

**Национальный технический университет Украины
Киевский политехнический институт**

На правах рукописи

**Зыонг Ву Ван
(Вьетнам)**

УДК 621.362.627

**Циклический каскадный источник высокого
постоянного напряжения с резисторным выходом**

Специальность 05.14.12. техника высоких напряжений

Автореферат

**Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Киев 1995



621
Диссертация является рукописью
Работа выполнена на кафедре

Национального технического университета Украины (КПИ).

Научный руководитель - кандидат технических наук,
профессор Кондра Б.Н

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
В.П. Емец

- кандидат технических наук, доцент
В.С. Собчук

Ведущая организация - Украинский институт трансформаторостроения
(г. Запорожье)

Защита диссертации состоится 30 /10 / 1995г в 15час
На заседании специализированного совета К 01.02.19 по присуж-
дению ученой степени кандидата технических наук в Киевском поли-
техническом институте (252056, г Киев - 56, пр Победы,37)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Киевского политехнического института

Автореферат разослан 29 сентября 1995г

Ученый секретарь
Специализированного совета
кандидат техн.наук, профессор *Кондра* Б.Н. Кондра

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

Работа выполнена по заданию Украинского института трансформаторостроения. Источники высокого постоянного напряжения используются при определении электрической прочности изоляции высоковольтного электрооборудования линий передачи постоянного тока, для ускорения заряженных частиц, входят в блоки питания разнообразных радиотехнических устройств, промышленных финтеров, рентгенаппаратов, томографов, зарядных устройств накопителей энергии.

Циклические каскадные схемы предложены в Японии сравнительно недавно - в начале 70-х годов. Теоретические обоснования достоинств циклических каскадов по сравнению с известными схемами Грейнахера, Гельперна, Уокера и Петера отсутствуют.

Цель диссертационной работы - исследование работоспособности, достоинств и недостатков новой, предложенной на кафедре ТВН ИПИ, модернизации циклического каскадного соединения конденсаторов и выпрямителей, но не с диодным или индуктивным, как это предусмотрено в Японском патенте N56 - 33948, а с резисторным выходом.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

1. Проведение математического моделирования предложенной схемы циклического каскада, не идеализированной, а полной, - с учетом внутренних параметров питающего схему трансформатора, токоограничивающих резисторов, включенных в диодные ветви, соотвещения и емкости объекта испытания.
2. Выбора программы расчета сложной схемы с нелинейными элементами с помощью ЭВМ и проверки достоверности получаемых с ее помощью результатов.
3. Создания инженерной методики расчета циклического каскада с резисторным выходом.

Автор защищает: целесообразность замены выходных диодов или индуктивностей в схеме циклического каскадного соединения резисторами и экономическую эффективность результатов, получаемых с помощью предлагаемой методики расчета реальной, а не идеализи-

рованной схемы каскада.

Методы исследования: физическое и математическое моделирование сложной многоконтурной схемы циклического каскада с учетом емкости, индуктивности рассеяния и сопротивления обмоток питающего трансформатора, а также ограничивавших диодные токи резисторов и емкости нагрузки.

Научная новизна:

1. Доказано, что предлагаемая схема характеризуется минимальной по сравнению с известными схемами амплитудой пульсации выходного напряжения, но тем не менее зависящей от числа ступеней каскада.
2. Предложена формула падения напряжения ΔU_p применительно к идеализированной схеме и разработана методика учета внутренних параметров трансформатора на расчетную величину ΔU_p .
3. Доказана недостаточность предложенного в патенте фирмы Нисин хайборутатзи N56-33948 условия выбора выходной индуктивности в схеме циклического каскада с индуктивным выходом.

Практическая ценность.

Разработана методика инженерного расчета каскада, позволяющая снизить емкость включенных в схему конденсаторов при сохранении и даже снижении внутреннего падения напряжения в нагрузочном режиме работы.

Реализация результатов работы в промышленности.

Результаты работы переданы в институт трансформаторостроение (г.Запорожье) и будут учтены при модернизации испытательных установок большого высоковольтного зала. Результаты работы включены в учебный курс «Высоковольтные испытательные установки».

Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в трех статьях общим объемом 2 пл.

Структура и объем работы: диссертация состоит из аннотации, введения, четырех глав, и заключения, изложенных на 86 страницах текста, 55 иллюстрированного рисунками и 16 таблицами: списка литературы из 23 наименований и трех приложений. В введении обоснована актуальность темы, приведены история раз-

вития каскадных схем выпрямления и умножения напряжения и кратное содержание последующих глав диссертации.

В первой главе приведен критический анализ достоинств и недостатков существующих однофазных схем каскадных источников высокого выпрямленного напряжения. Сопоставляя количественные и качественные характеристики каскадных выпрямителей, доказано, что если каскад предназначен для определения электрической прочности изоляции, то схемы наиболее конкурентноспособных предложенной схеме каскадов (симметричная схема и схема циклического каскада с индуктивным выходом) должны быть дополнены резисторами между выходом каскада и нагрузкой. В противном случае пробой испытываемой изоляции будет сопровождаться сверхтоками и нарушением термической стойкости элементов каскада. В предлагаемой схеме циклического каскада с резисторным выходом токоограничивающие резисторы R являются его неотъемлемыми элементами.

Во второй главе доказана возможность расчета конденсаторно-диодных выпрямительных схем с помощью цифровой вычислительной машин. Проведена апробация программы расчета на схеме удвоения напряжения Грейнахера-Латура, заряд выходных конденсаторов которой хорошо изучен. Достигнуто совпадение результатов расчета схемы с помощью вычислительной техники и по известным формулам.

В третьей главе выполнено математическое моделирование циклического каскадного высоковольтного выпрямителя с индуктивным выходом.

Доказана недостаточность предложенного авторами условия, с помощью которого следует выбирать значения выходных индуктивностей. Доказана необходимость шунтирования выходных индуктивностей защитными искровыми промежутками и включения токоограничивающего сопротивления. Доказана нецелесообразность питания схемы напряжением промышленной частоты.

Четвертая глава посвящена исследованию возможностей схемы циклического каскада с резисторным выходом. Предложена методика расчета идеализированной схемы (рис.2). Для подавления перенапряжений и сверхтоков, возникающих в переходном режиме заряда конденсаторов схемы с учетом индуктивности рассеяния трансформатора, предложена формула расчета R_0 (рис.5). Доказано, что внутренние параметры L_T и C_T трансформатора являются причиной пе-

редачи в сеть высших гармоник тона.

Предложены графики, позволяющие учесть влияние этих параметров на величину внутреннего падения напряжения, и методика расчета реальной схемы (рис.5).

Доказана возможность в отдельных случаях значительно снижать емкости конденсаторов схемы при сохранении выпрямленного напряжения.

В заключении сформулированы основные итоги, полученные в диссертационной работе. В приложения вынесены: письмо ВИТ, таблицы и графики, с помощью которых уточняется влияние внутренних параметров трансформаторов на падение напряжения в схеме каскада при его работе на нагрузку.

Основное содержание работы

Циклическое построение каскадных выпрямительных установок предложено в 1973г. (патентный бюллетень фирмы Ниссин Хайборутадзи N56-33948). Схема циклического каскада показана на рис.1 с диодным (рис.1а) и индуктивным (рис.1б) выходом.

Сравнительный анализ циклических (рис.1) и известных каскадных схем (Грейнахера, Уонера - Петера, симметричной, Гельперна) проведен применительно к использованию установок в высоковольтных лабораториях крупных энергосистем, трансформаторных, кабельных конденсаторных и изоляторных заводов, где требуется напряжение порядка МВ и нагрузочный ток порядка десятков мА.

Как по количеству элементов в n ступенчатом каскаде, так и по основным параметрам: падению ΔU и пульсации δU выпрямленного напряжения, циклическая схема с индуктивным выходом выгодно отличается даже от симметричной схемы, например, каскада фирмы Хейфели, установленного в ВИТ (г. Запорожье). При равенстве числа $4n$ диодов и меньшем ($2n$ вместо $3n$) количестве конденсаторов внутреннее падение напряжения и пульсация выходного напряжения в циклической схеме (рис.1б) почти в два раза меньше, чем в симметричной.

Расчет аварийного режима каскада (рис.1б) показал, что прекращение изоляции нагрузки сопровождается перенапряжением на выходных индуктивностях. Защитить индуктивности можно параллельным подсоединением искровых промежутков, после пробоя которых защитить элементы схемы от сверхтоков возможно только с помощью сопотвращения R_d .

В диссертационной работе исследуется модификация схемы

(рис.16), приведенная на рис.2, в которой резисторы R_A стали неотъемлемой частью каскада. Схеме присвоено название "Циклический каскад с резисторным выходом".

Первые эксперименты проводились на физических моделях каскадов (рис.1, рис.2). Получены осциллограммы токов в диодных ветвях, обмотке трансформатора и в ветвях с конденсаторами. Необходимость широкого изменения параметров схемы и исследования влияния на ее работу внутренних параметров трансформатора потребовала перехода к математическому моделированию, и в дальнейшем все расчеты выполнялись с помощью ЭВМ.

Апробация программы, прежде чем приступить с ее помощью к расчетам сложных каскадных схем, проводилась на схеме, удвоения напряжения Грейнахера - Латура (рис.3), заряд выходного конденсатора C_2 которой в переходном режиме включения схемы на переменное напряжение изучен:

$$\text{при } U_1 = U_m \sin \omega t \quad U_2 = U_m \left[2 - \frac{3}{2^n} \right], \text{ где}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, \text{ при } U_1 = -U_m \sin \omega t \quad U_2 = U_m \left[2 - \frac{1}{2^n} \right], \text{ где } n = 0, 1, 2, \dots$$

Достигнуто точное совпадение результатов расчета потенциала U_2 по приведенным формулам и с помощью ЭВМ.

Испытательные трансформаторы, питающие высоковольтные выпрямители, характеризуются высокими значениями коэффициента трансформации и индуктивности рассеяния. Индуктивность рассеяния, например, трансформатора ИОМ 100/100 определяется формулой:

$$L_T = \frac{31,8 U_2^2 U\%}{P} \text{ и равна } 31,8 \text{ Гн.}$$

Машине задана схема (рис.4). Емкости конденсаторов $C_1 = C_2 = C = 0,319 \text{ мкФ}$ выбраны по условию резонанса напряжений в контуре 0-4-1 при открытом диод V_2 во время первого полупериода ($U_1 = -U_m \sin \omega t$). Сопротивление обмотки трансформатора $R_T = 1 \text{ Ом}$. Задача расчета, кроме апробации программы, состояла в определении тока в ветвях схемы при ускоренном в условиях резонанса заряде выходного конденсатора C_2 .

2-5-4115

Достигнуто хорошее совпадение результатов машинного и аналитических расчетов: во время первого полупериода, при отпертом V_2 , ток в резонансном контуре 0-4-1 не превышал 9А, во время второго полупериода ток в контуре 1-4-5-0 достигал 14,4А; в момент $t = 25\text{мс}$ ток в контуре 0-4-1 равен 13,5А. Заряд конденсатора C_2 заканчивался при $t = 36\text{мс}$, запирались оба диода. При выполнении аналитических расчетов от полупериода к полупериоду изменялись начальные условия.

Удовлетворительная сходимость результатов приведенных расчетов позволила распространить математическое моделирование на более сложные схемы. В схему (рис.4) между точками 0 и 3 включена емкость $C_T = 500\text{пФ}$. Доказано, что во время запертого состояния обоих диодов емкость обмотки трансформатора, разряжаясь через низкоомную сеть, искажает форму напряжения на выходе обмотки ВН.

Небольшие емкости C_V запертых диодов и сопротивление R_V отпертых диодов при указанных значениях C и L_T не влияют на процесс заряда конденсаторов схемы.

Представляет интерес подробное изучение циклического каскада с индуктивным выходом для более обоснованного сравнения его схемы со схемой рис.2, предложенной на кафедре ТВН КПИ. По мнению авторов схемы рис.16 индуктивности L_D должны выбираться так, чтобы соблюдалось равенство напряжений на входе и выходе каскада: $U_{AB} = U_{MN}$.

Проведена серия расчетов U_H в режиме холостого хода при все возрастающих значениях L_D от нуля до $L_D = 240\text{Гн}$. При $L_D = 0$, по мере удаления ступеней от трансформатора, на их входы поступало все меньшее напряжения, и если бы существовала $n+1$ ступень, то на ее вход поступило бы напряжения $U_{MN} = 0$. По этой причине на выходе схемы напряжение U_H оказалось равным не $2nU_m$, а nU_m . По мере роста L_D возрастало U_{MN} и U_H . При $L_D = 240\text{Гн}$ достигнуто рекомендованное равенство $U_{AB} = U_{MN}$, однако выходное напряжение U_H оказалось равным не $2nU_m$, как ожидалось, а $1,4nU_m$.

Причина неответственности работы схемы состоит в разной нагрузке нижних и верхних ступеней каскада. По внешнему контуру $A-M-L_{D1}-L_{D2}-N-B$ в режиме холостого хода протекает переменный ток. При $C = 0,1 \text{ мкФ}$; $L_D = 240 \text{ Гн}$; $n = 5$ потенциал U_A отстает от тока, а потенциал U_M опережает его и оказывается сдвинутым относительно потенциала U_A на 180° . Нормальная работа циклического каскада с индуктивным выходом наступает, когда нагрузка всех ступеней каскада становится индуктивной, когда условие $U_{AB} = U_{MN}$ дополняется неравенством $\omega L_D > n/\omega C$. При частоте 50 Гц для нормальной работы исследуемого каскада индуктивность L_D должна возрасти до неприемлемых значений $3000-6000 \text{ Гн}$. Справедливость приведенных рассуждений подтвердил расчет того же каскада при $f = 250 \text{ Гц}$; $L_D = 240 \text{ Гн}$, $C = 0,1 \text{ мкФ}$, на выходе которого напряжение $U_H = 2nU_M$.

Циклическая схема каскада с индуктивным выходом работоспособна при питании от источника повышенной частоты.

Основной объем диссертации занимает исследование циклического каскада с резисторным выходом при постепенном усложнении расчетной схемы. Доказано, что сопротивление R_D должно превышать $n/\omega C$. По результатам расчетов неустановившегося и установившегося режимов работы идеализированной схемы (рис.2) обнаружена неодновременность отпирания диодов, расположенных в равнонаклонных ветвях, - первым отпирается наиболее удаленный от трансформатора диод. После усложнения схемы включением индуктивностей рассеяния трансформаторов возрасти токи во время первых первых полупериодов работы при включении на полное напряжение и возникли перенапряжения на ближайших к трансформатору конденсаторах. Для устранения сверхтоков и перенапряжений в ветви с диодами включены резисторы R_0 , сопротивление которых рекомендуется выбрать по формуле $R_0 = 1,8\sqrt{2L_T/C}$.

Доказано, что учет емкости C_H нагрузки при сохранении выходного напряжения U_H приводит к значительному снижению амплитуды

пульсации δU .

Для схемы (рис.2) расчетным путем получены осциллограммы установившегося тока в резисторах R_D и узловых потенциалов. Предложены выражения, определяющие токи I_{RD} и потери P в резисторах R_D .

$$P = R_D \left[\frac{I_H^2}{4} + \frac{I_m^2}{2} \right].$$

По результатам нескольких расчетных серий при $R_H = \text{const}$ и разных значениях C и R_D построены графики $U_{n(R_D)}$ и $P(R_D)$ и предложена формула $R_{D_{\min}} = (0,11 \dots 0,12) R_H$; соответствующая минимуму потерь.

Доказана несостоятельность мнения о независимости от числа n ступеней пульсации напряжения. Предложена формула: $\delta U = (0,075 \dots 0,1) I_H \cdot n / fC$. Для идеализированной схемы (рис.2) дан вывод формул падения напряжения на i -том (при отсчете сверху вниз) конденсаторе $\Delta U_{\min i}$, на конденсаторной колонне $\Delta U_{\min C}$ и формула полного внутреннего падения напряжения

$$\Delta U_P = \frac{I_H}{24fC} (4n^3 + n^2 - n + 2) + \frac{I_H R_D}{2}. \quad (1)$$

В процессе вывода формул ΔU учитывалась особенность работы циклического каскада: в момент запираания последнего (ближайшего к трансформатору) диода, когда $U_H = U_{H_{\max}}$, не соблюдается, как это имеет место в симметричных каскадах Гельперна, равенство зарядов в конденсаторах одних и тех же ступеней, наступающее в конце полупериода.

Индуктивности рассеяния L_T и емкости C_T обмотки ВН питающего каскад (рис.5) трансформатора, взаимодействуя с конденсаторами C , резисторами R_O и частотой f сети, влияет как на величину выпрямленного напряжения U_H , так и на качество напряжения питаю-

шей сети. Напряжение $U_H = 2nU_m - \Delta U$ зависит от внутреннего падения ΔU . Расчет реальной схемы (рис.5) показал зависимость ΔU от формы напряжения U_{5-6} на входе каскада и потенциалов U_5 , U_6 на клеммах трансформатора. На форму U_{5-6} влияет падение напряжения $-L \frac{di_T}{dt}$ и фаза тока i_T в полуобмотке трансформатора относительно потенциала соответствующего этой полуобмотке ввода. На рис.6 показаны расчетные кривые тока i_{T1} , напряжений U_1 и U_5 и падения напряжения на индуктивности рассеяния. Падение напряжения $-L \frac{di_T}{dt}$ искажает форму кривой потенциала U_5 . В зависимости от фазового сдвига между i_{T1} и U_5 наибольшее напряжение U_{5max} может превышать U_{1max} при опережающем токе (рис.6а), а при отстающем токе: $U_{5max} < U_{1max}$ (рис.6б). Многократно умноженное диодно-конденсаторной схемой повышенное или пониженное напряжение на входе каскада вносит существенную поправку в значение U_H , полученное при расчете идеализированной схемы (рис.2).

Емкости C_{T1} , C_{T2} обмоток трансформатора значительно меньше емкости C конденсаторов каскада и не оказывает существенного влияния на U_H . Конденсаторы C_{T1} и C_{T2} заряжены соответственно до напряжений U_5 и U_6 . Во время паузы диодных токов указанные конденсаторы разряжаются через индуктивности рассеяния, и в низковольтную питающую каскад сеть поступают высшие гармоники тока. В диссертации приведены расчетные кривые, аналогичные кривым (рис.6), но полученные с учетом C_T .

Цель дальнейших исследований состояла в определении поправочного коэффициента $K = \Delta U / \Delta U_p$, позволяющего вычислить истинное, с учетом L_T , C_T и R_O , значение ΔU по известной с помощью (1) величине ΔU_p , полученной применительно к идеализированной схеме. На рис.7 показан один из девяти построенных графиков зависимости

К от безразмерного аргумента $\alpha = \frac{2\omega L_T - 1/\omega C}{R_O + 2R_T}$, зависящего от фазового сдвига между i_{T1} и U_5 . Для удобства по оси абсцисс откладывалось 100α . График построен по данным 45 расчетов каскада при $n=5$; $U_m = 100\text{кВ}$; $f=50\text{Гц}$; $C = 500\text{пФ}$; $R_T = 1,5\text{кОм}$; и $L_T = 25\text{Гн}$ и разных значениях R_H и C . Сопротивления R_D и R_O определялись по формулам $R_D = 0,12R_H$; $R_O = 1,8\sqrt{2L_T/C}$. Каждый расчет определял U_H ; δU ; ΔU ; и I_H . По результатам каждого расчета вычислялись ΔU_P ; K ; и α . Емкости каскада принимались равными 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 мкФ. Сопротивление нагрузки изменялось от 12 до 36 МОм. Для пятиступенчатого каскада построено еще два графика при $L_T = 40$ и $L_T = 10\text{Гн}$. Аналогичные графики построены при $n = 4$ и $n = 6$.

Предложенная методика коррекции ΔU_P с помощью графиков, один из которых дан на рис.7, позволяет объяснить результаты ряда парадоксальных, на первый взгляд, расчетов циклического каскада с резисторным выходом.

1. С помощью ЗВМ определены напряжение U_H на выходе двух идентичных четырехступенчатых каскадов, питающихся от одинаковых трансформаторов ($L_T = 50\text{Гн}$; $R_T = 1,5\text{кОм}$; $C_T = 500\text{пФ}$; $U_m = 100\text{кВ}$; $f = 50\text{Гц}$).

В схемы включены равные резисторы $R_H = 24\text{МОм}$; $R_D = 2,9\text{МОм}$ и разные конденсаторы: в первой схеме $C=0,05\text{мкФ}$, во второй $C=0,4\text{мкФ}$. Результаты расчета. В первой схеме $U_H = 681,3 \pm 3,1\text{кВ}$; во второй, несмотря на в 8 раз увеличенную емкость конденсаторов, U_H не возросло, а снизилось до $674,6 \pm 0,4\text{кВ}$. Объяснение. В первой схеме ток в контуре 0-1-5-8-2-0 при отпертом диоде 5-8 опережает напряжение U_1 (см рис.6а); $\alpha = -0,4$; $K = 0,71$; ΔU_P согласно (1) рав-

но 169кВ; $\Delta U = K \cdot \Delta U_P = 119\text{кВ}$. Во второй схеме ток в том же контуре отстает от U_1 (см.рис.66); $\alpha = 0,73$; $K = 2,2$; $\Delta U_P = 57\text{кВ}$; $\Delta U = 125\text{кВ}$.

2. При частоте 50Гц питания каскада: $n = 4$; $U_m = 100\text{кВ}$; $C = 0,4\text{мкФ}$; $R_H = 24\text{МОм}$; $R_D = 2,9\text{кВ}$; $R_T = 1,5\text{кОм}$; $R_O = 16\text{кОм}$ расчетным путем определено выходное напряжение $U_H = 708 \pm 0,5\text{кВ}$. После удвоения частоты напряжение U_H снизилось до $692 \pm 0,25\text{кВ}$.

Объяснение. Аргумент α в результате удвоения частоты возрос с 0,077 до 0,78, поправочный коэффициент K возрос от 1,55 до 2,16. По этой причине падение напряжения не снизилось а возросло от 92 до 108кВ.

Основные результаты работы

Доказана работоспособность циклического каскада с резисторным выходом. Предложена расчетная формула, определяющая индуктивность на выходе каскада с индуктивным выходом, и доказана нецелесообразность его проектирования при питании от источника промышленной частоты.

Исследовано влияние внутренних параметров трансформатора, ограничивающих диодные токи резисторов и емкости нагрузки на работу циклического каскада с резисторным выходом. Предложена методика инженерного расчета не идеализированной, а полной схемы каскада, позволяющая в отдельных случаях значительно снизить стоимость конденсаторов.

По теме диссертации опубликовано 3 работы:

1. Кондра Б.Н., Рохварг А.Д., Змонг Ву Ван. Работа схемы Грейнахера - Латура с учетом внутренних параметров трансформатора и диодов. / Институт электродинамики НАН Украины. Препринт 753. Киев. 1993. 20с.
2. Змонг Ву Ван. Циклический каскадный высоковольтный выпрямитель с индуктивным выходом /Депонирован в ГНТБ Украины, N1915-Уч.94 Киев 1994, - 17с.
3. Кондра Б.Н., Змонг Ву Ван. Циклический каскадный высоковольтный выпрямитель с резисторным выходом /Депонирован в ГНТБ Украины, N2191-Уч 94, Киев 1994 - 18с.

Аннотация

Зюонг Ву Ван. Циклический каскадный источник высокого постоянного напряжения, рукопись.

05.14.12. Техника высоких напряжений.

Национальный технический университет Украины, Киевский политехнический институт. Киев 1995

Защищаются обобщающая научная работа, содержащая результаты математического моделирования предложенной на кафедре ТВН новой модернизации циклического каскадного соединения выпрямителей и конденсаторов, но не с индуктивным, а с резисторным выходом. Проведено всестороннее исследование каскада в переходном и установившемся режимах. Получены необходимые формулы для инженерного расчета каскада с учетом внутренних параметров питающему схеме трансформатора и токоограничивающих резисторов в диодных ветвях. Уточнено условие выбора индуктивностей в схеме каскада с индуктивным выходом.

Результаты работы переданы в ВИТ (г.Запорожье) и внедрены в учебный процесс.

Abstract

Zuonng Vu Van. The circle cascade resource of constant high voltages, manuscript.

05.14.12. Engineering of high voltages.

The national technical university of Ukraine. The Kiev polytechnical university. Kiev 1995.

Three scientific works have been defended. They are the results of the mathematical simulation for circle cascade's new modernization connecting rectifiers and condensers not with the inductive, but the resistance exit.

The comprehensive researchs of the cascade in transient and steady regimes were carried out. The necessary formulas for cascade's engineering calculation were received, taking into account inside parameters of a transformer supplied scheme and circuit restriction's resistance in the branch. The choice's condition of inductance in cascade scheme with the inductive exit was specified.

The results of this work was pasted into VIT (Zaporozhe city) and applied in educational processe

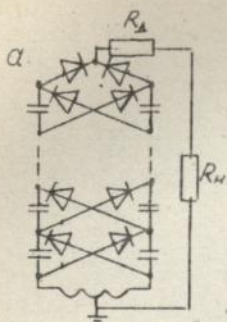


Рис. 1

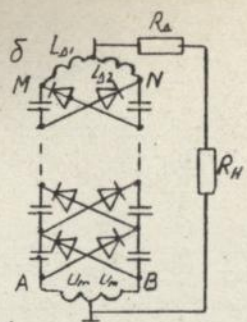


Рис. 2

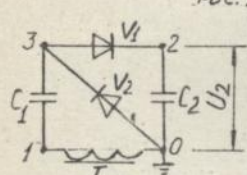


Рис. 3

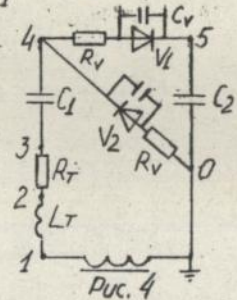


Рис. 4

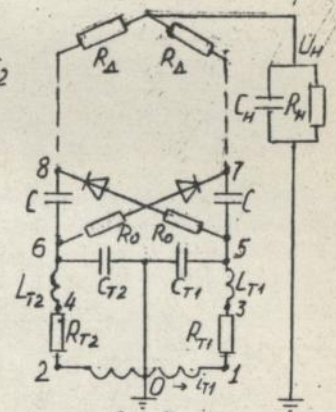


Рис. 5

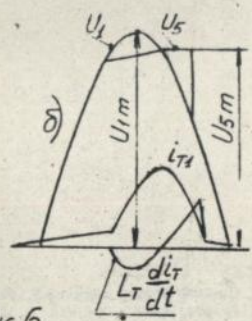
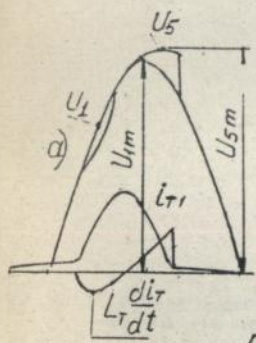


Рис. 6

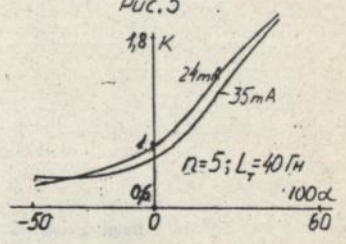


Рис. 7

ЛНБ ім. В. Стефанива
АН України

Подп. к печ. 26.09.95 Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага тип. № 1 . Способ печати офсетный. Услови. печ. л. 133
Услови. кр.-отт. 204 . Уч.-изд. л. 10 .
Тираж 100 . Зак. № 5-4115

Фирма «ВИПОЛ»
252151, г. Киев, ул. Волянская, 60.

AB 33.210