

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTRONIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

1f transformátor

vedoucí práce: Ing. Lukáš BOUZEK
autor: Michal NOVOTNÝ

2012
2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal NOVOTNÝ**
Osobní číslo: **E09B0070P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **1f transformátor**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište funkci a význam síťových 1f transformátorů.
2. Uveďte základní rovnice a popište náhradní schéma transformátoru.
3. Zaznamenejte průběh napětí a proudů pro různá zatížení.
4. Vyhodnoťte měření.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Bouzek**
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na princip a využití 1.f transformátorů, odvození základních rovnic a popis náhradních schémat transformátoru. Popisuje základní zkoušky na transformátorech a v neposlední řadě prezentuje průběhy napětí a proudů v různých provozních stavech transformátoru.

Klíčová slova

1.f transformátor, indukované napětí, převod transformátoru, účinnost transformátoru, měření naprázdno, měření nakrátko

Abstract

The presented bachelor work is focused on the principle and the use of single-phase transformer, fundamental equations and description of the equivalent circuit of the transformer. Describes the basic tests for transformers and also presents the voltage and current in various operating states of the transformer.

Key words

Single-phase transformer, induced voltage, transfer of the transformer, efficiency of the transformer, open-circuit test, short-circuit test

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 8.6.2012

Jméno příjmení

Novotný Michal

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Bouzkovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	9
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ	11
1 1F TRANSFORMÁTOR	12
1.1 DEFINICE	12
1.2 PROVEDENÍ A KONSTRUKCE TRANSFORMÁTORŮ	12
1.2.1 <i>Vinutí</i>	12
1.2.2 <i>Magnetický obvod</i>	13
1.2.3 <i>Podle konstrukce magnetického obvodu</i>	14
1.3 VÝZNAM 1F TRANSFORMÁTORŮ	15
2 ZÁKLADNÍ ROVNICE TRANSFORMÁTORU	15
2.1 ODVOZENÍ VZTAHU PRO INDUKOVANÉ NAPĚTÍ	15
2.2 PŘEVOD TRANSFORMÁTORU	16
2.3 ÚČINNOST TRANSFORMÁTORU.....	17
2.4 NÁHRADNÍ SCHÉMA TRANSFORMÁTORU.....	17
2.4.1 <i>Ideální transformátor</i>	17
2.4.2 <i>Skutečný transformátor</i>	18
3 MĚŘENÍ NA TRANSFORMÁTORU	22
3.1 MĚŘENÍ NAPRÁZDNO	22
3.1.1 <i>Měření charakteristiky naprázdno</i>	23
3.2 MĚŘENÍ NAKRÁTKO	24
3.2.1 <i>Měření charakteristiky nakrátko</i>	26
3.3 MĚŘENÍ CHARAKTERISTIKY PRO L,R,C ZÁTĚŽ.....	27
3.3.1 <i>C – zátěž</i>	27
3.3.2 <i>L – zátěž</i>	27
3.3.3 <i>R – zátěž</i>	29
4 ZÁVĚR	31
5 POUŽITÁ LITERATURA	32
6 PŘÍLOHY	33
6.1 ŠTÍTEK TRANSFORMÁTORU.....	33
6.2 SCHÉMA VINUTÍ TRANSFORMÁTORU	33
6.3 ZAPOJENÍ VINUTÍ PŘI MĚŘENÍ NAPRÁZDNO	34
6.4 ZAPOJENÍ VINUTÍ PŘI MĚŘENÍ NAKRÁTKO	34
6.5 KAPACITNÍ ZÁTĚŽ.....	35
6.6 MĚŘICÍ SOUSTAVA.....	35

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na analýzu 1.f transformátoru. Text je rozdělen do tří částí; první část textu se zabývá činností a popisem základních celků transformátoru, druhá část uvádí teorii a popis náhradního schématu transformátoru. Třetí část popisuje měření na transformátoru, prezentuje naměřené hodnoty a grafické znázornění zatěžovacích charakteristik transformátoru.

V neposlední řadě byla využita i znalost software ProfiCAD a Microsoft Excel.

Seznam symbolů

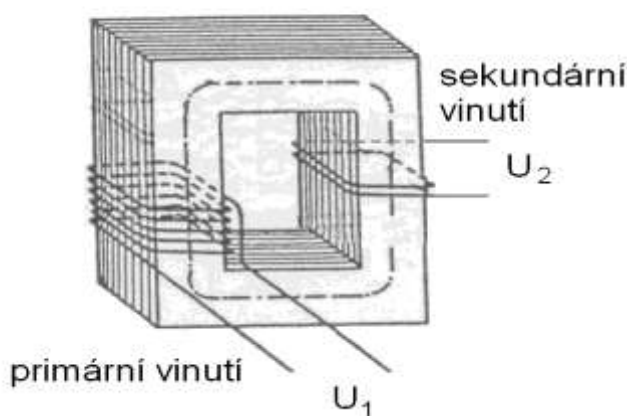
f [Hz]	Frekvence napájecího zdroje
Φ [Wb]	Magnetický indukční tok
N_1, N_2 [-]	Počet vinutí transformátoru
ω [rad·s ⁻¹]	Úhlová frekvence napájecího zdroje
η [-]	Účinnost transformátoru
p [-]	Převod transformátoru
ΔP_0 [W]	Ztráty naprázdno
$\Delta P_{j0}, \Delta P_{jk}$ [W]	Joulové ztráty naprázdno/nakrátko
ΔP_{Fe} [W]	Ztráty v železe
ΔP_k [W]	Ztráty naprázdno
ΔP_d [W]	Přídavné ztráty
U_N [V], I_N [A]	Jmenovité veličiny (napětí, proud)
U_1, U_2 [V]	Napětí na svorkách transformátoru (primár, sekundár)
R_1, R_2 [Ω]	Odpor vinutí transformátoru (primár, sekundár)
$X_{\sigma 1}, X_{\sigma 2}$ [Ω]	Rozptylové reaktance

1 1f TRANSFORMÁTOR

1.1 Definice

Transformátor je netočivý elektrický stroj na střídavý proud, pracující na principu elektromagnetické indukce (Faradayův indukční zákon). Transformátor se používá ke změně elektrického střídavého napětí, při stálém kmitočtu. Forma energie zůstává na vstupu i výstupu vždy stejná a to elektrická. Z hlediska elektromagnetických přeměn tvoří transformátor výjimku. Transformátor nemá žádné rotační části, je to zařízení proti jiným elektrickým strojům, poměrně velmi jednoduché s vysokou účinností přenosu elektrické energie.

Transformátor se v elektrizační soustavě chová jako spotřebič - odebírá energii ze zdroje, ale také jako zdroj – dodává energii do dalšího obvodu.



Obr. 1.1. 1.f transformátor.

1.2 Provedení a konstrukce transformátorů

Transformátor se skládá ze tří hlavních částí: vinutí, magnetický obvod a izolační systém

Provedení transformátorů je dáno hlavně způsobem jeho chlazení. Velké výkonové transformátory mají olejové chlazení, menší transformátory mají přirozené vzduchové chlazení. Transformátor má jádro z feromagnetického materiálu. Jádro je složeno ze vzájemně izolovaných feromagnetických plechů, aby došlo ke zmenšení ztrát vířivými proudy v magnetickém obvodu transformátoru.

