

# СИЛОВЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ КОМПАНИИ DUCATI ENERGIA

И.Романова

Итальянская компания Ducati была основана братьями Ducati в 1926 году. Двадцать два года спустя она была разделена – на Ducati Elettrotecnica и Ducati Meccanica (сегодня Ducati Motor). Современная Ducati Energia организована в 1985 путем слияния Ducati Elettrotecnica и Zanussi Elettromeccanica, и сегодня это крупная компания, уверенно зарекомендовавшая себя на рынке конденсаторов. Основная ее продукция – силовые конденсаторы переменного и постоянного тока для применения в схемах пуска электродвигателей, для компенсации реактивной мощности в энергетических установках, для мощных фильтров, резонансных и импульсных устройств.

Главное отличие силовых конденсаторов заключается в том, что через них протекают относительно большие токи, которые даже при малых диэлектрических потерях ведут к значительному разогреву. Важным критерием при выборе конденсаторов и проектировании устройств на их основе является соответствие свойств диэлектрика и электродов поставленной задаче, возможность работы в широком температурном диапазоне и в условиях высоких импульсных кратковременных токов. Также очень важно знать величину отклонения от номинальных значений параметров под влиянием внешних воздействий. Эти факторы прежде всего

определяются диэлектриком самого силового конденсатора.

В качестве диэлектрика применяют полимерные пленки и пропитанную конденсаторную бумагу. Наиболее важные характеристики конденсаторной бумаги – это ее средняя толщина (от 4 до 30 мкм), плотность, угол диэлектрических потерь и электрическая прочность, которая напрямую зависит от материала пропитки. В качестве диэлектрика для силовых конденсаторов повышенной и промышленной частоты широко используют полипропиленовую пленку, а в импульсных электрических силовых конденсаторах – пленку из лавсана.



Рис.1. Конденсаторы для компенсации реактивной мощности серии MODULO 10 и MODULO 50

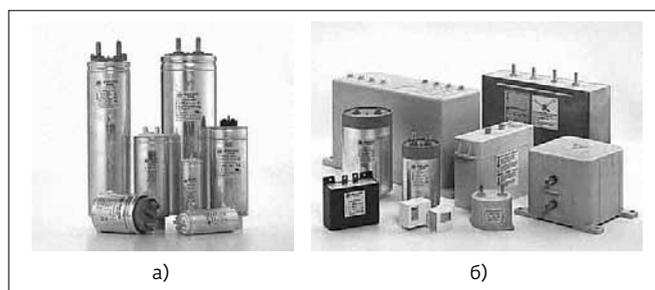
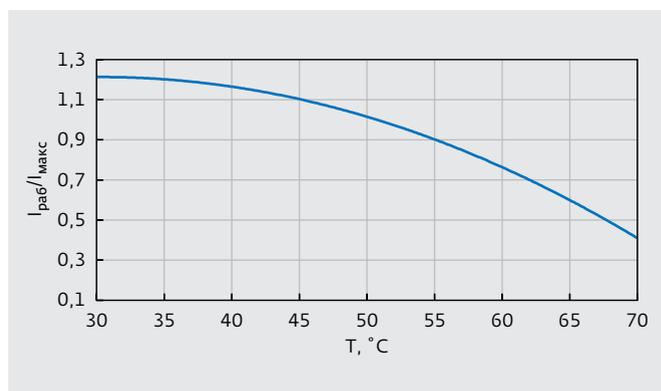


Рис.2. Силовые конденсаторы DUCATI Energia серий GP (а) и DC (б)

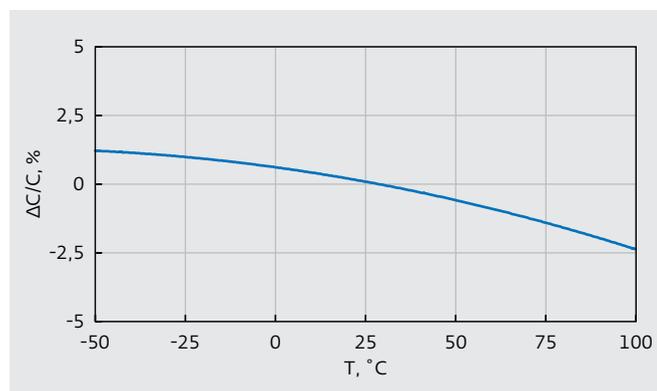


**Рис.3.** Зависимость отношения рабочего тока к максимальному от температуры

Следует учесть, что у полимерных пленок довольно высокие электрические, механические и термические характеристики и хорошая совместимость с жидкими диэлектриками, используемыми для пропитки. В электрических силовых конденсаторах очень часто используют комбинированную пленочно-бумажную изоляцию, в которой слои бумаги дополняются слоями полимерной пленки. Конденсаторная бумага хорошо впитывает жидкость, втягивая ее в прослойки между полимерными пленками, и обеспечивает полное отсутствие газовых заполнений.

