

**ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра радиотехники

Горбатенко В.В.

**«МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СХЕМОТЕХНИКА АНАЛОГОВЫХ И
ЭЛЕКТРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ»**

*СО СТУДЕНТАМИ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ 11.03.01 «РАДИОТЕХНИКА»
ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ.*

Воронеж 2020

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	3
2. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ.....	5
2.1 СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРНАЯ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО УСТРОЙСТВА.....	5
2.2. ПОРЯДОК РАСЧЕТА.....	5
2.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВТОРИЧНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.....	6
2.3.1. Расчет параметрического стабилизатора напряжения.....	6
2.3.2. Расчет выпрямителя.....	8
2.3.3.Схема электрическая принципиальная вторичного источника электропитания.....	17
3.ПРИЛОЖЕНИЯ.....	18
ЛИТЕРАТУРА.....	31

1. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

(№ варианта соответствует порядковому номеру слушателя в учебном журнале на момент времени получения задания)

Таблица 1.1

Варианты заданий по расчету параметрических стабилизаторов напряжения

Вариант	$U_{\text{вых}}, \text{В}$	$\Delta U_{\text{вых}} / \Delta U_{\text{вых макс}}$ В	$I_{\text{н мин}} / I_{\text{н макс}}$ мА	$a_{\text{мин}} / a_{\text{макс}}$	$a_{\text{п}}, 10^{-2}$	$a_{\text{вых}}, 10^{-2}$	$a_{\text{н}}, 10^{-2}$	$a_{\text{п вых}}, 10^{-2}$
0	8	-1/+1	4/5	0,9/1,1	10	0,3	0,4	0,3
1	5,6	-1/+1	5/6	0,95/1,05	9	0,5	0,3	0,3
2	6,8	-1/+1	18/19	0,9/1,1	8	0,6	0,5	0,3
3	7,7	-1/+1	9/10	0,95/1,05	7	0,7	0,6	0,3
4	8,7	-1/+1	8/9	0,9/1,1	6	0,8	0,7	0,4
5	9,7	-1/+1	7/8	0,95/1,05	5	0,9	0,8	0,4
6	11	-1,5/+1,2	7/8	0,9/1,1	4	1,0	0,9	0,4
7	12,7	-1,5/+1,5	20/21	0,95/1,05	3	1,1	1,0	0,4
8	5,6	-0,6/+0,6	20/21	0,9/1,1	2	1,2	1,1	0,5
9	6,8	-1/+1	24/25	0,95/1,05	1	1,3	1,2	0,5
10	8,2	-1/+1	25/26	0,9/1,1	2	1,4	1,3	0,5
11	10	-1,2/+1,2	11/12	0,95/1,05	3	1,5	1,4	0,5
12	12	-1,5/+1,5	12/13	0,9/1,1	4	1,4	1,5	0,6
13	15	-1,6/+1,6	26/27	0,95/1,05	5	1,3	1,6	0,6
14	18	-1,9/+1,9	15/16	0,9/1,1	6	1,2	1,7	0,6
15	22	-2,3/+2,3	16/17	0,95/1,05	7	1,1	1,8	0,6
16	27	-3/+3	17/18	0,9/1,1	8	1,0	1,9	0,7
17	33	-3,5/+3,5	18/19	0,95/1,05	9	0,9	2,0	0,7
18	39	-4/+4	13/14	0,9/1,1	10	0,8	2,1	0,7
19	47	-5/+5	15/16	0,95/1,05	9	0,7	2,2	0,7
20	56	-6/+6	8/9	0,9/1,1	8	0,6	2,3	0,8
21	68	-7/+7	5/6	0,95/1,05	7	0,5	2,4	0,8
22	82	-9/+9	4/5	0,9/1,1	6	0,4	2,5	0,8
23	100	-11/+11	4/5	0,95/1,05	5	0,3	2,0	0,8
24	9	-1/+1	4/5	0,9/1,1	4	0,4	1,8	0,9
25	100	-10/+10	6/7	0,95/1,05	3	0,5	1,6	0,9
26	5,6	-0,6/+0,6	6/7	0,9/1,1	2	0,6	1,4	0,9
27	6,8	-0,7/+0,7	5/6	0,95/1,05	10	0,7	1,2	0,9
28	12	-1/+2	6/7	0,9/1,1	5	0,8	1,0	1,0
29	15	-2/+2	8/9	0,95/1,05	7	0,9	0,5	1,0
30	27	-2,8/+2,8	11/12	0,9/1,1	9	1,0	2,5	1,0

Таблица 1.2
Варианты заданий по расчету выпрямителя

Вариант	$U_0, В$	$P_0, ВА$	$U_1, В$	$f_c, Гц$	$a_{п, 10^{-2}}$	Схема	Критерий оптимальности трансформатора (А - минимальная масса, Б - минимальный объем)
0	E_{BX}	12	220	50	10	рис. 3.11,б	А
1	E_{BX}	10	110	50	9	рис. 3.11,а	Б
2	E_{BX}	15	127	50	8	рис. 3.11,а	А
3	E_{BX}	20	220	50	7	рис. 3.11,б	Б
4	E_{BX}	25	380	50	6	рис. 3.11,б	А
5	E_{BX}	30	110	50	5	рис. 3.11,а	Б
6	E_{BX}	35	127	50	4	рис. 3.11,а	А
7	E_{BX}	40	220	50	3	рис. 3.11,б	Б
8	E_{BX}	45	380	50	2	рис. 3.11,б	А
9	E_{BX}	50	110	50	10	рис. 3.11,а	Б
10	E_{BX}	55	127	50	2	рис. 3.11,а	А
11	E_{BX}	60	220	50	3	рис. 3.11,б	Б
12	E_{BX}	65	380	50	4	рис. 3.11,б	А
13	E_{BX}	70	110	50	5	рис. 3.11,а	Б
14	E_{BX}	75	127	50	6	рис. 3.11,а	А
15	E_{BX}	80	110	50	7	рис. 3.11,б	Б
16	E_{BX}	85	127	50	8	рис. 3.11,б	А
17	E_{BX}	90	220	50	9	рис. 3.11,а	Б
18	E_{BX}	95	380	50	10	рис. 3.11,а	А
19	E_{BX}	100	110	50	9	рис. 3.11,б	Б
20	E_{BX}	105	127	50	8	рис. 3.11,б	А
21	E_{BX}	110	220	50	7	рис. 3.11,а	Б
22	E_{BX}	115	380	50	6	рис. 3.11,а	А
23	E_{BX}	120	110	50	5	рис. 3.11,б	Б
24	E_{BX}	125	127	50	4	рис. 3.11,б	А
25	E_{BX}	130	220	50	3	рис. 3.11,а	Б
26	E_{BX}	135	380	50	2	рис. 3.11,а	А
27	E_{BX}	140	110	50	10	рис. 3.11,б	Б
28	E_{BX}	145	127	50	5	рис. 3.11,б	А
29	E_{BX}	150	220	50	7	рис. 3.11,а	Б
30	E_{BX}	155	380	50	9	рис. 3.11,а	А

2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВТОРИЧНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

2.1. Схема электрическая структурная разрабатываемого устройства

В соответствии с вариантом №0 источник электропитания должен обеспечить два номинала постоянного напряжения. Одно из этих напряжений стабилизируется с помощью параметрического стабилизатора напряжения. Для решения поставленной задачи выбираем следующее построение схемы электрической структурной разрабатываемого устройства, рис.2.1.

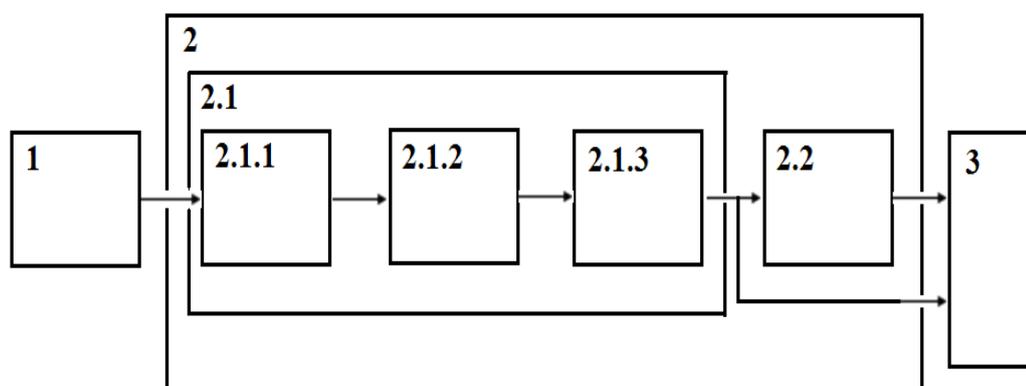


Рис. 2.1. Схема электрическая структурная источника постоянного тока. 1. Сеть; 2. Вторичный источник электропитания; 2.1. Выпрямитель; 2.1.1. Силовой трансформатор; 2.1.2. Схема выпрямления; 2.1.3. Сглаживающий фильтр; 2.2. Параметрический стабилизатор напряжения; 3. Нагрузки.

2.2. Порядок расчета

Расчет источника питания начинаем с анализа требований технического задания к параметрам напряжений и токов для заданных нагрузок. Далее, расчет производится в следующем порядке: стабилизатор, выпрямитель с фильтром, трансформатор. Если требуемые параметры постоянного напряжения могут быть обеспечены без стабилизатора напряжения, расчет следует начинать с выпрямителя. Входные параметры получаемые на соответствующих этапах расчета служат исходными данными для следующего этапа расчета.

2.3. Электрический расчет вторичного источника электропитания

2.3.1. Расчет параметрического стабилизатора напряжения

Вариант 0

Исходные данные:

- 1) $U_{\text{ВЫХ}}$ - номинальное выходное напряжение;
- 2) $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ - максимальное допустимое отклонение выходного напряжения от номинала;
- 3) $I_{\text{Н макс}}$ - максимальное значение тока нагрузки;
- 4) $I_{\text{Н мин}}$ - минимальное значение тока нагрузки;
- 5) Изменения входного напряжения, где $E_{\text{ВХ}}$ – номинальное значение входного напряжения параметрического стабилизатора

$$\text{а) } a_{\text{мин}} = \frac{E_{\text{ВХ мин}}}{E_{\text{ВХ}}}; \quad \text{б) } a_{\text{макс}} = \frac{E_{\text{ВХ макс}}}{E_{\text{ВХ}}};$$

- 6) коэффициент пульсации на входе стабилизатора

$$a_{\text{П}} = \frac{U_{\text{МП}}}{E_{\text{ВХ}}},$$

где $U_{\text{МП}}$ - амплитуда переменной составляющей на входе стабилизатора;

$$7) a_{\text{ВЫХС}} = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХС}}}{U_{\text{ВЫХ}}} \text{ — максимально допустимая относительная}$$

нестабильность выходного напряжения при изменении входного напряжения в заданных пределах;

$$8) a_{\text{Н}} = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХН}}}{U_{\text{ВЫХ}}} \text{ — максимально допустимая нестабильность выходного}$$

напряжения, обусловленная изменением тока нагрузки в заданных пределах;

- 9) $K_{\text{П ВЫХ}}$ - максимально допустимый коэффициент пульсации на выходе стабилизатора.

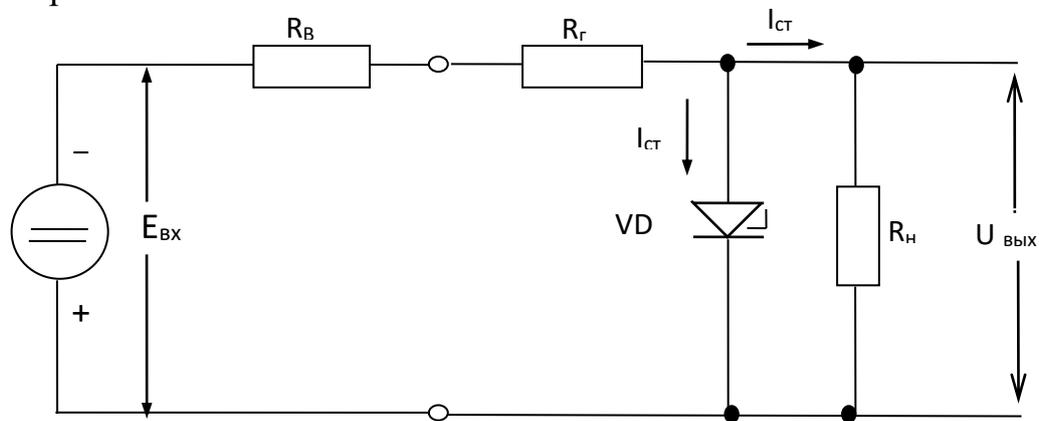


Рис. 2.2. Схема параметрического стабилизатора к примеру расчета

Рассчитаем схему стабилизатора, приведенную на рис. 2.2.