1.2.1 Vinutí

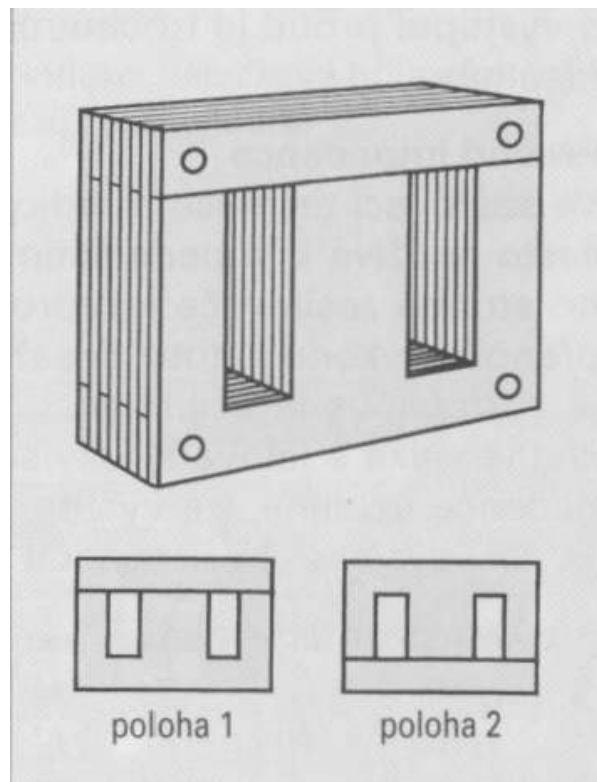
Z konstrukčního hlediska dělíme vinutí transformátoru na vinutí válcová (souosá) a kotoučová (desková). Válcová vinutí mají cívky vstupního a výstupního vnutí nasazené na sebe, u kotoučového vinutí se cívky střídají. Tato vinutí mohou být jednovrstvá nebo vícevrstvá.

Pro výrobu vinutí se používá nejčastěji měď nebo hliník. Vodič tvořící cívku se musí izolovat. Podle typu transformátoru volíme izolaci. Při navíjení cívky se mezi jednotlivé vrstvy vkládá izolace.

1.2.2 Magnetický obvod

Transformátor má magnetický obvod složený z elektrotechnických plechů. Transformátorové plechy jsou vyrobeny z feromagnetického materiálu, které jsou od sebe vzájemně izolované, aby nedocházelo k velkým ztrátám vířivými proudy.

Na *Obr. 1.2* vidíme jak jsou skládané transformátorové plechy typu EI.



Obr. 1.2 Střídavě kladené EI plechy.

1.2.3 Podle konstrukce magnetického obvodu

Jednofázové transformátory mají nejčastěji plášťový tvar *Obr. 3.3 b*). Vinutí je umístěno na středním sloupku, které má největší průřez. Magnetický tok se souměrně rozděluje do spojky a do obou postranních sloupků, které mají poloviční průřez.

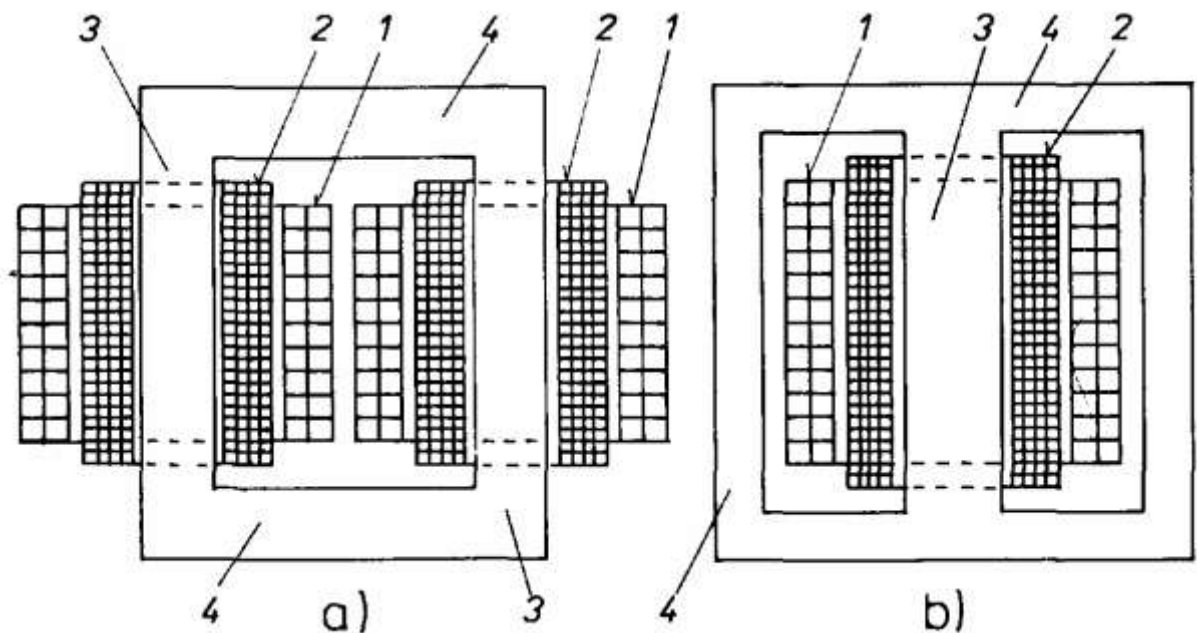
- **Výhody**

Dobré rozdělení magnetického toku a tím i malé rozptyly. Jednoduché navíjení na jednu cívku.

- **Nevýhody**

Horší chlazení.

Plášťové transformátory menších výkonů (do 200W) mívají jádra složená s plechů M, častěji se, ale používají plechy EI *Obr.1.2*. Pro velké výkony se používá jádrový typ transformátorů *Obr. 1.3 a*)



Obr. 1.3 Jednofázový transformátor a) jádrový b) plášťový.

- 1 - cívky nn
- 2 - cívky vn
- 3 - jádro transformátoru
- 4 - magnetická spojka

1.3 Význam 1f transformátorů

V dnešní době mají 1.f transformátory široké spektrum použití. Používají se jak v energetice, výkonové elektronice nebo pouze jako oddělovací transformátor ve slaboproudé elektronice.

2 Základní rovnice transformátoru

2.1 Odvození vztahu pro indukované napětí

Okamžitá hodnota indukovaného napětí je dána vztahem

$$u_i = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1)$$

Vycházíme z předpokladu, že magnetický indukční tok se mění sinusově, pak je jeho okamžitá hodnota dána vztahem

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t \quad (2.2)$$

Dosadíme (2.2) do rovnice (2.1) a dostaneme

$$u_i = N \frac{d(\Phi_{\max} \cdot \sin \omega t)}{dt} \quad (2.3)$$

Derivace složené funkce, je součin derivací funkce vnější a funkce vnitřní. Po provedení derivace získáváme vztah:

$$u_i = N\omega\Phi_{\max} \cos \omega t \quad (2.4)$$

Funkce (2.4) má své maximum pro $\cos \omega t = 1$, můžeme přejít na tvar

$$U_{\max} = N\omega\Phi_{\max} \quad (2.5)$$

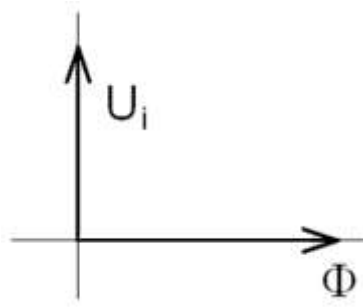
kde $\omega = 2\pi f$

Pro efektivní hodnotu indukovaného napětí platí:

$$U_i = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} N\Phi_{\max} \quad (2.6)$$

$$U_i = \sqrt{2} \pi N f \Phi \quad (2.7)$$

$$U_i = 4,44 N f \Phi \quad (2.8)$$



Obr.2.1 Vzájemné natočení toku a indukovaného napětí.

2.2 Převod transformátoru

Převod transformátoru lze definovat jako podíl indukovaného napětí na primární a sekundární straně.

Pro ideální transformátor platí:

- nulové ztráty uvnitř transformátoru
- nulový rozptyl, činitel vazby $k=1$
- nulový magnetický odpor jádra

Pro ideální transformátor můžeme napsat

$$U_1 = U_{i1} = \sqrt{2} \pi f \Phi N_1 \quad (2.9)$$

$$U_2 = U_{i2} = \sqrt{2} \pi f \Phi N_2 \quad (2.10)$$

Podělíme-li první rovnici druhou, tak dostaneme výraz

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{i1}}{U_{i2}} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.11)$$

ze vztahu vyplývá, že poměr napětí je dán poměrem počtu závitů primárního a sekundárního vnutí. Když předpokládáme ideální transformátor, tak je vazební reaktance nekonečně velká, tedy magnetizační proud tekoucí cívkou je nulový.

