**Универзитет у Крагујевцу**

**Факултет инжењерских наука**





**Назив студијског програма: Машинско инжињерство**

**Ниво студија: Основне академске студије**

**Модул: Енергетика и процесна техника**

**Предмет: Електротехника са електроником**

**Број индекса: 17/2009**

**Стефан М. Пецић**

# Трансформатори

## завршни рад

**Комисија за преглед и одбрану:**

1. **др Јасна Радуловић, ред.проф. - ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране:_____

Оцена:_____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да проучи препоручену, као и ширу литературу, која се односи на конструкцију и принцип рада трансформатора .На бази усвојеног знања кандидат треба да објасни карактеристике трансформатора, принцип рада трансформатора, као и врсте трансформатора.

Препоручена литература:

[1] Ђ. Калић, Трансформатори, Завод за уџбенике и наставна средства,

Београд, 1991.

[2] Ј. Радуловић, Електротехника са електроником, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.

[3] Н. Николић, Електротехника , Научна књига , Београд 1989.

Крагујевац, 05.05.2012.

ментор:

др Јасна Радуловић, ред.проф.

_____

**Резиме рада**: У овом раду су обрађени трансформатори. У уводном делу пажња је посвећена историјском развоју трансформатора, као неким основним појмовима о трансформатору.

Након тога,обрађене су конкретне врсте трансформатора који се користе за потребе трансформисања енергије из једног кола у друго посредством магнетне спреге без икаквих покретних делова.

У даљем раду се највећа пажња посвећује самом принципу рада трансформатора и осталим карактеристикама трансформатора.

Поред трансформатора који се користе у комерцијалне сврхе , обрађени су и трансформаторима који имају специјалну намену. Такође су обрађени и трофазни трансформатори, који имају широку примену у пракси.

**Кључне речи:** Трансформатор, Преносни однос, Трофазни трансформатор, Кратак спој трансформатора, Празан ход трансформатора.

**Summary of work**: The transformers considered in this work .The first part is about the history of the transformers, and about the basic properties of the transformers.

After that, the different types of transformers used for transforming energy from one circuit to another, by means of magnetic coupling with no moving parts, are considered.

In further work the greatest attention is paid to the principle of operation and other characteristics of the transformer.

In addition to transformers that are used for commercial purposes, some transformers that have a special purpose are discussed. Three-phase transformers are also considered in this work.

**Keywords**: Transformer, Transformer Ratio, Three-phase transformer, Short circuit, Open circuit .

# Садржај


1. Увод 1
2. Трансформатори,основни елементи конструкције и принцип рада 3
2.1. Основни елементи конструкције 4
2.2. Принцип рада основна једначина 7
2.2.1.Празан ход идеалног трансформатор 7
2.2.2. Оптерећење идеалног трансформатора 9
2.3. Преносни однос 11
3. Теорија трансформатора 12
3.1Празан ход 12
3.1.1. Струја празног хода 12
3.1.2. Губици празног хода 13
3.1.3. Оглед празног хода 14
3.2 Оглед кратког споја 16
3.3 Еквивалентна шема трансформатора 18
3.4 Степен искоришћења 19
3.5 Промена напона 20
3.6. Загревање 21
3.7. Врсте хлађења 26
3.8. Прелазни процеси 28
3.9 . Механичка напрезања намотаја трансформатора у кратком споју 28
4. Трофазни трансформатор 31
4.1 Паралелни рад трансформатора 32
5. Специјални трансформатори 34
5.1 Мерни трансформатири 34
5.1.1. Струјни мерни трансформатор 34
5.1.2. Напонски мерни трансформатор 36
5.2.Аутотрансформатор 38
6. Закључак 39
7. Литература 40

# 1. УВОД

Трансформатор је једноставан електрични уређај, од виталног значаја за пренос енергије високог напона, који обезбеђује уштеду током преноса енергије на велике даљине. Једноставност и поузданост трансформатора и економичност трансформације напона у њему су основни фактори који га цине погодни за широку примену.

Док су неке ране електронске примене трансформатора замењене алтернативним техникама, класични трансформатори се још увек налазе у многим електронским уређајима.

.

Трансформатор не може да уради следеће:

- трансформише једносмерну струју у наизменичну и обрнуто,
- промени напон и струју једносмерне струје,
- промени фрекфенцију наизменичне струје.

Ипак, трансформатори су делови система који изводе све ове радње.

Заслуге за проналазак трансформатора имају:

- Мајкл Фарадеј, који је измислио индукциони прстен 29. августа 1831. Ово је био први трансформатор, иако га је Фарадеј користио само да би показао принцип електромагнетне индукције и није предвидео другу намену за коју може да се евентуално искористи.

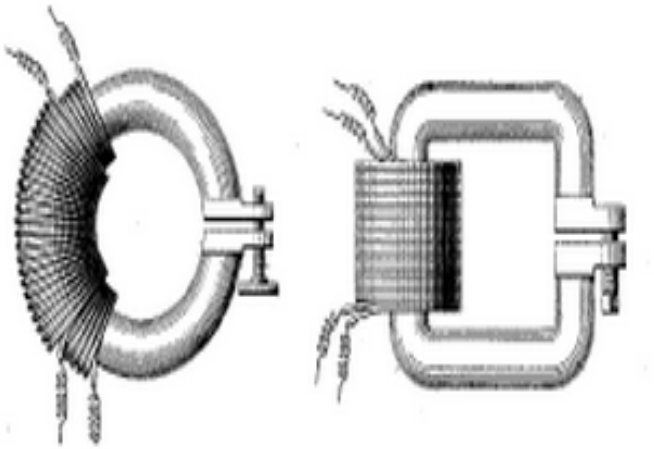
- Лусијен Галард и Џон Диксон Гибс, који су први приказали уређај назван секундарни генератор у Лондону 1881 и касније су продали идеју америчкој компанији Вестингхаус. Они су такође приказали проналазак у Торину 1884, где је искоришћен за електрично осветљење. Ови рани уређаји су користили отворено гвоздено језгро, које је касније напуштено заслугом ефикаснијег језгра са затвореним кружним магнетним путем.

- Вилијам Стенли, инжењер који је радио за Вестингхауса, који је развио први практичан уређај, након што је Џорџ Вестингхаус купио Галардове и Гибсове патенте. Језгро је било направљено од спојених гвоздених лимова

у облику слова Е. Овај дизајн је први пут комерцијално употребљен 1886. године.

- Мађарски инжењери Ото Блати, Микша Ђери и Карољ Циперновски из компаније Ганц из Будимпеште1885, који су створили ефикасан модел заснован на дизајну Галарда и Гибса.

- Никола Тесла који је 1891, изумео Теслин калем, високонапонски резонантни трансформатор са ваздушним језгром за генерисање врло високих напона



Слика 1. Патент првог трансформатора [5]

# 2. Трансформатори

Трансформатор је статички електротехнички апарат који, помоћу електромагнетне индукције, претвара један систем наизменичних струја у један или више система наизменичних струја исте учестаности и обично различитих вредности струја и напона. Улога трансформатора у електроенергетском систему је веома значајна јер омогућује економичну, поуздану и безбедну производњи, пренос и дистибуцију електричне енергинаје.

Дакле, његовом применом се, уз веома мале губитке енергије, решавају проблеми разних напонских нивоа и међусобне изолованости кола које се налазе на различитим напонским нивоима.



Слика 2. Трофазни дистрибутивни трансформатор [6]

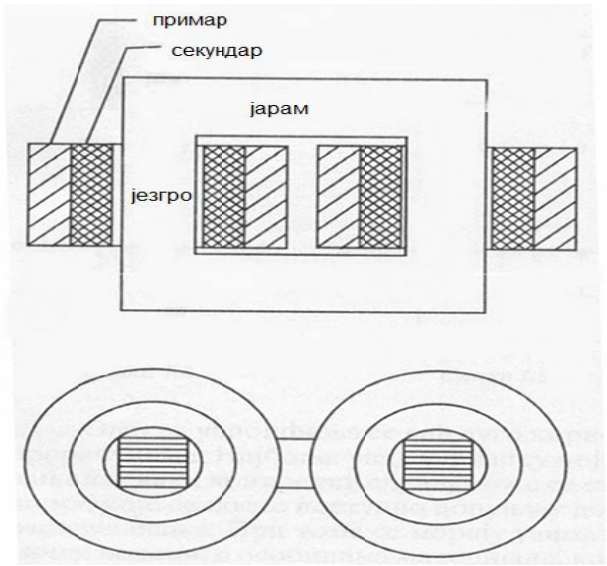
Трансформатор треба да буде пројектован и израђен тако да издржи могућа напрезања којима је изложен током свог животног века. Напрезања у основи можемо да сврстамо у три главне групе: електрична, механичка и топлотна. Код електричних напрезања пре свега треба обратити пажњу на преднапоне који се јављају као последица прекидања у колу, атмосферских пражњења, лукова према земљи, кратких спојева, као и испитних напона. Појаве праћене великим струјама у односу на означене (номиналне, називне, кратки спојеви у мрежи, као и укључење трансформатора у празном ходу), опасне су са становишта механичких и топлотних напрезања (ова напрезања су пропорционална са квадратом струје). До повећаних топлотних напрезања долази и код преоптерећења трансформатора. Такође треба обратити пажњу и на буку трансформатора.

## 2.1. Основни елементи конструкције трансформатора

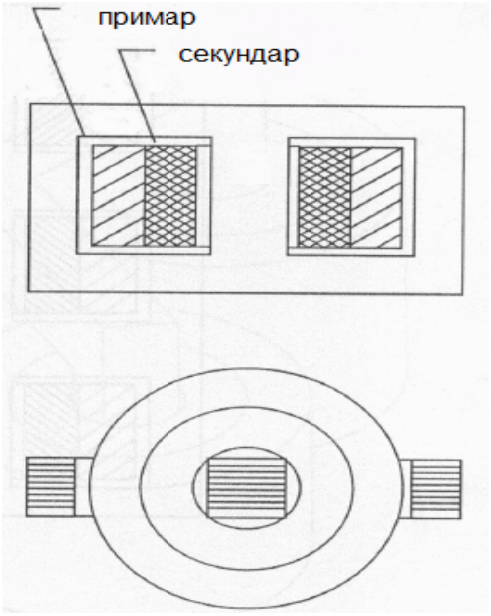
У погледу конструкције, трансформатор се састоји из следећих основних делова:

- магнетског кола,
- намотаја,
- изолације,
- трансформаторског суда,
- помоћних делова и прибора.