Численные значения исходных данных:

$$U_{\text{ВЫХ}} = 8 \text{ В}; \Delta U_{\text{ВЫХ}} = \pm 1,0 \text{ В}; I_{\text{Н макс}} = 5 \text{ мА}; I_{\text{Н мин}} = 3 \text{ мА}; a_{\text{мин}} = 0,9; a_{\text{макс}} = 1,1; a_{\text{П}} = 0,1; a_{\text{ВЫХ.с}} = \pm 0,3 \cdot 10^{-2}; a_{\text{Н}} = 0,4 \cdot 10^{-2} = 0,4\%; a_{\text{П ВЫХ}} \leq 0,3 \cdot 10^{-2}.$$

1. Исходя из заданных параметров, выбираем схему однокаскадного стабилизатора с одним стабилитроном.

Выбираем по справочным данным стабилитрон Д 814 А, для которого $U_{ст} = 7,75 \pm 0,75$ В; при этом $U_{ст\ мин} = 7$ В;

$$U_{ст\ макс} = 8,5 \text{ В}; \Delta U_{вых\ мин} = 1 \text{ В}; \Delta U_{вых\ макс} = 0,5 \text{ В}.$$

2. Допустимое выходное сопротивление стабилизатора

$$R_{вых\ доп} = \frac{a_n U_{вых}}{I_{н\ макс} - I_{н\ мин}} = \frac{0,4 \cdot 10^2 \cdot 8}{(5-3) \cdot 10^{-3}} = 16 \text{ (Ом)}.$$

3. С учетом требования $I_{ст\ мин} \geq I_{ст\ мин\ доп}$ определяем режим работы стабилизатора при котором суммарное дифференциальное сопротивление стабилизатора меньше $R_{вых\ доп}$. Выбираем $I_{ст\ мин} = 5$ мА.

Для этого тока из характеристик стабилитрона Д 814 А или по справочным данным определяем $R_{д\sim} = 6$ Ом.

4. Определяем минимально необходимое значение коэффициента стабилизации:

$$K_{ст\ доп} = \frac{(1 - a_{мин})}{a_{вых}} = \frac{1 - 0,9}{0,3 \cdot 10^{-2}} \approx 33,3.$$

5. Максимальный возможный коэффициент стабилизации:

$$K_{ст\ макс} = \frac{U_{вых} (a_{мин} - a_{п})}{R_d (I_{н\ макс} + I_{ст\ мин})} = \frac{8(0,9 - 0,1)}{6(5 + 5) \cdot 10^{-3}} \approx 106,7.$$

Примечание: Обычно значение $K_{ст\ доп} \approx (0,5 \div 0,8) K_{ст\ макс}$, в противном случае однокаскадная схема стабилизации не используется и следует использовать двухкаскадную или мостовую схемы параметрических стабилизаторов.

6. Необходимое входное напряжение стабилизатора:

$$E_{вх} \geq \frac{\frac{U_{вых\ макс}}{(a_{мин} - a_{п})}}{1 - \frac{K_{ст\ доп}}{K_{ст\ макс}}} = \frac{\frac{8,5}{0,8}}{1 - \frac{33,3}{106,7}} \approx 15,4 \text{ (В)}.$$

Выбираем $E_{вх} = 24$ В.

7. Внутреннее сопротивление источника питания (выпрямителя):

$$R_B = (0,1 \div 0,15) \frac{E_{вх}}{I_{н\ макс} + I_{ст\ мин}} = \frac{0,1 \cdot 24}{(5 + 5) \cdot 10^{-3}} = 240 \text{ (Ом)}.$$

8. Определяем величину гасящего сопротивления

$$R'_r = \frac{E_{вх} (a_{мин} - a_n) - U_{вых\ макс}}{I_{н\ макс} + I_{ст\ мин}} - R_B = \frac{24(0,9 - 0,1) - 8,5}{(5 + 5) \cdot 10^{-3}} - 240 \approx 830 \text{ (Ом)}.$$

Выбираем резистор с допуском $\pm 5\%$ $R'_r = 820 \text{ Ом} \pm 5\%$; $R'_{г\ мин} = 779$ Ом; $R'_{г\ макс} = 861 \text{ Ом}$.

Определяем максимальное значение мощности рассеяния резистора R'_r

$$P_R = R'_{г\ макс} (I_{ст\ макс} + I_{н\ мин}) = 861 [(19 + 3) 10^{-3}]^2 = 0,417 \text{ (В}\cdot\text{А)}.$$

Выбираем резистор и его тип

$$R'_r - \text{С2-1-0,5-820 Ом} \pm 5\%$$

9. Уточняем коэффициент стабилизации, с учетом того, что $R_r = R'_r + R_B$:

$$K_{ст} = \frac{R'_r \cdot U_{вых}}{R_d \cdot E_{вх}} = \frac{(820 + 240) \cdot 8}{6 \cdot 24} = 58,9.$$

10. Коэффициент сглаживания пульсации:

$$q_{сгл} = \frac{R'_r \cdot U_{вых}}{R_d \cdot E_{вх}} = \frac{820 \cdot 8}{6 \cdot 24} = 45,6.$$

11. Относительная амплитуда (коэффициент) пульсации напряжения на выходе стабилизатора:

$$a_{н\text{вых}} = \frac{100 a_n}{q_{сгл}} = \frac{100 \cdot 0,1}{45,6} \approx 0,22(\%).$$

12. Уточняем минимальное значение тока стабилитрона

$$I_{ст\text{мин}} = \frac{E_{вх}(a_{\text{мин}} - a_n) - U_{\text{выхмакс}}}{R'_{г\text{макс}} + R_g} - I_n = \frac{24(0,9 - 0,1) - 8,5}{(861 + 240) \cdot 10^{-3}} - 5 \cdot 10^{-3} \approx 4,72 \text{ (мА)},$$

что достаточно близко к выбранному значению.

13. Максимальный ток стабилитрона

$$I_{ст\text{макс}} = \frac{E_{вх} a_{\text{макс}} - U_{\text{выхмин}}}{R'_{г\text{мин}} + R_g} - I_{\text{нмин}} = \frac{24 \cdot 1,1 - 7}{(779 + 240) \cdot 10^{-3}} - 3 \cdot 10^{-3} \approx 19,0 \text{ (мА)},$$

так как для стабилитрона Д 814 А при $T_{\text{макс}} = 50^\circ\text{C}$; $I_{ст\text{макс}} = 40 \text{ мА}$, то выбранный режим работы стабилитрона допустим.

14. Определяем входные токи:

$$\text{максимальный} \text{ — } I_{вх\text{макс}} = I_{ст\text{макс}} + I_{\text{нмин}} = 19 + 3 = 22 \text{ (мА)},$$

$$\text{и номинальный} \text{ — } I_{вх} = \frac{E_{вх} - U_{\text{вых}}}{R'_r + R_B} = \frac{(24 - 8) \cdot 10^3}{820 + 240} = 15,1 \text{ (мА)}.$$

15. Определяем максимальное и номинальное значение входной мощности выпрямителя:

$$P_{вх\text{макс}} = I_{вх\text{макс}} \cdot E_{вх} a_{\text{макс}} - I_{вх\text{макс}}^2 R_B = 12,2 \cdot 10^{-3} \cdot 24 \cdot 1,1 - (12,2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 240 = 0,47 \text{ (В} \cdot \text{А)}$$

$$P_{вх} = I_{вх} E_{вх} - I_{вх}^2 R_B = 15,1 \cdot 10^{-3} \cdot 24 - (15,1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 240 = 0,31 \text{ (В} \cdot \text{А)}.$$

16. Номинальный и минимальный КПД:

$$\eta_{ст\text{ном}} = \frac{I_n U_{\text{выхном}}}{P_{вх}} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 8}{0,31} \approx 0,13;$$

$$\eta_{ст\text{мин}} = \frac{I_n U_{\text{выхмин}}}{P_{вх\text{макс}}} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 7}{0,47} \approx 0,074.$$

2.3.2. Расчет выпрямителя

Вариант 0

Рассчитаем схему выпрямителя, изображенную на рис. 2.3.

Исходные данные:

- 1) номинальное напряжение сети: $U_1 = 220 \text{ В}$;
- 2) критерий оптимальности трансформатора: минимальная масса;
- 3) частота тока питающей сети: $f_c = 50 \text{ Гц}$;

- 4) номинальное выпрямленное напряжение: $U_0 = E_{\text{вх}} = 24 \text{ В}$ (где $E_{\text{вх}}$ - входное напряжение параметрического стабилизатора напряжения);
 5) выходная мощность: $P_0 = U_0 \cdot I_0 = 12 \text{ Вт}$;
 6) номинальный ток нагрузки: $I_0 = P_0 / U_0 = 0,5 \text{ А}$;
 7) относительное отклонение напряжения сети в сторону повышения: $a_{\text{сmax}} = 0,1$;

$$a_{\text{сmax}} = \left| \frac{U_1 - U_{1\text{max}}}{U_1} \right| = |1 - \alpha_{\text{max}}| = 0,1, \text{ где } U_{1\text{max}} - \text{максимальное напряжение сети};$$

- 8) коэффициент пульсации: $a_{\text{п}} = 0,1$

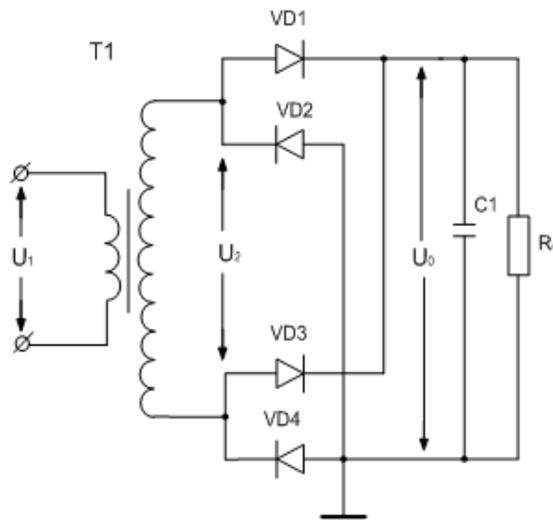


Рис. 2.3. Мостовая схема выпрямителя

1. Схема, изображенная на рис. 2.3, является мостовой.
2. Для мостовой схемы $B = 1$ и $D = 2,15$. По табл. 3.10 определяем:
 $I_{\text{пр ср}} = 0,5 \cdot I_0 = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ (А)}$;
 $I_{\text{пр}} = D \cdot I_0 = 0,5 \cdot 2,15 = 1,075 \text{ (А)}$;
 $U_{\text{обр}} = U_{\text{o max}} \cdot 1,41 = 26,4 \cdot 1,41 = 37,2 \text{ (В)}$,

где $U_{\text{o max}}$ — максимальное значение выпрямленного напряжения, вычисляем по формуле

$$U_{\text{o max}} = U_0(1 + a_{\text{сmax}}) = 24(1 + 0,1) = 26,4 \text{ (В)}.$$

3. По справочнику выбираем выпрямительный диод, удовлетворяющий следующим требованиям:

$$U_{\text{обр max}} > U_{\text{обр}} = 37,2 \text{ (В)},$$

$$I_{\text{пр ср max}} > I_{\text{пр ср}} = 0,25 \text{ (А)},$$

$$1,57 I_{\text{пр ср max}} > I_{\text{пр}} = 1,07 \text{ (А)}.$$

Этим параметрам соответствует диод Д229Ж, у которого $U_{\text{обр max}} = 100 \text{ В}$;
 $I_{\text{пр ср max}} = 0,7 \text{ А}$; $1,57 I_{\text{пр ср max}} = 1,90 \text{ А}$.

