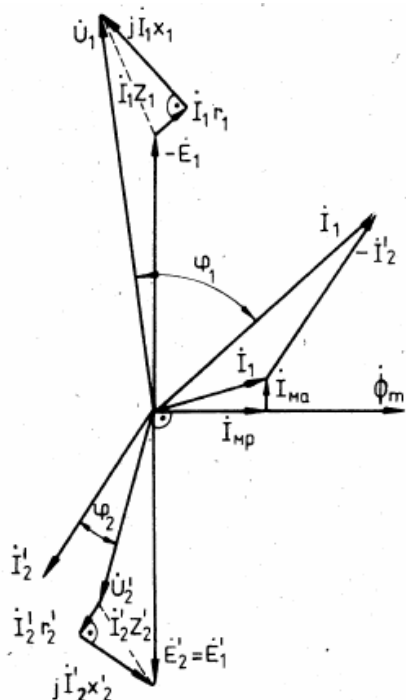


Векторни диаграми на трансформатора

Комплексните уравнения може да се изобразят графично във вид на **векторна диаграма**, която нагледно показва съотношенията на токовете, е. д. н., напреженията и ъглите на дефазирание между тях.



Фиг. 5.11. Векторна диаграма на трансформатора

$$(5.22) \quad \begin{cases} \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j\dot{I}_1 x_1 & ; \\ \dot{E}_2 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 r_2 + j\dot{I}_2 x_2 & ; \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_m + (-\dot{I}_2) & ; \end{cases} \quad \boxed{\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1; \\ \dot{E}_2 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 Z_2; \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_m + (-\dot{I}_2). \end{cases}}$$

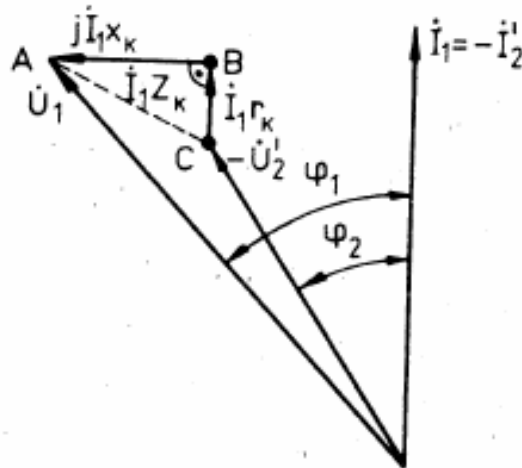
Векторната диаграма, която представлява геометричен образ на уравн. (5.22), при активно-индуктивно натоварване се построява в следната последователност

1. Вектора на вторичното напрежение

2. Вектора на вторичния ток
3. Добавя се активния пад върхи r_2 и т.н.

По аналогичен начин може да се построи векторната диаграма при активно-капацитивен товар.

Опростената векторна диаграма на трансформатора на фиг. 5.12 е построена в съответствие с (5.29). Най-напред се построяват вектора на вторичното напрежение и вектора на вторичния ток = на вектора на първичния ток по дължина. Към вектора на вторичното напрежение се добавя вектора на активния и реактивен пад при късо съединение и т.н.



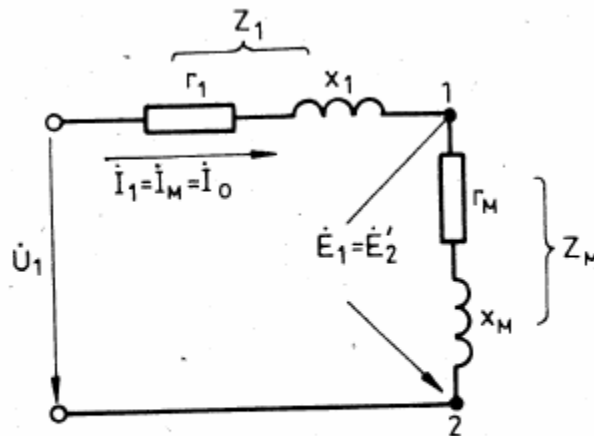
Фиг. 5.12. Опростена векторна диаграма на трансформатора

Празен ход на трансформатора

Трансформаторът работи на празен ход (п. х.), когато вторичната му намотка е отворена, т. е. $I_2=0$. Тогава системата уравнения (5.22) добива вида

