

Подставив \bar{i}_0^{II} из (4) и проведя преобразования с использованием (5) и (6), окончательно получим:

$$\Delta \bar{u} = \frac{1 - \sin(\lambda + \beta)}{\bar{U}_0} . \quad (14)$$

По выведенным выражениям построены расчётные графики в зависимости от обобщённого параметра $\text{tg}\beta = \omega RC$. Расчёты выполнены на электронной вычислительной машине для $m=1$, $m=2$, $m=3$, $m=6$, $m=12$ для $0 \leq \text{tg}\beta \leq 850$. Для иллюстрации на рис. 2 приведены графики для $m=3$ при $\text{tg}\beta = 0 \div 50$.

3. Особенности работы схем выпрямления

Все полученные выше зависимости справедливы для m -фазных схем выпрямления при выполнении определенных условий. Для $m=1$ и $m=2$ никаких ограничений по применению полученных зависимостей нет. Для $m \geq 3$ зависимости справедливы при условии, что длительность горения вентиля λ не превышает критической величины $\lambda_{кр} = \frac{2\pi}{m}$ (т. е. величины, имеющей место при работе на чисто активную нагрузку, когда $C=0$).

Величина λ , определяемая выражением (6), зависит от β , т. е. $\text{tg}\beta = \omega RC$. При заданных ω и R значение β (а, следовательно, и λ) определяется величиной ёмкости C . Очевидно, что чем больше величина ёмкости, тем меньше колебания напряжения на ней (т. е. на нагрузке R) и тем меньше длительность горения вентиля λ . По мере уменьшения ёмкости величина λ растёт и при некотором критическом значении $C = C_{кр}$ длительность горения λ достигает критической величины $\lambda_{кр} = \frac{2\pi}{m}$; при дальнейшем уменьшении ёмкости величина λ увеличиться не может, так как момент включения очередного вентиля будет определяться только моментом пересечения кривых э. д. с. фаз трансформатора (точка A рис. 1, б). В этом случае ёмкость и нагрузка R работают независимо. Назовём режим, имеющий место при $C > C_{кр}$, докритическим, режим при $C = C_{кр}$ — критическим и режим при $C < C_{кр}$ — закритическим. Очевидно, что закритический режим недопустим, ибо ёмкость, устанавливаемая для сглаживания кривой выпрямленного напряжения, никакого положительного действия не оказывает. Наоборот, сказывается её отрицательное действие, выражающееся в искажении формы тока вентиля и трансформатора зарядным током, что ведёт к дополнительным потерям мощности. Для иллюстрации на рис. 3 приведены качественные диаграммы токов и напряжений

Вып. 47, ЛЭИС

¹ Стр. 1, 2 и 3-6 см./see в www.econf.rae.ru/article/791x и /791x+1.

закритического режима (рис. 3, а) для $m=3$ и критического режима (рис. 3, б) для схемы Ларионова ($m=6$).

Подставив $\lambda_{кр} = \frac{2\pi}{m}$ и $\psi_{кр} = \frac{\pi(m-2)}{2m}$ в (5), получим

$$\operatorname{tg} \beta_{кр} = \operatorname{tg} \frac{\pi(m-2)}{2m}.$$

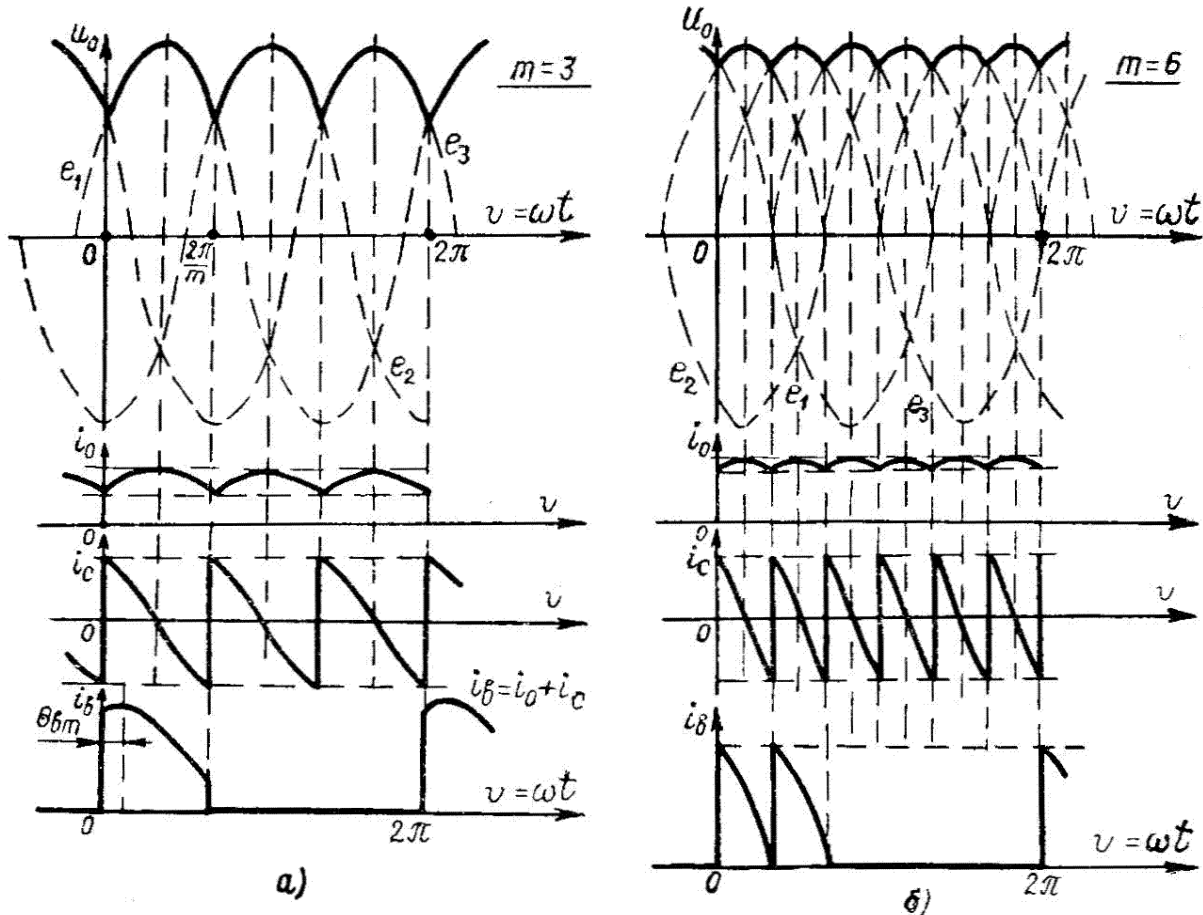


Рис. 3. Диаграммы напряжений и токов
а) закритического режима, б) критического режима

С учётом $\operatorname{tg} \beta_{кр} = \omega R C_{кр}$ из последнего выражения получим значение критической ёмкости (для $m \geq 3$):

$$C_{кр} = \frac{1}{\omega R} \operatorname{tg} \frac{\pi(m-2)}{2m}. \quad (15)$$

Изложенное в работе справедливо для докритического и критического режимов.

4. Графоаналитический метод расчёта схем

Исходными (заданными) величинами являются I_0 (ампер); U_0 (вольт); Δu ; f (герц), т. е. $\omega = 2\pi f$.

Порядок расчёта

1. Выбирается схема выпрямления (т. е. m).
2. По заданной $\Delta \bar{u}$ из графика для выбранного m определяется $\operatorname{tg} \beta$ и рассчитывается величина ёмкости

$$C = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\omega R} \text{ (фарада),}$$

где

$$R = \frac{U_0}{I_0} \text{ (ом).}$$

Для $m \geq 3$ величина C проверяется по условию $C \geq C_{\text{кр}}$.

3. По найденному $\operatorname{tg} \beta$ из графиков находятся все требуемые величины в относительных единицах (\bar{J}_v ; \bar{U}_0 ; $\bar{i}_{v \text{ max}}$ и т. д.) и определяются $E_m = \frac{U_0}{\bar{U}_0}$ (вольт); $i_{v \text{ max}} = \bar{i}_{v \text{ max}} \frac{E_m}{R}$ (ампер) и т. д.

4. Определяются $e_{\text{эф}} = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$; $u_{\text{обр max}}$; J_ϕ по формулам, приведенным в работе.

5. По заданным и вычисленным величинам $u_{\text{обр max}}$; $I_{\text{ов}} = \frac{I_0}{m}$; $i_{v \text{ max}}$ выбирается тип вентиля и рассчитываются потери в вентиле [см. Л. 2].

6. По $e_{\text{эф}}$ и J_ϕ проводится расчёт трансформатора. Следует учитывать, что трансформатор работает в импульсном режиме.

5. Экспериментальные данные

С целью проверки выведенных соотношений был поставлен эксперимент на трёхфазной схеме выпрямления с нулевой точкой ($m=3$). Вентилями служили диоды Д-226Б ($I_v=0,3 \text{ а}$, $U_{\text{обр}}=400 \text{ в}$). Питание схемы выпрямления осуществлялось непосредственно от шин трёхфазной сети переменного тока 50 гц с нулевым проводом. Действующее значение фазового напряжения сети 127 в. Нагрузкой схемы служило активное сопротивление (реостаты) $R=1070 \text{ ом}$. Внутреннее сопротивление вентиля незначительно (единицы ом). Таким образом величина относительного внутреннего сопротивления практически равна нулю. По формуле (15) определено критическое значение ёмкости конденсатора $C_{\text{кр}}=1,715 \text{ мкф}$. При экспериментах параллельно нагрузке R включались поочередно конденсаторы ёмкостью C меньше и больше критической. В соответствии с данными теоретического анализа при $C < C_{\text{кр}}$ конденсатор на форму кривой выпрямленного напряжения не влияет. Ток вентиля при этом

искажается по сравнению со случаем чисто активной нагрузки ($C=0$). При $C > C_{кр}$ конденсатор сглаживает кривую выпрямленного напряжения. Ток вентиля возрастает по амплитуде, а длительность импульса тока уменьшается. При эксперименте применялись конденсаторы МБМ $1 \text{ мкф} \pm 10\%$ 250 в, соединяемые параллельно или параллельно-последовательно. Поскольку конденсаторы имеют разброс по ёмкости, то значение суммарной ёмкости уточнялось замером с помощью моста УМ-3 (погреш-

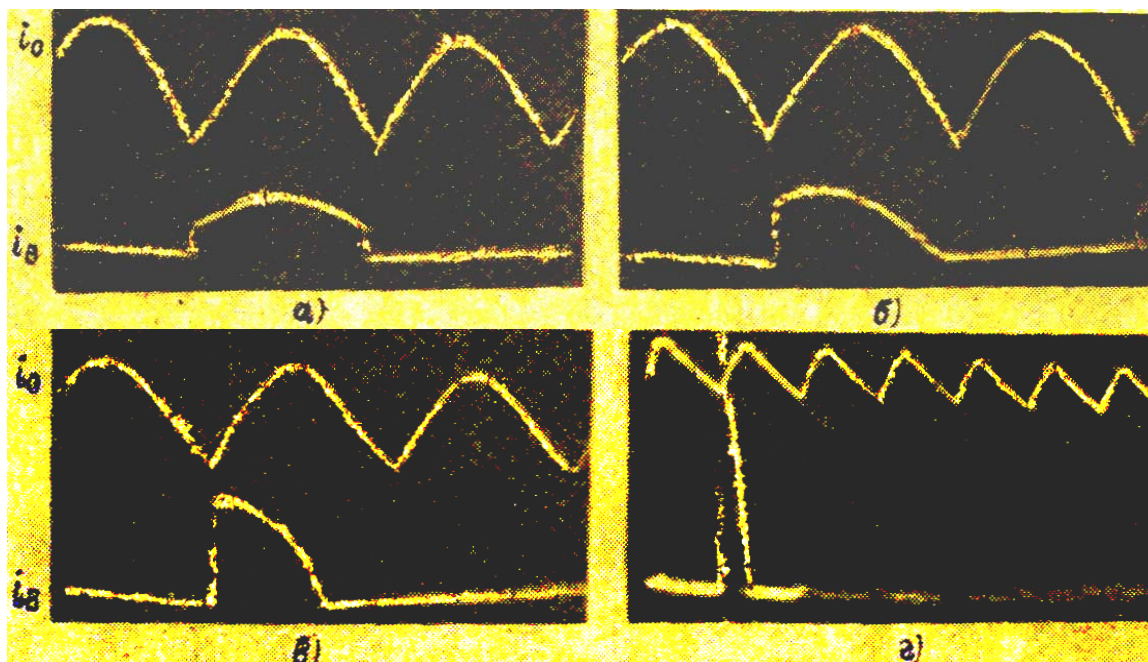


Рис. 4. Осциллограммы
а) $C = 0$; б) $C < C_{кр}$; в) $C > C_{кр}$ г) $C \gg C_{кр}$

ность 1%). Средние значения выпрямленного тока и напряжения замерялись прибором М-253 (класс точности 0,5) и цифровым вольтметром ВК2-6 (погрешность 0,2%) соответственно. Величина сопротивления нагрузки R замерялась с помощью моста МО-62 (класс 0,1) и контролировалась как отношение средних значений выпрямленного напряжения и тока. Выпрямленное напряжение и ток вентиля фотографировались с экрана двухлучевого осциллографа С1-18, ток вентиля — с сопротивлением $0,02 \text{ ом}$, включённого в катод вентиля, выпрямленное напряжение — с части сопротивления R . Фотографии осциллограмм приведены на рис. 4 для режимов: а) $C=0$, б) $C < C_{кр}$, в) $C > C_{кр}$, г) $C \gg C_{кр}$. Масштабы по оси ординат всюду одинаковы. По оси абсцисс масштаб рис. 4, г уменьшен. Данные расчёта с помощью графиков рис. 2 и эксперимента приведены в таблице.

Совпадение теоретических и экспериментальных данных хорошее. Отметим, что форма тока вентиля на осциллограммах не-

Т а б л и ц а

Режим	Значения величин						№ рис.
	I_0 (а)		U_0 (в)		$i_{в\ max}$ (а)		
	расч.	экспер.	расч.	экспер.	расч.	экспер.	
$R=1070$ ом $C=0$	0,139	0,140	149	150	0,168	0,169	4,а
$R=1070$ ом $C=1,6$ мкф	0,139	0,140	149	150	—	0,22	4,б
$R=1070$ ом $C=2,9$ мкф	0,142	0,145	150	152	0,285	0,27	4,в
$R=1070$ ом $C=17,9$ мкф	0,153	0,154	164	165	0,72	0,70	4,г

сколько искажена, вследствие малой величины сопротивления ($0,02$ ом) в катод вентиля, в связи с чем применяется большое усиление осциллографа и появляются помехи за счёт искажённой формы напряжения сети и влияния паразитных параметров проводников. (Увеличение сопротивления искажает картину процессов.)

6. Выводы

Проведено исследование m -фазного выпрямителя, работающего на активную нагрузку, шунтированную ёмкостью. Получены все зависимости, необходимые для расчёта таких схем выпрямления. Для практического использования предложена графоаналитическая методика расчёта. Выявлено наличие докритического и закритического режимов, получено выражение для критической величины ёмкости, определяющей тот или иной режим. Контрольные эксперименты подтвердили правильность теоретических выкладок.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Репин, К. П. Собинов. Исследование схем m -фазного выпрямителя при работе на омическую нагрузку с учётом активного сопротивления элементов схемы. Труды учебных институтов связи, вып. 46, Л., 1969.
2. А. С. Богословский. Силовые полупроводниковые выпрямители. Воениздат, 1965.

Московский
электротехнический институт связи

Статья поступила в редакцию
в июне 1968 г.



МЭИС – МТУСИ



ВЭИС - МТУСИ

Продолжение следует.

© Репин А.М. 1966, -68, -69. 2003. 20.7–26.9.2013