

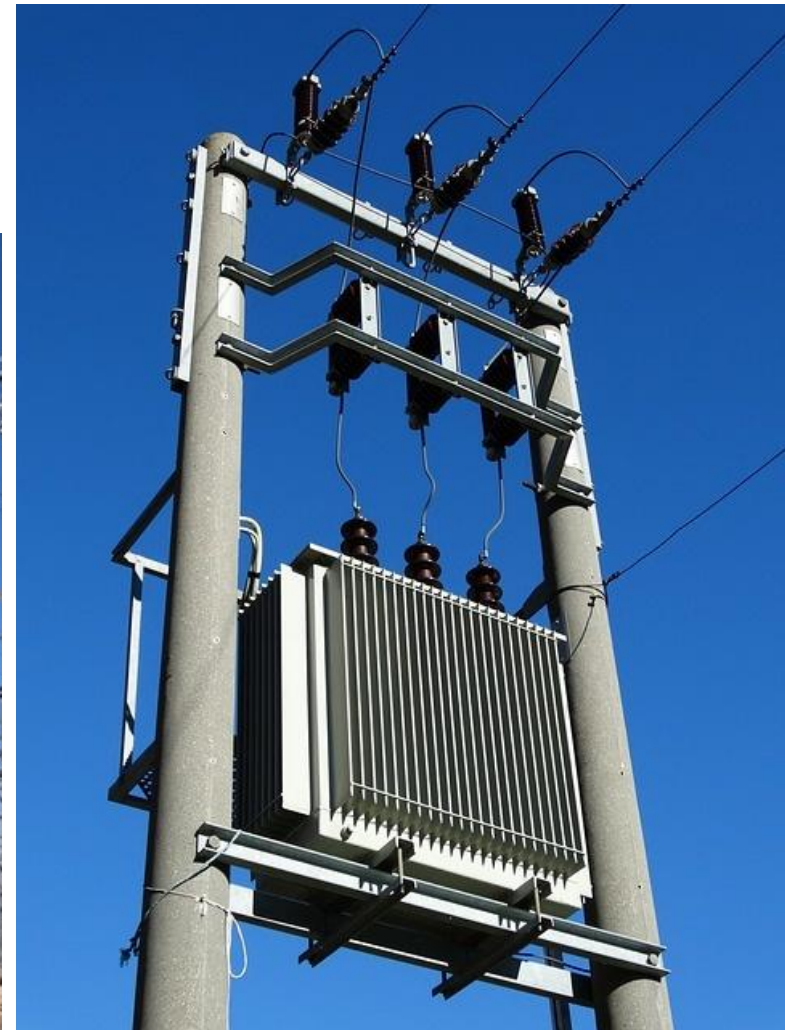
# **ЕМУ**

## **Електромеханични устройства**

**Емил Рачев**



# ТРАНСФОРМАТОРИ





# ТРАНСФОРМАТОРИ





# ТРАНСФОРМАТОРИ



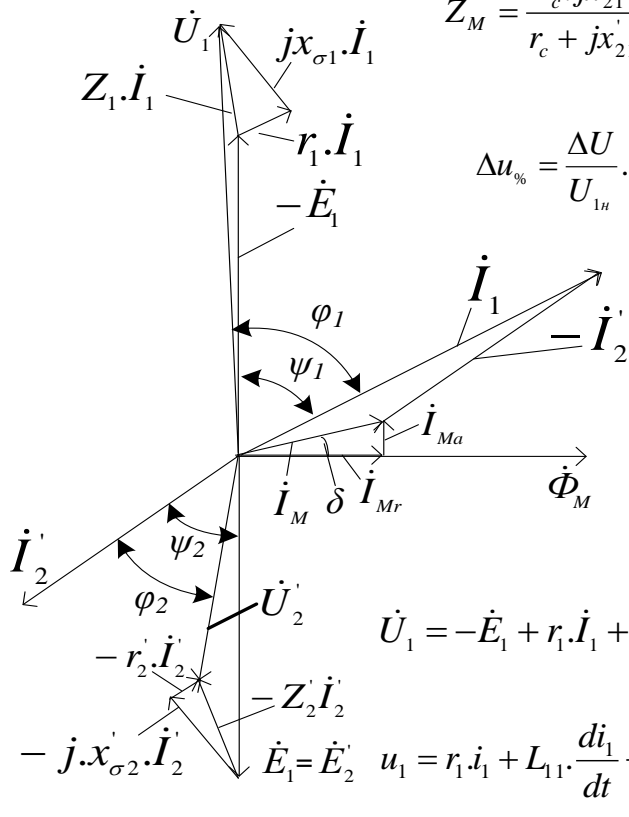
# ТРАНСФОРМАТОРИ

Трансформаторът представлява електромагнитно устройство с две или повече индуктивно свързани намотки, което преобразува една променливотокова система в друга променливотокова система.

Втората (вторична) променливотокова система може да се различава от първата (първична) по един или няколко параметъра: стойност на тока и (или) напрежението, брой на фазите, честота и др.

$$Z_M = \frac{r_c \cdot jx'_{21}}{r_c + jx'_{21}} = \frac{r_c \cdot x'_{21}}{r_c^2 + x_{21}^2} + \frac{r_c^2 \cdot x'_{21}}{r_c^2 + x_{21}^2} = r_{cM} + jx_M$$

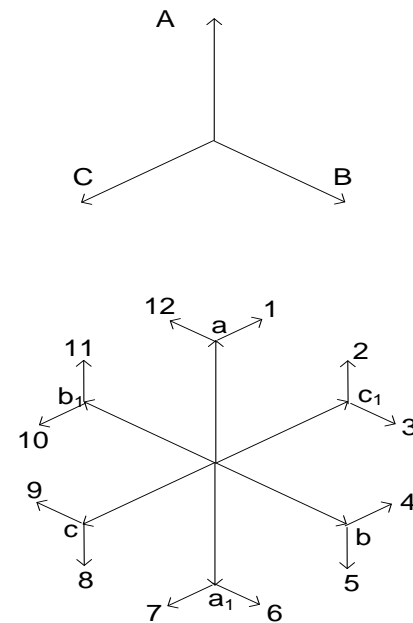
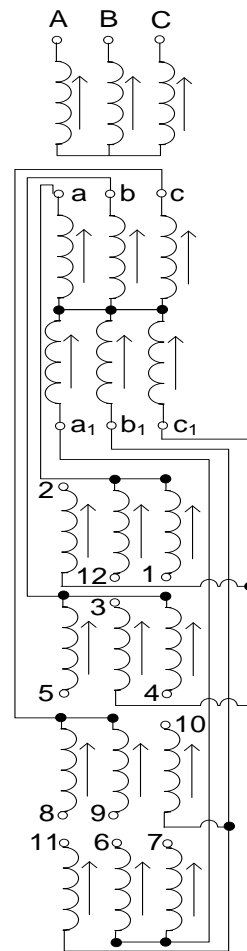
$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U}{U_{1H}} \cdot 100 = \frac{r_k I_1 \cos \varphi_2 + x_k I_1 \sin \varphi_2}{U_{1H}} \cdot 100$$



$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + r_1 \dot{I}_1 + jx_{1\sigma} \dot{I}_1$$

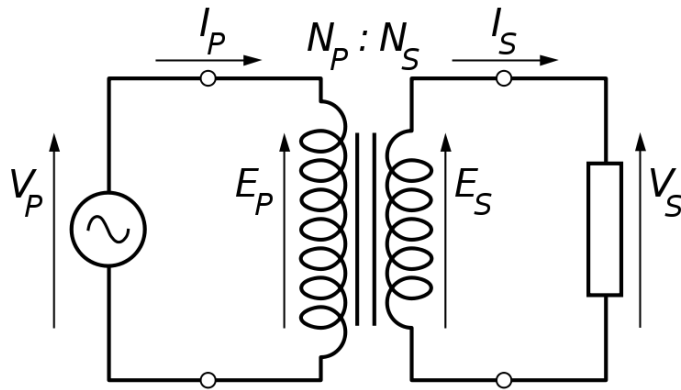
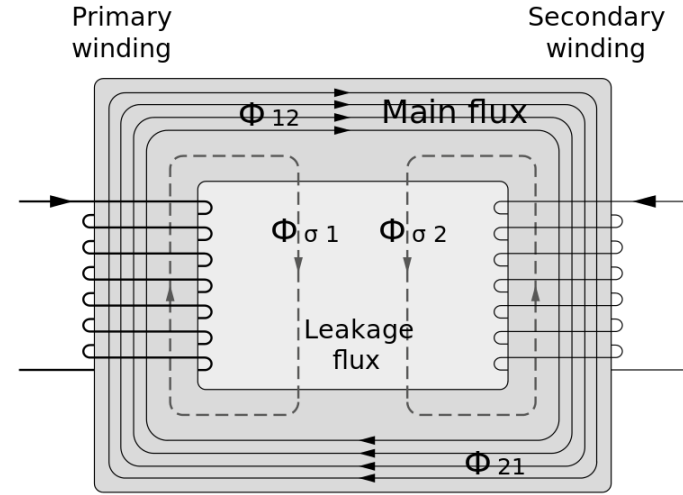
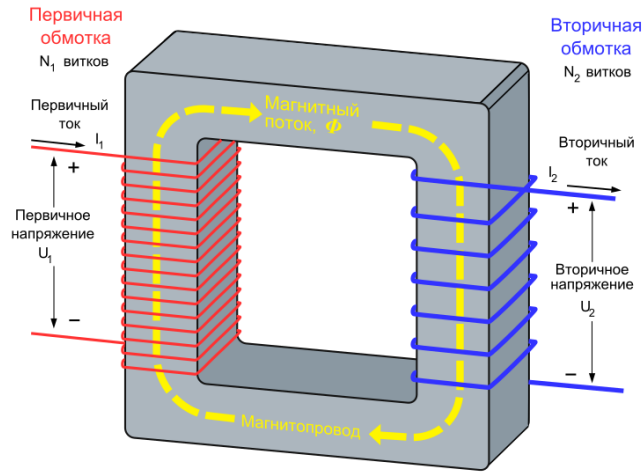
$$u_1 = r_1 \cdot i_1 + L_{11} \cdot \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_1 = \sqrt{2} \cdot \dot{U}_1 \cdot e^{j\omega t}$$

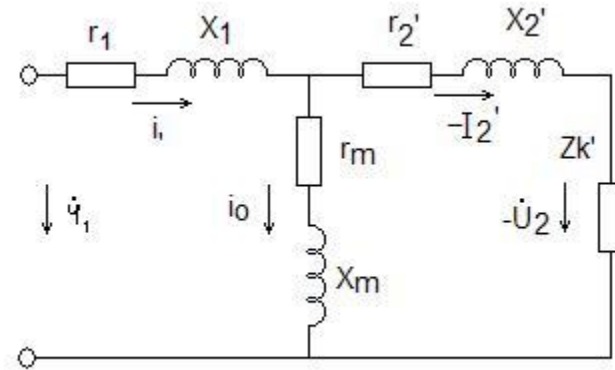


$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_{11} + \frac{x_{12}^2}{Z_{22} + Z_T}}$$

# ТРАНСФОРМАТОРИ

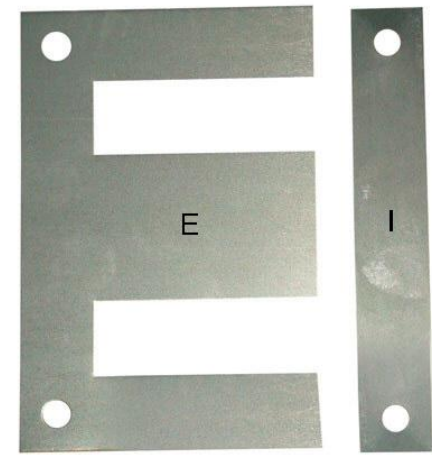
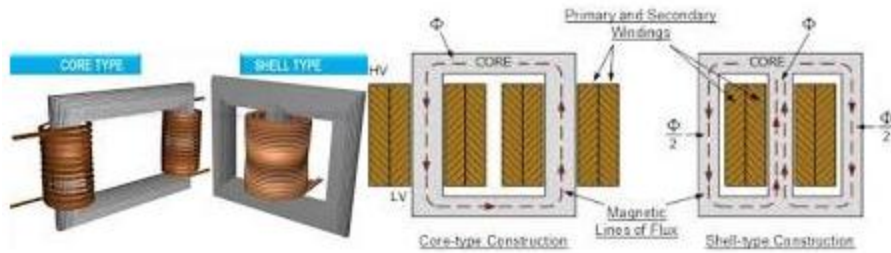
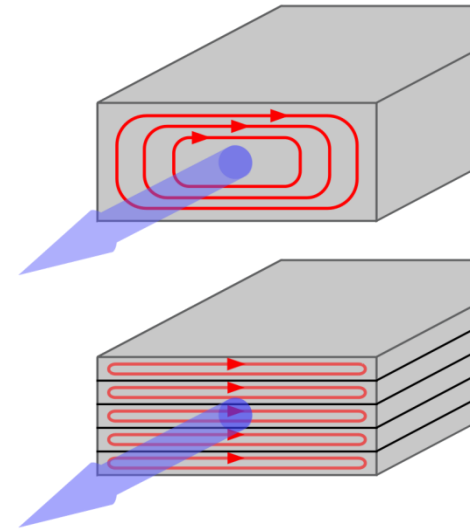
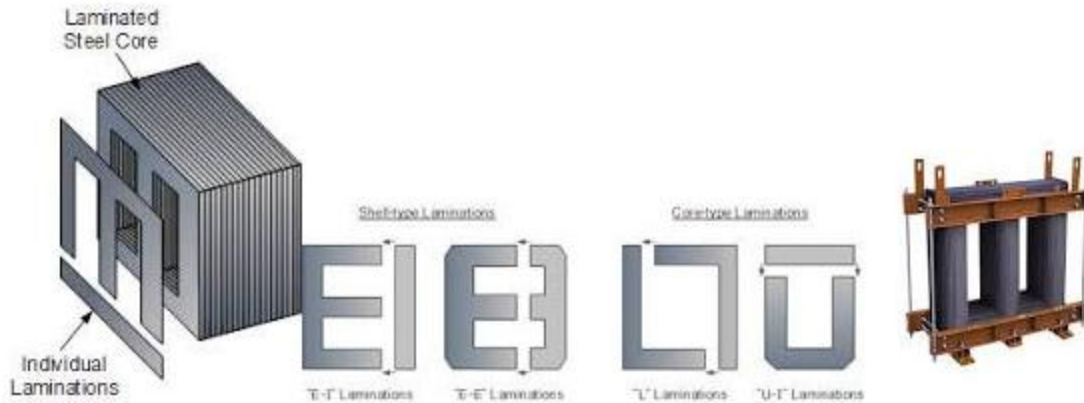


$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S}$$



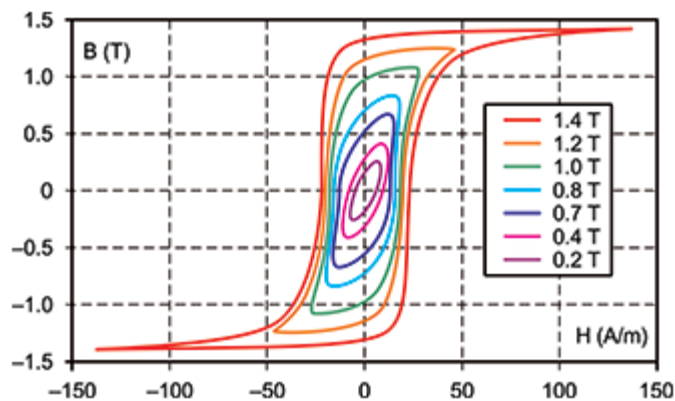
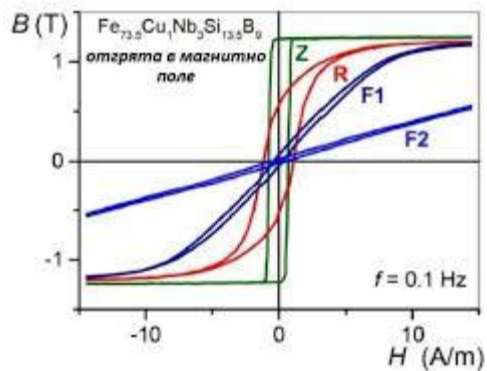
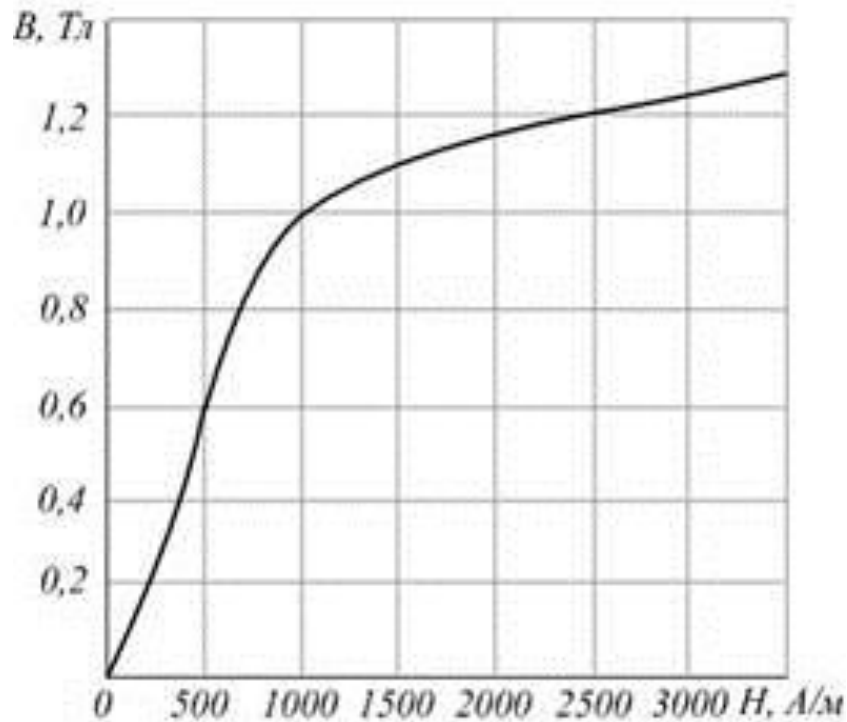
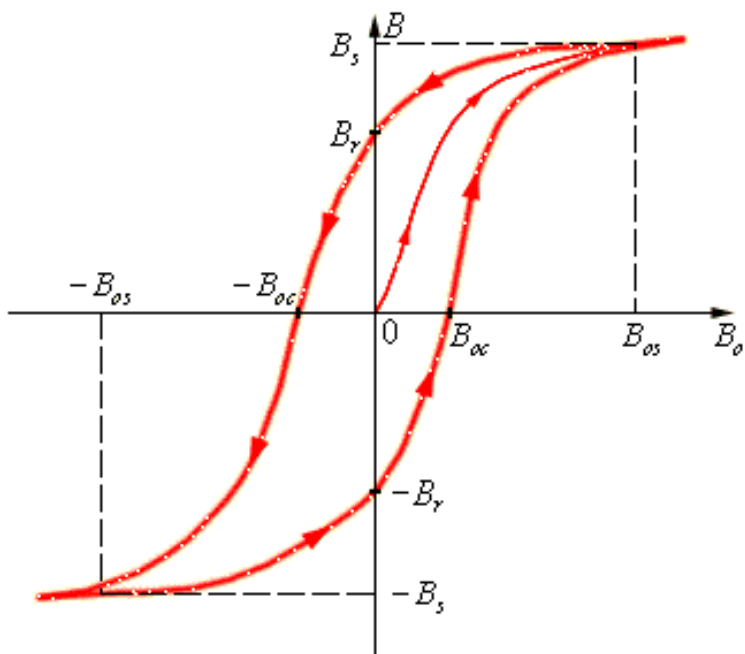