**Магнетско коло** се гради од висококвалитетних хладноваљаних оријентисаних трансформаторских лимова. Да би се смањила струја магнећења (побудна струја) тежи се узимању што квалитетнијег лима, са великом релативном пермеабилношћу, и примењују се одговарајућа конструкциона и технолошка решења у изради магнетског кола. Ради смањења губитака услед вртложних струја, користе се међусобно изоловани лимови мале дебљине (0,30 , 0,27 и 0 , 23 mm ). Основни физички елементи магнетског кола су стубови (језгра), око којих су смештени намотаји и јармови (доњи и горњи). Стубови имају степеничасти облик и попуњавају се пакетима лимова одговарајуће ширине, како би испунили простора описаног круга било што боља. Код трансформатора великих снага, у језгра се стављају канали ширине (6 mm ) и према потреби један попречни (ширине 10 − 15 mm ), како би кроз њих могло да циркулише уље и хлади магнетско коло. Магнетско коло се притеже одговарајућим стезним системом како би се добила што боља механичка компактност. [1]

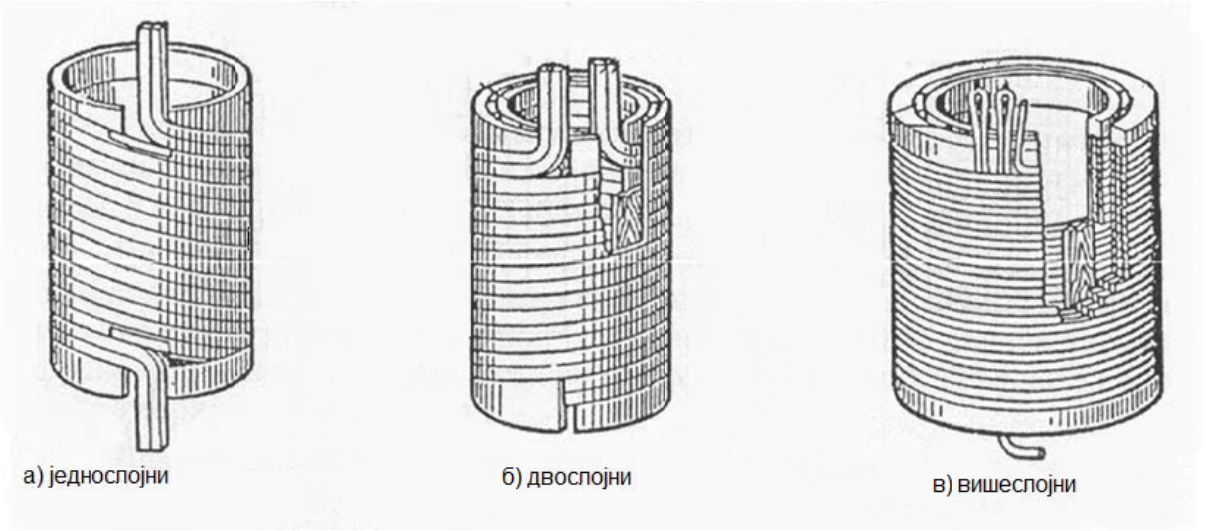



Слика 3. Пример магнетног кола са језгрима [1]




Слика 4. Магнетно коло у облику оклопа [1]

**Намотаји** се праве од округлог, профилног или тракастог проводника од бакра или алуминијума, материјала који имају мали електрични отпор. Намотај који се прикључује на напајање се назива примар, док се намотај који је спојен на пријемник назива секундар. Основни облици намотаја према начину израде су: једнослојни, двослојни и вишеслојни.

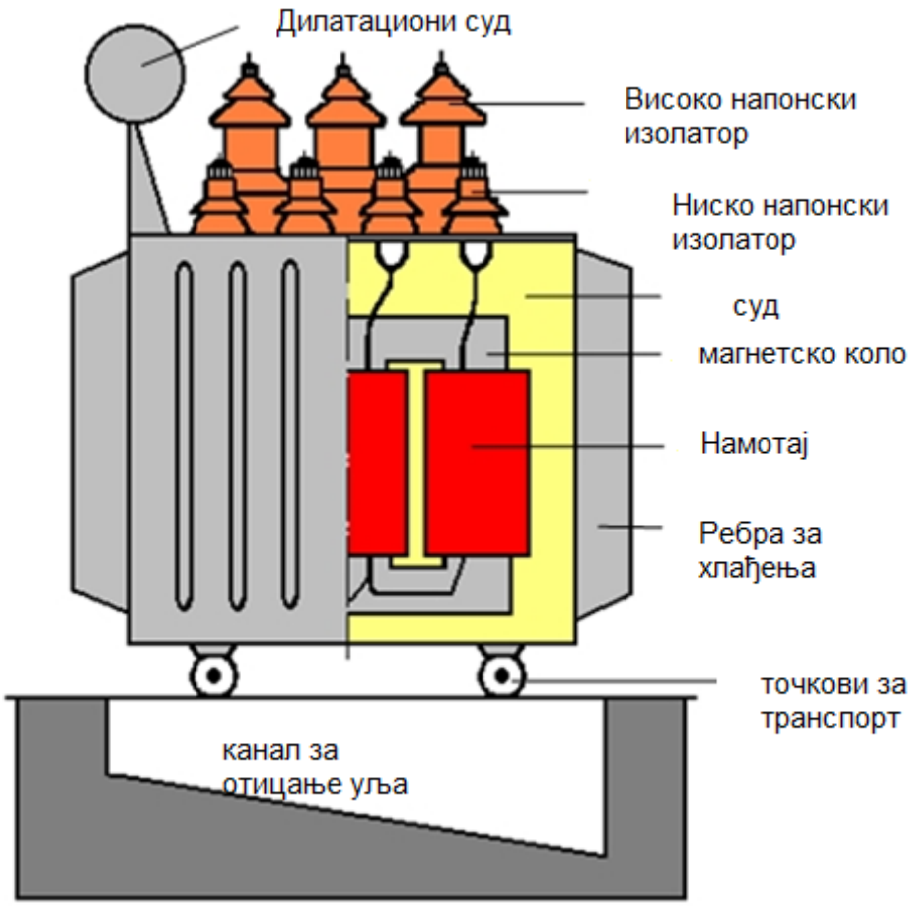



Слика 5. Цилиндрични или цевни намотаји [1]

**Изолација** представља комбинацију целулозе (папир, прешпан) и изолационог уља у случају уљних трансформатора, односно чврсте изолације (стаклене тканине импрегниране епоксидним, силиконским или другим синтетичким смолама) у комбинацији са ваздухом код сувих трансформатора (до 36 kV). Изолационо (трансформаторско) уље, осим побољшања изолационих својстава, обезбеђује и хлађење трансформатора, јер због свог великог специфичног топлотног капацитета много боље одводи топлоту са магнетског кола и намотаја на суд и расхладни систем. Међутим, треба имати у виду да је уље запаљиво и да лако гори. Изолација проводника је најчешће лак или папир.

**Трансформаторски суд** постоји код уљних трансформатора и израђује се од квалитетног челика са ојачањима. Облик суда зависи од начина хлађења, па бочне стране могу бити глатке, валовите или са цевима за хлађење.

**Помоћни делови и прибор трансформатора**: натписна плочица, проводни изолатори за повезивање са мрежом, дилатациони суд (конзерватор), регулатор напона, прикључак за уземљење, џеп термометра показивач нивоа уља, славина за испуштање уља, итд.

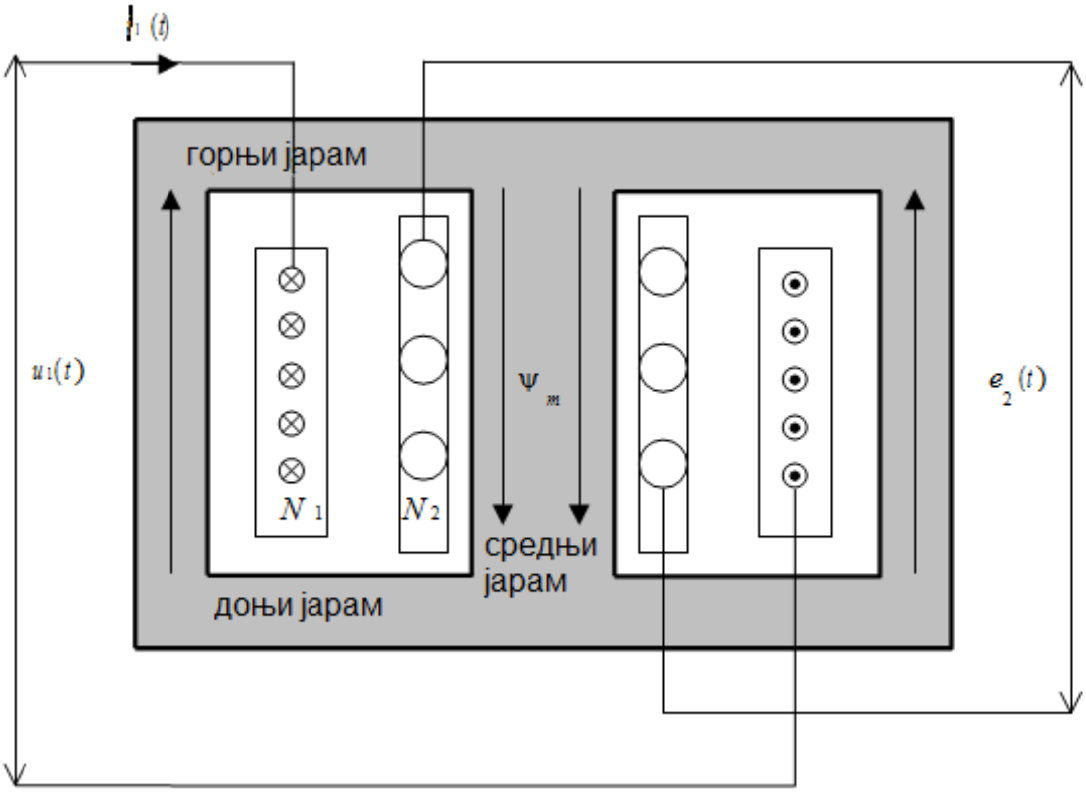



Слика 6. Основни делови тренсформатора [6]

## 2.2. Принцип рада, основне једначине

На примарни намотај трансформатора доводи се електрична енергија у облику наизменичног напона, која у магнетно спрегнутом секундарном намотају индукује одговарајућу наизменичну електромоторну силу, односно струју, која се користи за напајање пријемника. Дакле, примарни намотај се понаша као пријемник, док се секундарни намотај понаша као извор електричне енергије.

### 2.2.1. Празан ход идеалног трансформатор




Слика 7. Једнофазни трансформатор језграстог типа у празном ходу [1]

Претпоставке којима ћемо се служити у анализи празног хода идеалног трансформатора су:

1. сав флукс обухвата обадва намотаја (расипни флуксеви примарног и секундарног намотаја једнаки су нули и сваки завојак обухвата исти флукс).

2. магнетски отпор гвозденог кола не постоји ,
3. губитака у гвожђу нема

Магнетски флукс се дели на две половине кренувши од средњег ка крајњим стубовима.Означимо активни пресек средњег ступа магнетског кола са $S_{Fe.}$ .

