

Режимы работы трансформатора и его характеристики



Режимы работы трансформатора:

1. Режим холостого хода;
2. Нагрузочный режим;
3. Короткое замыкание.



• Режим холостого хода

При разомкнутой вторичной обмотке трансформатор работает в режиме холостого хода. Ток холостого хода i_0 , проходящий по первичной обмотке, имеет две составляющие: активную i_{0a} и реактивную i_{0p} . При этом:

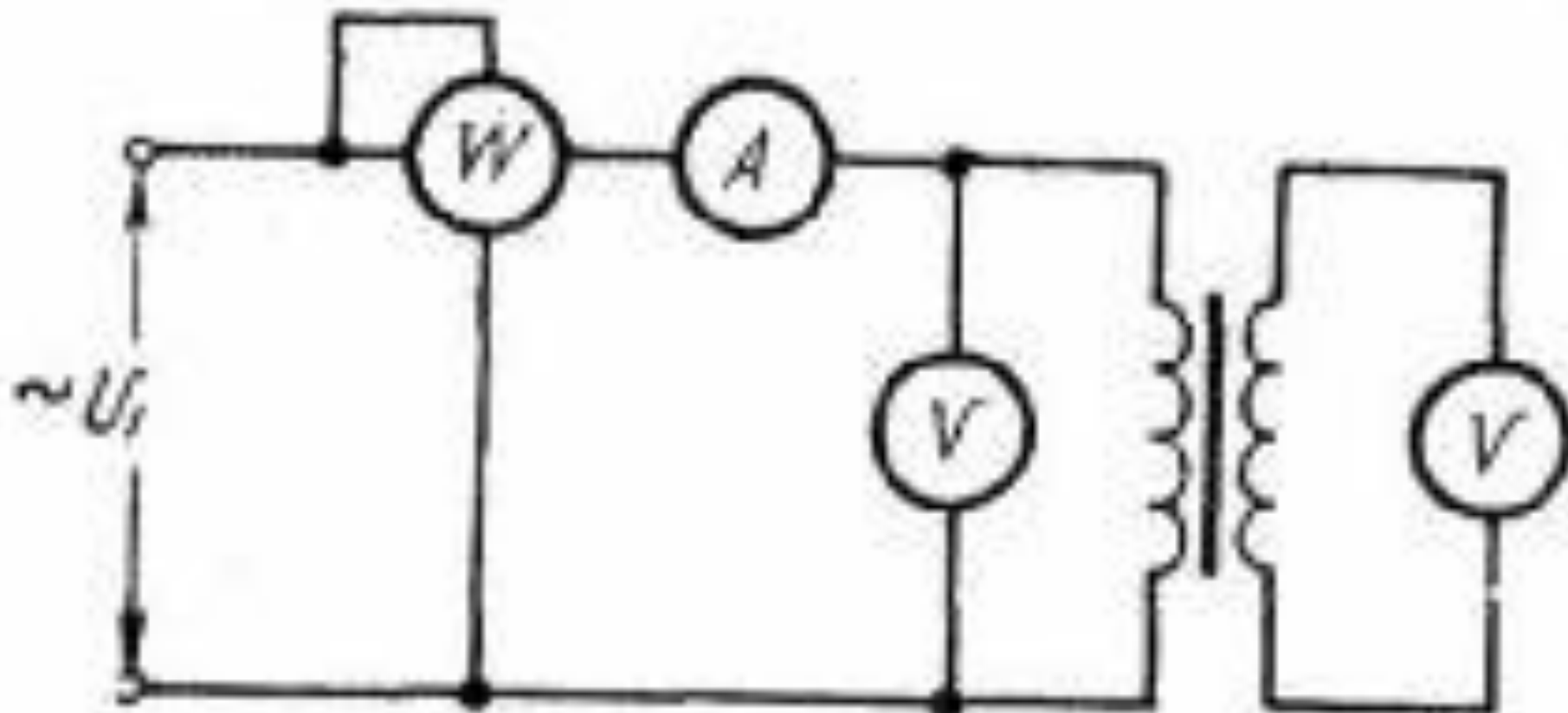
$$\dot{I} = \dot{I}_{0a} + \dot{I}_{0p}$$



Реактивная составляющая называется намагничивающим током, этот ток создает магнитный поток в магнитопроводе трансформатора. Активная составляющая обеспечивает поступление в трансформатор электрической энергии, необходимой для компенсации потерь энергии в стали магнитопровода. Она невелика, поэтому ток холостого хода практически можно считать равным намагничивающему току: $I_0 \approx I_{0p}$. При проектировании трансформаторов магнитное сопротивление магнитопровода стремятся сделать малым, чтобы ток холостого хода для мощных трансформаторов составлял 3—4%, а трансформаторов средней мощности — 8—10% номинального тока.