# ТРАНСФОРМАТОРИ

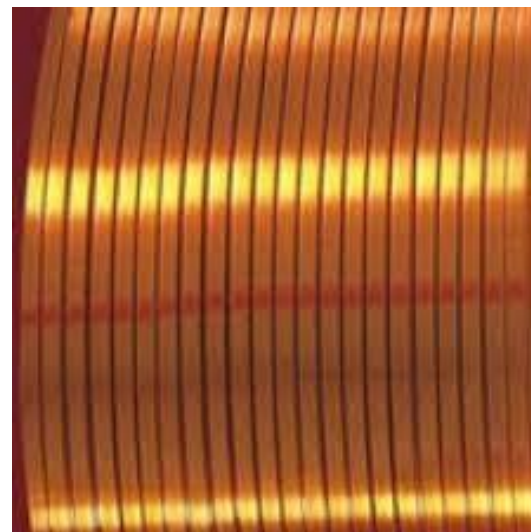


Typical EI Lamination Pair

# ХИСТЕРЕЗИС / Крива на първоначално намагнитване



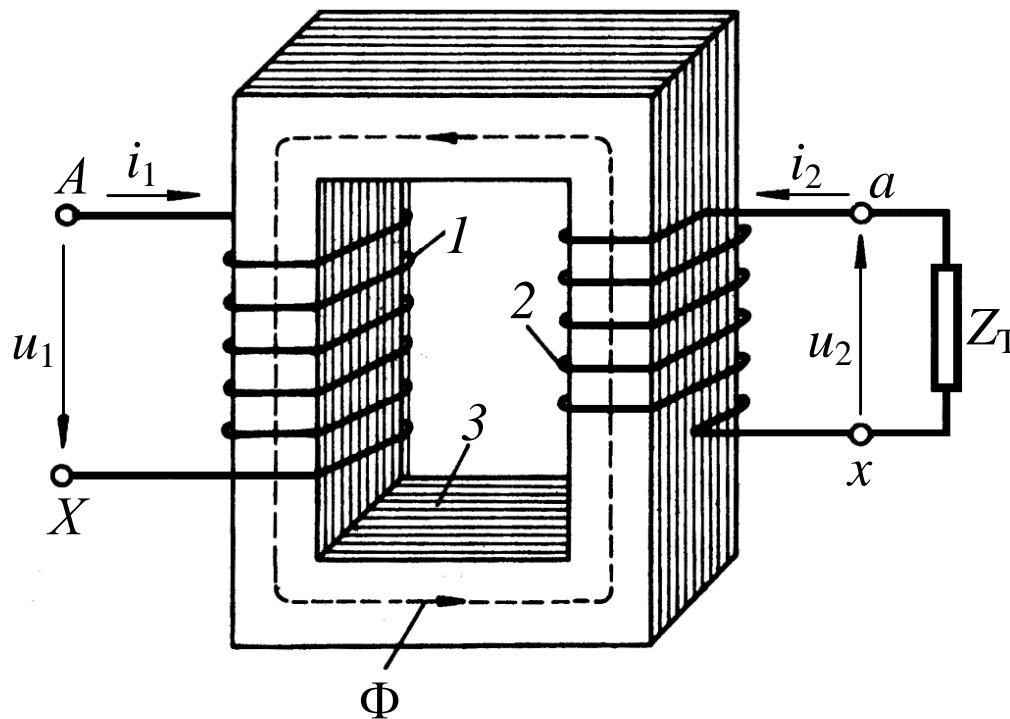
# ТРАНСФОРМАТОРИ



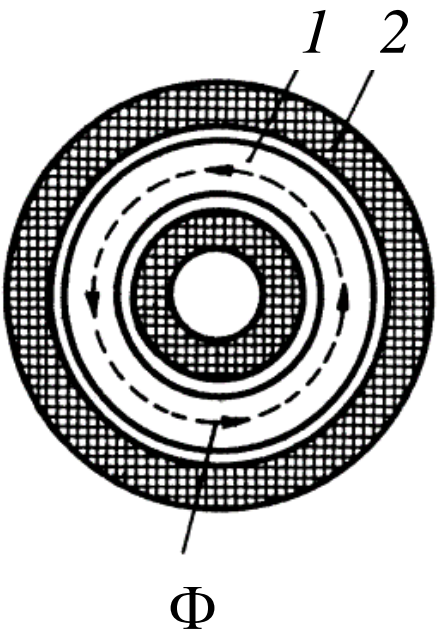
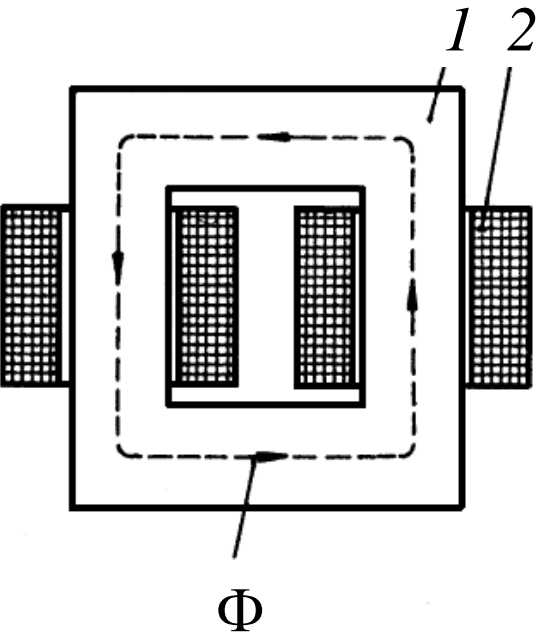
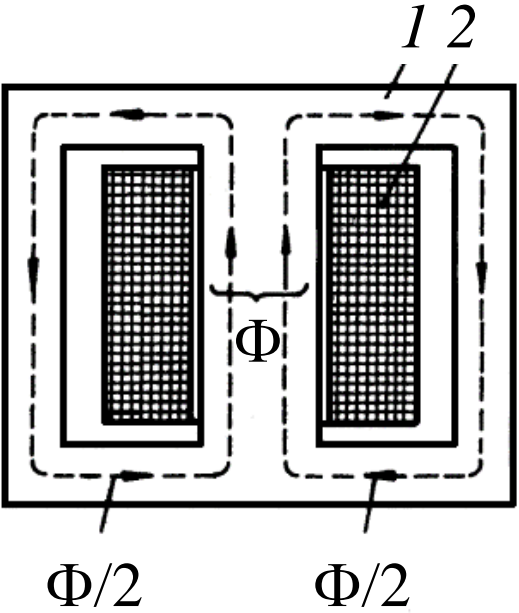
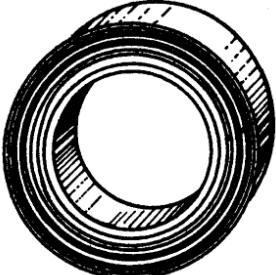
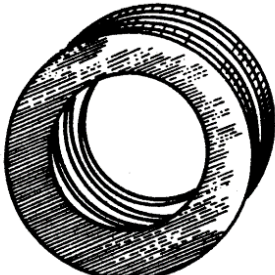
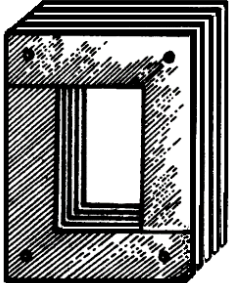
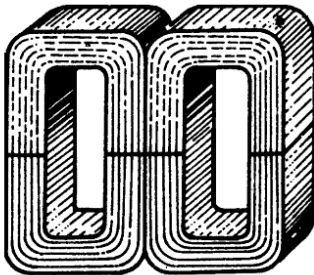
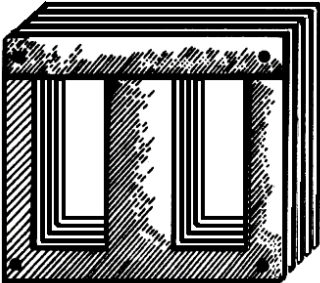
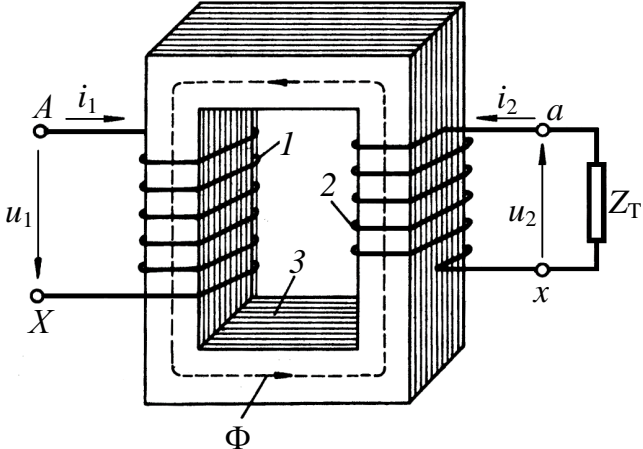


# Коефициент на трансформация

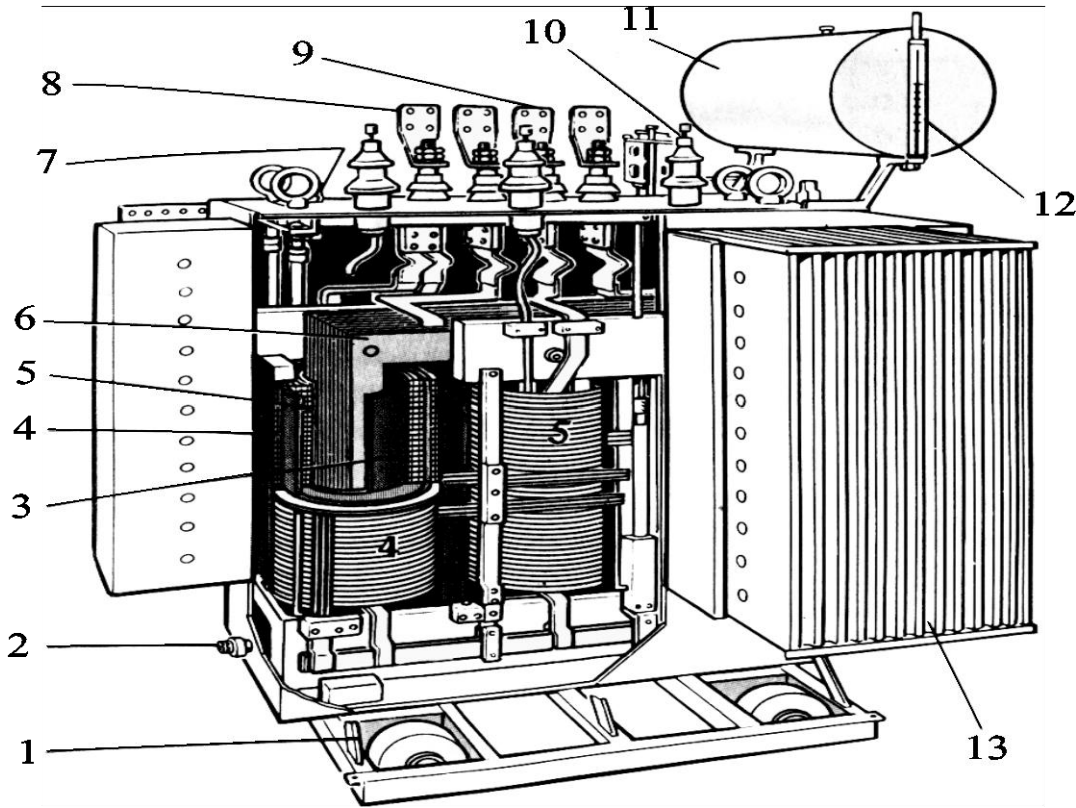
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = k \qquad \frac{I_2}{I_1} \approx \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{w_1}{w_2} = k$$



# Магнитопровод

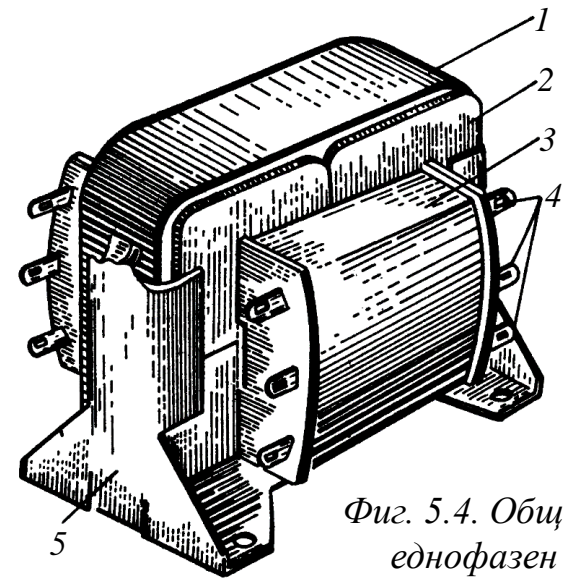


# Конструкция



Фиг. 5.5. Общ вид на трифазен маслен трансформатор:

1 – количка; 2 – заземителен болт; 3 – ядро; 4 – намотка ВН; 5 – намотка НН;  
6 – ярем; 7 – куки за повдигане; 8, 9 – изводи за НН; 10 – изводи за ВН;  
11 – разширител; 12 – маслоуказател; 13 – ребра за охлаждане

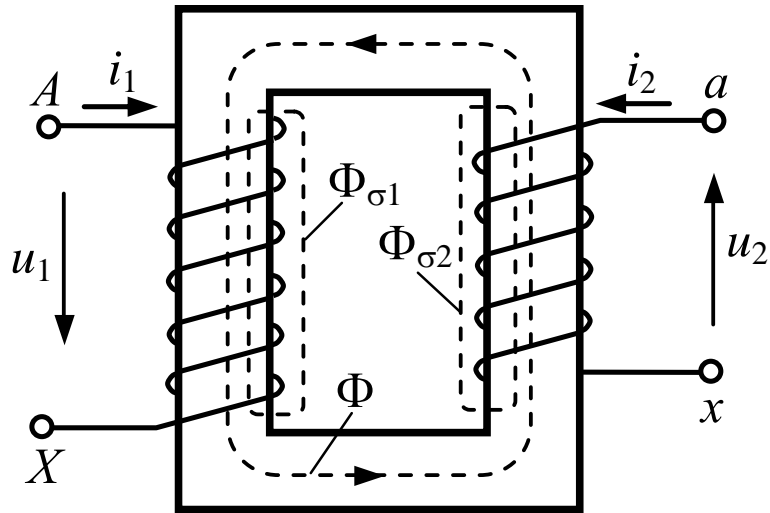


Фиг. 5.4. Общ вид на еднофазен сух трансформатор:

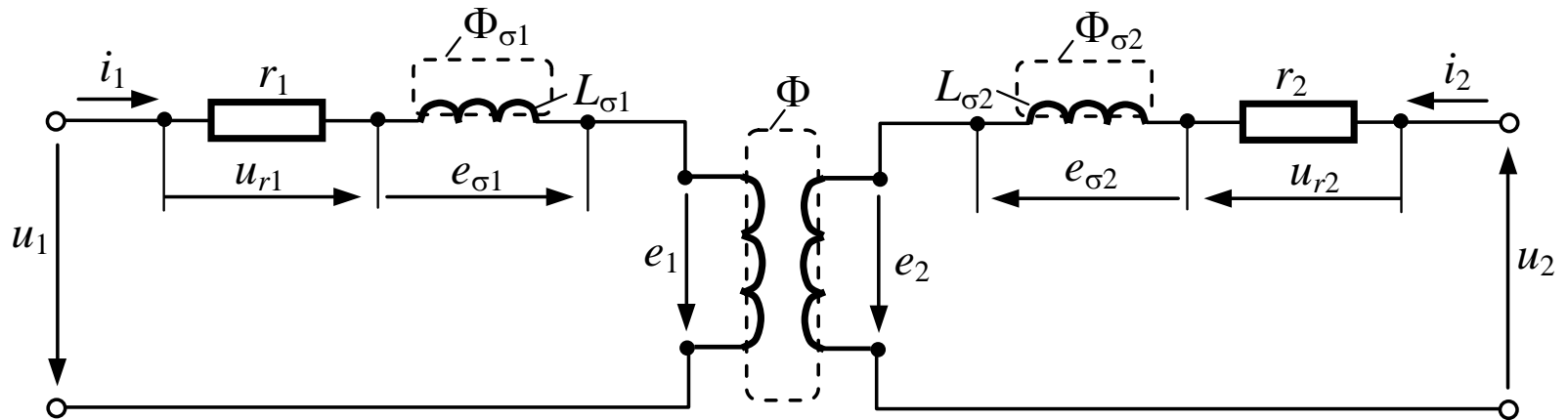
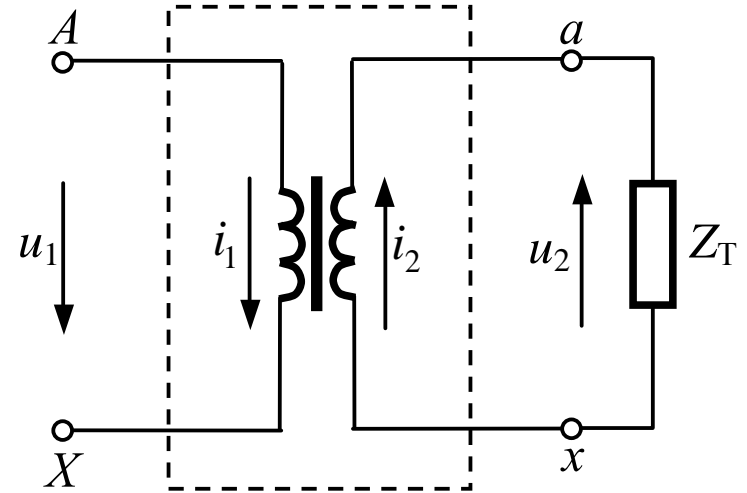
1 – скоба; 2 – магнитопровод; 3 – намотки; 4 – изводи; 5 – стойка



# Заместваща схема



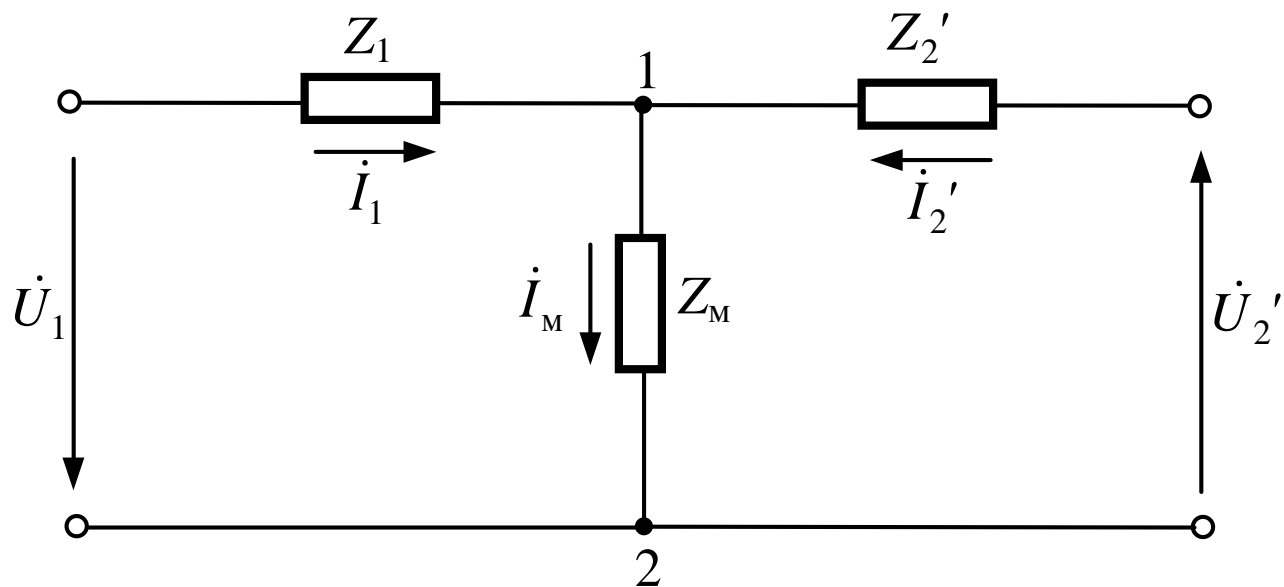
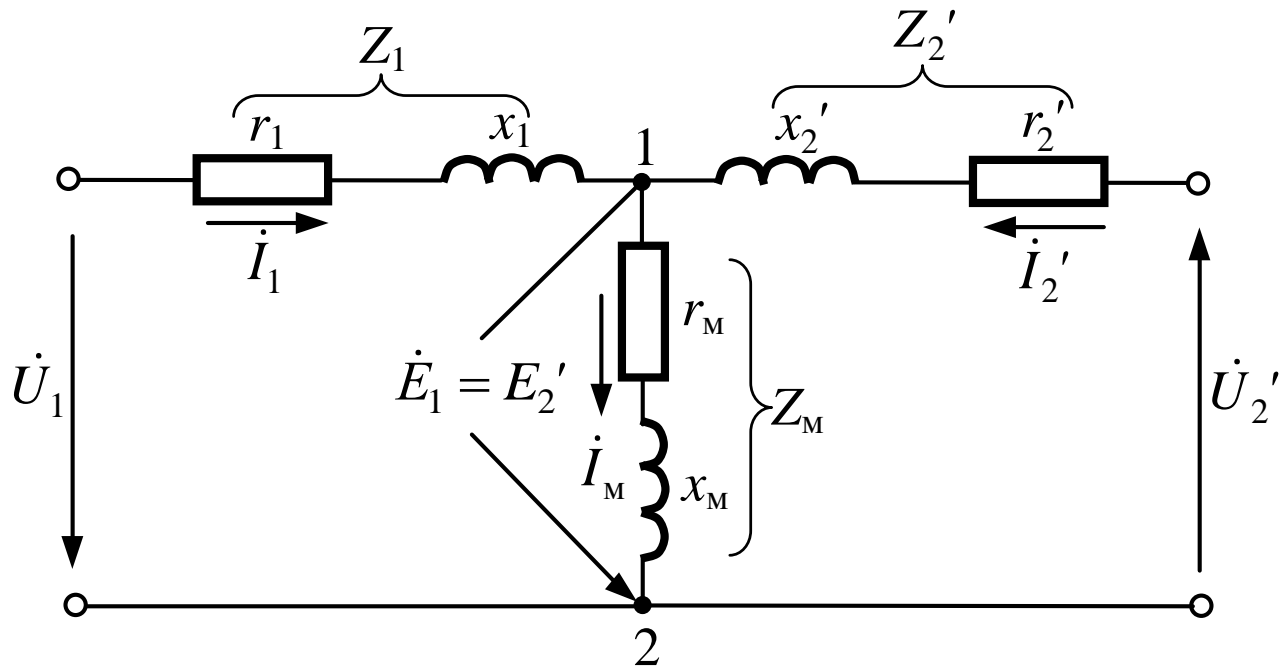
Фиг. 5.6. Принципна електромагнитна схема на еднофазен двунамотъчен трансформатор: а – електромагнитна схема; б – условна схема