4. По табл. 3.17 находим $U_{\text{пр}} = 1 \text{ (В)}$, тогда сопротивление вентиля в прямом направлении

$$r_{\text{пр}} = U_{\text{пр}} / I_{\text{пр ср max}} = 1 / 0,7 = 1,4 \text{ (Ом)}.$$

5. Определяем активное сопротивление обмоток трансформатора

$$r_{\text{тр}} \approx \left(k_r U_0 \sqrt[4]{v f_c B_m / (U_0 I_0)} \right) / (I_0 f_c B_m),$$

для мостовой схемы $k_r = 3,5$, частота питающего напряжения $f_c = 50$ Гц.

По рис. 1.5 определяем, что мощности трансформатора 12 Вт соответствует амплитуда магнитной индукции $B_m = 1,12$ Тл. Для броневого сердечника $v = 1$.

Тогда

$$r_{\text{тр}} \approx \left(3,5 \cdot 24 \sqrt[4]{1 \cdot 50 \cdot 1,12 / (24 \cdot 0,5)} \right) / (0,5 \cdot 50 \cdot 1,12) \approx 4,4 \text{ (Ом)}.$$

6. Индуктивность рассеяния обмоток трансформатора определяем по формуле:

$$L_s = k_L v U_0 / (p-1)^2 I_0 f_c B_m \sqrt[4]{v f_c B_m / (U_0 I_0)}.$$

Для мостовой схемы $k_L = 5 \cdot 10^{-3}$. Так как вторичная обмотка наматывается после первичной, то $p = 2$.

Тогда

$$L_s = (5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 24) / \left[(2-1)^2 \cdot 0,5 \cdot 50 \cdot 1,12 \sqrt[4]{1 \cdot 50 \cdot 1,12 / (24 \cdot 0,5)} \right] \approx 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)}.$$

7. Определяем активное сопротивление фазы выпрямителя. По таблице 3.16 находим:

$$r = r_{\text{тр}} + 2r_{\text{пр}} = 4,4 + 2 \cdot 1,4 \approx 7,2 \text{ (Ом)}.$$

Тогда угол φ , характеризующий соотношение между индуктивным и активным сопротивлением фазы выпрямителя,

$$\varphi = \arctg[(2\pi f_c L_s) / r] = \arctg[(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3}) / 7,2] = \arctg 0,126 \approx 7,2^\circ.$$

8. Далее находим основной расчетный коэффициент

$$A = I_0 \pi r / (m U_0),$$

где m — число фаз выпрямителя (для мостовой схемы $m = 2$);

$$A = 0,5 \pi 7,2 / (2 \cdot 24) = 0,24.$$

9. По найденному значению $A = 0,24$ и углу $\varphi = 7,2^\circ$ определяем вспомогательные коэффициенты B , D , F и H из рис. 3.12 и рис. 3.13:

$$B = 1,03; D = 2,14; F = 5,9; H = 375.$$

10. Зная коэффициенты B , D и F , находим по табл. 3.10 необходимые параметры трансформатора и вентиля:

$$U_2 = U_0 B = 24 \cdot 1,03 = 24,7 \text{ (В)};$$

$$I_2 = 0,707 \cdot D \cdot I_0 = 0,707 \cdot 2,14 \cdot 0,5 = 0,75 \text{ (А)};$$

$$S_2 = 0,707 \cdot B \cdot D \cdot P_0 = 0,707 \cdot 1,03 \cdot 2,14 \cdot 12 = 18,7 \text{ (В} \cdot \text{А)};$$

$$S_1 = 0,707 \cdot B \cdot D \cdot P_0 = 0,707 \cdot 1,03 \cdot 2,14 \cdot 12 = 18,7 \text{ (В} \cdot \text{А)};$$

$$P_{\text{габ}} = 0,707 \cdot B \cdot D \cdot P_0 = 0,707 \cdot 1,03 \cdot 2,14 \cdot 12 = 18,7 \text{ (В} \cdot \text{А)};$$

$$U_{\text{обр}} = 1,41 \cdot B \cdot U_0 = 1,41 \cdot 1,03 \cdot 24 = 34,8 \text{ (В)};$$

$$I_{\text{прер}} = 0,5 \cdot I_0 = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ (А)};$$

$$I_{\text{пр}} = D \cdot I_0 = 2,14 \cdot 0,5 = 1,07 \text{ (А)};$$

$$I_{\text{прм}} = 0,5 \cdot F \cdot I_0 = 0,5 \cdot 5,9 \cdot 0,5 = 1,47 \text{ (А)}.$$

По уточненным значениям $U_{обр}$, $I_{прср}$, $I_{пр}$ проверяем правильность выбора вентиляей:

$$U_{обр \max} = 100 \text{ В} > U_{обр} = 34,8 \text{ В};$$

$$I_{прср \max} = 0,7 \text{ А} > I_{пр.ср} = 0,25 \text{ А};$$

$$1,57 I_{прср \max} = 1,1 \text{ А} > I_{пр} = 1,07 \text{ А}.$$

11. Величину емкости, нагружающей выпрямитель, находим по формуле

$$C1 = 100H / (r a_{п}) = 100 \cdot 375 / (7,2 \cdot 10) \approx 500 \text{ (мкФ)}.$$

12. Напряжение холостого хода выпрямителя равно

$$U_{охх} = U_{2m} = \sqrt{2} U_2 = \sqrt{2} \times 24,7 \approx 35 \text{ (В)}.$$

13. Наибольшее выпрямленное напряжение на выходе выпрямителя определяем при максимальном напряжении

$$U_{охх \max} = U_{охх} (1 + \alpha_{\max}) = 35 (1 + 0,1) \approx 38,5 \text{ (В)}.$$

14. Таким образом, емкость конденсатора $C1$ должна быть не менее 500 мкФ, а номинальное напряжение не менее 38,5 В. Например, электролитический конденсатор К50- 68-1000 мкФ×63 В - 10% +50%.

15. Находим КПД выпрямителя, для этого необходимо определить:

- потери мощности в вентилях:

$$P_v = I_{пр} \cdot U_{пр} \cdot 4 = 1,07 \cdot 1 \cdot 4 = 4,28 \text{ (Вт)};$$

- потери мощности в трансформаторе:

$$P_{тр} = P_{габ} (1 - \eta_{тр}) = 18,7 (1 - 0,8) = 3,74 \text{ (Вт)}.$$

Тогда КПД выпрямителя:

$$\eta = P_0 / (P_0 + P_{тр} + P_v) = 12 / (12 + 3,74 + 4,28) = 0,6.$$

16. Определяем суммарную мощность вторичных обмоток для трансформатора

$$S_{тр} = S_2 = 18,7 \text{ (В} \cdot \text{А)}.$$

17. В соответствии с табл. 3.1÷3.6 выбираем:

- конфигурация магнитопровода - пластинчатый броневой;

- марка стали - Э42;

- толщина пластины - 0,35 мм.

18. Из графика 3.5 находим

- амплитуда магнитной индукции $B_m = 1,15 \text{ Тл}$;

- КПД трансформатора $\eta = 0,78$;

- плотность тока в обмотках $j = 3,95 \text{ А/мм}^2$.

19. Из табл. 3.7÷3.9 находим:

- коэффициент заполнения медью окна сердечника $k_m = 0,25$;

- коэффициент заполнения сталью сечения сердечника $k_c = 0,9$.

20. Находим основной расчетный параметр трансформатора - произведение $Q_c \cdot Q_o$:

$$Q_c \cdot Q_o = [(1 + \eta)/\eta] [(S_{тр} \cdot 10^2) / (4,44 f_c B_m j k_c k_m)] = [(1 + 0,78)/0,78] [(18,7 \cdot 10^2) / (4,44 \cdot 50 \cdot 1,15 \cdot 3,95 \cdot 0,25 \cdot 0,9)] \approx 18,8 \text{ (см}^4\text{)}.$$

21. Используя оптимальные соотношения размеров для трансформатора (табл. 3.6) минимальной массы, определяем ширину стержня магнитопровода:

$$a = \sqrt[4]{Q_c \cdot Q_o / (x \cdot y \cdot z)} = \sqrt[4]{18,8 / (1 \cdot 1 \cdot 2,5)} \approx 1,6 \text{ см} = 16 \text{ мм}$$

$$x = c/a = 1,0;$$

$$y = b/a = 1,0;$$

$$z = h/a = 2,5.$$

22. Учитывая, что $a = 16 \text{ мм}$, а $Q_c \cdot Q_o = 18,7 \text{ см}^4$, по табл. 3.5 выбираем:

- магнитопровод Ш16 х 16;

- размеры: $a = 16 \text{ мм}$; $h = 40 \text{ мм}$; $c = 16 \text{ мм}$; $C = 64 \text{ мм}$, $H = 56 \text{ мм}$, $b = 16 \text{ мм}$.

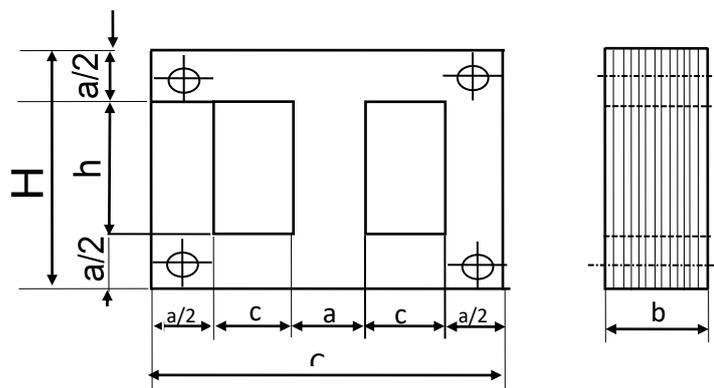


Рис 2.4. Основные размеры выбранного магнитопровода

- активная площадь сечения среднего стержня $Q_{ca} = 2,33 \text{ см}^2$;
- средняя длина магнитной силовой линии $l_{cp} = 13,7 \text{ см}$;
- сечение стали x сечение окна $Q_c \cdot Q_o = 16,6 \text{ см}^2$;
- активный объем магнитопровода $V_{ст} = 32 \text{ см}^3$;
- масса магнитопровода $G_{ст} = 260 \text{ г}$;
- ориентировочная мощность трансформатора - 20 В · А.

23. Определяем потери в стали:

- по рис. 1.6 находим удельные потери $\sigma = 1,8 \text{ Вт/кг}$;
- потери в стали $P_{ст} = \sigma \cdot G_{ст} = 1,8 \cdot 0,26 = 0,47 \text{ (Вт)}$.

24. Находим ток холостого хода. Для этого определяем:

а) активную составляющую тока холостого хода, потребляемого трансформатором на покрытие потерь в стали и выраженного в процентах от номинального тока:

$$i_{a \text{ хол}} = (P_{ст} / S_{cp}) \cdot 100 = (0,47 / 18,7) \cdot 100 \approx 2,5 \text{ (\%)};$$

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

$$i_{p \text{ хол}} = (g_{ст} G_{ст} / S_{cp}) \cdot 100 = (19 \cdot 0,26 / 18,7) \cdot 100 \approx 26,4 \text{ (\%)},$$

где $g_{ст}$ - удельная намагничивающая мощность (по рис. 3.4 можно определить $g_{ст} = 19 \text{ Вар/кг}$);

в) тогда ток холостого хода, выраженный в процентах от номинального:

$$i_{хол} = \sqrt{i_{а хол}^2 + i_{р хол}^2} = \sqrt{2,5^2 + 26,4^2} \approx 28,5 (\%).$$

25. Определяем значение тока первичной обмотки:

$$I_1 = S_{тр} / (U_1 \eta \cos \varphi_1) = 18,7 \cdot \frac{1}{220 \cdot 0,78 \cdot 0,9} \approx 0,121 (\text{А}),$$

где коэффициент мощности $\cos \varphi_1 \approx 0,9$.

Абсолютное значение тока холостого хода равно

$$I_{хол} = (i_{хол}/100) I_1 = (28,5/100) 0,121 \approx 0,03 (\text{А}),$$

т.е. ток $I_{хол}$ составляет 28,5% от номинального, поэтому магнитную индукцию изменять не следует.

