

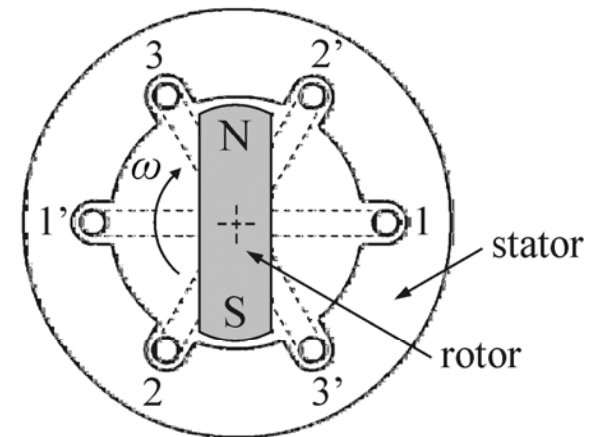
6. Trofazni sistemi

Polifazni sistem

- Generatori i prijemnici sa dva priključka
 - monofazni (jednofazni) elementi,
 - sistemi u kojima deluju nazivaju se monofazni (jednofazni).
- Generatori i prijemnici sa više od dva priključka,
 - polifazni (višefazni) elementi,
 - sistemi u kojima deluju nazivaju se polifazni (višefazni),
 - povezuju se polifaznim vodom.
- Trofazni sistem
 - lakši i efikasniji prenos električne energije,
 - pronalazak N. Tesle.

Trofazni generator / 1

- stator sa tri grupe namotaja
- rotor je stalni magnet ili elektromagnet
- za obrtanje se koristi snaga vode, vodene pare, vetra
- indukuje se **simetričan sistem ems**
 - iste efektivne vrednosti i učestanosti
 - fazno pomerene jedna u odnosu na drugu za 120°



- Vremenski oblici ems

$$e_1(t) = \sqrt{2}E \cos \omega t$$

$$e_2(t) = \sqrt{2}E \cos(\omega t - 2\pi/3)$$

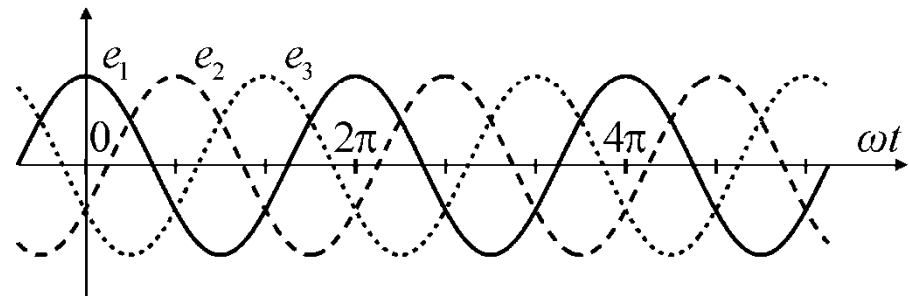
$$e_3(t) = \sqrt{2}E \cos(\omega t - 4\pi/3)$$

- Kompleksni predstavnici ems

$$\underline{E}_1 = E e^{j0} = E$$

$$\underline{E}_2 = E e^{-j2\pi/3}$$

$$\underline{E}_3 = E e^{-j4\pi/3}$$

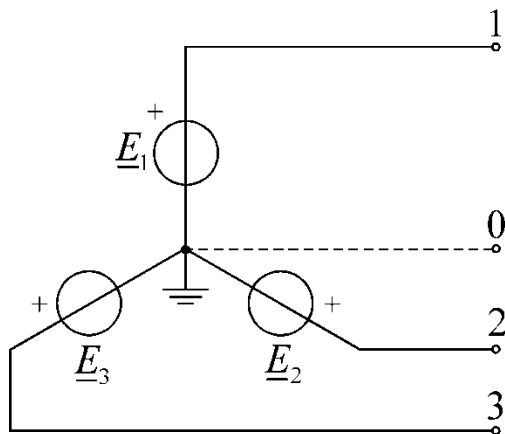


pozitivan (direktan) redosled faza: $0^\circ, -120^\circ, -240^\circ$

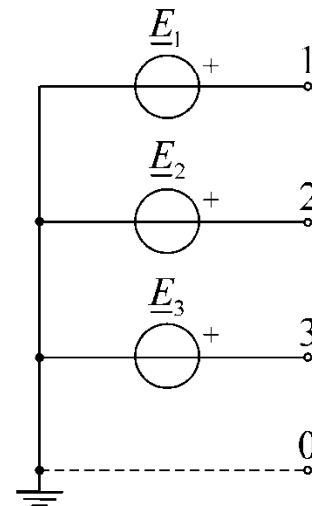
negativan (inverzan) redosled faza: $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$

