



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная электроника»

С. Н. Кухаренко

МАТЕРИАЛЫ И КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к контрольным работам по одноименному курсу
для студентов специальности 1-36 04 02
«Промышленная электроника»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2008

УДК 621.38.002.3(075.8)
ББК 32.85я73
К95

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 1 от 09.10.2006 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого
д-р техн. наук, проф. *В. И. Луковников*

Кухаренко, С. Н.

К95 Материалы и компоненты электроники : метод. указания к контрол. работам по
одном. курсу для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника»
днев. и заоч. форм обучения / С. Н. Кухаренко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого,
2008. – 25 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ;
свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим
доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-767-4.

Даны задания по определению эксплуатационных характеристик и расчету пара-
метров пассивных компонентов.

Для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» дневной и
заочной форм обучения.

**УДК 621.38.002.3(075.8)
ББК 32.85я73**

ISBN 978-985-420-767-4

© Кухаренко С. Н., 2008
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2008

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Практические занятия в рамках курса «Материалы и компоненты электроники» предназначены для приобретения навыков определения эксплуатационных характеристик и закрепления знаний лекционного курса.

Цель практических занятий: научиться определять допустимую нагрузку компонентов электроники, производить правильный выбор конденсаторов и резисторов по их электрическим характеристикам. Изучить методику проектирования трансформаторов и дросселей, приобрести навыки проектирования.

1. Номер варианта (№) соответствует номеру в списке (С). Если номер по списку превышает количество приведенных заданий (n), то номер варианта определяется повторным счетом: $№ = C - n$.

2. Ответ должен содержать справочные таблицы производимых значений рассматриваемого типа компонента. Если объем таблицы занимает больше одного печатного листа, достаточно привести перечень предельных значений номиналов.

3. При выполнении задания необходимо привести чертеж внешнего вида компонента.

4. Решение задачи должно быть обоснованным и подтверждено расчетными соотношениями. Если исходные значения получены из графиков, приводимых в справочной литературе, то обязательно наличие данного графика либо его копии в тексте решения. На графике необходимо отметить исходные и полученные значения.

5. В ответах должна содержаться ссылка на используемый источник информации с указанием страниц.

ЗАДАНИЕ № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНДЕНСАТОРОВ

Все производимые конденсаторы принято классифицировать по типу используемого диэлектрического материала. Различают следующие основные группы конденсаторов: с неорганическим, органическим, оксидным (электролитические) и газообразным диэлектриком. Частотные и нагрузочные характеристики конденсаторов в первую очередь связаны со свойствами используемого диэлектрика. Соответственно система параметров, приводимая для определения нагрузочной способности, различна и определяется типом диэлектрика.

Определение максимально допустимых режимов эксплуатации конденсаторов с неорганическим диэлектриком

1. Определить максимально допустимое напряжение переменной составляющей на конденсаторе (U_f) для предложенного (табл. 1.1) типа и номинала при заданной частоте.
2. Определить соответствующее предельному значению напряжения значение тока через конденсатор.
3. Рассчитать потери активной мощности, выделяемой в конденсаторе при заданном режиме эксплуатации.
4. Определить величину изменения емкости (ΔC) и значение емкости (C) в диапазоне рабочих температур.

Пояснение к выполнению задания

Конденсаторы с неорганическим диэлектриком предназначены для работы в широком диапазоне частот с постоянной реактивной мощностью. Поэтому в технической документации на этот тип конденсаторов принято приводить значение допустимой реактивной мощности и допустимого постоянного напряжения. Допустимая амплитуда переменного синусоидального напряжения для конденсаторов, на которые в технических условиях (ТУ) введено ограничение по допустимой реактивной мощности P_q , определяется по формуле

$$U_f = \sqrt{2P_q / \omega C}. \quad (1.1)$$

Максимально допустимое значение реактивной мощности P_q (справочное значение) достигается только в определенном диапазоне частот от f_n до f_v (соответственно нижняя и верхняя частота диапазона). На частотах ниже f_n реактивная мощность ограничивается допус-

тимым напряжением конденсатора (номинальным напряжением). На частотах выше f_v реактивная мощность ограничена допустимым перегревом. На частоте собственного электрического резонанса реактивная мощность равна нулю. Если на конденсатор подается постоянная и переменная составляющая, то суммарное напряжение не должно превышать номинальное.

Активную мощность потерь, вызванную переменной составляющей напряжения на конденсаторе, можно определить по формуле

$$P_a = \frac{U_f^2 \omega C \operatorname{tg} \delta}{2(1 + \operatorname{tg}^2 \delta)}, \quad (1.2)$$

где U_f – амплитуда переменной составляющей напряжения на конденсаторе; $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла потерь в конденсаторе на определяемой частоте.

Таблица 1.1

Варианты компонентов

Номер варианта	Тип конденсатора	Номинальное значение	Частота, МГц
1	К15-5	3 кВ-0,015 μ F \pm 5 % Н70	100
2	К15У-1	3 кВ-39 pF \pm 10 % М750	1
3	КТ-2	500 В-15pF \pm 5 % М47	50
4	КМ-4	160 В-220 pF \pm 10 % П33	200
5	КМ-5	100 В-3,3nF \pm 5 % М1500	20
6	КМ-6	35 В-0,01 μ F \pm 20 % Н90	40
7	КСО-7	1000 В-3000 pF \pm 20 % В	10
8	К31У-3	500 В-240 pF \pm 10 % Б	5
9	К10-7	50 В-0,01 μ F \pm 20 % Н90	50
10	К10-17а	50 В-0,68 μ F \pm 30 % Н30	50
11	К10-17в	50 В-0,01 μ F \pm 10 % М47	30
12	К10-47а	250 В-0,01 μ F \pm 20 % Н30	2
13	К10-47в	100 В-0,022 μ F \pm 5 % МП0	5
14	К10-49	100 В-0,22 μ F \pm 5 % Н50	10
15	К10-50	16 В-1,0 μ F \pm 20 % Н50	20

Определение максимально допустимых режимов конденсаторов с органическим диэлектриком

Конденсаторы с органическим диэлектриком обладают высокими электрическими характеристиками при относительно малых габаритах. Пленочные конденсаторы применяют в случаях, когда требуются такие специальные параметры, как малая абсорбция заряда, исключи-

тельно высокая постоянная времени, высокая стабильность емкости, малые потери в широком диапазоне частот.