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad (2.12)$$

Z výrazu (2.12), lze odvodit vztah pro proudový převod transformátoru

$$p = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.13)$$

2.3 Účinnost transformátoru

$$\text{Účinnost se udává vztahem: } \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1} \cdot 100 \quad (2.14)$$

kde

$$\Delta P = \Delta P_{\text{Fe}} + \Delta P_{\text{Cu}} \quad (2.15)$$

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 \quad (2.16)$$

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 \quad (2.17)$$

2.4 Náhradní schéma transformátoru

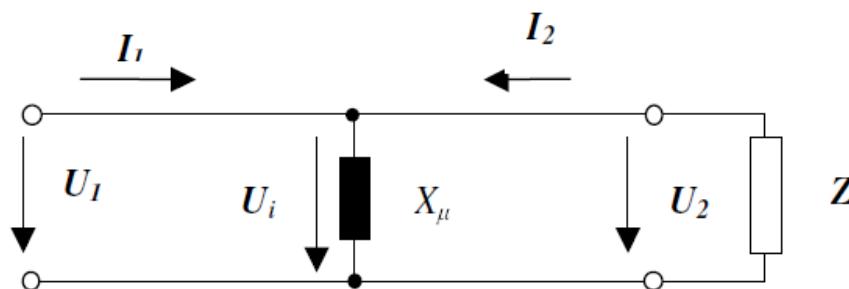
2.4.1 Ideální transformátor

Transformátor považujeme za ideální jsou-li splněny tyto podmínky:

- nulové ztráty uvnitř transformátoru
- nulový rozptyl, činitel vazby $k=1$
- nulový magnetický odpor jádra

Můžeme říct, že ideální transformátor je bezztrátový prvek., který neakumuluje energii. S uvážením systému šipek můžeme považovat vstupní vinutí vzhledem k připojenému zdroji za spotřebič (přijímá energii, $p_1 > 0$) výstupní vinutí (energii do spotřebiče dodává, $p_2 < 0$).

Ideální transformátor přenáší výkon ze svorek vstupních bezztrátově na svorky výstupní a pouze transformuje hodnoty napětí a proudu.

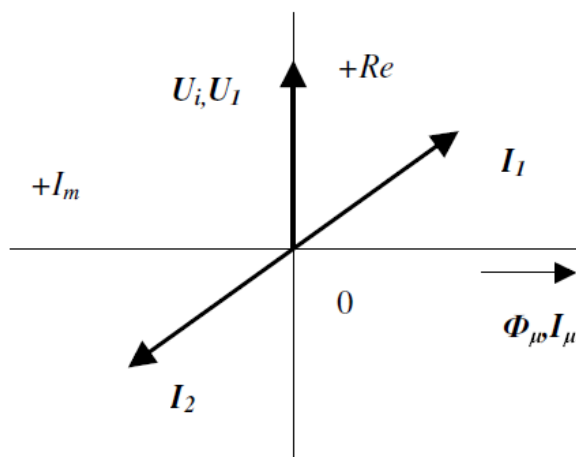


Obr.2.2 Náhradní schéma ideálního transformátoru.

2.4.1.1 Fázorový diagram ideálního transformátoru

Na Obr. 2.3 je nakreslen fázorový diagram ideálního transformátoru. Smysl magnetizačního proudu je v kladném směru osy X, tento proud je u ideálního transformátoru nulový.

Indukované napětí předbíhá magnetizační proud o 90° , je to napětí na indukčnosti. Směr fázorového proudu I_2 je určen charakterem zátěže. Jedná se o ideální transformátor s převodem jedna, takže $U_1 = U_2$.



Obr. 2.3 Fázorový diagram ideálního transformátoru.

2.4.2 Skutečný transformátor

2.4.2.1 Náhradní schéma transformátoru s převodem různým od jedné

Abychom mohli primární a sekundární stranu vodivě spojit, musíme přepočítat všechny sekundární veličiny na primární stranu. Přepočtem sekundárních veličin nám vznikne transformátor s převodem rovný jedné.

Pro přepočet napětí U_2 na primární stranu platí

$$U_{21} = U_2 \frac{N_1}{N_2} \quad (2.18)$$

Index 21 vyjadřuje, že se jedná o přepočet sekundární strany na primární stranu

Sekundární proud přepočítaný na primární stranu

$$I_{21} = I_2 \frac{N_2}{N_1} \quad (2.19)$$

Pro impedanci platí

$$Z_{21} = \frac{U_{21}}{I_{21}} = \frac{pU_2}{I_1} p = Z_2 p^2 \quad (2.20)$$

Vztah, který je odvozený pro přepočítání impedance na primární stranu, musí platit jak pro její činnou, tak i imaginární část

$$R_{21} = R_2 p^2 \quad (2.21)$$

$$X_{21} = X_2 p^2 \quad (2.22)$$

2.4.2.2 Náhradní schéma skutečného transformátoru

Při vytváření náhradního schématu skutečného transformátoru vycházíme z energetické bilance. Respektujeme činný odpor vinutí, konečnou magnetickou vodivost vazebního obvodu. Dále respektujeme, že ne všichni magnetický tok je uzavřen vazebním magnetickým obvodem, ale část se uzavírá bez užítku vzduchem.

Činný odpor lze určit vztahem

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2.23)$$

kde

ρ – měrná rezistivita vodiče

l – délka vodiče

S – obsah průřezu vodiče

Konečná hodnota elektrické vodivosti má za následek vznik Joulových ztrát, které značíme ΔP_j

$$\Delta P_j = mRI^2 \quad (2.24)$$

kde

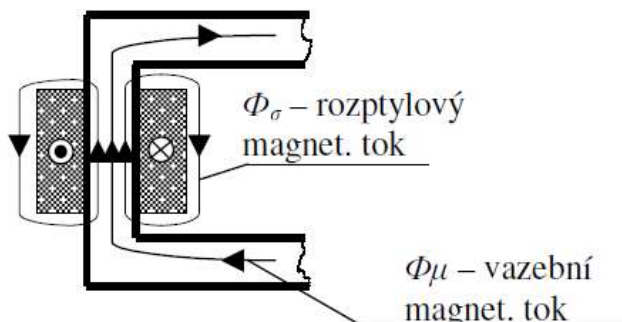
m – počet fází

U skutečného transformátoru musíme uvažovat konečnou magnetickou vodivost, která má za následek vznik ztrát v železe. Ztráty v železe jsou tvořeny ztrátami vířivými proudy a hysterezními. Ztráty v železe značíme jako ΔP_{Fe} .

Ztráty naprázdno můžeme předběžně určit ze ztrátového čísla z , které se udává ve W/kg plechů. Do náhradního schématu je nutné zahrnout rozptylovou reaktanci.

2.4.2.3 Vznik rozptylových magnetických toků

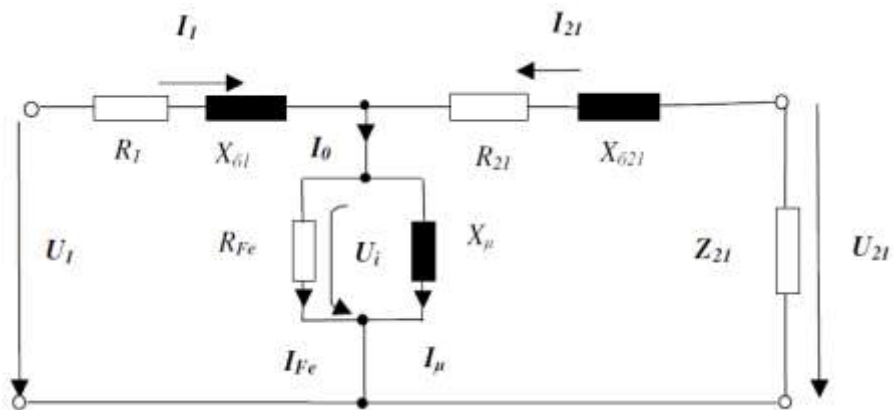
Ke vzniku rozptylového magnetického toku dojde jak u primárního, tak i u sekundárního vinutí.



