

РАСЧЕТ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

1.1. Состав и основные параметры выпрямителей

Электрический выпрямитель (ВП) предназначен для преобразования переменного тока в постоянный. В общем случае схема ВП содержит трансформатор, вентили, сглаживающий фильтр и нагрузку. Работа ВП характеризуется выходными параметрами и параметрами, определяющими режим работы вентиля и трансформатора. К выходным параметрам ВП относятся: номинальные средние значения выпрямленного напряжения и тока (U_0 и I_0); коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения (k_{II}); $k_{II} = U_{0m} / U_0$, где U_{0m} - амплитуда переменной составляющей выпрямленного напряжения; частота основной гармоники выпрямленного напряжения (f_{II}); выходное сопротивление ВП ($R_{ВЫХ}$).

Вентили характеризуются средним ($I_{ПР.СР}$), действующим (I_B) и амплитудным (I_{Bm}) значениями прямого тока; амплитудой обратного напряжения на вентиле ($U_{ОБРm}$). Выбор вентиля осуществляется по этим параметрам, величины которых не должны превышать предельных значений, указанных в технических условиях на выбранный тип вентиля.

Для трансформатора определяются: действующее значение ЭДС и тока вторичной обмотки (E_2 и I_2); действующие значения тока первичной обмотки (I_1); габаритная мощность трансформатора $P_{ГАБ} = 0,5(U_1 I_1 + E_2 I_2)$, где U_1 - действующее значение напряжения на первичной обмотке.

Величины параметров вентиля и трансформатора зависят от схемы ВП и характера нагрузки. Для ВП источников вторичного электропитания (ИВЭП) радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) наиболее типична работа на нагрузку с емкостным или индуктивным характером.

1.2. Схемы выпрямителей.

Схемы выпрямителей принято классифицировать по числу выпрямленных фаз m , при определении которого исходят из доли среднего выпрямленного тока, приходящейся на один вентиль $m = I_0 / I_{ПР.СР}$ (параллельное включение вентиля не учитывается). Наибольшее распространение в ИВЭП РЭА при мощностях нагрузки менее 1 кВт получили однофазные и двухфазные схемы ВП, представленные на рис. 1.1.

