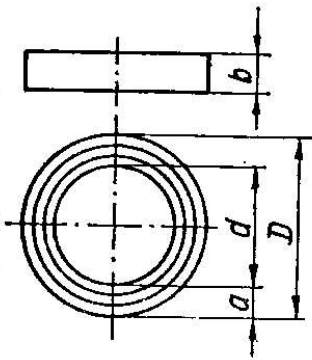


Продолжение табл. 1.7

Обозначение магнитопровода	Размеры мм	Активная площадь сечения магнитопровода $Q_{с.к}$, см ²	Средняя длина магнитной силовой линии $l_{ср}$, см	Сечение стали $\times$ сечение окна $Q_{с.к} \times Q_{ок}$, см ⁴	Активный объем стали $V_{ст}$, см ³	Масса магнитопровода $G_{ст}$, г	Ориентировочная мощность трансформатора (В·А) на частотах, Гц					
	c	b	c	C	H	h	$f_c = 50$ Гц	$f_c = 400$ Гц				
ПЛ20×40 60	20	40	32	72	100	60	24,7	154	175,4	1350	220	980
ПЛ20×40 80	20	40	32	72	120	80	28,7	205	204,0	1550	280	1220
ПЛ20×40 100	20	40	32	72	140	100	32,7	256	232,0	1770	350	1450
ПЛ25×50 65	25	50	40	90	115	65	28,8	325	320,0	2440	420	1840
ПЛ25×50 80	25	50	40	90	130	80	31,8	400	353,0	2700	500	2150
ПЛ25×50 100	25	50	40	90	150	100	35,8	500	397,0	3040	620	2600
ПЛ25×50 120	25	50	40	90	170	120	39,8	600	442,0	3380	740	2800
ПЛ32×64 80	32	64	50	114	144	80	36,0	820	655,4	5000	1000	3500
ПЛ32×64 100	32	64	50	114	164	100	40,0	1025	728,0	5600	1200	4000
ПЛ32×64 130	32	64	50	114	194	130	46,0	1330	837,0	6480	1400	4800
ПЛ32×64 160	32	64	50	114	224	160	52,0	1640	946,0	7250	1750	5600
ПЛ40×80 100	40	80	64	144	180	100	45,8	2050	1296,0	9900	2400	6450
ПЛ40×80 120	40	80	64	144	200	120	49,0	2460	1400,0	10700	2800	7700
ПЛ40×80 160	40	80	64	144	240	160	57,3	3260	1670	12500	3500	9000
ПЛ40×80 200	40	80	64	144	280	200	65,3	4100	1870,0	14300	4200	10000

Таблица 1.8. Типовые торoidalные ленточные магнитопроводы

Обозначение магнитопровода						Справочные величины					Ориентировочная мощность трансформатора (В·А) на частотах, Гц	
	Размеры, мм					Активная площадь сечения магнитопровода, $Q_{с.к}$, см ²	Средняя длина магнитной силовой линии $l_{ср}$, см	Сечение стали $\times$ сечение окна, $Q_{с.к} \times Q_{ок}$, см ⁴	Активный объем магнитопровода $V_{ст}$, см ³	Масса магнитопровода $G_{ст}$, г	$f_c = 50$ Гц	$f_c = 400$ Гц
	d	a	b	b	D							
ОЛ16/26 6,5	16	16	6,5	26	26	0,28	6,5	0,66	1,82	14,2	0,48	7,0
ОЛ16/26 8	16	5	8	26	26	0,35	6,5	0,80	2,28	17,6	0,6	8,8
ОЛ16/26 10	16	16	10	26	26	0,43	6,5	1	2,8	21,6	0,78	10,1
ОЛ16/26 12,5	16	16	12,5	26	26	0,54	6,5	1,36	3,51	27,1	0,92	13,6
ОЛ20/32 8	20	6	8	32	32	0,42	8,1	1,50	3,4	25	1,2	16,9
ОЛ20/32 10	20	6	10	32	32	0,52	8,1	1,86	4,21	32,2	1,4	20,8
ОЛ20/32 12,5	20	6	12,5	32	32	0,65	8,1	2,32	5,26	40,3	1,8	26
ОЛ20/32 16	20	6	16	32	32	0,84	8,1	3	6,8	52	2,3	33,7
ОЛ25/40 10	25	7,5	10	40	40	0,66	10,2	3,67	6,73	51,2	2,9	38
ОЛ25/40 12,5	25	7,5	12,5	40	40	0,82	10,2	4,60	8,36	64	3,7	47
ОЛ25/40 16	25	7,5	16	40	40	1,05	10,2	5,90	10,7	82	4,7	60
ОЛ25/40 20	25	7,5	20	40	40	1,30	10,2	7,35	13,26	102	5,8	75
ОЛ25/40 25	25	7,5	25	40	40	1,64	10,2	9,18	16,73	128	7,3	94
ОЛ32/50 16	32	9,0	16	50	50	1,27	12,8	11,5	16,25	125	9,3	120
ОЛ32/50 20	32	9,0	20	50	50	1,58	12,8	14,4	20,2	156	11,6	149
ОЛ32/50 25	32	9,0	25	50	50	1,98	12,8	18	25,3	194	14,6	187
ОЛ32/50 32	32	9,0	32	50	50	2,54	12,8	23	32,5	249	18,7	240

