МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И

ПРОФЕЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ

# РАДИОТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ

(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**Курсовой проект**

**по предмету:**

**“Электротехника”.**

**Тема:**

**“Расчет силового трансформатора ”**

Студент: Чубаков А.С.

Группа: ВАИ-6-00

Преподаватель: Плотников С.Б.

МОСКВА 2002

**ВВЕДЕНИЕ.**

Трансформатор – устройство, предназначенное для изменения величины переменного напряжения, - является практически обязательным структурным элементом источника вторичного электропитания. При наличии первичного источника, вырабатывающего переменное напряжение, трансформатор достаточно часто включается в источник вторичного электропитания в качестве входного элемента. В этом случае трансформатор называется силовым, и его функциональное назначение заключается в преобразовании входной системы переменного напряжения (однофазной или трехфазной) в одну или несколько других систем переменных напряжений, используемых для питания соответствующих потребителей постоянного и переменного тока. В системах питания электронной аппаратуры применяют силовые трансформаторы малой мощности ( не более 4 кВ-А для однофазных и 5 кВ-А для трехфазных систем переменного тока). Они в большинстве случаев работают при низких напряжениях на обмотках (до 1кВ), синусоидальной или близкой к синусоидальной форме преобразуемого напряжения и частоте, равной 50 Гц (частота промышленной сети).

Электронная аппаратура, как правило, требует наличия постоянного напряжения питания одного или нескольких уровней. Поэтому в источниках вторичного электропитания силовой трансформатор работает совместно с одним или несколькими выпрямителями – устройствами, преобразующими системы переменных напряжений в постоянные по полярности и пульсирующие по величине (выпрямленные) напряжения. Выпрямители могут быть регулируемыми и нерегулируемыми. Первые реализуются на базе управляемых полупроводниковых вентилей – тиристоров, вторые – на базе неуправляемых вентилей – диодов. Нерегулируемые выпрямители не обеспечивают стабилизацию выходных напряжений. При колебаниях напряжения источника электропитания, а также при изменении тока в любой из нагрузок, получающих питание от силового трансформатора, величина напряжения, снимаемого с нерегулируемого выпрямителя, изменяется.

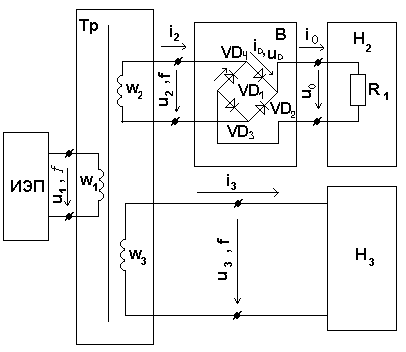
Вместе с тем, нерегулируемы выпрямители широко применяются в системах питания электронной аппаратуры в случаях, когда отсутствуют жесткие требования со стороны соответствующих потребителей постоянного тока, или, если такие требования есть, когда предусмотрено включение стабилизаторов постоянного напряжения в цепи питания потребителей.

В данной курсовой работе представлен расчет однофазного низковольтного силового трансформатора малой мощности как структурного элемента источника вторичного электропитания, работающего в длительном режиме. Трансформатор имеет ряд обмоток. Первичная обмотка с числом витков w1 подключена к источнику электропитания, вырабатывающему переменное синусоидальное напряжение U1 и частотой 400 Гц. С двух групп вторичных обмоток с числами витков w2 и w3 снимаются переменные напряжения соответственно U2 и U3 той же частоты. Вторичная обмотка с числом витков w2 через соответствующий нерегулируемый выпрямитель В и выпрямленное напряжение U0, снабжает электроэнергией нагрузку H3, имеющую чисто активный характер, требующую питание постоянным током. Однофазная вторичная обмотка с числом витков w3 подключена непосредственно к нагрузке H3, получающей питание переменным током, частота которого совпадает с частотой источника. На рис. схемы протекают следующие токи: i1 – переменный ток, потребляемый первичной обмоткой трансформатора; i2- переменный ток в фазе вторичной обмотки с числом витков w2; i0 – постоянный по направлению и пульсирующий по величине (выпрямленный) ток, питающий нагрузку H3; i3 – переменный ток, протекающий во вторичной обмотке с числом витков w3 и нагрузке H3.

