

# Модульное исполнение

## НИЗКОВОЛЬТНЫХ УСТАНОВОК КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Две первые серии низковольтных модулей PhaseMod (табл. 1–3) реализуют новый подход к топологии систем компенсации реактивной мощности (патент Epcos AG [1]). Эта топология заменяет традиционную технологию раздельного размещения элементов комплектов конденсаторных установок и включает в себя стационарно объединенные в одном корпусе все необходимые компоненты компенсации (рис. 1). Подобное конструктивное исполнение повышает в среднем на 80% [2] компактность установок компенсации, обеспечивает высокую технологичность заводской сборки и скорость монтажа непосредственно на объекте.

**Сергей Шишкин,**  
К. Т. Н.

shishkin53@mail.ru

Основной модуль PhaseMod служат заключенные в вакуумированную и заполненную инертным газом металлическую камеру (поз. 8, рис. 1) бескорпусные (поз. 7, рис. 1) концентрически намотанные на изолированный трубчатый сердечник ролонные обмотки трехфазных косинусных конденсаторов PhaseCap [3]. В свою очередь, камера интегрирована в изоляционную несущую платформу (поз. 6, рис. 1), которая содержит встроенные сборные шины (поз. 9, рис. 1) и неразъемные перемычки межконтактных электрических соединений, а также внешние резьбовые контакты или

разъемные посадочные гнезда, обеспечивающие механическое крепление и надежный контакт с элементами схемы модуля. Сырьем для изготовления платформы служит термически стойкий, листовой прессованный композит (Sheet Molding Compound — SMC) на основе ненасыщенных полиэфиров [2].

Выводы обмоток конденсаторов соединены с электромеханическими контакторами (поз. 4, рис. 1), эквивалентными по числу и мощности ступеням модуля (табл. 2, 3), через герметично запрессованные уплотнения. Число пар разъемных посадочных гнезд

Таблица 1. Основные технические характеристики PhaseMod PFC-модулей, стандарты IEC 60439-1, IEC 60831-1/-2, EN 61921 [1]

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Номинальное напряжение, $U_{ном}$	400 В, 50 Гц (другое значение напряжения по заявке)	Влажность	максимально 95%/класс F
Допустимое перенапряжение, $U_{макс}$	1,1× $U_{макс}$ в течение 8 ч за 24 ч; 1,15× $U_{макс}$ в течение 30 минут за 24 ч; 1,2× $U_{макс}$ в течение 5 минут за 24 ч; 1,3× $U_{макс}$ в течение 1 минуты	Высота установки над уровнем моря	до 3000 м
Длительно допустимая токовая перегрузка, $I_{макс}$	1,3× $I_{макс}$ (включая одновременное превышение $U_{макс}$ и циркуляцию через конденсатор токов высших гармоник)	Чувствительность к помехам	согласно EN 55082-2.1995
Максимальный бросок тока, $I_s$	не более 300× $I_{ном}$	Паразитное излучение	согласно EN 55011.10.1997
Ток повреждения (КЗ), $I_{сш}/I_{рк}$	42 кА за 1 с/75 кА	Номинальный ток КЗ предохранителей защиты модулей, $I_{CF}$	100 кА
Допустимое отклонение емкости	-5%/+10%	Степень защиты	IP20
Диэлектрик	полипропиленовая пленка (металлизированная)	Технологическое исполнение конденсаторов	«сухая технология», свойство «самовосстановления», МКК-технология активной части
Пропитка	«сухая технология»	Допустимое количество коммутаций	максимум 7000 в течение года, согласно IEC 60831
Собственные потери	< 1,5 Вт/квар	Допустимая частота коммутаций конденсаторов	до 10 в час (максимум 7000 в год)
Номинальная частота, $f$	50/60 Гц	Пауза переключения конденсаторов	10 с (при отсутствии регулировки для S-PhaseMod)
Допустимое параллельное соединение модулей (по сечению шин)	до 500 квар	Время разряда конденсаторов	> 60 с (при отсутствии регулировки для S-PhaseMod)
Испытательное напряжение (переменного тока)	между выводами — 2,15× $U_{ном}$ в течение 10 с; «вывод-корпус» — 6 кВ в течение 10 с	Временной интервал переключения и разряда конденсаторов	1–255 с
Диапазон уставок cos φ	0,8 инд. – 0,8 емк.	Средний срок службы, $t_{10}(Co)$	не менее 130 000 ч или 100 000 коммутаций
Уровень помех	не более 65 дБ, включая высокочастотные токовые гармоники	Защита устройства (модуля)	контроль превышения избыточного давления (встроенный датчик), свойство «самовосстановления» конденсаторов, предохранители типа HRS, датчик температуры
Коммутационный ресурс контактора	не более 100 000 переключений	Разрядные резисторы	разряд конденсаторов за 60 с до напряжения менее 50 В
Корпус конденсатора	стальной, степень защиты IP65	Диапазон напряжений регулятора	230 В (измерительное или управляющее напряжение)
Основные выводы	медные шины 30×15 мм с отверстием под болт M10 (A-PhaseMod); медные шины 30×5 мм с отверстием под болт M10 (S-PhaseMod)	Трансформатор тока	возможно присоединение к трансформаторам x/1 А и x/5 А
Монтажное положение модуля	горизонтальное	Допустимое время отсутствия (перерыва) питания	не более 35 мс
Степень загрязнения	2	Напряжение катушки контакторов	переменное, 230 В, 50 Гц
Температура окружающей среды	-25... +40 °C (A-PhaseMod); 0... +40 °C (S-PhaseMod)	Номинальное напряжение дополнительных контактов контактора	переменное, 690 В
Охлаждение	естественное или принудительное (воздушное)	Номинальный ток дополнительных контактов	10 А (при температуре до 40 °C), 6 А (при температуре от 40 до 60 °C)

