

Transformátor

Transformátor	1
1 Výuka transformátorů na střední odborné škole.....	2
1.1 Teorie probíraná v hodinách teoretického vyučování.....	2
1.1.1 Účel a význam transformátorů.....	2
1.1.2 Popis transformátorů	5
1.1.3 Princip činnosti transformátoru.....	5
1.1.4 Rozdělení transformátorů.....	7
1.2 Výuka transformátorů v dílenské výuce	9
1.2.1 Různé typy jader transformátorů.....	9
1.2.2 Dráty pro malé transformátory	14
1.2.3 Izolace mezi vrstvami	15
1.2.4 Kostry transformátoru	15
1.3 Výpočet síťového transformátoru	19
1.3.1 Zjednodušený výpočet a příklad výpočtu.	22
1.3.2 Vodiče pro navíjení transformátorů	25
LITERATURA A INTERNETOVÉ ODKAZY	27
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	30

1 Výuka transformátorů na střední odborné škole

Ve školních osnovách je zařazena i výuka transformátoru. Jsou zde probírány principy, funkce a uplatnění transformátorů v praxi. Toto učivo je jako navazující celek k výrobě, distribuci a spotřebě elektrické energie. V těsném sledu je zde zařazeno učivo zabývající se točivými elektrickými stroji.

1.1 Teorie probíraná v hodinách teoretického vyučování

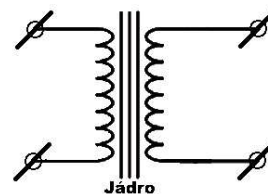
Princip a funkce transformátoru je od svého vzniku neměnná. Ve výrobě vznikají nové technologické postupy, vytváří se nové konstrukce, ale podstata funkce a výpočty se nemění. Skoro v každé literatuře najdeme výpočty transformátoru. Odborní učitelé často čerpají z výukových knih staršího vydání.

Základní součástí většiny elektronických výrobků je transformátor, který plní několik funkcí. Kromě úpravy síťového napětí na napětí menší a 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 vláček, nabíječky akumulátorů, nabíječky mobilů nemívají, se zřetelem na bezpečnost obsluhy, sekundární napětí vyšší než 60 V). Obvykle se používá napětí do 20 V. Proudě odebírané ze sekundárního vinutí jsou v rozmezí desítek miliampérů až desítek ampérů. Pro běžné aplikace vystačíme s maximálním sekundárním proudem 5 A (výstupní proud).



Obrázek 41 transformátor [3]

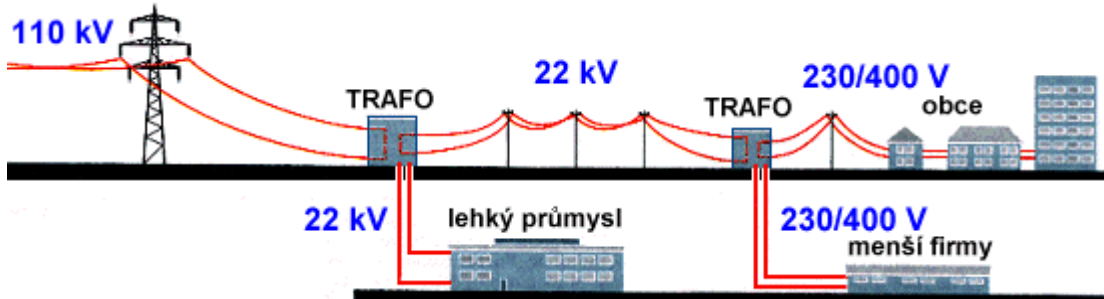


Obrázek 42 schématická značka transformátoru [3]

1.1.1 Účel a význam transformátorů

Transformátor je elektrický stroj, kterým se zvyšuje nebo snižuje napětí střídavého proudu při stejném kmitočtu, mění se počet fází, izolují se dvě soustavy navzájem a pod.. Je to svým principem nejjednodušší stroj bez pohyblivých částí. Zakládá se na vzájemné elektromagnetické indukci.

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.



Obrázek 41 přenosová soustava [31]

Význam a důležitost transformátorů pro zásobování elektřinou vynikne, uvážíme-li, že proud na své cestě od výroby ke spotřebiteli musí být často třikrát nebo i častěji transformován. Transformátory se stavějí od nejmenších výkonů, i jen několik voltampérů, pro účely slaboproudé techniky až po ohromné zákony několika set megavoltampérů v elektrárněnsví. Pro zkušebny vysokého napětí se stavějí zvláštní transformátory s napětím až 1 MV a jejich kaskádním zapojením lze získat napětí i přes 15 MV. 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. magistrálou 220 kV a některá z nich jsou ještě připojena k tzv. nadřazené síti 400kV. Sdružené napětí primárních sítí je 35 nebo 22 kV.



Obrázek 44 transformovna [32]



Obrázek 45 transformátor [3]

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. [33]



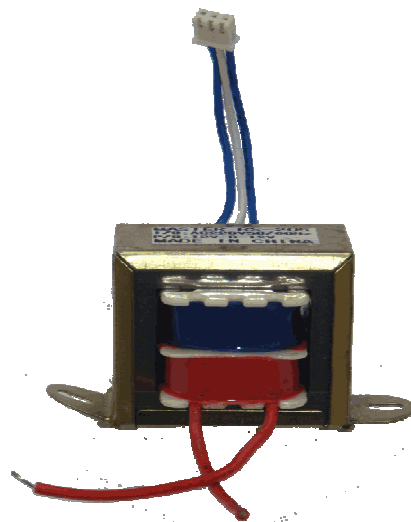
Obrázek 46 ovládací plocha monitoru v elektrárně Nošovice [32]



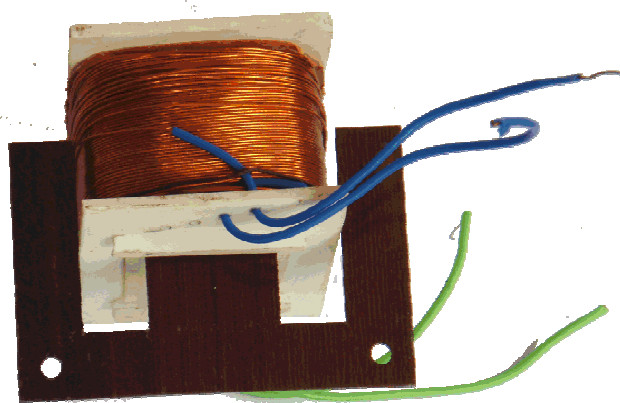
Obrázek 47 elektrárna Dětmarovice (turbína) [3]

1.1.2 Popis transformátorů

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 potáhnou minerálním tlakem s pojivem. Výhodné magnetické vlastnosti mají tzv. orientované plechy válcované za studena.



