Тема: Конструктивный расчет трансформатора

**Конструктивный расчет трансформатора.**

1. Испытательное напряжение *U*исп  между обмотками и обмоток по отношению к деталям конструкции выбирается в зависимости от рабочего напряжения *U*р  или потенциала обмоток по рис.8.

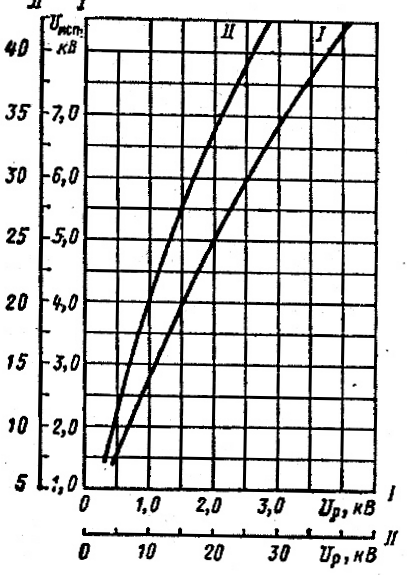


Рис.8. Зависимости испытательного напряжения от рабочего напряжения Трансформаторов (амплитудные значения)

2. Выбор межслоевой и межобмоточной изоляции ТММ броневой и стержневой конструкций производится по данным таблиц 6,7.

Рекомендации по выбору межслоевой изоляции из пленок для тороидальных трансформаторов приведены в таблице 8, число слоев межобмоточной изоляции при применении пленочных материалов выбирается из расчета 800В на слой (по испытательному напряжению), но не менее двух слоев для обеспечения необходимой механической прочности.

Число слоев межобмоточной изоляции из микалентной бумаги определяется по табл. 9.

3. Расчет размещения обмоток в окне магнитопровода броневой и стержневой конструкции:

а) высота слоя намотки *i* – й обмотки, *h*сл , мм:

 (15)

где Δ*h* – выбирается по табл. 7 ;

δщ – толщина щечки каркаса;

Δ3 – зазор между каркасом и магнитопроводом (Δ3 = 0, δщ= 0 – при бескаркасном исполнении).

Для каждой следующей обмотки высота слоя уменьшается на 0,5 – 1 мм для исключения возможного сброса витков.

б) число витков в слое *i* – й обмотки:

 (16)

коэффициент укладки провода *k*у  выбирается из табл.10.

в) толщина *i* – й обмотки

****  (17)

коэффициент разбухания *k*раз  находят по графикам рис. 10;

д) толщина катушки с учетом межобмоточной изоляции δз

 (18)

Зазор между катушкой и магнитопроводом должен быть в пределах 0,5 – 1 мм. Для стержневой конструкции зазор между обмотками должен быть в пределах 1 – 1,5 мм.

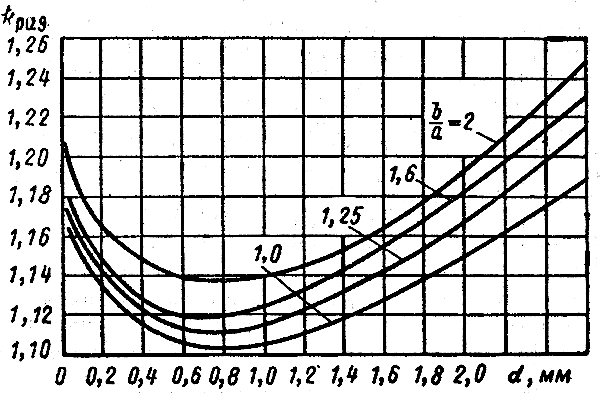
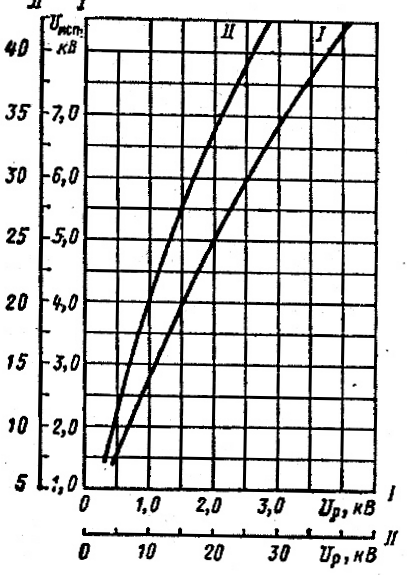