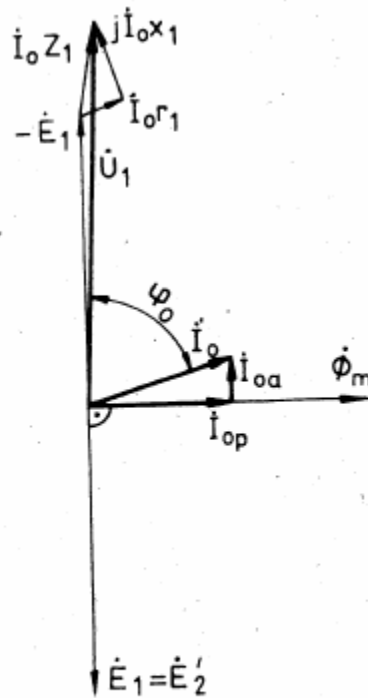
$$(5.31) \quad \begin{cases} U_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 r_1 + j\dot{I}_0 x_1 = -E_1 + \dot{I}_0 Z_1; \\ \dot{E}_2 = \dot{U}_2; \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_M = \dot{I}_0. \end{cases}$$

В случая намагнитващият ток I_M е равен на тока на празен ход I_0 .



Фиг. 5.13. Заместваща схема на трансформатора при празен ход

На (5.31) съответствуват заместващата схема и векторната диаграма при п. х., показани съответно на фиг. 5.13 и 5.14.



Фиг. 5.14. Векторна диаграма на трансформатора при празен ход

Интерес представлява опитното изследване на трансформатора при п. х. Опитът на празен ход дава възможност да се определят следните характерни за трансформатора величини:

- коэффициентът на трансформация,
- токът на п. х.,
- мощността при празен ход,
- параметрите на заместващата схема при п. х.

Токът на празен ход е сравнително малък (1 — 10% от номиналния ток). Мощността при празен ход P_0 е разна на сумата от електрическите загуби при празен ход и загубите в стоманата p_c .

Тъй като $I_0^2 r_1 \ll p_c$ практически може да се счита, че измерената мощност при празен ход е равна на загубите в стоманата на магнитопровода ($P_0 \approx p_c$).

Късо съединение на трансформатора

При **режим на късо (к. с.)** вторичната намотка на трансформатора е затворена накъсо и следователно $U_2=0$. Тогава системата уравнения (5.22) добива вид

$$(5.32) \quad \begin{cases} \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + I_1 r_1 + j I_1 x_1 = -\dot{E}_1 + I_1 Z_1; \\ \dot{E}_2' = I_2' r_2' + j I_2' x_2' = I_2' Z_2'; \\ I_1 = I_{2N} + (-I_2') \end{cases}$$

Различават се два вида късо съединение: **аварийно** (експлоатационно) к. с. **и ОПИТ** на к. с.

В първия случай на първичната намотка е подадено номиналното напрежение. Този режим е много опасен за трансформатора, тъй като токовете в намотките могат да надвишат многократно номиналните си стойности. Този режим може да настъпи в условията на експлоатацията и ако трансформаторът не бъде своевременно изключен от защитните средства, той ще претърпи авария.

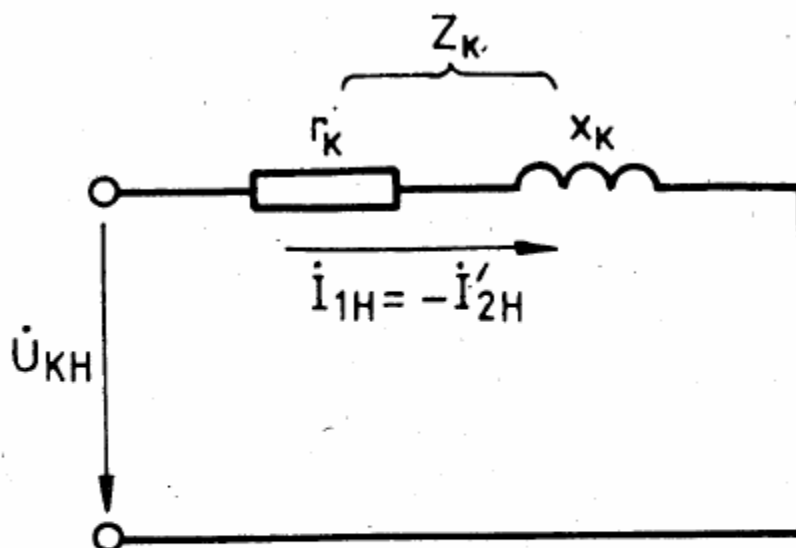
Опитът на к. с. се провежда в лабораторни условия с цел да се определят важни параметри на трансформатора. Към първичната намотка се подава **понижено напрежение** U_{KH} така че токовете в намотките да бъдат равни на номиналните.