Обозначение магнитопровода	Размеры, мм	a	d	Справочные величины					Ориентировочная мощность трансформатора (В·А) на частотах, Гц	
				Активная площадь сечения магнитопровода, $Q_{с\sigma}$ см ²	Средняя длина магнитной цепи, см	Сечение стали $\times$ сечение окна, см ²	Активный объем магнитопровода, $V_{ст}$ см ³	Масса магнитопровода $G_{ст}$, г	$f_c = 50$ Гц	$f_c = 400$ Гц
				2,12	16,3	30	34,6	264	24	278
				2,64	16,3	38	43	329	30	364
				3,38	16,3	48	55,1	421	39	444
				4,28	16,3	60	68,9	527	49,5	515
				3,32	20,4	75	67,7	518	58,5	550
				4,25	20,4	94	86,2	663	75	660
				5,31	20,4	118	108	829	93,5	825
				6,64	20,4	148	135	1035	117	1030
				5,10	25,8	187	131,5	1010	148	1300
				6,40	25,8	200	165	1265	186	1630
				8,00	25,8	264	206	1580	233	2040
				10,20	25,8	370	264	2020	293	2300
				8,5	32,6	482	277	2120	340	2500
				10,7	32,6	603	350	2670	428	2650
				13,7	32,6	775	446	3420	548	3340
				17,1	32,6	965	556	4250	685	4170

Таблица 1.9. Оптимальные соотношения размеров для трансформаторов

Конструкция (тип) трансформаторов	Значения								
	при минимальной массе			при минимальном объеме			при минимальной стоимости		
	b/a	c/a	h/a	b/a	c/a	h/a	b/a	c/a	h/a
Стержневая с двумя катушками	1...2	1,5	2,0	1...2	0,5	3,0	2	1,0	1,0
Броневая	1...2	1,0	2,5	1...2	1,0	2,5	2	0,5	1,0
Торондальная	0,4...1,0	2	—	1...2	2,0	—	—	—	—

f_c — частота тока питающей сети, Гц; B_m — амплитуда магнитной индукции, Тл; j — плотность тока в обмотках, А/мм²; k_m и k_c — коэффициенты заполнения медью окна сердечника и сталью площади поперечного сечения стержня магнитопровода.

4. Определяем амплитуду магнитной индукции B_m , КПД трансформатора η и плотность тока в обмотках j . С этой целью используем графики, приведенные на рис. 1.5 и выражающие зависимость указанных параметров от мощности трансформатора $S_{тр}$.

5. Находим коэффициент заполнения медью окна сердечника k_m . Этот коэффициент зависит от диаметра провода обмоток и мощности трансформатора (табл. 1.10, 1.11).

6. Значение коэффициента заполнения сталью сечения сердечника определяем в зависимости от толщины стальных листов или ленты (табл. 1.12).

Таблица 1.10. Значения k_m для некоторых марок проводов при напряжении выше 1000 В

Марка провода	Диаметр провода	k_m	Марка провода	Диаметр провода	k_m
ПЭЛ, ПЭВ, ПЭТ	0,05...0,1	0,15...0,20	ПЭЛШД ПШД ПЭЛБО	0,2...0,5	0,15...0,22
	0,1...0,2	0,18...0,25			
	0,2...0,5	0,22...0,30			
ПЭЛШО	0,5...1,5	0,27...0,35	ПБД ПЭЛБД	0,5...1,5	0,16...0,25
	0,1...0,2	0,12...0,19		1,5...4,5	0,22...0,30
	0,2...0,5	0,17...0,25			

Таблица 1.11. Значения k_m в зависимости от мощности трансформатора

$S_{тр}$, В·А	k_m	
	при $f_c = 50$ Гц	при $f_c = 400$ Гц
15...30	0,22...0,28	0,21...0,25
50...150	0,28...0,34	0,25...0,28
150...300	0,34...0,36	0,28...0,30
300...1000	0,36...0,38	0,30...0,37

Таблица 1.12. Значения коэффициента k_c от толщины листа

Толщина листа, мм	k_c для магнитопроводов	
	пластинчатых	ленточных
0,35...0,5	0,89...0,93	0,95...0,97
0,2...0,35	0,82...0,89	0,93...0,95
0,05...0,1	—	0,75...0,88

7. Используя оптимальные соотношения размеров для трансформаторов (табл. 1.9), определяем ширину стержня магнитопровода

$$a = \sqrt[4]{Q_c Q_0 / x y z}, \quad (1.4)$$

где $x = c/a$; $y = b/a$; $z = h/a$ (табл. 1.9).

Зная значение a и $Q_c Q_0$, по табл. 1.5—1.8 выбираем магнитопровод и выписываем из таблиц все справочные данные, необходимые для дальнейшего расчета (геометрические размеры магнитопровода, его сечение, массу, среднюю длину магнитной силовой линии и др.).

