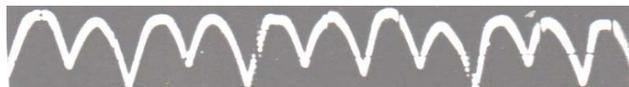
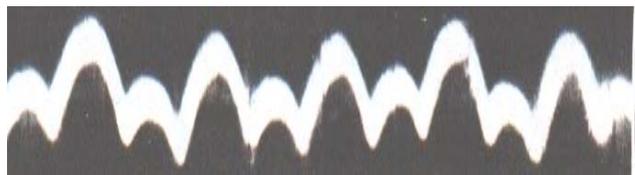
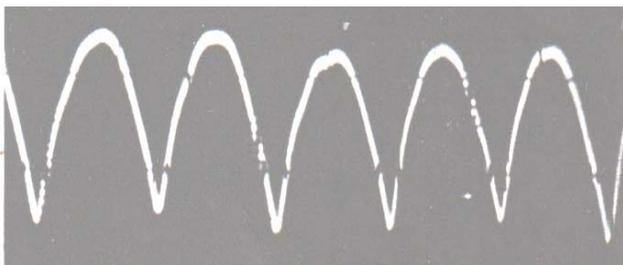


А.М. Репин. Исследование параметрических состояний  $m$ -фазных выпрямителей (ПСВ).  
*Arkadiy M. Repin. Research of parametric conditions of the  $m$ -phase rectifiers (PCR).*  
/The PhD thesis. 1971–26.9.2015. Гл.5. С. 165–172<sup>1</sup>.

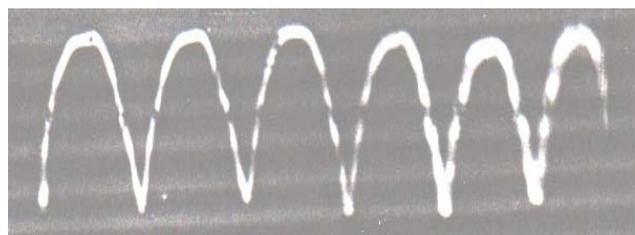
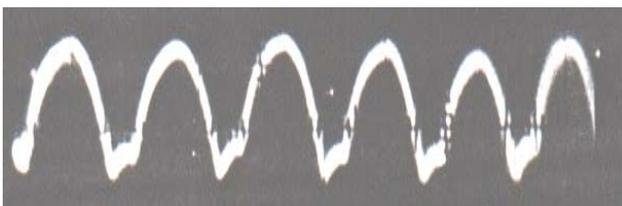
**Анонс.** Впервые вообще и в электронном виде, в частности, публикуются наглядные экспериментальные результаты (осциллограммы и пр.), приведенные около полувека назад только в кандидатской диссертации автора. В том числе по факту физического реального существования и открытия автором эффектов удвоения (редупликации) частотной кратности пульсации выпрямленного напряжения (тока) и снижения (редукции) её уровня в 4 раза в вентильных конвертерах электроэнергии. Причём без необходимого (обычно) с той же целью введения дополнительных источников ЭДС и конвертирующих элементов либо/и специальных фильтров.

① К 72-5 1115	МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ	
инж. РЕПИН А.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ $m$ -ФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ	
Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук	
10072744	

Москва – 1971



Сущность Р-явления.



<sup>1</sup> Стр. 134-164 Главы 4 См. в [//econf.rae.ru/article/9527+9530](http://econf.rae.ru/article/9527+9530).

## Г Л А В А У

### Э К С П Е Р И М Е Н Т

#### Цель и общая схема эксперимента

С целью проверки и подтверждения полученных теоретических результатов были выполнены соответствующие экспериментальные исследования на трёхфазных схемах выпрямления с общим выводом и мостовой ( $m = 3, m = 6$ ).

Общая схема эксперимента изображена на рис. 5.1. Питание схемы осуществлялось от шин трёхфазной четырёхпроводной сети переменного тока частотой 50 гц с нулевым проводом и подавалось с помощью общего рубильника через распределительный щит и выключатель, установленный в схеме. Действующее значение фазного напряжения сети 127в. Форма эдс - синусоидальная. Амплитуда эдс  $S_a = 180$ в (179,7в). Из внутренних сопротивлений учитывались активные и (или) индуктивные в зависимости от задачи эксперимента. С целью возможности регулирования и точного измерения влияние распределённых сопротивлений трансформатора, сети, коммутирующих проводников, вентиля и других внутренних элементов моделировалось с помощью элементов с сосредоточенными параметрами: индуктивные - путём подключения во внутренние ветви катушек индуктивности, активные - посредством реостатов и прецизионных сопротивлений. При получении соответствующих результатов нагрузкой служили: активное сопротивление (реостаты), индуктивный Г-образный фильтр, параллельный ёмкостный фильтр и многозвенный с индуктивным входом фильтр.

Замерам подлежали средние и действующие значения токов: общей и полезной нагрузки, вентиля (фазы) и в линейном проводе; напряжений: полезной нагрузки, на внутренних сопротивлениях, фазовые или линейные и между анодом вентиля и нулевым проводом. Для измерений использова-

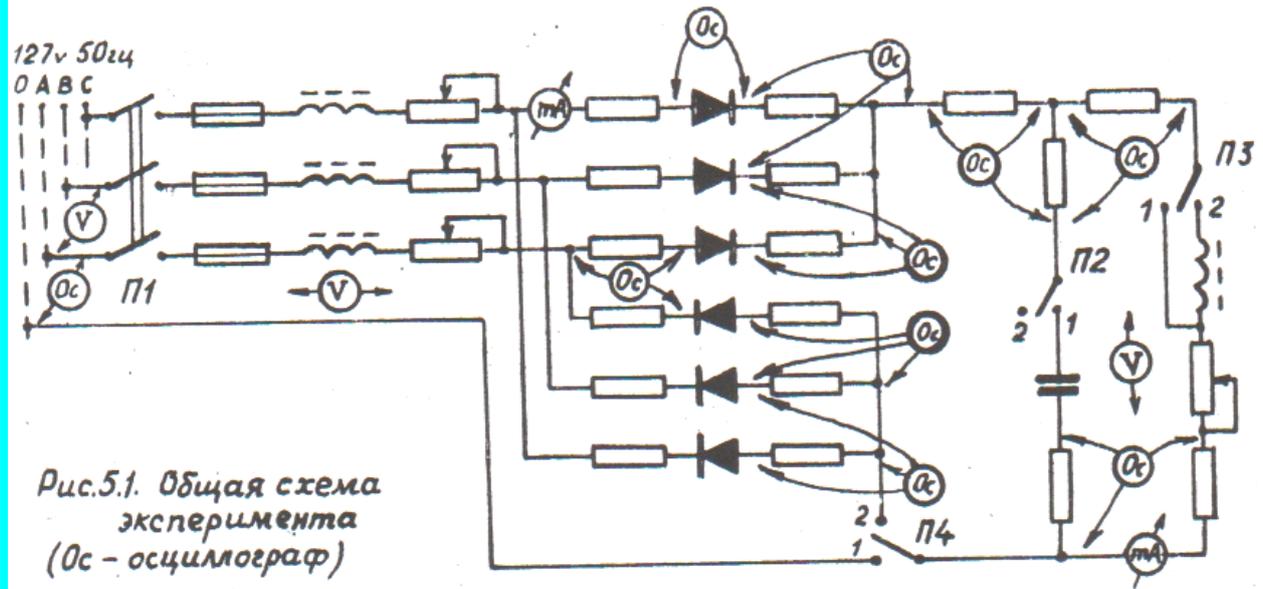


Рис.5.1. Общая схема эксперимента (Ос - осциллограф)

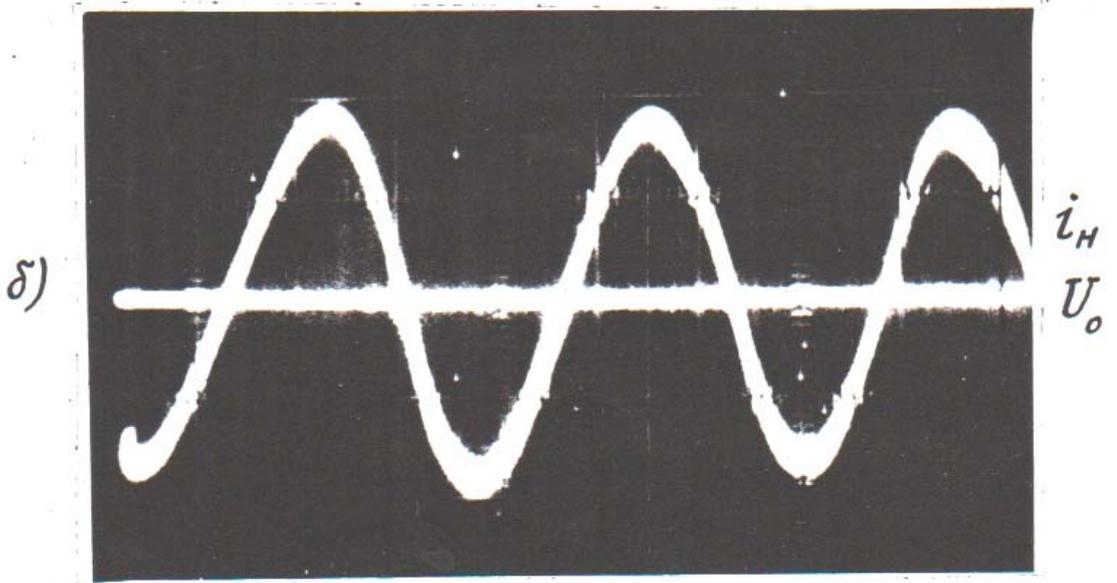
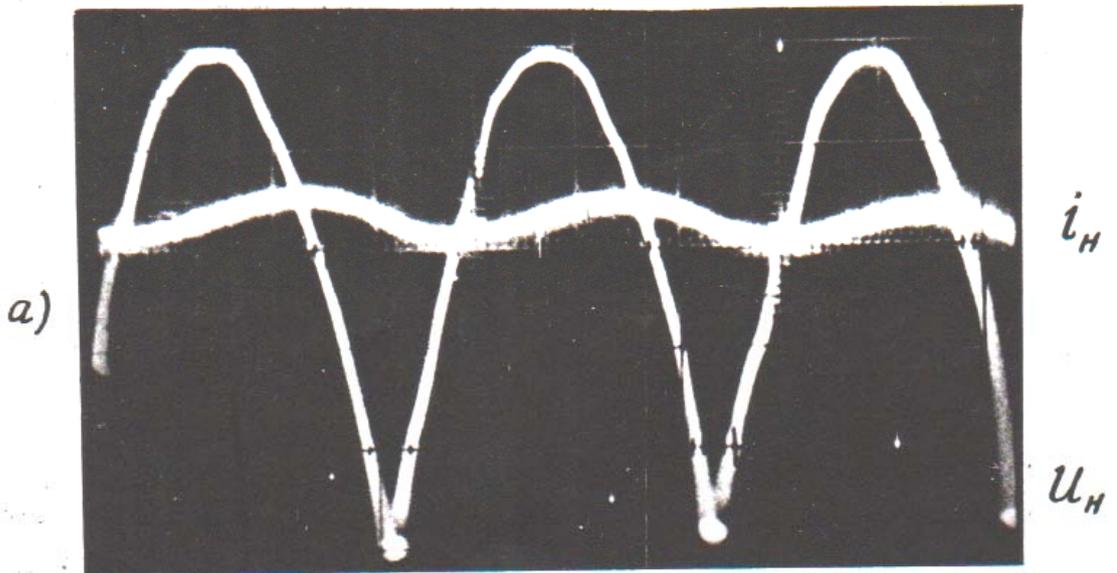


Фото 5.1.

лись приборы с зеркальной шкалой, способствующей повышению точности показаний. Средние значения тока и напряжения замерялись приборами типа М252 и М106 класса 0,5, действующие напряжения – вольтметром типа Д128 класса 1,0. Поскольку конденсаторы имеют разброс по ёмкости, то её значение уточнялось замером с помощью моста УМ-3 (погрешность 1%). Величины индуктивностей уточнялись посредством измерителя индуктивностей, низкочастотного, типа Е7-1А, активные внутренние сопротивления и нагрузки замерялись с помощью моста МД-62 (класс 0,1) и контролировались как отношение соответствующих напряжений и токов. В частности, при ёмкостной нагрузке её сопротивление контролировалось как отношение средних значений выходного напряжения и тока. Поскольку среднее значение тока конденсатора равно нулю, то такой замер выходного тока и давал искомое значение среднего тока нагрузки. Аналогично, при индуктивной нагрузке замер среднего значения выходного напряжения давал искомое значение среднего напряжения нагрузки.

Визуальное наблюдение форм переменных (токов, напряжений) осуществлялось с помощью двухлучевых осциллографов типа С1-18 и *Osw2-D*, с экранов которых фотографировались необходимые кривые. Парные диаграммы снимались в точках, указанных на рис. 5.1 стрелками. При экспериментах использовался также тестер Ц435. Переход с лучевой схемы на мостовую осуществлялся с помощью переключателя П4.

Эксперимент поставлен по каждой технической главе в отдельности и по наиболее важным задачам.

### По главе II.

Цель: Исследование параметрических состояний схем с пренебрежимо малыми потерями.

1. Определение величины пульсации в схеме с комплексной нагрузкой индуктивного характера.

2. Определение расчетных величин.
3. Оценка погрешностей.
4. Формы токов и напряжений.

### Выполнение и результаты эксперимента

Из приведенной на рис. 5.1 схемы следует во внутренних ветвях удалить элементы с сосредоточенными параметрами, а во внешней цепи конденсатор, поставив переключатели П2 и П3 в положение 2. Посредством реостата и набора дросселей типа Д25 различных номиналов подбирались соответствующие значения обобщенной постоянной времени  $T_N$  ( или декремента  $\delta_N$  ) цепи нагрузки. Величина пульсации замерялась посредством осциллографа по следующей методике. Устанавливался выходной ток (напряжение на активном сопротивлении нагрузки) на фоне огибающей фазовых эдс (фото 5.1,а). Размах огибающей для 3-х фазной лучевой схемы составляет половину амплитуды фэдс, что позволяет определить масштаб. Затем устанавливается кривая этого тока на фоне среднего значения (масштаб которого также известен), но при масштабе пульсации, увеличенном в 5, 10 и т.д. раз для удобства и повышения точности ее замера (фото 5.1,б). Использовался также калибровочный сигнал. Пульсация определялась как отношение размаха колебаний выходного тока к его среднему значению. Результаты эксперимента и расчетов (с использованием нагрузочных характеристик рис. 2.4 и приближенной формулы 2.57) сведены в табл. 5.1. Погрешности определены по отношению к результатам эксперимента. На основе табличных данных построены графики, приведенные на рис. 5.2.

Как следует из табл. и рис. 5.2 расхождения между экспериментальными данными и найденными по расчётным графикам и упрощенной формуле не превышают 5%, что вполне допустимо для практики и обусловлено точностью проводимых измерений и вычислений. Лишь при значении декремента  $\delta_N = 1,77$  погрешность расчёта по формуле составила

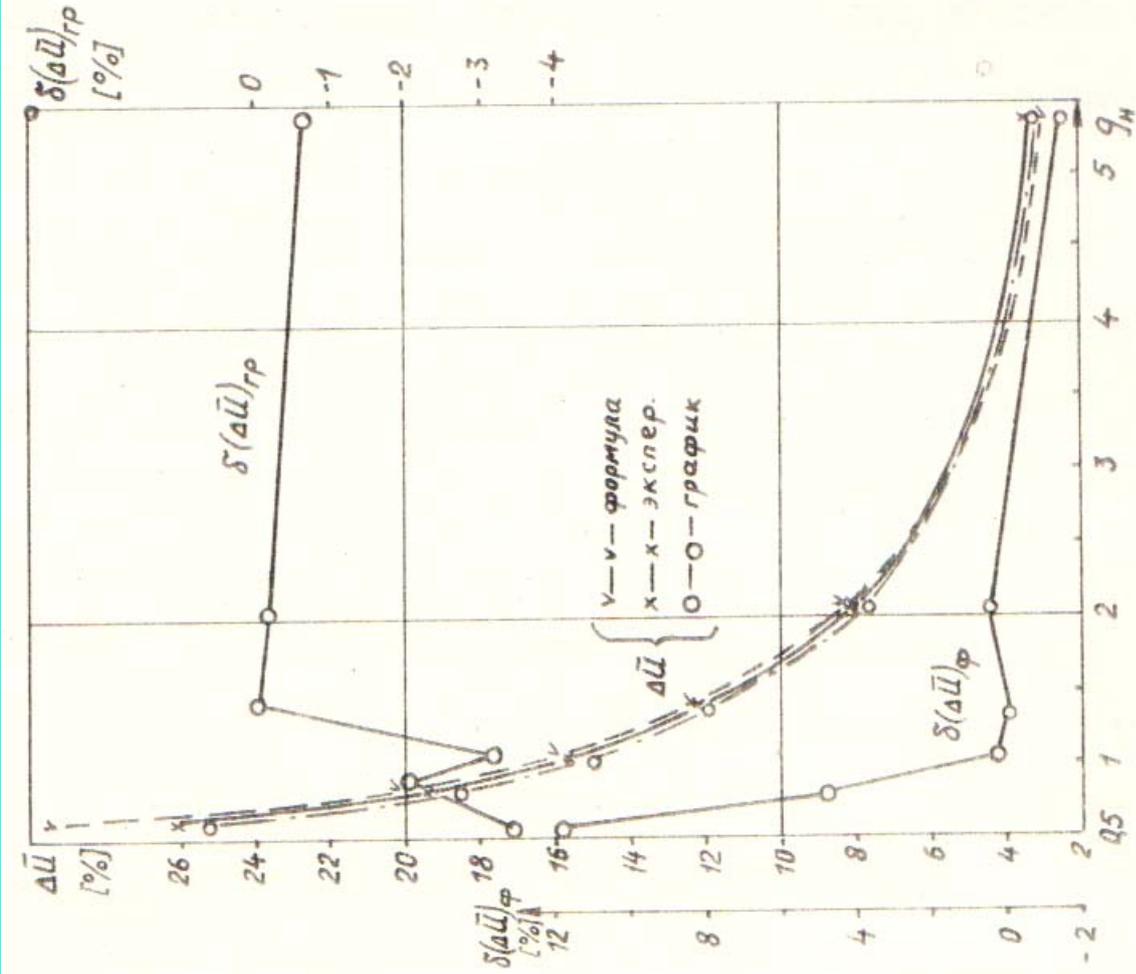


Рис. 5.2. Параметрические зависимости пульсации и погрешности ее определения по расчетному графику рис. 2.4 -  $\delta(\Delta \bar{U})_{гр}$  и упрощенной формуле (2.57) -  $\delta(\Delta \bar{U})_{ф}$ .

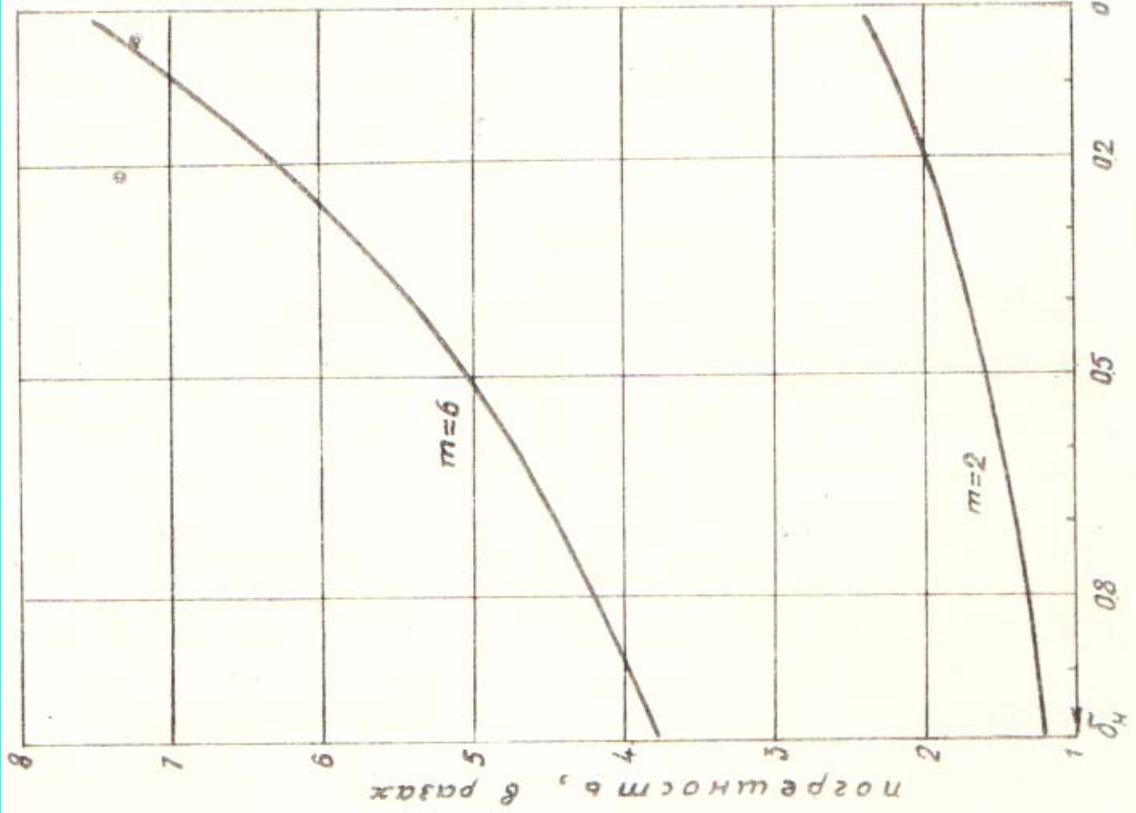


Рис. 5.3. Погрешность (забышение) расчета индуктивности катодного дросселя по приближенной методике для одно- и трехфазных мостовых и фаз- и шестифазных лучевых схем.

Таблица 5.1

$g_H$	$\delta_H$	Пульсация $\Delta \bar{U}$ [%]			Погрешность [%]	
		экспер.	График	формула	график	формула
0,576	1,767	26,2	25,3	29,3	- 3,44	+ 11,8
0,832	1,202	19,1	18,7	19,98	- 2,09	+ 4,6
1,05	0,9524	15,8	15,75	15,82	- 3,16	+ 0,127
1,362	0,7342	12,2	12,1	12,2	-0,082	0
2,1	0,4762	7,9	7,8	7,92	-0,127	+ 0,253
5,4	0,1852	3,12	3,1	3,08	- 0,64	- 1,28

около 12%, что вполне объяснимо, поскольку корректность линейной формулы ограничена выбранным раствором аппроксимации, не превышающим значение декремента  $\delta_H = 1$ . Вне области корректности интерполяционная кривая быстро расходится с истинной, что и приводит к резкому увеличению погрешности расчета пульсации по линейной формуле. В диапазоне значений декремента, характерных для применяемых на практике, совпадение результатов эксперимента и расчета хорошее, что даёт основание рекомендовать линейные формулы (2.57+2.59) и данные табл. 2.2 для практического использования. По отношению к расчетам по формуле (2.59) на рис. 5.3 приведены погрешности расчета катодной индуктивности по приближенной методике, основанной на предположении, что пульсации выходного напряжения распределяются на последовательно соединенных дросселе и нагрузке как на обычном делителе.

В табл. 5.2 сведены результаты измерений и расчетов выходных параметров выпрямителя (средних значений тока и напряжения) при тех же значениях обобщенной постоянной времени цепи нагрузки. При этом изменялись обе величины: и сопротивление полезной нагрузки и индуктивность.

Как видно из табл. 5.2, расхождение эксперимента и расчета носит однозначный характер, объясняется влиянием не учтенных факто-

Таблица 5.2

$I_H$	$U_0$ [В]		$I$ [а]		$\delta(U_0)$
	экспер.	расчёт	экспер.	расчёт	%
0,576	144	148,5	0,1	0,103	+ 3,13
0,832	145	148,5	0,15	0,1535	+ 2,42
1,05	145	148,5	0,148	0,1515	+ 2,42
1,362	144	148,5	0,135	0,1394	+ 3,13
2,1	143	148,5	0,207	0,215	+ 3,85
5,4	143	148,5	0,39	0,408	+ 3,85

ров и не превышает 4% при изменении самого декремента почти в 10 раз. Подтверждён также вывод, что величина катодной индуктивности не влияет на средние значения выходного напряжения и тока выпрямителя. Данные табл. 5.2 иллюстрируют кривые рис. 5.4.

Фотографии 5.1, а, б показывают формы переменных и подтверждают физически очевидное и математически показанное в гл.2, что экстремальные значения напряжения полезной нагрузки расположены на кривой фазных эдс, а ток вентиля (фазы) "затянут" при наличии дросселя. При этом в связи с пренебрежимо малым влиянием распределенных внутренних сопротивлений, коммутации (перекрытия) внутренних ветвей не наблюдается, длительность открытого состояния каждого вентиля равна  $120^\circ$ , ток с одного вентиля на другой переходит скачком, и при любых значениях определяющего параметра (декремента цепи нагрузки) схема находится в состоянии  $P < H$ . Критические состояния отсутствуют. Форма обратного напряжения приведена на фото 2.1. Аналогичные результаты получены для трехфазной мостовой схемы, где при расчетах вместо амплитуды фэдс следует брать амплитуду линейной эдс.

Проверено также влияние конденсатора фильтра, подключаемого в предыдущем случае параллельно полезной нагрузке (фото 5.2, а, б), и влияние П-образного  $CLC$ -звена, включаемого между дросселем и на-

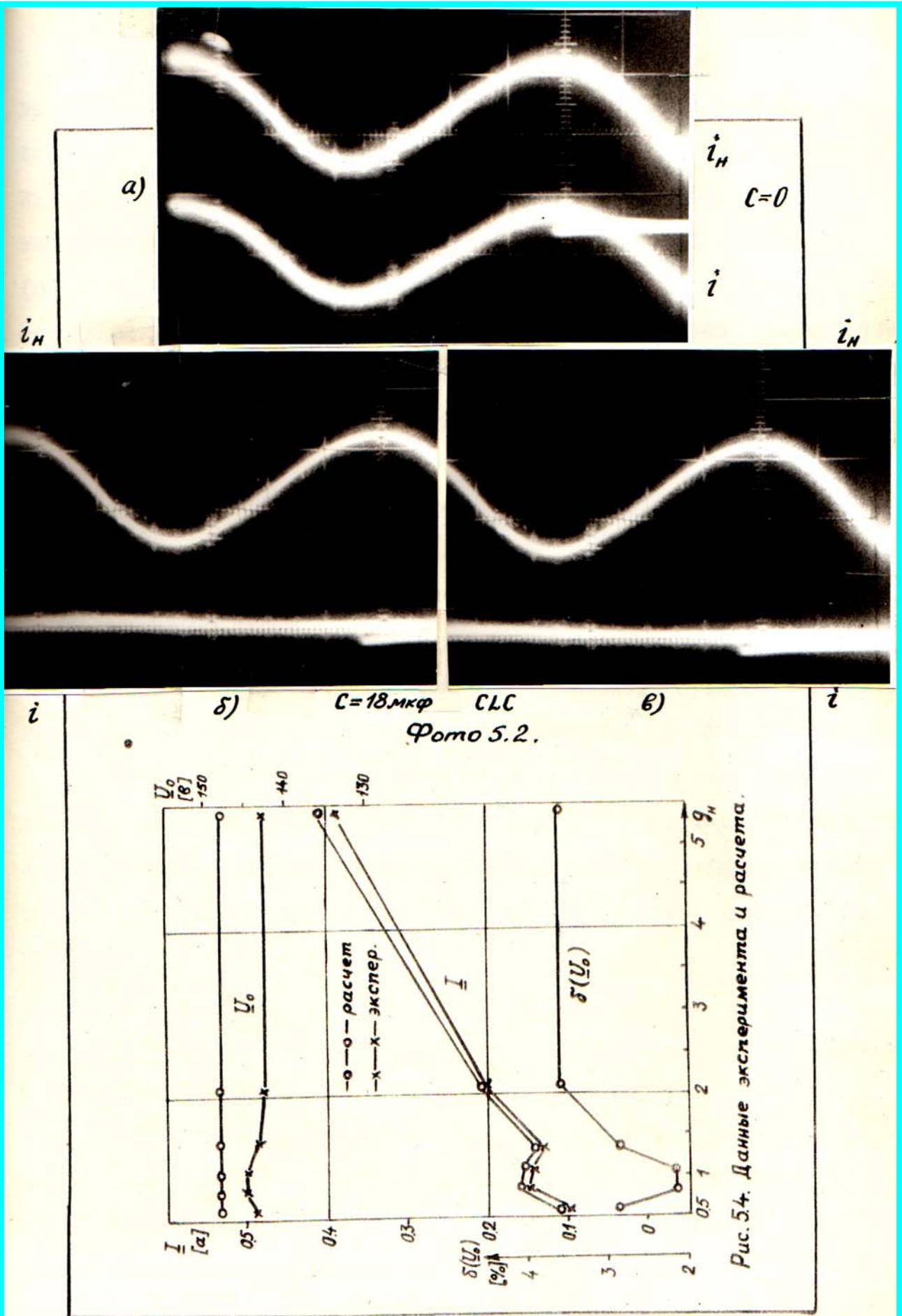


Рис. 5.4. Данные эксперимента и расчета.