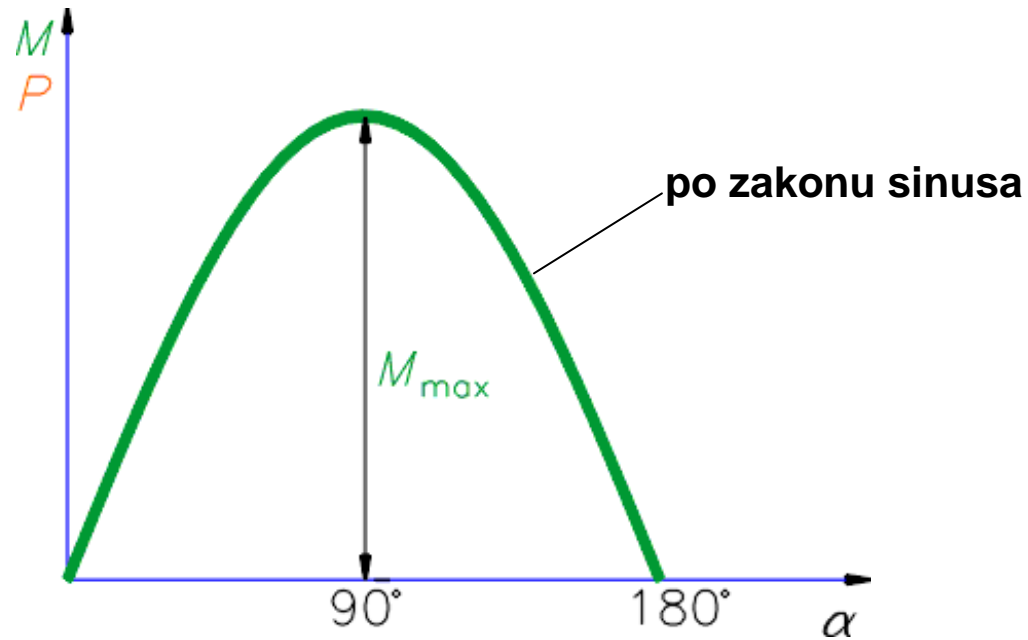
konstruktivno jednaki generatorima - motori uzimaju a generatori daju struju u mrežu

1. sinkroniziramo stroj na mrežu
2. uključimo uzбудu
3. opteretimo rotor - struja poteče iz mreže (dobivamo moment)

Opterećivanje motora



Moment motora



$\uparrow \alpha \Rightarrow \uparrow \Delta U \Rightarrow \uparrow I$ motora \Rightarrow
 \uparrow snaga (P) i moment (M) -
za $\alpha < 90^\circ$

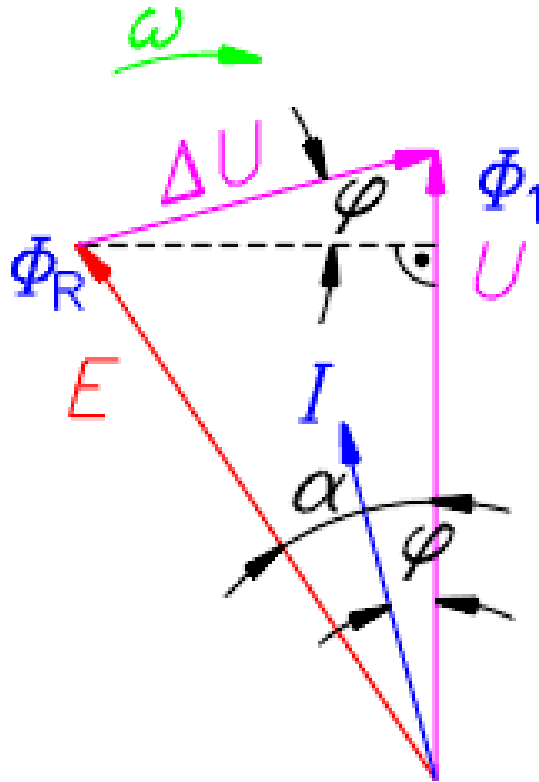
za $\alpha > 90^\circ$ snaga (P) i
moment (M) $\downarrow \Rightarrow$
ispadanje iz sinkronizma

isključivanje napona
mreže ili oštećenje

nije dozvoljeno mehaničko preopterećenje

naponski odnosi opterećenog motora

ΔU prethodi I za 90° (potpuno induktivna struja)



$$\Delta U \cdot \cos \varphi = I \cdot X_L \cdot \cos \varphi = E \cdot \sin \alpha$$

X_L - induktivitet namota motora

$$I \cos \varphi = \frac{E}{X_L} \cdot \sin \alpha$$

snaga motora je

$$P_M = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

odnosno
$$P_M = \sqrt{3} \frac{U \cdot E}{X_L} \cdot \sin \alpha$$

te je P_M maksimalno pri $\sin \alpha = 1$ (90°)

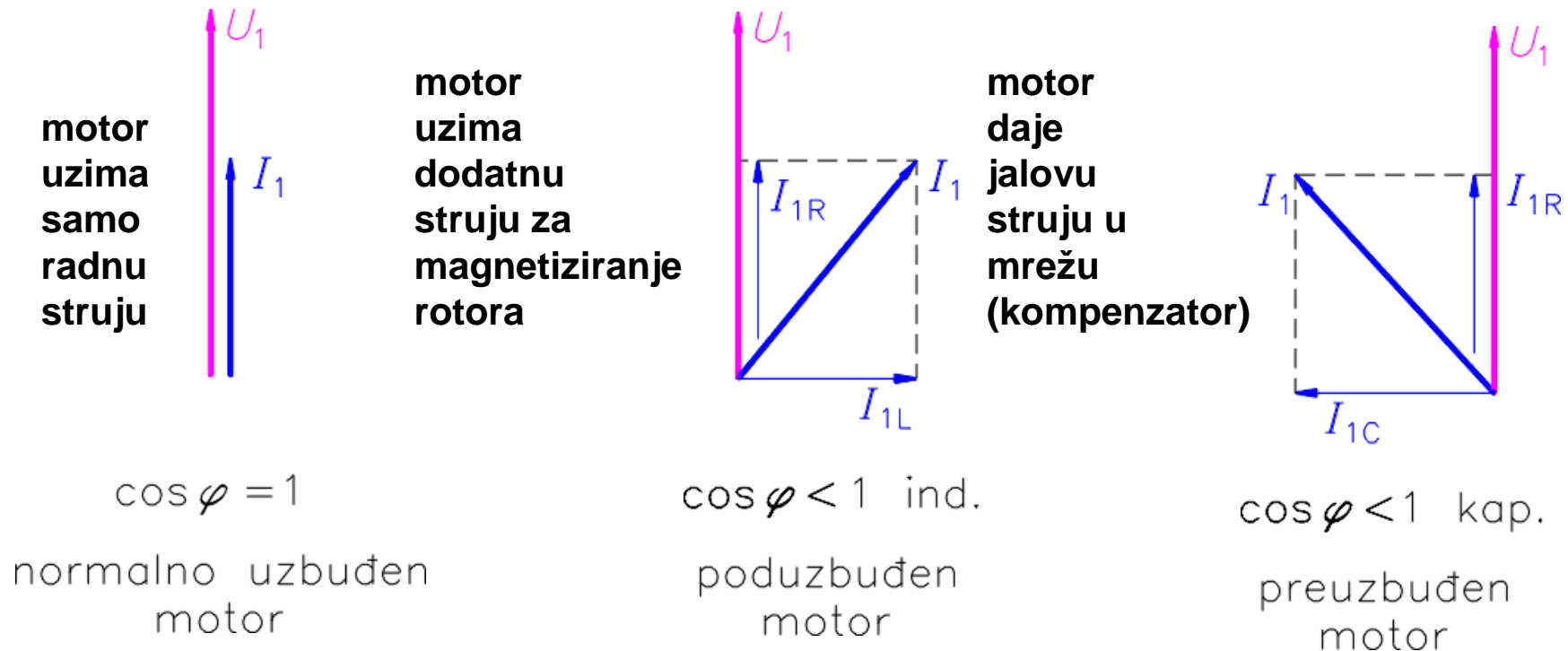
moment je **proporcionalan** snazi prema

$$M = \frac{P_M}{\omega} = \frac{\sqrt{3}}{\omega} \cdot \frac{U \cdot E}{X_L} \cdot \sin \alpha$$

— mijenja se po zakonu sinusa kuta zaostajanja

Uzbuda motora

uzbuda motora (magnetiziranje rotora) je nezavisna od mreže i može se po potrebi mijenjati



normalno uzbuđen motor

$\cos \varphi < 1$ ind.

poduzbuđen motor

$\cos \varphi < 1$ kap.

preuzbuđen motor

ukupna = prividna snaga motora ograničena nazivnom snagom motora (S)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{kVA})$$

P - radna snaga na osovini motora

Q - jalova snaga za kompenzaciju mreže

V-krivulje sinkronog motora

