

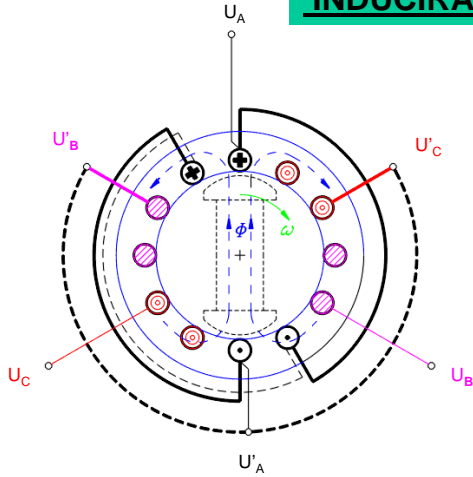
# SINKRONI STROJEVI

generatori od najmanjih do najvećih snaga

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

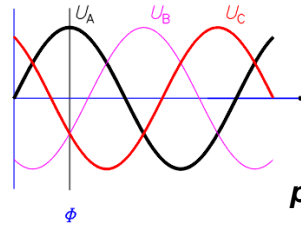
generatori i motori - jednake izvedbe - razlika u smjeru struje

## INDUCIRANJE TROFAZNOG NAPONA



namoti spojeni u Y

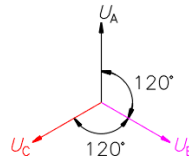
frekvencija induciranog napona ( $f$  u Hz)



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

$p$  - broj pari polova rotora

$n_s$  - brzina vrtnje rotora o/min



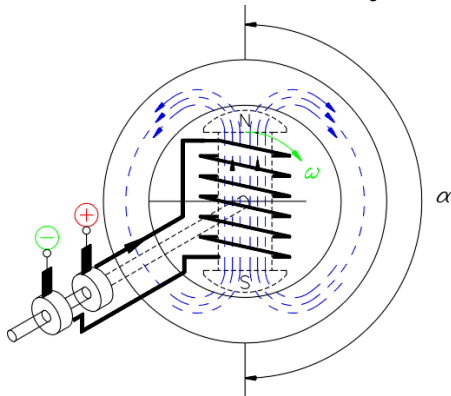
za 50 Hz i dvopolni rotor  
3000 okretaja u minuti

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

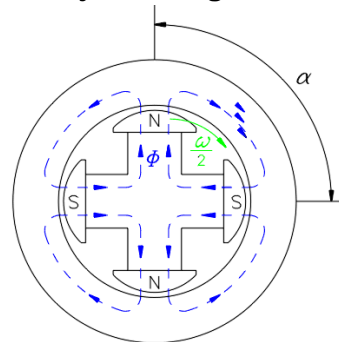
višefazni napon na namote statora motora  $\Rightarrow$  okretno magnetno polje

