


ГЛАВА ВТОРАЯ ТРАНСФОРМАТОРЫ

2.1. Назначение и общие сведения о трансформаторах

Трансформатор представляет собой статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты



Основное назначение трансформаторов – изменять напряжение переменного тока. Они применяются также для преобразования числа фаз и частоты.

В простейшем случае (рис.2.1) трансформатор имеет одну первичную обмотку *1*, к которой подводится электрическая энергия, и одну вторичную обмотку *2*, от которой энергия отводится к потребителю (нагрузке). Передача энергии из одной обмотки в другую производится путем электромагнитной индукции. Для усиления электромагнитной связи между обмотками последние обычно располагаются на замкнутом ферромагнитном магнитопроводе *3*.

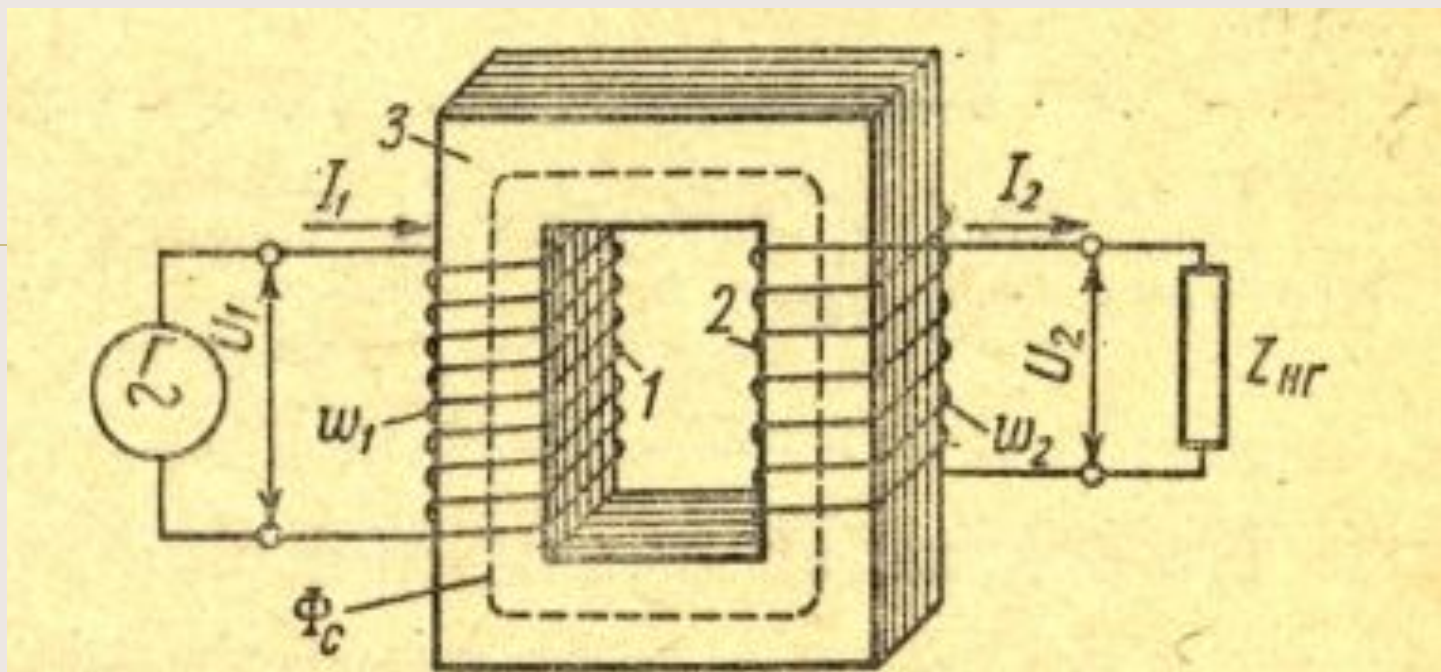


Рис. 12-1. Принцип устройства трансформатора

Г — генератор переменного тока; $Z_{нГ}$ — сопротивление нагрузки

Рис.2.1

При подключении первичной обмотки трансформатора к сети с синусоидальным напряжением U_1 в обмотке возникает ток I_1 , который создает синусоидально изменяющийся магнитный поток Φ , замыкающийся по магнитопроводу. Поток Φ индуцирует ЭДС, как в первичной, так и во вторичной обмотке.

При подключении к вторичной обмотке нагрузки в этой обмотке возникает вторичный ток I_2 и на ее зажимах устанавливается некоторое напряжение U_2 . Результирующий магнитный поток Φ_c создается током обеих обмоток.

Одним из основных параметров трансформаторов является *коэффициент трансформации*

$$k = w_1 / w_2 = U_1 / U_2 = I_2 / I_1$$

Таким образом, *первичное и вторичное напряжения прямо пропорциональны, а первичный и вторичный токи обратно пропорциональны числам витков соответствующих обмоток.*

Виды трансформаторов. Трансформатор с одной первичной и с одной вторичной обмоткой называется *двухобмоточными*.

Во многих случаях применяются трансформаторы с несколькими первичными или вторичными обмотками. Такие трансформаторы называются *многообмоточными*.

По числу фаз различают *однофазные* и *трехфазные* трансформаторы.

В зависимости от назначения трансформаторы подразделяются на *силовые* и трансформаторы *специального* назначения: выпрямительные, сварочные, измерительные и др.

Силовые трансформаторы бывают масляные и сухие. В масляных трансформаторах магнитопровод с обмотками помещают в бак с трансформаторным маслом, которое выполняет одновременно роль электрической изоляции и охлаждающего агента

2.2. Магнитопроводы трансформаторов

По конструкции магнитопровода трансформаторы подразделяются на *стержневые* и *броневые*.

Магнитопровод однофазного стержневого трансформатора (рис.2.2а) имеет два стержня **С**, на который размещаются обмотки, и два ярма **Я**, которые служат для создания замкнутого магнитопровода.

...и первичная и вторичная обмотки нахо...

