

4. ELEKTRIČNI SIGNALI

4.1. Klasifikacija električnih mernih signala

- Postoji više vrsta električnih mernih signala. Oni se mogu grupisati u dve osnovne kategorije: korisni signali i neželjeni signali (signali šumova i drugih smetnji).
- Signali kod kojih je neki od parametara funkcionalno povezan sa merenom veličinom nazivaju se merni signali. Ostali signali u procesu merenja mogu biti u funkciji nadzora, upravljanja i napajanja mernih sredstava.
- Bez obzira na poreklo u procesu merenja, svi električni signali u svom prirodnom obliku predstavljaju određena energetska stanja slobodnih nosilaca naelektrisanja u datom prostoru i vremenu.
- Ta energetska stanja su okarakterisana vrednostima napona, struje i vremena.
- Za sve vrste signala definisani su univerzalni osnovni parametri kojima su opisane njihove karakteristike.

4.1. Klasifikacija električnih mernih signala

- Vrednosti napona i struje u određenom vremenskom trenutku t su $u = u(t)$, odnosno $i = i(t)$.
- Promena napona i struje u vremenu predstavlja oblik električnog signala.
- U nastavku kod svih razmatranja koristiće se signal napona ali svi dobijeni zaključci važiće i za struje.
- U električnim merenjima koriste se različite vrste mernih signala sa širokim granicama vrednosti njihovih parametara.
- Na primer napon može da bude od μV pa do stotinu kV, frekvencija od 0 pa do desetina GHz. Pri tome signali mogu biti različitih funkcionalnih oblika.
- Prema vremenskom karakteru svi električni signali se mogu podeliti na determinisane (određene) i nedeterminisane (slučajne).

4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala

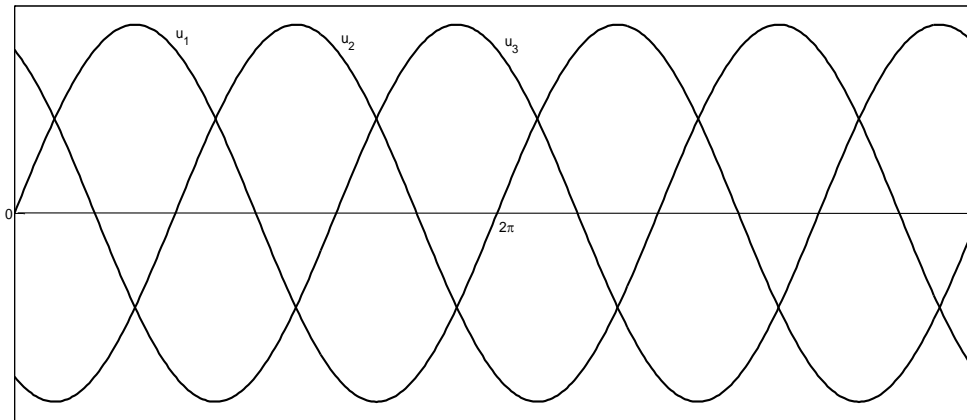
- Kod nekog električnog signala merenje njegovih karakteristika podrazumeva:
 - merenje električnog napona,
 - merenje električne struje,
 - merenje snage i
 - merenje oblika signala.
- Proizvoljni električni signal može biti opisan u vremenskom domenu ili frekvencijskom domenu.
- Kod prvog načina modeluju se vrednosti signala u funkciji vremena. Kod drugog načina naglasak je na veličini energije koja može biti utvrđena na različitim frekvencijama u spektru za posmatrani signal.
- Potpuno poznavanje jednog modela za posmatrani signal omogućava određivanje drugog modela.
- Međutim, metode merenja koje imaju za cilj određivanje karakteristika i oblika signala za ova dva modela potpuno su različite.

4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala

- Merenja u vremenskom domenu podrazumevaju merenje frekvencije i faze signala.
- Frekvencija je praktično brzina kojom se ponavlja oblik signala u vremenu.
- Frekvencija se definiše kao broj ponavljanja u jednoj sekundi.
- Određivanje frekvencije posmatranog signala podrazumeva određivanje broja ponavljanja u toku intervala od jedne sekunde.
- Merenje faze ima za cilj poređenje dva ili više signala koji imaju isti oblik i frekvenciju.
- Kod ovakvih signala ponavljanja su pomerena po vremenskoj osi.

4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala

- Primera radi na slici su prikazana tri signala $u_1(t)$, $u_2(t)$ i $u_3(t)$ iste amplitude i frekvencije sa faznim pomakom od 120° (simetrični trofazni sistem).