Фиг. 5.7. Схематично представяне на еднофазен двунамотъчен трансформатор

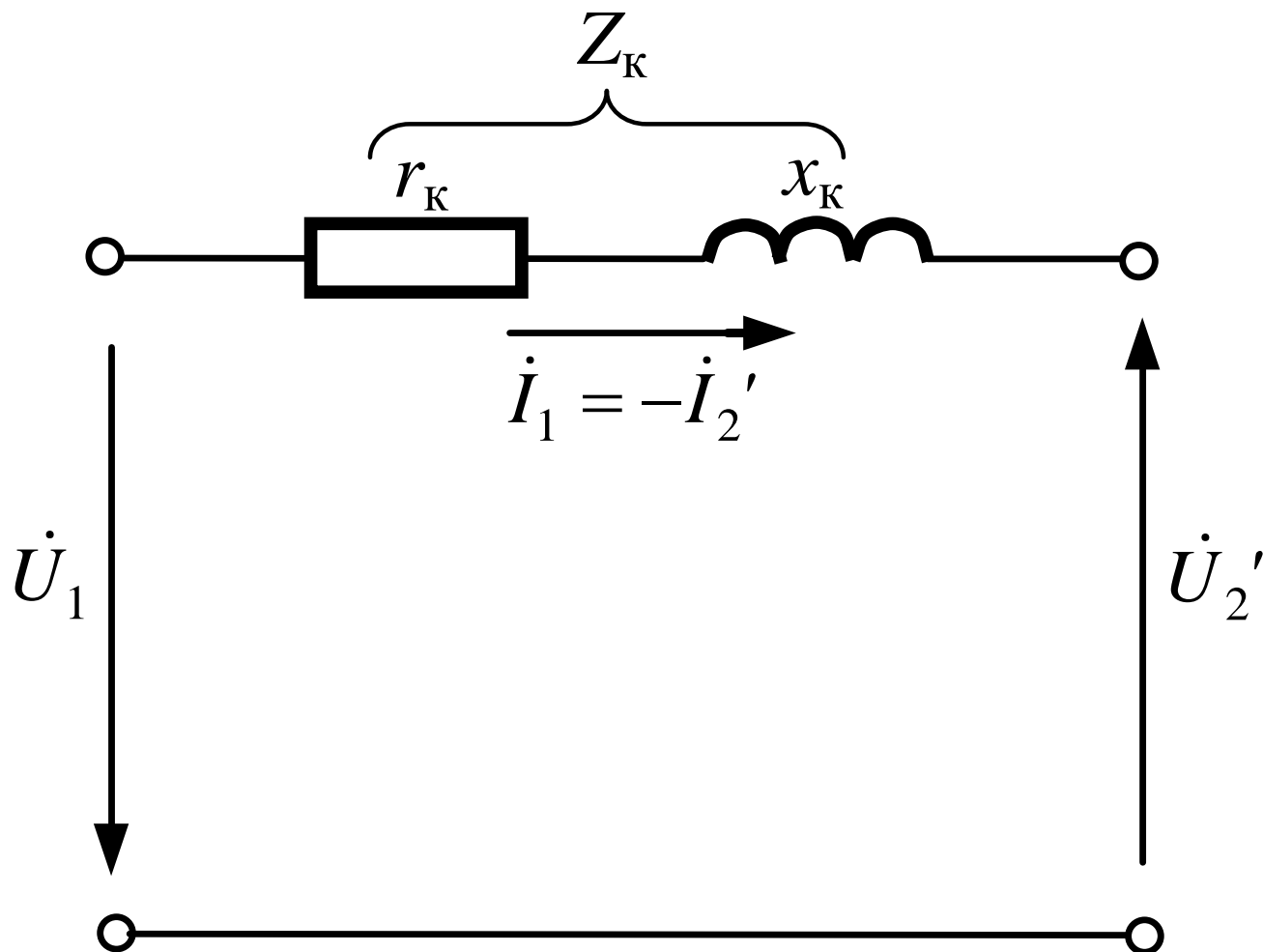


# Заместващи схеми на трансформатора





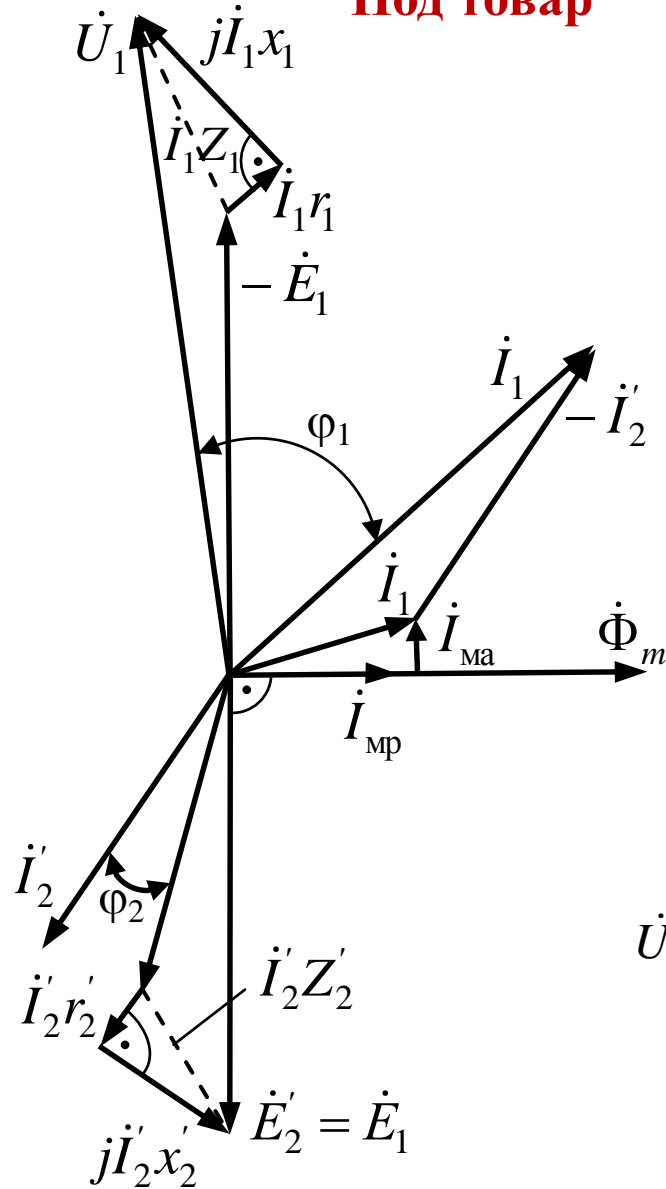
## Заместващи схеми на трансформатора



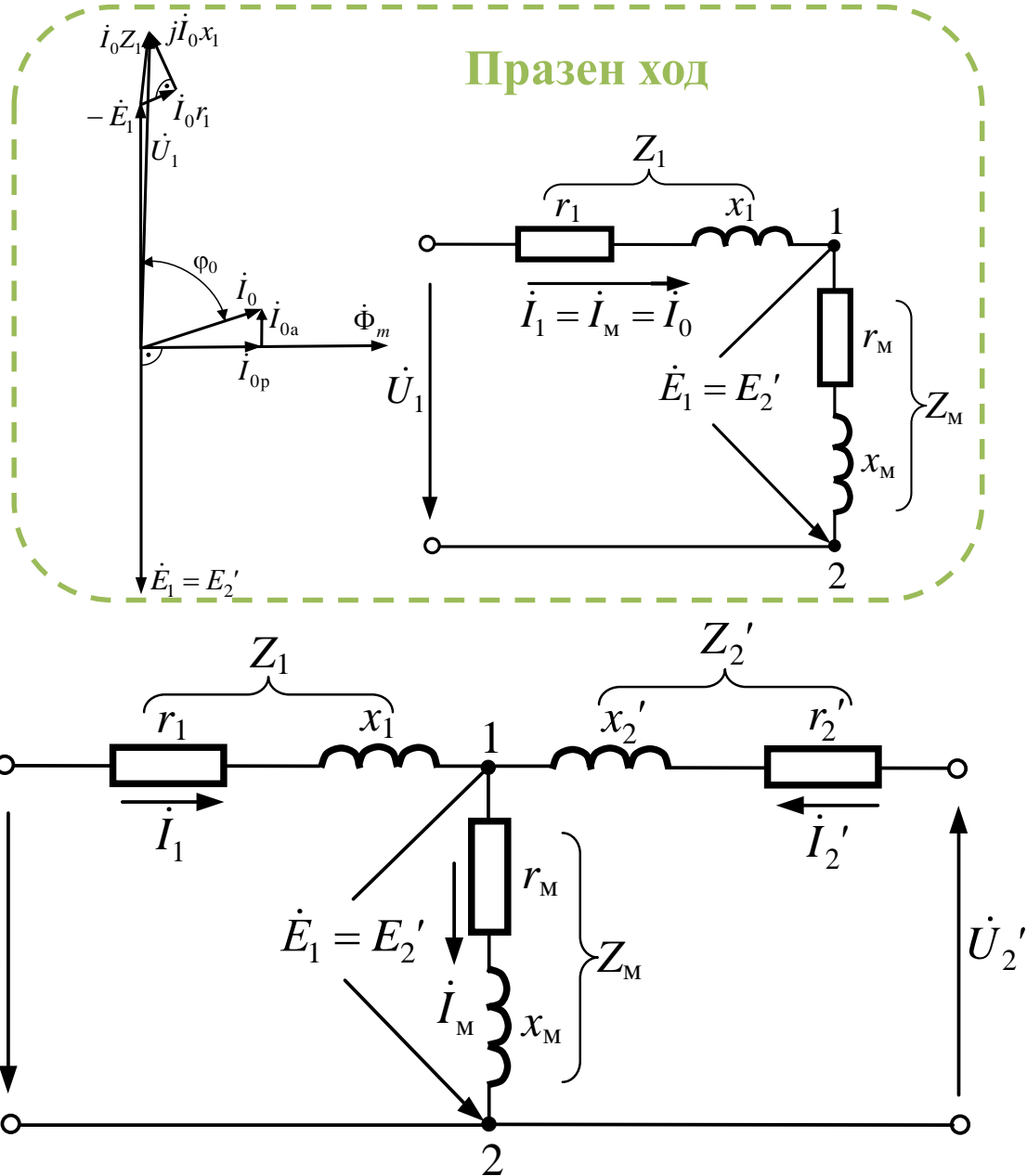
Фиг. 5.10. Опростена заместваща схема на трансформатора

# Векторни диаграми на трансформатора

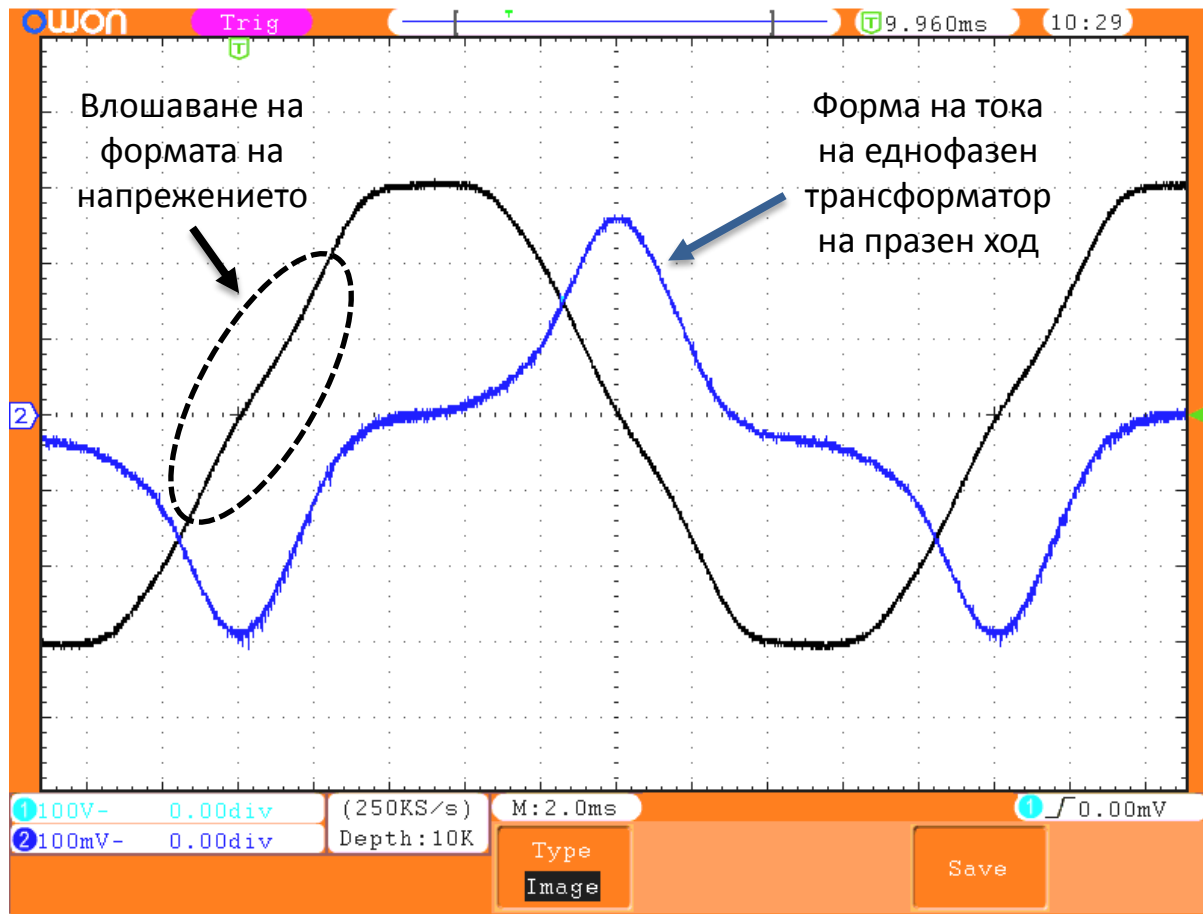
**Под товар**



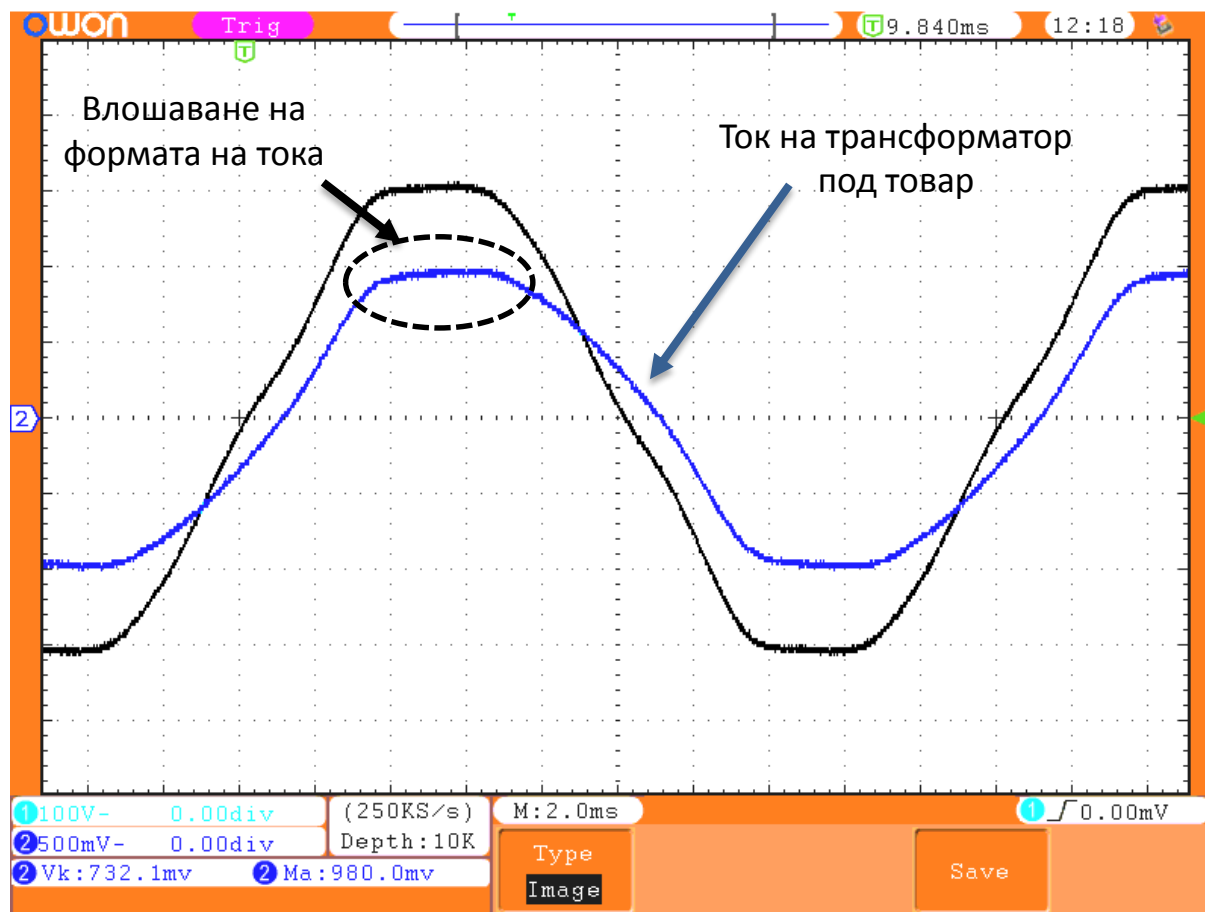
**Празен ход**



# ТРАНСФОРМАТОРИ – празен ход



# ТРАНСФОРМАТОРИ – номинален товар



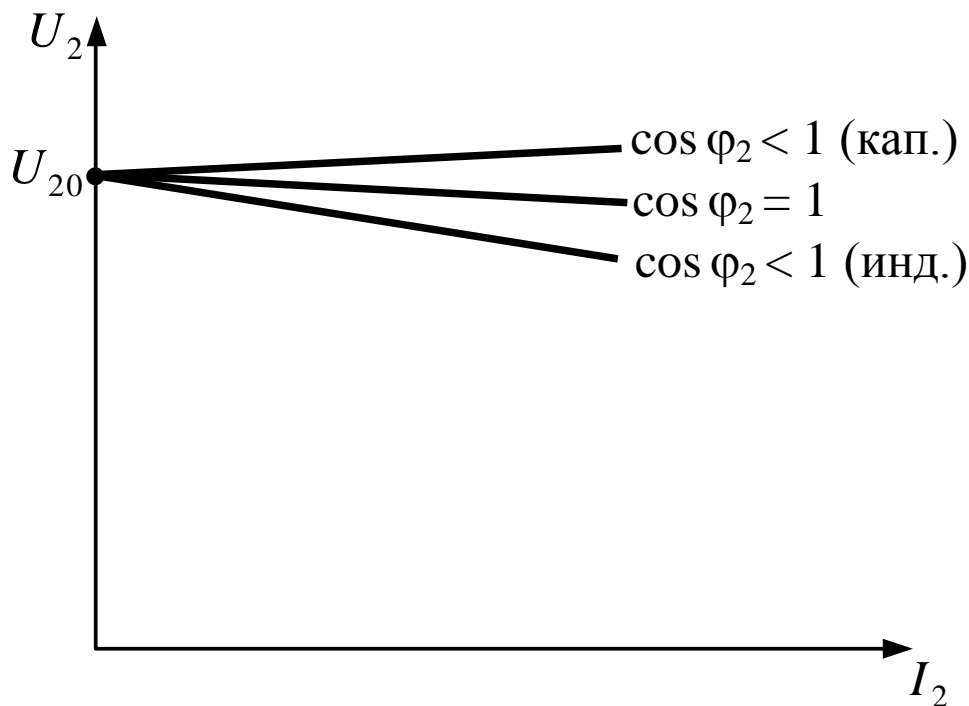
# Външна характеристика

$$\Delta u = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} 100 = \frac{U_{1H} - U_2'}{U_{1H}} 100$$

