# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕТЕВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

***Цель работы****:* Приобретение навыков по определению основных параметров однофазных трансформаторов. Освоение практических приёмов лабораторного исследования однофазного трансформатора методом холостого хода (опыт ХХ) и короткого замыкания (опыт КЗ), снятие внешних характеристик трансформатора при различных типах нагрузок.

***Краткие теоретические сведения и расчётные формулы***

1. **НАЗНАЧЕНИЕ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТРАНСФОРМАТОРА**

*Трансформатор*− это статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

Трансформаторы находят широкое применение для передачи и распределения электрической энергии, для различных технологических целей и для питания различных цепей радио-, электронно-вычислительной и телевизионной аппаратуры, устройств связи, автоматики, телемеханики и т. д.

Трансформаторы бывают двух типов: *понижающие напряжение*, например, до 400 В и ниже и *повышающие* напряжение до 3…500 кВ и выше. Различают одно-, трёх- и многофазные, двух-, трёх- и многообмоточные трансформаторы. Диапазон мощностей силовых масляных трансформаторов общего назначения от 10 кВ⋅А до 630 МВ⋅А на напряжения (первичные) 10(6), 35, 110, 220, 330, 500, 750 и 1150 кВ, сухого исполнения – от единиц В⋅А до 2500 кВ⋅А на первичные напряжения 380, 500, 660, 10000 В и вторичные – 230 и 400 В. Силовые трансформаторы однофазные, мощностью 4 кВ⋅А и ниже и трёхфазные − 5 кВ⋅А и ниже относят к трансформаторам *малой мощности*. Такие трансформаторы широко применяются в преобразовательной, бытовой технике, радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуре.

Наряду с силовыми трансформаторами в практической электротехнике широко используются *измерительные* трансформаторы тока и напряжения.

При подключении первичной обмотки *А-Х* силового трансформатора к сети (рис. 1.1) первичный ток *i*1, проходя по её виткам , возбуждает в сердечнике синусоидальный магнитный поток *Ф = Фm*sin*ωt*, где *ω* = 2*πf*− угловая частота питающего напряжения *u*1. Этот поток, пронизывая витки *w*1 первичной и витки *w*2 вторичной обмоток, наводит в них ЭДС



или (для действующих значений)

*E*1 = 4,44*fw*1*Фm* и *E*2 = 4,44*fw*2*Фm*.

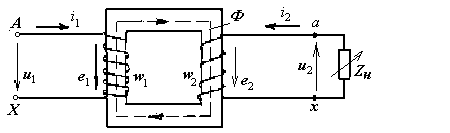


Рис. 1.1

С вторичной обмотки *а-х* снимается напряжение *u*2, которое подаётся к потребителю электрической энергии *Zн*.

Ток первичной обмотки трансформатора при отключенной нагрузке (*Zн* = ∞) является его током холостого хода *I*0. Его выражают в процентах по отношению к номинальному первичному току *I*1*н*, т. е.

*i*0 (*%*) = 100*I*0*/I*1*н*.

Ток холостого хода *i*0(*%*) в силовых трансформаторах составляет (2…5)%, а в маломощных трансформаторах может составить (20…50) % номинального тока *I*1*н*.

Отношение ЭДС первичной обмотки трансформатора к ЭДС вторичной его обмотки, равное отношению соответствующих чисел витков обмоток, называют *коэффициентом трансформации* трансформатора

*n =E*1/*E*2 *= w*1/*w*2

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРА**

Для определения коэффициента трансформации *п*, а также параметров схемы замещения (рис. 1.2) и потерь мощности в трансформаторе проводят опыты холостого хода (опыт ХХ) и опыт короткого замыкания (КЗ) трансформатора.

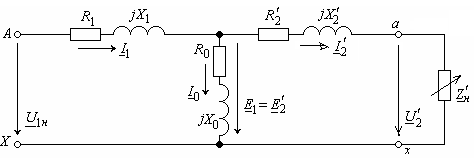


Рис. 1.2

На рис. 1.2 обозначено:

•− активное и индуктивное сопротивления первичной обмотки;

• и − приведенные к числу витков первичной обмотки активное и индуктивное сопротивления вторичной обмотки;

•*R*0− активное сопротивление намагничивающей ветви, обусловленное потерями мощности в стальном магнитопроводе;

• *Х*0 − индуктивное сопротивление намагничивающей ветви, обусловленное основным магнитным потоком;

•− приведенное к числу витков первичной обмотки сопротивление нагрузки;

•− приведенные к числу витков первичной обмотки вторичное напряжение и вторичный ток.

При *опыте*ХХ к первичной обмотке трансформатора подводится номинальное напряжение (рис. 1.3)



где − полное сопротивление первичной обмотки.

