

# КОНДЕНСАТОРЫ КОМПАНИИ ERCOS ДЛЯ КОРРЕКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

И.Романова

Компания Ercos – мировой лидер по производству силовых конденсаторов, термисторов, разрядников, варисторов, фильтров на поверхностно-акустических волнах и занимает первое место в Европе по выпуску алюминиевых электролитических конденсаторов, компонентов электромагнитной совместимости и микроволновой керамики, ферритовых сердечников, пленочных конденсаторов. Компания производит более 40 тыс. наименований продукции.

**К**орпорация Ercos (Electronic Parts and Components) образована в 1999 году на основе компании Siemens Matsushita Components GmbH & Co. KG – корпорации с многолетним опытом разработок, производства и продаж электронных компонентов. Заводы Ercos расположены по всему миру. Все процессы изготовления и системы обеспечения качества сертифицированы по ISO 9001 и ISO/TS 16949:2002.

Для того чтобы быть мировым лидером в производстве пассивных компонентов, необходимо постоянно поддерживать их очень высокое качество. Конечно, вся продукция соответствует международным стандартам качества, но в компании действуют и внутренние, более строгие требования, чем предусматривают международные стандарты. И, как следствие, – высокие стабильность и качество производимых компонентов. Поэтому параметры изделий (даже максимально допустимые), указываемые в сопроводительной документации, приведены со значительным запасом. Например, в электролитических конденсаторах возможны кратковременные перегрузки по напряжению, в 1,55 раза превышающие номинальные.

Из широкого спектра силовых конденсаторов, выпускаемых компанией Ercos, рассмотрим изделия для компенсации реактивной мощности.

Рациональное использование электроэнергии невозможно без экономичных способов ее генерации, передачи и распределения с минимальными потерями. Для этого необходимо исключить из электрических сетей все факторы, приводящие к возникновению потерь. Одним из них является запаздывание фазы протекающего тока от напряжения при наличии индуктивной нагрузки, поскольку нагрузки в промышленных и бытовых электросетях носят обычно активно-индуктивный характер.

Назначение систем коррекции коэффициента мощности – компенсация суммарного фазового сдвига путем внесения опережения по фазе, что приводит к уменьшению протекающего по сетям тока и соответственно к снижению паразитных активных потерь в проводниках и распределительной сети.

Ключевые компоненты систем компенсации реактивной мощности – это конденсаторы коррекции коэффициента мощности. Они должны выдерживать большие пусковые токи ( $>100I_R$ ), возникающие при коммутации конденсаторов. При параллельном подключении конденсаторов

в батарее пусковые токи становятся еще выше ( $>150IR$ ), поскольку пусковой ток протекает не только от цепей питания, но и от подключенных параллельно конденсаторов.

Для удовлетворения потребностей силовой электроники в области создания схем коррекции коэффициента мощности фирмой Epcos были разработаны пять семейств конденсаторов – PhaseCap (Premium и HD), WindCap, PhiCap, MKV и SquareCap. Конденсаторы этих серий предназначены для работы в диапазоне напряжений 220–800 В и мощности от 0,25 до 100 кВАр в цепях постоянного и переменного тока. В зависимости от условий эксплуатации предлагаются сухие или маслonaполненные конденсаторы.

**Серия PhaseCap** – однофазные и трехфазные, выполненные по МКК-технологии (табл.1), "самовосстанавливающиеся", с предохранителем от разрыва корпуса (отключение при превышении избыточного давления внутри корпуса), мощность от 5 до 30 кВАр и номинальное напряжение от 230 до 525 В.

**Серия PhaseCapHD** – трехфазные, изготовленные по МКК-технологии, "самовосстанавливающиеся", с предохранителем от избыточного давления внутри корпуса, мощность 40–56 кВАр, номинальное напряжение 400, 440, 525 В.

**Серия WindCap** – трехфазные, МКК-технология, "самовосстанавливающиеся", с предохранителем от разрыва корпуса, мощность от 5 до 28 кВАр, номинальное напряжение 690, 765, 800 В.

**Серия PhiCap** – однофазные и трехфазные, МКР-технология, "самовосстанавливающиеся", с предохранителем от разрыва корпуса, мощность от 0,5 до 28 кВАр, номинальное напряжение от 230 до 525 В.

