

1. Snaga izmjenične sinusne struje

- 1.1 Izmjenična sinusna struja i napon
- 1.2 Djelatna snaga
- 1.3 Induktivna jalova snaga
- 1.4 Kapacitivna jalova snaga
- 1.5 Snaga serijskog *RLC* spoja
- 1.6 Snaga paralelnog *RLC* spoja
- 1.7 Povećanje faktora snage
- 1.8 Rad izmjenične sinusne struje

1.1 Izmjenična sinusna struja i napon

Osvrnut ćemo se na osnovne značajke izmjenične sinusne struje i napona kojih smo se već dotaknuli u udžbeniku *Osnove elektrotehnike 1* za prvi razred.

OBILJEŽJA IZMJENIČNE SINUSNE STRUJE I NAPONA

Izmjeničnu sinusnu struju možemo prikazati sinusnom funkcijom (slika 1.1-1) gdje je kut α trenutačni kut:

$$i = I_m \sin \alpha .$$

Trenutačna vrijednost struje i je vrijednost struje u određenom vremenskom trenutku t . Mjerna jedinica je amper (A).

Maksimalna vrijednost struje I_m je najveća vrijednost koju struja može postići tijekom jednog perioda. Maksimalna vrijednost naziva se još i vršna vrijednost ili amplituda. Mjerna jedinica je amper (A).

Efektivna vrijednost struje I jednaka je onoj vrijednosti stalne istosmjerne struje pri kojoj se u nekom otporniku za vrijeme jednog perioda u toplinu pretvori jednak električni rad kao i pri promatranoj izmjeničnoj sinusnoj struji. Mjerna jedinica je amper (A).

S obzirom da efektivna vrijednost za sinusnu struju odgovara veličini istosmjerne struje, obilježava se velikim kosim slovom I . Veza maksimalne i efektivne vrijednosti sinusne struje dana je izrazom:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m .$$

Svi proračuni u krugu izmjenične sinusne struje provode se s **efektivnim vrijednostima**.

Period T je vrijeme za koje izmjenična sinusna struja, koja se periodički ponavlja, obavi jedan ciklus. Mjerna jedinica perioda je sekunda (s).

Frekvencija f izmjenične sinusne struje je broj perioda u jednoj sekundi. Mjerna jedinica za frekvenciju je herc (Hz).

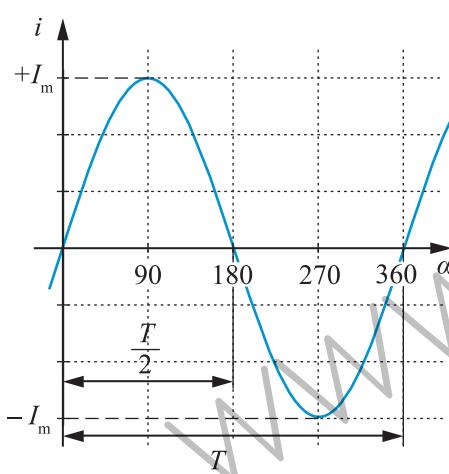
Frekvencija i period obrnuto su proporcionalne veličine.

Što je frekvencija veća, vrijeme jednog perioda je kraće. Veza frekvencije i perioda možemo izraziti izrazom:

$$T = \frac{1}{f} .$$

Kružna frekvencija ω jednaka je broju prijeđenih punih kutova u sekundi.

Mjerna jedinica je radian po sekundi $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} = \text{rad s}^{-1} \right)$.



Slika 1.1-1

Izmjenična sinusna struja

Veza između kuta α sinusne funkcije i vremena t (kao nezavisne varijable) slijedi iz odgovarajuće proporcionalnosti kuta 2π i perioda T sinusne izmjenične sinusne struje:

$$t : T = \alpha : 2\pi.$$

Iz toga slijedi:

$$\alpha = \frac{2\pi t}{T} = 2\pi f t = \omega t.$$

Vezu kružne frekvencije, frekvencije i perioda možemo izraziti izrazom:

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

Trenutačnu vrijednost izmjenične sinusne struje možemo prikazati u obliku:

$$i = I_m \sin \omega t,$$

gdje je:

- i trenutačna vrijednost struje, A
- I_m maksimalna vrijednost struje, A
- t vrijeme, s
- ω kružna frekvencija, rad/s.

Provedena analiza izmjenične sinusne struje vrijedi i za izmjenični sinusni napon. Trenutačnu vrijednost izmjeničnog sinusnog napona možemo prikazati u obliku:

$$u = U_m \sin \alpha \quad \text{i}$$

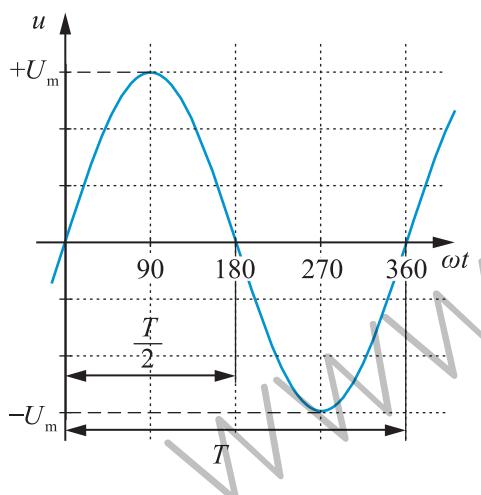
$$u = U_m \sin \omega t,$$

gdje je:

- u trenutačna vrijednost napona, V
- U_m maksimalna vrijednost napona, V
- t vrijeme, s
- ω kružna frekvencija, rad/s
- α kut, rad.

