


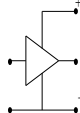


## 15 Usmerňovanie, zosilňovanie a transformácia striedavého napätia a prúdu

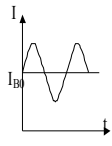
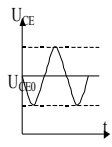
### 15.1 usmerňovač

- ako usmerňovač striedavého prúdu sa používa **polovodičová dióda**. Odpor polovodičovej diódy závisí od veľkosti a polarítity pripojeného napätia. Diódou prechádza prúd iba za istých podmienok; keď je anóda pripojená ku kladnému pólu zdroja napätia, tak diódou prechádza elektrický prúd (priepustný smer); pri opačnej polarite napätia má dióda veľký odpor a prechádza ňou iba nepatrný prúd (záverný prúd). 
- keď diódu zapojíme do obvodu striedavého prúdu, pracuje ako elektrický ventil. Prechádza ňou prúd iba v kladných polperiódach vstupného striedavého napätia, kým v záporných polperiódach napätia obvodom prúd neprechádza. Výstupné napätie na pracovnom rezistore  $R_z$  je jednosmerné a pulzujúce. Nastalo usmernenie striedavého prúdu, pričom sa využíva iba jedna polovica periódy striedavého napätia. Dióda pracuje ako **jednocestný usmerňovač** a obvodom prechádza jednosmerný prúd. 
- v praxi treba pulzáciu výstupného napätia usmerňovača znížiť, aby vzniklo ustálené jednosmerné napätie. To sa dosahuje napr. pomocou kondenzátora  $C$ , pripojeného paralelne k výstupu usmerňovača. V kladných polperiódach sa kondenzátor nabíja a v záporných polperiódach sa cez rezistor  $R_z$  vybíja. Kondenzátorom sa pulzácia usmerneného napätia čiastočne vyhladí. 
- usmerňovač striedavého napätia napájaný z elektrovednej siete je funkčnou časťou väčšiny elektronických prístrojov a zariadení. Získava sa tak jednosmerné napätie na napájanie ďalších častí prístroja. Dióda ako usmerňovač sa používa aj v meracích prístrojoch.

### 15.2 zosilňovač

- ako zosilňovač striedavého napätia sa používa **tranzistor**
- malé napätie vzbudzuje v obvode bázy prúd, ktorý je príčinou veľkého prúdu v kolektorovom obvode. To znamená, že malé vstupné napätie sa pomocou tranzistora mení na veľké výstupné napätie. 
- keď na vstup zosilňovača, ktorý je spojený s bázou, privedieme striedavé elektrické napätie  $u_1$ , tak na výstupe zosilňovača, ktorý je spojený s kolektorom tranzistora, získame zosilnené napätie  $u_2$  s oveľa väčšou amplitúdou. Tento poznatok je kvantitatívne vyjadrený veličinou **zosilnenie**  $A$ :

$$A = \frac{u_2}{u_1}$$

- báza tranzistora je spojená s kladným pólom napájacieho zdroja, preto vstupným obvodom prechádza istý jednosmerný prúd, ktorý predstavuje pokojový prúd bázy  $I_{B0}$ . Ak pripojíme vstupné striedavé napätie, mení sa prúd bázy periodicky okolo hodnoty  $I_{B0}$ . 
- tranzistor môžeme považovať za obvodový prvok, ktorého odpor sa mení podľa prúdu bázy. Keď sa vplyvom vstupného napätia zväčší prúd bázy, zmenší sa odpor tranzistora a na kolektore je menšie napätie. Keď sa vstupné napätie zmenší, napätie na tranzistore sa naopak zväčší. Vstupné a výstupné napätie majú opačnú fázu. 

- na dosiahnutie väčšieho zosilnenia sa spájajú jednotlivé stupne zosilňovača do viacstupňových zosilňovačov. Spojenie sa uskutoční tak, že výstupné napätie jedného stupňa je súčasne vstupným napätím nasledujúceho stupňa.

### 15.3 striedavý prúd v energetike

- elektrická energia sa získava z primárnych zdrojov energie, ako je uhlie, ropa, voda v priehradách a jadrové palivo. Tieto zdroje poskytujú elektrickú energiu v elektrárnach. Tu pracujú výkonné generátory striedavého napätia, ktoré sa nazývajú alternátory. V generátoroch sa na princípe elektromagnetickej indukcie indukuje striedavé napätie s frekvenciou 50 Hz. Toto napätie je zdrojom striedavého prúdu, ktorý sa rozvádza do miest spotreby pomocou elektrickej rozvodnej siete.

