

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММЫ ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: изучить составляющие потерь мощности трансформатора и разобраться с методикой построения векторной диаграммы трансформатора.

Основные теоретические сведения

Потери мощности, полезная мощность и КПД

В процессе трансформирования электрической энергии часть энергии теряется в трансформаторе на покрытие потерь. Потери в трансформаторе разделяются на электрические и магнитные.

Электрические потери (потери в меди, потери в обмотках, переменные потери) обусловлены нагревом обмоток трансформаторов при прохождении по этим обмоткам электрического тока. Мощность электрических потерь $P_{\text{э}}$ пропорциональна квадрату тока и определяется суммой электрических потерь в первичной $P_{1\text{э}}$ и во вторичной $P_{2\text{э}}$ обмотках:

$$P_{\text{э}} = P_{1\text{э}} + P_{2\text{э}} = mI_1^2 R_1 + mI_2^2 R_2,$$

где m — число фаз в обмотках трансформатора (для однофазного трансформатора $m = 1$, для трехфазного $m = 3$).

Для изготовленного трансформатора электрические потери определяют опытным путём, измерив мощность короткого замыкания:

$$P_{\text{э}} = \beta^2 P_{\text{кз}},$$

где β — коэффициент нагрузки (загрузки трансформатора):

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2\text{НОМ}}}.$$

Электрические потери называют переменными, т.к. их величина зависит от нагрузки трансформатора.

Магнитные потери (потери в стали, потери в магнитопроводе, постоянные потери) происходят в магнитопроводе трансформатора. Причина этих потерь — систематическое перемагничивание магнитопровода переменным магнитным полем. Это перемагничивание вызывает в магнитопроводе два вида магнитных потерь: потери от гистерезиса $P_{\text{Г}}$, связанные с затратой энергии на уничтожение остаточного магнетизма в ферромагнитном материале магнитопровода, и потери от вихревых токов $P_{\text{ВТ}}$, наводимых переменным магнитным полем в пластинах магнитопровода:

$$P_{\text{М}} = P_{\text{Г}} + P_{\text{ВТ}}.$$

При неизменном первичном напряжении ($U_1 = const$) магнитные потери постоянны, т.е. не зависят от нагрузки трансформатора.

Для изготовленного трансформатора магнитные потери определяют опытным путём, посредством измерения мощности холостого хода при номинальном первичном напряжении.

Таким образом, активная мощность P_1 , поступающая из сети в первичную обмотку трансформатора, частично расходуется на электрические потери в этой обмотке $P_{1Э}$. Переменный магнитный поток вызывает в магнитопроводе трансформатора магнитные потери P_M . Оставшаяся после этого мощность, называемая электромагнитной мощностью $P_{ЭМ}$, передаётся во вторичную обмотку, где частично расходуется на электрические потери в этой обмотке $P_{2Э}$:

$$P_{ЭМ} = P_1 - P_{1Э} - P_M.$$

Активная мощность, поступающая в нагрузку трансформатора:

$$P_2 = P_1 - \sum P,$$

где $\sum P$ — суммарные потери в трансформаторе:

$$\sum P = P_{1Э} + P_M + P_{2Э}.$$

Все виды потерь, сопровождающие рабочий процесс трансформатора, представляются в виде энергетической диаграммы (рис. 5.1).

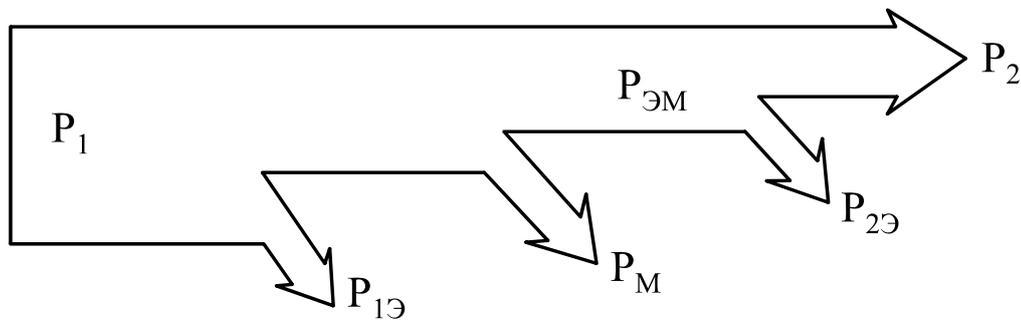


Рис. 5.1. Энергетическая диаграмма трансформатора

Коэффициент полезного действия (КПД) трансформатора определяется как отношение активной мощности на выходе вторичной обмотки P_2 (полезная мощность) к активной мощности на входе первичной обмотки P_1 (подводимая мощность):