**Таблица 2.** Технические характеристики модулей типа A-PhaseMod [1]

Суммарная мощность, квар	Ступени, квар	Соотношение мощностей ступеней	Масса, кг	Размеры, мм
50	50	1	33	385×257×394
50	12,5×2+25	1:1:2	38	385×257×538
62,5	12,5+25×2	1:2:2	38	385×257×538
75	25+50	1:2	33	385×257×394
75	12,5×2+25×2	1:1:2:2	38	385×257×538
87,5	12,5+25+50	1:2:4	38	385×257×538
100	12,5×2+25+50	1:1:2:4	38	385×257×538
100	25×2+50	1:1:2	38	385×257×538
100	50×2	1:1	33	385×257×394

соответствует возможности установки 4 контакторов. В точках подключения к шинам выводы горизонтально расположенных плавких предохранителей (поз. 2, рис. 1) жестко зафиксированы винтами.

Используемые предохранители обладают высокой отключающей способностью (HRS) и защитной характеристикой (категорией применения) gL/gG — символ, соответствующий защите общего назначения во всем диапазоне нагрузок (IEC TR61818 «Инструкция по применению низковольтных предохранителей»), гарантируя, таким образом, надежное отключение конденсаторов, как при недопустимой токовой перегрузке, так и при КЗ обкладок. Указанный на корпусе предохранителя номинальный ток плавкой вставки (IEC/EN 60269 часть 1, 2, 2-1) должен в 1,6–1,8 раза превышать значение номинального тока защищаемой ступени модуля [3].

Для защиты конденсаторных ступеней модулей PhaseMod (табл. 2, 3) используют предохранители типоразмера 000 (00С) и 00 на номинальные токи от 35 до 160 А [1]. Также винтами к контактам выводов обмоток конденсатора крепится разрядный резистор (сопротивлением 380 кОм и рассеиваемой мощностью 5 Вт) с ленточными выводами (поз. 5, рис. 1), обеспечивающий соответствие времени разряда конденсаторов требованиям стандарта IEC 60831 (табл. 1). Применяемая для построения активной части конденсаторов PhaseCap технология МКК (Metallized Kunststoff Kompakt) предусматривает одновременное упрочнение и расширение площади контактной поверхности секций за счет ровного и волнового среза кромок как структурированной, так и неструктурированной металлизированной полимерной пленки, укладываемой с небольшим смещением витков [1, 3].

Помимо отключения конденсаторов при превышении давления внутри камеры (поз. 8, рис. 1) контактным датчиком (поз. 10, рис. 1) конструктивная адаптация поверхности металлизации обкладок обеспечивает функцию их самовосстановления после возможного локального пробоя в результате тепловой или кратковременной электрической перегрузки (табл. 1).

На правой стороне лицевой крышки корпуса (поз. 12, рис. 1) расположена индикация включения 4 ступеней модуля (поз. 3, рис. 1), а слева — 2-позиционная сигнализация работы элементов модуля в целом [1].