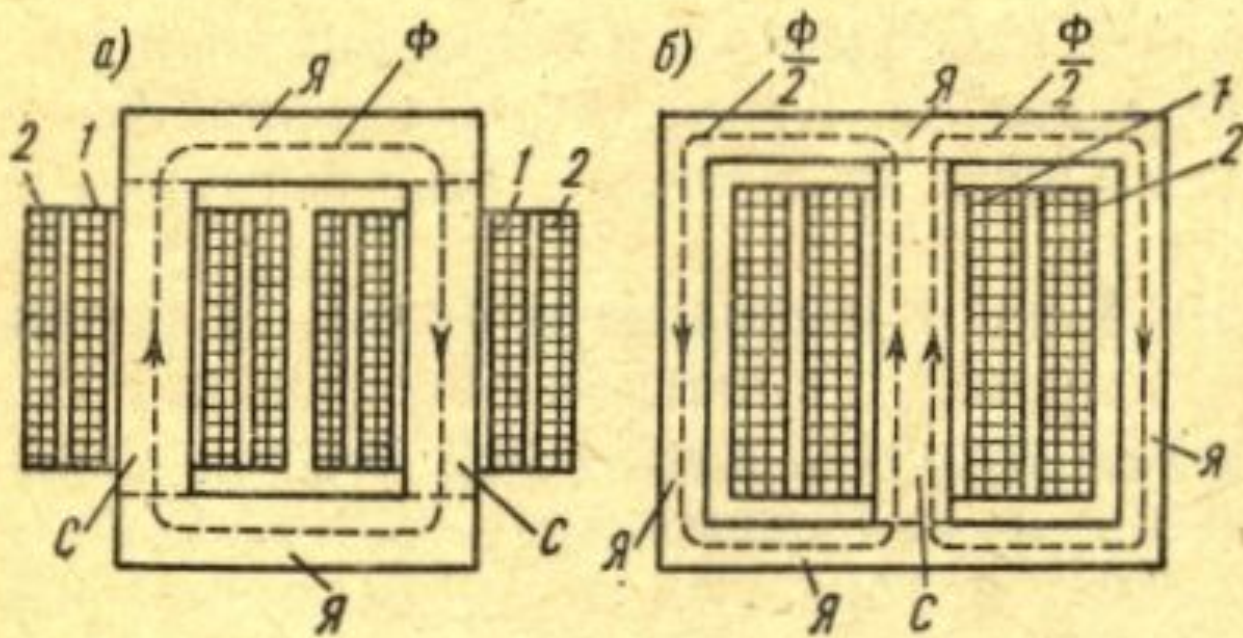


Рис. 12-2. Устройство однофазного стержневого (а) и броневое (б) трансформаторов

Рис.2.2

Каждая из обмоток (*1* и *2*) состоит из двух частей, расположенных на двух стержнях, причем эти части соединяются либо последовательно, либо параллельно. При таком расположении первичная и вторичная обмотки находятся близко друг от друга, что приводит к увеличению коэффициента электромагнитной связи.

Однофазный трансформатор броневой конструкции (рис.2.2б) имеет один стержень с обмотками и развитое ярмо, которое частично закрывает обмотки подобно «броню».

Для преобразования или трансформации трехфазного тока можно использовать 3 однофазных трансформатора (рис.2.3), обмотки которых соединяются по схеме звезды или треугольника и присоединяются к трехфазной сети.

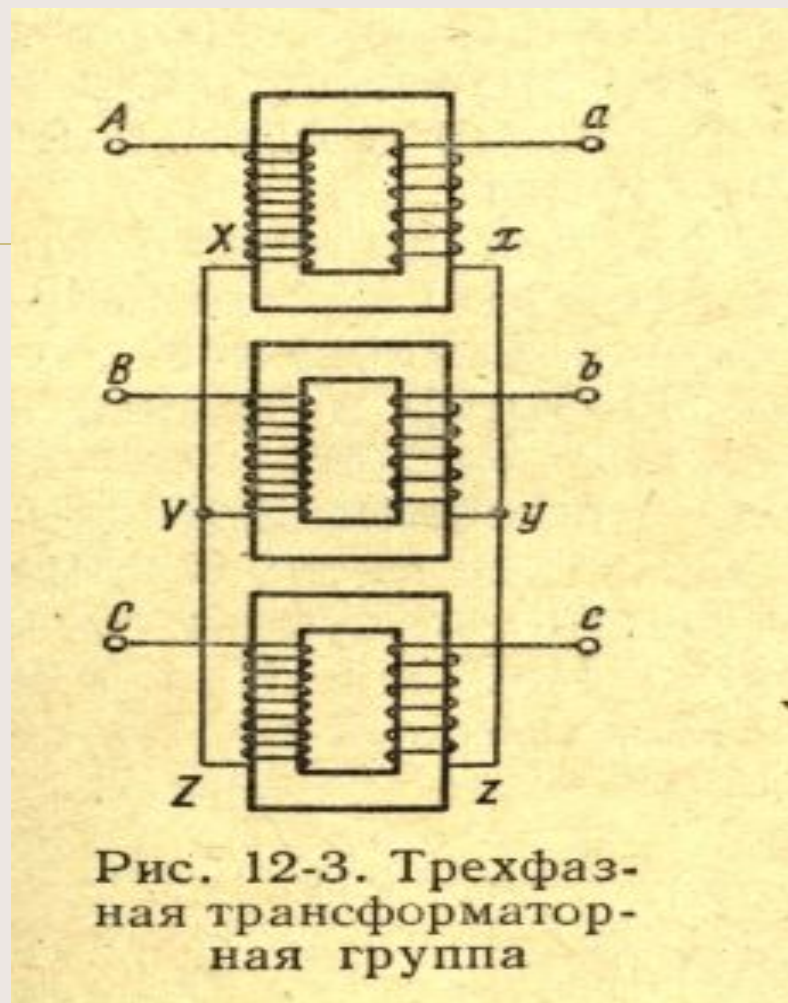


Рис. 12-3. Трехфазная трансформаторная группа

Рис.2.3

Такое устройство называется *трехфазной трансформаторной группой* или *групповым трансформатором*. Чаще применяются трехфазные трансформаторы с общим для всех фаз магнитопроводом, т.к. такие трансформаторы компактнее и легче (рис.2.4).

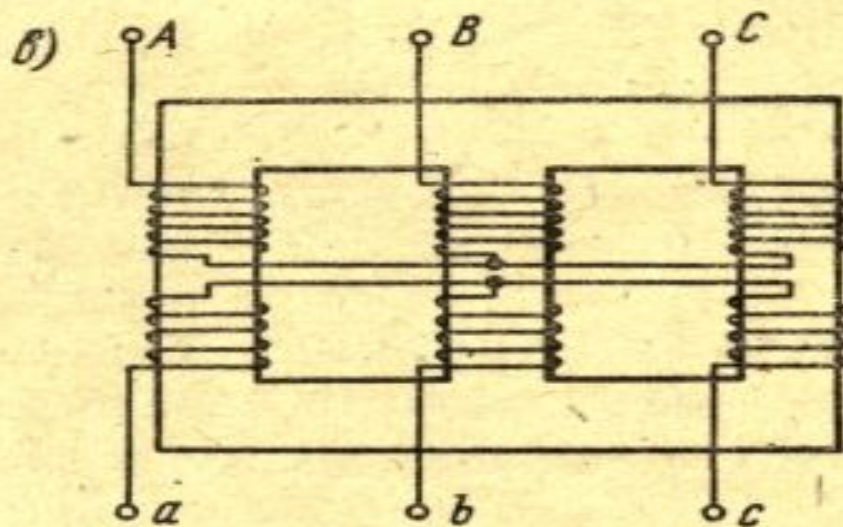
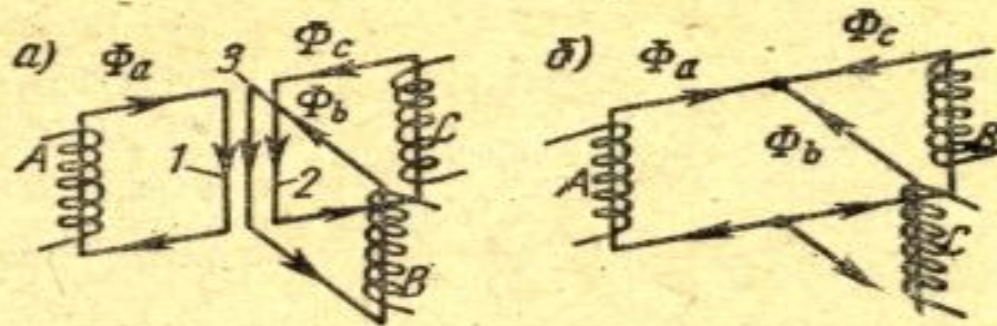


