

 Технически университет – София

Електротехнически Факултет

 Катедра „Обща електротехника“

Презентация №

Трансформатори

дисциплина „Електротехника и електроника“

ОКС „Бакалавър“ от Учебен план за студентите на специалност

“Транспортна техника и технологии”, Професионално направление

5.5. “Транспорт, корабоплаване и авиация”



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции“*

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Съдържание

- Исторически сведения.
- Основни понятия. Видове трансформатори.
- Принцип на действие.
- Режими на работа
 - Режим на празен ход
 - Режим на натоварване
 - Опит на късо съединение
 - Външна характеристика на трансформатора
 - Паралелна работа на трансформаторите
 - К.П.Д.
- Литература



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



1 Исторически сведения.

Първите сведения за трансформаторите са от 1831г. когато английският физик М.Фарадей открива физическото явление електромагнитна индукция, което е в основата на принципа на действие на силовия трансформатор.

Първият патент на силов трансформатор получават през 1885г унгарските електротехници Karoly Zipernowsky, Miksa Deri и Otto Blathy. На фиг.1 е показан общият вид на първия патентован трансформатор.

През същата година американският учен Уйлям Стенли също разработва няколко конструкции силови трансформатори, които се използват за електрифициране на Грей Барингтон, щата Масачузес (фиг.2 и фиг.3).

Трябва да се отбележи, че първите силови трансформатори са с много големи загуби на празен ход.

В Република България началото на производството на силови трансформатори се счита 1928г., когато под ръководството на инж. Бешков се произвежда първият трансформатор с мощност 10 kVA за напрежение 7000/150 V.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!





Фиг.1 – първият патентован трансформатор



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд



Фиг.2

Трансформатор от 1886 г
САЩ



Фиг.3

Трансформатор от 1885 г – САЩ,
предложен от Уйлям Стенли.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”*

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

През 1937г. е конструиран трансформатор 320 кVA за напрежения 15/0,4 кV. През 1948г. е създадена фабрика “Елпром” и същата година е проектирана и конструирана трифазна трансформаторна група 3x1000кVA за напрежение 20кV.

Със създаването на първия електромашиностроителен завод в България (1950г.) на мястото на фабрика “Елпром”, възникват условия за усвояването на нови мощности силови трансформатори с мощност 31500 кVA за напрежения 110 кV.

За задоволяване потребностите на страната от силови трансформатори през 1965г. производството се поставя на научни основи. Създава се Институт по електроенергийна техника и в същото време се усвоява производството на трансформатори с мощност 180 000 кVA и напрежения до 220 кV. Конструират се и се произвеждат маслени и сухи трансформатори за страната и износ. В номенклатурата са включени повишаващи машинни трансформатори с регулиране на напрежението без възбуждане; повишаващи и понижаващи двунамотъчни и тринмотъчни трансформатори с регулиране на напрежението под товар и редица специални трансформатори за страната и износ.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

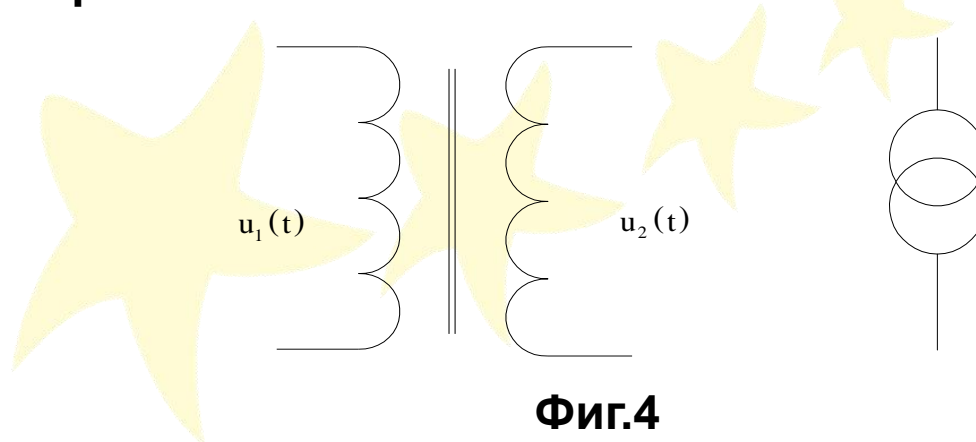
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Основни понятия. Видове трансформатори

Трансформаторът представлява статично електромагнитно устройство, действието на което се основава на явлението взаимна индукция. При трансформаторите енергията на променлив ток с едни параметри се преобразува в енергия на променлив ток с други параметри при една и съща честота. В електрическите схеми трансформаторите се означават със символите показани на фиг.4.