Efektivnu vrijednost napona U računamo prema izrazu:

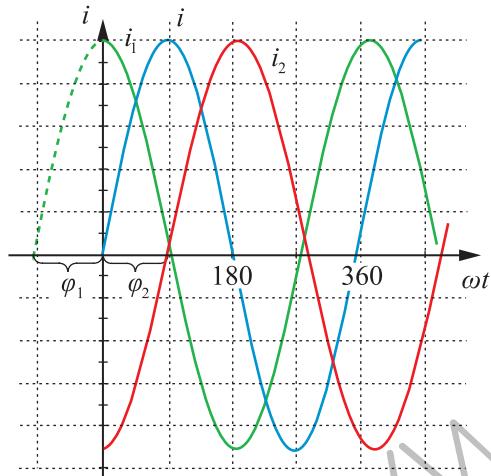
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m.$$



Slika 1.1-2

Izmjenični sinusni napon

$$\begin{aligned} i &= I_m \sin \omega t \\ i_1 &= I_m \sin (\omega t + \varphi_1) \\ i_2 &= I_m \sin (\omega t - \varphi_2) \end{aligned}$$



Slika 1.1-3

Sinusne struje s početnim faznim pomakom

SINUSNA STRUJA S POČETNIM FAZNIM POMAKOM

U početku promatranja neke izmjenične sinusne struje ona može imati određenu početnu vrijednost koja odgovara određenom kutu φ sinusoida (slika 1.1-3). Matematički oblik sinusne struje s početnim faznim pomakom φ jest:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi).$$

Početni fazni pomak (početni kut ili fazni kut) φ je kut koji sinusoida ima u trenutku $t = 0$. Kada početni fazni pomak ima predznak "+" u trenutku $t = 0$, nultočka je pomaknuta od ishodišta ulijevo, a kada ima predznak "-" u trenutku $t = 0$, nultočka je pomaknuta udesno (slika 1.1-3).

Na isti način možemo prikazati i napon s početnim faznim pomakom:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi).$$

Primjer 1

Trenutačna vrijednost struje dana je izrazom $i = 20 \sin\left(314t + \frac{\pi}{3}\right)$ A. Kolika je maksimalna i efektivna vrijednost struje? Kolika je kružna frekvencija, frekvencija, period i početni fazni pomak?

Zadano:

$$i = 20 \sin\left(314t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ A}$$

$$I_m = ?$$

$$I = ?$$

$$\omega = ?$$

$$f = ?$$

$$T = ?$$

Rješenje:

Maksimalna vrijednost struje:

$$I_m = 20 \text{ A.}$$

Efektivna vrijednost struje:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 20 \cdot 0,707 \text{ A} = 14,14 \text{ A}$$

Kružna frekvencija:

$$\omega = 314 \text{ s}^{-1}$$

Frekvencija:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{2 \cdot 3,14} \text{ s}^{-1} = 50 \text{ Hz}$$

Period:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \text{ Hz}} = 0,02 \text{ s} = 20 \text{ ms}$$

Početni kut:

$$\varphi = \frac{\pi}{3}, \quad \varphi = 60^\circ$$

Primjer 2

Napišite izraz za trenutačnu vrijednost izmjeničnog sinusnog napona ako je poznato: $U = 220 \text{ V}$, $T = 20 \text{ ms}$.

Zadano:

$$U = 220 \text{ V}$$

$$T = 20 \text{ ms} = 0,02 \text{ s}$$

$$u = ?$$

Rješenje:

Maksimalna vrijednost napona:

$$U_m = U\sqrt{2} = 220 \cdot \sqrt{2} \text{ V} = 311 \text{ V}$$

Kružna frekvencija:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2 \cdot 3,14}{0,02} \text{ s}^{-1} = 314 \text{ s}^{-1}$$

Trenutačna vrijednost napona:

$$u = U_m \sin \omega t$$

$$u = 311 \sin 314 t \text{ V}$$

Dobivena vrijednost odgovara naponu gradske mreže.

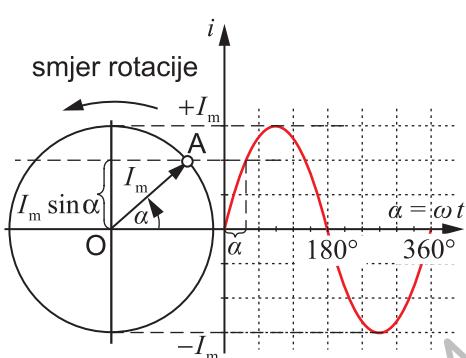
PREDSTAVLJANJE IZMJENIČNE SINUSNE STRUJE I NAPONA POMOĆU ROTIRAJUĆIH FAZORA

Sinusna funkcija može se grafički predočiti ako radijus vektor rotira jednolikom kutnom brzinom iz početnog horizontalnog položaja u smjeru suprotnom od kazaljke na satu. U svakom trenutačnom položaju tog vektora njegova projekcija na vertikalnu os jednaka je sinusu kuta što ga rotirajući vektor tvori sa početnim horizontalnim položajem.