Рис. 12-4. Идея образования трехфазного трехстержневого трансформатора

Рис.2.4

Трехфазный броневой трансформатор (рис.2.5) можно рассматривать как три однофазных броневых трансформатора, поставленные рядом или друг над другом.. При этом средняя фаза имеет обратное включение относительно крайних, чтобы в соприкасающихся частях магнитной системы потоки фаз складывались, а не вычитались.

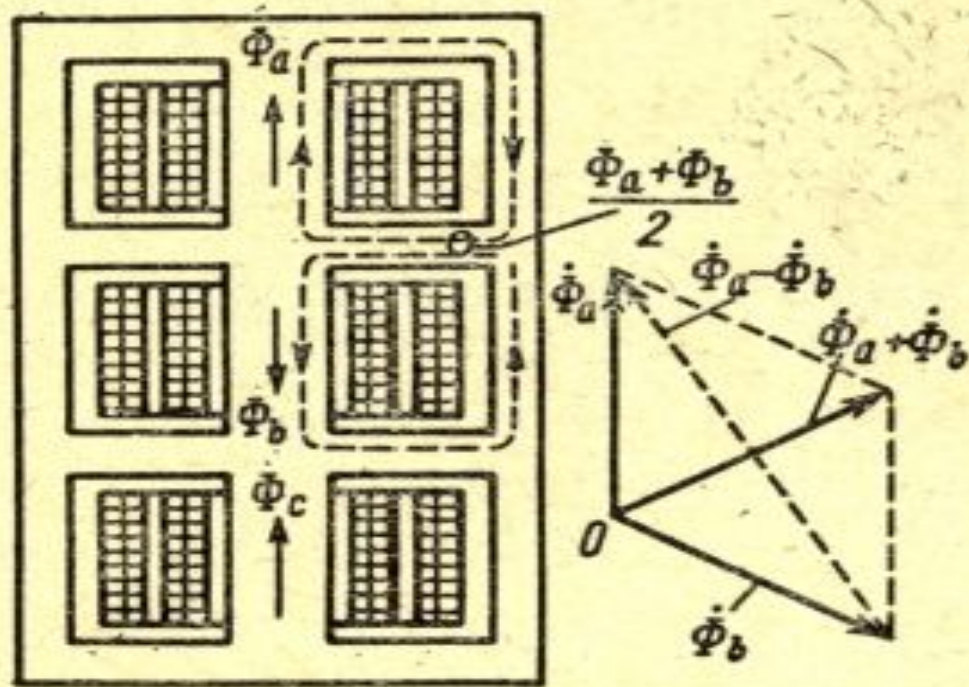


Рис. 12-5. Устройство трехфазного броневых трансформатора

Рис.2.5

С увеличением мощности трансформаторов возрастают их размеры и трудности транспортировки по железной дороге. Поэтому в трансформаторах мощностью больше 80-100 МВА на фазу и напряжением 220-500 кВ применяют бронестержневую или многостержневую конструкцию (рис.2.6).

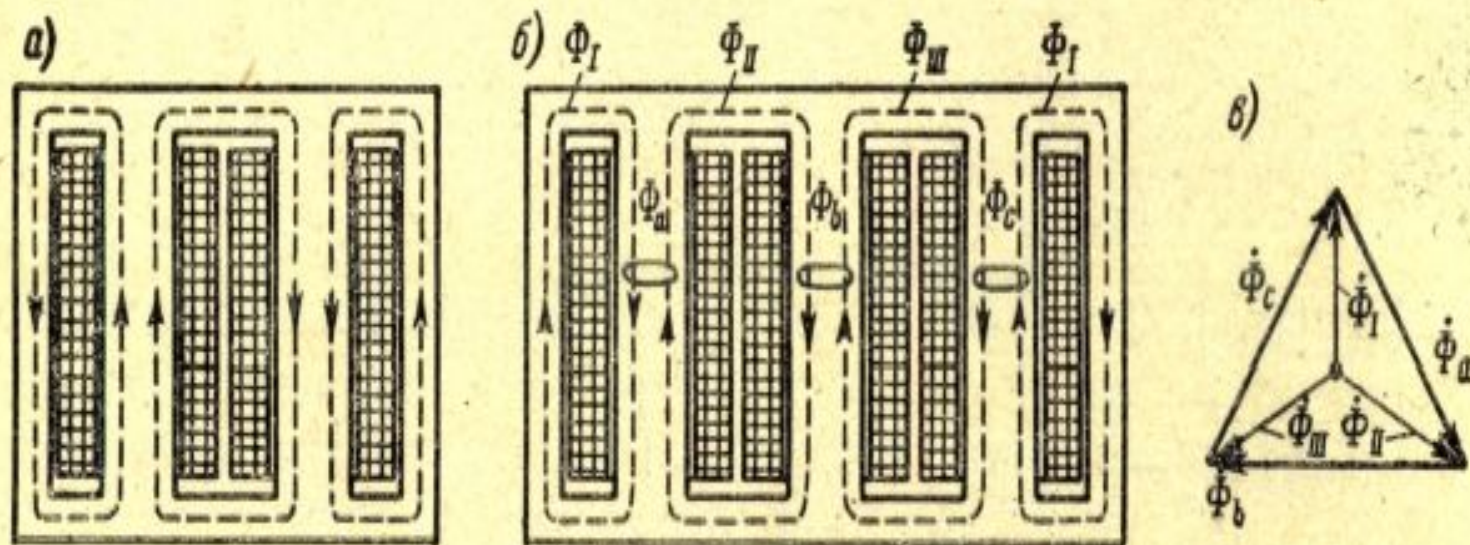


Рис. 12-6. Устройство бронестержневых трансформаторов

Рис.2.6

По способу сочленения стержней с ярмами различают трансформаторы со *стыковыми* (рис.2.7а, б) и *шихтованными* (рис.2.8) магнитопроводами. В первом случае стержни и ярма собираются отдельно и крепятся друг с другом с помощью стяжных шпилек. Во втором случае стержни и ярма собираются вместе как цельная конструкция, причем листы стержней и ярма отдельных слоев собираются в переплет.