Obr. 2.4 Vznik rozptylových magnetických toků.

2.4.2.4 Náhradní schéma skutečného transformátoru při zatížení

Na základě získaných znalostí můžeme sestavit náhradní schéma reálného transformátoru Obr. 2.5



Obr. 2.5 Náhradní schéma skutečného transformátoru.

2.4.2.5 Fázorový diagram skutečného transformátoru

Na základě prvního Kirchhoffova zákona můžeme napsat

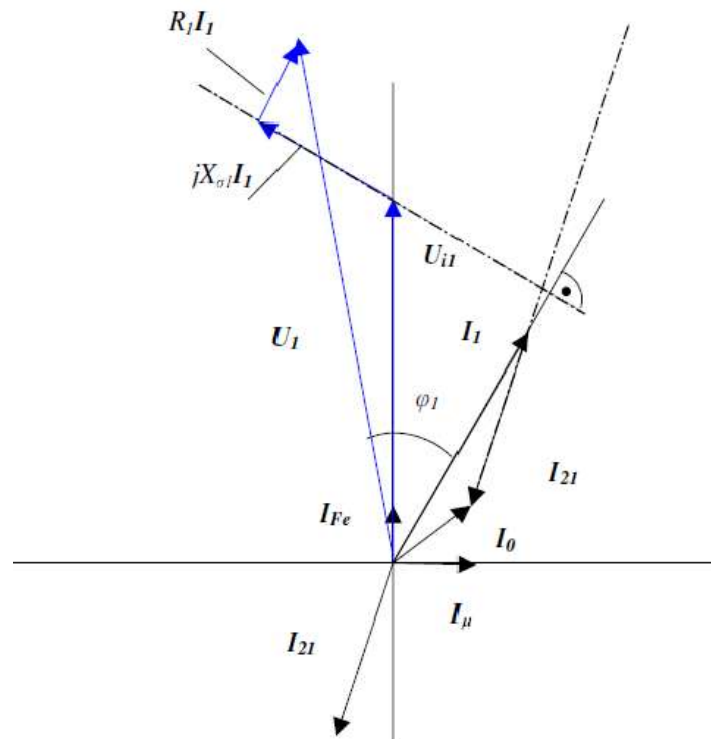
$$I_0 = I_\mu + I_{Fe} \quad (2.25)$$

$$I_0 = I_1 + I_{21} \quad (2.26)$$

Podle druhého Kirchhoffova zákona

$$-U_1 + R_1 I_1 + jX_{\sigma 1} I_1 + U_{i1} = 0 \quad (2.27)$$

$$U_{21} - R_2 I_{21} + jX_{\sigma 21} I_{21} - U_{i1} = 0 \quad (2.28)$$



Obr. 2.6 Fázorový diagram skutečného transformátoru.

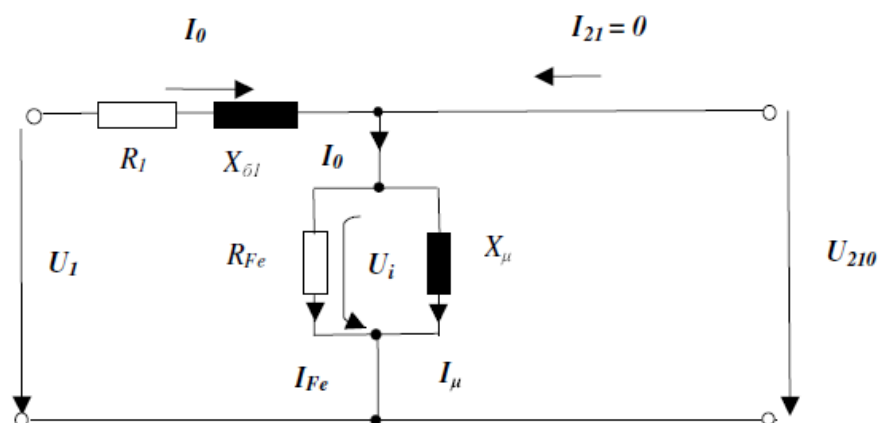
3 Měření na transformátoru

3.1 Měření naprázdno

Transformátor není zatížen, tedy I_2 se rovná nule. Transformátor odebírá ze sítě proud naprázdno I_0 a vznikají v něm ztráty naprázdno.

Nejvyšší efektivní hodnota napětí při této zkoušce je dána vztahem

$$U_{\max} = 1,2 \cdot U_n \quad (3.1)$$



Obr. 3.1 Náhradní schéma transformátoru při chodu naprázdno.

V chodu naprázdno není ze sekundárního vinutí odebírána žádná energie, veškerý naměřený příkon je spotřebován na krytí ztrát transformátoru. Celková bilance ztrát je dána vztahem

$$\Delta P_0 = \Delta P_{j0} + \Delta P_{Fe} \quad (3.2)$$

Joulový ztráty vypočteme

$$\Delta P_{j0} = \frac{3}{2} R_1 I_0^2 \quad (3.3)$$

Ztráty v železe jsou tvořeny vířivými proudy a ztrátami hysterezními

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_{FeV} + \Delta P_{FeH} \quad (3.4)$$

Platí

$$P_{FeV} \approx U^2 f^2 \quad (3.5)$$

$$P_{FeH} \approx U^2 f \quad (3.6)$$

Ztráty se často vynášejí v poměrných hodnotách. Poměrné ztráty pak vypočteme

$$\Delta p_0 = \frac{\Delta P_0}{S_n} \quad (3.7)$$

Kde S_n je zdánlivý jmenovitý výkon transformátoru

$$S_n = \sqrt{3} U_n I_n \quad (3.8)$$

3.1.1 Měření charakteristiky naprázdno

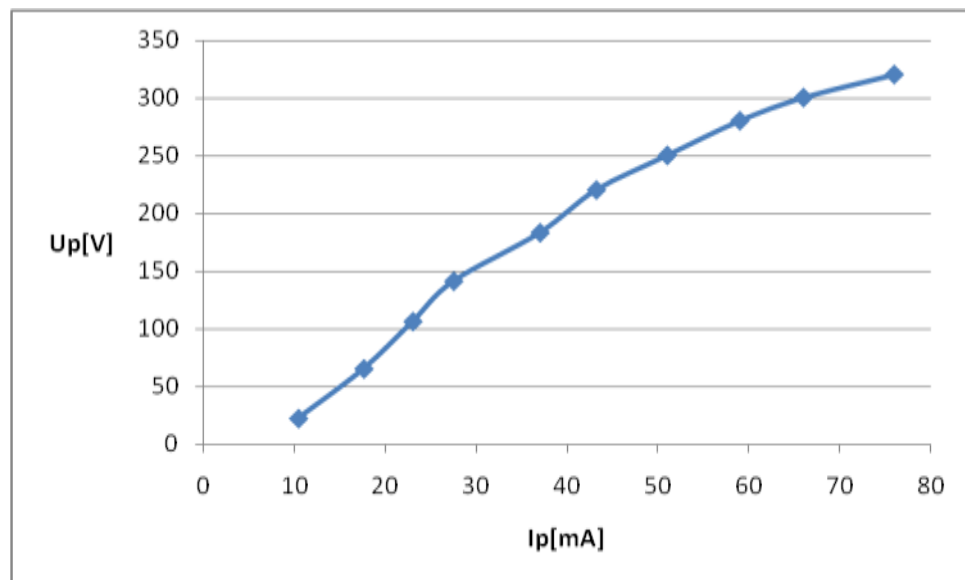
Při měření charakteristiky naprázdno bylo sekundární vinutí rozpojené. Primární vinutí bylo napájeno proměnlivým střídavým napětím.