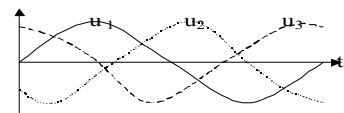
#### 15.3.1 generátor striedavého prúdu

- jednoduchý generátor tvorí cievka alebo vodivá slučka (**rotor**), ktorá sa otáča v homogénnom magnetickom poli, ktorého zdrojom sú permanentné magnety alebo elektromagnety (**stator**)
- keď sa vodivá slučka otáča uhlovou rýchlosťou  $\omega$ , mení sa magnetický indukčný tok plochou  $S$  slučky:
  - o  $\Phi = BS \cos \alpha$ , kde  $\alpha = \omega t$  je uhol medzi vektorom magnetickej indukcie a normálou plochy  $S$  slučky
- podľa Faradayovho zákona  $U_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  zmeny indukčného toku vyvolávajú vznik indukovaného napätia, ktoré nameriame na koncoch cievky. Keďže zmena indukčného napätia je najväčšia v okamihu, keď sa vodiče slučky pohybujú kolmo na indukčné čiary, má v tomto okamihu indukované napätie najväčšiu hodnotu. Naopak v okamihu, keď sa vodiče pohybujú v smere indukčných čiar, je zmena magnetického indukčného toku najmenšia a indukované napätie je nulové. Závislosť indukovaného napätia od času je daná sínusoidou a pre jeho okamžitú hodnotu platí:
  - o  $u = U_m \sin \omega t$
- v otáčavej slučke sa indukuje harmonické napätie s amplitúdou  $U_m$ . Veľkosť  $U_m$  závisí nielen od veľkosti magnetickej indukcie  $B$  a plochy slučky  $S$ , ale aj od uhlovej frekvencie  $\omega$ :
  - o  $U_m = BS\omega$
- keď sa v homogénnom magnetickom poli otáča cievka s  $N$  závitmi, napätia jednotlivých závitov sa sčítajú a platí:
  - o  $U_m = NBS\omega$
- pre činnosť generátora nie je dôležité, či sa otáča cievka v magnetickom poli, alebo naopak rotuje elektromagnet a cievka je v pokoji. Preto sa častejšie používa druhý spôsob, keď sa striedavý prúd z generátora odvádza pevnými svorkami.

#### 15.3.2 trojfázová sústava striedavých napätí

- zdrojom striedavého napätia v elektrárnach je **trojfázový alternátor**. Stator alternátora tvoria tri cievky, ktorých osi zvierajú navzájom uhly  $120^\circ$ . Uprostred medzi cievkami sa otáča magnet. V elektrárnach sa používa **turboalternátor**. Indukované napätia v jednotlivých cievkach sú fázovo posunuté o tretinu periódy a platia pre ne rovnice:

$$\begin{aligned}
 u_1 &= U_1 \sin \omega t \\
 \circ \quad u_2 &= U_2 \sin \left( \omega t - \frac{2}{3} \pi \right) \\
 u_3 &= U_3 \sin \left( \omega t - \frac{4}{3} \pi \right)
 \end{aligned}$$



- napätie z trojfázového alternátora by sme mohli rozvádzať šiestimi vodičmi. V technickej praxi sa však využívajú sústavy, v ktorých sú vodiče vhodným spôsobom navzájom prepojené. Najrozšírenejšia je **trojfázová sústava striedavých napätí**, ktorú tvoria tri **fázové vodiče**  $L_1, L_2, L_3$  a jeden **nulovací vodič**  $N$ , ktorý býva uzemnený. Obvody fázových vodičov nazývame **fázy** sústavy.

- o využíva sa tu poznatok, že súčet okamžitých hodnôt striedavých napätí indukovaných na cievkach alternátora je nulový (vyplýva to z fázového diagramu alebo aj sčítaním rovníc pre indukované napätia)
- o  $(u_1 + u_3) + u_2 = -U_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) + U_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) = 0$

- tento poznatok umožňuje spojiť jeden koniec cievok alternátora do spoločného uzla. Fázové vodiče sú pripojené k druhému konci cievok a nulovací vodič je spojený s uzlom. Medzi vodičmi a nulovacím vodičom sú **fázové napätia**  $u_1, u_2, u_3$ . Medzi ľubovoľnými vodičmi je **združené napätie**  $u_{12}, u_{13}, u_{23}$ , pre jeho hodnotu platí:

$$u_{12}^2 = u_1^2 + u_2^2 - 2u_1u_2 \cos \frac{2}{3}\pi \wedge u_1 = u_2$$

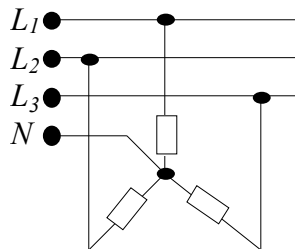
$$u_{12}^2 = 3u_1^2 \Rightarrow u_{12} = \sqrt{3}u_1 = \sqrt{3}U_m \sin \omega t$$