26. Находим токи в обмотках трансформатора:

$$I_2 = \frac{S_2}{U_2} = \frac{18,7}{24,7} = 0,75 (\text{А}).$$

27. Поперечные сечения проводов обмоток определяем по формулам:

$$q_1' = \frac{I_1}{j} = \frac{0,121}{3,9} \approx 0,031 (\text{мм}^2);$$

$$q_2' = \frac{I_2}{j} = \frac{0,75}{3,9} \approx 0,19 (\text{мм}^2).$$

По табл. 3.6 определяем стандартные сечения проводов, ближайшие к рассчитанным значениям:

$$q_1 = 0,02545 \text{ мм}^2;$$

$$q_2 = 0,1735 \text{ мм}^2.$$

Далее из табл. 3.6 выписываем:

для обмотки 1:

- марка провода ПЭЛ;

- номинальный диаметр провода по меди $d_1' = 0,18 \text{ мм}$;

- масса одного метра медного провода $g_1 = 0,226 \text{ г}$;

- максимальный наружный диаметр $d_1 = 0,2 \text{ мм}$;

для обмоток 2:

- марка провода ПЭЛ;

- номинальный диаметр провода по меди $d_2' = 0,47 \text{ мм}$;

- масса одного метра медного провода $g_2 = 1,54 \text{ г}$;

- максимальный наружный диаметр $d_2 = 0,52 \text{ мм}$.

Действительная плотность тока в обмотках составляет:

$$j_1 = \frac{I_1}{q_1} = \frac{0,089}{0,02545} \approx 3,49 (\text{А/мм}^2);$$

$$j_2 = j_3 = \frac{I_2}{q_2} = \frac{I_3}{q_3} = \frac{0,6}{0,1735} \approx 3,46 \text{ (А/мм}^2\text{)}.$$

Средняя плотность тока для трансформатора:

$$j_{cp} = \sqrt[3]{j_1 \cdot j_2 \cdot j_3} \approx 3,47 \text{ (А/мм}^2\text{)}.$$

28. Находим амплитуду магнитного потока в магнитопроводе трансформатора

$$\Phi = B_m \cdot Q_{ca} \cdot 10^{-4} = 1,15 \cdot 2,33 \cdot 10^{-4} \approx 2,67 \cdot 10^{-4} \text{ (Вб)}.$$

29. По рис. 3.5 находим ориентировочные значения процентного падения напряжения на первичной Δu_1 и вторичных Δu_2 и Δu_3 обмотках в зависимости от мощности трансформатора:

$$\Delta u_1 = 9,5\%;$$

$$\Delta u_2 = \Delta u_3 = 14\%;$$

Поэтому ЭДС обмоток можно вычислить по формуле:

$$E_1 = U_1 (1 - \Delta u_1 / 100) = 220 (1 - \frac{9,5}{100}) \approx 199 \text{ (В)};$$

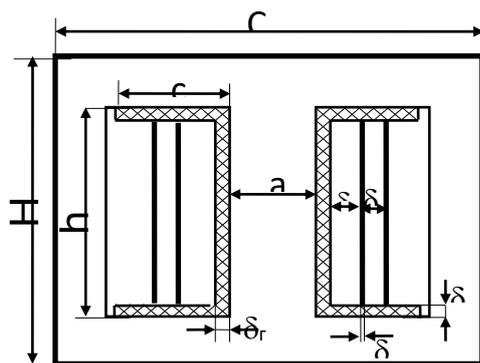
$$E_2 = U_2 (1 - \Delta u_2 / 100) = 24,7 (1 - \frac{14}{100}) \approx 21,2 \text{ (В)}.$$

Число витков каждой обмотки определяем по формуле:

$$W_1 = E_1 / (4,44 \cdot f_c \cdot \Phi) = 199 / (4,44 \cdot 50 \cdot 2,67 \cdot 10^{-4}) \approx 3434 \text{ (витка)},$$

$$W_2 = E_2 / (4,44 \cdot f_c \cdot \Phi) = 21,2 / (4,44 \cdot 50 \cdot 2,67 \cdot 10^{-4}) \approx 357 \text{ (витков)}.$$

30. Составляем эскиз размещения обмоток.



$$\begin{aligned} C &= 64 \text{ мм}; H = 56 \text{ мм}; \\ c &= 16 \text{ мм}; h = 40 \text{ мм}; \\ a &= 16 \text{ мм}; \delta = 16 \text{ мм}; \\ \delta_r &= 2,0 \text{ мм}; \delta_o = 0,2 \text{ мм}; \\ \delta_{ш} &= 1 \text{ мм}; \delta_1 = 5,1 \text{ мм}; \\ \delta_2 &= 1,9 \text{ мм}; l_1 = 95 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \\ l_2 &= 136 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \delta_p = 9,1 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Рис. 2.5. Эскиз размещения обмоток

31. Определяем высоту обмотки:

$$h_{об} = h - 2 \cdot \delta_{щ} - 2 \cdot b_3 = 40 - 2 \cdot 1 - 2 \cdot 0,5 = 37 \text{ (мм)},$$

где $\delta_{щ} = 1$ мм - толщина боковой щеки каркаса,

$\delta_3 = 0,5$ мм - ширина зазора между щекой каркаса и магнитопроводом.

32. Находим число витков в одном слое каждой обмотки

$$N_1 = h_{об} (k_y \cdot d_1) - 1 = 37 / (1,12 \cdot 0,2) - 1 \approx 164 \text{ (витка)},$$

где $k_y = 1,12$ - коэффициент, учитывающий неплотность намотки

$$N_2 = (h_{об} / h_y \cdot d_2) - 1 = 37 / (1,12 \cdot 0,52) - 1 \approx 62 \text{ (витка)}.$$

33. Определяем число слоев каждой обмотки:

$$M_1 = \frac{W_1}{N_2} = \frac{3434}{164} = 21 \text{ (слой)};$$

$$M_2 = \frac{W_2}{N_2} = \frac{357}{62} = 6 \text{ (слоев)}.$$

Между обкладками укладывается изоляционная прокладка из лакоткани ЛШ2 толщиной 0,1 мм в два слоя, т.е. толщина изоляции составляет $\delta_0 = 0,2$ мм.

Радиальный размер каждой обмотки подсчитываем по формуле

$$\delta_1 = 1,2 \cdot M_1 \cdot d_1 = 1,2 \cdot 12 \cdot 0,2 = 5,1 \text{ (мм)};$$

$$\delta_2 = 1,2 \cdot M_2 \cdot d_2 = 1,2 \cdot 6 \cdot 0,52 = 3,8 \text{ (мм)}.$$

34. Определяем радиальный размер всех обмоток с учетом межслоевой и межобмоточной изоляции

$$\delta_p = \delta_1 + \delta_2 + 2 \delta_0 = 5,1 + 3,8 + 2 \cdot 0,2 \approx 9,1 \text{ (мм)}$$

Величина свободного промежутка между поверхностью последней обмотки до ярма:

$$\delta_c = c - \delta_3 - \delta_r - \delta_p = 16 - 0,5 - 2 - 9,1 = 4,4 \text{ (мм)},$$

где $\delta_r = 2,0$ мм — ширина гильзы.

Свободный промежуток δ_c находится в пределах

$$(1 \div 4) \text{ мм} \leq \delta_c = 4,4 \text{ мм} \leq (5 \div 8) \text{ мм},$$

следовательно, типоразмер магнитопровода выбран правильно.

35. Определяем среднюю длину витков обмоток:

$$l_1 = 2(a + b + \pi r_1) \cdot 10^{-3} = 2(a + b + \pi(\delta_3 + \delta_r + \frac{\delta_1}{2})) \cdot 10^{-3} = 2(16 + 16 + 3,14(0,5 + 2,0 + \frac{5,1}{2})) \cdot 10^{-3} \approx 95 \cdot 10^{-3} \text{ (м)},$$

$$l_2 = 2(a + b + \pi r_2) \cdot 10^{-3} = 2(a + b + \pi(\delta_3 + \delta_r + \delta_0 + \delta_1 + \frac{\delta_2}{2})) \cdot 10^{-3} = 2(16 + 16 + 3,14(0,5 + 2,0 + 0,2 + 5,1 + \frac{3,8}{2})) \cdot 10^{-3} \approx 136 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Находим массу меди каждой обмотки,

$$G_{M1} = W_1 g_1 l_1 \cdot 10^{-3} = 3434 \cdot 0,226 \cdot 95 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} \approx 0,074 \text{ (кг)};$$

$$G_{M2} = W_2 g_2 l_2 \cdot 10^{-3} = 357 \cdot 1,54 \cdot 136 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} \approx 0,075 \text{ (кг)}.$$

Масса меди всех обмоток

$$G_{MO} = G_{M1} + G_{M2} = 0,074 + 0,075 \approx 0,149 \text{ (кГ)}.$$

Потери в меди каждой обмотки при температуре провода $100 \div 105^{\circ}\text{C}$ составляют:

$$P_{M2} = 2,7 \cdot j_1^2 G_{M1} = 2,7 \cdot 3,49^2 \cdot 0,074 \approx 2,43 \text{ (Вт)};$$

$$P_{M2} = 2,7 \cdot j_2^2 G_{M2} = 2,7 \cdot 3,46^2 \cdot 0,075 \approx 2,42 \text{ (Вт)}.$$

Суммарные потери в меди всех обмоток:

$$P_{MO} = P_{M1} + P_{M2} \approx 4,85 \text{ (Вт)}.$$

36. Определяем коэффициент полезного действия трансформатора:

$$\eta = \frac{P}{P + P_{CT} + P_{MO}} = \frac{S_{TP} \cdot \cos\varphi}{S_{TP} \cdot \cos\varphi + P_{CT} + P_{MO}} = \frac{18,7 \cdot 0,9}{18,7 \cdot 0,9 + 0,47 + 4,85} = 0,75.$$

37. Находим активное сопротивление каждой обмотки трансформатора по формуле

$$R_1 = p_{M1} l_1 W_1 / q_1 = 0,0234 \cdot 10^{-6} \cdot 95 \cdot 10^{-3} \cdot 3434 / 0,02545 \cdot 10^{-6} \approx 300 \text{ (Ом)};$$

$$R_2 = p_{M2} l_2 W_2 / q_2 = 0,0234 \cdot 10^{-6} \cdot 119 \cdot 10^{-3} \cdot 357 / 0,1735 \cdot 10^{-6} \approx 5,7 \text{ (Ом)}.$$

38. Поверхность охлаждения обмотки:

$$Q_K = 2 h_{об} [a + \pi(c - 4)] \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 37 [16 + 3,14(16-4)] \cdot 10^{-6} \approx 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2\text{)};$$

Поверхность охлаждения магнитопровода:

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

$$\approx 2 [(64 + 56)16 + (64 + 40)16 + 40 \cdot 16] \cdot 10^{-6} \approx 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2\text{)};$$

Определяем температуру перегрева обмоток относительно окружающей среды по формуле

$$\Delta T = (P_{CT} + P_{MO}) / [\alpha_T (Q_K + Q_c)] .$$

Учитывая, что коэффициент теплоотдачи трансформатора

$$\alpha_T = 12 \text{ Вт / (м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}, \quad \Delta T = (0,47 + 4,85) / [12(3,9 + 4,2) \cdot 10^{-3}] \approx 54 \text{ (}^{\circ}\text{C)} .$$

Рабочая температура обмоток

$$T_p = t_{ок} + \Delta T = 22 + 54 \approx 76 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Найденное значение T_p не превышает предельно допустимую величину на которую рассчитана изоляция применяемого провода изоляционных материалов (класс А - 105°C).