Напрежението U_{KH} се нарича **номинално напрежение на к. с.** В мощните трансформатори то е равно на 4-7%, а в маломощните може да достигне 10-17% от номиналното напрежение.

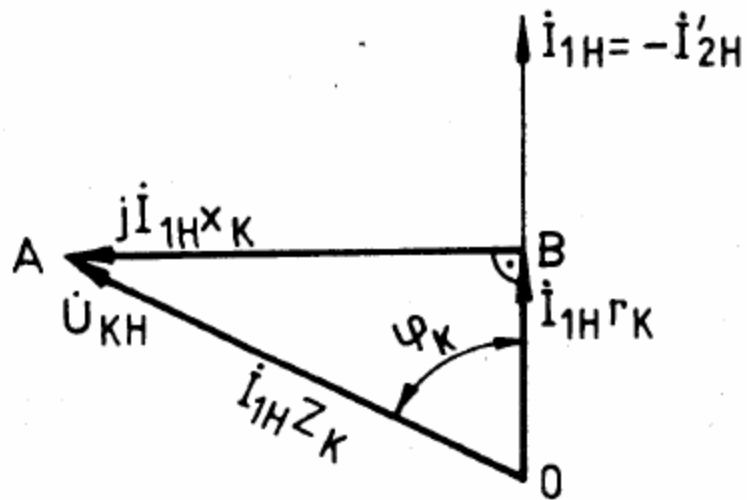
Тъй като опитът на к. с. се провежда при силно понижено напрежение, е. д. н. E_1 , а следователно и магнитният поток в магнитопровода са твърде малки. Намагнитващият ток I_m , необходим за възбуждане на този поток, е незначителен и може да се прежебрегне. След като в (5.29) се положи $U_2' = 0$ и се вземат предвид условията за провеждане на опита, може да се запише

$$(5.33) \quad \begin{cases} \dot{U}_{KH} = I_{1N} r_K + j I_{1N} x_K = I_{1N} Z_K; \\ I_{1N} = -I_{2N}' \end{cases}$$

На (5.33) съответствуват заместващата схема и векторната диаграма, показани съответно на фиг. 5.15 и 5.16. Триъгълникът ABC на фиг. 5.16 се нарича триъгълник на късо съединение.



Фиг. 5.15. Заместваща схема при късо съединение на трансформатор



Фиг. 5.16. Векторна диаграма при късо съединение на трансформатор

Опитът на к. с. позволява да се определят следните величини:

- параметрите на заместващата схема при к. с.,
- загубите при к. с.,
- напрежението на к. с.

Тъй като при опита на късо съединение основният магнитен поток е малък, загубите в стоманата са много малки и могат да се пренебрегнат. Следователно измерената мощност при късо съединение практически е равна на електрическите загуби в намотките на трансформатора" ($P_K \approx P_{ел}$)

Изменение на напрежението и външна характеристика на трансформатора

Обикновено трансформаторът работи при $U = U_H = \text{const}$ и $f = f_H = \text{const}$. При изменение на натоварването (тока I_2) вторичното напрежение U_2 също се изменя. Процентното изменение на напрежението е

$$(5.34) \quad \Delta u = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} 100 = \frac{U'_{20} - U'_2}{U'_{20}} 100 = \frac{U_{1H} - U'_2}{U_{1H}} 100, \%$$

където

U_{20} е вторичното напрежение при п.х.

U_2 - вторичното напрежение при натоварване.

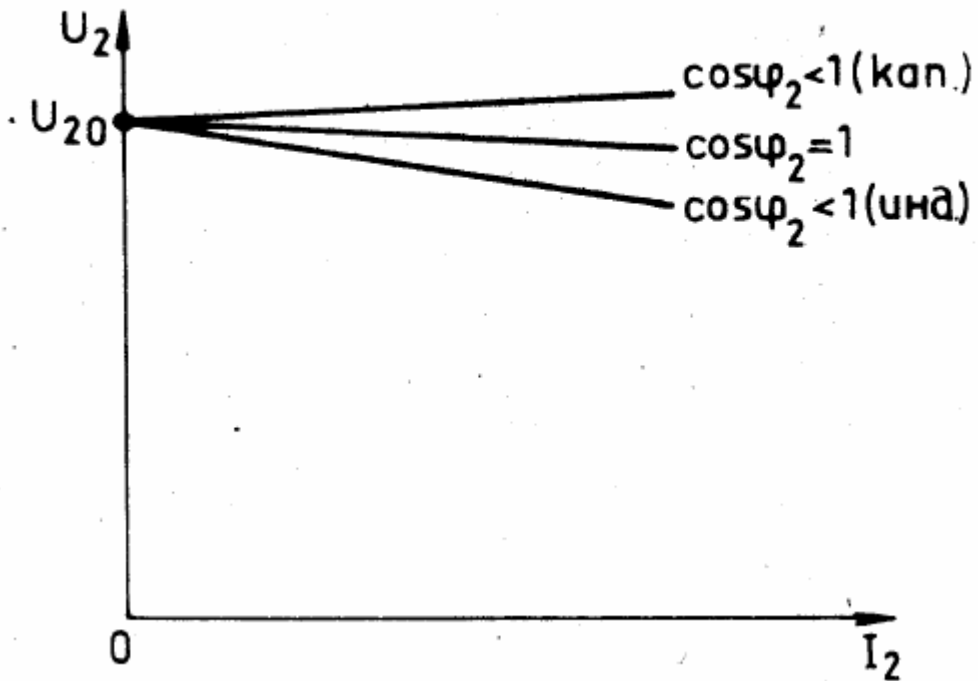
Относителното натоварване на трансформатора е

$$(5.36) \quad \beta = \frac{I_1}{I_{1H}} = \frac{I_2}{I_{2H}} \text{ е относителното натоварване;}$$

При активно-индуктивен товар $\varphi_2 > 0$, а при активно-капацитивен товар $\varphi_2 < 0$. Изменението на напрежението зависи както от големината на натоварването (β), така и от характера на товара (φ_2). При активно-капацитивно натоварване изменението на напрежението Δu може да се получи отрицателно, което означава, че U_2 е по-голямо от U_{20} , т.е. при увеличаване на натоварването вторичното напрежение расте.

Външната характеристика на трансформатора представлява зависимостта или $U_2 = f(I_2)$ при $U_1 = \text{const}$, $f = \text{const}$, $\cos\varphi_2 = \text{const}$. На фиг. 5.18 са показани външни характеристики при различен характер на товара. Те показват, че при активен и активно-индуктивен товар с увеличаване на I_2 напрежението U_2 се намалява, а при активно-капацитивен товар - нараства. Трябва да се отбележи, че при трансформатори с малка мощност, при които $r_k > x_k$ дори и при активно-капацитивен товар, напрежението се намалява при увеличаване на натоварването.

Колкото по-малко се изменя напрежението при изменение на натоварването, толкова по-добри са експлоатационните качества на трансформатора.



Загуби и коефициент на полезно действие на трансформатора

Коефициентът на полезно действие (к. п. д.) η представлява отношението на отдадената (полезната) P_2 към подадената (консумираната) P_1 активна мощност на трансформатора:

$$(5.37) \quad \eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

К. п. д. на мощните трансформатори достига **0.96-0.99**, а на маломощните - **0.6-0.92**.

Когато к.п.д. е под 0.85, може да се използва **п р е к и я т м е т о д** за неговото определяне в съответствие с (5.37). При по-големи стойности на к.п.д. **п р е к и я т м е т о д** не е достатъчно точен и затова се препоръчва к.п.д. да се определя по **к о с в е н и я м е т о д** в съответствие с формулата

$$(5.38) \quad \eta = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma p} = \frac{P_2}{P_2 + p_c + p_{ел}},$$

където Σp е сумата от загубите на мощност в трансформатора. При **п р е к и я т м е т о д** се измерват мощностите P_1 и P_2 , а при **н е п р е к и я т м е т о д** - загубите в стоманата p_c и електрическите загуби $p_{ел}$. Последните лесно се определят при провеждане на опита на празен ход и опита на късо съединение.

Отдадената активна мощност може да се представи по следния начин:

$$(5.40) \quad P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = \beta U_2 I_{2H} \cos \varphi_2 \approx \beta U_{2H} \cos \varphi_2 = \\ = \beta S_H \cos \varphi_2,$$