

## VI. OBVOD STŘÍDAVÉHO PROUDU

### VI – 1. ZÁKLADNÍ VELIČINY STŘÍDAVÉHO PROUDU

**Příklad 1.** Vypočítejte kruhovou frekvenci  $\omega$  střídavého proudu při kmitočtu  $f = 25$  Hz.

**Řešení.** Kruhová frekvence střídavého proudu se vypočte podle vztahu:

$$\omega = 2\pi \cdot f \quad [\text{rad/s}; \text{Hz}]$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 25 = 157 \quad [\text{rad/s}]$$

**Příklad 2.** Jak velká je doba kmitu  $T$  střídavého napětí, jestliže kmitočet  $f = 10^5$  Hz?

**Řešení.** Kmitočet střídavého proudu  $f$  a doba kmitu  $T$  jsou veličiny navzájem převrácené, tj. platí vztahy:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad [\text{Hz}; \text{s}, \text{rad/s}]$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10^5} = 10^{-5} \text{ [s]}$$

**Příklad 3.** Jaký počet pólů musí mít generátor, který má dodávat střídavý proud s kmitočtem  $f = 50$  Hz, jestliže jeho kotva koná  $n = 300$  ot/min?

**Řešení.** Je-li počet pólových dvojic generátoru  $p$ , platí vztah:

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad [\text{Hz}; \text{ot/min}]$$

$$p = \frac{60 \cdot f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{300} = 10 \text{ (pólových dvojic)}$$

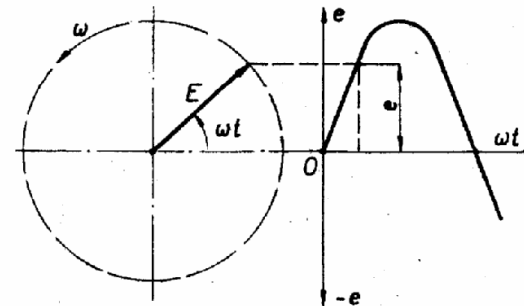
$$2p = 20 \text{ (dvacetipólový stroj)}$$

Technický kmitočet střídavého proudu je u nás normalizován na  $f = 50$  Hz. Při výpočtech můžeme proto dosazovat stálou kruhovou frekvenci  $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314$ .

1. Vypočítejte kmitočet (frekvenci) střídavého proudu, jestliže doba kmitu  $T = 1/50$  s.
2. Jaká je doba kmitu  $T$  střídavého proudu s kmitočtem  $f = 10$  Hz?
3. Vypočítejte kruhovou frekvenci  $\omega$  střídavého proudu s kmitočtem  $f = 30$  Hz.

4. Jaký je kmitočet  $f$  střídavého proudu při kruhové frekvenci  $\omega = 314$  rad/s?
5. Kolik pólů musí mít generátor, má-li při  $n = 250$  ot/min vyrábět proud o kmitočtu  $f = 50$  Hz?
6. Vypočítejte kmitočet  $f$  střídavé elektromotorické síly, otáčeli-li se v homogenním magnetickém poli obdélníková cívka (závit) při  $n = 1500$  ot/min.
7. Jaký kmitočet  $f$  má střídavý proud vyrobený generátorem o 20 pólech, jestliže kotva stroje koná  $n = 300$  ot/min?
8. Jaký počet otáček za minutu má rotor dvanáctipólového alternátoru, jestliže dodává proud o kmitočtu  $f = 50$  Hz?

**Příklad 4.** Jaká je okamžitá hodnota  $e$  střídavé elektromotorické síly, jestliže se vodič o aktivní délce  $l = 0,4$  m pohybuje rychlostí  $v = 5$  m/s v magnetickém poli s indukcí  $B = 1$  T, svírá-li směr jeho pohybu se směrem magnetického pole úhel  $\alpha = 45^\circ$ ?