Возможное наличие реактивных элементов в цепи нагрузки H3 учитывается коэффициентом мощности cosφ3, равным отношению активной составляющей мощности к полной мощности, потребляемой нагрузкой.

Начальные данные:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Напряжение источника электропитания | U1 | 24 B |
| Частота напряжения источника электропитания | ƒ | 400 Гц |
| Схема выпрямителя B в цепи питания | Однофазная мостовая | |
| Напряжение на нагрузке H2 | U0 | 12 В |
| Ток в нагрузке H2 | I0 | 4,16 A |
| Характер нагрузок H2 | Активный | |
| Напряжение на нагрузке H3 | U3 | 36 В |
| Ток в нагрузке H3 | I3 | 0,277 A |
| Коэффициент мощности нагрузки H3 | cosφ3 | 0,35 |
| Температура окружающей среды | t0 | 30 0C |
| Макс. Температура нагрева трансформатора | tTmax | 120 0C |
| Режим работы | длительный | |



**1. РАСЧЕТ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РАСЧЕТ ТРАНСОРМАТОРА.**

01. По соотношению величин напряжений и токов в трансформаторе и выпрямителе рассчитаем среднее значение прямого тока через диод IDnр,cp и наибольшее мгновенное значение обратного напряжения на диоде UDo бр,u,n :

IDnр,cp=0,5I0=2,08 A

UDo бр,u,n =1,57U0=18,84 U

02. Для выпрямителя B выбирается диод типа КД202А

(Inр,cp max=3 A, Uo бр,u,n max=50 B)

Для выпрямителя определяем среднее значение прямого напряжения на диоде UDnр,cp = 0,9 B

03. Среднее значение прямых напряжений на выпрямителе B равно

UBcp=2\* UDnр,cp; UBcp==2\*0,9=1,8 B

04. Действующее значение номинального напряжения на фазе обмотки трансформатора, работающего на выпрямителе B:

U2=1,11(U0+UBср); U2=1,11(12+1,8)=15,3 B

и номинальный ток в нем:

I2=1,11I0; I2=1,11\*4,16=4,6 A

05. Коэффициент трансформации, характеризующий взаимно-индуктивную связь между первичной обмоткой и фазой вторичной обмотки, на выпрямителе B:

k1/2=U1/ U2; k1/2=24/15,3=1,57

06. Действующее значение номинального тока в первичной обмотке, обусловленное передачей мощности от источника электропитания в цепи нагрузки вторичной обмотки, на выпрямителе B:

I1/2=1,11I0/k1/2; I1/2=1,11\*4,16/1,57=2,94 A

07. Действующее значение номинального тока в первичной обмотке трансформатора:

I1= I1/2+( U3\* I3)/ U1; I1=2,94+(36\*0,277)/24=3,35 A

08. Расчетная мощность трансформатора

ST=0,5(U1I1+m2U2I2+ U3I3);

ST=0,5(24\*3,35 +15,3 \*4,6 +36\*0,277)=80,4 B\*A

09. Выбирается броневой ленточный магнитопровод из стали марки 3422,

ΔC=0,1 mm

10. Выбираем ориентировочные величины электромагнитных нагрузок: амплитуды магнитной индукции в магнитопроводе трансформатора Bm=1,34 Тл и действующее значение плотности тока в обмотке j=4,4 A/mm2

11. Определяем значение коэффициента заполнения магнитопровода сталью kc=0,88

12. Выбирается ориентировочное значение коэффициента заполнения окна магнитопровода медью k0 =0,249

13. Конструктивный параметр, представляющий собой произведение площади поперечного сечения магнитопровода SC и площади окна под обмотки S0

SCS0=( ST100)/(2,22\*ƒ\*Bm\*j\*kc\*k0);

SCS0=( 80,4 \*100)/(2,22\*400\*1,36 \*4,6\*0,88\*0,249)= 6,6 см4

14. Выбираем типоразмер магнитопровода – ШЛ12х16 (SCS0=6,9см4); a=12 mm; b=16 mm; c=12 mm; h=30 mm; SC=1,92 см2; S0=3,6см2; lM=10,4 см; mc=135 г;