Органический диэлектрик широко используется для изготовления энергоемких импульсных конденсаторов, конденсаторов на повышенные реактивные мощности для работы при переменном напряжении как низкой, так и высокой частоты.

Определение максимально допустимого напряжения на конденсаторе с этим диэлектриком выполняют по номограммам, приводимым в справочной литературе.

Для этого типа конденсаторов необходимо выполнить следующие расчеты:

1. Определить максимально допустимое напряжение переменной составляющей на конденсаторе для предложенного (табл. 1.2) типа и номинала и при заданной частоте.

2. Определить соответствующее предельному значению напряжения значение тока через конденсатор.

3. Рассчитать потери активной мощности выделяемой в конденсаторе при заданном режиме эксплуатации.

4. Указать тип используемого диэлектрика.

Таблица 1.2

Варианты компонентов

Номер варианта	Тип конденсатора	Номинальное значение	Частота, кГц
1	К71-4	250 В-0,68 $\mu\text{F} \pm 5 \%$	5
2	К71-7	250 В-0,1 $\mu\text{F} \pm 5 \%$	2
3	К73П-3	160 В-1 $\mu\text{F} \pm 10 \%$	3
4	К73-11	160 В-2,2 $\mu\text{F} \pm 10 \%$	5
5	К73-15А	100 В-0,068 $\mu\text{F} \pm 20 \%$	2
6	К73-16а	63 В-0,47 $\mu\text{F} \pm 5 \%$	10
7	К78-2	1000 В-0,022 $\mu\text{F} \pm 10 \%$	40
8	К71-5	160 В-0,047 $\mu\text{F} \pm 2 \%$	7
9	К42У-2	160 В-0,047 $\mu\text{F} \pm 10 \%$	7
10	К73-17	63 В-2,2 $\mu\text{F} \pm 10 \%$	20
11	МБМ	500 В-0,1 $\mu\text{F} \pm 10 \%$	2
12	К41-1а	6,3 кВ-0,25 $\mu\text{F} \pm 5 \%$	5
13	ПМ-1	500 В-9100 pF $\pm 10 \%$	20
14	МБГО-2	300 В-2,0 $\mu\text{F} \pm 10 \%$	4
15	МБГЧ-1	500 В-0,5 $\mu\text{F} \pm 10 \%$	10

Определение максимально допустимых режимов работы конденсаторов с оксидным диэлектриком

Оксидные конденсаторы (старое название – электролитические) разделяются на конденсаторы: общего назначения, высокочастотные, импульсные, пусковые и помехоподавляющие. В качестве диэлектрика в них используется оксидный слой, образуемый электрохимическим путем на аноде. В зависимости от материала анода оксидные конденсаторы подразделяются на алюминиевые, танталовые, ниобиевые. Второй обкладкой конденсатора (катодом) служит электролит, находящийся в бумажной или тканевой прокладке. В танталовых, или объемно-пористых, конденсаторах электролит гелеобразный.

Конденсаторы с оксидным диэлектриком низковольтные, с относительно большими потерями, но с наибольшей, относительно других типов, удельной емкостью. Они используются в фильтрах источников электропитания, цепях развязки, шунтирующих и переходных цепях полупроводниковых устройств работающих на низких частотах.

Определение максимально допустимого напряжения на конденсаторе с этим диэлектриком выполняют по номограммам, приводимым в справочной литературе.

В контрольной работе необходимо определить:

1. Максимально допустимое напряжение переменной составляющей на конденсаторе для предложенного (табл. 1.3) типа и номинала при заданной частоте.
2. Соответствующее предельному значению напряжения значение тока через конденсатор.
3. Рассчитать потери активной мощности, выделяемой в конденсаторе при заданном режиме эксплуатации.
4. Указать тип используемого материала обкладок конденсатора.

Таблица 1.3

Варианты компонентов

Номер варианта	Тип конденсатора	Номинальное значение	Частота, Гц	
1	K50-22	50В-1000 μ F	50	1000
2	K50-6	50В-200 μ F	100	2000
3	K50-7	450В-500 μ F	200	1000
4	K50-12	250В-100 μ F	50	5000
5	K50-16	16В-200 μ F	100	10000
6	K50-20	300В-100 μ F	200	2000
7	K50-24	16В-1000 μ F	400	4000

Окончание табл. 1.3

№ варианта	Тип конденсатора	Номинальное значение	Частота, Гц	
8	K50-27	450В-47 μ F	50	40000
9	K50-29	50В-470 μ F	100	10000
10	K50-35	350В-220 μ F	200	20000
11	K53-14	16В-22 μ F	400	1000
12	K50-23	500В-500 μ F	50	5000
13	K52-1	50В-47 μ F	100	1000
14	K52-5	25В-100 μ F	200	10000
15	K53-1a	20В-47 μ F	400	5000

При выполнении задания рекомендуется использовать справочный материал:

1) Справочник по электрическим конденсаторам. – Москва : Радио, 1983;

2) Конденсаторы. Справочник / под ред. М. Четверткова. – Радио и связь, 1993. – 392 с.;

3) справочной информацией сайта www.elcod.spb.ru и других электронных источников информации.

