

Transformátory

Multimediální výukový kurz

Název kurzu Výuka navrhování transformátoru a jeho kostičky.
Charakteristika Kurz je zaměřen na transformátory malého výkonu, používané ve spotřební elektronice. V rozsahu učiva 1. ročníku.
Formát kurzu Offline WBT/CBT
Délka výuky 3 hodiny
Verze 10
Autor Vladislav Bednář



Za veškeré podněty k úpravám či opravám Vám předem děkuji.
Tím přispějete k úpravám kurzu ve všech jeho částech, a k jeho vylepšení

Ostrava 2009



Menu



1



Náповěda

Multimediální výukový kurz

Menu Základní nabídka Přechod na poslední stránku kapitoly
 Zobrazení nápovědy Přechod na první stránku kapitoly
 Místo pro vaše poznámky Přechod na předchozí stránku kapitoly
 Předchozí kapitola Přechod na následující stránku kapitoly
 Následující kapitola Návrat k předchozí stránce
2 Aktuální snímek **lekcí č. 58** Informace u které lekce se nacházíte
 Ukončení výukové prezentace

Menu



2



Orientace v lekcích

Seznámení s kurzem a nápověda	1-2
Hlavní nabídka	4
Základní informace o kurzu	5-8
Teoretická část kurzu	9-25
Rozdělení transformátorů	27
Jádra transformátorů	28-37
Vinutí transformátorů	38
Prokladové izolace	39
Transformátory a praxe	40-42
Programy pro výpočet transformátorů	43-45
Transformátor a jeho vzorce	46-51
Výpočet transformátorů	53-57
Tabulky pro výpočty	58-60
Kostry transformátorů	61-67
Demonstrační výpočet	68-71
Kontrolní a testovací výpočty	73-83

Konec

Menu



3



Hlavní nabídka

- 01 Základní informace o kurzu
- 02 Teoretická část kurzu
- 03-08 Transformátor a jeho vzorce
- 09-12 Výpočet transformátorů
- 13-16 Kontrolní výpočet

Konec

Menu



4



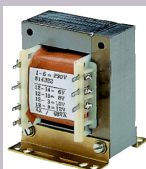
01 - Základní informace

Základní informace o kurzu

Čas potřebný k prostudování lekce bude asi 5 hodiny, včetně řešení úkolů.

Tuto část multimediálního kurzu vytvořil
Vladislav Bednář

BVJ+BVB
e-learning



Menu



5



Lekce č. 01/01



01 - Základní informace o kurzu

Informace o kurzu a licence

Vážení studenti

Děkuji, že jste si vybrali tento výukový kurz pro získání znalostí, popřípadě prohloubení vašich vědomostí.

Informace o kurzu

Tento kurz je určen pro studenty 1. ročníku oboru spotřební a zabezpečovací technika. Cílem tohoto kurzu je seznámit studenty s transformátory malého výkonu používané ve výrobních spotřební elektronice. Výklad je zaměřený na nejdůležitější výpočty a návrhy aplikovatelné při opravách a kusové výrobě transformátorů.

Technické požadavky

Některý z operačních systémů - Windows 95, Windows X98, Windows XP
Programové vybavení - Microsoft PowerPoint, nebo jeho emulátor pro puštění prezentace.
Grafická karta SVGA s nastaveným rozlišením 800 * 600 a vyšším.
Operační paměť minimálně 512 MB.

Menu



6

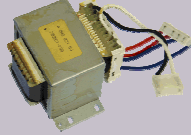


Lekce č. 01/02

01 - Základní informace o kurzu

Rozčlenění programu

1. Informace o kurzu, licence, nápověda.
2. Teorie o transformátoru, distribuci el. energie, princip činnosti.
3. Rozdělení transformátoru.
4. Jádra transformátoru.
5. Vinutí a prokládavé izolace u transformátoru.
6. Ukázky a popis transformátorů.
7. Programy pro výpočet transformátoru.
8. Vzorce potřebné pro výpočet transformátoru.
9. Výpočet transformátoru.
10. Samostatné tabulky, jež pomáhají při výpočtu (výběru).
11. Kostry transformátoru
12. Demonstrační výpočet malého transformátoru.
13. - 14. Kontrolní test s výpočtem.



Typy výpočtů a návrhů jsou optimalizovány co do nejjednodušší formy vhodné pro studentské výpočty. Rozhodně se zde získané výpočty nedají brát jako přímo aplikovatelné bez dalšího upřesnění.

Menu

?

7

Lekce č. 01/03

01 - Základní informace o kurzu

Licence

Licenční podmínky: tento výukový kurz je distribuován jako Freeware - to je zdarma.

Informace o - Freeware

Autor poskytuje program pro vlastní uspokojení nebo pro prosazení pokrokového nápadu k volnému šíření. Stále se však jedná o autorský chráněný software, tj. můžete s ním dělat jen to, co bylo výslovně autorem povoleno. Obvykle autor souhlasí s bezplatným používáním, nikoliv však s prodejem či jeho pozměňováním.

Autor : Vladislav Bednář
Číslo verze : 010
Záruka : autor ručí za to, že program bude pracovat na PC s určitými požadavky

BVJ + BVB
e-learning

Menu

?

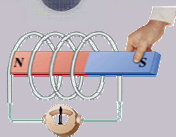
8

Lekce č. 01/04

02 - Teorie

Něco o elektromagnetické indukci

Jestliže se v blízkosti vodiče mění magnetické pole, vzniká (indukuje se) na jeho koncích napětí a uzavřeným obvodem začne procházet proud. Velikost indukovaného napětí na koncích vodiče, například na cívice, závisí na charakteru změn magnetického pole.



K elektromagnetické indukci může dojít různým způsobem. U transformátoru se využívá změna proudu v primární cívice. Do primární cívky přivádíme proud ze zdroje, sekundární cívka je nasunuta na společném jádře s primární. Změna velikosti proudu v primární cívice vyvolá indukci napětí na sekundární cívice. Velikost indukovaného napětí závisí na rychlosti změny proudu a na počtech závitů obou cívek.

Menu

?

9

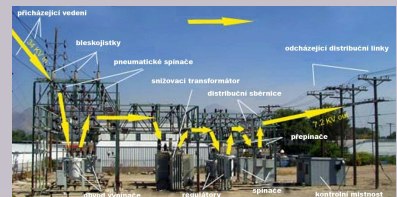
Lekce č. 02/01

02 - Teorie

Účel a význam transformátorů

Transformátory jsou elektrické stroje, které pracují na principu elektromagnetické indukce. Přeměňují střídavý proud o určitém napětí na střídavý proud o jiném napětí. Při transformaci proudu dochází ke změně napětí a proudu, ale frekvence se nemění.

Transformátory se používají především v energetice pro hospodárny přenos el. energie z místa výroby ke spotřebitelům pomocí vysokých a velmi vysokých napětí. Široké uplatnění však mají také v elektrotechnice, elektronice, sdělovací technice i v mnoha domácích elektrických přístrojích.



Menu

?

10

Lekce č. 02/02

02 - Teorie

Použití transformátorů

Pro použití v elektrotechnice můžeme rozdělit transformátory na :

1. Energetické - změna napětí pro přenos elektrické energie v rozvodných sítích, určené pro velké výkony.
2. Svařovací - snižování napětí pro svařování kovů elektrickým obloukem.
3. Pecové - pro napájení obloukových a odporových pecí pro tavení kovů.
4. Měníčové - pro napájení polovodičových měničů, které přeměňují stejnosměrný proud na proud střídavý.
5. Spouštěcí - pro spouštění velkých asynchronních elektromotorů.
6. Oddělovací - galvanické oddělení elektrických obvodů pro zvýšení bezpečnosti.
7. Jiné - měřicí, zkušební a podobně.

Menu

?

11

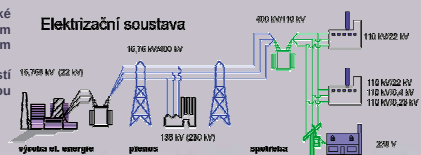
Lekce č. 02/03

02 - Teorie

Účel a význam transformátorů

Elektrárny vyrábějí trojfázový střídavý proud o napětí několik tisíc voltů. Pro přenos na velké vzdálenosti se toto napětí přímo v elektrárně transformuje na velmi vysoké napětí 110 kV, 220 kV nebo 400 kV. Nadzemními vedeními jsou jednotlivé elektrárny připojeny do rozvodné sítě. Rozvodná síť má velmi složitou strukturu, která jednak zajišťuje přenos na velké vzdálenosti při napětí 400 kV a 220 kV,

jednak distribuci elektrické energie k jednotlivým spotřebitelům. Spojovacím prvkem mezi přenosovou a distribuční částí rozvodné sítě jsou transformační stanice.