**Серия MKV** – трехфазные, МКВ-технология, "самовосстанавливающиеся", с предохранителем



Силовые конденсаторы для коррекции мощности компании Epcos

от разрыва корпуса, мощность от 5 до 15 кВАр, номинальное напряжение от 400 до 690 В.

В качестве наполнителя объема корпуса в конденсаторах серий PhaseCap и WindCap используется инертный газ ( $N_2$ ), PhiCap – нетоксичный компаунд, MKV – минеральное масло.

Все косинусные конденсаторы снабжены унифицированным разъемом (клеммной колодкой) SIGUT и встроенным в разъем съемным модулем разрядных резисторов, обеспечивающим соответствие снижения напряжения на конденсаторе при отключении от сети требованиям стандарта IEC 60831. Конденсаторы также могут комплектоваться индивидуальными защитными крышками и герметичными футлярами. Монтаж конденсаторов PhaseCap и WindCap возможен как в вертикальном, так и в горизонтальном положении, а конденсаторов PhiCap и PhaseCapHD – только в вертикальном положении.

Между конденсаторами для соблюдения условий естественного охлаждения корпуса необходимо обеспечить расстояние не менее 20 мм. Сверху, над конденсаторами, также должно сохраняться свободное пространство высотой не менее 20 мм. Этот

Таблица 1. Технологии изготовления силовых конденсаторов

Технологии	Материал электродов	Наполнение	Диэлектрик
МКР	Бумага с напылением металла с одной стороны	Твердые масла	Бумага без напыления
МКВ	Бумага с напылением металла с двух сторон Пленка находится вне электрического поля (напыление на обеих сторонах соединяется)	Масло	Пластиковая пленка
МКК	Пластиковая пленка, металл напылен с одной стороны	Нет (сухой конденсатор)	Дополнительных диэлектриков нет
МПК	Бумага, металл напылен с одной стороны	Масло	Пластиковая пленка

промежуток необходим для обеспечения возможности вертикального удлинения корпуса при срабатывании встроенного предохранителя защиты от превышения избыточного давления внутри корпуса конденсатора (предотвращение разрыва корпуса).

Благодаря широкому диапазону номинальных мощностей и напряжений, косинусные (фазовые) конденсаторы Ercos AG используются для индивидуальной компенсации реактивной мощности электродвигателей, систем освещения, а также в нерегулируемых и автоматизированных установках групповой компенсации. Кроме того, технические характеристики косинусных конденсаторов, выполненных по МКР/МКК-технологиям, допускают их использование в фильтрокомпенсационных звеньях низковольтных сетей промышленных предприятий с высоким содержанием высших по отношению к промышленной частоте (50 Гц) гармоник (в первую очередь 5-й, 7-й, 11-й и 13-й), а также в быстродействующих системах (в режиме реального времени) компенсации реактивной мощности.

При выборе конденсаторов следует обращать внимание на соответствие их конструктивного исполнения условиям эксплуатации (табл.2-4). Параметры, указанные в табл.2-4, в обязательном порядке приводятся на маркировке корпуса косинусных конденсаторов производства Ercos. Одним из наиболее важных эксплуатационных факторов для конденсаторов, содержащих полипропиленовую пленку, является температура (см. табл.3), так как она оказывает значительное влияние на

срок службы конденсатора. Поэтому конденсаторы должны устанавливаться таким образом, чтобы не подвергаться дополнительному нагреву от других элементов (дресселей, шин и т.д.) установки.

При подключении конденсаторов следует избегать изгибов кабелей (кабельных наконечников) или других механических воздействий на выводы конденсатора. Присоединение выводов конденсатора к сети питания выполняется гибким, предпочтительно медным кабелем. Питающие кабели должны длительно выдерживать ток, в 1,5 раза превышающий номинальный ток конденсатора. Максимальное сечение питающего кабеля для конденсаторов PhaseCap, PhiCap и WindCap – 16 мм<sup>2</sup>, PhaseCap HD – 35 мм<sup>2</sup>. Более подробная информация о подключении конденсаторов представлен в табл.4.