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

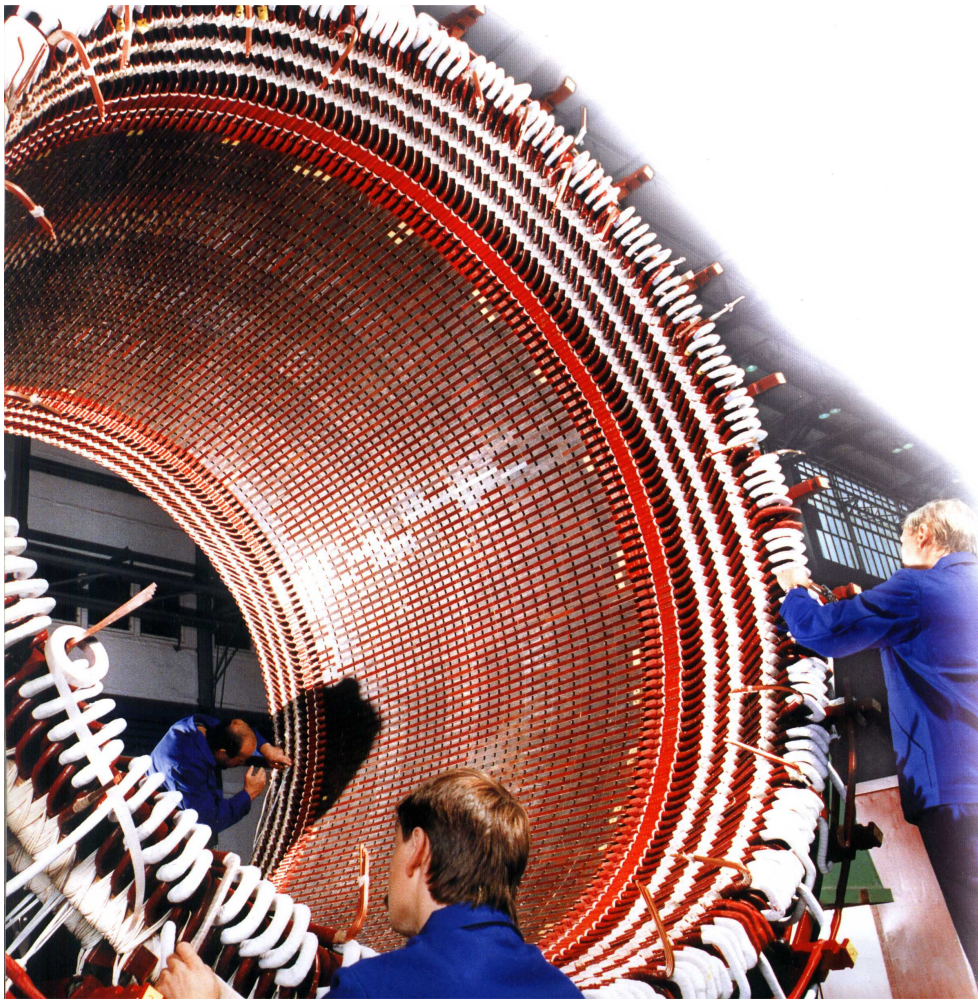


$\alpha = \pi_{el.} = \frac{\pi}{2} \pi_{geom.}$   
4-polna izvedba

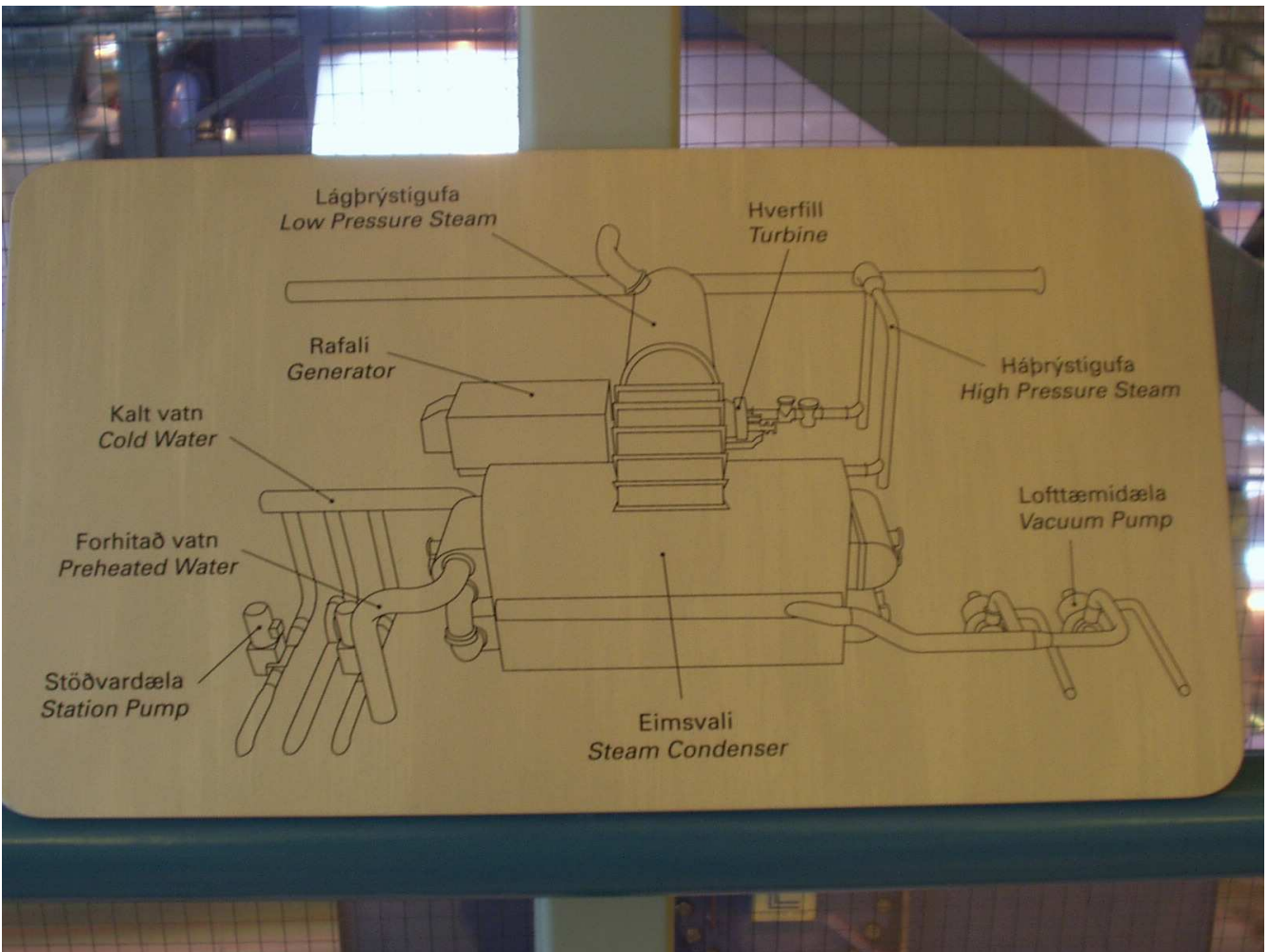
broj pari polova	2	4	6	8	10	12	24
broj okretaja (za 50Hz)	3000	1500	1000	750	600	500	250

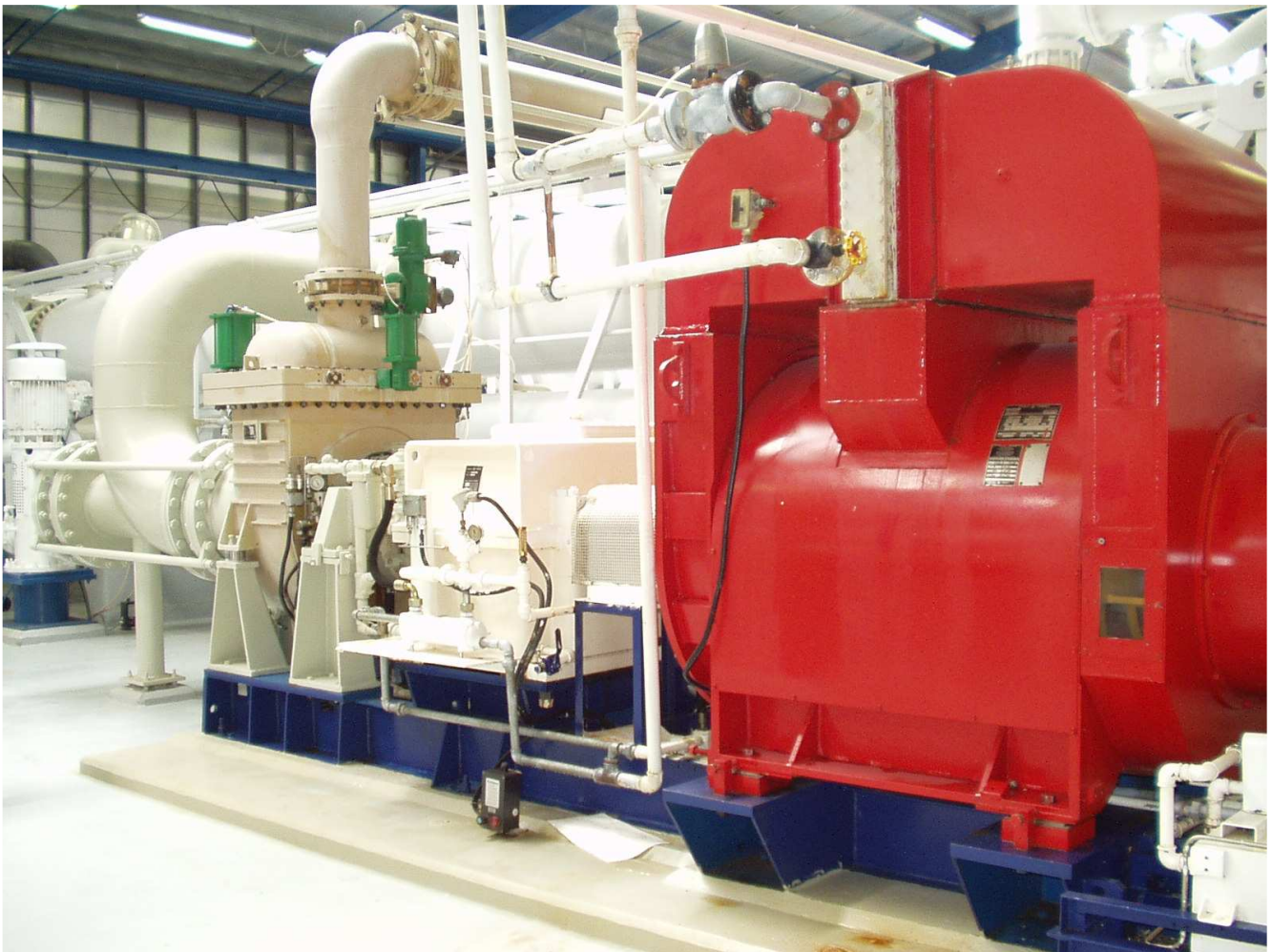
turbogeneratori - 2 (4) pola (mali promjer - horizontalni rotori)

