

5. Коэффициент полезного действия выпрямителя *Теперь не терять*

$$\eta = \mathcal{P}_{\text{пол}} / \mathcal{P}_{\text{затр}} = 1 / (1 + \zeta). \quad (3.57)$$

Аналитическая методика расчета m -фазных выпрямителей довольно громоздка, но можно номографировать найденные соотношения. Они зависят от параметров n , ε , k , f_k , задавая которые может быть получена масса различных графиков, необходимых с той или иной целью и охватывающих все схемы класса εRE_s . Получение численных решений и оптимальных (в смысле удобства пользования) расчетных номограмм не содержит принципиальных затруднений, но связано со значительной трудоемкостью. На одну задачу, подобную рассмотренным выше, при надлежащем исследовании и доведении ее до инженерной методики расчета требуется в среднем около трех лет при наличии навыков и машинного обеспечения.

На основе аналитической программы, составленной автором, и при использовании стандартных машинных программ решения осуществлены на ЭВМ "Минск-22" при $\varepsilon = 0 \div 1$ для $m = 1, 2$, при $\varepsilon = 0 \div \cos \theta$ для $m = 3, 4, 6, 12, 18, 24$ и для всех схем при $n = 0 \div \infty$ (т.е. от режима холодного хода до короткого замыкания, при этом изменялись: $k = 1 \div k_x$, $f_k = 0 \div \theta$). Шаги итераций: $\Delta \varepsilon = 0,1$, $\Delta n = 0,1$ при $n = 0 \div 1$ и $\Delta \mathcal{N} = 0,1$ при $\mathcal{N} = 1 \div 0$, $\Delta k = 1$, $\Delta f_k = 5^\circ$ при всех m , кроме $m = 24$, для которого $\Delta f_k = 25^\circ$. С ростом m объем получаемой информации резко увеличивается в связи с ростом k_x и увеличением диапазона возможных значений напряжения смещения, когда еще нет режима прерывистых токов нагрузки.

В крайних точках (х.х. и к.з.) машинные решения отсутствуют в связи с неопределённостью пределов. Результаты для этих случаев получены автором после предельных переходов в приведенных выше соотношениях по правилу Бернулли-Лопиталя и численных решений предельных формул с помощью счётной машины *Soemtron*. Расчётные номограммы для $m = 1, 2, 3, 6, 12, 18$ приведены в Приложении 3. На рис. 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 даны кривые выходных параметров и некоторых коэффициентов для $m = 12$ в зависимости от определяющих параметров π и ε (параметрические зависимости). Для удобства использован обратный-линейный (рис. 3.2) и встречно-линейный (рис. 3.3) масштабы. На графиках типа рис. 3.2 сплошные линии - зависимости от π , пунктирные - от \mathcal{N} .

Точки кривых на левых осях ординат рис. 3.2 дают значения напряжений х.х и токов к.з., необходимых, в частности, при построении нормированных (т.е. приведенных к единичному масштабу) внешних характеристик. Последние легко получить из графиков типа рис. 3.2. Они - нелинейны (рис. 3.6). Расчёт, выполняемый по линейной зависимости, даёт, например, при $m = 12, \varepsilon = 0$, погрешность по отношению к истинному значению 15% при токе $\bar{I} = I/I_{к.з.} = 0,1$, резко возрастающая с приближением к току к.з. (213% при $\bar{I} = 0,9$). С ростом ε форма нормированной характеристики практически не изменяется (рис. 3.6). С ростом m погрешности растут. Приведенные цифры говорят о важности учёта на практике нелинейности внешних характеристик.