Схема опыта холостого хода однофазного трансформатора



Э. д. с, индуцированные в первичной и вторичной обмотках, согласно закону электромагнитной индукции пропорциональны скорости изменения магнитного потока. Следовательно, они пропорциональны максимальному значению магнитного потока Φ_m и частоте его изменения. В каждом витке первичной и вторичной обмоток индуцируется э. д. с, действующее значение которой $E_B = 4,44 f\Phi_T$, где $4,44 = 2\sqrt{2}$ — постоянная.

Соответственно:

$$E_1 = 4,44 f\omega_1 \Phi_m; E_2 = 4,44 f\omega_2 \Phi_m$$



При холостом ходе э. д. с. E_1 практически равна питающему напряжению U_1 , так как падение напряжения в первичной обмотке, создаваемое небольшим током холостого хода, мало. Если изменяется напряжение U_1 , то будут меняться э. д. с. E_1 , магнитный поток Φ_m и ток холостого хода I_0 . Зависимость э. д. с. E_1 от тока холостого хода называется характеристикой холостого хода (рис. 221, а). При малых напряжениях U_1 и э. д. с. E_1 магнитный поток трансформатора мал, и для его создания требуется небольшой ток холостого хода. В этом случае магнитная система трансформатора не насыщена и ток I_0 возрастает пропорционально U_1 (так же как и ток возбуждения в генераторе постоянного тока). При дальнейшем увеличении напряжения U_1 магнитная цепь трансформатора насыщается и ток I_0 начинает расти быстрее, чем э. д. с. E_1 . Значительное увеличение напряжения U_1 свыше номинального недопустимо, так как при этом резко увеличивается ток холостого хода.



Нагрузочный режим

При подключении нагрузки Z_H к вторичной обмотке трансформатора (рис. 222) он начинает отдавать нагрузке некоторую мощность. Соответственно увеличивается и мощность, получаемая первичной обмоткой из питающей сети. Следовательно, при увеличении тока i_2 во вторичной обмотке возрастает и ток i_1 в первичной обмотке.

Магнитный поток трансформатора определяется значением питающего напряжения U_1 и практически не зависит от нагрузки. Поэтому результирующая м. д. с, создаваемая при нагрузке токами i_1 , и i_2 , должна оставаться такой же, как и при холостом ходе:

$$F_1 + F_2 = F_0$$

Где:

$F_1 = I_1 \omega L_1$ — м. д. с. первичной обмотки при нагрузке;

$F_2 = I_2 \omega L_2$ — м. д. с. вторичной обмотки при нагрузке;

$F_0 = I_0 \omega L_1$ — м. д. с. первичной обмотки при холостом ходе.