Obr. VI-1

**Řešení.** Velikost okamžité hodnoty indukované střídavé elektromotorické síly je zřejmá z obrázku VI-1. Pro výpočet platí:

$$e = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha \quad [\text{V}; \text{T}, \text{m}, \text{m/s}]$$

$$e = B \cdot l \cdot \omega \cdot r \cdot \sin \omega t \quad [\text{V}; \text{T}, \text{m}, \text{rad/s}, \text{m}]$$

$$e = B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega t \quad [\text{V}; \text{T}, \text{m}^2, \text{rad/s}]$$

$$e = \Phi \cdot \omega \cdot \sin \omega t \quad [\text{V}; \text{Wb}, \text{rad/s}]$$

Po dosazení do 1. vztahu dostáváme:

$$e = 1 \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 0,707 = 1,414 \text{ [V]}$$

**Příklad 5.** Jaká je maximální hodnota (amplituda) střídavé elektromotorické síly, jestliže se cívka s  $N = 100$  závitů otáčí v magnetickém poli s maximálním magnetickým tokem  $\Phi = 4 \cdot 10^{-3}$  Wb a kmitočet  $f = 50$  Hz?

**Řešení.** Maximální hodnota střídavé elektromotorické síly je dána vztahem:

$$E = \Phi \cdot \omega \cdot N \quad [\text{V}; \text{Wb, rad/s}]$$

Protože  $\omega = 2\pi f = 314 \text{ rad/s}$ , dostáváme:

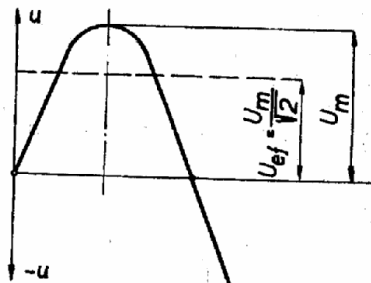
$$E = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 314 \cdot 100 = 1256 \cdot 10^{-1} = 125,6 \text{ [V]}$$

**Příklad 6.** Kondenzátor se má zkoušet na maximální průrazné napětí  $U_m = 4000 \text{ V}$ . Jaká bude efektivní hodnota  $U_{ef}$  střídavého napětí?

**Řešení.** Efektivní hodnoty střídavého sinusového proudu, napětí a elektromotorické síly znázorňuje obr. VI-2. Pro výpočty těchto veličin platí vztahy:

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad E_{ef} = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

Obr. VI-2

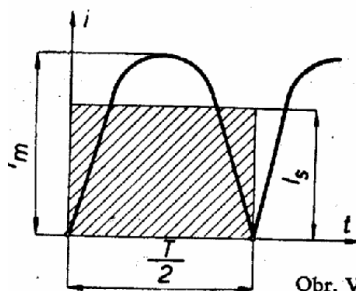


Užitím vztahu z příkladu 5 dostáváme další vztah pro efektivní hodnotu střídavé elektromotorické síly:

$$E_{ef} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \omega \cdot \Phi \cdot N = 4,44 \cdot f \cdot \Phi \cdot N$$

$$U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m \cdot \sqrt{2}}{2} = \frac{U}{2} \cdot \sqrt{2} = 2000 \cdot 1,414 = 2828 \text{ [V]}$$

**Příklad 7.** Jaká je aritmetická střední hodnota  $I_s$  střídavého proudu, jestliže jeho maximální hodnota  $I_m = 10 \text{ A}$ ?



Obr. VI-3

**Řešení.** Aritmetickou střední hodnotu střídavého proudu znázorňuje obrázek VI-3. Pro její výpočet platí:

$$I_s = \frac{2 \cdot I_m}{\pi} = \frac{2 \cdot 10}{3,14} = 6,36 \text{ [A]}$$

Podobně platí:

$$E_s = \frac{2 \cdot E_m}{\pi}, \quad U_s = \frac{2 \cdot U_m}{\pi}$$

9. Voltmetrem bylo naměřeno střídavé efektivní napětí  $U_{ef} = 220 \text{ V}$ . Vypočtete maximální hodnotu napětí  $U_m$ .
10. Maximální hodnota střídavého napětí  $U_m = 170 \text{ V}$ . Vypočtete efektivní hodnotu  $U_{ef}$ .
11. Ampérmetr ukazuje efektivní hodnotu střídavého proudu  $I_{ef} = 30 \text{ A}$ . Jaká je maximální hodnota proudu?
12. Jak velké maximální napětí  $U_m$  namáhá izolaci kabelu při provozním napětí  $U = 22 \text{ kV}$ ?
13. Vypočtete efektivní hodnotu  $I_{ef}$  střídavého proudu, jestliže maximální hodnota  $I_m = 30 \text{ A}$ .
14. Jaká je maximální hodnota (amplituda) střídavého proudu, jestliže ampérmetr ukazuje efektivní hodnotu  $50 \text{ A}$ ?
15. Vypočtete střední hodnotu  $U_s$  usměrněného střídavého napětí s maximální hodnotou  $U_m = 380 \text{ V}$ .
16. Aritmetická střední hodnota elektromotorické síly  $E_s = 80 \text{ V}$ . Jaká je její maximální hodnota?
17. Vypočtete okamžitou hodnotu  $e$  střídavé elektromotorické síly, jestliže vodič o aktivní délce  $l = 250 \text{ mm}$  se otáčí v magnetickém poli s indukcí  $B = 1 \text{ T}$  rychlostí  $v = 10 \text{ m/s}$  a směr jeho rychlosti svírá se směrem magnetického pole úhel  $\alpha = 30^\circ$ .
18. Jaký počet závitů  $N$  musí obsahovat cívka s plochou  $S = 300 \text{ cm}^2$ , jestliže při otáčení v magnetickém poli s indukcí  $B = 10^{-3} \text{ T}$  kruhovou frekvencí  $\omega = 314 \text{ rad/s}$  má se v cívice indukovat střídavá elektromotorická síla  $E_m = 1,88 \text{ V}$ ?
19. Jakou rychlostí  $v$  se pohybuje vodič  $0,25 \text{ m}$  dlouhý v magnetickém poli s indukcí  $B = 1 \text{ T}$ , má-li okamžitá střídavá elektromotorická síla hodnotu  $e = 2,5 \text{ V}$  a svírá-li směr pohybu vodiče se směrem magnetického pole úhel  $\alpha = 60^\circ$ ?
20. Obdélníková cívka s rozměry  $20 \times 30 \text{ (cm)}$ ,  $N = 100$  závitů, se otáčí v homogenním magnetickém poli při  $n = 2400 \text{ ot/min}$ . Jak velká musí být indukce  $B$  magnetického pole, má-li mít elektromotorická síla indukovaná v cívice hodnotu  $E_m = 3000 \text{ V}$ ?

**Příklad 8.** Akumulátor je nabíjen usměrněným střídavým proudem  $I = 3 \text{ A}$ . Jak velký elektrický náboj  $Q$  projde akumulátorem, trvá-li nabíjení 8 hodin?

**Řešení.** Platí vztah  $Q = I_s \cdot t$ . Po dosazení vzorce pro výpočet  $I_s$  (viz příklad 7), můžeme zapsat:

$$Q = I_s \cdot t = \frac{2 \cdot I_m}{\pi} \cdot t = \frac{2 \cdot I \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot t$$

$$Q = \frac{2 \cdot 3 \cdot 1,414 \cdot 8}{3,14} = 21,6 \text{ [Ah]}$$

**Příklad 9.** Jaká je efektivní, maximální a střední hodnota proudu, jestliže na síť s napětím  $U = 220 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$  zapojíme spotřebič s činným odporem  $R = 80 \Omega$ ?

*Řešení.*

$$I_{ef} = \frac{U}{R} = \frac{220}{80} = 2,75 \text{ [A]}$$

$$I_m = I_{ef} \cdot \sqrt{2} = 2,75 \cdot 1,414 = 3,88 \text{ [A]}$$

$$I_s = \frac{2 \cdot I_m}{\pi} = \frac{2 \cdot 3,88}{3,14} = 2,47 \text{ [A]}$$

**Příklad 10.** Vypočítejte magnetický tok  $\Phi$  a indukci magnetického pole  $B$ , má-li se v obdélníkové cívce s  $N = 400$  závitů a plochou  $S = 1\,000 \text{ cm}^2$  indukovat střídavá elektromotorická síla  $E_m = 500 \text{ V}$ . Cívka se otáčí v homogenním magnetickém poli kruhovou frekvencí  $\omega = 300 \text{ rad/s}$ .