Obrázek 48 transformátor [3]



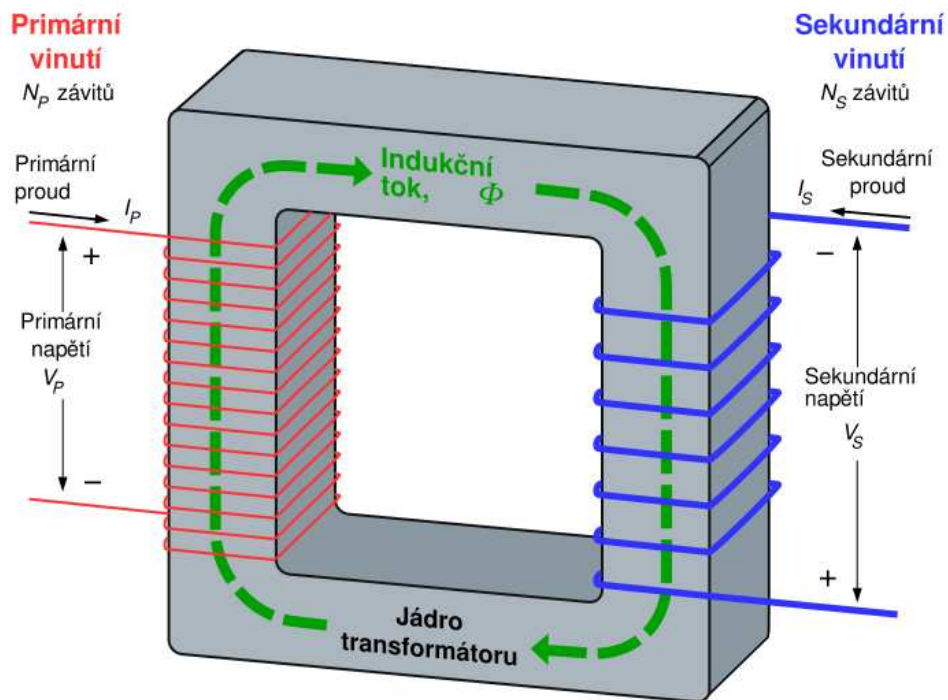
Obrázek 49 cívka transformátoru s trafoplechem [3]

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. [34]

1.1.3 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 indukují střídavé napětí.

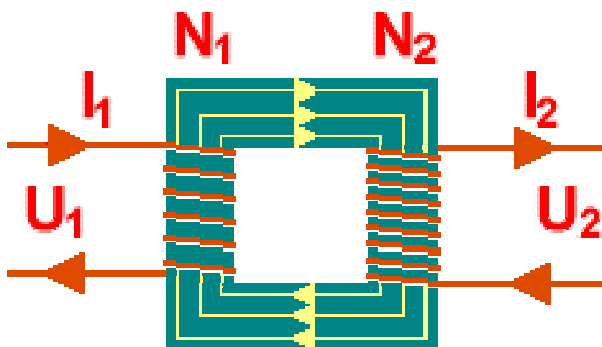


Obrázek 50 schéma indukčního toku v transformátorovém jádru [35]

Připojíme-li k primárnímu vinutí střídavé napětí, prochází vinutím střídavý proud a magnetickým obvodem se uzavírá střídavý magnetický tok, který se mění stejně jako proud. Změnou magnetického toku se indukují v primární cívce vnitřní čili indukované napětí. Podobně v sekundárním vinutí se indukují vnitřní napětí

Protože úbytky napětí na primární a sekundární straně jsou poměrně malé, platí i pro svorková napětí rovnice (transformační poměr čili převod transformátorů):

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{Napětí jsou v přímém poměru s počtem závitů.}$$



Obrázek 51 principiální náčrt transformátoru [36]

Zanedbáme-li ztráty v transformátoru, potom se příkon na primární straně rovná výkonu na sekundární straně.

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \quad P_1 = P_2$$

Jmenovitý výkon na štítku transformátoru je zdánlivý výkon ve voltampérech, neboť jeho činný výkon ve wattech se mění podle druhu zatížení, tj. podle velikosti účinku $\cos \varphi$.

Proudy v primárním a sekundárním vinutí jsou tedy v nepřímém poměru s napětím

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \qquad \frac{U_P}{U_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S}$$

[37]

- 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

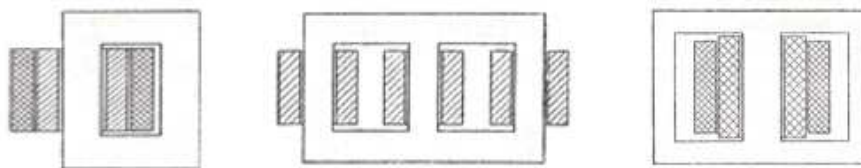
1.1.4 Rozdělení transformátorů

Podle konstrukce magnetického obvodu rozeznáváme 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 témže 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 odstupňovaný, aby se kruhový otvor cívký co nejvíce vyplnil jádrem. Vinutí transformátoru je buď válcové nebo kotoučové. [38]



Obrázek 52 transformátor jednofázový, trojfázový a plášťový jednofázový [38]

Vinutí primární i sekundární u jednofázového transformátoru může být umístěno buď na různých jádrech, nebo mohou být obě vinutí na témže 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.

Válcové čili soustředné vinutí má cívký vstupní i výstupní navlečeny na sobě. Blíže železa je vinutí nižšího napětí, neboť se snáze izoluje, soustředně na něm je uloženo vinutí vyššího napětí, které bývá rozděleno na cívký zhruba po 1 kV.

Kotoučové čili deskové vinutí má cívký uloženy v jádře tak, že se střídají cívký vyššího a nižšího napětí. Pro magnetickou souměrnost jsou na koncích poloviční cívký nižšího napětí, které mohou být blíže železa než cívký s vyšším napětím. Podle počtu fází se dělí transformátory na jednofázové, trojfázové, šestifázové a mnohofázové.

V transformátorech vznikají ztráty elektrické energie jednak v jádře, jednak ve vinutí. Obojí ztráty se mění v teplo, které se musí z transformátoru odvádět, aby se neohřála nad dovolenou mez. Podle způsobu odvádění tepla (podle chlazení) dělíme transformátory na vzduchové a olejové, které jsou ponořeny do nádoby naplněné olejem. Olej má větší tepelnou vodivost než vzduch a zároveň má i větší elektrickou pevnost. Podle účelu se transformátor dělí na staniční, síťové, říditelné, svářecí, spouštěcí, topné, pecové, přístrojové (měřicí a jisticí) a podobně.

Máme několik základních typů jader vhodných pro sériovou výrobu malých transformátorů.

○ **Toroidní jádra transformátoru**

Vinutá toroidní jádra magnetických obvodů tvoří magnetický okruh prost vzduchových mezer, 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 a materiál je použit C22 dle ČSN IEC 404-1. Toroidní jádra jsou vyráběné dle požadavků zákazníka a norem ČSN IEC 635 nebo DIN 42311. [17]

Toroidní jádra jsou vhodná pro magnetické obvody určené k výrobě:

- **měřících transformátorů,**
- **výkonových transformátorů,**
- **regulačních transformátorů,**
- **induktorů,**
- **měníčů.**



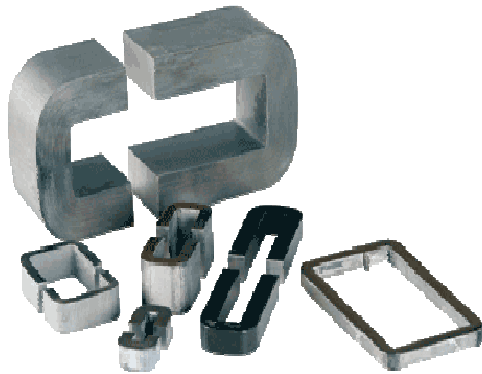
Obrázek 55 toroidní jádra
[39]

○ **Stupňovitá dělená jádra**

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 výseků různých tvarů. Speciální průřez těchto jader umožňuje plnější využití průřezu kruhových cívek.