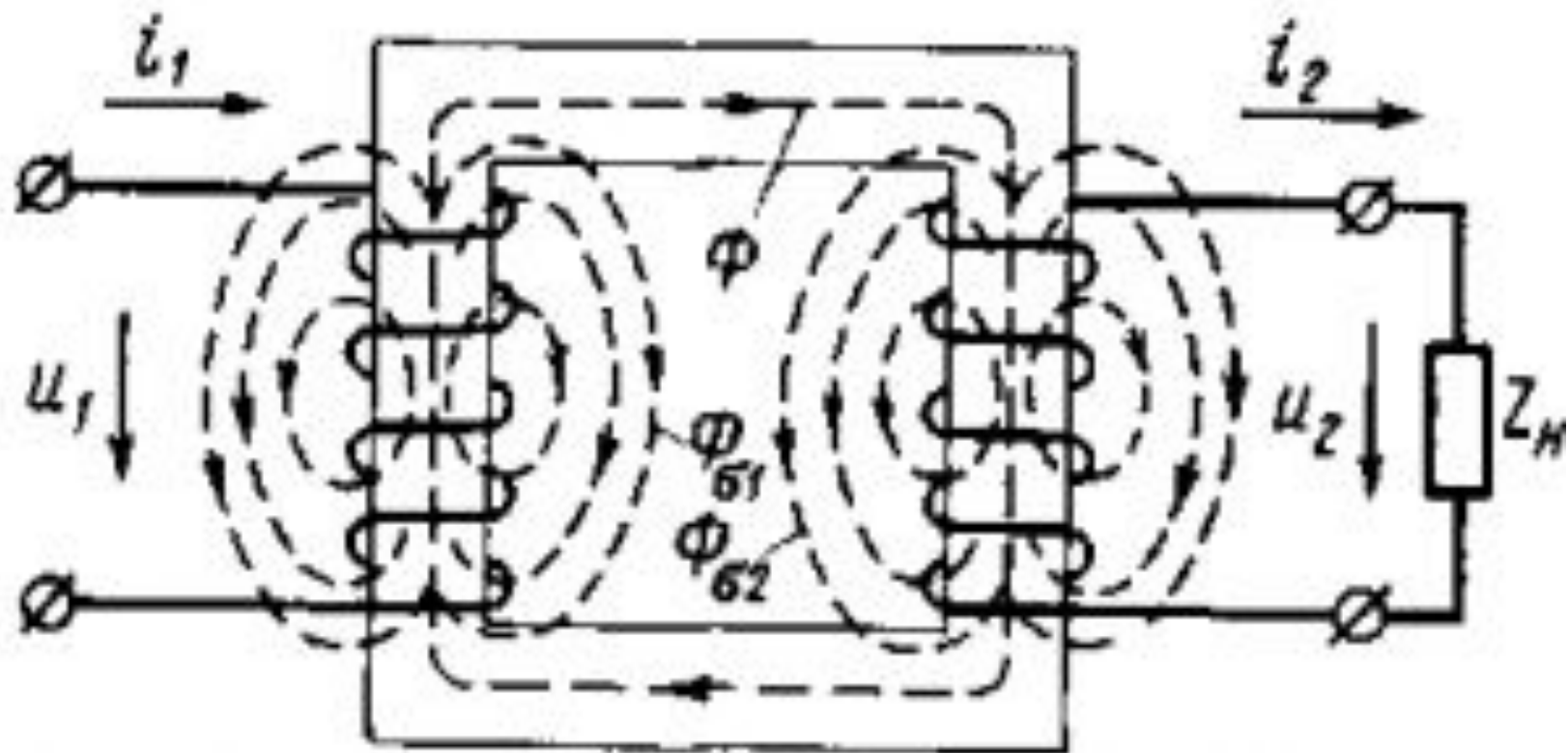


Рис. 222. Схема магнитных потоков в трансформаторе при нагрузке



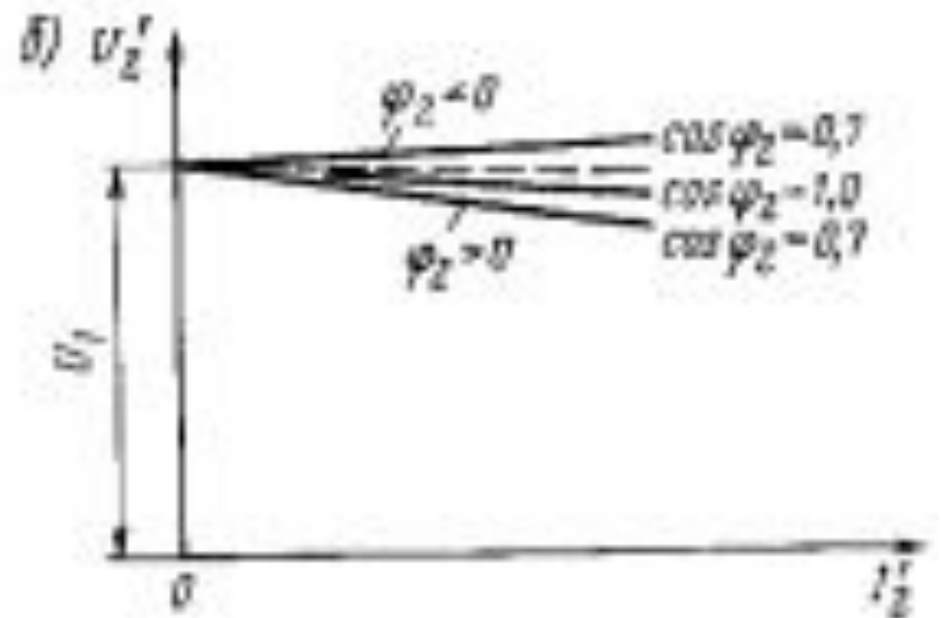
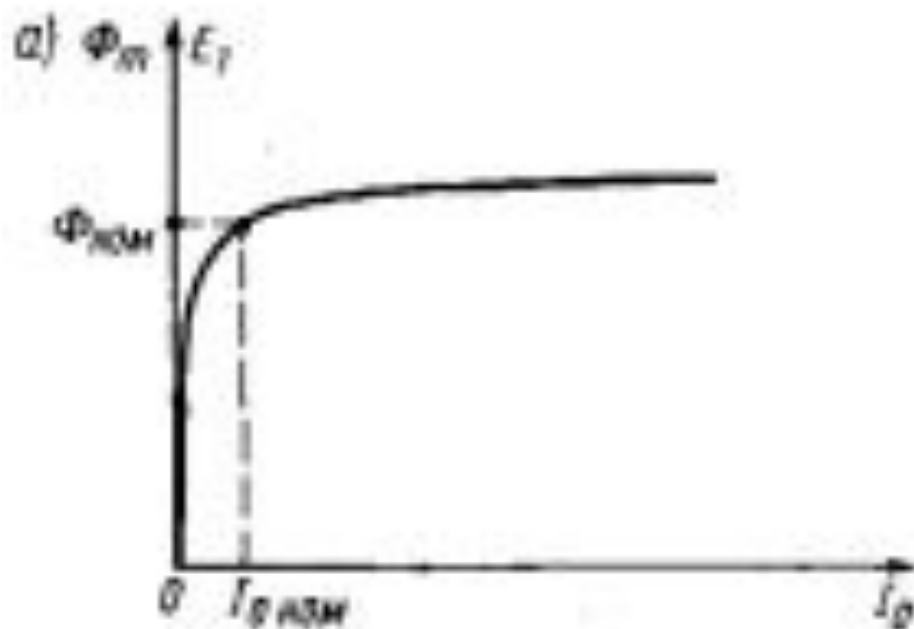


Рис. 221. Характеристики силовых и выпрямительных трансформаторов: а — холостого хода; б — внешние ($\varphi_2 > 0$ — активно-индуктивная нагрузка, $\varphi_2 < 0$ — активно-емкостная)

Для определения изменения вторичного напряжения трансформатора при нагрузке напряжения U_2 обычно приводят к первичному, умножая его на коэффициент трансформации n , т. е. $U'_2 = U_2 n$. Точно так же приводят к первичной обмотке ток I_2 , умножая его на $1/n$, т. е. $I'_2 = I_2 / n$. Величины U'_2 и I'_2 называются приведенными вторичным напряжением и вторичным током. Обычно изменение напряжения ΔU при работе трансформатора под нагрузкой определяют при номинальном значении первичного напряжения $U_{1НОМ}$ и выражают в процентах:

$$\Delta u\% = [(U_{1НОМ} - U_2 n) / U_{1НОМ}] 100$$

Величину Δu % иногда называют относительной потерей напряжения в трансформаторе. В силовых и выпрямительных трансформаторах изменение напряжения при номинальном токе обычно составляет 2—6% (в зависимости от $\cos\varphi$).



Короткое замыкание

Напряжение короткого замыкания является весьма важным эксплуатационным показателем, его выражают в процентах от $U_{1НОМ}$:

$$U_k \% = \left(\frac{U_k}{U_{1НОМ}} \right) 100$$

Для трансформаторов средней мощности $u_k \% = 5-7\%$, для мощных трансформаторов 6—12%.



Если короткое замыкание происходит в процессе эксплуатации трансформатора при номинальном напряжении, то в обеих обмотках возникают большие токи, превышающие номинальное значение в 10—20 раз, при этом повышается температура обмоток и на них действуют большие электромагнитные силы. Такое замыкание является аварийным и требует специальной защиты, которая должна отключить трансформатор в течение долей секунды. Установившийся ток короткого замыкания трансформатора в общем случае

$$I_k = I_{ном} (100 / u_k \%)$$

где $I_{ном}$ — номинальный ток первичной обмотки.

Для ограничения токов короткого замыкания мощные трансформаторы выполняют с повышенными значениями $u_k \%$, т. е. с повышенным внутренним индуктивным сопротивлением обмоток.



