



## ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

---

*Эгамов Д.А.*

*Андижанского машиностроительного институт*

*Абдуллаева Дурдона Рустамджон кизи*

*Курс «Энергетика и Энергоаудит» 3 курс Группа К96-21*

*Студент Андижанского машиностроительного института*

[\*abdullayeva.durдона2002@gmail.com\*](mailto:abdullayeva.durдона2002@gmail.com)

**Ключевые слова:** Потери мощности, ферромагнитный сердечник, потери на гистерезис и вихревые токи, КПД, номинальные токи, магнитная индукция и переменные токи, железный сердечник, ламинированные сердечники.

### Абстракт

В данной статье предоставлена информация о методах анализа и снижения потерь в трансформаторах. Потери в электрических машинах рассчитываются на основе потерь мощности, теплового воздействия токов и изменений магнитного потока. В трансформаторах происходят потери от конструкции магнитного сердечника и его материалов.

### Главная часть

Как и в любых электрических машинах, трансформаторам также присуща часть потерь энергии. Эти потери мощности состоят из следующего:

1. Потери мощности из-за теплового воздействия токов в сопротивлениях обмоток:

$$P_m = I^2 R_1 + I^2 R_2$$

2. Потери мощности, потребляемые гистерезисом и вихревыми токами в железном сердечнике из-за переменности магнитного потока:

$$P_n = P_r + P_v$$

Эта потеря мощности зависит от материала железного сердечника, магнитной индукции и частоты переменных токов.

3. Потери мощности, связанные с конструкцией трансформатора ( $P_k$ ).



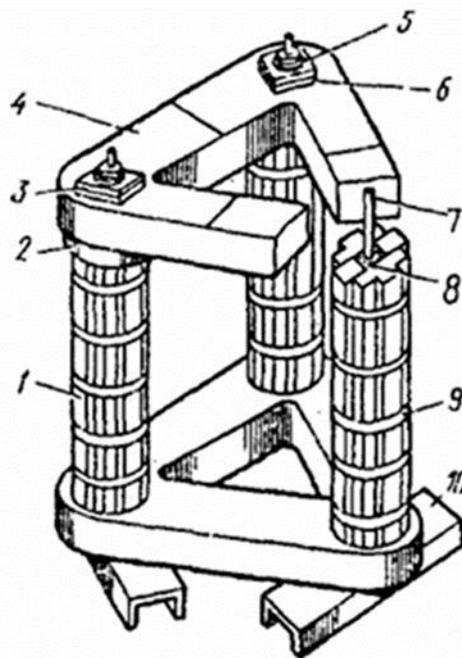
Среди них ( $P_m$ ) и ( $P_n$ ) являются основными потерями. Потери мощности в обмотках ( $P_m$ ) переменны и зависят от нагрузки, тогда как потери в железном сердечнике ( $P_n$ ) постоянны в процессе работы трансформатора (в пределах номинальной нагрузки).

Магнитный сердечник трансформатора является важнейшим компонентом, отвечающим не только за усиление магнитной связи между обмотками, но также за их поддержку и фиксацию для обеспечения структурной целостности и стабилизации. Для снижения потерь энергии, возникающих из-за вихревых токов (частоты ( $f = 50$ ) Гц) в переменном потоке, магнитопроводы трансформаторов собирают из холоднокатаных пластин из анизотропной электротехнической стали, обычно толщиной 0,35 мм. до 0,30 мм, покрыты специальным лаком и оксидными слоями для изоляции. Этот процесс ламинирования позволяет увеличить индукцию в магнитопроводе до 1,6–1,65 Тл (что невозможно в горячекатаной стали, где индукция не может превышать 1,4–1,45 Тл), тем самым уменьшая массу активного трансформатора (магнитные и электропроводящие) материалы и резко снижающие потери энергии.

Часть магнитной системы, где собираются пластины, называется «статором», а часть, образующая замкнутую магнитную цепь, тем самым усиливая магнитный поток, называется «ротором». Это магнитопроводы трехфазных трансформаторов. В трехфазной системе магнитный сердечник трансформатора модифицируется с учетом трехфазного потока и нагрузок. Если можно конструктивно изменить пластины однофазного трансформатора так, чтобы они образовали один общий сердечник, то это возможно и для трехфазной системы. Поскольку в общем сердечнике сумма синусоидальных плотностей магнитного потока за один цикл не равна нулю, то в этом сердечнике предусматривать зазор нет необходимости. Для упрощения конструкции три статора можно соединить вместе и соединить с верхним и нижним роторами, образуя трехфазный магнитопровод плоской формы. Если все пластины и роторы расположены в одной плоскости, магнитопровод трансформатора имеет плоскую форму; если они расположены в разных плоскостях, это называется ступенчатым ядром. В зависимости от сочетания пластин и роторов магнитные системы делятся на статор-ротор, сердечник-статор-ротор и броневые.



