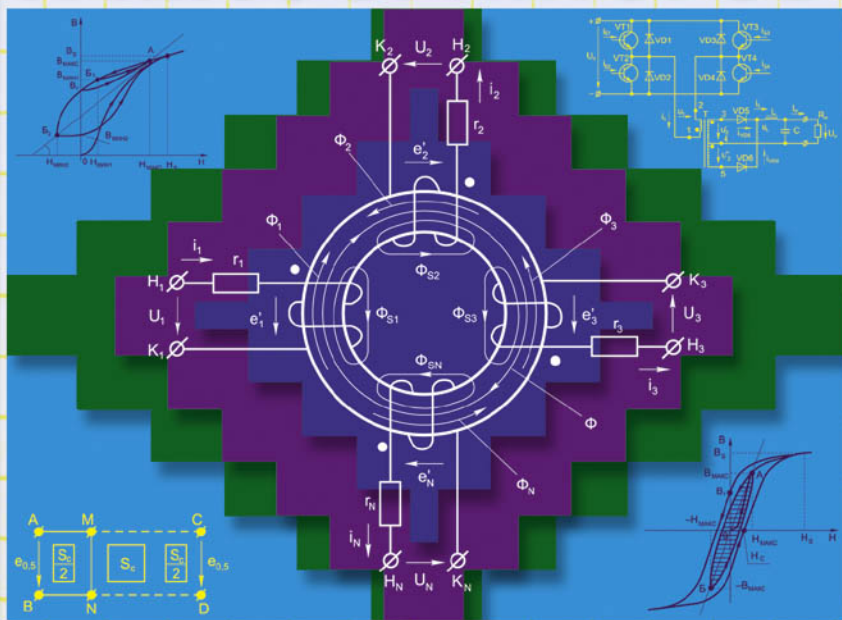


А.В. ХНЫКОВ

ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ МНОГООБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ



**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА
ВЫБОР СЕРДЕЧНИКА
ФОРМУЛЫ ГАБАРИТНОЙ
МОЩНОСТИ
ОДНО- И ТРЕХФАЗНЫЕ
ТРАНСФОРМАТОРЫ**

Хныков А.В.

Теория и расчет многообмоточных трансформаторов. — М.: СОЛОН-Р, 2010. — 112 с.: ил. (Серия «СОЛОН-Р» — радиолюбителям», выпуск 11)

ISBN 5-93455-170-1

Изложены теоретические основы расчета многообмоточных трансформаторов. Приведены полные формулы для расчета одно- и трехфазных трансформаторов, используемых в различных типах преобразователей (прямо- и обратнoходовых, мостовых) с конкретными примерами их применения.

Книга предназначена для инженеров — специалистов по источникам вторичного электропитания и студентов высших учебных заведений.

Эту книгу можно заказать по почте (наложенным платежом — стоимость 80 руб.) двумя способами:

- 1) выслать почтовую открытку или письмо по адресу: 123242, Москва, а/я 20;
- 2) передать заказ по электронной почте (e-mail) по адресу:

magazin@solon-r.ru.

Необходимо написать полный адрес, по которому выслать книги.

Обязательно указывать индекс и Ф. И. О. получателя!

При наличии — указать телефон, по которому с вами можно связаться, и адрес электронной почты (E-mail).

Цены действительны до 1 сентября 2002 г.

Вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-Р» по **Интернету**, послав пустое письмо на робот-автоответчик по адресу katalog@solon-r.ru, а также подписаться на **рассылку новостей** о новых книгах издательства, послав письмо по адресу news@solon-r.ru с текстом «SUBSCRIBE» (без кавычек) в теле письма.

ISBN 5-93455-170-1

© Макет и обложка «СОЛОН-Р», 2010

© Хныков А.В., 2010

Оглавление

Введение	3
-----------------	----------

Глава 1.