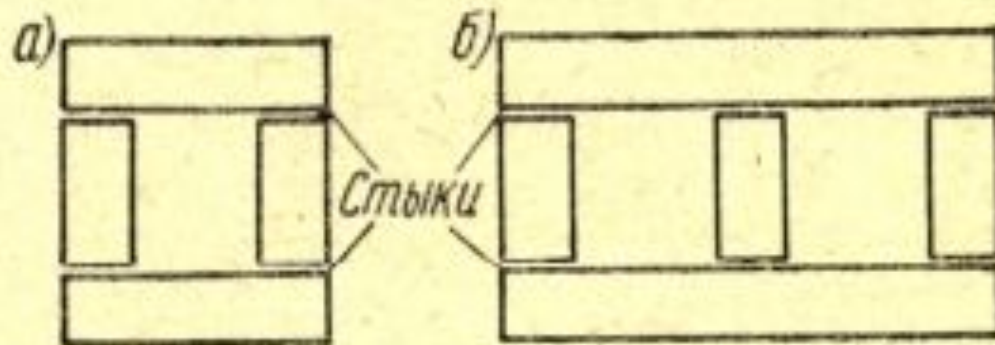


Рис. 12-7. Схемы стыковых маг-
нитопроводов

Рис.2.7

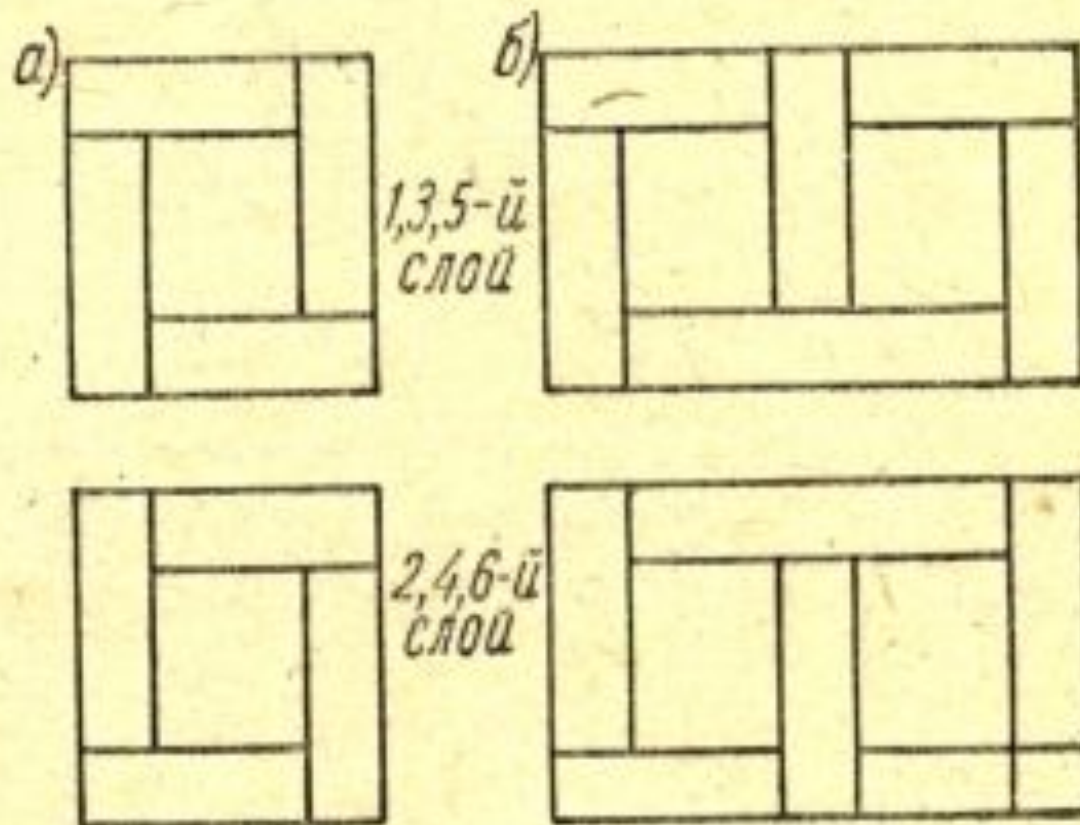
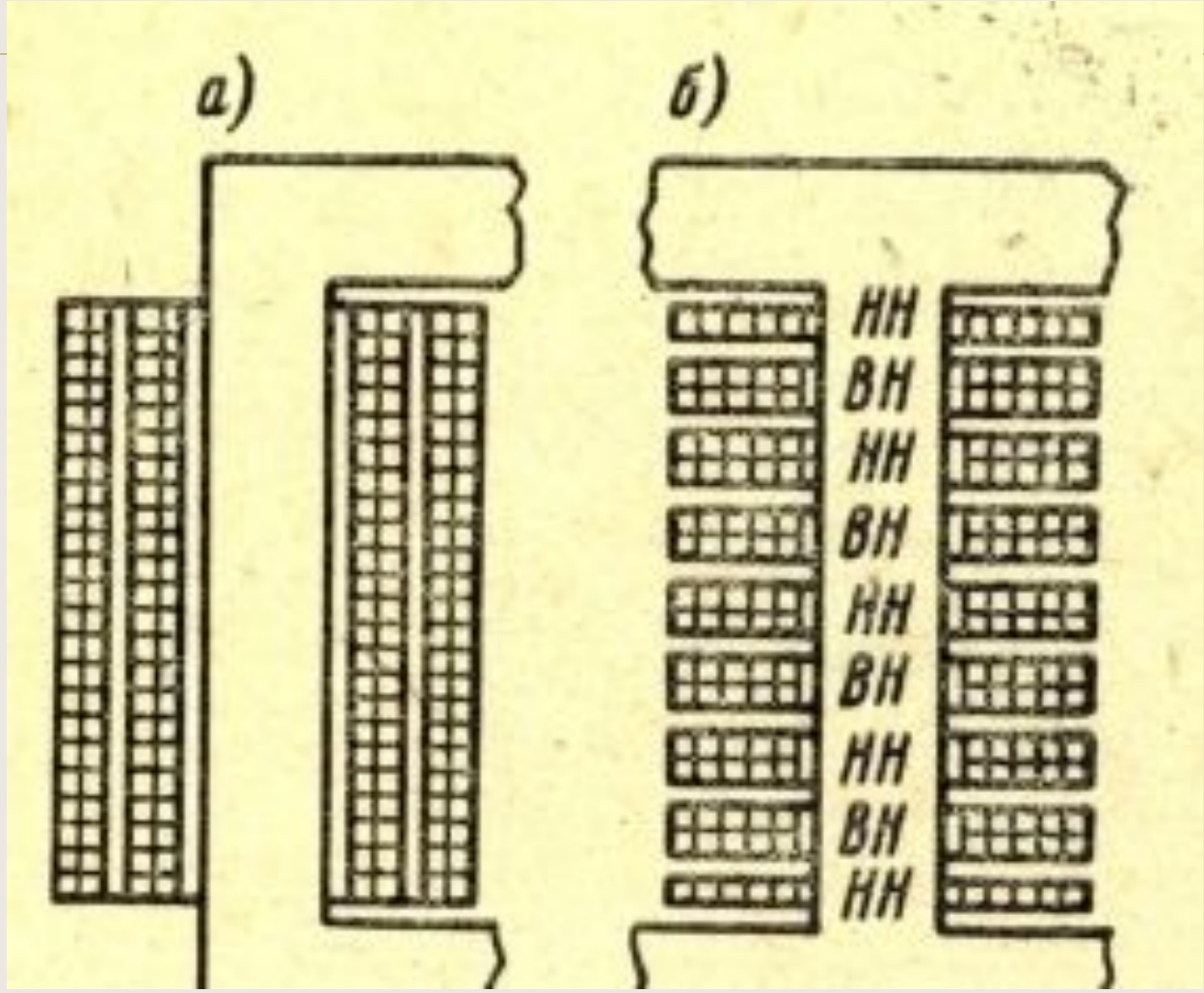