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

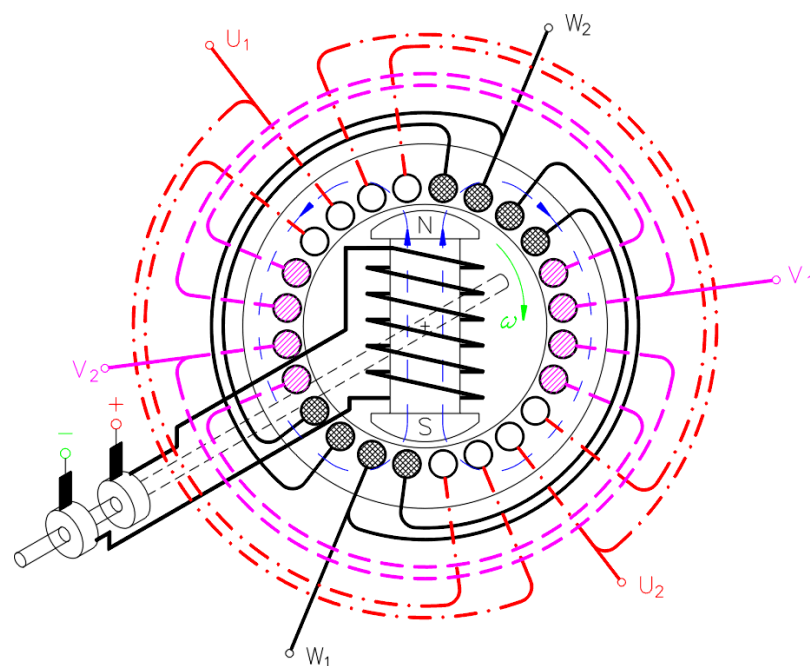






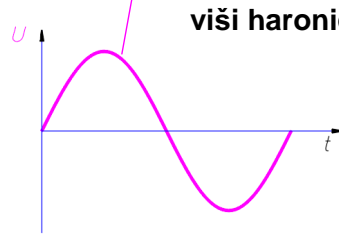
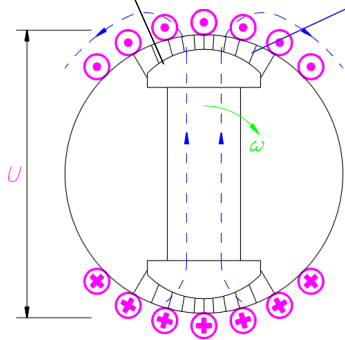


- izvedba sinkronog stroja
- stator identičan statoru asinkronog stroja
  - rotor se napaja preko kliznih prstenova



## Induciranje sinusnog oblika napona

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

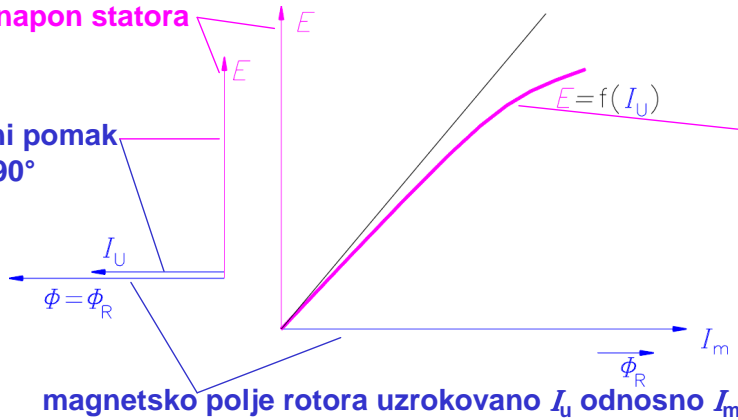


posebno važno za generatore  
jer napajaju više trošila  
(elektrodistribucija)

## Induciranje napona uz stalnu brzinu vrtnje rotora

inducirani napon statora

fazni pomak  
od  $90^\circ$

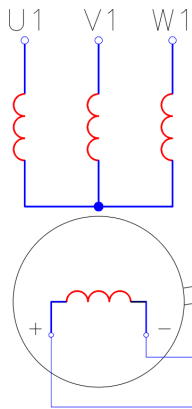


nelinearnost  
ovisnosti  $E$  o  $\Phi_R$   
uzrokovana  
zasićenjem  
magnetske jezgre

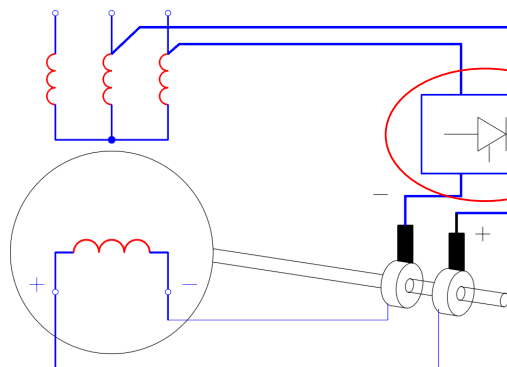
magnetsko polje rotora uzrokovano  $I_U$  odnosno  $I_m$