Трансформаторите имат две и повече намотки. Намотката, която е свързана с източника на енергия се нарича първична намотка. Намотките, които отдават енергия към товара се наричат вторични намотки.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



За създаване на силна магнитна връзка , т.е. за създаване на по-голям магнитен поток намотките на трансформатора се разполагат върху феромагнитен магнитопровод, който се изработва от електротехническа стомана.

Според броя на намотките трансформаторите биват двунамотъчни, тринмотъчни и многонамотъчни. Трансформатор с повече от една захранващи намотки се нарича трансформатор с разчленени намотки. Ако намотките на трансформатора са свързани галванично, така че имат обща част, трансформаторът се нарича автотрансформатор.

Трансформаторите биват с общо и специално предназначение. Силовите трансформатори с общо предназначение се използват за включване в мрежи, които не се отличават с особени условия на околната среда и режими на работа.

Към трансформаторите с общо предназначение спадат: машинни трансформатори, енергийни трансформатори, разпределителни трансформатори. Към трансформаторите със специално предназначение спадат: трансформатори за захранване на електрически пещи, тягови трансформатори, заварочни трансформатори, регулиращи , измервателни, съгласуващи и др.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



В зависимост от броя на фазите трансформаторите биват еднофазни и трифазни.

Ако напрежението на първичната намотка е по-голямо от напрежението на вторичната намотка, трансформаторът е понижаващ. В противен случай, трансформаторът е повишаващ.

Конструктивната схема на силовия трансформатор се състои от пет елемента:

а) магнитна система – състои се от магнитопровод и неактивна част. Магнитопроводът е затворен и служи за локализиране на основното магнитно поле. Всеки магнитопровод се състои от ядра и яреми. Върху ядрата се разполагат намотките на трансформатора. Яремите са всички останали участъци, които затварят магнитната система. Върху яремите не се монтират намотки. Формата на напречното сечение на ядрото може да бъде кръгла или правоъгълна. Пластините от които се изработва ядрото са от електротехническа студено валцована стомана и са подходящо подредени за да се получи желаната форма на сечението. Неактивната част включва елементи, които са предназначени за фиксиране на магнитопровода и укрепване на намотките, за намаляване на вибрациите и шума на трансформатора.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



б) електрическа система – състои се от токопровеждащи и изолационни конструкции. Към токопровеждащите конструкции се отнасят намотките, екраните, екраниращите пръстени и други. Към изолационните конструкции спадат всички видове диелектрици:

- твърд диелектрик - изолационен картон, хартия, гетинакс и порцелан;
- течен диелектрик – трансформаторно масло (от естествени продукти и синтетични масла);
- газов диелектрик – въздух и др.

в) охладителна система – служи за отвеждане на топлината, която възниква вследствие на загубите на енергия в трансформатора.

Основният елемент на охладителната система на маслените трансформатори е техният казан. В охладителната система се създава непрекъснат процес на маслена циркулация по затворени контури. При трансформатори с по-голяма мощност, охладителната система представлява казан с присъединени охладители (радиатори) и подходящи маслени помпи и вентилатори.

г) механична система – осигурява механична якост на цялата конструкция на трансформатора. Чрез нея трансформаторът може да се повдига и транспортира.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

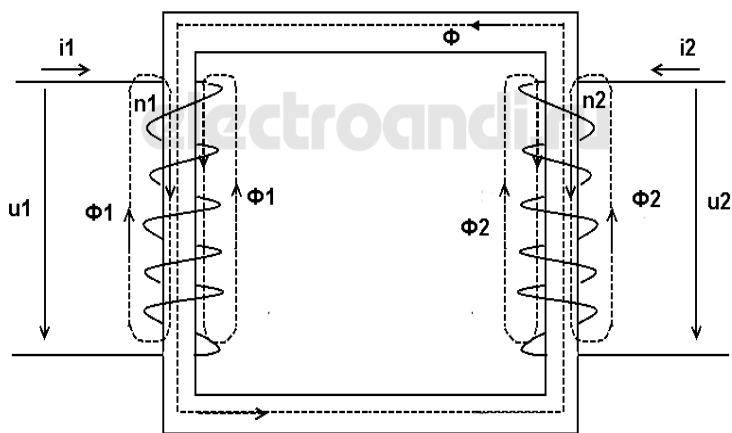
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



д) система от арматура и принадлежности –тази система гарантира сигурност , безупречна експлоатация и дълготрайност на трансформатора. Това са съоразения за защита на трансформаторното масло от окисляване, овлажняване и свръхналягане; контрол на температурата; защита на охладителната система и др.

