

Repin A.M.

To the theory and calculations of resistive ventil power converters class $Sm(L)rR$ / А.М. Репин.

К теории и расчётам резистивных вентильных схем класса $Sm(L)rR$. [rR.4, 4эл]. 1967–26.9.2013

Анонс. Впервые в электронном виде и при авторском дизайне даны скан-копии результатов физико-математического анализа электрических процессов в резистивных (иначе, безреактивных), многофазных схемах класса $Sm(L)rR$ базовых вентильных конвертеров электроэнергии (БВК ЭЭ). При их работе в режиме выпрямления, считающегося с 19-го века основным.

Ниже приведен первый из 4-х материалов автора, представленный на рассмотрение кафедры ЭПУС МЭИС в сентябре 1967 г. (остальные – в октябре, после одобрения первого). Он первым (из 4-х) указан в Программе апрельской НТК МЭИС 1968 года. На стр. 45 издания 26.3.1968. См. //НЭА URL: <http://econf.rae.ru/article/7893>, иначе [RC.(6-8)эл].

И первым из них оповещён в докладе на этой НТК-68 в 1600-зо 16 апреля в аудитории 232 МЭИС.

В виде статьи он опубликован вторым (из 4-х) в сборнике “Труды МЭИС”, 1969, Вып.2, с.257–262. (п/п 25.7.1969).

В указанном материале (от сентября 1967 г.), докладе (16.4.1968) и статье (25.7.1968) фактически впервые опубликованы сведения о критических состояниях выпрямителей такого класса и об эффектах удвоения (редупликации) частотной кратности пульсации выпрямленного напряжения и о снижении (редукции) в 4 раза её уровня. Причем, без введения дополнительного, с той же целью, удвоения числа источников конвертируемых, фазосдвинутых ЭДС и без введения сглаживающих пульсацию фильтров. Позднее, после многолетних отклонений госэкспертами (первоначально с формулировкой “такого явления не может быть, ибо не может быть никогда”) одной из авторских заявок на предполагаемое изобретение стало ясно, что обнаруженные автором эффекты означают явление. А обнаружение нового явления – открытие. Отсюда очевидна важность указания точных дат. Первые буквы эффектов, причём положительных, обусловили название: Pr – явление. Так что автор открыл именно это явление. В 1966-67 гг.

Краткое изложение в докладе [rR.3] и статье [rR.4] основано на материалах первой работы автора [rR.1] в «Цикле rR» – научного отчёта автора «Исследование схемы m-фазного выпрямления при работе на омическую нагрузку с учётом активного сопротивления элементов схемы». М.: ВНИИМАШ. 1967. 19 с. + рукописи. Электронная версия – [rR.1a.эл, 1б.эл]: www.econf.rae.ru/article/6212. ..16213.

С благодарностью В.Н. Аксёнову, И.И. Белополюскому, Э.Л. Блоху, А.А. Булгакову, Ф.Ф. Волкову, Р.М. Горбовицкому, Л.А. Жекулину, Элизабет А. Зинсер, М.Э. Ключелю, В.М. Лаврову, А.Ф. Макуренкову, Л.Р. Нейману, А.А. Пирогову, П.Н. Поповичу, К. Потрацу, Л.И. Родионовой, В.Я. Турину.

<p>т. Репину А.М.</p> <p>14.04.682.</p> <p>Московский электротехнический институт связи</p> <p>1968г</p> <p>Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, посвященная Дню радио</p> <p>16-18 апреля 1968г</p> <p>Пригласительный билет-программа</p>	<p>МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР МОСКОВСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ</p> <p>НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА, ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО</p> <p>15—26 апреля 1968 г.</p> <p>Пригласительный билет-программа</p> <p>Л79374 26/III 1968 г. Зак. 1832 Тир. 2000</p> <p>Типография ХОЗУ Министерства связи СССР, Москва, Горького, 7</p> <p>Типография ГОСИНТИ, Москва, Б. Полянка, д. 43</p>
--	---

01

1

СЕКЦИЯ ТЕОРИИ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Председатель секции — доктор технических наук, профессор **ЖЕКУЛИН Л. А.**

Ученый секретарь — ассистент **ЗАСТРОГИН Ю. Ф.**

1-е заседание 22 апреля в 15 часов

ГОВОРКОВ В. А. — кандидат технических наук, профессор
Практические приемы ускорения расчета полей методом сетки