2.3.3. Схема электрическая принципиальная вторичного источника электропитания

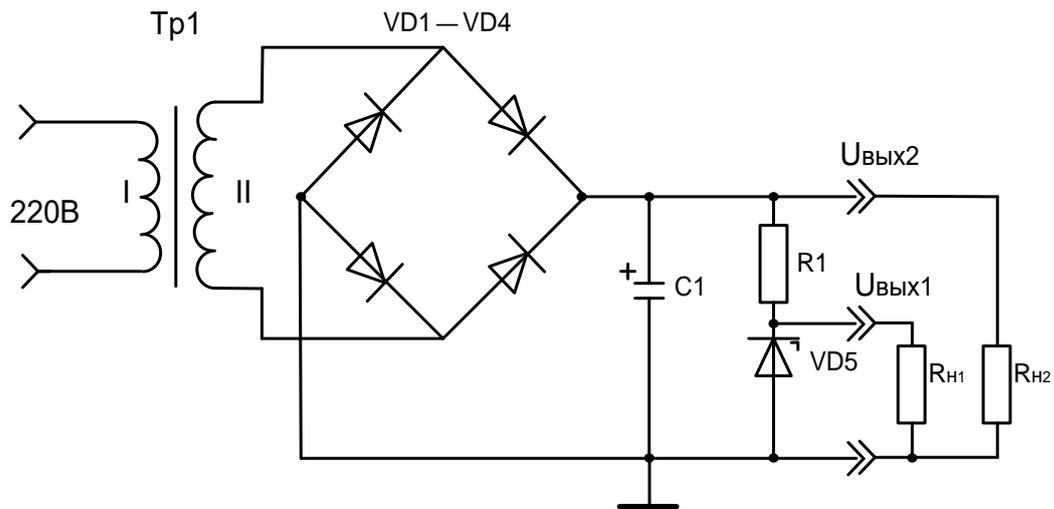


Рис. 2.6. Схема электрическая принципиальная вторичного источника питания

Перечень элементов схемы электрической принципиальной вторичного источника электропитания

- VD1-VD4- Д229Ж
- VD5- Д 814 А
- R1- С2-1-0,5-820 Ом± 5%;
- C1-К50-68-63В—10...+50%

3. ПРИЛОЖЕНИЯ

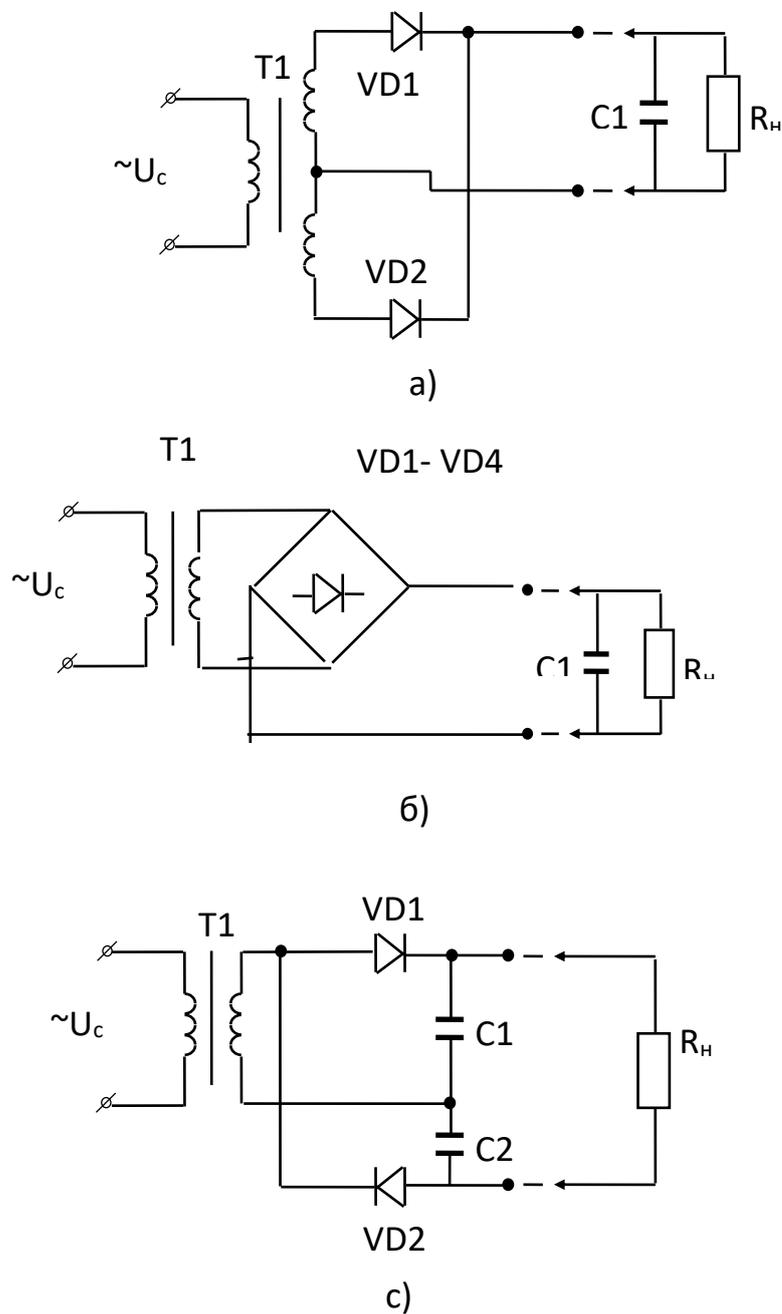


Рис. 3.1. Основные схемы однофазных двухполупериодных выпрямителей:
 а) схема со средней точкой; б) мостовая схема; в) схема с удвоением напряжения

Таблица 3.1
Основные свойства некоторых марок стали при частоте 50 Гц

Марка стали	Толщина стали, мм	Магнитная индукция (не менее), Тл, при напряженности магнитного поля, А/см			Удельные потери (не более), Вт/кг	
		10	25	50	1,0	1,5
Э41	0,50	1,30	1,46	1,57	1,55	3,50
Э41	0,35	1,30	1,46	1,57	1,35	3,00
Э42	0,50	1,29	1,45	1,56	1,40	3,10
Э42	0,35	1,29	1,45	1,56	1,20	2,80
Э43	0,50	1,29	1,44	1,55	1,25	2,90
Э43	0,35	1,29	1,44	1,55	1,05	2,50
Э43А	0,50	1,29	1,44	1,55	1,15	2,70
Э43А	0,35	1,29	1,44	1,55	0,90	2,20
Э310	0,50	1,60	1,75	1,83	1,25	2,45
Э310	0,35	1,60	1,75	1,83	0,80	1,75
Э320	0,50	1,65	1,80	1,87	0,95	2,10
Э320	0,35	1,65	1,80	1,87	0,70	1,50
Э330	0,50	1,70	1,85	1,90	0,80	1,75
Э330	0,35	1,70	1,85	1,90	0,60	1,30
Э330А	0,35	1,70	1,85	1,90	0,50	1,10
Э3100	0,50	-	1,50	1,60	1,70	3,70
Э3200	0,50	-	1,48	1,58	1,50	3,40

Таблица 3.2
Основные свойства некоторых марок стали при частоте 400 Гц

Марка стекла	Толщина стали, мм	Магнитная индукция (не менее), Тл, при напряженности магнитного поля, А/см			Удельные потери (не более), Вт/кг,	
		5	10	25	0,75	1,0
Э44	0,20	1,21	1,29	1,42	7,2	12,5
Э44	0,10	1,19	1,28	1,40	6,0	10,5
Э340	0,20	1,50	1,60	1,70	7,0	12,0

Таблица 3.3
Электроизоляционные материалы

Вид	Название	Марка	Толщина, мм	Класс нагревостойкости ¹
Бумага	Кабельная	К	0,08; 0,12; 0,17; 0,05;	А
	Телефонная	КТН	0,05	А
	Конденсаторная	КОН-11	0,005; 0,01; 0,012; 0,015; 0,022	

¹ В зависимости от нагревостойкости изоляционные материалы разделяются на семь классов со следующими предельно допустимыми температурами; класс Y - 90⁰С; класс А - 105⁰С; класс Е (АВ) - 120⁰С; класс В - 130⁰С; класс F(BC) - 155⁰С; класс Н (СВ) - 180⁰С; класс С - более 180⁰С.

Продолжение табл. 3.3

Вид	Название	Марка	Толщина, мм	Класс нагревостойкости
Тканевые материалы	Лакоткань	ЛШ1	0,01; 0,15	А
		ЛШ2	0,08; 0,10; 0,12; 0,15	А
		ЛСШ	0,04; 0,05; 0,06	А
		ЛСШ1	0,12	А
		ЛСШ2	0,12	А
	Стеклоткань Стекломикалента	ЛСК1	0,12; 0,15	А
		ЛСК2 ЛСК2ФК	0,20 0,13; 0,15; 0,17; 0,22	В Н
Твердая изоляция	Электрокартон	ЭВ	0,1; 0,15; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0; 2,5; 3,0 от 0,2 и выше	А
Пленки	Гетинакс Стеклотекстолит	Б, В, Г СТ	от 0,5 и выше	А Ф
	Фторопласт	Ф-4	0,01-0,1	С

Таблица 3.4

Номинальные данные обмоточных проводов круглого сечения¹

Номинальный диаметр провода по меди, мм	Расчетное сечение мм ²	Масса 1 м медного провода, г	Максимальный наружный диаметр, мм								
			ПЭЛ	ПЭВ-1	ПЭВ-2	ПЭЛ-ШО	ПЭТВ-1 ПЭТВ	ПЭЛ-БО	ПБД	ПСД	ПЭТ, КСО
0,30	0,000706	0,0115	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-
0,04	0,00126	0,0144	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-
0,05	0,00196	0,0175	0,065	-	-	0,12	-	-	-	-	-
0,06	0,00283	0,0251	0,075	0,085	0,09	0,13	0,09	-	-	-	-
0,07	0,00385	0,0342	0,085	0,095	0,10	0,14	0,10	-	-	-	-
0,08	0,00503	0,0447	0,095	0,105	0,11	0,15	0,11	-	-	-	-
0,09	0,00636	0,0565	0,105	0,115	0,12	0,16	0,12	-	-	-	-
0,10	0,00785	0,0698	0,12	0,125	0,13	0,18	0,13	-	-	-	-
0,11	0,0095	0,0845	0,13	0,135	0,14	0,19	0,14	-	-	-	-
0,12	0,01131	0,101	0,14	0,145	0,15	0,20	0,15	-	-	-	-
0,13	0,01327	0,118	0,15	0,155	0,16	0,21	0,16	-	-	-	-
0,14	0,01539	0,137	0,16	0,165	0,17	0,22	0,17	-	-	-	-
0,15	0,01767	0,157	0,17	0,18	0,19	0,23	0,19	-	-	-	-
0,16	0,02011	0,179	0,18	0,19	0,20	0,24	0,20	-	-	-	-
0,17	0,02270	0,202	0,19	0,20	0,21	0,25	0,21	-	-	-	-
0,18	0,02545	0,226	0,20	0,21	0,22	0,26	0,22	-	-	-	-
0,19	0,02835	0,252	0,21	0,22	0,23	0,27	0,23	-	-	-	-
0,20	0,03142	0,279	0,225	0,23	0,24	0,29	0,24	-	-	-	-
0,21	0,34640	0,308	0,235	0,24	0,25	0,30	0,25	-	-	-	-
0,23	0,041155	0,369	0,255	0,27	0,28	0,32	0,28	-	-	-	-
0,25	0,04909	0,436	0,275	0,29	0,30	0,34	0,30	-	-	-	-
0,27	0,05726	0,509	0,31	0,31	0,32	0,37	0,32	-	-	-	-
0,29	0,6605	0,587	0,33	0,33	0,34	0,39	0,34	-	-	-	-
0,31	0,07548	0,671	0,35	0,35	0,36	0,42	0,36	-	-	-	-
0,33	0,08553	0,76	0,37	0,37	0,38	0,44	0,38	-	-	-	-
0,35	0,09621	0,855	0,39	0,39	0,41	0,46	0,41	-	-	-	-

