

Рис. 5.5 Нормированная внешняя характеристика

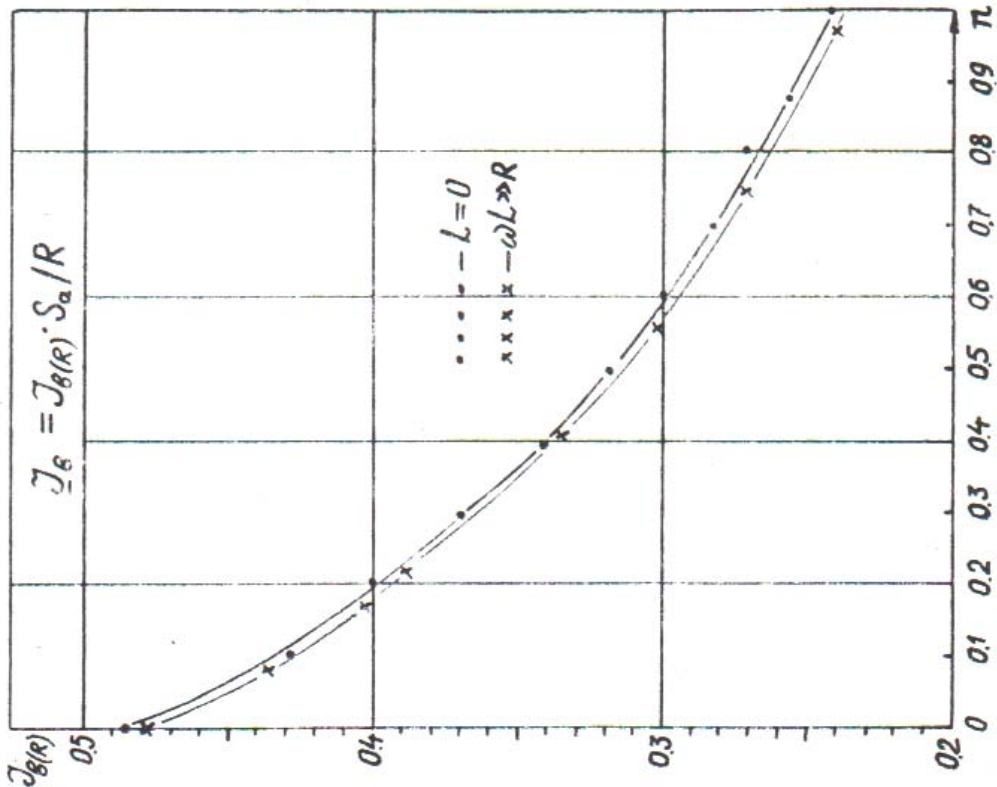


Рис. 5.6. Параметрические зависимости действующего значения тока вентильной схемы с активными потерями при активном ($L=0$) и индуктивном ($\omega L \gg R$) характере нагрузки.

¹ Стр. 165–181 Главы 5 См. в НЭА РАЕ. URL: [//econf.rae.ru/article/9531](http://econf.rae.ru/article/9531) и №, на 1 меньше № данного файла.

Метод 3. Учтены внутренние активные сопротивления, но без учёта влияния напряжения смещения вентиля и явления коммутации (перекрывания) внутренних ветвей

а/ относительно высоковольтные выпрямители.

Имея в виду, что в этом случае $U_o = \sin k\theta / \theta (n+k) \cos \varphi_k$, $U_o' = \sin \theta / (1+n)\theta$, погрешность в общем виде для любого k -го коммутационного режима любой m -фазной схемы определится выражением

$$\delta U_o = \left(\frac{n+k}{n+1} \frac{\sin \theta}{\sin k\theta} \cos \varphi_k - 1 \right) 100\% .$$

Для $m = 12$ (м.е. $\theta = \pi/m = 15^\circ$) и $n \approx 1$ (м.е. $k=3, \varphi_3 = 3^\circ$) получаем

$$\delta U_o^{(12)} = \left(\frac{1+3}{1+1} \frac{0,9986}{2,732} - 1 \right) 100\% = 27\% ,$$

б/ выпрямитель ИИН ($\varepsilon = 0,5$)

$$\delta U^{(12)} = (0,4983/0,31 - 1) 100\% = 60\% .$$

Метод 4. При учёте внутренних сопротивлений и напряжения смещения вентиля (прибавляя к напряжению нагрузки), но без учёта явления коммутации

а/ $\varepsilon = 0,1$: $\delta U^{(12)} = (0,3943/0,6 - 1) 100\% = 34\% ,$

б/ $\varepsilon = 0,4$: $\delta U_o^{(12)} = (0,0943/0,377 - 1) 100\% = 75\% .$

Погрешности приближенных методов значительны.

Исследования параметрических состояний схем с активными потерями и нагрузкой индуктивного характера осуществлены аналогичным предыдущему случаю образом. Выявлено, что даже при довольно малом значении обобщённого декремента цепи нагрузки $\delta_H = 0,0788 \ll 1$ ($R = 155 \text{ ом} , L = 6,26 \text{ гн}$) показания приборов по выходным данным практически совпадают с результатами предыдущего случая, когда катодный дроссель отсутствует ($\delta_H = \infty$). При его подключении наблюдается некоторое увеличение угла коммутации, сглаживание вершины

тока вентилей (фазы) и практически незначительное изменение его действующего значения - рис. 5.6. Тем самым подтверждены квазиадекватность состояний многофазных выпрямителей малой мощности и утверждение, что катодная индуктивность способствует существованию коммутационных режимов их работы.

Всё это даёт основание рекомендовать полученные в третьей главе расчётные номограммы для практического использования при проектировании маломощных многофазных выпрямителей с нагрузкой индуктивного характера при их работе в любом (k -го порядка) коммутационном режиме.

Таким образом, проведённый эксперимент полностью подтвердил результаты, полученные в третьей главе.

По главе IV.

Цель: Исследование критичности параметрических состояний многофазных выпрямителей.

1. Явление критичности состояний в схемах с ёмкостной нагрузкой.
2. Эффект существования коммутационных состояний в схемах с индуктивной и ёмкостной нагрузках независимо от величин реактивностей.
3. Активизация критичности под влиянием внутренних индуктивностей.

С целью проверки теоретических результатов, касающихся принципа критичности состояний многофазных выпрямителей малой мощности, эксперимент был поставлен на 3-х фазной лучевой схеме, нагруженной на параллельный RC -фильтр. В схеме рис. 5.1 следует удалить внутреннее сопротивление и катодный дроссель. В этом случае сопротивления вентилей, как и их напряжения смещения, незначительны по сравнению с данными нагрузки и ими можно пренебречь. Тем самым мы приходим к схеме класса R/IC , являющегося базовым в смысле существа физи-

ческих явлений и, в частности, в смысле критичности состояний по отношению ко всем остальным классам схем с ёмкостной нагрузкой.

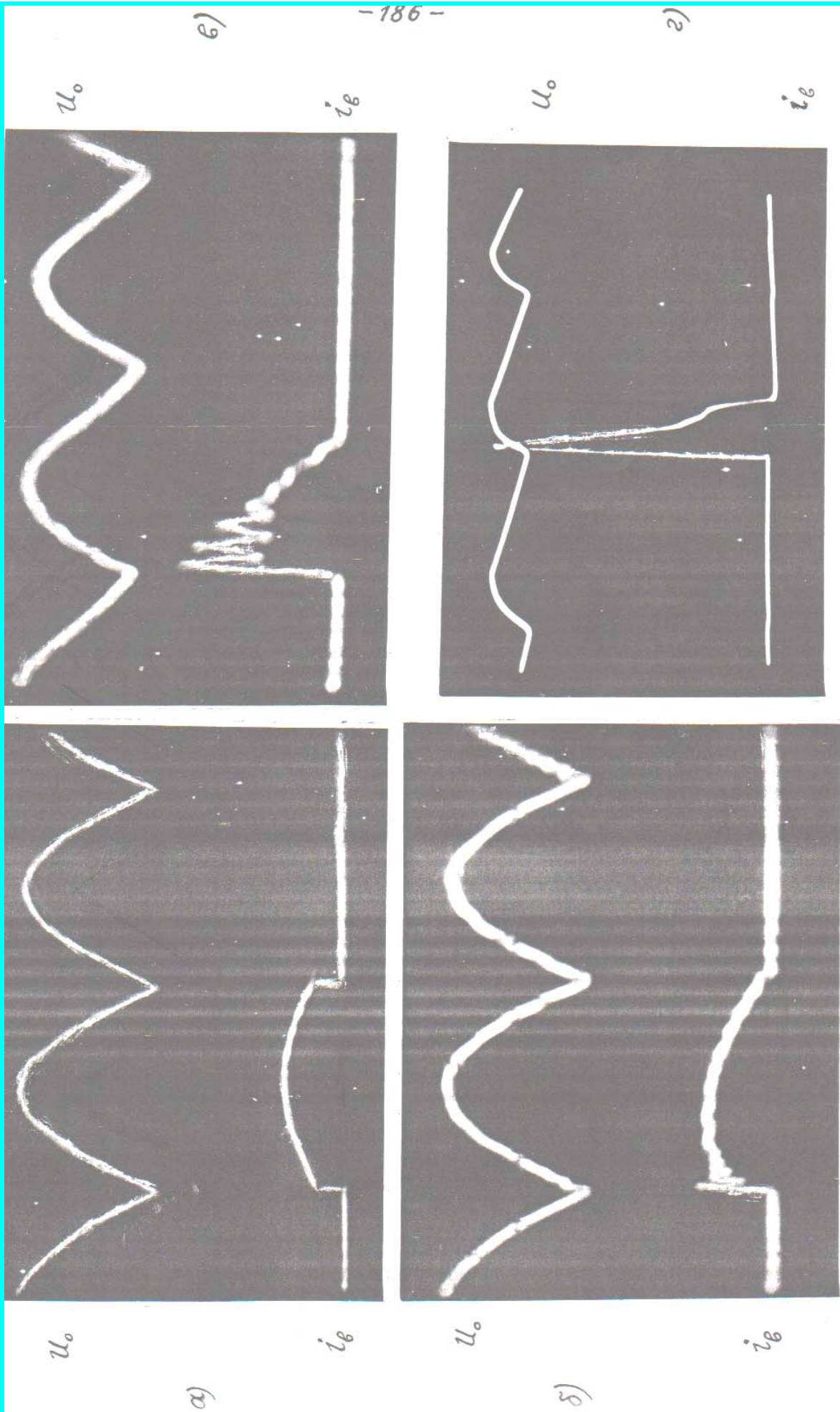
При $m > 3$ и усложнении схемы (например, при учёте влияния внутренних сопротивлений) эффект критичности проявляется ещё более контрастно.

Для рассматриваемого класса схем условие нулевой критичности принадлежит формуле $g_{н.кр} = ctg \theta$, дающей связь между обобщённой постоянной времени цепи нагрузки $g_n = \omega RC$ и числом m импульсов воздействия на нагрузку за период эдс. При фиксированных значениях m, ω, R состояние схемы определяется величиной ёмкости. Её критическое значение $C_{кр(50гц)}^{(m=3)} = 1839/R = 1,5 \text{ мкф}, (U_0 = 147\text{в}, I = 120 \text{ ма})$.

При экспериментах параллельно сопротивлению нагрузки подключались конденсаторы ёмкостью больше и меньше критической. В соответствии с выводами теоретического исследования при $C < C_{кр}$ конденсатор на форму кривой выпрямленного напряжения не влияет. На фото 5.5,б отчётливо видно, что несмотря на наличие конденсатора, формы тока и напряжения полезной нагрузки при $C < C_{кр}$ такие же как при работе выпрямителя на чисто активную нагрузку (при $C = 0$, фото 5.5,а). Ток вентиля (фазы) при этом искажён. Однако, длительность открытого состояния вентиля составляет 120° , выходной ток непрерывен. Таким образом, схема находится в состоянии $P < H$, конденсатор, будучи поставлен для уменьшения пульсаций, не выполняет своих фильтрующих свойств, ведёт лишь к дополнительным потерям и тем самым становится излишним.

С ростом m величина $C_{кр}$ увеличивается. Например, для $m = 12$ при $U_0 = 1,2\text{в}, I = 200 \text{ ма}$ значение $C_{кр(50гц)}^{(m=12)} = 11876,5/R = 1980 \text{ мкф}$, что перекрывает диапазон практических значений.

При $C > C_{кр}$ конденсатор сглаживает кривую огибающую фэдс (фото 5.5,в). Ток вентиля возрастает по амплитуде, а длительность импульса тока уменьшается, становясь меньше 120° . Появляются под-



Формо 5.5.

интервалы самостоятельного (независимого) разряда конденсатора на сопротивление нагрузки, когда все вентили закрыты. Выходной ток становится прерывистым. В полезной нагрузке поддерживается непрерывный ток за счёт энергии, запасённой конденсатором в подинтервале открытого состояния вентиля. Последний содержит подинтервалы заряда конденсатора от источника эдс (подинтервал накопления энергии) и принуждённого (зависимого) разряда, когда нагрузку питают одновременно и источник и конденсатор (подинтервал отдачи энергии).

Таким образом, схема работает в режиме $\rho < 3$, а длительность открытого состояния вентиля не равна длительности заряда конденсатора.

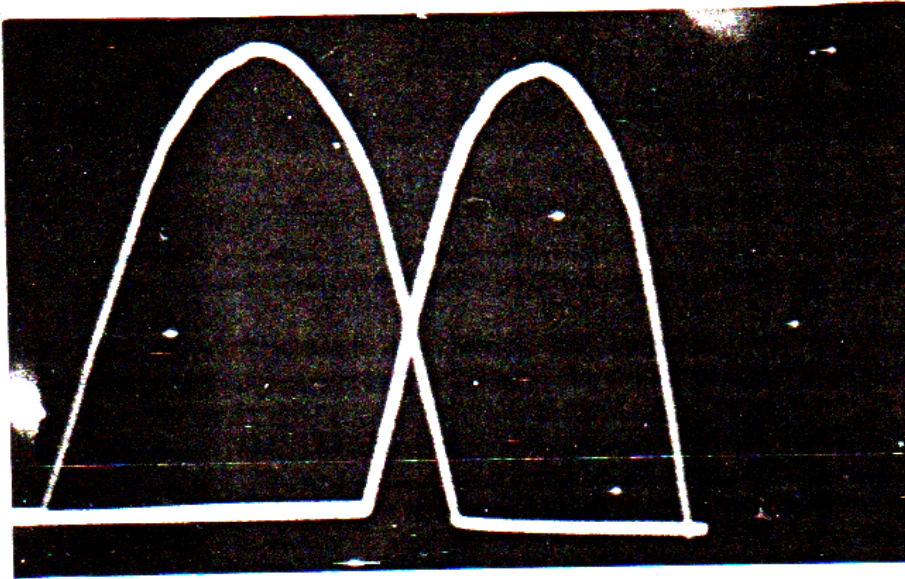
На фото 5.5,г приведены формы токов, когда значение ёмкости существенно больше критической. Величина пульсации уменьшилась, как и подинтервал заряда конденсатора. Подинтервал независимого разряда увеличился. Всё это вызвало увеличение амплитуды тока вентиля (фазы), что естественно, поскольку за большее время конденсатор должен обеспечить большее потребление нагрузки. Схема по-прежнему работает в режиме $\rho < 3$.

Итак, теоретические результаты обнаруженного явления критичности состояний многофазных схем без потерь полностью подтверждены. В более сложных схемах проявление критичности лишь несколько видоизменяется по форме, но сущность явления остаётся той же. Так, в схемах с потерями критичность наступает раньше, т.е. при больших значениях ёмкости или сопротивления нагрузки. Это связано с тем, что внутренние активные и (или) индуктивные сопротивления создают необходимые предпосылки для существования коммутационных состояний ($\rho < \mathcal{K}$). Более того, при определённых соотношениях схемных параметров схема может работать в коммутационном режиме независимо от величин реактивностей фильтра. Так, в схемах с активными потерями и ёмкостным фильтром состояния $\rho < \mathcal{K}$ существуют при любом значении

i_1

i_2

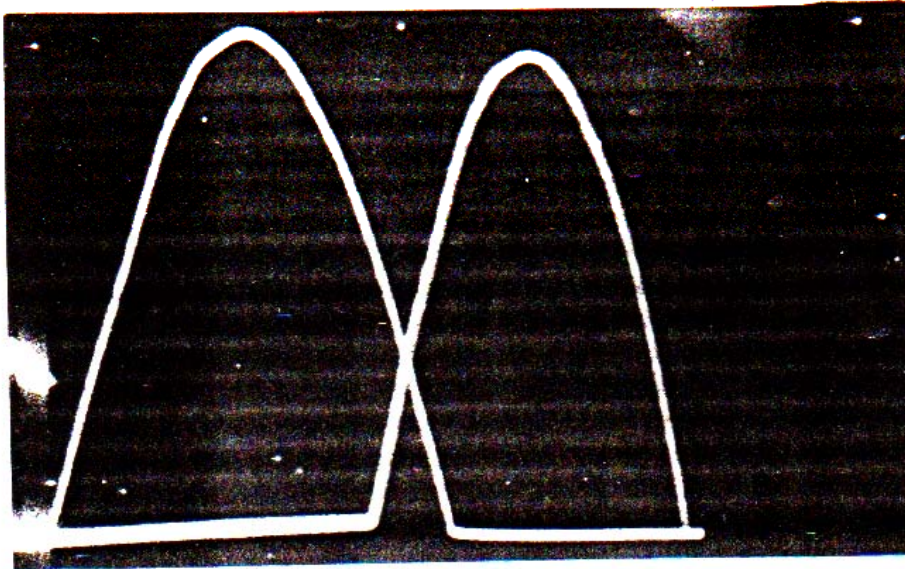
a)



$$C=0$$

$$L=0$$

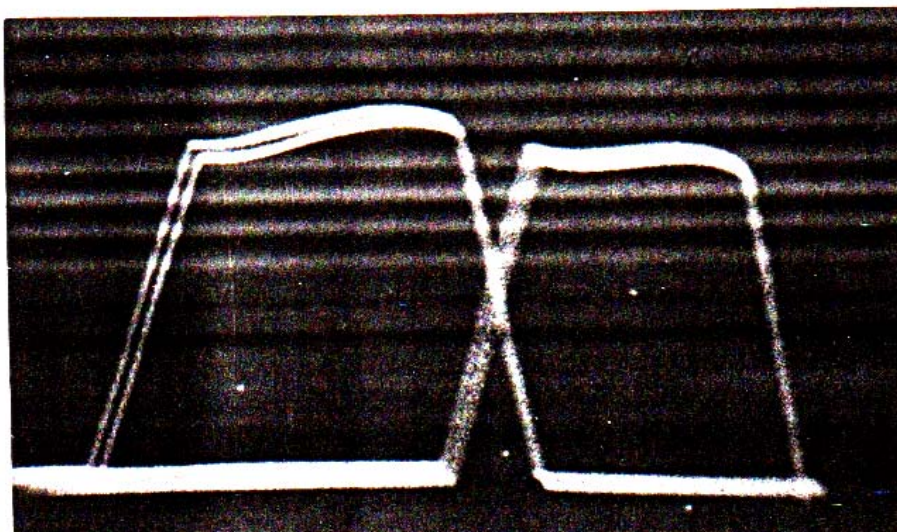
б)



$$C=18 \text{ мкФ}$$

$$L=0$$

в)



$$C=0$$

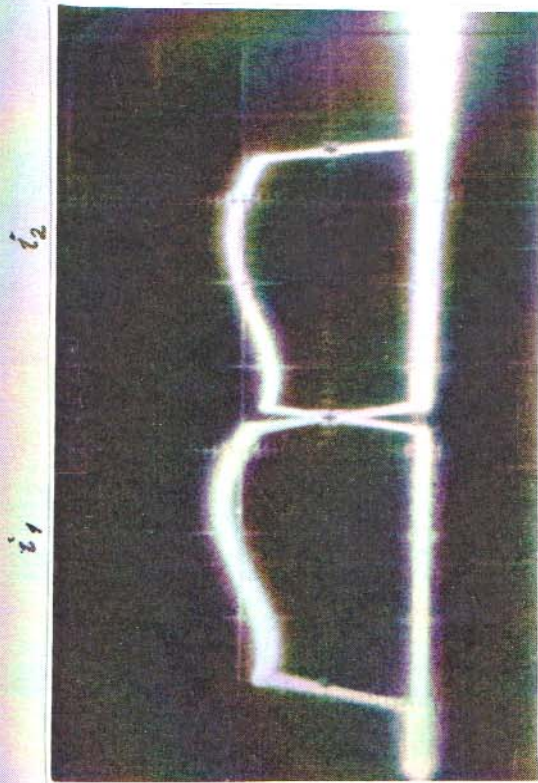
$$L=2,5 \text{ мГ}$$

ёмкости ($C = 0 \div \infty$), если значения параметра $n > n_{кр.у.0} = \theta^{-1} \operatorname{tg} \theta - 1$ (фото 5-6, а, б). При значении $n > n_{кр.0}(\kappa)$, определяемом из (3.68'), независимо от величины ёмкости фильтра схема работает в $\kappa^+ = (\kappa + 1)$ -м коммутационном режиме.

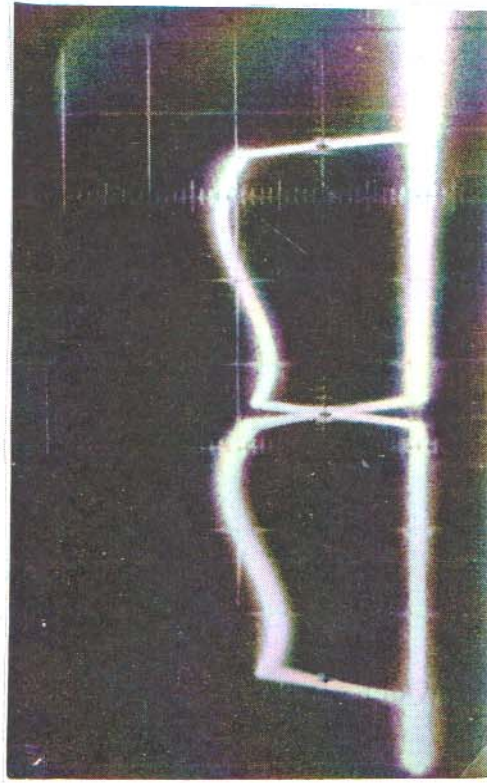
Аналогичная ситуация имеет место и в случае нагрузки индуктивного характера (фото 5.6, в), где явление коммутации наблюдается при любых значениях $n > 0$ и $L \geq 0$. Это естественно, поскольку катодный дроссель способствует состояниям $\rho < \kappa$, которые при активной нагрузке ($L = 0$) существуют, как это было показано, при любых значениях внутренних сопротивлений. Если значения $n > n_{кр.0}(\kappa^-)$, определяемых по (3.90), схема с индуктивной нагрузкой работает в коммутационном режиме порядка $\kappa^+ = \kappa + 1$ независимо от величины индуктивности.

На фото 5.7 показаны формы токов вентилях для схемы класса $\Sigma LR\Pi C$ при $C = 0$ и $C = 18$ мкф. Из сравнения осциллограмм не представляется возможным подметить какие-либо существенные изменения в коммутационном состоянии при подключении к нагрузке сравнительно большой ёмкости. Та же картина наблюдается при включении П-образного звена между дросселем и нагрузкой. Тем самым результаты, полученные для коммутационных режимов при активной нагрузке (с которыми практически совпадают показатели при индуктивной нагрузке) могут быть использованы и в случае, когда нагрузкой служит Г-образный или многозвенный фильтр.

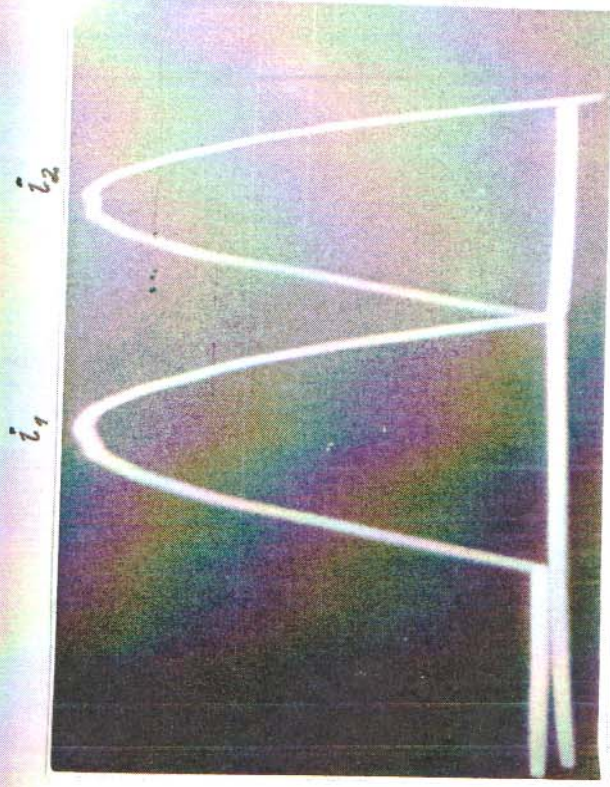
Переход схемы с ёмкостной нагрузкой из состояния $\rho < 3$ в $\rho < \kappa$ под влиянием внутренних индуктивностей иллюстрируется на фото 5.8. При значениях $n > n_{кр.у.0}$ схема находится в коммутационном состоянии независимо от величин внутренних индуктивностей и ёмкости фильтра. Чем больше n , тем в более глубоком коммутационном режиме работает схема при одинаковых соотношениях определяющих параметров.



$C=0$

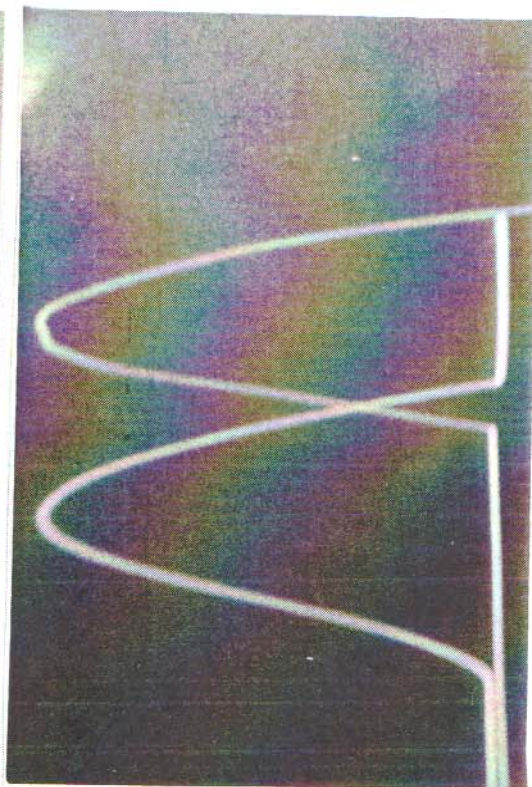


$C=18 \mu\text{F}$



а)

$l=0$



б)

$l>0$

Фото 5.7. (Класс π LRLIC)

Фото 5.8. (Класс π LRLIC)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К основным результатам работы можно отнести следующее:

1. Приведены определения основных параметрических состояний многофазных выпрямителей и в аналитической форме найдено максимально возможное число коммутационных режимов работы схем с активными потерями.

2. Изложены методы относительных и операторных эквивалентов, позволяющие исследовать электрические схемы и цепи, абстрагируясь от конкретных значений их элементов и переменных состояния.

3. Выведена в общем виде формула разложения, позволяющая находить в явном и замкнутом виде оригиналы изображений, представленных в форме произведения мероморфных функций. На её основе получен ряд соотношений по определению непрерывной и импульсной реакции линейной нагрузки выпрямителей. Для удобства использования метода эквивалентных реакций найдены изображения текущего числа периодической последовательности импульсов характерных для выпрямителей сигналов.

4. На основе указанных методов осуществлено в общем виде полное исследование параметрических состояний многофазных выпрямителей без учёта потерь с комплексной нагрузкой индуктивного характера при их работе в неуправляемом и управляемом режимах и режимах от х.х. до к.з. Вскрыты принципиальные особенности их работы, дана инженерная методика расчёта выпрямителей указанного класса. Осуществлено сравнение с результатами, полученными автором для схем с ёмкостной нагрузкой при конечных значениях ёмкости.

5. На основе предложенного метода коммутационных эквивалентов решён ряд практически важных задач по исследованию коммутационных состояний k -го порядка m -фазных выпрямителей малой мощности с

конкретной и общего вида нагрузкой.

6. Вскрыты принципиальные особенности работы многофазных выпрямителей с активной и индуктивной нагрузках, при учёте внутренних активных и индуктивных сопротивлений и характеристики вентиля, получены в рекуррентной форме все необходимые расчётные и параметрические соотношения и номограммы, приведены этапы инженерной методики расчёта схем указанных классов, охватывающей все возможные режимы от х.х. до к.з. Показана квазиадекватность коммутационных состояний выпрямителей малой мощности при активной, индуктивной и ёмкостной нагрузках.

7. Приведены необходимые и достаточные условия существования основных параметрических состояний многофазных выпрямителей и для значительного числа классов схем малой, средней и большой мощности осуществлена графо-аналитическая реализация условий нулевой и k -го порядка критичности состояний.

8. С целью проверки и подтверждения основных результатов теоретических изысканий поставлен эксперимент. Данные экспериментальных исследований и изложенной теории совпадают. Осциллографическое обследование электромагнитных процессов схем подтвердило достоверность обнаруженных явлений.