Рис. 12-8. Укладка листов стали в слоях шихтованных магнитопроводов однофазных (а) и трехфазных (б) трансформаторов

2.3 Обмотки трансформаторов

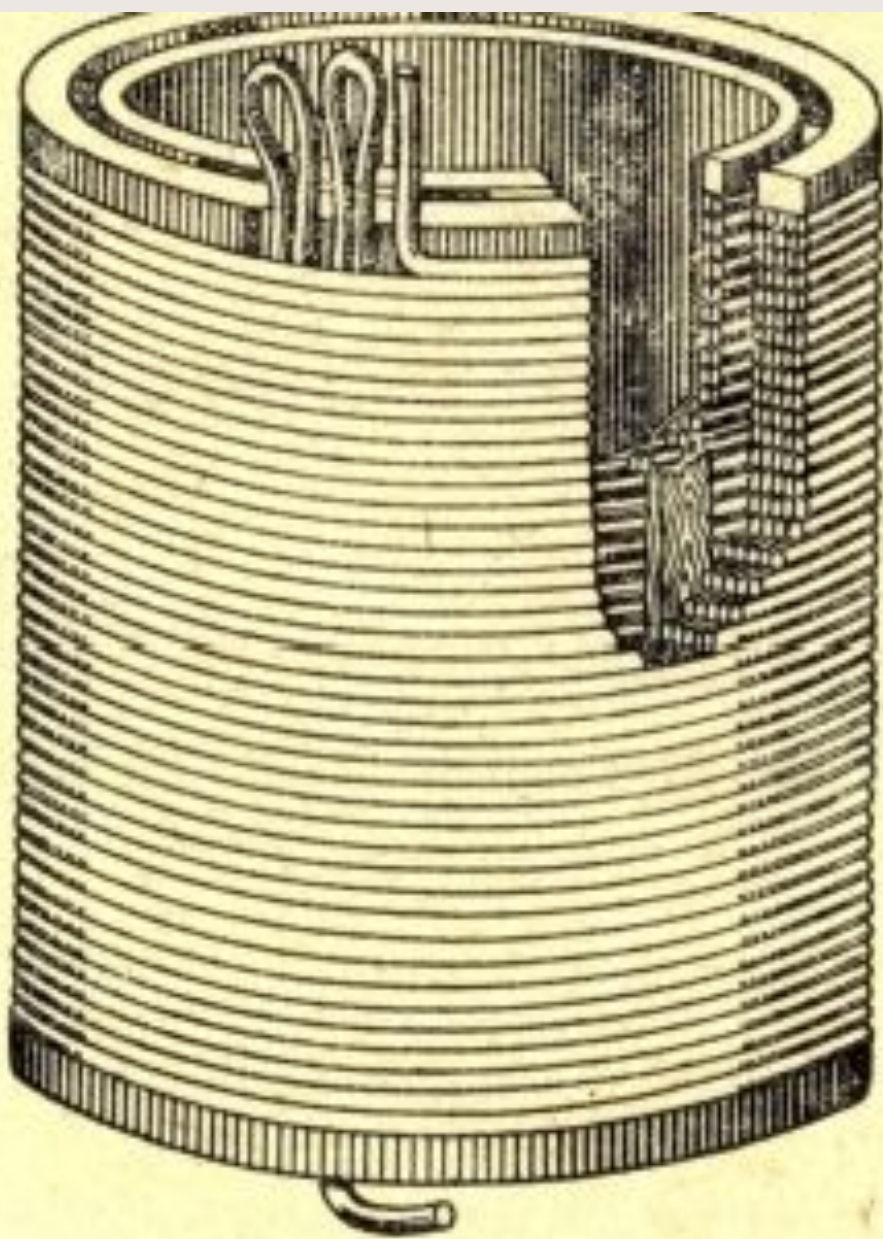
Конструкция обмоток трансформаторов должна удовлетворять условиям высокой электрической и механической прочности, а также нагревостойкости. Кроме того, технология изготовления обмоток должна быть по возможности простой и недорогой, а электрические потери в обмотках должны находиться в установленных пределах.

Обмотки изготавливаются из медного и алюминиевого провода. По способу расположения на стержнях и по взаимному расположению обмоток высшего напряжения ВН и низшего напряжения НН обмотки разделяются на *концентрические* (рис.2.9а) и *чередующиеся* (рис.2.9б).