## UZBUDA SINKRONIH STROJEVA

napajanje rotora istosmjernom strujom



istosmjernim generatorom  
zajednička osovina rotora



pomoću reguliranog ispravljača

potrebno dobro filtriranje

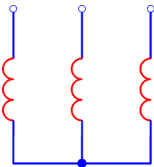
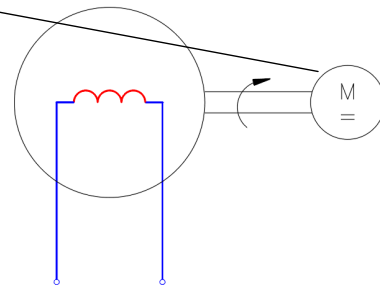
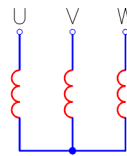
početna uzbuda remanentni  
magnetizam jezgre ili  
permanenti magnet

uobičajenije

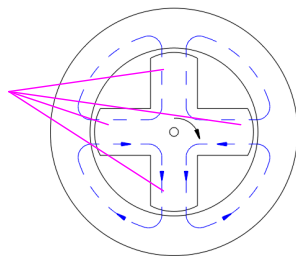
## POKRETANJE I SINKRONIZACIJA

sinkronizacija na mrežu, uključivanje uzbuđene (motori)  
uzbuđena, sinkronizacija, priključivanje na mrežu (generatori)

pokretanje rotora istosmjernim motorom



istaknuti magnetni polovi rotora

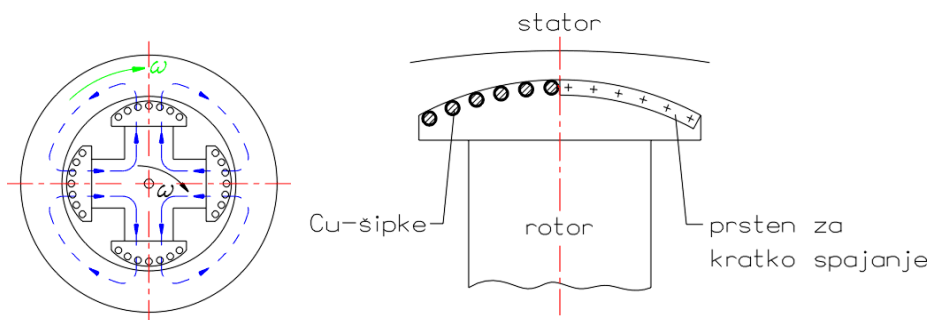


zatvaranje magnetnog kruga kroz magnetnu jezgru najkraćim silnicama  $\Rightarrow$  rotiranje rotora (sila elektromagneta)

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

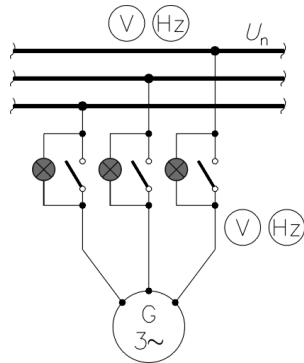
prazni hod do sinkronizma a onda priključenje uzbuđene, tek tada opterećenje

## SINKRONI GENERATORI

**jednak  $U$  + jednak redosljed faza + jednaka  $f$  + jednak  $\varphi$  = sinkronizam**

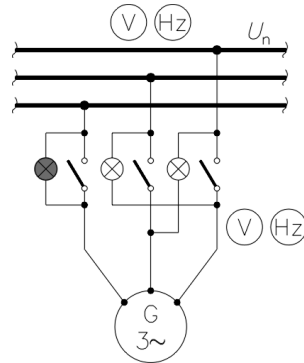
**sinkronizam  $\Rightarrow$  priključivanje na mrežu**

sinkronizacija  
generatorsa  
na "tamno"

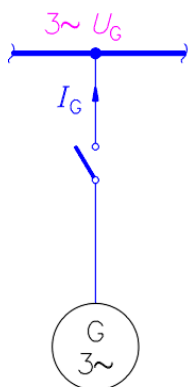


● tama  
⊗ svjetlo

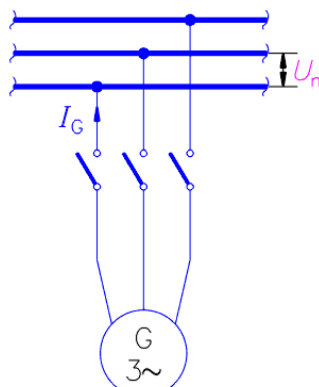
sinkronizacija  
generatorsa  
na "svjetlo"