Компоненты фазового магнитопровода трансформатора (ТМ-250/6): 1- статор, 2 и 6 - изолирующие прокладки; 3- Трехфазная пластина, 4- ротор; 5- катушка; 7- штифт; 8- изолирующая сигнальная трубка; 9- зажимной зажим; 10- опорная плита.



Отходы в установившемся режиме работы:

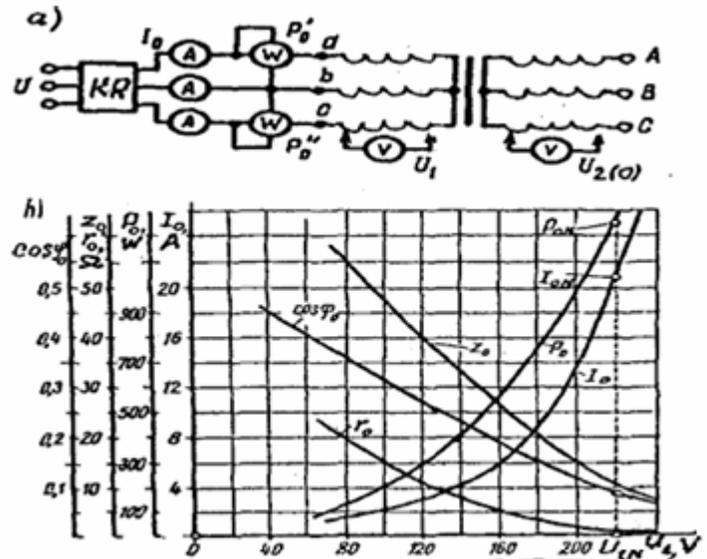
к ферромагнитному сердечнику трансформатора приложено синусоидальное напряжение  $[u_1 = U_{(1) \max} \cdot \sin \omega t]$  и вызывает синусоидальное изменение магнитного потока  $[\Phi_1 = \Phi_{(1) \max} \cdot \sin \omega t]$ , характеристика намагничивания ферромагнитного сердечника становится нелинейным из-за насыщения магнитопровода. В результате изменение тока намагничивания  $I_{0,r}$  во времени  $I_{0,r} * f(\omega t)$  не носит синусоидальный характер.

Стационарный эксперимент проводится без нагрузки на вторичную обмотку ( $I_2 = 0$ ). К одной обмотке приложено синусоидальное напряжение  $U_1$ , изменяющееся от 0 до 1,2 кратного  $U_{1,н}$ . Напряжение  $U_1$ , ток  $I_0$  и установившаяся мощность  $P_0$  измеряются в установившемся режиме, из чего в первую очередь рассчитывается коэффициент мощности  $\cos \phi_0$ .

На основе полученных и рассчитанных из эксперимента данных установлены зависимости  $I_0 = f(U_1)$ ,  $P_0 = f(U_1)$  и  $\cos \phi_0 = f(U_1)$  называются установившимися характеристиками работы.



Номинальная мощность:  $S_N = 100 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ ; Отношение первичного и вторичного напряжения:  $U_{1N}/U_{2N} = 6,3/0,22 \text{ кВ}$ ; Обмотки трехфазного трансформатора, соединенные по схеме  $Y/Y$ , проводят испытание без нагрузки; Принципиальная схема испытания на холостом ходу (а) и характеристики холостого хода (б); КР – коэффициент мощности при номинальной нагрузке.



В трехфазном трансформаторе значения  $U_1$  и  $I_0$  измеряются отдельно для каждой фазы, а их характеристики устанавливаются на основании их средних значений. Взаимное согласование фаз в трансформаторе, где они расположены в отдельных сердечниках, неравномерно, поскольку плотность магнитного потока в средней фазе является промежуточной по сравнению с плотностями потока во внешних фазах. Следовательно, МУК и ток  $I_{0.v}$  в средней фазе ниже, чем во внешних фазах ( $I_{0.B} < I_{0.A} = I_{0.C}$ ).

$I_0 = f(U_1)$ . Увеличение приложенного напряжения  $U_1$  приводит к увеличению его магнитного потока  $\Phi$ , поскольку  $U_1 = E_1 = 4.44 f w_1 \Phi_{max}$ . При малых значениях возбуждения магнитопровод остается невозбужденным, а ток  $I_0$  изменяется линейно. Начиная со значений  $U_1 = (0,5 + 0,6)U_{1N}$  возбуждение начинает насыщаться, уменьшая реактивное сопротивление  $Z_0$ , реактивное сопротивление рассеяния  $x_0$  и сопротивление  $r_0 = r_m$  соответственно. В результате реактивная составляющая  $I_{0r}$  тока возбуждения быстро возрастает относительно приложенного напряжения  $U_1$ .

