



STŘEDNÍ ŠKOLA, HAVÍŘOV-ŠUMBARK, SÝKOROVA 1/613

příspěvková organizace

TRANSFORMÁTORY

Ing. Eva Navrátilová

Transformátor jednofázový

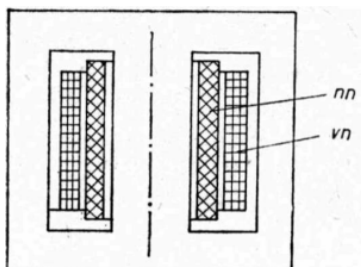
= netočivý elektrický stroj, který využívá elektromagnetickou indukci

= mění parametry elektrické energie – napětí a proud, nemění frekvenci

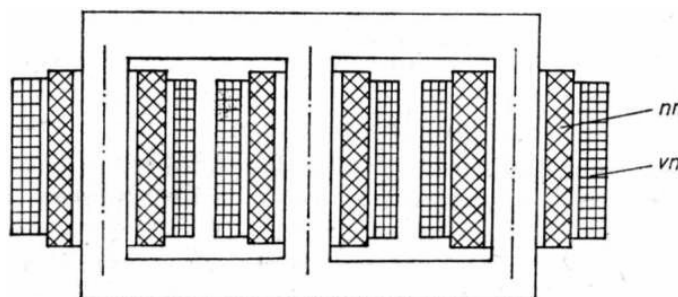
= chová se jako spotřebič – odebírá energii ze zdroje, ale také jako zdroj – dodává energii do dalšího obvodu

Hlavní části

1. Magnetický obvod – elektrotechnické plechy navzájem izolované a naskládané na sebe (omezení ztrát vířivými proudy), materiál je magneticky měkký (menší hysterezní ztráty)
2. Elektrický obvod – primární a sekundární vinutí – měděný izolovaný vodič navinutý na nevodivé kostře
3. Nádobka
4. Chlazení
5. Vývodky



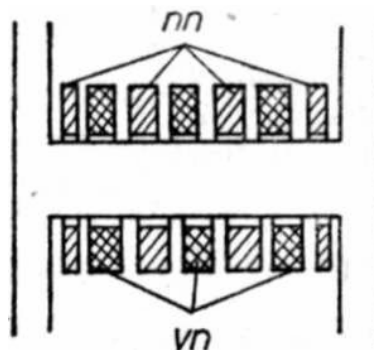
Obr. 1: Plášťový transformátor jednofázový



Obr. 2: Jádrový transformátor trojfázový

Rozdělení

1. Podle počtu fází
 - o Jednofázové (obr. 1)
 - o Trojfázové (obr. 2)
2. Podle provedení magnetického obvodu
 - o Jádrové (obr. 1)
 - o Plášťové (obr. 2)
3. Podle uspořádání vinutí
 - o Souosé (obr. 1, 2)
 - o Prostřídané (obr. 3)
4. podle tvaru cívek
 - o válcové (obr. 1, 2)
 - o kotoučové (obr. 3)



Obr. 3: Prostřídané kotoučové vinutí

Princip činnosti

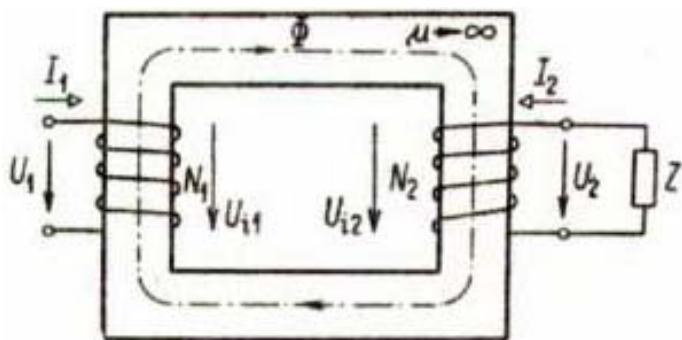
Primární vinutí se připojí ke zdroji střídavého napětí U_1 , vinutím začne procházet střídavý proud I_1 , který vybudí v jádru transformátoru střídavý magnetický tok Φ . Změnou magnetického toku se na sekundárním vinutí indukuje napětí U_2 . Po připojení zátěže začne sekundárním vinutím procházet proud I_2 .