Trofazni generator / 2

- predstavlja se pomoću tri naponska generatora na el. šemama
- obično su spojeni u vezu koja se naziva **zvezda**
- po jedan kraj svih generatora je spojen u jednu tačku – **zvezdište** (zvezdište se obično uzemljuje)
- sa zvezdište se može (ali ne mora) voditi **nulti (neutralni)** provodnik
- provodnici sa preostalih krajeva generatora su fazni provodnici (**faze**)



ili



Fazni i međufazni naponi / 1

- Fazni naponi $\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$ i $\underline{U}_3$,
 - su naponi između bilo koje faze i nultog provodnika,
 - ako je unutrašnja impedansa generatora zanemarljivo mala:

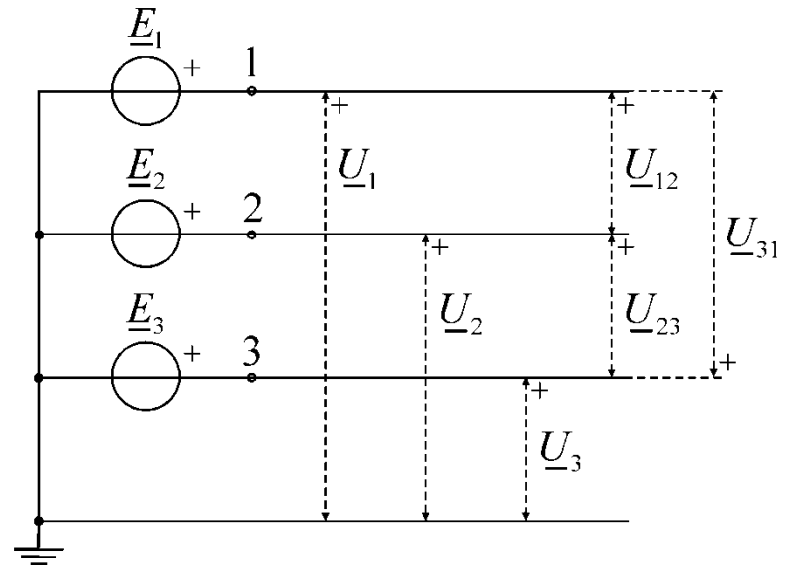
$$\underline{U}_1 = \underline{E}_1, \quad \underline{U}_2 = \underline{E}_2 \quad \text{i} \quad \underline{U}_3 = \underline{E}_3.$$

- Međufazni (linijski) naponi su naponi između dva fazna provodnika

$$\underline{U}_{12} = \underline{U}_1 - \underline{U}_2,$$

$$\underline{U}_{23} = \underline{U}_2 - \underline{U}_3,$$

$$\underline{U}_{31} = \underline{U}_3 - \underline{U}_1.$$



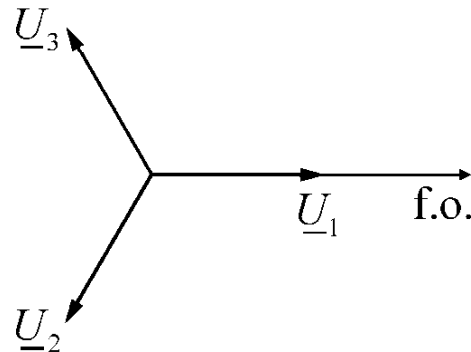
Fazorski dijagrami napona

- Fazni naponi

$$\underline{U}_1 = Ue^{j0^\circ} = U$$

$$\underline{U}_2 = Ue^{-j120^\circ}$$

$$\underline{U}_3 = Ue^{-j240^\circ}$$



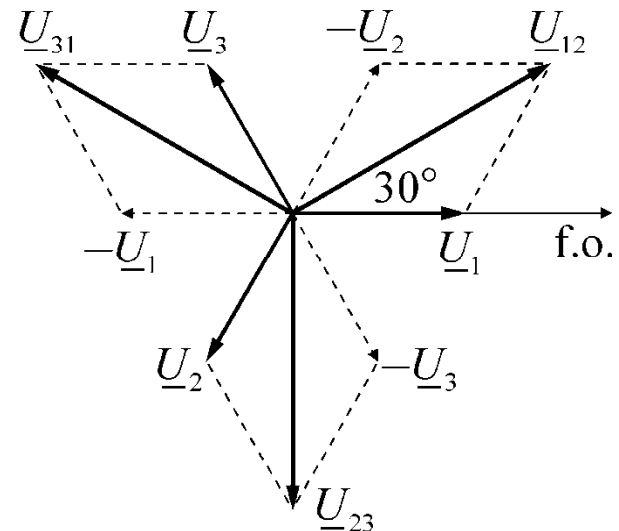
- Međufazni naponi

- prednjače svojim faznim naponima za 30°
- $\sqrt{3}$ puta su veći od faznih napona

$$\underline{U}_{12} = \underline{U}_1 - \underline{U}_2 = \sqrt{3}Ue^{j30^\circ}$$

$$\underline{U}_{23} = \underline{U}_2 - \underline{U}_3 = \sqrt{3}Ue^{-j90^\circ}$$

$$\underline{U}_{31} = \underline{U}_3 - \underline{U}_1 = \sqrt{3}Ue^{-j210^\circ}$$



Fazni i međufazni naponi / 4

- $3 \times 400/230\text{V}$ označava niskonaponski (NN) trofazni sistem
 - međufazni napon 400V, fazni napon 230V.
- Nominalni napon
 - efektivna vrednost međufaznog napona,
 - u NN trofaznom sistemu: 400V.