ЗАДАНИЕ № 2 ВЫБОР РЕЗИСТОРА ДЛЯ ЗАДАННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Краткие теоретические сведения

В электронной технике преимущественное распространение получили непроволочные резисторы. Непроволочные резисторы по виду резистивного компонента разделяются на углеродистые и бороуглеродистые, металлодиэлектрические и металлоокисные, металлизированные пленочные, объемные.

Углеродистые и металлодиэлектрические резисторы отличаются повышенной стабильностью параметров, низким уровнем шумов, малой зависимостью сопротивления от напряжения и частоты.

Композиционные резисторы имеют следующие особенности: небольшие размеры (высокое удельное сопротивление резистивного элемента), низкую стоимость, невысокую стабильность, высокий уровень шумов, значительную зависимость величины сопротивления от температуры и напряжения.

Проволочные и металлофольговые резисторы характеризуются высокой точностью и стабильностью электрических параметров при воздействии электрических, климатических и механических нагрузок, малыми температурными коэффициентами, малым уровнем токовых шумов. Недостаток проволочных резисторов – низкие частотные свойства по сравнению с тонкослойными и объемными резисторами.

К основным параметрам резисторов относятся:

1. Номинальное сопротивление.
2. Номинальная рассеиваемая мощность.
3. Рабочее напряжение.

Номинальными параметрами называются значения, указанные в маркировке либо в сопроводительной документации на резистор.

Номинальной мощностью рассеяния резисторов ($P_{\text{ном}}$) называется наибольшая мощность, которую резистор может рассеивать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах. С повышением температуры окружающей среды, понижением атмосферного давления и при некоторых других неблагоприятных условиях теплопередачи резистор, находящийся под номинальной электрической нагрузкой, может перегреваться сверх допустимого значения. В целях устранения такого перегруженного режима эксплуатации необходимо снижать электрическую нагрузку на резисторе до уровня допустимой мощности ($P_{\text{доп}}$) при заданных внешних условиях эксплуатации. Фактическая (P), допустимая ($P_{\text{доп}}$)

и номинальная ($P_{\text{ном}}$) мощности резистора всегда должны быть связаны следующей зависимостью:

$$P \leq P_{\text{доп}} \leq P_{\text{ном}}. \quad (2.1)$$

Мощность, рассеиваемая резистором, зависит от сопротивления резистора и тока, проходящего по нему, или падения напряжения на нем и определяется соотношением:

$$P = i^2 R; P = \frac{U^2}{R}. \quad (2.2)$$

При расчете мощности рассеяния необходимо пользоваться только эффективным значением тока либо напряжения.

Предельное напряжение, действующее на резистор, ограничено электрической прочностью воздуха и изоляции между его выводами.

Работа резистора при воздействии импульсного напряжения характеризуется следующими параметрами:

$u_{\text{и}}$ – амплитуда напряжения в импульсе, В;

$\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса, с;

$f_{\text{и}}$ – частота следования импульсов, Гц;

q – перегрузочная способность (отношение импульсной мощности к номинальной мощности резистора).

$$P_{\text{и}} = \frac{u_{\text{и}}^2}{R} \text{ – импульсная мощность;} \quad (2.3)$$

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{u_{\text{и}}^2(t)}{R} dt \text{ – средняя мощность;} \quad (2.4)$$

$$Q = \frac{1}{\tau_{\text{и}} f_{\text{и}}} \text{ – скважность импульсов.} \quad (2.5)$$

Предельные напряжения, действующие на резистор в импульсном режиме работы, ограничиваются следующими факторами: энергией импульса, величиной средней рассеиваемой мощности, величиной предельного рабочего напряжения, указанного в документации.

Максимально допустимая длительность ограничивается температурой перегрева резистивного элемента за время действия импульса, т. е. ограничивается допустимой энергией каждого отдельного импульса и средней температурой резистора.

Средняя мощность, рассеиваемая на резисторе при воздействии прямоугольных импульсов, рассчитывается по формуле

$$P = \frac{u_{\text{и}}^2 \tau_{\text{и}} f_{\text{и}}}{R}. \quad (2.6)$$

При воздействии трапециидальных импульсов тока:

$$P = \frac{u_{и}^2 f_{и}}{R} [\tau_{и} - \frac{2}{3} (\tau_{ф} + \tau_{с})], \quad (2.7)$$

где $\tau_{ф}$, $\tau_{с}$ – длительность фронта и среза импульса соответственно.

При воздействии импульсов треугольной формы:

$$P = \frac{u_{и}^2 \tau_{и} f_{и}}{3R}. \quad (2.8)$$

Для заданного (табл. 2.1) типа резистора составить таблицу, содержащую предельные значения производимых номиналов и предельных значений электрических нагрузок (см. справочную литературу).

Определить мощность, рассеиваемую резистором включенного в цепь с заданным значением и формой приложенного напряжения.

Произвести выбор номинальной мощности резистора заданного типа для работы в номинальных условиях.