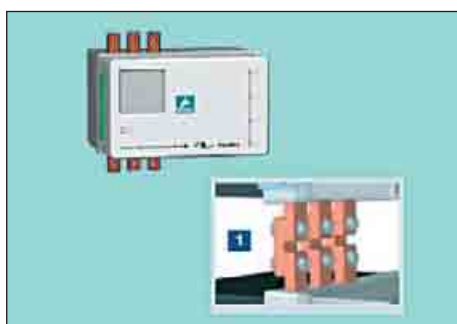
Модули типа A-PhaseMod (рис. 2, табл. 2) устанавливаются в специальном металлическом

**Таблица 3.** Технические характеристики модулей типа S-PhaseMod [1]

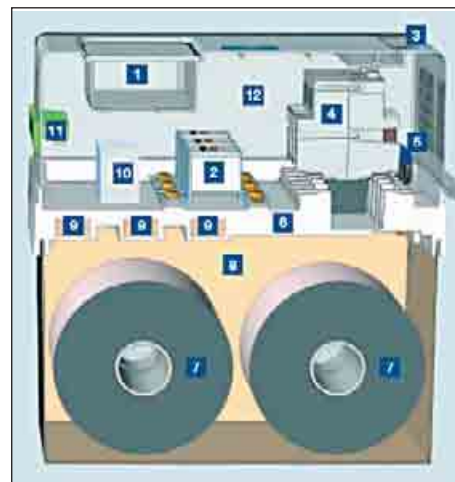
Суммарная мощность, квар	Ступени, квар	Соотношение мощностей ступеней	Масса, кг	Размеры, мм
50	50	1	33	385×257×394
50	12,5×2+25	1:1:2	38	385×257×538
62,5	12,5+25×2	1:2:2	38	385×257×538
75	25+50	1:2	33	385×257×394
75	12,5×2+25×2	1:1:2:2	38	385×257×538
87,5	12,5+25+50	1:2:4	38	385×257×538
100	12,5×2+25+50	1:1:2:4	38	385×257×538
100	25×2+50	1:1:2	38	385×257×538
100	50×2	1:1	33	385×257×394

шкафу и крепятся на перфорированных продольных боковых монтажных профилях, а отдельные модули S-PhaseMod (рис. 3, табл. 3) навешиваются непосредственно на стену при помощи 2 реек, входящих в комплект поставки [1]. Болтовое соединение сборных шин модулей A-PhaseMod производится стандартными медными накладками (поз. 1, рис. 2). Допустимая токовая нагрузка шин (табл. 1) и габариты шкафа (2200×600×600 мм) позволяют одновременно соединить в вертикальный ряд до 5 модулей типа A-PhaseMod суммарной реактивной мощностью 500 квар [1]. Как видно из таблиц 2, 3, мощности ступеней регулирования модулей PhaseMod типа A и S унифицированы.

На текущий момент семейство модулей PhaseMod включает в себя более чем 70 стандартных модификаций системных блоков [3] в интервале мощностей от 50 до 100 квар (табл. 2, 3). В процессе дальнейшего совершенствования и расширения функциональных возможностей модулей PhaseMod предполагается встроить внутрь корпуса защитный антирезонансный дроссель [3], обеспечивающий частичное подавление гармоник, а также их адаптацию к динамической компенсации реактивной мощности [2] (разрабатываемые серии AF-PhaseMod и SF-PhaseMod). Для этого вместо конденсаторных контакторов (поз. 4, рис. 1) на SMC-платформу будут установлены платы быстродействующих полупроводниковых ключей [3]. Поскольку срок службы конденсаторов (табл. 1) во многом зависит от соблюдения температурного режима обмоток [3], особое внимание будет уделено проблеме отвода избыточного тепла, рассеиваемого внутри модуля [2].



**Рис. 2.** Внешний вид модуля типа A-PhaseMod, встраиваемого в систему компенсации реактивной мощности (технические характеристики приведены в табл. 2): 1 — вид соединения сборных шин



**Рис. 1.** Поперечный разрез модуля PhaseMod: 1 — место для монтажа контроллера реактивной мощности BR604 с 4 ступенями регулирования [3]; 2 — плавкие предохранители типа HRS; 3 — светодиодная индикация состояния конденсаторных ступеней; 4 — конденсаторный контактор; 5 — разрядные резисторы; 6 — прессованная, армированная стекловолокном монтажная плата компонентов модуля; 7 — косинусные конденсаторы, выполненные по МКК-технологии; 8 — стальной корпус камеры установки конденсаторов со степенью защиты IP65; 9 — шинный мост для параллельного соединения модулей (мощность присоединения до 500 квар); 10 — датчик давления камеры установки конденсаторов; 11 — разъем для подключения контрольного кабеля; 12 — фронтальная пластиковая крышка корпуса, степень защиты IP20

### Литература

1. PhaseMod PFC Modules for Low-Voltage Power Factor Correction. Epcos AG. Corporate Communications. Edition 03/2005. Germany.
2. Muller R. PFC out of the box // Epcos Components. 2005. № 2.
3. Power Factor Correction. Power Quality Solutions. Epcos AG. Corporate Center. Edition 04/2006. Germany.



**Рис. 3.** Внешний вид модуля типа S-PhaseMod для автономной автоматизированной системы компенсации реактивной мощности (технические характеристики приведены в табл. 3). Ошибковка кабельного ввода [1] закрыта изоляционным коробом, входящим в комплектацию модуля