15. Выбираем ориентировочные значения падения напряжения на первичной обмотке, выраженного в процентах от номинального значения U1, Δ U1%=3,5% и падений напряжения во вторичных обмотках, в % от соответствующих номинальных значении U2 и U3 равные друг другу Δ U2,3%=4,4%

16. Число витков *;*



*=*57



17. Число витков на выпрямителе B:

*;*



*=*36



Число витков на вторичной обмотке подключенной непосредственно к нагрузке H3 :

*; =*85



18. Площади поперечных сечений обмоточных проводов без изоляции для всех обмоток трансформатора рассчитываются по формулам:

q1пр= I1/j; q1пр=3,35/4,6=0,7283 мм2

q2пр= I2/j; q2пр=4,6 /4,6= 1 мм2

q3пр= I3/j; q3пр=0,277/4,6=0,0602 мм2

19. Выбирается марка обмоточных проводов ПЭВТЛ-1 (tTmax до 1200)

20. Габариты провода:

d 1пр=0,96 мм; q1пр=0,7238 мм2 ;d1из= 1,02 мм;

d 2пр=1,16 мм; q2пр=1,057 мм2 ;d2из= 1,24 мм;

d 3пр=0,27 мм; q3пр=0,05726 мм2 ;d3из= 0,31 мм;

21. Действующие значения плотности тока во всех обмотках трансформатора:

j1=I1/ q1пр; j1=3,35/0,7238=4,63 A/мм2;

j2=I2/ q1пр; j1=4,6 /1,057 =4,35 A/мм2;

j3=I3/ q1пр; j1=0,277/0,05726 =4,84 A/мм2;

22. Удельные потери мощности в магнитопроводе трансформатора

PСуд= PСудH (Bm/ВmH )2; PСуд=15,4 Вт/кг

23. Pc=PСуд \*mc\*10-3; Pc=15,4\*135\*10-3=2,08 Вт

24. Потери мощности в обмотках

PM=ρ(0,9\* j12\*\* q1пр+1,1(j22\*m2\*\*q2пр+ j32\* \*q3пр))\* lM (1+α(tTmax-20))\*10-2;



PM=0,0175(0,9\* 4,63 2\*57\* 0,7238+1,1(4,35 2\*0,135\*36\*1,057+ 4,84 2\* 85\*0,0602))\* 10,4 (1+0,00411(120-20))\*10-2=2,66 Вт

25. Суммарные потери мощности в трансформаторе

PT=PC+PM; PT=2,08+2,66=4,74 Вт

26. КПД трансформатора

*;*



=92,8%



27.



=81,4%



**2. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРА.**

01. Превышение температуры трансформатора над темпер. окружающей среды:

∆tT=PTRT, где RT тепловое сопротивление трансформатора.

∆tT=4,74\*9,40=44,56 град/Вт

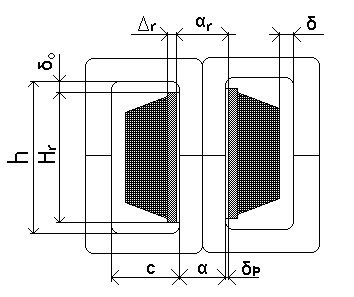
02. Установившаяся температура нагрева трансформатора:

tT=t0+∆tT; tT=30+44,56=74,56 0C

Установившаяся температура нагрева трансформатора не превышает максимально допустимого значения tTmax=1200C

**3. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРА.**

01. Выбирается бескаркасная намотка обмоток трансформатора (на гильзу.)



02. Ширина внутреннего прямоугольного отверстия изолирующей гильзы:

αr =α+2δp, где δp величина радиального зазора между гильзой и несущим катушку стержнем магнитопровода.

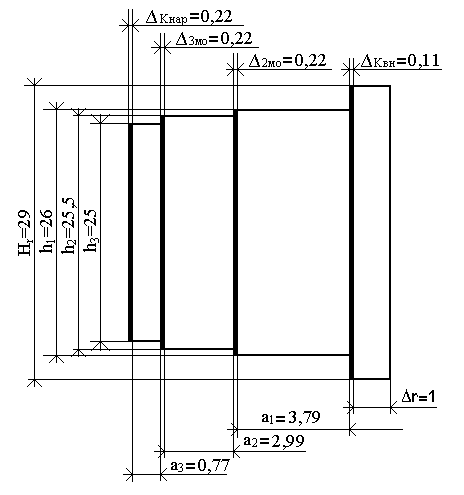
αr =12+2\*1=14 мм

03. Толщина гильзы в радиальном направлении выбирается ∆r=1 мм

05. Габаритная высота гильзы Hr=h-2δ0, где δ0=0,5 мм величина осевого зазора между щечкой каркаса или торцевой поверхностью гильзы и ярмом магнитопровода.