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum P}{P_1} = 1 - \frac{\sum P}{P_1}.$$

Сумма потерь: $\sum P = P_{xx} + \beta^2 P_{кз}.$

Активная мощность на выходе вторичной обмотки трёхфазного трансформатора:

$$P_2 = \sqrt{3}U_{2НОМ}I_{2НОМ}.$$

где I_2, U_2 — линейные значения тока и напряжения;
 $S_{НОМ}$ — номинальная мощность трансформатора:

$$S_{НОМ} = \sqrt{3}U_{2НОМ}I_{2НОМ}.$$

Учитывая, что $P_1 = P_2 + \sum P$, получаем выражения для расчёта КПД трансформатора:

$$\eta = \frac{\beta S_{НОМ} \cos \varphi_2}{\beta S_{НОМ} \cos \varphi_2 + P_{XX} + \beta^2 P_{КЗ}}.$$

Из последнего выражения видно, что КПД трансформатора зависит как от величины β так и от характера нагрузки ($\cos \varphi$). Причём даже при малых значениях β КПД трансформатора уже высокий (рис. 5.2).

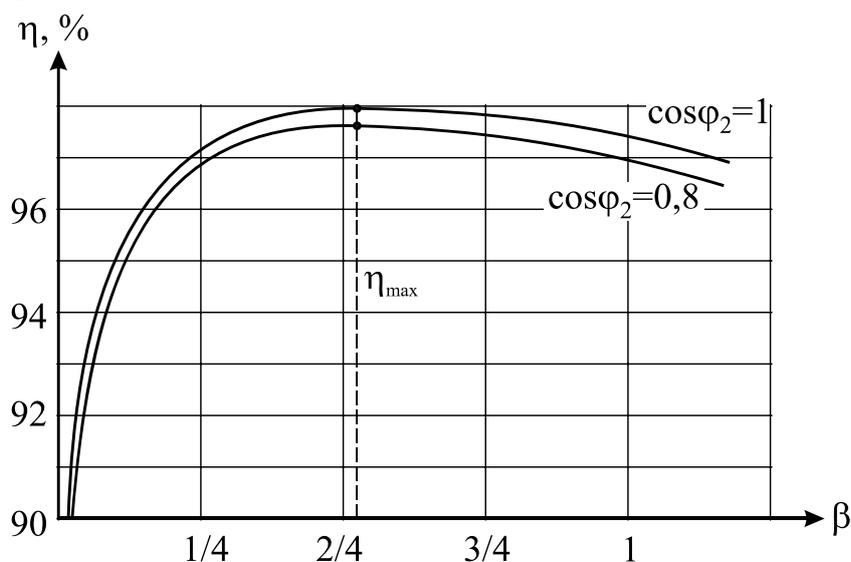


Рис 5.2. График зависимости КПД трансформатора от нагрузки

Кроме КПД по мощности пользуются понятием КПД по энергии, который представляет собой отношение количества энергии, отданной трансформатором потребителю W_2 , кВт·ч, в течение года, к энергии W_1 , полученной им от питающей электросети за это же время:

$$\eta_э = \frac{W_2}{W_1}.$$

КПД по энергии характеризует эффективность эксплуатации трансформатора.

Благодаря отсутствию в трансформаторе вращающихся частей его КПД выше, чем у электрических машин. В трансформаторах большой мощности КПД достигает 98...99%

Векторная диаграмма трансформатора

Векторная диаграмма (рис. 5.3) строится исходя из уравнений ЭДС и токов приведенного трансформатора:

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \Delta \underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{Z}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{R}_1 + \underline{I}_1 \underline{X}_1;$$

$$\underline{U}'_2 = -\underline{E}'_2 + \Delta \underline{U}'_2 = -\underline{E}'_2 + \underline{I}'_2 \underline{Z}'_2 = -\underline{E}'_2 + \underline{I}'_2 \underline{R}'_2 + \underline{I}'_2 \underline{X}'_2;$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 + (-\underline{I}'_2).$$