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 závitě každé poloviny je označeno pořadové číslo.

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



Obrázek 56 dělená jádra
[41]



Obrázek 57 dělená stupňovitá jádra
[42]

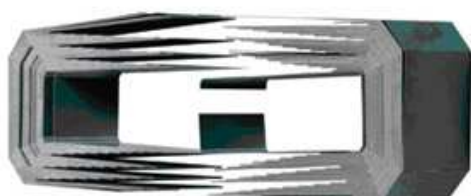
Vinutá jádra mají tvar lépe přizpůsobený průběhu magnetického indukčního toku a lépe využívají speciální strukturu zrna materiálu ve srovnání s jádry, které se skládají z plechových výlisků různých tvarů. [42]

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 nákladu práce vynaložené při sestavování transformátorů, díky jednoduchosti montáže.

○ **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.

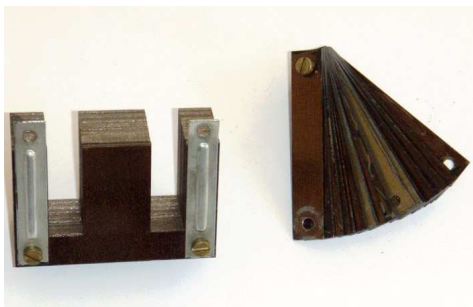


Obrázek 58 UNICORE jádro
[43]

Jádra UNICORE spojují všechny výhody $C + Q$ jader, přičemž jejich měrné ztráty jsou nižší o 20-40%. Mají zjednodušenou konstrukci (nejsou lepená, řezaná ani broušená, díky čemu dosahují velmi příznivé ceny). Při montáži se dají použít stávající typy kostřiček, tudíž změny v konstrukci magnetického obvodu nejsou nutné. [44]

o EI jádra transformátorů

Název dostali podle svého vzhledu. Jsou tvořeny prvkem ve tvaru E a prvkem ve tvaru I.



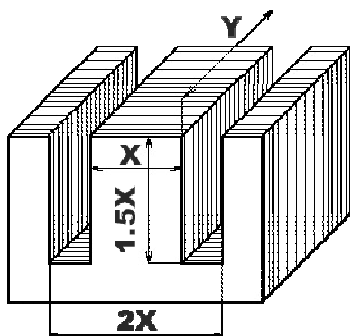
Obrázek 59 E I plechy [3]



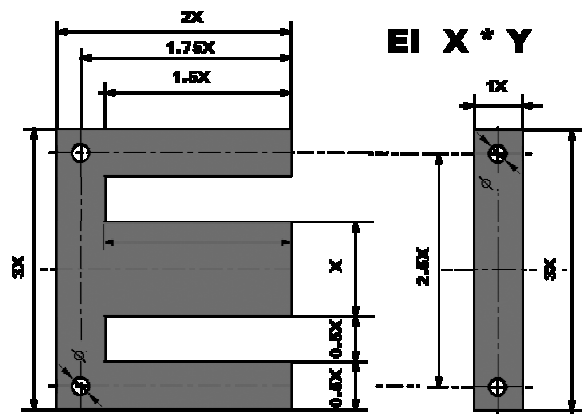
Obrázek 60 E I plech [3]

Vyrábí se vysekáváním s ocelokřemíkových plechů. Výrobně jsou to jádra nejvýhodnější, jelikož při strojním vysekávání je nejmenší odpad. Tyto jádra jsou pro kusovou výrobu transformátorů nejvýhodnější.

Transformátorové plechy se vyrábí podle standardizovaných doporučení. Existují závislosti mezi typem trafoplechu a jeho proporcionální velikostí. U typ E je vlastně nádherný demonstrační příklad, na kterém se všechny rozměry dají jednoduše odvodit. 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



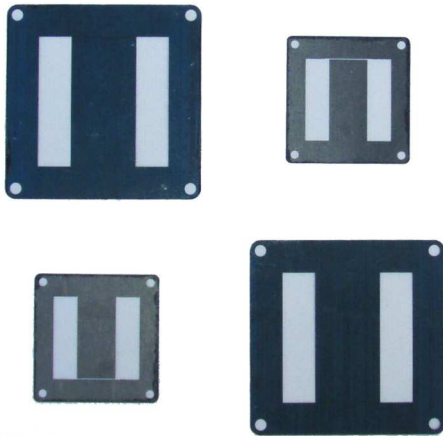
Obrázek 61 svazek E plechů [3]



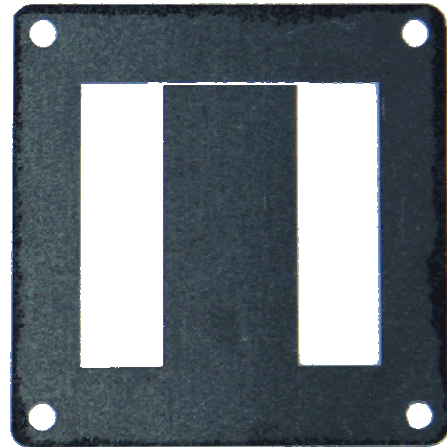
Obrázek 62 závislosti u E I plechů [3]

o 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.



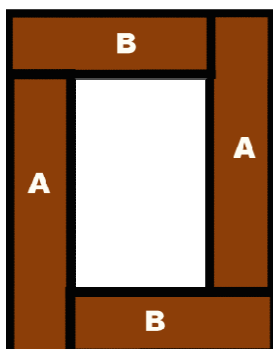
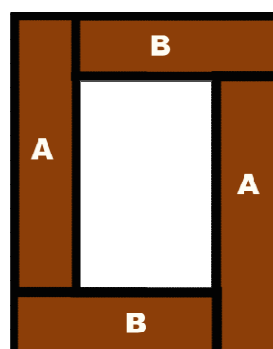
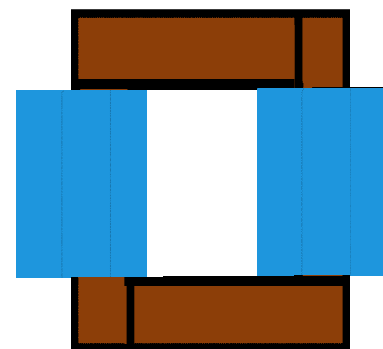
Obrázek 63 M plechy [3]



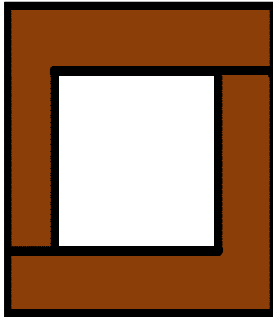
Obrázek 64 M plech [3]

o I a L jádra transformátorů

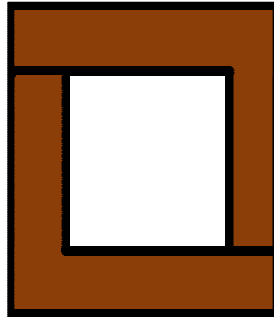
V praxi se používá i skládání jader transformátoru z plechů vyseknutých ve tvaru I. Ty se potom ve vrstvách přes sebe překládají tak, že místě předešlého spojení plechu leží plech průběžný. Výrobně jsou nejjednodušší. Nevýhoda je větší elektromagnetický rozptyl. Používají se například při výrobě klasických svařovacích transformátorů. Jádra tvaru I jsou obdélníkové plechy, které se při výrobě jádra překládají přes sebe. Pechy v liché a sudé vrstvě na sebe navazují jenom vnějším a vnitřním obvodem.