Menu

?

12

Lekce č. 02/04

02 - Teorie

Transformátor při zásobování el.

Význam a důležitost transformátorů pro zásobování elektrinou vynikne, užíváme-li, že proud na své cestě od výroby ke spotřebiteli musí být často thkrát nebo i častěji transformován. Transformátory se stavějí od nejmenších výkonů, i jen několik voltampérů, po účely slaboproudé techniky až po ohromné výkony několika set megavoltampérů v elektrárněství.



Menu

?

13

Lekce č. 02/05

02 - Teorie

Transformátor při přenosu el. energie

Čím větší výkony se přenášejí, tím vyššího napětí je zapotřebí. Dnes se z velkých elektráren rozvádí energie napětím 110 kV. Velká střediska výroby energie a velká střediska spotřeby jsou spojena tzv. magistralou 220 kV a některá z nich jsou ještě připojena k tzv. nadřazené síti 400 kV. Sdružené napětí primárních sítí v ČR je 35 nebo 22 kV.



Transformátor umožňuje hospodárný přenos elektrické energie, vyrobené v elektrárně, na velké vzdálenosti do místa spotřeby při vysokém napětí a malém proudu, tedy při malých ztrátách.

Menu

?

14

Lekce č. 02/06

02 - Teorie

Rozvod elektrické energie

Rozvod elektrické energie je samozřejmě pod stálou kontrolou.

V dnešní době je i zde již ve velké míře nasazena výpočetní technika.

Dispečer může z jednoho místa kontrolovat a řídit celý distribuční systém elektrické energie.

V něm se velmi velkou měrou podílí výkonové transformátory.



Menu

?

15

Lekce č. 02/07

02 - Teorie (bezpečnost)

Ochrana elektrickým oddělením

Úraz elektrickým proudem - může způsobit proud protékající postiženým tělem nebo vzniknout jako důsledek jiných nežádoucích účinků elektrického proudu, elektrického či elektromagnetického pole. Ochrana před úrazem elektrickým proudem je souhrnem organizačních a technických opatření, která zabraňují vzniku úrazu.

Organizační opatření - se týkají výběru a odborné elektrotechnické kvalifikace pracovníků provádějících činnost na elektrickém zařízení. Tato opatření (jsou dána vyhláškou č. 50/1987 Sb. a podstatně snižují pravděpodobnost úrazu.

Technická opatření - mají vyloučit nebo podstatně snížit riziko úrazu způsobené elektrickým zařízením, která svým provedením, volbou a umístěním nemusí být vždy naprosto bezpečná.

Jeden ze způsobů jak snížit riziko úrazu elektrickým proudem je elektrické oddělení jednotlivých obvodů, které se provádí oddělovacím transformátorem.

Menu

?

16

Lekce č. 02/08

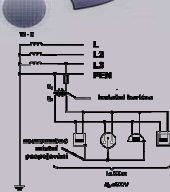
02 - Teorie

Ochrana elektrickým oddělením

Účelem elektrického oddělení jednotlivých obvodů je zabránit průchodu tak velkého proudu, který by při dotyku neživých částí, které se mohou dostat pod napětí při poruše základní izolace obvodu, mohl způsobit úraz elektrickým proudem.

Podmínky pro provedení ochrany

- obvod musí být napájen přes oddělovací ochranný transformátor
- napětí elektrického odděleného obvodu nesmí přesáhnout 500 V
- živé části odděleného obvodu nesmí být spojeny v žádném bodu s jiným obvodem nebo se zemí
- pokud je na oddělený obvod napojeno více než jeden přístroj, musí být vodivě propojeny jejich neživé části
- vodivé části navzájem (ale nesmí být spojeny se zemí)
- součin délky vedení a napětí odděleného obvodu musí být menší než hodnota 100 000



Menu

?

17

Lekce č. 02/09

02 - Teorie

Princip funkce transformátorů

Základem transformátoru jsou dvě cívky (primární a sekundární), nasazené na uzavřeném železném jádře. Vinutí primární cívky se připojuje ke zdroji střídavého proudu, k vinutí sekundární cívky se připojuje spotřebič. Jádro transformátoru je složeno z navzájem izolovaných plechů například z křemíkové oceli.

Podle tvaru transformátorových plechů a uspořádání cívek se transformátory dělí na jádrové, plášťové a speciální.

Podle počtu fází mohou být jednofázové, trojfázové nebo vícefázové.

V jádře transformátoru se neustále mění magnetické pole, vytvořené primární cívkou. Kdyby bylo jádro z masivního kusu železa, vznikaly by v takovém jádře silné vířivé proudy, jádro by se zahřívalo a elektrická energie by se místo přenosu z primární na sekundární cívku bez užítu měnila na teplo. V jádru z izolovaných plechů je vznik vířivých proudů silně omezen, tepelné ztráty jsou nepatrné a účinnost velkých energetických transformátorů může dosáhnout až 98%! S tak vysokou účinností pracuje jen málokterý stroj!

Menu

?

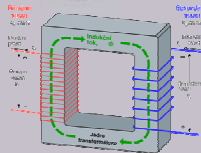
18

Lekce č. 02/01

02 - Teorie

Princip činnosti transformátoru

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který umožňuje přenášet elektrickou energii z jednoho obvodu do jiného pomocí vzájemné elektromagnetické indukce. Používá se většinou pro přeměnu střídavého napětí (např. z nízkého napětí na vysoké) nebo pro galvanické oddělení obvodů. Transformátor pracuje na principu elektromagnetické indukce časovou změnou magnetického toku. Primární cívka ve svém obvodu působí jako spotřebič, sekundární jako zdroj.



Do primárního vinutí přivedeme střídavé napětí, a protože je uzavřený obvod, tak prochází proud střídavý. Okolo primární cívky se vytvoří magnetické pole charakterizované magnetickým tokem Φ a ten je také střídavý. Tento tok se uzavírá převážně jádrem transformátoru a svými účinky zasahuje vinutí sekundární cívky. Vlivem časové změny magnetického toku se v sekundárních vodičích indukuje střídavé napětí.



Menu

?

19



Lektce č. 02/2



02 - Teorie

Princip činnosti transformátoru

Po připojení vstupního vinutí na střídavé napětí začne vstupním vinutím protékat střídavý elektrický proud, který vytvoří střídavé magnetické pole. Magnetickým obvodem prochází střídavý magnetický tok a protíná vodiče výstupního vinutí. Ve vodičích výstupní cívky se indukuje střídavé elektrické napětí a po připojení zátěže začne výstupním vinutím protékat elektrický proud. Ke změně střídavého napětí dochází vlivem elektromagnetické indukce mezi primární a sekundární cívkou transformátoru. Prochází-li primární cívkou střídavý proud, vzniká v jejím okolí střídavé (mění se) magnetické pole, změny magnetického pole jsou železným jádrem zesilovány a změny magnetického pole indukují v závitěch sekundární cívky napětí. Platí že napětí na cívkách je v přímém poměru s počtem závitů.

Výkon na jednotlivém vinutí je dán součinem napětí a proudu $P = U \cdot I$

Pokud bychom měli ideální transformátor (beztrátový) tak příkon i výkon bude totožný. Pokud zanedbáme ztráty tak proudy v primární a sekundárním vinutí transformátoru jsou v nepřímém poměru s napětím.



Menu

?

20



Lektce č. 02/3

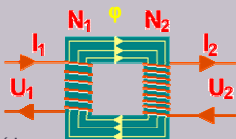


02 - Teorie

Převodový poměr transformátoru

Zanedbáme-li ztráty (které jsou u transformátoru velmi malé), platí pro transformaci napětí následující vztahy:

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



N_1 (N_p) - počet závitů primární cívky,
 N_2 (N_s) - počet závitů sekundární cívky,
 U_1 (U_p) - primární napětí, přiváděné na vstup primární cívky,
 U_2 (U_s) - sekundární napětí, které se indukuje na vývodech sekundární cívky,
 I_1 (I_p) - primární proud, procházející mezi zdrojem a primární cívkou,
 I_2 (I_s) - sekundární proud, který prochází sekundární cívkou a připojeným spotřebičem,
 Φ - indukční tok.



Menu

?

21



Lektce č. 02/4



02 - Teorie

Princip činnosti transformátoru

Čím víc závitů má sekundární cívka, tím vyšší napětí transformátor poskytuje.