Таблица 2.1

Варианты компонентов

Номер варианта	Тип	Номинальное сопротивление, Ом	Параметры импульса			
			форма	длительность, μS	частота, Гц	амплитуда, В
1	BC	$100 \cdot 10^3$	Пр.	100	$5 \cdot 10^3$	1000
2	МЛТ	10	Тр.	10	$30 \cdot 10^3$	24
3	МОУ	50	Тр.	1	$200 \cdot 10^3$	100
4	ПЭВ	10^3	Тр.	$20 \cdot 10^3$	10	500
5	P1-4	$200 \cdot 10^3$	Пр.	5	100	300
6	P2-67	1000	Тр.	100	50	100
7	ТВО	51	Пр.	10	500	1000
8	C5-14	10	Тр.	100	30	50
9	C2-6	10^5	Пр.	25	$40 \cdot 10^3$	150
10	C2-29	$1,2 \cdot 10^6$	Тр.	100	1000	700
11	C2-31	10^3	Пр.	10	1000	100
12	C4-2	10^5	Тр.	100	$3 \cdot 10^3$	500
13	C2-33	100	Пр.	5	1000	200
14	P2-75	1	Тр.	10	50	100
15	C5-16	0,1	Тр.	10	$2 \cdot 10^3$	10

Примечание. Тр. – треугольная форма напряжения; Пр. – прямоугольная форма напряжения.

При выполнении задания рекомендуется использовать следующий учебник: Резисторы. Справочник / В. В. Дубровский [и др.] ; под ред. И. И. Четверткова, В. М. Терехова. – Москва : Радио и связь, 1991. – 528 с.

ЗАДАНИЕ № 3 РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРА

Определить конструктивные (размер магнитопровода, количество витков) и эксплуатационные параметры трансформатора для заданного в табл. 3.6 варианта.

Трансформатором называется электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования одной или нескольких – первичной системы переменного тока, в другую – вторичную – той же частоты, имеющую в общем случае другие характеристики, в частности другое напряжение и другой ток.

Трансформатор, в общем смысле, можно рассматривать как систему индуктивно связанных токоведущих шин. Применение ферромагнитного сердечника необходимо для увеличения взаимной индуктивности. В технической литературе ферромагнитный сердечник трансформатора принято называть магнитопроводом.

Как правило, трансформатор состоит из ферромагнитного сердечника и двух или нескольких обмоток. Та из обмоток трансформатора, к которой подводится энергия переменного тока, называется первичной, другие, от которых энергия отводится, называются вторичными обмотками. В соответствии с названием такие величины, как напряжение, ток, мощность, сопротивление, относящиеся к первичной обмотке, называются первичными, а относящиеся к вторичной обмотке – вторичными.

Расчет трансформатора для заданной мощности и рабочего напряжения обмоток необходимо начинать с определения активной (P) и реактивной (S) мощности трансформатора:

$$P_{\text{тр}} = \sum_{i=2}^n U_i I_i ; \quad (3.1)$$

$$S_{\text{пол}} = \frac{P_{\text{тр}}}{\eta \cos \varphi} , \quad (3.2)$$

где U_i, I_i – напряжения и токи в каждой вторичной обмотке трансформатора, заданные при электрическом расчете; η – КПД трансформатора.

Токи первичной и вторичных обмоток можно определить из выражения

$$i_1 = \frac{S_1}{U_1}, \quad i_i = \frac{P_i}{U_i} , \quad (3.3)$$

где i_1, i_i и U_1, U_i – токи и напряжения во вторичных и первичной обмотках; $S_{\text{пол}}$ – полная номинальная мощность обмоток трансформатора. Для двухобмоточного трансформатора мощность первичной и вто-

ричной обмоток приблизительно равны. Предварительный расчет трансформаторов малой мощности можно производить по активной мощности нагрузки.

Выбор плотности тока в обмотках трансформатора зависит от мощности трансформатора и допустимой температуры перегрева. В зависимости от типа трансформатора, рабочей частоты температурных режимов и условий охлаждения плотность тока в обмотке, выполненной медным проводом, может находиться в пределах $i_{уд} = 1,8–10 \text{ А/мм}^2$. Для трансформаторов мощностью $S = 0,004–1 \text{ кВА}$, работающих в умеренно-холодном климате, при свободном конвективном охлаждении рекомендуемая плотность тока обмоток может быть определена по графику (рис 3.1).

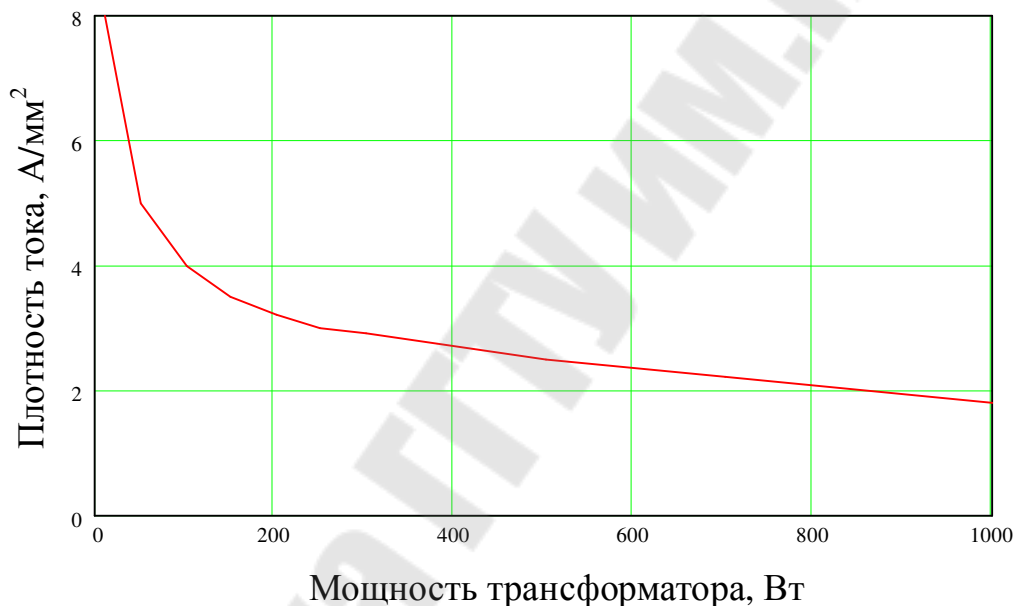


Рис. 3.1. График для определения допустимой плотности тока в обмотках трансформатора, выполненных медным проводом, от мощности

В соответствии с требуемым значением тока необходимо определить сечение медного провода (S_M) и выбрать соответствующий диаметр обмоточного провода из стандартного ряда значений табл. 3.1.