Obrázek 65
I plech 1. vrstva [3]Obrázek 66
I plech 2. vrstva [3]Obrázek 67
I plech s cívkou [3]

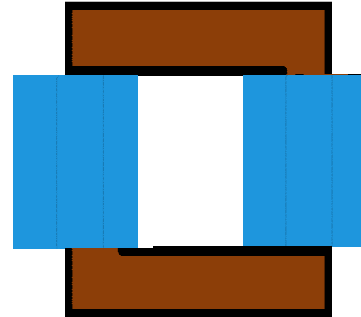
Stejný způsob skládání plechů se používá v případě plechu ve tvaru L. Tyto plechy jsou nepatrně výrobně nákladnější, jelikož se již nedají stříhat strojními nůžkami, ale musí se vysekávat. Logika vrstev trafoplechů je opět dodržena (nesmí jít spoje dvou sousedních vrstev na sebe).



Obrázek 68
L plechy 1. vrstva [3]



Obrázek 69
L plechy 2. vrstva [3]



Obrázek 70
L plechy s cívkou [3]

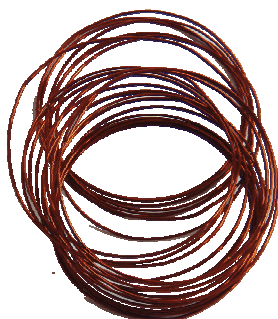
1.2.2 Dráty pro malé transformátory

Vynutí transformátoru bývá provedeno dráty o kruhovém průřezu (průměr 0,08 až 3,15 mm) nebo vodičými pásy (od 0,5 x 4 mm do 5 x 40 mm).

○ Používají se dráty

- izolované smaltem,
- izolované smaltem a opletením hedvábím,
- izolované opletením papírovým páskem.

Nevýhody izolovaných drátů je jejich malá povrchová mechanická odolnost, vodiče jsou citlivé na chemické výpary a smalt na vodičích stárne.



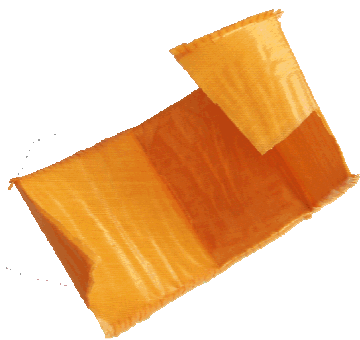
Obrázek 71 Drát CuL
[3]



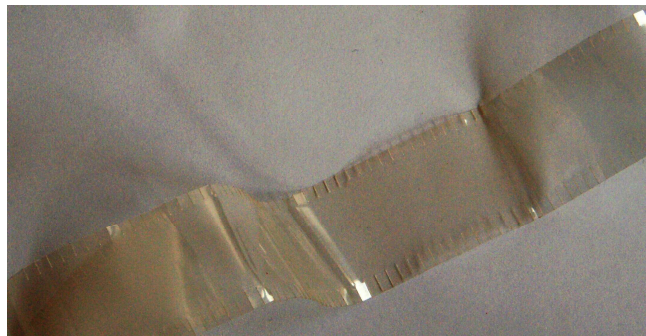
Obrázek 72 Drát CuL na cívce
[3]

1.2.3 Izolace mezi vrstvami

Mezi jednotlivé vrstvi transformátorového vinutí se dává prokladová izolace z transformátorového papíru, slídy nebo igelitová izolace. Pokud se navijí tenkým drátem tzv. postupnou vlnou, potom se dává prokladová izolace tak, aby byla rovnoměrně rozdělena a aby se na jedno vinutí (primární, sekundární) 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 koster. Nejtlustější a elektricky nejvíce odolná je izolace mezi sekundárním a primárním vinutím.



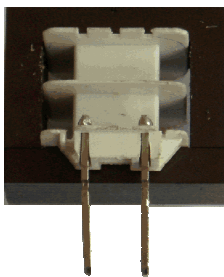
Obrázek 73 textilní prokladová izolace [3]



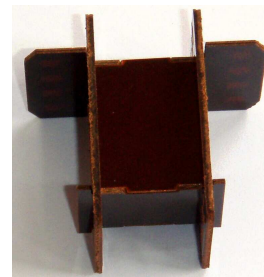
Obrázek 74 prokladový transformátorový papír [3]

1.2.4 Kostry transformátoru

Transformátorové vinutí je buď samonosné (aretováno lakem a textilními pásky), nebo je navinuto na kostře z magneticky a elektricky nevodivého materiálu. Tyto kostry bývají vylišovány z jednoho kusu plastu nebo jsou skládané a lepené z více dílů. V kusové a malosériové praxi se používají nejčastěji skládané kostry. Jako materiál je použit texgumoit nebo sklolaminát (dříve se používal ještě pertinax). Kostra je navržena tak, aby byla mechanicky pevná (je to nosný prvek vinutí) a samozřejmě se musí konstrukčně prodřizovat typu a velikosti jádra.



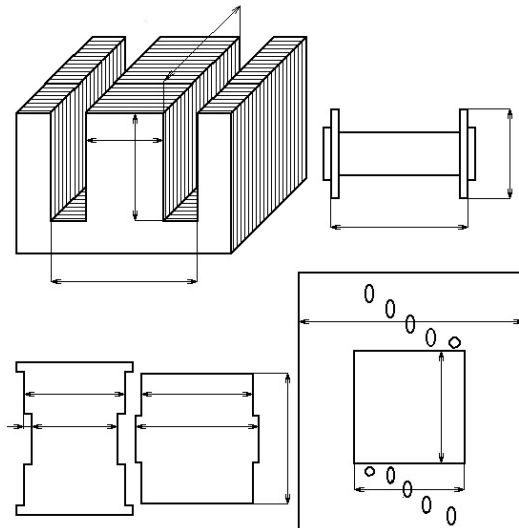
Obrázek 75 plastová kostra [3]



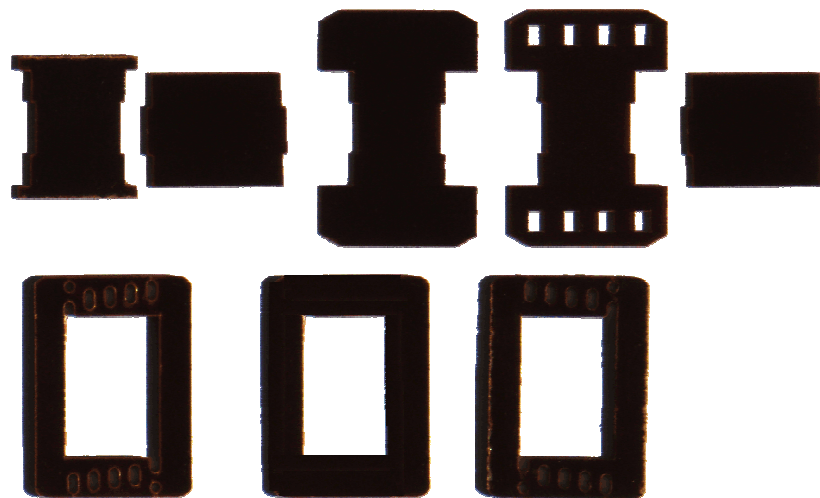
Obrázek 76 skládaná kostra [3]

○ **Skládaná kostra transformátoru**

Všechny bočnice skládané kostry musí do sebe zapadat a aretovat se výřezovými klíči. Velikost výřezových klíčů se řídí tloušťkou materiálu, ze kterého je kostra vyrobena. Starší typy transformátorů měli navinuté blíže k jádru primární vinutí. Po navinutí primárního vinutí a jeho prokladových vrstev se položila vrstva zesílené izolace, která musela vydržet napětí v řádech kV. Na zesílenou izolační vrstvu se potom vinulo sekundární vinutí (nebo několik sekundárních vinutí). Skládaná kostra je v dnešní době tvořena třemi čely (dvě krajní a jedno které dělí prostor na primární a sekundární část). Střed kostry je tvořen 4 bočnicemi. Jsou to bočnice v páru. Bočnice jenž dolehají na celou plochu trapeplechu mají jiný tvar, než ty které vymezují tloušťku svazku transformátorových plechů.