Velikost indukovaného napětí závisí na časové změně magnetického toku a na počtu závitů.

$$U_{i1} = N_1 \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad U_{i2} = N_2 \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Časová změna magnetického toku souvisí s proudem a magnetickým obvodem.

Převod transformátoru



Obr. 4: Transformátor s dohodnutými směry napětí a proudů

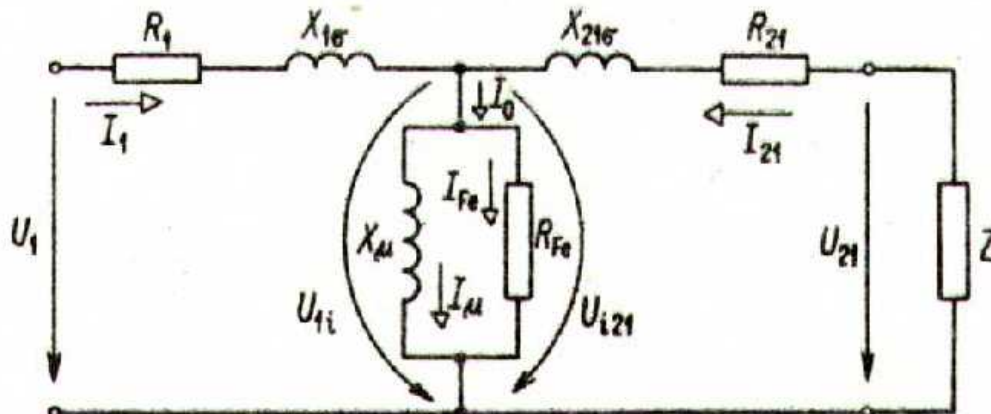
= číslo, které udává, v jakém poměru se mění napětí

$$p = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Napětí U_1 a U_2 je přímo úměrné počtu závitů příslušného vinutí, proudy jsou v opačném poměru. *Kolikrát se zvětší (zmenší) napětí, tolikrát se zmenší (zvětší) proud.*

Náhradní schéma transformátoru

= představuje chování transformátoru při zatížení



Obr. 5: Náhradní schéma transformátoru

Paralelní obvod představuje magnetický obvod transformátoru, který spotřebuje část proudu na vytvoření magnetického pole a na krytí ztrát v železe:

R_{Fe} - ztráty v železe jsou způsobeny vířivými proudy a hysterezí

X_{μ} - magnetizační reaktance – magnetické pole jádra se chová jako cívka, magnetický tok, který je vyvolán proudem je zpožděn za napětím o 90°

Sériový obvod představuje primární a sekundární vinutí, na vinutí vznikají úbytky napětí:

R_1, R_{21} – odpor primárního a sekundárního vinutí

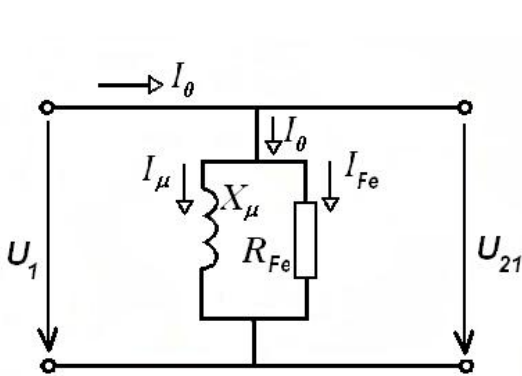
$X_{1\sigma}, X_{21\sigma}$ – rozptylová reaktance primárního a sekundárního vinutí, část magnetického toku se uzavírá vzduchovou mezerou a nepodílí se na elektromagnetické indukci – vznikají úbytky napětí