При этом сечение обмоточного провода первичной обмотки (S_{M1}) и вторичной (S_{M2}) определяется из выражения

$$S_{M1} = \frac{i_1}{i_{уд}}, S_{M2} = \frac{i_2}{i_{уд}}. \quad (3.4)$$

Соответствующий диаметр провода d :

$$d = \sqrt{\frac{4S_M}{\pi}}. \quad (3.5)$$

Примечание. С целью улучшения укладки или при проектировании трансформаторов на повышенные рабочие частоты используют несколько параллельных проводников. На повышенных частотах из-за протекания тока по поверхности эффективное сечение провода снижается, для повышения эффективности применения материалов рекомендуется выбирать диаметр провода соизмеримый с толщиной скин-слоя. На высоких частотах, свыше 100 кГц, рекомендуется использовать обмоточный провод литцендрат, состоящий из большого числа проводников.

Таблица 3.1

Основные характеристики обмоточных проводов

Диаметр провода по меди, мм	Сечение, мм ²	Сопротивление 1 км при 20 °С, Ом	Длина на 1 Ом, м	Коэффициент укладки k_y
0,05	0,00196	9290	0,108	0,6
0,06	0,00283	6440	0,156	0,6
0,07	0,00385	4730	0,212	0,61
0,08	0,00502	3630	0,276	0,61
0,09	0,00636	2860	0,35	0,62
0,10	0,00785	2240	0,448	0,63
0,11	0,00950	1850	0,541	0,64
0,12	0,01131	1550	0,645	0,65
0,13	0,01327	1320	0,757	0,65
0,14	0,01539	1140	0,877	0,65
0,15	0,01767	994	1,01	0,65
0,16	0,02011	873	1,145	0,66
0,17	0,02270	773	1,295	0,66
0,18	0,02545	688	1,455	0,66
0,19	0,02835	618	1,62	0,67
0,20	0,03142	558	1,795	0,67
0,21	0,03464	507	1,975	0,68
0,23	0,04155	423	2,36	0,68
0,25	0,04909	357	2,8	0,68
0,27	0,05726	306	3,27	0,69
0,29	0,06605	266	3,76	0,69
0,31	0,07548	233	4,3	0,7
0,33	0,08553	205	4,88	0,7
0,35	0,09621	182	5,5	0,7
0,38	0,11341	155	6,45	0,7
0,41	0,13202	133	7,53	0,71
0,44	0,15205	115	8,7	0,71
0,47	0,17349	101	9,9	0,7

Продолжение табл. 3.1

Диаметр провода по меди, мм	Сечение, мм ²	Сопротивление 1 км при 20 °С, Ом	Длина на 1 Ом, м	Коэффициент укладки k_y
0,49	0,18848	93,1	10,75	0,7
0,51	0,20428	85,9	11,67	0,7
0,53	0,22051	79,3	12,65	0,7
0,55	0,23758	73,9	13,55	0,69
0,57	0,25565	68,7	14,62	0,68
0,59	0,27340	64,3	15,55	0,67
0,62	0,30191	57,9	17,65	0,66
0,64	0,32170	54,6	18,32	0,65
0,67	0,35256	49,7	20,05	0,65
0,69	0,37393	46,9	21,33	0,64
0,72	0,40715	43,0	23,25	0,64
0,74	0,43008	40,8	24,5	0,63
0,77	0,46556	37,6	26,6	0,63
0,80	0,50265	34,9	28,7	0,62
0,83	0,54060	32,4	30,85	0,61
0,86	0,58088	30,2	33,15	0,6
0,90	0,63617	27,5	36,4	0,6
0,93	0,67929	25,8	38,77	0,59
0,96	0,72382	24,2	41,35	0,59
1,00	0,78540	22,4	44,7	0,58
1,04	0,84950	20,6	48,5	0,58
1,08	0,91610	19,2	58,2	0,57
1,12	0,98520	17,1	56,45	0,57
1,16	1,0568	16,6	60,25	0,56
1,20	1,1310	15,5	64,5	0,56
1,25	1,2272	14,3	70	0,55
1,30	1,3273	13,2	75,7	0,55
1,35	1,4314	12,2	82	0,54
1,40	1,5394	11,4	87,6	0,52
1,45	1,6514	10,6	94,5	0,5
1,50	1,7670	9,89	101,2	0,49
1,56	1,9113	9,18	108,8	0,49
1,62	2,0612	8,50	117,7	0,49
1,68	2,2167	7,92	126,8	0,48
1,74	2,3780	7,36	135,7	0,48
1,81	2,573	6,8	147,7	0,48
1,88	2,802	6,3	158,4	0,48
1,95	2,9865	5,9	169,5	0,48
2,02	3,2047	5,5	182	0,47

Окончание табл. 3.1

Диаметр провода по меди, мм	Сечение, мм ²	Сопротивление 1 км при 20 °С, Ом	Длина на 1 Ом, м	Коэффициент укладки k_y
2,10	3,4637	5,1	186	0,47
2,28	3,8	4,4	227,5	0,47
2,44	4,6759	3,8	263,2	0,47