Hr=30-1=29 мм

06. Составляется план размещения обмоток в окне магнитопровода.



07. В качестве электроизоляционного материала применяем пропиточную бумагу ИЭП-63Б, βмо=0,11 мм

08. Чисто слоев изоляционного материала:

nKвн = U1/(mk\*175), для броневого трансформатора число стержней магнитопровода mk=1

nKвн = 24/(1\*175)=1

09. Толщина внутренней изоляции катушки

∆Kвн = nKвн\*βmo;

∆Kвн = 1\*0,11=0,11 мм

10. Высота слоя первичной обмотки

h1=Hr-2∆h1, где ∆h1=1,5 – толщина концевой изоляции первичной обмотки.

h1=29-2\*1,5=26 мм

11. Число витков в одном слое первичной обмотки

w1сл=ky\*h1/d1из, где ky=0,9 – усредненное значение коэффициента укладки

w1сл=0,9\*26/1,02=22

12. Число слоев первичной обмотки в катушке

n1сл= w1/(mk\*w1сл);

n1сл=57/(1\*22)=3

13. Определяем максимальное действующие значение между соседними слоями первичной обмоткой:

U1mc=2\*U1\*w1сл/w1;

U1mc=2\*24\*22/57=18,5 B

14. В качестве материала для выполнения межслоевой изоляции в первичной обмотке выбирается кабельная бумага марки К-120; β1мс=0,12 мм;

U1мс max=71 B

15. Число слоев межслоевой изоляции между соседними слоями первичной обмотки:

n1мс =U1мс/ U1мс max;

n1мс =18,5 / 71=1

16. Толщина межслоевой изоляции между соседними слоями первичной обмотки:

∆1мс= n1мс\*β1мс;

∆1мс=1\*0,12 =0,12 мм

17. Толщина первичной обмотки в катушке с учетом межслоевой изоляции:

a1=kp[n1сл\* d1из+( n1сл-1) ∆1мс], где kp=1,15 – усредненное значение разбухания;

a1=1,15 [3\* 1,02+( 3-1) \*0,12]= 3,79 мм

18. Напряжение, определяющее толщину межобмоточной изоляции между данной обмоткой и предыдущей:

U2мо=max(U1/mk;m21\*U21/mk)=24 В;

19. Число слоев межобмоточной изоляции, поверх которой наматывается данная обмотка:

n2мо=2, т.е. межобмоточная изоляция выполняется в два слоя

20. Толщина межобмоточной изоляции, поверх которой наматывается данная обмотка:

∆2мо=n2мо\*β мо;

∆2мо=2\*0,11=0,22 мм

21. Высота слоя обмотки, работающей на выпрямителе B:

h2=h1-2∆h2,3 , где ∆h2,3=0,25 мм - приращение толщины концевой изоляции каждой из вторичной обмоток по отношению к концевой изоляции предыдущей обмотки:

h2=26-2\*0,25=25,5 мм

22. Для вторичной обмотки, работающей на выпрямитель, число витков одом слое обмотки:

w2сл=ky\*h2/d2из;

w2сл=0,9\*25,5/1,24=18

23. Число слоев вторичных обмоток, работающих на выпрямитель, в катушке:

n2сл=m2\*w2/(mk\*w2сл);

n2сл=1\*36/(1\*18)=2

24. Максимальное действующее напряжение между соседними слоями:

U2мс=m2\*U2/mk ;

U2мс=1\*15,3/1=15,3 В

25. Для вторичной обмотки, работающей на выпрямитель, выбираем электроизоляционный материал: кабельная бумага марки К-120;