Продолжение табл. 3.4

Номи- нальный диаметр провода по меди, мм	Расчетное сечение мм ²	Масса 1 м медно го провода, г	Максимальный наружный диаметр, мм								
			ПЭЛ	ПЭВ-1	ПЭВ-2	ПЭЛ- ШО	ПЭТВ -1 ПЭТВ	ПЭЛ- БО	ПБД	ПСД	ПЭТ, КСО
0,38	0,1134	1,01	0,42	0,42	0,44	0,49	0,44	0,56	0,61	-	0,70
0,41	0,132	1,11	0,45	0,45	0,47	0,52	0,47	0,59	0,64	0,65	0,79
0,44	0,1521	1,35	0,49	0,48	0,50	0,55	0,50	0,62	0,67	0,68	0,79
0,47	0,1735	1,54	0,52	0,51	0,53	0,58	0,53	0,65	0,70	0,71	0,79
0,49	0,1886	1,68	0,54	0,53	0,55	0,60	0,55	0,67	0,72	0,73	0,81
0,51	0,2043	1,82	0,56	0,56	0,58	0,63	0,58	0,69	0,74	0,75	0,83
0,53	0,2206	1,96	0,58	0,58	0,6	0,65	0,60	0,71	0,76	0,79	0,85
0,55	0,2376	2,11	0,6	0,60	0,62	0,67	0,62	0,73	0,78	0,81	0,87
0,57	0,2552	2,27	0,62	0,62	0,64	-	0,64	0,75	0,80	0,83	0,89
0,59	0,2734	2,43	0,64	0,64	0,66	0,71	0,66	0,77	0,82	0,85	0,91
0,62	0,3019	2,68	0,67	0,67	0,69	0,74	0,69	0,80	0,85	0,88	0,94
0,64	0,3217	2,86	0,69	0,69	0,72	0,76	0,72	0,82	0,87	0,90	0,96
0,67	0,3526	3,13	0,72	0,72	0,75	0,79	0,75	0,85	0,90	0,93	0,99
0,69	0,3739	3,32	0,74	0,74	0,77	0,81	0,77	0,87	0,92	0,95	1,00
0,72	0,4072	3,6	0,78	0,77	0,80	0,85	0,80	0,92	0,96	0,99	1,08
0,74	0,4301	3,82	0,8	0,8	0,83	0,87	0,83	0,94	0,98	1,01	1,10
0,77	0,4657	4,14	0,83	0,83	0,86	0,90	0,86	0,97	1,01	1,04	1,13
0,80	0,5027	4,47	0,86	0,86	0,89	0,93	0,89	1,00	1,04	1,07	1,16
0,83	0,5411	4,81	0,89	0,89	0,92	0,96	0,92	1,03	1,07	1,10	1,19
0,86	0,5809	5,16	0,92	0,92	0,95	0,99	0,95	1,06	1,10	1,13	1,22
0,90	0,6362	5,66	0,96	0,96	0,99	1,03	0,99	1,10	1,14	1,17	1,26
0,93	0,6793	6,04	0,99	0,99	1,02	1,06	1,02	1,13	1,17	1,20	1,29
0,96	0,7238	6,44	1,02	1,02	1,05	1,09	1,05	1,16	1,20	1,23	1,32
1,00	0,7854	6,98	1,07	1,08	1,11	1,14	1,11	1,23	1,29	1,29	1,40
1,04	0,8495	7,55	1,12	1,12	1,15	1,18	1,15	1,27	1,33	1,33	-
1,08	0,9161	8,14	1,16	1,16	1,19	1,21	1,19	1,31	1,37	1,37	1,48
1,12	0,9852	8,76	1,2	1,2	1,23	1,26	1,23	1,35	1,41	1,41	-
1,16	1,0568	9,4	1,24	1,24	1,27	1,30	1,27	1,39	1,45	1,45	1,56
1,20	1,131	10,1	1,28	1,28	1,31	1,34	1,31	1,43	1,49	1,49	-
1,25	1,2272	10,9	1,33	1,26	1,39	1,39	1,36	1,48	1,54	1,54	1,65
1,30	1,327	11,8	1,38	1,38	1,41	1,44	1,41	1,53	1,59	1,59	-
1,35	1,4314	12,7	1,43	1,43	1,46	1,49	1,46	1,58	1,64	1,64	1,75
1,40	1,5394	13,7	1,48	1,48	1,51	1,54	1,51	1,63	1,69	1,69	-
1,45	1,6513	14,7	1,53	1,53	1,56	1,59	1,56	1,68	1,74	1,74	1,85
1,50	1,7672	15,7	1,58	1,58	1,61	1,66	1,61	1,73	1,79	1,79	-
1,56	1,9113	17,0	1,64	1,64	1,67	1,72	1,64	1,79	1,85	1,85	1,96
1,62	2,0612	18,3	1,71	1,7	1,73	-	1,73	1,85	1,91	1,91	-
1,68	2,217	19,7	1,77	1,76	1,79	-	1,79	1,92	1,98	1,98	-
1,81	2,573	22,9	1,9	1,9	1,93	-	1,93	2,05	2,11	2,11	-
1,88	2,776	24,7	1,97	1,97	2,00	-	2,00	2,12	2,18	2,18	-
1,95	2,987	26,5	2,04	2,04	2,07	-	2,07	2,19	2,25	2,25	-
2,02	3,205	28,5	2,12	2,11	2,14	-	2,14	2,26	2,32	2,32	-
2,10	3,46	30,8	2,2	2,2	2,23	-	2,23	2,34	2,40	2,40	-
2,26	4,012	35,7	2,36	2,36	2,39	-	2,39	-	2,62	2,62	-
2,44	4,676	41,6	2,54	2,54	2,57	-	2,57	-	2,80	2,80	-
2,63	5,433	-	-	-	-	-	-	-	2,99	2,99	-

¹ Медные провода с эмалевой изоляцией выпускаются следующих марок: ПЭЛ - провод с эмалевой утолщенной лаковой изоляцией (по нагревостойкости относится к классу А); ПЭТ - провод с эмалевой

изоляцией повышенной теплостойкости (нагревостойкость класса В); ПЭВ - 1 и ПЭВ - 2 - провода с одинарным и двойным эмалевым винифлексовым покрытием соответственно (нагревостойкость классов А, В для ПЭВ - 1 и классов А,Е для ПЭВ - 2).

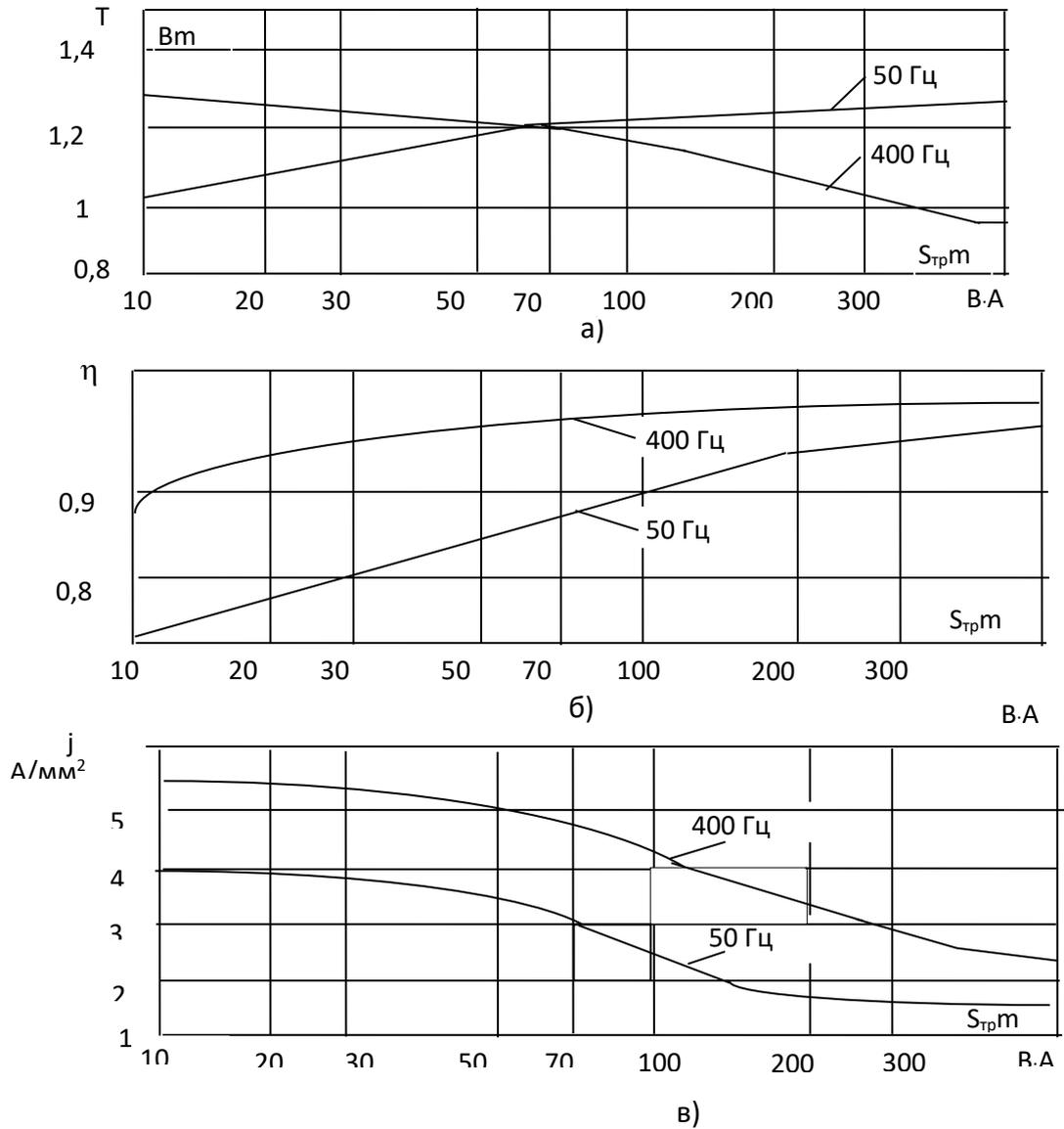
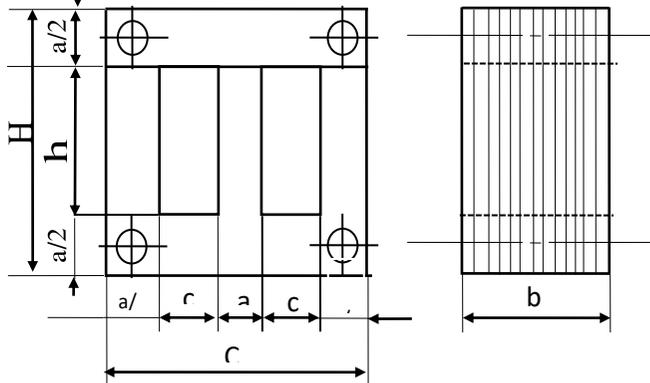


Рис. 3.2. Зависимости амплитуды магнитной индукции (а), КПД (б) и плотности тока в обмотках (в) от мощности трансформатора

Таблица 3.5
Типовые броневые пластинчатые магнитопроводы

Обозначение магнитопровода							Активная площадь сечения среднего стержня $Q_{са}, \text{см}^2$	Средняя длина магнитной силовой линии $l_{ср}, \text{см}$	Сечение стали x сечение окна $Q_c \cdot Q_o, \text{см}^4$	Активный объем магнитопровода $V_{ст}, \text{см}^3$		Масса магнитопровода $G_{ст}, \text{г}$		Ориентировочная мощность трансформатора на частотах, В·А		
	Размеры, мм									0,2 мм	0,35 мм	0,2 мм	0,35 мм	$f_c=50$ Гц	$f_c=400$ Гц	
	a	h	c	C	H	b										
Ш12X12	12	30	12	48	42	12	1,23	1,31	10,03	5,2	12,43	13,14	100	110	5,5	45
Ш12X16	12	30	12	48	42	16	1,63	1,75	10,03	6,8	16,35	17,55	130	140	7,0	55
Ш12X20	12	30	12	48	42	20	2,04	2,18	10,03	8,6	20,46	21,86	170	180	8,5	65
Ш12X25	12	30	12	48	42	25	2,55	2,18	10,03	10,8	25,58	27,38	210	230	10,0	80
Ш16X16	16	40	16	64	56	16	2,18	2,33	13,7	16,6	29,9	32,0	240	260	20	130
Ш16X20	16	40	16	64	56	20	2,72	2,91	13,7	20,5	37,3	39,6	300	320	26	150
Ш16X25	12	30	12	48	42	25	3,40	3,64	13,7	25,6	46,6	49,8	370	400	30	170
Ш16X32	12	30	12	48	42	32	4,35	4,66	13,7	32,6	59,6	63,8	470	510	34	200
Ш20X12	20	50	20	80	70	12	2,04	2,18	17,4	24,6	35,0	37,4	280	300	25	170
Ш20X16	20	50	20	80	70	16	2,72	2,91	17,4	32	46,7	50	380	400	32	200
Ш20X20	20	50	20	80	70	20	3,40	3,64	17,4	40	58,3	62,4	470	500	40	230
Ш20X25	20	50	20	80	70	25	4,25	4,55	17,4	50	72,9	78,1	590	620	48	250
Ш20X32	20	50	20	80	70	32	5,44	5,82	17,4	64	93,2	99,8	750	800	60	300
Ш20X40	20	50	20	80	70	40	6,80	7,28	17,4	80	116,2	125	940	990	70	400
Ш20X50	20	50	20	80	70	50	8,50	9,10	17,4	100	145,7	156,2	1150	1240	85	450
Ш25X25	25	62,5	25	100	87,5	25	5,31	5,68	21,4	97,5	113,8	121,8	900	970	85	540
Ш25X32	25	62,5	25	100	87,5	32	6,80	7,28	21,4	125	145,5	156,0	1160	1230	105	600
Ш25X40	25	62,5	25	100	87,5	40	8,50	9,10	21,4	156	182,0	195,0	1440	1556	130	700
Ш25X50	25	62,5	25	100	87,5	50	10,6	11,4	21,4	195	227	244	1800	1930	160	800