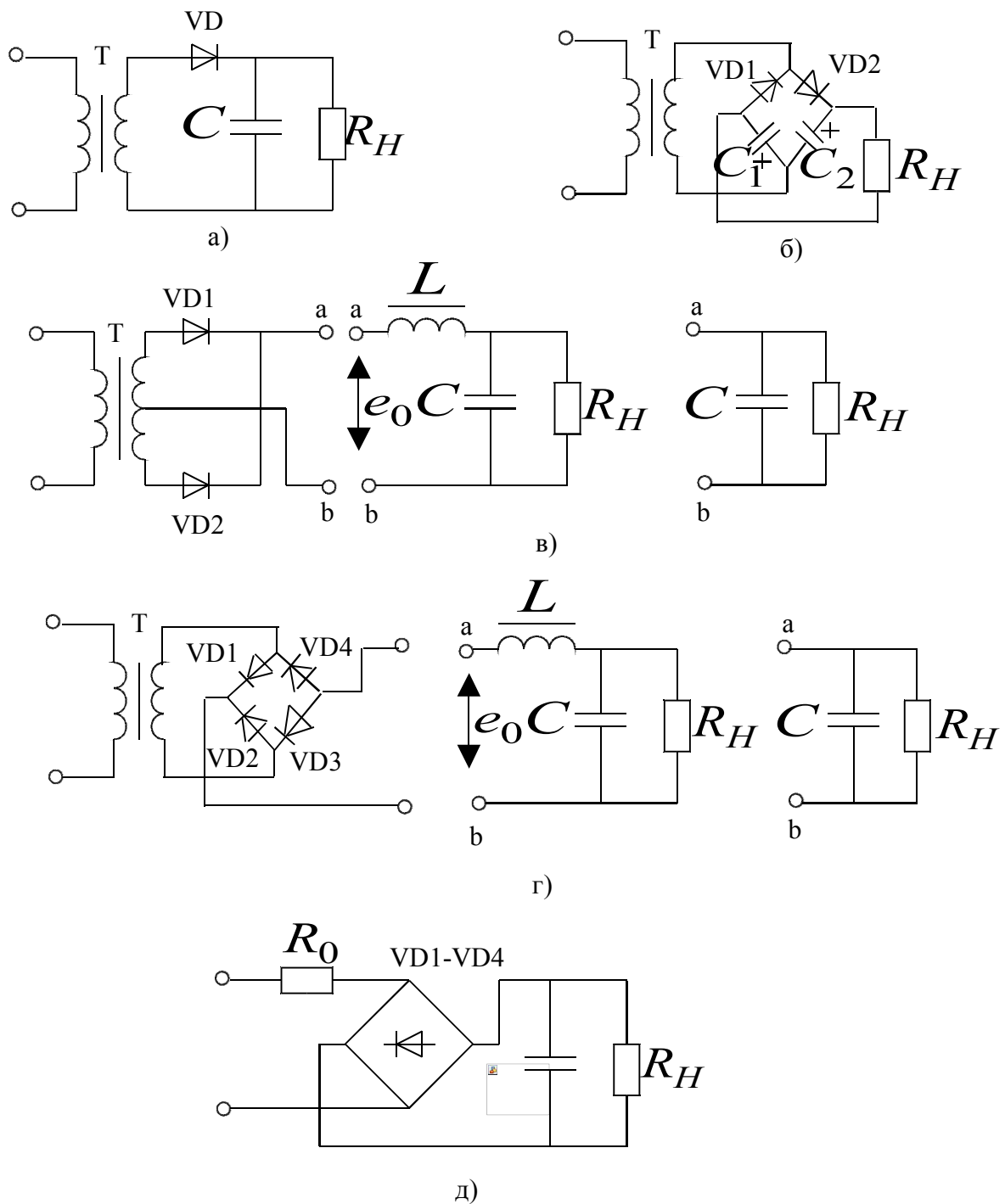


Рис.1.1

Основная однофазная схема (рис.1.1а) применяется, как правило, при работе на емкостную нагрузку при мощностях до 2...10 Вт. Достоинства схемы: простота, невысокая стоимость. Недостатки: низкая частота пульсаций, высокое обратное напряжение, плохое использование трансформатора, подмагничивание магнитопровода трансформатора постоянным током.

Схема удвоения напряжения (рис.1.1б) применяется в высоковольтных ВП. Ее преимущества: повышенная частота пульсаций, низкое обратное напряжение, хорошее использование трансформатора. Недостатки: повышенное выходное сопротивление, возможность появления пульсаций с частотой сети, невозможность установки одностипных вентилях на одном радиаторе без изолирующих прокладок.

Основная двухфазная схема (рис.1.1в) применяется при емкостном и индуктивном характере нагрузки. Основные преимущества состоят в повышенной частоте пульсаций, минимальное число вентилях и возможности их установки на общий радиатор. Недостатки: сложный трансформатор, его худшее использование по сравнению с мостовой схемой и схемой удвоения, высокое обратное напряжение.

Мостовая схема (рис.1.1г) из всех рассмотренных обладает наилучшими технико-экономическими показателями. Применяется при емкостном и индуктивном характере нагрузки. Достоинства схемы: повышенная частота пульсаций, низкое обратное напряжение, хорошее использование трансформатора. Недостатки: большое число вентилях, повышенное падение напряжения на них, невозможность установки вентилях на одном радиаторе без изоляции. Из-за повышенного падения напряжения на вентилях при U_0 менее 10 В и больших токах нагрузки может оказаться целесообразным применение основной двухфазной схемы, а не мостовой.

На рис.1.1д показан бестрансформаторный вариант мостовой схемы ВП, применяемый в ИВЭП с высокочастотными преобразователями.

1.3. Основные параметры вентилях и особенности их применения в схемах выпрямителей

В современных ВП в качестве вентилях используется, как правило, кремниевые диоды, важнейшими эксплуатационными параметрами которых являются: максимальный средний прямой ток ($I_{ПР.СР.МАХ}$); максимальное повторяющееся импульсное обратное напряжение ($U_{ОБР.И.П.МАХ}$); постоянное прямое напряжение ($U_{ПР}$) при заданном прямом токе ($I_{ПР}$); дифференциальное сопротивление (r_B); средний обратный ток ($I_{ОБР.СР}$); ток перегрузки ($I_{ПРГ}$); пороговое напряжение ($U_{ПОР}$).

На рис.1.2 приведена типичная вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода с указанием некоторых параметров.

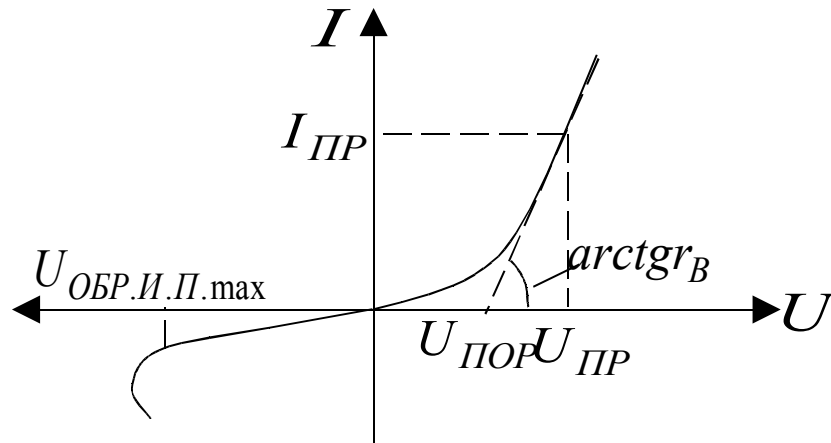


Рис.1.2

Пороговое напряжение для кремниевых диодов составляет 0,4...0,8 В, сто необходимо учитывать при расчете ВП с $U_0 < 10$ В. В таких ВП более эффективны диоды с барьером Шоттки, имеющие $U_{ПОР} = 0,2...0,3$ В, но малое (десятки В) $U_{ОБР.И.П.МАХ}$ и повышенное значение $I_{ОБР.СР}$ (десятки мА).

Значение r_B диода можно определить (рис.1.2) как

$$r_B = \frac{U_{ПР} - U_{ПОР}}{I_{ПР}} \quad (1.1)$$

Приводимое в справочниках на диоды значение $I_{ПР.СР.МАХ}$ соответствует их работе в однофазной схеме ВП на активную нагрузку (угол отсечки $2\Theta = \pi$), когда величина $I_{ПР.И.П.}$ повторяющего импульсного прямого тока диода и его действующее значение $I_{ПР.Д}$ составляют

$$I_{ПР.И.П.МАХ} = 3,14 I_{ПР.СР.МАХ}; I_{ПР.Д.МАХ} = 1,57 I_{ПР.СР.МАХ} \quad (1.2)$$

В схемах ВП с емкостной нагрузкой ($2\Theta < \pi$) при выборе типа диода для предотвращения перегрузки рекомендуется увеличивать $I_{ПР.СР}$ примерно в 2,2 раза по сравнению с расчетным.