β2мс=0,12 мм; U2мсmax=71B

26. Для вторичной обмотки, работающей на выпрямитель, число слоев межслоевой изоляции между соседними слоями обмотки:

n2мс=U2м/U2мсmax;

n2мс =15,3/71=1

27. Для вторичной обмотки, работающей на выпрямитель, толщина межслоевой изоляции соседними слоями обмотки:

∆2мс=n2мс\*β2мс;

∆2мс=1\*0,12=0,12 мм

28. Толщина каждой из вторичной обмотки, работающей на выпрямитель, в катушке с учетом межслоевой изоляции:

a2=kp(n2сл\*d2из+( n2сл -1) ∆2мс)

a2=1,15(2\*1,24 +(2-1) 0,12)= 2,99 мм

29. Для вторичной обмотки, подключенной непосредственно к нагрузке H3, находится напряжение, определяющее толщину межобмоточной изоляции между данной обмоткой и предыдущей:

U3мо1=max(m2z\*U2z/mk;U3/mk);

U3мо1=36 В

30. Для вторичной обмотки, работающей непосредственно на нагрузку, определяем число слоев межобмоточной изоляции, поверх которой наматывается данная обмотка:

n3мо=2

31. Для вторичной обмотки, работающей на нагрузку, толщина межобмоточной изоляции, поверх которой наматывается данная обмотка:

∆3мо=n3мол\*βмо;

∆3мо=2\*0,11=0,22 мм

32. Для каждой вторичной обмотки, работающей на нагрузку, определяется высота слоя обмотки:

h3=h1-2(Z+ξ)∆h2,3

h3=26-2(1+1)0,25=25 мм

33. Для каждой вторичной обмотки, работающей на нагрузку, число витков в одном слое обмотки:

w3сл=ky\*h3/d3из;

w3сл=0,9\*25/0,31=72

34. Число слоев вторичной, работающей на нагрузку, в катушке

n3сл= w3/(mk\*w3сл);

n3сл= 85/(1\*72)=2

35. Для каждой из вторичной обмотки, работающей на нагрузку, определяется максимальное действующее напряжение между соседними слоями:

U3мс=U3/mk;

U3мс=36/1=36 В

36. Для вторичной обмотки, работающей на нагрузку, выбираем электроизоляционный материал: телефонная бумага КТ-50, его толщина

β3мс=0,05 мм; U3мсmax=57 B

37. Для вторичной обмотки, работающей на выпрямитель, число слоев межслоевой изоляции между соседними слоями обмотки:

n3мс=U3мс/U3мсmax;

n3мс =36/57=1

38. Для вторичной обмотки, работающей на нагрузку, толщина межобмоточной изоляции, поверх которой наматывается данная обмотка:

∆3мс=n3мс\*β3мс;

∆3мс=1\*0,05=0,05 мм

39. Толщина каждой из вторичной обмотки, работающей на выпрямитель, в катушке с учетом межслоевой изоляции:

a3=kp(n3сл\*d3из+( n3сл -1) ∆3мс)

a3=1,15(2\*0,31+(2-1) 0,05)= 0,77 мм

40. Число слоев изоляционного материала наружной изоляции катушки:

nKнар=2

41. Толщина наружной изоляции катушки:

∆Kар= nKнар\*βмо;

∆Kар= 2\*0,11=0,22 мм

42. Толщина катушки в радиальном направлении с учетом изоляции на гильзе, межобмоточной изоляций и наружной изоляции катушки:

ak=∆Kвн+a1+∆2мо+a2+∆3мо+a3+∆Kнар ak=0,11+3,79+0,22+2,99+0,22+0,77+0,22=8,32 мм

43. Ширина свободного промежутка в окне магнитопровода: зазор между наружной боковой поверхностью катушки и боковым стержнем магнитопровода:

δ=c-( δp+∆r+ak);

δ=12-(1+1+8,32)= 1,68 мм

Вывод: обмотка трансформатора нормально укладываются в окне магнитопровода, следовательно расчет трансформатора можно считать завершенным.

**5. ЛИТЕРАТУРА:**

1. Курс лекций по электротехники Плотникова С.Б.

2. Петропольская Н.В., Ковалев С.Н., Цыпкин В.Н., Однофазные силовые трансформаторы в системах электропитания электронной аппаратуры.

МИРЭА, Москва 1996 г.

3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М., Высшая школа, 1978 г.