Для нормировки характеристики необходимо знать значения величин в режимах х.х и к.з. Из (3.21) при $\pi = 0$ ($k = 1, j = 0$) и затем из (3.22) получаем

$$U_{о.хх} = \lim_{n \rightarrow 0} U_o = \theta^{-1} \sin \theta - \varepsilon; \quad I_{(z)хх} = \lim_{n \rightarrow 0} I_{(z)} = \lim_{n \rightarrow 0} n U_{о.хх} = 0, \quad (3.58)$$

что соответствует физике и справедливо также для случая работы на

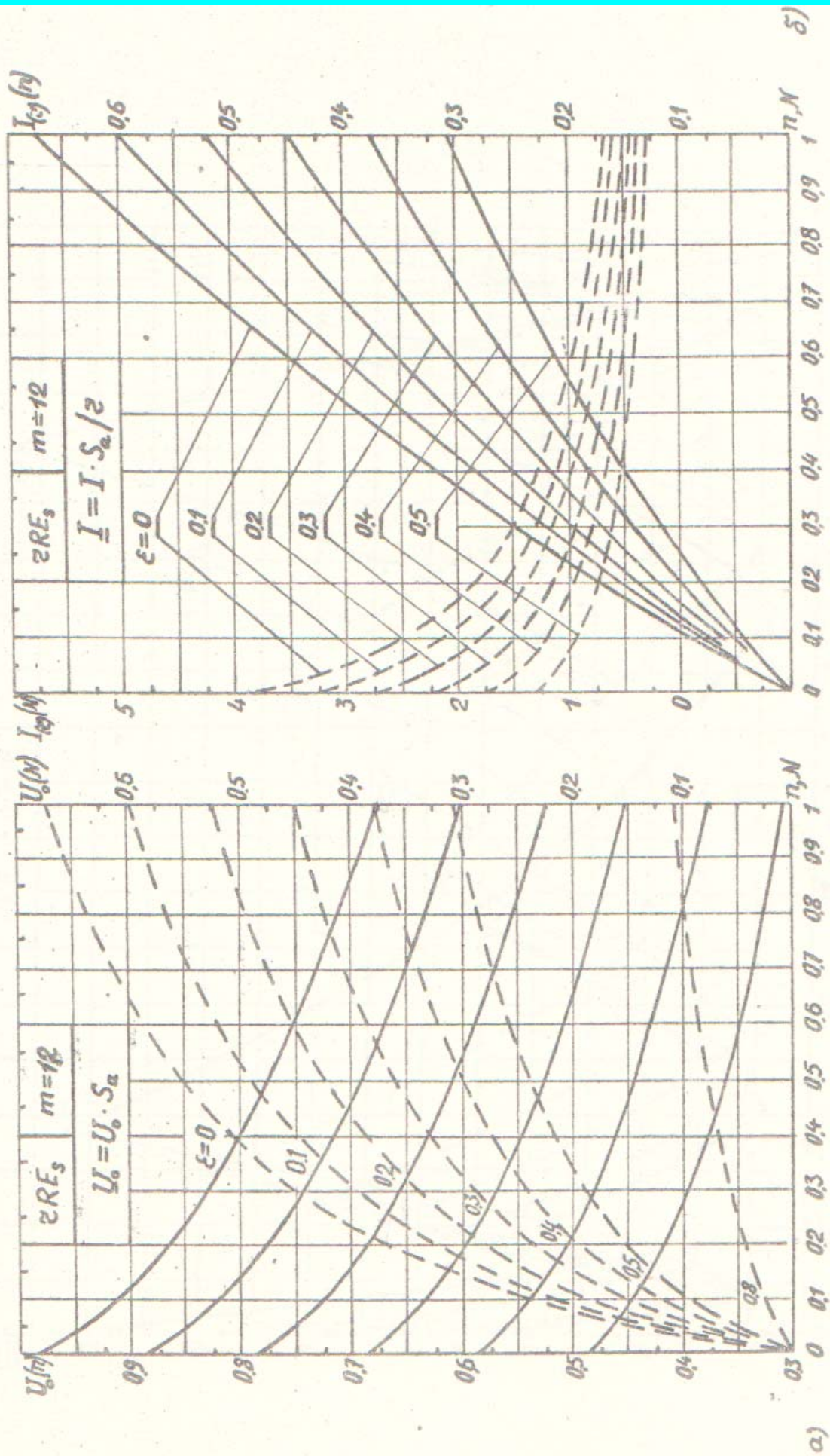


Рис. 3.2. Бараметрические (нагрузочные) зависимости приведенных к основанию средних значений напряжения (а) и тока (б) полезной нагрузки класса zRE_s

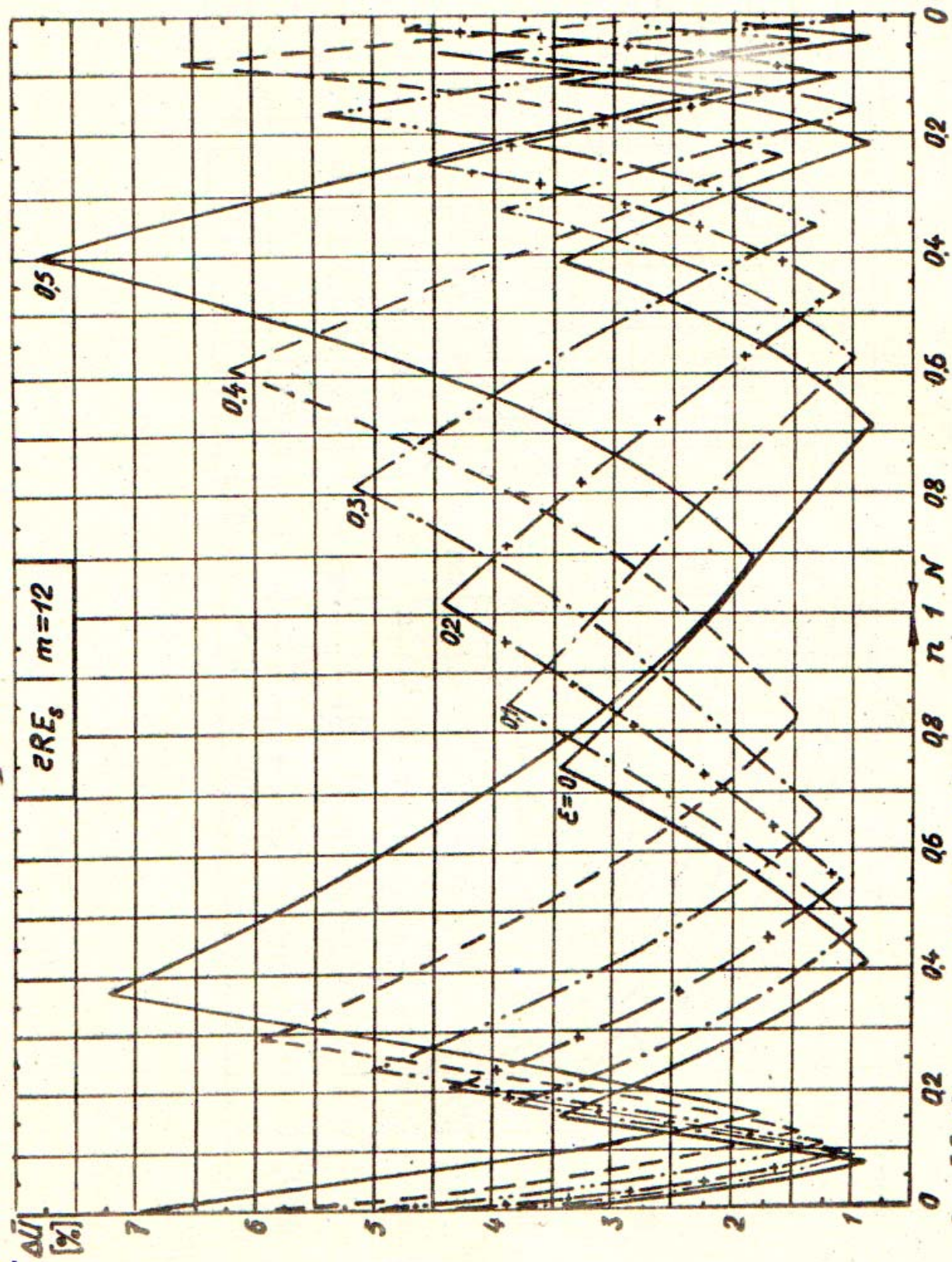


Рис. 3.3. Параметрические зависимости нулевой точки пульсации 12-фазной схемы класса zRE_s

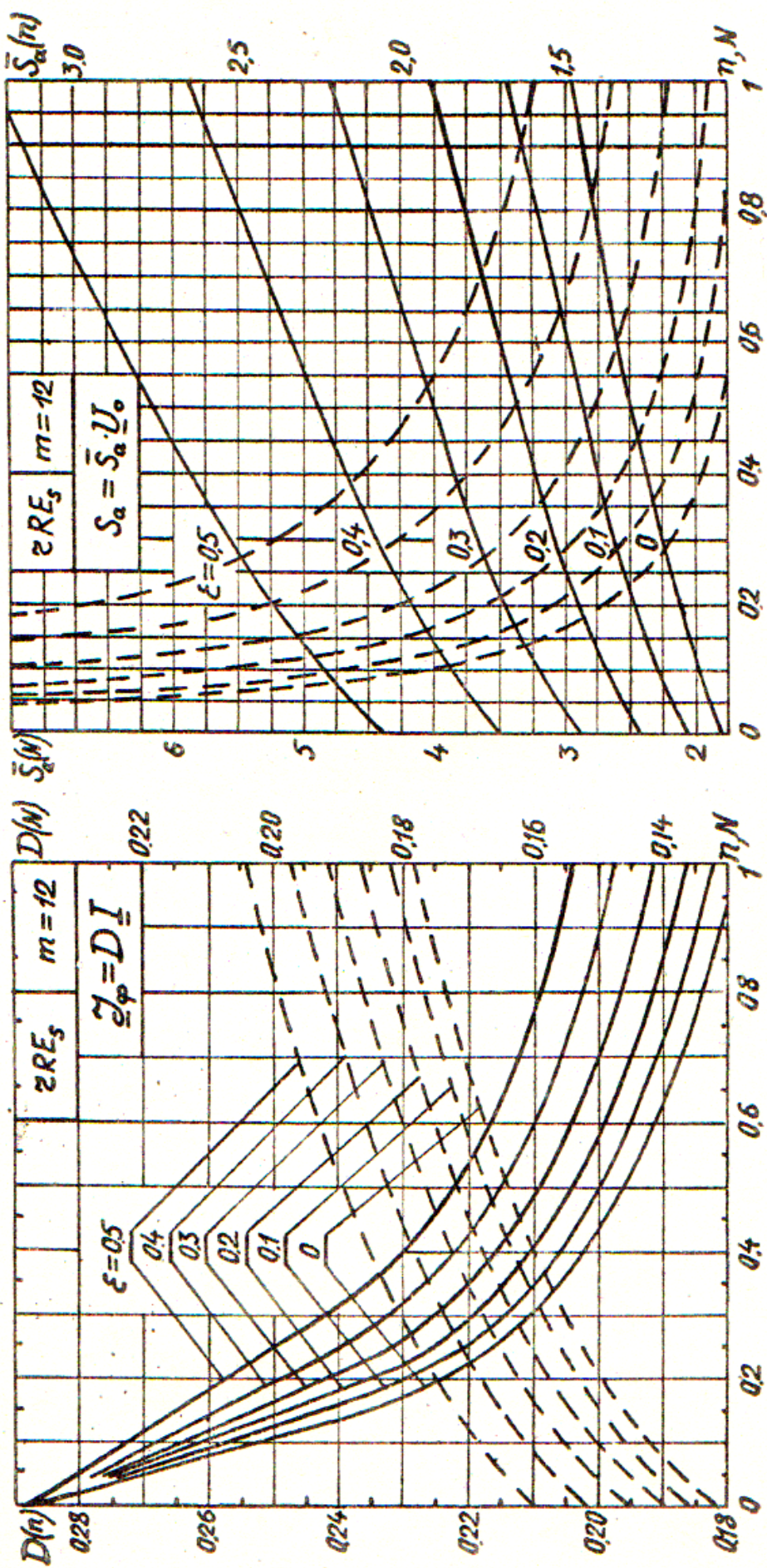


Рис. 3.4. Расчетные коэффициенты $D = \gamma_\varphi / I$ и $\bar{S}_a = S_a / U_0$ 12-фазной схемы класса εRE_s (текущие относительные характеристики)

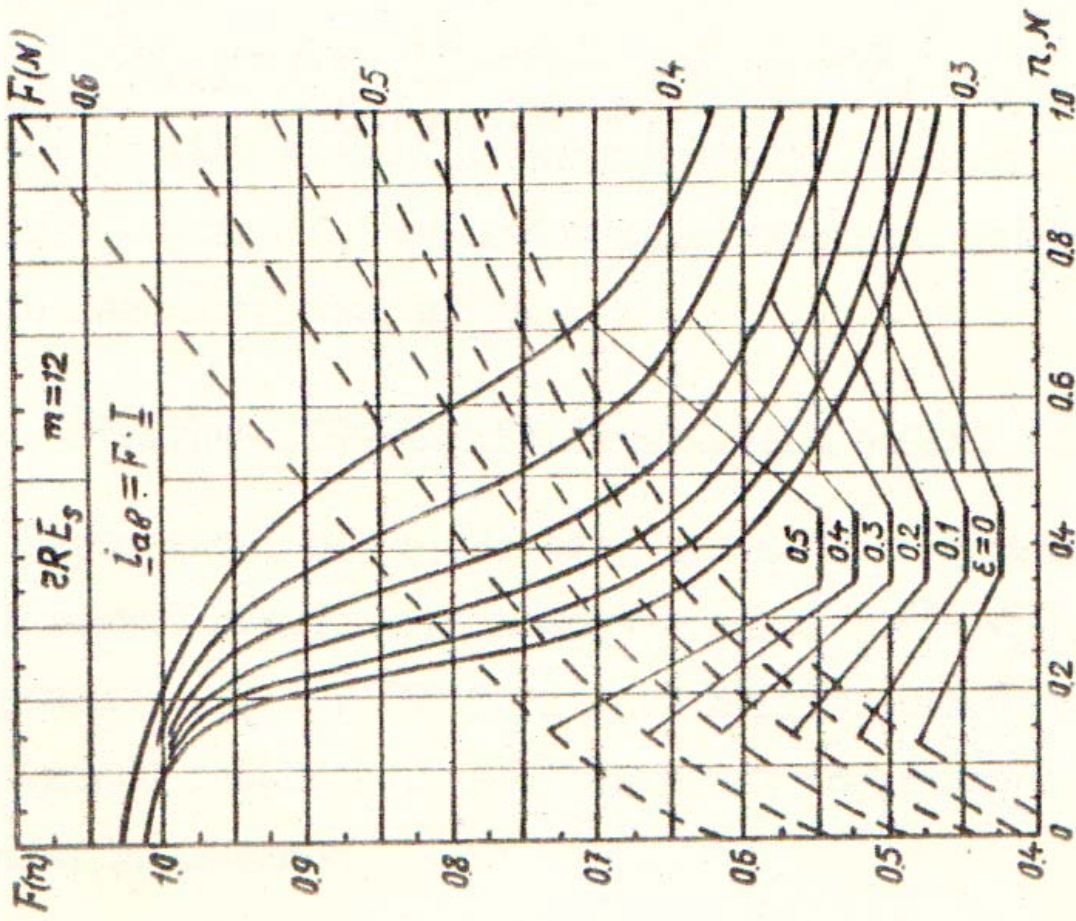


Рис.3.5. Расчетный коэффициент $F = \frac{I_{\alpha\theta}}{I}$.

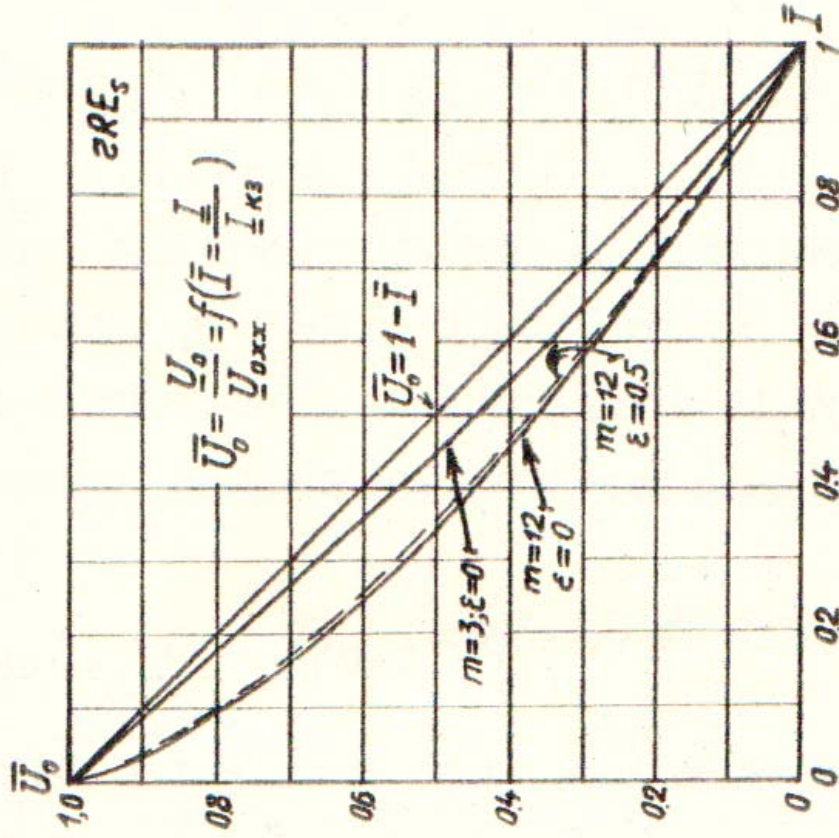


Рис.3.6. Нормированные внешние характеристики m -фазных СЭМ класса zRE_s .

любой вид нагрузки при разрыве выходного канала выпрямителя. Среднее значение тока нагрузки при к.з. после предельного перехода в (3.21) находим из выражения

$$I_{(z)к.з.} = \theta^{-1} [S_a^{(k)} \sin \gamma_{кон} + S_a^{(k')} \sin(\theta - \gamma_{кон}) - \varepsilon(k_x \theta + \gamma_{кон})], \quad (3.59)$$

$$\gamma_{кон} = \alpha \tau \cos \varepsilon - k_x \theta. \quad (3.60)$$

Откуда, в частности, при $\varepsilon = 0$, т.е. для относительно высоковольтных схем, и имея в виду $\gamma_{кон.0} = \pi/2 - k_{xx} \theta$, где k_{xx} определяем из (3.4), находим, что выражение в квадратных скобках (3.59) равно единице. Следовательно, среднее значение тока нагрузки, замкнутой накоротко, равно

$$I_{(z)0.кз} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} I_{(z)кз} = \theta^{-1} = m/\pi \quad (3.61)$$

и не зависит от того, через какое число коммутационных режимов прошла схема, оказавшись в режиме короткого замыкания.

Для среднего значения напряжения нагрузки имеем

$$U_{0.кз} = \lim_{N \rightarrow 0} U_0 = \lim_{N \rightarrow 0} N I_{(z)кз} = 0, \quad (3.62)$$

что соответствует физике ^{явления}. Последние четыре очень простые формулы справедливы, очевидно, при любом виде нагрузки в случае полного короткого замыкания выпрямителя.

§ 3.3. Основные особенности работы схем класса εRE_s .

1. Изложенное выше имеет силу для всех m -фазных схем, работающих в режиме непрерывных выходных токов ($P \in K_k$). Условие перехода в режим $P \in Z$ (условие нулевой критичности) как и правило по оперативной оценке до и закритических состояний с очевидностью принадлежат выражениям

$$\varepsilon_{кр} = \cos \theta; \quad \varepsilon > \varepsilon_{кр} \rightarrow P \in Z; \quad \varepsilon < \varepsilon_{кр} \rightarrow P \in K. \quad (3.63)$$

таким образом, приведенные результаты справедливы для схем при $m > 2$. При $m = 1, 2$ (в однофазной, двухфазной и мостовой схемах) имеют место режимы прерывистых токов независимо от величины напряжения смещения и соотношения сопротивлений. Коммутационные состояния в этих схемах отсутствуют. При $m \geq 3$ и $\varepsilon \gg \varepsilon_{кр}$ могут быть использованы результаты, полученные при $m = 1$.

2. Угол коммутации $\lambda_k = 2\theta_k$ в k -том подинтервале ($k \neq k_x$) изменяется от нуля до $\theta = \pi/m$, являясь функцией параметров m, n, k, ε . Учёт явления коммутации увеличивает интервал λ_k открытого состояния вентиля в сравнении с идеальным случаем, когда $\varepsilon = 0$ и $\lambda = 2\theta$,

$$\lambda_k = \frac{1}{2} \lambda_k = \theta_k + k\theta = f(m, n, k, \varepsilon), \quad (3.64)$$

который однако ограничен кривой положительной полуволны фэдс. Ширина импульса тока через вентиль (фазу) не превышает π .

3. В мостовых схемах независимая внутренняя ветвь содержит как минимум два последовательно соединенных вентиля и две фазы трансформатора. Это требует учёта удвоенного значения напряжения смещения и падения напряжения на сопротивлениях внутренних элементов. При перекрытии ветвей в работе одновременно участвует не менее трёх вентиля и фаз. При одинаковых с лучевой схемой числе фаз всё это приводит к увеличению потерь, габаритов, веса и стоимости источника, к ухудшению надёжности и к резкому снижению КПД устройства. Поэтому в источниках МНН мостовые схемы не применяют. При сравнительно высоких напряжениях потребителя, когда напряжением смещения вентилях можно пренебречь, известные достоинства мостовых схем становятся преобладающими по сравнению с их недостатками, что и определяет целесообразность их применения.

В однофазной мостовой схеме рассматриваемого класса явления коммутации не наблюдается. Из четырёх вентилях моста поочередно работают по два, последовательно соединённых через нагрузку.

В трёхфазной мостовой схеме (рис. 3.7а), несмотря на отсутствие реактивных элементов, способствующих коммутации, и наличие встречных эдс, противодействующих этому явлению, перекрытие внутренних ветвей может иметь место при $\varepsilon < \varepsilon_{кр}$.

При $\varepsilon = 0$ схема находится в коммутационном состоянии независимо от значений её параметров. Для первого коммутационного режима, когда в работе участвуют поочередно по три вентиля (фазы), то два, на рис. 3.7б, в, г, приведены диаграммы переменных состояния, очередность работы, число и номера фазных эдс и вентилях моста. Используются приемы, изложенные во второй и в начале данной главы. Но в ка-

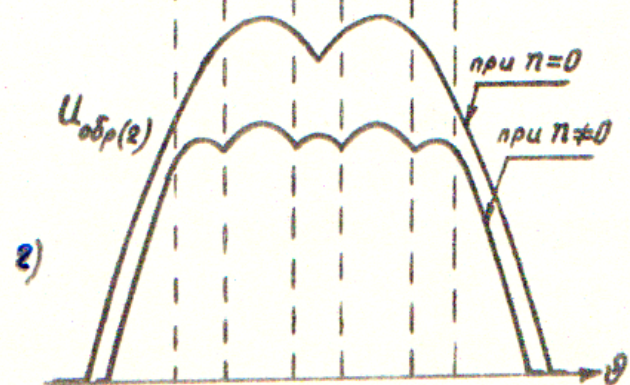
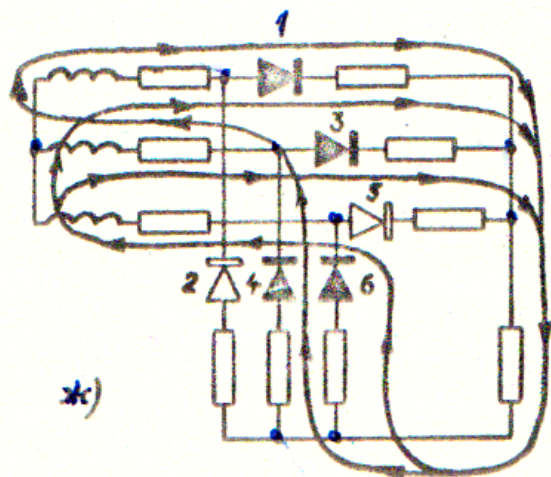
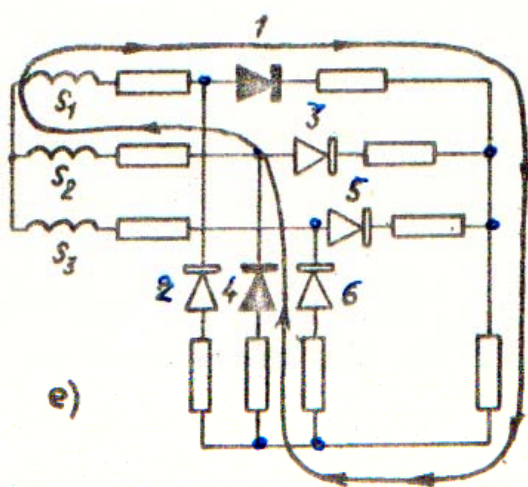
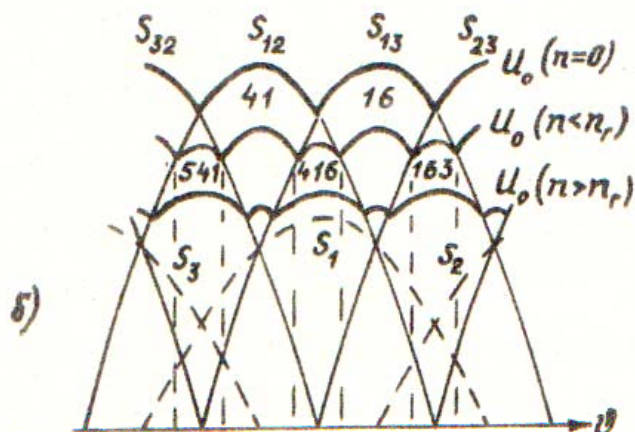
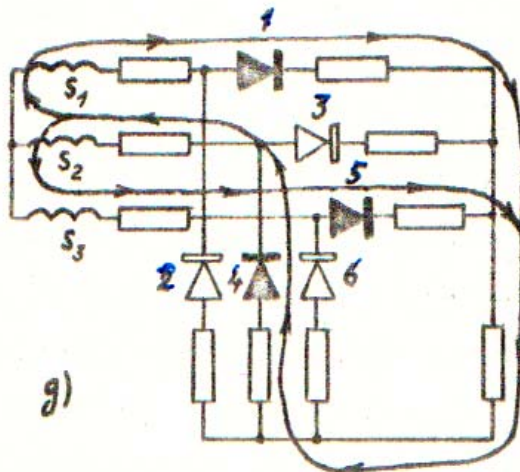
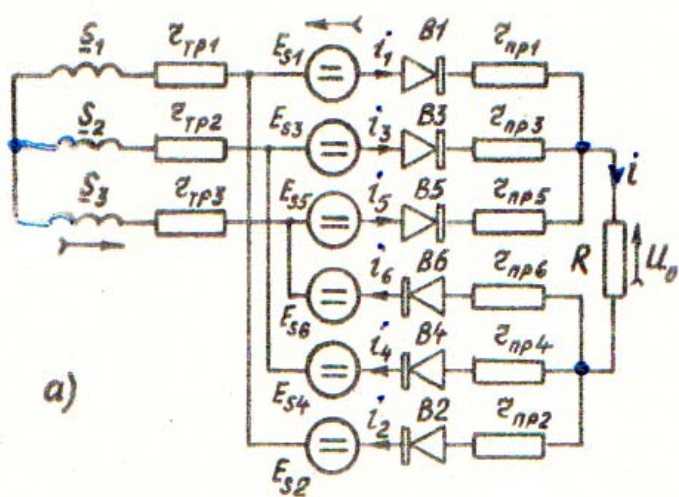


Рис.37. К сущности явлений в мостовой схеме Ларионова.