Большое значение компания Ercos уделяет решению вопросов безопасности своей продукции. Например, производимые компанией конденсаторы имеют систему автоматического отключения при превышении допустимого давления или температуры, а по такому параметру, как пожаробезопасность, сухие силовые конденсаторы фирмы Ercos превосходят конкурирующую продукцию, поскольку не содержат масла. Перечисленные свойства определяют широкое применение компонентов Ercos в тех областях, где выход системы из строя может привести не просто к финансовым потерям, но и к созданию угрозы для жизни людей (транспорт, системы обеспечения безопасности полетов и т. п.).

**Таблица 2.** Защита корпусов конденсаторов IPxx (стандарт EN60529)

Степень защиты	1-я цифра обозначает	2-я цифра обозначает
IP00	Нет защиты от прикосновения и попадания твердых тел	Нет защиты от попадания воды
IP10	Защита от прикосновения и попадания твердых тел диаметром $\geq 50$ мм	Нет защиты от попадания воды
IP20	Защита от попадания твердых тел диаметром $\geq 20$ мм	Нет защиты от попадания воды
IP30	Защита от попадания твердых тел диаметром $\geq 2,5$ мм	Нет защиты от попадания воды
IP40	Защита от попадания твердых тел диаметром $\geq 1$ мм	Нет защиты от попадания воды
IP41	Защита от попадания твердых тел диаметром $\geq 1$ мм	Защита от вертикально капающей воды
IP54	Защита от попадания пыли	Защита от разбрызгиваемой (под любым углом) воды
IP65	Полная защита от попадания пыли	Защита от сильных струй воды, разбрызгиваемых под любым углом

Системы безопасности, реализованные в конденсаторах, включают в себя корпус из нержавеющей стали, выдерживающий давление до 15 бар, мембрану для сброса излишнего давления, индикатор превышения давления, систему размыкания цепи при превышении давления, сегментированные электроды (обеспечивают высокие значения рабочих напряжений).

Рассмотрим особенности семейств конденсаторов для коррекции мощности.

**Конденсаторы серии PhaseCap.** Предназначены для эксплуатации в силовых цепях переменного тока в диапазоне напряжений до 700 В. Основная область их применения – схемы коррекции коэффициента мощности и сглаживающие силовые фильтры. Компактная конструкция, простота монтажа, высокая стабильность емкости, высокий импульсный ток, превышающий номинальный более чем в 200 раз, и срок службы свыше 100000 ч – важные качества для энергетического оборудования компенсации реактивной мощности, блоков резервного питания, мощных импульсных преобразователей напряжения и источников бесперебойного питания. Ниже приведены основные технические данные этих конденсаторов:

Выходная мощность ..... 2,5–25 кВА

Диапазон рабочих напряжений ... 230–690 В

Диапазон рабочих токов ..... 6–36 А

Температурный диапазон ..... от -25 до 55°С

Потери в диэлектрике ..... менее 0,25 Вт/кВА

Высокий импульсный ток

Металлизированный полипропиленовый диэлектрик

Компактный цилиндрический алюминиевый корпус

Однофазные или трехфазные модификации (топология "звезда" или "треугольник")

Защита от поражения электротоком – класс IP20.

Поддерживаемые стандарты: IEC 831-1: 1996; IEC 831-2: 1996; 60831-1: 1993; 60831-2: 1993; VDE 560-46: 3/95; VDE 560-47: 3/95.

Металлизированные полипропиленовые пленочные конденсаторы с "самовосстанавливающимися" свойствами типа PhaseCap имеют небольшие размеры корпуса и малый вес. Три слоя диэлектрика, concentрически намотанного на изолированный металлический трубчатый сердечник, размещены в цилиндрическом алюминиевом корпусе с металлическими выводами. Пропитка диэлектрика осуществляется при большом разрежении, что предотвращает его высыхание в самых напряженных условиях эксплуатации. Поэтому срок службы конденсаторов составляет более 100000 ч.