Ако на прикључке примарног намотаја прикључимо напон:

$$u_1(t) = \sqrt{2}\, U_1 \sin \omega t \tag{1}$$

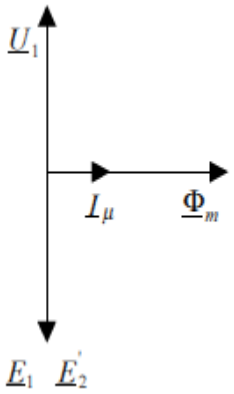
у њему ће се успоставити наизменична струја магнетисања $i_\mu(t)$ чији се смер одређује помоћу правила десне руке (или десне завојнице), а која ће по Фарадејевом закону индуковати против напон $e_1(t)$ :

$$e_1(t) = -\frac{\mathrm{d}\psi_1}{\mathrm{d}t} = -\frac{\mathrm{d}\psi_m}{\mathrm{d}t}, \tag{2}$$

Где је $\psi_1$ укупни магнестски флукс примарног намотаја а, $\psi_m$ укупни заједнички магнетни флукс.

Код цртања еквивалентне шеме и фазног дијаграма претпостављено је да су примарни и секундарни намотај намотани у истом смеру око магнетског стуба, тада променљиви магнетни флукс индукује између почетног и крајњег прикључка примарног и секундарног намотаја напона истог смера. Додатно, пошто су, у општем случају, назначени напони примарног и секундарног намотаја различити, потребно је све величине свести (редуковати, трансформисати) на један од напона, обично примарног.За сведену ефективну вредност ems секундарног намотаја, $E'_2$ имамо :

$$E_2 = \frac{N1}{N2} E_1 \tag{3}$$




Слика 8. Фазорски дијаграм величина у празном ходу [1]

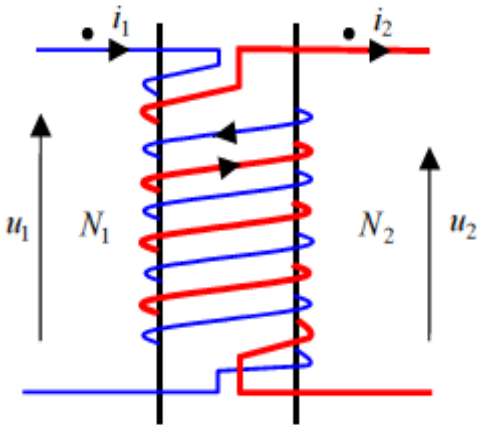
## 2.2.2. Оптерећење идеалног трансформатора

При анализи оптерећеног идеалног трансформатора претпоставићемо да:

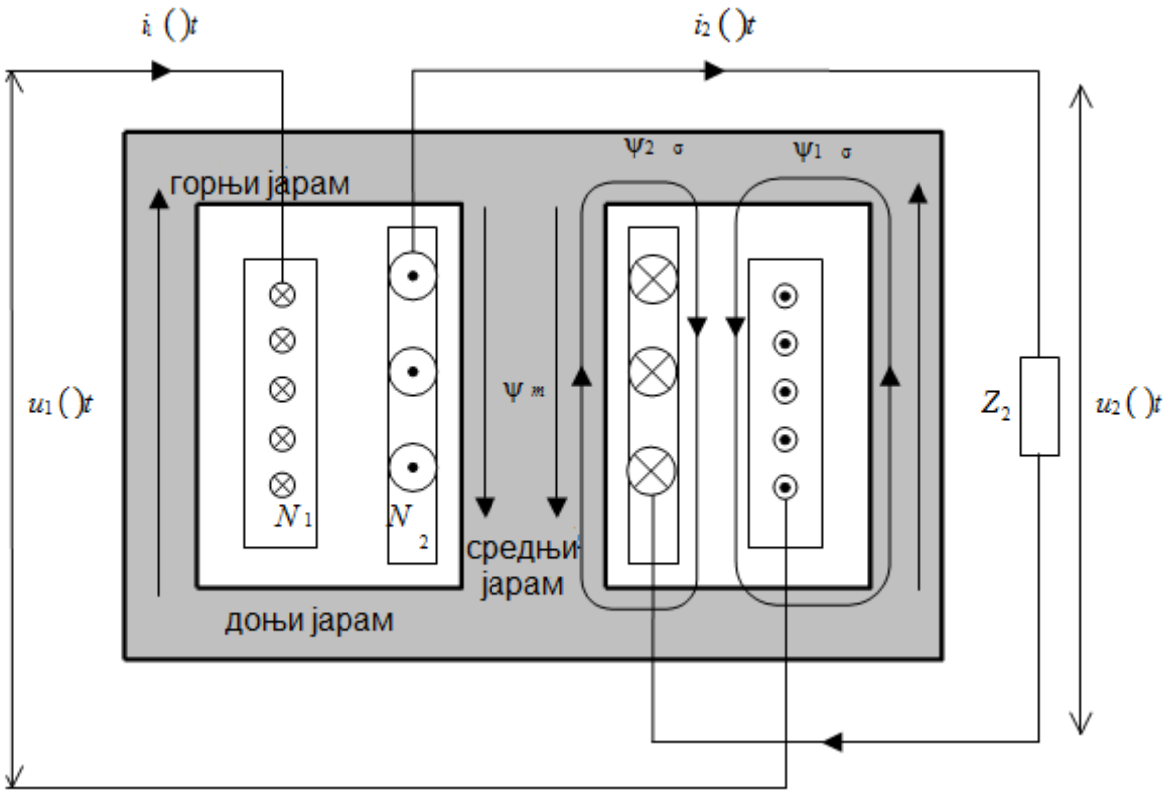
1. магнетски отпор гвозденог кола не постоји
2. губитака у гвожђу нема.

По оптерећењу пријемником импедансе $Z_2$, успостави се струја у секундарном намотају $i_2$, која ствара амперзавојке $N_2I_2$ . Смер индуковане струје у секундару је такав да својим флуксом тежи да поништи флукс који ју је изазвао. Ради лакшег сналажења, прописима су дефинисане ознаке за прикључке примарног и секундарног намотаја истог поларитета.Између истоимених прикључака се индукује напон исте фазе. Практично правило: почетак примара је прикључак у који струја улази, а за секундар прикључак из којег струја излази. Резултантни амперnавојци произлазе из утицаја примарних и секундарних амперnавојака, односно смера мотања ових намотаја. На слици је приказан случај са поништавањем деловања примарног и секундарног намотаја код стварања магнетског поља, за који вреди следећа једначина (4) амперnавојака.

$$N_1 I_1 - N_2 I_2 = N_1 I_\mu \qquad (4)$$




Слика 9. Резултанти намотај [1]




Слика 10. Једнофазни трансформатор језграстог типа магнетског кола у оптерећењу [2]

Хоћемо да се диференцијалне једначине напишу тако, да примарни и секундарни напон имају исту фазу, те да се као позитивне рачунају примарна струја која улази у почетак примарног намотаја и секундарна струја која излази из почетка секундарног намотаја, што је у складу са појмом извора и пријемника. Диференцијалне једначине напонске равнотеже написане за примарно и секундарно електрично коло трансформатора, за случај приказан на слици 10. имају следећи облик:

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} - M\frac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t}, \tag{5}$$

У случају помагања деловања ампернавојака примарног и секундарног намотаја предзнак члана напонске једначине који садржи међуиндуктивност био би позитиван.

## 2.3. Преносни однос

По дефиницији из прописа преносни однос (однос трансформације), m , представља однос назначених напона $U_1$ примарног и секендатног намотаја $U_2$ истакнутих на натписној плочици,

$$m_{12} = U_{1n} / U_{2n} . \quad (7)$$

Преносни однос који се добија мерењем у празном ходу је функција односа броја навојака,

$$m' = k\, N_1 / N_2 , \quad (8)$$

и он обично сме да одступа од декларисаног за ±0,5%.

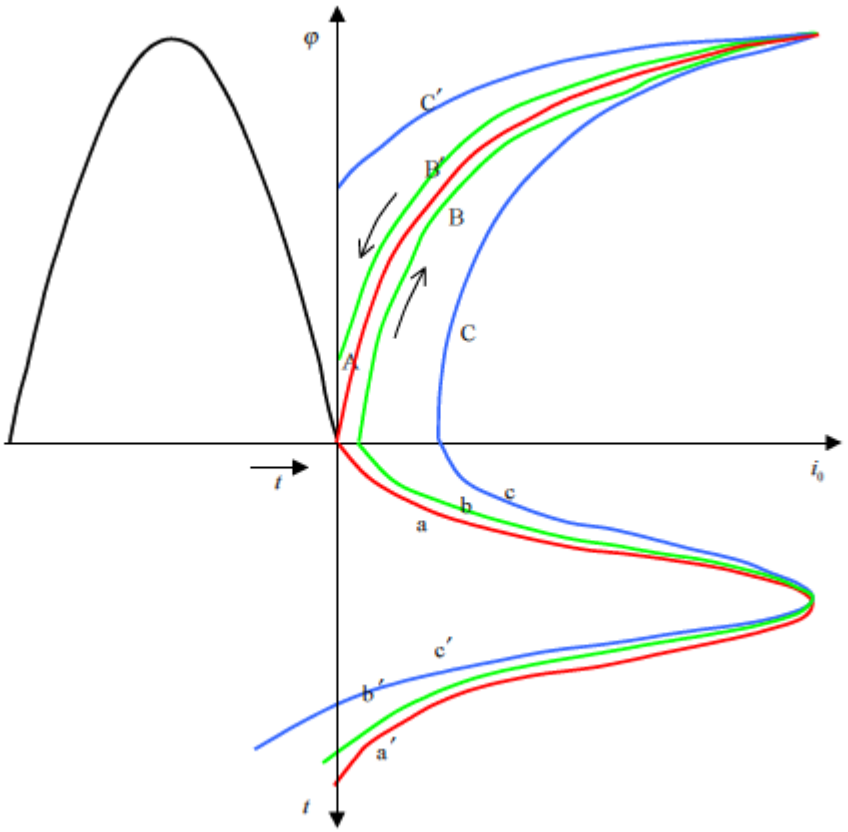
# 3. Теорија трансформатора

## 3.1 Празног хода

### 3.1.1. Струја празног хода

Струја празног хода се састоји од две компоненте, реактивне (струје магнећења) и активне којом се узимају у обзир губици празног хода. Због нелинеарности карактеристике $B = f(H)$, струја магнећења је несинусоидалног облика, дакле садржава и више хармонике, од којих је најзначајнији трећи. Због економских разлога, назначена радна тачка се налази на колену (лакту) карактеристике $B=f(H)$ . Конструкција струје празног хода приказана је на слици 11. уз следеће ознаке:

A - идеална крива магнећења,
B B′- крива магнећења уз узимање у обзир губитака хистерезиса,
C C′ - крива магнећења уз узимање у обзир и губитака услед вихорних струја.