8. Определяем потери в стали

$$P_{ст} = \sigma G_{ст}, \quad (1.5)$$

где σ — удельные потери (Вт/кг), которые зависят от марки стали, толщины пластин или ленты, магнитной индукции и частоты сети (рис. 1.6); $G_{ст}$ — масса стали магнитопровода, кг (определяется из таблиц для заданного типа магнитопровода).

9. Находим ток холостого хода. Для этого необходимо:

а) определить активную составляющую тока холостого хода, потребляемого трансформатором на покрытие потерь в стали (выражается в процентах от номинального тока)

$$i_{а.хол} = (P_{ст} / S_{тр}) \cdot 100; \quad (1.6)$$

Рис. 1.6. Экспериментальные кривые зависимости удельных потерь в стали от магнитной индукции:

a — при частоте 50 Гц для стали Э42 (1) и Э310 (2) и толщине пластин 0,35 мм; b — при частоте 400 Гц для стали Э340 при толщине пластин 0,15 мм

б) вычислить реактивную составляющую тока холостого хода, выраженную в процентах от номинального тока,

$$i_{р.хол} = (q_{ст} G_{ст} / S_{тр}) 100, \quad (1.7)$$

где $q_{ст}$ — удельная намагничивающая мощность (вар/кг), зависящая от марки стали, частоты, конструкции магнитопровода и магнитной индукции (рис. 1.7);

в) найти ток холостого хода, выраженный в процентах от номинального,

$$i_{хол} = \sqrt{i_{а.хол}^2 + i_{р.хол}^2}. \quad (1.8)$$

В формулах (1.6) и (1.7) $S_{тр}$ — полная мощность трансформатора (см. (1.1) и (1.2)), но для автотрансформатора $S_{тр} = S_2$ — полезная мощность.

10. Определяем значение тока первичной обмотки

$$I_1 = S_{тр} / U_1 \eta \cos \varphi_1, \quad (1.9)$$

где $\cos \varphi_1$ — коэффициент мощности (при частоте 50 Гц $\cos \varphi_1 = 0,9 \dots 0,95$; при частоте 400 Гц $\cos \varphi_1 = 0,85 \dots 0,95$; для автотрансформатора $S_{тр} = S_2$ и $\eta \cos \varphi_1 = 0,9 \dots 0,95$).

Абсолютное значение тока холостого хода равно

$$I_{хол} = (i_{хол} / 100) I_1. \quad (1.10)$$

Ток холостого хода $I_{хол}$ в трансформаторах малой мощности обычно составляет 25—40% от номинального значения при частоте 50 Гц и 10—30% при частоте 400 Гц.

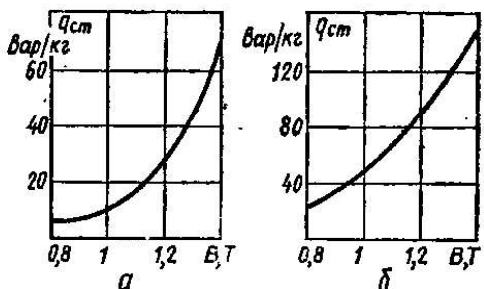
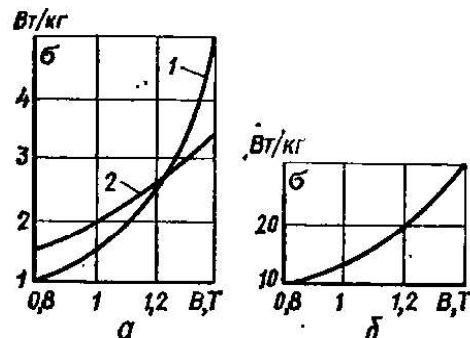


Рис. 1.7. Графики для определения удельной намагничивающей мощности для стали:

a — при частоте 50 Гц для стали Э42 толщиной 0,35 мм; b — при частоте 400 Гц для стали Э340 толщиной 0,15 мм

Если найденный по формуле (1.10) ток холостого хода оказался выше указанных значений, то следует уменьшить магнитную индукцию; если же этот ток оказался меньше указанных значений, то магнитную индукцию следует увеличить и вновь произвести расчет.

11. Находим токи в обмотках трансформатора

$$I_i = S_i / U_i, \quad (1.11)$$

где i — номер обмотки трансформатора; S_i — мощность соответствующей обмотки, В · А; U_i — напряжение обмотки, В.

12. Поперечные сечения проводов обмоток (мм²) определяем по формулам

$$q'_1 = I_1 / j; \quad q'_2 = I_2 / j; \quad q'_3 = I_3 / j \dots, \quad (1.12)$$

где I_1, I_2, I_3 и т. д. — токи в соответствующих обмотках, А; j — плотность тока, определенная ранее по графику рис. 1.5, а, А/мм².