МАМИКОНОВ Ю. Г. — кандидат технических наук, доцент
Графические методы определения эквивалентных сопротивлений

ПОПОВ П. А. — кандидат технических наук, старший преподаватель
Размерность коэффициента обратной связи β_e и стабильность коэффициентов передачи транзисторного усилителя

ДОРОФЕЕВ В. В. — инженер

ПОПОВ П. А. — кандидат технических наук, старший преподаватель
Применение направленных графов к расчету некоторых схем транзисторных усилителей с обратной связью

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ УСТРОЙСТВ СВЯЗИ

Председатель секции — кандидат технических наук, доцент **КИТАЕВ В. Е.**

Учёный секретарь — ассистент **ШЕВЕЛЁВ В. С.**

1-е заседание 16 апреля в 15 часов

КРАУС Л. А. — кандидат технических наук, и. о. доцента
Системы вторичного электропитания наземных радиотехнических устройств

ПЛОТНИКОВ Г. С. — старший инженер
Определение нестабильности инвертора, стабилизированного методом изменения ширины выходных импульсов

1. **КИТАЕВ В. Е.** — кандидат технических наук, доцент

1. **РЕПИН А. М.** — ведущий инженер

1. **СОБИНОВ К. П.** — ведущий инженер
Влияние активного сопротивления трансформатора и вентилей на процессы в схеме m-фазного выпрямления

2. **КИТАЕВ В. Е.** — кандидат технических наук, доцент

ЖАВОРОНКОВ В. М. — инженер

ЖАНСУРОВ Ю. А. — аспирант

СОКОЛОВ А. В. — старший инженер
Высокочастотный импульсный источник питания на тиристорах

3. **КИТАЕВ В. Е.** — кандидат технических наук, доцент

МАТРОСОВ М. И. — аспирант
Регулируемый выпрямитель с электронным управлением

43 К.В.Е. на НТК-68 - в 9 докладах. “Побит рекорд” 7 на НТК-67. 45

1

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР
МОСКОВСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ

Лич. экз.
870
23.1.70г
Москва
СП. 250-272

ТРУДЫ
МОСКОВСКОГО
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА СВЯЗИ

Выпуск 2

МОСКВА 1969



МТУСИ на международных образовательных выставках
Снимки из Интернета

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР
МОСКОВСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ

ТРУДЫ
МОСКОВСКОГО
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
СВЯЗИ

Выпуск 2

Под редакцией
И. В. КУШМАНОВА

В настоящий сборник «Труды МЭИС» вошли материалы научно-технической конференции Московского электротехнического института связи, проходившей в **апреле 1968** года и посвящённой различным направлениям техники связи и смежных отраслей.

В «Труды» включены статьи по наиболее актуальным вопросам построения систем связи, проектирования антенн, телеграфии, источников электропитания, а также автоматизации и механизации почтовой связи.

Все замечания и предложения по сборнику просим направлять в редакционно-издательский отдел МЭИС.

=====

СБОРНИК ТРУДОВ МЭИС
Выпуск 2

Редакторы: *Хухриков С. Н., Рябцева И. Л.*
Технический редактор *Ларионов Г. Е.*
Корректор *Карпова А. А.*

Сдано в набор 20/II 1969 г.
Подписано к печати 25/VII 1969 г.
Л-47942 Тираж 800 экз. Усл. печ. л. 30,8
Цена 1 руб. 98 коп. Заказ 2135

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10

Влияние активного сопротивления трансформатора и вентиля на процессы в схеме m -фазного выпрямителя

Стр. 257–262. Поступило в октябре 1967 г.
Доложено 16.4.1968 г. на научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава (НТК ППС) МЭИС, посвящённой Дню радио
Докладчик А.М. Репин

МОСКВА 1969

ВЛИЯНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА И ВЕНТИЛЕЙ НА ПРОЦЕССЫ В СХЕМЕ m -ФАЗНОГО ВЫПРЯМЛЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

В m -фазных выпрямителях при $m \geq 3$ активное сопротивление трансформатора, питающей сети и вентиляей вызывает коммутацию (перекрытие) последних даже при отсутствии индуктивности трансформатора (сети). В общих чертах это явление известно (Л. 1). Однако целый ряд вопросов требовал дальнейшей проработки на предмет уточнения физики процессов и получения расчётных соотношений, что в определённой мере и выполнено в настоящей работе.

