

Законспектировать материал. Фотоотчёт (1 файл) прислать на эл. почту по расписанию

Обязательно! Прописывать предмет, фамилию в каждом фотоотчёте.

02.10.24 (10:10 – 11.40)

Назначение, устройство и принцип действия однофазного трансформатора

Трансформатор — это электромагнитный аппарат, преобразующий энергию переменного тока одного напряжения в энергию другого напряжения при сохранении той же частоты.

Впервые трансформатор был использован в 1878 г. русским ученым П.Н. Яблочковым для питания изобретенных им "электрических свечей". С конца XIX в. трансформаторы стали использовать при передаче электроэнергии на значительные расстояния. В настоящее время трансформаторы широко применяют в электрической аппаратуре управления, автоматизации связи, где отдельные элементы питаются током различного напряжения.

Различают силовые трансформаторы (предназначенные для преобразования электрической энергии в сетях энергосистем и потребителей электроэнергии) общего и специального назначения; автотрансформаторы; измерительные трансформаторы; сварочные трансформаторы и др.

В зависимости от числа фаз магнитного поля, создаваемого в магнитной системе, трансформаторы делятся на однофазные и трехфазные.

Однофазный трансформатор (рис. 6.1, а) состоит из стального магнитопровода 2 и двух обмоток: первичной 1, к которой подводится энергия преобразуемого переменного тока, и вторичной 3, от которой отводится энергия. В зависимости от напряжения на обмотках различают обмотку высшего (ВН) и низшего (НН) напряжения. Если первичной обмоткой является обмотка НН, трансформатор повышающий, если обмотка ВН — понижающий.

По конструкции и технологии изготовления магнитопроводы делятся на пластинчатые и ленточные. Пластинчатые магнитопроводы (рис. 6.1, б) набирают из штампованных изолированных пластин горячекатаной электротехнической стали П- или Ш-образной формы и замыкающей пластины. Части 2 магнитопровода, на которых находятся обмотки, называются стержнями, а части 1, замыкающие магнитную цепь, — ярмами. Ленточные Ш-образные (рис. 6.1, в) и П-образные магнитопроводы собирают соответственно из четырех или двух частей, полученных навивкой ленты из холоднокатаной электротехнической стали на прямоугольный стержень с последующим разрезанием и шлифованием стыков. В зависимости от того, с одной или с двух сторон магнитопровод охватывает обмотку, различают стержневые (см. рис. 6.1, б) и броневые (см. рис. 6.1, в) трансформаторы.

В трансформаторах малой мощности, встраиваемых в аппаратуру управления и автоматизации, обмотки размещаются на каркасах. При одном каркасе сначала наматывают первичную обмотку, затем накладывают слой изоляции (например, стеклолакоткани) и наматывают вторичную обмотку.

Работа трансформатора основана на взаимной индукции. При включении первичной обмотки в сеть по ней будет проходить переменный ток и в магнитопроводе возникнет переменное магнитное поле, которое индуцирует во вторичной обмотке переменную ЭДС. Если подключить к этой обмотке приемник электрической энергии, то по образовавшейся цепи пройдет переменный ток.

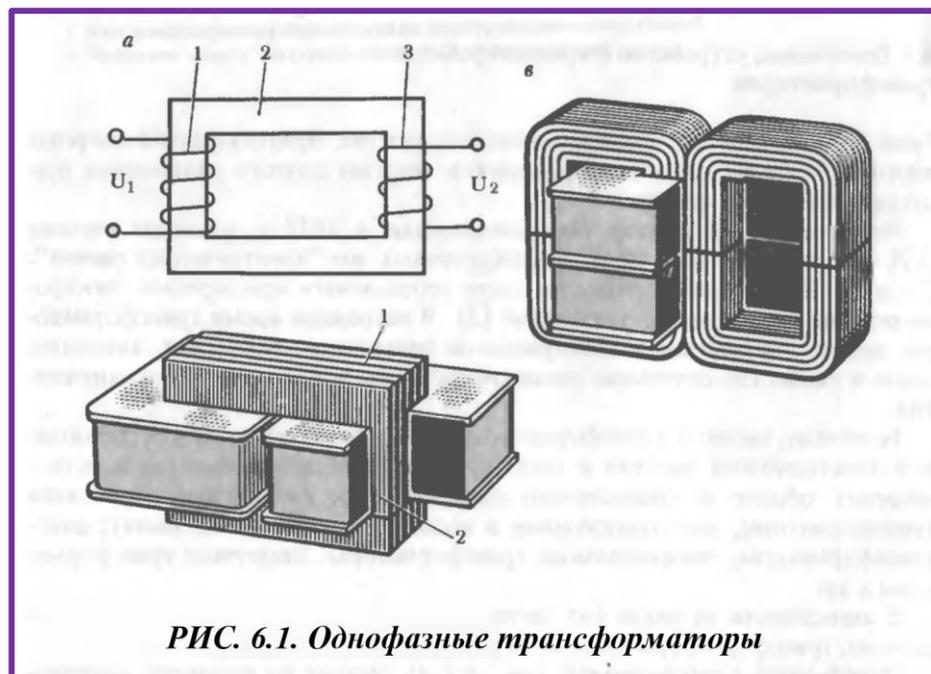


РИС. 6.1. Однофазные трансформаторы

Режимы работы трансформатора.