Относително  
натоварване

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1H}} = \frac{I_2}{I_{2H}}$$

$$\begin{aligned} \Delta u &= \frac{I_1 r_K \cos \varphi_2 + I_1 x_K \sin \varphi_2}{U_{1H}} 100 = \\ &= \beta \left[ \frac{I_{1H} r_K \cos \varphi_2 + I_{1H} x_K \sin \varphi_2}{U_{1H}} 100 \right] = \\ &= \beta (u_{ка} \cos \varphi_2 + u_{кр} \sin \varphi_2), \end{aligned}$$





## Загуби и коэффициент на полезно действие на трансформатора

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100 = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma p} 100 [\%],$$

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 \longrightarrow$$

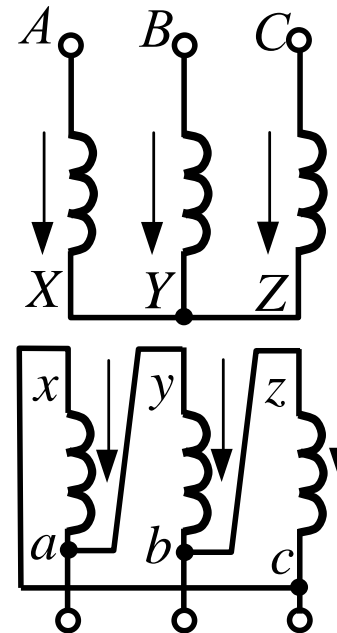
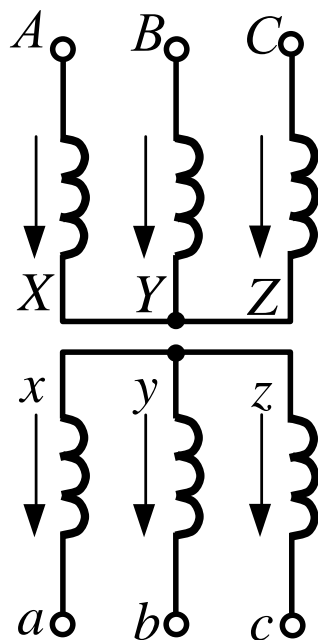
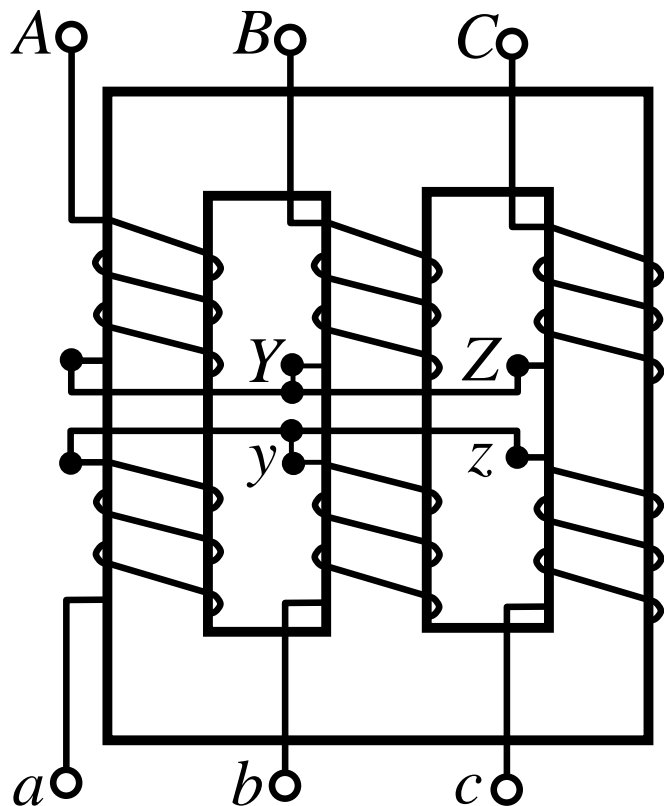
$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \longrightarrow$$

$$\Sigma p = p_{\text{ел}} + p_{\text{с}} \longrightarrow$$

**От какво  
зависи ?**

**?**

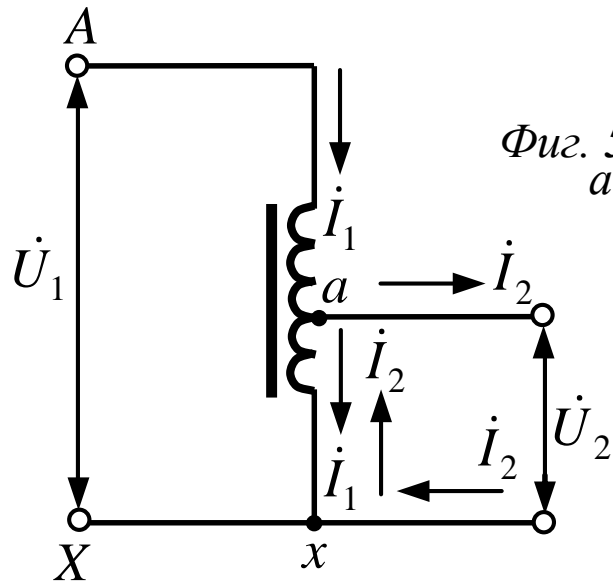
# Трифазни трансформатори



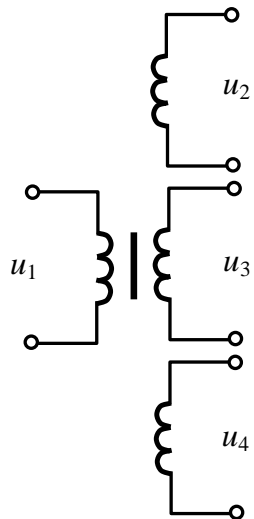
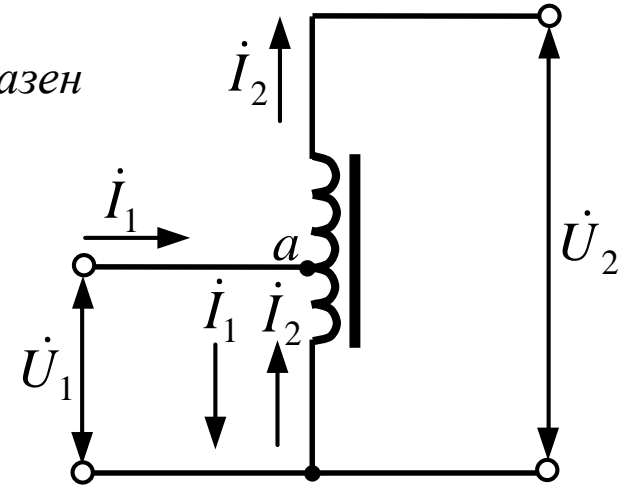
Схеми на свързване ?



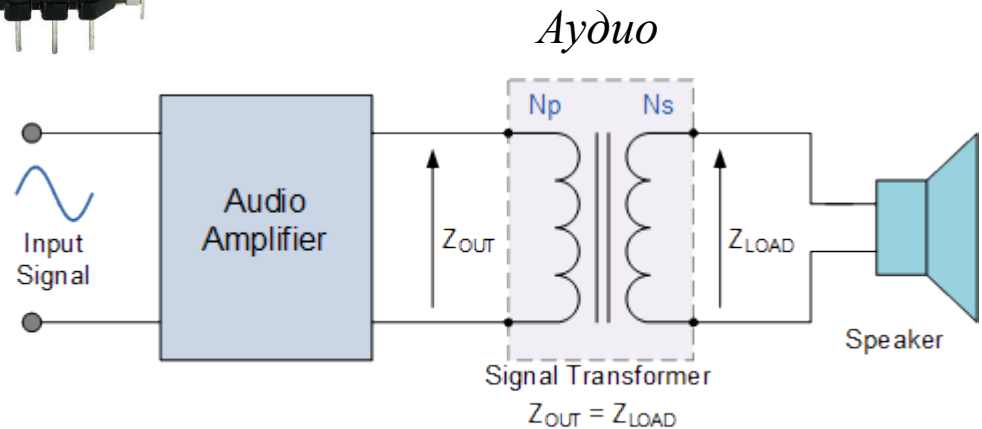
# Специални трансформатори



Фиг. 5.20. Схема на еднофазен автотрансформатор



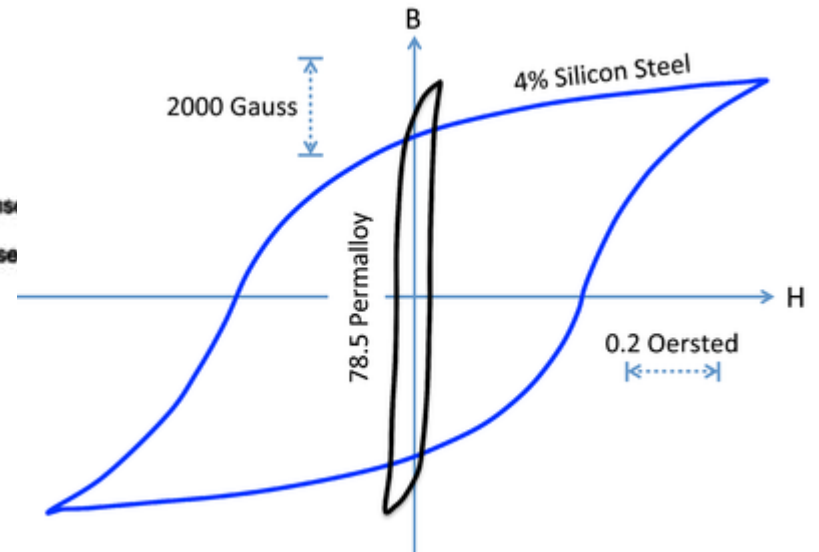
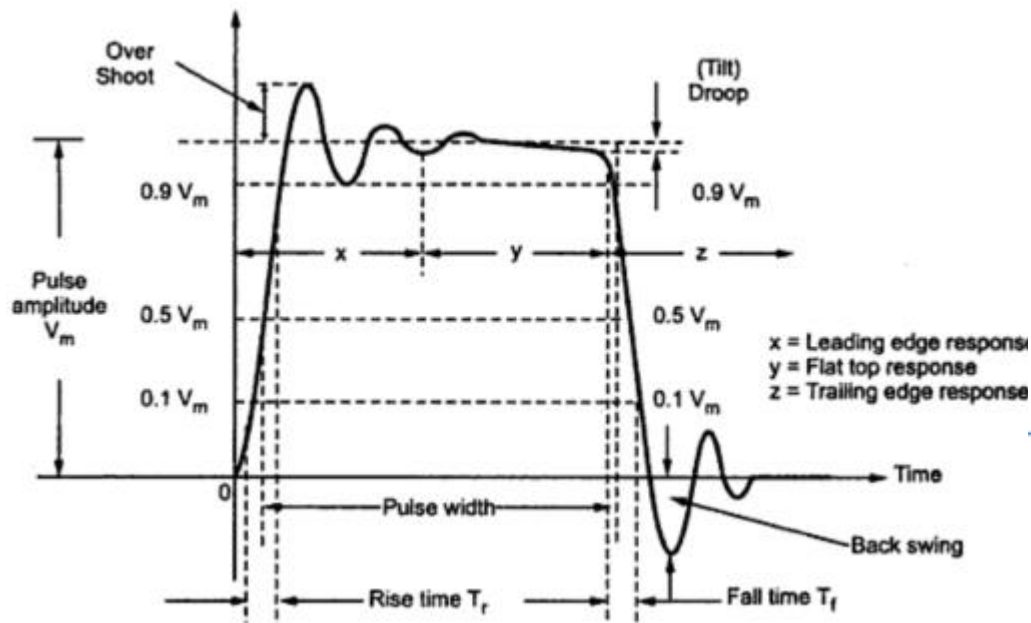
Фиг. 5.21. Схема на еднофазен многонамотъчен трансформатор



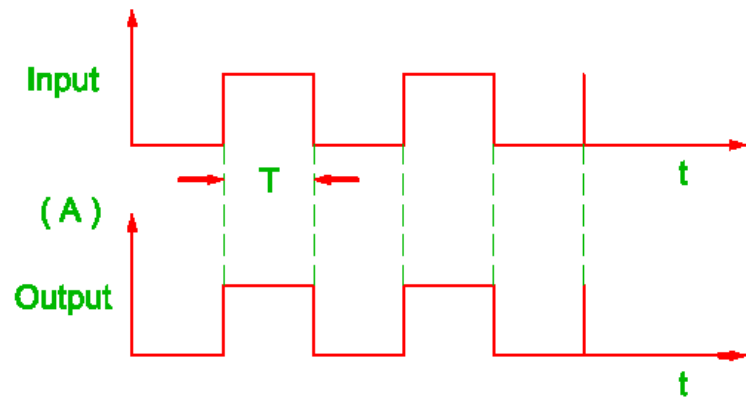
# Импулсни трансформатори



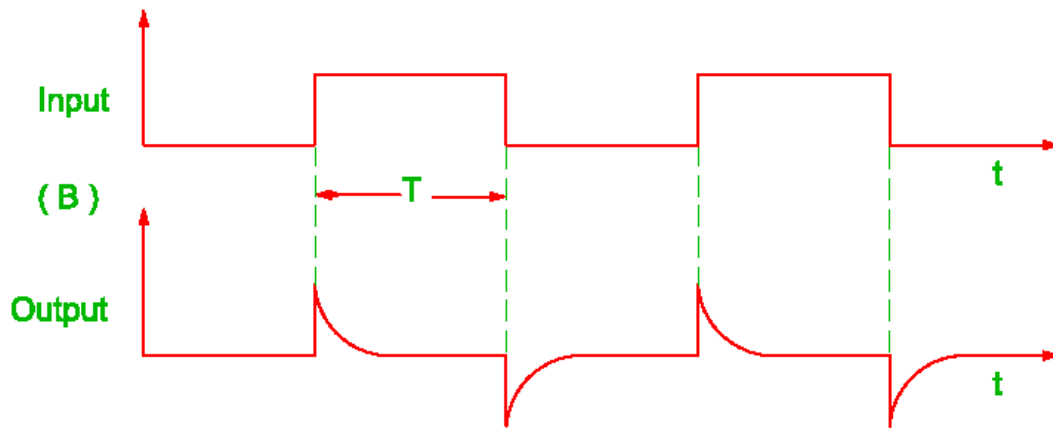
ISO9001:2008  
ISO14001:2004



# Импулсни трансформатори



( A ) High Frequency

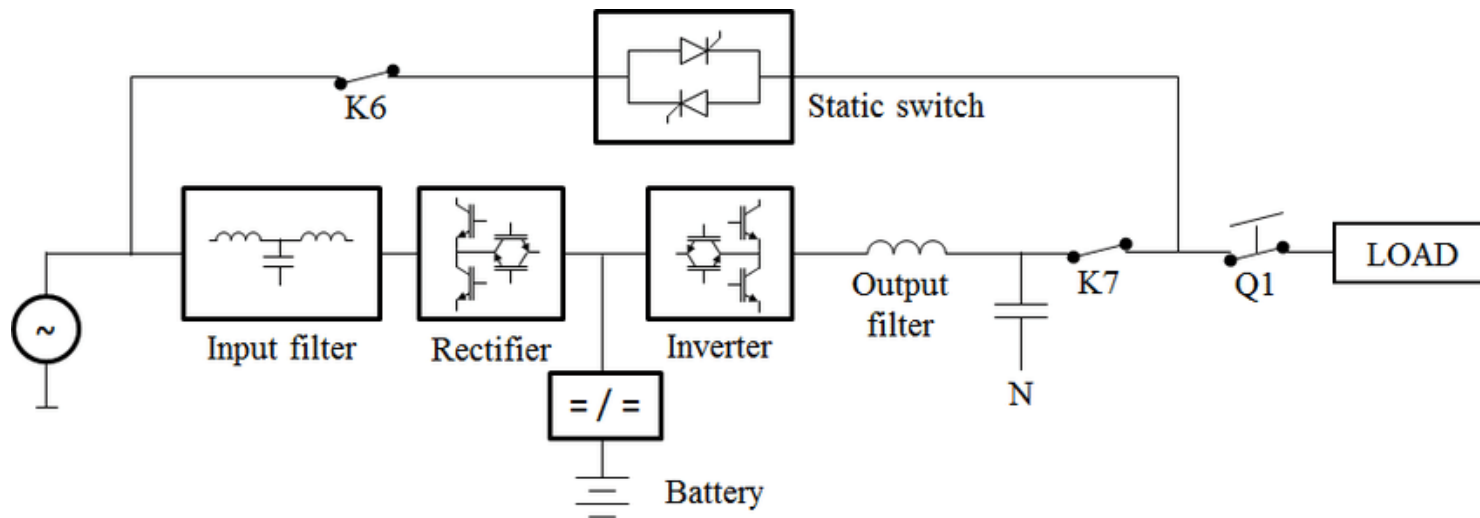


( B ) Low Frequency

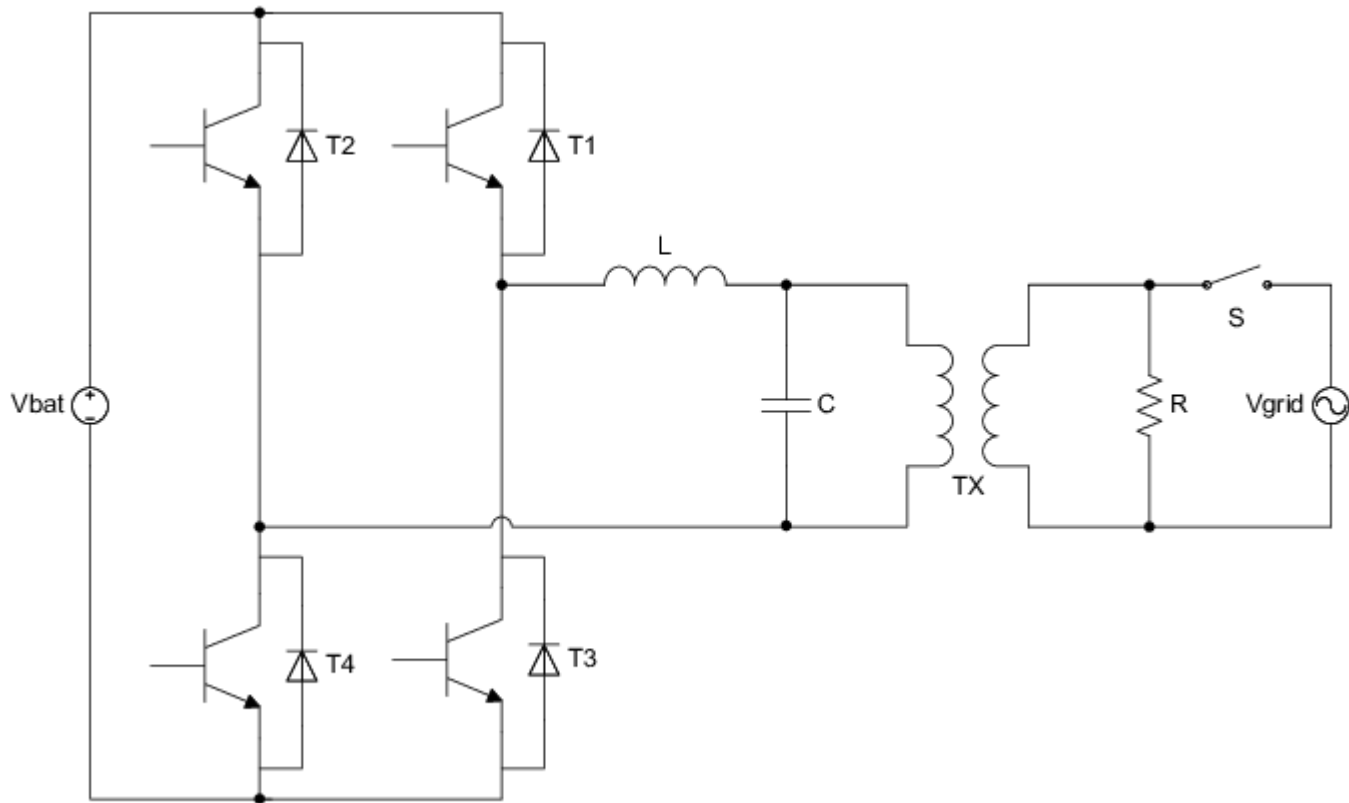
FIG D : Input and Output of Pulse Transformer



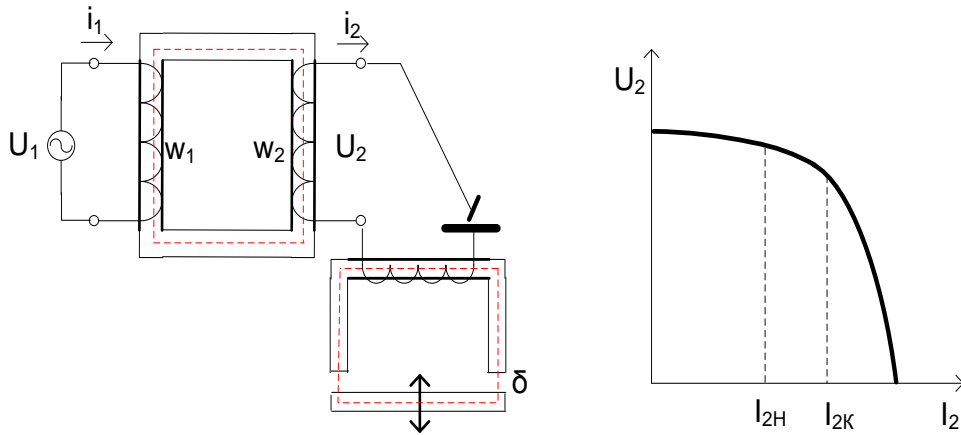
# UPS трансформатор



# UPS трансформатор



# Трансформатори за дъгова заварка



Трансформаторът за дъгова заварка представлява еднофазен понижаващ трансформатор за преобразуване на мрежовото напрежение до  $(60 \div 70)V$ , необходимо за стабилно поддържане на дъгата. Той работи в режим от празен ход ( ) до късо съединение ( ).