## SINKRONI GENERATORI

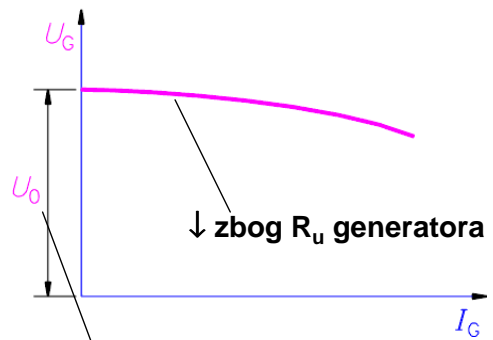


jednopolni  
prikaz



tropolni  
prikaz

naponska karakteristika  
izdvojenog generatora

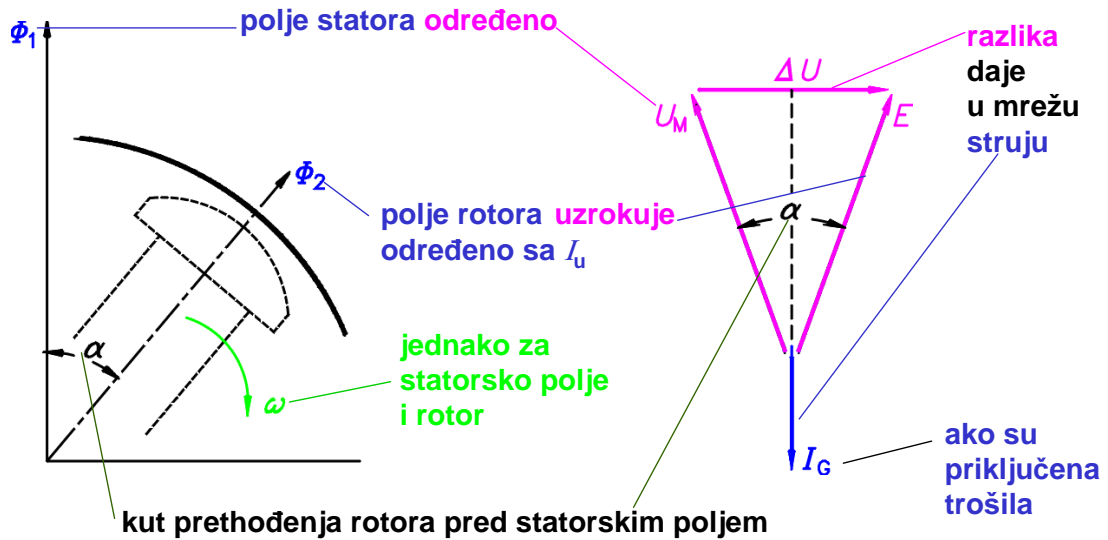


određen uzbudom

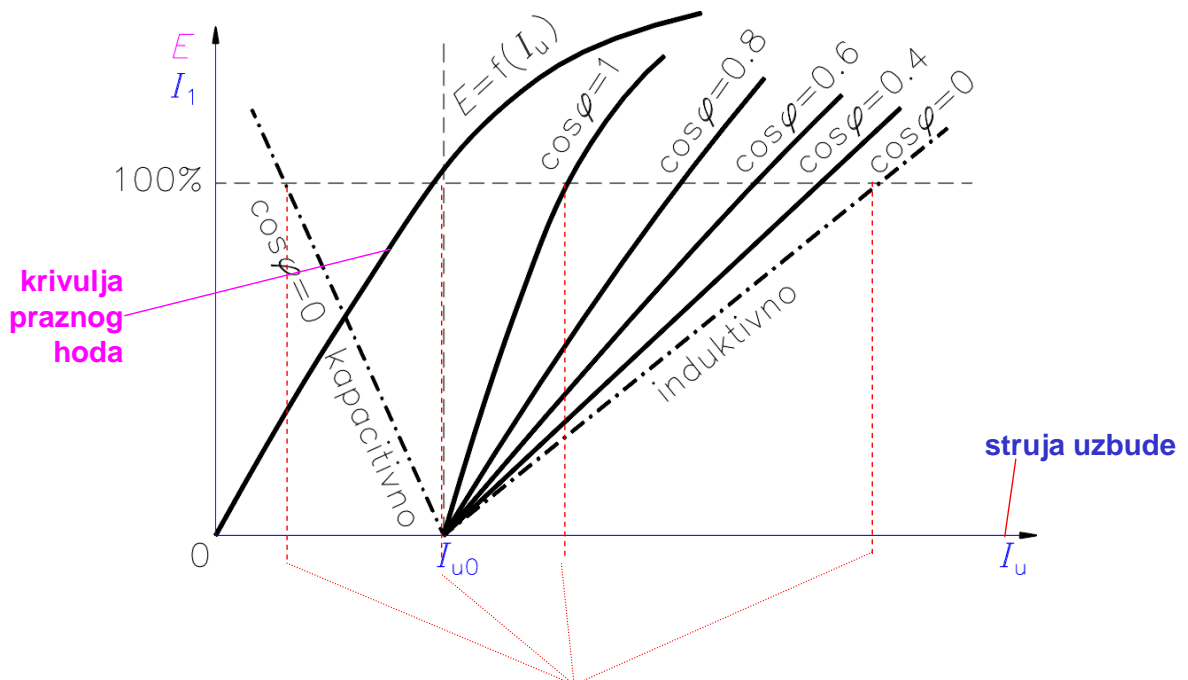


## Opterećivanje paralelno spojenih generatora

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)



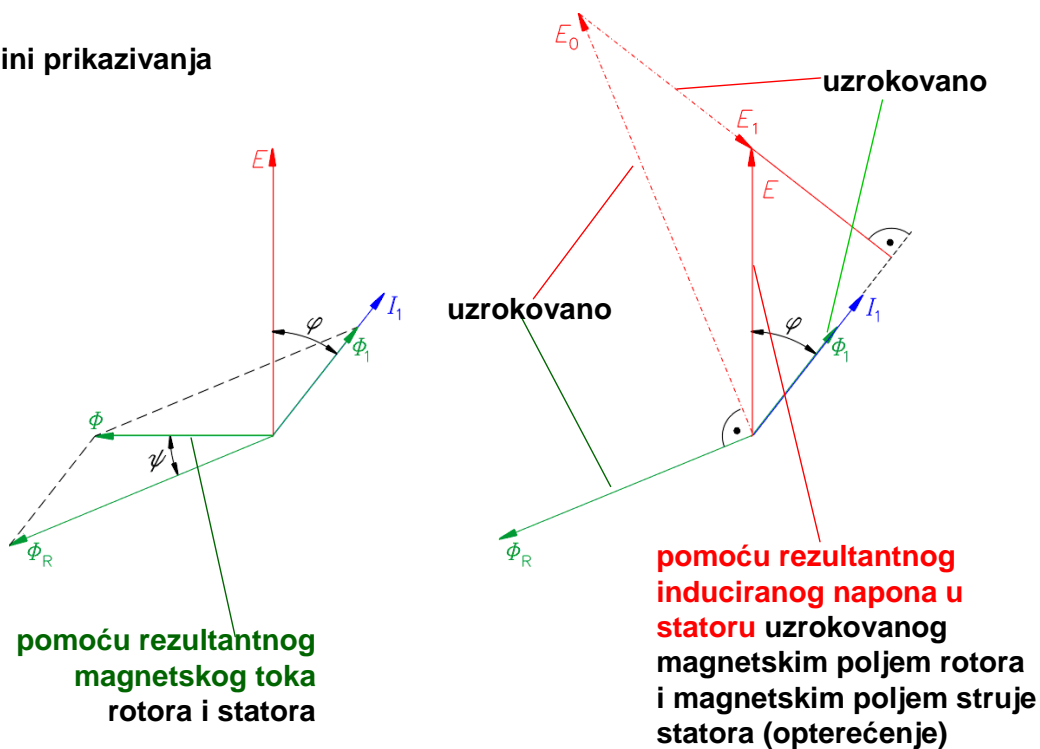
### uzbuda u odnosu na prazni hod i opterećenje