Indexy 21 na sekundární straně znamenají hodnoty přepočítané ze sekundární strany na primární stranu tak, že vznikne transformátor s převodem $p=1$:

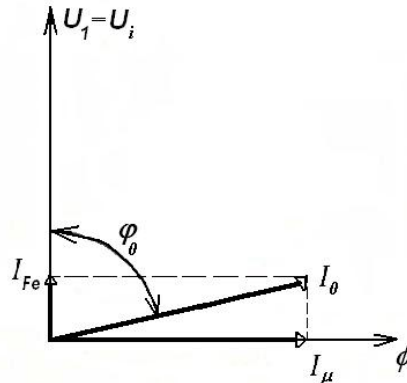
$$\begin{aligned} U_{21} &= p \cdot U_2 & R_{21} &= R_2 \cdot p^2 \\ I_{21} &= I_2 \cdot \frac{1}{p} & X_{21} &= X_2 \cdot p^2 \end{aligned}$$

Transformátor naprázdno

= primární vinutí je připojené ke zdroji napětí, sekundární vinutí je nezatížené



Obr. 6: Náhradní schéma transformátoru naprázdno



Obr. 7: Fázorový diagram transformátoru naprázdno

V náhradním schématu neuvažujeme sekundární vinutí (neprochází jím proud), primární vinutí zanedbáváme (odebírá malý proud naprázdno, vliv vinutí je zanedbatelný, úbytky napětí jsou malé)

Proud naprázdno I_0 – je malý, vytváří magnetické pole jádra a kryje ztráty v železe

Složky:

I_{Fe} činná složka proudu na krytí ztrát v železe $I_{Fe} = I_0 \cdot \cos \varphi$

I_{μ} indukční jalová složka proudu, vytváří magnetické pole $I_{\mu} = I_0 \cdot \sin \varphi$

Indukční (jalová) složka proudu je větší než činná složka, vzniká velký fázový posun mezi napětím a proudem, zhoršuje se účinnost

účinnost = poměr činného a zdánlivého výkonu $\cos \varphi = \frac{P}{S}$

Hodnota účinnosti se pohybuje se od 0 do 1, ideální hodnota je 0,9

u transformátoru naprázdno bývá do 0,5

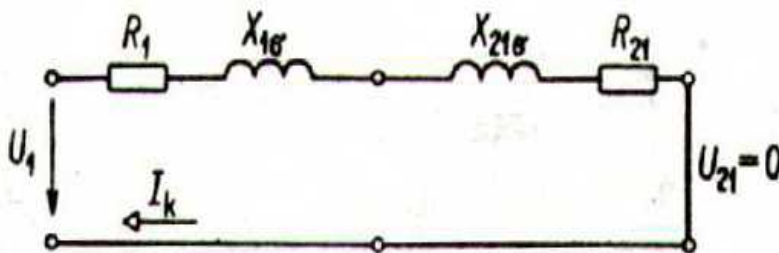
Ztráty naprázdno P_{Fe} – činný výkon transformátoru odebíraný ze zdroje ve stavu naprázdno, kryje pouze ztráty v železe $P_{Fe} = S \cdot \cos \varphi$

Zdánlivý výkon - celkový výkon dodávaný zdrojem $S = U_{10} \cdot I_0$, $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Jalový výkon – vytváří magnetické pole $Q = S \cdot \sin \varphi$

Transformátor nakrátko

= primární vinutí je připojeno ke zdroji napětí, sekundární vinutí je vyzkratováno (spojeno bezodporovou spojkou), napětí $U_2=0$