За да се ограничи големината на вторичния ток при промяна на режима на работа трансформаторът трябва да притежава стръмна външна характеристика (фиг. 1.25 б). Най-разпространения начин за това е чрез включване на индуктивна бобина последователно на вторичната намотка (фиг. 1.25 а).



електрожен инверторен



All **Images** Videos News Maps More Settings Tools

viki lux

rtr premium

електрожен astra

аргон

ws 250

rd iw20

vito

електро



Инверторен електрожен Ar...  
onlinemashini.bg



Инверторен електрожен W...  
megahome.bg



Инверторен електрожен I...  
voinishki.com



Инверторен електрожен A...  
onlinemashini.bg

## „Трансформатори“ за дъгова заварка

### Инверторен електрожен Argo Mini 140 /монофазен, 20 - 140А/



№ в каталога: **BG3887**

Артикулен номер: 5B0140

Марка: [Argo](#)

Произход: Китай

Гаранция: 4 години

#### **ХАРАКТЕРИСТИКА:**

Инверторен апарат по IGBT технология за ежедневна употреба. Заварява успешно с рутилови и основните обмазани електроди. Лесни за разбиране настройки, така че можете да се концентрирате напълно върху задачата за заваряване. Интелигентен дизайн с корпус оптимизиран за обмен на въздуха. Мощен, висок работен цикъл от 60% при 140 ампера. Гарантирано работи без прегряване с повечето видове електроди до 3,2 мм. Бързото охлаждане с вентилатор позволява използването на максимална мощност.

# ТРАНСФОРМАТОРИ – трансформатор за печатен монтаж



Изображението е само с илюстративна цел!



Наименование Комет: **ANG24VA/9V+9V**

Наименование производител: **F24-2-9**

Производител: **ANG (53)**

Категория: **Трансформатори (436)**

Подкатегория: **Мрежови трансформатори за печатен монтаж (183)**

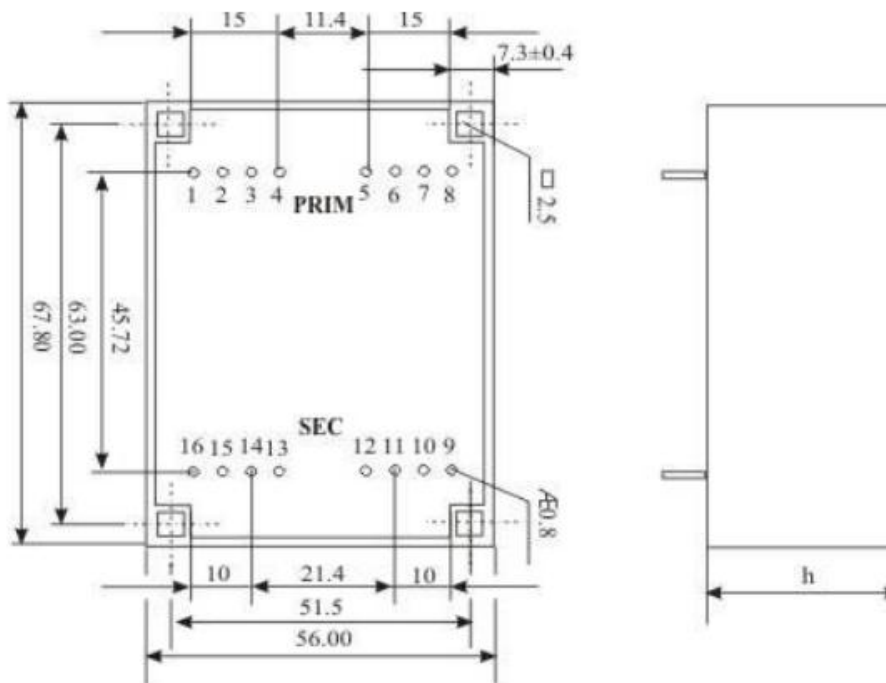
Описание: трансф. 110+110V - 9V+9V/1.33A, пр.ход 11V

## Техническа информация

 [18VA\\_24VA.pdf \(71 KB\)](#)

## ИНСТУКЦИЯ ЗА МОНТАЖ

 [ИНСТУКЦИЯ ЗА МОНТАЖ \(26 KB\)](#)





# ТРАНСФОРМАТОРИ – трансформатор за печатен монтаж



Изображението е само с илюстративна цел!

Наименование Комет: [ANG24VA/9V+9V](#)

Наименование производител: [F24-2-9](#)

Производител: [ANG \(53\)](#)

Категория: [Трансформатори \(436\)](#)

Подкатегория: [Мрежови трансформатори за печатен монтаж \(183\)](#)

Описание: трансф. 110+110V - 9V+9V/1.33A, пр.ход 11V

## Техническа информация

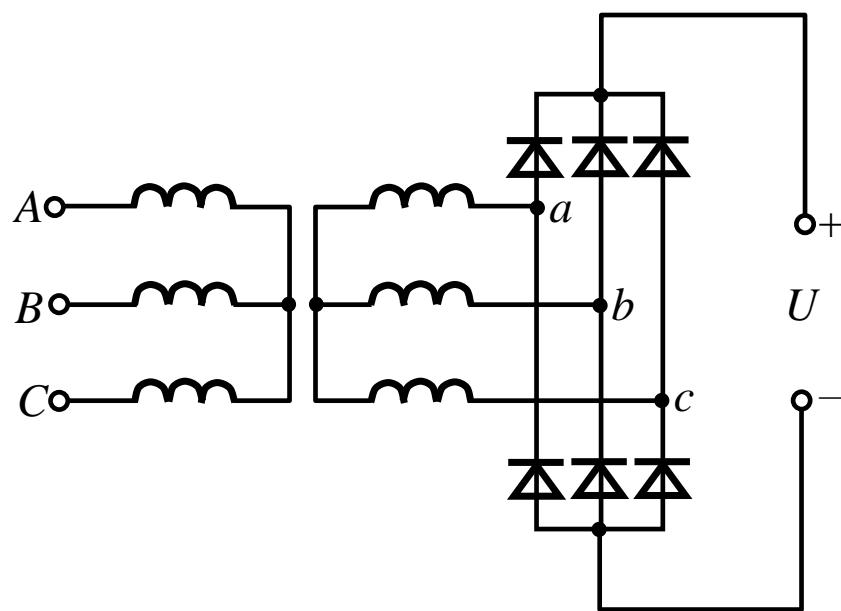
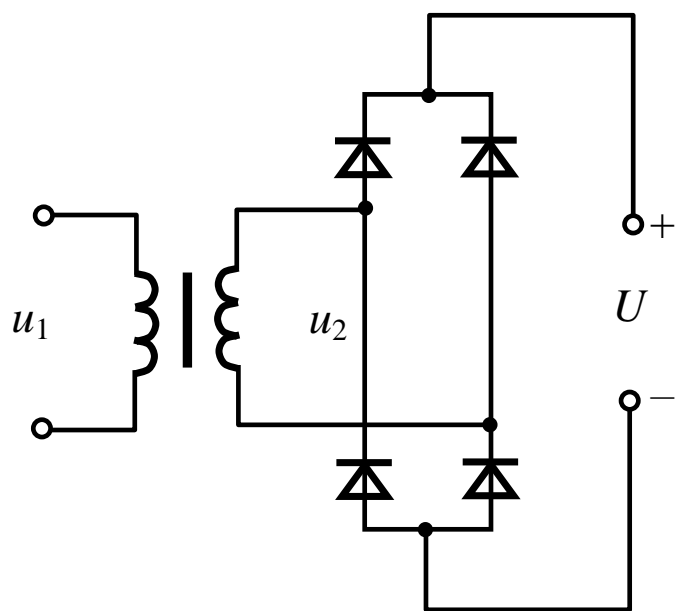
[18VA\\_24VA.pdf \(71 KB\)](#)

[ИНСТУКЦИЯ ЗА МОНТАЖ](#)

[ИНСТУКЦИЯ ЗА МОНТАЖ \(26 KB\)](#)

Part. №	Primary	Pins	Secondary	Pins	No load voltage $\pm 5\%$	h mm
ANG24VA/7.5V+7.5V	110V+110V	1-4, 5-8	7.5V + 7.5V / 1.6A	9-11, 14-16	9V	34.5
ANG24VA/9V+9V	110V+110V	1-4, 5-8	9V + 9V / 1.33A	9-11, 14-16	11V	34.5
ANG24VA/10.5V+10.5V	110V+110V	1-4, 5-8	10.5V + 10.5V / 1.14A	9-11, 14-16	12.5V	34.5
ANG24VA/12V+12V	110V+110V	1-4, 5-8	12V + 12V / 1A	9-11, 14-16	14.4V	34.5
ANG24VA/15V+15V	110V+110V	1-4, 5-8	15V + 15V / 0.8A	9-11, 14-16	18V	34.5
ANG24VA/18V+18V	110V+110V	1-4, 5-8	18V + 18V / 0.66A	9-11, 14-16	21.6V	34.5
ANG24VA/24V+24V	110V+110V	1-4, 5-8	24V + 24V / 0.5A	9-11, 14-16	28.8V	34.5
ANG24VA/30V+30V	110V+110V	1-4, 5-8	30V + 30V / 0.4A	9-11, 14-16	36V	34.5

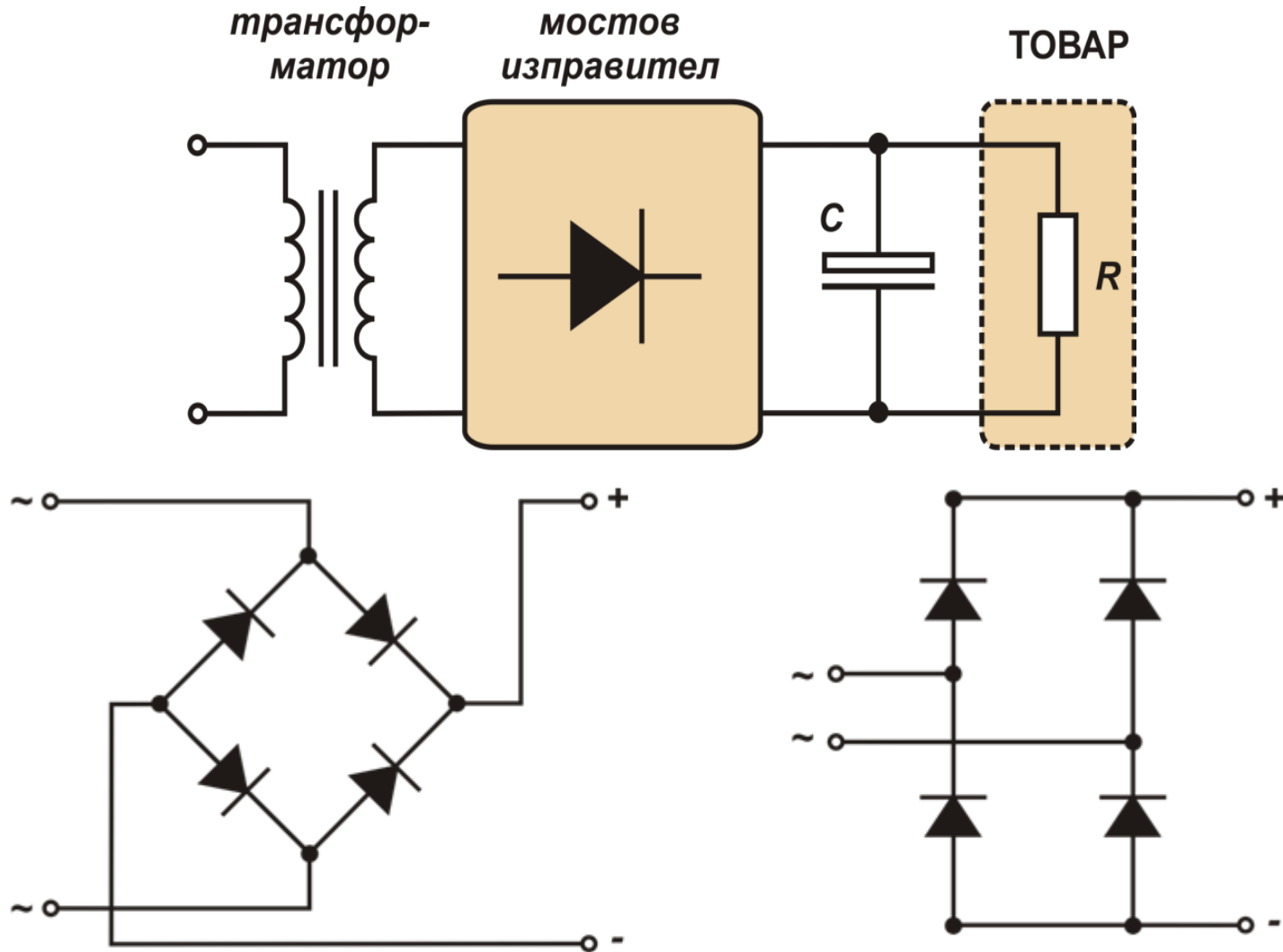
# Трансформатори за токоизправители



# ТРАНСФОРМАТОРИ – работа с капацитивен товар



# ТРАНСФОРМАТОРИ – работа с капацитивен товар



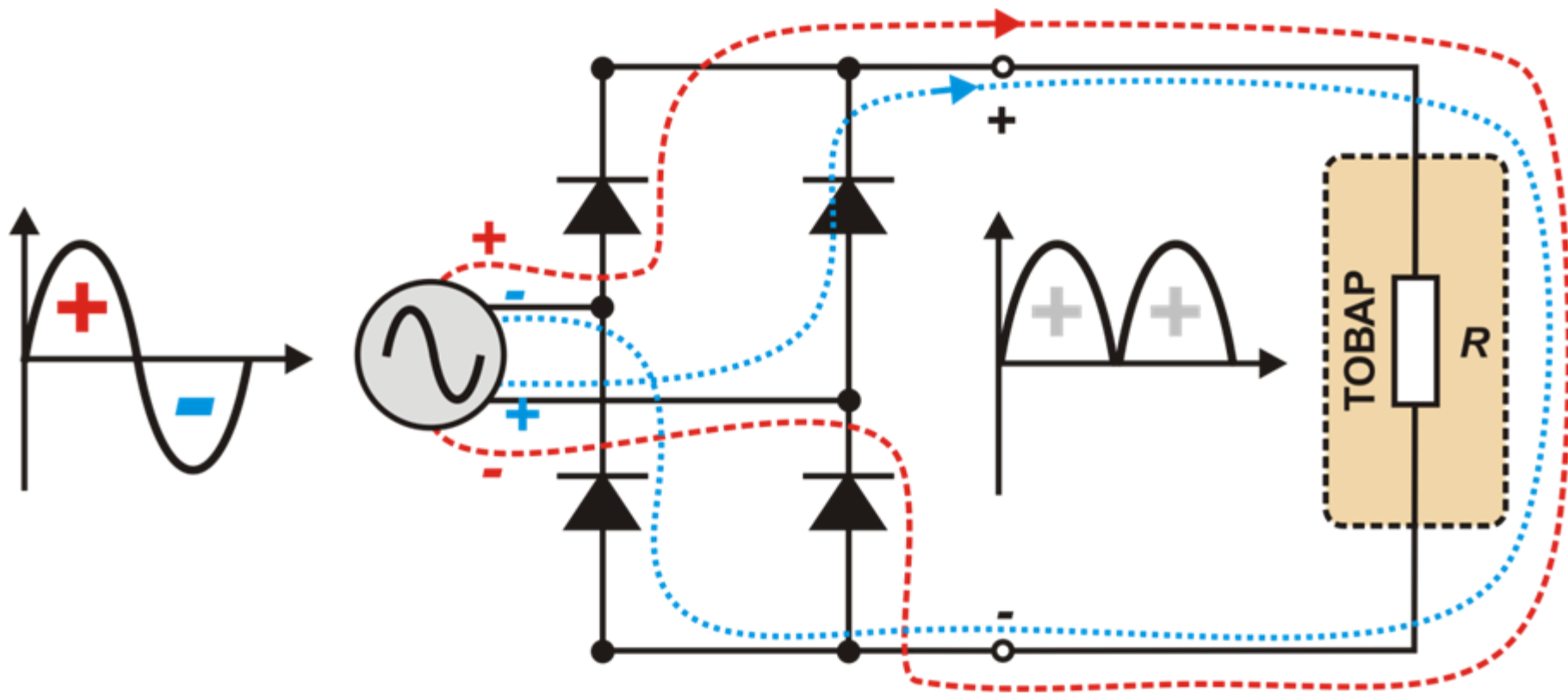
а.) мостов изправител – схема 1

б.) мостов изправител – схема 2

Фиг. 1 Двуполупериоден мостов изправител в две идентични схеми

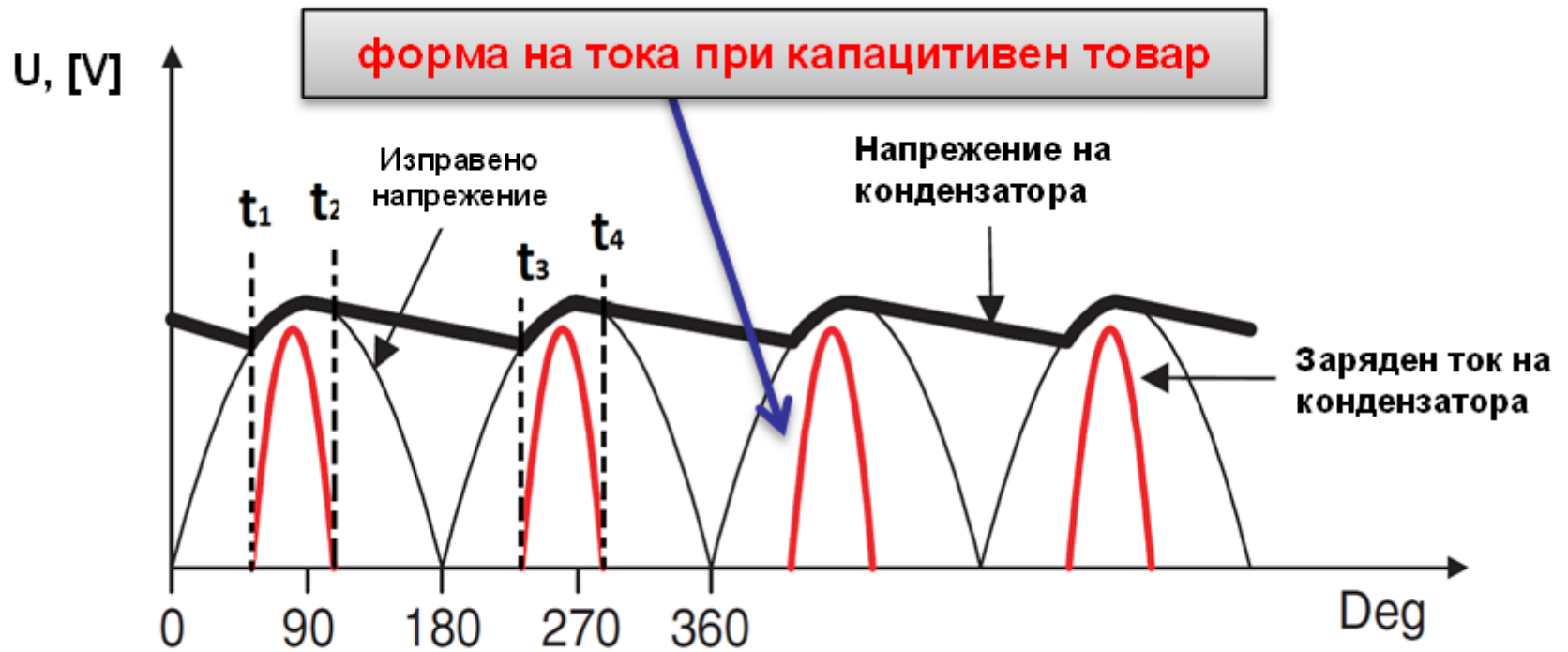


# ТРАНСФОРМАТОРИ – работа с капацитивен товар



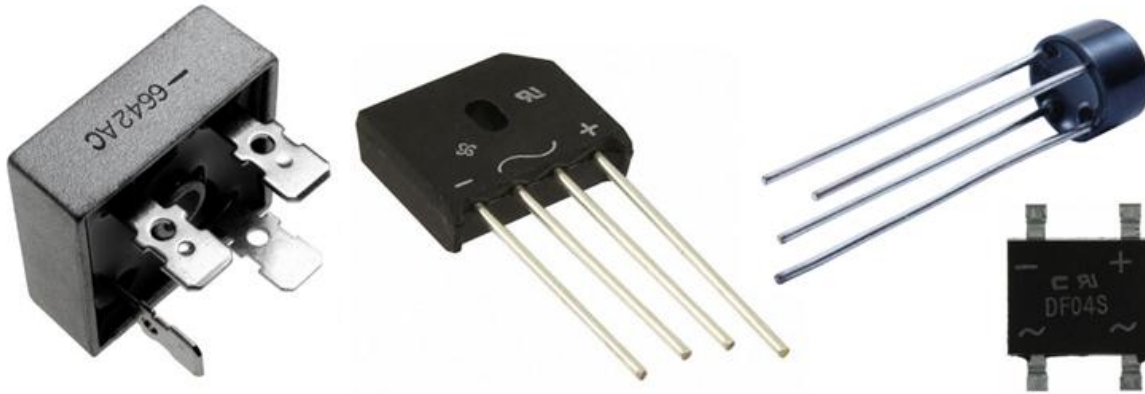
*Фиг. 2 Двуполупериоден мостов изправител – принцип на работа*