- Efektivna vrednost faznog napona

$$U_1 = 230\text{V}.$$

Maksimalna vrednost faznog napona

$$U_{1m} = \sqrt{2} U_1 = 1,41 \cdot 230\text{V} = 325\text{V}.$$

Efektivna vrednost međufaznog napona

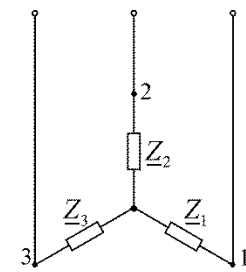
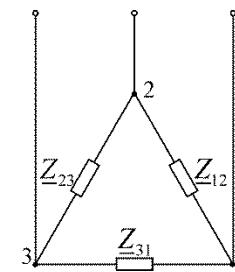
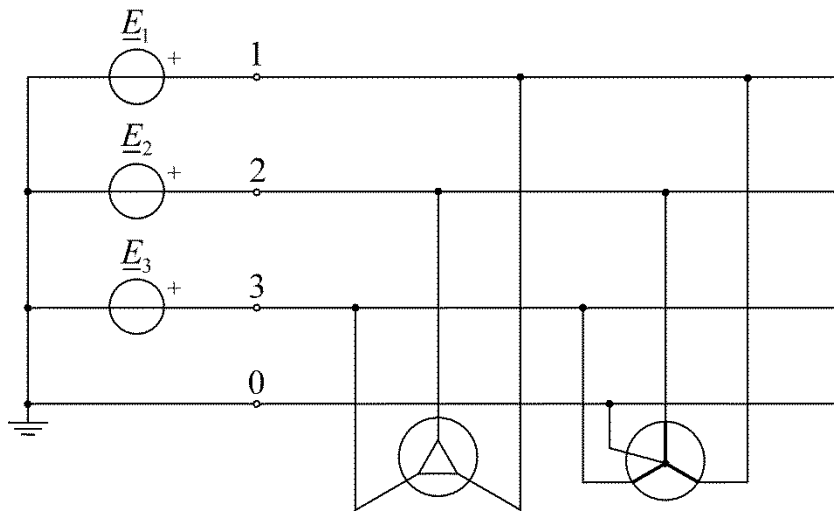
$$U_{12} = \sqrt{3} U_1 = 1,73 \cdot 230\text{V} = 400\text{V}.$$

Maksimalna vrednost međufaznog napona

$$U_{12m} = \sqrt{2} U_{12} = 1,41 \cdot 400\text{V} = 565\text{V}.$$

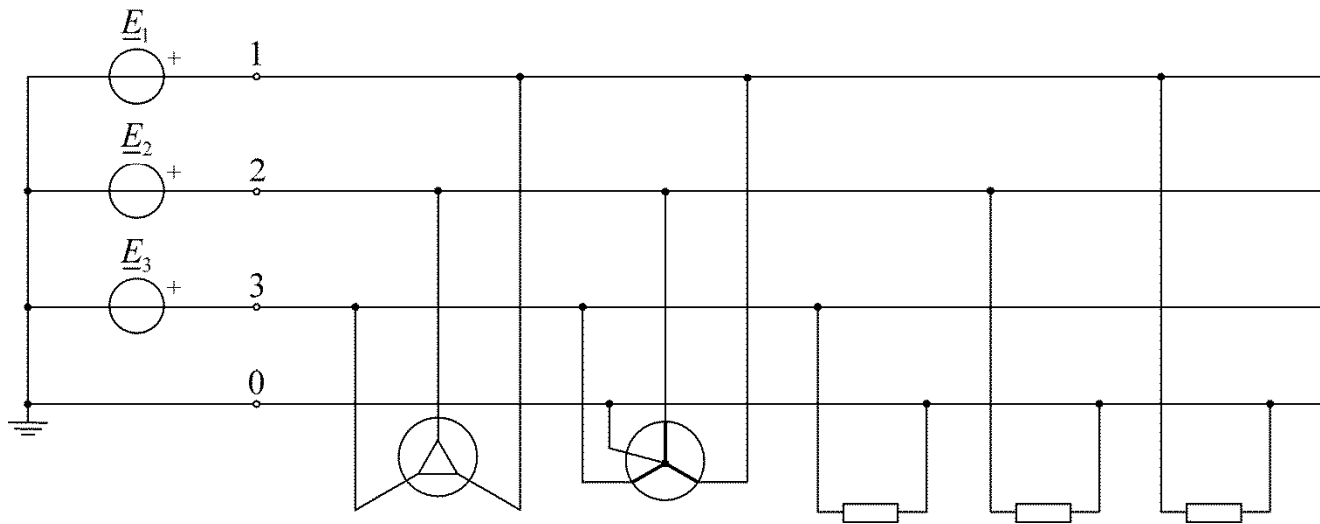
Potrošači u trofaznom sistemu / 1

- Trofazni potrošač
 - sastoji od tri impedanse
 - mogu se vezati u zvezdu (Y) ili trougao (Δ , D)
 - potrošač je simetričan kada su impedanse jednake
 - potrošači većih snaga (TA peći, štednjaci, protočni bojleri)

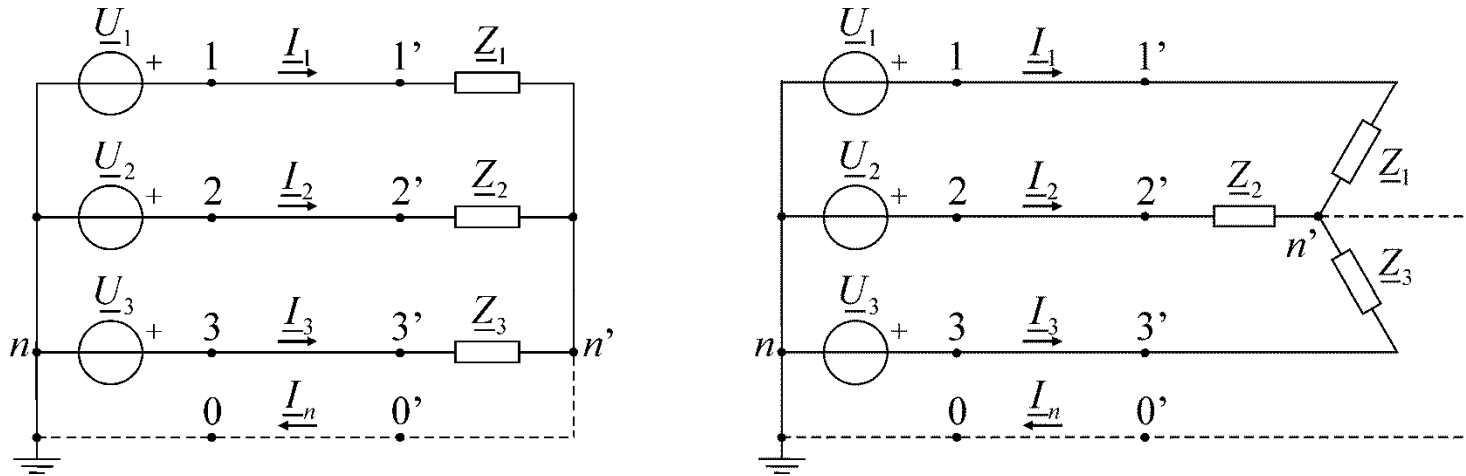


Potrošači u trofaznom sistemu / 2

- Monofazni potrošači
 - mogu se priključiti između jedne od faza i nultog provodnika
 - raspoređuju se tako da opterećenja faza budu približno jednaka
 - snage do oko 3kW (kućni aparati)



Veza potročaša u zvezdu (Y)



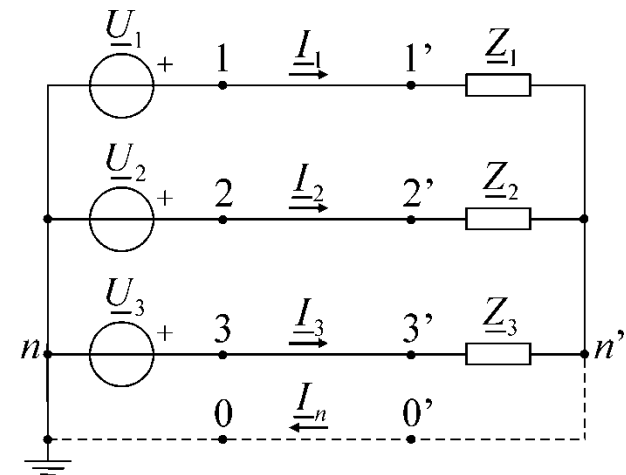
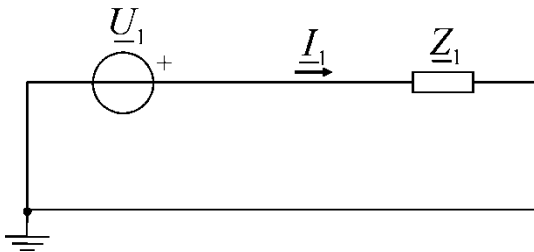
- po jedan kraj impedansi vezan je u zvezdište
- naponi na impedansama jednaki su faznim naponima
- u simetričnom trofaznom sistemu, i u zvezdištu generatora i u zvezdištu potrošača zadovoljen je IKZ ($I_n=0$),
- nije jednostavno postići jednaku opterećenost faza, zato u nultom provodniku obično postoji neka slaba struja.