Obrázek 77
nákres jádra a dílů kostry
[3]



Obrázek 78 díly kostry pro plechy E I [3]

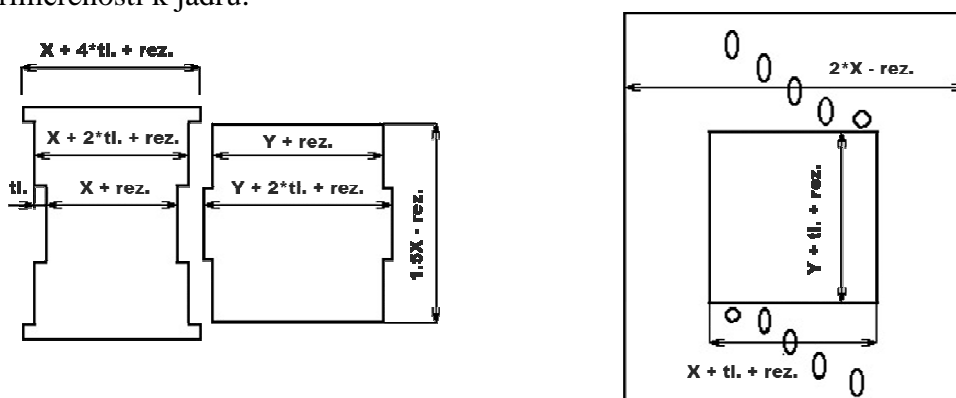
Při výpočtu samostatných díků kostry vystačíme s velikostí použitého transformátorového plechu a tloušťky materiálu, ze kterého je kostra zhotovena. Všechny míry jsou odvozené od velikosti transformátorového plechu (jeho typu).

- X – velikost trafoplechu (vlastně typ E),
- Y – šířka svazku trafoplechu,
- tl. – tloušťka materiálu z kterého je kostra vyrobena,
- rez. – rezerva pro volný pohyb kostra na jádře.

Velikost rezervy se u transformátorku do plechu E16 volí 0,5 mm.

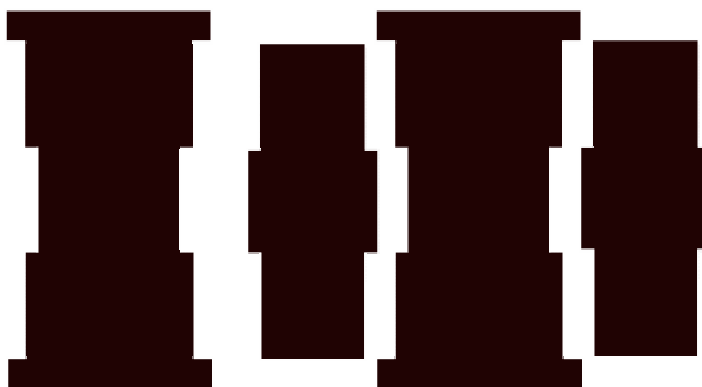
U trafoplechu E20 až E40 volíme rezervu 1 mm.

Ve větších velikostech plechu se řídíme materiálem z kterého je kostra vyrobena a přiměřeností k jádru.



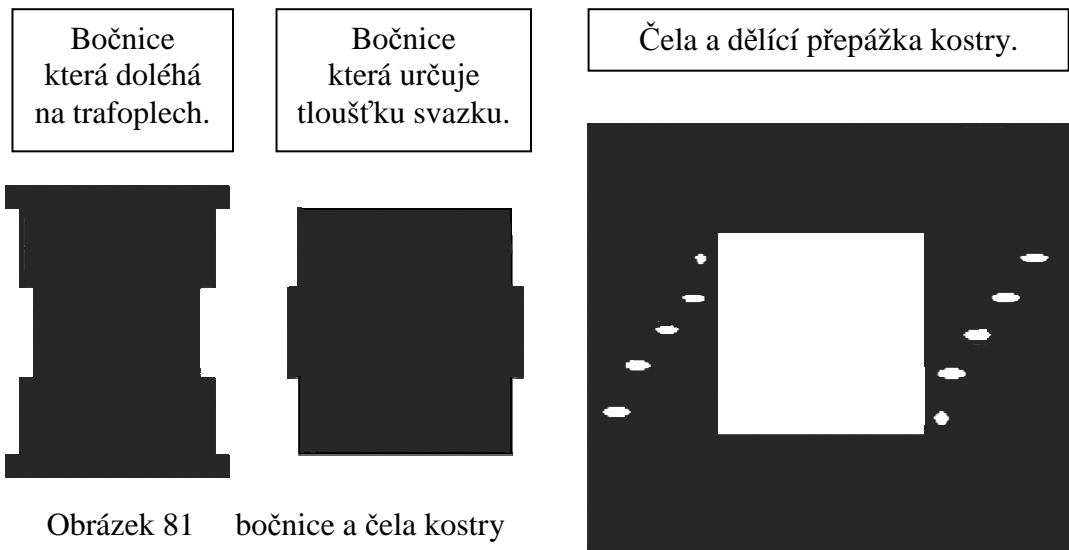
Obrázek 79 díly a závislosti rozměrů pro trafoplechy E I [3]

Všechny bočnice skládané kostry musí do sebe zapadat a aretovat se výřezovými klíči. Velikost výřezových klíčů se řídí tloušťkou materiálu, ze kterého je kostra vyrobena.



Obrázek 80 bočnice kostry [3]

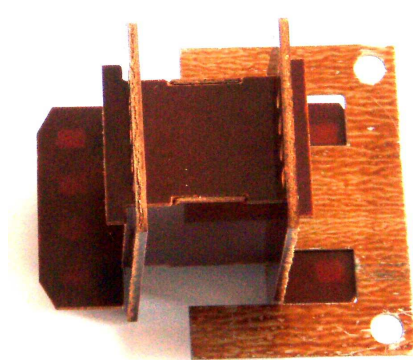
Kostra je sestavena z 2 a 2 typů bočnic a 3 čel kostry. V dřívějších dobách se používaly pouze 2 krajní čela a prostřední se vynechávalo.



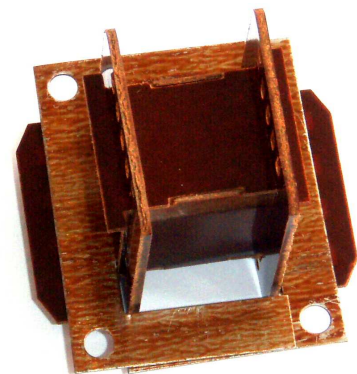
Obrázek 81 bočnice a čela kostry
[3]

Transformátorové plechy typu EI skládané do kostry.