# ТРАНСФОРМАТОРИ – работа с капацитивен товар

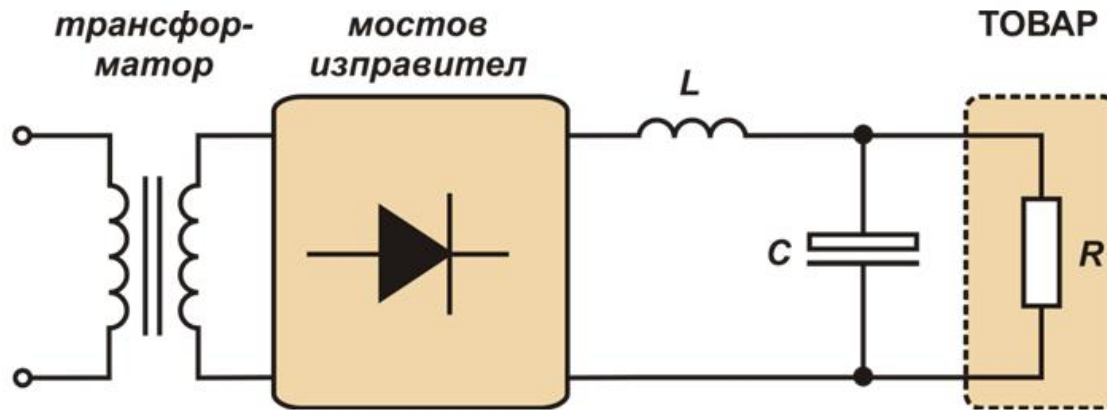


б.) форма на напрежението и тока при капацитивен товар (филтър)

# ТРАНСФОРМАТОРИ – работа с капацитивен товар

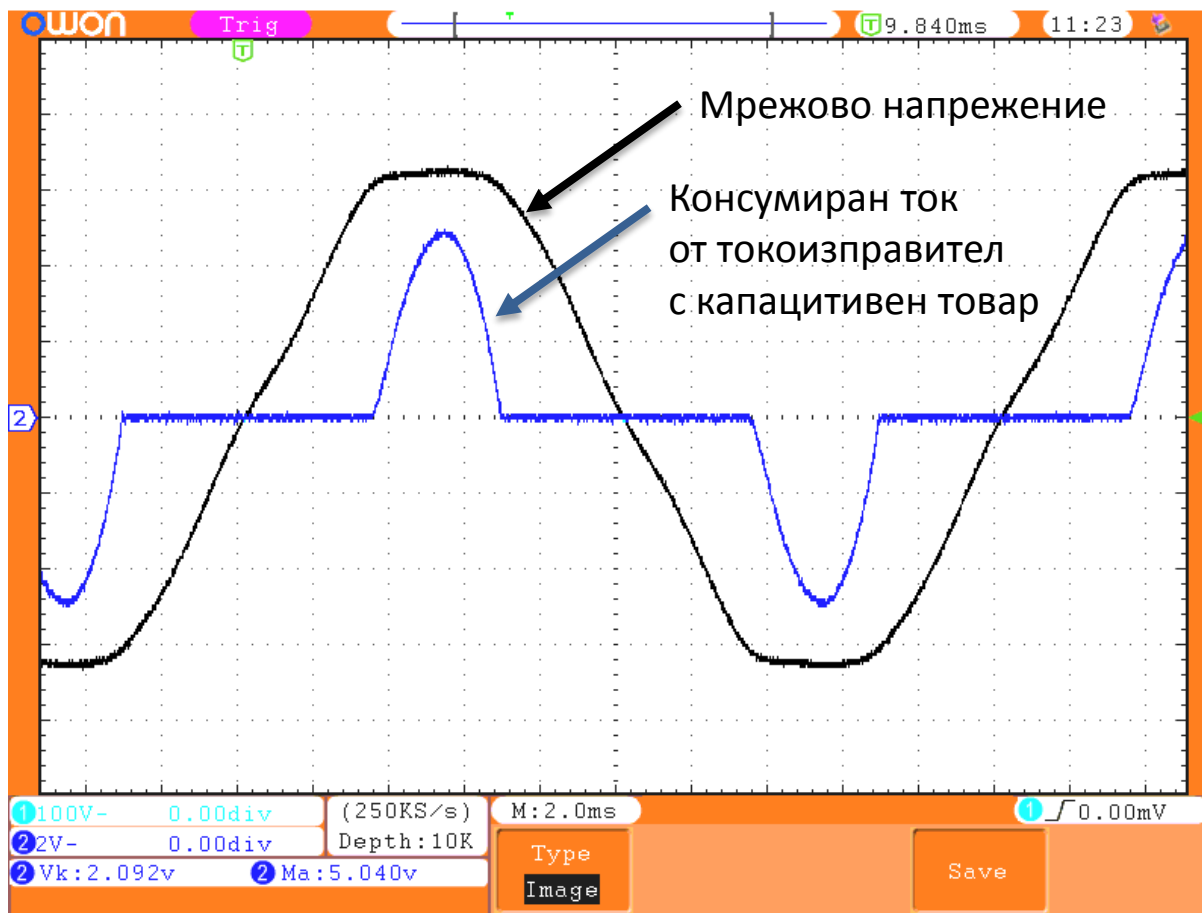


Фиг. 4 Мостови токоизправители в различни корпуси

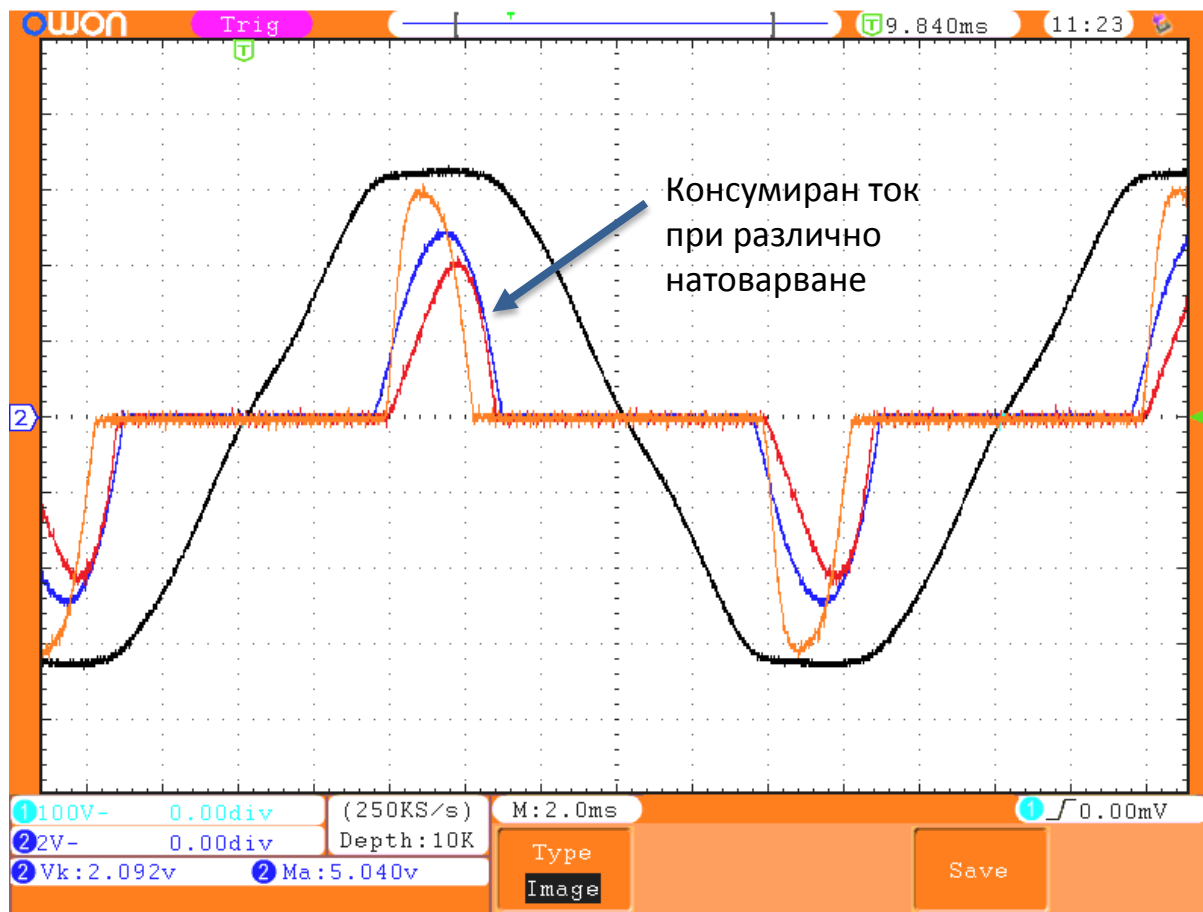


Фиг. 5 Токоизправител с  $R$ ,  $L$ ,  $C$  товар

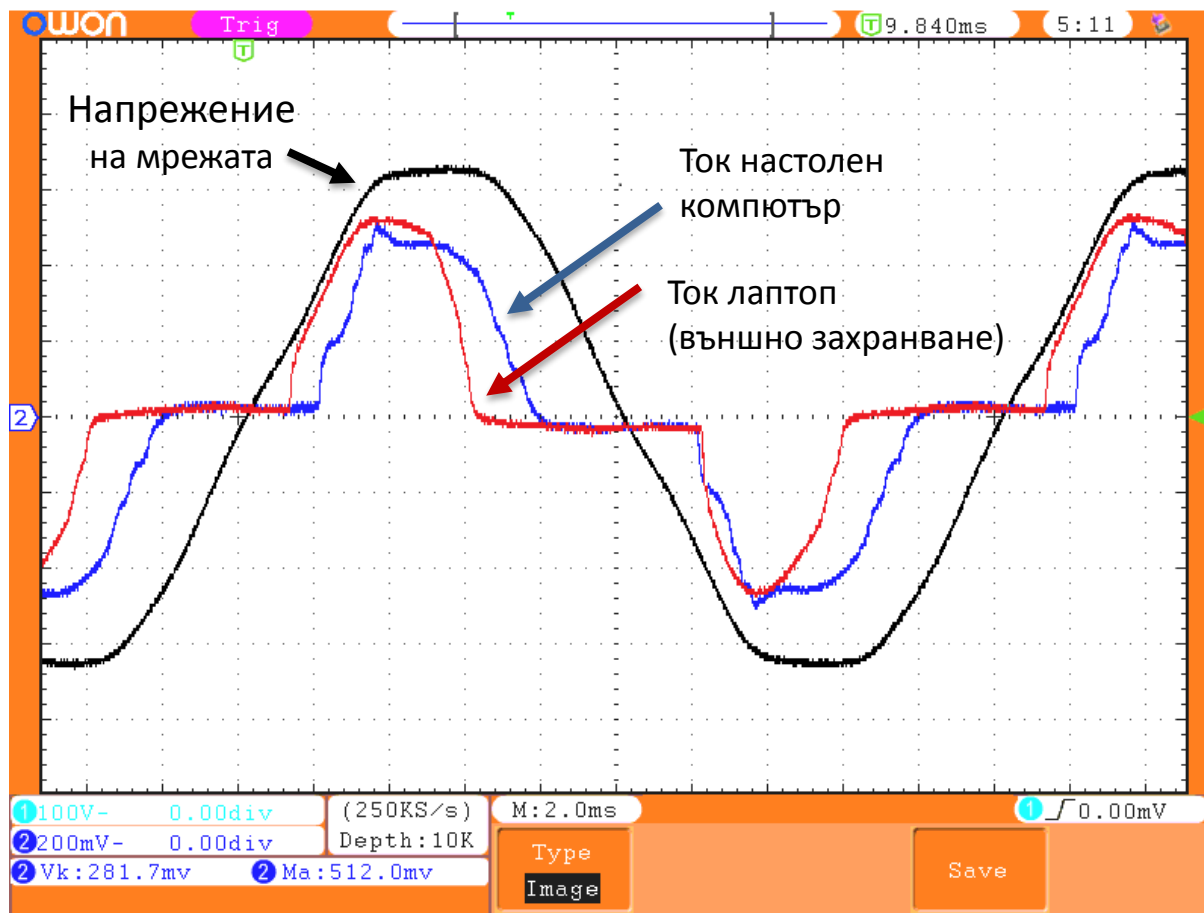
# ТРАНСФОРМАТОРИ – работа с капацитивен товар



# ТРАНСФОРМАТОРИ – работа с капацитивен товар



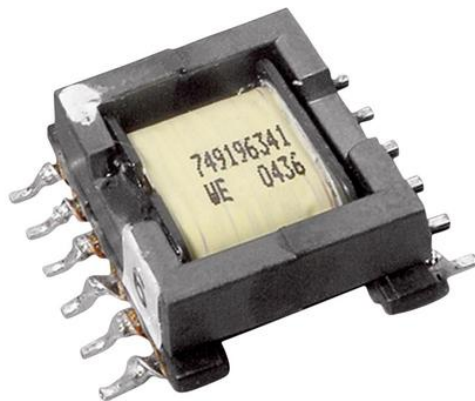
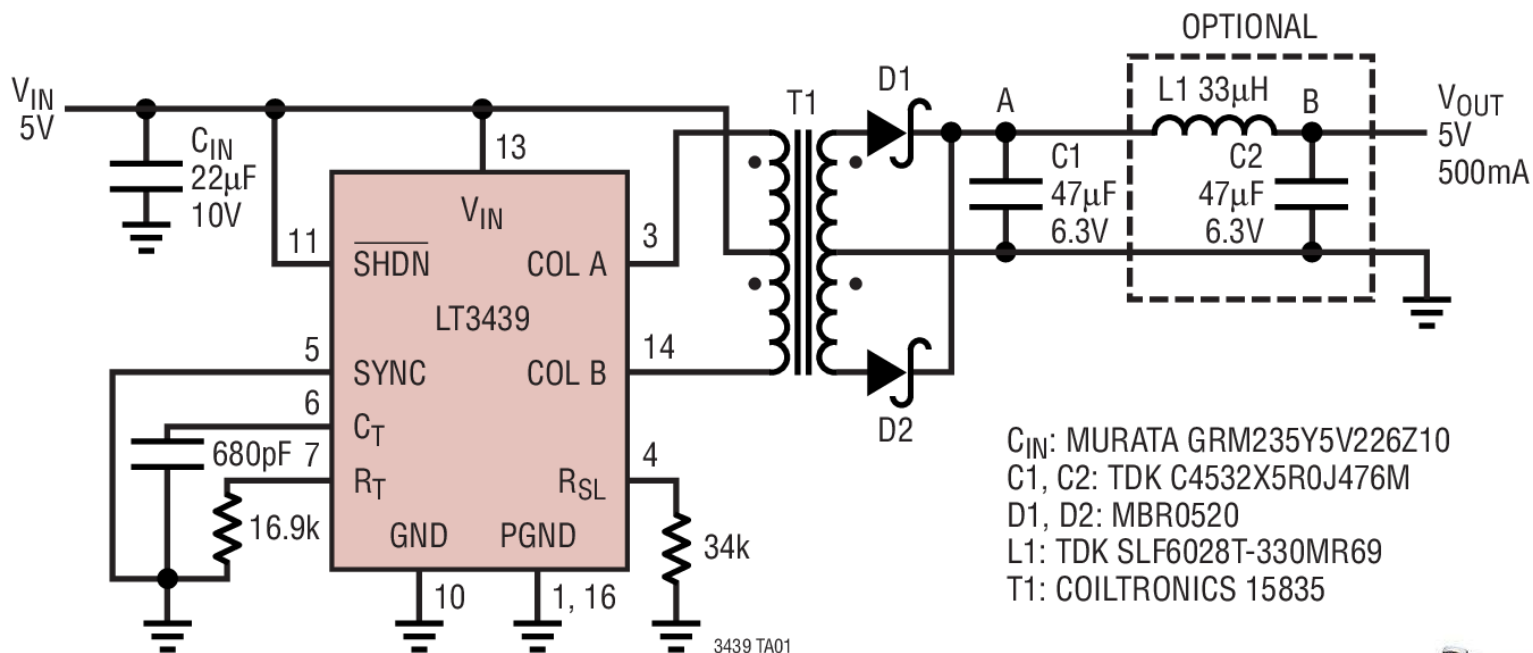
# ТРАНСФОРМАТОРИ – работа с капацитивен товар



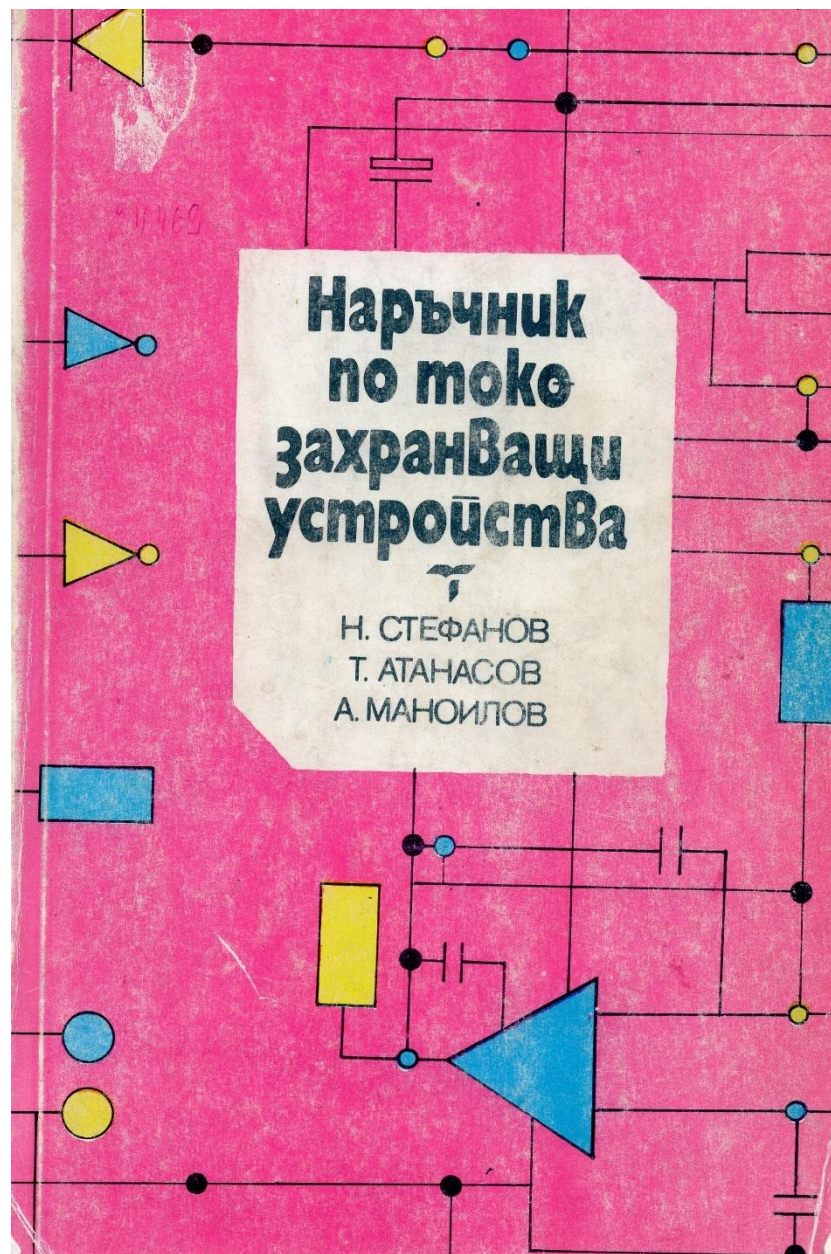


# ТРАНСФОРМАТОРИ в импулсни захранвания

## Low Noise 5V to 5V Push-Pull DC/DC Transformer



# Изчисляване на маломощни мрежови трансформатори





## Глава шеста

### МРЕЖОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ

#### 6.1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Голяма част от токозахранващите устройства се изработват с мрежови трансформатори. Най-често това са устройства със

съвсем малка мощност — до 10 W, или със средна мощност — над 500 W. В този случай трансформаторът изпълнява няколко функции — разделя галванично мрежата от веригата на изправеното напрежение, трансформира мрежовото напрежение до необходимата за вентилната група стойност и при необходимост променя броя на фазите на захранващата мрежа.