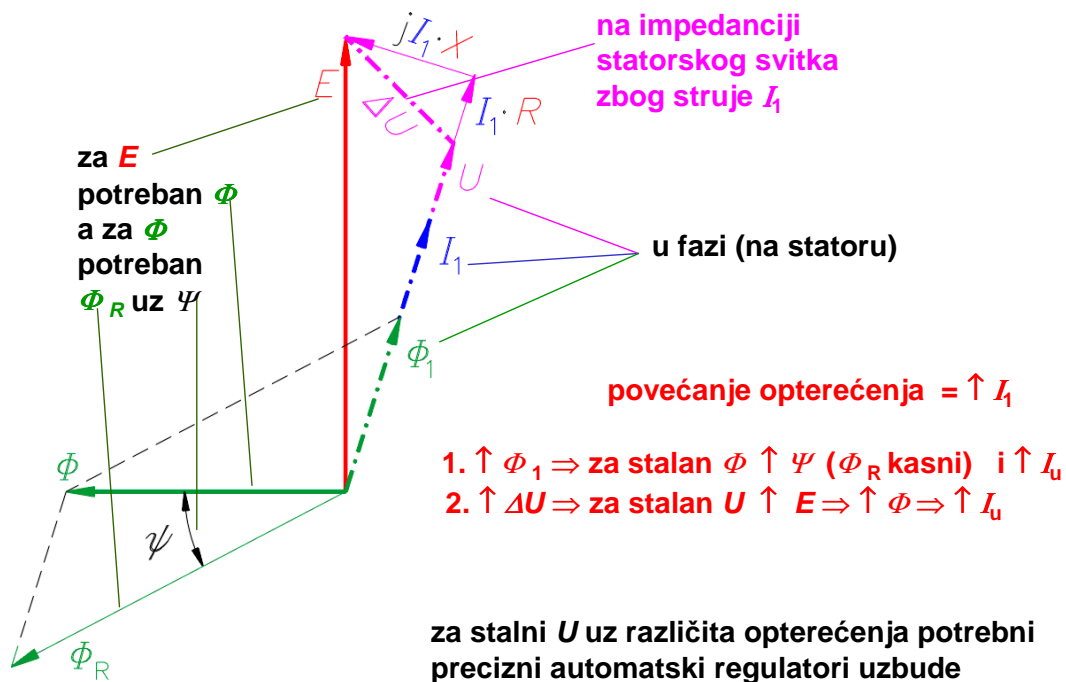
vrijednosti uzbuđe potrebne za različite vrste opterećenja

## Kazalični prikazi opterećenja generatora

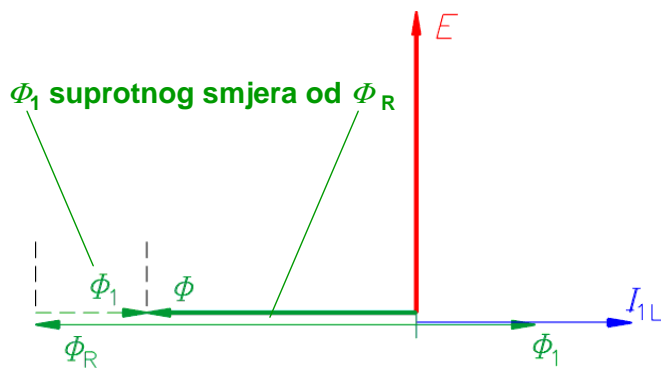
načini prikazivanja



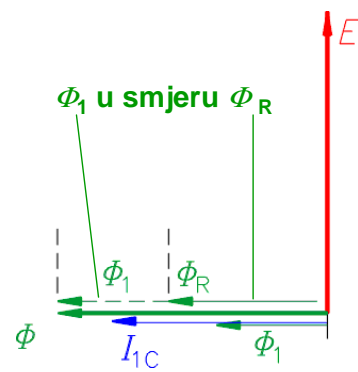
opterećenje samo sa  $R$  ( $\cos\varphi = 1$ ) snaga u kVA  $\approx$  kW



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



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



nije potreban dodatni moment (nema  $\Psi$ ) rotor bez kuta prethodjenja

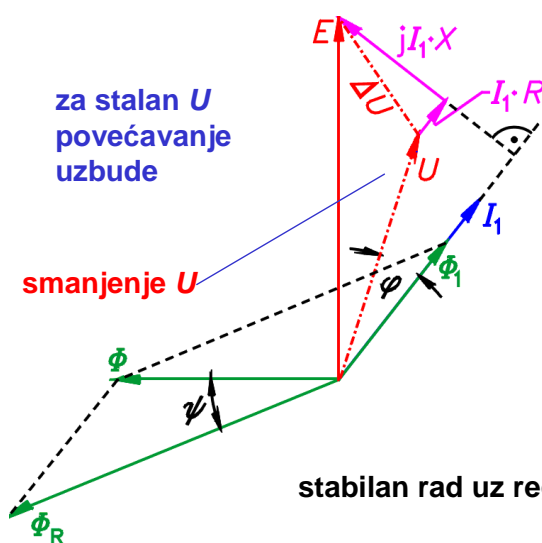
povećanje uzbude  $\Rightarrow$  induktivna struja  
(preuzbuđen generator)

smanjenje uzbudne  $\Rightarrow$  kapacitivna struja  
(poduzbuđen generator)