Naměřené hodnoty

Tab. 3.1 Naměřených hodnot naprázdno

U _p [V]	22	65	106	141	183	220	250	280	300	320
I _p [mA]	10,4	17,6	23	27,5	37	43,2	51	59	66	76

Grafické znázornění naměřených hodnot



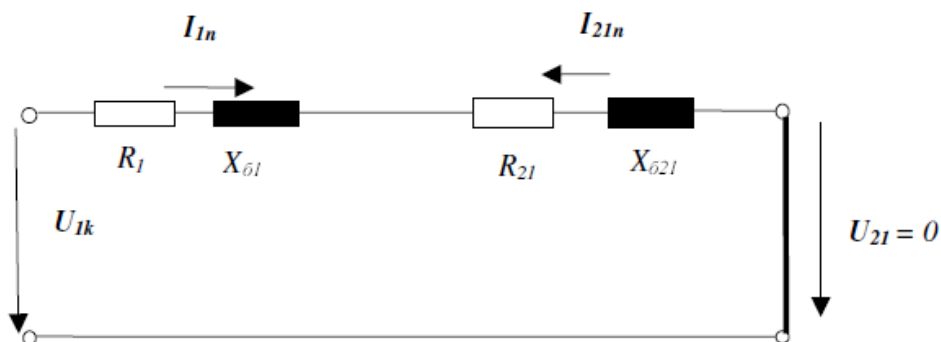
Obr. 3.2 Charakteristika transformátoru naprázdno.

3.2 Měření nakrátko

Stav nakrátko je charakteristický tím, že sekundární vinutí je spojeno nakrátko, na sekundárních svorkách je zkrat. Napětí $U_2 = 0$

Rozlišujeme dva případy

- Transformátor je napájen jmenovitým napětím. Nastane zkrat a vinutím protéká cca 25 násobek jmenovitého proudu. Joulové ztráty budou 625 násobkem ztrát jmenovitých. Pokud nezapůsobí ochrany dojde vlivem tepla ke zničení transformátoru.
- Měření nakrátko je stav, kdy transformátor napájíme napětím nakrátko. Napětí nakrátko definujeme jako napětí, při kterém vinutím protéká jmenovitý proud.

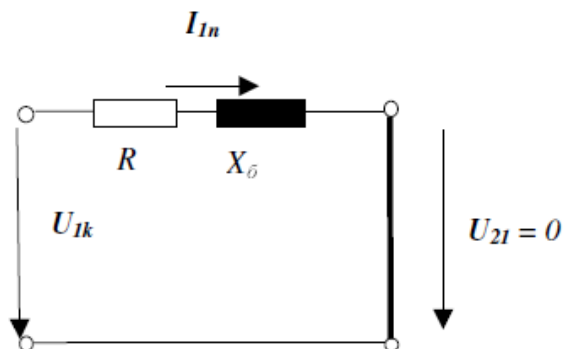


Obr. 3.3 Náhradní schéma transformátoru při chodu naprázdno.

Lehkou úpravou můžeme přejít na zjednodušené náhradní schéma transformátoru nakrátko

$$R = R_1 + R_{21} \quad (3.9)$$

$$X_\sigma = X_{\sigma 1} + X_{\sigma 21} \quad (3.10)$$



Obr. 3.4 Zjednodušené náhradní schéma transformátoru nakrátko.

Pokud předpokládáme, že železo nebude nasyceno ani při napájení jmenovitým napětím v chodu nakrátko, můžeme vypočítat proud nakrátko pro jmenovité napájecí napětí

$$I_{kn} = \frac{U_n}{U_k} I_k \quad (3.11)$$

Napětí nakrátko je možné určit pomocí vztahu

$$U_k = \frac{I_n}{I_k} \cdot U_k' \quad (3.12)$$

Kde hodnoty s čárkou jsou souřadnice některého změřeného bodu charakteristiky nakrátko
Napětí nakrátko se většinou udává v poměrné hodnotě

$$u_k = \frac{U_k}{U_n} \quad (3.13)$$

Ztráty nakrátko tvoří Joulovy ztráty a přídavné ztráty

$$\Delta P_k = \Delta P_{jk} + \Delta P_d \quad (3.14)$$

Můžeme vypočítat ztráty ve vinutí ΔP_{jk} a odečtením od celkových ztrát ΔP_k určíme ztráty přídavné ΔP_d . U malých transformátorů obvykle ΔP_d zanedbáváme.

Joulovy ztráty ve vinutí určíme vztahem

$$\Delta P_{jk} = \frac{3}{2} R_1 I_1^2 + \frac{3}{2} R_2 I_2^2 \quad (3.15)$$

3.2.1 Měření charakteristiky nakrátko

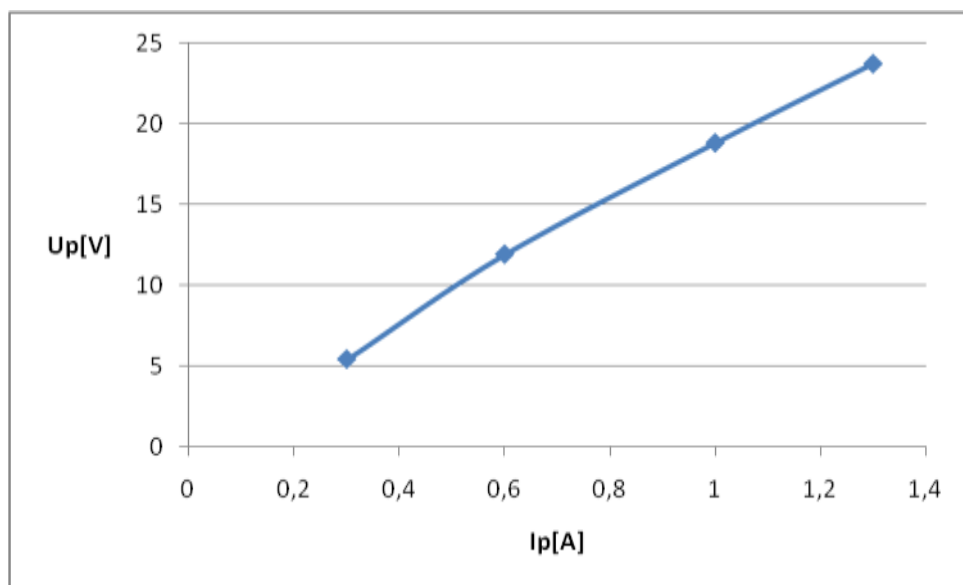
Při měření charakteristiky nakrátko bylo sekundární vinutí zkratováno. Primární vinutí bylo napájeno proměnlivým střídavým napětím, do velikosti, než transformátorem protékal jmenovitý proud.

Naměřené hodnoty

Tab. 3.2 Naměřených hodnot nakrátko

U_p [V]	5,4	11,9	18,8	23,7
I_p [A]	0,3	0,6	1	1,3

Grafické znázornění naměřených hodnot



Obr. 3.5 Charakteristika transformátoru nakrátko.

3.3 Měření charakteristiky pro L,R,C zátěž

Cílem měření bylo zaznamenat průběh napětí a proudů pro různá zatížení a pokusit se o ověření teoretických předpokladů.