3 Принцип на действие



Фиг.5

На фиг.5 е показана принципната схема на двунамотъчен еднофазен трансформатор. Когато първичната намотка се включи към напрежение u_1 , в нея протича ток i_1 . Този ток възбужда променлив магнитен поток Φ , който се обхваща и от двете намотки и индукира в тях е.д.н. от вида:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (8.1)$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (8.2)$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Ако магнитният поток е синусоидален от вида $\Phi(t) = \Phi_m \sin \omega t$,

то и е.д.н. също са синусоидални:

$$e_1 = -\omega\Phi_{1m} \cos \omega t = E_{1m} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (8.3)$$

$$e_2 = -\omega\Phi_{2m} \cos \omega t = E_{2m} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (8.4)$$

където

$$\Phi_{1m} = w_1 \Phi_m$$

$$\Phi_{2m} = w_2 \Phi_m$$

Съответните ефективни стойности на електродвижещите напрежения в първичната и вторична страни са:

$$E_1 = 4,44fw_1\Phi_m \quad (8.5)$$

$$E_2 = 4,44fw_2\Phi_m \quad (8.6)$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Прието е отношението на е.д.н. на първичната и вторична намотки да се нарича коефициент на трансформация:

$$k_{TP} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (8.7)$$

Коефициентът на трансформация определя мащаба на преобразуване на напрежението.

Ако вторичната намотка се затвори към товар (консуматор) през нея протича ток i_2 . Така енергията на първичната намотка се предава на вторичната. Индуктираното е.д.н. в първичната намотка e_1 се противопоставя на изменението на основния магнитен поток създаден от тока i_1 . По фаза e_1 е приблизително противоположно на захранващото напрежение.

Токът във вторичната страна създава магнитен поток, който се противопоставя на основния поток (съгласно принципа на Ленц), т.е. вторичният ток се стреми да размагнити веригата (да намали основния магнитен поток който го създава).



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Това води до нарушаване на електрическото равновесие в първичната страна, т.е. токът i_1 нараства и то с толкова, че да поддържа равновесието на напреженията в първичната страна.

В зависимост от величините i_2 и u_2 на вторичната страна са възможни следните режими на работа на трансформатора:

- режим на празен ход (пр.х.);
- режим при натоварване ;
- опит на късо съединение (к.с.).

4 Режим на празен ход

Трансформаторът работи в режим на пр.х. когато първичната намотка е включена към синусоидално напрежение, а към вторичната страна не е включен товар (консуматор). Прието е токът и напрежението при този режим да се означават с i_{10} и u_{10} . Токът i_{10} има две съставки – реактивна i_{μ} и i_a активна. Реактивната съставка създава основния магнитен поток Φ . Той се разглежда като работен и поток на разсейване. Активната съставка на тока е свързана със загубите в стоманата (загуби от вихрови токове и хистерезис). Потокът на разсейване индуктира в първичната намотка е.д.н. от вида:



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

$$e_{\sigma} = -\frac{d\Psi_{\sigma}}{dt} = -L \frac{di_{\sigma}}{dt} \quad (8.8)$$

Прилага се втори закон на Кирхоф за първичната и вторична страни и се записва:

$$e_1 + e_{\sigma} = R_1 i_{10} - u_1 \quad (8.9)$$

$$u_{20} = e_2 \quad (8.10)$$

В комплексен вид системата уравнения се записва така:

$$\dot{U}_1 = -E_1 + R_1 \dot{I}_{10} + j\omega L_1 \quad (8.11)$$

$$\dot{U}_{20} = \dot{E}_2 \quad (8.12)$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