Слика 11. Конструкција струје празног хода [1]

## 3.1.2.Губици празног хода

Губици празног хода приближно су једнаки губицима у гвожђу, који се састоје од губитака услед хистерезе и губитака услед вихорних струја. Анализу губитака ћемо спровести за редовни случај из праксе - напајање из извора простопериодичног напона. Утрошена енергија услед хистерезе по јединици масе лима, [kg] току једне периоде пропорционална је површини хистерезисне петље односно зависи о промени амплитуде индукције $B^n_{max}$ , где се $n$ најчешће креће зависно од врсте лимова од 1,7 до 2,2 :

$$W_H = k_H B^n_{max} \quad [\mathrm{J/kg}] \tag{9}$$

Обично се код рачунања као нека преосечна вредност $n$= 2

Утрошена снага услед хистерезе по јединици масе лима пропорционална је броју периода у секунди, односно пропорционална учестаности:

$$p_H = f w_H = k_H f B^2_{max} \quad [\mathrm{W/kg}] \tag{10}$$

У маси лимова $m_{Fe}$ губици услед хистерезе биће

$$p_H = m_{Fe} p_H = k_H f B^2_{max} m_{Fe} \ [\mathrm{W}] \tag{11}$$

Губици услед вихорних струја пропорционални су квадрату индуковане емс у паразитним колима а обрнуто пропорционални специфичном отпору лима:

$$P_V \approx e^2/\rho \tag{9}$$

Индукована *ems* у колима вихорних струја по јединици дужине лима пропорционална је амплитуди индукције $B_{max}$, учестаности $f$ и дебљини лима $d$.

Укупни губици у гвожђу се могу представити изразом:

$$P_{Fe} = P_H + P_V = (k_H f + kv f^2) B^2_{max} m_{Fe} \tag{12}$$

Конструктори трансформатора обично снимају карактеристике губитака магнећења за сваку врсту лима и облик магнетског кола који се употребљава

### 3.1.3. Оглед празног хода

Основни циљеви спровођења огледа празног хода су одређивање:

• губитака празног хода (приближно једнаки губицима у гвожђу),
• струје празног хода,
• параметара еквивалентне шеме.

Оглед се проводи тако да на један од намотаја (обично нижег напона) прикључимо назначени (или њему блиски) напон, а прикључке другог намотаја оставимо отвореним. Током огледа мери се:

• напон напајања, $U_o$ , приближно или тачно једнак са $U_n$

• струја напајања $I_o$

• снага узета из мреже $P_o$ (снага празног хода).

Измерена снага губитака празног хода приближно је једнака губицима у гвожђу:

$$P_0 \cong P_{Fe} \tag{13}$$

Под назначеном струјом празног хода сматрамо ону вредност струје напајања која тачно одговара назначеном напону, односно ону која се, у општем случају, одређује према:

$$I_{o,n} = U_n / U_o * I_o \tag{14}$$

Релативна вредност струје празног хода је око 1-3% у односу на назначену струју (код трансформатора великих снага и мање од 1%). Приликом одређивања параметара еквивалентне шеме обично се занемарује уздужна (редна) грана шеме, будући да се пад напона на редној импеданси може занемарити. Параметре попречне гране еквивалентне шеме $(R_o$ и $X_o)$ једнофазног трансформатора тада одређујемо на следећи начин:

• импеданса празног хода

$$Z_o = U_o/I_o \tag{15}$$

• фактор снаге у празном ходу

$$cos\,\rho_0 = \frac{P_0}{U_0 I_0} \tag{16}$$

• фиктивна активна отпорност којом узимамо у обзир губитке празног хода

$$R_0 = \frac{U_0^2}{P_0} = \frac{Z_0}{cos\,\rho_0} \tag{17}$$

• реактанса празног хода:

$$X_0 = \frac{Z_0}{sin\,\rho_0} \tag{18}$$

## 3.2 Оглед кратког споја

Основни циљеви спровођења огледа кратког су одређивање:
• губитака услед оптерећења,
• напона кратког споја,
• параметара еквивалентне шеме.

Оглед се спроводи тако да један од намотаја (обично вишег напона), код кратко спојених прикључака другог намотаја, прикључимо на напон који постепено повећавамо од нуле до вредности при којој се успоставља назначена (или њој блиска) вредност струје, и ту вредност напона називамо напоном кратког споја.

Током огледа мери се:
• напон напајања, који се назива напон кратког споја $U_k$,
• струја напајања $I_k$ (приближно или тачно $I_n$),
• снага узета из мреже $P_k$ (снага кратког споја).

Измерена снага губитака, сведена на назначену струју, представља приближно назначене губитке услед оптерећења трансформатора $P_{Tn}$

$$P_{k,n} = \frac{I_n^2}{I_k^2} P_k \cong P_{T,n} = P_{T1,n} + P_{T2,n} \qquad (19)$$

Напон кратког споја служи за одређивање промене (пада) напона у трансформатору услед оптерећења (помоћу тзв. Каповог троугла), величине стварне устаљене струје кратког споја и могућности паралелног рада двају или више трансформатора. Под назначеним напоном кратком споја сматрамо ону вредност напона напајања која тачно одговара назначеној струји, односно ону која се, у општем случају, одређује према:

$$U_{k,n} = I_n/I_k \ast U_k \qquad (20)$$

Приликом одређивања параметара еквивалентне шеме обично се занемарује попречна грана шеме, будући да је струја празног хода пуно мања од назначене струје. Параметре уздужне гране једнофазног трансформатора одређујемо на следећи начин :

• импеданса кратког споја

$$Z_k = U_k/I_k \tag{21}$$

• активна отпорност кратког споја

$$R_k = R_1 + R_2 = \frac{P_k}{I_k^2} \tag{22}$$

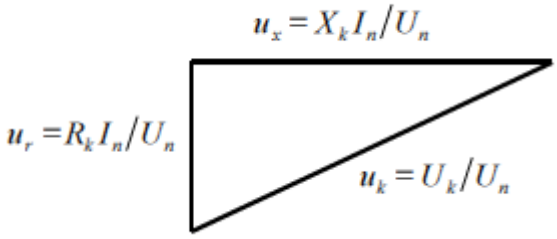
• реактанса кратког споја

$$X_k = X_1\sigma + X'_2\sigma = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \tag{23}$$

Приближно се може узети да су активне и реактивне отпорности примара једнаке сведеним активним и реактивним отпорностима секундара, тј:

$$R1 \cong R'2, X_{1\sigma} \cong X'_{2\sigma} \tag{24}$$

Троугао који формирају фазори прикљученог напона напајања и радног и реактивног пада напона често се представља релативним вредностима у односу на назначени напон, при чему је струја, по договору, означена.




Слика 12. Троугао релативних вредности напона кратког споја [2]

Изрази за релативне вредности напона кратког споја и радног и индуктивног пада напона, изражених у процентима. једноставно се изводе:

Релативна вредност напона краткогспоја се код дострибутивних трансформатора креце од 4-6 %

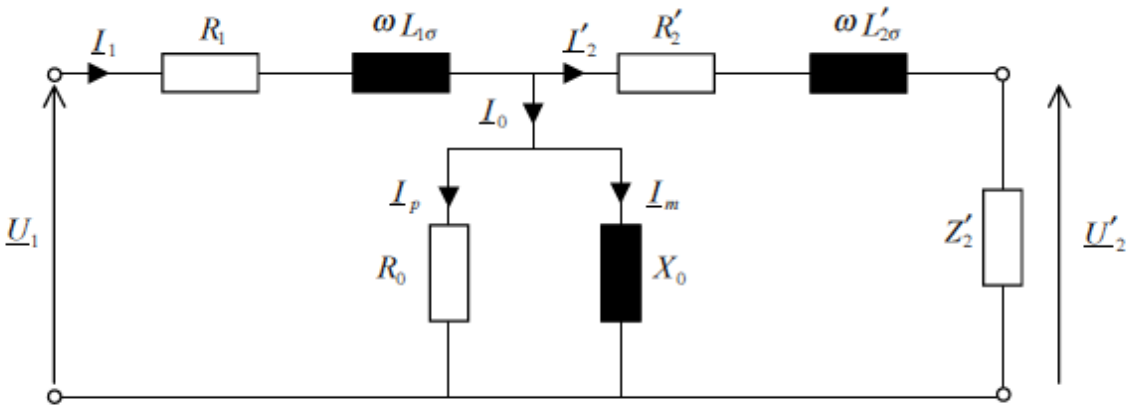
Врло је корисно уочити да је:

$$u_k\,[\%] = z_k[\%] \tag{25}$$

## 3.3. Еквивалентна шема трансформатора

Еквивалентна шема трансформатора представља поједностављени модел помоћу којег можемо, на посредан начин, без стварног оптерећења, да предвидимо понашање трансформатора у разним условима рада. Параметре еквивалентне шеме одређујемо на једноставан начин из стандардних испитивања трансформатора у огледу празногхода и кратког споја.

Све величине и параметри еквивалентне шеме су фазне вредности, а величине и параметри секундара сведени су на примар (прерачунати са квадратом односа броја набојка на примар тако да је $R'_2 = (N_1/N_2)^2 R_2$




Слика 13. Еквивалента шема трансформатора [1]

Величине и параметри еквиваленте шеме су:

$I_o$ - струја празног хода,

$I_p$ - активна компонента струје празног хода,

$I_m$ - реактивна компонента струје празног хода (струја магнећења),

$R_o$ - еквивалентна отпорност у празном ходу (фиктивна отпорност помоћу које узимамо уобзир губитке у празном ходу),

$Xo$ – реактанса магнећења.

## 3.4. Степен искоришћења

На основу познавања губитака празног хода и губитака услед оптерећења одређује се степен искоришћења трансформатора:

$$\eta_n = \frac{\text{ИЗЛАЗНА СНАГА}}{\text{УЛАЗНА СНАГА}} = \frac{P_{2n}}{P_{1n}} = \frac{P_{2n}}{P_{2n}+P_{gn}} = \frac{S_n \cos\varphi}{S_n \cos\varphi + P_{0n} + P_{Tn}} \qquad (26)$$

где је $S$ привидна снага секундара трансформатора, индекс $n$ означава назначену вредност.

Код произвољног оптерећења, израженог помоћу сачиниоца $\beta$ , где је $\beta = I_2/I_{2n}$ искоришћења износи:

$$\eta(\beta) = \frac{\beta S_n \cos\varphi}{\beta S_n \cos\varphi + P_{0n} + \beta^2 P_{Tn}} \qquad (27)$$

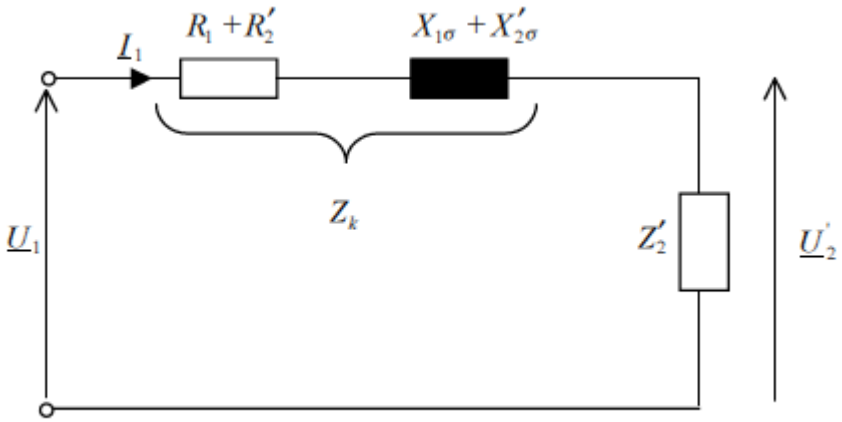
## 3.5. Промена напона

Оптерећење трансформатора изазива промену напона. Ова промена се обично испољава као смањење (пад) напона у односу на онај у празном ходу, мада у извесним ретким случајевима у пракси тај пад може да буде негативан.

Израчунавање промене напона, $\Delta U$ , се своди на израчунавање разлике интензитета фазора $U_1$ и $U_2$ тј.

$$\Delta U = | U_1 | - | U'_2 | \qquad (28)$$

Обично се код израчунавања промене напона полази од еквивалентне шеме у којој је, због малих струја у попречној грани ова занемарена.




Слика 14. Шема за одређивање промене напона [1]

## 3.6. Загревање

При процесу преображаја електричне енергије у трансформатору један део енергије се претвара у топлоту, што са становишта корисника представља губитке. Топлота произведена губицима загрева делове трансформатора (магнетно коло, намотаје, изолацију, суд) и изазива пораст њихове температуре у односу на околну средину.

У односу на губитке услед магнећења ("губици у гвожђу"), губици у услед оптерећења ("губици у бакру") су значајнији по величини и последицама, зато што изолација проводника намотаја представља најосетљивији део трансформатора с обзиром на топлотна напрезања.

Пораст температуре, у општем случају, зависи од величине и временске функције оптерећења (трајни рад, циклични рад и рад у ванредним условима) као и начина и ефикасности хлађења.

Са порастом снага трансформатора проблем загревања постаје све израженији, јер су губици приближно сразмерни са запремином, а одвођење топлоте са површине.Ограничења температуре су различита за разне материјале. Као што је већ истакнуто, најосетљивија је изолација проводника, која са временом стари, тј. смањује јој се квалитет и то утолико брже уколико јој је већа температура на којој се налази. Дакле, век трајања изолације зависи од радне температуре машине. Средња вредност века трајања данашњих трансформатора износи неколико деценија. Назначена снага је она која је истакнута на натписној плочици, то јест она за коју је трансформатор декларисан. Стварна снага је она при којој је загревање трансформатора једнако дозвољеном. Са становишта корисника прихватљиво је да стварна снага буде већа од назначене снаге.

Ознаке које ћемо користити за поједине појмове су следеће:

• температура у уобичајеном смислу: $\vartheta\ [^oC]$ ,

• апсолутна температура: $T\ [K]$,

• пораст температуре у односу на околину (амбијент): $\theta\ [K] = \vartheta - \vartheta_a$ (29)

• разлика двају температура на било ком месту: $\Delta\theta\ [K] = \vartheta_1 - \vartheta_2$ (30)

Прописима је за поједине врсте изолације дефинисан одговарајући највиши дозвољени пораст температуре у односу на околину. За уљне трансформаторе, где се редовно употребљава изолација папир у уљу температура најтоплије тачке (негде у горњем делу трансформатора) не сме да пређе 140°C нормалним условима рада (трајни и циклични рад), док средњи пораст температуре намотаја максимално сме да буде 65 K ($\theta_{Cu} \leq 65$ K )

Код сувих, ваздушно хлађених трансформатора иде се на знатно више температуре намотаја, па се мора употребити квалитетнија изолација, која се разврстава у класе.

Табела 1-1 Класе изолације

| Класа изолације | A | E | B | F | H |
|---|---|---|---|---|---|
| $\theta_{max}[K] = \vartheta_{max} - \vartheta_a$ | 60 | 75 | 80 | 100 | 125 |

Напомена , највиша вредност температуре околине је 40 ° C

Код уљних трансформатора морамо водити рачуна и о ограничењу везаном за пораст температуре уља у односу на околину. За затворене системе са дилатационим судом дозвољена вредност пораста температуре уља у односу на околину износи 60К ( $\theta_{u}$ 60 K).

За остале делове трансформатора нису прописана ограничења, већ прописи налажу да њихова температура не сме никада достићи такву вредност која би могла да изазове оштећења у трансформатору. Као и у другим процесима, и овде можемо да посматрамо устаљена (стационарна) стања и прелазна (нестационарна) стања. Устаљено стање наступа, када се изједначи доведена и пренешена (одведена) топлота, односно када се температура устали на некој вредности. Код прелазних стања услед неједнакости између доведене и пренешене топлоте температура расте (загревање), односно опада(хлађење).

Довод топлоте настаје услед губитака, док се одвод топлоте врши на три позната начина: провођењем (кондукцијом), стујањем (конвекцијом) и зрачењем (радијацијом).

$$p = \lambda S(\frac{\Delta Q}{x}) \qquad (31)$$

где је $p$ топлотна снага која пролази кроз планпаралелно тело, $S$ површина тела, $x$ дебљина тела, а $\lambda$ специфична топлотна проводност.

Струјање је везано за флуиде - течности и гасове, код којих се осим топлоте крећу и молекули, односно односно групе молекула.

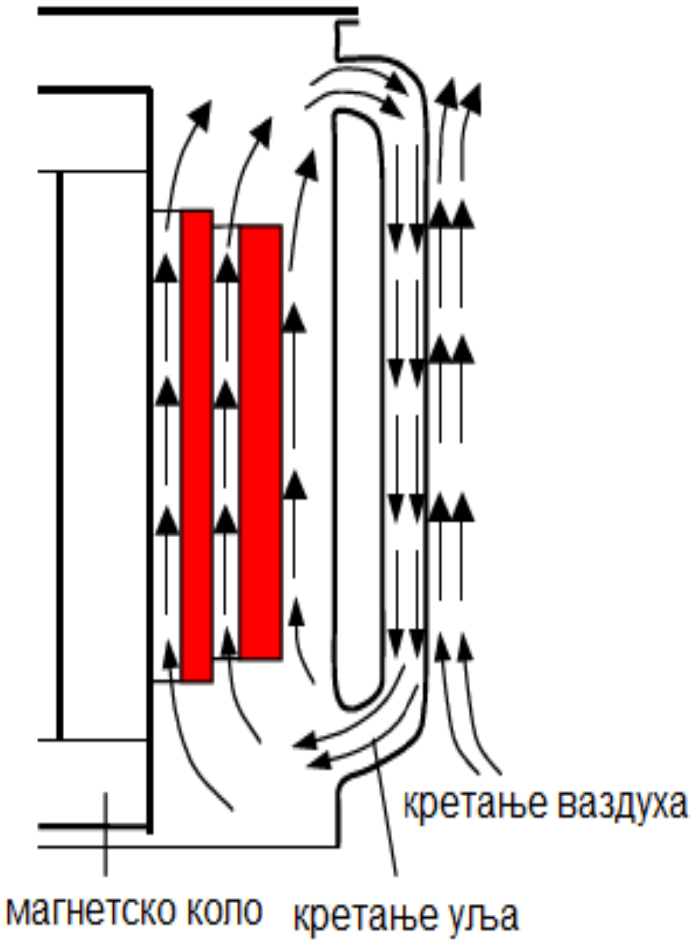
Код трансформатора ово је најважнији вид преноса топлоте, а флуиди су најчешће уље и ваздух. Обично се струјање сврстава у две подврсте: природно и принудно.

• Природно струјање - Настаје услед различите густине загрејаних и хладних молекула, односно група молекула уља, топлији делови иду горе, хладнији доле и у свом кретању, додирујући загрејане површине активних делова односе са собом извесну количину топлоте хладећи тако те делове.

• Принудно струјање се примењује када је одвођење топлоте природним струјањем недовољно, што је случај код трансформатора великих снага. Циркулација се начини интензивнијом ако се за течност (уље) примени пумпа, а за ваздух вентилатор.Суштина појаве је иста код природног и присилног струјања, било да се ради о уљу или ваздуху, разлике су само квантитативне. За струјање вреди следећи закон:

$$p = \alpha S \Delta\theta \tag{32}$$

где сачинилац α (специфична снага одошења топлоте са тела) није константа, већ сложена функција температуре, пораста температуре, брзине струјања, нагиба провршине у односу на хоризонталу, облика и углачаности површине, а нарочито од тога да ли је кретање флуида ламинарно или турбулентно



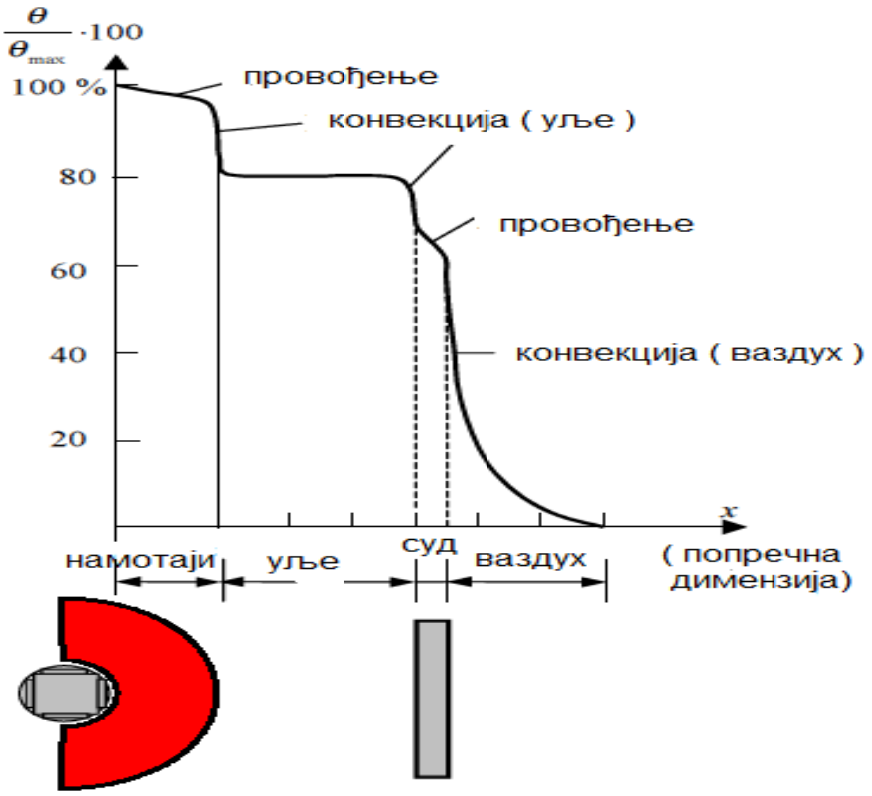

Слика 15. Циркулација уља у суду и ваздуха споља [1]

**Зрачење** је вид преношења топлоте путем електромагнетских таласа релативно ниске учестаности. Њихова таласна дужина је утолико краћа уколико је температура виша. Предата или емитована топлотна снага рачуна се према Штефан-Болцмановом закону:

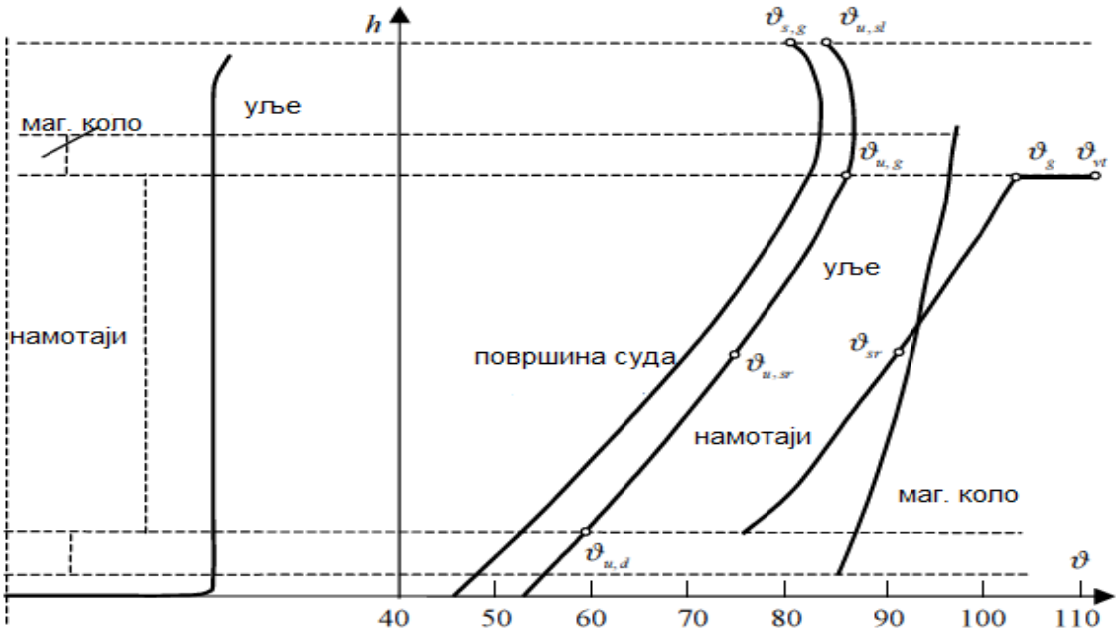
$$p = S(\sigma_1 T_1^4 - \sigma_2 T_2^4) \tag{33}$$

где је $T$ апсолутна температура оба тела међу којима се врши размена топлоте, $S$ површина а σ коефицијент који зависи од углачаности и боје површине и највећи је за црно тело. Код трансформатора се одавање топлоте зрачењем одиграва на површини суда који зрачи у околину и на тај начин се преношење топлоте на том месту одвија сложено – сабира се снага струјања и зрачења, при чему је првазначајнија, поготову код принудног струјања ваздуха.

Природно је да су најважније температуре намотаја, посебно највећа вредност која је већ дефинисана под називом температура најтоплије тачке. На жалост, она је ретко доступна мерењу, па се зато одређује посредно, примењујући обрасце дефинисане одговарајућим прописима (стандардима).




Слика 16. Приближни распоред пораста температуре у хоризонталном попречном пресеку [2]




Слика 17. Приближни распоред пораста температуреувертикалном попречном пресеку [1]

## 3.7 Врсте хлађења

Мали сигнални трансформатори не стварају значајне количине топлоте. енергетски трансформатори на снагама од неколико киловата расипају довољно топлоте да буду осетно топли, али се држе на дозвољеној температурној граници природним струјањем ваздуха. Трансформатори који раде на великим снагама могу се хладити вентилаторима.

Специјални услови се морају испунити за хлађење трансформатора великих снага. Неки суви трансформатори су оклопљени и имају резервоаре под притиском и хладе се азотом или сумпор хексафлуоридом (SF6).

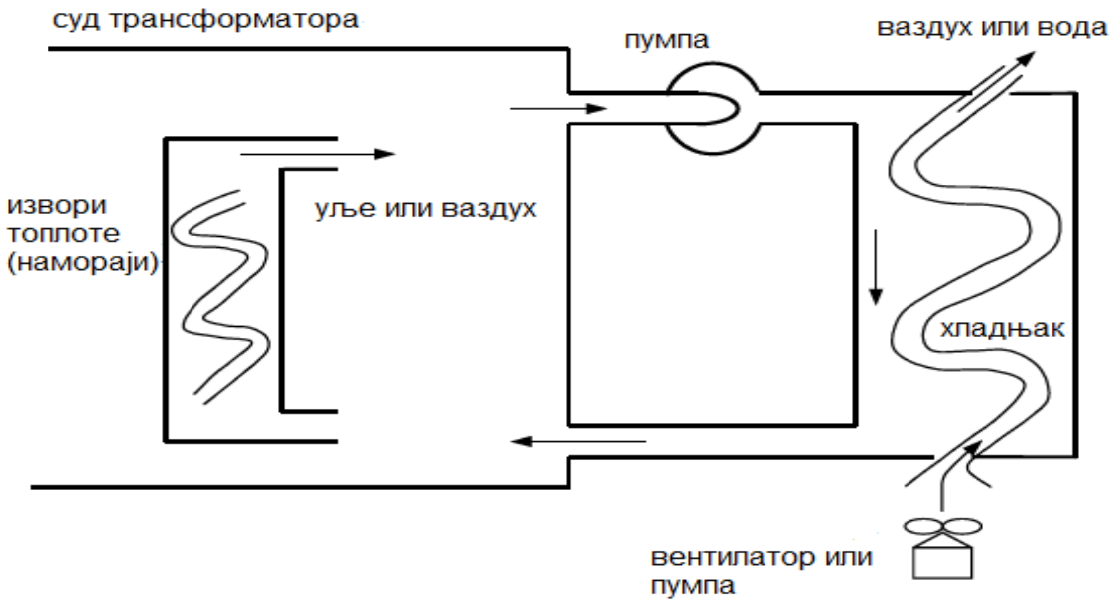
Намотаји енергетских трансформатора су обично потопљени у трансформаторско уље, високо обрађено минерално уље које мора бити стабилно на високим температурама тако да кратак спој неће изазвати квар или пожар. Велики трансформатори који се користе у затвореном простору морају користити незапаљиву течност. Некада се користио полихлоризовани бифенил (PCB), који није запаљив и који је врло стабилан. Због стабилности и своје акумулације у природи, више није дозвољена његова употреба. Данас, нетоксична, стабилна уља на бази силицијума или флуорованих угљоводоника

се могу користити тамо где трошкови због незапаљиве течности надокнађују додатну градњу зграда за трансформаторе.

Остали мање запаљиви флуиди као што је канолино уље се могу користити, али сви флуиди отпорни на ватру имају недостатке у перформансама, цени или токсичности у односу на минерално уље. Кућишта транформатора хлађених уљем могу имати радијаторе кроз коју кружи уље природним струјањем. Врло велики трансформатори (снаге мегавата) могу имати вентилаторе, пумпе за уље или чак и измењиваче топлоте између уља и воде. Трансформатори са уљем иду на дуготрајне процесе сушења како би потпуно била одстрањена водена пара пре него што се сипа уље за хлађење. Ово помаже спречавање кварова током рада.

Трансформатори са уљем могу бити опремљеним Бухолц-релејима, уређајима за заштиту који реагују на настанак гаса у трансформатору (пратећи ефекат појаве електричног лука у намотајима) и искључује трансформатор пре него што дође до тежих оштећења. Поред Бухолц-релеја који се примењује у уљаним тренсформаторима, модернији суви трасформатори примењују електронску заштиту са температурним сондама, чија се термички променљива отпорност мери прикљученим мерним уређајем који има визуални или звучни аларм, са два нивоа алармирања, или дигитални приказ тренутне температуре трансформатора.

Есперименталнi енергетски трансформатори снага од 2 MVA су изграђени користећи суперпроводне намотаје који елиминишу губитке у бакру, али не и у језгру. Они су хлађени течним азотом или хелијумом.




Слика 18. Пример начина струјања расхладног средства трансформатора[1]

## 3.8. Прелазни процеси

За анализу и проучавање понашање рада трансформатора веома су значајни прелазни процеси који су праћени повећаним напонима или повећаним струјама: кратак спој и укључење у празном ходу. Наиме, електрична (напонска), механичка и термичка напрезања која се јављају у овим прелазним стањима могу да угрозе функционисање и изазову значајна оштећења трансформатора. Код електричних напрезања пре свега треба обратити пажњу на пренапоне који се јављају као последица прекидања у колу, атмосферских пражњења, лукова према земљи, кратких спојева, као и испитних напона. Појаве праћене великим струјама у односу на назначене (кратки спојеви у мрежи, као и укључење трансформатора у празном ходу), значајне су са становишта механичких и топлотних напрезања (ова напрезања су пропорционална са квадратом струје).

Да би се број и тежина кварова трансформатора смањио на што могуће мању меру, мора се водити рачуна о многим информацијама и поступцима, почевши од идејног решења, израде тендера, нуђења, развоја, истраживања, пројектовања, конструисања, израде, испитивања, транспорта, монтаже, пуштања у пробни рад, експлоатације, одржавања и коначно после престанка рада. Трансформатор треба да буде пројектован и израђен тако да издржи сва могућа напрезања којима је изложен током свог животног века.

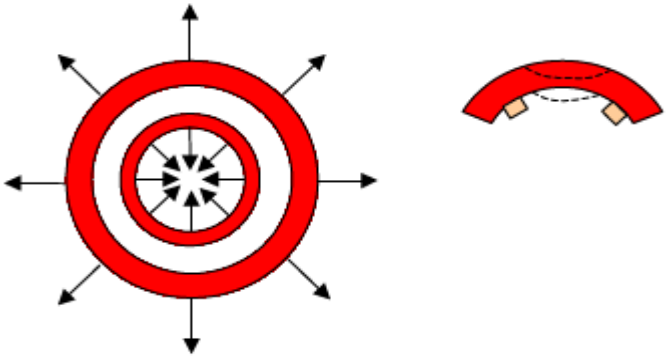
## 3.9. Механичка напрезања намотаја трансформатора у кратком споју

Трансформатори су током нормалног рада, а поготову током кварова, изложени дејству механичких сила, односно механичком напрезању. Због потребе за поузданим радом, приликом пројектовања и током испитивања трансформатора води се рачуна о низу фактора и проблема везаних за механичка напрезања. Да би приказали напрезања намотаја која се имају, потребно је укратко описати силе које делују на намотај при овим напрезањима,.

Услед радијалне компоненте силе појављује се притисак на унутрашњи намотај који тежи да га наслони на стуб, а на спољашњи који тежи да га истегне.