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЯ И ЕЁ АНАЛИЗ

Схема замещения m -фазного выпрямителя с нулевой точкой трансформатора * приведена на рис. 1,а. Первичная обмотка трансформатора не указана. Индуктивностью трансформатора пренебрегаем. Активные сопротивления фазы трансформатора, питающей сети и вентиля (характеристику которого считаем линейной) входят в сопротивление r .

Диаграмма напряжений и токов приведена на рис. 1,б, где заштриховано обратное напряжение на вентиле 1. В интервале коммутации I ($0 \leq \vartheta = \omega t \leq \gamma$) работают вентили 1 и 2; во внекоммутационном интервале II ($\gamma \leq \vartheta \leq \frac{2\pi}{m}$) — вентиль 2. Наличие интервала коммутации с физической точки зрения объясняется просто: потенциал анода неработающего вентиля 2 определяется э. д. с. e_2 , а потенциал катода — напряжением $U = e_1 - i_1 r$, поэтому напряжение анод — катод вентиля 2 проходит через нуль не в момент А (рис. 1,б), как при чисто омической нагрузке R (т. е. при $r=0$), а ранее — в момент 0, где вентиль 2 и вступает в работу.

* Работа мостовых схем выпрямления в принципе не отличается от рассматриваемой. Некоторые особенности отмечены в тексте.



Московский Технический Университет Связи и Информатики



Здание МТУСИ на улице Народного ополчения. Москва

Аналогично, клапан I закроется не в момент A , а позднее — в момент $\vartheta = \gamma$, поскольку в фазе e_2 также появится падение напряжения от тока i_2 и напряжение анод — катод клапана I станет равным нулю только при $\vartheta = \gamma$.

Составив и решив уравнения для интервалов I и II, получаем выражения для токов и напряжений в относительных единицах:

$$i_1^I = \frac{(1+n)e_2 - e_1}{n(n+2)}; \quad i_2^I = \frac{(1+n)e_1 - e_2}{n(n+2)}; \quad i_0^I = U_0^I = \frac{e_1 + e_2}{n+2};$$

$$i_0^{II} = U_0^{II} = i_2^{II} = \frac{1}{1+n} \sin(\vartheta + \psi), \quad (1)$$

где

$$e_1 = \sin\left(\vartheta + \frac{2\pi}{m} + \psi\right); \quad e_2 = \sin(\vartheta + \psi); \quad n = \frac{r}{R}.$$

Здесь и ниже в абсолютных величинах любой ток равен $\bar{i} = i \frac{\varepsilon_m}{R}$ (ампер), а напряжение (или э. д. с) $\bar{U} = U \cdot \varepsilon_m$ (вольт).

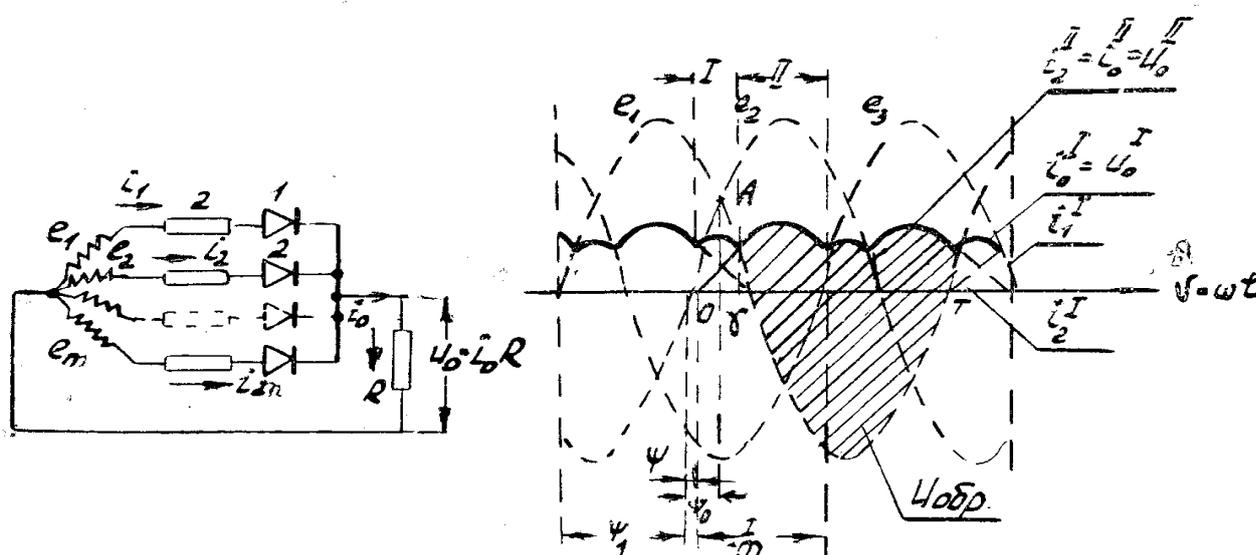


Рис. 1.

а) схема замещения; б) диаграмма напряжений и токов.

Можно показать, что точка A (рис. 1, б) является серединой интервала коммутации и выражение для γ имеет вид:

$$\gamma = \frac{\pi(m-2)}{m} - 2\psi. \quad (2)$$

Из условия $i_2^I(0) = 0$ получаем уравнение для ψ :

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\sin \frac{2\pi}{m}}{1+n - \cos \frac{2\pi}{m}}. \quad (3)$$

Длительность горения клапана

$$\lambda = \pi - 2\psi. \quad (4)$$

Максимальные значения выпрямленного напряжения в I и II интервалах будут:

$$U_{0\max}^I = i_{0\max}^I = \frac{\sin \psi}{\sin \left(\frac{\pi}{m} + \psi \right)}, \quad (5)$$

$$U_{0\max}^{II} = i_{0\max}^{II} = \frac{\sin \psi}{\sin \left(\frac{2\pi}{m} + \psi \right)}. \quad (6)$$

Момент максимума U_0^I совпадает с точкой A (рис. 1,б). Момент максимума U_0^{II} совпадает с моментом максимума э. д. с. e_2 (т. е. $\vartheta_m = \frac{\pi}{2} - \psi$).

При определенном значении n (назовем его граничным n_r) получим

$$U_{0\max}^I = U_{0\max}^{II}, \text{ откуда } n_r = \frac{2 \left(1 - \cos \frac{\pi}{m} \right)}{2 \cos \frac{\pi}{m} - 1}. \text{ Граничное } n_r \text{ существует для}$$

$m > 3$. При этом имеет место пульсация выпрямленного напряжения частотой $2mf$. В ряде случаев, когда к. п. д. (η) схемы не имеет решающего значения, а применение фильтров оказывается затруднительным по габаритам, весу и т. п., можно использовать режим, возникающий при $n = n_r$. Пульсация выпрямленного напряжения для $n \leq n_r$ определяется как

$$\Delta U = \frac{U_{0\max}^{II} - U_{0\min}}{U_0},$$

где $U_{0\min} = \sin \psi$;

U_0 — среднее значение выпрямленного напряжения.*

По выведенным зависимостям получены выражения величин, необходимых для расчёта схем выпрямления: эффективного значения тока вентиля I_B и выпрямленного тока I_0 ; среднее значение выпрямленного тока I_0 (напряжения U_0), максимального (амплитудного) значения тока вентиля $i_{B\max}$. Для практического использования эти зависимости построены в виде графиков в функции n , для $m=3; 6; 12$. Для иллюстрации на рис. 2 приведены зависимости для $m=3$.

Обратное напряжение на вентиле при $n \neq 0$ меньше по амплитуде и отлично по форме, чем в случае чисто активной нагрузки ($n=0$, т. е. $r=0$). Форма обратного напряжения для $m=3$ показана на рис. 3,б.

К. п. д. схемы определяется как

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P_{\text{тр}} + mP}{I_0^2 R}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{тр}}$ — мощность потерь в трансформаторе;

P — мощность потерь в вентиле (определение см. в работе [Л. 2]).

Отметим, что при $P_{\text{тр}} \gg P$ выражение для к. п. д. совпадает с выражением для $i_{\text{вmax}} = \frac{1}{1+n}$, т. е. графиком $i_{\text{вmax}} = f(n)$ можно пользоваться для приближенной оценки к. п. д. схемы.

На основе изложенного выше производится без затруднений расчет m -фазной схемы выпрямления.

17*

* При $n = n_r$ величина пульсации минимальна из всех её значений при $0 \leq n \leq n_{\text{кр}}$. Наибольшее её значение — при $n=0$ и $n = n_{\text{кр}}$. Формула (8) для $n_{\text{кр}}$ дана ниже.

259

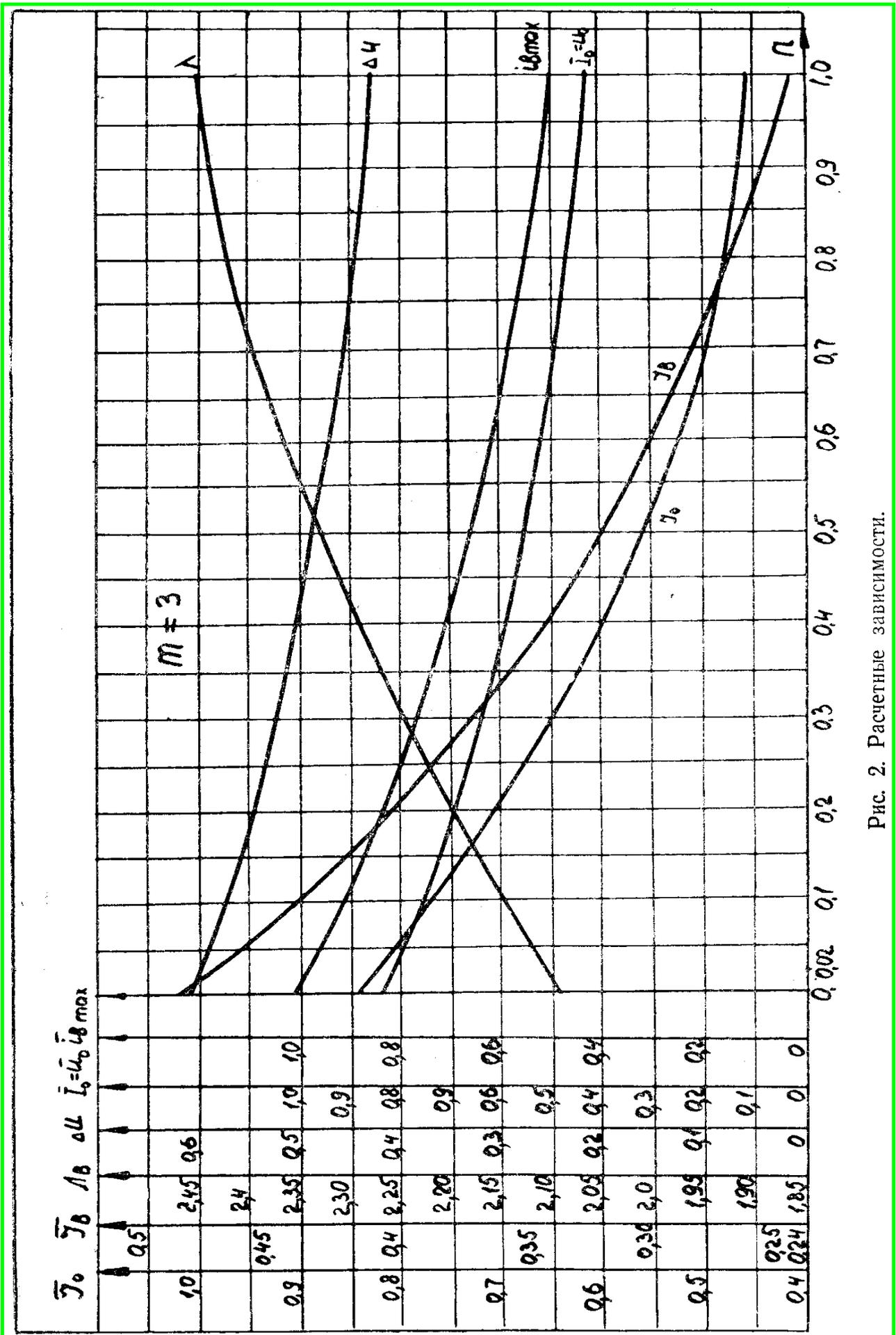


Рис. 2. Расчетные зависимости.

КРИТИЧЕСКИЙ И ЗАКРИТИЧЕСКИЙ РЕЖИМЫ РАБОТЫ СХЕМ

Для схем выпрямления с $m > 3$, начиная с некоторого критического значения $n = n_{кр}$, в коммутации участвуют более двух вентилях. При $n = n_{кр}$ имеет место критический режим, при котором величина угла коммутации достигает критического значения $\gamma_{кр} = \frac{2\pi}{m}$. В этом режиме интервал II отсутствует, и постоянно работают два вентиля в схемах с нулевым выводом и три вентиля в трёхфазной мостовой схеме Ларионова. Величина $n_{кр}$ определяется из формул (3) и (2) подстановкой $\gamma = \gamma_{кр} = \frac{2\pi}{m}$.

Откуда получаем

$$n_{кр} = \frac{1}{\cos \frac{2\pi}{m}} - 1. \quad (8)$$

Критическая величина длительности горения вентиля

$$\lambda_{кр} = \frac{4\pi}{m}. \quad (9)$$

При $n > n_{кр}$ в коммутации участвуют более двух вентилях, имеет место закритический режим работы m -фазной схемы выпрямления.

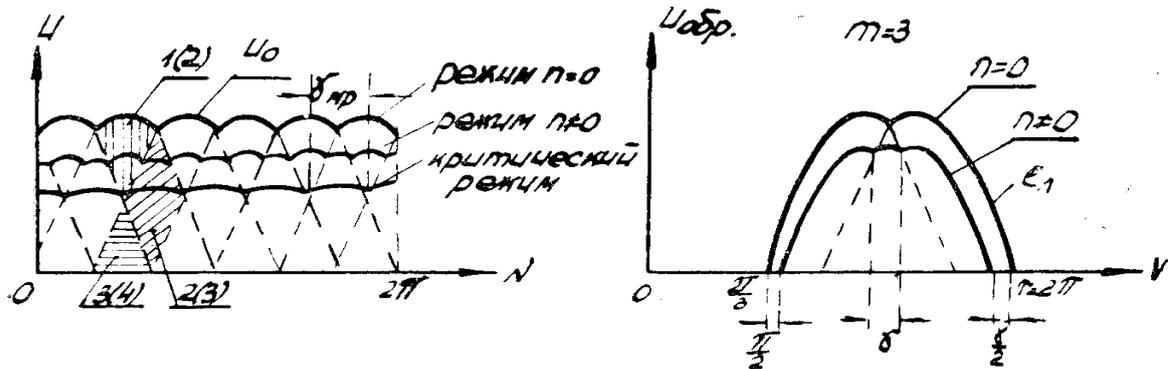


Рис. 3.

а) зоны работы вентилях; б) обратные напряжения.

Весьма удобно определять число вентилях, участвующих в коммутации, и принципиальную картину режимов графическим способом. На рис. 3,а для иллюстрации приведены зоны работы вентилях для $m=6$. Количество одновременно работающих вентилях указано цифрами (без скобок — для схемы с нулевым выводом, в скобках — для схемы Ларионова). Зоны заштрихованы. Как видно из рис. 3,а, при $n > n_{кр}$ попеременно работают два и три вентиля в схеме с нулевой точкой; три и четыре — в схеме Ларионова. В режиме к. з. ($R=0$) одновременно работают три вентиля в схеме с нулевой точкой и четыре — в схеме Ларионова. Аналогично может быть рассмотрена схема с $m=12$ и т. д.

В заключение отметим, что контрольные эксперименты полностью подтвердили правильность теоретических выводов.

ВЫВОДЫ

1. Проведён анализ m -фазной схемы выпрямления, выявлено влияние внутреннего активного сопротивления (трансформатор, сеть, вентили) на установившиеся процессы в схеме.
2. Получены необходимые расчётные и графические зависимости, позволяющие полностью рассчитать схему.

3. Выявлено наличие граничной и критической величины $n = \frac{r}{R}$ и приведены зависимости для их определения, показан способ графического определения числа одновременно работающих вентилях.

4. При необходимости анализ закритического режима работы m -фазной схемы выпрямления, на основе настоящей работы, может быть выполнен без принципиальных затруднений, вплоть до режима к. з.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксёнов В. Н., Выпрямители и трансформаторные подстанции. Госиздат литературы по вопросам связи и радио. 1961.

2. Богословский А. С., Силовые полупроводниковые выпрямители. Военное издательство Министерства обороны, 1965.

262



А.М. Репину

Научная награда. **Медаль** лауреата Нобелевской Премии **П.Л. Капицы** и **Диплом РАЕН «За создание базовых терминов «конверсика», «реактроника» и открытие Р-явлений в конверсике»**

Продолжение следует.

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