Ток возбуждения  $I_0$  состоит из реактивной ( $I_{0.r}$ ) и активной ( $I_{0.a}$ ) составляющих:  $I_{0.r} = I_{0.a} + I_{0.x}$ . Обычно для силовых трансформаторов  $I_0 < 0,08 I_N$ , при этом активная составляющая  $I_{0.l}$  составляет примерно от 10% до 0,5% от  $I_0$ . По мере увеличения номинальной мощности силовых трансформаторов процент  $I_0$  относительно номинального тока имеет тенденцию к уменьшению.



$P_0 = f(U_1)$ . В трансформаторах, работающих на холостом ходу, учитывают потери мощности в сердечнике из-за гистерезиса и вихревых токов, пренебрегая потерями из-за сопротивления первичной обмотки. Эти потери в сердечнике зависят от  $B^2$  и примерно от квадрата частоты. При  $U_1 = \text{const}$  и  $f = \text{const}$  зависимость потерь в сердечнике от приложенного напряжения и частоты можно приближенно выразить как  $P_m = P_0 = \text{const}$ .

В современных силовых трансформаторах мощностью 10+1000000 кВ.А, даже если потери холостого хода составляют около 1,5–0,05% от номинальных потерь под нагрузкой, они существенно влияют на коэффициент полезной работы из-за сезонной нагрузки, так как отсутствие -нагрузочные характеристики зависят не от величины нагрузки, а от подключения трансформатора к сети через U21.

При испытании на холостом ходу важные параметры, такие как ток холостого хода ( $I_{0.N}$ ) и потери ( $P_{0.N}$ ), стандартизируются по отношению к номинальному напряжению  $U_{1N}$ .

$\cos\phi_0 = f(U_1)$ . Коэффициент мощности  $\cos\phi_0$  для трехфазного трансформатора определяется по следующей формуле:

$$\cos\phi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}U_1I_0}$$

где  $P_0$  – активная мощность трех фаз в ваттах.

В режиме холостого хода по мере увеличения возбуждения реактивная составляющая  $I_{0.r}$  тока возбуждения увеличивается быстрее относительно приложенного напряжения, а активная составляющая  $I_{0.a}$  уменьшается. Следовательно, за счет увеличения угла  $\phi_0$  между векторами  $U_1$  и  $I_0$ ,  $\cos\phi_0$  уменьшается.

Важные параметры трансформатора определяются на основе значений  $U_{1N}$ , полученных в экспериментах на холостом ходу:

1) Коэффициент трансформации  $k = U_{1N}/U_{20}$ , где  $U_{1N}$  – номинальное напряжение обмотки ЯК;  $U_{20}$  - напряжение холостого хода, соответствующее напряжению обмотки ПК при  $U_{1N}$ ;

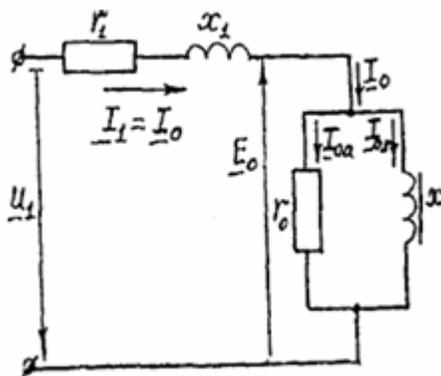
2) Потери холостого хода  $R'_0$ ;

3) Значение тока холостого хода  $i_{0\%} = \frac{I_0}{I_{1N}} * 100$ ;



4) Реактивное сопротивление цепи намагничивания  $r_0$ . Когда реактивное сопротивление первичной цепи  $r_2$  в несколько сотен раз меньше расчетного реактивного сопротивления  $r_m$  цепи намагничивания ( $r_m > r_1$ ),  $r_1$  считается пренебрежимо малым ( $r_1 = 0$ ), и, таким образом,  $r_0 = r_m$ .

Схема подключения для режима работы трансформатора на холостом ходу.



Научный руководитель: «Альтернативная кафедра энергетики», завуч Егамов Д.А.