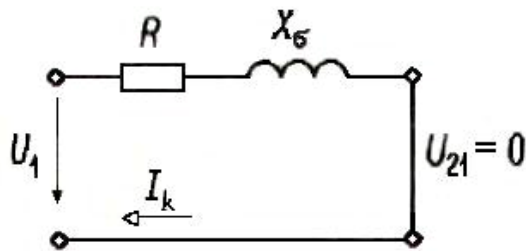
Obr. 8: Náhradní schéma transformátoru nakrátko

Magnetický obvod transformátoru odebírá malý proud I_0 , který je vzhledem ke zkratovému proudu zanedbatelný a proto neuvažujeme paralelní obvod. Pro další zjednodušení zavádíme:

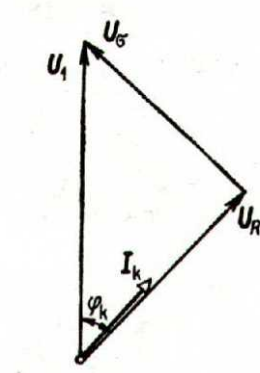
$$R = R_1 + R_{21}$$

$$X_\sigma = X_{1\sigma} + X_{21\sigma}$$

a náhradní schéma transformátoru nakrátko se zjednoduší na sériové spojení jednoho rezistoru a cívky.



Obr. 9: Zjednodušené náhradní schéma transformátoru nakrátko



Obr. 10: Fázorový diagram transformátoru nakrátko

Proud nakrátko (zkratový proud) je velký, jeho velikost závisí na napětí zdroje a impedanci

$$\text{vinutí } I_K = \frac{U_N}{Z}$$

$$\text{Impedance vinutí } Z = \sqrt{R^2 + X_\sigma^2}$$

Napětí nakrátko U_K je taková hodnota napětí zdroje, kdy zkratovaným transformátorem prochází jmenovitý proud I_N . Napětí nakrátko se udává na štítku transformátoru v procentní

$$\text{hodnotě jako } \textit{poměrné napětí nakrátko } u_K = \frac{U_K}{U_N} \cdot 100$$

Poměrné napětí nakrátko u výkonových transformátorů je 3 – 6%

Účinnost nakrátko $\cos \varphi = \frac{P_K}{S} = \frac{P_K}{U_K \cdot I_K}$, jeho hodnota se blíží k 1, téměř celý příkon ze zdroje

se spotřebuje na krytí ztrát nakrátko. Indukční jalová složka, která vytváří magnetické pole v jádru transformátoru je malá.

Ztráty nakrátko = činný příkon, který se spotřebuje na krytí ztrát ve vinutí $P_K = R \cdot I_K^2$.

Transformátor trojfázový (obr. 2)

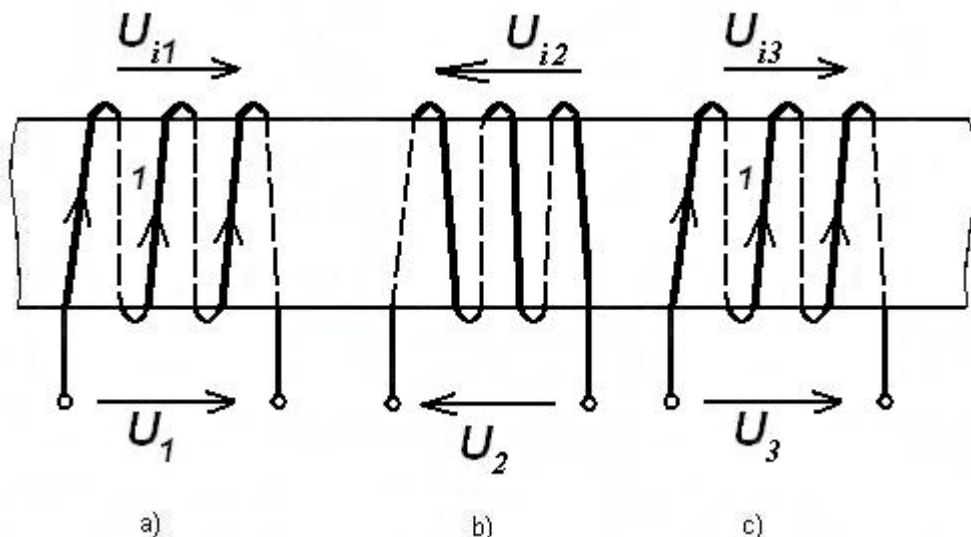
vznikne spojením tří jednofázových transformátorů. V praxi lze použít:

1. 3 jednofázové transformátory – větší spotřeba materiálu, ale v záloze stačí jeden transformátor menšího výkonu
2. 1 trojfázový transformátor – menší spotřeba materiálu, ale v záloze musí být jeden velký transformátor stejného výkonu

Vinutí označujeme primární a sekundární, nebo vstupní a výstupní, nebo strana vyššího a nižšího napětí.

Spojování vinutí

Cívky primárního a sekundárního vinutí mohou být navinuty dvojím způsobem – *souhlasně* (obr. 11a, c) nebo *nesouhlasně* (obr. 11b).

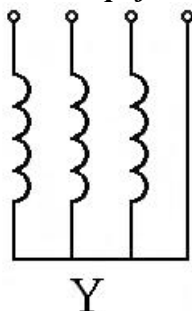


Obr. 11: Způsoby navinutí cívek

Při souhlasném vinutí cívek mají indukovaná napětí stejný směr, při nesouhlasném vinutí mají indukovaná napětí opačný směr.

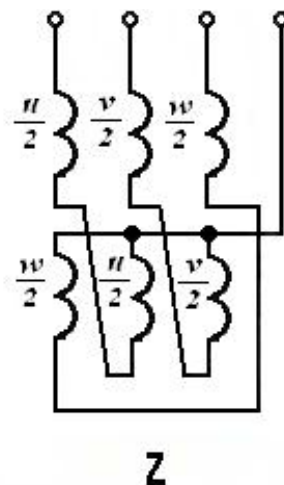
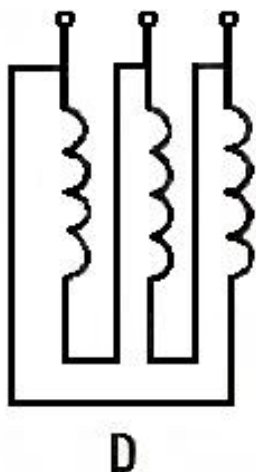
Cívky mohou být rovněž různým způsobem spojeny:

a) **Vinutí spojená do hvězdy** – značí se **Y**, cívky všech tří fází jsou spojeny paralelně.



Vyvedením středního vodiče ze společného uzlu získáváme soustavu dvou napětí – **sdužené** (mez fázemi) a **fázové** (mezi fázovým a středním vodičem)

b) **Vinutí spojená do trojúhelníku** – značí se **D**, cívky všech tří fází jsou spojeny do série – získáváme pouze sdužené napětí.



c) **Vinutí spojená do lomené hvězdy** – značí se z.

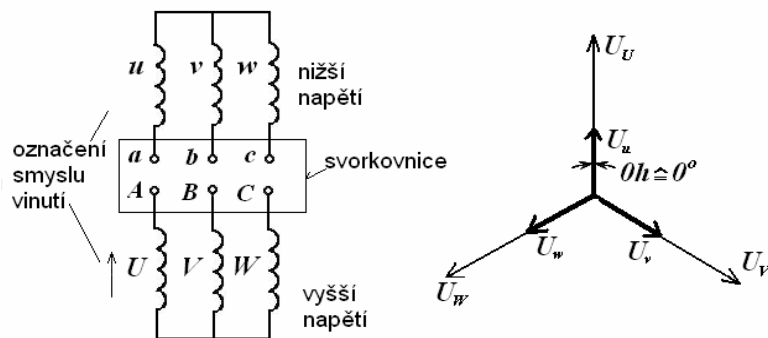
Cívky každé fáze jsou rozděleny na polovinu a jedna polovina je posunuta na následující sloupek magnetického obvodu. Používá se pouze na výstupní straně transformátoru pro vyrovnání nerovnoměrného zatížení jednotlivých fází.

U skutečných transformátorů může být primární i sekundární vinutí zapojeno různě. Velká písmena (D,Y) znamenají stranu vyššího napětí. Malá písmena (d,y,z) znamenají stranu nižšího napětí. V praxi se používají tato zapojení Yy, Dy, Yz, Yd. Dd se používá zřídka.

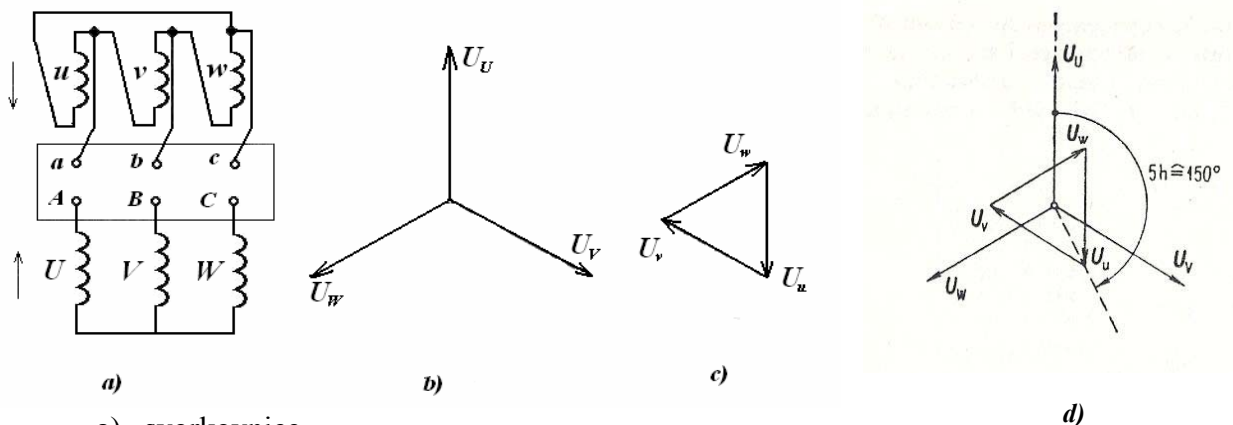
Hodinový úhel

Označení zapojení vinutí transformátorů bývá doplněno číslem (např. Yy0, Dy1 apod.). Číslice, uvedená za označením zapojení primárního a sekundárního vinutí, udává fázový posun mezi fázorem primárního napětí a odpovídajícím fázorem sekundárního napětí. Tento fázový posun se udává v hodinách, přičemž úhel 30° odpovídá jedné hodině a měří se ve směru pohybu hodinových ručiček.

Zapojení Yy0



Zapojení Yd5

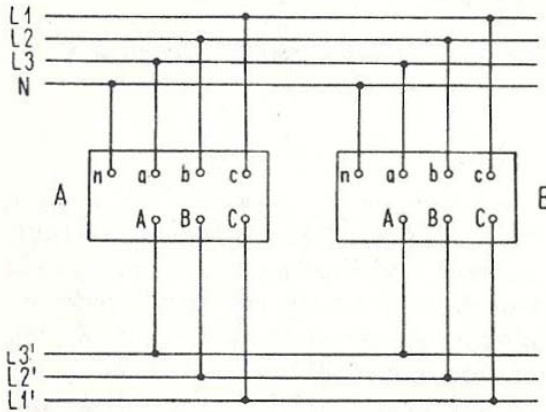


- svorkovnice
- fázorový diagram strany vyššího napětí zapojené do hvězdy
- fázorový diagram strany nižšího napětí zapojené do trojúhelníku
- celkový fázorový digram – hvězda je umístěna do těžiště trojúhelníku, hodinový úhel je mezi příslušným fázorem a spojnici těžiště s vrcholem trojúhelníku