Plechy jsou skládané tak, že každá řada (vrstva) je tvořena plechem E s plechem I. Sudé vrstvy mají například plech I na levé straně a liché vrstvy na pravé straně.



Obrázek 82 kostra a trafoplech
[3]



Obrázek 83 kostra a trafoplechy
[3]



Obrázek 84 nasunování
trafoplechů [3]

1.3 Výpočet síťového transformátoru

Ke zhotovování transformátoru se dnes v amatérské praxi nejčastěji používají plechy tvaru EI. Při návrhu vycházíme z maximálního výkonu na jeho sekundární straně, to je ze součinu efektivní hodnoty požadovaného napětí a z odebíraného proudu. Z tabulky zjistíme vhodnou velikost jádra pro transformátor.

Tabulka 1 výkony a počty závitů pro daný transformátor s jádrem E I.

Požadovaný výkon ve W	Typ plechů	Výška svazků mm	Počet závitů na jeden volt (N_V) (plechy tloušťky 0,5mm)	Plocha pro vinutí cm^2
8	EI 16	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

Dále určíme počet závitů na 1 V 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.

- N_P (N_1) počet závitů primárního vinutí,
- N_S (N_2) počet závitů sekundárního vinutí,
- N_V počet závitů na jeden volt,
- U_P (U_1) napětí na primární straně (V),
- U_S (U_2) napětí na sekundární straně (V),
- K_P konstanta pro ztrát na primární straně,
- K_S konstanta pro ztrát na sekundární straně.

Počet závitů primárního vinutí vypočítáme pomocí vztahu $N_P = K_P \cdot U_P \cdot N_V$

Počet závitů sekundárního vinutí vypočítáme pomocí vztahu $N_S = K_S \cdot U_S \cdot N_V$

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 tab. Proto v tomto případě doporučujeme použít jádro pro výkon o stupeň větší.

Zjištěný požadovaný výkon dělíme účinností transformátoru, která bývá v rozmezí 80-90 %, čímž určíme příkon transformátoru.

Příkon transformátoru je tedy:
$$P_p = \frac{P_s}{\eta} = \frac{I_s \cdot U_s}{\eta}$$

- P_p příkon (W) transformátoru (primární strana transformátoru,
- P_s výkon (W) transformátoru (sekundární strana transformátoru),
- η účinnost (je větší u větších a menší u menších transformátorů) obvykle se počítá s účinností 0,8 až 0,9,
- I_s největší efektivní hodnota proudu procházejícího sekundárním vinutím (A),
- U_s efektivní hodnota sekundárního napětí transformátoru (V).

Pro efektivní hodnotu primárního proudu platí:
$$I = \frac{P_p}{U_p}$$

V tabulce číslo 2. 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 většinou dráty izolované lakem (označení CuL).



Obrázek 85 drát CuL na cívce
[3]



Obrázek 86 drát CuL
[3]

Tabulka, která nám vyjadřuje zatížitelnost vodiče při daném průměru drátu.

Tabulka 2 možný odebíraný proud vodičem při hustotě $2,5 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$

Průměr drátů v mm	Proud I při proudové hustotě $2,5 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$		Počet závitů na 1cm^2 plochy pro vinutí
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
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	
3	17,7	A	

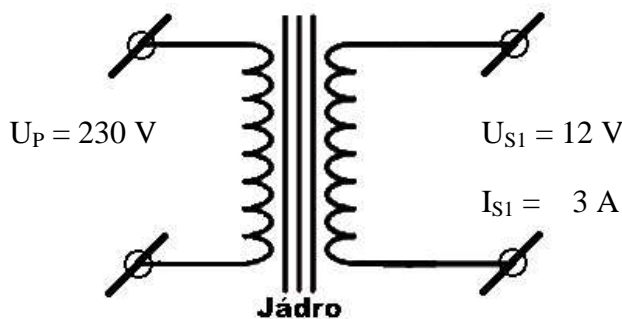
Dále je třeba zjistit, je-li možné transformátor se zvolenými dráty a počty závitů realizovat. Postupujeme tak, že vypočítáme součiny a součet všech těchto ploch pro jednotlivá vinutí by neměl být větší než 50 % celkové plochy pro vinutí, kterou zjistíme z tabulky. Je-li součet větší, je třeba zvolit 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 $80\text{-}100 \text{ }^\circ\text{C}$ a potom

se máčí v impregnační lázni. Lze použít například vosk T 100 nebo namáčecí vypalovací transformátorový lak. Touto úpravou se zlepši izolační vlastnosti transformátoru, zamezí se jeho navlhání, fixuje se plocha drátů vinutí a zlepšuje se přechod tepla z vinutí na povrch transformátoru. [44]

1.3.1 Zjednodušený výpočet a příklad výpočtu.

Zadané hodnoty: vstupní, primární napětí	$U_P = 230 \text{ V}$
výstupní, sekundární napětí	$U_{S1} = 12 \text{ V}$
výstupní, sekundární, zatěžovací proud	$I_{S1} = 3 \text{ A}$



Obrázek 87 transformátor schématicky [3]

○ Hodnoty potřebné k výrobě transformátoru

- druh a velikost transformátorových plechů,
- počet (vstupních) primárních závitů N_P ,
- počet (výstupních) sekundárních závitů N_S ,
- průměr vodiče (vstupního) primárního vinutí D_P ,
- průměr vodiče (výstupního) sekundárního vinutí D_S .

○ Výkon transformátoru

$$P_S = U_S \cdot I_S \quad [\text{VA}; \text{V}, \text{A}] \quad P_S = 12 \cdot 3$$

$$P_S = 36 \text{ VA}$$

○ Příkon transformátoru

$$P_P = (1,1 \text{ až } 1,3) \cdot P_S \quad P_P = 1,2 \cdot 36$$

$$P_P = 43,2 \text{ VA}$$

○ **Čistý průřez železného jádra**

$$S_{\text{Fe}} = (0,8 \text{ až } 1,1) \cdot \sqrt{P_S} \quad [\text{cm}^2; \text{VA}] \quad S_{\text{Fe}} = 1 \cdot \sqrt{36}$$

$$S_{\text{Fe}} = 6 \text{ cm}^2$$

○ **Skutečný průřez železného jádra s izolací mezi plechy**

$$S_{\dot{z}} = \frac{S_{\text{Fe}}}{0,9} \quad [\text{cm}^2; \text{cm}^2] \quad S_{\dot{z}} = \frac{6}{0,9}$$

$$S_{\dot{z}} \cong 6,6 \text{ cm}^2$$

○ **Výška jádra a počet plechů**

Volíme transformátorové plechy tak, aby průřez jádra byl přibližně čtvercový.

Pomocný výpočet: $a = \sqrt{S_{\dot{z}}} \quad [\text{cm}; \text{cm}^2] \quad a = \sqrt{6,6}$

$$a \cong 2,56$$

Můžeme zvolit plechy E25 nebo E32. Je lepší zvolit plechy větší, u kterých bude více místa v okénku pro vinutí. Musíme teď zjistit skutečnou výšku svazku přepočítanou na trafoplech E32.

$$v = \frac{S_{\dot{z}}}{b} \quad [\text{cm}; \text{cm}^2, \text{cm}] \quad v = \frac{6,6}{3,2} \quad v \cong 2$$

$$v \cong 2 \text{ cm} \quad v \cong 20 \text{ mm}$$

Výška svazku transformátorových plechů bude 20 mm.