При этом вторичная обмотка разомкнута (*I*2 = 0) и напряжение на её зажимах

Рис. 1.3

*А*

*Х*

*jX*0

*б*)

*U*1*н* = *Z*0*I*0

*I*0

*R*0*I*0

*jX*0*I*0

*ϕ*0

*a*)

*U*1*н*

*R*0

*I*0

*Е*1

Измерив напряжение *U*20, ток *I*0и активную мощность *Рх* и пренебрегая падением напряжения на первичной обмотке  (ввиду его небольшого значения по сравнению с ЭДС), т. е. пользуясь упрощённой схемой замещения трансформатора при ХХ (рис. 1.3, *а* и *б*), определяют:

− коэффициент трансформации

;

− параметры намагничивающей ветви схемы замещения трансформатора



− потери мощности при ХХ, называемые *потерями в стали Р*0, которые затрачиваются в основном на нагрев магнитопровода от действия вихревых токов и циклического перемагничивания стали, т. е. 

При *опыте* К3 (рис. 1.4) в отличие от опасного аварийного короткого замыкания трансформатора, возникающего случайно при работе при напряжении , к первичной обмотке подводят такое пониженное напряжение  (меньшее напряжения  в 8…20 раз в зависимости от типа и мощности трансформатора), при котором в его обмотках устанавливаются токи, равные соответствующим номинальным значениям:

,

где *Sн* − номинальная мощность трансформатора (в В⋅А или в кВ⋅А).

Ввиду малости магнитного потока *Ф* при опыте К3 (пропорционального пониженному напряжению ) и соответственно потерь в стали (а они пропорциональны магнитному потоку в квадрате, т. е. *Ф*2) активная мощность, потребляемая трансформатором из сети, идёт в основном на нагрев обмоток, т. е. равна электрическим потерям (называемыми *потерями в меди Рм*) в проводах обмоток:

.

Измерив напряжение *Uк*, ток *I*1*н* и активную мощность *Рк*, определяют:

*jXк*

*б*)

*Uк* = *ZкI*1*н*

*I*1*н≈I'*2*н*

*RкI*1*н*

*jXкI*1*н*

*ϕк*

*a*)

*Uк*

Рис. 1.4

*Rк*

*I*1*н≈I'*2*н*

*А*

*Х*

− параметры схемы замещения при КЗ трансформатора (пользуясь упрощенной схемой замещения, рис. 1.4, *а*):



где  и− соответственно полное, активное и реактивное сопротивления К3 трансформатора;

− напряжение К3 (рис. 1.4, *б*), выраженное в процентах,

*uк*(*%* ) = 100*Uк /U*1*н*;

− потери мощности при КЗ трансформатора (*потери в меди*)

.

### **ВНЕШНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРА**

Зависимость напряжения на зажимах вторичной обмотки при изменяемой нагрузке от тока нагрузки, т. е. , носит название *внешней характеристики* трансформатора (рис. 1.5).

Вторичное напряжение (см. рис. 1.2), равное

,

при увеличении тока нагрузки уменьшается как за счет увеличения падения напряжения  на его вторичной обмотке, так и за счёт уменьшения ЭДС *Е*2 (вследствие некоторого уменьшения магнитного потока *Ф* при соответствующем увеличении тока *I*1). Однако, при активно-ёмкостной нагрузке при увеличении тока напряжение *U*2 увеличивается.

При *ϕ*< 0

(активно-ёмкостная нагрузка)

*E*2=*U*20

*U*2*н*

*U*2, B

*I*2, A

*I*2*н*

0 (XX)

При *ϕ*= 0 (*Zн = Rн*)

При *ϕ*> 0 (активно-

индуктивная нагрузка)

Рис. 1.5

(активная нагрузка)

Внешние характеристики могут быть рассчитаны и построены, исходя из паспортных данных трансформатора (см. табл. 1.1), а также путём прямого измерения напряжения *U*2 и тока *I*2 при изменении нагрузки *Zн*.

### **Трансформатор ТН-46-127/220-50**

Сердечник: ШЛ 20 х 25. Мощность: 58 Ватт. Ток первичной обмотки: 0,53/0,32 Ампер. Масса: 1,45 кг

Выпуск накальных трансформаторов ТН46 на 220 Вольт начат в 1979 году. Обозначаются они как ТН46-220-50. Трансформаторы ТН46-220-50 имеют одну первичную обмотку и такую же нумерацию выводов, как и трансформаторы ТН46-127/220-50, имеющие возможность подключения к сетям 127 Вольт и 220 Вольт. В отличие от трансформаторов ТН46-127/220-50 у трансформаторов ТН46-220-50 сетевая обмотка не имеет многочисленных отводов.

Электрические параметры, габаритные и установочные размеры и масса трансформаторов ТН46 на 220 В точно такие же, как у соответствующих трансформаторов ТН46, рассчитанных на подключение к обоим стандартам сети 127 и 220 Вольт.

Таблица 1.1.

