

А.М. Репин. Зоны и конструкции режимов базовых схем различных классов вентильных конвертеров электроэнергии (БВК ЭЭ).

Repin A.M. Zone and design modes of operation of the basic circuits of the various classes of the valve power converters (BVPC)

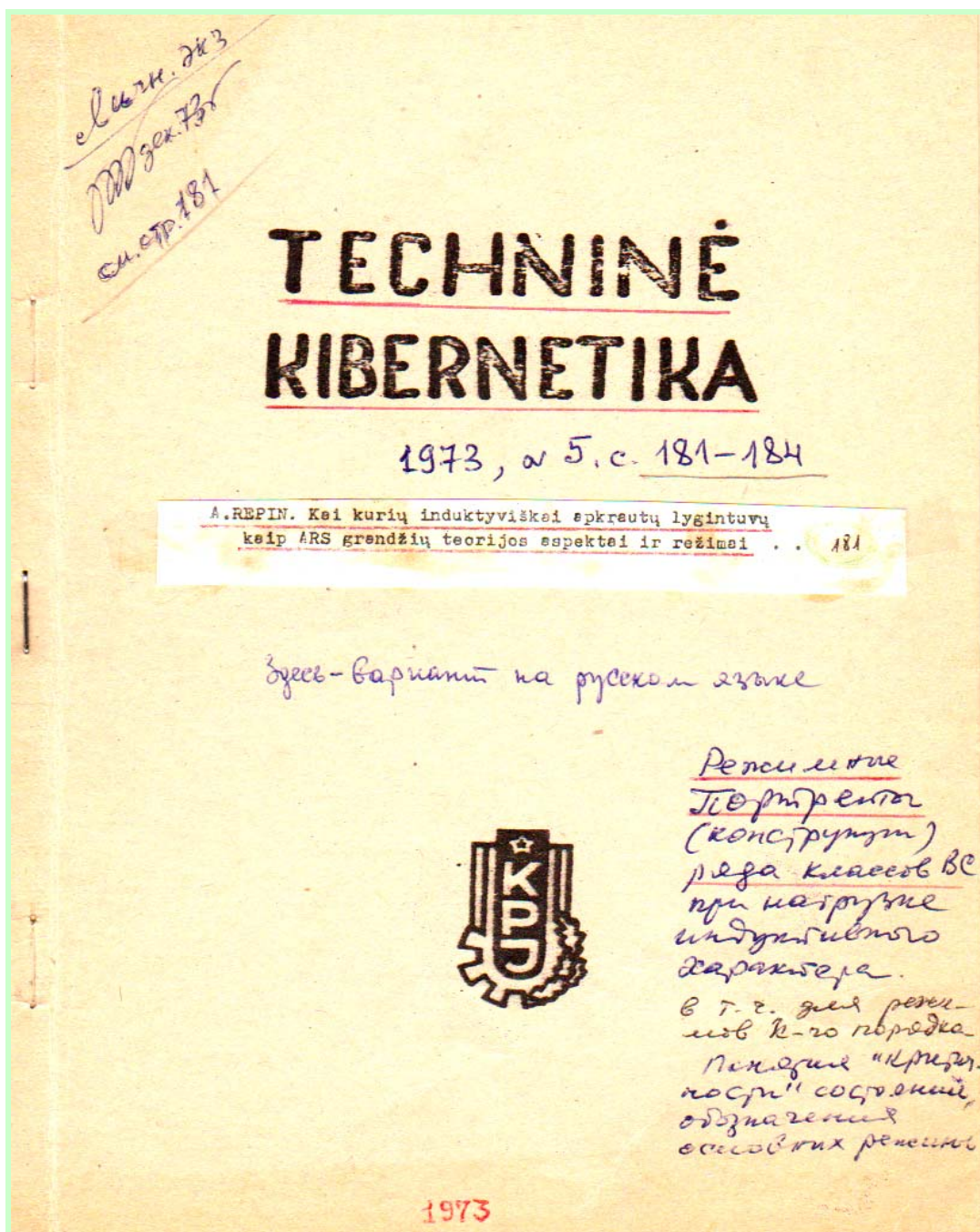
Анонс. Впервые в электронной версии приведены сведения о режимных портретах (зонах и объёмах) БВК ЭЭ, впервые опубликованные на литовском языке (Каунус. политех. институт. КРЈ).

// TECHNINE KIBERNETIKA /Техническая кибернетика. 1973. Том V. С.81-84.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ И РЕЖИМНЫЕ ПОРТРЕТЫ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ КАК ЗВЕНЬЕВ САР ПРИ НАГРУЗКЕ ИНДУКТИВНОГО ХАРАКТЕРА

KAI KURIŲ INDUKTYVIŠKAI APKRAUTŲ LYGINŲŲ KAIP  
ARS GRANDŽIŲ TEORIJOS ASPEKTAI IR REŽIMAI

A. REPIN





НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ И РЕЖИМНЫЕ ПОРТРЕТЫ  
ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ КАК ЗВЕНЬЕВ САР ПРИ НАГРУЗКЕ  
ИНДУКТИВНОГО ХАРАКТЕРА

А.М.Репин

Изложены некоторые новые аспекты теории выпрямления. Рассмотрены предложенные автором режимные портреты выпрямителей как звеньев САР в разомкнутом состоянии при нагрузке индуктивного характера. Учтено влияние начального участка характеристик вентилей, что имеет важное значение для низковольтных источников, используемых, например, в микроэлектронике. Результаты представляют практический интерес в области вторичных источников питания устройств автоматики и вычислительной техники.

Вычислительные машины и другие устройства автоматики, построенные на новых полупроводниковых элементах с низкими энергетическими уровнями (твердотельные схемы, с туннельными диодами и пр.), требуют низковольтного питания /единицы Вольт, доли Вольта/. При этом потребляемые токи могут достигать единиц-десятков, а иногда сотен Ампер. В источниках питания такого типа находят применение многофазные выпрямители с числом фаз  $m \geq 2$ .

Стабилизированный выпрямитель низких и <sup>инф</sup> ~~ультра~~ низких напряжений (НН и УНН) при определенных условиях можно рассматривать как систему автоматического регулирования (САР) и тем самым исследовать его динамику с позиций теории САР.

Однако в связи с новизной и сложностью задачи следует прежде всего изучить статику  $m$ -фазных выпрямителей при разомкнутой обратной связи. В этом случае важнейшими в настоящее время вопросами являются выяснение типа режима многовентильной цепи и определение числа и условий существования возможных в ней режимов и соответствующих им параметров схемных элементов. От правильного решения этой задачи зависят все последующие аналитические результаты и физические выводы, вытекающие из них.

Число и тип режимов в многофазном выпрямителе определяется характером нагрузки и внутренних сопротивлений его основных узлов (трансформатора, вентилей и пр.).

Рассмотрим возможные состояния  $m$ -фазного выпрямителя с активными потерями и нагрузкой индуктивного характера, т.е. его работу на двигатель или фильтр, начинающийся с дросселя.



Схем ZERL

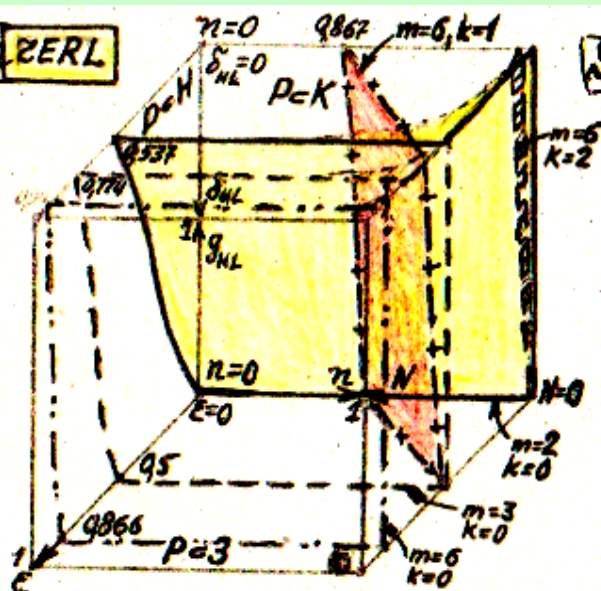


Рис. 1

Схем STRERL

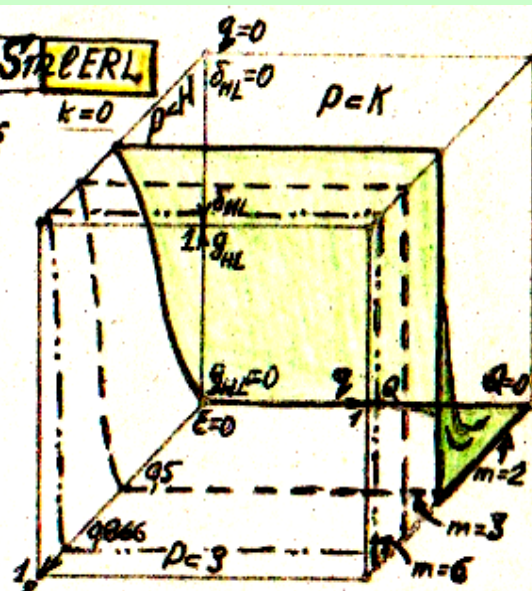


Рис. 2

Схемы такого типа будем относить к классу и для краткости обозначать как класс  $ZERL$ , где  $Z$  - внутреннее активное сопротивление;  $R, L$  - элементы нагрузки индуктивного /  $L$  / характера;  $E$  - противо-э.д.с.  $E_0$  либо напряжение смещения вентиля  $E_c$ , отражающее влияние нижнего участка его характеристики. Для источников ИИ и ИИИ учет  $E_c$  особенно важен.

Исследования показали, что схемы класса  $ZERL$  могут работать в одном из  $k = 1, 2, \dots, k_*$  коммутационном режиме [1]. Для удобства изложения такие состояния будем обозначать в виде  $P < K$ . При этом к  $k$ -му режиму будем относить состояние схемы, когда внутри интервала повторяемости процессов попеременно участвует в работе то  $k+1$ , то  $k$  внутренних ветвей (явление коммутации). Максимальный номер режима, соответствующий при  $E = 0$  случаю короткого замыкания нагрузки  $R$ , равен  $k_* = \frac{1}{2} \left\{ m + \frac{1}{2} [(-1)^m - 1] \right\}$ .

Переход из одного режима в другой определяет состояние, которое будем называть к р и т и ч е с к и м. Переход из  $k$ -го в  $k+1$ -й режим отражает  $k$ -е критическое состояние или к р и т и ч е с к о с т ь  $k$ -го порядка. Переход в режим прерывистых выходных токов, когда внутри интервала повторяемости имеется хотя бы один подинтервал, в котором все вентили закрыты (обозначим его как режим типа  $P < 3$ ), отражает н у л е в у ю критичность. В схемах возможны также состояния, когда в любой момент времени в работе участвует только одна внутренняя ветвь (ни  $P < K$ , ни  $P < 3$  режимы). Обозначим их как режимы типа  $P < H$ .

Как показал анализ [2], совокупность физически возможных состояний, как и их критичность, зависят от числа  $\nu$  некоторых обобщенных параметров схемы. Они определяют состояния схем и потому называются о п р е д е л я ю щ и м и параметрами. Если удастся получить в замкнутом виде их аналитическую связь, физические состояния схем с целью удобства и наглядности можно представить графически. В общем случае совокупность состояний интерпретируется в  $\nu$ -мерном Евклидовом пространстве, что уже



при  $\nu > 4$  графически реализовать невозможно.

Состояния схем классов  $\Sigma ERL$  зависят от трех определяющих параметров:  $n = N^{-1} = Z/R$ ,  $g_{HL} = \delta_{HL}^{-1} = \omega L/R$ ,  $\varepsilon = E/S_a$ , где  $S_a$  — амплитуда фазной э.д.с. синусоидальной формы, изменяющихся с частотой  $\omega$ . Параллельно множество состояний схем класса  $\Sigma ERL$  изображен на рис. 1. Показанные на рисунке поверхности нулевой /  $\kappa = 0$  / , первой /  $\kappa = 1$  / и второй /  $\kappa = 2$  / критичности позволяют определить виды и объемы состояний типа  $P \in \Sigma$ ,  $P \in K$ ,  $P \in H$  и соответствующие им соотношения параметров схемных элементов для наиболее распространенных на практике двух, трех и шести фазных выпрямителей. С ростом числа фаз объем  $P \in \Sigma$  уменьшается, а число коммутационных режимов возрастает.

Аналогичные конструкции можно легко построить для схем с иным числом фаз и иных классов (см. рис. 2 и таблицу, где  $g = Q^{-1} = \ell/L$ ,  $\ell$  — внутренняя индуктивность). Такие конструкции могут рассматриваться как своего рода режимные портреты выпрямителей, представленные в плоской или объемной геометрии. В зависимости от числа определяющих параметров портреты изображаются на линии, плоскости или в пространстве.

Т а б л и ц а

Класс	Формула критичности	Определяющие параметры	Примечание
н у л е в а я к р и т и ч н о с т ь			
$\Sigma mRL$	критичность отсутствует		
$\Sigma m \Sigma ERL_{\infty}$ $\Sigma m \Sigma ERL_{\infty} / PRL$ $\Sigma m \Sigma ERL_{\infty}$ $\Sigma m \Sigma ERL$	нулевая критичность отсутствует		
$\Sigma m ERL_{\infty}$	$\varepsilon_{кр} = \sin \alpha z \operatorname{ctg} \frac{1 - \cos 2\theta}{2\theta - \sin 2\theta}$	$\varepsilon$	
$\Sigma m ERL$	$\varepsilon_{кр} = \sin \alpha z \operatorname{ctg} \frac{[\sin(2\theta - \varphi) + \sin \varphi e^{-2\theta \operatorname{ctg} \varphi}] \cos \varphi}{1 - \cos \varphi \cos(2\theta - \varphi) - \sin^2 \varphi e^{-2\theta \operatorname{ctg} \varphi}}$	$\varepsilon$ $g_{HL}$	$\operatorname{tg} \varphi = g_{HL} = \frac{\omega L}{R}$
к р и т и ч н о с т ь $\kappa$ -г о п о р я д к а			
$\Sigma m ERL_{\infty}$	$N_{кр0(\kappa)} = \frac{1}{\kappa} \left( \frac{1}{\kappa^{\pm} \theta_{\kappa}} - 1 \right); T_{\kappa} = \left( \frac{\sin \kappa \theta}{\kappa^{\pm} \sin \theta} - \cos \kappa \theta \right) \operatorname{csc} \kappa \theta$	$N$	$\kappa^{\pm} = \kappa \pm 1$
$\Sigma m \Sigma ERL_{\infty}$	$N_{кр(\kappa)} = N_{кр0(\kappa)} - \varepsilon [\kappa^{\pm} T_{\kappa} \sin \kappa \theta]^{-1}$	$N, \varepsilon$	$\kappa^{\pm} = 1, 2, \dots, \kappa_n$
$m ERL_{\infty}$ $\kappa = 1$	$g_{(R)кр(1)} = 2\theta \frac{\sqrt{\sin^2 3\theta + (2 \sin \theta \sin 2\theta)^2} - \sin 3\theta}{\sqrt{\sin^2 3\theta + (2 \sin \theta \sin 2\theta)^2} + \sin 3\theta}$	$g(R)$	$g_{(R)} = \frac{\omega \ell}{R}$

П р и м е ч а н и е. Формула нулевой критичности схем класса  $ERL$  справедлива также для схем классов  $\Sigma EL$ ,  $\Sigma ER$ ,  $\Sigma ERL$ ,  $\Sigma ERL$ ,  $\Sigma ERL$ , если  $\operatorname{tg} \varphi$  означает соответственно  $\omega L/Z$ ,  $\omega \ell/R$ ,  $\omega L/(Z+R)$ ,  $\omega(\ell+L)/R$ ,  $\omega(\ell+L)/(Z+R)$ .

Наряду с наглядностью представления о возможных режимах проектируемого выпрямителя или определения типа режима готового устройства по известным схемным параметрам, указанные режимные конструкции позволяют следующее. Отчётливо проследить современное состояние теории выпрямителей различных классов, созданных на разных этапах их исторического развития. Оценить границы корректности известных результатов. И, выяснив области не исследованных состояний схем, сформулировать задачи, объективно требующие своего решения. Эти вопросы изложены на примере схем класса  $S m(M) r E R || C$ , рассмотренного в следующей работе [3].

Московский электротехнический  
институт связи

Получено 31 октября  
1972 г.

### Л и т е р а т у р а

1. РЕПИН А.М. Работа и расчёт многофазных схем преобразования с активными потерями и нагрузкой индуктивного характера, Материалы январской Юбилейной НТК МЭИС. 1970.
2. РЕПИН А.М. Об основных режимах работы многофазных выпрямителей и условиях их существования, Материалы январской НТК МЭИС. 1971.
3. РЕПИН А.М. Конструкции физических состояний неуправляемых выпрямителей, работающих в САР при нагрузке ёмкостного характера, В настоящем сборнике.

A. REPIN. Kai kurių induktyviškai apkrautų lygintuvų  
kaip ARS grandžių teorijos aspektai ir režimai

### KAI KURIŲ INDUKTYVIŠKAI APKRAUTŲ LYGINUVŲ KAIP ARS GRANDŽIŲ TEORIJOS ASPEKTAI IR REŽIMAI

A. REPIN

#### R e z i u m e

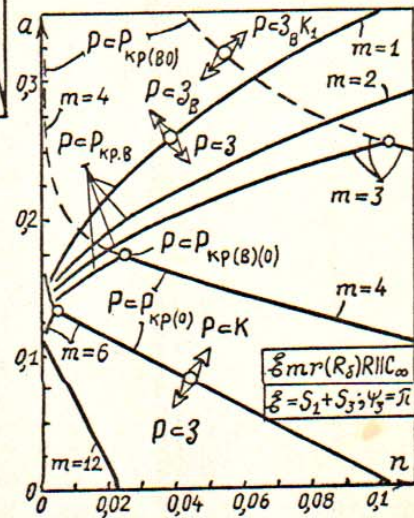
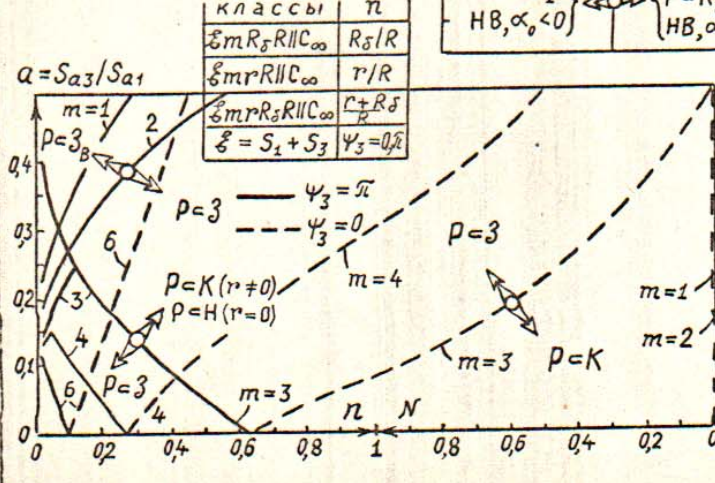
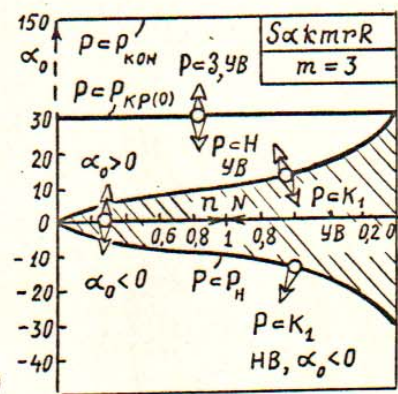
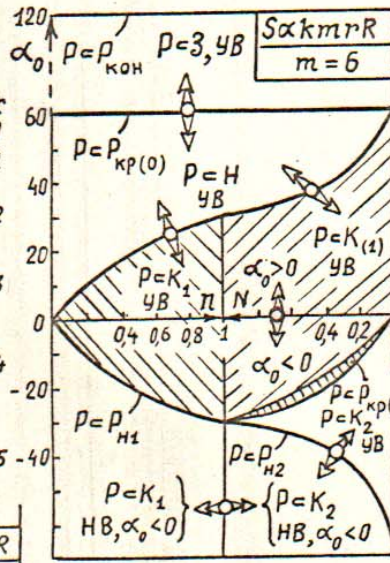
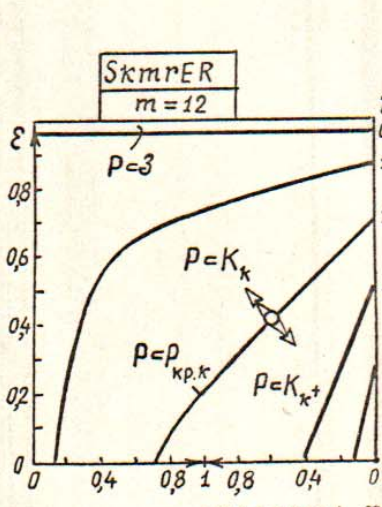
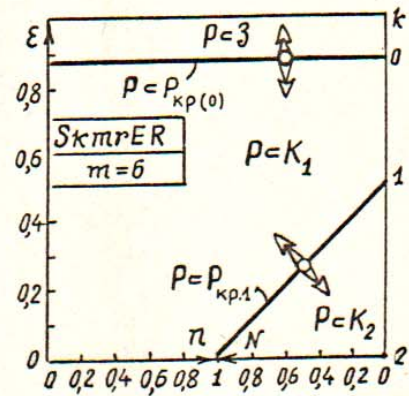
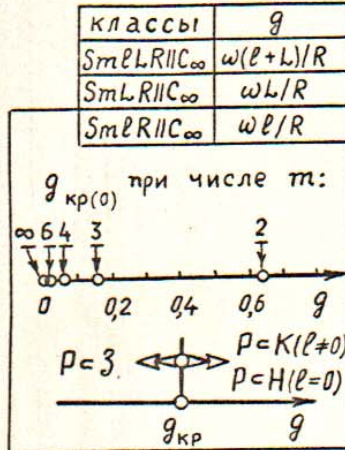
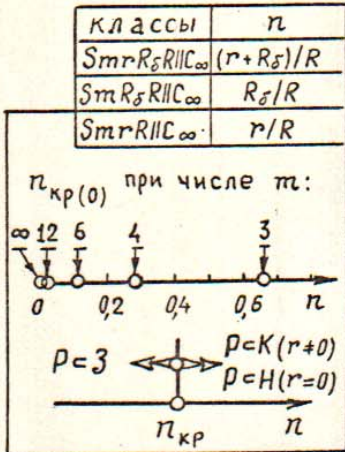
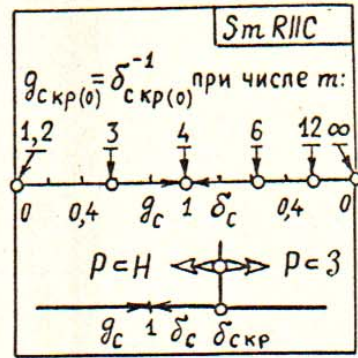
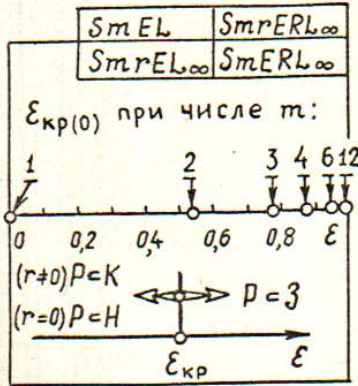
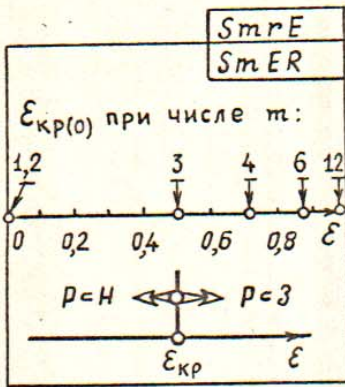
Išdestyti kai kurie lyginimo teorijos aspektai. Išnagrinėti autoriaus pateikti lygintuvų, kaip atvirų ARS grandžių su induktyviu apkrovimu, režimai. Įvertinta ventilių pradinės charakteristikos įtaka. Rezultatai gali būti pritaikyti, projektuojant automatikos ir skaičiavimo technikos superžemų įtampų antrinius šaltinius.

194

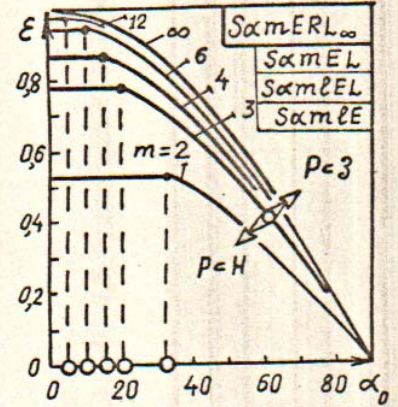
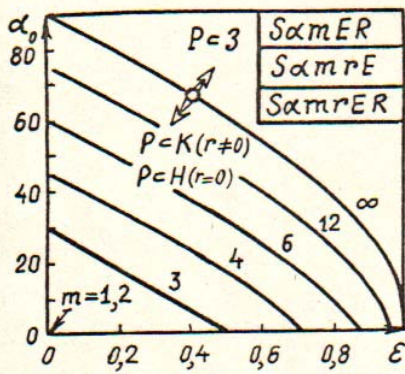
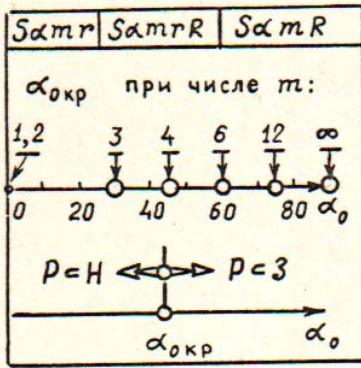
NB. Выше в [3] аналогично указана 3-я работа автора. Однако в сборнике их нет. Гарантия коллеги из КРЖ, по предложению которого созданы эти 3 статьи, оказалась на 2/3 пустой. Специалисты - без необходимой, важной информации. Приведенные далее изображения устраняют изъясн. Соответствующие фрагменты есть в научных отчётах автора, в предлагаемых в редакции статьях. Демонстрировались на НТК МЭИС, МДНТП, НЭТИ, МВТУ, на "предзащитах" докторской диссертации в ЭНИН, МЭИ (на трёх кафедрах), МВТУ и др. Опубликовано в Известиях АН СССР, ЭИТ, 1980-4, Вопросах радиоэлектроники, 1991 и др.



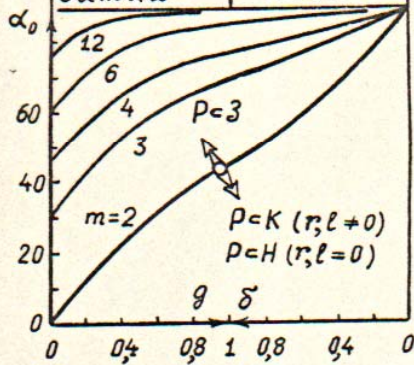
Неуправляемые вентиляльные конвертеры электроэнергии. Различные классы базовых схем.



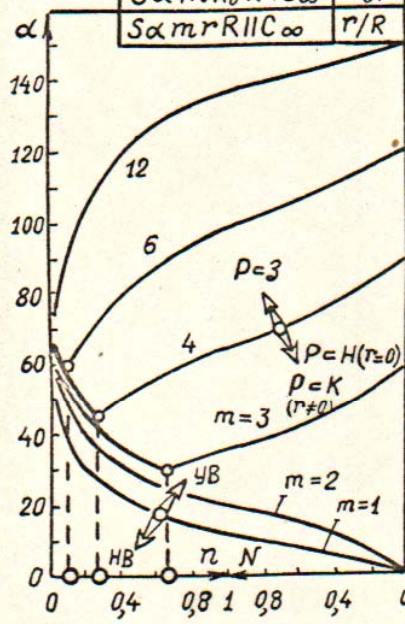




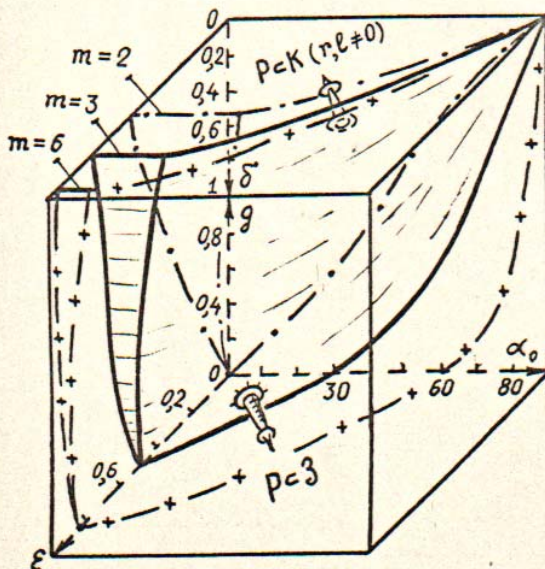
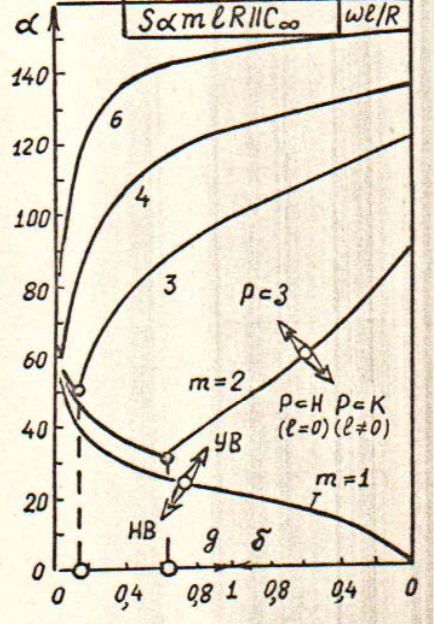
классы	$g$
$S\alpha m l R L$	$\omega(l+L)/r$
$S\alpha m l R L$	$\omega(l+L)/R$
$S\alpha m l R L$	$\omega L/(r+R)$
$S\alpha m l R$	$\omega l/R$
$S\alpha m l R$	$\omega L/r$
$S\alpha m l r R$	$\omega l/(r+R)$
$S\alpha m l R L$	$\omega(l+L)/(r+R)$
$S\alpha m R L$	$\omega L/R$



классы	$\pi$
$S\alpha m r R_{\delta} R I I C_{\infty}$	$(R_{\delta}+r)/R$
$S\alpha m R_{\delta} R I I C_{\infty}$	$R_{\delta}/R$
$S\alpha m r R I I C_{\infty}$	$r/R$



классы	$g$
$S\alpha m l R I I C_{\infty}$	$\omega(l+L)/R$
$S\alpha m L R I I C_{\infty}$	$\omega L/R$
$S\alpha m l R I I C_{\infty}$	$\omega l/R$



классы	$g$
$S\alpha m E R L$	$\omega L/R$
$S\alpha m l E R L$	$\omega(l+L)/R$
$S\alpha m l r E$	$\omega l/r$
$S\alpha m r E L$	$\omega L/r$
$S\alpha m l r E R$	$\omega l/(r+R)$
$S\alpha m r E R L$	$\omega L/(r+R)$
$S\alpha m l E R$	$\omega l/R$
$S\alpha m r E L$	$\omega(l+L)/r$
$S\alpha m l r E R L$	$\omega(l+L)/(r+R)$