По табл. 1.4 определяем ближайшие к рассчитанным значениям стандартные сечения проводов $q_1, q_2, q_3 \dots$ для всех обмоток и уточняем марку проводов (при напряжении обмоток до 500 В рекомендуется провод ПЭЛ или ПЭВ-1 при токах в обмотках до 5 А и провод ПЭЛБО или ПБД при токах более 5 А; при напряжении обмоток более 500 В целесообразно выбрать провод ПЭВ-2).

Далее необходимо выписать из табл. 1.4 для выбранных проводов каждой обмотки их диаметры с изоляцией (максимальный наружный диаметр $d_1, d_2, d_3 \dots$ [мм] и без нее $d'_1, d'_2, d'_3 \dots$ [мм], а также массу 1 м провода $g_1, g_2, g_3 \dots$ [г].

Действительная плотность тока в обмотках составляет

$$j_1 = I_1 / q_1; \quad j_2 = I_2 / q_2; \quad j_3 = I_3 / q_3 \dots, \quad (1.13)$$

Средняя плотность тока для трансформатора, содержащего n обмоток, равна

$$j = \sqrt[n]{j_1 j_2 \dots j_n}. \quad (1.14)$$

13. Находим амплитуду магнитного потока в магнитопроводе трансформатора Φ [Вб]

$$\Phi = B Q_{с.а} \cdot 10^{-4} = B Q_c k_c 10^{-4}, \quad (1.15)$$

где $Q_{с.а}$ — активное сечение магнитопровода (табл. 1.5—1.8), см².

14. Число витков каждой обмотки определяем по формуле

$$W_i = E_i \cdot 10^4 / 4,44 f \Phi, \quad (1.16)$$

где i — номер обмотки ($i = 1, 2, 3 \dots$); E_i — ЭДС соответствующей обмотки.

При работе трансформатора под нагрузкой на сопротивлениях его обмоток происходит падение напряжения. Поэтому для вычисления ЭДС обмоток необходимо воспользоваться формулой

$$E_i = U_i (1 - \Delta u_i / 100), \quad (1.17)$$

где U_i — напряжение на соответствующей обмотке; Δu_i — процентное падение напряжения на ней.

Ориентировочные значения процентного падения напряжения на первичной Δu_1 и вторичных Δu_2 обмотках в зависимости от мощности трансформаторов (бронзового типа) с напряжением обмоток до 1000 В и температурой перегрева до 50° С приведены на рис. 1.8.

При использовании трансформаторов стержневого типа значения Δu_1 и Δu_2 следует уменьшить на 20—30% по сравнению с приведенными на рис. 1.8.

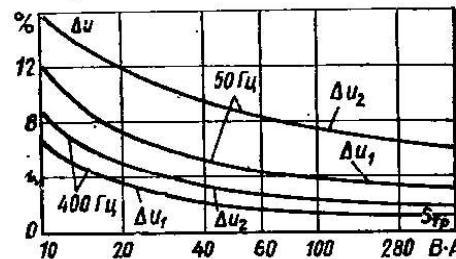


Рис. 1.8. Зависимость процентного падения напряжения в первичной Δu_1 и вторичной Δu_2 обмотках от мощности трансформатора

Переходим к проверке размещения обмоток на магнитопроводе.

15. Составляем эскиз размещения обмоток (рис. 1.9). Обмотки трансформатора укладывают на каркасе из изоляционного материала (электрокартон, гетинакс, пластмасса и др.). Каркас состоит из гильзы, представляющей собой трубку прямоугольного, квадратного или круглого сечения. На концах гильзы укрепляются боковые щеки. Обычно гильза и боковые щеки имеют одинаковую толщину ($\delta_1 = \delta_{щ}$). Ближе к стержню магнитопровода располагают первичную обмотку (толщиной δ_1), а затем вторичную (толщиной δ_2). После намотки каждого ряда укладывается межслойная изоляция, в качестве которой применяется конденсаторная, кабельная или телефонная бумага толщиной 0,01 мм при диаметре провода обмотки менее 0,1 мм, толщиной 0,05 мм при диаметре провода (0,1...0,5) мм и толщиной 0,12 мм при диаметре провода более 0,5 мм (табл. 1.3).

16. Для определения высоты обмотки $h_{об}$ используем формулу

$$h_{об} = h - 2\delta_{щ} - 2\delta_3, \quad (1.18)$$

где h — высота окна магнитопровода, мм; $\delta_{щ}$ — толщина боковой щеки каркаса (обычно $\delta_{щ} = \delta_r = (1...3)$ мм); δ_3 — ширина зазора между щекой каркаса и магнитопроводом, мм (обычно принимают $\delta_3 = (0,5...1)$ мм на сторону).

17. Находим число витков в одном слое каждой обмотки N_i

$$N_i = (h_{об}/k_y d_i) - 1, \quad (1.19)$$

где d_i — диаметр провода данной обмотки с изоляцией, мм; k_y — коэффициент, учитывающий неплотность намотки (обычно принимают $k_y = 1,1...1,15$).