#### Литература:

1. Umar IBROHIMOV ELEKTR MASHINALARI Kasb-hunar kollejlari uchun Qayta ishlangan va to'ldirilgan nashri Toshkent «Ukituvchi», «Ziyo Noshir» KShK, 2001
2. Alijanov D.D., Topvoldiyev N.A. (2021). SOLAR TRACKER SYSTEM USING ARDUINO. Theoretical & Applied Science, 249-253.
3. Alijanov D.D., Topvoldiyev N.A. (2022). PHYSICAL AND TECHNICAL FUNDAMENTALS OF PHOTOELECTRIC SOLAR PANELS ENERGY. Theoretical & Applied Science, 501-505.
4. Эгамов, Дилмурод Абдураимович; Нурёгдиев, Мумаматюсуф Маматкаримович; ,ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ОСОБО ВАЖНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ, Инженерные решения, ,8,4-6,2019, Общество с ограниченной ответственностью «Грани науки»
5. Эгамов, Дилмурод Абдураимович; Узаков, Рахмонжон; Бойхонов, Зайлобиддин Уразали; , "Способы обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей, имеющих одну систему шин 6-10 кВ и два независимых источника питания 6-10 кВ", Бюллетень науки и практики, 4,
6. Эгамов, ДА; Узаков, Р; Боихонов, ЗУ; , "Эффективность применения «переносного АВР-0, 4 кВ» для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей", ,,,,2019, ГГТУ им. ПО Сухого
7. Эгамов.Д.А. Собиров.; , РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ «МОБИЛЬНОГО АВР 04 КВ
8. Parpiev, Oybek Bakhtiyorjonogli; Egamov, Dilmurod Abduraimovich; , Information on synchronous generators and motors, Asian Journal of Multidimensional Research, 10,9,441-445, 2021, TRANS Asian Research Journals



9. Эгамов. Д.; „Гидроэлектр станцияларда ўрнатилган 6-10 кВ ток трансформатори хатоликларига юклама токининг ва иккиламчи занжир юкламасининг салбий таъсири „ЎЗБЕКГИДРОЭНЕРГЕТИКА,1,IV(8),23,2020,ФЕРПИ
10. Abdulhamid o‘g‘li, T. N., & Botirjon o‘g‘li, A. M. (2024). FOTOELEKTRIK STANSIYALARNING TIZIMLARINI HISOBLASH TURLARI. *Oriental Journal of Academic and Multidisciplinary Research*, 2(3), 49-54.
11. Abdulhamid o‘g‘li, T. N., & Botirjon o‘g‘li, A. M. (2024). FOTOELEKTRIK STANSIYALARDAGI INVERTORLARNI XISOBLASH. *Oriental Journal of Academic and Multidisciplinary Research*, 2(3), 43-48.
12. Abdulhamid ogli, T. N., & Axmadaliyev, U. A. (2024). DEVELOPMENT AND APPLICATION OF 3rd GENERATION SOLAR ELEMENTS. *Лучшие интеллектуальные исследования*, 14(2), 219-225.
13. Abdulhamid ogli, T. N., & Azamjon ogli, S. H. (2024). IMPLEMENTATION OF SMALL HYDROPOWER PLANTS IN AGRICULTURE. *Лучшие интеллектуальные исследования*, 14(2), 182-186.
14. Abdulhamid ogli, T. N., & Yuldashboyevich, X. J. (2024). ENERGY-EFFICIENT HIGH-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS. *Лучшие интеллектуальные исследования*, 14(2), 93-99.
15. Abdulhamid ogli, T. N., & Yuldashboyevich, X. J. (2024). SOLAR PANEL INSTALLATION REQUIREMENTS AND INSTALLATION PROCESS. *Лучшие интеллектуальные исследования*, 14(2), 40-47.
16. Abdulhamid ogli, T. N., Axmadaliyev, U. A., & Botirjon ogli, A. M. (2024). A GUIDE TO SELECTING INVERTERS AND CONTROLLERS FOR SOLAR ENERGY DEVICES. *Лучшие интеллектуальные исследования*, 14(2), 142-148.
17. Topvoldiyev, N. (2023). KREMNIY ASOSIDAGI QUYOSH ELEMENTILARI KONSTRUKTSIYASI. *Interpretation and researches*, 1(1).
18. Abdulhamid o‘g‘li, T. N., & Sharipov, M. Z. (2023). ENERGY DEVELOPMENT PROCESSES IN UZBEKISTAN. *Science Promotion*, 1 (1), 177–179.
19. Topvoldiyev, N. (2023). Storage of Electricity Produced by Photovoltaic Systems.
20. Alijanov, D. D. (2023). Storage of Electricity Produced by Photovoltaic Systems.
21. Abdulhamid o‘g‘li, T. N. (2022). Stirling Engine and Principle of Operation. *Global Scientific Review*, 4, 9-13.
22. Abdulhamid o‘g‘li, T. N., & Muhtorovich, K. M. (2022). Stirling's Engine. *Texas Journal of Multidisciplinary Studies*, 9, 95-97.
23. Topvoldiyev, N. (2021). SOLAR TRACKER SYSTEM USING ARDUINO. *Scienceweb academic papers collection*.