- v našej spotrebiteľskej sieti majú fázové napätia efektívnu hodnotu 220 V. Efektívna hodnota združeného napätia je 380 V.
- elektrické spotrebiče pripájame k fázovému a nulovaciemu vodiču. Keď spotrebiče pripojené k jednotlivým fázovým vodičom majú rovnaký odpor  $R$ , bude nulovacím vodičom prechádzať prúd:

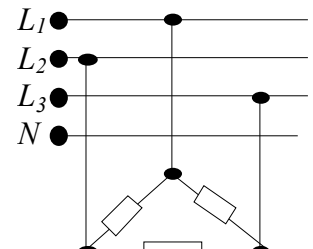
$$i_N = i_1 + i_2 + i_3 = (u_1 + u_2 + u_3) \frac{1}{R} = 0 \text{ A}$$

- o v praxi prúd  $i_N$  nie je nulový, ale má omnoho menšiu hodnotu ako prúd vo fázových vodičoch

- niektoré spotrebiče, napr. elektromotory alebo transformátory sú konštruované tak, že jednotlivé fázy rozvodnej siete sú rovnomerne zaťažované. Ich elektrický obvod má tri rovnaké časti zapojené do hviezdy alebo do trojuholníka. Pri spojení do hviezdy sú jednotlivé časti spotrebiča pripojené k fázovému napätiu 220 V. Pri spojení do trojuholníka sú pripojené k vyššiemu združenému napätiu 380 V.



do hviezd



do trojuholníka

### 15.3.3 trojfázový elektromotor

- základnou časťou je **stator**, ktorého konštrukcia je podobná ako pri alternátore. **Rotor** alebo **kotva** je zhotovená z oceľových plechov s drážkami, v ktorých sú uložené silné vodiče z hliníka alebo z medi. V čelách rotora sú vodiče spojené s prstencami, takže vinutie má tvar klietky – **klietkové vinutie**. Prierez vodičov závisí od výkonu, na aký je motor konštruovaný. Keďže sú vodiče navzájom spojené, tento druh motora nazývame **motor s kotvou nakrátko**.
- cievky pripojíme k trojfázovému napätiu z iného zdroja. V priestore medzi cievkami vznikne magnetické pole, ktorého vektor magnetickej indukcie periodicky mení smer – **točivé magnetické pole**. Točivé magnetické pole cievok statora indukuje vo vinutí kotvy veľké prúdy. To má za následok vznik síl, ktoré kotvu roztočia v smere rotácie točivého poľa. Kotva sa však nikdy nemôže otáčať rovnakou frekvenciou, ako by sa otáčal magnet, t.j. synchronne s točivým poľom. Pri synchronnom otáčaní by totiž vinutie kotvy bolo vzhľadom na indukčné čiary relatívne v pokoji, prúd by sa v ňom neindukoval a príčina otáčania by zanikla. Preto sa rotor otáča s menšou frekvenciou, alebo asynchrónne – **asynchrónne elektromotory**

- rozdiel frekvencie  $f_p$  otáčania točivého poľa a frekvencie  $f_r$  otáčania kotvy sa vyjadruje v percentách a volá sa **sklz**:

$$s = \frac{f_p - f_r}{f_p}$$

- keby kotva pri otáčaní neprekonávala nijaký odpor, bola by jej frekvencia otáčania približne rovnaká ako frekvencia točivého poľa. Ak motor koná prácu, napr. keď je prevodom spojený s nejakým strojom, ktorý uvádza do pohybu, bude sa otáčať pomalšie. Indukčné čiary točivého magnetického poľa pretínajú vodiče rotora a vinutím prechádza indukovaný prúd. Tento prúd je tým väčší, čím väčší je sklz a tým sa súčasne zväčšuje moment otáčania motora. V praxi býva pri úplnom zaťažení elektromotora sklz 2 % až 5 %.

