Вот и пара принципиально важных страниц. 109 и 110. Об открытых автором эффектах. Удвоения частоты пульсации и снижения (редукции) её уровня в 4 раза. Тогда, в 1971 г. не выделенных. Акцента не было и в докладе. Во время защиты. Дабы не вызвать обратной, ненужной реакции негатива. И не получить 'чёрных шаров' при закрытом голосовании членов дис. совета. Причины ясны из ремарки NB. *д)* на стр. 1 / 0 / (нумерация по главе 3 выше). //econf.rae.ru/article/9512. Но, как казалось, "масла в огонь подлил" основной (по опасению докладчика) оппонент. Д.т.н., проф. Владимир Николаевич Аксёнов. Тоже зав. (как и "научный руководитель" диссертанта). И с тем же названием учебного курса/дисциплины. ЭПУС (электропитание устройств связи). Но на кафедре 'Радиопередающих устройств'. В смежном институте. ВЗЭИС. Давние коллеги. Взаимовлияние очевидно. Как и возможный по негативности отзыв по диссертации. А.В.Н. при поступлении диссертации ему на отзыв приглашал 'соискателя учёной степени' к себе на кафедру. Раз или пару. Вероятно, по совету или разрешения зав. аспирантурой. И/или "науч. рука". Либо 'Учёного секретаря' Дис. совета МЭИС. Для ответов на возникшие у него вопросы. Он до придирчивости строго, схоже провокационно, задавал за вопросом вопрос. Причём за основным вопросом совопросы. Явно выводя из терпения. Позднее он скажет, почему и для чего. А тогда, на защите, после доклада и ответов на вопросы из зала, докладчик, присев на ближайшее место, с болью в сердце и грустью в душе вспомнил о безвременной гибели брата и пр. Моля Бога повременить забирать к себе. Вот просто так. Ни за что. Ни зачем. И тут услышал. Нет, не глас Господень. А, возможно, вложенные им, странные слова А.В.Н. ~ Научная работа на уровне докторской. И только формальности не позволяют засчитать таковой. Автор подготовит её в соответствии с требованиями ВАК. И мы вновь рассмотрим в другой раз. ~ Подумалось: 'теперь-то уж жди "против" не мало'. С другим оппонентом, И.И. Белопольским было ясно. Представитель заказчика ранее, за 3 года, выполненной докладчиком НИР. Диссертация на её основе. Понятно, заключение тоже положительное. Добавило надежду и сообщение учёного секретаря о поступивших положительных отзывах. В т.ч. впервые академических. От 4-х институтов Академии Наук СССР. Итог тайного голосования членов Объединённого Учёного совета: «За». Да. Достоин учёной степени. К.т.н. Но зло не закончилось.

честве определяющих выбраны линейные эдс, которые опережают фазные на 30^0 и больше по амплитуде в $\sqrt{3}$ раз.

Зная направление векторов линейных эдс и номера открытых вентилей, легко определяются независимые контуры и их число для решения задачи анализа. Для одного периода выходного напряжения это выполнено на рис. 3.7д,е. Показаны физически возможные направления токов, протекающих в цепях моста. За исходный выбран момент открытия первого вентиля. Далее цикл повторяется. Изменяются лишь номера вентилей в подинтервалах k и k^- и фаз в подинтервале k^-. При этом перекрытие внутренних ветвей обусловлено перекрытием линейных, а не фазных эдс. Через вентиль фазы, относительно которой в подинтервале коммутации рассматриваются оба вектора линейных эдс, течёт весь ток нагрузки. В двух других вентилях он распределён так, что ток закрывающегося вентиля спадает до нуля, а открывающегося нарастает до значения тока нагрузки. Коротких замыкания фазных эдс и нагрузки не наблюдается.

Аналогичная ситуация имеет место и в случае, если при определенных условиях возможна коммутация более 3-х вентилей. На рис. 3.7ж показаны физически возможные направления токов в ветвях схемы при работе 4-х вентилей. При открытых любых 4-х из 6-ти вентилей оба вентиля из пары одного плеча одновременно участвуют в работе. Однако, это не означает, что ток одного из них (например, 4-го на рис. 3.7ж) замыкается через другой (3-й на рис. 3.7ж). Фазные эдс, как и нагрузка, не замкнуты накоротко и не работают независимо друг от друга. Соединение вторичных обмоток в треугольник или учёт напряжения смещения либо иного (чем активное) вида нагрузки не принципиальны в отношении существа явлений. Аналогичное положение обнаруживается в схеме Греца при коммутации всех четырех вентилей моста [60].

4. При определённых соотношениях параметров в многофазной схеме имеют место так называемые граничные и критические режимы [15,69,154]. Признаком первых является равенство амплитуд напряжения нагрузки в подинтервалах k и k^-

$$U_{ao(k)} = U_{ao(k^-)} , \qquad (3.65)$$

а вторым присуще отсутствие смежного подинтервала k^-, что имеет место при условии

$$\gamma_{кр.k} = 0 . \qquad (3.66)$$

Это физически очевидное условие аналитически получено из равенства

$$U_{o(k)}(\pm\gamma_{k.кр}) = U_{ao(k^-)} \quad . \qquad (3.67)$$

Подстановка (3.66) в (3.19) даёт критическую связь двух (при заданном m) приведённых параметров схемы N и ε , которая отражает критичность состояний k-го порядка m-фазных схем класса zRE_s

$$N_{кр(k)} = N_{кр(k)o}\left(1 - \varepsilon\, sec\, k^+\theta\right), \qquad (3,68)$$

$$n_{кр(k)o} = N^{-1}_{кр(k)o} = tg\, k^+\theta\, ctg\, \theta - k^+ \, . \qquad (3.68')$$

При этом частота пульсаций в m раз больше частоты федс, а их значения - максимальны (рис. 3.3). Последнее является недостатком критических режимов.

Условие (3.65) применительно к (3.15) даёт граничные значения сопротивления нагрузки и углов коммутации

$$N_{гр.k} = N_{гр.k.o}\left(1 - \varepsilon \cos\tfrac{1}{2}\theta / \cos\tfrac{2k+1}{2}\theta\right), \qquad (3.69)$$

$$n_{гр.k.o} = N^{-1}_{гр.k.o} = a_k - k \; ; \quad a_k = \sin k\theta / 2\sin\tfrac{1}{2}\theta \cos\tfrac{2k+1}{2}\theta \, , \qquad (3.69')$$

$$\frac{\cos(\theta - \gamma_{гр.k}) - \varepsilon k \sin\theta / \sin k\theta}{1 - \varepsilon k \sin\theta / \sin k\theta} = \frac{\cos\gamma_{гр.k} - \varepsilon k^+ \sin\theta / \sin k^+\theta}{1 - \varepsilon k^+ \sin\theta / \sin k^+\theta} \qquad (3.70)$$

$$0 < \gamma_{гр.k} < \theta \leftarrow k < k_x \qquad (3.70')$$

$$0 < \gamma_{гр.k_x} < \gamma_{кон} \leftarrow k = k_x \quad .$$

Решение трансцендентного уравнения (3.70) осуществлено на ЭВМ "Минск-22" с использованием программы, составленной на Fortran,e. При $\varepsilon = 0$ имеем для любого k $\gamma_{гр.k} = \frac{1}{2}\theta$, что из сравнения с (3.66), не зависящим от ε , говорит о чередовании критических и граничных режимов ровно через $\frac{1}{2}\theta$.

Достоинством граничных режимов является удвоение частоты ($f_\Delta = 2mf_c$) и минимумы (см. рис. 3.3) величины пульсации, что позволяет в ряде случаев обойтись без фильтра или значительно уменьшить его. Последнее приобретает важное значение в свете возрастающих требований к габаритовесовым показателям источников электро-

питания полупроводниковой и, в частности, микроэлектронной аппаратуры.

4. Конечное значение $\gamma_{кон}$ угла коммутации, входящее в (3.70'), соответствует k_x-ому коммутационному состоянию(в который входит и режим к.з.). Параметры $\gamma_{кон}$ и k_x определяются для данной схемы величиной ε (см. выражения (3.3) и (3.60)). Полученные в общем виде выражения переменных состояния и расчётные величины зависят от этих параметров и потому ограничены их конечными значениями. Графики зон справедливости (корректности) полученных решений, представляющие собой зависимости $\gamma_{кон(k)} = f(m, k, \varepsilon)$, изображены на рис. 3.8, где ε_p - величина напряжения смещения, начиная с которой в схемах имеют место режимы $P<3$. При $\varepsilon \geq 1$ вентили схемы закрыты совсем, тока в нагрузке нет.

Таким образом, напряжение смещения при исследовании вентильных схем существенно влияет на процессы, в них протекающие и, как следствие, на расчётные величины при изменении этого напряжения в реально возможных пределах от нуля до единицы (в приведенных значениях) и потому должно обязательно учитываться при проектировании источников ~~ультра~~низ ких напряжений.

§3.4. Этапы инженерной методики расчёта схем класса $2RE_s$.

Исходные величины

Исходными (заданными) являются:

1. $\underline{I}$ - среднее значение тока полезной нагрузки (ампер).
2. $\underline{U}_o$ - среднее значение напряжения на нагрузке (вольт).
3. $R=\underline{U}_o/\underline{I}$ - сопротивление нагрузки (ом).
4. $\Delta\bar{U}$ - пульсация напряжения (тока) нагрузки.
5. Эксплуатационные, конструктивные и другие требования.

Расчёт схемы может быть осуществлен либо аналитически по-

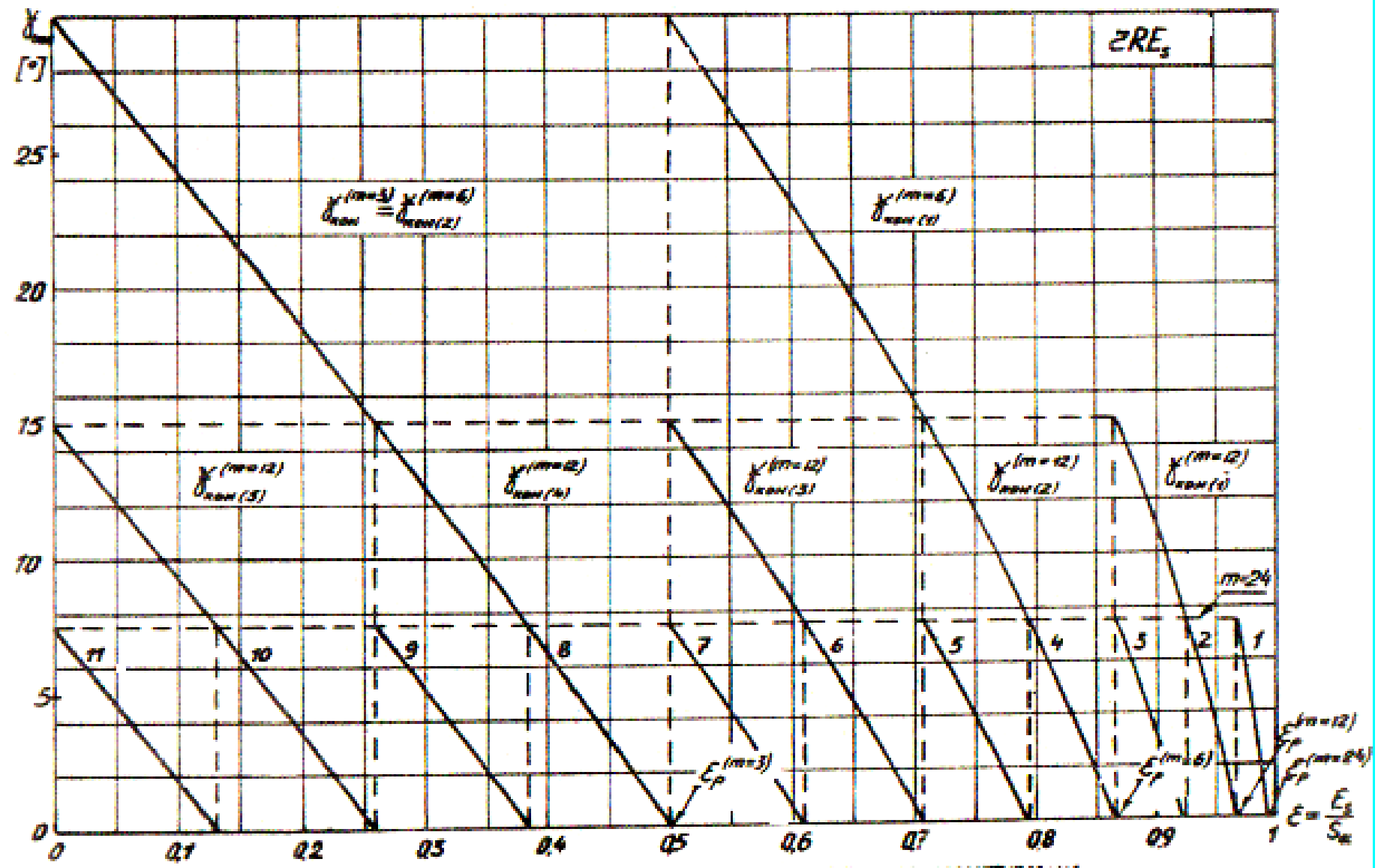

Рис. 3.8. Параметрические зависимости конечного угла коммутации m-фазных схем класса $2RE_s$

средством приведенных выше расчётных соотношений, либо графо-аналитически с помощью расчётных номограмм, построенных на основе тех же формул. Приведём основные рекомендации по расчёту по второму способу.

При определении расчётных величин необходимо знать два (а не один как обычно) определяющих параметра - n (или N) и ε . Кроме того, пульсирующий (неоднозначный) характер изменения пульсаций (рис. 3.3) исключает возможность определения приведенных к основанию сопротивлений по заданной величине пульсации, если величина

$$n > n_{гр.1} = \frac{2\sin\frac{1}{2}\theta \, \sin\theta}{\cos\frac{3}{2}\theta - \varepsilon\cos\frac{1}{2}\theta} , \qquad (3.71)$$

что относится к схемам при $m > 3$. Эти факторы, даже при наличии номограмм, осложняют процесс проектирования. При заданной величине ε возможен следующий путь.

С учётом заданных выходных параметров и исходя из конструктивных и других (в том числе специальных) требований, на основе известных предпосылок предварительно выбирают схему (получая m) и вентиль. Ориентировочно оценивают: напряжение смещения вентиля E_s (т.е. и $S_a = E_s/\varepsilon$) и его прямое сопротивление $r_{пр}$, пользуясь методом секущих при аппроксимации реальной характеристики вентиля; сопротивление трансформатора $r_{тр}$ по методике, приведенной в [46]; сопротивления соединительных проводов, контактов разъёмов и пр. Оценивают тем самым величину внутреннего сопротивления r , как сумму этих сопротивлений. Находят значение приведённого внутреннего сопротивления $n = r/R$. По заданным $\Delta\bar{u}$ и ε из графика типа рис. 3.3 уточняют n , по которому находят все необходимые приведенные к основанию расчётные величины из других гра-

фиков, а также по указанным выше расчётным соотношениям, не отражённых графически, умножая затем на их основания для получения именованных величин. Проверяют вентиль по амплитудам обратного напряжения и прямого тока (при необходимости) и по потерям (по мощности рассеяния, с учётом теплоотвода). "Считают" трансформатор по известным методикам и, получив $z_{тр}$, уточняют расчётные величины. При необходимости цикл повторяется.

Если величина ε не задана, то, придерживаясь предыдущей методики, на этапе уточнения n находят $n = n'$ и $U_o = U_o'$ по графикам $\Delta\bar{U} = f(n, \varepsilon)$, $U_o = f(n, \varepsilon)$ при $\varepsilon = 0$. Но амплитуду эдс первоначально оценивают из выражения $S_a' = (\underline{U}_o + E_s)/U_o'$. Получая $\varepsilon' = E_s/S_a'$, по заданной пульсации из графика $\Delta\bar{U} = f(n, \varepsilon)$ уточняют $n = n''$ и затем - по ε' и n'' значение $U_o = U_o''$ из графика $U_o = f(n, \varepsilon)$. Определяя $S_a'' = \underline{U}_o / U_o''$, уточняют $\varepsilon'' = E_s / S_a''$, повторив далее цикл до приемлемой сходимости всех трёх величин - n, ε , U_o . Как правило, достаточно двух итерационных переходов. Получив таким образом параметры n и ε , поступают далее как в предыдущем случае, когда значение ε задано. При этом имеющиеся расчётные номограммы позволяют оперативно получать необходимую информацию, в связи с чем такого рода методы расчёта относят к экспресс-методам.

Если расчётные величины подобно пульсациям отнесены к средним значениям напряжения или тока нагрузки, получают коэффициенты, зависимости которых от определяющих параметров отражают текущие относительные характеристики (рис. 3.4, 3.5). Они подобны коэффициентам, предложенным проф. Б.П.Терентьевым для расчёта схем с ёмкостной нагрузкой, и создают удобства в расчётах. Следовательно, пользуясь ими, также можно при расчёте схем рассматриваемого здесь класса придерживаться рекомендаций, изложенных в [11].

§ 3.5. О работе управляемых выпрямителей при учете активных потерь

Результаты для управляемых выпрямителей можно получить на основе приведенных выше. В частности наименьший (начальный) угол управления, начиная с которого схема работает в управляемом режиме, равен (рис. 3.9,а)

$$\alpha_{1н(k)} = \pi/2 - k\theta - \gamma_k \quad , \qquad (3.73)$$

где угол коммутации γ_k в k-м подинтервале определяется из выражения (3.19). При $\alpha_1 \leq \alpha_{1н(k)}$ процессы в схеме протекают как в неуправляемом выпрямителе, что справедливо при $m>2$. Схемы с $m=1,2$ при $\alpha_1 > 0$ сразу работают в режимах прерывистых выпрямленных токов ($P<3$). Из рис. 3.9 видно, что при управлении форма токов и напряжений искажается, в момент включения вентилей имеют место скачки переменных, а угол коммутации γ_{yk} управляемого выпрямителя легко выразить через угол коммутации неуправляемого выпрямителя

$$\gamma_{yk} = \pi/2 - k\theta + \gamma_k - \alpha_1 \qquad (3.74)$$

и, таким образом, для его определения в отличие от [158] не требуется решения трансцендентного уравнения.

При некотором значении угла управления $\alpha_{1г(k1)}$ (назовём его первым граничным) величина угла γ_{yk} становится равной нулю. Тогда из (3.74) имеем

$$\alpha_{1г(k1)} = \pi/2 - k\theta + \gamma_k \quad . \qquad (3.75)$$

Итак, угол коммутации в k-м подинтервале существует, если угол управления лежит в пределах

$$0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_{1г(k1)} \quad . \qquad (3.76)$$

При $\alpha_1 > \alpha_{1г(k1)}$ и $k=1$ коммутации ветвей вообще не наблюдается, ток с одного вентиля на другой переходит скачком, при этом ток закрывающегося вентиля скачком становится равным нулю, а открывающийся берёт на себя весь ток нагрузки. При дальнейшем увеличении угла управ-