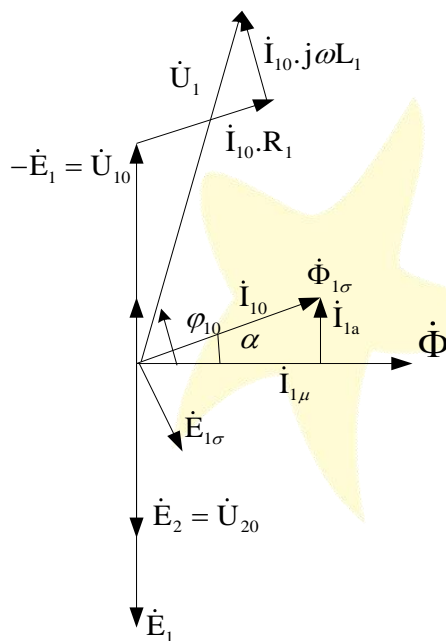
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Векторната диаграма за трансформатор в режим на празен ход има вида показан на фиг.6: за базисен вектор е избран векторът на магнитния поток. Токът i_{10} изпреварва потока на ъгъл α . Този ъгъл зависи от загубите в магнитопровода. Е.д.н. \dot{E}_1 и \dot{E}_2 по фаза от $\dot{\Phi}$ на 90° .



Фиг.6

Магнитният поток на разсейване около първичната намотка $\Phi_{1\sigma}$ съвпада по фаза с тока на пр.х. Електродвижещото напрежение

$\dot{E}_{1\sigma}$ породено от потока на разсейване изостава по фаза от тока \dot{i}_{10} на ъгъл 90° . Приложеното напрежение се получава като векторна сума от $-\dot{E}_1$ и падовете на напреженията от активните $\dot{i}_a R_1$ и

реактивни $\dot{i}_{10} j\omega L$ съставки. При силовите трансформатори токът на пр.х. е от 1 до 5% от номиналния ток, което дава основание горните напрежителни падове да бъдат пренебрегнати.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

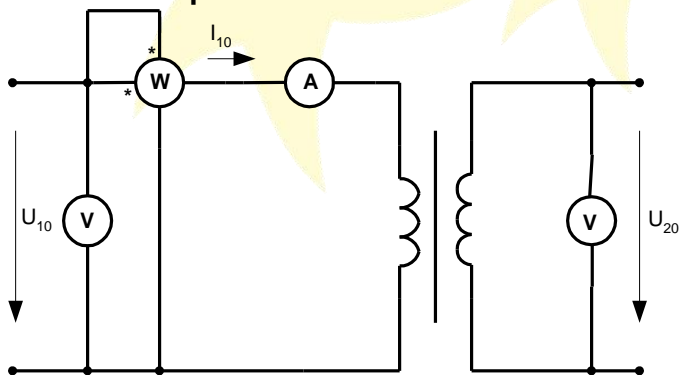
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



От това следва, че при пр.х. приложеното напрежение приблизително може да се уравни от индуктираното е.д.н., т.е. $\dot{U}_1 = -E_1$.

В режим на пр.х. трансформаторът консумира от източника активна енергия, която се превръща в топлина $P_{10} = I_{10}^2 \cdot R_1 \cdot W$ - една част в съпротивлението на първичната намотка и друга – в загуби в стоманата. **Т.к. векторът на приложеното напрежение и токът на пр.х. сключват ъгъл приблизително равен на 90° , то може да се каже, че трансформаторът при пр.х. представлява индуктивен товар за захранващия източник.**

От опита на празен ход могат да се определят загубите в магнитопровода на трансформатора . Тази мощност P_{CT} може да се измери по схемата показана на фиг.7.



Фиг.7

От показанието на ватметъра се определя $P_{10} = U_{10} I_{10} \cos \varphi_{10} = P_{M1} + P_{CT}$. Т.к. P_{M1} е сравнително малка величина, тя може да се пренебрегне.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Това е така, защото R_1 и I_{10} са много малки величини сравнени с номиналните стойности на трансформатора ($I_{10} \ll I_{1H}$).

Тогава, отчетената стойност от ватметъра ще бъде $P_{10} \approx p_{CT} = p_X + p_B$.