- Ovi signali u vremenskom domenu opisani su jednačinama:

$$u_1(t) = U_m \sin \omega t,$$

$$u_2(t) = U_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right),$$

$$u_3(t) = U_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right).$$

4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala

- Određivanje talasnog oblika je važno kada je neophodno da se zna kako se signal menja u intervalu koji predstavlja period unutar kojeg ne dolazi do ponavljanja signala.
- Ako je promena takva da se može analitički opisati na primer sinusnim funkcijama, tada je to dovoljno za adekvatan opis oblika signala.
- Naravno, nije uvek moguće opisati signal jednostavnim funkcijama. U tom slučaju potrebne su dodatne informacije.
- Na primer, impulsni signal može se opisati širinom impulsa, vremenom uspostavljanja, zaravnjenošću gornje ivice, vremenom opadanja.
- Ako je impuls regularnog oblika, njegove karakteristike lako se mogu odrediti pomoću osciloskopa.
- U nastavku će biti dat pregled parametara periodičnih i složenoperiodičnih električnih signala.

4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala

- Aritmetička srednja vrednost (*Arithmetic mean*) predstavlja srednju vrednost posmatranog signala na intervalu T . Ona se računa pomoću jednačine:

$$U_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T u dt$$

- Srednja vrednost ispravljenog signala (*Rectified mean value*) predstavlja srednju vrednost ispravljenog signala i može se izračunati pomoću izraza:

$$U_{sri} = \frac{1}{T} \int_0^T |u| dt$$

- Efektivna vrednost (*RMS value*) nekog signala može se odrediti preko jednačine:

$$U_{ef} = U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}$$

4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala

- Krest faktor (*Crest factor*) predstavlja odnos maksimalne vrednosti U_m i efektivne vrednosti U_{ef} nekog signala i dat je izrazom:

$$K_c = \frac{U_m}{U_{ef}}$$

- Faktor oblika (*Form faktor*) predstavlja odnos efektivne vrednosti i srednje vrednosti ispravljenog signala i može se izračunati pomoću izraza:

$$K_o = \frac{U_{ef}}{U_{sri}}$$

- Aktivna snaga (*Active power*) za posmatrani signal računa se preko izraza:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt = \frac{1}{T} \int_0^T p dt$$

- Prividna snaga (*Apparent power*) nekog signala je:

$$S = UI$$

gde su U i I efektivne vrednosti napona i struje signala.

4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala

- Reaktivna snaga (*Reactive power*) nekog signala može se izračunati preko prividne i aktivne snage:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

- Faktor snage (*Power factor*) odnosno $\cos\varphi$ nekog signala predstavlja odnos aktivne i prividne snage:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

- Aktivna energija (*Active energy*) nekog signala može se izračunati pomoću jednačine:

$$W = \int_0^T uidt = \int_0^T pdt$$

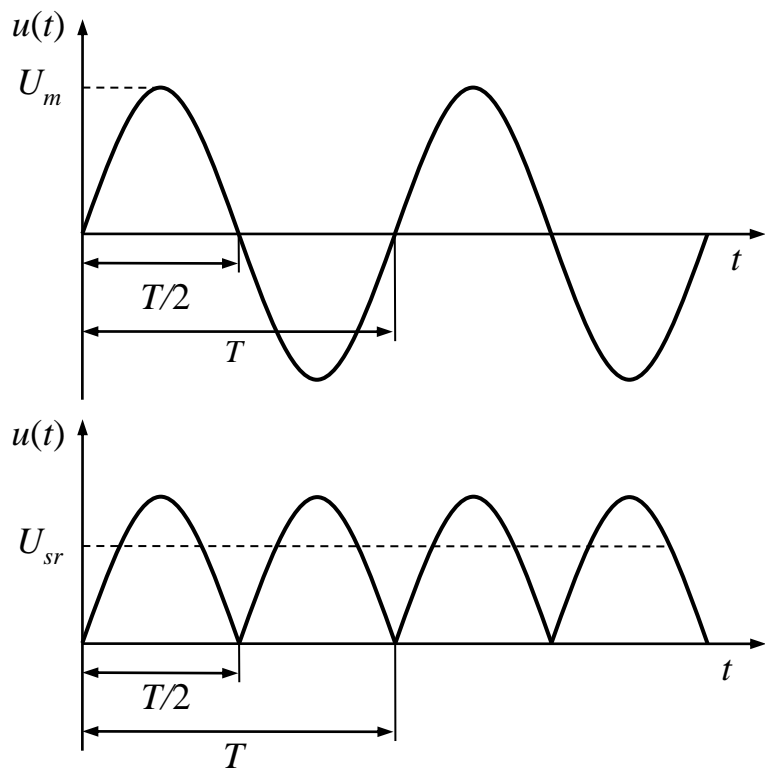
4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala

- Za jedan prostoperiodičan sinusoidalni signal od karakterističnih parametara posebno su važni maksimalna vrednost, efektivna vrednost i srednja ispravljena vrednost signala.
- Ako se radi o mrežnom distributivnom naponu standardizovana vrednost efektivnog napona je $U = 230 \text{ V}$.
- Maksimalna vrednost napona je za koren iz dva puta veća od efektivne vrednosti i iznosi $U_m = 325 \text{ V}$.
- Srednja ispravljena vrednost za ovakav signal može se izračunati primenom jednačine

$$U_{sri} = \frac{1}{T} \int_0^T |u| dt$$

na osnovu slike na kojoj je prikazan sinusoidalni napon i njegova ispravljena vrednost.