Приведенная эквивалентная схема замещения N-обмоточного трансформатора для мгновенных значений напряжений, э.д.с., токов

§ 1.1. Основные допущения	4
§ 1.2. Однофазный N-обмоточный трансформатор. Приведенная эквивалентная схема замещения	7
§ 1.3. Идеальный трансформатор	17
§ 1.4. Одноименные зажимы обмоток	20
§ 1.5. Формулы для определения коэффициента трансформации	23
§ 1.6. «Витки на вольт»	25
§ 1.7. Связь напряженности магнитного поля в сердечнике с намагничивающим током	26
§ 1.8. Трехфазный N-обмоточный трансформатор. Приведенная эквивалентная схема замещения	27
§ 1.9. Суммирующий (вычитающий) трансформатор	31

Глава 2.

Формулы трансформаторных э.д.с. Расчет числа витков обмоток

§ 2.1. Определение формы потока в сердечнике трансформатора	34
§ 2.2. Процессы перемагничивания сердечника	36
§ 2.3. Обоснование невозможности передачи через трансформатор постоянной составляющей напряжения	39
§ 2.4. Расчет индуктивности намагничивания трансформатора	40
§ 2.5. Потери в сердечнике	42

§ 2.6. Трансформатор однотактных статических преобразователей. Формула трансформаторной э.д.с.	47
§ 2.7. Трансформатор двухтактных статических преобразователей. Формула трансформаторной э.д.с.	49
§ 2.8. Трансформатор с синусоидальным входным воздействием. Формула трансформаторной э.д.с.	51
§ 2.9. Полувитковая обмотка	53

Глава 3.

Формулы габаритной мощности. Выбор сердечника

§ 3.1. Определения.....	55
§ 3.2. Трансформатор однотактных статических преобразователей. Формула габаритной мощности ..	55
§ 3.3. Трансформатор двухтактных статических преобразователей. Формула габаритной мощности ..	56
§ 3.4. Трансформатор с синусоидальным входным воздействием. Формулы габаритной мощности для однофазного и трехфазного вариантов	57
§ 3.4.1. Однофазный трансформатор	57
§ 3.4.2. Трехфазный трансформатор	58
§ 3.5. Соотношение расчетных мощностей первичной и вторичной обмоток. Частные случаи ..	58

Глава 4.

Примеры расчета

§ 4.1. Расчет трансформатора однотактного прямоходового преобразователя	61
§ 4.2. Расчет трансформатора двухтактного мостового преобразователя	71
§ 4.3. Расчет трехфазного трансформатора	79

Заключение	87
------------------	----

Приложение П1	88
---------------------	----

Приложение П2	91
Приложение П3	95
Список литературы	97

Александр Васильевич Хныков

**Теория и расчет
многообмоточных трансформаторов**

Серия «СОЛОН-Р» — радиолюбителям», выпуск 11

Ответственный за выпуск ***В. Митин***

Макет и верстка ***Н. Бармина***

Обложка ***Е. Холмский***

Издательство «СОЛОН-Р»

Москва, ул. Тверская, д. 10 стр. 1 ком. 52

Изд. лиц. ЛР №066584 от 14.05.99

Формат 60х88/16. Количество п.л. 7. Тираж 2000 экз.

ООО «Пандора-1»

Москва, Открытое ш., д. 28

Заказ

Глава 1.

Приведенная эквивалентная схема замещения N-обмоточного трансформатора для мгновенных значений напряжений, э.д.с., токов

§ 1.1. Основные допущения

Однофазный N-обмоточный трансформатор (рис. 1.1) имеет одну первичную и (N-1) вторичных обмоток, намотанных на одном общем магнитопроводе. Будем приписывать величинам, относящимся к первичной обмотке (напряжения, э.д.с., токи, сопротивления и т. д.), индекс «1», а величинам, относящимся к какой-либо вторичной обмотке, один из индексов: $k = 2, 3, \dots, N$.