Това показва, че измерената стойност от ватметъра е свързана със загубите в стоманения феромагнитен магнитопровод (загуби от хистерезис и вихрови токове). Чрез тях могат да се определят ефективната стойност на намагнитващия ток, фактора на мощността и коефициента на трансформация при празен ход съответно чрез аналитичните изрази:

$$I_{\mu} = \sqrt{I_{10}^2 - \frac{P_{10}}{U_{10}^2}}; \cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{U_{10} \cdot I_{10}}; k_{TP} \approx \frac{U_{10}}{U_{20}}. \quad (8.13)$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

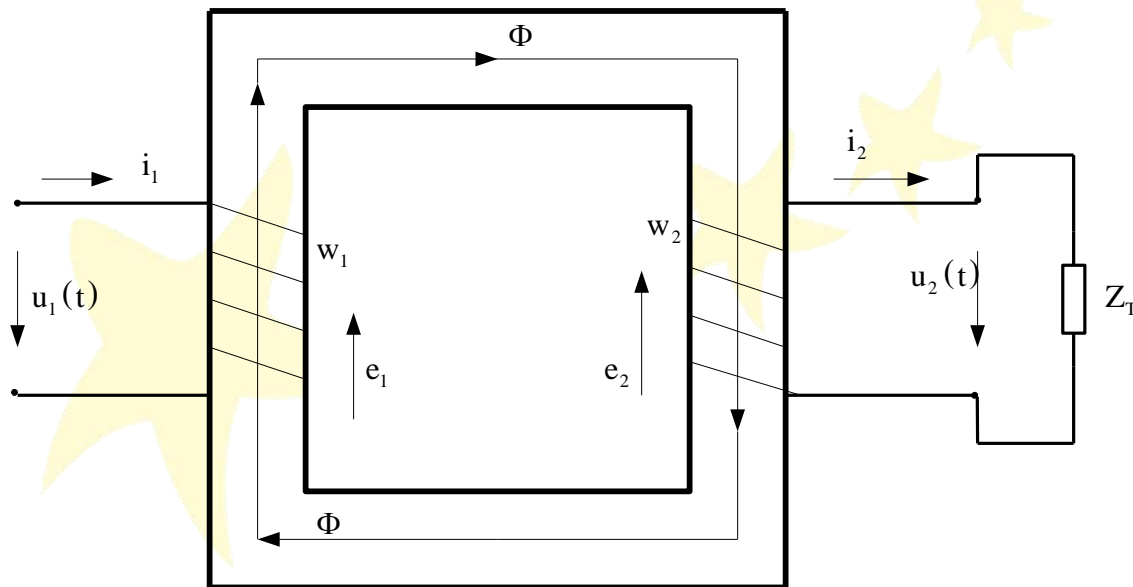
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



5 Режим при натоварване

Това е основният режим на работа на трансформатора. При него вторичната страна на трансформатора е включена към консуматор (товар) - фиг.8 .



Фиг.8



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Токът i_2 създава свое магнитно поле. Магнитният поток на това поле има две съставки: първата се затваря през феромагнитния магнитопровод, а втората – през въздуха. Частта, която се затваря през магнитопровода се противопоставя на основния магнитен поток. Резултантният магнитен поток във феромагнитния магнитопровод се създава от едновременното действие на магнитодвижещите напрежения на двете намотки. Този магнитен поток индуктира е.д.н. в двете намотки съответно e_1 и e_2 . Около двете намотки има потоци на разсейване, които индуктират е.д.н. на разсейване - $e_{1\sigma}$ и $e_{2\sigma}$. Съгласно втори закон на Кирхоф за схемата от фиг.8, за приложеното напрежение и напрежението на вторичната страна се извежда:

$$u_1 = R_1 \cdot i_1 - e_1 - e_{1\sigma} \quad (8.14)$$

$$u_2 = e_2 + e_{2\sigma} - R_2 \cdot i_2 \quad (8.15)$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

В комплексен вид горната система уравнения приема вида:

$$\dot{U}_1 = R_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 + j\omega L_1 \dot{I}_1 \quad (8.16)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - j\omega L_2 \dot{I}_2 - R_2 \dot{I}_2 \quad (8.17)$$

При силовите трансформатори съпротивленията на намотките R_1 и R_2 са малки величини, следователно и падовете на напреженията създадени от токовете по отношение на U_1 и U_2 са също пренебрежимо малки величини. Потоците на разсейване са много малки величини, следователно създадените е.д.н. на разсейване са пренебрежимо малки. При това, горната система придобива вида:

$$\dot{U}_1 \approx -\dot{E}_1 \quad (8.18)$$

$$\dot{U}_2 \approx \dot{E}_2 \quad (8.19)$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Това показва, че амплитудата на основния магнитен поток практически ще остава постоянна при изменение на натоварването. Обаче, основният магнитен поток е резултат от м.д.н. на двете намотки, т.е. от

$$\left(w_1 \cdot i_1 + w_2 \cdot i_2 \right) . \quad (8.20)$$

От тук следва, че м.д.н при пр.х. и при натоварване ще бъдат равни, т.е. ще е в сила равенството:

$$w_1 \dot{i}_{10} = w_1 \cdot i_1 + w_2 \cdot i_2 . \quad (8.21)$$

В комплексен вид уравнението на магнитното състояние приема вида:

$$w_1 \cdot \dot{I}_{10} = w_1 \cdot \dot{I}_1 + w_2 \cdot \dot{I}_2 . \quad (8.22)$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