При больших токах нагрузки или обратных напряжениях допускается параллельное или последовательное соответственно включение нескольких диодов при установке добавочных или шунтирующих резисторов, предотвращающих перегрузку диодов из-за неидентичности ВАХ.

1.4. Расчетные соотношения для выпрямителей с индуктивным характером нагрузки

Показатели ВП с индуктивным характером нагрузки существенно зависят от величины индуктивности L дросселя фильтра, которая должна быть больше критической величины L_{KP} . Значение L_{KP} для двухфазных схем определяют из выражения

$$L_{KP} = \frac{0,332R_H}{2\pi f}, \quad (1.3)$$

где $R_H = \frac{U_0}{I_0}$ - сопротивление нагрузки;

f - частота выпрямленного напряжения.

При идеальных вентилях ($r_B = 0$) и трансформаторе (сопротивление обмоток $r_{TP} = 0$ и индуктивность рассеяния $L_S = 0$) выпрямленное напряжение e_0 имеет форму огибающей ЭДС в фазах вторичных обмоток трансформатора (рис.1.3).

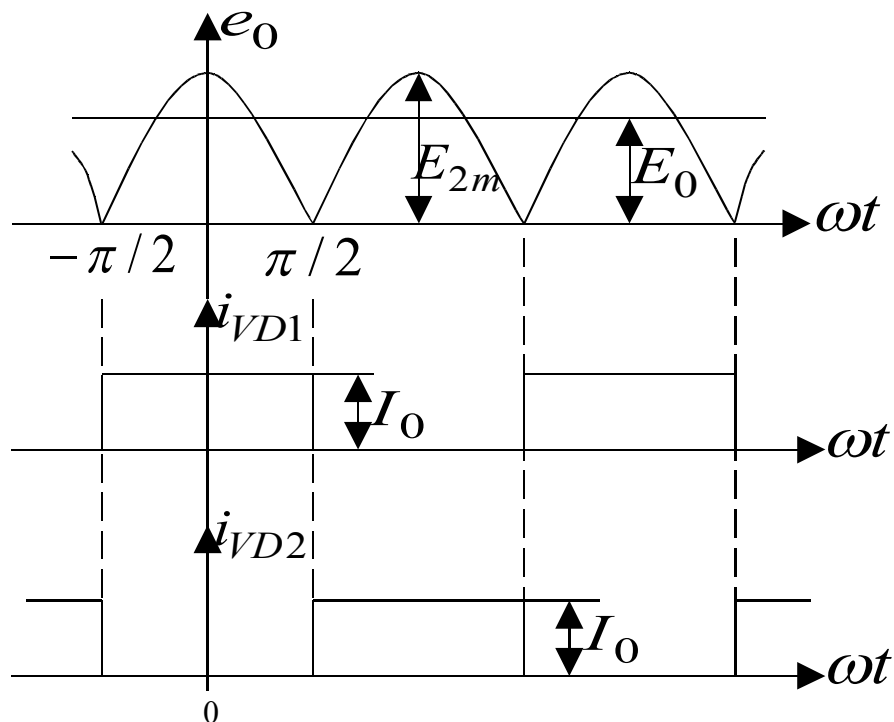


Рис.1.3

При $L \gg L_{KP}$ ток дросселя практически не изменяется во времени, напряжение на нагрузке постоянно и равно среднему значению выпрямленного напряжения E_0 . В лю-

бой момент времени открыт только один вентиль, среднее значение тока которого равно току нагрузки I_0 .

В реальных ВП r_B, r_{TP}, L_S отличны от нуля, выходное сопротивление для основной двухфазной схемы

$$R_{ВЫХ} = r_{TP} + r_B + 2fL_S + r_{ДР}, \quad (1.4)$$

где учтено также сопротивление обмотки дросселя ($r_{ДР}$).

Выходное напряжение

$$U_0 = E_{0X} - U_{ПОР} - I_0 R_{ВЫХ}, \quad (1.5)$$

где $E_{0X} = \frac{E_2}{1,11}$ - среднее значение выпрямленного напряжения при холостом ходе.

Выражение (1.5) описывает внешнюю характеристику ВП при $L \gg L_{КР}$. При расчете мостовой схемы r_B и $U_{ПОР}$ в (1.4) и (1.5) необходимо удвоить.

Коэффициенты пульсаций выпрямленного e_0 и выходного U_0 напряжения

$$k_{П1} = 0,666; \quad k_{П} = \frac{0,169}{(2\pi f)^2 LC}. \quad (1.6)$$

Минимальную величину тока I_0 при заданном значении индуктивности дросселя, для которой сохраняется режим непрерывного тока дросселя, рассчитывают по формуле

$$I_{0КР} = \frac{E_{0X}}{\frac{2\pi f L}{0,332} + R_{ВЫХ}} \quad (1.7)$$

Другие расчетные показатели ВП с индуктивным характером нагрузки приведены в табл.1.1, где $n = E_2 / U_1$ - коэффициент трансформации.