3.3.1 C – zátěž

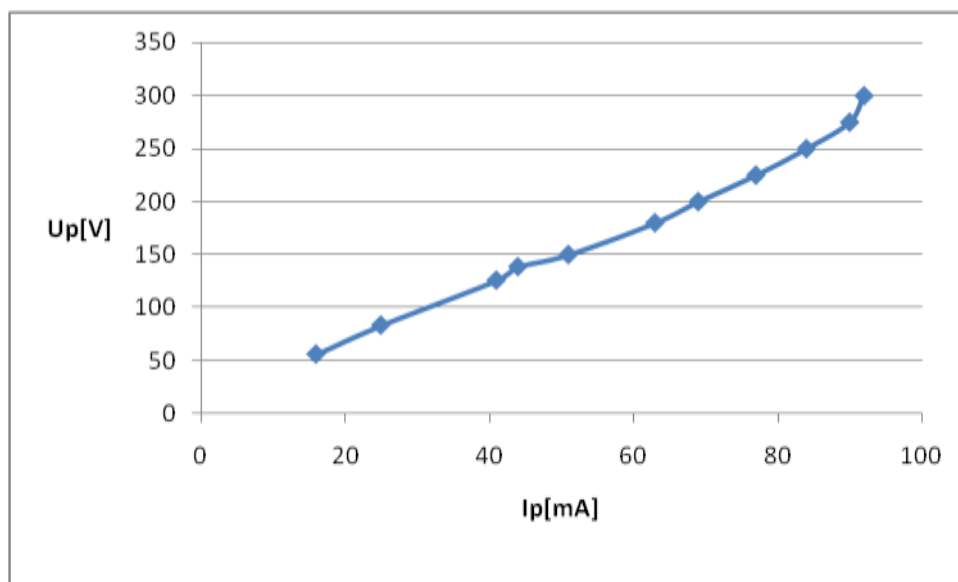
Pro měření zatěžovací charakteristiky byl použit kondenzátor o kapacitě 30 μF .

Naměřené hodnoty

Tab. 3.3 Naměřených hodnot C – zátěž

$U_p[\text{V}]$	56	83,4	125,8	138,6	150	180	200	225	250	275	300
$I_p[\text{mA}]$	16	25	41	44	51	63	69	77	84	90	92

Grafické znázornění naměřených hodnot



Obr. 3.6 Charakteristika transformátoru při C – zátěži.

3.3.2 L – zátěž

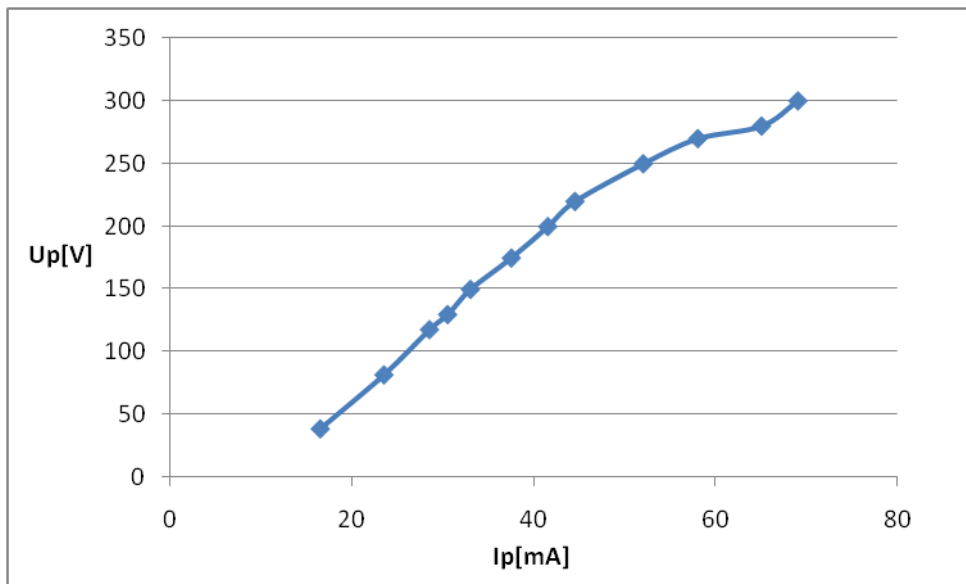
Pro induktivní zatížení transformátoru jsme použili transformátor stejného typu.

Naměřené hodnoty

Tab. 3.4 Naměřených hodnot L – zátěž

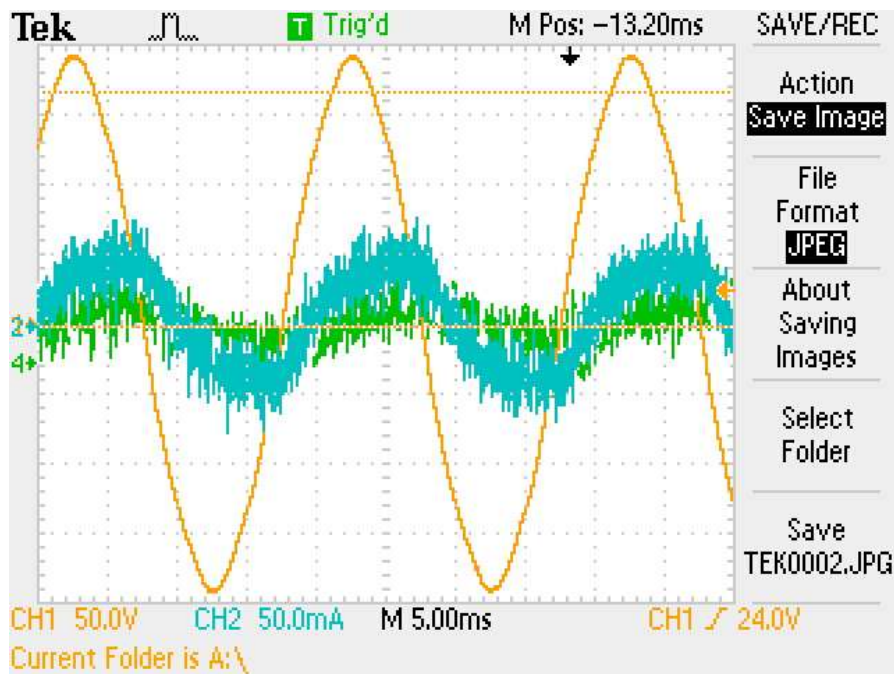
$U_p[\text{V}]$	39	82	118	130	150	175	200	220	250	270	280	300
$I_p[\text{mA}]$	16,5	23,5	28,5	30,5	33	37,5	41,5	44,5	52	58	65	69

Grafické znázornění naměřených hodnot



Obr. 3.7 Charakteristika transformátoru při L – zátěži.

Na Obr. 3.8 je zaznamenán průběh napětí a proudů transformátoru při L-zátěži. Proud primárním vinutím je zobrazen modrou barvou, a proud sekundárním vinutím zelenou barvou.



Obr. 3.8 Průběh napětí a proudů při L-zátěži.

3.3.3 R – zátěž

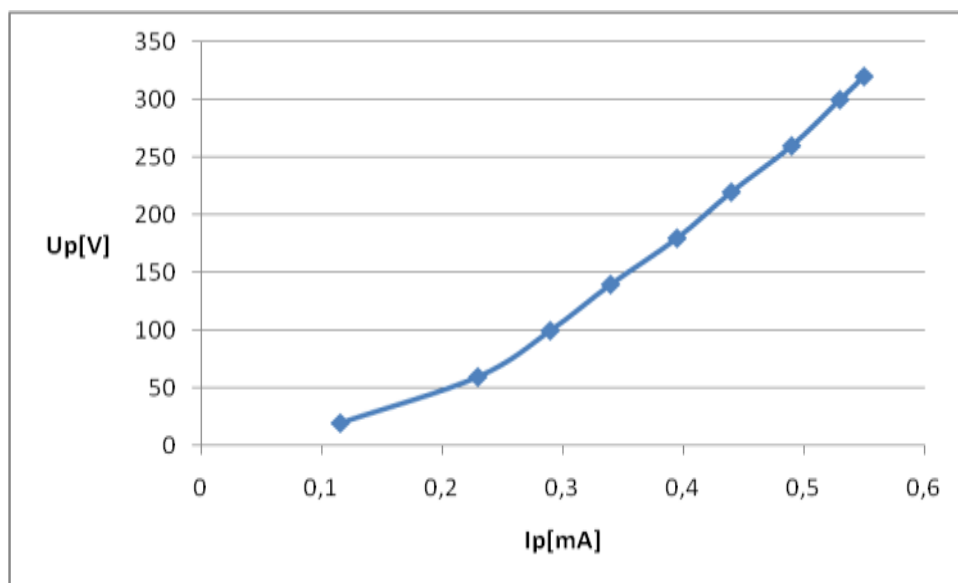
Pro ohmické (odporové) zatížení transformátoru jsme použili 5 žárovek.