Для диэлектрических пропиток применяют нефтяное масло (конденсаторное), хлорированные дифенилы и их заменители, а в импульсных силовых конденсаторах используют касторовое масло. Хлорированные дифенилы обладают высокой диэлектрической проницаемостью по сравнению с обычным конденсаторным маслом, довольно высокой устойчивостью к разложению в электрическом поле и устойчивостью к возгоранию, но весьма чувствительны к определенным примесям и крайне токсичны.

Пленочные конденсаторы для устройств силовой электроники с полипропиленовой или полиэстеровой пленкой в качестве изолятора имеют превосходные электрические параметры, очень малые потери в диэлектрике, очень высокое значение сопротивления изоляции, очень низкую диэлектрическую абсорбцию и высокую электрическую прочность. Они практически нечувствительны к повышенной влажности и характеризуются высокой стабильностью параметров при длительных сроках эксплуатации и отрицательным температурным коэффициентом ( $-200 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ). Полипропиленовые конденсаторы могут работать на высоких частотах и при



**Рис.4.** Изменение емкости конденсатора от температуры (при  $f=кГц$ )

большой мощности (например, для индукционного нагрева), благодаря очень низким диэлектрическим потерям.

Электрические свойства полипропилена:

- удельное объемное электрическое сопротивление  $10^{16}-10^{17}$  Ом·см;
- диэлектрическая проницаемость при  $10^6$  Гц – 2,2;
- тангенс угла диэлектрических потерь при  $10^6$  Гц –  $2 \cdot 10^{-4}-5 \cdot 10^{-5}$ ;
- электрическая прочность (толщина образца 1 мм) – 30-40 кВ/мм.

Силовые конденсаторы Ducati ENERGIA можно подразделить на две основные группы.

**Конденсаторы для устройств компенсации реактивной мощности.** Ducati Energia предлагает широкую номенклатуру конденсаторов для низко-, средне- и высоковольтных систем и устройств компенсации реактивной мощности. Конденсаторы предназначены как для стандартных решений электроэнергетического рынка, так и для заказных сложных проектов.

**Конденсаторы для силовой электроники.** Компания выпускает конденсаторы для работы

**Таблица 1.** Основные характеристики конденсаторов для компенсации реактивной мощности

Характеристики	MODULO 10	MODULO 50
Напряжение, В	250–450	450–800
Мощность, кВАр	2,2; 5,0; 7,5; 10,0	7,5; 10,0; 12,5; 15,0; 20,0; 25,0; 30,0
Точность, %	±5...±10	
Степень защиты	IP20 (IP54 по заказу)	
Общие потери, Вт/кВАр	0,55	
Диэлектрические потери, Вт/кВАр	0,2	
Скорость нарастания напряжения, dU/dt, В/мкс	110	

на переменном и постоянном токе, они широко используются в цепях фильтров, частотных инверторах, переключающих схемах и освещении.

### ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Силовые конденсаторы Ducati изготавливаются по технологии PPM/МКР, т.е. используется металлизированная полипропиленовая пленка. Тонкое металлическое покрытие наносится на пленку вакуумным напылением. Основное преимущество конденсаторов с металлизированной пленкой заключается в том, что они могут восстанавливать свои электрические свойства после короткого замыкания в пластинах.

В конденсаторах серии STANDARD LIFE (SL), изготовленных по технологии PPM, для пропитки используется особый тип смолы (разработка компании Ducati Energia). Смола имеет экологически безвредный состав и характеризуется высокой

**Таблица 2.** Основные серии полипропиленовых конденсаторов и их применение

Тип конденсатора	Серия	Применение
Общего применения	GP 42, GP 84	Переключающие схемы, освещение, фильтры, резонансные цепи и т.д.
Для работы на постоянном токе	DC 85, DC 86P, DC 89HC, DC 88M, DC 45	Фильтры и хранение энергии

диэлектрической стойкостью, которая полностью исключает попадание внутрь конденсатора молекул воздуха и воды. К этой категории относятся следующие конденсаторы: однофазные типа FLOPPY CAP и трехфазные типа MODULO 10.

Разработанная специалистами компании Ducati Energia специальная металлизация полипропиленовой пленки (технология получила название PPMh/МКPh) не только улучшает процесс самовосстановления, но и уменьшает нагрузку на диэлектрик во время работы. Благодаря этой технологии диэлектрик значительно дольше сохраняет свои свойства, и срок службы конденсаторов увеличивается. По технологии PPMh изготовлены высокоэффективные конденсаторы серии LONG LIFE Heavy Duty. Они устанавливают новые стандарты надежности, рабочих характеристик и компактности, имеют ресурс до 150 000 ч и работают при более низкой температуре по сравнению с традиционными смоляными конденсаторами. К конденсаторам серии LONG LIFE Heavy Duty относятся однофазные типа MONO и трехфазные типа MODULO 50.

### КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

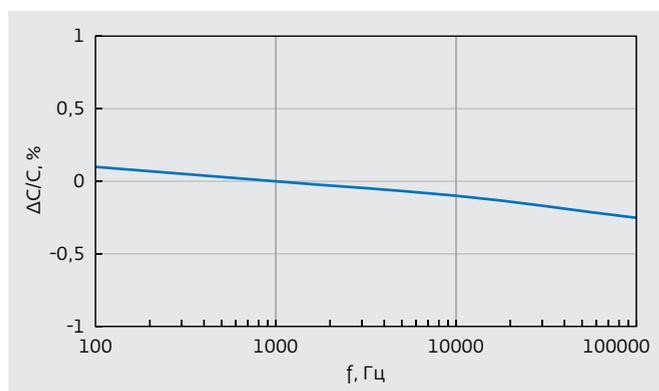
При проектировании электросистем, помимо вопросов безопасности и надежности, решается задача эффективного использования электроэнергии. Коэффициент реактивной мощности – один из самых важных факторов, который подлежит оптимизации в любой электрической системе. Например, при повышении коэффициента реактивной мощности с 0,7 до 0,9 снижаются потери электроэнергии в сети на 40% из-за снижения омических потерь, а также повышается потенциал генерирующих мощностей и пропускная способность сетей на 30%.



Таблица 3. Основные характеристики силовых конденсаторов серий GP и DC

Емкость, мкФ	Постоянный ток, напряжение, В						
	400–800	800–1400	1400–2000	2000–2500	2500–3000	3000–4000	4000–6000
	Переменный ток, напряжение, В						
	250–550	690–1000					
0–50	GP42 GP84	DC89HC GP42 GP84	DC89HC		DC85B	DC85B	DC85B
50–100	DC89HC GP42 GP84	DC89HC GP84	DC85C		DC85B	DC85B	DC86P
100–150	DC89HC GP84	DC89HC DC85C GP84	DC85C	DC85B	DC85B		DC86P
150–200	DC89HC GP84	DC89HC DC85C GP84	DC85C	DC85B	DC85B	DC86P	DC86P
200–250	DC89HC GP84		DC85C	DC85B		DC86P	DC86P
250–300	GP84	DC85C	DC85C			DC86P	
300–400	DC85C GP84	DC85C	DC85C			DC86P	
400–500	DC85C GP84	DC85C	DC85C		DC86P	DC86P	
500–600	DC85C GP84	DC85C	DC85C		DC86P		DC45
600–1000	DC85C	DC85C DC85B	DC85C DC86P	DC86P	DC86P	DC45	
1000–2000	DC85C DC85B	DC85C DC85B DC86P	DC86P	DC86P	DC88M DC45		
2000–3000	DC85C DC85B	DC85C DC85B DC86P	DC86P	DC88M DC45			
3000–6000	DC85C DC85B DC86P	DC85C DC86P	DC88M DC45				
6000–10000	DC86P	DC86P DC88M DC45					
10000–20000	DC86P DC88M DC45	DC88M DC45					

Примечание: Конденсаторы серии DC для постоянного напряжения; конденсаторы серии GP для переменного и постоянного напряжения (выделены цветом).



**Рис. 5.** Изменение емкости конденсатора от частоты (при  $T = 25^\circ\text{C}$ )

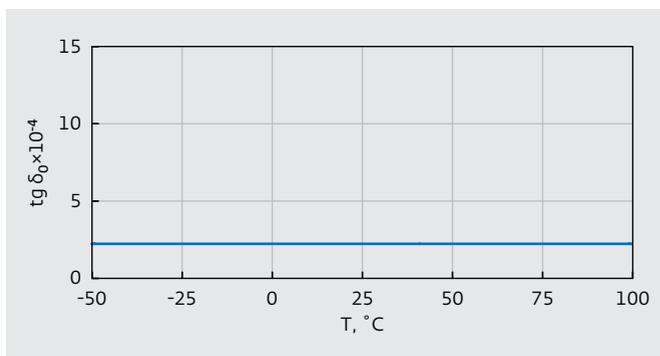
Конденсаторы для компенсации реактивной мощности Ducati Energia MODULO 10 и MODULO 50 (рис.1) имеют одинаковую конфигурацию – три пропитанных смолой емкостных элемента, соединенных треугольником, помещаются в пластиковый контейнер, который вместе

с пропитываемыми веществами обеспечивает двойную изоляцию между конденсаторами и металлическим корпусом. Специальная система защиты от чрезмерного давления гарантирует максимальную безопасность и защиту от искрообразования даже в условиях высокой плотности энергии.

