

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА БАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
В ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ МОДУЛЬНОЙ  
СТРУКТУРЫ ПРИ ГРАНИЧНОМ РЕЖИМЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ БАЗОВИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
В ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ  
ПРИ ГРАНИЧНОМУ РЕЖИМІ ФУНКЦІОНУВАННЯ**

**METHODOLOGY OF CALCULATION OF BASE PARAMETERS OF ELECTRIC PROCESSES  
IN DC – DC CONVERTER OF MODULAR CONSTRUCTION AT BORDER MODE  
OF FUNCTIONING**

**Аннотация.** Предложена методика расчета базовых параметров преобразователей постоянного напряжения понижающего типа модульной структуры с автотрансформаторным включением дросселя при граничном режиме функционирования.

**Анотація.** Запропоновано методику розрахунку базових параметрів перетворювачів постійної напруги знижуючого типу модульної структури з автотрансформаторним включенням дроселя при граничному режимі функціонування.

**Summary.** A method of calculating the basic parameters of DC-DC converters down type modular structure with autotransformer turning the throttle with the boundary mode operation.

Улучшение технико-экономических показателей устройств и систем электропитания, которые сегодня являются неотъемлемой частью любой радиоэлектронной аппаратуры и телекоммуникационного оборудования это важнейшая задача, актуальность решения которой отражена в [1, 2]. В современных устройствах и системах электропитания находят широкое применение импульсные преобразователи постоянного напряжения (ППН) модульной структуры построения.

В работах [1, 2, 3] показано, что важными направлениями совершенствования ППН являются: улучшение их динамических параметров, уменьшение энергетических потерь и уменьшение уровня излучаемых помех. В связи с этим, следует отметить, что использование граничного режима функционирования СК позволяет значительно улучшить динамические и энергетические параметры ППН [1, 4].

В известных научно-технических публикациях [3, 4, 5, 6] приведены результаты исследований для ППН модульной структуры с ШИМ регулированием, когда частота преобразования является константой, а изменяется только ширина импульса сигнала управления. При проведении исследований сначала проводились расчеты базовых параметров, которые необходимы для дальнейших расчетов, позволяющих получить выбранные зависимости.

Математические модели, изложенные в [1, 2], позволяют строить временные зависимости, зависимости показателей качества электрических процессов ППН и энергетических параметров от величины значения коэффициентов накопления  $k_n$  и трансформации  $n_{21}$ , числа  $N$  СК при граничном режиме функционирования. Указанные зависимости позволят выявить особенности электрических процессов (например, при изменении режима работы) при прочих неизменных параметрах ( $N, L_k, C_k$ ) и оценить степень влияния того или иного параметра на характер зависимости во всем диапазоне регулирования в преобразователях модульной структуры с однофазным и многофазным принципами преобразования при граничном режиме функционирования.

Однако, при граничном режиме функционирования, имеет место также и изменение частоты преобразования, что будет оказывать влияние на параметры дросселя и соответственно на другие параметры ППН. Поэтому, при проведении исследований ППН, работающих в граничном режиме для расчета базовых параметров необходимо использовать другой подход: проводить исследования при  $P_n = \text{const}$  и исследования при  $P_{nk} = \text{const}$ .

Это означает, что при исследовании ППН модульной структуры: временных зависимостей, показателей качества и энергетических параметров, можно выделить несколько направлений:

1) Исследование влияния режима работы (стабилизация, слежение), принципа преобразования (МИП, ОИП), а также параметров  $n_{21}$ ,  $N$ ,  $k_n$  на показатели качества ППН при неизменной мощности нагрузки, когда мощность нагрузки  $P_n = \text{const}$ , а ток потребления  $I_{nk}$  и нагрузки  $I_{nk}$   $k$ -го силового канала в  $N$  раз меньше суммарного тока ППН  $P_n = I_n U_n$ ;  $P_{nk} = P_n/N$ ;  $P_{nk} = (U_n I_{nk}/N)U_n$ ;  $I_{nk} = I_n/N$ . Такое построение преобразователей позволяет создавать преобразователи из маломощной (слаботочной) и соответственно более дешевой элементной базы, имеющей лучшие динамические характеристики [4]. При этом в качестве исходных данных берется величина выходного напряжения  $U_n$  и значение тока  $I_n$  нагрузки преобразователя, а сопротивление нагрузки  $R_n$  будет определяться, как  $R_n = U_n/I_n$ , а в  $k$ -м силовом канале оно будет:  $R_{nk} = U_n/I_{nk}$  или  $R_{nk} = R_n N$ .

2) Исследование влияния выше перечисленных параметров на показатели качества ППН при неизменной мощности  $P_{nk} = \text{const}$   $k$ -го силового канала. Тогда мощность нагрузки будет увеличиваться с увеличением числа силовых каналов  $P_n = N P_{nk} = (I_{nk} U_n)N$ . Такое построение преобразователей позволяет унифицировать модули преобразователя и производить увеличение его мощности путем подключения дополнительных модулей. Здесь в качестве исходных данных берется напряжение  $U_n$  и ток  $I_{nk}$  нагрузки  $k$ -го силового канала, а сопротивление нагрузки  $k$ -ом силовом канале будет определяться, как показано в табл. 1, а в ППН он будет  $R_n = R_{nk} N$ .

При исследовании преобразователей модульной структуры (рис. 1, а, б), с различным числом  $N$  параллельно подключенных к источнику первичного электропитания (ИПЭ) и друг к другу однотипных силовых модулей (силовых каналов)  $СК_k$  (где  $k = 1, 2, \dots, N$ ), работающих на общую нагрузку  $R_n$ , будет изменяться и их эквивалентная индуктивность, следовательно, и частота преобразования, поэтому сравнивать результаты, полученные таким образом будет некорректно. Чтобы при исследованиях преобразователей модульной структуры обеспечить постоянство частоты необходимо обеспечить постоянное значение эквивалентной индуктивности дросселя.

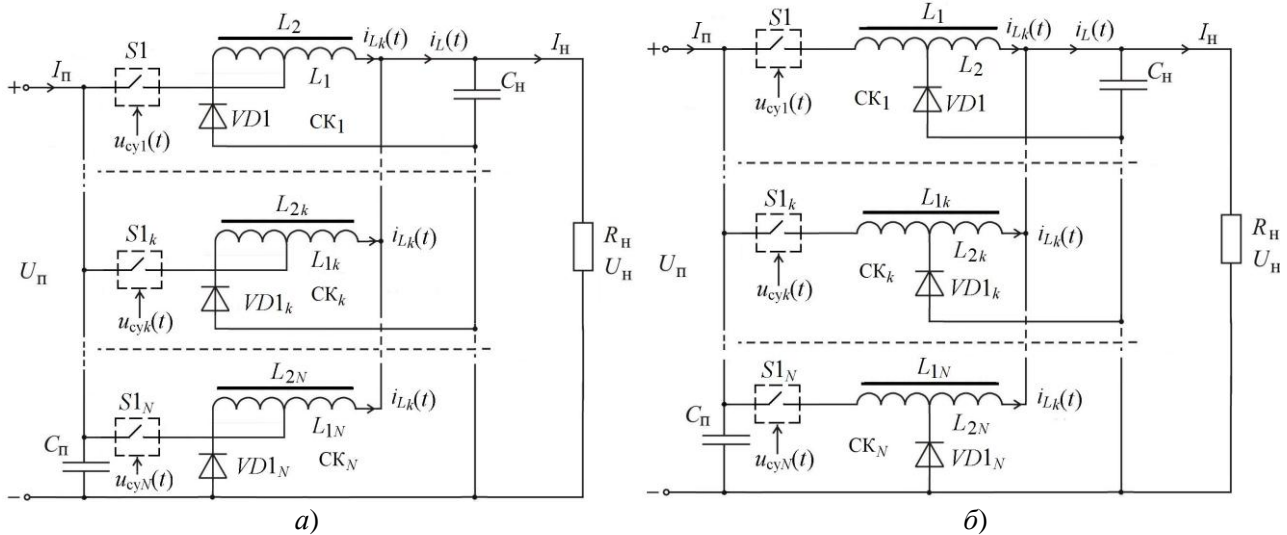


Рисунок 1 – ППН модульной структуры при параллельном включении СК понижающего типа с коэффициентами трансформации а)  $n_{21} > 1$ ; б)  $n_{21} < 1$

На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $U_n$  – напряжение питания (входное напряжение) ППН;  $U_n$  – напряжение нагрузки ППН;  $I_n$  – ток, потребляемый ППН от первичного источника электропитания;  $I_n$  – ток нагрузки ППН;  $S1$ -ключ управляемый сигналами схемы управления  $u_{cy}(t)$ ;  $VD1$  – неуправляемый ключ (диод);  $L_1, L_2$  – индуктивности первичной  $W_1$  и вторичной  $W_2$  обмоток дросселя;  $i_L(t)$  – мгновенное значение тока дросселя.

При параллельном подключении силовых каналов к общей нагрузке при неизменной мощности нагрузки ( $P_n = \text{const}$ ), сопротивление  $R_n$  и ток  $I_n$  нагрузки будут равномерно распределяться между  $k$ -ми силовыми каналами: ( $R_{nk} = R_n N$ ) и соответственно ( $I_{nk} = I_n/N$ ).

Частота преобразования ППН определяется параметрами индуктивностей дросселей  $L_{1k}$  и сопротивлений нагрузки  $R_{nk}$  в отдельно взятых силовых каналах. Из соотношения (1) видно, что при изменении мощности  $P_n$ , сопротивления  $R_{nk}$ , при одном и том же значении индуктивности дросселя  $L_{1k}$  будет изменяться соответственно и частота преобразования  $f_{тр}$ .

$$f_{\text{тр}} = R_{\text{нк}} U_{\text{п}} \left( U_{\text{п}} U_{\text{н}} - U_{\text{н}}^2 \right) / \left( 2L_{1\text{k}} U_{\text{н}} (U_{\text{п}} n_{21})^2 \right). \quad (1)$$

Так, увеличение числа  $N$  силовых каналов, параллельно включенных друг с другом при неизменной величине мощности нагрузки ( $P_{\text{н}} = \text{const}$ ) преобразователя не будет вызывать изменение частоты преобразования ( $f_{\text{тр}}$ ), потому, что частота пропорциональна величине  $R_{\text{нк}} / (2 \times L_{1\text{k}N})$ , где  $L_{1\text{k}N}$  – эквивалентная индуктивность дросселя  $L_{1\text{k}N} = L_{1\text{k}N_{\text{max}}} / N$ , которая получается при формировании эквивалентной схемы ППН из например  $N_{\text{max}} = 8$  числа силовых однотипных модулей преобразователя содержащих  $N$  эквивалентных силовых каналов с одинаковыми параметрами элементов (рис. 2, 3, 4).

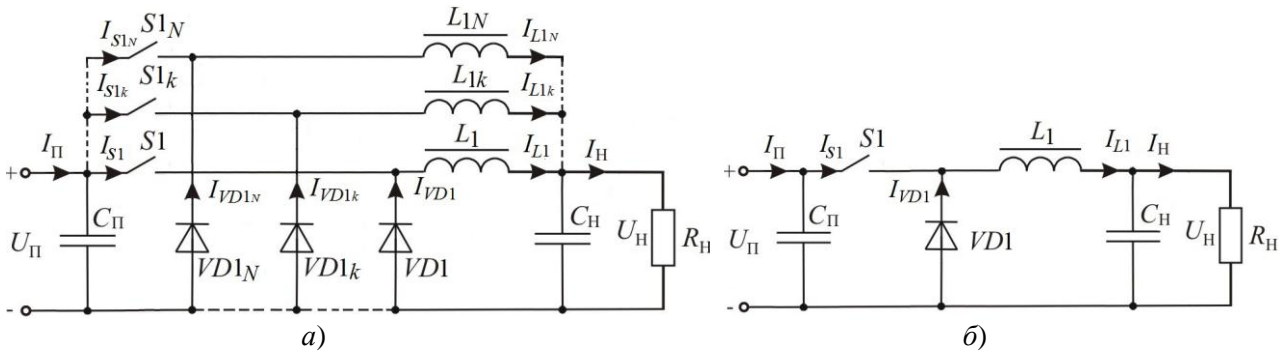


Рисунок 2 – Преобразователь модульной структуры из  $N$  параллельно соединенных силовых каналов (а) и его эквивалентная схема (б) при  $n_{21}=1$

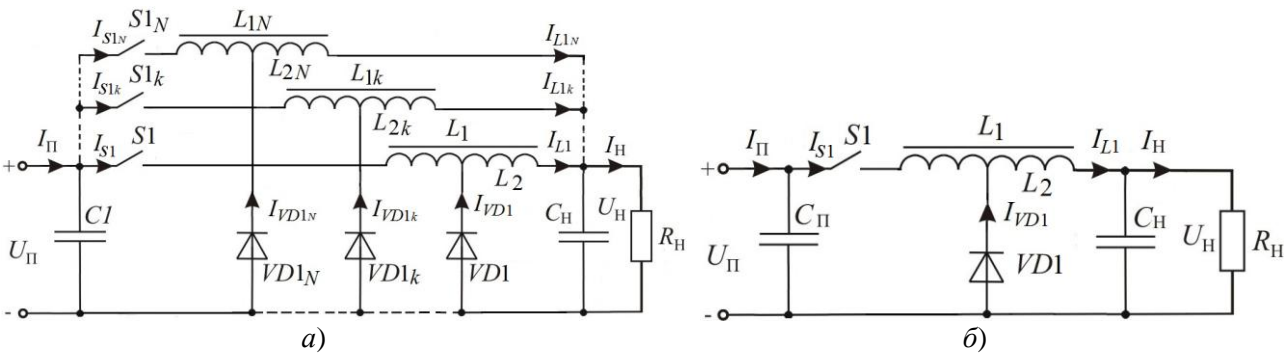


Рисунок 3 – Преобразователь модульной структуры из  $N$  параллельно соединенных силовых каналов (а) и его эквивалентная схема (б) при  $n_{21}<1$

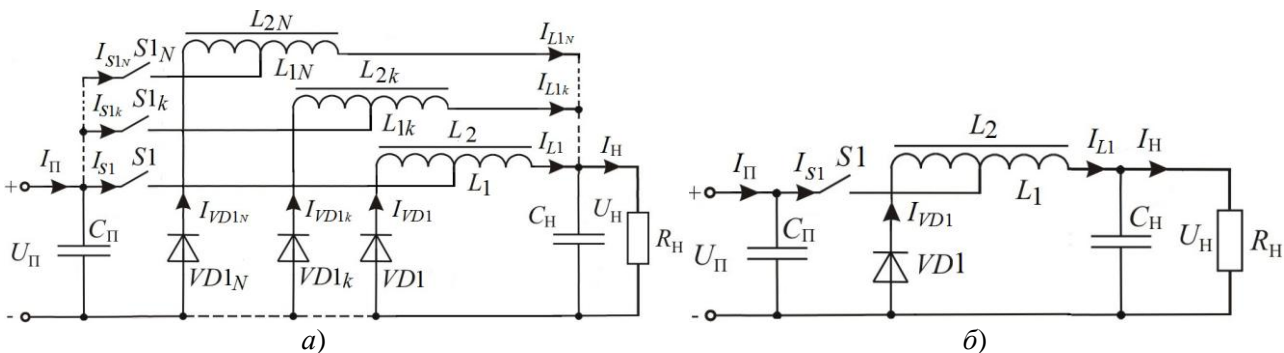


Рисунок 4 – Преобразователь модульной структуры из  $N$  параллельно соединенных силовых каналов (а) и его эквивалентная схема (б) при  $n_{21}>1$

Для того чтобы провести исследования преобразователей модульной структуры при постоянном значении частоты  $f_{\text{тр}}$  преобразования, следует пропорционально изменению сопротивления  $R_{\text{нк}}$  (мощности  $P_{\text{нк}}$ ) нагрузки изменять и индуктивность  $L_{1\text{k}}$  дросселей.

Примем следующие допущения: при однофазном принципе преобразования силовые каналы преобразователя функционируют синхронно и синфазно, а все дроссели, как параллельно включенные можно заменить эквивалентным дросселем  $L_1 = L_{1k}/N$ . Таким образом, однофазный импульсный преобразователь из  $N$  параллельно друг с другом включенных модулей – силовых каналов (рис. 2, а; 3, а; 4, а) можно рассматривать как один силовой модуль (рис. 2, б; 3, б; 4, б), с эквивалентной индуктивностью  $L_1$ , соответствующими суммарными токами в его цепях.

При этом следует принять во внимание, что распределение сопротивления нагрузки и индуктивности дросселя будут проводиться в МИП и ОИП неодинаково.

И в зависимости от направления исследований, индуктивность дросселя, сопротивление нагрузки и соответственно токи в цепях (эквивалентного – рис. 2, б; 3, б; 4, б) преобразователя будут перераспределяться по-разному.

В этом случае следует также учесть, что если исследования будут проводиться при постоянном значении мощности нагрузки  $P_n = \text{const}$ , независимо от других условий, то с увеличением числа  $N$  параллельно подключенных силовых каналов, величины суммарных токов в цепи потребления  $I_n$  и нагрузки  $I_n$ , а также их средние значения не изменятся. А токи в цепях отдельно взятого  $k$ -го силового канала будут в  $N$  раз меньше величины указанных суммарных токов ППН. Индуктивность дросселя при этом будет распределяться на  $N$  силовых каналов  $L_1 = L_{1k}/N$ . Например, в однофазном преобразователе модульной структуры из 8-ми параллельно включенных СК с индуктивностью дросселей в отдельно взятых силовых каналах  $L_{1k}=100$  мкГн эквивалентный дроссель будет иметь индуктивность  $L_1 = 100/8 = 12,5$  мкГн. Преобразователь постоянного напряжения модульной структуры из  $N$  силовых каналов может быть представлен, как один эквивалентный СК.

При формировании из например  $N_{\max} = 8$  числа силовых однотипных модулей преобразователя, содержащего  $N = 2, 3, 4, \dots, N_{\max}$  эквивалентных силовых каналов с одинаковыми параметрами элементов, их эквивалентные схемы можно рассматривать как преобразователь с  $N$  эквивалентными дросселями  $L_{1kN} = (L_{1k}N_{\max})/N$  и сопротивлениями нагрузки  $R_{nkN} = (R_{nk}N_{\max})/N$   $k$ -х эквивалентных силовых каналов.

Если заменить дроссели  $L_{1,1}, L_{1,2}, \dots, L_{1,k}, \dots, L_{1,N}$  преобразователя из  $n$  силовых каналов эквивалентными  $L_{1kN}$ , например для  $N_{\max} = 8$  видно, что можно путем их объединения сформировать преобразователь с числом  $N$  эквивалентных силовых каналов ( $1 \leq N \leq 8$ ) – 8-канальный, 4-канальный, 2-канальный и ОИП из 8-ми СК. Такой подход иллюстрирует рис. 5, где показано, как на базе ППН из 8-ми СК  $N_{\max} = 8$  формируется эквивалентный ППН при параллельном соединении дросселей, обеспечивая при этом постоянство частоты преобразования  $f_{гп}$ .

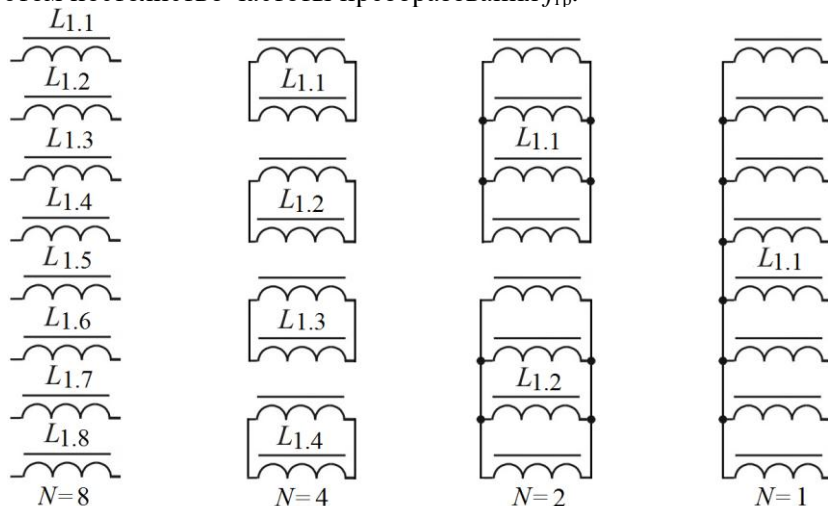


Рисунок 5 – Эквивалентные индуктивности  $L_{1kN}$ , полученные при различном числе  $N$  силовых каналов, включённых параллельно друг другу на базе ( $N_{\max} = 8$ ) СК

В табл. 1 показано как будут определяться эквивалентные сопротивления  $R_{nkN}$  и индуктивности  $L_{1kN}$  при формировании  $N$  канальных преобразователей из ( $N_{\max} = 8$ ) идентичных  $k$ -х силовых каналов.

Таблица 1 – Эквивалентные сопротивления и индуктивности ОИП при  $N_{\max} = 8$

$N$	1	2	4	8
$R_{hkN}$	$R_{hk}/8$	$R_{hk}/4$	$R_{hk}/2$	$R_{hk}$
$L_{1kN}$	$L_{1k}/8$	$L_{1k}/4$	$L_{1k}/2$	$L_{1k}$

Проводя исследования для МИП и ОИП в различных режимах работы с различным числом  $N$  силовых каналов при условии, что ( $P_n = \text{const}$ ,  $I_n = \text{const}$ ,  $R_n = \text{const}$ ) и чтобы при этом обеспечить постоянство частоты преобразования, расчеты необходимо проводить следующим образом:

Исходными данными в этом случае будут параметры ППН – выходное напряжение  $U_n$ , ток нагрузки  $I_n$ , число  $N$  силовых каналов и индуктивность дросселя  $L_1$ .

Результатами расчетов будут: выходная мощность ППН  $P_n = I_n U_n$ ; сопротивление нагрузки ППН  $R_n = U_n / I_n$ ; выходная мощность  $k$ -го СК  $P_{nk} = P_n / N$ ; сопротивление нагрузки  $k$ -го СК  $R_{nk} = (P_n N) / N_{\max}$ ; ток нагрузки  $k$ -го СК  $I_{nk} = U_n / R_{nk}$ ; индуктивность дросселя  $k$ -го СК  $L_{1k} = (L_1 N) / N_{\max}$ , где  $N_{\max}$  – это (базовое) максимальное число силовых каналов, из которых формируется ППН. Например, как показано на рис. 5,  $N_{\max} = 8$ .

Далее в табл. 2 приведены основные (базовые) параметры индуктивности, сопротивления, мощности и тока  $k$ -го силового канала, соответствующие указанному типу исследований при  $P_n = \text{const}$ .

Таблица 2 – Основные (базовые) параметры ППН при  $P_n = \text{const}$

	$N$	$L_{1k}$	$R_{nk}$	$P_{nk}$	$I_{nk}$
$P_n = \text{const}$	8	$L_1$	$R_n$	$P_n/8$	$I_n/8$
$I_n = \text{const}$	4	$L_1/2$	$R_n/2$	$P_n/4$	$I_n/4$
$R_n = \text{const}$	2	$L_1/4$	$R_n/4$	$P_n/2$	$I_n/2$
$f_{\text{Гр}} = \text{const}$	1	$L_1/8$	$R_n/8$	$P_n$	$I_n$

При проведении исследования зависимостей показателей качества от параметров элементов силовых каналов в различных режимах работы с различным числом  $N$  силовых каналов при условии, что ( $P_{nk} = \text{const}$ ,  $I_{nk} = \text{const}$ ,  $R_{nk} = \text{const}$ ) с такой же, как и в предыдущем случае, постоянной частотой преобразования  $f_{\text{Гр}}$ , расчеты необходимо проводить в соответствии с табл. 3.

Исходными данными в этом случае будут – выходное напряжение  $U_n$ , ток нагрузки  $I_{nk}$   $k$ -го СК, число  $N$  силовых каналов и индуктивность дросселя  $L_1$ .

Результатами расчетов будут: выходная мощность  $k$ -го СК  $P_{nk} = U_n I_{nk}$ ; выходная мощность ППН  $P_n = P_{nk} N$ ; ток нагрузки ППН  $I_n = I_{nk} N$ ; сопротивление нагрузки  $k$ -го СК  $R_{nk} = U_n / I_{nk}$ ; сопротивление нагрузки ППН  $R_n = U_n / I_n$ ; индуктивность дросселя  $k$ -го СК  $L_{1k} = L_1$ .

Таблица 3 – Основные (базовые) параметры ППН при  $P_{nk} = \text{const}$

	$N$	$R_n$	$P_n$	$I_n$
$P_{nk} = \text{const}$	8	$R_n/8$	$8P_n$	$8I_{nk}$
$I_{nk} = \text{const}$	4	$R_n/4$	$4P_n$	$4I_{nk}$
$R_{nk} = \text{const}$	2	$R_n/2$	$2P_n$	$2I_{nk}$
$f_{\text{Гр}} = \text{const}$	1	$R_n$	$P_n$	$I_{nk}$

С учетом изложенного интерес будет представлять следующий алгоритм анализа электрических процессов ППН при наращивании  $N$  числа силовых каналов при неизменной мощности  $k$ -го СК  $P_{nk} = \text{const}$  (пропорциональное увеличение выходной мощности ППН и при постоянной мощности нагрузки  $P_n = \text{const}$  (построение ППН из большего числа  $N$  силовых каналов меньшей мощности). Таким образом, эквивалентная индуктивность  $L_{1kN}$  и сопротивление  $R_{hkN}$   $k$ -х силовых каналов при этом будет определяться по разному (табл. 2, 3).

Для получения корректных результатов необходимо учитывать указанные особенности расчета параметров ППН при исследовании электрических процессов преобразователя, как для временных зависимостей, так и зависимостей от коэффициентов накопления ( $\kappa_n$ ), трансформации ( $n_{21}$ ), величины относительного напряжения питания ( $\bar{U}_n$ ), числа  $N$  силовых каналов и величины выходной мощности ( $P_n$ ) ППН.

Для всех видов исследований ППН базовые параметры  $U_n, T, f_{гр}, L_{2k}, R_{нк}, R_n, I_n, P_n, P_{н}, I_{m1}, I_{m2}$  будут рассчитаны в соответствии с разработанным алгоритмом (рис. 6).

Исходными данными для расчетов базовых параметров будут использоваться параметры, представленные в табл. 4.

Таблица 4 – Исходные данные для расчетов электрических процессов

№ п/п	Обозначение	Наименование
1	$U_n$	Выходное напряжение (нагрузки)
2	$I_n$	Выходной ток (нагрузки) ППН
3	$I_{нк}$	Выходной ток (нагрузки $k$ -го СК)
4	$N$	Число силовых каналов ППН
5	$\kappa_n$	Коэффициент накопления
6	$L_1$	Индуктивность первичной обмотки $W_1$ дросселя
7	$n_{21}$	Коэффициент трансформации
8	$N_{max}$	Максимальное число силовых каналов ППН
9	$C_n$	Емкость конденсатора входного фильтра
10	$C_n$	Емкость конденсатора выходного фильтра
11	$\overline{U}_n$	Относительное напряжение питания
12	$Rr$	Режим работы – стабилизация (слежение)
13	$Rp$	Режим преобразования – ОИП (МИП)
14	$P_n mode$	Вид расчета: $P_n = const, (P_{нк} = const)$

Основные базовые параметры  $k$ -го силового канала СК (коэффициенты накопления  $\kappa_{нк}$  и возврата  $\kappa_{вк}$ , напряжение источника питания  $U_{нк}$ , сопротивление нагрузки  $R_{нк}$ , частота преобразования  $f_{грk}=1/T_{грk}$ , время накопления  $t_{нк}$  и время возврата  $t_{вк}$  энергии силовым дросселем, размахи пульсаций токов  $I_{m1k}, I_{m2k}$  дросселя, средние значения токов потребления  $I_{нк}$  и нагрузки  $I_{нк}$ , выходная мощность  $P_{нк}$ ) представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Базовые параметры электрических процессов  $k$ -го СК

№ п/п	Обозначение	Наименование
1	$R_{нк}$	Сопротивление нагрузки $k$ -го СК
2	$P_{нк}$	Мощность нагрузки $k$ -го СК
4	$\kappa_{нк}$	Коэффициент накопления $k$ -го СК
5	$\kappa_{вк}$	Коэффициент возврата $k$ -го СК
5	$U_{нк}$	Входное напряжение (питания) $k$ -го СК
6	$f_{грk}$	Граничное значение частоты преобразования
7	$T_k$	Период преобразования
8	$I_{m1k}$	Размах пульсации тока дросселя СК на интервале накопления
9	$I_{m2k}$	Размах пульсации тока дросселя СК на интервале возврата
10	$I_{нк}$	Среднее значение тока потребления $k$ -го СК
11	$\overline{U}_{нк}$	Относительное напряжение питания $k$ -го СК
12	$\overline{U}_{нк}$	Относительное напряжение нагрузки $k$ -го СК
13	$I_{нк}$	Ток нагрузки $k$ -го СК
14	$L_{1k}$	Индуктивность первичной обмотки $W_1$ дросселя $k$ -го СК
15	$L_{2k}$	Индуктивность вторичной обмотки $W_2$ дросселя $k$ -го СК

В рассматриваемом случае, при симметрии электрических процессов и идентичности параметров элементов в  $k$ -х СК ППН  $U_{пк} = U_{п}$ ;  $U_{нк} = U_{н}$ ;  $f_{гpk} = f_{гp}$ ;  $T_{гpk} = T_{гp} = 1/f_{гp}$ ;  $K_{нк} = K_{н}$ ;  $K_{вк} = K_{в}$ ;  $W_{1k} = W_1$ ;  $W_{2k} = W_2$ ;  $t_{нк} = t_{н}$ ;  $t_{вк} = t_{в}$ ;  $I_{пк} = I_{п}/N$ ;  $I_{нк} = I_{н}/N$ ;  $I_{m1k} = I_{m1}$ ;  $I_{m2k} = I_{m2}$ .

В заключение можно отметить, что изложенная методика позволит производить расчет базовых параметров для исследования преобразователей модульной структуры с однофазным и многофазным принципами преобразования при граничном режиме функционирования. Используя полученные при помощи представленной методики базовые параметры можно проводить дальнейшие исследования, получая зависимости с неизменной частотой при увеличении числа СК с постоянной выходной мощностью  $P_{нк}$   $k$ -го СК или постоянной выходной мощностью  $P_{н}$  ППН. Что позволит выявить особенности функционирования ППН в различных режимах работы и способствовать широкому их использованию на практике.

### Литература

1. *Кадацкий А.Ф.* Анализ электрических процессов в МИП постоянного напряжения при граничных токах дросселей / [Кадацкий А.Ф., Малявин И.П., Кочетков А.В., Швец О.В.] // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2010. – № 1. – С. 20 – 30.
2. *Кадацкий А.Ф.* Электрические процессы импульсных преобразователей модульной структуры с силовыми каналами повышающего типа / [Кадацкий А.Ф., Швец О.В., Кочетков А.В., Ерыкалина Т.Н.] // Восточно - Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 4/9(58). – С. 10 – 16.
3. *Кадацкий А.Ф.* Алгоритмы моделирования электрических процессов в импульсных преобразователях постоянного напряжения модульной структуры с силовыми каналами инвертирующего типа / [Кадацкий А.Ф., Русу А.П., Ерыкалина Т.Н.] // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2013. – № 1. – С. 88 – 98.
4. *Кадацкий А.Ф.* Пульсации токов импульсных преобразователей постоянного напряжения модульной структуры с граничным режимом функционирования с силовыми каналами инвертирующего типа / [Кадацкий А.Ф., Русу А.П., Ерыкалина Т.Н.] // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2013. – № 2. – С. 47 – 61.
5. *Кочетков А.В.* Влияние режима работы силовых каналов понижающего типа на выходные пульсации многофазных импульсных преобразователей постоянного напряжения / [Кочетков А.В.] // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2011. – № 1. – С. 20 – 30.
6. *Кадацкий А.Ф.* Электрические процессы импульсных преобразователей модульной структуры с силовыми каналами повышающего типа / [Кадацкий А.Ф., Швец О.В., Кочетков А.В., Ерыкалина Т.Н.] // Восточно-европейский журнал передовых технологий 4/9 (58). – 2012. – С. 10 – 16.