18. Определяем число рядов (слоев) каждой обмотки

$$M_i = W_i/N_i, \quad (1.20)$$

где W_i — число витков рассчитываемой обмотки для броневого трансформатора. Для стержневого трансформатора

$$M_i = W_i/2N_i. \quad (1.21)$$

Между обмотками укладывается изоляционная прокладка из лакоткани или

изоляционной бумаги (табл. 1.3). При напряжении обмоток до 1000 В толщина этой изоляции составляет $\delta_0 = (0,2...0,3)$ мм.

Радиальный размер каждой обмотки подсчитывается по формуле

$$\delta_i = 1,2 M_i d_i, \quad (1.22)$$

где множитель 1,2 учитывает межслойную изоляцию и разбухание обмотки при намотке и пропитке.

19. Определяем радиальный размер всех обмоток с учетом межслойной и межобмоточной изоляции

$$\delta_p = \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n + (n-1)\delta_0, \quad (1.23)$$

где n — число обмоток.

О приемлемости размещения обмоток в окне сердечника судят по величине свободного промежутка между поверхностью последней обмотки до ярма в броне трансформатора

$$\delta_c = c - \delta_3 - \delta_r - \delta_p, \quad (1.24)$$

и между поверхностями наружных обмоток двух стержней в трансформаторе стержневого типа

$$\delta_c = c - 2(\delta_3 + \delta_r + \delta_p), \quad (1.25)$$

где c — ширина окна магнитопровода; δ_3 — зазор между гильзой каркаса и магнитопроводом ($\delta_3 = (0,5...1)$ мм).

Свободный промежуток δ_c должен быть не менее 1...4 мм и не более (5...8) мм в зависимости от мощности трансформатора (чем больше мощность, тем больше δ_c). Таким образом,

$$(1...4) \text{ мм} \leq \delta_c \leq (5...8) \text{ мм}. \quad (1.26)$$

Если условие (1.26) не выполняется, то необходимо произвести новый вариант расчета трансформатора, выбрав другой типоразмер магнитопровода.

20. Находим массу меди каждой обмотки, кг

$$G_{mi} = W_i g_l i \cdot 10^{-3}, \quad (1.27)$$

где i — номер обмотки; W_i — число витков обмотки; g_l — масса одного метра провода, г (табл. 1.4); l_i — средняя длина витка обмотки, м.

Для определения средней длины витков обмоток используется формула (рис. 1.9)

$$l_i = 2(a + b + \pi r_i) 10^{-3}, \quad (1.28)$$

где

$$r_i = \delta_3 + \delta_r + (i-1)\delta_0 + \sum_1 \delta_i - \delta_i/2. \quad (1.29)$$

Масса меди всех обмоток

$$G_{ма} = \sum_{i=1}^n G_{mi}. \quad (1.30)$$

Потери в меди каждой обмотки при температуре провода (100...105) °C составляют

$$P_{mi} = 2,7 j_i^2 G_{mi} [\text{Вт}]. \quad (1.31)$$

где j_i — плотность тока в i -й обмотке, А/мм²; G_{mi} — масса этой обмотки, кг.

Суммарные потери в меди всех обмоток

$$P_{мо} = \sum_{i=1}^n P_{mi}. \quad (1.32)$$

21. Определяем коэффициент полезного действия трансформатора

$$\eta = P/(P + P_{ст} + P_{мо}), \quad (1.33)$$

где $P = S_{тр} \cos \varphi$ — полезная мощность в нагрузке трансформатора (автотрансформатора), Вт.

22. Находим активное сопротивление каждой обмотки трансформатора по формуле

$$R_i = \rho_m l_i W_i / q_i, \quad (1.34)$$

где ρ_m — удельное сопротивление медного провода (при температуре 105 °C $\rho_{105} = 0,0234 \cdot 10^{-6}$ Ом · м); q_i — поперечное сечение провода рассчитываемой обмотки, мм².

23. Находим полное активное сопротивление короткого замыкания, приведенное к первичной обмотке:

для двухобмоточного трансформатора

$$R_k = R_1 + R_2' = R_1 + R_2 (W_1/W_2)^2; \quad (1.35)$$

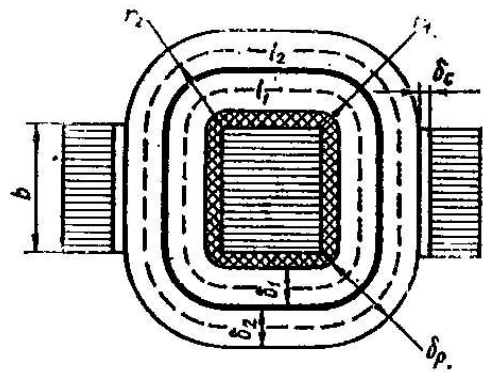
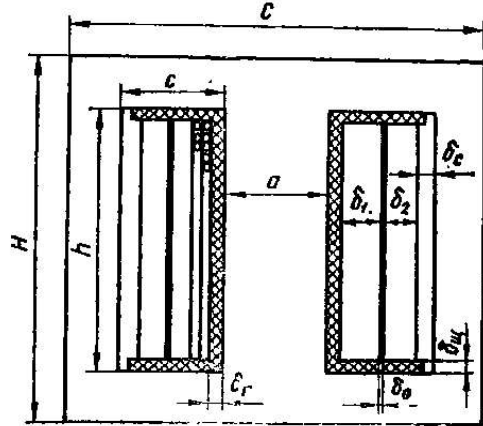