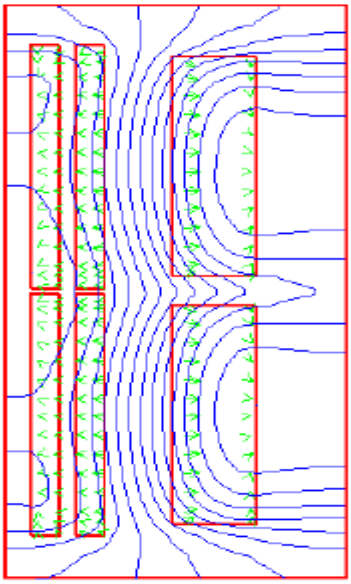
Да би повећали отпорност проводника намотаја с обзиром на радијалне силе намотај се ставља на изолационе подупираче ("летвице", "лајсне"), који се ослањају на изолациони цилиндар од прешпана, док се у расхладне аксијалне канале, на одговарајућем размаку, стављају погодно исечени комади прешпана ("канални умеци").

На слици 19. приказане су радијалне силе на намотај трансформатора и напрезања којима је при овим силама намотај изложен. Димензионисање се своди на одређивање потребног броја подупирача и уметака, уз избор њихове ширине из низа стандардних димензија, тако да се добије растојање код којег су напрезања материјала проводника мања од дозвољеног. Присутност подупирача има за последицу појаву локалних савијања, о чему се такође мора водити рачуна.

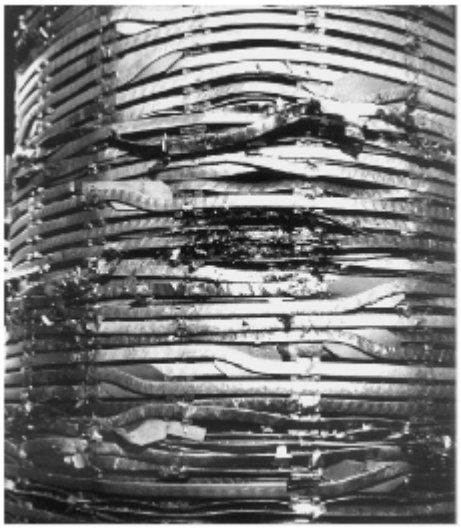


Слика 19. Дејство радијалних сила на намотај трансформатора [2]

Аксијалне силе настоје да сабију, односно помере намотај из струјног тежишта. Да би осигурали издржљивост изолације намотаја, с обзиром на аксијалне силе, у расхладне радијалне канале намотаја ставља се одговарајући број изолационих подметача ("репића") потребне ширине. Димензионисање се своди на одређивање потребног броја подметача, уз избор њихове ширине из низа стандардних димензија, тако да се добије растојање код којега су напрезања материјала изолације намотаја мања од дозвољеног. На стубове се ставља одговарајући стезни систем димензионисан тако да осигура компактност активног дела приликом монтаже и одржавања, односно деловања сила кратког споја. Да би правилно димензионисали намотаје потребно је да се израчунају напрезања којима су они изложени, за шта се данас користе нумерички прорачуни на рачунару-Смањење специфичних напрезања постиже се повећањем количине уграђеног материјала, односно повећањем импедансе трансформатора, што, у крајњој линији, повећава цену



Слика 20. Пример нумеричког прорачуна сила кратког споја [2]



Слика 21. Оштећење намотаја трансформатора услед кратког споја [1]

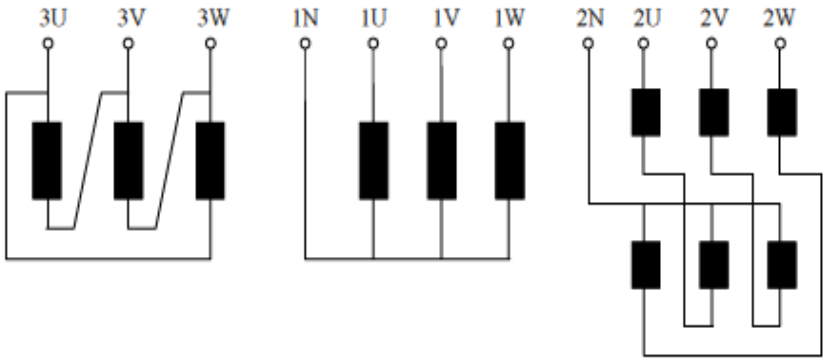
# 4. Трофазни трансформатор

Код трофазних трансформатора могућа су, у основи, два техничка решења - група од три једнофазна трансформатора, са засебним магнентским колима или један трофазни трансформатор са заједничким магнетским колом. Група једнофазних трансформатора се обично примењује за велике јединице у Америци (америчка трансформација) и има предност везану за транспорт, одржавање и обезбеђење резерве, јер су кварови трансформатора уобичајено на једној фази, али је у основи скупља (око 15%) јер се не користи чињеница да је збир тренутних вредности уравнотежених флуксова у све три дазе једнак нули и захтева више простора. Трофазни трансформатори са заједничким магнетним колом се често примењују у Европи.

Намотаји трофазних трансформатора спрежу се у:

- троугао,
- звезду
- сломљену звезду (цик-цак спрега)

Према важећим стандардима прикључне стезаљке, односно проводни изолатори означавајусе са словним ознакама $U, V, W, N$ (раније $A, B, C, N$ ). Испред словне ознаке запојединy фазу се стављају бројчане ознаке за означавање висине напона намотаја: број "1" за високонапонски намотај ($VN$), "2" за нисконапонски намотај ($NN$) код двонамотајних трансформатора, односно средњенапонски намотај ($SN$) код тронамотајних трансформатора и "3" за $NN$ намотај код тронамотајних трансформатора. Крајеви намотаја означавају се бројним ознакама "1" за почетак и "2" за крај (свршетак), и то после словнеознаке, нпр. $1U2$ за свршетак $VN$ намотаја прве фазе. Уз крајеве потребно је дефинисати и смер мотања намотаја око стуба (десни или леви).




а ) б) в)

Слика 22. Примери трофазних намотаја

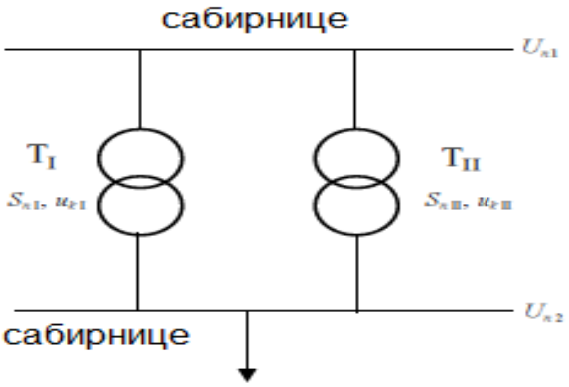
а) троугао (ознака D за $VN$, односно д за $NN$) - будући да су међуфазни и фазни напони једнаки, ова спрега, у односу на спрегу звезда, захтева већи број навојака, мањег пресека уз веће учешће изолације. Ово има за последицу већу количину бакра код високонапонских трансформатора.

б) звезда (ознака Y за $VN$ , односноу за $NN$) -. Ако је намотај секундарни постоји могућност примене два напона, међуфазног, између крајева прикључака и фазног напона између једне фазе и неутралне тачке.

в) сломљена звезда (ознака z ) - ова спрега се искључиво примењује за $NN$ намотаје. Намотај поједине фазе сачињавају два редно повезана полунамотаја који нису на истом стубу. У односу на спрегу звезда, овај намотај је захтева 15,5% више бакра, међутим лако подноси несиметрично оптерећење, па се унаточ томе што је скупљи примењује код дистрибутивних трансформатора мањих снага.

## 4.1.Паралелни рад трансформатора

Паралелни рад двају или више трансформатора се остварује спајањем истоимених прикључака високонапонске стране свих трансформатора на одговарајуће фазе високонапонске мреже и спајањем истоимених прикључака нисконапонске стране свих трансформатора на одговарајуће фазе нисконапонске мреже. Паралелни рад се може вршити преко сабирница или преко мреже. Иако је у основи ово решење скупље него избор једног трансформатора веће снаге, њему се прибегава у случајевима подмиривања потребе додатних пријемника који раније нису били предвиђени, подмирења повремених додатних оптерећења, етапне изградње трафостанице или потребе за већом погонском сигурношћу која се огледа у држању резервног трансформатора за случају квара једног од трансформатора.




Слика 23. Паралелни рад два трансформатора

Услови које трансформатори морају да испуне, да би радили у паралелном раду, су следећи:

• примарни намотаји морају да буду предвиђени за исти напон и односи трансформације морају бити једнаки ( $m_i = m_{ii} = ... = m_n$ ), да би секундарни напони у празном ходу били једнаки. Под односом трансформације, према стандарду, подразумевамо однос назначених напона приказан на натписној плочици.

• Да би секундарни напони били у фази, трансформатори морају припадати истој групи спреге.

• Да би избегли струје изједначења (уравнотежења), које изазивају преоптерећење једног, односно подоптерећење другог трансформатора, релативни напони кратког споја морају бити једнаки - дозвољава се толеранција ±10 % у односу на аритметичку средњу вредност релативних напона кратког споја свих трансформатора. С овим у вези је и препорука да назначене снаге трансформатора требају да буду приближно једнаке .