Холостой ход трансформатора. Холостым ходом называют режим работы при подаче на первичную обмотку напряжения U и разомкнутой вторичной обмотке. При этом по первичной обмотке проходит ток холостого хода I , создающий МДС. $F_0 = I_0 \cdot w_1$ (w_1 — число витков первичной обмотки), которая образует в магнитопроводе магнитный поток Φ . Этот поток, сцепляясь с обеими обмотками, индуцирует в них ЭДС E_1 и E_2 . Отношение

$$E_1 / E_2 = n \quad (6.1)$$

называется **коэффициентом трансформации**.

Ток холостого хода в мощных трансформаторах составляет 3 – 5 % номинального тока первичной обмотки. Поэтому падение напряжения на первичной обмотке будет незначительным (0,1 – 0,3% $U_{\text{НОМ}}$) и $E_1 \approx U_{1\text{НОМ}}$. Так как напряжение на вторичной обмотке при холостом ходе $U_{2\text{НОМ}} = E_2$, то

$$n \approx U_{1\text{НОМ}} / U_{2\text{НОМ}} \quad (6.2)$$

Таким образом, коэффициент трансформации можно определить, измерив напряжения на обеих обмотках при холостом ходе.

Действующие ЭДС E_1 и E_2 (В) определяют по формулам:

$$E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m; \quad E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_m, \quad (6.3)$$

где f — частота тока, Гц; w_1 и w_2 число витков первичной и вторичной обмоток; Φ_m — амплитуда магнитного потока, Вб.

Подставляя формулы (6.3) в (6.1), получим

$$n = E_1 / E_2 = W_1 / W_2. \quad (6.4)$$

Нагрузка трансформатора. Нагрузка — это режим работы при включении приемника электроэнергии во вторичную обмотку. При этом по ней проходит ток, который создает МДС $F_2 = I_2 W_2$, стремящуюся согласно правилу Ленца размагнитить магнитопровод. Однако магнитный поток остается почти таким же, как при холостом ходе, поскольку он согласно формулам (6.3) определяется только значением ЭДС E_1 , а она примерно равна постоянному по значению напряжению U_1 . Поэтому при появлении тока I_2 во вторичной обмотке ток I_1 в первичной обмотке возрастает до такого значения, при котором МДС первичной обмотки $F_1 = I_1 W_1$ полностью компенсирует размагничивающее действие МДС F_2 , т.е. векторная сумма МДС обеих обмоток будет равна МДС первичной обмотки при холостом ходе F_0 .

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_0 \quad \text{или} \quad \vec{I}_1 w_1 + \vec{I}_2 w_2 = \vec{I}_0 w_1.$$

Увеличение тока в первичной обмотке при нагрузке трансформатора обуславливается также законом сохранения энергии.

При нагружении трансформатора напряжение на его вторичной обмотке меняется. Арифметическая разность между номинальным вторичным напряжением (напряжением при холостом ходе) $U_{2\text{ном}}$ и напряжением U_2 при номинальном токе I_2 называется **изменением напряжения трансформатора**: $\Delta U = U_{2\text{ном}} - U_2$. График зависимости $U_2 = f(I_2)$ называется внешней характеристикой (рис. 6.2). Напряжение U_2 зависит также и от характера нагрузки.

Относительное изменение напряжения в процентах

$$\Delta U\% = \frac{U_{2\text{ном}} - U_2}{U_{2\text{ном}}} 100$$

у современных рудничных трансформаторов не превышает 3 %.

Потери мощности и КПД, трансформатора.



В трансформаторе, как и во всяком преобразователе энергии, часть энергии теряется — переходит в тепло. Эта энергия называется потерями. Основные потери в трансформаторе составляют потери: в магнитопроводе (потери в стали) на вихревые токи и гистерезис и в обмотках (потери в меди).

Потери в стали, пропорциональные Φ^2 , не зависят от нагрузки, поскольку магнитный поток остается примерно постоянным. Мощность потерь в стали $P_{ст}$ можно определить из опыта холостого хода, при котором потерями в первичной обмотке можно пренебречь.

Мощность потерь в обмотках (пропорциональную I^2) при номинальной нагрузке $P_{м.ном}$ определяют из опыта короткого замыкания (кз.), т.е. вторичную обмотку замыкают накоротко, а на первичную подают такое напряжение, при котором в обмотках проходят номинальные токи. Это напряжение называют **напряжением к.з.** и обозначают $U_{кз}$. При нагрузке I_2 , отличающейся от номинальной, мощность потерь в обмотках находят из соотношения

$$P_M = P_{M. \text{НОМ}} \left(\frac{I_2}{I_{2 \text{НОМ}}} \right)^2 .$$

К.п.д. трансформатора η представляет собой отношение полезной мощности $P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2$ к мощности потребления $P_1 = U_1 I_1 \cos\varphi_1 = P_2 + P_{\text{пот } \Sigma}$ ($P_{\text{пот } \Sigma}$ - суммарная мощность потерь в магнитоприводе и обмотках), т.е.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{пот } \Sigma}} = \frac{U_2 I_2 \cos\varphi_2}{U_2 I_2 \cos\varphi_2 + P_{\text{ст}} + P_{M. \text{НОМ}} \left(\frac{I_2}{I_{2 \text{НОМ}}} \right)^2} . \quad (6.5)$$

Из графика зависимости $\eta = f(I_2)$ видно (см. рис. 6.2), что к.п.д. имеет максимум. Это характерно не только для трансформаторов, но и для всех устройств. Максимум к.п.д. соответствует нагрузке, при которой переменные потери (зависящие от нагрузки) равны постоянным (не зависящим от нагрузки). Для трансформаторов это условие выразится равенством $P_M = P_{\text{ст}}$. К.п.д. современных трансформаторов достигает 0,98 — 0,99.