Рис. 1.9. Размещение обмоток на магнитопроводе

для многообмоточного трансформатора полное активное сопротивление I_1 обмотки, приведенное к первичной обмотке,

$$R_{ki} = R_1 + R_i' = R_1 + R_i (W_1/W_i)^2. \quad (1.36)$$

24. Определяем активную составляющую напряжения короткого замыкания, %

$$u_a = (I_1 R_{ki} / U_1) \cdot 100, \quad (1.37)$$

где U_1 и I_1 — номинальные напряжения и ток первичной обмотки.

25. Находим реактивную составляющую короткого замыкания, %

$$u_x = 180 AW \delta' / \sqrt{B_m Q_{c.a}} h_{об} 10^2, \quad (1.38)$$

где AW — средняя магнитодвижущая сила (ампер-витки), равная для двухобмоточного и многообмоточного трансформаторов соответственно

$$AW = \sqrt{(I_1 W_1 + I_2 W_2)^2 / 2 + (I_{хол} W_1)^2}; \quad (1.39)$$

$$AW = \sqrt{(I_1 W_1 + I_2 W_2 + \dots + I_n W_n)^2 / 2 + (I_{хол} W_1)^2}; \quad (1.40)$$

l — средняя длина всех обмоток (м), равная для двухобмоточного и многообмоточного трансформаторов соответственно

$$l = (l_1 + l_2) / 2; \quad (1.41)$$

$$l = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) / n; \quad (1.42)$$

δ' — расчетный зазор для потока рассеяния (мм), равный для двухобмоточного и многообмоточного трансформаторов соответственно

$$\delta' = \delta_0 + (\delta_1 + \delta_2) / 3; \quad (1.43)$$

$$\delta' = [\delta_0 + \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n + (n - 1) \delta_0] / 3; \quad (1.44)$$

v — число стержней несущих обмотки (для броневых трансформаторов $v = 1$; для стержневого $v = 2$); B_m — амплитуда магнитной индукции, Тл; $Q_{c.a}$ — активное сечение магнитопровода, см²; $h_{об}$ — высота обмотки, мм.

Напряжение короткого замыкания (%) равно

$$u_k = \sqrt{u_a^2 + u_x^2}. \quad (1.45)$$

26. Находим процентное падение напряжения в обмотках

$$\Delta u_i = (I_i R_{ki} / u_i) \cdot 100. \quad (1.46)$$

При чисто активной нагрузке ($\cos \varphi = 1$) процентные изменения напряжений вторичных обмоток равны активным составляющим короткого замыкания этих обмоток, определяемым по формуле

$$\Delta u_i = u_{ai} = (I_i R_{ki} / u_i) \cdot 100. \quad (1.47)$$

Найденные значения Δu_i следует сопоставить с теми, которые были определены по рис. 1.8, и при необходимости уточнить число витков обмоток.

27. Определяем температуру перегрева обмоток относительно окружающей среды по формуле

$$\Delta T = (P_{ст} + P_{мо}) / \alpha_T (Q_k + Q_c), \quad (1.48)$$

где α_T — коэффициент теплоотдачи трансформатора (обычно принимают $\alpha_T = (11 \dots 13) \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$); Q_k — поверхность охлаждения обмотки, м²; Q_c — поверхность охлаждения магнитопровода, м².

Для броневых трансформаторов (рис. 1.2)