Табл.1.1

Схема выпрямителя	$\frac{U_{ОБР.м}}{E_0}$	$\frac{I_B}{I_0}$	$\frac{I_2}{I_0}$	$\frac{I_1}{I_2}$	$\frac{P_{ГАБ}}{P_0}$	$\frac{f_{П}}{f}$	k_r	k_L
Основная двухфазная	3,14	0,707	0,707	n	1,34	2	6,5	4,5
Мостовая	1,57	0,707	1	n	1,11	2	5,1	6,4

КПД выпрямителя можно определить как

$$\eta_B = \frac{P_0}{P_0 + P_{TP} + P_B}, \quad (1.8)$$

где $P_{TP} = P_{ГАБ}(1 - \eta_{TP})$ - потери в трансформаторе; $P_B = I_{ПР.СР} N U_{ПОР}$; N - число вентилях в схеме; η_{TP} - КПД трансформатора, ориентировочная зависимость которого от $P_{ГАБ}$ представлена на рис.П1.1 в приложении.

1.5. Расчетные соотношения для выпрямителей с емкостным характером нагрузки

Расчет ВП с емкостным характером нагрузки проводится по одной из двух расчетных моделей. Первая - используется при расчетах ВП, содержащих трансформатор, когда L_S и сопротивление фазы $r = r_B + r_{TP}$ существенны и их следует учитывать. Вторая - применяется для расчета бестрансформаторных (сетевых) выпрямителей (СВ). Фаза сети имеет малые r и L_S , которые практически не влияют на процессы в ВП. Минимальное значение емкости фильтра в ВП с нагрузкой, начинающейся с емкости, ограниченное допустимой амплитудой напряжения переменной составляющей, можно оценить для двухфазных схем как

$$C_{MIN} = \frac{10^6}{f R_H} \text{ мкФ}. \quad (1.9)$$

При величине емкости C фильтра большей C_{MIN} выпрямленное напряжение u_0 можно считать практически постоянным и равным U_0 (рис.1.4).

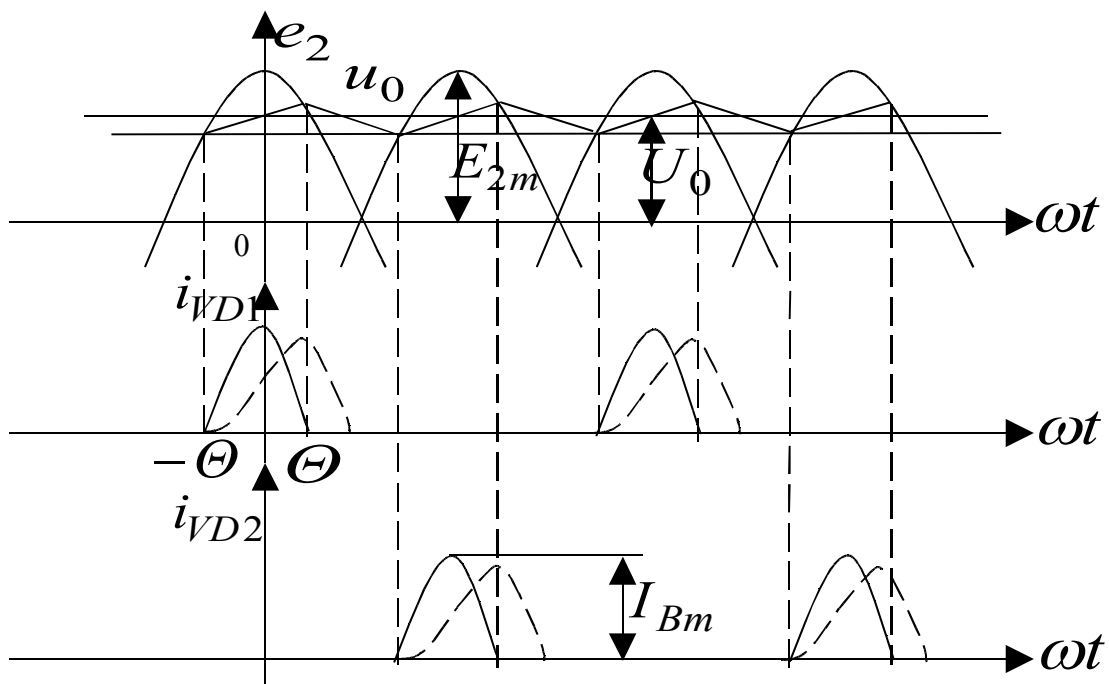


Рис.1.4

Если $L_S = 0$, то вентиль открыт в интервале $-\Theta \leq \omega t \leq \Theta$, значительно меньшем π , а импульс тока симметричен. При $L_S \neq 0$ форма импульса тока искажается и увеличивается его длительность, которая зависит от относительного реактивного сопротивления фазы

$$x = \frac{2\pi f L_S}{r}. \quad (1.10)$$

Входные параметры ВП U_0 и I_0 связаны с параметром режима

$$A(\Theta, x) = \frac{\pi r I_0}{m U_0}, \quad (1.11)$$

от которого зависят параметры, характеризующие работу ВП:

$$\begin{aligned} E_2 &= U_0 B(A, x); \\ I_{Bm} &= (I_0 / m) F(A, x); \\ I_B &= (I_0 / m) D(A, x); \\ k_{П1} &= H(A, x, m) / (fCr). \end{aligned} \quad (1.12)$$

Расчет проводится графоаналитическим методом. Значения коэффициентов В, D, F, H представлены в виде графиков на рис. 1.5а-д соответственно.