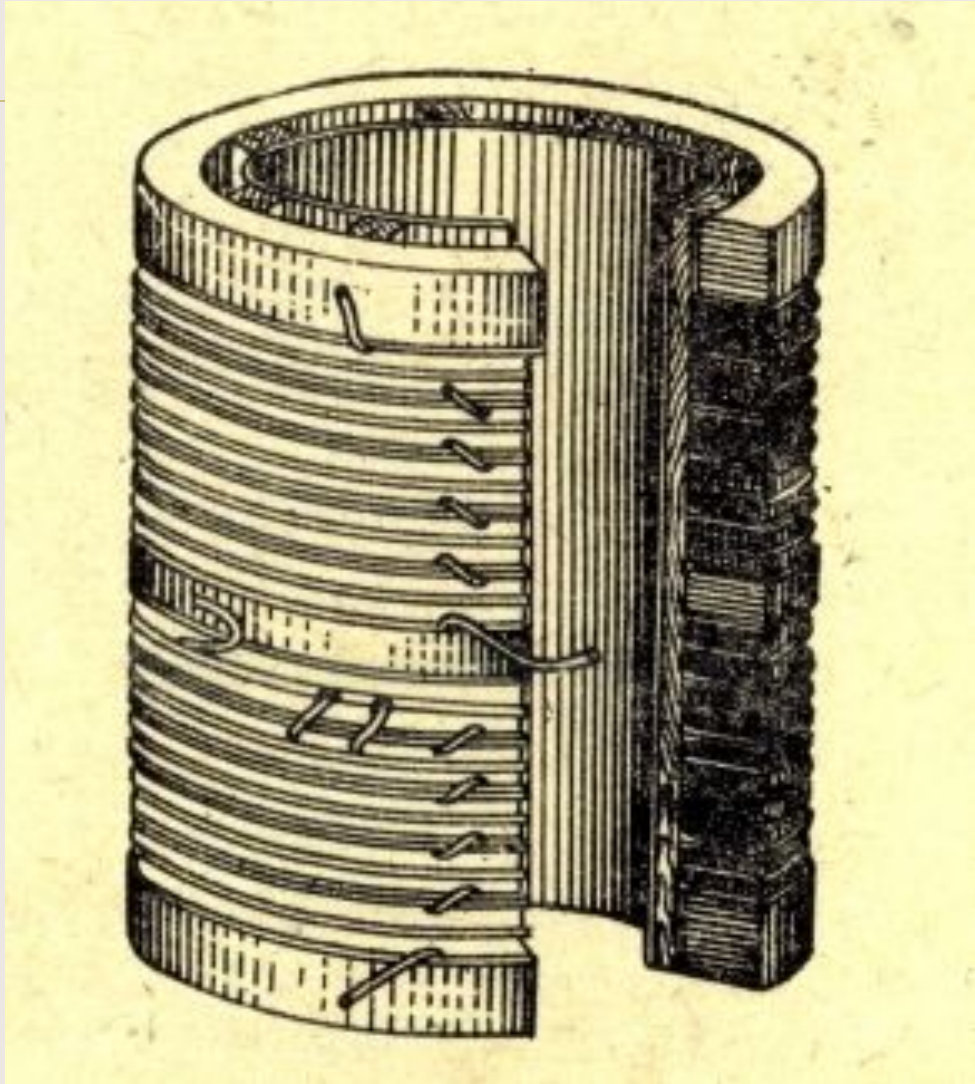


В первом случае обмотки ВН и НН расположены относительно друг друга и вокруг стержня concentрически, причем ближе к стержню обычно находится обмотка НН, т.к. изоляция обмотки от стержня при этом облегчается. В чередующихся обмотках катушки ВН и НН чередуются вдоль стержня по высоте. Они имеют более полную электромагнитную связь, однако они сложнее в изготовлении и в случае высоких напряжений изоляция обмоток друг от друга усложняется. Поэтому в силовых трансформаторах обычно применяются concentрические обмотки.

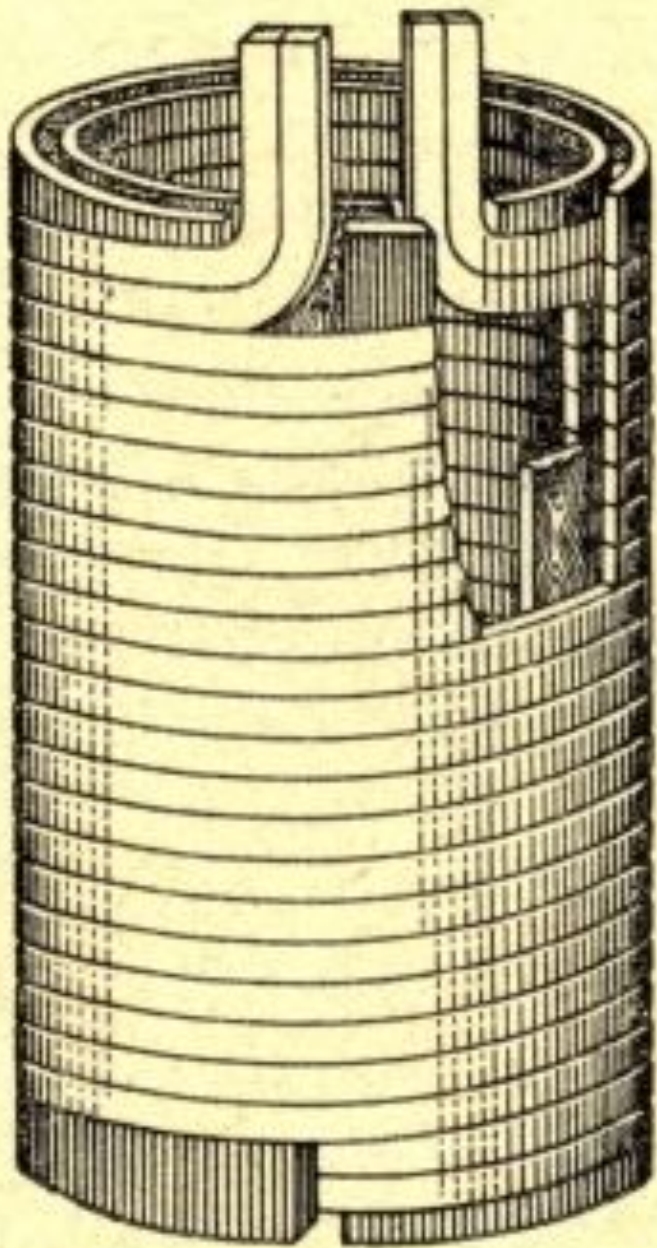
Многослойные цилиндрические обмотки (рис.2.10) изготавливаются из круглых или прямоугольных проводников, которые размещаются вдоль стержня в несколько слоев, причем между слоями прокладывается изоляция из кабельной бумаги.