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

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Čím vyšší je sekundární napětí, tím menší proud prochází sekundárním obvodem. Právě tato závislost se uplatňuje při dálkovém přenosu elektrické energie: vedením o velmi vysokém napětí prochází menší proud, vodiče se méně zahřívají a při přenosu dochází k menším ztrátám.

Je-li sekundární napětí vyšší než primární, hovoříme o transformaci nahoru. Je-li sekundární napětí nižší než primární, jedná se o transformaci dolů.

Transformátorky snižující síťové napětí najdeme ve většině domácích elektronických přístrojů.



Menu

?

22



Lektce č. 02/5

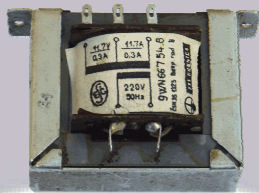
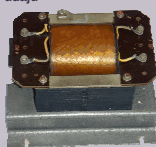


02 - Teorie

Hlavní části transformátoru

magnetický obvod
 cívky vinutí
 stahovací konstrukce
 svorkovnice
 štítek s označením údajů

ocelokřemíkové plechy, vzájemně izolované případně ferit
 izolovaným Cu vodičem na kostičce z izolačního materiálu



Menu

?

23



Lektce č. 02/6

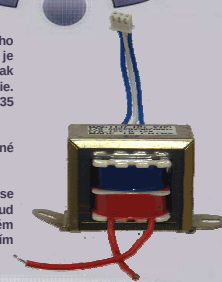


02 - Teorie

Popis transformátoru

Transformátor se skládá se železného magnetického obvodu a z vinutí. Protože magnetický obvod je magnetován střídavě, nesmí být z plného materiálu, jinak by v něm vznikaly vířivé proudy, teplo a tím i ztráty energie. Proto se skládá z plechů z křemíkové oceli, tloušťky 0,35 nebo 0,5 mm. Plechy jsou vzájemně od sebe izolovány a lakují se nebo se již v huti potáhnu minerálním tlakem s pojivem. Výhodné magnetické vlastnosti mají takzvané orientované plechy válcované za studena.

Vinutí bývá dvojí, a to vstupní čili primární, do něhož se proud přivádí, a výstupní čili sekundární, z něhož se proud odebírá. Obě vinutí jsou navlečena na společném železném jádru tak, aby magnetický tok vzbuzený jedním vinutím procházel i druhým vinutím.



Menu

?

24



Lektce č. 02/7

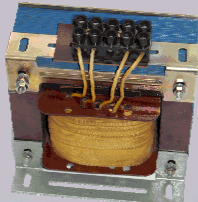


02 - Teorie

Výkon a účinnost v tabulce

Účinnost transformátorů je většinou závislá na výkonu.
U malých transformátorů je účinnost menší.

výkon P_o [VA]	účinnost [%]	úbytek při zatížení
0 - 10	60 - 65	1,2 - 1,3
10 - 20	65 - 70	1,1 - 1,2
20 - 40	70 - 75	1,1 - 1,2
40 - 200	75 - 80	1,1 - 1,15
200 - 400	80 - 85	1,05 - 1,15
400 - 800	80 - 90	1,05 - 1,15
800 - 1000	85 - 95	1,05 - 1,1



Menu



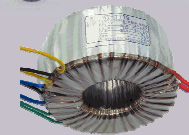
25



Lekce č. 02/8

Nabídka činností

- 03 Rozdělení transformátorů
- 04 Typy jader transformátoru
- 05 Vínutí a prokládavé izolace
- 06 Všeobecné informace o transformátoru
- 07 Transformátor a PC programy pro jeho výpočet
- 08 Vzorce pro výpočet



Konec

Menu



26



Nabídka č. 2

03 – Rozdělení transformátoru

Podle konstrukce magnetického obvodu

Rozešňáváme transformátory jádrové a plášťové.

U jádrových transformátorů vinutí obklopuje jádra magnetického obvodu, který se uzavírá spojkami, jež mají stejný anebo poněkud větší průřez než jádra.

Vinutí primární i sekundární u jednofázového transformátoru může být umístěno buď na různých jádrech, nebo mohou být obě vinutí na téměř jádru, což je výhodnější, neboť je menší magnetický rozptyl, a tím i menší úbytek napětí.

U plášťových transformátorů plechy obklopují vinutí. Spojky a krajní jádra mohou mít poloviční průřez než jádra s vinutím, neboť jimi prochází poloviční magnetický tok.

Průřez jader bývá čtvercový, obdélníkový nebo odstředivý.

Jádrový jednofázový



Jádrový trojfázový



Plášťový



Menu



27



Lekce č. 03/1

04 - Jádru transformátoru

Různé typy jader transformátorů.

Jádru magnetických obvodů jsou velmi důležitou součástí pro výrobu transformátorů a na jejich jakosti závisí výsledné parametry finálního magnetického obvodu. Jádro transformátoru tvoří magnetický obvod, jehož magnetický indukční tok, vyvolaný průchodem proudem primárním vinutím, indukuje elektrické napětí v sekundárním vinutí.

Vinutá transformátorová jádra se používají jako celistvá jádra (toroidy) nebo jako dělená jádra. Vyrábí se jádra magnetických obvodů z orientovaného transformátorového pásu s Gossovou texturou legovaného křemíkem cca 3%, v rozsahu tlouštěk 0,23-0,35 mm.

Magnetické vlastnosti jader jsou přímo závislé na jakosti a tloušťce pásy, ze kterých jsou jádra vyrobeny.

Jádru magnetických obvodů se vyrábí v podobě: toroidních jader
ezaných jader C a Q
stupňovitých jader
UNICORE
EI
M

Menu



28

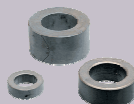


Lekce č. 04/01

04 - Jádru transformátoru

Měřicími procesy je můžeme u jader měřit následující veličiny

efektivní hodnotu nesinusového budicího proudu T_p [A]
intenzitu magnetického pole H_m [A/m]
magnetickou indukci B_{max} [T]
zdánlivý výkon S [VA]
činný výkon (ztráty) P [W]
amplitudovou permeabilitu μ



Tyto hodnoty jsou měřeny plynule v celém rozsahu střídavé magnetizační charakteristiky omezené pouze maximálním výkonem budících obvodů měřícího přístroje.
V praxi vycházíme z údajů poskytnutých výrobcem.

Menu



29



Lekce č. 04/02

04 - Jádru transformátoru

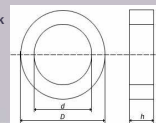
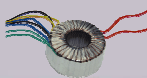
Toroidní jádra transformátorů

Vinutá toroidní jádra magnetických obvodů tvoří magnetický okruh prostý vzduchovými mezerami s konstantním průřezem, díky čemuž umožňují nejúčinnější využití magnetických vlastností použitých materiálů. Toroidy se vyrábí z orientovaného transformátorového pásu s obsahem křemíku cca 3%, v rozsahu tlouštěk 0,23-0,35 mm - materiál C22 dle ČSN IEC 404-1. Toroidní jádra jsou vyráběná dle požadavků zákazníka a norem ČSN IEC 635 nebo DIN 42311.



Toroidní jádra jsou vhodná pro magnetické obvody určené k výrobě:

- měřicích transformátorů,
- výkonových transformátorů,
- regulačních transformátorů,
- induktorů,
- měničů.



Menu



30



Lekce č. 04/03

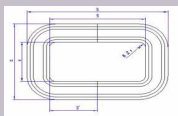
04 - Jádra transformátoru

Stupňovitá dělená jádra

Vinutá stupňovitá dělená jádra magnetických obvodů z orientovaného transformátorového pásu s obsahem křemíku cca 3 %, v rozsahu tloušťky 0,23-0,35 mm; materiál C22 dle ČSN IEC 404-1.

Dělená transformátorová jádra vznikají navíjením transformátorové pásky odstupňovaných šířek na rotující formovací elementy, posléze rozřezáním tepelně zpracovaného a syntetickou pryskyřicí slepeného jádra.

Dělená jádra se stupňovaným průřezem, vlastní tvar lépe přizpůsobený průběhu magnetického indukčního toku a lépe využívají speciální strukturu zrna materiálu ve srovnání s jádry, které se skládají z plechových výšek různých tvarů. Speciální průřez těchto jader umožňuje plnější využití průřezu kruhových cívek.



Menu

?