Выбор максимальной индукции в магнитопроводе (B_m) для мало-мощных силовых трансформаторов зависит в основном от материала магнитопровода, толщины листа, из которого набран магнитопровод, частоты рабочего тока, условий охлаждения трансформатора и допустимых температур окружающей среды. Так как все эти величины связаны с мощностью трансформатора $P_{тр}$, то выбор величины B_m зависит мощности. Аналитическое выражение этой зависимости весьма сложное поэтому обычно используют экспериментальные зависимости или типовые зависимости B_m от $P_{тр}$, приведенные в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Значения допустимой индукции для ряда мощностей

Мощность трансформатора Вт	10–50	50–150	150–300	300–1000
Максимальная индукция B_m , Тл	1,0–1,2	1,2–1,5	1,5–1,7	1,7–1,8

Выбор магнитопровода и определение количества витков обмоток. Известно, что ЭДС обмотки трансформатора определяется выражением

$$E = \frac{WS_c dB_m}{dt}, \quad (3.6)$$

где W – количество витков обмотки; B_m – максимальное значение индукции в материале сердечника: для современных сталей $B_m = 1,6–1,8$ Тл, для ферритов $B_m = 0,3–0,4$ Тл; S_c – поперечное сечение сердечника магнитопровода определяемое по выражению $S_c = ab$, где a и b – справочные значения размеров сердечника, представленные на рис. 3.2 и в табл. 3.3.

Предварительно необходимо определить сечение магнитопровода для обмотки, состоящей из одного витка, первичной обмотки $S_{1.1}$ в материале выбранного магнитопровода и для выбранного значения индукции по формуле

$$S_{1.1} = \frac{U_1}{4,44 \Delta B_m f}, \quad (3.7)$$

где U_1 – напряжение первичной обмотки трансформатора; f – рабочая частота трансформатора.

Количество витков обмотки можно определить, зная сечение ферромагнитного сердечника:

$$W_1 = \frac{S_{1.1}}{S_c}, \quad W_2 = \frac{S_{2.1}}{S_c}. \quad (3.8)$$

Площадь обмотки ($S_{об}$), которая заполняет окно сердечника, должна быть меньше площади окна:

$$S_{ок} = ch,$$

где c и h – справочные значения размеров сердечника (табл. 3.3 и рис. 3.2).

Более точный расчет площади обмотки производят по формуле

$$S_{об} = 1/k_{из} (W_1 S_{м1} / k_{y1} + W_2 S_{м2} / k_{y2}), \quad (3.9)$$

где $k_{из}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную межобмоточную изоляцию и каркас трансформатора, а также неравномерность укладки обмотки для конкретных конструктивных решений определяется по табл. 3.4; k_y – коэффициент укладки провода (табл. 3.1).

Одним из рациональных методов выбора типа магнитопровода принята величина произведения $S_{ок} S_c$, которую можно определить после подстановки в (3.9) значений (3.8) и (3.1):

$$S_{ок} = \frac{1}{S_c k_{из}} (W_1 S_{м1} S_{1.1} / k_{y1} + W_2 S_{м2} S_{2.1} / k_{y2}). \quad (3.10)$$

Решая совместно уравнения (3.10), (3.7) и (3.6), получаем выражение, связывающее основные геометрические размеры ферромагнитных сердечников, площадь поперечного сечения и площадь окна:

$$S_{ок} S_c = P_{тр} \left[\frac{k_{y1} + k_{y2}}{2,22 \Delta B f i_{уд} \eta k_{из} k_{y1} k_{y2}} \right], \quad (3.11)$$

где η – коэффициент полезного действия.

Определив величину произведения $S_{ок} S_c$, необходимо подобрать линейные размеры магнитопровода из стандартного ряда значений, приведенных в табл. 3.3:

$$S_{ок} S_c = h c a b,$$

где c , h , a , b – геометрические размеры сердечника.

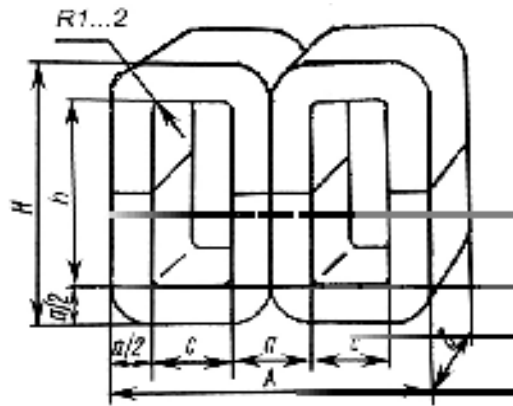


Рис. 3.2. Геометрические размеры магнитопроводов типа ШЛ (ШЛМ) броневого конструкции

Таблица 3.3

Типоразмеры магнитопроводов из электротехнической стали

Обозначение типоразмера магнитопровода, $a \times b$		A , мм	H , мм	c , мм	h , мм	$S_{ср}$, см ²	$l_{ср}$, см	G , г
ШЛМ	8	26	21	5	13	0,54	4,9	22
						0,72		28
						0,95		35
						1,22		45
ШЛМ	10	32	28	6	18	0,9	6,4	45
						1,0		56
						1,5		72
						1,9		91
ШЛМ	12	40	35	8	23	1,26	8,1	90
						1,76		115
						2,0		150
						2,7		180
ШЛМ	16	50	42	9	26	2,3	9,5	175
						2,9		215
						3,6		270
						4,6		350
ШЛМ	20	64	56	12	36	3,6	12,7	370
						4,6		435
						6,1		580
						7,6		730
ШЛМ	25	80	70	15	45	5,6	15,9	710
						7,2		905
						9,5		1120
						10,8		1390