Naměřené hodnoty

Tab. Naměřených hodnot R – zátěž

U_p [V]	20	60	100	140	180	220	260	300	320
I_p [mA]	0,116	0,23	0,29	0,34	0,395	0,44	0,49	0,53	0,55

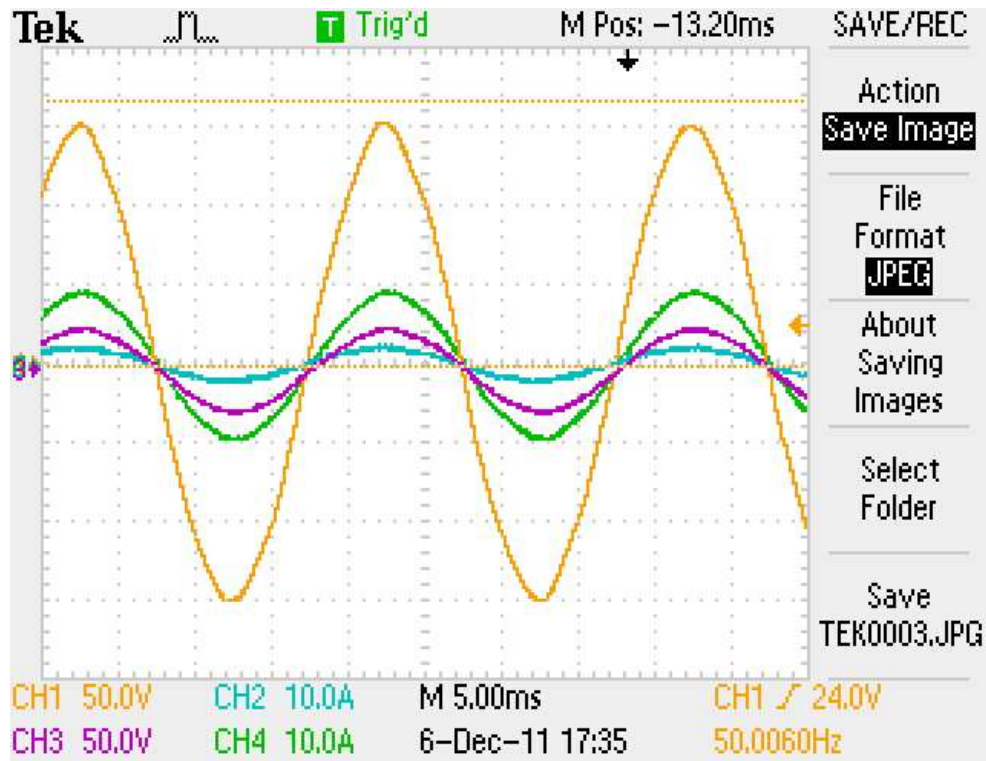
Grafické znázornění naměřených hodnot



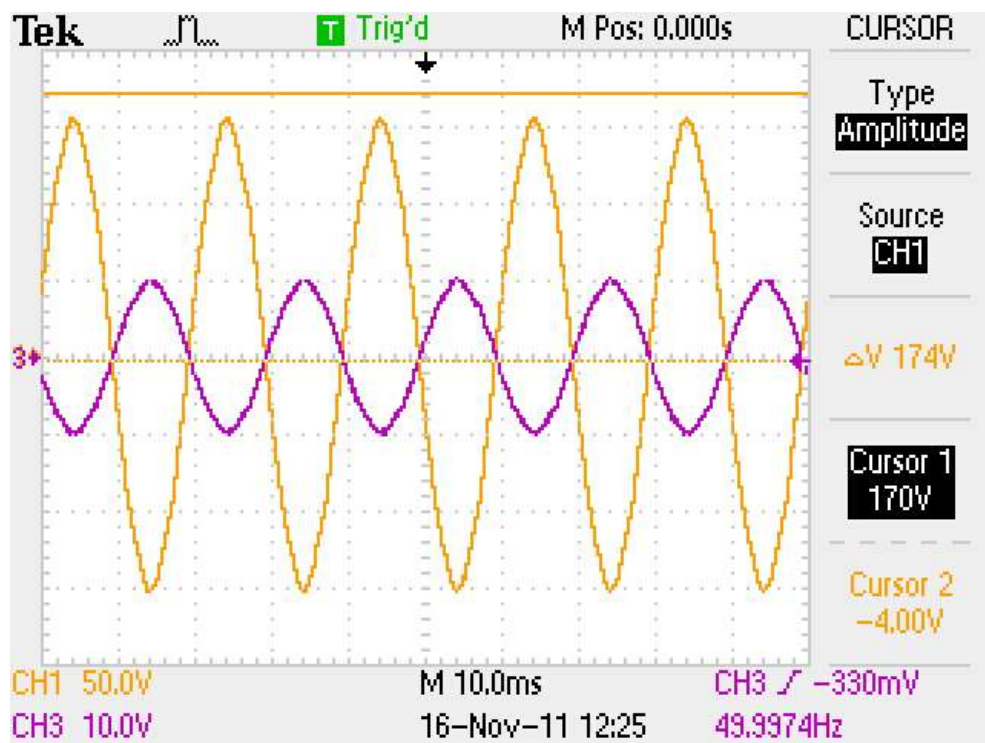
Obr. 3.9 Charakteristika transformátoru při R- zátěži.

Na Obr. 3.10 je zaznamenán průběh napětí a proudů transformátoru při odporové zátěži. Vstupní (primární) napětí je oranžové. Výstupní (sekundární) napětí je fialové a je o 180° fázově posunutě vůči napětí primárnímu. Proud primárním vinutím je zobrazen modrou barvou a zelenou barvou je zobrazen proud sekundárním vinutím.

Obr. 3.11 znázorňuje průběh napětí transformátoru



Obr. 3.10 Průběh napětí a proudů při R-zátěži.



Obr. 3.11 Průběh primárního a sekundárního napětí při R-zátěži.

4 Závěr

Funkce 1.f transformátoru je popsána v kapitole 1. Je zde velmi stručně popsáno konstrukční složení transformátoru (magnetický obvod, vinutí, typy transformátorů).

Transformátor patří do skupiny elektrických strojů, a každý elektrický stroj lze popsat náhradním schématem. Pro zjednodušené a orientační výpočty můžeme použít náhradní schéma ideálního transformátoru, které je uvedeno v kapitole 2, *Obr. 2.2*. Chceme-li přesnější výpočty, tak je nezbytně nutná znalost náhradního schématu pro skutečný (reálný) transformátor. U skutečného transformátoru musíme předpokládat neideální magnetický obvod, nenulový odpor vinutí a rozptylové reaktance. Schéma skutečného transformátoru je uvedeno v kapitole 2, *Obr. 2.5*.

V kapitole 3 jsou popsány některé z mnoha zkoušek, které jsou prováděné na transformátorech. Při zkoušce měření naprázdno jsou hlavní ztráty transformátoru v magnetickém obvodu resp. ztráty v železe. Ztráty v železe jsou popsány pomocí matematické rovnice (3.4). U zkoušky měření nakrátko, kdy je sekundární vynutí spojeno nakrátko (zkratované) jsou naopak téměř veškeré ztráty ve vinutí transformátoru. Těmto ztrátám říkáme Joulovy ztráty (3.14).