$$Q_k = 2 h_{об} [a + \pi (c - 4)] \cdot 10^{-6}; \quad (1.49)$$

$$Q_c = 2 [(C + H) b + (C + h) a + hb] \cdot 10^{-6}. \quad (1.50)$$

Таблица 1.13. Электрические параметры трансформаторов питания типа ТПП

Типовый номинал	Номинальная мощность, В · А	Ток первичной обмотки I, А	Напряжение вторичных обмоток, В			Номинальный ток вторичных обмоток, А
			II, II'	III, III'	IV, V	
ТПП201-127/220-50	1,65	0,03	1,25	1,25	0,35	0,29
ТПП202-127/220-50	1,65	0,017	1,24	2,48	0,65	0,188
ТПП203-127/220-50	1,65		2,53	2,51	0,65	0,146
ТПП204-127/220-50	1,65		2,5	5	1,3	0,094
ТПП205-127/220-50	1,65		2,5	10	0,65	0,063
ТПП206-127/220-50	1,65		5	5	1,32	0,073
ТПП207-127/220-50	1,65		5	20	1,3	0,031
ТПП208-127/220-50	1,65		10	10	2,6	0,037
ТПП209-127/220-50	1,65		10	20	5	0,024
ТПП210-127/220-50	3,25	0,045	1,26	1,25	0,35	0,57
ТПП211-127/220-50	3,25	0,025	1,25	2,48	0,35	0,4
ТПП212-127/220-50	3,25		1,26	2,48	0,65	0,37
ТПП213-127/220-50	3,25		2,52	2,5	0,65	0,29
ТПП214-127/220-50	3,25		4	4,3	0,73	0,147
ТПП215-127/220-50	3,25		5	10	1,3	0,1
ТПП216-127/220-50	3,25		10	10	2,6	0,072
ТПП217-127/220-50	3,25		10	20	2,64	0,05
ТПП218-127/220-50	3,25		10	20	5	0,046
ТПП219-127/220-50	5,5	0,071	1,26	1,25	0,35	0,965
ТПП220-127/220-50	5,5	0,041	2,53	2,5	0,66	0,485
ТПП221-127/220-50	5,5		2,48	5	1,32	0,31
ТПП222-127/220-50	5,5		2,48	10	0,66	0,21
ТПП223-127/220-50	5,5		5	5	1,25	0,244
ТПП224-127/220-50	5,5		5	10	2,61	0,156
ТПП225-127/220-50	5,5		10	20	2,57	0,084
ТПП226-127/220-50	5,5		20	20	3,96	0,063
ТПП227-127/220-50	9	0,11	1,25	1,24	0,35	1,57
ТПП228-127/220-50	9	0,062	1,25	2,5	0,67	1,02
ТПП229-127/220-50	9		2,54	2,52	0,68	0,8
ТПП230-127/220-50	9		2,48	5	0,66	0,55
ТПП231-127/220-50	9		2,5	10	2,6	0,3
ТПП232-127/220-50	9		5,04	10	2,63	0,255
ТПП233-127/220-50	9		5	20	1,3	0,17
ТПП234-127/220-50	9		10	10	2,55	0,2
ТПП235-127/220-50	9		10	20	2,57	0,138
ТПП236-127/220-50	9		10	20	5	0,128
ТПП237-127/220-50	9		20	20	4	0,1
ТПП238-127/220-50	14,5	0,175	5	10	1,3	0,445
ТПП239-127/220-50	14,5	0,1	1,24	1,23	0,34	2,55
ТПП240-127/220-50	14,5		1,24	2,5	0,34	1,77
ТПП241-127/220-50	14,5		2,5	2,5	0,62	1,28
ТПП242-127/220-50	14,5		2,46	5	1,28	0,83
ТПП243-127/220-50	14,5		2,46	10	0,68	0,55
ТПП244-127/220-50	14,5		4	6,27	0,74	0,655
ТПП245-127/220-50	14,5	0,175	5	10	2,61	0,415
ТПП246-127/220-50	14,5	0,1	5	20	5	0,24
ТПП247-127/220-50	14,5		10	20	2,58	0,22
ТПП248-127/220-50	14,5		20	20	4	0,165

Типовый номинал	Номинальная мощность, В · А	Ток первичной обмотки, А	Напряжение вторичных обмоток, В			Номинальный ток вторичных обмоток, А
			II, II'	III, III'	IV, V	
ТПП249-127/220-50	22	0,25	1,25	2,51	0,35	2,56
ТПП250-127/220-50	22	0,145	2,5	5	0,63	1,35
ТПП251-127/220-50	22		2,5	10	2,58	0,73
ТПП252-127/220-50	22		5	5	1,32	0,97
ТПП253-127/220-50	22		5	10	2,58	0,61
ТПП254-127/220-50	31	0,34	2,5	5	1,34	1,76
ТПП255-127/220-50	31	0,19	2,5	10	0,72	1,18
ТПП256-127/220-50	31		4	6,3	0,72	1,4
ТПП257-127/220-50	31		5	5	1,35	1,37
ТПП258-127/220-50	31		5	10	2,6	0,88
ТПП259-127/220-50	31		5	20	1,34	0,59
ТПП260-127/220-50	31		10	10	2,5	0,69
ТПП261-127/220-50	31		10	20	2,6	0,47
ТПП262-127/220-50	31		20	20	4,1	0,35
ТПП263-127/220-50	57	0,615	1,28	1,28	0,36	10
ТПП264-127/220-50	57	0,36	2,48	2,45	0,7	5
ТПП265-127/220-50	57		2,45	5	0,69	3,5
ТПП266-127/220-50	57		2,48	10	2,57	1,9
ТПП267-127/220-50	57		5	4,95	1,31	2,52
ТПП268-127/220-50	57		5	10	2,55	1,62
ТПП269-127/220-50	57		5	20	1,33	1,08
ТПП270-127/220-50	57		10	10	2,58	1,25
ТПП271-127/220-50	57		10	20	4,95	0,81
ТПП272-127/220-50	72	0,72	2,5	5	1,35	4,1
ТПП273-127/220-50	72	0,42	1,25	1,25	0,42	12,5
ТПП274-127/220-50	72		1,25	2,5	0,46	8,8
ТПП275-127/220-50	72		2,5	2,5	0,68	6,3
ТПП276-127/220-50	72		2,5	10	0,71	2,73
ТПП277-127/220-50	72		5	5	1,35	3,2
ТПП278-127/220-50	72		5	10	1,35	2,2
ТПП279-127/220-50	72		5	20	5	1,2
ТПП280-127/220-50	72		10	10	2,6	1,6
ТПП281-127/220-50	72		10	20	2,62	1,1
ТПП282-127/220-50	72		20	20	4	0,81
ТПП283-127/220-50	90	0,94	1,25	2,48	0,62	10,2
ТПП284-127/220-50	90	0,55	2,46	5	0,61	5,5
ТПП285-127/220-50	90		2,5	9,95	2,61	3
ТПП286-127/220-50	90		3,9	6,34	0,75	4,1
ТПП287-127/220-50	90		5	10	2,63	2,55
ТПП288-127/220-50	90		5	20	1,32	1,7
ТПП289-127/220-50	90		10	20	5	1,3