Окончание табл. 3.3

Обозначение типоразмера магнитопровода, $a \times b$			A , мм	H , мм	c , мм	h , мм	$S_{св}$, см ²	$l_{ср}$, см	G , г
ШЛМ	40	x 40	128	112	24	72	14,4	25,5	2750
		x 50					18,0		3400
		x 64					23,0		4400
ШЛ	16	x 20	64	56	16	40	2,9	13,6	300
		x 25					3,6		370
		x 32					4,6		470
ШЛ	20	x 20	80	70	20	50	3,6	17,1	460
		x 25					4,6		580
		x 32					6,1		740
		x 40					7,6		920
ШЛ	25	x 25	100	87,5	25	62,5	5,6	21,3	900
		x 32					7,2		1200
		x 40					9,5		1500
		x 50					10,8		1800
ШЛ	32	x 32	128	112	32	80	9,3	27,3	1900
		x 40					11,6		2400
		x 50					14,4		3000
		x 64					18,7		3800
ШЛ	40	x 40	160	140	40	100	14,4	34,2	3700
		x 50					18,0		4700
		x 64					23,0		6000
		x 80					29,0		7500

Таблица 3.3

Коэффициент заполнения окна обмотками k_z для трансформаторов с рабочей частотой 50 Гц

Конфигурация магнитопровода	Суммарная мощность обмоток			
	10–50	50–150	150–300	300–1000
Стержневой	0,18–0,26	0,26–0,30	0,30–0,33	0,30–0,35
Броневой	0,22–0,28	0,28–0,34	0,34–0,36	0,36–0,38

После выбора необходимого сердечника выполняется определение ЭДС одного витка по формуле

$$e_v = 4,44 f S_c B_m \cdot \quad (3.12)$$

При этом частота рабочего тока f задана при расчете трансформатора, а величина B_m выбирается в соответствии с вышеуказанными рекомендациями.

Определяем число витков первичной обмотки:

$$W_1 = \frac{U_1}{e_B}. \quad (3.13)$$

Число витков вторичных обмоток определяется аналогично.

Расчет эксплуатационных характеристик трансформатора. Для полного завершения расчета следует определить фактическое падение напряжения и уточнить число витков первичной и вторичной обмоток, а также найти величину КПД трансформатора и уточнить величину тока в первичной обмотке.

Наиболее важным параметром является ток холостого хода, который определяется следующей формулой:

$$i_{xx} = \frac{U_1}{Z_{xx}} = \frac{U_1}{r_{xx} + jX_{xx}}, \quad (3.14)$$

где r_{xx} , X_{xx} – параметры первичной обмотки и сердечника в режиме холостого хода.

Для определения тока холостого хода необходимо вычисление активного сопротивления и индуктивности первичной обмотки, а также активных сопротивлений, обусловленных активными потерями в магнитопроводе.

Индуктивностью (коэффициентом самоиндукции) называют коэффициент пропорциональности между током и возбуждаемым им потокосцеплением. Если речь идет об отношении потокосцепления одного из двух контуров к силе обуславливающего его тока в другом контуре, то говорят о взаимной индуктивности (коэффициенте взаимной индукции).

Получение расчетных соотношений для индуктивности возможно из следующих соображений, определяющих индуктивность:

$$L = \Psi / I = \omega^2 G_v,$$

где I – ток; Ψ – обусловленное им потокосцепление; ω – число витков; G_v – некоторая величина, являющаяся функцией геометрических размеров системы и имеющая размерность магнитной проводимости.

В контрольной работе предлагается произвести вычисление индуктивности с замкнутым магнитопроводом при заданных значениях количества витков, частоты и параметров сердечника. Расчет индуктивностей катушек с магнитопроводом замкнутой формы осуществляется по общим соотношениям для магнитных цепей, полученных для воздушных катушек и помноженных на коэффициент, учитывающий свойства сердечника и его магнитную проницаемость.

Расчет выполняется в следующей последовательности: определяют геометрические размеры катушки, магнитную проницаемость сердечника, индуктивность и активное сопротивление обмотки, активные потери в сердечнике.

1. Средняя длина витка первичной обмотки:

$$l_{cp1} = 2 \left[\frac{W_1 S_{m1} k_{y1}}{h} + a + b \right], \quad (3.15)$$

где k_{y1} – коэффициент укладки провода первичной обмотки.

2. Длина средней магнитной линии в сердечнике:

$$l_M = (H - h) + (A - a). \quad (3.16)$$

3. Магнитная проницаемость сердечника:

$$\eta_c = \frac{B_m}{\eta_0 H_m}, \quad (3.17)$$

где B_m и H_m – справочные значения, выбранные для эксплуатационных режимов для конкретного типа (табл. 3.5); η_0 – абсолютная магнитная проницаемость $\eta_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.

4. Ориентировочно, без учета потока рассеяния, индуктивность определяется из уравнения

$$L_1 = \frac{\eta_0 \eta_c W_1^2 S_c}{l_M}. \quad (3.18)$$

5. Активное сопротивление обмотки:

$$r_{об1} = \frac{l_{cp1} W_1 \rho_M}{S_{m1}}, \quad (3.19)$$

где ρ_M – удельное сопротивление обмоточного провода, для меди при 20°C $\rho_M = 1,724 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

6. Определяют активное сопротивление цепи намагничивания вызванное потерями в стали:

$$r_M = \frac{U_1^2}{G P_{уд}}, \quad (3.20)$$

где G – вес магнитопровода (табл. 3.3); $P_{уд}$ – удельные потери в электротехнической стали (табл. 3.5).