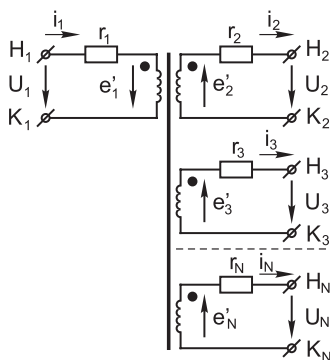


Рис. 1.1

Магнитный поток, создаваемый в сердечнике током i_k (рис. 1.2), содержит две составляющих: поток Φ_k , пронизывающий все N обмоток, и поток рассеяния Φ_{sk} , связанный только с

током i_k (с k -й обмоткой). Результирующий поток Φ в сердечнике, пронизывающий все N обмоток, есть алгебраическая сумма потоков Φ_k . Так, для выбранных на рис. 1.2 положительных направлений потоков Φ_k и Φ последний равен $\Phi_1 - \Phi_2 - \dots - \Phi_N$.

В дальнейшем нас будет интересовать только поток Φ , а не его составляющие Φ_k , поскольку именно с его изменением связано существование э.д.с. электромагнитной индукции (трансформаторных э.д.с.).

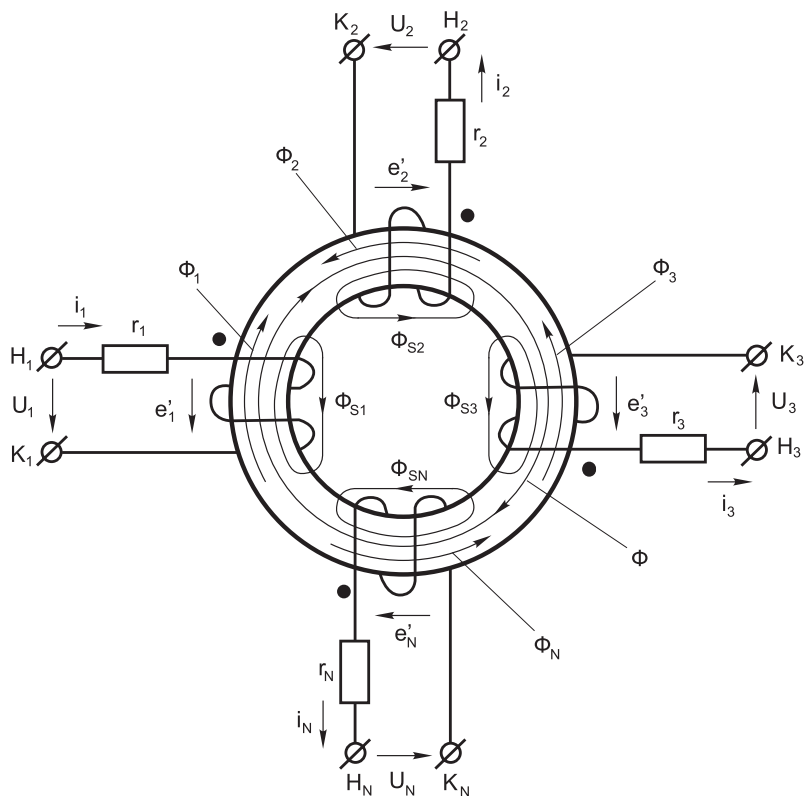


Рис. 1.2

Последующий анализ базируется на следующих общепринятых допущениях:

- активные сопротивления обмоток $r_1, r_2, \dots, r_N$ условно вынесены за пределы обмоток;

- не учитываются обмоточные и межобмоточные емкости;
- магнитное поле в сердечнике однородно в том смысле, что векторы индукции $\mathbf{B}$ и напряженности $\mathbf{H}$ магнитного поля имеют одинаковое направление и длину в любой точке поперечного сечения сердечника. Кроме того, длина векторов остается неизменной при движении вдоль силовых линий магнитного поля.

Указанные обстоятельства позволяют упростить общие формулы магнитного потока в сердечнике и циркуляции вектора напряженности поля вдоль замкнутого контура [1]:

$$\Phi = \int_{(S)} \mathbf{B} d\mathbf{S} = BS, \quad (1.1)$$

$$\oint_{l_{cp}} \mathbf{H} d\mathbf{l}_{cp} = H l_{cp}, \quad (1.2)$$

где $d\mathbf{S}$ — элемент площади S поперечного сечения сердечника, совпадающий по направлению с $\mathbf{B}$; $d\mathbf{l}_{cp}$ — элемент средней магнитной линии l_{cp} , совпадающий по направлению с $\mathbf{H}$.