31



Lekce č. 04/04

←

→

↶

↷

↺

↻

04 - Jádra transformátoru

Dělená jádra

Jádro se skládá ze dvou částí ve tvaru podkovy. Aby bylo zabezpečeno jejich správné sestavení, mají obě části na jedné společné čelní straně barevnou polohovou značku. Barva polohové značky udává zároveň tloušťku pásu, ze kterého je jádro navinuto a dále na vnějším závitu každé poloviny je označeno pořadové číslo.

Vinutá jádra, mají tvar lépe přizpůsobený průběhu magnetického indukčního toku a lépe využívají speciální strukturu zrna materiálu ve srovnání s jádry, které se skládají z plechových výšek různých tvarů.

Přednosti dělených jader :

Úspora elektrické energie z důvodu nízkých měrných wattových ztrát.

Úspora v množství mědi použité pro vinutí (z důvodu menších rozměrů a hmotnosti jader).

Úspora nákladů práce vynaložené při sestavování transformátorů, díky jednoduchosti montáže.



Menu

?

32



Lekce č. 04/05

←

→

↶

↷

↺

↻

04 - Jádra transformátoru

Unicore jádra transformátorů

Jádra UNICORE představují novou řadu jader pro magnetické obvody. Technologie výroby byla vyvinuta v roce 1997 s cílem zjednodušit technologii výroby, a dosáhnout lepších parametrů elektrických strojů. Jádra UNICORE díky své konstrukci jsou schopná nahradit téměř všechny klasické C a Q jádra.

Díky vyspělé technologii jádra UNICORE se vyznačují nízkými měrnými ztrátami. Mají zjednodušenou konstrukci - nejsou lepená, řezaná ani broušená, díky čemuž dosahují velmi příznivé ceny. Při montáži se dají použít stávající typy kostiček, tudíž změny v konstrukci magnetického obvodu nejsou nutné.

Jádra UNICORE spojují všechny výhody C + Q jader, přičemž jejich měrné ztráty jsou nižší o 20-40%.

Výhody UNICORE jader:

- nízké měrné ztráty,
- úspory v množství použité mědi,
- snadná montáž,
- příznivá cena.



Menu

?

33



Lekce č. 04/06

←

→

↶

↷

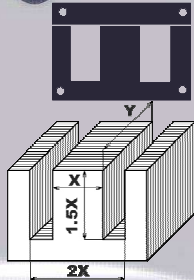
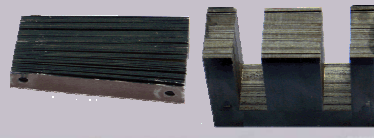
↺

↻

04 - Jádra transformátoru

EI jádra transformátorů

Název dostali podle svého vzhledu. Jsou tvořeny prvkem ve tvaru E a prvkem ve tvaru I. Vyrábí se vysekováním z ocelokřemíkových plechů. Pro výrobu jsou to jádra nejvýhodnější jelikož při strojním vysekování ne je menší odpad. V případě že vyrábíme takzvané měkký transformátor tak dáváme profil E na E a I na I.



Menu

?

34



Lekce č. 04/07

←

→

↶

↷

↺

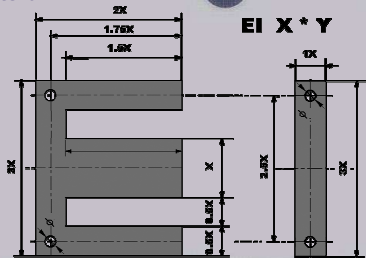
↻

04 - Jádra transformátoru

EI jádra transformátorů

Existují závislosti mezi typem trafoplechu a jeho velikostí.

Typ trafoplechu (který se uvádí s číslem) je vlastně velikost středního sloupku v milimetrech a k ní jsou vztaženy v určitém poměru všechny velikosti plechu.



Menu

?

35



Lekce č. 04/08

←

→

↶

↷

↺

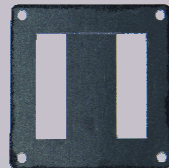
↻

04 - Jádra transformátoru

M jádra transformátorů

Vyrábí se vysekováním s ocelokřemíkových plechů. Tyto jádra mají při své výrobě značně velký odpad. Mají trochu menší magnetický rozptyl než ostatní skládaná jádra. Používají se hlavně v telekomunikační technice.

Díky větší ceně, která je způsobena odpadem při výrobě, se tyto jádra ve výrobcích a na trhu objevují sporadicky.



Menu

?

36



Lekce č. 04/9

←

→

↶

↷

↺

↻

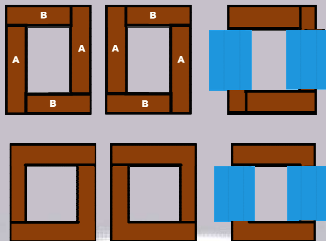
04 - Jádra transformátoru

I a L jádra transformátorů

V praxi se používá i skládání jader transformátoru s plechů vyseknutých ve tvaru I.

Ty se potom ve vrstvách přes sebe překládají, tak, že místo předešlého spojení plechu leží plech průběžný.

Stejný způsob skládání plechů se používá v případě plechu ve tvaru L.



Menu

?

37

Lekce č. 04/10

05 – Vinutí transformátoru

Dráty pro malé transformátory

Používají se dráty

- izolované lakem
- izolované smaltem
- izolované smaltem a opletením hedvábím
- izolované opletením papírovým páskem

Průměry drátů

- vlas v průměru 0,08 až 0,12mm
- kruhové od 0,02mm do 3,15mm

Nevýhody izolovaných drátů

- povrch vodiče není mechanicky odolný
- vodiče jsou citlivé na chemické výpary
- smalt stárne

Vodiče pro vinutí mají profil

- kruhu (dráty)
- pásy (od 0,5x4mm do 5x40mm)

Menu

?

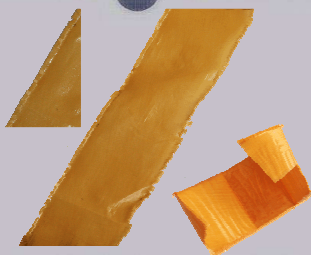
38

Lekce č. 05/01

05 – Prokladová izolace

Izolace mezi vrstvami

Mezi jednotlivými vrstvami vinutí se dává prokladová izolace z transformátorového papíru nebo igelitové izolace. Pokud se navijí tenkým drátem takzvaně postupnou vinou, potom se dává prokladová izolace tak aby byla rovnoměrně rozdělena a aby se na jedno vinutí použilo aspoň 5 vrstev izolace. Izolační prokladové pásy které, jsou na bocích nastříhány (roztřepeny), aby se při ohybu izolace netrhala a dobře kryla i při styku s čely transformátorových kostiček.



Menu

?

39

Lekce č. 05/02

06 - Transformátor

Informace o malých transformátorech

Základní součástí většiny elektronických výrobků je transformátor, který plní několik funkcí. Kromě úpravy síťového napětí na napětí potřebné k usměrnění má za úkol, také chránit obsluhu před úrazem elektrickým proudem, neboť odděluje galvanicky místa možného dotyku od síťového napětí.

Transformátorky používané doma pro napájení spotřebičů (modely vláčků, nabíječky akumulátorů, nabíječky mobilů nemávají, se zřetelem na bezpečnost obsluhy, sekundární napětí vyšší než 60 V. Obvykle se používá napětí do 20 V. Proudů odebírané ze sekundárního vinutí jsou v rozmezí desítek miliampérů až desítek ampérů. Pro běžné aplikace vystačíme s maximálním sekundárním proudem 5 A (výstupní proud).



Menu

?

40

Lekce č. 06/01

06 - Transformátor

Návrh transformátoru

O přesném návrhu transformátoru pojednává mnoho prací. Zde je předkládán jednoduchý výpočet transformátoru, který lze v kusové výrobě použít. Ke zhotovení transformátoru se dnes nejčastěji používají plechy tvaru EI, proto se zaměříme pouze na tento typ plechů. Při návrhu vycházíme s maximálního výkonu na jeho sekundární straně tj. ze součinu efektivní hodnoty požadovaného napětí a z odebíraného proudu.

Při návrhu můžeme postupovat několika způsoby

- použijeme již hotový program pro výpočet do kterého vložíme naše údaje,
- podle našich údajů a tabulek ze specializovaných knih určíme hledané výsledky,
- podle nomogramů k tomu vytisknutých zjistíme potřebné údaje,
- zkusíme pochopit závislosti a podle vzorců sami vypočteme malý transformátor.

Menu

?

41

Lekce č. 06/02

06 - Transformátor

Praktická omezení transformátoru

I pokud ze sekundárního vinutí neodebíráme proud, chová se transformátor jako obyčejná cívka a přirozeně jím protéká malý proud.

Rozptylová indukčnost se chová jako další cívka připojená za transformátor. (Primární vinutí si zachová trochu indukčnosti, i když zkratujeme vinutí sekundární.) Někdy je výhodná, protože omezí zkratový proud.

Magnetizační indukčnost

Rezonance může nastat při transformaci proudu o vysoké frekvenci (přes 10 kHz), protože vodiče obou vinutí mají i určitou malou kapacitu. Celý transformátor se při dosažení rezonanční frekvence rozkmitá jako kyvadlo a na výstupu se můžou objevit mnohokrát vyšší napětí, případně se může spálit izolace a transformátor shoří.

Sytná magnetizace jádra určuje maximální magnetické pole (a tím i proud), který smí transformátorem protékat. Při vyšším zatížení už klesá indukčnost vinutí, což může vést ke zkratu.

Menu

?

42

Lekce č. 06/03

07 – Transformátor a programy

Programy pro výpočet transformátoru

Tento výpočet najdete přímo na internetové adrese

<http://home.tiscali.cz/cz023535/trafo.htm>

Na této adrese je stránka optimalizována pro Microsoft Internet Explorer 4.0 či vyšší.

Menu

43

Lekce č. 07/01

07 – Transformátor a programy

Programy pro výpočet transformátoru

Tento program najdete na <http://www.ussoft.cz/ussoft/index.htm>

Menu

44

Lekce č. 07/02

07 – Transformátor a programy

Programy pro výpočet transformátoru

Odkaz na tento výpočet:
<file://localhost/f:/trafa/consu/help/transformer.html>

Menu

45

Lekce č. 07/03

08 – Transformátor a vzorce

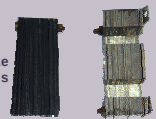
Návrh transformátoru

Při návrhu transformátoru jde hlavně o určení počtu závitů, průřezu vodičů a průřezu jádra. Při určování počtu závitů se vychází z rovnice:

$$U = 4,44 \Phi_{\max} f N = 4,44 B_{\max} S_f N \quad [V; T; m^2; Hz;]$$

$B_{\max}$ je největší magnetická indukce [T]
 S_f – je čistý průřez jádra [m²]

Z rovnice je vidět, že pro určité napětí a pro určitý kmitočet lze zhotovit transformátor buď s menším průřezem jádra, avšak s větším počtem závitů nebo naopak.



Menu

46

Lekce č. 08/01

08 – Transformátor a vzorce

Návrh transformátoru

Magnetická indukce $B_{\max}$ v jádře se volí 1,4 až 1,5 T a ve spojkách 1 až 1,2 T

Magnetický tok je tedy $\Phi_{\max} = B_{\max} \cdot S$

Počet závitů ve vinutí je

$$N_1 = \frac{U_1}{4,44 \Phi_{\max} f} \quad N_2 = \frac{U_2}{4,44 \Phi_{\max} f}$$

Také se udává počet závitů na 1 V

$$N_v = \frac{1}{4,44 \Phi_{\max} f}$$

Menu

47

Lekce č. 08/02

08 – Transformátor a vzorce

Návrh transformátoru

U větších transformátorů se úbytek napětí zanedbává. U malých transformátorů se počet vstupních závitů přiměřeně zmenší, počet výstupních závitů se zvětší (o 5 až 10 %).

Průřez vodičů se vypočítá z dovolené hustoty proudu σ , která podle způsobu chlazení bývá 1,2 až 3,5 A · mm².

Pak je průřez

$$S_1 = \frac{I_1}{\sigma_1} \quad S_2 = \frac{I_2}{\sigma_2}$$

Z průřezu vodičů lze vypočítat potřebnou plochu pro vinutí, kterou je nutno zvětšit o izolaci vodičů i cívek (celkem asi o 60 %), čímž se určí prostor pro okna a rozměry kostry.

σ – proudová hustota (A · mm⁻²).

Menu

48

Lekce č. 08/03

08 – Transformátor a vzorce

Návrh transformátoru

Při zjednodušeném výpočtu jednofázového vzduchového transformátoru plášťového typu pro výkon P dojdeme k těmto základním rovnicím:

$$\text{Průřez jádra} \quad S_z = C \cdot \sqrt{\frac{P}{k_f}} = 7 \cdot \sqrt{\frac{P}{1 \cdot 50}} = \sqrt{P} \quad [\text{cm}^2; \text{VA}]$$

Se zřetelem na izolaci je průřez $S = 1,1 S_z$.

Při zvolené indukci $B_{\max} = 1 \text{ T}$ je počet závitů na 1 V

$$N_v = \frac{1}{4,44 \cdot \varphi_{\max} f} = \frac{1}{4,44 \cdot B_{\max} \cdot S_z \cdot f} = \frac{1}{4,44 \cdot 1 \cdot 50 \cdot S_z} = \frac{45}{10^4 \cdot S_z}$$

$$\text{Dosadíme-li průřez } S_z [\text{cm}^2] \text{ potom} \quad N_v = \frac{45}{S_z} \quad [\text{cm}^2; \frac{1}{\text{V}}]$$

Menu

?

49

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

08 – Transformátor a vzorce

Návrh transformátoru

Na základě zkušenosti lze vypočítat vhodný průřez jádra podle vzorce

$$S_z = C \sqrt{\frac{P}{k_f}} \quad [\text{cm}^2; \text{VA}; \text{Hz}]$$

S_z je čistý průřez jádra $[\text{cm}^2]$,

$C = 4$ až 6 pro přirozené olejové chlazení,

$C = 6$ až 8 pro vzduchové olejové chlazení,

P je výkon transformátoru $[\text{VA}]$,

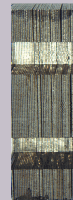
$k = 1$ pro jednofázový plášťový transformátor,

$k = 2$ pro jednofázový jádrový transformátor,

$k = 3$ pro trojfázový jádrový transformátor,

f je kmitočet $[\text{Hz}]$.

S_z



tabulka pro kontrolu

Menu

?

50

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

08 – Transformátor a vzorce

Návrh transformátoru

Dosadíme-li průřez $S_z [\text{cm}^2]$, pak

$$N_v = \frac{45}{S_z}$$

Použijeme-li na vinutí kulaté vodiče a zvolíme-li hustotu proudu $\sigma = 2,55 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$, vypočítáme průřez vodiče z rovnice

$$I = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sigma$$

Z toho průměr vodiče

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot I}{\pi \cdot 2,55}} = \sqrt{\frac{I}{2}} \approx 0,7 \cdot \sqrt{I} \quad [\text{mm}; \text{A}]$$

Menu

?

51

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

Výpočet transformátoru

Nabídka činností

- ☐ 09 Výpočet transformátoru
- ☐ 10 Samostatné tabulky jenž vám usnadní navrhování
- ☐ 11 Kostřičky transformátoru
- ☐ 12 Demonstrační výpočet transformátoru
- ☐ 13 Kontrolní testovací výpočet z probíraného učiva

Konec

Menu

?

52

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

09 - Výpočet transformátoru

Výpočet transformátoru

Zadáni hodnot

Musíme znát vstupní napětí U_1 (většinou 230V), výstupní napětí U_2 (na jaké napětí chceme transformovat) a výstupní proud I_2 (jaký proud může trafo max. dodat nějakému spotřebiči). Vstupní proud I_1 (proud odebíraný ze sítě) musíme vypočítat. Vinutí na vstupní napětí říkáme primární a vinutí na výstupní napětí říkáme sekundární.

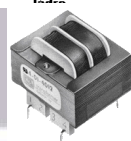
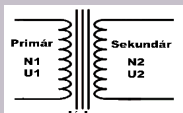
Shrnutí

U_1 - vstupní napětí máme zadáno většinou 230 V

U_2 - výstupní napětí musíme zadat podle toho co chceme napájet

I_1 - vstupní proud musíme vypočítat

I_2 - výstupní proud musíme zadat podle předpokládaného odběru



Menu

?

53

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

09 - Výpočet transformátoru

Vzorce potřebné pro výpočet transformátoru

Velmi zjednodušený postup výpočtu

Budeme počítat z celými hodnotami (V, A). Jestliže máme změřenou velikost stran jádra transformátoru (strana a, strana b), tak můžeme začít počítat.

a . b = S_z (průřez středního sloupku)

$$\frac{45}{S_z} = N_v \quad \text{Tímto vypočteme počet závitů motaných na kostru na 1V (Číslo 45 ve vzorečku je konstanta).}$$

$U_p \cdot N_v =$ Počet závitů na primární vinutí.