Kako bismo na taj način prikazali izmjeničnu sinusnu struju, duljina rotirajućeg vektora, kojeg ćemo nazvati **fazor**, mora odgovarati maksimalnoj jakosti struje $|OA| = I_m$ (slika 1.1-4).

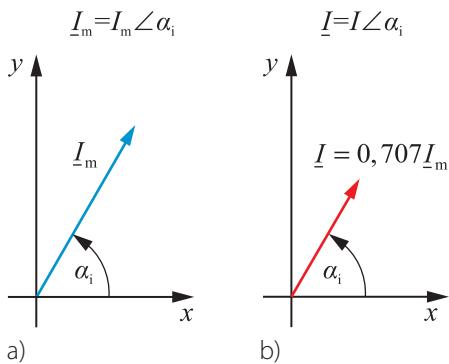
Pretpostavimo da u ravnini (slika 1.1-4) oko ishodišta koordinatnog sustava rotira fazor $|OA|$, čija je duljina jednaka amplitudi izmjenične sinusne struje I_m , stalnom kutnom brzinom ω u smjeru suprotnom od kazaljke na satu. Projekcija fazora na y -osi odgovara trenutačnoj vrijednosti struje i u odgovarajućem trenutku t . Kutna brzina rotacije fazora odgovara kružnoj frekvenciji, a početni kut fazora odgovara početnom kutu sinusoide. Trenutačni kut fazora odgovara trenutačnom kutu sinusoide, a kad se fazor jednom okreće za 360° (2π radijana), sinusoida obavi jedan period.

Dakle, sinusna struja može se prikazati pomoću **rotirajućeg fazora**. Smjer fazora u trenutku $t = 0$ pokazuje fazni pomak izmjenične veličine. Na isti način može se prikazati i sinusni napon.



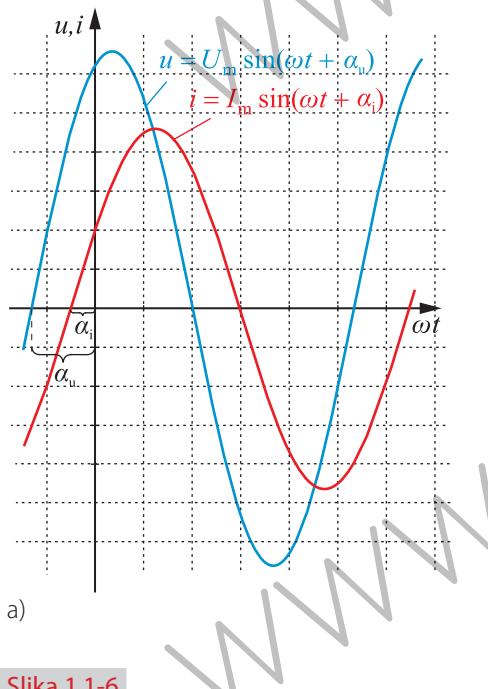
Slika 1.1-4

Prikaz sinusne struje fazorom



Slika 1.1-5

- a) Fazor maksimalne vrijednosti struje
b) Fazor efektivne vrijednosti struje



Slika 1.1-6

- a) Izmjenični sinusni napon i struja
b) Fazorski dijagram s maksimalnim vrijednostima
c) Fazorski dijagram s efektivnim vrijednostima

PREDSTAVLJANJE IZMJENIČNE SINUSNE STRUJE I NAPONA POMOĆU MIRUJUĆIH FAZORA

Pri analizi strujnih krugova izmjenične se sinusne veličine prikazuju **mirujućim fazorom**.

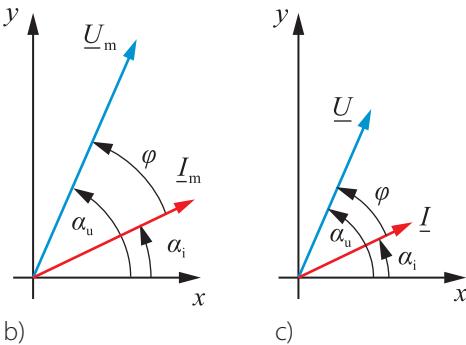
Početni fazni pomak (početni kut) neke sinusne veličine je kut fazora φ u odnosu na x -os (fazna os) u trenutku $t = 0$. Slika 1.1-5a prikazuje fazore čija duljina odgovara maksimalnoj vrijednosti sinusne struje (1.1-5a) s početnim faznim pomakom α_i u trenutku $t = 0$. Dijeljenjem maksimalne vrijednosti napona ili struje s $\sqrt{2}$ dobit će se **efektivna vrijednost** napona ili struje. Slika 1.1-5b prikazuje **fazor** čija duljina odgovara efektivnoj vrijednosti struje. Za analizu krugova izmjenične sinusne struje koriste se efektivne vrijednosti. Ubuduće ćemo redovito crtati fazore čija je duljina jednaka efektivnoj vrijednosti izmjenične sinusne struje ili napona, a kut prema osi x početni fazni pomak u trenutku $t = 0$.