Рис.9. Зависимость испытательного Рис.10. Зависимость коэффициента разбухания

напряжения от рабочего напряжения *kраз* от диаметра провода и отношения *b/a* трансформаторов (амплитудные значения)

Таблица 6

Выбор межслоевой изоляции броневых и стержневых трансформаторов.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Диаметр провода  мм | Рабочее напряжение между слоями, В | Марка и толщина изоляционного материала | Число  слоев |
| До 0,2  От 0,2 до 0,74  Свыше 0,8 | До 60  До 80  До 100 | Конденсаторная бумага КОН-2 0,022 мм  Телефонная КТН 0,05 мм,  намоточная ЭН-50 0,05мм  Кабельная К-120 0,12мм,  Пропиточная ЗИП 0,11мм. | 1  1  1 |

Таблица 7

Выбор межобмоточной и концевой изоляции броневых и стержневых трансформаторов**.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Испыта-тельное напряже-ние, кВ | Число слоев кабельной или пропиточной бумаги | | Ширина концевой изоляции  мм | Испыта-тельное напряже-ние, кВ | Число слоев кабельной или пропиточной бумаги | | Ширина концевой изоляции  мм |
| Между обмотками | Наружной изоляции | Между обмотками | Наружной изоляции |
| 0,5  1,5  2,0  3,0  4,0  5,0 | 2  2  3  5  7  8 | 2  2  2  4  6  6 | –  –  –  3–4  6  8 | 6,0  8,0  10  12  14  15 | 10  12  15  17  20  25 | 8  10  12  14  16  20 | 10  13  16  18  20  22 |

Таблица 8

Выбор межслоевой изоляции тороидальных трансформаторов.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка и толщина изоляционного материала | Рабочее напряжение между слоями | Число слоев | | | |
| Диаметр провода, мм | | | |
| До 0,29 | 0,29– 0,55 | 0,55 – 0,8 | Свыше 0,8 |
| Пленка из фторопласта-4, 0,04мм  Пленка электроизоляционная ПЭТФ-20, 0,02мм  Микалентная бумага с пропиткой, 0,02мм  Лакоткань ЛШС-2, 0,11мм  Стеклоткань, 0,11мм | До 600  До 500  До 300  До 300  До 200 | 1  1  1  –  – | 2  2  2  –  – | 3  3  4  1  1 | –  –  2  1  1 |

Таблица 9

Выбор межобмоточной изоляции из микалентной бумаги в тороидальных трансформаторах.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Испытательное напряжение, кВ | 0,5 | 1,5 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 8,0 | 10,0 | 12 |
| Число слоев | 2 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 | 17 | 20 |

Таблица 10

Значение коэффициента укладки провода обмоток для броневых и стержневых трансформаторов.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Диаметр провода, мм | Коэффициент укладки, *k*у | Диаметр провода, мм | Коэффициент укладки, *k*у |
| Менее 0,2  0,2 – 0,5  0,5 – 0,8 | 0,9  0,93  0,95 | 0,8 –1,0  Более 1,0 | 0,9  0,85 |

Таблица 11 Таблица 12

Значение коэффициентов укладки Значение коэффициентов разбухания

провода обмоток для тороидальных обмоток для тороидальных трансфор -

трансформаторов маторов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Диаметр провода, мм | Коэффициент укладки, *k*у |  | Диаметр провода, мм | Коэффициент разбухания, *k*раз |
| До 0,8  Свыше 0,8 | 0,75 – 0,8  0,8 | До 0,16  От 0,16 до 0,8  Свыше 0,8 | 1,25  1,3  1,25 |

Проверочный расчет трансформаторов малой мощности.

1. ***Средняя длина витка i – й обмотки:***

а) для ТММ броневой и стержневой конструкций

***lwi*  = 2 (*А΄* +*Б΄)* + 2 *hi k*раз** (19)

где *А΄* и *Б ΄* наружные размеры по периметру гильзы;

 (20)

*hi* – расстояние от гильзы до середины *i* – й обмотки;

б) для ТММ тороидальной конструкции

 (21)

где *ri* = *δ*г+ *hi*

1. ***Сопротивление i – й обмотки при нормальной и повышенной температуре, Ом***

 (22)

где *k*к = 1 + αR (*Тс* + Δ*Т*к – 20˚С );  *k*к = 1 при *Тс* = 20˚С и Δ*Т*к= 0

1. ***Падение напряжения в обмотках*:**

**Δ*U*= *Ii Ri* T.** (23)

1. ***Уточненное число витков первичной и вторичной обмоток***

***W*1 = *W*0 (*U*1 + Δ*U*1); *Wi* = *W*0 (*Ui*+ Δ*Ui*);** (24)

1. ***Потери в меди обмоток определяются по формуле:***

 (25)

1. ***КПД трансформатора определяется по формуле:***

 (26)

где *P*тр *= P*с*+ P*к

1. ***Уточненное значение тока первичной обмотки определяется по формуле* (13)**
2. ***Масса меди каждой из обмоток, г:***

***G = γ*м *· lwi · Wiqi*** (27)

1. ***Коэффициент заполнения окна магнитопровода медью:***

 (28)

1. ***Масса изоляции обмоток, г:***

 (29)

где: **** ;

*kиз* = 0,7 – коэффициент укладки изоляции;

*γиз=* 1г/см2

1. ***Масса трансформатора:***

***G*т = *G*с + *G*к + *G*из**

**РАЗМЕЩЕНИЕ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА.**

По виду размещения обмоток на магнитопроводе электромагнитные компоненты, в первую очередь трансформаторы питания, подразделяются на ***броневую констструк­цию****,* когда обмотки размещаются на среднем стержне Ш-образного магнитоnpовода (рис. 11, *а),* и ***стержневую конструкцию****,* когда обмотки размещаются на одном или двух стержнях П-образного магнитоnpовода (рис.11,*б*). Броневая конструкция трансформатора характеризуется от­носительно меньшим потоком рассеяния и пред­почтительна для маломощных трансформаторов. Наименьшим потоком рассеяния характеризуется трансформатор на кольцевом магнитоnpоводе или сердечнике. Для улучшения потокосцепления меж­ду обмотками их следует распределять равномер­но по всей окружности сердечника (даже если число витков в обмотке очень мало). Трансформа­торы на кольцевых магнитоnpоводах (сердечни­ках) преимущественно пpименяются в статических пpeoбразователях напряжения источников вторич­ного электропитания, работающих с частотой пре­образования электроэнергии в десятки и сотни килогерц.

Обмотки трансформаторов пpомышленного из­готовления выполняются в основном на литых каркасах из трудновоспламеняемой пластмассы, каркасы трансформаторов старых конструкций выполнялись из электрокартона. Выводы обмо­ток могут быть выполнены гибкими проводами или специальными контактами, впрессованными в щечки каркаса. Первой на каркасе (ближе всего к магнитопроводу) обычно располагается пер­вичная обмотка *3* (рис.11*,a-г),* затем вто­ричные *4*.

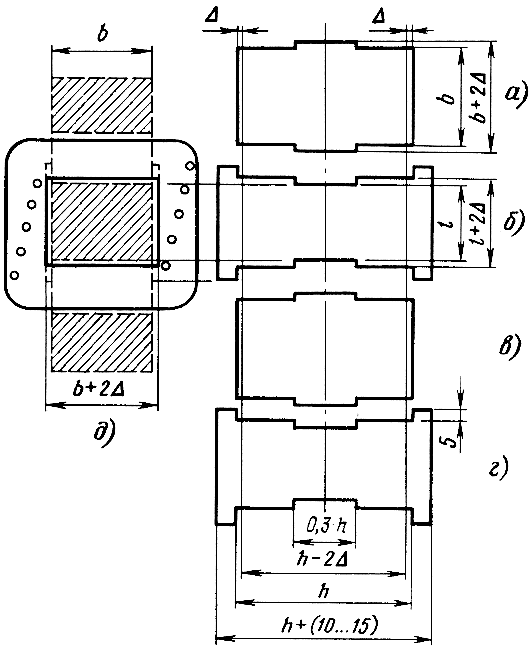
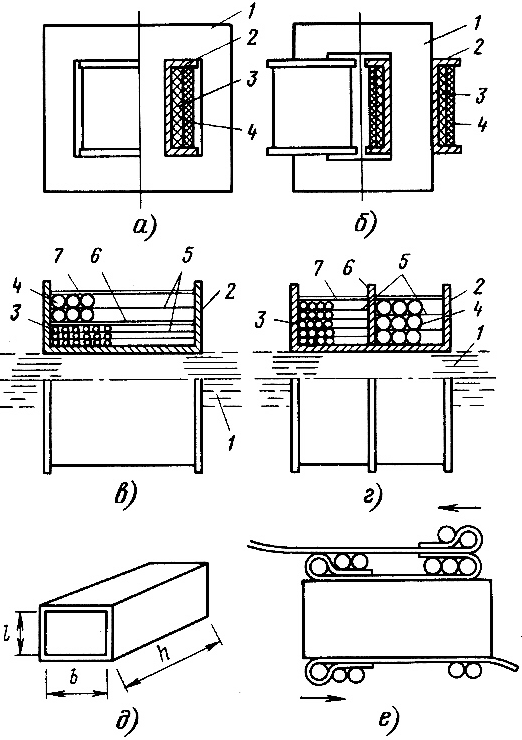


Рис. 11. Расположение обмоток в катушке трансформатора

Рис.12. Элементы каркаса для обмоток трансформатора.

Между первичной и вторичной обмот­ками прокладывается слой межобмоточной изо­ляции *6* (тонкий электрокартон, лакоткань, стек­лолакоткань). Часто между первичной и вторич­ной обмотками размещается электростатический экран, выполняемый в виде одного слоя намотан­ной виток к витку обмотки или в виде одного витка из фольги. Присоединение одного из кон­цов подобной экранирующей обмотки к шасси или общему проводу аппаратуры позволяет зна­чительно ослабить уровень наводок и помех, проникающих через межвитковую и межобмо­точную емкости трансформатора из первичной электросети в радиоэлектронную аппаратуру и наоборот. В многовитковых обмотках с относи­тельно высоким рабочим напряжением для пре­дотвращения западания витков верхних слоев в нижние, что приводит к уменьшению пробивного напряжения обмотки, между слоями проклады­вают межслоевую изоляцию *5* из трансформа­торной или конденсаторной бумаги (рис.11*а-г).* Обмотки в катушке могут располагаться одна над другой (цилиндрическое расположение, рис. 11, *в)* или одна сбоку относительно дру­гой (секционированное расположение, рис.11*,г).* При цилиндрической намотке потокосцепление между обмотками лучше, а поток рассеяния меньше. В последнее время (особенно в зарубеж­ных изделиях) широко применяются секциониро­ванные катушки, более оптимальные для автоматизированного производства компонентов и обеспечивающие снижение выхода катушек из строя из-за продавливания изоляции проводов первичной обмотки при намотке вторичной про­водом большого диаметра. Сравнительно редко применяется бескаркасная намотка на гильзы (рис.11*,д,е),* в которой витки закрепляются специальной укладкой межслоевой изоляции; по­добные обмотки более трудоемки и не имеют особых преимуществ перед каркасными обмот­ками. В ряде случаев может быть изготовлен сборный каркас из шести элементов (рис.12 *а-д),* вырезаемых из гетинакса, текс­толита или стеклотекстолита. Δ-толщина электроизоляционного материала, из которого изготовляются детали каркаса.

Ниже приводятся краткие технические харак­теристики основных *электроизоляционных ма­териалов,* используемых при изготовлении элект­ромагнитных компонентов: межслоевой и меж­обмоточной изоляции, каркасов, изоляции вы­водов обмоток, герметизирующих и заливочных материалов. Электроизоляционные материалы должны сохранять свои характеристики в тече­ние всего срока работоспособности изделия. Сле­дует учитывать, что с течением времени свойства многих электроизоляционных материалов ухуд­шаются: они становятся ломкими, снижается их пробивное напряжение и пр. Этот процесс на­зывается старением, с повышением рабочей тем­пературы он ускоряется.

В соответствии с ГОСТ 8865–70 электроизо­ляционные материалы для электрических машин, трансформаторов и аппаратов по нагревостой­кости подразделяются на семь классов, обозна­чаемых латинскими буквами:

Y– до 90°С ­ волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и натурального шелка, не пропитанные специаль­ными электроизоляционными веществами;

А – до 105°С – те же материалы, пропи­танные;

Е – до 120°С – синтетические материалы, пленки, волокна;

В – до 1З0°С – материалы на основе слюды, асбеста, стекловолокна с органическими связующими и про­питывающими составами;

F– до 155°С те же материалы с синтетическими связующимии пропитывающими составами;

Н– до 180°С – те же материалы с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами;

С– свыше 180°С – слюда, кера­мические материалы, фарфор, стекло, кварц, применяемые без связующих составов или с неорганическими и элементоорганическими составами.

**Бумага конденсаторная КОН–1 и КОН–2** выпускается толщиной от 4 до 30 мкм и имеет пробивное напряжение 300…600 В. Бумага элек­троизоляционная трансформаторная выпускает­ся в соответствии с ГОСТ 24874 – 81.

**Электрокартон электроизоляционный марки ЭВ и ЭВТ** (ГОСТ 2824–75) выпускается рулонный толщиной 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5 мм и листовой толщиной 1; 1,25; 1;75; 2; 2,5; 3 мм (последний только марки ЭВ). Электри­ческая прочность рулонного электрокартона в плоском состоянии 10…13 кВ/мм, по линиям перегиба снижается до 8...10 кВ/мм.

**Лакоткань электроизоляционная** (ГОСТ 2214–78) по нагревостойкости соответствует клас­су А (до + 105°С). Применяются марки ЛХМ (толщиной 0,15; 0,17; 0,2; 0,24; 0,3 мм), ЛХБ (0,17; 0,2; 0,24 мм), ЛШМ (0,08; 0,1; 0,12; 0,15 мм), ЛШМС (0,04; 0,05; 0,06; 0,1 мм), ЛКМ (0,1; 0,12; 0,15 мм), ЛКМС (0,1; 0,12; 0,15 мм). Буквы в марках означают: Л– лакоткань, Х–хлопчато­бумажная, Ш–шелковая, К– капроновая, М – на основе масляного лака, Б – на основе битумно­масляного лака, С – специальная с повышенными диэлектрическими свойствами. Пробивное на­пряжение лакоткани до перегиба: толщиной 0,04 мм – 400 В, 0,05 мм-1200 В, от 0,06 до 0,24 мм – 3... 9,2 кВ. После перегиба лакоткани толщиной свыше 0,08 мм пробивное напряжение снижается в 1,5…2 раза. Гарантийный срок хране­ния лакоткани 6 месяцев, после этого срока применение лакоткани разрешается только после проведения испытаний на соответствие требова­ниям стандарта.

**Стеклолакоткань электроизоляционная** (ГОСТ 10156 – 78) соответствует классам А, Е, В, F, Н (до + 180°С). Находят применение марки: ЛСМ–I05/l20 (толщиной 0,15; 0,17; 0,2; 0,24 мм), ЛСЛ–I05/l20 (0,15; 0,17; 0,2 мм), ЛСЭ–I05/130 (0,12; 0,15; 0,17; 0,2; 0,24 мм), ЛСБ–I05/130 (0,12; 0,15; 0,17; 0,2; 0,24 мм), ЛСП–IЗ0/155 (0,08; 0,1; 0,12; 0,15; 0,17 мм), ЛСК–155/180 (0,05; 0,06; 0,08; 0,1; 0,12; 0,15; 0,17; 0,2 мм), ЛСКЛ–155 (0,12 и 0,15 мм). Буквы и цифры в марках означают: С – стеклянная, Э – на основе эскапонового лака, П – на основе полиэфирно – эпоксидиого лака, К­ – на основе кремнийорганического лака, Л – липкая, остальные – как описано выше. Среднее пробивное напряжение стеклолакоткани до перегиба составляет: толщиной 0,05 мм – l,5 кВ, 0,06 мм­ – 2,8 кВ, 0,08 мм – 3,6 кВ, от 0,1 до 0,24 мм­ – 4,8...10,8 кВ. После перегиба или растяжения стеклолакоткани толщиной свыше 0,08 мм про­бивное напряжение снижается в 1,5…2 раза. Га­рантийный срок хранения 6 месяцев, по истече­нии срока применение стеклолакоткани возмож­но только после того, как испытанием будет установлено соответствие ее параметров требо­ваниям стандарта.

**ЧЕРТЕЖИ ИЗДЕЛИЙ С ОБМОТКАМИ И МАГНИТОПРОВОДАМИ.**

Чертежи изделий с электрически­ми обмотками и магнитопроводами (электрические машины, трансфор­маторы, приборы, аппараты) выпол­няют в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Особенности выполнения чертежей таких изделий отражены в ГОСТ 2.415 – 68 и ГОСТ 2.416 – 68. Чертеж изделия с обмотками, как правило, является сборочным черте­жом и в общем случае должен содер­жать:

– изображение изделия, дающее представление о составе, расположе­нии и взаимодействии его составных частей;

* схему соединений обмоток;
* таблицу обмоточных данных;
* габа­ритные, присоединительные и испол­нительные размеры;
* номера позиций составных частей;
* технические требо­вания к изготовлению и контролю изделия.

Основным конструкторским документом чертежа с обмотками и магнитопроводами является специ­фикация, выполненная в соответст­вии с требованиями ГОСТ 2.108 – 68.

При изображении изделий типа роторов, статоров и индукторов элек­трических машин в продольном раз­резе, как правило, показывают верх­нюю половину предмета. Нижняя половина показывается упрощенно без разреза (рис.13). ГОСТ 2.415 – 68 устанавливает правила изображения различных видов обмоток ротора и статора в продольном и поперечном разрезах. В попереч­ном разрезе многовитковую обмотку заштриховывают «в клетку» (рис. 14), при этом направление штри­ховки должно быть параллельно оси паза (для статоров и роторов) или оси каркаса катушки (для трансфор­маторов и дросселей).

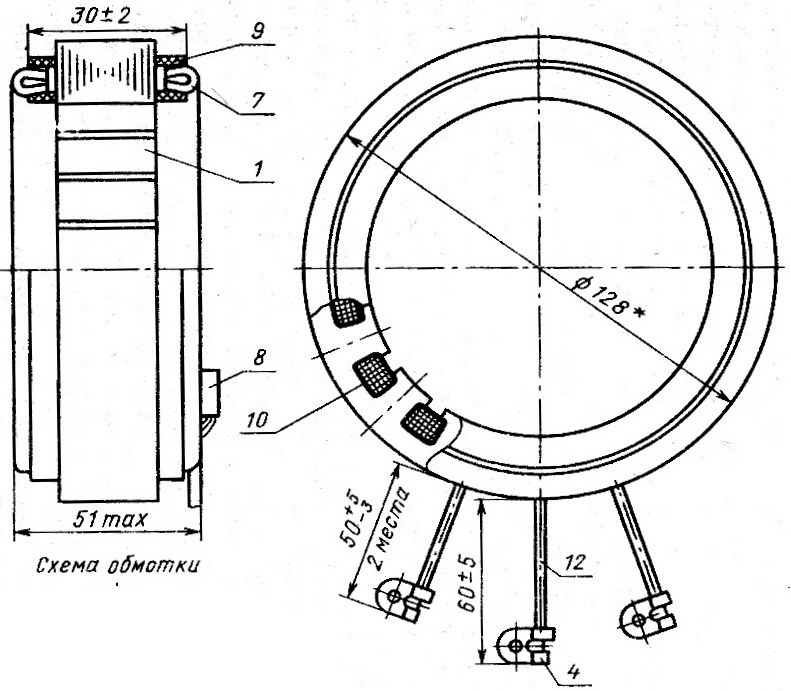


Рис. 13. Сборочный чертеж статора.

При разрезе катушки вдоль проводов обмотки ее изображают, как показано на рис.17.

Изоляцию однослойную и много­слойную в разрезах и сечениях за­штриховывают как неметаллический материал (рис. 16), при толщине менее 2 мм зачерняют (рис.13). Магнитопроводы в поперечных раз­резах штрихуют в направлении рас­положения листов или лент (рис. 17).

Бандаж, закрепляю­щий обмотку, изображают так, как показано на рис.17. Часть материа­лов, используемых при изготовлении изделия с обмотками, может быть не показана непосредственно на изобра­жении изделия, например изоляция, бандаж и др. Сведения об этих мате­ риалах должны быть записаны в со­ответствующих разделах специфика­ции, а применение должно быть отра­жено в таблице обмоточных данных и технических требованиях чертежа. В технических требованиях или в таб­лице обмоточных данных помещают также указания о количестве слоев и витков обмотки, изоляции и бандажа и данные об их расположении.