# 5. Специјални трансформатори

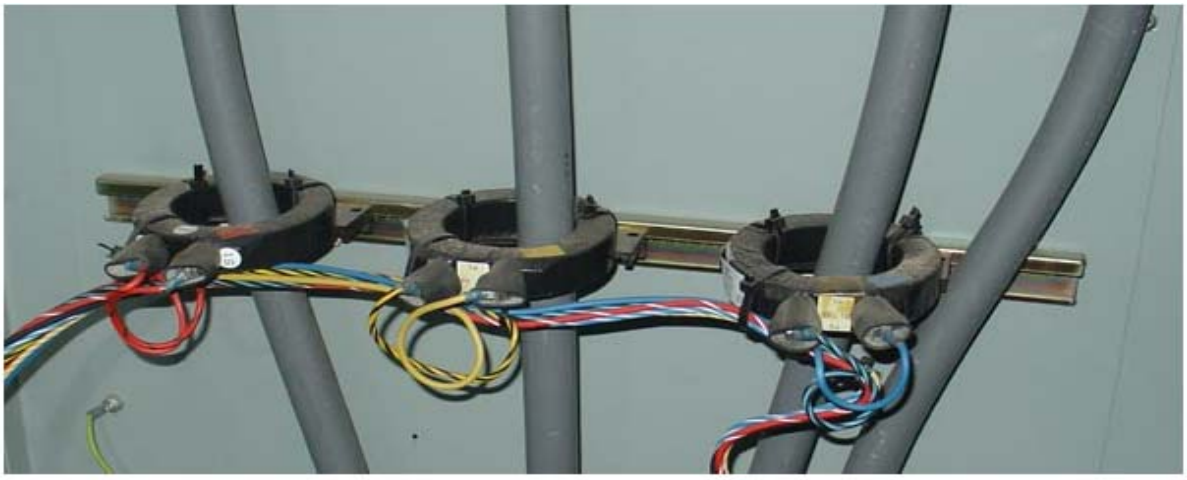
## 5.1 Мерни трансформатори

Мерни трансформатори се примењују уз инструменте за мерење са циљем да се смањи напон или јачина струје посто би непосредним мерењем било опасно , а инструменти гломазни и скупи због јаке изолације и великих пресека при великим јачинама струје . Постоје напонски и струјни мерни Трансформатори. [3]

- Напонски мерни трансформатор
- Струјни мерни трансформатор

### 5.1.1. Струјни трансформатори

Струјни трансформатор је тип трансформатора који се употребљава при мерењу струја великих вредности које би иначе било тешко мерити неком директном методом као и за релејну заштиту. Однос примарне и секундарне струје приближно је обрнуто сразмеран односу броја примарних и секундарних навојака. Номинална вредност секундарне струје је стандардизована и износи 5A за струјне трансформаторе за мерење и 5A или 1A за струјне трансформаторе за релејну заштиту. Номинална вредност примарне струје зависи од места примене струјног трансформатора и може да узима вредност од 1A до пар хиљада ампера. Стандардизоване вредности назначене примарне струје су 5A, 10A, 15A, 20A, 25A, 30A, 40A, 50A, 60A, 75A и децимални умношци наведених. Производе се и високонапонски струјни трансформатори чија је вредност назначене примарне струје и мања од 5A и то ради одвајања високог напона од мерних уређаја.Разликујемо струјне трансформаторе за ниски напон и струјне трансформаторе за више напонске нивое. Сем тога разликујемо струјне трансформаторе за мерење и струјне трансформаторе за релејну заштиту (који напајају уређаје релејне заштите).



Слика 24. Струјни мерни трансформатор [5]

## Класа тачности струјних мерних трансформатора

Грешке код струјних мерних трансформатора се деле на струјне и угаоне. Струјна грешка представља процентуалну разлику између примарне струје и секундарне струје помножене константом струјног трансформатора. По вредности ова грешка може бити позитивна и негативна, али се у принципу даје њена апсолутна вредност. Угаона грешка представља разлику фазних углова примарне и секундарне струје. Класа тачности струјног трансформатора јесте дозвољена струјна грешка при номиналној струји примара. Тако нпр. кад се каже да је струјни трансформатор класе тачности 0.5%, то значи да је при номиналној примарној струји максимално дозвољена грешка од 0.5%. Ако је пак примарна струја мања од номиналне, или већа преко 120% номиналне, струјна грешка може бити и већа. Тако се нпр. за струјни трансформатор класе тачности 0.5 дозвољава грешка од 0.75% уколико је струја примара 20% номиналне, и 1% уколико је струја примара 10% номиналне. Ништа се не гарантује за случај примарне струје испод 10% номиналне (назначене) вредности, те се о овоме мора водити рачуна приликом избора струјног трансфоорматора. Грешка струјног трансформатора зависи и од оптерећења које стварају мерни, показни и заштитни уређаји везани на секундар овог уређаја. Уколико је оптерећење мање од номиналног (назначеног на плочици струјног трансформатора), струјна грешка може бити и већа од назначене класе тачности. По IEC прописима струјна грешка мора бити у граници класе тачности за оптерећења на секундару од 1/4 до 4/4 називне (назначене) снаге струјног трансформатора. О овоме треба водити рачуна приликом избора струјног трансформатора, јер новија дигитална мерна и заштитна опрема има значајно мању потрошњу и активне и реактивне енергије од старије електромеханичке и електронске опреме. Осим тога тачност зависи и од фактора снаге оптерећења секундара, важи до $\cos\varphi$=0.8.Вредности класе тачности струјног трансформатора су стандардизоване и могу имати следеће вредности: 0.1, 0.2, 0.5, 1 и 3%.Наведене класе тачности струјног трансформатора односиле су се на струјне трансформаторе за мерење.

Струјни трансформатори који служе за релејну заштиту имају другачији систем обиљежавања.Потребно је напоменути да се ови струјни трансформатори могу извести као



Слика 25. Високонапонског струјног трансформатора sa напоне до 110 kV [5]

## 5.1.2.Напонски мерни трансформатор

Напонски трансформатор је тип трансформатора за мерење. Користи се када је потребно измерити високенапоне које би било тешко измерити директном методом, тј. ако би такви уређаји и постојали, они би били веома гломазни и скупи. Употребом напонских трансформатора високи напонски нивои се трансформишу на вредности које омогућавају употребу стандардних мерних инструмената и релеја. Тиме се такође постиже и безбеднији рад особља. Напонски трансформатори су дизајнирани да имају тачан преносни однос да прецизно снизе напон тако да се може мерити на безбедном напону (типично 100 V). Дизајнирани су тако да представљају незнатно оптерећење напону који се мери.

## Конструкција

Намотаји мерних трансформатора најчешће су од бакарне жице извучене од електролитског бакра коме је чистоћа најмање 99.9%. Бакарне жице округлог пресека су изоловане лаком на бази синтетичких смола. Осим лакираних жица употребљавају се жице са једним слојем предива од свиле; оваква изолација се користи кад се мора постићи мала капацитивност намотаја да би се могао употребити за високе фреквенције.

Према врсти употребљене изолације између намотаја, разликују се:

- суви (до 145 kV)
- малоуљни за све напоне
- уљни
- са гасом $SF_6$

Према извођењу разликују се два основна типа напонских трансформатора:

- двополно изоловани напонски трансформатори
- једнополно изоловани напонски трансформаотори

Разлика између ова два напонска мерна трансформатора је то што двополно изоловани напонски трансформатор има два високонапонска прикључка која су изолована од суда трансформатора, а једнополно изоловани напонски трансформатори имају један високонапонски прикључак, док се други крај уземљује.За средње напоне, до 38 kV употребљавају се једнополни или двополни изоловани суви (изолатор је епоксидна смола) или малоуљни напонски мерни трансформатори. За високе напоне од 110 kV и више напонски трансформатори се израђују искључиво као једнополно изоловани, јер је за ове напоне знатно јевтиније употребити три једнополно изолована него два двополно изолована трансформатора.

## Класа тачности и грешке

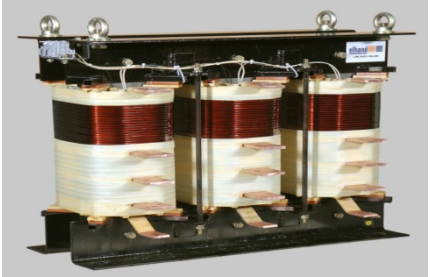
Класа тачности напонског трансформатора је у директној вези са напонском и угаоном грешком. Ако се напон на крајевима трансформатора мења у границама од 0,8 $Un$ до 1,2 $Un$, онда је класа тачности једнака грешки трансформатора у процентима. Важећи међународни стандарни допуштају класе тачности: 0,1; 0,2; 0,5; 1 и 3. Под напонском грешком δU се подразумева процентуална разлика између сведеног секундарног напона $U_1''$=-{$k_u U''$ и примарног напона $U'$

$$u = \frac{k_u U'' - U'}{U'} \cdot 100\ \% \qquad (34)$$

Угаона грешка ($\Delta n$) је одступање секундарног напона од примарног, мерено у минутима лука. Угаона грешка је последица пада напона, па примарни и секундарни напон нису у потпуној опозицији, већ се разликују.

## 5.2. Аутотрансформатор

Аутотрансформатор има само један намотај, који има изведен контакт. Наизменични или пулсирајући напон се доводи кроз део намотаја, а виши (или нижи) напон се ствара на другом делу истог намотаја. Док у теорији раздвојени делови намотаја могу бити коришћени и за улаз и излаз, у пракси се виши напон доводи на крајеве намотаја, док се нижи доводи на један крај и изведени контакт. На пример, трансформатор са изводом на средини намотаја може да користи 230 волти преко целог намотаја, а само 115 волти од извода до једног краја. Може се прикључити на напон од 230 волти да напаја опрему која захтева 115 волти или обрнуто. Како је исти намотај коришћен и за улаз и излаз, флукс у језгру је делимично поништен и мање језгро може бити коришћено. За односе напона који не прелазе 3:1, аутотрансформатор је јевтинији, лакши, мањи и ефикаснији него прави (двонамотајни) трансформатор истих карактеристика.У пракси, губици трансформатора доводе до тога да аутотрансформамтор није савршено реверзабилан; онај који је дизајниран за спуштање напона ће дати мало мањи напон него што је тражено од оног који је пројектован за дизање. Разлика је довољно мала да дозволи реверзилну употребу где тачан напонски ниво није критичан.



Слика 26. Аутотрансформатора [6]

# 6.Закључак

На основу свега приказаног у предходном тексту о трансформаторима, може се закључити да се избор трансформатора никако не врши само према једном параметру .

Његов основни дизајн, материјали и принципи су се мало променили у последњих сто година, али опет, дизајн трансформатора и материјали настављају да се унапређују.

Трансформатори долазе у распону од малих трансформатора сакривених у микрофонима до џиновских трансформатора снаге гигавата који се користе за повежу велике делове националних мрежа, али сви раде на истим основним принципима и са великим сличностима у деловима

Трансформатор се одржавају чистим повременим ваздухом под притиском чисти од прашине јер прљавштина омета хлађење, а промаја за хлађење треба да облива цео трансформатор да би га довољно хладили иначе се трансформатор прегрејава

Постоје три врсте заштите трансформатора и то: унутања од преоптерећења, спољна од унутарњег квара , и преднапона , а сами узроци квара су најчешће: површинско пражњење-напонски прескок преко прљавих проводника, вода у уљу трансформатора, низак ниво уља у трансформатору, лоше уље услед запрљаности, слаби спојеви због лошег лемљења се загревају и прегоре, недовољна или неповољна слојна изолација, која могу изазвати напонски пробој.

Упоредно са развојем друштва, развијају се и развиће се и даље нови трансформатори који ће имати задатак да премаше караткеристике предходних. Сигурно је да ће неки од трансформатора који се данас користе и без којих је незамисливо пренос енергије, изаћи из употребе и њих ће заменити знатно савременији трансформатори, који ће поправити њихова лоша својства и задржати добра.

# 7.Литература

[1] Ђ. Калић, Трансформатори, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1991.

[2] Н. Николић : Електротехника , Научна књига , Београд 1989.

[3] Др. Јасна Радуловић – Електротехника са електроником, Машински факултет у Крагујевцу , 2011.

[4] http://sr.wikipedia.org/sr/ , јун 2012.

[5] http://dc385.4shared.com/doc/J-5H33N3, јун 2012.

[6] http://energetika.etfbl.net/elmasine/elmasine.html, јун 2012.