Продолжение табл. 3.5

Обозначение магнитопровода							Активная площадь сечения среднего стержня Q_{ca} , см ²	Средняя длина магнитной силовой линии l_{cp} , см	Сечение стали х сечение окна $Q_c \cdot Q_o$, см ⁴	Активный объем магнитопровода $V_{ст}$, см ³		Масса магнитопровода $G_{ст}$, г		Ориентировочная мощность трансформатора на частотах, В·А		
	Размеры, мм									0,2 мм	0,35 мм	0,2 мм	0,35 мм	$f_c=50$ Гц	$f_c=400$ Гц	
	a	h	c	C	H	b										
Ш32Х32	32	80	32	128	112	32	8,70	9,32	27,4	261	238,5	255,5	1890	2020	200	900
Ш32Х40	32	80	32	128	112	40	10,88	11,65	27,4	328	298	319,0	2370	2530	240	1000
Ш32Х50	32	80	32	128	112	50	13,6	14,56	27,4	410	373	399,0	2950	3170	300	1200
Ш32Х64	32	80	32	128	112	64	17,41	18,63	27,4	522	477	510,0	3790	4040	390	1400
Ш40Х40	40	100	40	160	140	40	13,6	14,56	34,3	640	466	500	3700	3960	430	1650
Ш40Х50	40	100	40	160	140	50	17,0	18,2	34,3	800	583	625	4610	4950	550	2000
Ш40Х64	40	100	40	160	140	64	21,76	23,29	34,3	1025	746	800	5910	6320	680	2400
Ш40Х80	40	100	40	160	140	80	27,20	29,12	34,3	1280	932	998	7390	7920	850	2500

Таблица 3.6

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
Тороидальная	0,4÷1,0	2	—	1÷2	2,0	—	—	—	—

Таблица 3.7

Значения k_M для некоторых марок проводов при напряжении менее 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 ПБД	0,2÷0,5	0,15÷0,22
	0,1÷0,2	0,18÷0,25			
	0,2÷0,5	0,22÷0,30			
	0,5÷1,5	0,27÷0,35			
ПЭЛШО	0,1÷0,2	0,12÷0,19	ПЭЛБД	1,5÷4,5	0,22÷0,30
	0,2÷0,5	0,17÷0,25			

Табл. 3.8

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

Табл. 3.9

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÷0,01	—	0,75÷0,88

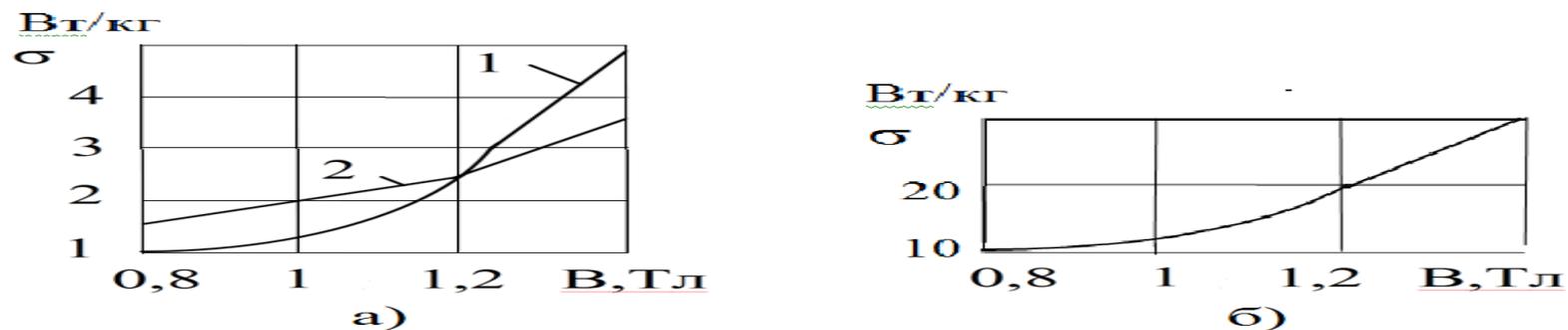


Рис. 3.3. Экспериментальные кривые зависимости удельных потерь в стали от магнитной индукции: а - при частоте 50 Гц для стали Э42 (1) и Э310 (2) и толщине пластин 0,35; б - при частоте 400 Гц для стали Э340 при толщине пластин 0,15 мм

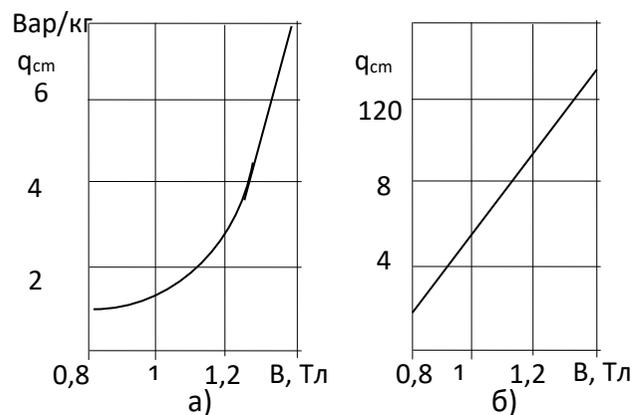


Рис. 3.4. Графики для определения удельной намагничивающей мощности для стали: а - при частоте 50 Гц для стали Э42 толщиной 0,35; б - при частоте 400 Гц для стали Э340 при толщине пластин 0,15 мм

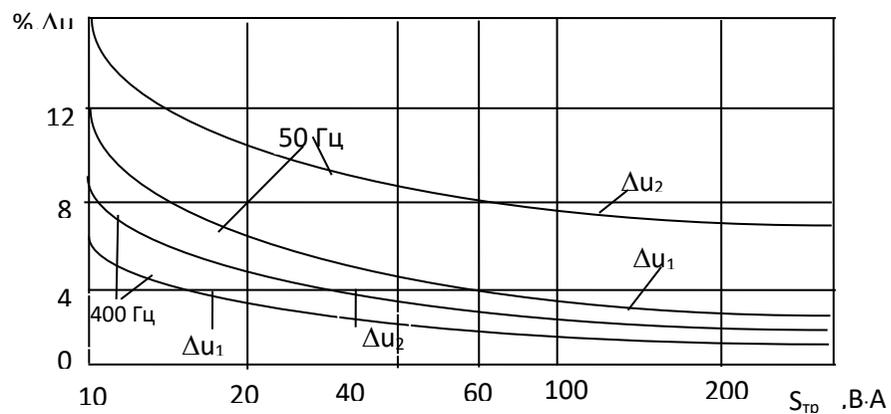


Рис.3.5.Зависимость процентного падения напряжения в первичной Δu₁ и вторичной Δu₂ обмотках от мощности трансформатора

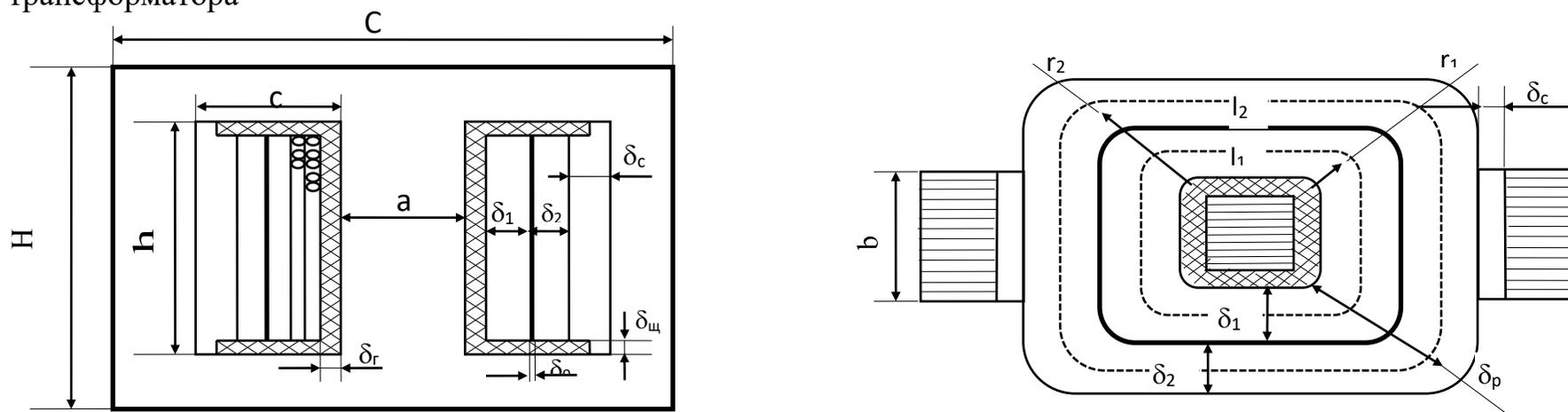


Рис. 3.6. Размещение обмоток на магнитопроводе

Таблица 3.10

Основные параметры однофазных двухполупериодных схем выпрямления, работающих на емкость

Схема выпрямления	U_2/U_0	$U_{обр}/U_0$	$I_{прср}/I_0$	$I_{прм}/I_0$	$I_{пр}/I_0$	I_2/I_0	$I_1 W_1/I_0 W_1$	$S_{тр}/P_0$	S_1/P_0	$P_{габ}/P_0$	$K_{п}$	$f_{п}/f_c$	r
Двухполупериод- ная (со средней точкой)	B	2,82B	0,5	0,5F	0,5D	0,5D	0,707D	BD	0,707BD	0,85BD	H/rC	2	$r_{пр}+r_{тр}$
Мостовая	B	1,41B	0,5	0,5F	D	0,707D	0,707D	0,707BD	0,707BD	0,707BD	H/rC	2	$2r_{пр}+r_{тр}$
С удвоением напряжения	0,5B	1,41B	1	F	D	1,41D	1,41D	0,7BD	0,7BD	0,7BD	H/rC	2	$r_{пр}+r_{тр}$

Примечание: U_2 — действующее значение ЭДС вторичной обмотки трансформатора; $U_{обр}$ — амплитуда обратного напряжения на вентиле; $I_{прср}$ — средний выпрямленный (прямой) ток через вентиль; $I_{пр}$ — действующие значения выпрямленного тока через вентиль; $I_{прм}$ — амплитуда выпрямленного тока через вентиль; I_1 и I_2 — действующие значения тока первичной и вторичной обмоток трансформатора; W_1 и W_2 — число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора; $S_{тр}$ — полная мощность вторичной обмотки трансформатора; S_1 — полная мощность первичной обмотки трансформатора; $P_{габ}$ — полная (габаритная) мощность трансформатора; $K_{п}$ — коэффициент пульсации выпрямленного напряжения; $f_{п}$ — частота пульсации выпрямленного напряжения; r — активное сопротивление фазы выпрямителя; $r_{пр}$ — сопротивление вентиля в прямом направлении; B, F, D, H — вспомогательные коэффициенты, определяемые по рис. 3.12, 3.13; C — нагрузочная емкость выпрямителя