Рассмотрению подлежит также трансформатор, у которого сердечник имеет немагнитный (в частности, воздушный) зазор, величина которого l_3 много меньше длины средней магнитной линии l в теле сердечника (очевидно, $l_{cp} = l + l_3 \approx l$).

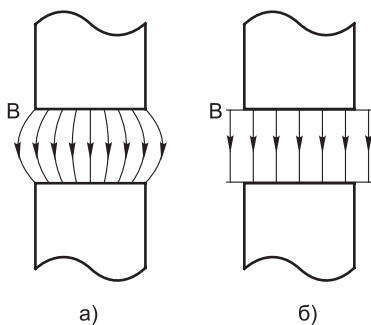


Рис. 1.3

Известно, что для поля в зазоре характерен эффект «выпучивания» линий магнитной индукции (рис. 1.3,а), причем он проявляется тем сильнее, чем хуже выполняется условие $l_3 \ll l$.

Реальную картину поля, показанную на рис. 1.3,а, можно заменить идеализированной, изображенной на рис. 1.3,б, где поле в зазоре считается однородным, а эффект выпучивания учитывается некоторым увеличением площади сечения немагнитного зазора S_3 .

В совокупности с принципом непрерывности магнитного потока данная идеализация так же, как и в предыдущем случае, позволяет придать общим формулам потока и циркуляции наиболее простой вид:

$$\Phi = BS = B_3 S_3, \quad (1.3)$$

$$\oint_{l_{cp}} \mathbf{H} d\mathbf{l}_{cp} = Hl + H_3 l_3, \quad (1.4)$$

где величины с индексом «3» относятся к зазору, а величины без индекса — к сердечнику.

Заметим, что если принять $S = S_3$ (т. е. не учитывать эффект выпучивания), получим $B = B_3$. Данное обстоятельство может быть использовано на практике: помещая в узкий зазор датчик Холла [2], можно по результатам измерения магнитной индукции в зазоре приближенно судить о ее величине в теле сердечника.

§ 1.2. Однофазный

Н-обмоточный трансформатор.

Приведенная эквивалентная схема замещения

Изложение ведется на основе законов Ома, Кирхгофа и закона электромагнитной индукции Фарадея — Максвелла. Несколько слов о последнем из них.

Пусть w витков катушки с током i пронизываются магнитным потоком Φ . Тогда, если положительные направления тока i и потока Φ связаны между собой правилом правоходового винта, а э.д.с. e на зажимах катушки совпадает по направлению с током i , формула закона имеет вид:

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt}. \quad (1.5)$$

Невыполнение хотя бы одного из этих двух условий ведет к перемене знака в правой части формулы (1.5). Действительно, пусть положительные направления i и Φ не связаны правилом правоходового винта, а направления i и e совпадают. Но тогда этим правилом связаны направления величин i и $-\Phi$, и вступает в силу формула (1.5):

$$e = -w \frac{d(-\Phi)}{dt} = w \frac{d\Phi}{dt}, \text{ ч. т. д.}$$

Аналогично рассматривается случай несовпадения по направлению i и e , когда направления i и Φ связаны правилом правоходового винта.

Условимся в дальнейшем принимать направления i и e всегда совпадающими.

На основании законов Ома и Кирхгофа можем записать следующую систему уравнений (см. рис. 1.1):

$$\begin{cases} e'_1 = -u_1 + r_1 i_1, \\ e'_2 = u_2 + r_2 i_2, \\ e'_3 = u_3 + r_3 i_3, \\ \text{-----} \\ e'_N = u_N + r_N i_N. \end{cases} \quad (1.6)$$

Смысл величин, входящих в (1.6), ясен из рис. 1.1 и рис. 1.2. В частности, $e'_1, e'_2, e'_3, \dots, e'_N$ — это э.д.с. на зажимах идеализированных (без активных сопротивлений) обмоток, возникающие в результате пронизывания их соответствующим магнитным потоком и которые могут быть определены на основании закона электромагнитной индукции (1.5). С учетом принятых на рис. 1.2 положительных направлений величин и замечания о знаке в правой части формулы (1.5) можем записать: