**Содержание**

Задание

Введение

1. Методика расчета трансформатора

1.1 Выбор магнитопровода

1.2 Определение числа витков в обмотках

1.3 Определение потерь в стали и намагничивающего тока

1.4 Электрический и конструктивный расчет обмоток

1.5 Определение падения напряжения и КПД трансформатора

Список литературы

Чертеж рассчитанного трансформатора

**ЗАДАНИЕ**

1. Рассчитать маломощный трансформатор с воздушным охлаждением

2. Выполнить чертеж рассчитанного трансформатора на 1-2 листах 584841 (формат бумаги А1).

Исходные данные:

S2=200 ВА

S3=50 ВА

U2=315 В

U3=16 В

cosφ2=0,7

cosφ3=0,9

U1=380 В

f=400 Гц

Расчетное условие – минимум стоимости

Температура окружающей среды Ө = 50°С

Расчетное ограничение: максимальная температура

95°С ≤ Өмакс ≤ 105°С

**ВВЕДЕНИЕ**

Основными элементами конструкций трансформаторов являются магнитопровод и катушки с обмотками.

В зависимости от технологии изготовления магнитопроводы трансформаторов небольшой мощности делятся на пластинчатые (при толщине листа не менее 0,15 мм) и ленточные.

По конструктивному выполнению пластинчатые и ленточные магнитопроводы делятся на три основных типа: стержневые, броневые и кольцевые.

Стержневые пластинчатые магнитопроводы обычно собираются из прямоугольных пластин одинаковой ширины, одинаковых П–образных пластин или из П–образных пластин и прямоугольных перекрышек.

Броневые пластинчатые магнитопроводы собираются из Ш–образных пластин и прямоугольных перекрышек или из одинаковых Ш–образных пластин с разъемом по середине стержня, а так же из сплошных пластин с просечкой среднего стержня.

Для уменьшения магнитного сопротивления в местах стыка отдельных пластин их собирают впереплет, то есть в одном слое перекрышка находится внизу, а в соседних вверху.

Кольцевые пластинчатые магнитопроводы собираются из отдельных пластинчатых колец. Стержневые и броневые ленточные магнитопроводы собираются встык из отдельных сердечников подковообразной формы с поперечным или продольным разрезом.

Для получения возможно меньшего магнитного сопротивления в местах стыка разрезных ленточных сердечников их торцевые поверхности подвергаются шлифовке.

Кольцевые ленточные магнитопроводы изготавливаются путем навивки ленты требуемой ширины на оправу данного диаметра; они обладают минимальным магнитным сопротивлением, но усложняют изготовление (намотку обмотки) трансформатора.

Для уменьшения магнитного сопротивления разрезных ленточных магнитопроводов обе его части при сборке трансформатора склеиваются при помощи специальной ферромагнитной пасты, содержащей карбонильное железо. Иногда склеивают и собираемые встык пластинчатые магнитопроводы. Особенно эффективно использование пасты для магнитопроводов малых размеров, у которых сопротивление воздушного зазора представляет значительную часть их общего сопротивления. Однако для уменьшения тока холостого хода необходимо чтобы состав пасты был однородным, а склеивающий слой был возможно тоньше.

Катушки трансформаторов представляют собой совокупность обмоток и системы изоляции обеспечивающие нормальную работу в заданных условиях окружающей среды. Обмотки изготавливаются из изолированных проводов; кроме того предусматривается изоляция катушек от магнитопровода, междуслоевая изоляция, междуобмоточная изоляция, внешняя (наружная) изоляция катушек.

Изоляция обмотки от стержневых и броневых магнитопроводов осуществляется при помощи каркасов, изготовляемых из негигроскопичного материала, обладающего требуемой электрической и механической прочностью. Простейший и наиболее распространенный тип каркаса представляет собой гильзу, изготовляемую из электротехнического картона (электрокартона). Часто применяются склеенные из электрокартона каркасы. При массовом производстве трансформаторов используются сборные каркасы, изготовляемые из твердых изоляционных материалов (гетинакса или текстолита) или прессованные из пластмассы каркасы.

Кроме магнитопровода и обмоток в конструкцию трансформатора малой мощности входят детали для сборки отдельных частей сердечника, крепления собранного трансформатора, клеммы для присоединения концов обмоток, охлаждения магнитопровода и катушек, защиты от механических повреждений и влагозащиты.

1. **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРАНСФОРМАТОРА**

**1.1 Выбор магнитопровода**

1.1.1 Определяем расчетную мощность трансформатора. Так как (S2+S3)>100 ВА, расчетную мощность определяем по формуле:

Sр=S2+S3,(1)

Sр=200+50=250 ВА

Величину КПД при расчетной мощности трансформатора Sр=250 ВА, и частоте f=400Гц, выбираем 0,940,96

1.1.2 Выбираем конструкцию магнитопровода по величине расчетной мощности, частоте и максимальному напряжению. Для данной расчетной мощности выбираем стержневой трансформатор с двумя катушками и ленточными разъемными сердечниками, поскольку он имеет большую поверхность охлаждения по сравнению с броневыми и меньшую среднюю длину витка.

Рассчитав значение RQр=0,781,17; п.1.6, выбираем стержневой ленточный магнитопровод серии ПЛМ.

1.1.3 Выбираем материал сердечника

При расчетном условии на минимум стоимости, и при данных частоте и мощности выбираем ленточную сталь марки Э340, толщиной 0,15 мм.

1.1.4 По найденной величине Sр для данной конструкции магнитопровода находим ориентировочные значения:

максимальной магнитной индукции - Вмакс=1Т;

плотности тока - jср=3,3 А/мм ²;

коэффициента заполнения окна - Rок=0,22;

коэффициента заполнения магнитопровода - Rст=0,9;

1.1.5 Определяем произведение сечения сердечника на площадь окна

(QстQок)=Sр10²/2,22fВвыбрjсрRокRст;(2)

(QстQок)=25010²/2,2240013,30,220,9=43,1 см4

гдеSр – расчетная мощность трансформатора, ВА;

f - частота Гц;

Ввыбр – магнитная индукция Т;

Jср – плотность тока А/мм;

Rок – коэффициент заполнения окна медью;

Rст – коэффициент заполнения магнитопровода;

1.6 Определяем отношение сечения сердечника к площади окна

RQр=Qст/Qок=2,22RокС12α ,(3)

где α=46 ; - отношение массы стали к массе меди;

С1=0,6–для стержневых двухкатушечных трансформаторов;

Найдем пределы изменения величины RQр=RQр minRQр max

RQрmin=2,220,220,624/0,9=0,78

RQрmax=2,220,220,626/0,9=1,17

RQр=0,781,17

1.1.7 Выбираем типоразмер магнитопровода

Зная произведение (QстQок) и предел изменения RQр,из таблицы прил.П2, выбираем стандартный магнитопровод ПЛМ2232-36, у которого значение произведения QстQок наиболее близкое к требуемому, а значение RQр лежит в требуемых пределах;

RQр min ≤ RQ треб ≤ RQр max;(4)

выбираем RQр=1,03 (0,78≤1,03≤1,17), а произведение QстQок=48,2 см4

Для выбранного сердечника выписываем:

Qст=7,04 см2;

Qок=(QстQок)/Qст=48,2/7,04=6,85 см2;

a=22 мм , b=32 мм , с=19 мм , h=36 мм ,

lст=17,9 см – длина средней магнитной линии;

Gст=0,87 кг – масса магнитопровода;

Среднюю длину витков находим по формуле:

lв ср=2(a+b+c);(5)

lв ср=2(22+32+19)=14,6 см

Зная размеры сердечника уточним значения С1 и RQр по формулам (3) и (6);

# С1=0,717**;**(6)

значение lст уточним по формуле:

lст=2(h+c+πa/2);(7)

lст=2(36+19+3,1422/2)=17,9 см

С1=0,717=0,647

RQр min=2,220,220,64724/0,9=0,908

RQр max=2,220,220,64726/0,9=1,363

Выбранное значение RQр лежит в требуемых пределах 0,908≤1,03≤1,363; то есть выполняется условие (4).

**1.2 Определение числа витков обмоток**

1.2.1 Определение падения напряжения.

Для трехобмоточных трансформаторов активные и индуктивные сопротивления вторичных обмоток растут по мере их удаления от первичной обмотки. Поэтому при расчете рекомендуется принимать значение ΔU2 или ΔU3 для обмотки, расположенной непосредственно на стержне или на первичной обмотке на 10-20% меньше, а для наружной обмотки на 10-20% больше указанных для ΔU2.

С учетом этих условий, по величине расчетной мощности и частоте для выбранной конфигурации магнитопровода выбираем значения относительных величин падения напряжения в первичной и вторичных обмотках трансформатора:

ΔU1=1%; ΔU2=1,1%; ΔU3=1,5%;

Значения ЭДС находим по формулам:

Е1=U1(1-ΔU110-2);(8)

Е2=U2(1+ΔU210-2);

Е3=U3(1+ΔU310-2);

Е1=380(1-110-2)=376 В

Е2=315(1+1,110-2)=318 В

Е3=16(1+1,510-2)=16,3 В

Для оценки порядка расположения обмоток предварительно определяем их токи:

I1’=Sр/U1=250/380=0,66 А

I2’=S2/U2=200/315=0,64 А(9)

I3’=S3/U3=50/16=3,13 А

1.2.2 Электродвижущая сила на виток

Ев=4,44fВвыбрQствыбрRст10-4;(10)

Ев=4,4440017,040,910-4=1,13 В

1.2.3 Число витков обмоток

w1’=Е1/Ев=376/1,13=332,7

w2’=Е2/Ев=318/1,13=281,4(11)

w3’=Е3/Ев=16,3/1,13=14,4

Так как число витков обмотки низшего напряжения w3’ получилось дробным, округляем его до целого числа w3’=14 и производим перерасчет чисел витков других обмоток и магнитной индукции по формулам:

w1=w1’w3/w3’=332,714/14,4=324(12)

w2=w2’w3/w3’=281,414/14,4=274

Вс=Ввыбрw3’/w3=114,4/4=1,03 Т

**1.3 Определение потерь в стали и намагничивающего тока**

1.3.1 Определяем потери в стали

Для данного сердечника из стали Э340 потери в стали определяются по формуле:

Рст=рудGст ;(13)

Рст=140,87 = 12,2 Вт

где Gст=0,87 кг – масса стали;

руд=14Вт/кг–удельные потери, величина которых в сердечнике зависит от магнитной индукции, марки стали, толщины листа, частоты сети и типа сердечника.

1.3.2 Активная составляющая намагничивающего тока

Iоа=Рст/Е1;(14)

Iоа=12,2/376=0,032 А

1.3.3 Реактивная составляющая намагничивающего тока для стержневых транформаторов определяется по формуле:

Iор=(Нсlст+0,8Всnδэ104)/w1;(15)

Iор=(2,117,90,81,0320,0015104/324=0,136 А

где Нс=2,1 А/м – напряженность поля в стали, определяе-мая для индукции Ввыбр по кривой намагничивания;

n – число зазоров (стыков) на пути силовой линии; для стержневых трансформаторов рекомендуется выбирать конструкцию сердечника с числом стыков n = 2;

δэ – величина эквивалентного воздушного зазора в стыках сердечника трансформатора; для ленточных разрезных сердечников δэ=0,00150,003 см; принимаем δэ=0,0015 см;

1.3.4 Ток первичной обмотки при номинальной нагрузке

I1=(16)

I1==0,77 А

где

I1a=Ioa+I’2a+I’3a=0,032+0,37+0,12=0,52 А(17)

I1p=Iop+I’2p+I’3p=0,136+0,38+0,058=0,57 А(18)

I’2a=S2cosφ2w2/w1U2=2000,7274/315324=0,37(19)

I’3a=S3cosφ3w3/w1U3=500,914/16324=0,12(20)

I’2p=S2sinφ2w2/w1U2=2000,71274/315324=0,38(21)

I’3p=S3sinφ3w3/w1U3=500,4314/16324=0,058(22)

I’2a, I’3a, I’2p и I’3p – приведенные значения активной и реактивной составляющих токов вторичных обмоток.

1.3.5 Ток холостого хода

I10===0,14 А(23)

1.3.6 Относительное значение тока холостого хода

I10/I1=0,14/0,77=0,18 о.е.(24)

1.3.7 Оценка результатов выбора магнитной индукции

Так как величина относительного тока холостого хода при частоте 400Гц лежит в пределах 0,10,2 выбор магнитопровода на этой стадии расчета считаем оконченным.

1.3.8 Коэффициент мощности.

Cosφ1=I1a/I1=0,52/0,77=0,68(25)

**1.4 Электрический и конструктивный расчет обмоток**

1.4.1 Выбор плотностей тока в обмотках

Плотность тока во вторичных обмотках j2 и j3 расположенных над первичной, т.е. при расположении обмоток в порядке 1,2,3, для трансформатора со стержневым магнитопроводом берется на 15% меньше чем в первичной.

Зная среднее значение плотности тока, найдем предварительные значения плотностей тока всех обмоток.

j1=1,08jср=1,083,3=3,6 А/мм2

j2=j3=0,92jср=0,923,3=3,04 А/мм2

1.4.2 Ориентировочные значения сечения проводов

q1=I1/j1=0,77/3,6=0,21 мм2

q2=I2/j2=0,64/3,04=0,21 мм2

q3=I3/j3=3,13/3,04=1,03 мм2

1.4.3 По таблице прил.П1 выбираем стандартные сечения и диаметры проводов и выписываем необходимые справочные данные qпр, dпр, dизпр, gпр, и заносим их в таблицу 1.

Выбор марки провода определяется величиной рабочего напряжения обмотки и предельно допустимой температурой провода. Так как напряжения в обмотках до 500В и токи до нескольких ампер применяем провод марки ПЭВ-1.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| номеробмотки | Марка провода | qпр (мм2) | dпр(мм) | dизпр (мм) | gпр (ом/м) |
| Ⅰ | ПЭВ-1 | 0,2043 | 0,51 | 0,56 | 0,084 |
| Ⅱ | ПЭВ-1 | 0,2043 | 0,51 | 0,56 | 0,084 |
| Ⅲ | ПЭВ-1 | 1,0568 | 1,16 | 1,24 | 0,0163 |

Проверяем заполнение окна сердечника проводом

Rок=(q1w1+q2w2+q3w3)/hc;(26)

Rок=(0,2043324+0,2043274+1,056814)/3619=0,2

Rок отличается от принятого менее чем на 10%;

Находим фактические плотности тока в проводах по формуле:

jфакт=I/qпр;(27)

jфакт1=I1/qпр1=0,77/0,2043=3,77 А/мм2

jфакт2=I2/qпр2=0,64/0,2043=3,13 А/мм2

jфакт3=I3/qпр3=3,13/1,0568=3 А/мм2

1.4.4 Вычисляем амплитудные значения рабочих напряжений

Uр макс=Uр;(28)

Uр макс1=Uр1=380=537,4 В(ампл.)

Uр макс2=Uр2=315=445,5 В(ампл.)

Uр макс3=Uр3=16=22,6 В(ампл.)

Определяем испытательные напряжения обмоток;

Uисп1=1,8 кВ(ампл), Uисп2=1,6 кВ(ампл), Uисп3=0,5 кВ(ампл)

1.4.5 Определяем изоляционные расстояния

Для обеспечения надежной работы обмоток необходимо выбирать изоляционные расстояния так, чтобы во время работы в нормальных условиях и при испытании повышенным напряжением катушка трансформатора не повреждалась.

В нашем случае производим намотку обмоток на каркас толщиной 1,5 мм.

Для изоляции поверх каркаса применяем два слоя пропиточной бумаги ЭИП-3Б (толщиной 0,11 мм), т.е.

hиз ос=1,5+0,112=1,72 мм

Допустимую осевую длину обмотки находим по формуле:

hд=h1-2hиз1,(29)

где hиз1–толщина щечки каркаса выбираем равную 1,5 мм

h1–длина каркаса, h1=h-1=36-1=35 мм

hиз1–берем равную 1,5 мм, hиз2=2 мм, hиз3=2,5 мм,

hд1=35-21,5=32 мм

hд2=35-22=31 мм

hд3=35-22,5=30 мм

Толщина междуслоевой изоляции зависит от диаметра провода и величины рабочего напряжения обмотки.

Для междуслоевой изоляции первой и второй обмоток выбираем один слой пропиточной бумаги ЭИП-50(толщиной 0,09 мм).

hиз мс(1,2)=0,09 мм

Толщина междуобмоточной изоляции определяется в зависимости от величины испытательного напряжения обмотки с наибольшим напряжением.

Для междуобмоточной изоляции применяем кабельную бумагу К-12 толщиной 0,12 мм;

h'из мо=40,12=0,48 мм

h”из мо=30,12=0,36 мм

Количество слоев наружной изоляции выбирается в соответствии с рабочим напряжением последней обмотки.

При Uр<500 В, наружную изоляцию выполняют из двух слоев пропиточной бумаги ЭИП-63Б толщиной 0,11 мм и одного слоя батистовой ленты толщиной 0,16 мм.

hиз н=20,11+0,16=0,38 мм

1.4.6 Число витков в одном слое каждой обмотки находим по формуле:

wc=hl|Reidbp gh$(30)

где Rуi – коэффициент укладки провода в осевом направлении:

Rу1=1,047; Rу2=1,047; Rу3=1,052;

wc1=32/1,0470,56=54

wc2=31/1,0470,56=52

wc3=30/1,0521,24=22

1.4.7 Число слоев определяем из выражения:

Nсл=w/wс;(31)

Для стержневых двухкатушечных трансформаторов под величиной w понимаем половинное число витков обмотки.

Nсл1=w1/2wс1=324/254=3

Nсл2=w2/2wс2=274/252=3

Nсл3=w3/2wс3=14/222=1

1.4.8 Радиальный размер каждой обмотки вычисляем по формуле:

αi=Rу2Nслdиз пр+Rмс(Nсл-1)hиз мс,(32)

Rу2 – коэффициент укладки провода в радиальном направлении,

Rу2(1)=1,06; Rу2(2)=1,06; Rу2(3)=1,055;

Rмс – коэффициент неплотности междуслоевой изоляции

Rмс(1,2)=1,068

α1,2=1,060,563+1,068(3-1)0,09=1,97 мм

α3=1,05511,24=1,3 мм

1.4.9 Определяем полный радиальный размер катушки

αк=з+(hиз ос+α1+Rмоh’из мо+α2+Rмоh”из мо+α3+Rноhиз н)Rв,(33)

αк=0,5(1,72+1,97+0,361,21+1,97+0,481,21+1,3+0,38

1,8)1=9,16 мм

з – зазор между каркасом и сердечником, равный 0,5 мм;

Rмо – коэффициент неплотности междуобмоточной изоляции

Rмо=1,21;

Rв – коэффициент выпучивания (при выполнении обмотки на каркасе принимается равным Rв=1);

Rно – коэффициент неплотности намотки наружной изоляции, (1,7-2) принимаем равным Rно=1,8;

1.4.10 Определяем зазор между катушкой и сердечником

Величина этого зазора для стержневых трансформаторов определяется по формуле с-2aкат и должна лежать в пределах от 0,5 до 1 мм.

19-29,16=0,68 мм,

полученное значение удовлетворяет условию 0,5<0,68<1

1.4.11 Находим среднюю длину витка обмоток.

lср вi=(2(aк+bк)+2πri)10-3,(34)

где aк и bк – наружные размеры каркаса, мм;

aк=a+2з+2hиз осRв=22+20,5+21,721=26,4 мм(35)

bк=b+2з+2hиз осRв=32+20,5+21,721=36,4 мм(36)

з – зазор между каркасом и сердечником, мм;

значения r1,r2,r3 – определяем по формулам:

r1=α1Rв/2=1,971/2=0,98 мм(37)

r2=(α1+h’из моRмо+α2/2)Rв=(1,97+0,481,21+0,97/2)1=

=3,04 мм(38)

r3=(α1+h’из моRмо+α2+h”из моRмо+α3/2)Rв=(1,97+1,210,48+

1,97+1,210,36+1,3/2)1=5,6 мм(39)

lср в1=(2(aк+bк)+2πr1)10-3=(2(26,4+36,4)+23,140,98) 10-3=0,132 м

lср в2=(2(aк+bк)+2πr2)10-3=(2(26,4+36,4)+23,143,04) 10-3=0,145 м

lср в3=(2(aк+bк)+2πr3)10-3=(2(26,4+36,4)+23,145,6) 10-3=0,161 м

1.4.12 Массу меди каждой обмотки находим из выражения:

Gм=lср вwgпр10-3;(40)

где gпр – масса 1м провода,г (из прил.1)

Gм1=0,1323241,8210-3=0,077 кг

Gм2=0,1452741,8210-3=0,072 кг

Gм3=0,161149,410-3=0,021 кг

Общую массу провода катушки находим суммированием масс отдельных обмоток.

Gм=Gм1+Gм2+Gм3=0,077+0,072+0,021=0,17 кг(41)

Проверяем значение α:

α=Gст/Gм=0,87/0,17=5,1

полученное значение α лежит в рекомендованных пределах 4 ≤ 5,1 ≤ 6;

1.4.13 Находим потери в каждой обмотке

Рмi=mj2iфактGмi;(42)

Рм1=mj21фактGм1=2,563,7720,077=2,8

Рм2=mj22фактGм2=2,563,130,072=1,8

Рм3=mj23фактGм3=2,56320,021=0,48

где m=2,56 – коэффициент, зависящий от температуры нагрева провода;

Потери в катушках равны сумме потерь в отдельных обмотках:

Рм=Рм1+Рм2+Рм3=2,8+1,8+0,48=5,08(43)

Проверяем значение β:

β=Рм/Рст=5,08/12,2=0,42

Полученное значение β лежит в рекомендованных пределах.

1.4.14 Тепловой расчет трансформатора

Тепловой расчет трансформатора производится по методу электротепловых аналогий. В этом методе используется аналогия между процессами переноса тепла и электричества. При этом распределенные тепловые параметры трансформатора моделируются сосредоточенными электрическими параметрами, распределенные источники тепла – сосредоточенными источниками электрических потерь и распределенные тепловые сопротивления – сосредоточенными активными сопротивлениями. Затем составляется электрическая схема, моделирующая процессы теплоотдачи в трансформаторе.

1.4.15 Определяем для выбранного магнитопровода тепловые сопротивления элементов схемы замещения Rк,Rм,Rм,Rс;

Rм – тепловое сопротивление катушки, °С/Вт;

Rм=0,01(aк+bк+2παкат)2 /4Vкэк;(44)

Rм=0,01(2,64+3,64+23,140,96)2 /41141,5610-3=2 °С/Вт

Vк=2сh(a+b+πc/2)=21,93,6(2,2+3,2+3,141,9/2)=114 см3

эк≈1,5610-3, Вт/(см°С) - среднее значение эквивалентной теплопроводности пропитанной катушки;

Rм-тепловое сопротивление границы катушка-среда, °С/Вт;

Rм=1/αкSохлк;(45)

Rм=1/1,410-3138=5,1 °С/Вт

αк≈1,410-3, Вт/(см2°С)

- коэффициент теплоотдачи с поверхности катушки;

Sохл к – открытая поверхность охлаждения катушки;

Sохл к=2(a+b)(c+h)+πc(2h+c)=2(22,2+3,2)(1,9+3,6)+3,14

1,9(23,6+1,9)=138 см2

Rс - тепловое сопротивление границы сердечник - среда,°С/Вт

Rс= RстRсб/Rст+Rсб;(46)

Rс= 13,79,7/(13,7+9,7)=5,6 °С/Вт

Rст = 1/αстSохл ст=1/1,510-348=13,7 °С/Вт

Rс б= 1/αсбSохл б=1/1,710-360=9,7 °С/Вт

αст≈1,510-3 Вт/(см2°С), αсб≈1,710-3 Вт/(см2°С);

Sохл ст=4a(c+пa/2)=42,2(1,9+3,142,2/2)=48 см2

Sохл б=2b(c+пa)=23,2(1,9+3,142,2)=60 см2

Rст- тепловое сопротивление торцевой поверхности сердечника;

Rсб- тепловое сопротивление боковой поверхности сердечника;

αст- коэффициент теплоотдачи с торца сердечника;

αсб- коэффициент теплоотдачи с боковой поверхности сердечника;

Sохл ст- открытая торцевая поверхность сердечника;

Sохл б- открытая боковая поверхность сердечника;

Rк – тепловое сопротивление каркаса, °С/Вт;

Rк=к/кSк;(47)

Rк=0,15/1,5610-377,8 = 1,2 °С/Вт;

к=1,5610-3, Вт/(см°С) - теплопроводность каркаса;

Sк=4h(a+b)=43,6(2,2+3,2)=77,8 см2

Sк- поверхность каркаса;

к=0,15 см – толщина каркаса;

1.4.16 Определяем величину теплового потока между катуш-кой и сердечником.

P’м=((Rм+Rм+Rс+Rк)Pм-RсPст)/2(Rм+Rм+Rс+Rк);(48)

P’м=((2+5,1+5,6+1,2)5,08-5,612,2)/2(2+5,6+5,6+1,2) = 0,08 Вт

1.4.17 Определяем тепловое сопротивление катушки от мак-симально нагретой области до каркаса по формуле:

x=(-P’м(Rм+Rм+Rс+Rк)-RсPст+Pм(Rм+Rм))/Pм;(49)

x=(-0,08(2+5,1+1,2+5,6)-12,25,6+5,08(2+5,1))/5,08=-6,6°С/Вт;

1.4.18 Определяем максимальное превышение температуры катушки и среднее превышение температуры обмотки.

Так как полученное значение x оказалось меньше нуля, т.е. тепловой поток направлен от сердечника к катушке и максимально нагретая область находится на каркасе, необходимо определить тепловой поток катушка-сердечник по формуле:

P”м=(Pм(Rм+Rм)-RсPст)/(Rм+Rм+Rс+Rк),(50)

P”м=(5,08(2+5,1)-12,25,6)/(2+5,1+5,6+1,2)=-2,4 Вт

т.к. P”м меньше нуля, доля теплового потока, возникаю-щего в сердечнике, которая будет излучаться в окружаю-щую среду через катушку, может быть определена по формуле:

P’ст=(RсPст-Pм(Rм+Rм))/(Rм+Rм+Rс+Rк),(51)

P’ст=(12,25,6-5,08(2+5,1))/(2+5,1+5,6+1,2)=2,4 Вт

Максимальное превышение температуры катушки в этом слу-чае определяется по формуле:

Өмакс=(Pст-P’ст)Rс=(12,2-2,4)5,6=54,8 °С(52)

Определяем среднее превышение температуры катушки.

Өср=Өмакс-0,5Өк=54,8-0,515=47,3 °С(53)

Өк=(Pм-P”м)Rм=(5,08+2,4)2=15 °С(54)

* + 1. Оценка результатов расчета перегрева.

Определяем приближенное значение Өмакс по формуле:

Өмакс=(Pм+Pст)/α(Sобм+Sсерд)+Ө,(55)

Өмакс=(5,08+12,2)/1310-4(138+108)+5=59 °С

Sсерд=Sохл ст+Sохл б=48+60=108 см2

Sобм=Sохл к=138 см2

где Ө - перепад температуры от внутренних слоев обмоток к наружным, приближенно принимаем 5-10°С;

Sсерд – открытая поверхность сердечника трансформатора,

Sобм - открытая поверхность обмоток трансформатора,

α=1310-4 Вт/(см2 град) - удельный коэффициент теплоотдачи.

1.4.20 Максимальная температура обмотки равна:

Өмакс=Өмакс+Ө0=54,8+50=104,8 °С(56)

где Ө0=50 °С – температура окружающей среды;

Полученное значение Өмакс лежит в заданных пределах 95°С ≤ 104,8 ≤ 105°С

1.4.21 Проверка результатов расчета и их корректировка

Определяем отношение массы стали к массе меди, потерь в меди к потерям в стали:

α=Gст/Gм=0,87/0,17=5,1

β=Рм/Рст=5,08/12,2=0,42

трансформатор магнитопровод конструктивный электрический

Значения Өмакс, α и β укладываются в заданные пределы.

**1.5 Определение падения напряжения и кпд трансформатора**

1.5.1 Активные сопротивления обмоток:

1. при температуре 105°С

r105=ρlсрвw/qпр,(57)

r105(1)=2,3510-23240,132/0,2043=4,92 Ом

r105(2)=2,3510-22740,145/0,2043=4,57 Ом

r105(3)=2,3510-2140,161/1,0568=0,05 Ом

где ρ – удельное сопротивление медного провода

(при θ=105°С ρ=2,3510-2 Оммм2/м);

б) сопротивления вторичных обмоток приведенные к первичной,

r’2=r2(w1/w2)2=4,57(324/274)2=6,39 Ом(58)

r’3=r3(w1/w3)2=0,05(324/14)2=26,8 Ом

1.5.2 Индуктивные сопротивления рассеяния обмоток (в относительных единицах).

xi\*=7,9fwiI110-6Sрi/Евhд10-3,(59)

x1\*=7,94003240,7710-60,1210-3/1,133210-3=0,2610-2

x2\*=7,94003240,7710-60,210-3/1,133210-3=0,4410-2

x3\*=7,94003240,7710-60,00310-3/1,133210-3=0,710-4

где f – частота, Гц;

w1 – число витков первичной обмотки;

I1 – номинальный ток первичной обмотки;

Ев – ЭДС витка;

hд – высота катушки, м;

Sрi – площадь канала рассеяния i-й обмотки, м2;

Найдем площадь канала рассеяния каждой обмотки.

Sр1α1lср в1/3+hиз мо12l12/21,9710-30,132/3+0,4810-3

0,139/20,1210-3 м2(60)

Sр2hиз мо12l12/2+α2lсрв2(1+I2\*+I3\*2)/3+hиз мо23l23I3\*2/2

0,4810-30,139/2+1,9710-30,145(1+0,7+0,182)/3+

0,3610-30,1530,182/20,210-3 м2(61)

Sр3hиз мо23l23I3\*2/2+α3lср в3I3\*2/30,3610-30,1530,182/2+

1,310-30,1610,182/30,00310-3 м2(62)

l12(lср в1+lср в2)/2(0,132+0,145)/20,139 м(63)

l23(lср в2+lср в3)/2(0,145+0,161)/20,153 м

I2\*=I’2/I1=0,54/0,77=0,7(64)

I3\*=I’3/I1=0,14/0,77=0,18

I’2=I2w2/w1=0,64274/324=0,54

I’3=I3w3/w1=3,1314/324=0,14

1.5.3 Падения напряжения на обмотках при номинальной нагрузке (в относительных единицах).

