

Arkadiy M. Repin. Research of parametric conditions of the m -phase rectifiers (PCR). Гл.3,
А.М. Репин. Исследование параметрических состояний m -фазных выпрямителей (ПСВ). с.83 – 91.
/The PhD thesis. 1971–2015.

Автореферат (с. 1–22) и Предисловие, Главы 1 и 2, стр. 1–83 КДис. См. в [//econf.rae.ru/article/6861](http://econf.rae.ru/article/6861).
..6862. ..9500–9507. Далее – стр. [83-133](#) Главы [3](#). По частям. В связи с ограничением электронного объёма на один файл публикации. При одновременно значительном реальном объёме (5, ..., 10, ..., 25 Mb) на одно изображение при сканировании исходного материала (оригинала). В нашем случае – одной страницы.

$\text{D} \leftarrow \frac{72-5}{115}$	У
МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР	
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ	

инж. РЕПИН А.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ m-ФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ	
Диссертация	
на соискание ученой степени кандидата технических наук	
К072744	

Москва – 1971

NB. На стр. 2 /1/ автореферата (article/9500) оказались опечатки. Отдельные лишние слова из первого абзаца. Здесь приводится почищенный вариант.

«Д) На той же стр. 2 “Личного экземпляра” рукописно указаны отсутствующие в предыдущем варианте даты рассылки экземпляров (9.XI.1971 г.) и защиты диссертации (9.XII.1971 г.). Кроме года, даже вторая под забыта. Теперь же ясна. И можно сослаться. Научная работа защищена 9.12.1971 года. Но вспомнилась очень напряжённая обстановка. Всего лишь полгода ранее (в июне того же года), на плановой (обязательной по Положению ВАК) предзащите так называемый “научный (псевдо-) руководитель” автора–аспиранта, а также одновременно и с тем же названием “научный (якобы) руководитель”, не только не прочитавший, но даже бегло не взглянувший ни в один из 6-ти поэтапных за три аспирантских года научных отчётов (однако ни разу, при полном бездельи, не отказавшийся от получения своей не малой полставки, в разгах превышающей аспирантские 45 рэ) по так называемой хоздоговорной НИР, действительно “руководимой”, полностью выполняемой автором–м.н.с. для им же найденного заказчика (п/я), неожиданно, даже не дав произнести “своему подопечному” ни слова, сразу и безапелляционно заявил о необходимости принятия решения об исключении аспиранта Р. (автора) из аспирантуры. В связи с (будто бы) отсутствием требуемых, согласно Положению ВАК, научных результатов, неготовностью диссертации и срочного прекращения финансовых нарушений вследствие необоснованного получения аспирантской стипендии (90 руб.). Се ля ви».

К главе 3. Скан-копии с ксерокопий, ксерокс с фото. Р–явление установлено. Экспериментально.

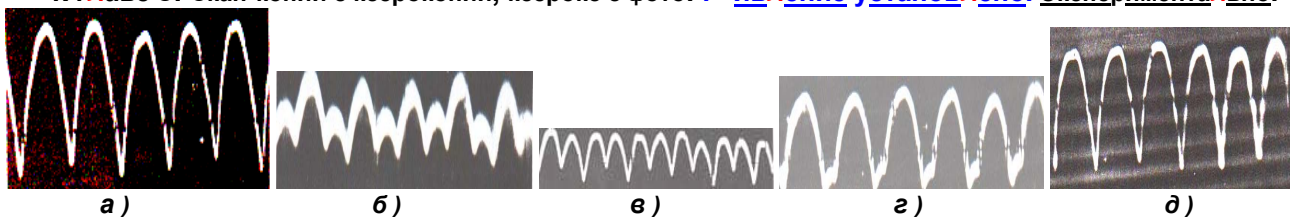


Фото осциллограмм с экрана электронного осциллографа. Формы тока нагрузки. В 3-фазной мостовой схеме ЛЗrR. При $n = r/R \sim 0$, XX (а), $n < n_r$ (б), $n = n_r \sim 0,58$ (в), $n > n_r$ (г), $n \gg n_r$, КЗ (д). 1966 г.

ГЛАВА III

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ МНОГОФАЗНЫХ СХЕМ С АКТИВНЫМИ ПОТЕРЯМИ, АКТИВНОЙ И ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКОЙ, ПРИ УЧЁТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯ. (РЕЖИМЫ ОТ К.Х. ДО К.З.)

Принципиально важным моментом при разработке маломощных источников низких и ультранизких напряжений, используемых для электропитания полупроводниковой и, в частности, микроэлектронной аппаратуры, является учёт влияния внутренних активных сопротивлений (активных потерь) и начального участка характеристики вентиля [7,154]. Используемые в таких источниках многофазные схемы ($m = 6, 12, 18, 24$) [7,8] работают в режимах, называемых коммутационными, когда в отдельные промежутки времени (подынтервалы) одновременно участвует в работе (коммутирует) значительное число внутренних ветвей (фаз трансформатора, вентиля и пр.). Теории вновь создаваемых многофазных вентиляльных устройств при их работе от режима к.х. до к.з. и, как следствие, инженерные методы их расчета, необходимые разработчикам, отсутствуют, в связи с чем решение этих вопросов является насущной задачей практически важного значения. Вместе с тем оказывается (как будет показано ниже), что выходные показатели таких схем (средние значения напряжения и тока полезной нагрузки) одинаковы при всех трёх видах нагрузки – активной, ёмкостной, индуктивной. Анализ безреактивных схем проще, чем с учётом реактивностей, поскольку связан с решением алгебраических, а не интегро-дифференциальных уравнений. Всё это определяет целесообразность осуществления исследования многофазных схем выпрямления при работе на активную нагрузку R с учётом внутренних активных сопротивле-

ний ε и напряжения смещения вентиля U_s , отображающего влияние начального участка его характеристики, что и выполнено в данной главе. Помимо источников НН и ИИН результаты распространяются также и на те группы выпрямителей, нагрузкой которых служат аккумуляторы, электролизные ванны, электродвигатели постоянного тока и т.п. потребители, где необходимо учитывать противо-эдс. Вместе с тем для ^{относительно} высоковольтных схем, используемых для электропитания радиоаппаратуры, где величиной напряжения смещения можно пренебречь, в полученных результатах достаточно положить это напряжение равным нулю.

В отличие от частных рассмотрен, как и ранее, общий случай m -фазного выпрямления. Работа мостовых схем принципиальных отличий не имеет. Некоторые количественные отличия и особенности работы указаны в тексте. Вентили первоначально полагаем неуправляемыми, т.е. рассмотрим чисто выпрямительный режим работы. В то же время, отказавшись от ранее используемого приёма исследования каждого коммутационного состояния в отдельности (что довольно трудоёмко и объёмно), ниже выполнено исследование в общем виде, для любого k -го коммутационного состояния вплоть до режима к.з. (т.е. включая и аварийные режимы).

§ 3.1. Схема замещения, её анализ, получение исходной и других переменных.

Представляя характеристику вентиля в виде смещённой двухлинейной авх (рис.3.1,а) и допуская обычные при анализе выпрямителей условия (форма фэдс - синусоидальная - как и ранее обозначаемая через δ ; элементы схемы - линейные; учитываются активные внут-

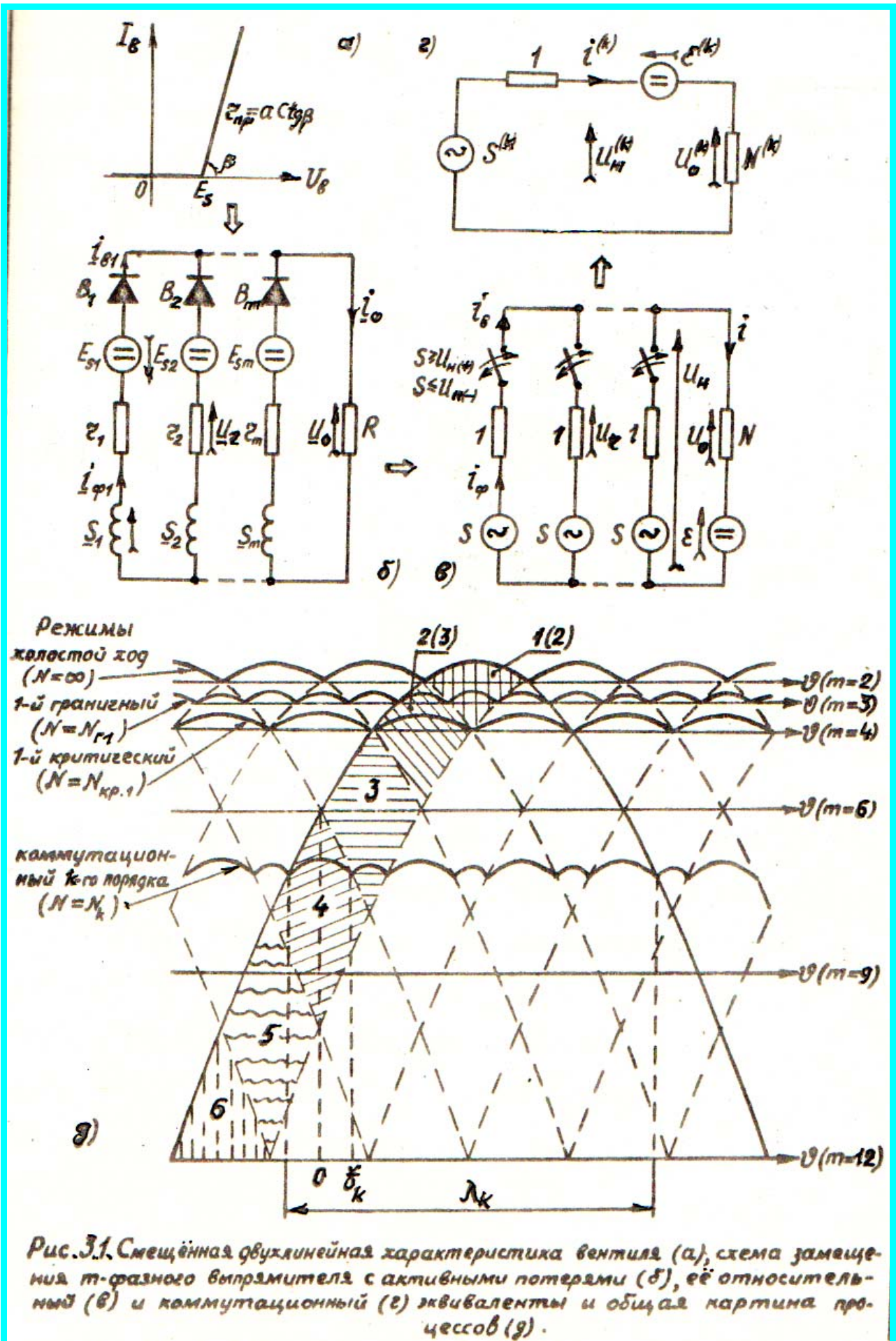


Рис. 3.1. Смещённая двухлинейная характеристика вентилля (а), схема замещения m -фазного выпрямителя с активными потерями (б), её относительный (в) и коммутационный (г) эквиваленты и общая картина процессов (д).

ренные сопротивления, что для маломощных схем достаточно), приходим к схеме замещения, изображенной на рис.3.1,б. Для анализа удобно сразу видоизменить схему, воспользовавшись, как и в предыдущей главе, приёмом приведения величин к основаниям, т.е. использовать идею метода относительных эквивалентов, изложенную в первой главе. Приняв за основания: для потенциальных величин - амплитуду эдс S_a , для сопротивлений - величину ε , для токов - отношение S_a/ε , а также представив вентиль в виде безынерционного ключа и допуская полную симметрию внутренних ветвей (амплитудную и фазовую симметрию фэдс и симметрию сопротивлений и напряжений смещения)

$$S_{a_m} = S_a ; E_{s_m} = E_s ; \varepsilon_m = \varepsilon ; \psi_m = [2(m-1) - k] \theta , \quad (3.1)$$

$$(m = 1, 2, \dots, m ; k = 1, 2, \dots, k_x) ,$$

где ψ_m - начальная фаза m -й фэдс в k -м подынтервале коммутации (определение дано ниже), получаем относительный эквивалент схемы (сокращенно, ОТЭ), показанный на рис. 3,1,б, где указаны также потенциальные условия ^{переключения} ключевания вентиляей. Величина $N = R/\varepsilon$ - относительное или приведенное сопротивление нагрузки, $n = 1/N$ - его инверсия или приведенное внутреннее сопротивление, $\varepsilon = E_s/S_a$ - приведенное напряжение смещения. Перейдём к анализу ОТЭ.

В связи с одноключевым представлением вентиля интервал повторяемости процессов содержит два подынтервала k и k^- [12,14,18,23], когда попеременно коммутируют то V внутренних ветвей, то $V^- = V - 1$. (Здесь и далее значки \pm без цифр наверху соответствуют величине, на единицу большей или меньшей исходной). Попеременное участие в работе двух и одной ветвей относят к первому коммутационному состоянию или режиму работы, трёх и двух - ко второму, V и V^- ветвей - к k -му режиму, так что

$$V = k^+ . \quad (3.2)$$

Знание числа коммутируемых ветвей, равно как и номера подинтервала коммутации, позволяет исключить ограничения расчётных соотношений, найденных при данных значениях схемных параметров. Определение этого числа необходимо при составлении и решении уравнений, отражающих k -е состояние схемы; при его анализе и, как следствие, при разработке инженерной методики расчёта схем. Более целесообразная эксплуатация многофазного вентиляльного устройства также требует знания этого числа. Оно необходимо при получении параметрических, нагрузочных и внешних характеристик, для получения информации о поведении схемы в глубоких (в том числе аварийных) коммутационных режимах. Простые способы определения указанных чисел изложены в [15, 69, 153, 154].

Графический способ ясен из рис. 3.1, д ($\varepsilon = 0$), прост, нагляден и не требует специальных разъяснений. Пунктиром проведены временные оси, отсекающие зоны работы ветвей соответственно для двух, трёх, четырёх, шести, девяти и двенадцатифазных схем. Зоны заштрихованы. Числа V и k указаны цифрами: без скобок - для схем с нулевым выводом, в скобках - для однофазной ($m = 2$, коммутации нет) и трёхфазной мостовых схем. Аналогичные картины легко получить и для других схем. Нетрудно видеть, что при $\varepsilon \neq 0$ указанные зоны отсекаются снизу так, что максимально возможное число k_x , соответствующее режиму к.з., может быть найдено аналитически из следующего выражения [153, 154]

$$k_x = \begin{cases} k_\varepsilon & \leftarrow \cos k_\varepsilon \theta > \varepsilon > \cos k_\varepsilon^+ \theta \\ k_\varepsilon^- & \leftarrow \cos k_\varepsilon \theta = \varepsilon \end{cases}, \quad (3.3)$$

где число k_ε соответствует такому, когда удовлетворяется указанное неравенство. **Максимум** номера режима имеет место при $\varepsilon = 0$ [153]

$$k_{xx} = k_x|_{\varepsilon=0} = \frac{1}{2} \left\{ m - \frac{1}{2} [(-1)^m + 3] \right\}. \quad (3.4)$$

Учитывая (3.2), получаем (1.6), приведенное ранее без вывода.

Выбрав за начало координат момент пересечения фазовых эдс в k -м подинтервале коммутации, первую фазу — в качестве исходной и ведя счёт эдс справа налево внутри её периода, имеем

$$S_M = \cos[\vartheta + (2M^- - k)\theta] . \quad (3.5)$$

Поскольку схема безреактивная, то в формуле (1.10) все переходные составляющие, определяемые суммой вычетов только в полюсах, зависящих от пассивной структуры цепи в данном подинтервале, равны нулю. Остаются только установившиеся составляющие, определяемые суммой вычетов только в полюсах приложенных воздействий. Следовательно, в схеме протекают установившиеся и, значит, периодические процессы, откуда также следует, что с целью получения необходимых соотношений достаточно рассмотреть один период.

Значения переменных электрической цепи, находящейся в k -м подинтервале под заданными воздействиями S_M и E_M , могут быть получены в результате решения той или иной системы уравнений, отражающих состояние данной структуры многовентильной схемы и, в частности, системы контурных уравнений. Зная число независимых ветвей ($B = k^{++}$) и число узлов ($Y = 2$) для k -го подинтервала, легко находим число независимых контуров согласно формуле Эйлера-Листинга

$$K = B - Y + 1 = k^+ . \quad (3.6)$$

По той же причине, что схема безреактивная, коэффициенты передачи в формуле (1.10) являются вещественными и, следовательно, в

k -м коммутационном подинтервале состояние схемы принадлежит алгебраическим уравнениям, а составляющие реакции безреактивной структуры многовентильной схемы воспроизводят воздействия с точностью до постоянных вещественных множителей, что значительно упрощает анализ, позволяя провести его в общем виде и получить компактные

выражения. Начнём, как обычно, с определения исходной переменной, в качестве которой целесообразно взять ток нагрузки.

Суммируя для k -го подинтервала систему из $m=k^+$ контурных уравнений вида

$$S_{M(k)} - i_{M(k)} - U_{H(k)} = 0 \quad (3.7)$$

и имея в виду

$$U_{H(k)} = U_o(k) + \varepsilon; \quad U_o(k) = i_{(k)} N_{(k)}; \quad i_{(k)} = \sum_1^{k^+} i_{M(k)}, \quad (3.8)$$

получаем для тока нагрузки

$$i^{(k)} = (S^{(k)} - \varepsilon^{(k)}) / (1 + N^{(k)}), \quad (3.9)$$

что соответствует коммутационному эквиваленту ОТЭ, представленному на рис. 3.1, г. Для отличия переменных (токов, напряжений и пр.)

этих схем индекс k перенесён наверх, а обозначенные величины равны

$$S^{(k)} = \sum_1^{k^+} S_M = S_a^{(k)} \cos \vartheta; \quad S_a^{(k)} = \sin k^+ \theta / \sin \theta, \quad (3.10)$$

$$U_H^{(k)} = \varepsilon^{(k)} + U_o^{(k)}; \quad U_o^{(k)} = i^{(k)} N^{(k)} = k^+ U_o(k), \quad (3.11)$$

$$\varepsilon^{(k)} = k^+ \varepsilon; \quad N^{(k)} = k^+ N_{(k)}. \quad (3.12)$$

Для смежного k^- подинтервала коммутации имеем, очевидно, те же выражения, где следует заменить индекс k на k^- , а эдс коммутационного источника по теореме смещения приобретает запись

$$S^{(k^-)} = S_a^{(k^-)} \cos(\vartheta - \theta). \quad (3.13)$$

Ток нагрузки и коммутационные воздействия не претерпевают изменения от перемещения индекса, т.е.

$$i^{(k)} = i_{(k)}; \quad S^{(k)} = S_{(k)}; \quad S^{(k^-)} = S_{(k^-)}. \quad (3.14)$$

Но сопротивление нагрузки как и ее напряжение согласно (3.11) и (3.12) различны для коммутационной схемы и ОТЭ. Поскольку при статическом начале координат фазовые эдс не претерпевают сдвига во времени, то аналогично (3.14) имеем $S_M^{(k)} = S_M^{(k^-)} = S_{M(k)} = S_{M(k^-)}$. Поэтому в выражении для m -й фазы индекс k можно не приписывать

и для любого коммутационного подинтервала использовать формулу (3.5).

Получив исходную переменную (3.9), относительно её без принципиальных затруднений находим другие переменные. Из (3.8), (3.7) с учётом (3.9), (3.11), (3.12) и (3.14) получаем соответственно для напряжений на полезной нагрузке и на общей нагрузке и для токов (напряжений на внутренних сопротивлениях) m -й ветви (фазы, вентиля)

$$U_{o(k)} = (S^{(k)} - \varepsilon^{(k)}) / y_{(k)} \quad , \quad (3.15)$$

$$U_{H(k)} = (S^{(k)} + n\varepsilon) / y_{(k)} \quad , \quad (3.16)$$

$$i_{M(k)} = U_{z_{M(k)}} = S_{M(k)} - U_{H(k)} \quad , \quad (3.17)$$

$$y_{(k)} = n_{(k)} + k^+ \quad . \quad (3.18)$$

Далее необходима связь угла коммутации $\gamma = 2\beta$ со схемными параметрами. Поскольку в схеме отсутствуют причины, заставляющие учитывать условия скачков, то исходную переменную можно рассматривать в качестве риджитной и, следовательно, воспользоваться одним из уравнений непрерывности, записав которое в соответствующей данной задаче форме $S_m(2\theta - \beta_k) = U_{H(k^-)}(+\beta_k) = U_{H(k^+)}(-\beta_k) = S_f(-\beta_k)$, получим искомую связь в явном и простом виде

$$N_{(k)} = N_{(k)0} [1 - \varepsilon \operatorname{sc}(k\theta + \beta_k)] \quad , \quad (3.19)$$

$$n_{(k)0} = N_{(k)0}^{-1} = y_{(k)0}^- - k \quad ; \quad y_{(k)0}^- = n_{(k)0} + k = \frac{\sin k\theta \cos(\theta - \beta_k)}{\sin \theta \cos(k\theta + \beta_k)} \quad , \quad (3.20)$$

где индекс ноль соответствует случаю $\varepsilon = 0$. Являясь функцией параметров m , ε , k , n , длительность подинтервала коммутации ограничена зоной перекрытия кривых фазовых эдс и потому изменяется от нуля до θ . При $\varepsilon = 0$ получаем выражение, приводимое в [153], а дополнительно при $k = 1$ из (3.20) находим

$$N_{(1)} = N_{(1)0} [1 - \varepsilon \operatorname{sc}(\theta + \beta_1)] ; \operatorname{ctg} \beta = (1 + 2N) \operatorname{tg} \theta \quad , \quad N_{(1)0} = \frac{\cos(\theta + \beta)}{2 \sin \theta \sin \beta} \quad . \quad (3.20')$$