Fazore maksimalne ili efektivne vrijednosti sinusne struje i napona označavat ćeemo simbolički velikim kosim slovom sa crtom ispod: \underline{U}_m , \underline{I}_m , \underline{U} i \underline{I} . Maksimalnu i efektivnu vrijednost struje i napona označavat ćeemo velikim kosim slovima: U_m , I_m , U i I . Trenutačne vrijednosti struje i napona označavat ćeemo malim kosim slovima: u i i .

FAZNI ODNOŠI

Fazorski dijagrami koriste se pri analizi strujnih krugova gdje su izmjenični sinusni naponi i struje jednake frekvencije. Kako se svi ti fazori vrte stalnom kutnom brzinom, međusobni se položaj rotirajućih fazora tijekom vremena ne mijenja. Stoga njihov položaj u trenutku $t = 0$ prikazujemo mirujućim fazorima, a sadrže sve potrebne podatke: amplitude, početne faze i fazne razlike između pojedinih veličina.

Slika 1.1-6a prikazuje vremenski dijagram sinusnog napona i struje jednake frekvencije, fazno pomaknute, a slika 1.1-6b fazorski dijagram s maksimalnim vrijednostima. Slika 1.1-6c prikazuje fazorski dijagram s efektivnim vrijednostima.



Razliku početnih kutova dviju sinusnih veličina jednake frekvencije nazivamo njihovim faznim pomakom.

Ako za pozitivan smjer uzmemo smjer suprotan kazaljki na satu, tada, prema slici 1.1-6, fazor napona prethodi fazoru struje za kut φ :

$$\varphi = \alpha_u - \alpha_i,$$

gdje je:

φ fazni pomak između napona i struje,

α_i početni kut struje,

α_u početni kut napona.

Prikazivanje sinusnih veličina fazorima omogućuje njihovo jednostavno zbrajanje ili oduzimanje na isti način kao i zbrajanje ili oduzimanje vektora.

Primjer 1

Zadane su sljedeće sinusne struje: $i_1 = 1,5 \sin(314t)$ A i $i_2 = 2 \sin(628t)$ A. Kolika je njihova amplituda? Izračunajte frekvenciju i period zadanih struja, a zatim nacrtajte vremenski dijagram. Usporedite njihove periode.

Zadano:

$$i_1 = 1,5 \sin(314t) \text{ A}$$

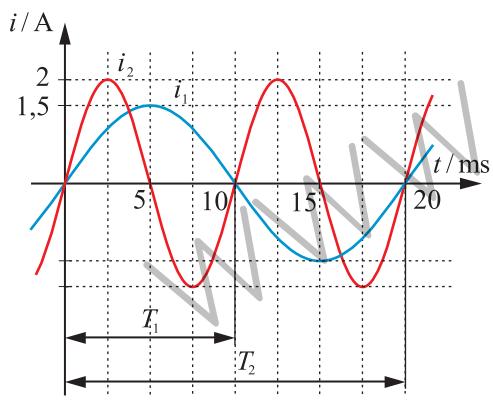
$$i_2 = 2 \sin(628t) \text{ A}$$

$$f_1 = ?$$

$$f_2 = ?$$

$$T_1 = ?$$

$$T_2 = ?$$



Rješenje:

Amplituda:

$$I_{m1} = 1,5 \text{ A}$$

$$I_{m2} = 2 \text{ A}$$

Frekvencija:

$$f_1 = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{2\pi} \text{ Hz} = 50 \text{ Hz}$$

$$f_2 = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628}{2\pi} \text{ Hz} = 100 \text{ Hz}$$

$$f_1 = \frac{1}{2} f_2$$

Period:

$$T_1 = \frac{1}{f_1} = \frac{1}{50} \text{ s} = 0,02 \text{ s} = 20 \text{ ms}$$

$$T_2 = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{100} \text{ s} = 0,01 \text{ s} = 10 \text{ ms}$$

$$T_1 = 2T_2$$

Primjer 2

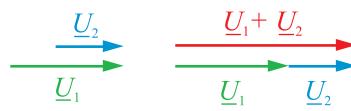
Zbrojite dva izmjenična sinusna napona čije su efektivne vrijednosti $U_1 = 5 \text{ V}$ i $U_2 = 3 \text{ V}$ ako su u fazi. U_1 uzeti kao referentni pod kutom od 0° .