kompenzatori - sinkroni generatori za proizvodnju jalove energije

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

opterećenje induktivnom impedancijom



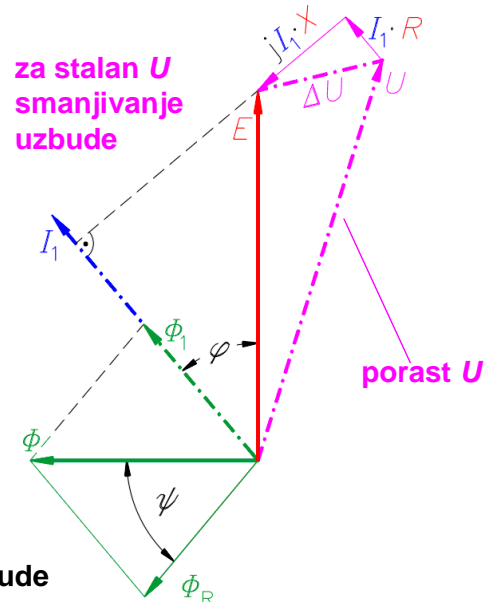
za stalan  $U$   
povećavanje  
uzbude

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  $U$

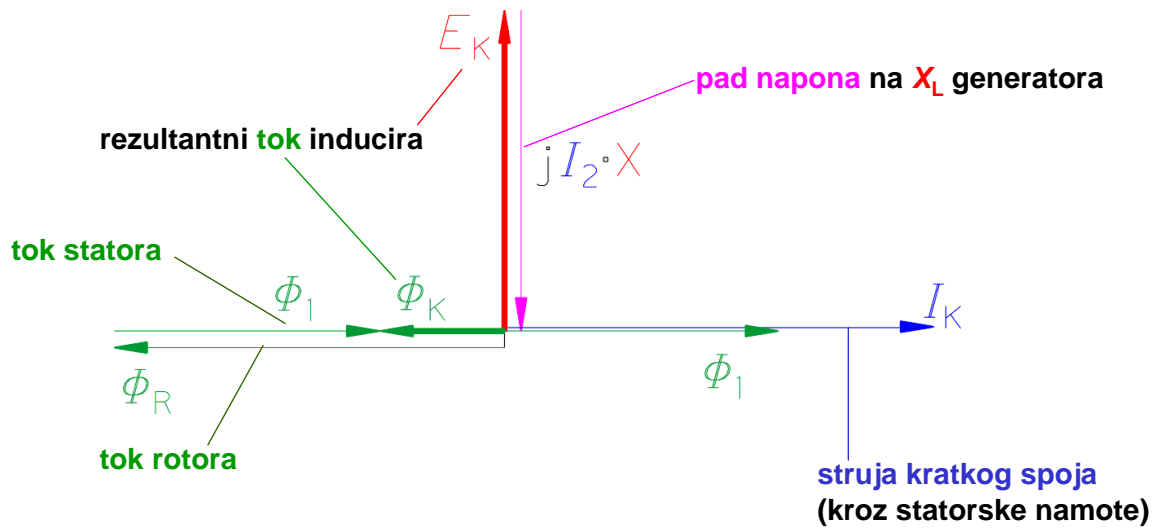
lako može izazvati oscilacije mreže  
i raspad cijelog elektroenergetskog sustava

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

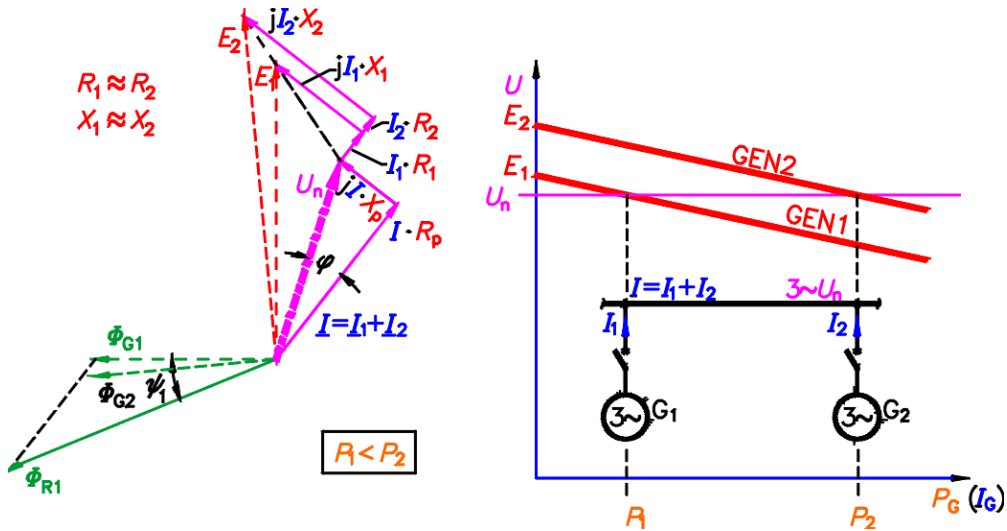
= mogućnost sinkronizacije

podjednake karakteristike opterećenja

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

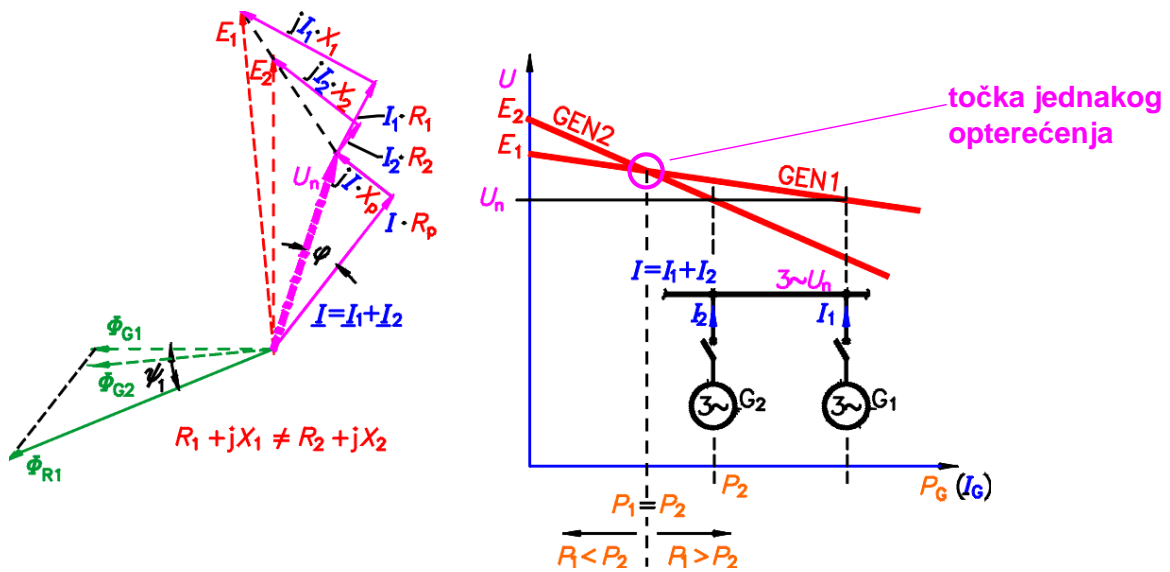
opterećenje proporcionalno snagama generatora  
zbog toga naponi kratkog spoja moraju biti obrnuto proporcionalni snagama