- počet plechů $Pt_{\text{plechů}}$
- tloušťka jednoho transformátorového plechu t_p

$$Pt_{\text{plechů}} = \frac{v}{t_p} \quad [-; \text{mm}, \text{mm}] \quad Pt_{\text{plechů}} = \frac{20}{0,5}$$

V případě, že jeden transformátorový plech bude mít tloušťku 0,5 mm tak budeme potřebovat $\frac{20}{0,5} = 40$ kusů plechů.

○ **Počet závitů na napětí 1 V**

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

$$N_V = \frac{45}{6,6} \cong 6,818$$

Počet závitů na 1V je v našem případě asi 6,8 závitů. Znamená to že, abychom dosáhli napětí jednoho voltu, musíme na jádro transformátoru navinout 6,8 závitů.

Konstanta (k) upravuje počet závitů s ohledem na úbytek napětí. Stanoví se podle velikosti transformátorku:

k_p – konstanta pro krytí ztrát na primárním vinutí,

k_s – konstanta pro krytí ztrát na sekundárním vinutí.

Tabulka 3 konstanty pro krytí ztrát v transformátoru

P_S	do 50 VA	50 až 100 VA	100 až 300 VA	300 až 1000 VA
k_s	1,1	1,08	1,07	1,05
k_p	0,9	0,92	0,93	0,95

$$N_P = N_V \cdot U_P \cdot k_P$$

$$N_P = 6,818 \cdot 230 \cdot 0,92$$

$$N_P \cong 1442 \text{ závitů}$$

$$N_S = N_V \cdot U_S \cdot k_S$$

$$N_S = 6,818 \cdot 12 \cdot 1,08$$

$$N_S \cong 88 \text{ závitů}$$

○ **Určení průřezu vodičů vinutí**

σ – proudová hustota ($A \cdot mm^{-2}$).

Volíme proudovou hustotu mezi 2 až 3 $A \cdot mm^{-2}$

$$I_P = \frac{P_P}{U_P}$$

[A; VA, V]

$$I_P = \frac{43,2}{230}$$

$$I_P \cong 0,1878 \text{ A}$$

Průřez primárního vinutí S_P

$$S_P = \frac{I_P}{\sigma}$$

$$[mm^2 = \frac{A}{A \cdot mm^{-2}}]$$

$$0,075 \cong \frac{0,1878}{2,5}$$

$$S_P = 0,075 \text{ mm}^2$$

$$S_S = \frac{I_S}{\sigma}$$

$$[mm^2 = \frac{A}{A \cdot mm^{-2}}]$$

$$1,2 = \frac{3}{2,5}$$

$$S_S = 1,2 \text{ mm}^2$$

○ Určení průměru vodičů

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

$$D_P = \sqrt{\frac{4 \cdot S_P}{\pi}} \qquad D_P = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,075}{3,14}} \qquad D_P \cong 0.309 \text{ mm.}$$

Z tabulek volíme průměr drátu na primární vinutí: $D_P = 0.3 \text{ mm}$.

$$D_S = \sqrt{\frac{4 \cdot S_S}{\pi}} \qquad D_S = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,2}{3,14}} \qquad D_S \cong 1.236 \text{ mm.}$$

Z tabulek volíme průměr drátu na sekundární vinutí: $D_S = 1.3 \text{ mm}$.

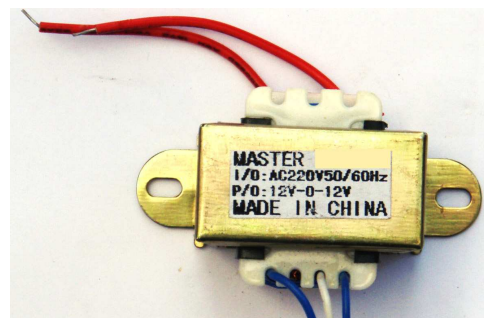
Tento zjednodušený výpočet transformátorku lze použít pro síťové transformátorky do výkonu 1000 VA. Výpočtem lze ověřit proveditelnost vinutí s ohledem na kontrolu plnění plochy okénka cívky transformátoru.

1.3.2 Vodiče pro navíjení transformátorů

Použité dráty musí být vždy lakované, smaltované nebo opředené izolační textilií. Jednotlivé závity musí být odizolovány, jinak by se závity navzájem elektricky spojily, a tím pádem by se zkratovaly. Je vhodné po každé navinuté vrstvě izolovat dráty na kostříčce vrstvou prokladového papíru nebo jiné izolační hmoty. Nejtlustší izolační vrstva musí být mezi primárním a sekundárním vinutím.

V dnešní době se již nepřipouští mít na sobě u transformátorků pro spotřební elektroniku vinutí na sobě. Vinutí se dávají do dvou od sebe oddělených prostor (elektricky nevodivou přepážkou). Na našem trhu jsou však stále výrobky dovážené hlavně z Asie, které toto nesplňují. Jejich konstrukce a izolace leckdy nesplňují základní bezpečnostní podmínky.

Obrázek 88 transformátor z Číny [3]



○ **Tabulka průřezů vodičů podle zatížení**

Vodič, kterým protéká proud, se zahřívá. V praxi používáme nejčastěji vodiče měděné. Hliníkové se používají pouze u zařízení kde s finančních důvodů nebo váhových je to opodstatněné. Proudovou hustotu volíme v rozsahu 2,5 až 6 A·mm⁻². Větší hodnota vede k velkému úbytku při zatížení a většímu zahřívání transformátoru. U transformátorů volíme nejčastěji proudovou hustotu 2,5 A·mm⁻².

Tabulka 4 maximální zatížitelnost hliníkových a měděných vodičů při proudové hustotě 2,5 A·mm⁻²

Průměr drátu v mm	Maximální zatížení	Maximální zatížení na
	na vinutí v Ampérech pro měď (Cu)	vinutí v Ampérech pro hliník (Al)
0,04	0,003	0,002
0,06	0,005	0,004
0,08	0,013	0,009
0,10	0,020	0,013
0,12	0,029	0,019
0,15	0,044	0,031
0,18	0,064	0,043
0,20	0,079	0,053
0,25	0,125	0,083
0,30	0,178	0,120
0,35	0,241	0,164
0,40	0,315	0,214
0,45	0,400	0,272
0,50	0,493	0,335
0,60	0,708	0,481
0,70	0,960	0,653
0,80	1,261	0,860
0,90	1,590	1,160
1,00	1,963	1,330
1,20	2,825	1,920
1,40	3,850	2,618
1,50	4,425	3,000
1,60	5,025	3,417
1,80	6,375	4,335
2,00	7,850	5,350

LITERATURA A INTERNETOVÉ ODKAZY

[3] vlastní obrázky

[31] KUSALA , Jaroslav . Miniencyklopedie : Elektřina. *Čez\\encyklopedie_html \\4-4.htm\rozvl* [online]. 2003 [cit. 2008-01-12].

[32] obrázky poskytl Ing. Ladislav Rudolf, Ph.D

[33] HUDEC, Josef, FETTER, František. *Elektrotechnika : pro 2. a 3. ročník učňovských škol*. 1973. vyd. Praha : SNTL, 1973. Účel a význam transf., s. 11.

[34] HUDEC, Josef, FETTER, František. *Elektrotechnika : pro 2. a 3. ročník učňovských škol*. 1973. vyd. Praha : SNTL, 1973. Popis transformátoru, s. 12.

[35] Transformer3d col3cz.svg [online]. 2007 , 12.1.2007 [cit. 2007-11-10]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Transformer3d_col3cz.svg>.

[36] [31] KUSALA , Jaroslav . Miniencyklopedie : Elektřina. *Čez\\encyklopedie_html \anim\trafo* [online]. 2003 [cit. 2008-01-12].

[37] HUDEC, Josef, FETTER, František. *Elektrotechnika : pro 2. a 3. ročník učňovských škol*. 1973. vyd. Praha : SNTL, 1973. Působení transformátoru, s. 13-14.

[38] HUDEC, Josef, FETTER, František. *Elektrotechnika : pro 2. a 3. ročník učňovských škol*. 1973. vyd. Praha : SNTL, 1973. Rozdělení transformátoru, s. 15.

[39] *Toroidní jádra* [online]. 2006 [cit. 2007-12-18]. Dostupný z WWW: <http://www.vptechnotron.cz/cores/page.php?app=3&lan_id=cz>.

[40] ARENDAŠ, Miroslav, RUČKA, Milan. *Nabíječe a nabíjení*. Marie Hauptvogelová; Viola Kuníková. 2. vyd. Praha 1 : SNTL-Nakladatelství technické literatury,n.p., 1987. 216 s. Populární elektronika; sv. 6. ISBN 04-531-87.

[41] *Dělená C jádra* [online]. 2006 [cit. 2007-12-18]. Dostupný z WWW: <http://www.vptechnotron.cz/cores/page.php?app=4&lan_id=cz>.

- [42] *Stupňovitá dělená jádra* [online]. 2006 [cit. 2007-12-18]. Dostupný z WWW: <http://www.vptechnotron.cz/cores/page.php?app=6&lan_id=cz>.
- [43] *UNICORE* [online]. 2006 [cit. 2007-12-08]. Dostupný z WWW: <http://www.vptechnotron.cz/cores/page.php?app=5&lan_id=cz>.
- [44] ARENDÁŠ, Miroslav, RUČKA, Milan. *Nabíječe a nabíjení*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1987. Transformátor, s. 91-93.
- [45] JAROSLAV, Mallat, JIŘÍ, Krofta. *Stabilizované napájecí zdroje pro mikroelektroniku*. Rostislav Zeman. 2. dopl. vyd. Bratislava: SNTL, 1986. 264 s. ISBN L26-B3-III-01/527.
- [46] *Transformátor* [online]. 2007 [cit. 2007-12-15]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Transformátor#Princip_.C4.8Dinnosti>.
- [47] *Výpočet transformátoru* [online]. 2002 , 23.1.2002 [cit. 2007-12-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektroworld.info/modules.php?name=News&file=article&sid=10>>.
- [48] *Elektrické stroje* [online]. 2005 [cit. 2007-11-05]. Dostupný z WWW: <http://www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/fiserl/docs/ZE_Elektricke_stroje.pdf>.
- [49] *Trafa* [online]. 2006 [cit. 2007-11-05]. Dostupný z WWW: <http://stag.zcu.cz/fel/kev/zei/krasl/Podklady_ke_studiu/El_stroje/Rozsirene_el_stroje/Trafa/>.
- [50] *Transformátor* [online]. 2005 [cit. 2007-11-04]. Dostupný z WWW: <http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/electross/elektrina/el_proud/generace_proudu/generator/transformator.html <http://www.eagle.cz/>>.
- [51] *Eagle* [online]. 2001 , 15,2,2002 [cit. 2007-11-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.eagle.cz/freeware.htm>>.
- [52] PAVLÍČEK, Jiří. *Základy e-didaktiky pro e-tutory*. Ostrava : [s.n.], 2003. ISBN 80-7042-921-6. Postup ADDIE, s. 31.
- [53] PAVLÍČEK, Jiří. *Základy e-didaktiky pro e-tutory*. Ostrava : [s.n.], 2003. ISBN 80-7042-921-6. Model Instructional System Design, s. 32.
- [54] PAVLÍČEK, Jiří. *Základy e-didaktiky pro e-tutory*. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 2003. ISBN 80-7042-921-6. s. 31.
- [55] KAPOUNOVÁ, Jana, PAVLÍČEK, Jiří. *Počítače ve výuce a učení*. [s.l.] : [s.n.], 2002. ISBN 80-7042-265-3. Struktura obrazovky výukového programu, s. 72.

- [56] PAVLÍČEK, Jiří. *Základy e-didaktiky pro e-tutory*. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 2003. ISBN 80-7042-921-6. Zvuk, s. 44.
- [57] PAVLÍČEK, Jiří. *Základy e-didaktiky pro e-tutory*. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 2003. ISBN 80-7042-921-6. Textový objekt, s. 42.
- [58] PAVLÍČEK, Jiří. *Základy e-didaktiky pro e-tutory*. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 2003. ISBN 80-7042-921-6. Obrázky, s. 43.
- [59] KREJČÍK, Miroslav, VESELKA, Jan. *Elektrotechnické tabulky : sdělovací a automatizační techniky*. [s.l.] : [s.n.], 1970. 395 s. ISBN 04-505-70 05/38.
- [60] KAPOUNOVÁ, Jana, PAVLÍČEK, Jiří. *Počítače ve výuce a učení*. [s.l.] : [s.n.], 2002. ISBN 80-7042-265-3. Struktura obrazovky výukového programu, s. 112.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

P_1	[W]	(P_P)	příkon transformátoru (primární strana transformátoru),
P_2	[W]	(P_S)	výkon transformátoru (sekundární strana transformátoru),
N_1	(N_P)		počet závitů primární cívky,
N_2	(N_S)		počet závitů sekundární cívky,
N_V			počet závitů na jeden volt,
U_1	[V]	(U_P)	primární napětí, přiváděné na vstup primární cívky,
U_2	[V]	(U_S)	sekundární napětí, které se indukuje na sekundární cívce,
I_1	[A]	(I_P)	primární proud, procházející mezi zdrojem a primární cívkou,
I_2	[A]	(I_S)	sekundární proud, který prochází sekundární cívkou,
Φ	[W _b]		magnetický indukční tok (indukční tok Weber; $W_b = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$),
K_P			konstanta pro krytí ztrát na primárně straně,
K_S			konstanta pro krytí ztrát na sekundární straně.
D_P			průměr vodiče (vstupního) primárního vinutí,
D_S			průměr vodiče (výstupního) sekundárního vinutí,
S_{Fe}	[cm ²]		čistý průřez železného jádra,
$S_{\dot{z}}$	[cm ²]		skutečný průřez železného jádra s izolací mezi plechy,
$P_{t_{plechů}}$			počet transformátorových plechů,
t_P			tloušťka jednoho transformátorového plechu,
σ	[A · mm ⁻²]		proudová hustota,
ICT			informační a komunikační technologie,
ID [Instructional Design]			proces navrhování výukové jednotky (kursu),
WBT [Web Based Training]			výuka prostřednictvím Internetu,
CBT [Computer Based Training]			počítačem podporovaná výuka.
Evaluation			vyhodnocení,
Hypertext			označení systému, jenž zajišťuje automatické propojení objektů.