Форма таблицы обмоточных дан­ных установлена ГОСТ 2.415-68 и содержит данные о материале про­вода, количестве витков, изоляции, типе и порядке намотки и др. Раз­меры граф и их содержание опреде­ляются разработчиком и ГОСТом не регламентируются. Дополнительные данные о технологии изготовления изделия записываются в технических требованиях чертежа. Намотка обмо­ток должна производиться согласно требованиям ОСТ4.ГО.О54.069, уста­навливающим правила выполнения различных типов намотки. Поэтому одним из пунктов этих требований должна быть ссылка на ОСТ. В таб­лице обмоточных данных и в техни­ческих требованиях могут содер­жаться ссылки на номера позиций спецификации, не вынесенные на изображении изделия (рис.17, 18) .

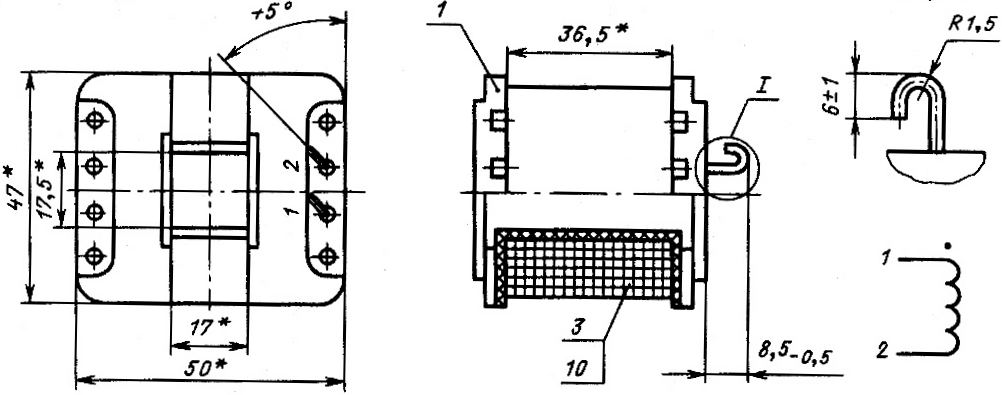


Рис. 14. Сборочный чертеж катушки.

Как правило, на сборочном чер­теже изделия с обмотками помещают схему обмотки (см. рис.13, 14 ). Начало и конец обмотки обо­значают точкой или буквами Н и К соответственно.

На рис.13 приведен пример оформления сборочного чертежа ста­тора электрической машины. На фронтальном разрезе изображена только верхняя половина статора, нижняя показана упрощенно. Разрез выполнен по пазу. В поперечном раз­резе обмотка заштрихована «в клет­ку», причем направление штриховки совпадает с направлением оси соот­ветствующего паза. На чертеже со­держатся сведения о всех составных частях изделия. Связь чертежа со спецификацией осуществляется че­рез позиционные обозначения. Схема соединений обмотки выполнена на свободном поле чертежа cогласно требованиям ГОСТ 2.705-70. Начало и конец обмотки обозначены буквами *Н* и *К.* На чертеже нанесены габарит­ные и исполнительные размеры. В технических требованиях приве­дены сведения о порядке намотки, припое, пропитке.

На рис.14 приведен пример оформления сборочного чертежа ка­тушки дросселя. Каркас катушки (поз.1) представляет собой сбороч­ную единицу. Обмотка дросселя (поз.3) в поперечном разрезе за­штрихована «в клетку». На изобра­жение изделия нанесены габаритные и присоединительные размеры (отме­чены \*), а также исполнительные, относящиеся к выводу обмотки. При­ведена схема обмотки, на которой на­чало обмотки обозначено точкой. Данные обмотки приведены в табли­це на поле чертежа. Позиции специ­фикации, относящиеся к материалам провода и изоляции обмотки, ука­заны в таблице обмоточных данных и технических требованиях чертежа.

На рис.17 приведен пример оформления чертежа многообмоточ­ного кольцевого трансформатора. На фронтальном разрезе, выполненном по общим правилам, установленным ГОСТ 2.305-68, обмотка разрезана вдоль проводов и заштрихована в соответствии с требованиями ГОСТ2.415 – 68. На свободном поле чертежа приведена схема соединений обмоток.

На рис.15, 16 приведены примеры оформления сборочных чертежей катушки и трансформатора в соответствии с правилами и требованиями ГОСТа.