Analiza trofaznih kola

- Trofazno kolo čine
 - bar jedan trofazni generator, trofazni vod i potrošač
 - mogu biti vezani i monofazni elementi
 - analiza kola primenom KZ (ili drugih metoda za rešavanje el. kola)
- Kada je trofazni sistem simetričan
 - ems generatora čine simetričan sistem
 - fazne struje čine simetričan sistem

Analiza simetričnih trofaznih kola

- Generator i prijemnik vezani u zvezdu:
 - zvezdišta se mogu kratko spojiti,
 - dobijaju se tri prosta nezavisna kola,
 - svako kolo sastoji se od jedne faze generatora, faznog provodnika i jedne faze prijemnika:



- dovoljno je analizirati samo jednu fazu (npr. prvu),
ostale struje se nalaze faznim pomeranjem za -120° , odnosno -240° ,
- ovaj način rešavanja naziva se **analiza svođenjem na jednu fazu**.

Podsetnik

- $\underline{U} = \underline{Z} \underline{I}$

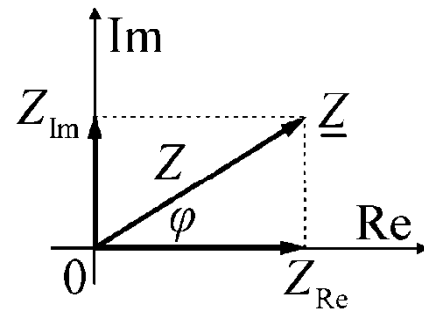
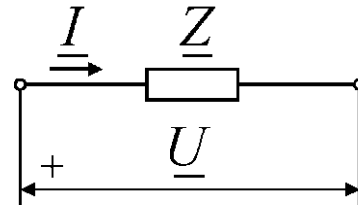
- $\underline{Z} = Z_{\text{Re}} + jZ_{\text{Im}} = Z e^{j\varphi}$

$$Z = \sqrt{Z_{\text{Re}}^2 + Z_{\text{Im}}^2}, \quad \text{tg } \varphi = \frac{Z_{\text{Im}}}{Z_{\text{Re}}}$$

$$\underline{Z} = \sqrt{Z_{\text{Re}}^2 + Z_{\text{Im}}^2} e^{j \arctg\left(\frac{Z_{\text{Im}}}{Z_{\text{Re}}}\right)}$$

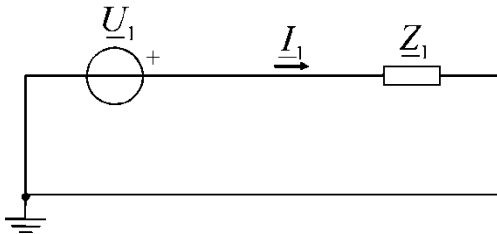
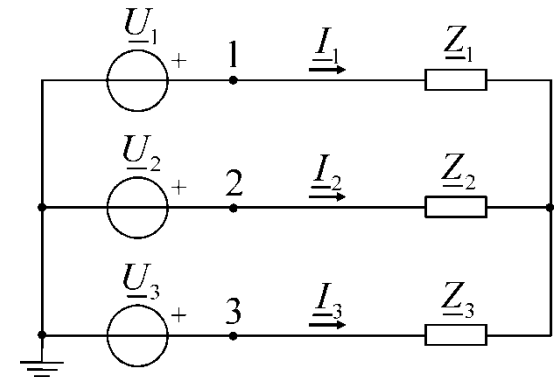
- Primer: $\underline{Z} = (10 + j50)\Omega$
u eksponencijalnom obliku:

$$\underline{Z} = \sqrt{10^2 + 50^2} e^{j \arctg\left(\frac{50}{10}\right)} = 51 e^{j78,7^\circ} \Omega$$



Primer – svođenje na jednu fazu

- U simetričnom trofaznom kolu prikazanom na slici
 - Izračunati fazne struje trofaznog potrošača u
 - Na istom fazorskom dijagramu nacrtati fazne struje i fazne napone
 Podaci: $U_1 = U_2 = U_3 = 230 \text{ V}$ i $Z_1 = Z_2 = Z_3 = (10 + j50) \Omega$.



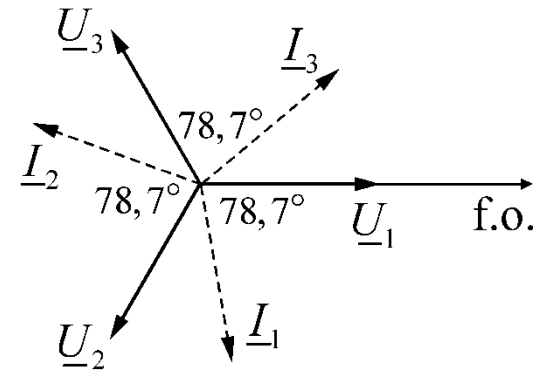
a) Analiza svođenjem na jednu fazu (npr. prvu fazu)

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_1} = \frac{230 e^{j0^\circ}}{10 + j50} = \frac{230}{51 e^{j78,7^\circ}} = 4,5 e^{-j78,7^\circ} \text{ A}$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_1 e^{-j120^\circ} = 4,5 e^{-j198,7^\circ} \text{ A}$$

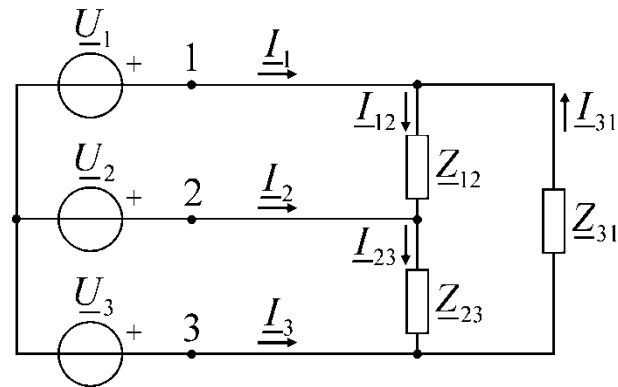
$$\underline{I}_3 = \underline{I}_1 e^{-j240^\circ} = 4,5 e^{-j318,7^\circ} \text{ A}$$

b) Struje kasne iza svojih faznih napona za $78,7^\circ$



Veza potročaša u trougao (Δ ili D)

- naponi na impedansama su linijski naponi



- Transformacija Y u Δ ili Δ u Y
 - dozvoljena je ako ne menja struje i napone u ostatku kola

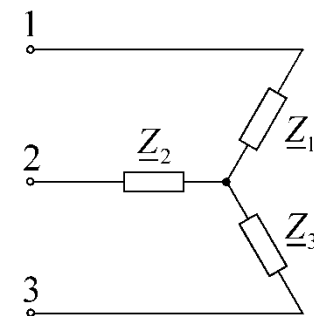
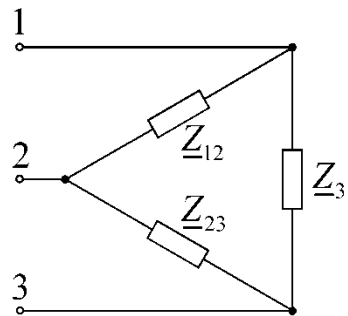
Za simetrične potrošače

$$\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_{23} = \underline{Z}_{31} = \underline{Z}_{\Delta}$$

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3 = \underline{Z}_Y$$

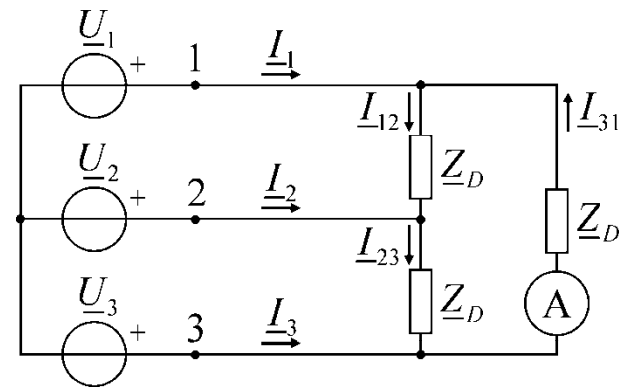
transformacija Y u Δ

$$\underline{Z}_{\Delta} = 3\underline{Z}_Y$$



Primer sa potrošačem vezanim u Δ

- Izračunati pokazivanje ampermetra u simetričnom trofaznom kolu na slici.
Podaci: $U_1 = U_2 = U_3 = 230 \text{ V}$ i $\underline{Z}_D = (40 - j30) \Omega$.



- Rešenje.
Međufazni napon U_{31} je $\sqrt{3}$ puta veći od faznog,

$$U_{31} = U_3 \sqrt{3} = 230 \sqrt{3} \text{ V} = 400 \text{ V}.$$

Ampermetar pokazuje efektivnu vrednost struje koja iznosi

$$I_{31} = \frac{U_{31}}{Z_D} = \frac{400}{\sqrt{40^2 + 30^2}} = \frac{400}{50} = 8 \text{ A}.$$

Snage trofaznih generatora

- ukupna snaga svih faza: kompleksna, aktivna, reaktivna i trenutna (za ove snage važi teorema održanja snage),
- isto važi i za prijemnik.
- Popravka faktora snage
 - vrši se u sve tri faze (npr. za motor se koriste tri kondenzatora)
 - većina prijemnika je induktivna: za popravku faktora snage u EES koriste se baterije kondenzatora i sinhroni kondenzatori.
- Nesimetrični trofazni sistem
 - nesimetrični kratki spojevi
 - prekid neke od faza
 - nesimetričan prijemnik
 - može biti vezan u zvezdu sa nulnim provodnikom ili bez njega, ali i u trougao.

Elektroenergetski sistem (EES)/ 1

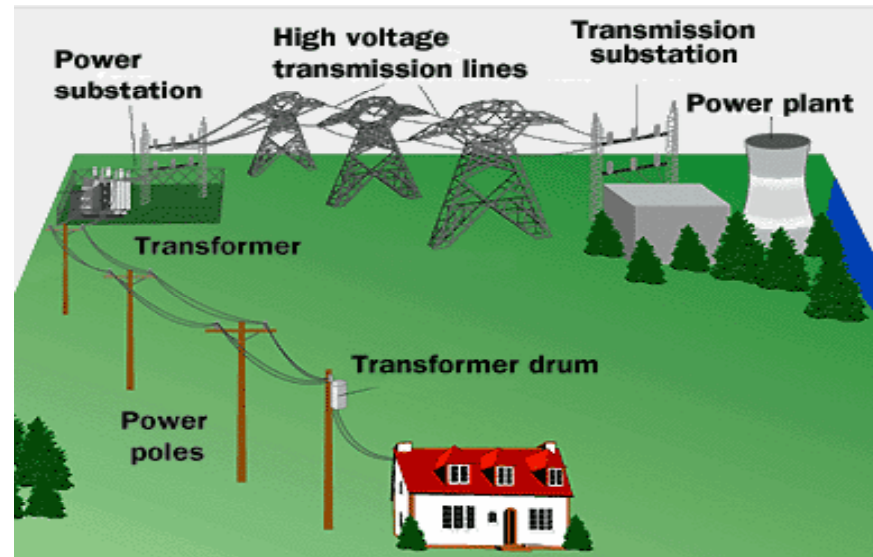
- Za prenos električne energije uglavnom se koriste PPS.

Prednosti:

- izrada generatora prostoperiodičnog napona je jednostavnija od izrade generatora vremenski konstantnog napona,
- za transformaciju napona na višu ili nižu vrednost koriste se transformatori (koji rade samo pri vremenski promenljivoj struji).

- EES se sastoji iz delova za

- proizvodnju,
- prenos,
- distribuciju i
- potrošnju električne energije.



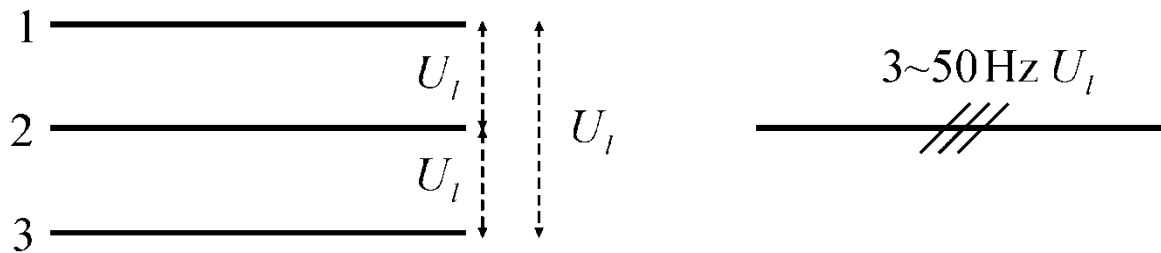
Elektroenergetski sistem (EES)/ 2

- Za iskazivanje naponskih nivoa koriste se
 - efektivne vrednosti međufaznih napona
 - prema nivoima napona, EES se deli na VN, SN i NN deo
- Kod nas
 - VN: 400kV, 220kV, 110kV
 - SN: 35kV, 20kV, 10kV
 - NN: 0,4kV (400V)
 - za prenos: 400kV, 220kV, 110kV
 - za distribuciju: 20kV i 10kV
 - u stanovima i radnim mestima: 400V
- Transformacija naponskih nivoa vrši se u trafostanicama.

Sistemi napajanja / 1

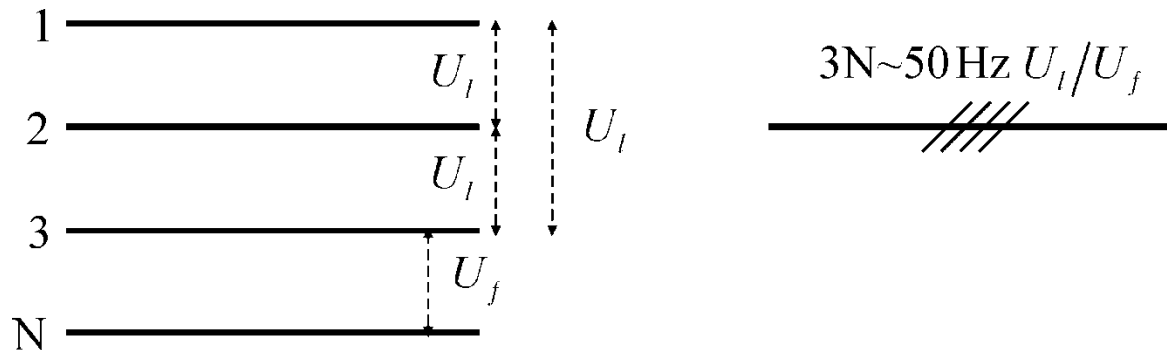
- Sistemi napajanja za napone preko 1000V su

- trofazni trožični sa tri linijska napona U_l



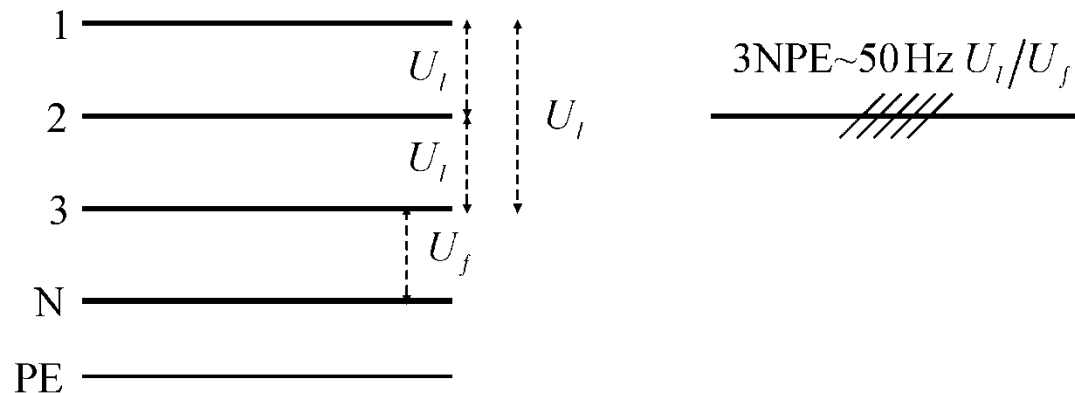
- Sistemi napajanja za napone ispod 1000 V su

- trofazni četvorožični sa tri linijska napona U_l i tri fazna napona U_f



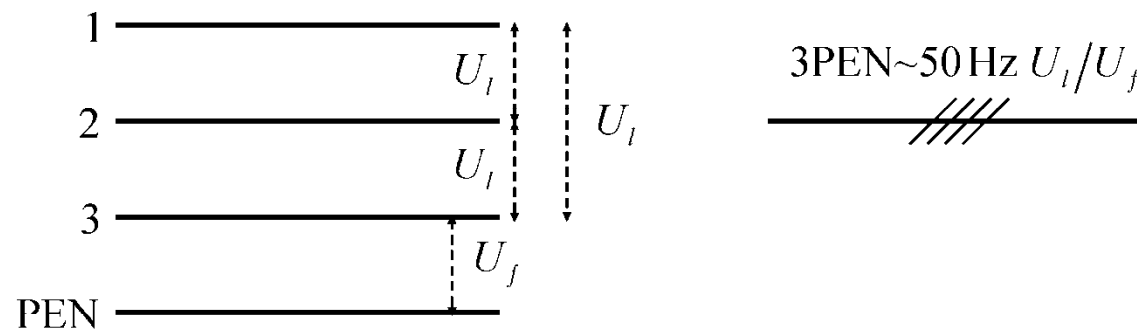
Sistemi napajanja / 2

- Iz razloga bezbednosti
 - postavlja se i peti provodnik - zaštitni provodnik (PE) - petožični sistem napajanja
 - zaštitni provodnik se koristi za uzemljivanje metalnih delova uređaja (ima ulogu samo u slučaju kvara)
 - boja izolacije na
 - zaštitnom provodniku je žuto-zelene boje
 - nultom provodniku je plave ili sive boje
 - faznim provodnicima je crne, braon ili neke druge boje



Sistemi napajanja / 3

- Sistemi napajanja sa
 - objedinjenom funkcijom neutralnog i zaštitnog provodnika PEN su četvorožični.



- Jednofazni sistem napajanja je dvožični.