Uа1\*=r1I1/U1=4,920,77/380=0,01

Uа2\*=r’2I1/U1=6,390,77/380=0,013(65)

Uа3\*=r’3I1/U1=26,80,77/380=0,054

Uр1\*=x1\*=0,2610-2;

Uр2\*=x2\*=0,4410-2;(66)

Uр3\*=x3\*=0,710-4;

U1\*===0,01

U2\*===0,014(67)

U3\*===0,054

1.5.4 Полные падения напряжения на вторичных обмотках при номинальной нагрузке трансформатора (в относительных единицах).

U12\*=Uа1\*cosφ1+Uр1\*sinφ1+(Uа2\*cosφ2+Uр2\*sinφ2)I’2/I1=

0,010,68+0,00260,73+(0,0130,7+0,00440,71)0,54/

0,77=0,017(68)

U13\*=Uа1\*cosφ1+Uр1\*sinφ1+(Uа3\*cosφ3+Uр3\*sinφ3)I’3/I1=

0,010,68+0,00260,73+(0,0540,9+0,000070,44)0,14/

0,77=0,018(69)

1.5.5 Напряжения на вторичных обмотках

U2=w2U1(1-U12\*)/w1;(70)

U3=w3U1(1-U13\*)/w1;(71)

U2=274380(1-0,017)/324=315,9 В

U3=14380(1-0,018)/324=16,1 В

100/U2здн=100/315=0,3 %(72)

100/U3здн=100/16=0,6 %

Напряжения на вторичных обмотках отличаются от заданных менее чем на 2%;

1.5.6 Находим КПД трансформатора по формуле:

η=(Р2+Р3)/(Р2+Р3+Рст+Рм);(73)

η=(200+50)/(200+50+5,08+12,2)=0,94

1.5.7 Выбор проводов для выводов обмоток.

Так как обмотки трансформатора выполнены проводом диаметром более 0,2 мм2, отводы делаем самими проводами, причем для 3-й обмотки, имеющей диаметр провода более

1 мм2, отвод выполняем петлей.

Выводные концы заключаем в изоляционные трубки.

1.5.8 Задание на намотку и сводные данные трансформатора

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| НомерОбмотки | Провод | Число | Длина намотки, м | Массамеди, г | Отводы | Примечание |
| Витков | Витков в слое | Слоев |
| 1 | ПЭВ-1 | 324 | 54 | 6 | 42,77 | 77 | ПЭВ-1 |  |
| 2 | ПЭВ-1 | 274 | 52 | 6 | 39,73 | 72 | ПЭВ-1 |  |
| 3 | ПЭВ-1 | 14 | 22 | 1 | 2,25 | 21 | ПЭВ-1 |  |

1.5.9 Сводные данные расчета трансформатора:

масса стали сердечника, кгGст=0,87

удельный расход стали, кг/кВАGст/S=3,48

масса меди обмоток, кгGм=0,17

удельный расход меди, кг/кВАGм/S=0,68

(где S – cуммарная полная мощность

вторичных обмоток трансформатора)

отношение массы стали к массе медиGст/Gм=5,1

потери в стали сердечника, ВтPст=12,2

потери в меди обмоток, ВтPм=5,08

отношение потерь в меди к потерям в сталиPм/Pст=0,42

КПД при номинальной нагрузке η=0,94

максимальное превышение температуры

трансформатора над температурой

окружающей среды, °С Өмакс=54,8

намагничивающий токI0/I1=0,18

относительные изменения напряжений

при номинальной нагрузке, % U12=1,7

U13=1,8

**Список литературы**

1. Д.А. Попов, В.Н. Руднев, М.Ф. Юдов. Электрические машины. Задание на курсовую работу с методическими указаниями для студентов Ⅳ курса специальности АТС на железнодорожном транспорте.(РГОТУПС Москва-1998г.)

2. В.Н. Руднев. Электрические машины. Приложение к заданию на курсовую работу по расчету маломощного трансформатора с воздушным охлаждением для студентов Ⅳ курса специальности АТС на железнодорожном транспорте. (РГОТУПС Москва-1998г.)