При включване и изключване на трансформатора в него възникват преходни процеси. Те оказват влияние върху работата на токоизправителя и не могат да се пренебрегнат.

**Преходен процес при включване на празен ход** Ако в момента на включване напрежението на мрежата преминава през максимума си, намагнитващият ток на трансформатора е нула (поради индуктивния му характер), което е неговата установена стойност за момента и трансформаторът заработва веднага в установен режим. Ако трансформаторът се включи, когато напрежението на мрежата преминава през нулата, се развива преходен процес, съпроводен с аperiодично протичащ затихващ токов удар. Началният намагнитващ ток може да достигне стойност,  $20 \div 30$  пъти по-голяма от номиналния намагнитващ ток. Тази стойност не е опасна за трансформатора, понеже затихва бързо, а трансформаторът има голяма маса и голяма топлинна инертност. Този ток обаче може да изключи токовата защита на токозахранващото устройство. Токният удар се отразява неблагоприятно и на захранващата мрежа и чрез нея може да смущава други електронни апаратури, работещи в близост до включваната. През време на този тежък преходен процес се получава двукратно повишаване на амплитудата на вторичното напрежение  $E_{2 \max}$ . Това трябва да се има предвид при избора на електрическите вентили в токоизправителите.

**Преходен процес при внезапно късо съединение.** При внезапно късо съединение (възникващо за изключително кратко време) в трансформатора се развива преходен процес, през време на който протича ток, многократно по-голям от трайния ток на късо съединение  $I_{kc} = \frac{U_1}{z_{kc}}$ . Този ток има аperiодично затихващ характер до достигане на установената си стойност.

#### 6.2. АНАЛИТИЧЕН МЕТОД ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА МРЕЖОВИ ТРАНСФОРМАТОРИ ЗА ТОКОЗАХРАНВАЩИ УСТРОЙСТВА

Съществуват много различни методи за изчисляване на трансформаторите. При всички от тях се използват едни и същи изходни данни, а именно:

- първично напрежение на захранващата мрежа  $U_1$ ;
- напрежения на вторичните намотки  $U_2, U_3, \dots, U_n$ ;
- токове на вторичните намотки  $I_2, I_3, \dots, I_n$ ;
- пълна изчислителна мощност на трансформатора  $P_n$ ;



- честота на захранващата мрежа  $f_{\text{мр}}$ ;
- максимална температура на околната среда  $t^{\circ}_0$ ;
- допустима температура на нагряване на трансформатора  $t^{\circ}_1$ .

За мрежови трансформатори с мощност до 2 kVA добра точност при проектирането се получава чрез използването на следния метод.

1. Определяне на сечението на магнитопровода

$$(6.1) \quad s_{\text{ст}} = k \sqrt{P_{\text{н}}}, \text{ см}^2.$$

Тук  $k$  е коефициент, който приема различни стойности:

$k = 0,98 \div 1,25$  — за еднофазен трансформатор с Ш-образен магнитопровод броневи тип;

$k = 0,7$  — за П-образен магнитопровод на еднофазен трансформатор колонен тип, бобинирано само едното бедро;

$k = 0,5$  — за еднофазен трансформатор с П-образен магнитопровод, бобинирани двете бедра;

$k = 0,4$  — за трифазен трансформатор.

$S_{\text{Пн}}$  е означена изчислителната мощност на трансформатора във волт-ампери. При многонамотъчните трансформатори това е сумата от мощностите на всички вторични намотки. При трифазните трансформатори  $P_{\text{н}}$  е сумата от мощностите на трите фази. Когато трансформаторът захранва токоизправителна схема,  $P_{\text{н}}$  е изчислителната мощност, получена при изчисляване на съответната схема на токоизправител и при съответния режим на работа.

Коефициентът  $k$  има посочените по-горе стойности при магнитна индукция  $B_{\text{max}} = 1,2$  Т. Ако трансформаторът трябва да работи при друга магнитна индукция  $B_{1\text{max}}$ , коефициентът се преизчислява по формулата

$$(6.2) \quad k_1 = \frac{1,2}{B_{1\text{max}}} k.$$

2. Определяне на широчината  $b$  на магнитопровода. Желателно е магнитопроводът да има квадратна форма на напречното си сечение. Тогава страната на квадрата е

$$(6.3) \quad b_{\text{max}} = \sqrt{s_{\text{ст}}}, \text{ см.}$$

Ако не е възможно да се постигне квадратна форма със стандартните размери на ламелите, предпочита се правоъгълна форма с по-голяма дебелина на пакета от ламели, но непревишаваща 1,5 пъти широчината му. В такъв случай минималната широчина на магнитопровода е

$$(6.4) \quad b_{\text{min}} = \sqrt{\frac{s_{\text{ст}}}{1,5}} = 0,82 \sqrt{s_{\text{ст}}}, \text{ см.}$$

Избира се стандартна широчина  $b$ , която е  $b_{\text{min}} < b < b_{\text{max}}$ .

При изчисляване на размера на магнитопровода трябва да се има предвид дебелината на изолацията между ламелите и оттам сечението на магнитопровода, т.е. дебелината на пакета от ламели трябва да се увеличи с  $5 \div 10\%$ .

3. Изчисляване на брой на навивките. Основната формула, използвана за това, е

$$(6.5) \quad E = 4,44 f \omega s_{\text{ст}} B_{\text{max}}, \text{ V.}$$

При  $f = 50$  Hz

$$(6.6) \quad \omega = 45 \frac{E}{s_{\text{ст}} B_{\text{max}}}.$$

За компенсиране на пада на напрежението в намотките обикновено навивките на вторичната намотка се увеличават с  $5 \div 10\%$ .

4. Изчисляване на тока в намотките. Токът през  $i$ -тата намотка, ако не е зададен предварително, е

$$(6.7) \quad I_i = \frac{P_i}{U_i}.$$

Поради наличие на загуби в трансформатора токът през първичната намотка се увеличава с  $5 \div 10\%$ .

5. Изчисляване на диаметъра на проводниците без изолацията. Диаметърът  $d$  на проводника зависи от ефективната стойност на тока  $I$  и от неговата плътност  $j$

$$(6.8) \quad d = 1,13 \sqrt{\frac{I}{j}},$$

където  $I$  е ефективната стойност на тока, А;

$j$  — плътността на тока, А/mm<sup>2</sup>;

$d$  — диаметърът на проводника, mm.

Плътността на тока се избира. Тя може да варира в широки граници — от 1 до 6 А/mm<sup>2</sup>. Тя зависи от мощността на трансформатора, неговите размери, начина на охлаждане, допустимото му прегряване и пр. За малки трансформатори до 100 W, изработени от стандартни пакети ламели, за средна плътност на тока се препоръчва 2,5 А/mm<sup>2</sup>. След като се изчисли диаметърът на проводника, се избира най-близката стандартна стойност. След това се изчислява действителната плътност на тока. Това се прави за всяка намотка поотделно по формулата

$$(6.9) \quad j_i = j \frac{d^2_{\text{изчислено}}}{d^2_{\text{избрано}}}.$$



6. Изчисляване на коефициента на запълване на прозореца на магнитопровода. Коефициентът на запълване е

$$(6.10) \quad k_3 = \frac{s_M}{s_{\text{проз}}},$$

където  $s_{\text{проз}}$  е площта на прозореца,  $\text{mm}^2$ ;

$s_M$  — сечението на проводниците на намотките,  $\text{mm}^2$ .  
То се изчислява по формулата

$$(6.11) \quad s_M = \frac{\pi}{4} (\omega_1 d_1^2 + \omega_2 d_2^2 + \dots + \omega_n d_n^2),$$

където  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$  са броят на навивките на съответните намотки;

$d_1, d_2, \dots, d_n$  — диаметрите на проводниците на съответните намотки,  $\text{mm}$ .

За намотка от кръгъл проводник с емайлова изолация коефициентът на запълване има оптимална стойност  $k_3 = 0,3 \div 0,35$ .

7. Изчисляване на масата на употребената мед и загубите в нея. За  $i$ -тата намотка масата на медта е

$$(6.12) \quad G_{Mi} = 10^{-5} \gamma_M l_{\text{ср}} \omega_i q_i, \text{ kg} (i=1, 2, \dots, n),$$

където  $\gamma_M = 8,9 \text{ g/cm}^3$  е плътността на медта;

$l_{\text{ср}}$  — средната дължина на една навивка;

$\omega_i$  — броят на навивките на  $i$ -тата намотка;

$q_i$  — сечението на проводника,  $\text{mm}^2$ .

Загубите в медта при средна работна температура  $75^\circ\text{C}$  се изчисляват по формулата

$$(6.13) \quad P_M = 2,4 \sum_{i=1}^n j_i^2 G_{Mi}, \text{ W}.$$

8. Изчисляване на загубите в магнитопровода. Извършва се по формулата

$$(6.14) \quad P_{\text{ст}} = p_{\text{ст}} B_{\text{max}}^2 \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} G_{\text{ст}}, \text{ W},$$

където  $p_{\text{ст}}$  са специфичните загуби на феромагнитния материал при честота  $50 \text{ Hz}$  и магнитна индукция  $B_{\text{max}} = 1 \text{ T}$  (за най-често употребяваните електротехнически стомани  $p_{\text{ст}}$  е в границите  $1 \div 5 \text{ W/kg}$ );

$B_{\text{max}}$  — максималната магнитна индукция,  $\text{T}$ ;

$f$  — работната честота на трансформатора,  $\text{Hz}$ ;

$G_{\text{ст}}$  — масата на магнитопровода,  $\text{kg}$ .

Масата на магнитопровода се изчислява по формулата

$$(6.15) \quad G_{\text{ст}} = 10^{-3} \gamma_{\text{ст}} V_{\text{ст}}, \text{ kg},$$

където  $\gamma_{\text{ст}} = 7,8 \text{ g/cm}^3$  е плътността на стоманата;

$V_{\text{ст}}$  — обемът на стоманения магнитопровод,  $\text{cm}^3$ .

Обемът на магнитопровода се отчита от таблици или се изчислява от геометричните му размери.

9. Изчисляване на коефициента на полезно действие на трансформатора

$$(6.16) \quad \eta = \frac{P_n}{P_n + P_M + P_{\text{ст}}}.$$

10. Изчисляване на прегряването на трансформатора

Температурата, до която се нагрява повърхността на трансформатора, е

$$(6.17) \quad t^\circ = t_0^\circ + \frac{P_M + P_{\text{ст}}}{\alpha_t s_{\text{охл}}}, \text{ }^\circ\text{C},$$

където

$t_0^\circ$  е температурата на околната среда;

$\alpha_t = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm}^2\text{deg}$  — коефициентът на топлоотдаване;

$s_{\text{охл}}$  — охлаждащата повърхност на целия трансформатор (изчислява се от геометричните му размери).

Температурата на най-нагрялата точка на трансформатора превишава температурата на повърхността му с  $10 \div 15^\circ\text{C}$  и това трябва да се има предвид.

Пример 6.1. Да се изчисли еднофазен двунамотъчен трансформатор със следните данни: напрежение на захранващата мрежа  $U_1 = 220 \text{ V}$ , вторично напрежение  $U_2 = 18 \text{ V}$ , вторичен ток  $I_2 = 3 \text{ A}$ , характер на товара — активен, честота на захранващата мрежа  $f = 50 \text{ Hz}$ , температура на околната среда  $45^\circ\text{C}$ , допустима температура на прегряване на трансформатора  $\Delta t^\circ = 55^\circ\text{C}$ .

#### Изчисление

1. Изчислителната мощност на трансформатора е

$$P_n = U_2 I_2 = 18 \cdot 3 = 54 \text{ W}.$$

2. Избира се Ш-образен магнитопровод (бронев тип).

3. Избира се максимална магнитна индукция  $B_{\text{max}} = 1,2 \text{ T}$ .

4. Определя се сечението на магнитопровода (6.1)

$$S_{\text{ст}} = \sqrt{P_n} = \sqrt{54} = 7,35 \text{ cm}^2.$$

5. Изчисляват се максималната и минималната широчина на ламелите на магнитопровода (6.3), (6.4)



$$b_{\max} = \sqrt{s_{\text{ст}}} = \sqrt{7,35} = 2,71 \text{ см};$$

$$b_{\min} = \sqrt{\frac{s_{\text{ст}}}{1,5}} = \sqrt{\frac{7,35}{1,5}} = 2,21 \text{ см}.$$

6. Избира се подходящ стандартен пакет ламели. В случая това е Ш24×36 с широчина на ламелата  $y_1 = 24 \text{ mm}$  (средна между  $b_{\max}$  и  $b_{\min}$ ) и сечение на пакета  $s_{\text{ст}} = 7,61 \text{ cm}^2$ .

Изчисленията се провеждат за това сечение.

7. Изчислява се броят на навивките (6.6):

а) за първичната намотка

$$\omega_1 = 45 \frac{U_1}{s_{\text{ст}} B_{\max}} = 45 \frac{220}{7,61 \cdot 1,2} = 1084 \text{ нав.};$$

б) за вторичната намотка

$$\omega_2' = 45 \frac{U_2}{s_{\text{ст}} B_{\max}} = 45 \frac{18}{7,61 \cdot 1,2} = 89 \text{ нав.}$$

За компенсиране на пада на напрежението в трансформатора навивките на вторичната намотка се увеличават с 10%

$$\omega_2 = 1,1 \omega_2' = 1,1 \cdot 89 = 98 \text{ нав.}$$

8. Изчислява се токът през първичната намотка (6.7)

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{1,1 P_{\text{н}}}{U_1} = \frac{1,1 \cdot 54}{220} = 0,27 \text{ A}.$$

Тук мощността на първичната намотка е увеличена с 10% спрямо изчислителната мощност на трансформатора поради наличието на загуби в него.

9. Токът през вторичната намотка е зададен и не се изчислява.

$$I_2 = 3 \text{ A}.$$

10. Изчислява се диаметърът на проводниците без изолация при избрана плътност на тока  $j_1' = j_2' = 2,5 \text{ A/mm}^2$

а) за първичната намотка

$$d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{I_1}{j_1'}} = 1,13 \sqrt{\frac{0,27}{2,5}} = 0,37 \text{ mm}.$$

От таблица се избира най-близкият стандартен диаметър  $d_1 = 0,38 \text{ mm}$ .

Действителната плътност на тока през първичната намотка е (6.9)

$$j_1 = j_1' \frac{d_{1\text{изчислено}}^2}{d_{1\text{избрано}}^2} = 2,5 \frac{0,37^2}{0,38^2} = 2,36 \text{ A/mm}^2;$$

б) за вторичната намотка

$$d_2 = 1,13 \sqrt{\frac{I_2}{j_2'}} = 1,13 \sqrt{\frac{3}{2,5}} = 1,24 \text{ mm}.$$

Избира се проводник с диаметър  $d_2 = 1,25 \text{ mm}$ . Действителната плътност на тока през вторичната намотка е

$$j_2 = j_2' \frac{d_{2\text{изчислено}}^2}{d_{2\text{избрано}}^2} = 2,5 \frac{1,24^2}{1,25^2} = 2,45 \text{ A/mm}^2.$$

11. Изчислява се общото сечение на проводниците в намотките (6.11)

$$s_{\text{м}} = \frac{\pi}{4} (\omega_1 d_1^2 + \omega_2 d_2^2) = \frac{3,14}{4} (1084 \cdot 0,38^2 + 98 \cdot 1,25^2) = 243 \text{ mm}^2.$$

12. Изчислява се коефициентът на запълване на прозореца на магнетопровода (6.10)

$$k_3 = \frac{s_{\text{м}}}{s_{\text{проз}}} = \frac{243}{36 \cdot 12} = 0,56.$$

Тази стойност е недопустимо голяма и означава, че практически е не възможно проводниците да се съберат в прозореца на избрания магнетопровод. Затова се избира следващият по-голям размер пакет с приблизително същото сечение. В случая това е Ш30×30 с  $s_{\text{ст}} = 7,92 \text{ cm}^2$ .

Изчисленията по т. 7, 11 и 12 се повтарят с новите данни

$$7. \quad \omega_1 = \frac{290 \cdot 45}{7,92 \cdot 1,2} = 1042 \text{ нав.};$$

$$\omega_2' = \frac{18 \cdot 45}{7,92 \cdot 1,2} = 85 \text{ нав.};$$

$$\omega_2 = 1,1 \cdot 85 = 94 \text{ нав.}$$

$$11. \quad s_{\text{м}} = \frac{3,14}{4} (1042 \cdot 0,38 + 94 \cdot 1,25) = 234 \text{ mm}^2.$$

$$12. \quad k_3 = \frac{s_{\text{м}}}{s_{\text{проз}}} = \frac{234}{45 \cdot 15} = 0,35.$$



Тази стойност на коефициента на запълване е допустима.  
13. Изчислява се масата на медта в трансформатора (6.12)

$$G_{M1} = 10^{-5} \gamma_M l_{cp1} \omega_1 q_1 = 10^{-5} \cdot 8,9 \cdot 15 \cdot 1042 \cdot 0,1134 = 0,158 \text{ kg};$$

$$G_{M2} = 10^{-5} \gamma_M l_{cp2} \omega_2 q_2 = 10^{-5} \cdot 8,9 \cdot 21 \cdot 94 \cdot 1,227 = 0,216 \text{ kg}.$$

14. Изчисляват се загубите в медта (6.13)

$$P_M = 2,4 (j_1^2 G_{M1} + j_2^2 G_{M2}) = 2,4 (2,37^2 \cdot 0,158 + 2,46^2 \cdot 0,216) = 5,26 \text{ W}.$$

15. Изчислява се масата на магнитопровода (6.15)

$$G_{ст} = 10^{-3} \gamma_{ст} V_{ст} = 10^{-3} \cdot 7,8 \cdot 162 = 1,26 \text{ kg}.$$

16. Изчисляват се загубите в магнитопровода (6.14)

$$P_{ст} = p_{ст} B_{max}^2 \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} G_{ст} = 2 \cdot 1,2^2 \cdot 1^{1,3} \cdot 1,26 = 3,63 \text{ W}.$$

17. Изчислява се коефициентът на полезно действие на трансформатора (6.16)

$$\eta = \frac{P_H}{P_H + P_M + P_{ст}} = \frac{54}{54 + 5,26 + 3,63} = 0,86.$$

18. Изчислява се температурата на повърхността на трансформатора (6.17)

$$t^\circ = t_\theta^\circ + \frac{P_M + P_{ст}}{\alpha_1 s_{охл}} = 45 + \frac{5,26 + 3,36}{1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 360} = 71,3^\circ \text{C}.$$

Прегряването на повърхността на трансформатора е  $26,3^\circ \text{C}$ . Най-нагрялата точка в дълбочина ще има температура на прегряване  $\Delta t^\circ = 26,3 + 15 = 41,3^\circ \text{C}$  — по-малко от зададената допустима стойност  $55^\circ \text{C}$ .