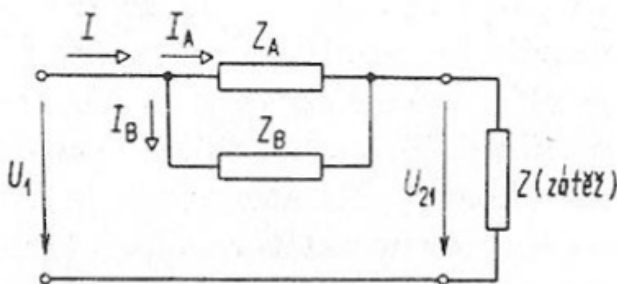
Paralelní chod transformátorů

V praxi se musí často v jedné rozvodně zapojovat transformátory do paralelního chodu. Z provozního hlediska je výhodnější používat několik transformátorů s menším výkonem než jeden transformátor s velkým výkonem:

- a) Při větším počtu transformátorů se zvyšuje spolehlivost dodávky elektrické energie - při poruše jednoho transformátoru musí být v záloze další velký transformátor
- b) v době menšího zatížení se může jeden transformátor odpojit, tím se zmenší ztráty naprázdno



Obr. 12: Paralelní chod transformátorů



Obr. 13: Náhradní schéma pro paralelní chod

V náhradním schématu (obr. 13) představují impedance Z_A a Z_B transformátory.

Pro správný paralelní chod musí být splněny tyto podmínky:

1. Stejný převod a stejná jmenovitá napětí
2. Stejná napětí nakrátko
3. Stejný hodinový úhel

Kontrolní otázky

1. Vysvětli, co je to transformátor
2. Co je to elektromagnetická indukce? (ZE 1. ročník)
3. Popiš dva způsoby vzniku indukovaného napětí. (ZE 1. ročník)
4. Popiš hlavní části transformátoru.
5. Co to jsou vířivé proudy, proč vznikají? (ZE 1. ročník nebo MaT 1. ročník)
6. Co to jsou hysterezní ztráty, jak je lze zmenšit? (MaT 1. ročník)
7. Popiš princip činnosti transformátoru.
8. Proč nemůže transformátor fungovat na stejnosměrný proud?
9. Co je to převod transformátoru – vysvětli slovně, napiš vzorec.
10. Proč se proudy v transformátoru mění v opačném poměru než napětí?
11. Vysvětli význam jednotlivých prvků v náhradním schématu transformátoru.
12. Definuj transformátor ve stavu naprázdno a vysvětli jeho náhradní schéma.
13. Proč transformátor naprázdno odebírá ze zdroje výkon?

14. *Co to jsou ztráty naprázdno?*
15. *Co je to účinník?*
16. *Jaký je účinník u transformátoru naprázdno a proč?*
17. *Jaký je proud naprázdno a které jsou jeho složky?*
18. *Definuj stav transformátoru nakrátko, co to znamená v praxi?*
19. *Vysvětli náhradní schéma transformátoru nakrátko.*
20. *Jaký je proud nakrátko, na čem závisí jeho velikost?*
21. *Jaký je účinník nakrátko a proč?*
22. *Co jsou ztráty nakrátko, co způsobují?*
23. *Popiš třífázový transformátor.*
24. *Jak se spojuje vinutí třífázového transformátoru, charakterizuj jednotlivá zapojení.*
25. *Co je to hodinový úhel?*
26. *Co znamená označení $Yy0$, $Yy6$, $Yd5$?*
27. *Vysvětli, co je to paralelní chod transformátorů a jaký je jeho význam,*
28. *Jaké jsou podmínky paralelního chodu?*