Таблица 3.5

**Удельные потери при частоте 50 Гц
и магнитная индукция стали в сильных полях**

Марка стали	Толщина листа, мм	Удельные потери $P_{уд}$, Вт/кг, не более, при индукции, Тл			Магнитная индукция B_m , Тл, не менее, при напряженности магнитного поля, А/м		
		1,0	1,5	1,7	100	1000	2500
3311	0,8	4,0	–	–	–	1,75	–
3411	0,35	–	1,75	–	–	–	1,75
	0,20	–	1,50	–	–	1,45	1,70
3412	0,50	–	2,10	–	–	–	1,80
	0,35	–	1,50	–	–	–	1,80
3413	0,35	–	1,30	1,90	1,58	–	1,85
	0,30	–	1,19	1,75	1,58	–	1,85
3414	0,35	–	1,10	1,60	1,60	–	1,88
	0,30	–	1,03	1,50	–	–	1,85
	0,27	–	–	–	–	–	–
3415	0,35	–	0,97	1,40	1,61	–	1,90
	0,30	–	–	–	–	–	–
3404	0,35	–	–	1,60	1,61	–	–
	0,30	–	–	1,50	–	–	–
3405	0,30	–	–	1,40	1,61	–	–
	0,27	–	–	1,38	–	–	–
3406	0,35	–	–	1,43	1,62	–	–
	0,30	–	–	1,33	–	–	–
	0,27	–	–	1,27	–	–	–

7. Определяют комплексное сопротивление трансформатора на холостом ходе:

$$Z_{xx} = \frac{1}{\left[\frac{1}{r_{об1} + j2\pi f L_1} + \frac{1}{r_m} \right]}. \quad (3.21)$$

8. Средняя длина витка вторичной обмотки:

$$l_{cp2} = 2 \left[\frac{2W_1 S_{M1}}{hk_{y1} k_{из}} + a + b + \frac{2W_2 S_{M2}}{hk_{y2} k_{из}} \right], \quad (3.22)$$

где k_{y2} – коэффициент укладки провода вторичной обмотки.

9. Активное сопротивление обмотки:

$$r_{об2} = \frac{l_{cp2} W_2 \rho_M}{S_{M2}}. \quad (3.23)$$

10. Приведенное сопротивление вторичной обмотки:

$$r'_{062} = r_{062} \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2. \quad (3.24)$$

11. Приведенный номинальный ток вторичной обмотки:

$$i'_H = \frac{P_H}{U_1}. \quad (3.25)$$

12. Потери в обмотках трансформатора вызванные протеканием тока нагрузки:

$$P_{об} = (r'_{062} + r_{061}) i_H'^2. \quad (3.26)$$

13. Сумма потерь в трансформаторе под нагрузкой:

$$P_{\Sigma \text{ пот}} = \left(\frac{U_1}{Z_{xx}} \right)^2 r_{061} + \left(\frac{U_1}{r_M} \right)^2 + P_{об} \quad (3.27)$$

(при расчете потерь в трансформаторе необходимо учесть комплексный характер значений).

14. Коэффициент полезного действия трансформатора:

$$\eta = \frac{P_H}{P_{\Sigma \text{ пот}} + P_H}. \quad (3.28)$$

Если найденная при этом величина КПД значительно отличается от предварительно принятой в начале расчета и заданной в задании, то следует изменить диаметр провода, типоразмер сердечника и выполнить расчет заново.

Таблица 3.6

Варианты заданий

Номер варианта	Мощность нагрузки P_H , Вт	Напряжение первичной обмотки U_1 , В	Напряжение вторичной обмотки U_2 , В	Частота питающей сети f , Гц	Марка стали магнитопровода	Коэффициент полезного действия η , %
1	20	110	25	50	3311	65
2	50	220	36	50	3411	65
3	70	380	42	50	3412	70
4	100	110	10	50	3413	70
5	150	220	15	50	3414	75

Номер варианта	Мощность нагрузки $P_{н}$, Вт	Напряжение первичной обмотки U_1 , В	Напряжение вторичной обмотки U_2 , В	Частота питающей сети f , Гц	Марка стали магнитопровода	Коэффициент полезного действия η , %
6	200	380	20	50	3415	75
7	250	110	220	50	3404	80
8	300	220	110	50	3405	80
9	350	380	380	50	3406	85
10	400	110	42	50	3411	85
11	450	220	50	50	3412	85
12	500	380	60	50	3413	85
13	550	110	72	50	3413	85
14	600	220	110	50	3414	90
15	700	380	600	50	3415	90

При выполнении задания рекомендуется использовать справочный материал:

1) Белопольский, И. И. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности / И. И. Белопольский, Л. Г. Пикалова. – Москва–Ленинград : Госэнергоиздат, 1963. – 272 с.;

2) Рогинский, В. Ю. Электропитание радиоустройств / В. Ю. Рогинский. – 2-е изд., переработ. – Ленинград, 1970. – 320 с.;

3) Справочник по электротехническим материалам: в 3 т. / под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1988. – Т. 3. – 728 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие требования к выполнению практических и контрольных работ	3
Задание № 1. Определение эксплуатационных характеристик конденсаторов	4
Задание № 2. Выбор резистора для заданных параметров электрической цепи	9
Задание № 3. Расчет трансформатора	12

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Кухаренко Сергей Николаевич

МАТЕРИАЛЫ И КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

**Методические указания
к контрольным работам по одноименному курсу
для студентов специальности 1-36 04 02
«Промышленная электроника»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор
Компьютерная верстка

С. Н. Санько
М. В. Латицкий

Подписано в печать 19.12.2008 г.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,43.

Изд. № 176.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого».
ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.