4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala



$$U_{sri} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u(t) dt$$

$$U_{sri} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_m \sin \omega t dt = -\frac{2U_m}{\omega T} \cos \omega t \Big|_0^{T/2}$$

$$U_{sri} = \frac{2 \cdot 2 \cdot U_m}{\omega T} = \frac{2 \cdot 2 \cdot U_m}{\frac{2 \cdot \pi}{T} T} = \frac{2}{\pi} U_m$$

4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala

- Za faktor oblika se dobije vrednost:

$$K_o = \frac{U_{ef}}{U_{sri}} = \frac{\frac{U_m}{\sqrt{2}}}{\frac{2}{\pi}U_m} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11072$$

- Prema tome srednja ispravljena vrednost je $U_{sri} = U_{ef} / 1.11072 = 207 \text{ V}$.
- Ovi odnosi između pojedinih parametara važe kada je napon čisto sinusoidalan.
- Često su signali izobličeni i pored osnovnog imaju i više harmonike. Za takve signale definišu se odgovarajući parametri.

4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala

- Osnovni parametar koji opisuje harmonijska izobličenja je koeficijent harmonijskih izobličenja (*total harmonic distortion, THD factor*).
- Ovaj faktor pokazuje meru harmoničke distorzije. Prema standardu IEC definiše se kao:

$$k = \frac{\sqrt{U_{H2}^2 + U_{H3}^2 + \dots + U_{Hn}^2}}{U_{H1}} = \frac{\sqrt{U_{ef}^2 - U_{H1}^2}}{U_{H1}}$$

- Prema DIN standardu, THD faktor se definiše kao:

$$k = \frac{\sqrt{U_{H2}^2 + U_{H3}^2 + \dots + U_{Hn}^2}}{\sqrt{U_{H1}^2 + U_{H2}^2 + \dots + U_{Hn}^2}} = \frac{\sqrt{U_{ef}^2 - U_{H1}^2}}{U_{ef}}$$

- Može se definisati i faktor koji pokazuje sadržaj osnovnog harmonika kao:

$$fc = \frac{U_{H1}}{U_{ef}}$$

- Može se videti da za poslednje dve relacije postoji veza:

$$k^2 + fc^2 = 1$$

4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala

- U idealnom slučaju u električnoj mreži struja i napon su čisto sinusoidalne veličine.
- Sinusna funkcija je prostoperiodična funkcija pa se pojave u takvim kolima mogu jednostavno predstaviti. Ovakve signale je lako izmeriti.
- Međutim, u praksi su prostoperiodične veličine retkost jer su struja i naponi izobličeni. Takvi signali se predstavljaju složenoperiodičnim funkcijama u vremenu.
- Na izobličenost signala utiču razni parametri električnih kola koji su često promenljivi i zavise od napona, struje i vremena.
- Na izobličenost može da utiče i nesavršena konstrukcija generatora.
- Međutim, na izobličenost, odnosno na više harmonike, u električnim kolima najviše utiču poluprovodničke komponente (tranzistori, tiristori, diode, pojačavači) koji su nelinearni potrošači.
- Takođe, na izobličenost utiče elektrifikacija saobraćaja, razni procesi elektroliza, lučne peći i sl.

4.2. Osnovni parametri i karakteristike električnih signala

- Merenje izobličenih signala je veoma složen zadatak pogotovo što se kalibracija instrumenata vrši prostoperiodičnim signalima napona i struje.
- Naizmeničnu veličinu u pogledu njenog intenziteta karakteriše njena maksimalna vrednost (amplituda).
- Međutim, u teoriji naizmeničnih veličina za opis intenziteta mnogo češće se koriste efektivne vrednosti. Svi instrumenti koji mere naizmenične veličine se projektuju tako da pokazuju efektivne vrednosti.
- Pomoću efektivnih vrednosti mogu se izraziti i druge veličine karakteristične za električna kola kao što su električna snaga i energija.
- Efektivne vrednosti fizički ne postoje jer se naizmenične veličine stalno menjaju u vremenu.
- Pojam efektivne vrednosti može najlakše da se objasni ako se posmatra jedan element otpornosti R na kome se usled proticanja struje javljaju Džulovi gubici.
- Prema tome, efektivna vrednost naizmenične struje je konstantna vrednost struje pri kojoj se u otporniku R , za vreme jednog perioda, disipira ista količina toplote kao i pri proticanju naizmenične struje.