Электрические параметры трансформаторов ТН46:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Обмотка** | **Максимальный ток, А** | **Напряжение, В** |
| 1-1а, 4-4а | 0.53/0.32 | 3.2 |
| 1-1б, 4-4б | 0.53/0.32 | 6.3 |
| 1-2, 4-5 | 0.53/0.32 | 110 |
| 1-3, 4-6 | 0.53/0.32 | 127 |
| 7-8 | 2.3 | 6.3 |
| 9-10 | 2.3 | 6.3 |
| 11-12(13) | 2.3 | 5(6.3) |
| 14-15(16) | 2.3 | 5(6.3) |

Напряжения на отводах первичных обмоток трансформаторов ТН46-127/220 В составляют:

Между выводами 1 и 1а, 4 и 4а - 3,2 Вольт;

Между выводами 1 и 1б, 4 и 4б - 6,3 Вольт;

Между выводами 1 и 2, 4 и 5 - 110 Вольт;

Между выводами 1 и 3, 4 и 6 - 127 Вольт.

Подключение трансформаторов ТН46-127/220 к сети 127 В:

Соединить между собой выводы 1 и 4, а также 3 и 6. Напряжение 127 Вольт подается на выводы 1 и 3.

Подключение трансформатора ТН46-127/220 к сети 220 В:

Соединить между собой выводы 2 и 4. Напряжение 220 вольт подается на выводы 1 и 5.

Электрическая схема трансформатора ТН46-127/220-50:

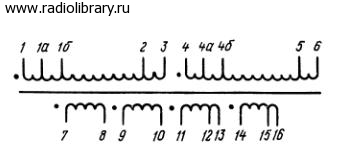


Рис. 1.6

Электрическая схема трансформатора ТН46-220-50:

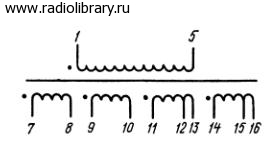


Рис. 1.7

### **Контрольные вопросы:**

1. Как меняется суммарный магнитный поток в сердечнике, если меняется нагрузка на вторичной обмотке трансформатора?
2. Что нужно учитывать при подключении в параллель двух обмоток?
3. Как по внешнему виду отличить низкочастотный трансформатор от низко частотного дросселя?
4. Почему магнитопровод низкочастотного трансформатора выполняется из наборных пластин?
5. Какой тип сердечника используется в маломощных низкочастотных трансформаторах?
6. Какой тип сердечника используется в мощных низкочастотных трансформаторах?
7. Каковы достоинства броневых сердечников?
8. Назовите достоинства и недостатки тороидальных сердечников.
9. Каково назначение силового трансформатора?
10. Назовите отличия низкочастотных трансформаторов от высокочастотных.
11. Можно ли использовать высокочастотный трансформатор на частоте 50 Гц?
12. Почему повышающие трансформаторы практически не используются в источниках питания?
13. Определите число витков вторичной обмотки сетевого трансформатора, если число витков первичной обмотки 1100, а на выходе трансформатора должно быть напряжение 22 В.
14. Какова мощность во вторичной обмотке трансформатора Рвх= 20 В.А?
15. Как ослабляются помехи, поступающие из первичной обмотки во вторичные и как уменьшается передача помех из первичной обмотки во вторичные?
16. В чем состоит принципиальная отличие катушки индуктивности от дросселя.
17. По каким признакам классифицируются трансформаторы?
18. Как различаются магнитопроводы по конструкции?
19. Каковы преимущества ленточных магнитопроводов по сравнению с пластинчатыми?
20. Как классифицируются трансформаторы по конструктивному исполнению?
21. Сколько всего обмоток должен иметь сетевой трансформатор для обеспечения двух различных напряжений на нагрузке?
22. Укажите соотношение числа витков первичной и вторичной обмоток в повышающем (понижающем) трансформаторе.
23. Каков КПД трансформатора?
24. От чего зависит значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора?
25. Как соотносятся габаритные размеры трансформатора и частота питающего первичную обмотку напряжения?

### **Литература**

1. Хрусталева З.А., Парфенов С.В. Источники питания радиоаппаратуры: учебник - М.: КНОРУС, 2019 - 240 с.
2. Бушуев В.М., Деминский В.А., Захаров Л.Ф., Козляев Ю.Д., Колканов М.Ф. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций: учебное пособие для вузов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2011. - 384 с.
3. Подгорный В.В., Семенов Е.С. Источники вторичного электропитания. Практикум. Учебное пособие для вузов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2013. - 150 с.
4. Битюков В.К., Симачков Д.С. Источники вторичного электропитания. Учебник. - М.; Инфра-Инженерия, 2018. - 326 с.
5. Ситников А.В., под ред. Енина В.Н. Электротехнические основы источников питания: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. - М.: Издательский центр "Академия", 2014. - 240 с.