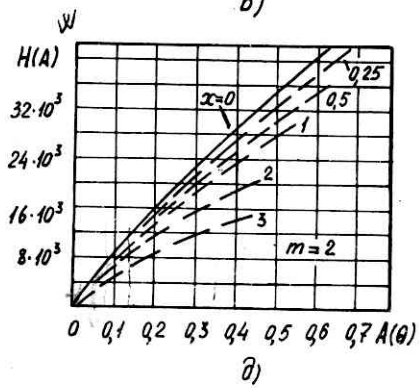
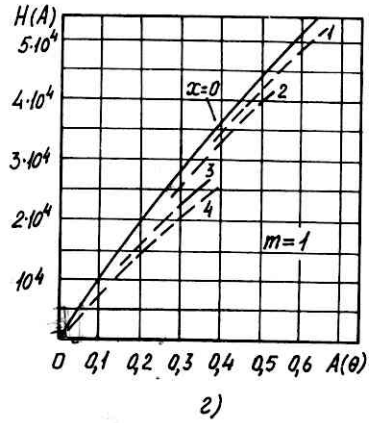
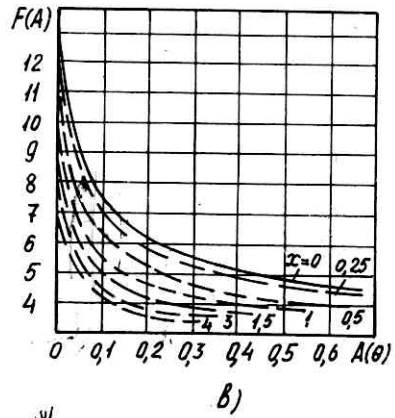
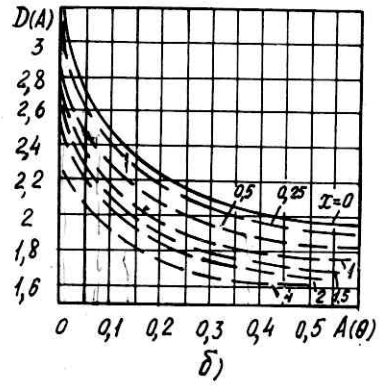
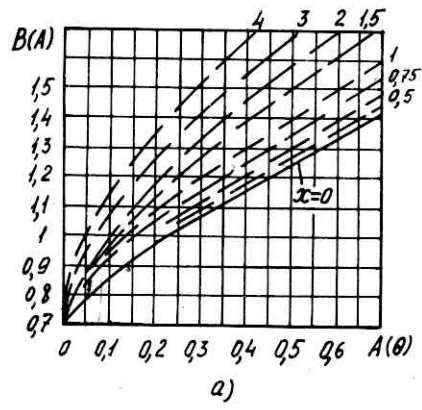


Рис.1.5

Расчетные показатели выпрямительных схем с емкостным характером нагрузки сведены в табл. 1.2.

Табл. 1.2

Схема выпрямителя	m	$\frac{U_{ОБР.m}}{U_0}$	$\frac{E_2}{U_0}$	$\frac{I_2}{I_0}$	$\frac{I_1}{I_2}$	$\frac{P_{ГАБ}}{P_0}$
Основная однофазная	1	2,65	$B(A, x)$	$D(A, x)$	$n = \sqrt{1 - I_0^2 / I_2^2}$	2,25
Удвоения	2	1,33	$0,5B(A, x)$	$\sqrt{2}D(A, x)$	n	1,66
Мостовая	2	1,33	$B(A, x)$	$D(A, x) / \sqrt{2}$	n	1,66
Основная двухфазная	2	2,65	$B(A, x)$	$D(A, x) / \sqrt{2}$	$n\sqrt{2}$	2

Табл. 1.2(прод.)

Схема выпрямителя	m	k_r	k_L
Основная однофазная	1	2,3	4,1
Удвоения	2	0,9	1,25
Мостовая	2	3,5	5
Основная двухфазная	2	4,7	4,3

Сопротивление фазы r для схемы удвоения равно $2(r_{TP} + r_B)$, для мостовой - $(r_{TP} + 2r_B)$, для остальных схем - $(r_{TP} + r_B)$. $U_{ОБРm} = 2E_{2m}$ для основных схем и E_{2m} для остальных, где E_{2m} - амплитудное значение ЭДС вторичной обмотки трансформатора.

Чтобы учесть величину $U_{ПОР}$, расчет ВП надо проводить на выходное напряжение

$$U_0 = U_{0ЗАД} + N_1 U_{ПОР}, \quad (1.13)$$

где $U_{0ЗАД}$ - заданное значение выходного напряжения; N_1 - число вентилях, последовательно включенных в фазу выпрямления.

Внешняя характеристика $U_0 = f(I_0)$ может быть определена по обобщенным внешним характеристикам рис. 1.6 выпрямителя с емкостным характером нагрузки.

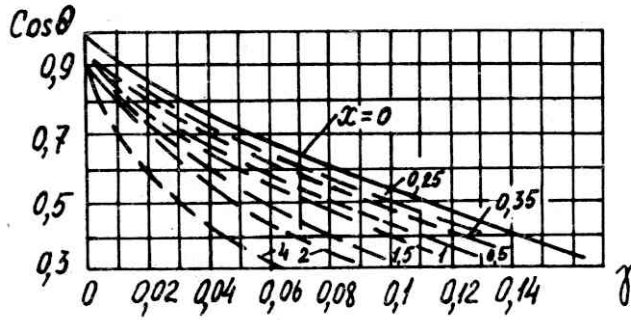


Рис.1.6

Для ее построения необходимо ординаты кривой рис.1.6 умножить на значение E_{2m} , а ее абсциссы – на mE_{2m}/r .

В бестрансформаторном ВП сопротивление фазы настолько мало, что напряжение на емкости при ее зарядке следует за ЭДС работающей фазы (рис.1.7).

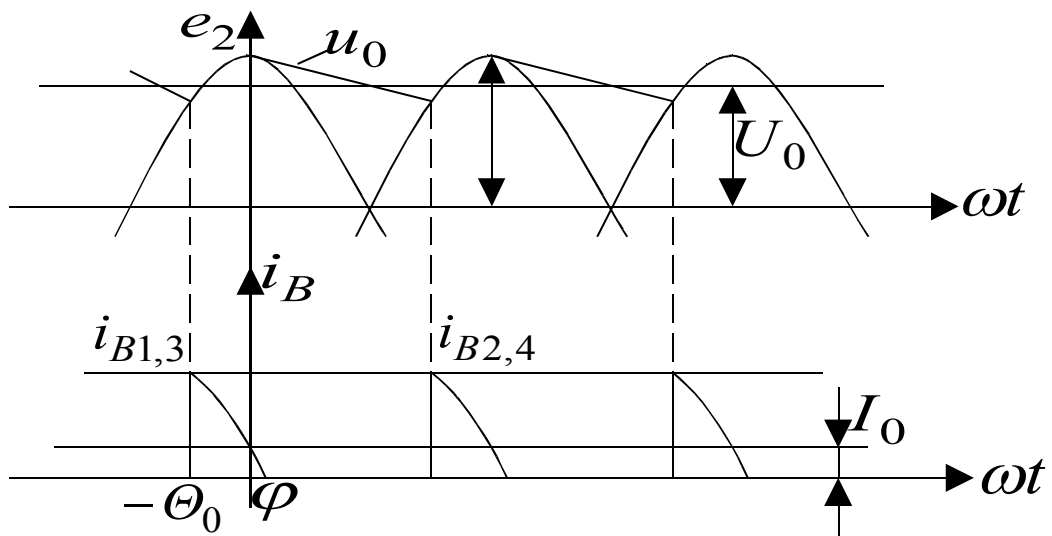


Рис.1.7

Импульс тока асимметричен. При $\omega t = 0$ зарядка емкости прекращается, ток вентиля становится меньше тока нагрузки I_0 и при $\omega t = \varphi$ вентиль закрывается. Угол запираания вентиля φ определяется выражением

$$\sin \varphi = \frac{I_0}{2\pi f C E_m}, \quad (1.14)$$

где E_m - амплитудное значение напряжения сети.

Угол φ и угол Θ_0 отпирания вентиля связаны зависимостью, показанной на рис.1.8.

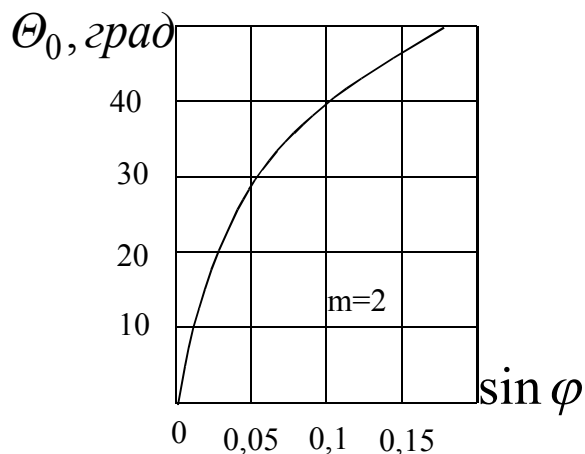


Рис.1.8

При $\varphi < 0,02$

$$\Theta_0 \cong \sqrt{(4\pi / m)\sin \varphi} - \sin \varphi . \quad (1.15)$$

Среднее значение

$$U_0 = E_m - U_{0m} \quad (1.16)$$

и в первом приближении может быть представлено как

$$U_0 = E_m(1 - \cos \Theta_0) / 2 = U_1 / B_0(\Theta_0) , \quad (1.17)$$

где U_1 - действующее значение напряжения сети.

Через угол Θ_0 выражаются и другие параметры ВП:

$$I_B = (I_0 / m)D_0(\Theta_0); \quad I_{Bm} = (I_0 / m)F_0(\Theta_0). \quad (1.18)$$

Графики зависимостей коэффициентов B_0, D_0, F_0 и $k_{П1}$ от Θ_0 представлены на рис.1.9а и б соответственно.

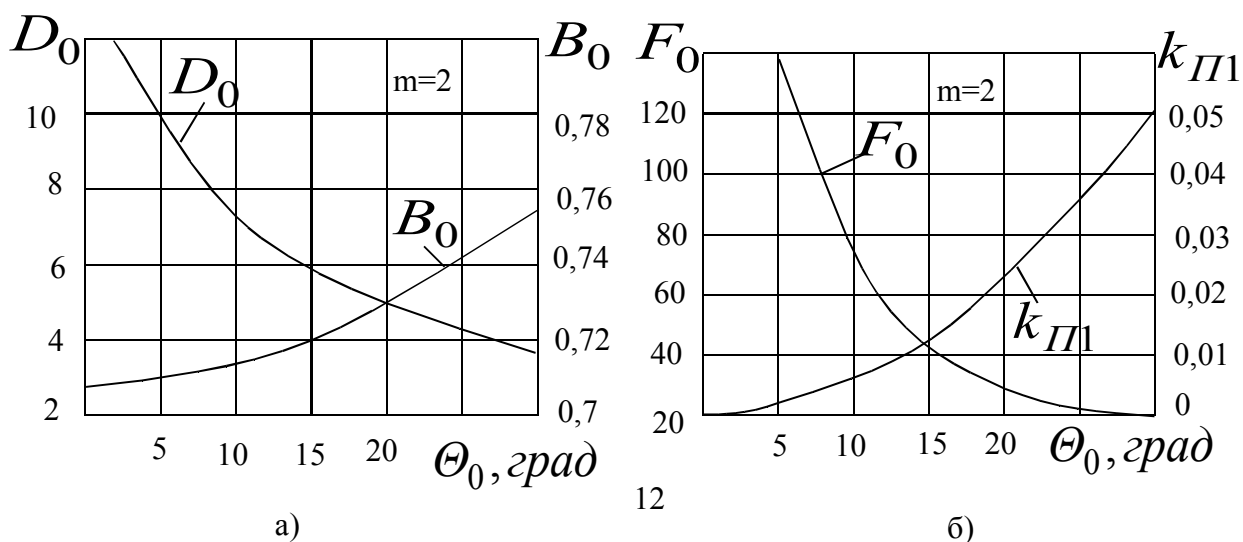


Рис.1.9

Полный коэффициент пульсаций можно определить по формуле

$$k_{\Pi} = \frac{u_{0MAX} - u_{0MIN}}{u_{0MAX} + u_{0MIN}} = \frac{1 - \cos \Theta_0}{1 + \cos \Theta_0} \quad (1.19)$$

Резистор R_0 в схеме ВП (см. рис.1.1д) предназначен для ограничения тока зарядки конденсатора при включении и его сопротивление определяется током перегрузки используемого вентиля:

$$R_0 = \frac{E_{mMAX}}{I_{ПРГ}}, \quad (1.20)$$

где E_{MAX} - амплитудное значение напряжения сети при его максимальном уровне.

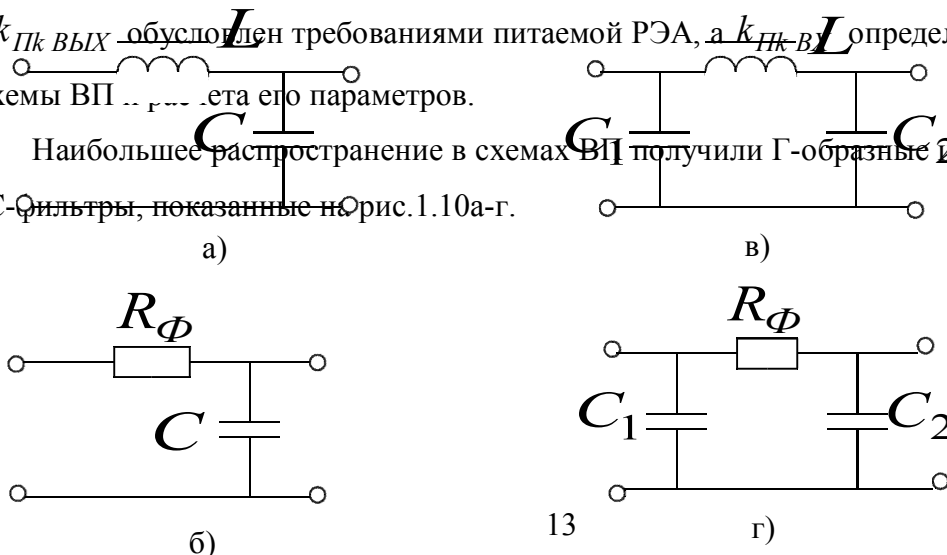
1.6. Сглаживающие фильтры и выбор характера нагрузки двухфазного выпрямителя

Основным параметром сглаживающего фильтра является коэффициент сглаживания пульсаций по k -ой гармонике, который определяется отношением коэффициентов пульсаций на входе $k_{\Pi k ВХ}$ и выходе $k_{\Pi k ВЫХ}$ фильтра:

$$q_k = \frac{k_{\Pi k ВХ}}{k_{\Pi k ВЫХ}}, \quad (1.21)$$

где $k_{\Pi k ВЫХ}$ обусловлен требованиями питаемой РЭА, а $k_{\Pi k ВХ}$ определяют после выбора схемы ВП ... ета его параметров.

Наибольшее распространение в схемах ВП получили Г-образные и П-образные LC- и RC-фильтры, показанные на рис.1.10а-г.



Для Г-образного LC-фильтра

$$q_k \cong (2\pi k f_{II})^2 LC - 1, \quad (1.23)$$

для RC-фильтра

$$q_k = 2\pi k f_{II} CR_{\mathcal{E}}, \quad (1.24)$$

где $R_{\mathcal{E}} = R_{\Phi} R_H / R_{\Phi} + R_H$.

Выбор той или иной схемы фильтра определяет характер нагрузки ВП и в значительной степени влияет на его массогабаритные и иные показатели. Однофазные схемы ВП применяются, как правило, при емкостном характере нагрузки. Двухфазные схемы используются с обеими типами нагрузки. Емкостной характер нагрузки предпочтительней для ВП малой мощности, а индуктивный – для ВП средней и большой мощности. Следует также иметь в виду, что при емкостном характере нагрузки увеличивается вероятность перегрузки вентилях по току, больше габаритная мощность трансформатора и выходное сопротивление ВП, но выпрямленное напряжение несколько больше, а его пульсации меньше.

В общем случае выбор схемы сглаживающего фильтра – достаточно сложная оптимизационная задача. Однако иногда при расчете ВП бывает задана суммарная емкость $C_{ЗAD}$ конденсаторов фильтра и выпрямителя. В этом случае схему фильтра выбирают, ориентируясь на величину C_{MIN} , определяемую соотношением (1.9). Если $C_{ЗAD} / 2 > C_{MIN}$, то выбирается П-образная схема фильтра с $C_1 = C_2 = C_{ЗAD} / 2$. В противном случае следует использовать Г-образный LC-фильтр, у которого $C = C_{ЗAD}$.

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
$U_0=5 \text{ В}$	$U_0=24 \text{ В}$	$U_0=5 \text{ В}$	$U_0=24 \text{ В}$	$U_0=27 \text{ В}$
$I_0=3 \text{ А}$	$I_0=1 \text{ А}$	$I_0=3 \text{ А}$	$I_0=0,5 \text{ А}$	$I_0=1 \text{ А}$

$E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=25000$ мкФ $k_{\text{п}}=0,05$ Рассчитать выпрямитель	$E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=2000$ мкФ $k_{\text{п}}=0,01$ Рассчитать выпрямитель	$E_1=115 \text{ В}$ $f=400 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=1200$ мкФ $k_{\text{п}}=0,05$ Рассчитать выпрямитель	$E_1=115 \text{ В}$ $f=400 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=120$ мкФ $k_{\text{п}}=0,025$ Рассчитать выпрямитель	$E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=500$ мкФ $k_{\text{п}}=0,05$ Рассчитать выпрямитель
Вариант 6 $U_0=12,6 \text{ В}$ $I_0=500 \text{ мА}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=500$ мкФ $k_{\text{п}}=0,003$ Рассчитать выпрямитель	Вариант 7 $U_0=24 \text{ В}$ $I_0=1 \text{ А}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=700$ мкФ $k_{\text{п}}=0,01$ Рассчитать выпрямитель	Вариант 8 $U_0=24 \text{ В}$ $I_0=1 \text{ А}$ $E_1=115 \text{ В}$ $f=400 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=100$ мкФ $k_{\text{п}}=0,01$ Рассчитать выпрямитель	Вариант 9 $U_0=5 \text{ В}$ $I_0=500 \text{ мА}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=1000$ мкФ $k_{\text{п}}=0,02$ Рассчитать выпрямитель	Вариант 10 $U_0=12,6 \text{ В}$ $I_0=0,1 \text{ А}$ $E_1=115 \text{ В}$ $f=400 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=15$ мкФ $k_{\text{п}}=0,03$ Рассчитать выпрямитель
Вариант 11 $U_0=5 \text{ В}$ $I_0=0,2 \text{ А}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=750$ мкФ $k_{\text{п}}=0,004$ Рассчитать выпрямитель	Вариант 12 $U_0=24 \text{ В}$ $I_0=0,5 \text{ А}$ $E_1=115 \text{ В}$ $f=400 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=50$ мкФ $k_{\text{п}}=0,025$ Рассчитать выпрямитель	Вариант 13 $U_0=5 \text{ В}$ $I_0=3 \text{ А}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=10000$ мкФ $k_{\text{п}}=0,05$ Рассчитать выпрямитель	Вариант 14 $U_0=24 \text{ В}$ $I_0=0,1 \text{ А}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=70$ мкФ $k_{\text{п}}=0,035$ Рассчитать выпрямитель	Вариант 15 $U_0=24 \text{ В}$ $I_0=0,3 \text{ А}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=200$ мкФ $k_{\text{п}}=0,008$ Рассчитать выпрямитель
Вариант 16	Вариант 17	Вариант 18	Вариант 19	Вариант 20

$U_0=24 \text{ В}$ $I_0=0,7 \text{ А}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=400$ мкФ $k_{\pi}=0,03$ Рассчитать выпрямитель	$U_0=5 \text{ В}$ $I_0=0,2 \text{ А}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=2200$ мкФ $k_{\pi}=0,004$ Рассчитать выпрямитель	$U_0=24 \text{ В}$ $I_0=0,3 \text{ А}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=500$ мкФ $k_{\pi}=0,008$ Рассчитать выпрямитель	$U_0=5 \text{ В}$ $I_0=0,5 \text{ А}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=4000$ мкФ $k_{\pi}=0,02$ Рассчитать выпрямитель	$U_0=5 \text{ В}$ $I_0=1 \text{ А}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=8000$ мкФ $k_{\pi}=0,005$ Рассчитать выпрямитель
Вариант 21 $U_0=12,6 \text{ В}$ $I_0=0,05 \text{ А}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=200$ мкФ $k_{\pi}=0,002$ Рассчитать выпрямитель	Вариант 22 $U_0=24 \text{ В}$ $I_0=0,7 \text{ А}$ $E_1=220 \text{ В}$ $f=50 \text{ Гц}$ $C_{\text{общ}}=1500$ мкФ $k_{\pi}=0,03$ Рассчитать выпрямитель			