От (8.22) може да се определи токът в първичната намотка при натоварване:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{10} + \left(-\frac{W_2}{W_1} \right) \cdot \dot{I}_2 = \dot{I}_{10} + \left(-\dot{I}'_2 \right). \quad (8.23)$$

От последният израз се вижда, че всяко изменение на тока \dot{I}_2 води до изменение на тока в първичната намотка и то така, че да компенсират размагнитващото действие на вторичната страна на трансформатора. Величината \dot{I}'_2 се нарича приведен вторичен ток на трансформатора.

В режим на натоварване, трансформаторът получава мощност от захранващият източник (обикновено електрическата мрежа), която се определя от израза:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cos \varphi_1. \quad (8.24)$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Трансформаторът включен към товар отдава мощност към консуматора от вида:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad (8.25)$$

При това мощността P_1 е равна на сумата от мощностите съответно P_2 и $P_{\text{заг}}$ - загуби в трансформатора.

Известно е, че загубите в трансформатора се разделят на постоянни и променливи загуби.

Постоянните загуби не зависят от натоварването на трансформатора и се обуславят от загубите в стоманата (ферромагнитния магнитопровод) от хистерезис и вихрови токове. Те се определят от големината на основния магнитен поток. На практика, често се приема, че загубите във ферромагнитния магнитопровод са равни на активната мощност, консумирана от трансформатора при празен ход.

Променливите загуби са свързани със загубите в проводниците на първичната и вторична намотки, които се изпълняват от мед или алуминий.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Те се определят така: $P_{Cu,Al} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 = P_e$

Тогава първичната мощност ще бъде:

$$P_1 = P_2 + P_{CT} + P_e$$

На практика загубите в намотките са приблизително равни на мощността на късо съединение. Това е така защото при опит на късо съединение напрежението на входа на трансформатора е значително по-ниско от номиналното (0,03 – 0,1) U_H . Намагнитващият ток е също много малък по стойност, следователно явленията свързани с него може да се пренебрегнат.

Мощността P_2 се нарича изчислителна мощност.

Ясна представа за режима на натоварване на трансформатора може да се получи от неговите работни характеристики – $U_2(I_2)$; фактора на мощността $\cos\varphi_1$ и коефициента на полезно действие η от натоварването при константни захранващо напрежение, $\cos\varphi_2$ и честота f .



Европейски съюз

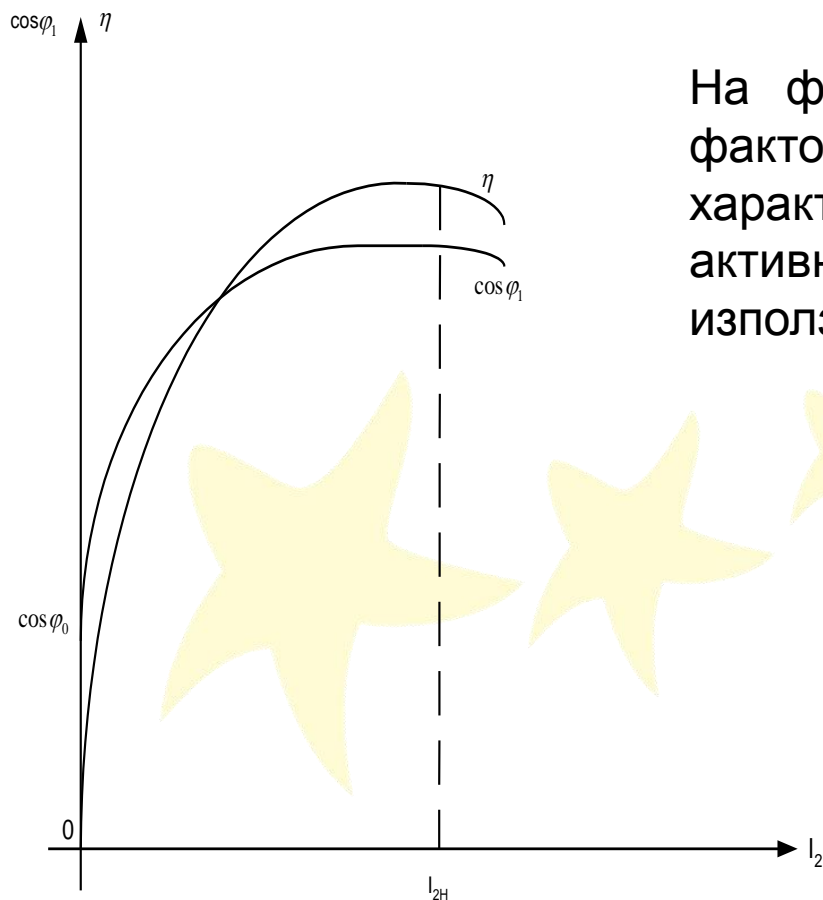
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд



На фиг.9 е показана зависимостта на фактора на мощността $\cos \varphi_1 = f(I_2)$, която характеризира съотношението между активната и реактивната енергия, използвани в трансформатора.

При отсъствие на товар, т.е. при празен ход, трансформаторът получава от мрежата индуктивна реактивна енергия, което се явява нерентабилно натоварване на електропровода. С увеличаване на натоварването, факторът на мощността нараства (реактивната мощност остава постоянна).

Фиг.9



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



За да работи трансформаторът при благоприятно съотношение между активната и реактивна енергия, той трябва да е добре натоварен. Практиката показва, че при $0,8I_H$ се постигат сравнително добри резултати.

Коефициентът на полезно действие на трансформатора при оптимален товар достига до 95 – 98 %. Той представлява отношение на полезната (изчислителна) мощност P_2 към първичната мощност, т.е.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{CT} + P_e} \quad (8.26)$$

Вижда се, че коефициентът на полезно действие достига максималната си стойност при равенство на постоянните и променливите загуби, т.е. при $P_{CT} = P_e$. При увеличаване на активното натоварване факторът на мощността и коефициентът на полезно действие също нарастват. Това е твърде важен и съществен факт, който трябва да се има предвид при избора на трансформатора по мощност с цел по-икономичен режим на работа.



Европейски съюз

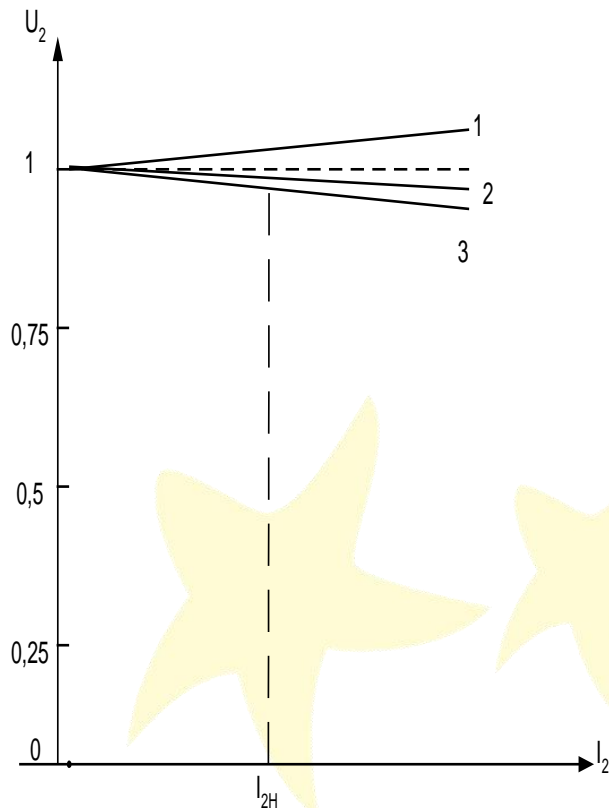
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд



На фиг.10 е показана зависимостта на вторичното напрежение от натоварването. Прието е тази характеристика да се нарича **външна характеристика на трансформатора**. Тя дава представа за това, как се изменя напрежението на трансформатора от натоварването. Крива 1 е при капацитивен товар; крива 3 при индуктивен, а крива 2 – съответно при активен товар или при $\cos\varphi_1=1$.

