

Разработка источников вторичного электропитания, реализованных с использованием технологии «мягкой» коммутации ключей.

Часть 1. Анализ информационных материалов и образцов источников питания¹

В.Ю. Васильев, Ю.Д. Козляев, И.В. Пичугин, Ю.Е. Семенов,
С.М. Гордиенко, А.А. Антонов

Целью работы является разработка источников вторичного электропитания мощностью 2000 Вт, реализующих технологию «мягкой» коммутации Zero Voltage Switch (ZVS). Работа состоит из нескольких частей, в которых рассматриваются различные аспекты проблемы конструирования модульных источников питания. В первой части работы приводятся результаты анализа информационных источников и оценка важнейших параметров некоторых зарубежных модульных источников питания.

Ключевые слова: AC/DC модульные источники электропитания, «мягкая» коммутация, Zero Voltage Switch, ZVS, электромагнитные помехи.

1. Введение

Среди многих направлений развития силовой электроники наиболее значимым является полупроводниковое направление. Непрерывно совершенствуемые полупроводниковые приборы, интегральные микросхемы, пассивные компоненты способствуют внедрению силовой электроники в различные отрасли, например в источники вторичного электропитания следующих назначений:

- малой мощности для бытового, технического и специального назначения;
- модульные малой мощности для систем бесперебойного питания информационных и телекоммуникационных комплексов;
- средней и большой мощности для промышленных технологий, интеллектуальных зданий;
- устройств автомобильной электроники;
- преобразователей энергии возобновляемых источников и т.д.

Источники вторичного электропитания (ИП) являются неотъемлемой частью любого радиоэлектронного комплекса. В ходе эксплуатации в составе комплексов ИП должны обеспечивать высокую надёжность, хорошие удельные показатели, управляемость, устойчивость

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации НИР «Разработка перспективных технологий и конструкций изделий интеллектуальной силовой электроники для применения в аппаратуре бытового и промышленного применения, на транспорте, в топливно-энергетическом комплексе и в специальных системах (интеллектуальные драйвера «мягкой коммутации» мощных источников электропитания)» ГК № 16.426.11.0055).

в динамических режимах, электромагнитную совместимость. Долгое время узким местом силовой электроники, и ИП – в частности, оставались силовые полупроводниковые приборы. Однако качество изготовления современных транзисторов и диодов позволило значительно повысить их быстродействие, а также допустимые рабочие токи. Современный этап развития различных преобразователей мощности (источников питания AC/DC и DC/DC) для промышленных и бытовых применений характеризуется массовым использованием в силовой части источников питания IGBT, MOSFET, а в системах управления ИП – специализированных интегральных микросхем драйверов и микроконтроллеров. Это обусловлено тем, что только электронные компоненты, специализированные для силовых применений, обеспечивают главные требования развития промышленных устройств, а именно повышение их мощности, функциональности и надёжности при снижении материалоёмкости и массогабаритных параметров. Появление на рынке в последние годы новых электронных компонентов и, в первую очередь, силовых диодов и транзисторов, выполненных на карбиде кремния, имеющих встроенные схемы контроля и управления (интеллектуальные силовые модули), в совокупности с применением новых ферромагнитных материалов с уникальными характеристиками, позволили начать конструирование качественно новых преобразователей мощности.

Для наиболее полного использования потенциала современной элементной базы необходимо применять схемные и алгоритмические решения, которые максимально учитывают особенности полупроводниковых приборов и используют их в оптимальном режиме. Недостатки «классических» схем построения ИП, не учитывающих условия запирающих ключей в связанных парах (транзистор – транзистор, диод – транзистор), заключаются в следующем. В момент переключения, по причине конечного времени восстановления запираемых свойств одного из ключей и наличия паразитных ёмкостей, образуется интервал одновременной проводимости обоих ключей, вызывая появление «сквозного тока» большой амплитуды. Быстрое изменение токов и напряжений в схеме ИП вызывает электромагнитные помехи, распространяемые как по эфиру, так и по цепи питания. Кроме этого, значительно снижается к.п.д. устройств ИП и их надёжность, поскольку в данном случае энергия выделяется в виде нагрева полупроводниковых приборов.

Мировая практика последнего десятилетия определила основные тенденции развития источников питания на базе высокочастотных, импульсных технологий с т.н. «мягким» способом коммутации силовых ключей. Суть новой идеологии переключения силовых ключей, которую можно условно обозначить как активные приёмы «мягкого» переключения, сводится к прямому или косвенному контролю текущих параметров (напряжения, тока, напряжения насыщения, скорости изменения напряжения и ряда других) и формированию соответствующих воздействий или коррекцию базовых управляющих воздействий на силовой модуль. Функции контроля при этом возлагаются на буферное устройство, совмещённое с драйвером силового ключа. Новая идеология базируется на введении дополнительных опций, вызывающих «принудительное» перераспределение энергии в элементах цепи, обрамляющих силовые ключи, или организации режимов работы силовой цепи с возможностью выбора моментов включения транзисторов при относительно малом уровне тока. Этим достигаются условия их переключения при нулевом токе (по зарубежной терминологии – Zero Current Switch, ZCS) или при нулевом напряжении (Zero Voltage Switch, ZVS) [1].

Несмотря на известность названных приёмов «мягкой» коммутации, в настоящее время предприятиями-производителями использование таких приёмов в конкретных ИП упоминается редко. Так, косвенно, по применяемым в ряде источников питания специфическим интегральным микросхемам микроконтроллеров, можно полагать, что в них реализована технология ZCS, обеспечиваемая программно. Что касается считающейся авторами статьи наиболее предпочтительной для ИП технологии переключения ZVS, то в открытой печати на настоящий момент времени описаны несколько источников питания мощностью около 1500 Вт, заявленных как использующие технологию коммутации ZVS. Диапазон мощностей,

в котором сохраняется режим ZVS ИП, разработчиком не фиксируется; данных об ИП большей мощности не обнаружено.

Целью настоящей работы является разработка источников вторичного электропитания мощностью 2000 Вт и выше, реализующих технологию «мягкой» коммутации ZVS. В нескольких частях работы предполагается рассмотреть различные аспекты проблемы конструирования ИП, которые могут быть использованы при конструировании собственных ИП. В первой части работы выполнен анализ информационных источников по оценке современного состояния разработок в области ИП с целью определения наиболее перспективных направлений и трендов конструирования ИП.

2. Анализ информационных источников

Общий анализ. Преимущественным направлением развития ИП является т.н. «модульное» направление конструирования. Модульные ИП различаются по мощности, напряжению, выходному току и прочим электрическим параметрам и минимизируются по массо-габаритным показателям. Конструкции модульных ИП обеспечивают возможность как их индивидуальной, так и параллельной работы нескольких приборов в составе больших силовых комплексов.

В настоящее время в мире имеется большое число предприятий-разработчиков и производителей, выпускающих разнообразные ИП с широким диапазоном параметров. Особенностью выпускаемых модульных ИП является различие подходов предприятий-производителей. Например, компании Mean Well Enterprises Co. (Тайвань) [2]; TDK - Lambda (США) [3], Traco Electronic AG (Германия) [4] выпускают серии ИП с напряжением питания от 5 до 48 В и мощностью от сотен ватт до нескольких киловатт. Ряд производителей специализируется на выпуске единичных типов мощных высокоэффективных ИП ограниченного типо-номинала, например: Eltek (Норвегия) [5], Lineage Power (США) [6], Powernet (Финляндия) [7]. Вместе с тем очевидным трендом последних указанных производителей является расширение номенклатуры выпускаемых ИП как по мощности, так и по выходному напряжению.

Конструктивной особенностью встраиваемых в силовые комплексы современных модульных ИП является малая высота приборов (около 40 мм), в терминологии производителей ИП характеризуемая термином 1U Profile. Как правило, такие устройства выпускаются в составе силовых комплексов и оснащены собственными системами управления. Очевидно, снижение линейных размеров единичного ИП накладывает ряд серьёзных ограничений на использование комплектующих изделий, их компоновку внутри корпуса, приёмы отвода тепла от силовых транзисторов и диодов и т.д.

Основные параметры модульных ИП разных производителей. Планируемый к разработке ИП по конструктивным особенностям и техническим характеристикам соответствует идеологии модульных ИП. В этой связи изучение информационных источников проводилось именно в этом направлении с использованием официальных опубликованных спецификаций предприятий-разработчиков ИП.

Отметим, что состав приведённых в спецификациях параметров ИП довольно велик. Однако для понимания основных трендов развития ИП многие параметры не являются принципиально важными. Кроме того, основные тренды развития могут быть проанализированы на базе информации нескольких наиболее характерных предприятий-разработчиков и производителей ИП.

Для проведения анализа нами выделены следующие параметры ИП:

- максимальная выходная мощность ($P_{\text{вых}}$, кВт, Вт);
- максимальный выходной ток ($I_{\text{вых}}$, А);
- номинальное выходное напряжение (В);
- к.п.д. (%);
- масса (кг);
- объём (дм³).

На основании анализа этих данных рассчитывались удельные характеристики ИП:

- отношение выходной мощности к объему источника, кВт/дм³;
- отношение выходной мощности к массе источника, кВт/кг.

К сожалению, с точки зрения одного из наиболее важных параметров ИП – уровня электромагнитных излучений – информация в спецификациях ограничивается только упоминанием соответствия стандартам; в связи с этим этот параметр из анализа был исключён.

Для анализа были выбраны ИП следующих производителей (см. табл.1):

- серии PSP и RSP фирмы Mean Well Enterprises Co. (Тайвань) [2] с выходным напряжением от 5 В до 48 В и мощностью от 1 до 3 кВт;
- источники Flatpack2 (FP) фирмы Eltek [5] (Норвегия) мощностью 2 кВт на 24 В и 48 В и 3 кВт напряжением 48 В;
- серия CAR фирмы Lineage Power (США) [6] с выходным напряжением 12 В и мощностью от 0.8 до 2.5 кВт.

Источники электропитания фирмы Mean Well (далее MW). По-видимому, это предприятие на настоящий момент времени играет доминирующую роль на рынке вторичных источников питания модульного типа, закрывая диапазон напряжений от 5 до 48 В и выходной мощности от 0.5 кВт до 3.0 кВт. Кроме этого, фирма MW выпускает ИП в различном конструктивном исполнении, в том числе с 1U profile (высота ИП около 41 мм) и возможностью параллельного подключения. В табл.1 показаны некоторые примеры ИП фирмы MW серий PSP и RSP. В последних колонках табл.1 приведены удельные показатели источников питания. Можно видеть, что по отношению выходной мощности к единице объёма и выходной мощности к единице массы проанализированные ИП отличаются в разы. Отметим также, что источники питания серии RSP-1500 (выделены в таблице жирным шрифтом) на настоящий момент времени являются единственными примером ИП, заявленным фирмой MW как реализованные по технологии ZVS.

Таблица 1. Основные параметры выбранных для анализа ИП зарубежных производителей

Тип	Р _{вых} , кВт	U _{вых} , В	I _{вых} , А**	Габариты, мм	m, кг	Удельные величины	
						кВт/дм ³	кВт/кг
PSP-1000	0.9*	5; 12; 13.5; 15; 24; 27; 48	119 – 19	278×129×127	5.2	0.21	0.19
PSP-1500	1.4*	5; 12; 13.5; 15; 24; 27; 48	217 – 28	278×129×190.5	7.4	0.22	0.20
RSP-1000	1.0*	12; 15; 24; 27; 48	60 – 21	295×127×41	1.95	0.65	0.51
RSP-1500	1.5*	5; 12; 15; 24; 27; 48	240 – 32	278×127×83.5	2.6	0.51	0.58
RSP-2000	2.0*	12; 24; 48	100 – 42	295×127×41	1.95	0.97	1.02
RSP-2400	2.4*	12; 24; 48	166 – 50	278×177.8×63.5	3.3	0.76	0.72
RSP-3000	3.0*	12; 24; 48	200 – 62	278×177.8×63.5	4.0	0.96	0.75
FP2-2000	2.0	24; 48	84 – 41.7	327×109×41.5	1.9	1.35	1.05
FP2-3000	3.0	48	62.5	327×109×41.5	1.9	2.02	1.57
CAR1212	1.2	12	100	284.5×101.6×41.9	1.36	1.20	0.88
CAR1612	1.6	12	134	316.2×101.6×41.9	1.94	1.19	0.82
CAR2512	2.5	12	208	378.0×102.0×41.9	2.15	1.55	1.16
G 1600	1.6	12	133	180×150×86	2.4	0.69	0.67

Примечания:

* Величины $P_{\text{вых}}$ приведены для напряжений ИП в серии выше 24 В; при меньших выходных напряжениях для некоторых ИП семейства мощность снижается на 20 – 40 %.

** Диапазон $I_{\text{вых}}$ указан в обратном порядке для крайних значений приведенного ряда $U_{\text{вых}}$ ИП в серии.

Жирным шрифтом выделены источники питания, заявленные с использованием технологии ZVS.

Анализ приведённых в спецификациях параметров в рассматриваемых сериях ИП дал возможность выделить следующие особенности .

1. Максимальная заявленная выходная мощность ИП зависит от выходного напряжения ИП. С понижением $U_{\text{вых}}$ до 12 В и, тем более, до 5 В, параметры источников существенно ухудшаются. Так, на рис.1 можно видеть зависимость $P_{\text{вых}}$ от напряжения питания, из которой следует, что заявленная в названиях серий ИП максимальная мощность обеспечивается ИП с номинальным выходным напряжением выше 24 В.

2. В сериях источников питания имеет место зависимость к.п.д. от номинального напряжения ИП, а именно: с понижением $U_{\text{вых}}$ до 12 В и, тем более, до 5 В, к.п.д. существенно ухудшается. На рис.2 можно видеть зависимость к.п.д. от напряжения питания для проанализированных источников, из которой следует, что заявленная в названиях серий ИП к.п.д. обеспечивается ИП с номинальным напряжением выше 24 В. Сопоставление приведённых на рис.1 и рис.2 данных даёт возможность заключить, что снижение эффективной выходной мощности источников питания (выражено в отношении мощности какого-либо ИП в серии к максимальной мощности источника в серии) однозначно соответствует снижению их к.п.д., рис.3. При этом ИП серии PSP-1500 (сборные из 3-х плат по 0.5 В) и RSP-1500 (ZVS) отличаются по крутизне зависимости, а все остальные серии выглядят примерно одинаково, показывая лучшие величины к.п.д.

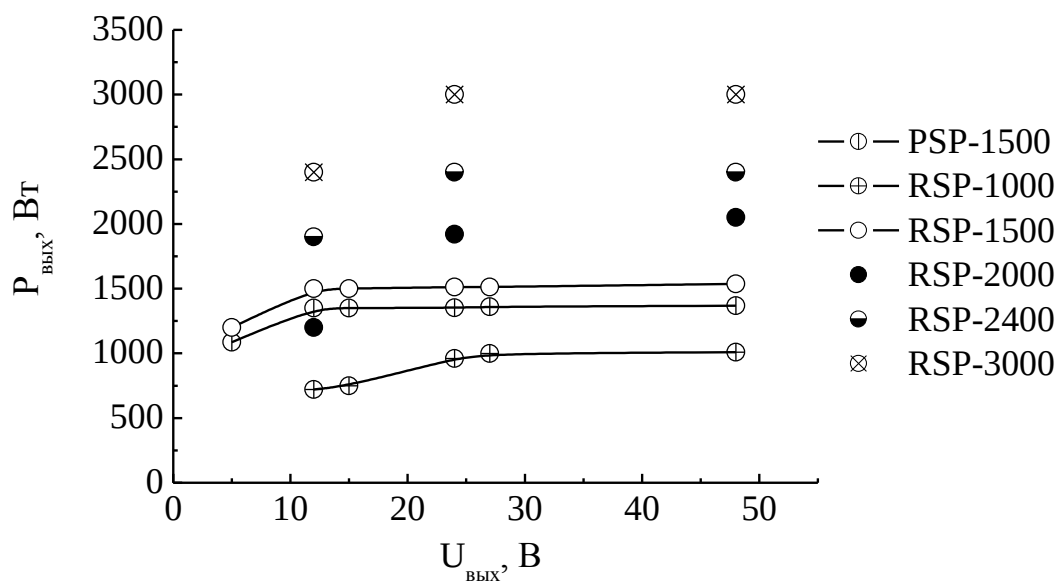


Рис.1. Зависимости выходной мощности от выходного напряжения питания AC/DC источников разработки MW

Вероятным объяснением снижения характеристик ИП при низких выходных напряжениях является увеличение относительной доли потерь в звене выходного выпрямителя

(прежде всего в диодах), при этом переход на синхронно управляемые ключи на базе MOSFET уменьшают интенсивность падения.

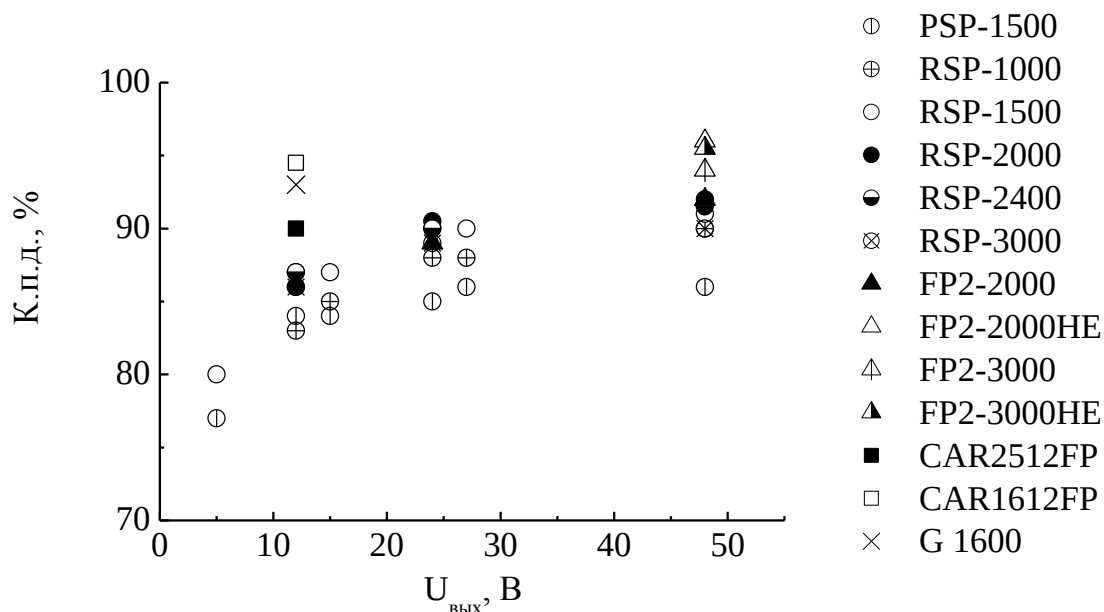


Рис.2. Зависимости к.п.д. от выходной мощности различных источников питания

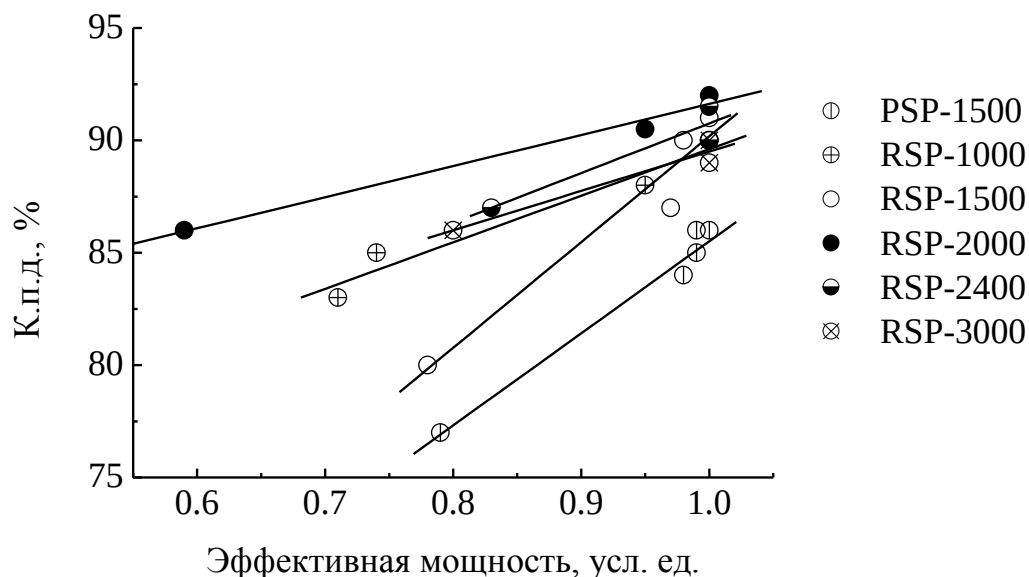


Рис.3. Соотношение эффективной мощности и к.п.д. в сериях ИП производителя MW

Источники электропитания Eltek. Данные ИП в корпусе 1U profile отличаются высокими удельными параметрами как по объёму, так и по массе, причём недавно появившаяся информация об источниках серии FP2-3000HE свидетельствует о наилучших удельных характеристиках, а также о наивысших параметрах ИП по к.п.д., см. рис.2.

Источники электропитания Lineage Power. ИП этого разработчика серии CAR в корпусе 1U profile представлены только на номинальное выходное напряжение питания 12 В и структурированы по максимальной выходной мощности (0.8, 1.2, 1.6 и 2.0 кВт), см. табл.1.

В этой серии ИП наилучшими удельными характеристиками обладает CAR2512FP (оригинальная разработка предприятия Cherokee, купленной фирмой Lineage Power). Кроме этого, ИП этого производителя отличается также максимальным к.п.д. источников, см. рис.2, достигающим 94.5 %.

Источники электропитания LEPA. ИП этого разработчика [8] заявлен как основанный на использовании технологии переключения ZVS. Данный тип ИП ориентирован на применение в компьютерах. Данных об этом источнике в спецификации очень мало. Его удельные параметры находятся на некотором среднем уровне, а к.п.д. – довольно высок, достигает 93.5 %, см. табл.1 и рис.2.

Анализ предельных параметров ИП разных производителей. При разработке источников питания необходимо оценить их предельные характеристики и, прежде всего, предельную температуру окружающей среды, при которой ИП сохраняет свои характеристики. Данные по анализируемым ИП сведены в табл.2.

Во второй колонке табл.2 приведены данные по диапазонам рабочей температуры разных ИП. Можно видеть, что наибольший рабочий диапазон температуры имеет источник Flatpack (от -40°C до $+75^{\circ}\text{C}$); диапазоны работы для остальных ИП примерно одинаковы и не ниже -20°C и выше $+60^{\circ}\text{C}$.

Таблица 2. Предельные параметры по температуре различных ИП

Тип	Диапазон рабочей температуры, $^{\circ}\text{C}$	Предельная температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$	Скорость спада выходной мощности после достижения предельной температуры, % / $^{\circ}\text{C}$	Мощность при отключении, %
PSP-1500	- 10 - + 60	+40 (5 В) +50 (12-48 В)	2.0 2.0	60 80
RSP-1000	- 20 - + 60	+50	4.0	60
RSP-1500	- 20 - + 70	+40 (5 В) +45 (12 В, 15 В) +50 (24 В - 48 В)	1.7 2.0 2.5	50 50 50
RSP-2000	- 25 - + 70	+50	2.5	50
RSP-2400	- 20 - + 70	+50	2.5	50
RSP-3000	- 20 - + 70	+50	2.5	50
FP2-2000	- 40 - + 75	Нет данных	Нет данных	Нет данных
CAR1212F P	- 10 - + 70	+ 55	2.5	Нет данных
CAR1612F P	- 10 - + 70	+ 50	2.5	Нет данных
CAR2512F P	- 10 - + 70	Нет данных	Нет данных	Нет данных
G1600	0 - +40	Нет данных	Нет данных	Нет данных

В третьей колонке табл.3 приведены данные по т.н. «предельной температуре» (T_p), смысл которой иллюстрируется типичной обобщённой зависимостью работоспособности ИП от температуры окружающей среды, приведённой на рис.4. Источники питания сохраняют свою полную работоспособность до некоторой предельной температуры T_p . При превышении этой температуры имеет место ухудшение работы ИП, их эффективность снижается до 50 % и при максимальной предельной верхней температуре $T_{p \text{ макс}}$ источник отключается.

Две следующие колонки табл.2 либо взяты из спецификаций ИП, либо рассчитаны из приведённых в спецификациях графических данных, аналогичных рис.4. Можно видеть, что величины T_p для ИП с малыми выходными напряжениями на 5°C – 10°C меньше, чем для ИП

24 В – 48 В. Рассчитанные величины скорости спада эффективности ИП приведены в третьей колонке табл.2. Можно видеть, что величина спада составляет 2.0 - 2.5 % на один градус Цельсия, что можно считать типовым значением.

Что касается защиты ИП от перегрева при работе, она обеспечивается датчиками температуры, установленными непосредственно на ключевых местах корпуса или критичных компонентов. Для проанализированных источников питания температура срабатывания составляет около 90 °С.

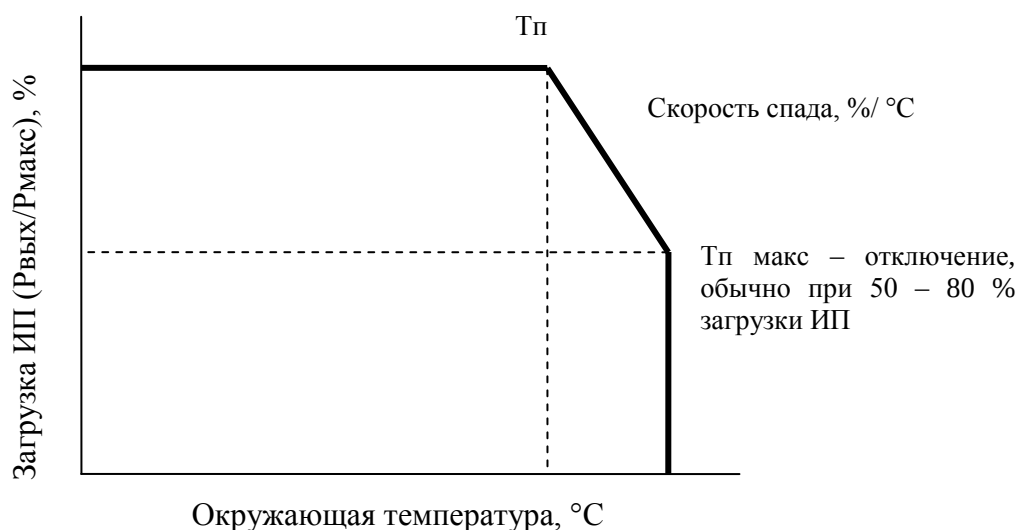


Рис.4. Обобщённая зависимость работоспособности ИП от температуры окружающей среды

Основные выводы по результатам анализа ИП разных производителей. Специализированные ИП показывают существенно, в 1.3 – 2.0 раза, лучшие удельные характеристики ИП, а также к.п.д. Вероятно, это обусловлено лучшей оптимизацией как конструкции, так и применяемых комплектующих изделий и используемых технологий. В целом, низковольтные ИП, выпускаемые в рамках серий с фиксированной заявленной мощностью и различными номинальными напряжениями (по сути – построенными в рамках одного схемотехнического решения в одном конструктиве ИП), проявляют худшие характеристики. По-видимому, для увеличения энергетических характеристик низковольтных ИП их схемотехнику и, соответственно, выбор силовых компонентов необходимо оптимизировать.

Характеристика предельных режимов работы ИП по совокупности проанализированных данных может быть представлена следующим образом: предельная температура работы ИП при максимальной эффективности составляет 50 °С, после чего допускается снижение эффективности пропорционально коэффициенту 2.0-2.5 % / °С примерно до максимальной предельной температуры 70 °С, при которой ИП должен отключаться.

3. Экспериментальная проверка основных параметров

источников питания

Одной из важнейших задач при анализе характеристик образцов-аналогов и разрабатываемых ИП является адекватность измерения основных характеристик, а именно: выходного тока и напряжения, а также расчёта к.п.д. в диапазоне различных нагрузок на ИП. Исходя из приведенных в спецификациях и табл.1 характеристик ИП был разработан измерительный стенд, рис.5, состав которого приведён в табл.3 (строки 1 – 6). При измерении выходной характеристики ИП на участке малых токов (до 30 А), измерителем тока являлся вольтамперметр М2044, работающий в режиме амперметра. Измерение больших токов (от 30 А до 100 А) проводилось посредством измерения падения напряжения на токовом шунте 75ШСММ3-100-05 вольтамперметром М2011 в режиме милливольтметра.

Таблица 3. Приборы и устройства измерительного стенда для измерений характеристик ИП и уровня электромагнитных помех

№	Наименование	Модель, номер	Производитель
1	Автоматический стабилизатор напряжения переменного тока	АСН-5000/1-ЭМ	«РЕСАНТА»
2	Коммутационные ключи	ВА47-63 С16	«ЕКФ»
3	Измеритель мощности однофазный	GPM-8212	GWinSTEK
4	Вольтамперметр	M2044	Стандартный
5	Реостат балластный	РБ302 У2	«ЭСВА», Калининград
6	Шунт токовый	75ШСММ3-100-05	Стандартный
7	Антенна измерительная дипольная	АИ5-1	ЦМО «ЗЕЛПРИБОР»
8	Анализатор спектра цифровой	АКС-1301	«АКТАКОМ»

Данные приборы и схемы измерений с использованием общепринятых методик измерения характеристик источников питания дали возможность провести оценку основных характеристик некоторых ИП, приведённых в табл.1.

Из полученных при исследованиях данных были рассчитаны величины к.п.д. для всех исследованных образцов ИП и построен график зависимости эффективности ИП от его загрузки, рис. 6. По результатам измерений были сделаны следующие выводы:

- данные замеров соответствуют заявляемым фирмами параметрам ИП;
- стабильные значения к.п.д. для большинства исследованных источников наблюдаются при загрузке ИП (отношение фактической мощности к максимальной) примерно выше 20 – 25 %.

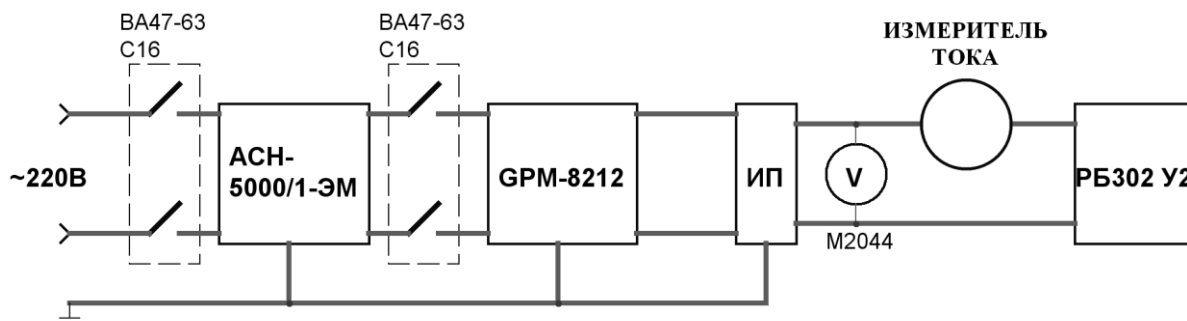


Рис.5. Схема измерений основных характеристик ИП

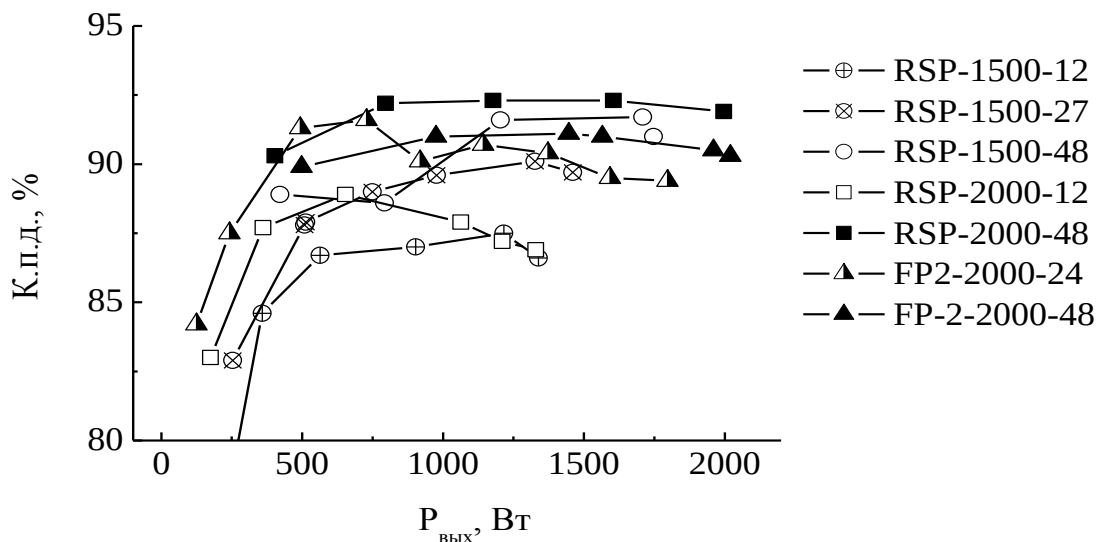


Рис.6. Данные экспериментальных измерений основных характеристик образцов ИП

4. Анализ электромагнитных помех модульных источников питания

С помощью разработанного измерительного стенда, дополнительно оснащённого приборами, приведёнными в строках 7, 8 табл.3, был оценён уровень электромагнитных помех некоторых наиболее интересных ИП в диапазоне частот 0.01 – 1000 МГц. Измерения проводились в полностью идентичных условиях, антенна располагалась на расстоянии 1 м от ИП. Приведённые на рис.5 данные показывают некоторые различия исследованных образцов. Для сравнения были выбраны ИП с выходным напряжением 48 В в режиме работы, близким к номинальной мощности. Причём для возможности сопоставления результатов ИП RSP-1500-48 работал в режиме небольшой перегрузки (в пределах, заявленных в спецификации этого ИП) при выходной мощности 1600 Вт. На наш взгляд, интересным является заметное различие в помехах ИП разработчика MW с использованием технологии ZVS (RSP-1500-48) и без её использования (RSP-2000-48).

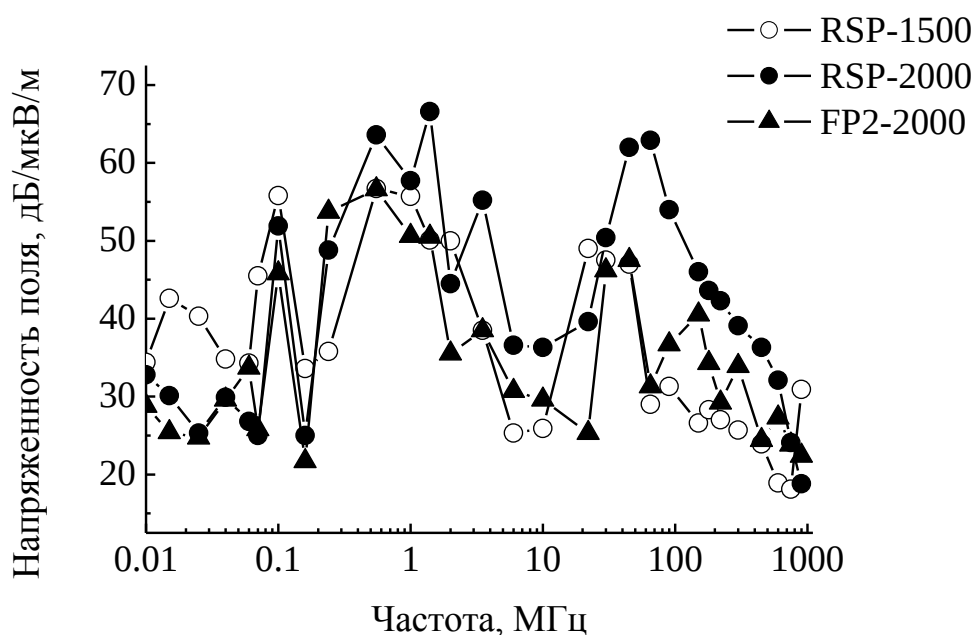


Рис.7. Данные экспериментальной оценки уровня электромагнитных излучений образцов ИП

Видно, что «новая технология ZVS» (терминология производителя MW в спецификации), позволяет снизить электромагнитное излучение ИП. Особенно хорошо технология «мягкой» коммутации проявила себя на высоких частотах (более 1 – 10 МГц), где снижение напряжённости поля радиопомех по сравнению с ИП RSP-2000-48 достигает 10 - 20 дБ/мкВ/м (то есть до 10 раз меньше). Общий фон электромагнитного излучения ИП RSP-1500-48 ниже, не превышает 60 дБ/мкВ/м. Учитывая разные габариты ИП, это позволяет предположить, что серия RSP-2000 использует в своей основе иные схемотехнические решения (возможно, отличные от технологии ZVS и «мягкой» коммутации вообще).

Специализированный ИП Flatpack2 также не создаёт электромагнитное излучение выше уровня 60 дБ/мкВ/м, что говорит о рациональном подходе к экранированию ИП и выбору схемотехнических решений, обеспечивающих соответствие требованиям, предъявляемым к данному ИП.

5. Заключение

В первой части работы проведён анализ информационных источников по оценке современного состояния разработок в области ИП с целью определения наиболее перспективных направлений развития модульных ИП. Анализ позволил очертить ряд принципиальных трендов в параметрах ИП, которые необходимо принимать во внимание при разработке модульных мощных высокоэффективных источников вторичного электропитания с высоким к.п.д. Проведённый анализ даёт возможность обоснованно сформулировать перечень основных параметров источников питания на выходную мощность 2000 Вт и выходные напряжения 12 В и 48 В, в том числе требования к работоспособности источников питания при повышенных температурах окружающей среды.

Анализ показал, что в настоящее время очень мало данных об источниках питания, реализующих технологию «мягкой» коммутации. Прежде всего, это относится к технологии ZVS, представляющей наиболее перспективной для реализации мощных источников питания с низким уровнем электромагнитных помех. В следующей части работы будет проведён анализ схемотехнических решений ИП, в том числе работы источников питания с использованием технологии ZVS.

Литература

1. Mohan N., Undeland T.M., Robbins W. P. In «Power electronics. Converters, applications and design» / John Wiley and Sons, Inc., 2003. P.249-298.
2. Сайт компании MEAN WELL Enterprises Co., Ltd. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meanwell.com/webnet/search/seriessearch.html> (дата обращения: 01.01.2012).
3. Сайт компании TDK-Lambda Americas Inc. [Электронный ресурс]. URL: http://us.tdk-lambda.com/lp/products/product_index.htm#acdc (дата обращения: 17.02.2009).
4. Сайт компании Traco Electronic AG. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tracopower.com/products/ac-dc-power-supplies/enclosed-metal-case/> (дата обращения: 01.05.2012).
5. Сайт компании Eltek [Электронный ресурс]. URL: http://www.eltek.com/wip4/products_region.epl?cat=24671&k1=&k2=&k3=&k4=&show_all=1 (дата обращения: 14.09.2012).
6. Сайт компании Lineage Power [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lineagepower.com/oem/> (дата обращения: 14.09.2012).
7. Сайт компании Powernet [Электронный ресурс]. URL: http://www.powernet.fi/ACDC_DCDC.html (дата обращения: 06.03.2009).
8. Сайт компании LEPA [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lepatek.eu/g1600/> (дата обращения: 05.07.2012).

Статья поступила в редакцию 27.09.2012 г.

Васильев Владислав Юрьевич

д.х.н., зам. директора по науке ООО «РАМИТ» (630084, г. Новосибирск, ул. Авиастроителей 8-33), тел.(383)-2655821, профессор кафедры технической электроники СибГУТИ, e-mail: vladislavvasilyev@gmail.com.

Козляев Юрий Дмитриевич

Научный консультант ООО «РАМИТ», (630084, г. Новосибирск, ул. Авиастроителей 8-33), тел.(383)-2655821, к.т.н., профессор кафедры беспроводных информационных систем и сетей (цикл электропитания устройств связи) СибГУТИ.

Пичугин Игорь Валентинович

Инженер-конструктор ООО «СибИС ООО «РАМИТ» (630084, г. Новосибирск, ул. Авиастроителей 8-33), тел.(383)-2655821.

Семенов Юрий Евгеньевич

ведущий-инженер ООО «СибИС» (630049, Новосибирск, ул. Красный проспект 220, корп.2, офис 300) тел. (383) 2-277-639.

Гордиенко Сергей Михайлович

Инженер-конструктор ООО «СибИС» (630049, Новосибирск, ул. Красный проспект 220, корп.2, офис 300) тел. (383) 2-277-639.

Антонов Андрей Андреевич

инженер-конструктор ООО «РАМИТ» (630084, г. Новосибирск, ул. Авиастроителей 8-33), тел.(383)-2655821.

**Sources of Secondary Power Supply Development Implemented via Usage of «Soft Switching»
Part 1. Analysis of Information Materials and Samples of Power Supply**

V.U. Vasilev, U.D. Kozlyayev, I.V. Pichugin, U. E. Semenov, S. M. Gordienko, A.A. Antonov.

The aim of this paper is to develop sources of secondary power supply 200watts, implementing the technology of «soft switching» Zero Voltage Switch (ZVS). This paper consists of several parts addressing various aspects of modular power supplies construction. In the first part of the paper the results of the analysis of information sources and evaluation of the most important parameters of some foreign modular power supplies are presented.

Keywords: AC/DC modular power supplies, «soft switching», Zero Voltage Switch. ZVS, electro-magnetic interference.