

Потери мощности и коэффициент полезного действия трансформатора.

При работе трансформатора в нем возникают потери — магнитные и электрические.

Магнитные потери, или потери в стали  $P_c$ , принимаются, как отмечалось, равными потерям холостого хода  $P_0$ . Они зависят от частоты тока, от индукций  $B_c$  в стержне и  $B_\gamma$  в ярме сердечника, а также от весов стержней и ярм. Для уменьшения магнитных потерь и реактивной составляющей тока холостого хода сечение ярма берут несколько больше (на 5—10%) сечения стержня. Потери  $P_0$  приблизительно пропорциональны квадрату индукции ( $B^2$ ) и частоте тока в степени 1,3 ( $f^{1,3}$ ).

Электрические потери, или потери короткого замыкания, пропорциональны квадрату тока.

Коэффициент полезного действия (к.п.д.) трансформатора имеет высокие значения: от 0,96 при  $S \approx 5$  кВА до 0,995 при номинальной мощности, составляющей десятки тысяч кВА. Поэтому определение его непосредственным методом по формуле

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (7.14)$$

где  $P_2$  — полезная (вторичная) мощность;  $P_1$  — затраченная (первичная) мощность, практически не может дать точных результатов.

Так как потери в трансформаторе невелики, то следует определять к.п.д. трансформатора косвенным методом и пользоваться при этом формулой

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P} = \frac{m U_2 I_2 \cos \varphi_2}{m U_2 I_2 \cos \varphi_2 + m I_2^2 R_K + P_0}, \quad (7.15)$$

где  $\sum \Delta P$  — сумма всех потерь в трансформаторе;

$m$  — число фаз;

$R_K$  и  $P_0$  — активное сопротивление короткого замыкания при и потери холостого хода, которые определяются, как указывалось ранее, по данным опытов короткого замыкания и холостого хода. Можно считать в обычных условиях  $U_2 = U_{2H} = \text{const}$ ,  $\cos \varphi_2 = \text{const}$ ,  $P_0 = \text{const}$ .

Тогда, обозначив коэффициент загрузки трансформатора  $\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}$ , получим:

$$\eta = \frac{\beta S_H \cos \varphi_2}{\beta S_H \cos \varphi_2 + \beta^2 P_{K.H} + P_0}, \quad (7.16)$$

где  $S_H = m U_2 I_{2H}$  — номинальная мощность;  $P_{K.H}$  — потери короткого замыкания при номинальных токах в обмотках трансформатора, которые определяются из опыта короткого замыкания трансформатора. Выражение (3) характеризует зависимость кпд трансформатора от его загрузки.

В правой части (3) переменной величиной является только  $\beta$ . Обычным путем можно найти максимум функции  $\eta = f(\beta)$ . Для этого приравняем ее первую производную нулю:

$$\frac{d\eta}{d\beta} = \frac{S_n \cos \varphi_2 (\beta S_n \cos \varphi_2 + \beta^2 P_{к.н} + P_0) - (S_n \cos \varphi_2 + 2\beta P_{к.н}) \beta S_n \cos \varphi_2}{(\beta S_n \cos \varphi_2 + \beta^2 P_{к.н} + P_0)^2} = 0.$$

В полученной дроби знаменатель при реальных значениях  $\beta$  не может быть равным бесконечности. Поэтому нужно приравнять нулю числитель. Отсюда найдем, что к.п.д. будет максимальным, когда потери короткого замыкания будут равны потерям холостого хода:

$$\beta^2 P_{кн} = P_0 \quad (7.17)$$

т. е. при равенстве переменных потерь постоянным потерям (при изменении нагрузки практически изменяются только потери короткого замыкания).

Для трансформаторов, выпускаемых заводами России, имеем:

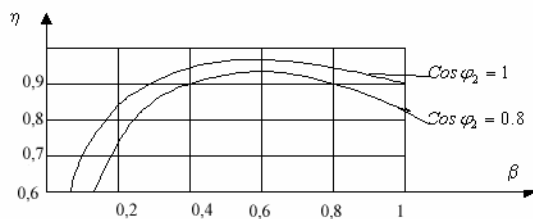
$$\frac{P_0}{P_{кн}} = 0,5 \div 0,25, \text{ что дает: } \beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_{кн}}} = 0,7 \div 0,5$$

Следовательно, к.п.д. получается максимальным при нагрузке, составляющей 50—70% от номинальной. Такая нагрузка обычно и соответствует средней нагрузке при эксплуатации трансформатора.

При вычислении к.п.д. пользуются формулой

$$\eta = 1 - \frac{m I_2^2 R_K + P_0}{m U_2 I_2 \cos \varphi_2 + m I_2^2 R_K + P_0} \quad (7.18)$$

Из (7.18) следует, что кпд трансформатора зависит не только от загрузки, но и от характера нагрузки трансформатора.



На рисунке 7.8 приведена типичная зависимость  $\eta = f(\beta)$  при различных  $\cos \varphi_2$ . Снижение к.п.д. при увеличении нагрузки объясняется увеличением потерь в обмотках, так как они пропорциональны квадрату тока.

Рис.7.8