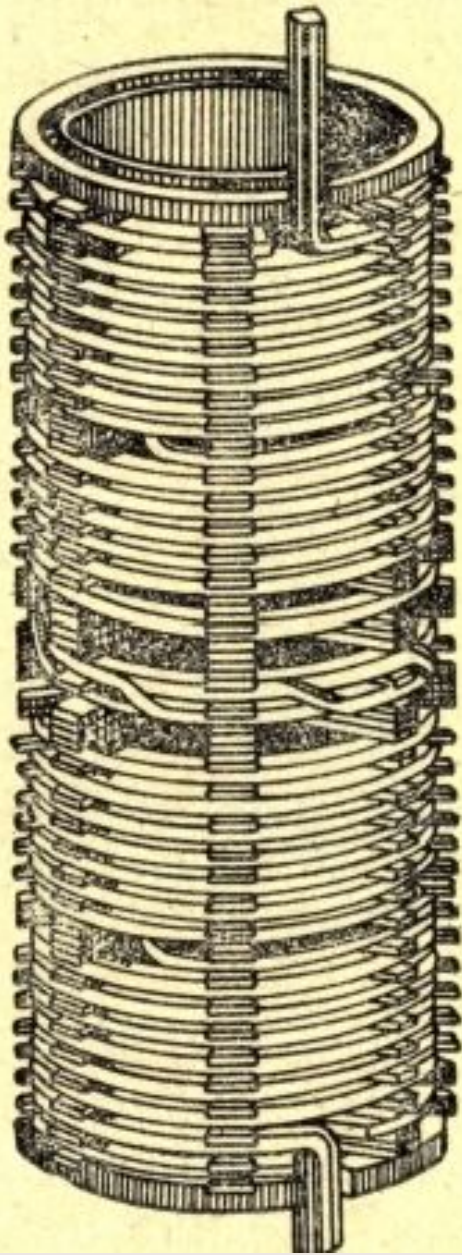
Многослойные цилиндрические катушечные обмотки (рис.2.11)
наматываются из круглого провода и состоят из многослойных дисковых катушек, расположенных вдоль стержня. Между катушками могут быть оставлены радиальные каналы для охлаждения. Такие обмотки применяют на стороне ВН при мощностях менее 335кВА.



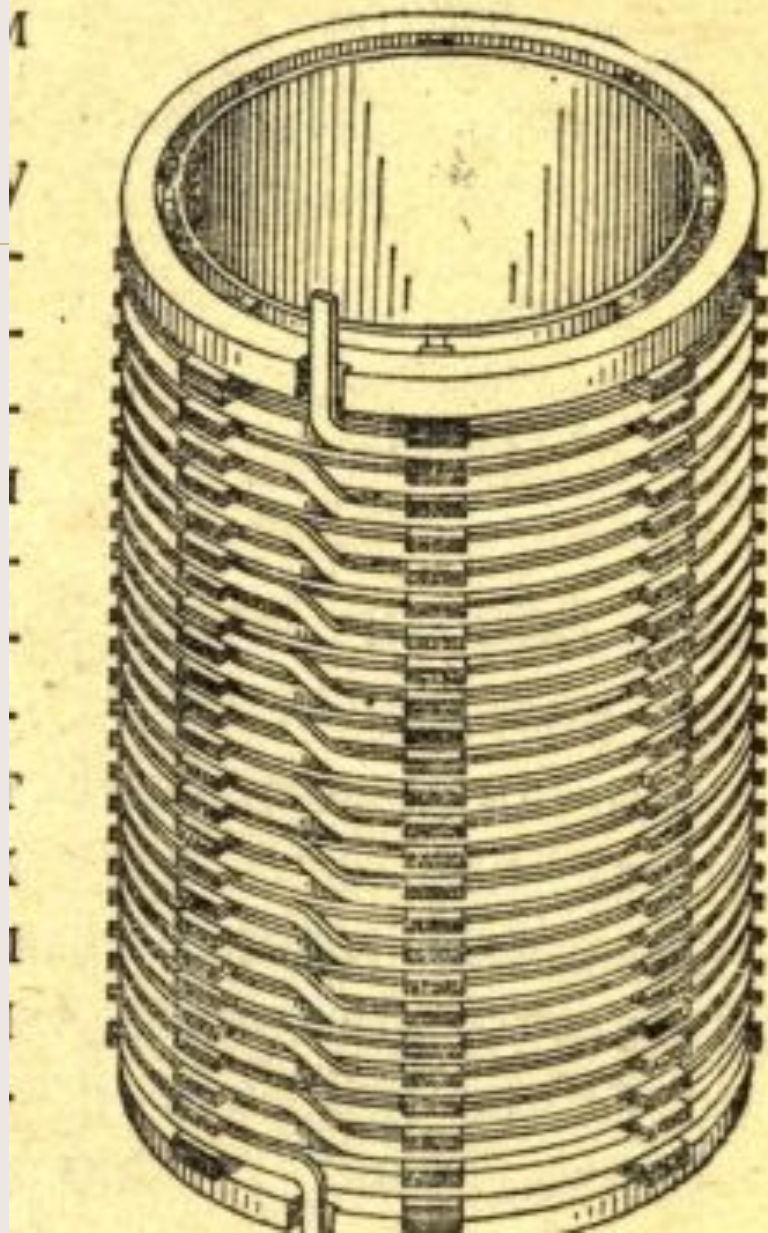
Однослойные и двухслойные цилиндрические обмотки (рис.2.12) наматываются из одного или нескольких параллельных прямоугольных проводников и применяются при мощностях менее 200 кВА.



Винтовые обмотки (рис.2.13) наматываются из ряда параллельных прямоугольных проводников, прилегающих друг к другу в радиальном направлении. Винтовыми выполняются обмотки НН при мощностях более 45 кВА.



Непрерывная спиральная катушечная обмотка (рис.2.14) выполняется из прямоугольного провода и состоит из нескольких десятков дискообразных катушек, причем катушки наматываются по спирали и соединяются друг с другом без пайки. Применяются при мощностях больше 60 кВА.



Последние два типа обмоток являются в механическом отношении наиболее устойчивыми и способны выдерживать значительные осевые усилия, т.к. состоят из дискообразных элементов, имеющих в радиальном направлении достаточные размеры.

2.4. Схемы и группы соединений обмоток трансформаторов

Обозначения начал и концов обмоток трансформаторов приведены в таблице 2.1. Зажимы нулевой точки при соединении в звезду обозначаются O , O_m , o .