Na transformátoru bylo provedeno měření pro základní zatížení, jako je kapacitní, induktivní a odporová zátěž. Začnu s rozbohem té nejjednodušší zátěže, a to je odporová. Při zatížení transformátoru odporovou zátěží nedochází k žádnému fázovému posunu primárního a sekundárního proudu. Což je možné prezentovat pomocí *Obr. 3.10*. Během měření bylo možno pouze pozorovat zvětšující se primární a sekundární proud s narůstajícím odporem. U induktivního zatížení transformátoru dochází k fázovému posunu. Tento fázový posuv je zaznamenán na *Obr. 8.8*. Při induktivní zátěži je fázový posuv mezi primárním napětím a proudem. V poslední řadě bych chtěl zmínit zatížení transformátoru kapacitní zátěží. Bohužel pro tento typ zátěže nemám k dispozici grafické znázornění. Je ale zřejmé, že při měření transformátoru s kapacitní zátěží docházelo podobně jako u induktivní zátěži k fázovému posunu primárního napětí a proudu.

5 Použitá literatura

- [1] BARTOŠ, V. ; SKALA, B.: *Měření na elektrických strojích*, Plzeň 2006
- [2] HÁNA, B.: *Měření na transformátorech*, Plzeň 2009, Elektrotechnická fakulta Západočeské univerzity v Plzni, Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky, bakalářská práce
- [3] G. N. PETROV.: *Elektrické stroje 2*; Academia Praha 1982
- [4] BARTOŠ, V.: *Teorie elektrických strojů*, Plzeň 2006
- [5] <http://www.vosapsekrizik.cz/cs/download/studium/vos/el-stroje-a-pristroje/transformatory.pdf>

6 Přílohy

6.1 Štítek transformátoru

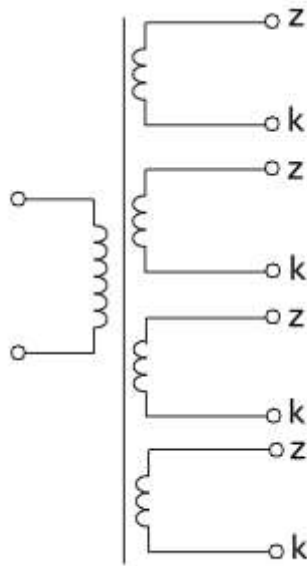
$$S = 500 \text{ VA}$$

$$U_{s1} = 380\text{V}$$

$$U_{s2} = 27\text{V}$$

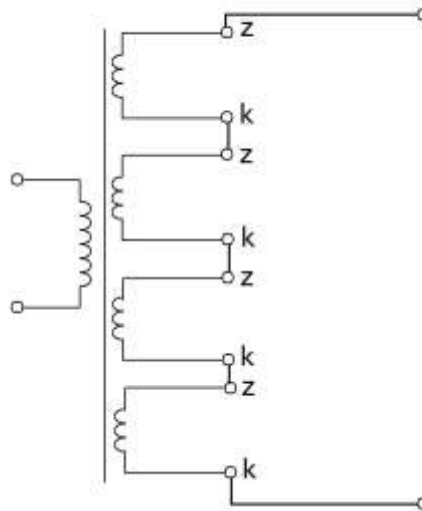
$$I_2 = 9,2\text{A}$$

6.2 Schéma vinutí transformátoru



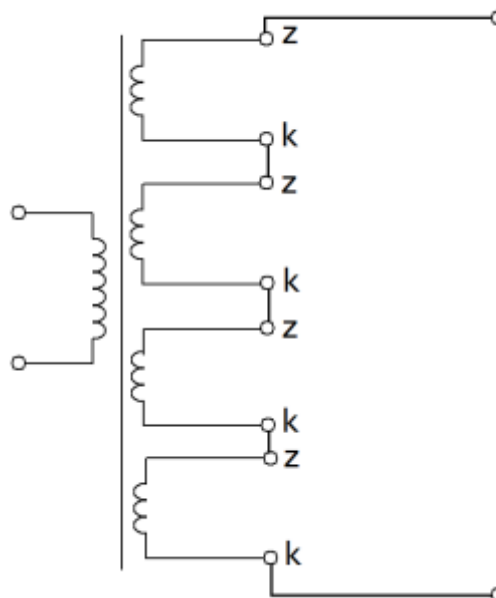
Obr. 6.1 Schéma vinutí transformátoru (z-začátek vinutí , k-konec vinutí).

6.3 Zapojení vinutí při měření naprázdno



Obr. 6.2 Schéma spojení začátků a konců sekundárního vinutí pro měření naprázdno. Sekundární vinutí je rozpojené.

6.4 Zapojení vinutí při měření nakrátko



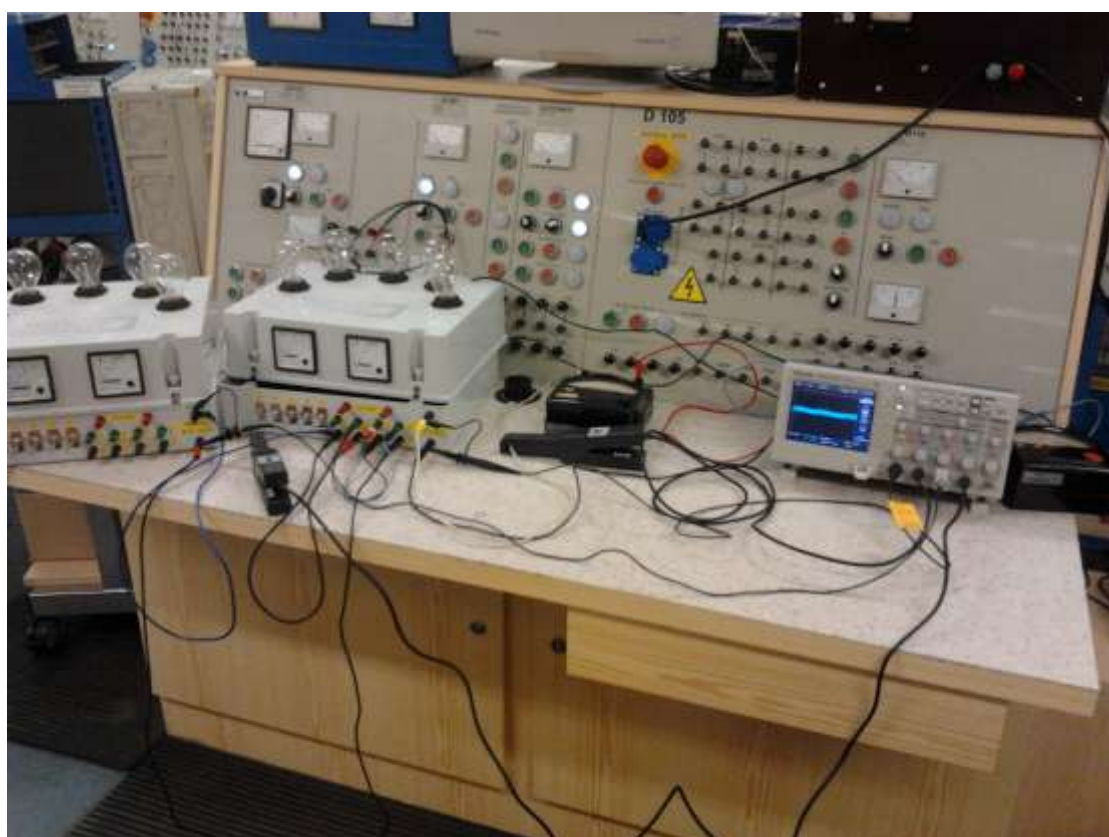
Obr. 6.3 Schéma spojení začátků a konců sekundárního vinutí pro měření nakrátko. Sekundární vinutí je zkratováno.

6.5 Kapacitní zátěž



Obr. 6.4 Kapacitní zátěž $3 \times 10 \mu\text{F}$

6.6 Měřicí soustava



Obr. 6.5 Měřicí stůl a pomocné přístroje