### 15.3.4 transformátor

- transformátory sú zariadenia, ktorými sa premieňajú (transformujú) striedavé prúdy a napätia na iné hodnoty napätia a prúdu s rovnakou frekvenciou. Rozdeľujeme ich na **jednofázové** a **trojfázové**. Ich princíp je založený na elektromagnetickej indukcii.
- **jednofázový transformátor** sa skladá z dvoch samostatných cievok (primárnej a sekundárnej) umiestnených na spoločnom uzavretom jadre z mäkkej ocele. Do primárnej cievky sa privádza zo zdroja s efektívnym napätím striedavý prúd, ktorý tvorí v jadre periodické premenné magnetické pole. Vplyvom zmien magnetického indukčného toku sa v závitoch cievok indukuje elektromotorické napätia. V cievke s  $N$  závitmi sa pri zmene magnetického indukčného toku  $\Delta\Phi$  za dobu  $\Delta t$  indukuje elektromotorické napätie, ktorého okamžitá hodnota je:

$$u = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

- keď označíme počet závitov primárnej cievky  $N_1$ , počet závitov sekundárnej cievky  $N_2$ , okamžité napätie indukované v primárnej cievke  $u_1$  a okamžité napätie indukované v sekundárnej cievke  $u_2$ , dostaneme:

$$u_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad u_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

- pre pomer efektívnych indukovaných napätí platí **rovnica transformátora**:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k \quad \text{kde } k \text{ je transformačný pomer transformátora}$$

- pri istom napätí privedenom na primárnu cievku sa na sekundárnej cievke indukuje napätie väčšie – **transformácia nahor** (ak  $U_2 > U_1$  a  $N_2 > N_1$ ; napätie sa zvyšuje a prúd sa znižuje) alebo menšie – **transformácia nadol** (ak  $U_2 < U_1$  a  $N_2 < N_1$ ; napätie sa znižuje a prúd sa zvyšuje)
- v súlade so zákonom zachovania energie musí sa príkon  $P_1$  transformátora pri zanedbateľných stratách rovnať jeho výkonu  $P_2$  v sekundárnej časti:

$$P_1 = P_2 \Rightarrow U_1 I_1 \cos\varphi = U_2 I_2 \cos\varphi \quad (\text{ak v obvode je len R}) \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

- to znamená, že prúdy sa transformujú v obrátenom pomere počtu závitov (pri vyššom sekundárnom napätí môžeme z transformátora odoberať menší prúd a naopak)

- reálny prípad je  $P_1 \geq P_2$ , teda dochádza k tepelným stratám:

$$Q = UIt = RI^2t$$

- pre **účinnosť** transformátora platí:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$$

- jednofázové transformátory sa používajú tam, kde potrebujeme meniť hodnotu prúdu alebo napätia, napr. v rozhlasových prijímačoch a televízoroch, v meracích prístrojoch
- na transformáciu trojfázového prúdu v energetike sa používajú **trojfázové transformátory**. Jadro tvoria tri magnetické cievky. Každá fáza má vlastné primárne a sekundárne vinutie. Cievky

primárneho, príp. sekundárneho vinutia sú navzájom spojené do hviezdy alebo do trojuholníka. Transformátory na veľké výkony sa pri práci veľmi zahrievajú, a preto sa musia chladiť.

### 15.3.5elektrárne

- v **tepelných elektrárňach** sa energia získava spaľovaním uhlia alebo iných palív (olej, plyn). Voda sa mení na paru s vysokou teplotou a tlakom (napr. pri turbogenerátore s výkonom 200 MW sa používa para s vstupnou teplotou 535 °C a tlakom 13 MPa). Vnútorňá energia pary sa mení na mechanickú energiu rotora turbíny, ktorý má veľkú frekvenciu otáčania. Turbína je mechanicky spojená a rotorom alternátora, v ktorom sa mechanická energia mení na elektrickú.
- **jadrová elektráreň** je v podstate tepelná elektráreň, v ktorej sa energia potrebná na výrobu pary získava premenou jadrovej energie.
- vo **vodných elektrárňach** sa energia vodného toku mení na elektrickú energiu. Na pohon alternátora sa používa vodná turbína.

### 15.3.6prenosová sústava

- podľa vzdialenosti, na ktorú sa energia prenáša, rozlišujeme **blízky prenos** a **dial'kový prenos**
- pri prechode elektrického prúdu sa vodiče zahrievajú a vznikajú straty. Príčinou strát je premena elektrickej energie na vnútorňú energiu vedenia prenosovej sústavy. Vplyvom strát sa prenášaný výkon znižuje o hodnotu:
  - o  $P = RI^2$ , kde  $R$  je  $R = \rho \frac{l}{S}$ , kde  $\rho$  je merný odpor materiálu,  $l$  je dĺžka vedenia a  $S$  je prierez vodičov
- prenos elektrickej energie je najhospodárnejší pri veľmi vysokom napätí. Pri ňom prechádzajú vedením menšie prúdy a na jeho konštrukciu možno použiť vodiče s menším prierezom.