$U_s \cdot N_v =$ Počet závitů na sekundární vinutí.

$U_p \cdot I_p = P$..Výstupní výkon transformátoru. Označuje se P a počítá se ve Wattech (W).

$$\frac{P_p}{U_p} = I_p \quad \text{Z výkonu vypočítán vstupní proud. Podle tabulek můžeme zvolit vhodný průřez drátu (když nyní známe vstupní i výstupní proud).}$$

Menu

?

54

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

↕

09 - Výpočet transformátoru

Návrh transformátoru.

Z tabulky zjistíme vhodnou velikost jádra pro transformátor. Dále určíme počet závitů na 1V a spočítáme počet závitů primárního a sekundárního vinutí. Se zřetelem na účinnost transformátoru odečteme od počtu primárních závitů asi 3 % závitů a na sekundární straně asi 5 % závitů přidáme.

Počet závitů primárního vinutí vypočítáme pomocí vztahu $N_1 = 0,92 \cdot U_p \cdot N$

Počet závitů sekundárního vinutí vypočítáme pomocí vztahu $N_2 = 1,08 \cdot U_s \cdot N$

Pokud je na sekundární straně transformátoru několik vinutí, platí uvedené zásady pro všechna tato vinutí. Maximální výkon transformátoru je dán součtem výkonu jednotlivých vinutí. Vzhledem k tomu, že potřebujeme více místa pro vývody z jednotlivých vinutí (nebo odboček) se často stane, že nevystačíme s plochou pro vinutí transformátoru, který pro potřebný výkon určuje tabulka. Proto v tomto případě doporučujeme použít jádro pro výkon o stupeň větší.



Menu



55



Lekce č. 09/03



09 - Výpočet transformátoru

Návrh transformátoru

Ze zjištěného požadovaného výkonu si spočítáme výstupní výkon, který může transformátor odevzdávat na sekundární straně. Účinností transformátoru bývá v rozmezí 70 - 90%, čímž určíme příkon transformátoru.

$$P_p = \frac{P_s}{\eta} = \frac{U_s \cdot I_s}{\eta}$$

Protože výkon je součin napětí a proudu tak sekundární proud spočteme: $I_s = \frac{P_s}{U_s}$

V tabulce zjistíme průměry drátů D pro vinutí. Vychází-li z výpočtu průměr drátu, který není uveden v tabulce, volíme drát většího průměru (neboť při větším průměru drátu se zmenšují ztráty vznikající v odporu mědi a zmenšuje se i ohřev drátu a celého transformátoru).

K vinutí používáme většinu dráty izolované lakem (označení CuL).



Menu



56



Lekce č. 09/04



09 - Výpočet transformátoru

Návrh transformátoru

Dále je třeba zjistit, je-li možné transformátor se zvolenými dráty a počty závitů realizovat. Postupujeme tak, že vypočítáme součiny a součet všech těchto ploch pro jednotlivá vinutí by neměl být větší než 50 % celkové plochy pro vinutí, kterou zjistíme z tabulky. Je-li součet větší, je třeba zvolit větší jádro a výpočet opakovat. Mezi primární a sekundární vinutí a mezi jednotlivé vrstvy vinutí se vkládá transformátorový papír nebo lepenka takové tloušťky (nebo tolik vrstev), aby nemohlo dojít k elektrickému průrazu izolace. Po navinutí a vyzkoušení se transformátor dokonale vysuší v suchém prostředí při teplotě 80 - 100 °C a potom se máčí v impregnační lázni. Lze použít například vosk T 100 nebo namáčení vypalovací transformátorový lak. Touto úpravou se zlepší izolační vlastnosti transformátoru, zamezí se jeho navlhčení, fixuje se plocha drátů vinutí a zlepšuje se přechod tepla z vinutí na povrch transformátoru.



Menu



57



Lekce č. 09/05



10 - Tabulky pro výpočty

Tabulka plechů a výkonů

Požadovaný výkon W	Typ plechů	Výška svazků mm	Počet závitů na jeden volt (plechy tloušťky 0,5mm)	Plocha pro vinutí cm ²
8	EI 20	16	14,8	2,34
10	EI 20	20	11,85	2,34
20	EI 25	20	9,58	3,63
40	EI 25	25	7,66	3,63
60	EI 32	25	5,92	6,25
100	EI 32	32	4,64	6,25
150	EI 40	32	3,69	9,55
200	EI 40	40	2,96	9,55
350	EI 50	40	2,37	15,4
500	EI 50	50	1,89	15,4

Typ plechu EI



návrat

Menu



58



Lekce č. 10/01



10 - Tabulky pro výpočty

Dráty CuL pro transformátor

Průměr drátu mm	Proud I při proudové hustotě 2,5 A/mm ²	Počet závitů na 1cm ² plochy pro
0.15	44 mA	2800
0.18	64 mA	2000
0.2	79 mA	1650
0.22	95 mA	1300
0.25	123 mA	1260
0.3	177 mA	770
0.35	241 mA	625
0.4	314 mA	450
0.45	398 mA	360
0.5	0.5 A	300
0.6	0.7 A	210
0.7	0.96 A	155
0.75	1.1 A	140
0.8	1.25 A	120
0.9	1.6 A	100



návrat

Menu



59



Lekce č. 10/02



10 - Tabulky pro výpočty

Dráty CuL pro transformátor

Průměr drátu mm	Proud I při proudové hustotě 2,5 A/mm ²	Počet závitů na 1cm ² plochy pro vinutí
1	1,96 A	83
1.1	2.4 A	65
1.2	2.8 A	52
1.3	3.3 A	42
1.4	3.9 A	40
1.5	4.4 A	33
1.6	5 A	28
1.7	5.7 A	
1.8	6.4 A	
2	7.9 A	
2.2	9.5 A	
2.5	12.3 A	
2.8	15.4 A	



návrat

Menu



60



Lekce č. 10/03



11 – Kostra transformátoru

Kostra skládaná pro EI plechy

Bočnice, která, doléhá na trafoplech

Bočnice, která, určuje tloušťku svazku

Čela kováníčky

Kováníčka sestavená s dvěma čely

s tlavý čely

Kostra je sestavena s 2 a 2 typů bočnic a 3 čela kostry.
V dřívějších dobách se používaly pouze 2 krajní čela a prostřední se vynechávalo.

Menu ? 61

Lekce č. 11/01

11 – Kostry transformátoru

Kostra skládaná pro EI plechy

Všechny bočnice skládané kostry musí do sebe zapadat a aretovat se výřezovými klíči.

Velikost výřezových klíčů se řídí tloušťkou materiálu z kterého je kostra vyrobena.

Menu ? 62

Lekce č. 11/02

11 – Kostra transformátoru

Kostra skládaná pro EI plechy

Tovární bočnice, u které se používají pájecí očka se skládá ze 2 kusů položených na sebe.

Menu ? 63

Lekce č. 11/03

11 – Kostra transformátoru

Trafoplechy, naskládané do kostry

Transformátorové plechy se skládají jeden vedle druhého. Jsou nasunovány rovnoběžně s vodící bočnicí. V praxi se nejčastěji volí skládání plechů proti sobě. To znamená, že se střídají vždy na sobě plechy I s plechy E. Pokud bychom chtěli takzvané měkký transformátor, tak bychom dali vedle sebe vždy plechy I na I a plechy E na E. Taktéž bychom ještě do spoje mezi svazek E a svazek I dali magneticky nevodivý materiál (třeba tvrdý papír) a tím transformátor ještě více změkčili.

Menu ? 64

Lekce č. 11/04

11 – Kostra transformátoru

Trafoplechy, naskládané do kostry

Transformátorové plechy skládané tak, že každá řada (vrstva) je složena proti sobě.

Menu ? 65

Lekce č. 11/05

11 – Kostry transformátoru

Kostra skládaná pro EI plechy

$X + 4 \cdot Tl + rez.$

$X + 2 \cdot Tl + rez.$

$X + rez.$

$Y + rez.$

$Y + 2 \cdot Tl + rez.$

$Y + Tl + rez.$

$2 \cdot X + rez.$

$Y + Tl + rez.$

$X + Tl + rez.$

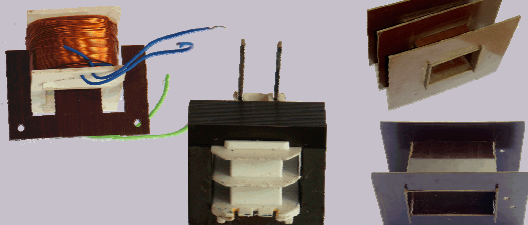
X – velikost trafoplechu (vlastně typ EI)
Y – šířka svazku trafoplechu
Tl – tloušťka materiálu z kterého je kostra vyrobena
rez. – rezerva pro volný pohyb kostry na jádře

Menu ? 66

Lekce č. 11/06

11 – Kostry transformátoru

Různé typy sestavených koster



Menu

?

67

Lekce č. 11/07

12 – Demonstrační výpočet

Zadání hodnot pro výpočet

primární napětí $U_p = 230V$
výstupní, sekundární napětí $U_s = 12V$
výstupní, sekundární, zatěžovací proud $I_s = 3A$

Nejprve, si spočítáme
 $P_s = U_s \cdot I_s$ [VA; V, A]

Výkon transformátoru
 $P_s = 12 \cdot 3$
 $P_s = 36 \text{ VA}$

Z něj zjistíme předpokládaný **Příkon transformátoru**
 $P_p = (1,1 \text{ až } 1,3) \cdot P_s$
(nejčastěji volíme 1,2)
 $P_p = 1,2 \cdot 36$
 $P_p = 43,2 \text{ VA}$

Z příkonu určíme čistý průřez železného jádra (středního sloupku)
 $Zs_{Fe} = (0,8 \text{ až } 1,1) \cdot [cm^2; VA]$

$$S_{Fe} = (0,8 \text{ až } 1,1) \cdot \sqrt{P_s} \quad S_{Fe} = 1 \cdot \sqrt{36}$$

Menu

?

68

Lekce č. 12/01

12 – Demonstrační výpočet

Skutečný průřez železného jádra s izolací mezi plechy

$$S_z = \frac{S_{Fe}}{0,9} \quad [cm^2; cm^2] \quad S_z = \frac{6}{0,9} \quad S_z \approx 6,6 \quad cm^2$$

Výška jádra a počet plechů

- volíme transformátorové plechy tak, aby průřez jádra byl přibližně čtvercový
- pomocný výpočet:

$$a = \sqrt{S_z} \quad a = [cm; cm^2] \quad a = \sqrt{6,6} \quad a \approx 2,56$$

Můžeme zvolit plechy E32 nebo E40. Je lepší volit plechy větší, u kterých bude více místa v okénku pro vinutí.

$$v = \frac{S_z}{b} \quad v = \frac{6,6}{3,2} \quad v \approx 2 \text{ cm}$$

tabulka pro kontrolu

Menu

?

69

Lekce č. 12/02

12 – Demonstrační výpočet

Počet závitů na napětí 1 V

$$N_v = \frac{45}{S_z} \quad N_v = \frac{45}{6,6} \approx 6,818$$

Počet závitů na 1V je v našem případě asi 6,8 závitů..

Počet závitů

Konstanta k upravuje počet závitů s ohledem na úbytek napětí. Stanoví se podle velikosti transformátoru

$$N_p = N_v \cdot U_p \cdot k_p \quad N_p = 6,818 \cdot 230 \cdot 0,92 \quad N_p \approx 1442 \text{ závitů}$$

$$N_s = N_v \cdot U_s \cdot k_s \quad N_s = 6,818 \cdot 12 \cdot 1,08 \quad N_s \approx 88 \text{ závitů}$$

Určení průřezu vodičů vinutí

Volíme proudovou hustotu mezi 2 až 3 A/mm²

$$S_p = \frac{I_p}{\sigma} \quad mm^2 = \frac{A}{A \cdot mm^{-2}} \quad 0,075 \approx \frac{0,1878}{2,5} \quad S_p = 0,075 \text{ mm}^2$$

$$S_s = \frac{I_s}{\sigma} \quad 1,2 = \frac{3}{2,5} \quad S_s = 1,2 \text{ mm}^2$$

Menu

?

70

Lekce č. 12/03

12 – Demonstrační výpočet

Určení průměru vodičů

Rozměry vodičů pro vinutí se udávají v průměru vodiče bez izolace.
Rozměr určíme výpočtem nebo podle tabulek.

Průměr primárního vodiče

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot S_p}{\pi}} \quad D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,075}{3,14}} \quad D_p \approx 0,309 \text{ mm.}$$

Z tabulek volíme průměr drátu na primární vinutí: $D_p = 0,3 \text{ mm.}$

Průměr sekundárního vodiče

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \cdot S_s}{\pi}} \quad D_s = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,2}{3,14}} \quad D_s \approx 1,236 \text{ mm.}$$

Z tabulek volíme průměr drátu na primární vinutí: $D_s = 1,3 \text{ mm.}$

Tento zjednodušený výpočet transformátoru lze použít pro síťové transformátory do výkonu 1000 VA.

tabulka pro kontrolu

Menu

?

71

Lekce č. 12/04

Kontrolní testovací výpočet

Nabídka činností

- ☐ Výpočet podle zadanych vstupnich hodnot
- ☐ Výpočet podle hodnot a daného transformátoru
- ☐ Výpočet počítačovým programem
- ☐ Výpočet přes internet

Konec

Menu

?

72

Nabídka č. 4

13 – Kontrolní testovací výpočet

Výpočet podle zadaných vstupních hodnot

V modelové příkladu zde bude uveden jednoduchý výpočet malého transformátoru.

Zadané vstupní parametry pro jedno výstupní (sekundární) vinutí

Primární napětí (vstupní) $U_p = 230 \text{ V}$
Primární proud $I_p = ?$
Sekundární napětí (výstupní) $U_s = 9 \text{ V}$
Sekundární proud (navrhovaný odběr) $I_s = 1,5 \text{ A}$

Postup výpočtu.

Nejprve si musíme vypočíst výkon na sekundární straně transformátoru.

Tento výkon se vypočte $P_s = U_s \cdot I_s$
Po dosazení našimi hodnotami $P_s = U_s \cdot I_s = 13 = 9 \cdot 1,5$

Ze sekundárního výkonu vypočteme výkon primární $P_p = P_s \cdot 1,3$ $17,55 = 13,5 \cdot 1,3$

Z primárního výkonu zase výpočtem zjistíme primární proud $I_p = \frac{P_p}{U_p}$
 $I_p = \frac{17,55}{230} = 0,076$



Menu



73



Lekce č. 13/01



13 – Kontrolní testovací výpočet

Výpočet podle zadaných vstupních hodnot

Ted buď sami vypočteme podle již nám známých proudů průměr drátu a zjistíme, zda se daný průměr vyrábí nebo si ho najdeme v tabulce.

Průměr drátu volíme tak, aby nebyl poddimenzovaný (to znamená, že jeho dovolený proud musí být vždy větší než náš vypočtený).

V našem případě je pro primární proud $I_p = 0,076 \text{ A} = 76 \text{ mA}$ vhodný drát o průměru 0,2 mm. Pro sekundární proud $I_s = 1,5 \text{ A} = 1500 \text{ mA}$ je vhodný drát o průměru 0,9 mm.

V dalším postupu musíme vypočítat podle výkonu průřez středního sloupku u transformátoru. Budeme počítat pro transformátorové plechy typu EI nebo opět určíme podle tabulek. Volíme tak, aby náš požadovaný výkon byl opět menší než výkon uvedený v tabulkách.

Pro náš modelový příklad kde $P_p = 17,55$ je vhodný průřez jádra EI 25 * 20 jež vyhovuje do výkonu 20 W. Z tabulky si zjistíme, že počet závitů na jeden volt (N_v) je pro zvolené jádro 9,58.



tabulka pro kontrolu

Menu



74



Lekce č. 13/02



13 – Kontrolní testovací výpočet

Výpočet podle zadaných vstupních hodnot

Pro dosažení do vzorce pro výpočet závitů na primární straně $N_p = N_v \cdot U_p \cdot 0,92$
Počet závitů na primární straně transformátoru bude $2027 = 9,58 \cdot 230 \cdot 0,92$
0,92 je konstanta pro krytí ztrát na primární straně transformátoru

Pro dosažení do vzorce pro výpočet závitů na sekundární straně $N_s = N_v \cdot U_s \cdot 1,08$
Počet závitů na sekundární straně transformátoru bude $93 = 9,58 \cdot 9 \cdot 1,08$
1,08 je konstanta pro krytí ztrát na sekundární straně transformátoru

Vypočtený transformátor

$U_p = 230 \text{ V}$
 $I_p = 76 \text{ mA}$
 $U_s = 9 \text{ V}$
 $I_s = 1,5 \text{ A}$
Jádro typu EI 25 mm * 20 mm.
Počet závitů na primární straně $N_p = 2027$
Počet závitů na sekundární straně $N_s = 93$



Menu



75



Lekce č. 13/03



14 – Kontrolní testovací výpočet

Výpočet podle hodnot a daného transformátoru

V praxi se taktéž setkáváme se zadanou velikostí transformátoru a máme zpětně navrhnout transformátor jenž pro zadaný průřez (velikost) dodá maximální výkon.

Příklad zadání

Transformátor o velikosti jádra EI 40 * 32
Primární napětí $U_p = 230 \text{ V}$
Dvě sekundární napětí. $U_{s1} = 12 \text{ V}$
 $U_{s2} = 6 \text{ V}$

Nejprve určíme maximální výkon transformátoru.

Z tabulky jsme zjistili že $P_p = 150 \text{ W}$

Vypočteme maximální sekundární výkon (to znamená, že odečteme ztráty) $P_s = \frac{P_p}{1,3}$

$$P_s = 115 \approx \frac{150}{1,3}$$



Menu



76



Lekce č. 14/01



14 – Kontrolní testovací výpočet

Výpočet podle hodnot a daného transformátoru

Víme, že výkon je součinem napětí a proudu, proto potřebujeme součet všech sekundárních napětí (v našem případě dvou) $U_s = U_{s1} + U_{s2}$
 $18 = 12 + 6$

Z výkonu si opět výpočtem maximální procházející proud. $I_s = \frac{P_s}{U_s}$

$$I_s \approx 6,3 = \frac{115}{18}$$

Takže náš maximální proud je 6,3 A pro případ, že obě sekundární vinutí budeme zatěžovat stejně.



Menu



77



Lekce č. 14/02



14 – Kontrolní testovací výpočet

Výpočet podle hodnot a daného transformátoru

V další fázi zjistíme z tabulek počet závitů na jeden volt (N_v) a dopočítáme počty závitů pro všechna vinutí.

Pro EI 40 * 32 je počet závitů na volt $N_v = 3,89$

Výpočet závitů pro primární vinutí $N_p = N_v \cdot U_p \cdot 0,92$
 $N_p = 823 \approx 3,89 \cdot 230 \cdot 0,92$

Výpočet závitů pro první sekundární vinutí $N_{s1} = N_v \cdot U_{s1} \cdot 1,07$
 $N_{s1} = 50 \approx 3,89 \cdot 12 \cdot 1,07$

Výpočet závitů pro druhé sekundární vinutí $N_{s2} = N_v \cdot U_{s2} \cdot 1,07$
 $N_{s2} = 25 \approx 3,89 \cdot 6 \cdot 1,07$

Vypočteme primární proud $I_p = \frac{P_p}{U_p}$ $I_p = 0,65 \approx \frac{150}{230}$



Menu



78



Lekce č. 14/03



14 – Kontrolní testovací výpočet

Výpočet podle hodnot a daného transformátoru

Z tabulky opět určíme průměr drátu pro primární vnutí a ten volíme podle našeho proudu (nejbližší vyšší), což v našem případě je 0,6 mm.

Zbývá nám ještě určit průměr drátu pro sekundární vnutí, a to pro proud 6,3 A. Z tabulky zjistíme, že nejbližší drát je smaltovaný drát o průměru 1,8 mm.

V praxi bychom ještě měli ověřit, zda námi navrhovaný transformátor je možné prakticky realizovat. Jedná se o to, aby námi vypočtené dráty a jejich navrhované průměry vlezly do plochy určené pro vinutí.

Pro transformátorové plechy E 40 je plocha pro vinutí 9,55 cm².

Plocha, kterou potřebujeme na vinutí je součtem plochy pro primární vinutí, všechny sekundární vinutí a plocha pro kostičku a prokládavé izolace.



Menu

?

79



Lekce č. 14/05



15 – Kontrolní testovací výpočet

Praktická ukázka ověření pro náš modelový transformátor.

Plocha, kterou zabere primární vinutí je $S_p = N_p \cdot$ plocha kterou zabere drát vinutí.

Plocha, kterou zabere sekundární vinutí je $N_s \cdot$ plocha kterou zabere drát vinutí.

Plocha, kterou zaberou všechna sekundární vinutí je $S_s = (S_{s1} + S_{s2})$.

V našem modelovém případě pro primární vinutí v počtu závitů 823 a průměru drátu 0,6 mm (na 1 cm² se vlezle 210 závitů) je zapotřebí plochy.

$$\frac{1}{210} \cdot 823 \approx 3,919$$

Pro první sekundární vinutí v počtu závitů 50 a průměru drátu 1,8 mm je zapotřebí plochy (na 1 cm² se vlezle 25 závitů) je zapotřebí plochy.

$$\frac{1}{25} \cdot 50 = 2$$

Pro druhé sekundární vinutí v počtu závitů 25 a průměru drátu 1,8 mm je zapotřebí plochy (na 1 cm² se vlezle 25 závitů) je zapotřebí plochy.

$$\frac{1}{25} \cdot 25 = 1$$

tabulka pro kontrolu

Menu

?

80



Lekce č. 15/01

15 – Kontrolní testovací výpočet

Praktická ukázka ověření pro náš modelový transformátor.

$$S_p = 3,919 \text{ cm}^2$$

$$S_{s1} = 2 \text{ cm}^2$$

$$S_{s2} = 1 \text{ cm}^2$$

Plocha, kterou zaberou všechna vinutí je $S_s = S_p + S_{s1} + S_{s2} = 3,919 + 2 + 1 = 6,919$

Kostra a prokládavé izolace tvoří asi 30 procent plochy, takže $6,919 \cdot 1,3 = 8,94$

Porovnáním plochy, kterou máme k dispozici (9,55 cm²) a plochou, kterou potřebujeme (8,94 cm²) zjistíme, že se nám vinutí do transformátoru vlezle a my můžeme transformátor realizovat.

V opačném případě bychom museli volit větší transformátorový plech a celý návrh transformátoru přepočítat.



Menu

?

81



Lekce č. 15/02



15 – Kontrolní testovací výpočet

Výpočet proudu z průměru drátu pro vnutí

Máme zadaný průměr drátu a chceme zjistit jakým proudem ho můžeme zatížit při proudové hustotě 2,5 A na mm².

Z průměru drátu vypočteme průřez, který vynásobíme 2,5 a máme náš zatěžovací proud.

Modelový příklad - chceme zjistit možný protékající proud drátem o průměru 1 mm, při proudové hustotě 2,5 A · mm²

Z průměru drátu vypočteme poloměr $r = \frac{D}{2}$ což v našem případě je $0,5 = \frac{1}{2}$

Z poloměru spočítáme průřez vodiče $\pi \cdot r^2$ po našem dosazení $3,14 \cdot 0,5^2 = 0,785$

Průřez vodiče vynásobíme 2,5 a dostaneme konečný výsledek $0,785 \cdot 2,5 = 1,9625$

Výsledný proud, kterým můžeme zatížit vodič o průměru drátu 1 mm² je asi 1,96 A.



tabulka pro kontrolu

Menu

?

82



Lekce č. 15/03

15 – Kontrolní testovací výpočet

Výpočet průměru drátu pro vinutí transformátoru

Máme zadaný proud a potřebujeme zjistit, jaký průměr budeme potřebovat na vinutí při proudové hustotě 2,5 A na mm².

Proud (na který hledáme vodič) vydělíme proudovou hustotou 2,5 A · mm², tím jsme zjistili jaký průřez drátu potřebujeme. Z průřezu spočítáme poloměr, který když vynásobíme 2 dostaneme náš hledaný průměr.

Modelový příklad pro hledaný proud 0,5 A (500 mA).

$S = I \cdot$ proudová hustota⁻¹.

Průřez vodiče je

$$S = \frac{I}{\sigma} = \frac{0,5}{2,5} = 0,2$$

Z průřezu spočítáme poloměr $r^2 = \frac{S}{\pi} = \frac{0,2}{\pi} \approx 0,06369$

Odmocníme $r^2 = 0,063$ a dostaneme poloměr $r = 0,252$

Poloměr $r = 0,252$ vynásobíme dvěma a máme hledaný průměr ($r \cdot 2 = D$) $0,252 \cdot 2 = 0,5$

Náš spočítaný průměr vodiče je 0,5 mm.



tabulka pro kontrolu

Menu

?

83



Lekce č. 15/04



Konec

Autor kurzu :

Vladislav Bednář

Grafika :

Vladislav Bednář



Menu

?

84



Ukončit