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



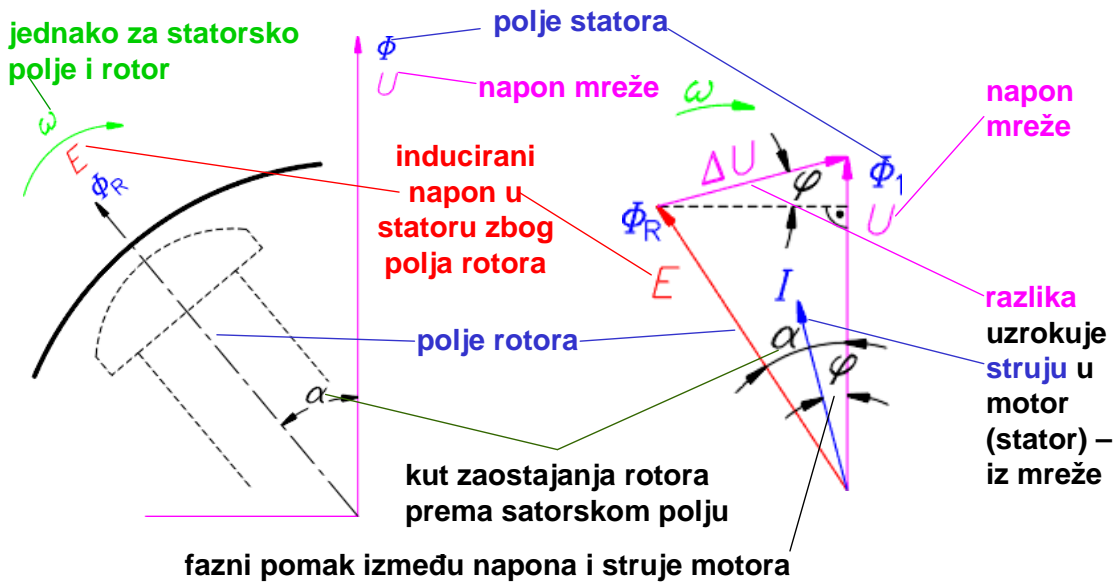
padovi napona na  $Z_u$  nisu proporcionalni opterećenju  $Z_u G_1 < Z_u G_2$   
 promjenom napona praznog hoda ( $I_{uz}$ ) pomicanje presjeka karakteristika  $\Rightarrow$   
 prilagođavanje opterećenja nazivnim snagama generatora

# SINKRONI MOTORI

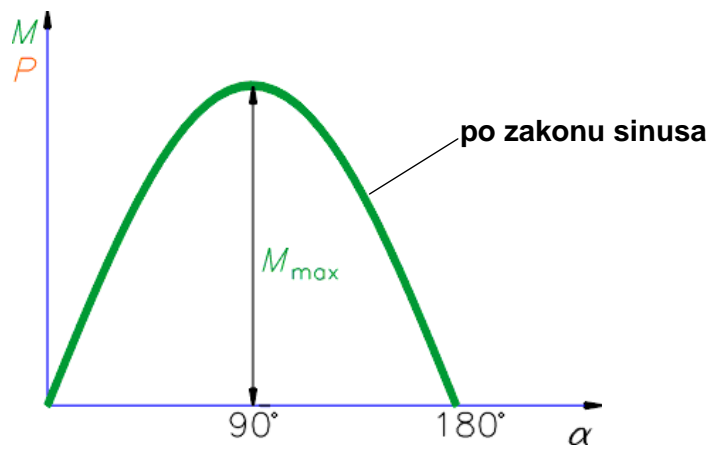
konstruktivno jednaki generatorima - motori uzimaju a generatori daju struju u mrežu

1. sinkroniziramo stroj na mrežu
2. uključimo uzbudu
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  $\alpha < 90^\circ$

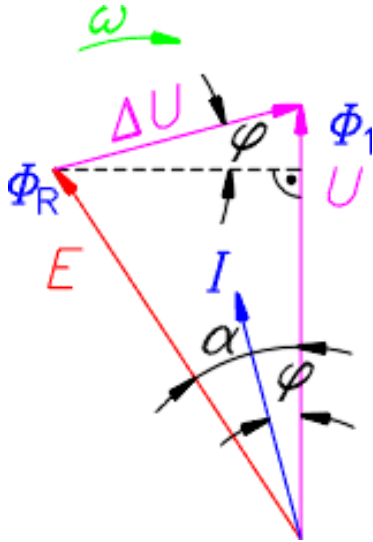
za  $\alpha > 90^\circ$  snaga ( $P$ ) i  
 moment ( $M$ )  $\downarrow \Rightarrow$   
 ispadanje iz sinkronizma

isključivanje napona  
 mreže ili oštećenje

**nije dozvoljeno mehaničko preopterećenje**

## naponski odnosi opterećenog motora

$\Delta U$  prethodi  $I$  za  $90^\circ$  (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  $\sin \alpha = 1$  ( $90^\circ$ )

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

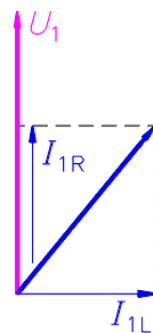
uzbuda motora (magnetiziranje rotora) je nezavisna od mreže i može se po potrebi mijenjati



$$\cos \varphi = 1$$

normalno uzbuđen motor

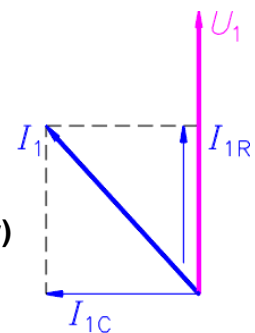
motor uzima dodatnu struju za magnetiziranje rotora



$$\cos \varphi < 1 \text{ ind.}$$

poduzbuđen motor

motor daje jalovu struju u mrežu (kompensator)



$$\cos \varphi < 1 \text{ kap.}$$

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

