

Унификация — это основной путь создания высоконадежных систем вторичного электропитания

для комплексов военного
и коммерческого назначения.

Часть 1

Приведены основные методы и примеры создания аппаратуры и систем вторичного электропитания (СВЭП) на основе синтеза блоков питания из унифицированных узлов и модулей, разработанных и оптимизированных на основе передовых технологий с использованием компонентов отечественной электронной базы. Проанализированы отдельные типы и практические примеры создания унифицированных узлов и модулей.

Саркис Эраносян, к. т. н.

sarkis7-840@yandex.ru

Стремление разработчиков любых функциональных блоков, входящих в состав РЭА информационно-вычислительных и иных комплексов аппаратуры, особенно для применения в оборонной промышленности, синтезировать отдельные блоки из унифицированных узлов и модулей, является одним из основных условий создания современных высоконадежных систем и изделий.

Современное производство является успешным и следует современным тенденциям развития мировой науки и техники именно потому, что использует модульный принцип построения сложных приборов и систем. Как показано в работе [1], группа исследователей из Корнельского университета (США), которой руководил доктор Ход Липсон (Hod Lipson), предложила весьма оригинальную гипотезу, объясняющую возникновение модульной организации. В частности, было установлено, что модульность делает систему более гибкой (что немаловажно в мире ограниченных ресурсов, где минимум затрат — важное преимущество) и способствует ее более быстрому и качественному самокопированию. Было установлено, что дело вовсе не в стремлении к модульности как таковой, а в необходимости свести к минимуму расходы по поддержанию системы.

Разработка и синтез унифицированных силовых модулей с использованием гибридной технологии является современным направлением развития ин-

теллектуальной силовой электроники. Ниже будут рассмотрены наиболее востребованные среди этих технических предложений, касающиеся создания унифицированных узлов, модулей и блоков именно для СВЭП радиоэлектронных комплексов и изделий оборонного назначения [2–6].

Внутрифирменная узловая унификация

Во-первых, это унификация внутри крупных фирм и корпораций, которую назовем внутрифирменной узловой. Одним из условий создания унифицированных узлов такого типа является то, что определенная фирма имеет возможность и необходимые условия для изготовления законченных радиоэлектронных изделий и комплексов, начиная с разработки технического задания, согласованного с представителем заказчика, до стадии завершения в процессе выполнения НИОКР.

При этом конкретная компания должна иметь весь необходимый квалифицированный персонал — от рабочих и лаборантов до научных работников и ведущих разработчиков, а также конструкторов и технологов. Кроме того, нужны вспомогательные подразделения, в частности, служба снабжения материалами и готовой электронной техникой. И еще, конечно, потребуются измерительные приборы и инструменты, предназначенные для исследований, а также для оборудования и оснащения опытного производства.

Кроме того, фирма должна иметь достаточный, как по сложности, так и объему финансирования, так называемый «портфель заказов». Это одно из важнейших условий наряду с квалификацией персонала для обеспечения успешной деятельности и финансовой самодостаточности любого предприятия, которому требуется несколько крупных заказов на протяжении нескольких лет. Именно это позволяет фирме оптимально перераспределять ресурсы таким образом, чтобы иметь возможность разрабатывать новые изделия и комплексы на высоком научно-техническом уровне, соблюдая все сроки завершения работ, согласованные с заказчиком.

Это описание структуры и отдельных подразделений фирмы следует считать обязательным условием для внедрения во все изделия, разрабатываемые на ней, наибольшего количества вновь созданных унифицированных узлов, модулей и блоков. В унификации отдельных узлов средств вторичного электропитания в первую очередь заинтересованы ведущие разработчики блоков питания. Это объясняется тем, что составные узлы и модули, входящие в новые изделия, могут стать основой для тех, которые будут применяться в последующих разработках.