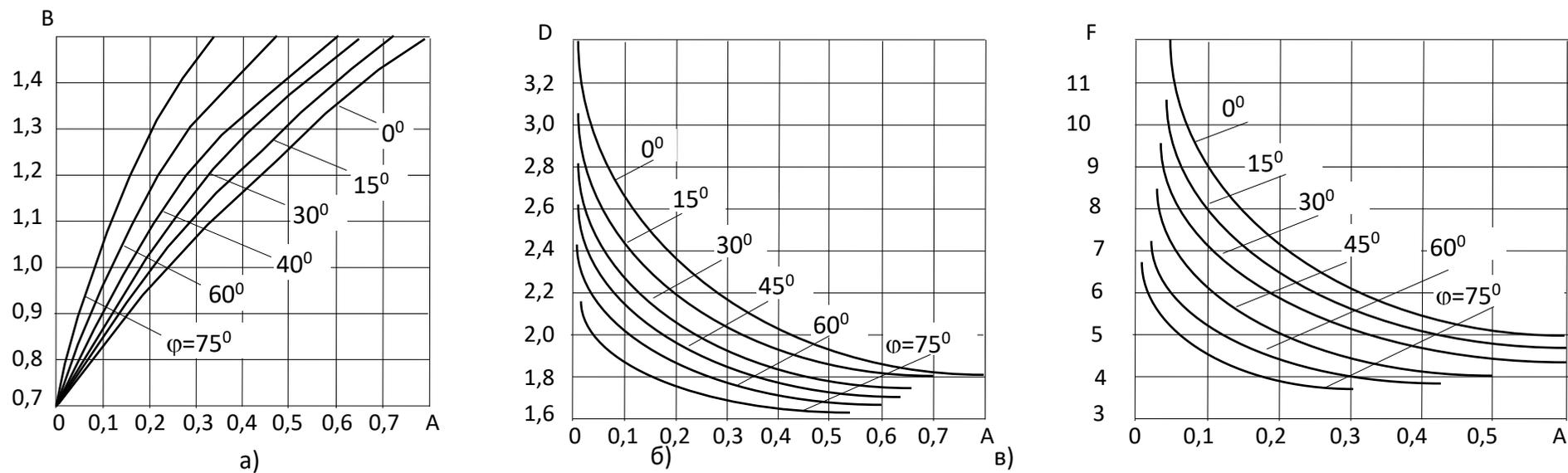


Рис. 3.11. Графики зависимостей: а) $B = f(A)$; б) $D = f(A)$; в) $F = f(A)$

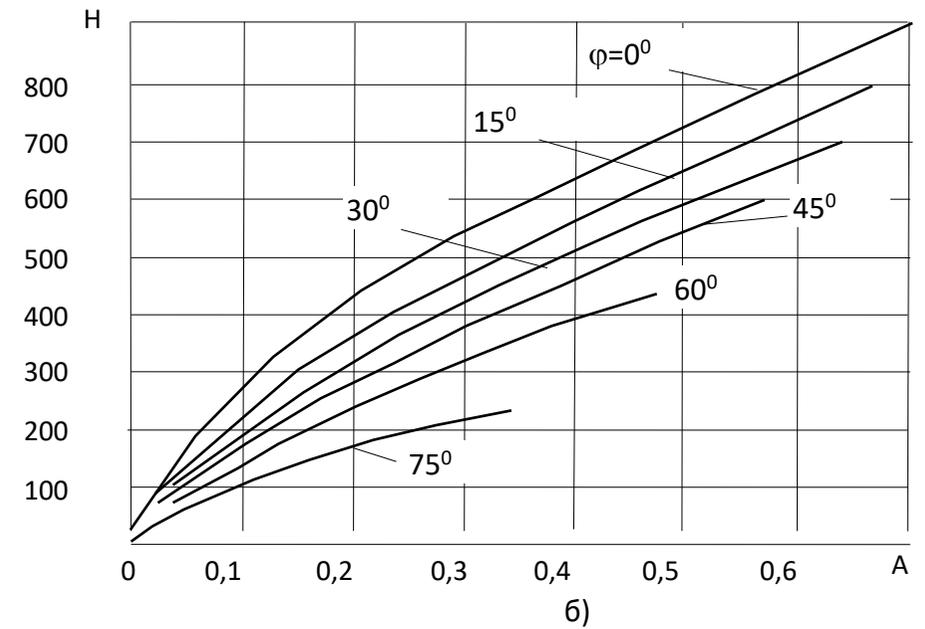
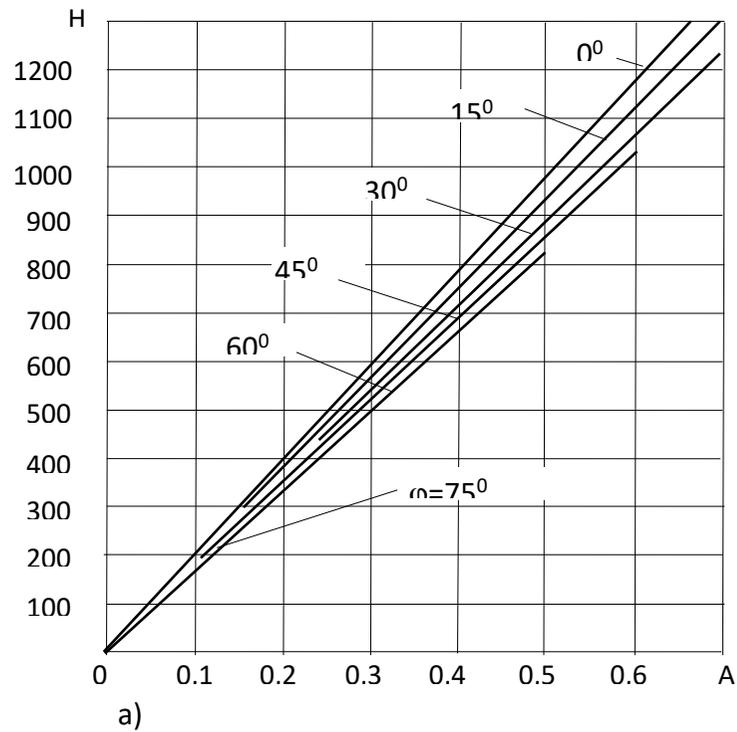


Рис. 3.12. Графики зависимости $H = f(A)$ для схемы с удвоением напряжения ($m=1$) (а); для схемы со средней точкой и мостовой схемы ($m=2$) (б)

ЛИТЕРАТУРА

1. Шустов М. А. Практическая схемотехника. Кн.2 : Источники питания и стабилизаторы / М. А. Шустов. - 2-е изд., стер. - М.:Додэка-XXI : Альтекс, 2007. - 190 с.
2. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника / В. И. Мелешин. - М.: Техносфера, 2006. - 627 с.
3. Алексеев О.В., Китаев В.Е., Шихин А.Я. Электрические устройства / Под ред. А.Я. Шихина: Учебник.-М.: Энергоиздат, 1981. -336 с.
4. Иванов-Цыганов А.И. Электропреобразовательные устройства РЭС: Учебник для вузов. - 4-е изд., перераб и доп. - М.: Высш. шк., 1991. - 272 с.
5. Электропитание устройств связи: Учебник / А.А. Бокуняев, Б.В. Горбачев, В.Е. Китаев и др. Под ред. В.Е. Китаева. - М.: Радио и связь, 1988. - 280 с.
6. Горбатенко В.В., Горбатенко С.А., Кудряш В.И. Электропреобразовательные устройства радиоэлектронных систем. Учебно-методические пособие. - Воронеж: ВВШ МВД РФ, 1997.
7. Аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / Кудряшов Б.П., Назаров Ю.В., Тарабрин Б.В. и др. - М.: Радио и связь, 1981. - 61 с.
8. Артамонов Б.И., Бокуняев А.А. Источники электропитания радиоустройств. - М.: Энергоиздат, 1982. - 296 с.
9. Артамонов В.В. Маломощные выпрямители. Основы теории и расчет. - М.: Связь, 1970. - 240 с.
10. Басовский В.Ф. Транзисторные преобразователи. - Киев: Техника, 1974. - 140 с.
11. Белопольский И.И., Репин А.М., Христианов А.С. Стабилизаторы низких и милливольтовых напряжений. - М.: Энергия, 1974. - 160 с.
12. Бочаров Л.Н., Жебрыков С.К., Колесников И.Ф. Расчет электронных устройств на транзисторах. - М.: Энергия, 1978. - 208 с.
13. Векслер Г.С. Расчет электропитающих устройств. - Киев: Техника, 1978. - 208 с.
14. Векслер Г.С., Штильман В.И. Транзисторные сглаживающие фильтры. - Киев: Техника, 1972. - 208 с.
15. Диоды и тиристоры / Чернышев А.А., Иванов В.И., Галахов В.Д. и др. Под общ. ред. А.А. Чернышева. - М.: Энергия, 1980. - 176 с.
16. Додик С.Д. Полупроводниковые стабилизаторы напряжения и тока (с непрерывным регулированием). -М.: Сов. радио, 1980. - 344 с.

17. Ермолин Н.П. Расчет трансформаторов малой мощности. -Л.: Энергия, 1969. - 192 с.
18. Источники электропитания на полупроводниковых приборах: Проектирование и расчет / Под ред. С.Д. Додика, Е.И. Гальперина. - М.: Сов. радио, 1969. - 448 с.
19. Каретникова Е.И., Рычина Т.А., Ермаков А.И. Трансформаторы питания и дроссели фильтров для радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Сов. радио, 1973. - 180 с.
20. Китаев В.Е., Бокуняев А.А. Расчет источников электропитания устройств связи. - М.: Связь, 1979. - 216 с.
21. Лавриненко В.Ю. Справочник по полупроводниковым приборам. - Киев: Техника, 1980. - 464 с.
22. Мазель К.Б. Трансформаторы электропитания. - М.: Энергоиздат, 1982. - 80 с.
23. Назаров С.В. Транзисторные стабилизаторы напряжения. -М.: Энергия, 1980. - 96 с.
24. Петин Г.П. Транзисторные усилители, генераторы и стабилизаторы. - М.: Энергия, 1978. - 18 с.
25. Полупроводниковые выпрямители / Беркович Е.И., Ковалев В.Н., Ковалев Ф.И. и др. Под ред. Ф.И. Ковалева, Г.П. Мостковой. - М.: Энергия, 1978. - 448 с.
26. Полянин К.П. Интегральные стабилизаторы напряжения. - М.: Энергия, 1979.- 192 с.
27. Проектирование стабилизированных источников электропитания радиоэлектронной аппаратуры / Краулс Л.А., Гейман Г.В., Лапиров-Скобло М.М. и др. - М.: Энергия, 1980. - 288 с.
28. Справочник по интегральным микросхемам / Под общ. ред. Б.В. Тарабрина. -М.: Энергия, 1977. - 584 с.
29. Справочник по полупроводниковым диодам / Бородин Б.А., Дроневиц В.М., Егорова Р.В. и др. Под ред И.Ф. Николаевского. - М.: Связь, 1979. - 432 с.
30. Стальбовский В.В., Четвертаков И.И., Резисторы. - М.: Сов. радио, 1973. - 64 с.
31. Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справочник радиолюбителя. - Киев: Наукова Думка, 1981. - 671 с.
32. Транзисторы / Чернышев А.А., Иванов В.И., Галахов В.Д и др. Под общ. ред. Чернышева А.А. - М.: Энергия, 1980. - 144 с.
33. Штильман В.И. Микроэлектронные стабилизаторы напряжения. - Киев: Техника, 1976. - 168 с.
34. Рогинский В.Ю. Расчет устройств электропитания аппаратуры электросвязи. - М.: Связь, 1972. - 250 с.
35. Диоды, тиристоры, транзисторы и микросхемы широкого применения. Справочник / Б.Ф. Бессарабов, В.Д. Федюк, Д.В. Федюк. – Воронеж: ИПФ «Воронеж», 1994. – 720 с.
36. Микросхемы интегральные серии КМ132...КМ155. – СПб.: Изд-во РНИИ «Электронстандарт», 1992. – 356 с.