Zadano:

$$U_1 = 5 \text{ V}$$

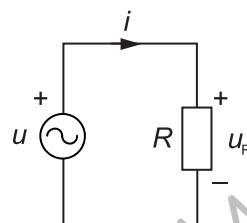
$$U_2 = 3 \text{ V}$$

$$U_1 + U_2 = ?$$



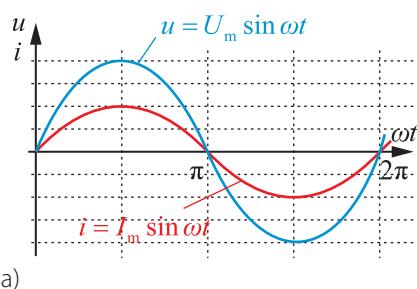
Rješenje:

$$U = U_1 + U_2 = 5 \text{ V} + 3 \text{ V} = 8 \text{ V}$$

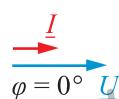


Slika 1.2-1

Otpornik u krugu izmjenične sinusne struje



a)



b)

Slika 1.2-2

a) Valni oblici napona i struje

b) Fazorski dijagram napona i struje

1.2 Djelatna snaga

Kada otpornik otpora R (djelatno trošilo) spojimo u krug izmjenične sinusne struje (slika 1.2-1), na njemu će se električna energija pretvarati u toplinu, primjerice kod električnog kuhala, što smatramo korisnim radom.

Ako kroz otpornik teče sinusna struja $i = I_m \sin \omega t$, tada će na njemu biti i sinusni napon:

$$u = I_m R \sin \omega t = U_m \sin \omega t,$$

gdje je:

$$U_m = I_m R.$$

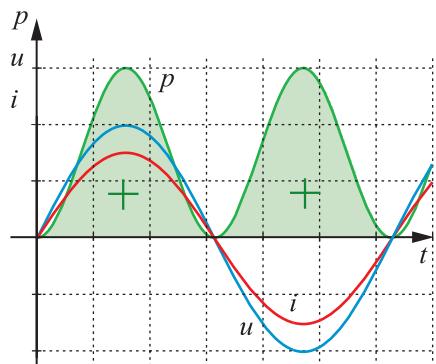
Dijeljenjem izraza s $\sqrt{2}$ dobit ćemo efektivne vrijednosti napona i struje:
 $U = IR$.

Napomenimo kako u ovom krugu izmjenične sinusne struje vrijedi Ohmov zakon. Kada napon raste, raste i struja te istovremeno postižu svoje maksimalne vrijednosti. Kada napon pada, i struja pada, a kada je napon nula, i struja je nula.

Na slici 1.2-1 označeni referentni smjer struje odgovara označenom referentnom polaritetu napona te se u slučaju promjene smjera struje mijenja i polaritet napona.

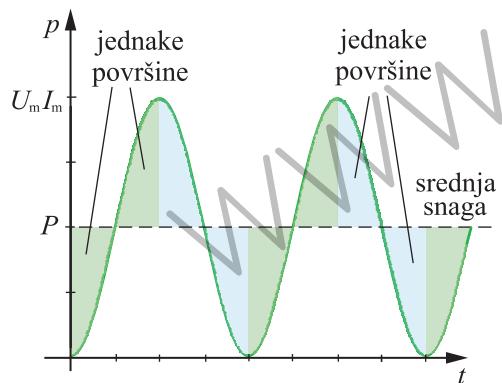
Na otporniku u krugu izmjenične sinusne struje napon i struja su u fazi.

U krugu izmjenične sinusne struje vrijednosti napona i struje se stalno mijenjaju. Ako za svaku trenutku vrijednost napona i struje izračunamo umnožak ui , dobit ćemo različite vrijednosti za trenutku snagu $p = ui$, koje možemo nacrtati u koordinatnom sustavu (slika 1.2-3). Dobili smo dijagram snage pri djelatnom trošilu, koja je uvijek pozitivna i dvostrukog frekvencijskog perioda. Pozitivan predznak znači da je energija koju daje izvor čitavo vrijeme usmjerena prema trošilu i pretvara se u neki drugi oblik energije, primjerice u koristan rad.



Slika 1.2-3

Valni oblik snage pri djelatnom opterećenju



Slika 1.2-4

Srednja snaga

Energija koju izvor predaje strujnom krugu, a potpuno je iskorištena u trošilu za koristan rad, naziva se **djelatna ili radna energija**, dok se snaga razvijena na trošilu naziva **djelatna ili radna snaga**.

Oznaka za djelatnu snagu je P , kao i za snagu istosmjerne struje, a merna jedinica vat (W).

Snaga na otporniku mijenja se između minimalne $P_{\min} = 0$ i maksimalne vrijednosti $P_{\max} = U_m I_m$.

Moglo bi se dokazati da je, prema dijagramu (slika 1.2-4), zbog označenih jednakih površina srednja snaga jednaka polovini maksimalne snage:

$$P = \frac{U_m I_m}{2}.$$

Zamjenom maksimalnih vrijednosti napona i struje s efektivnim vrijednostima dobivamo konačni oblik za srednju snagu P :

$$P = \frac{\sqrt{2}U\sqrt{2}I}{2}$$

$$P = UI$$

gdje je:

P snaga, W

U napon, V

I struja, A.

Umnožak efektivne vrijednosti napona i efektivne vrijednosti struje na otporniku daje djelatnu ili radnu snagu.

Snagu možemo računati i prema izrazima:

$$P = I^2 R, \quad P = \frac{U^2}{R}.$$

Primjer 1

Otpornik $R = 25 \Omega$ spojen je na izmjenični sinusni napon $U = 220 \text{ V}$ frekvencije $f = 50 \text{ Hz}$. Izračunajte jakost struje i snagu na otporniku. O kakvoj se snazi radi?

Zadano:

$$R = 25 \Omega$$

$$U = 220 \text{ V}$$

$$I = ?$$

$$P = ?$$

Rješenje:

Jakost struje:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{25} = 8,8$$

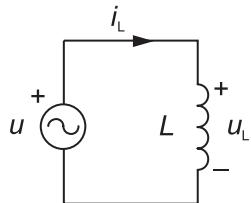
$$I = 8,8 \text{ A}$$

Djelatna snaga:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{220^2}{25} = 1\,936$$

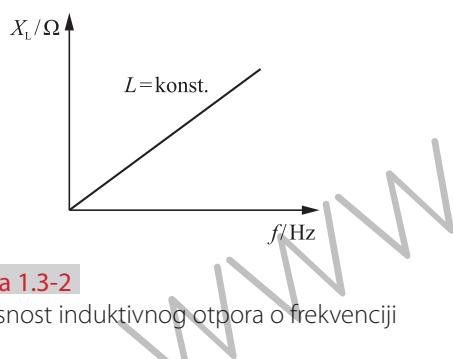
$$P = 1\,936 \text{ W} = 1,936 \text{ kW}$$

1.3 Induktivna jalova snaga



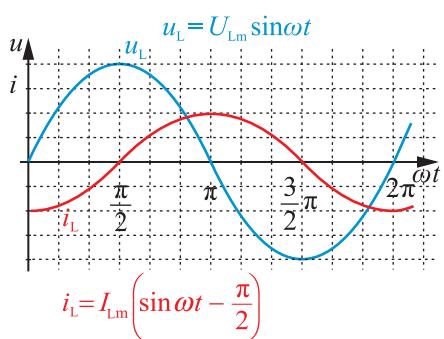
Slika 1.3-1

Zavojnica u krugu izmjenične sinusne struje

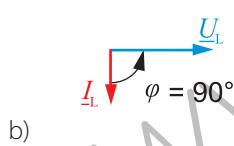


Slika 1.3-2

Ovisnost induktivnog otpora o frekvenciji



a)



b)

Slika 1.3-3

a) Valni oblik napona i struje

b) Fazorski dijagram struje i napona

Kada se zavojnica induktiviteta L ($R = 0, C = 0$) spoji na izmjenični sinusni napon, u strujnom krugu teče izmjenična sinusna struja (slika 1.3-1).

Zavojnica induktiviteta L za izmjeničnu sinusnu struju predstavlja induktivni otpor. Oznaka induktivnog otpora je X_L , a mjerena je jedinica om (Ω).

Induktivni otpor možemo izračunati dijeljenjem efektivne vrijednosti napona U_L i struje I_L :

$$X_L = \frac{U_L}{I_L}.$$

Mjerenja i računi pokazuju da je induktivni otpor X_L proporcionalan induktivitetu L i frekvenciji f izmjenične sinusne struje:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L.$$

Ovisnost induktivnog otpora o frekvenciji uz stalan induktivitet možemo prikazati pravcem u koordinatnom sustavu (slika 1.3-2).

Recipročna vrijednost induktivnog otpora naziva se **induktivna vodljivost** B_L , čija je mjerena jedinica simens (S), a računa se prema izrazu:

$$B_L = \frac{1}{X_L}.$$

Pri prolazu izmjenične sinusne struje kroz zavojnicu, zbog samoindukcije će nastati fazni pomak između napona i struje. Struja zaostaje za naponom za 90° ($\pi/2$).

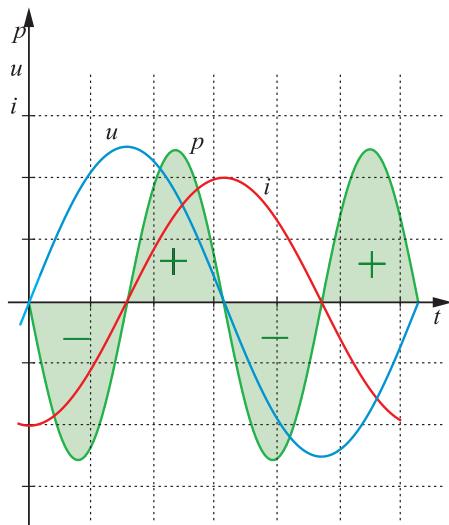
Napon i struju pišemo u obliku:

$$u_L = U_{Lm} \sin \omega t \quad \text{i} \quad i_L = I_{Lm} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

Na slici 1.3-3 prikazan je valni oblik napona i struje te fazorski dijagram za zavojnicu.

U krugu izmjenične sinusne struje vrijednost napona i jakost struje stalno se mijenja. Ako za svaku trenutačnu vrijednost napona i struje izračunamo umnožak napona i struje, dobit ćemo različite vrijednosti za trenutačnu snagu $p = ui$.

Množenjem trenutačnih vrijednosti napona i struje dobiju se i pozitivne i negativne vrijednosti (slika 1.3-4). Snaga je pozitivna kad su predznaci napona i struje jednaki, a negativna kad su različiti. Tada vidimo kako je snaga za vrijeme prve i treće četvrtine perioda negativna, za vrijeme druge i četvrte četvrtine perioda pozitivna. Primjećujemo kako je krivu-



Slika 1.3-4

Napon, struja i snaga na zavojnici

Napomena

Induktivni otpor naziva se i induktivna reaktancija.

Induktivna jalova snaga naziva se i induktivna reaktivna snaga.

Ija snage periodična sinusna funkcija čija je frekvencija dvaput veća od frekvencije struje te je simetrična s obzirom na x-os. Trenutačna vrijednost snage između jednakih pozitivnih i negativnih vrijednosti, pa je srednja vrijednost snage jednaka nuli.

Ovdje se ne može govoriti o pretvaranju električne energije u toplinski, kao kod djelatnog otpora. Struja teče u strujnom krugu, ali nema trošenja električne energije. Odnosno, u strujnom se krugu sa zavojnicom ne obavlja koristan rad. Naime, kada je snaga pozitivna, izvor daje energiju zavojnicu, tj. električna energija izvora pretvara se u magnetsku energiju. Kada je snaga negativna, tada se zavojnica ponaša kao izvor, a magnetska energija pretvara se u električnu i vraća natrag izvoru.

Pri opterećenju zavojnice energija beskorisno kruži strujnim krugom, pa se njezina snaga naziva induktivna jalova snaga.

Induktivna jalova snaga označava se slovom Q_L , a njezina mjerena jedinica je voltamper reaktivno, var. Računamo je kao umnožak napona i struje:

$$Q_L = U_L I_L,$$

gdje je:

Q_L induktivna jalova snaga, var

U_L napon, V

I_L struja, A.

Uz poznавање напона или struje i induktivnog otpora, induktivnu jalovu snagu можемо računati i prema izrazima:

$$Q_L = I_L^2 X_L \quad \text{i} \quad Q_L = \frac{U_L^2}{X_L}.$$

Primjer 1

Zavojnica induktiviteta $L = 15 \mu\text{H}$ priključena je na izvor sinusnog napona frekvencije $f = 5 \text{ MHz}$. Izračunajte induktivni otpor zavojnice.

Zadano:

$$L = 15 \mu\text{H} = 15 \cdot 10^{-6} \text{ H}$$

$$f = 5 \text{ MHz} = 5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$\underline{X_L = ?}$$

Rješenje:

Induktivni otpor:

$$X_L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 10^{-6} = 471$$

$$X_L = 471 \Omega$$

Primjer 2

Zavojnica induktiviteta $L = 0,2 \text{ H}$ priključena je na izmjenični izvor sinusnog napona $U = 220 \text{ V}$ frekvencije $f = 50 \text{ Hz}$. Izračunajte: a) induktivni otpor, b) jakost struje i c) jalovu snagu.

Zadano:

$$L = 0,2 \text{ H}$$

$$U = U_L = 220 \text{ V}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$X_L, I, Q_L = ?$$

Rješenje:

a) Induktivni otpor:

$$X_L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,2 = 62,8$$

$$X_L = 62,8 \Omega$$

b) Jakost struje:

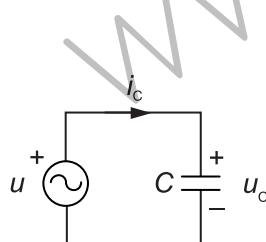
$$I_L = \frac{U_L}{X_L} = \frac{220}{62,8} = 3,5$$

$$I_L = 3,5 \text{ A}$$

c) Jalova snaga

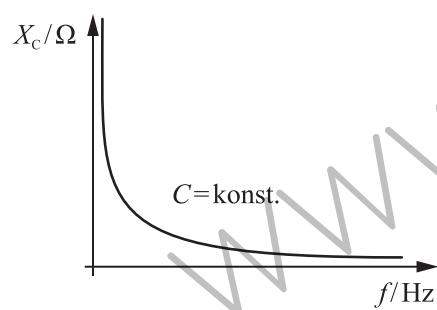
$$Q_L = U_L I_L = 3,5 \cdot 220 = 770$$

$$Q_L = 770 \text{ var}$$



Slika 1.4-1

Kondenzator u krugu izmjenične sinusne struje



Slika 1.4-2

Ovisnost kapacitivnog otpora o frekvenciji

1.4 Kapacitivna jalova snaga

Ako se kondenzator kapaciteta C ($R = 0, L = 0$) spoji na izmjenični sinusni napon, tada će u strujnom krugu teći izmjenična sinusna struja (slika 1.4-1).

Kondenzator kapaciteta C se suprotstavlja protjecanju izmjenične sinusne struje kapacitivnim otporom. Oznaka kapacitivnog otpora je X_C , a mjerna jedinica je om, Ω .

Kapacitivni otpor možemo izračunati dijeljenjem efektivne vrijednosti napona U_C i struje I_C :

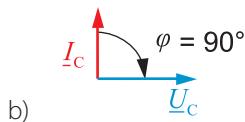
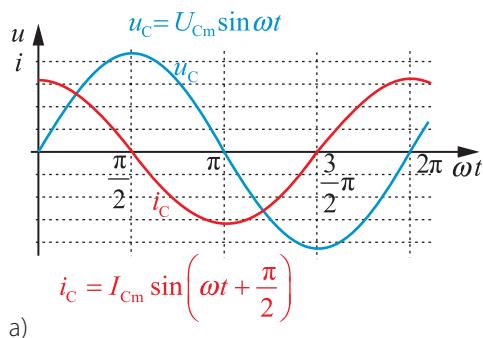
$$X_C = \frac{U_C}{I_C}.$$

Kapacitivni otpor X_C ovisi o kapacitetu C i frekvenciji f izmjenične sinusne struje, i to prema izrazu:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}.$$

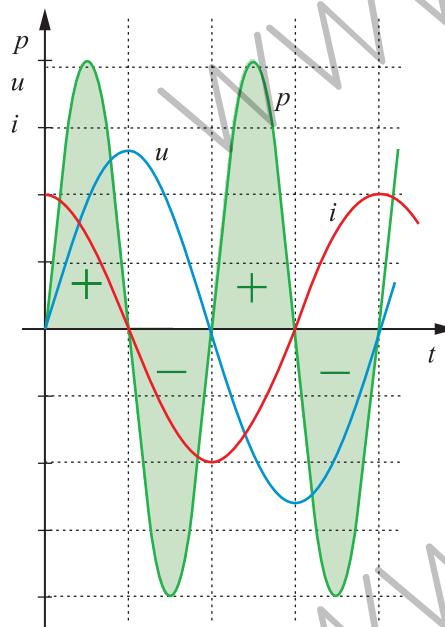
Kapacitivni otpor obrnuto je proporcionalan kapacitetu kondenzatora i frekvenciji.

Ovisnost kapacitivnog otpora o frekvenciji uz konstantni kapacitet prikazana je na slici 1.4-2.



Slika 1.4-3

- a) Valni oblik napona i struje
b) Fazorski dijagram



Slika 1.4-4

Napon, struja i snaga na kondenzatoru

Napomena

Kapacitivni otpor naziva se i kapacitivna reaktancija.

Kapacitivna jalova snaga naziva se i reaktivna snaga.

Recipročna vrijednost kapacitivnog otpora naziva se **kapacitivna vodljivost** B_C , čija je mjerna jedinica simens (S), a računa se prema izrazu:

$$B_C = \frac{1}{X_C}.$$

Pri prolazu izmjenične sinusne struje kroz kondenzator, zbog stalnog punjenja i pražnjenja kondenzatora nastat će fazni pomak između napona i struje. Struja prethodi naponu za 90° ($\frac{\pi}{2}$).

Napon i struju ovdje možemo izraziti kao:

$$u_C = U_{Cm} \sin \omega t \quad i \quad i_C = I_{Cm} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Na slici 1.4-3 prikazani su valni oblici i fazorski dijagram napona i struje.

Trenutačnu vrijednost snage koja se razvija na kondenzatoru u krugu izmjenične sinusne struje možemo izraziti kao umnožak trenutačnih vrijednosti napona i struje. Snaga je za vrijeme prve i treće četvrtine perioda pozitivna, a za vrijeme druge i četvrte negativna.

Trenutačna snaga je sinusna veličina koja se mijenja s dvostrukom frekvencijom u odnosu na frekvenciju struje i napona te je simetrična u odnosu na x-os (slika 1.4-4). Srednja snaga koju kondenzator utroši za vrijeme jednog perioda jednaka je nuli.

Kada je snaga pozitivna, izvor daje energiju, tj. kondenzator se nabija. Kada je snaga negativna, kondenzator se izbjija i energiju vraća u izvor.

Kao i kod zavojnice, i kod kondenzatora nema trošenja električne energije, odnosno u strujnom se krugu ne obavlja koristan rad.

Snagu koja se razvija na kondenzatoru u krugu izmjenične sinusne struje nazivamo kapacitivnom jalovom snagom i računamo je kao umnožak efektivnih vrijednosti napona i struje.

Kapacitivna jalova snaga označava se slovom Q_C , a njezina mjerna jedinica je voltamper reaktivno, var. Računamo je prema izrazu:

$$Q_C = U_C I_C,$$

gdje je:

Q_C kapacitivna jalova snaga, var

U_C napon, V

I_C struja, A.

Uz poznavanje napona ili struje i kapacitivnog otpora, kapacitivnu jalovu snagu možemo računati i prema izrazima:

$$Q_C = I_C^2 X_C, \quad Q_C = \frac{U_C^2}{R}.$$