*Řešení.* Použijeme vzorce  $E_m = \Phi \cdot \omega \cdot N$  a  $\Phi = B \cdot S$ . Po úpravě a dosazení dostáváme:

$$\Phi = \frac{E_m}{\omega \cdot N} = \frac{500}{300 \cdot 400} = 4,16 \cdot 10^{-3} \text{ [Wb]}$$

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{4,16 \cdot 10^{-3}}{0,1} = 4,16 \cdot 10^{-2} \text{ [T]}$$

21. Vypočítejte maximální hodnotu  $E_m$  střídavé elektromotorické síly, která se indukuje v cívce s  $N = 100$  závitů, jestliže se v ní sinusově mění magnetický tok  $\Phi = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$  při frekvenci  $f = 50 \text{ Hz}$ .
22. Při sinusové časové změně magnetického toku o maximální hodnotě  $\Phi = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$  má se indukovat maximální střídavá elektromotorická síla  $E_m = 250 \text{ V}$ . Kolik závitů musí mít cívka, jestliže  $f = 50 \text{ Hz}$ ?
23. Jak velký elektrický náboj  $Q$  projde akumulátorem, je-li nabitý usměrněným střídavým proudem  $I = 1 \text{ A}$  po dobu  $t = 15 \text{ h}$ ?
24. Jak velká je maximální elektromotorická síla  $E_m$  jedné cívky deseti-pólového stroje (generátoru) při  $f = 50 \text{ Hz}$ , má-li každá cívka statoru  $N = 20$  závitů a magnetický tok každého pólu  $\Phi = 5 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$ ?
25. Maximální hodnota střídavého sinusového napětí  $U_m$  je  $\sqrt{2}$  krát

větší než efektivní hodnota  $U_{ef}$ . O kolik procent je maximální hodnota větší než efektivní?

26. Podle vztahu  $\omega = 2\pi f$  vyjádřete graficky závislost kruhové frekvence střídavého proudu  $\omega$  na kmitočtu  $f$ . Uveďte několik příkladů užití grafu a výsledky zkontrolujte výpočtem.
27. Vyjádřete grafem závislost maximální hodnoty střídavého napětí  $U_m$  na jeho efektivní hodnotě  $U_{ef}$ . Uveďte některé příklady užití grafu a výsledky zkontrolujte výpočtem.
28. Vypočítejte efektivní, maximální a střední hodnotu střídavého proudu, jestliže na síť s napětím  $U = 110 \text{ V}$  zapojíme spotřebič s odporem  $R = 100 \Omega$ .
29. Použijte vztah  $f = \frac{p \cdot n}{60}$  a vyjádřete graficky závislost počtu pólůvých dvojic  $p$  na otáčkách  $n$  rotoru generátoru, jestliže volíme normalizovaný kmitočet  $f = 50 \text{ Hz}$ . Uveďte několik příkladů užití grafu a výsledky zkontrolujte výpočtem.
30. Na štítku elektrického spotřebiče jsou vyznačeny tyto údaje:  $U = 120 \text{ V}$ ,  $I = 5 \text{ A}$ ,  $f = 25 \text{ Hz}$ . Vypočítejte maximální hodnoty střídavého napětí a proudu, úhlovou frekvenci a dobu kmitu.
31. Vypočítejte efektivní, maximální a střední hodnotu střídavého proudu, jestliže činný odpor  $R = 100 \Omega$  je připojen na síť s napětím  $U = 120 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ .
32. V obdélníkové cívce s  $N = 500$  závitů a plochou  $S = 800 \text{ cm}^2$  má se indukovat střídavá elektromotorická síla  $E_m = 500 \text{ V}$ . Vypočítejte požadovaný magnetický tok  $\Phi$  a magnetickou indukci  $B$ , jestliže se cívka otáčí v homogenním magnetickém poli s kruhovou frekvencí  $\omega = 314 \text{ rad/s}$ .
33. Kruhová cívka má průměr  $d = 100 \text{ mm}$ ,  $N = 10$  závitů a otáčí se v magnetickém poli s indukcí  $B = 1 \text{ T}$  při  $n = 50 \text{ ot/s}$  ( $f = 50 \text{ Hz}$ ). Jaká je maximální hodnota  $E_m$ ? Jaká je střední hodnota  $E_s$  za 1/2 otáčky? Jaká bude efektivní hodnota proudu  $I_{ef}$  v cívce spojené nakrátko, jestliže celkový odpor vinutí  $R = 0,8 \Omega$ ?