Например, системы управления силовыми электронными ключами (ЭК) в регулируемых преобразователях, имеющиеся, как правило, в блоках питания, могут успешно применяться в новых разработках СВЭП на протяжении пяти-семи лет после того, как их начали использовать в первых образцах. Это предпочтительно делать для унифицированных узлов, оформленных как конструктивно законченные автономные изделия, имеющие стандартный набор технической документации, включая отдельные технические условия на этот узел. Таким образом, разработчик силового преобразователя, работающего на высоких частотах — 100–300 кГц, может применять, например, такой унифицированный узел системы, как модуль управления (МУ) в новом блоке, фактически на правах покупного изделия, аналогично использованию дискретного элемента (например, силового транзистора), входящего в перечень элементов блока питания.

В алгоритм работы системы управления блоком питания обычно включены специальные устройства и схемы, предохраняющие от поврежденных силовые элементы (транзисторы и диоды), а также другие важные узлы. К ним относятся, в частности, и схемы, обеспечивающие минимальный импульс управления при ШИМ и контроле правильного чередования импульсов напряжения в первичной обмотке силового трансформатора даже при возможных сбоях отдельных элементов МУ и т. п. [3]. Среди важных узлов МУ стоит выделить, например, устройства для защиты по току перегрузки ЭК (автоматическая защита с уровнем около 1,2 In. (от номинального значения тока нагрузки)),

а также интегральную (инерционную) защиту. Она должна приводить к отключению блока питания, поскольку могут быть повреждены электронные силовые компоненты преобразователя вследствие необратимой аварии или устойчивого режима короткого замыкания цепи нагрузки [2]. Комплекс таких защитных мер значительно повышает надежность работы всех силовых компонентов преобразователя.

Также разработчик, применяющий тот или иной унифицированный узел, избавляется от серьезных проблем в отношении помехоустойчивости и оптимального синтеза маломощного узла (системы управления) с силовой частью мощного преобразователя. И даже если после этого придется скорректировать схему унифицированного узла, это будет только способствовать его дальнейшему широкому использованию в других новых разработках.

В качестве унифицированных узлов, составляющих перечень внутрифирменной узловой модели унификации, могут быть наряду с системами управления и силовые печатные платы для мощных преобразователей (без включения в плату силового высокочастотного трансформатора), а также силовые печатные платы узлов высокочастотных выходных силовых выпрямителей с элементами пассивных сглаживающих фильтров (дроссели и конденсаторы).

Кроме того, часто унифицируются модули входного выпрямителя, разумеется, для того, чтобы использовать эти устройства в пределах их максимальной отдаваемой мощности. Причем такой унифицированный модуль входного выпрямителя, как правило, включает в себя систему ограничения зарядного тока мощного конденсатора емкостного фильтра, а также систему управления запуском тиристора, шунтирующего ограничитель (например, терморезистор) зарядного тока, и элементы подавления радиопомех, поступающих в первичную силовую сеть при работе блока питания и т. п.

Примером реализации внутрифирменной узловой модели унифицированных узлов могут быть разработанные в ОКБ «Радуга» в 1979 г. [3] блоки питания. Была создана СВЭП для информационно-вычислительных комплексов РЭА, предназначенная для приема и передачи информации. Такие комплексы могли быть установлены и адаптированы для изделий, помещаемых в стационарный и передвижной наземные носители, а также устанавливаемых на кораблях ВМФ.

Средства вторичного электропитания, которые входили в СВЭП комплекса и обеспечивали электропитание типовых функциональных блоков обработки, хранения и передачи информации, функционировали под номинальным стабилизированным напряжением постоянного тока в диапазоне 5–27 В. Мощность разработанных блоков питания находилась в пределах 80–100 Вт, что обеспечивало равномерную загрузку (по фазам) первичной сети переменного тока, которой

являлась четырехпроводная сеть напряжением 380/220 В и частотой 50 Гц с диапазоном изменения напряжения –25...+16%.

В качестве силового преобразователя блоков питания была использована структура однотактного полумостового инвертора с мощным трансформатором, который подключался к силовым транзисторам через конденсатор. Способ регулирования — ШИМ, рабочая частота — 20 кГц. Блоки питания имели следующие модификации по выходу: 5 В, 16 А; 12/15 В, 6,5 А; 27 В, 3,5 А.

В этой разработке были унифицированы следующие узлы, на основе которых в типовой конструкции синтезировались все модификации блоков питания:

- Во всех блоках применялся типовой узел системы управления (МУ) с развязывающими трансформаторами для базовых цепей силовых транзисторов. Узел МУ размещен на печатной плате размерами 190×100 мм при высоте на плате не более 22 мм.
- Во всех блоках был использован типовой узел входного низкочастотного выпрямителя с фильтром, представленный на рис. 1. Размеры основания платы — 90×100 мм.

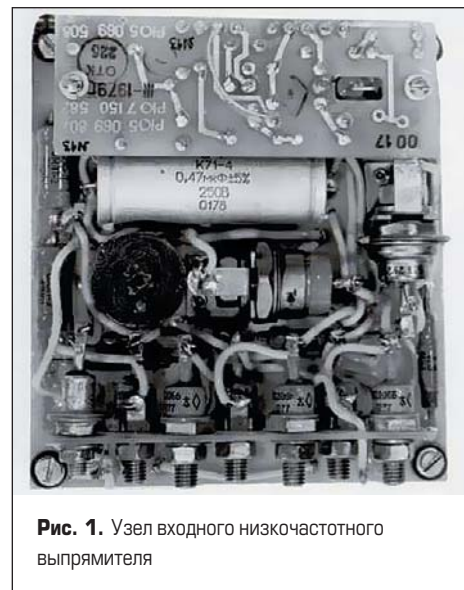


Рис. 1. Узел входного низкочастотного выпрямителя

- Силовой узел преобразователя был выполнен по единой конструкции платы, показанной на рис. 2. Размеры ее основания — 190×100 мм. Для каждой модификации блока устанавливаются свои типы силового трансформатора и дросселя.



Рис. 2. Плата силового узла преобразователя

- Силовой узел выходного высокочастотного выпрямителя с LC-фильтром выполнен на основе единой конструкции платы, приведенной на рис. 3. Размеры ее основания — 190×100 мм. Для каждой модификации блока питания устанавливаются свои типы силовых диодов, свой тип дросселя и конденсатора выходного фильтра.



Рис. 3. Силовой узел выходного высокочастотного выпрямителя

Рассмотрим пример расчета коэффициента унификации блока ($K_{ун.бл.}$). Всего применяется четыре унифицированных узла $K_{узл.}$. Общее число модификаций блоков питания $K_{м.бл.}$ — также четыре. Блоки питания используются в $K_{изд.}$ — в трех изделиях.

Предположим, что если в одном комплексе (изделии), установленном в аппаратуру СВЭП, используется минимум по одному блоку питания каждой модификации, то в одном таком комплексе применяется число устройств электропитания, определяемых по формуле:

$$\sum (K_{узл.} + K_{м.бл.}) \times 3 = 24.$$

Если обозначить унифицированный узел системы управления как модуль $M_{сy}$, то аналогичным образом другие узлы (модули) можно обозначить так: входной низкочастотный выпрямитель — $M_{вх.вчв.}$; узел преобразователя — $M_{уз.пр.}$; узел выходного высокочастотного выпрямителя — $M_{вых.вчв.}$. Так как модуль $M_{сy}$ устанавливается во всех блоках питания, то для трех изделий их нужно 12. Следовательно, для модуля управления $M_{сy}$ коэффициент унификации $K_{ун.} = 12: 24 = 0,5$. Аналогично можно рассчитать коэффициенты унификации для других модулей.

Окончательный расчет коэффициентов унификации для больших информационно-вычислительных систем возможен только на стадии серийного производства, которое формируется на основе заказов от оборонного комплекса, распределяемых на соответствующие конкретные заводы и корпорации. Именно на этой стадии можно получить полные и достоверные данные о количестве всех типов унифицированных узлов и блоков, причем с учетом набора устройств, входящих в комплекты ЗИП, как возимого вида для соответствующего изделия, например типа корабля, так и базового комплекта, использующегося для ремонта и восстановления аппаратуры на стационарных, хорошо оснащенных базах.

Как показывает практика, при высоком уровне унификации и отдельных устройств

(узлов), и блоков, входящих в систему вторичного электропитания РЭА, показатель применимости унифицированных устройств колеблется от 20 до 65% от общего количества изделий и блоков СВЭП.

Отраслевая блочная унификация

Второе важное техническое предложение — унификация внутри министерства или отрасли аппаратуры важного (стратегического) направления, так называемой отраслевой блочной.

Для унификации данного типа характерной является, например, одинаковость многих электрических параметров для всех видов устройств вторичного электропитания. Стандартные номиналы напряжений первичного источника электропитания, которое поступает на функциональные блоки аппаратуры, обеспечивают нормальное и бесперебойное вторичное электропитание комплексов и систем, например, аппаратуры связи, существующей в настоящее время на проводных телефонных станциях и узловых базовых комплексах аппаратуры, рассчитанных на определенное количество обслуживаемых абонентов. Это относится как к открытым линиям связи для населения, предприятий и организаций, так и к комплексам закрытых линий для специальных целей или оборонного назначения. В этих системах, как правило, применяются стандартные первичные источники постоянного напряжения номиналом 24, 27 и 60 В. На крупных узлах и станциях устанавливаются централизованные, мощные источники питания (4–6 кВт). Они преобразуют входное переменное трехфазное напряжение (380 В, 50 Гц) в стабилизированное постоянное, принятое для аппаратуры на данном объекте, — одно из стандартных, указанных выше. Кроме того, чтобы обеспечить бесперебойную работу аппаратуры связи при пропадании сетевого переменного напряжения, на каждой станции предусмотрен батарейный отсек аккумуляторов соответствующего номинала напряжения для данного объекта аппаратуры связи. В результате при отказе (например, при пропадании сетевого напряжения) автоматически включается буферная аккумуляторная батарея, благодаря чему аппаратура связи продолжает исправно работать.

Чтобы определить типовые, часто встречающиеся мощности, потребляемые нагрузкой унифицированных блоков, проводится анализ аппаратуры связи по разным объектам и предприятиям связи. На уровне отрасли (или подотрасли) выявляется перечень типономиналов блоков питания для каждого из номиналов входного питающего постоянного напряжения (24, 27, 60 В). После анализа и обработки полученных данных можно приступить к разработке унифицированных блоков питания для широкого применения на объектах аппаратуры связи, которые относятся к области электронной аппаратуры, входящей в сферу подчинения соответствующего министерства. Одновременно с определением всего разнообразия типономиналов унифи-

цированных блоков питания также «унифицируются» и требования к их электрическим и конструктивным параметрам. Кроме того, эти параметры согласуются с ведущим (центральным) предприятием или ЦНИИ. Речь идет как о нормах для входных первичных источников питания, так и о требованиях к выходным параметрам унифицированных блоков питания. В основном эти требования приведены в ГОСТах, ОСТах и ТУ, разработанных для аппаратуры, применяемой в данной отрасли промышленности.

Эти параметры определены как для статических, так и для динамических режимов работы аппаратуры, которые детально регламентированы для всех устройств, входящих в СВЭП, от основных параметров стабильности выходного напряжения блоков питания до требований к параметрам электромагнитной совместимости (нормы радиопомех по частотам и т. п.).

Общая процедура разработки ряда унифицированных блоков питания, предназначенных для широкого применения в новых разрабатываемых комплексах РЭА, состоит из следующих этапов проектирования:

- Получение информации от ведущих предприятий отрасли (министерства) о применении блоков питания, входящих в СВЭП, которые были спроектированы или намечены к разработке за определенный период времени (например, за пять лет). Эта информация должна поступать в обработанном виде (по предлагаемой форме). Основная задача такого материала состоит в том, чтобы представить наиболее применяемые источники вторичного электропитания (ИВЭ) на данном предприятии. В частности, необходимо привести следующие параметры: входное напряжение первичной сети, выходное напряжение и ток нагрузки, КПД блока питания. Кроме того, следует указать ряд конструктивных параметров: тип базовой конструкции и габариты; нормы переменной составляющей на выходных клеммах ИВЭ; специальные требования, учитываемые в процессе проектирования блока (например, данные о температуре окружающей среды, примененный способ охлаждения и т. п.).
- Поступление данных от предприятий, производящих аппаратуру связи, на головное предприятие министерства по этому направлению техники, в котором организовано специальное подразделение, занимающееся вопросами унификации устройств электропитания. Именно этому предприятию доверены обработка полученных данных и последующие разработка и согласование ряда унифицированных блоков питания для всей отрасли. На этом этапе с помощью проведения НИОКР и предстоит создать унифицированные ИВЭ, а также организовать и сопровождать последующее серийное изготовление блоков питания на одном из предприятий министерства.
- Определение и выбор основных принципов унификации, помогающих получить оптимальные параметры ряда унифицированных блоков, как по КПД, так и по удельным

массо-габаритным характеристикам. Эти унифицированные блоки должны иметь высокие параметры надежности и технологичность, а также низкую себестоимость на этапах изготовления и настройки.

- Определение структурных схем и основного принципа регулирования, которые будут приняты и обоснованы для всех разрабатываемых унифицированных ИВЭ (УИВЭ).
- Разработка типовых конструкций УИВЭ с учетом применения унифицированных блоков питания в базовых несущих конструкциях (БНК), используемых в отрасли. Кроме того, в этих блоках должны применяться передовые технологии, новейшие изделия электронной техники (ИЭТ), современные материалы и покупные компоненты. Следует придавать большое значение вопросам узловой унификации и технологичности изготовления моточных изделий (трансформаторов и дросселей) собственного изготовления.

В качестве примера отраслевой блочной модели унифицированных блоков УИВЭ можно привести НИОКР, выполненную в НПО «Дальняя связь» в 1988 г. [3–6].

Всегда большое значение приобретает фактор эффективности разработки блоков питания, то есть получение наивысшего положительного эффекта минимальными средствами в течение минимального времени. Речь идет о выборе стратегии при разработке рядов УИВЭ. Существенное значение эта проблема приобретает тогда, когда на предприятиях — разработчиках РЭА имеются лишь небольшие отделы электропитания. Кроме того, этот процесс усугубляется, если в отделах электропитания работает мало высококвалифицированных специалистов, способных разрабатывать источники электропитания на уровне лучших зарубежных образцов. В этих условиях особое значение приобретает минимизация разрабатываемых узлов и УИВЭ, для того чтобы основное количество блоков и приборов РЭА можно было обеспечивать унифицированными устройствами.

Именно так может быть получена квазиоптимальная структура СВЭП. Для решения

этой задачи предложен алгоритм синтеза минимального набора УИВЭ, основанный на анализе применимости ИВЭ в аппаратуре и выборе градаций мощности потерь в УИВЭ. Этот метод был применен для систем аппаратуры дальней связи с первичным напряжением 24 (27) и 60 В. Сначала был проведен анализ применяемых ИВЭ во всех разработанных и подлежащих разработке комплексах РЭА (охвачен период в течение примерно пяти лет). Результатом анализа стали систематизация мощности по отдельным выходам ИВЭ и выявление повторяемости номиналов выходных напряжений. Для примера приведены гистограмма использования номиналов выходного напряжения ИВЭ (рис. 4,а) и гистограмма применения номиналов ИВЭ во всех изделиях (рис. 4,б).

На этом же этапе выявляются наиболее часто встречающиеся специфические сервисные функции: различные виды защит, способы включения, контроля, сигнализации и т. п. На основании результатов анализа выбираются несколько (обычно три-шесть) градаций мощностей ИВЭ, на которые можно разделить все рассматриваемые источники питания. Если ИВЭ какого-то диапазона мощности используется в более чем 50% изделий, то целесообразно дополнительно подвергнуть анализу эту группу (с целью выявления новых градаций мощности). Но если в каком-либо из ранее выбранных диапазонов применимость не превышала 5–10%, то его следует объединить с ближайшим диапазоном. В итоге должно быть сформировано ограниченное число градаций мощности.

Теперь необходимо для каждой выбранной градации установить базовую мощность УИВЭ. Известно, что величина объема блока питания зависит от применяемой схмотехники, компонентной базы с учетом теплового режима, который зависит от величины выходной мощности ($P_{\text{н}}$), КПД (η) и условий охлаждения. С повышением частоты преобразования импульсных ИВЭ все более решающее значение с точки зрения получения минимальных габаритов приобретают вопросы

обеспечения комфортного теплового режима компонентов, который при прочих равных условиях зависит от величины мощности потерь ($P_{\text{п}}$) в блоке питания. В свою очередь, $P_{\text{п}}$ связана с η следующим соотношением:

$$P_{\text{п}} = P_{\text{н}}(1-\eta)/\eta. \quad (1)$$

В рассматриваемой разработке предложена следующая процедура выбора базовой мощности блока для каждой выбранной градации. Было принято, что прогнозируемый размер конструктива блока обеспечит максимальную выходную мощность рассматриваемой градации УИВЭ. При этом из-за более низкого η блоки с выходным напряжением 5 В будут иметь выходную мощность на 20–30% меньшую, чем блоки с более «высоковольтными» выходами на 12–27 В. Таким образом, взяв максимальную выходную мощность градации и умножив ее на коэффициент $K_{\eta} = 0,8-0,7$, получим прогнозируемую мощность УИВЭ с выходным напряжением 5 В.

Эта величина именуется базовой мощностью данной градации. А максимальные потери мощности, рассеиваемые в УИВЭ с выходом 5 В, определяемые по формуле (1) при оптимальном η , называются базовыми мощностями потерь ($P_{\text{пб}}$). Найденные $P_{\text{пб}}$ округляются и укрупняются вследствие исключения близлежащих, в результате чего образуется последовательность, именуемая шагом потерь. По сути, в дальнейшем эта последовательность и определяет число конструктивов разрабатываемого ряда УИВЭ.

Объем конструктива должен определять максимально возможную рассеиваемую мощность. Введя понятие относительных потерь $P'_{\text{п}} = P_{\text{п}}/P_{\text{н}}$, можно записать условие получения минимальных относительных потерь ($P'_{\text{п min}}$) при максимальном η (η_{max}):

$$P'_{\text{п min}} = (1-\eta_{\text{max}})/\eta_{\text{max}}. \quad (2)$$

При определении ожидаемого КПД для УИВЭ следует учитывать, что он зависит как от выходной мощности блока, так и от выход-

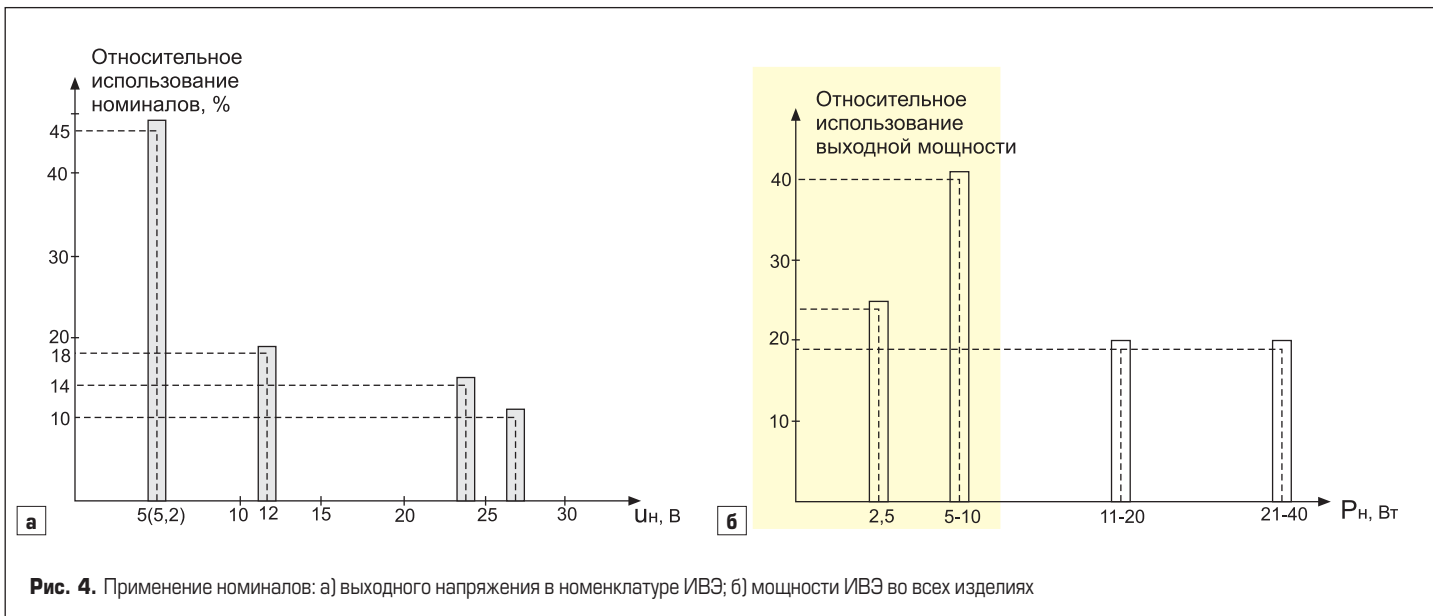


Рис. 4. Применение номиналов: а) выходного напряжения в номенклатуре ИВЭ; б) мощности ИВЭ во всех изделиях

ного напряжения. По результатам анализа информационного банка данных этого параметра, составленного по отечественным и зарубежным источникам, намечаются максимальные значения ожидаемого КПД для выбранных базовых мощностей каждой градации. Таким образом, выбираются ожидаемый КПД и шаг потерь.

Теперь можно перейти к расчету условной мощности нагрузки ($P_{н.усл.}$) УИВЭ для каждой градации с учетом номинала выходного напряжения и базовых потерь мощности:

$$P_{н.усл.} = P_{пб} / P_{п мин} \quad (3)$$

Рассчитав $P_{н.усл.}$ для каждого номинала из ряда выходных напряжений разрабатываемых УИВЭ, можно определить ближайшую нормируемую величину тока нагрузки по соответствующему документу (например, по ГОСТу). В результате будет сформирован предварительный типономинальный ряд

одноканальных УИВЭ, в котором учтены все выбранные градации мощности и который подлежит схемотехнической проработке.

Выбор шага потерь, т. е. получение базовых мощностей в каждой из градаций, позволяет сформировать параметры тепловых эквивалентов базовых УИВЭ, которые и определяют число конструктивов прогнозируемого ряда блоков питания.

Продолжение следует

Литература

1. Эраносян С. А. Ключи к возрождению производства компонентов российской силовой электроники. Ч. 1 // Силовая электроника. 2013. №2.
2. Эраносян С. А., Журавлев Б. Н. Особенности построения бестрансформаторных инверторов. Современные задачи преобразовательной техники: Кн. 6. Киев, 1975.
3. Эраносян С. А., Новосельцев Е. Н., Козелецкий В. Г. Транзисторный преобразователь с бестрансформаторным входом по переменному току // Техника средств связи. Сер. Техника проводной связи. 1979. Вып. 8(41).
4. Эраносян С. А., Гаазе В. Б., Простаков В. Г. Ряд малогабаритных унифицированных ИВЭ для аппаратуры дальней связи: Тез. докл. и сообщений отраслевого семинара «Импульсные ИВЭ: состояние и перспективы развития». М.: ЦООНТИ «ЭККОС». 1988.
5. Эраносян С. А., Гаазе В. Б. Метод синтеза минимальной номенклатуры унифицированных ИВЭ для систем электропитания РЭА // Техника средств связи. Сер. Средства вторичного электропитания (СВЭП). М.: ЦООНТИ «ЭККОС», 1989. Вып.1.
6. Володин Ю. Г., Гасанова В. В., Эраносян С. А. Анализ тепловых режимов малогабаритных ИВЭ: Материалы семинара. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1989.