Фиг.10



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Процентното изменение на вторичното напрежение се определя от следното отношение:

$$\Delta U_2 = \frac{U_{20} - U_{2H}}{U_{20}} 100 \quad (8.27).$$

Наличието на активни и индуктивни съпротивления на първичната и вторична намотки на трансформатора обуславят появата на напрежителни падове в тях и промяна на вторичното напрежение при натоварване. Изменението на вторичното напрежение може да се определи експериментално.

Колебанието на електропреносната мрежа влияе неблагоприятно върху работата на товара (консуматора). Това явление се компенсира чрез регулиране на напрежението на първичната страна на трансформатора, т.е. чрез промяна на коефициента на трансформация.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

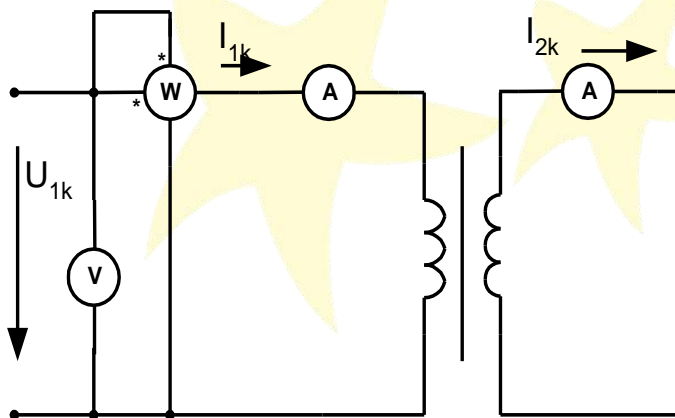
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



6 **Опит на късо съединение (к.с.)**

Той се извършва при съединение на изводите на вторичната страна непосредствено един с друг. В практиката е прието този опит да се нарича “изкуствен” опит на късо съединение. При него на входа на трансформатора се подава такава стойност на захранващото напрежение (много по-малка от номиналното напрежение) при която в намотките протичат токове с номинална стойност. Така трансформаторът няма да се повреди. На фиг.11 е показана схема при опит на късо съединение. От опитана к.с. може да се получи полезна информация за загубите на трансформатора. Приема



се, че цялата консумирана мощност покрива електрическите загуби при късо съединение, т.к. при този опит, магнитният поток във феромагнитния поток е много малък и съответните магнитни загуби са пренебрежимо малки.

Фиг.11



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

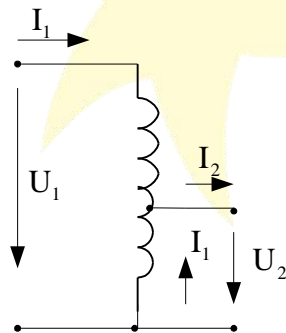
Освен това, при опит на к.с. се определя важната за силовия трансформатор характеристика “напрежение на к.с.” На практика, това е напрежението на първичната страна на трансформатора когато през намотките протичат номинални токове, а вторичната страна е дадена на късо. Напрежението на к.с. се дава най-често в относителни единици –

$$u_k = \frac{U_{1k}}{U_{1H}} \cdot 100 \% .$$

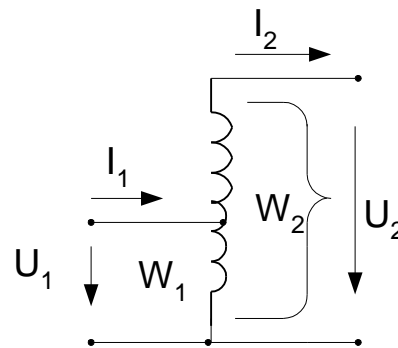
Неговата стойност се отбелязва върху табелката на

трансформатора. В силовите трансформатори напрежението на к.с. е в

границите $u_k = 5 \div 15\%$. По-голямата стойност се отнася за трансформатори с по-голяма мощност и по-високи напрежения.



Фиг.12



Фиг.13



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



- равенство на номиналните линейни напрежения;
- да имат една и съща група на свързване;
- напреженията на к.с. да са еднакви(приблизително равни);
- да са равни вторичните им напрежения.

При неизпълнение на второто и последното условие, във вторичните намотки на паралелно работещите трансформатори протичат изравнителни токове, което води до неравномерно натоварване на трансформаторите. Практиката показва, че повече се натоварва трансформаторът с по-голямата стойност на вторичното напрежение.

Обикновено, при работа на трансформаторите в паралел, последните се избират с близки по мощност стойности. Ако паралелната група е с малък товар, за да се подобри коефициентът на полезно действие и $\cos\varphi$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд