

Андрей Самоделов (г. Москва)

## СИЛОВАЯ ЧАСТЬ: АЛЮМИНИЕВЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ VISHAY ДЛЯ ТРАНСПОРТА И НЕФТЕДОБЫЧИ



**Системы управления электроприводами, инверторы солнечных батарей и электростанций на возобновляемых источниках энергии, системы электропривода (например, для железнодорожного транспорта или гибридных автомобилей), источники бесперебойного питания и силовые импульсные устройства – все это сферы применения алюминиевых электролитических конденсаторов компании Vishay. Критерии выбора этих изделий для каждой из перечисленных сфер рассмотрены в статье.**

**Н**адежность работы силовых устройств в немалой степени зависит от качества используемых компонентов. В первую очередь это относится к фильтровым и накопительным конденсаторам, которые должны обладать высокой удельной емкостью, малыми утечками, большим допустимым импульсным током, способностью длительной работы при резких скачках напряжения, широким температурным диапазоном и большим сроком службы. Всем этим требованиям в полной мере отвечает продукция компании Vishay – ведущего поставщика пассивных электронных компонентов.

Алюминиевые электролитические конденсаторы чаще всего выпускаются в трех конструктивных исполнениях: аксиальном, радиальном под печатный монтаж и радиальном с резьбовыми контактами. В силовых приложениях чаще всего используются радиальные конденсаторы. Это связано с тем, они обеспечивают наилучшую эффективность отвода тепла от корпуса конденсатора.

Чтобы максимально увеличить срок службы конденсаторов, их следует располагать в наименее нагреваемой части печатной платы или устройства. Принудительное воздушное охлаждение и/или установка на радиатор также могут способствовать увеличению срока службы почти в четыре раза, особенно в комбинации с усиленной конструкцией отрицательного электрода (катода).

Последовательное и параллельное соединение конденсаторов является стандартной техникой, которая позволяет использовать их при напряжениях до 1200 В. В таких случаях необходимо уделять особое внимание правильному распределению напряжения между по-

следовательно соединенными конденсаторами.

Для монтажа на печатные платы компания Vishay предлагает двух-, трех- или четырехвыводные радиальные конденсаторы с высокой удельной емкостью, рассчитанные на большой импульсный ток и большой срок эксплуатации.

Для промышленных приложений повышенной мощности выпускаются серии конденсаторов с резьбовыми выводами (исполнение ST) и с болтом на корпусе для крепления (серии ST BOLT, STB), некоторые из которых имеют корпус увеличенного размера. Паразитная индуктивность конденсатора (ESL) может способствовать возникновению переходных процессов. Для конденсаторов большого размера с резьбовыми выводами значение ESL не превышает 13 нГ.

В таблицах 1 и 2 приведены серии алюминиевых конденсаторов компании Vishay, наиболее часто используемые в силовых приложениях.

Рассмотрим принципы выбора конденсаторов для конкретных типов приложений.

### Конденсаторы для систем управления электродвигателями (драйверов)

Драйверы электродвигателей используются для управления частотой вращения вала электродвигателей различных типов во всех приложениях, от малых насосов и моторов для бытовых стиральных машин и систем центрального отопления и кондиционеров воздуха до огромных электродвигателей, которые применяются в промышленных устройствах (рис. 1).

### Выбор наилучших конденсаторов для систем управления электродвигателями

Конденсаторы с алюминиевыми обкладками часто используются в цепях постоянного тока систем управления как однофазными, так и трехфазными электродвигателями. Алюминиевые электролитические конденсаторы используются в качестве буферных накопителей энергии, чтобы обеспечить устойчивую работу инвертора, управляющего электродвигателем, в режиме переключения. Кроме того, конденсаторы выполняют функцию фильтра, препятствующего проникновению высокочастотных помех, возникающих при переключении инвертора, в силовую сеть.

Ключевым критерием при выборе электролитических конденсаторов явля-

Таблица 1. Конденсаторы для печатного монтажа с радиальным расположением выводов

Серия	Отличительные особенности
157 PUM-SI	Стандартная, 85°C
159 PUL-SI	Стандартная, 105°C
193 PUR-SI	Низкое значение ESR, большой ток пульсаций, 105°C
198 PHR-SI	Большой ток пульсаций, экстремально большой срок службы, 85°C
096 PLL-4TSI	Четырехвыводные, 85°C

Таблица 2. Конденсаторы с резьбовыми выводами для силовых промышленных приложений

Серия	Отличительные особенности
102 PHR-ST/STB	Большой срок службы, большой ток пульсаций, 85°C
104 PHL-ST/STB	Большой ток пульсаций, 105°C
500 PGP	Высокое соотношение C/V, 85°C

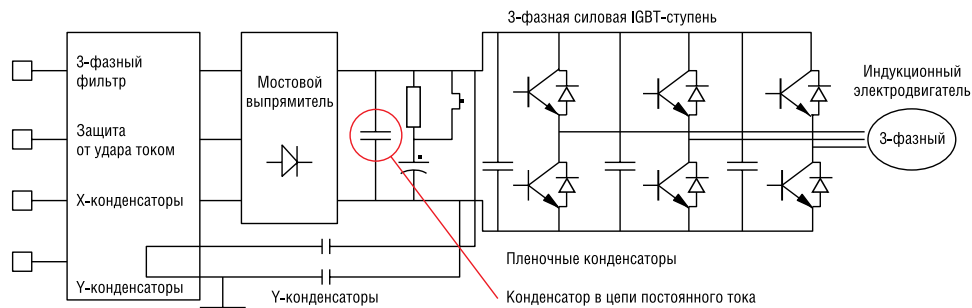


Рис. 1. Типовая блок-схема системы управления электродвигателем

ется величина пульсаций тока. Пульсации тока содержат две компоненты:

- Низкочастотные пульсации (50...200 Гц), возникающие при выпрямлении входного переменного напряжения.

- Высокочастотные пульсации, обусловленные работой инвертора и лежащие обычно в диапазоне частот 8...20 кГц.

Для нормальной работы драйвера необходимо правильно выбирать минимальную емкость используемых конденсаторов.

**Каков же будет выбор?**

Для использования в системах управления электродвигателями компания Vishay рекомендует использовать конденсаторы серии 198 PHR-SI для печатного монтажа и серии 102 PHR-ST с резьбовыми выводами. Пример выбора конденсаторов показан в таблицах 3 и 4.

**Конденсаторы для инверторов солнечных батарей**

С 2005 года наметился глобальный рост интереса к различным устройствам

и технологиям получения электроэнергии из возобновляемых источников, в особенности — к использованию солнечных батарей. Наиболее важным блоком устройств преобразования солнечной энергии являются преобразователи (инверторы). Инверторы используются для высокоэффективного преобразования напряжения постоянного тока, вырабатываемого панелями солнечных батарей, в обычное напряжение переменного тока, пригодное для подачи в электрическую сеть или для питания бытовой техники. Инверторы для солнечных батарей выпускаются в широком диапазоне рабочих мощностей. В зависимости от общей мощности системы преобразователи делятся на: одиночные инверторы для бытового применения мощностью до 3 кВт, сдвоенные линейные инверторы мощностью до 10 кВт и мощные центральные инверторы мощностью до 500 кВт (рис. 2).

**Выбор наилучшего конденсатора для инверторов солнечных батарей**

Силовые конденсаторы используются в цепях постоянного тока инверторов солнечных электростанций для создания запаса энергии, достаточного для плавной

работы DC/AC-преобразователя. В зависимости от диапазона мощностей, максимально допустимого напряжения, доступного объема, требований к сроку службы и стоимости решения могут использоваться либо алюминиевые, либо силовые пленочные конденсаторы. Компания Vishay может предложить оба типа конденсаторов для данного применения.

Правильность выбора алюминиевых конденсаторов зависит от того, какой из двух главных режимов работы используется:

**Нормальный режим.** В данном режиме система отслеживания точки максимальной мощности (MPP) будет поддерживать пониженное напряжение на конденсаторах в комбинации с довольно большим уровнем пульсаций тока и повышенной температурой внутри корпуса инвертора.

**Автономный режим.** В этом режиме солнечные батареи отключены от сети, и напряжение на конденсаторах может вырасти до максимального выходного значения, достигаемого солнечной батареей. В таком режиме на конденсатор не воздействуют импульсные токи, и температура в корпусе инвертора также уменьшена. Этот режим работы определяет требования к рабочему напряжению конденсатора в условиях слабой или средней нагрузки при средней температуре внутри корпуса инвертора.

Срок службы конденсаторов определяется, в основном, значением импульсного тока и температурой внутри корпуса в нормальном режиме работы.

Типичное выходное напряжение для панелей солнечных батарей составляет 600, 800 и 1000 В. Для перекрытия такого диапазона напряжений необходимо

Таблица 3. Конденсаторы серии 198 PHR-SI для систем управления ЭД

Электрические характеристики и информация для заказа конденсаторов 198 серии											
U <sub>R</sub> , В	C <sub>R</sub> @100 Гц, мкФ	Размер корпуса D x L, мм	I <sub>R</sub> @100 Гц 85°C, А	I <sub>L1</sub> @1 мин, мА	I <sub>L5</sub> @5 мин, мА	ESR @100 Гц, мОм		Z @10 кГц, мОм		Код для заказа по каталогу MAL2198...	
						Тип.	Макс.	Тип.	Макс.	2-выв.	3-выв.
400	470	35 x 45	2,72	1132	380	129	203	80	153	36471E3	16471E3
450	560	35 x 60	3,10	1516	508	100	171	60	120	57561E3	77561E3

Таблица 4. Конденсаторы серии 102 PHR-ST для систем управления ЭД

Электрические характеристики и информация для заказа конденсаторов 102 серии											
U <sub>R</sub> , В	C <sub>R</sub> @100 Гц, мкФ	Размер корпуса D x L, мм	I <sub>R</sub> @100 Гц 85°C, А	I <sub>L5</sub> @5 мин, мА	ESR Макс. @100 Гц, мОм	Z Макс. @20 кГц, мОм	Код для заказа по каталогу				
							HIGH POST M5 DISC		HIGH CURRENT M6 DISC		
							Исполнение ST MAL2102...	Исполнение ST BOLT MAL2102...	Исполнение ST MAL2102...	Исполнение ST BOLT MAL2102...	
250	4700	76 x 105	15,3	2,35	29	19	23472E3	63472E3	43472E3	83472E3	
400	3300	76 x 105	13,4	2,64	40	27	26332E3	66332E3	46332E3	86332E3	
450	5600	76 x 146	17,3	5,04	23	15	17562E3	57562E3	37562E3	77562E3	

Таблица 5. Варианты выбора конденсаторов для инверторов солнечных батарей

Серия	Емкость, мкФ	Размер D*H, мм	U <sub>R</sub> , В	U <sub>C</sub> , В	I <sub>R</sub> @100 Гц, А	Срок службы, час	
						U <sub>R</sub> , 85°C	U <sub>C</sub> , I <sub>R</sub> , 105°C
193 PUR-SI	330	30 x 50	500	400	2,3	2 000	10 000
157 PUM-SI	680	35 x 60	500	420	3,2	1 000	7 000
095 PLL-4TSI	1000	45 x 70	500	450	3,8	5 000	5 000
159 PUL-SI	1200	35 x 80	320	—	5,1	—	7 000
104 PHL-ST	4700	76 x 175	500	450	12,1	20 000	10 000

последовательное соединение двух или более алюминиевых конденсаторов. Точное распределение падения напряжения жизненно важно для нормальной работы конденсаторов, но может вызвать значительное падение КПД устройства при использовании, например, выравнивающих резисторов.

Следующим важным параметром при выборе конденсаторов является общая емкость, которая должна быть достаточной для обеспечения плавной работы преобразователя.

**Каков же будет выбор?**

Для работы в инверторах солнечных батарей малой мощности компания Vishay предлагает двух-, трех- или четырехвыводные конденсаторы для печатного монтажа с размером корпуса от 30x40 мм до 45x100 мм. Для центральных инверторов можно использовать конденсаторы серии 104 PHL-ST с резьбовыми выводами размером до 90x220 мм. Пример выбора конденсаторов показан в таблице 5.

**Конденсаторы для тяговых приложений**

Тяга – это общий термин для обозначения приводов в поездах или железнодорожном подвижном составе. В данную прикладную категорию мож-

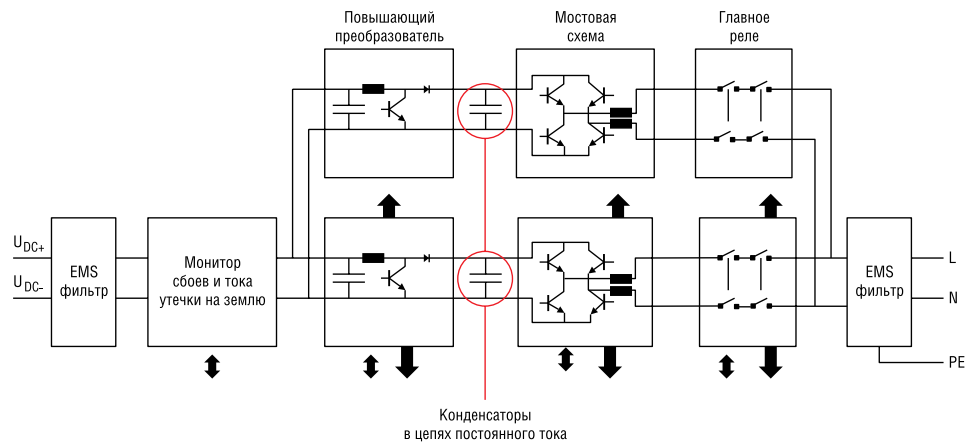


Рис. 2. Типовая блок-схема инвертора для солнечной батареи

но включить как системы электропривода, так и электрические системы, обеспечивающие торможение, освещение и электропитание. Типовая блок-схема тягового приложения аналогична схеме, показанной на рисунке 1.

**Выбор наилучших конденсаторов для тяговых приложений**

Алюминиевые конденсаторы используются в двух главных областях тяговых приложений:

- В цепях постоянного тока систем управления приводами на базе больших электродвигателей в подвижном составе;

- В цепях постоянного тока во вспомогательных источниках питания подвижного состава.

В обоих случаях конденсаторы используются как в качестве энергетического буфера для стабилизации работы импульсных инверторов, управляющих большими электродвигателями, или вспомогательных силовых систем, так и в качестве фильтра для предотвращения проникновения высокочастотных помех, вызванных работой мощных ключей, в питающую сеть.

Ключевым критерием выбора конденсаторов будет величина высоко-

Таблица 6. Конденсаторы серии 102 PHR-ST для тяговых приложений

Электрические характеристики и информация для заказа конденсаторов 102 серии; 85°C – 10 000 час											
U <sub>R</sub> , В	C <sub>R</sub> @100 Гц, мкФ	Размер корпуса D x L, мм	I <sub>R</sub> @100 Гц 85°C, А	I <sub>L5</sub> @5 мин, мА	ESR Макс. @100 Гц, мОм	Z Макс. @20 кГц, мОм	Код для заказа по каталогу				
							HIGH POST M5 DISC		HIGH CURRENT M6 DISC		
							Исполнение ST MAL2102...	Исполнение ST BOLT MAL2102...	Исполнение ST MAL2102...	Исполнение ST BOLT MAL2102...	
350	15 000	90 x 220	31,2	10,5	10	8	—	—	45153E3	85153E3	
400	10 000	76 x 220	22,1	8,0	14	11	16103E3	56103E3	36103E3	76103E3	

Таблица 7. Конденсаторы серии 104 PHL-ST для тяговых приложений

Электрические характеристики и информация для заказа конденсаторов 104 серии; 105°C – 5 000 час											
U <sub>R</sub> , В	C <sub>R</sub> @100 Гц, мкФ	Размер корпуса D x L, мм	I <sub>R</sub> @100 Гц 85°C, А	I <sub>L5</sub> @5 мин, мА	ESR Макс. @100 Гц, мОм	Z Макс. @20 кГц, мОм	Код для заказа по каталогу				
							HIGH POST M5 DISC		HIGH CURRENT M6 DISC		
							Исполнение ST MAL2104...	Исполнение ST BOLT MAL2104...	Исполнение ST MAL2104...	Исполнение ST BOLT MAL2104...	
350	15 000	90 x 220	25,6	10,5	13	12	—	—	45153E3	85153E3	
400	10 000	90 x 220	22,1	8,0	17	14	—	—	46103E3	86103E3	

Таблица 8. Конденсаторы серии 198 PHR-SI для ИБП

Электрические характеристики и информация для заказа конденсаторов 198 серии; 85°C											
U <sub>R</sub> , В	C <sub>R</sub> @100 Гц, мкФ	Размер корпуса D x L, мм	I <sub>R</sub> @100 Гц 85°C, А	I <sub>L1</sub> @1 мин, мА	I <sub>L5</sub> @5 мин, мА	ESR @100 Гц, мОм		Z @10 кГц, мОм		Код для заказа по каталогу MAL2198...	
						Тип.	Макс.	Тип.	Макс.	2-выв.	3-выв.
400	470	35 x 45	2,72	1132	380	129	203	80	153	36471E3	16471E3
450	560	35 x 60	3,10	1516	508	100	171	60	120	57561E3	77561E3

Таблица 9. Конденсаторы серии 102 PHR-ST для ИБП

Электрические характеристики и информация для заказа конденсаторов 102 серии; 85°C – 10 000 час											
U <sub>R</sub> , В	C <sub>R</sub> @100 Гц, мкФ	Размер корпуса D x L, мм	I <sub>R</sub> @100 Гц 85°C, А	I <sub>L5</sub> @5 мин, мА	ESR Макс. @100 Гц, мОм	Z Макс. @20 кГц, мОм	Код для заказа по каталогу				
							HIGH POST M5 DISC		HIGH CURRENT M6 DISC		
							Исполнение ST MAL2102...	Исполнение ST BOLT MAL2102...	Исполнение ST MAL2102...	Исполнение ST BOLT MAL2102...	
250	4700	76 x 105	15,3	2,35	29	19	23472E3	63472E3	43472E3	83472E3	
400	3300	76 x 105	13,4	2,64	40	27	26332E3	66332E3	46332E3	86332E3	
450	5600	76 x 146	17,3	5,04	23	15	17562E3	57562E3	37562E3	77562E3	

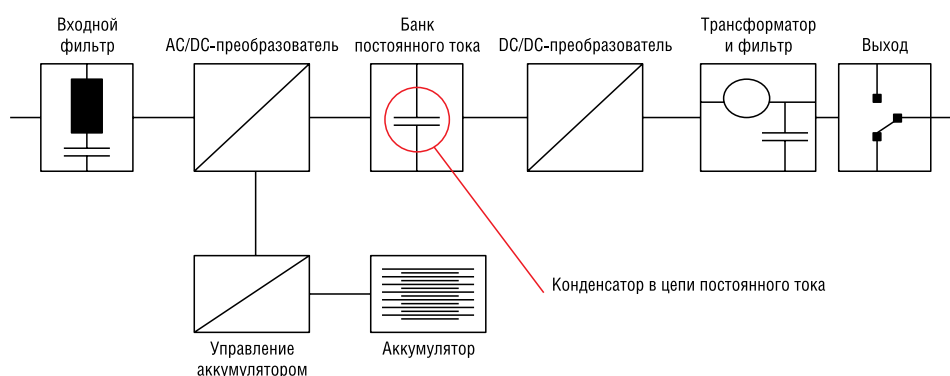


Рис. 3. Типовая блок-схема источника бесперебойного питания

частотных пульсаций тока с частотой 8...20 кГц, создаваемых инвертором.

Следует выбирать значение емкости, обеспечивающее нормальную работу драйвера. Паразитная индуктивность (ESL) может привести к возникновению переходных процессов. Для конденсаторов с резьбовыми выводами значение ESL не превышает 13 нГ.

При напряжении до 1200 В можно последовательно соединить три конденсатора одинакового номинала, чтобы обеспечить равное падение напряжения на них. При более высоких значениях напряжения и жестких режимах эксплу-

атации выравнивание напряжения следует осуществлять с помощью пленочных резисторов, также выпускаемых Vishay.

**Каков же будет выбор?**

Для использования в приводах подвижного состава компания Vishay рекомендует использовать конденсаторы серий 102 PHR-ST или 104 PHL-ST с резьбовыми выводами и усиленной конструкцией отрицательного электрода для лучшего охлаждения. Пример выбора конденсаторов показан в таблицах 6 и 7.

**Конденсаторы для источников бесперебойного питания (ИБП – UPS)**

Источники бесперебойного питания (ИБП, UPS) используются для поддержания питания нагрузки во время коротких отключений электроэнергии. ИБП бывают оффлайновые и онлайн-вые, и могут отличаться по максимальной мощности нагрузки и времени автономной работы (рис. 3).

**Выбор лучшего конденсатора для ИБП**

Алюминиевые конденсаторы идеально подходят для использования в цепях постоянного тока ИБП любой системы. Они используются как энергетический буфер для выходного DC/AC-преобразователя в момент переключения ИБП из режима работы от сети в режим работы от аккумуляторов. Кроме того, конденсаторы работают как фильтр, препятствующий проникновению высокочастотных помех от преобразователя в питающую сеть.

Ключевым параметром при выборе конденсаторов является предельно допустимая величина пульсаций тока, которые состоят из двух компонент: низкочастотных пульсаций (50...200 Гц),

Таблица 10. Выбор конденсаторов для силовых импульсных устройств

Серия	Исполнение	U <sub>R</sub> , В	C <sub>ap</sub> , мкФ	Размер D x H, мм	Срок службы при 85°C, час
157 PUM-SI	Радиальное	300	1 000	35 x 50	5 000
159 PUL-SI	Радиальное	450	560	35 x 60	5 000
102 PHR-ST	С резьбовыми выводами	350	15 000	90 x 220	10 000
102 PHR-ST	С резьбовыми выводами	400	10 000	76 x 220	10 000
500 PGP-ST	С резьбовыми выводами	450	16 000	90 x 220	2 000

связанных с выпрямлением входного напряжения, и высокочастотных (10...40 кГц) помех, вызванных работой DC/AC-преобразователя.

Желательно вычислить минимальную емкость конденсатора, гарантирующую устойчивую работу устройства.

При последовательном соединении конденсаторов в ИБП необходимо позаботиться о правильном распределении падения напряжения на них, чтобы значительно не уменьшить КПД.

### Каков же будет выбор?

Для использования компания Vishay рекомендует использовать конденсаторы серии 198 PHR-SI для печатного монтажа в источниках бесперебойного питания небольшой мощности, и серии 102 PHR-ST с резьбовыми выводами — в больших промышленных установках. Пример выбора конденсаторов показан в таблице 8 и 9.

### Конденсаторы для силовых импульсных устройств

Силовыми импульсными приложениями называются приложения, в которых энергопотребление имеет форму короткого импульса вместо плоского профиля. Хорошим примером таких приложений может служить сварочное оборудование, рентгеновские установки и высокочастотные плазменные резаки.

### Выбор наилучшего конденсатора для импульсного силового устройства

Алюминиевые конденсаторы идеальны для использования в качестве энергетических буферов, которые имеют повышенную энергетическую отдачу, способствующую выполнению главной функции приложения.

Основным параметром в таких приложениях является минимальная емкость электролитического конденсатора, определяющая амплитуду импульса энергии, которую сможет отдать приложение.

Вторым важным параметром является паразитная индуктивность конденсатора (ESL), большие значения которой могут вызвать переходные процессы. Для конденсаторов с резьбовыми выводами значение ESL не превышает 13 нГ.

Кроме того, следует позаботиться о том, чтобы напряжение на конденсаторе не превышало предельно допустимое значение.

Работа в режиме полного разряда требует использования специальной конструкции конденсатора, в то время как разряд до 30...40% от максимального напряжения может значительно продлить его срок службы.

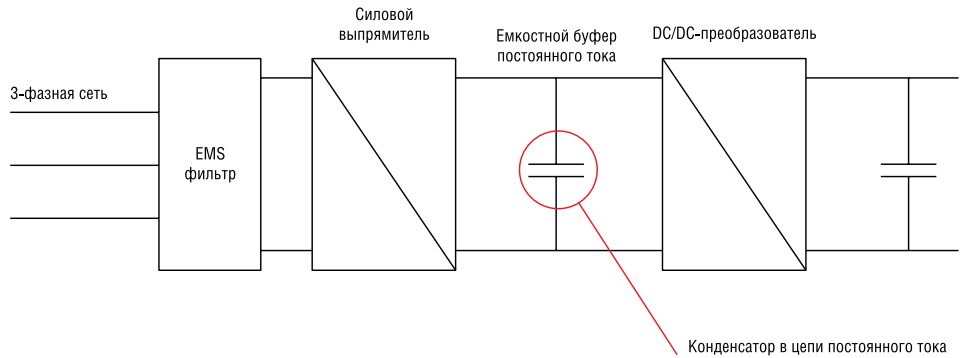


Рис. 4. Типовая блок-схема импульсного силового устройства

### Каков же будет выбор?

Для высоковольтных промышленных приложений, таких как профессиональная сварка, высокочастотные плазменные резаки и рентгеновское оборудование, рекомендуется использовать алюминиевые конденсаторы с резьбовыми выводами в больших корпусах, имеющие усиленную конструкцию отрицательного электрода. Пример выбора конденсаторов показан в таблице 10.

### Заключение

Хочется отметить, что широчайшая номенклатура пассивных компонентов

компании Vishay, в том числе и алюминиевых конденсаторов, рассмотренных в данной статье, способна удовлетворить самым взыскательным требованиям разработчика. Компания постоянно следит за высочайшим качеством своих изделий и в минимальные сроки реагирует на появление на рынке новых приложений, требующих применения пассивных компонентов повышенной надежности.

**Получение технической информации,  
заказ образцов, поставка –  
e-mail: [discret.vesti@compel.ru](mailto:discret.vesti@compel.ru)**

## ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

### Vishay – необходимое условие качества

- Широкий выбор емкостей и напряжений
- Высокие показатели надежности

Промышленные поставки • Предоставление образцов • Техническая поддержка

Москва  
Тел: (495) 995-0901  
Факс: (495) 995-0902

Санкт-Петербург  
Тел: (812) 327-9404  
Факс: (812) 327-9403

[www.compel.ru](http://www.compel.ru)