### 6.3. ПРИБЛИЗИТЕЛНО (СЪКРАТЕНО) ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА МАЛОМОЩЕН ТРАНСФОРМАТОР

**Еднофазни трансформатори с мощност до 50 VA.** Изчисленията могат да се извършат по опростен метод, когато се проектира единична бройка трансформатор за неотговорен случай. При приета максимална стойност на магнитната индукция  $B_{max} = 1 \text{ T}$  се определят:

— сечението на магнитопровода

$$(6.18) \quad s_{ст} = \sqrt{P_H}, \text{ cm}^2;$$

— броят на навивките на намотките

$$(6.19) \quad \omega_1 = 48 \frac{U_1}{s_{ст}};$$

$$(6.20) \quad \omega_2 = 52 \frac{U_2}{s_{ст}};$$

— диаметрите на проводниците

$$(6.21) \quad d = 0,7 \sqrt{I}, \text{ mm}.$$

Коефициентът на запълване на прозореца на магнитопровода и прегряването на трансформатора не се изчисляват.

**Изчисляване на трансформатор по номограми.** За предварително изчисляване на маломощни трансформатори или за единични неотговорни случаи могат да се използват номограми. Те са построени на базата на опростените методи за изчисление и дават приблизителни резултати със задоволителна точност.

На фиг. 6.1 е дадена номограма, която важи за следните изходни данни:  $f = 50 \text{ Hz}$ , сечение на магнитопровода  $s_{ст} = 1,25 \sqrt{P_H}$ , навивки на волт  $\omega_0 = \frac{36}{B_{max} P_H}$  и диаметър на проводниците  $d =$

$= 1,13 \sqrt{\frac{I}{J}}$ , mm. Ползуването на номограмата за изчисляване на маломощен трансформатор е илюстрирано с пример, показан с шрихова линия на фигурата и описан по-долу.

Пример 6.2. Да се изчисли трансформатор с вторично напрежение  $U_2 = 5 \text{ V}$  и ток  $I_2 = 3 \text{ A}$ .

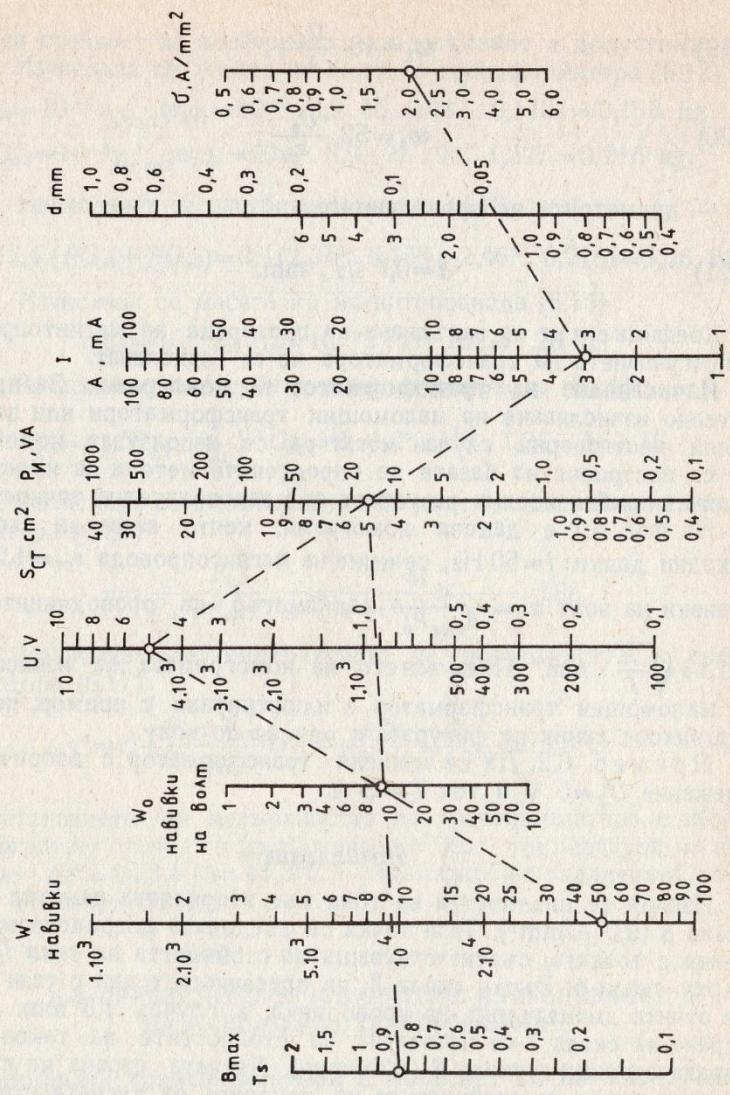
#### Изчисление

Избира се плътността на тока във вторичната намотка върху скала 8 ( $2,0 \text{ A/mm}^2$ ). Тази точка се съединява посредством права линия с точката, съответстваща на стойността на тока  $I_2$  (3 A) върху скала 6. Върху скала 7, на пресечната точка с тази линия, се отчита диаметърът на проводника, в случая  $1,5 \text{ mm}$ . Лявата страна на скала 7 се използва за стойностите на токовете от лявата страна на скала 6 (в амperi). Дясната страна на скала 7 се използва за стойностите на токовете от дясната страна на скала 6 (в милиамperi).

След определяне на диаметъра на проводника на вторичната намотка, съединява се точката, съответстваща на стойността на тока  $I_2$  (скала 6), с точката, отговаряща на напрежението  $U_2$  (скала 4). Пресечната точка на тази линия със скала 5 определя мощността на трансформатора и сечението на магнитопровода, в случая  $P_H = 15 \text{ VA}$  и  $s_{ст} = 5 \text{ cm}^2$ . Като се прекара права линия

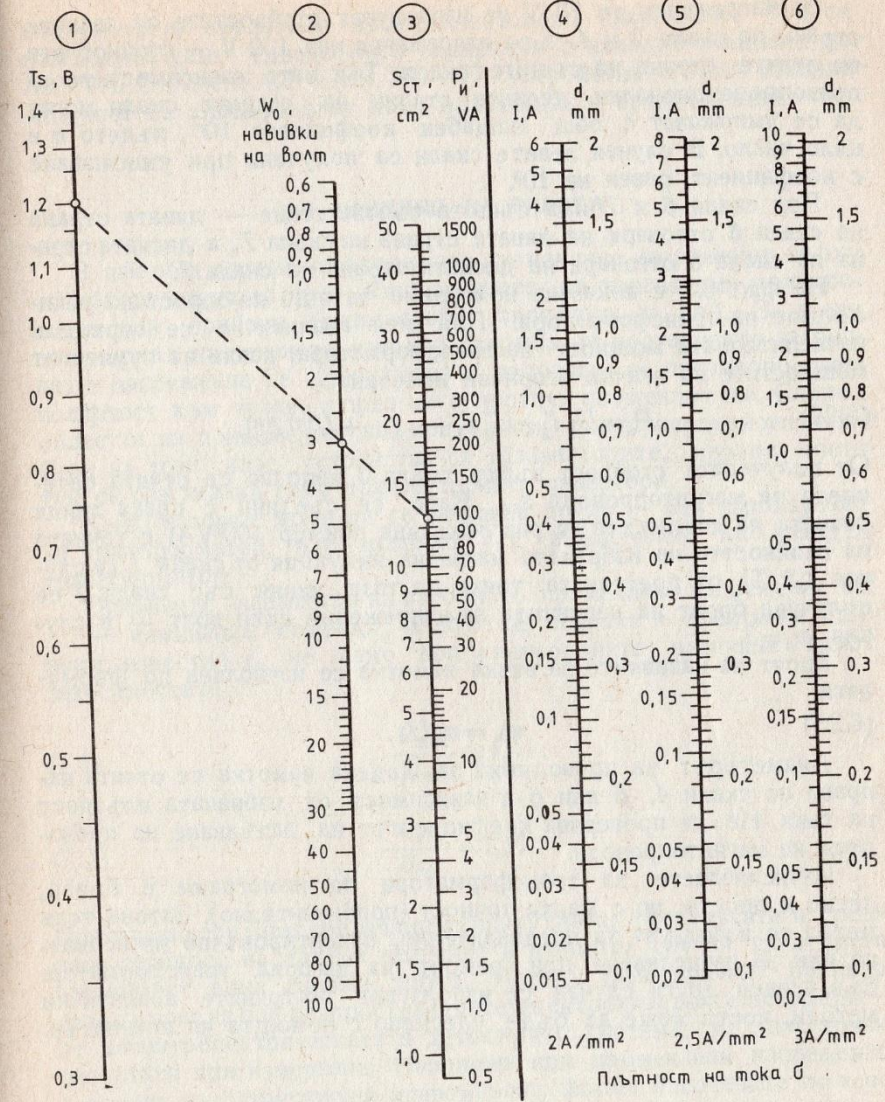


1 2 3 4 5 6 7 8



Фиг. 6.1. Номограма за изчисляване на трансформатори

между пресечната точка от скала 5 и избраната стойност на магнитната индукция върху скала 1, от пресечната ѝ точка със скала 3 се определя броят навивки на един волт напрежение в случая  $w_0=10$ . Прекарването на права линия през точките на  $w_0$  (скала 3) и на  $U_2$  (скала 4) показва върху скала 2 броя на навивките за даденото напрежение, в случая  $w_2=50$ .



Фиг. 6.2. Опростена номограма за изчисляване на трансформатори

Ако трансформаторът е многонамотъчен, изчисленията се провеждат за всяка вторична намотка поотделно, като при определянето на  $P_{II}$  и  $S_{ст}$  се взема сумарната мощност от всички вторични намотки.



За напрежения до  $10^3$  V се използват стойностите от десните страни на скали 2 и 4, а за напрежения над 100 V — стойностите от левите страни на същите скали. Тъй като зависимостите са правопропорционални, десните страни на същите скали могат да се умножават с общ мащабен коефициент  $10^n$ , където  $n$  е цяло число. В случая левите скали са получени при умножаване с коефициент, равен на  $10^3$ .

При скали 6 и 7 има същото съответствие — лявата страна на скала 6 отговаря на лявата страна на скала 7, а дясната страна на скала 6 отговаря на дясната страна на скала 7.

На фиг. 6.2 е показана номограма за още по-опростено изчисляване на трансформатори. При нея аналитично се определя изчислителната мощност на трансформатора, равна на сумата от мощностите на всички вторични намотки:

$$(6.22) \quad P_n = U_2' I_2' + U_2'' I_2'' + \dots + U_2^{(n)} I_2^{(n)}.$$

От получената стойност върху скала 3 направо се отчита сечението на магнитопровода  $S_{ст}$ . Като се съедини с права линия точката на мощността (в разглеждания пример 100 VA) с точката на стойността на избраната магнитна индукция от скала 1 (в случая 1,2 T), от пресечната точка на тази линия със скала 2 се получава броят на навивките за напрежение един волт — в случая  $w_0 = 3$ .

Броят на навивките за всяка намотка се изчислява по формулата

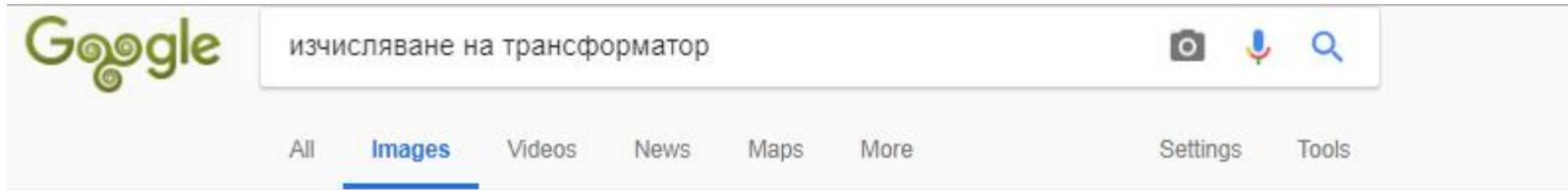
$$(6.23) \quad w_n = w_0 U_n.$$

Диаметърът на проводника за дадена намотка се отчита направо от скали 4, 5 или 6 в зависимост от избраната плътност на тока. Не се проверява коефициентът на запълване на прозореца на магнитопровода.

Изчисляването на трансформатори по номограми е бързо, лесно и просто, но с малка точност (приблизително). Затова този метод се използва за предварително, ориентировъчно изчисляване или за изчисляване при ремонт на изгорял трансформатор. Във всички други случаи се използват по-точните аналитични методи, което може да бъде улеснено с помощта на компютър.

# ТРАНСФОРМАТОРИ

<http://www.technotron-bg.eu/page6.html>



онлайн калкулатор

первичной обмотки

диаметр провода

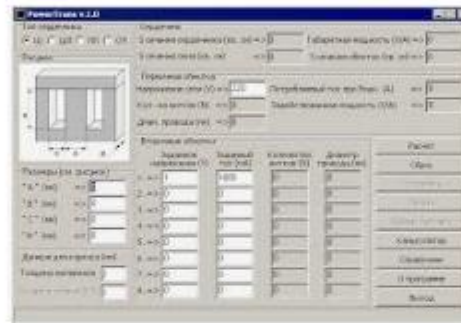
витков первичной

расчет

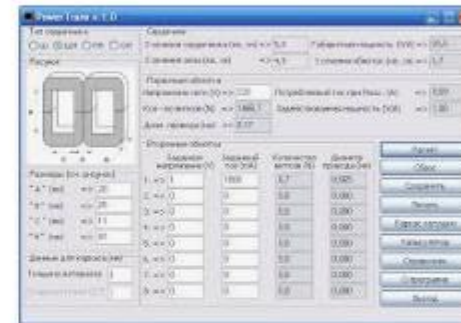
таблица



TECHNOTRON  
technotron-bg.eu



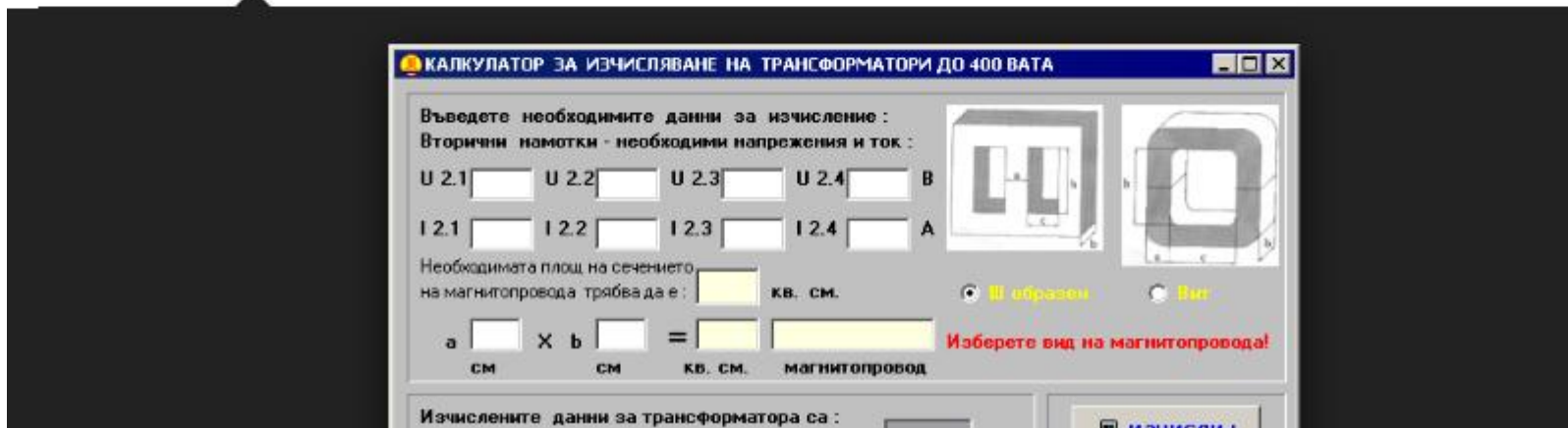
TECHNOTRON  
technotron-bg.eu



Как се мери сечение на магнитопровод ?...  
kaldata.com



Изчи  
sxn



# ТРАНСФОРМАТОРИ

**КАЛКУЛАТОР ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ТРАНСФОРМАТОРИ ДО 400 ВАТА**

Въведете необходимите данни за изчисление :  
Вторични намотки - необходими напрежения и ток :

U 2.1  U 2.2  U 2.3  U 2.4  В

I 2.1  I 2.2  I 2.3  I 2.4  А

Необходимата площ на сечението на магнитопровода трябва да е :  кв. см.

Ш образен  Вит

a  см X b  см =  кв. см.  магнитопровод **Изберете вид на магнитопровода!**

Изчислените данни за трансформатора са :

Първична намотка : Мощност P / Тр./ :  Вата


U 1  В. I 1  А. W 1  бр. D1  мм.


Вторични намотки - брой навивки :

W2.1  W2.2  W2.3  W3.3  бр.


Вторични намотки - диаметър на проводника в мм.:


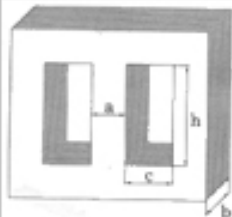
D2.1  D2.2  D2.3  D2.4  мм.

 **ИЗЧИСЛИ !**

 **ПОЧИСТИ !**

*73 FROM LZ 2 WK !*

 **ИЗХОД**

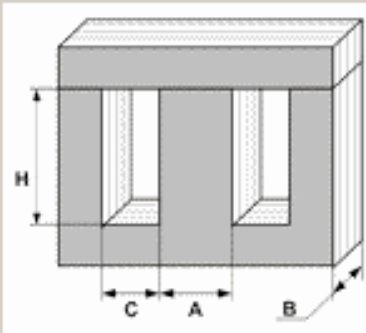


# ТРАНСФОРМАТОРИ

**PowerTrans v.1.0**

Тип сердечника  
 Ш  ШЛ  ПЛ  ОЛ

Сердечник  
 S сечения сердечника (кв. см) => 0      Габаритная мощность (V/A) => 0  
 S сечения окна (кв. см) => 0      S сечения обмоток (кв. см) => 0

Рисунок  


Первичная обмотка  
 Напряжение сети (V) => 220      Потребляемый ток при Pmax. (A) => 0  
 Кол - во витков (N) => 0      Задействованная мощность (V/A) => 0  
 Диам. провода (мм) => 0

Вторичные обмотки

	Заданное напряжение (V)	Заданный ток (mA)	Количество витков (N)	Диаметр провода (мм)
1. =>	1	1000	0	0
2. =>	0	0	0	0
3. =>	0	0	0	0
4. =>	0	0	0	0
5. =>	0	0	0	0
6. =>	0	0	0	0
7. =>	0	0	0	0
8. =>	0	0	0	0

Размеры (см. рисунок)  
 " A " (мм) => 0  
 " B " (мм) => 0  
 " C " (мм) => 0  
 " H " (мм) => 0

Данные для каркаса (мм)  
 Толщина материала 1  
 Толщина стяжки (ПЛ) 1

Расчёт  
 Сброс  
 Сохранить  
 Печать  
 Каркас катушки  
 Калькулятор  
 Справочник  
 О программе  
 Выход

### **Методика за изчисление на мрежови трансформатори**

*Ще бъде описана опростена методика за практическо изчисление на мрежови трансформатори предназначени за захранване на електронна апаратура. Сечението на магнитопровода  $S$  зависи от номиналната мощност  $P$  на трансформатора. За Ш-образен магнитопровод се използва формулата:*

$$S = 1,2\sqrt{P_1} [\text{cm}^2]$$

*а при П-образен магнитопровод със симетрична първична намотка е:*

$$S = 0,75\sqrt{P_1} [\text{cm}^2]$$

*Първичната мощност  $P_1$  е във вати, а резултатът се получава в  $\text{cm}^2$ . Тя се определя като сбор от мощностите на всички вторични намотки, и се предвижда още 10% загуби т.е.*

$$P_1 = 1,1(P_{21} + P_{22} + \dots + P_{2n})$$

*При така определеното сечение на магнитопровода, се определя така наречената навивка на волт  $n$  по формулата:*

$$n = \frac{45}{B.S}$$



При така определеното сечение на магнитопровода, се определя така наречената навивка на волт  $n$  по формулата:

$$n = \frac{45}{B.S}$$

където  $B$  е магнитната индукция на материала. Най-широко разпространената в практиката електротехническа стомана има магнитна индукция  $B=1T$ .

Броят на навивките в първичната намотка се определят като навивките на волт  $n$  се умножат с напрежението на мрежата, т.е.

$$w_1 = n.U_1$$

За вторичните намотки формулата е същата, но се предвиждат отново 10% загуби т.е.

$$w_{2n} = 1,1.n.U_{2n}$$

Диаметърът на проводника в първичната и вторичните намотки се определя в зависимост от възможността им за охлаждане. Ако не са взети специални мерки за охлаждане се приема, че при проводници с лакова изолация плътността на тока  $\Delta$  във вътрешните слоеве на трансформатора не бива да бъде по-голяма от  $2,5A/mm^2$ , а във външните слоеве -  $\Delta=3A/mm^2$ . Диаметърът на проводника се определя по формулата:

$$d \geq 1,13 \sqrt{\frac{I}{\Delta}} [mm^2]$$

Необходимо е да се направи проверка за това дали намотките ще се съберат в избраната сърцевина.