Использование технологии пропитки конденсаторным маслом и расположение элементов внутри защитного контейнера обеспечивают стабильность характеристик конденсатора, длительный срок службы и отличную изоляцию.

Конденсаторы MODULO 10 и MODULO 50 используются во многих системах компенсации коэффициента мощности (стационарных или автоматических). Благодаря отличным характеристикам они особенно удобны для продолжительной работы при повышенной нагрузке в жестких условиях эксплуатации.

Конденсатор заполняется защитным газом в условиях глубокого вакуума для исключения влаги на активном элементе. Корпус герметически закрыт. Такая конструкция предотвращает окисление и гасит частичные разряды, обеспечивая



**Рис.6.** Зависимость диэлектрических потерь от температуры (при  $f=кГц$ )

стабильность емкости в течение длительного времени.

Основные характеристики силовых конденсаторов для компенсации реактивной мощности приведены в табл.1.

Диапазон рабочих температур конденсаторов MODULO 10 и MODULO 50 – от  $-25$  до  $55^{\circ}C$ ; допустимое перенапряжение – 10% в сутки; возможна перегрузка по току до 50%. Конденсаторы имеют срок службы более 130 000 ч. Пусковой ток может превышать номинальный более чем в 100 раз.

### КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

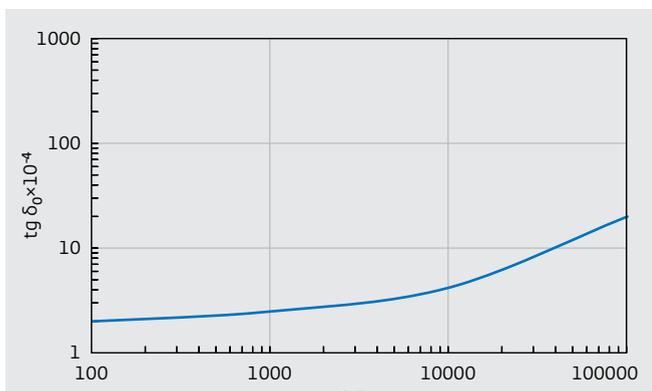
Конденсаторы компании Ducati Energia для силовой электроники (рис.2а, 2б) можно условно разделить на конденсаторы общего назначения (серия GP) и предназначенные для работы на постоянном токе (серия DC) (табл.2).

Конденсаторы серий GP и DC выпускаются на напряжения от 400 до 6000 В и емкости от 1,0 до 20 000 мкФ (табл.3).

Рассмотрим более подробно конденсаторы серии GP 84. Это конденсаторы общего применения. Их основные характеристики:

- рабочее напряжение 250–1000 В;
- диапазон емкостей 10–600 мкФ;
- сопротивление менее 8 мОм;
- максимальное среднеквадратичное значение тока – 80 А;
- максимальная скорость нарастания напряжения ( $dU/dt$ ) – 100 В/мкс;
- диапазон рабочих температур от  $-40$  до  $70^{\circ}C$ ;
- максимальный срок службы – 100 000 ч (зависит от величины рабочего напряжения);
- степень защиты IP 00.

Конденсаторы соответствуют стандартам IEC 1071-1/2; UL 810. Зависимости рабочего тока от температуры, а также емкости и диэлектрических



**Рис.7.** Зависимость диэлектрических потерь от частоты (при  $T=25^{\circ}C$ )

потерь от частоты и температуры для конденсаторов серии GP 84 приведены на рис.3–7.

Конденсаторы Ducati Energia серии DC, предназначенные для работы на постоянном токе, имеют широкий диапазон рабочих напряжений – от 500 до 6800 В и емкостей – от 60 до 20 000 мкФ. Они соответствуют стандартам IEC 1071-1/2, IEC 1881, UL 810. Другие характеристики: максимальный срок службы – 100 000 ч, диапазон рабочих температур от  $-25$  до  $75^{\circ}C$ , степень защиты IP 00.

### ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Как уже было сказано, конденсаторы самовосстанавливаются после повреждения диэлектрика. Прочность проверяется подачей максимально допустимого напряжения. Также конденсаторы проходят испытания на внешнее короткое замыкание. Токковые перегрузки обеспечиваются предельно допустимым разрядным током, который не должен превышать величин, установленных международными стандартами.

### УТИЛИЗАЦИЯ

Конденсаторы компании Ducati Energia не содержат свинца, растворителей и других токсичных веществ. Материалы, входящие в состав наполнителей, состоят из растительных масел или полиуретановых композиций. Конденсаторы подлежат утилизации через специальные центры по обработке отходов электроники.

### ЛИТЕРАТУРА

1. www.ducatienergia.com.
2. DUCATI Energia. Power electronic capacitors. Каталог.
3. Савельев А. Свойства пленочных конденсаторов DUCATI Energia. – Силовая электроника, 2013, №1, с.6–10.