В конденсаторах типа PhaseCap применяется запатентованная компанией Epcos технология, обеспечивающая возможность прохождения через конденсатор импульсного тока, превышающего номинальный ток более чем в 200 раз без потери его эксплуатационных свойств. Если из-за недопустимых электрических или тепловых перегрузок, а также после выработки ресурса в корпусе конденсатора возникает избыточное давление, то в этом случае срабатывает встроенный предохранитель, который предотвращает возможный взрыв и разрушение корпуса.

Выходные зажимные клеммы, выполненные по запатентованной технологии SIGUT, допускают подключение проводников с поперечным сечением до 16 мм<sup>2</sup>.

**Конденсаторы серии PhaseCap Premium** (трех- и однофазные) были специально разработаны для применения в низковольтных установках компенсации реактивной мощности. Мощность от 5,2 до 33,0 кВАр, номинальные напряжения 230, 400, 440 и 525 В. Это "самовосстанавливающиеся", металлизированные пленочные конденсаторы. В качестве материала полимерной пленки используется полипропилен. Токопроводящий металлический слой (электрод), толщиной около 10 нм, напылен на одну из сторон пленки. Особенности конденсаторов – повышенный (до 115000 ч) срок службы; выдерживают высокие

**Таблица 3.** Температурный класс конденсаторов (стандарт IEC 60831-1)

Температурный класс	Максимальная температура окружающего воздуха, °С	Максимальное среднее значение температуры в течение 24 ч, °С	Максимальное среднее значение температуры в течение 1 года, °С
B*	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

Максимальное значение температуры корпуса конденсаторов не более 60°С.

\* Каждый класс представлен при маркировке буквой, следующей за цифрой минимально допустимой температуры эксплуатации, например – 25/D.

**Таблица 4.** Рекомендуемые сечения кабелей и номиналов предохранителей для трехфазных косинусных конденсаторов (стандарт VDE 0100)

Номинальная мощность конденсатора при U=400 В, кВАр	Номинальный ток, А	Номинальный ток предохранителя, А	Сечение кабеля, мм <sup>2</sup>
5	7,4	16	1,5
6,3	9	16	2,5
7,5	10,8	20	2,5
8,3	12	20	2,5
10	14,4	25	4
12,5	18	35	4
15	21,6	35	6
20	29	50	10
25	36	63	16
30	43	80	25
40	58	100	35
50	72	125	35

броски пусковых токов; практически отсутствуют коронные разряды в обмотках; малые затраты на монтаж. Конденсаторы имеют тройную систему защиты: "сухая" технология (заполнение инертным газом); свойство "самовосстановления" – конденсатор сам устраняет локальные пробоя, возникающие у него вследствие перегрузки; размыкатель избыточного давления внутри корпуса предотвращает разрыв корпуса конденсатора вследствие эксплуатационного износа, многократно повторяющейся электрической или термической перегрузки. Конденсаторы снабжены керамическими разрядными резисторами.

**Конденсаторы серии PhiCar.** Диапазон мощностей одного конденсатора – от 0,5 до 28,0 кВАр (трехфазное исполнение) и от 0,7 до 5,0 кВАр (однофазное исполнение) в зависимости от значения номинального напряжения.

Конденсаторы серии PhiCar специально разработаны для применения в промышленных системах компенсации реактивной мощности. Диэлектрическая система конденсаторов PhiCar состоит из односторонне металлизированной проводящим алюминиево-цинковым слоем, толщиной несколько нанометров, специальной

(конденсаторной) полипропиленовой пленки (МКР-технология). Чтобы избежать попадания влаги внутрь конденсатора, после сушки в вакууме алюминиевый цилиндрический корпус конденсаторов PhiCar заполняется нетоксичным полиуретановым компаундом и герметично закрывается крышкой с контактными выводами. Этот технологический процесс помогает избежать окисления электродов и частичных (локальных) разрядов конденсатора, обеспечивая стабильность емкости в течение длительного периода. Упрочнение периферийной контактной зоны обкладок обеспечивается дополнительным цинковым напылением на торцы рулона.

Конденсаторы серии PhiCar по сравнению с конденсаторами PhaseCar и WindCar имеют несколько меньший срок службы (80000 ч), меньшую перегрузочную способность (порядка 100 раз) и меньшее максимальное напряжение (525 В против 690 В у PhaseCar и 800 В – у WindCar). Однако стоимость конденсаторов этой серии значительно меньше, что делает их привлекательными для определенных применений, например, для низковольтных схем коррекции коэффициента мощности.

**Конденсаторы серии WindCar** имеют срок службы 130000 ч, низкий уровень потерь и выдерживают 300-кратные импульсные перегрузки по выходному току. Кроме того, конденсаторы этой серии могут быть смонтированы в любом положении, что зачастую оказывается немаловажным фактором. Как и конденсаторы серии PhaseCar, устройства серии WindCar обладают способностью "самовосстановления" после пробоя, а также имеют предохранитель, размыкающий цепь в случае увеличения давления в конденсаторе выше определенного порога. Основная область применения конденсаторов серии WindCar – ветрогенераторы, схемы промышленного электропитания, а также схемы фильтрации в силовой электронике.

**Конденсаторы серии MKV** рассчитаны на мощность от 5 до 15 кВАр и номинальное напряжение 400–690 В. Преимущественно предназначены для таких применений, как коммутация при наличии большой реактивной мощности, несинусоидального напряжения, высокой частоты и нагрузки с большими пиковыми токами. Кроме этого, они могут использоваться для демпфирования, подавления, привязки, сглаживания, сопряжения, а также и для общего применения с целью фильтрации в цепях переменного тока или в резонансных цепях.

Широко известная технология MKV "самовосстанавливающихся" конденсаторов имеет

значительные преимущества, такие как очень низкий уровень потерь, большое сопротивление изоляции, высокую устойчивость к броскам тока и высокую тепловую стабильность.

В конструкции конденсаторов серии MKV используется полипропиленовый диэлектрик и бумажная лента с двусторонним проводящим покрытием, нанесенным осаждением паров металла. Бумажные слои чередуются со слоями полимерной пленки. Сама бумажная лента не находится в электрическом поле, а служит основой для саморегенерирующегося металлического покрытия и для проводящего металлического напыления в контактной области, а также уменьшает напряженность электрического поля на краях электродов. Заготовленная полимерно-бумажная структура сматывается в цилиндрическую обмотку, которая в последующем пропитывается маслом в вакууме. Такая пропитка, с одной стороны, предотвращает возможность токсичного загрязнения окружающей среды, а с другой, – обеспечивает хорошую теплопередачу от обмотки к поверхности корпуса. Это позволяет значительно увеличить срок службы конденсаторов.

Практика эксплуатации показала высокую надежность работы косинусных конденсаторов, выполненных по MKV-технологии, в том числе в низкочастотных фильтрокомпенсационных звеньях и схемах фильтрации.

**Конденсаторы серии WindCap** – трехфазные низковольтные, мощность 5-28 кВАр (на частоте 50 Гц), в цилиндрическом алюминиевом корпусе. Разработаны специально для компенсации реактивной мощности и возбуждения асинхронных

генераторов небольшой мощности в ветроэнергетических установках, а также могут быть использованы в конденсаторных установках компенсации реактивной мощности, устанавливаемых в промышленных сетях электроснабжения.

Благодаря применению в конденсаторах WindCap запатентованной Epcos MKK-технологии они имеют высокую надежность – допускают до 50% длительного превышения номинального тока конденсатора, в то время, как стандарт IEC 831 предусматривает 30%-ную длительную токовую перегрузку косинусных конденсаторов, и продолжительный (до 130000 ч) срок службы. Конденсаторы серии WindCap отличаются очень низким уровнем потерь и способностью выдерживать 300-кратные импульсные перегрузки по выходному току. Кроме того, конденсаторы этой серии могут быть смонтированы в любом положении, что зачастую оказывается немаловажным фактором. Как и конденсаторы серии PhaseCap, устройства серии WindCap обладают способностью "самовосстановления" после пробоя, а также имеют предохранитель, размыкающий цепь в случае увеличения давления в конденсаторе выше определенного порога.

Конструкционное построение данных конденсаторов аналогично серии MKK PhaseCap, отличие заключается в более высоком уровне номинальных значений напряжений.

В заключение надо отметить, что очень немногие производители выпускают косинусные конденсаторы на уровень напряжения свыше 690 В. И в этом отношении компания Epcos – безусловный лидер. ●