Таблица 2.1

Обозначение начал и концов обмоток трансформатора

Таблица 2.1

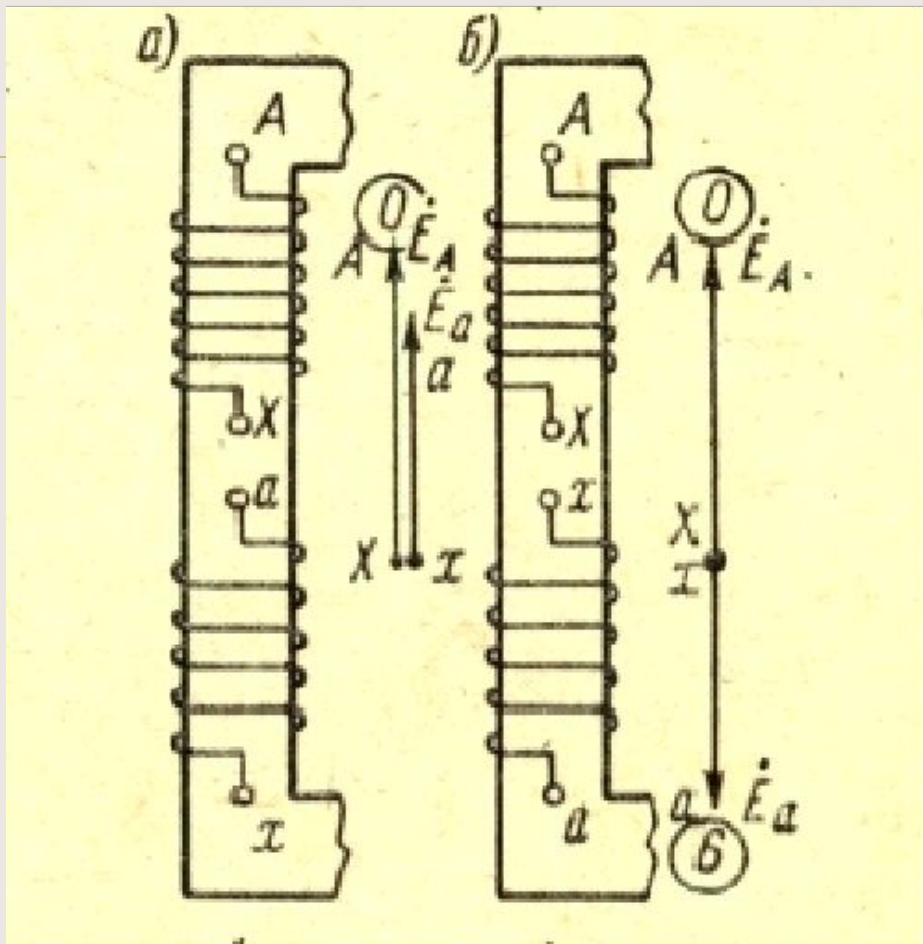
Обозначение начал и концов обмоток трансформатора

Наименование обмоток	Однофазные трансформаторы	Трехфазные трансформаторы
Обмотки высшего напряжения		
начала	A	A, B, C
концы	X	X, Y, Z
Обмотки низшего напряжения		
начала	a	a, b, c
концы	x	x, y, z
Обмотки среднего напряжения		
начала	A_m	A_m, B_m, C_m
концы	X_m	X_m, Y_m, Z_m

Схемы соединения обмоток трехфазных трансформаторов. В большинстве случаев обмотки трехфазных трансформаторов соединяются либо в звезду, либо в треугольник. В некоторых случаях применяется также соединение обмоток по схеме зигзага, когда каждая фаза обмотки разделяется на две части, которые располагаются на разных стержнях и соединяются последовательно. При этом вторая половина обмотки подключается по отношению к первой встречно. Такое соединение используется в специальных случаях, когда возможна неравномерная нагрузка фаз с наличием токов нулевой последовательности.

Группа соединений обмоток. Для включения трансформатора на параллельную работу с другим трансформаторами имеет значение сдвиг фаз между ЭДС первичной и вторичной обмоток. Для характеристики этого сдвига вводится понятие о группе соединений обмоток.

На рис.2.15а показаны обмотки однофазного трансформатора, намотанные по левой винтовой линии и называемые поэтому «левыми», причем у обеих обмоток начала A , a находятся сверху, а концы X , x – снизу. Будем считать ЭДС положительной, если она действует от конца обмотки к ее началу. Обмотки на рис.12.15а сцепляются с одним и тем же потоком.



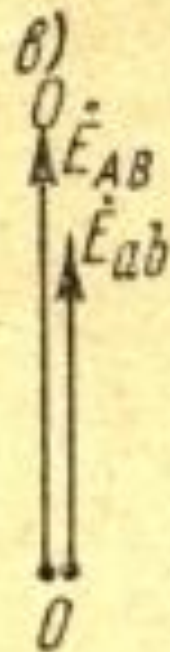
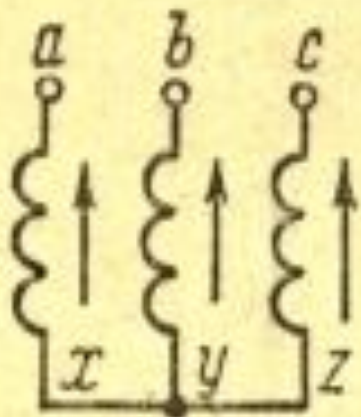
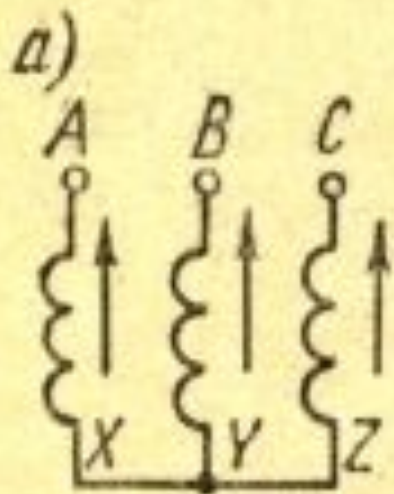
Вследствие этого ЭДС этих обмоток в каждый момент времени действуют в одинаковых направлениях – от концов к началам или наоборот, т.е. Они одновременно положительны или отрицательны. Поэтому ЭДС E_A и E_a совпадают по фазе, как показано на рис.2.15. Если же у одной из обмоток переменить начало и конец (рис.2.15б), то направление ее ЭДС, действующей от конца к началу, изменится на обратное и ЭДС E_A и E_a будут иметь сдвиг 180° .

Такой же результат получится, если на рис.2.15а одну из обмоток выполнить «правой».

Для обозначения сдвига фаз обмоток трансформатора векторы их линейных ЭДС уподобляются стрелкам часового циферблата, причем вектор обмотки ВН принимают за минутную стрелку и считают, что на циферблате часов она направлена на цифру 12, а вектор обмотки НН принимают за часовую стрелку.

Тогда на рис.2.15а часы будут показывать 0 или 12 часов, и такое соединение обмоток поэтому называется группой **0**. На рис.2.15б часы будут показывать 6 часов, и такое соединение называется группой **6**. Соответственно соединение обмоток однофазных трансформаторов обозначают: ***II – 0*** и ***II – 6***.

Рассмотрим трехфазный трансформатор с соединением обмоток ВН и НН в звезду, причем предположим, что 1) обмотки ВН и НН имеют одинаковую намотку (например «правую»); 2) начала и концы обмоток расположены одинаково (например, концы снизу, а начала сверху) и 3) одноименные обмотки (например A и a , а также B и b , C и c) находятся на общих стержнях (рис.2.16а).



Тогда звезды фазных ЭДС и треугольники линейных ЭДС будут иметь вид, показанный на рис.2.16б). При этом одноименные векторы линейных ЭДС (например E_{AB} и E_{ab}) направлены одинаково, т.е. совпадают по фазе, и при расположении их на циферблате часов, согласно изложенному правилу, часы будут показывать 0 часов. (рис.2.16в). Поэтому схема и группа соединений такого трансформатора обозначается $Y/Y - 0$.

При соединении обмоток ВН трансформатора в звезду, а обмоток НН в треугольник (рис.2.17 а) будет иметь место трехфазный трансформатор со схемой и группой соединений

Y/Δ-11