Характеристики сварочных трансформаторов

В некоторых случаях желательно, чтобы трансформатор имел крутопадающую внешнюю характеристику (рис. 223). Такую характеристику должны, например, иметь сварочные трансформаторы, так как она обеспечивает устойчивое горение электрической дуги.

Кроме того, при электросварке режим короткого замыкания является нормальным рабочим режимом и при крутопадающей характеристике

ток $I_{кз}$ $I_{ном}$.



Конструкция сварочного трансформатора



Для получения крутопадающей характеристики последовательно с вторичной обмоткой трансформатора включают реактор с большим индуктивным сопротивлением (рис. 224, а). В некоторых конструкциях сварочных трансформаторов магнитопровод добавочного реактора совмещают с магнитопроводом трансформатора (рис. 224,б). Регулирование тока I_2 электрической дуги осуществляется в таких трансформаторах двумя способами: ступенчатое — путем изменения числа витков вторичной обмотки и плавное — путем изменения воздушного зазора d . При изменении воздушного зазора изменяется индуктивность реактора и, следовательно, наклон внешней характеристики трансформатора.



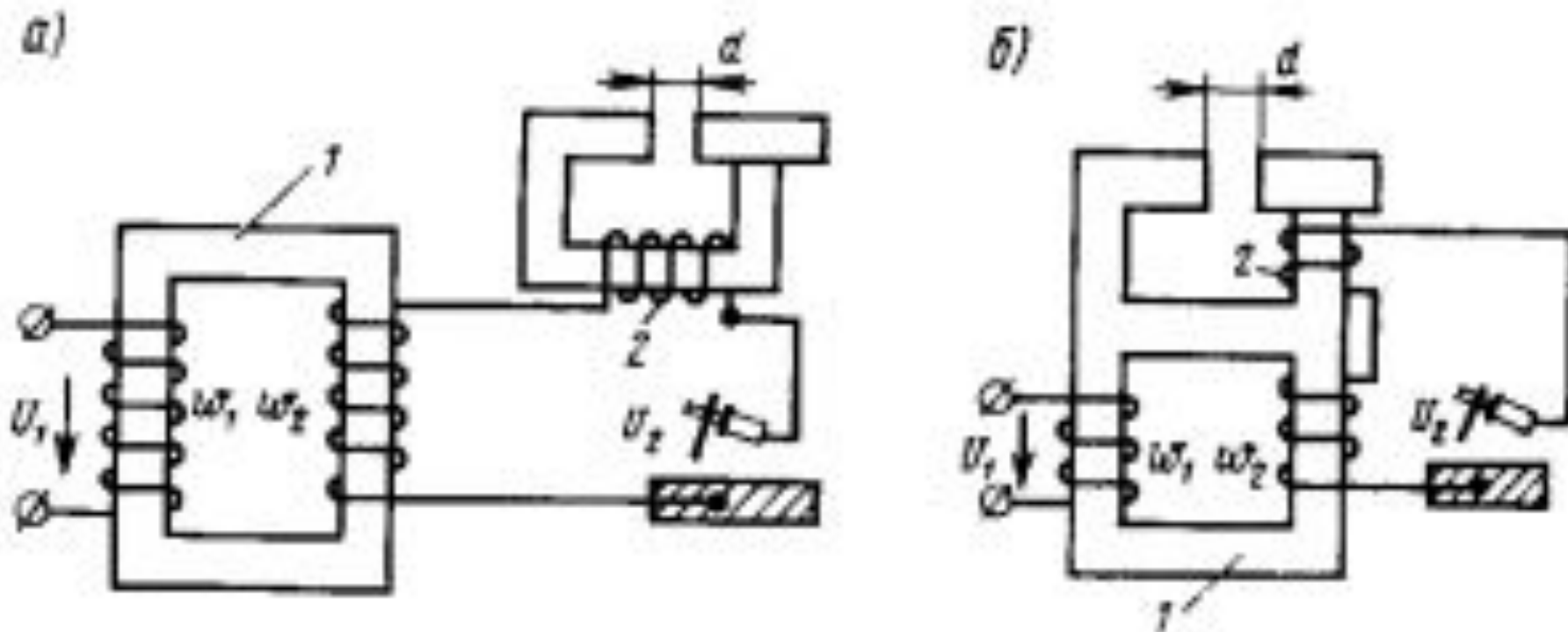


Рис. 224. Принципиальные схемы сварочных трансформаторов: а — с внешней индуктивностью (реактором), б — с реактором на общем сердечнике;
1 — трансформатор; 2 — реактор.