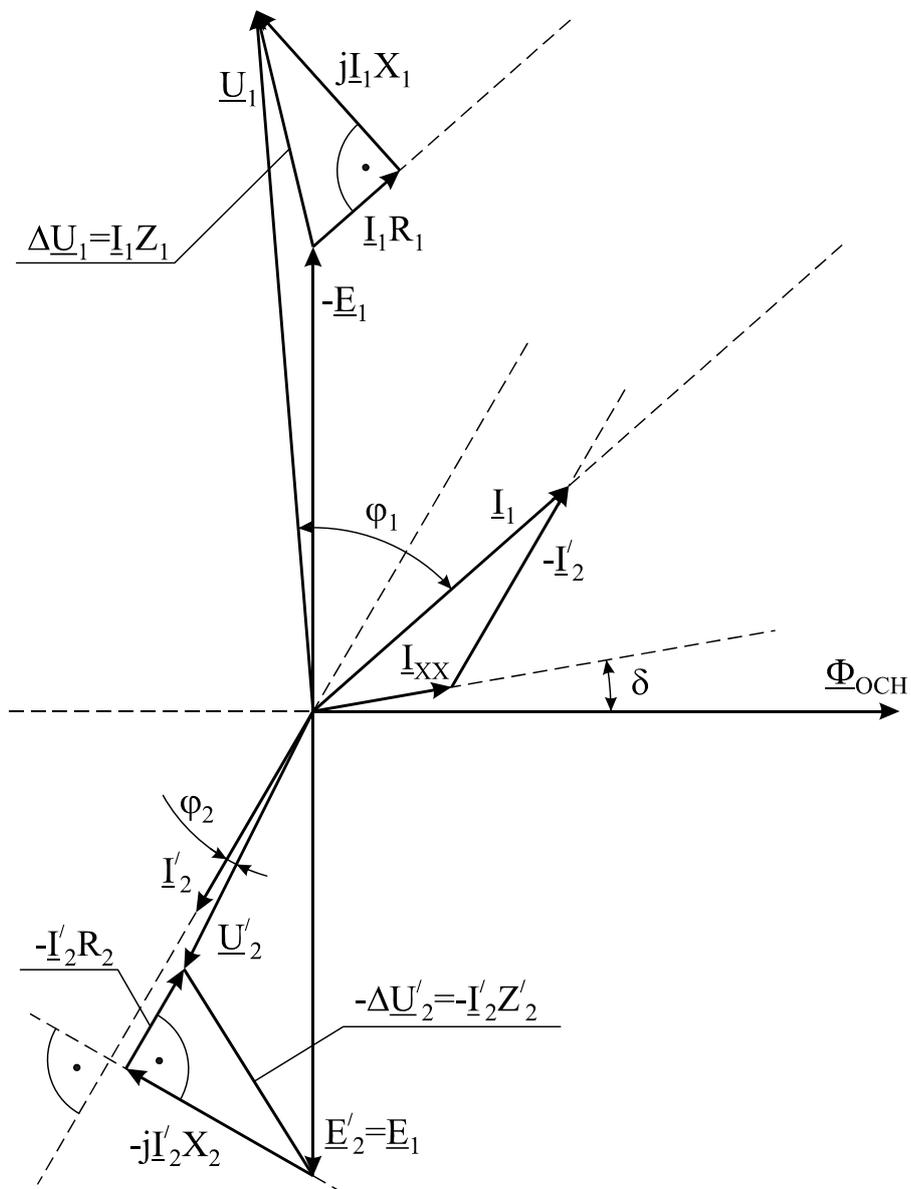


Рис. 5.3. Векторная диаграмма токов и напряжений трансформатора при активно-индуктивной нагрузке

Векторная диаграмма — это графическое выражение основных уравнений приведённого трансформатора, она наглядно показывает соотношения и фазовые сдвиги между токами, ЭДС и напряжениями трансформатора.

Порядок выполнения работы

1. Основываясь на опытных данных при снятии внешней характеристики трансформатора, рассчитать коэффициент загрузки трансформатора и его КПД, расчётные данные занести в таблицу 5.1.

*Таблица 1. Исходные данные
для построения зависимости $\eta = f(\beta)$*

β	η

Используя расчётные данные построить зависимость

$$\eta = f(\beta).$$

2. Построить векторную диаграмму для активно-ёмкостной нагрузки трансформатора.

Содержание отчёта

1. Энергетическая диаграмма и основные формулы определения составляющих потерь трансформатора.
2. График зависимости КПД трансформатора от его загрузки.
3. Векторные диаграммы трансформатора при активно-индуктивной и активно-ёмкостной нагрузке.

Контрольные вопросы

1. Из каких составляющих состоят потери мощности трансформатора?
2. Чем обусловлены электрические потери трансформатора, как их можно уменьшить?
3. Чем обусловлены магнитные потери трансформатора, как их можно уменьшить?
4. Что такое коэффициент загрузки трансформатора?
5. Как найти электрические потери в трансформаторе?
6. Как найти магнитные потери в трансформаторе?

7. Что такое показывает КПД трансформатора, как его рассчитать?
8. Что такое энергетический КПД трансформатора, как его рассчитать?
9. Что показывает энергетическая диаграмма активных мощностей?
10. Объясните порядок построения векторной диаграммы трансформатора.
11. От чего зависят углы φ_1 , φ_2 и как их можно вычислить?
12. Что показывает угол δ ?
13. Поясните связь Т-образной схемы замещения трансформатора с векторной диаграммой.