1 Числитель дроби — ток при напряжении питания 127 В, знаменатель — при 220 В.

Для стержневого трансформатора (рис. 1.2)

$$Q_k = 2h_{об} [2a + b + 2\pi (c/2 - 2)] \cdot 10^{-6}; \quad (1.51)$$

$$Q_c = 2 [2Ca + b(C + 2a)] \cdot 10^{-6}. \quad (1.52)$$

28. Находим рабочую температуру обмоток

$$T_p = t_{окр} + \Delta T, \quad (1.53)$$

где $t_{окр}$ — температура окружающей среды. Найденное значение T_p не должно превышать предельно допустимую величину, на которую рассчитана изоляция применяемого провода (см. примечания к табл. 1.3 и 1.4). Например, для провода ПЭЛ предельно допустимая температура равна 105°, а для ПЭВ-2 в зависимости от класса и изоляции — 120 и 130 °С.

Для электронной аппаратуры на полупроводниковых приборах выпускаются унифицированные трансформаторы питания типа ТПП, разработанные на основе нормализованных магнитопроводов броневой конструкции (табл. 1.13). Все они рассчитаны на питание от сети с напряжением 127 и 220 В и частотой 50 Гц. Схема трансформаторов типа ТПП приведена на рис. 1.10 [29, с. 140—143].

1.3. Расчет выпрямительных схем

1.3.1. Сравнительная характеристика основных схем выпрямления. Для питания современной электронной аппаратуры наиболее часто применяются выпрямители однофазного переменного тока, работающие в режиме двухполупериодного выпрямления и схемы с удвоением или умножением выпрямленного напряжения (рис. 1.11). Обычно на выходе таких выпрямителей включаются сглаживающие фильтры, начинающиеся с конденсатора, что определяет емкостный характер нагрузки выпрямителя.

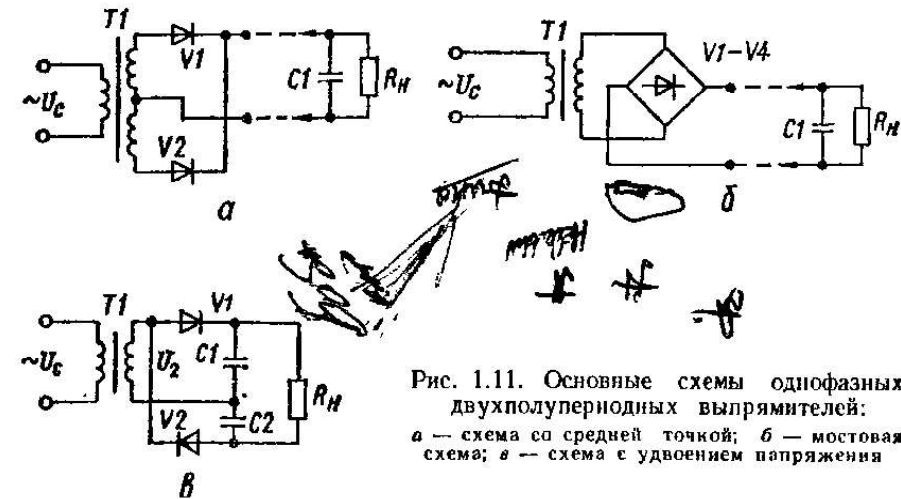


Рис. 1.11. Основные схемы однофазных двухполупериодных выпрямителей:
а — схема со средней точкой; б — мостовая схема; в — схема с удвоением напряжения

Наиболее широкое распространение в выпрямителях находят полупроводниковые вентили — главным образом, кремниевые диоды. Они используются для получения выпрямленных напряжений до 400—500 В при силе тока до нескольких ампер. Полупроводниковые вентили по эксплуатационной надежности и сроку службы значительно превосходят все остальные типы вентиля. Удобнее всего использовать полупроводниковые вентили в мостовой схеме (рис. 1.11, б). Выпрямитель, собранный по этой схеме, обеспечивает двухполупериодное выпрямление и обладает всеми преимуществами схемы со средней точкой. Вместе с тем конструкция выпрямителя упрощается, так как размеры и масса трансформатора уменьшаются вследствие лучшего использования обмоток по току. Кроме того, обратное напряжение на вентиль в мостовой схеме меньше, чем в схеме со средней точкой.