

Реакторы с воздушным сердечником

Сухого типа

GE имеет более чем 50-летний опыт в проектировании и производстве реакторов с воздушным сердечником для различных сегментов рынка по всему миру, включая генерацию, передачу и распределение электроэнергии, промышленное оборудование, изготовителей комплектного оборудования и лаборатории для испытаний.

Реакторы с воздушным сердечником (ACR) обеспечивают линейную зависимость индуктивного сопротивления от тока, что является очень важным для многочисленных применений. Благодаря конструкции, реактора сухого типа не требуют технического обслуживания и экологически чистые.

Экономически эффективные решения

GE предлагает широкий ассортимент экономичных решений как для электрических, так и для распределительных сетей промышленных предприятий:

- **Токоограничивающие реакторы** обеспечивают снижение токов коротких замыканий до уровней, требуемых для оптимизации решений по выбору оборудования коммутации и защиты, повышая экономичность проектно – эксплуатационных решений
- **Реакторы заземления нейтрали** для ограничения емкостных токов замыкания на землю в системах с заземленной или изолированной нейтралью
- **Фильтровые реакторы** используются совместно с конденсаторными батареями фильтров и резисторами цепей фильтрации ВГС с целью уменьшения содержания гармоник в сети, которые приводят к увеличению потерь, высоким токам в нейтральном проводе, оказывают негативное влияние на компьютерное и телекоммуникационное оборудование, а также обуславливают высокий уровень гармонических искажений
- **Сглаживающие реакторы** уменьшают токи высших гармонических составляющих (ВГС) и токи переходных процессов (пульсации) в системах постоянного тока
- **Шунтирующие реакторы** компенсируют емкостные токи длинных линий электропередач и кабелей, увеличивают пропускную способность энергосистем по передаче активной мощности
- **Демпфирующие реакторы** ограничивают токи включения и отключения конденсаторных батарей
- **Разрядные реакторы** используются в шунтирующих и разрядных цепях систем продольной компенсации (УПК) для ограничения разрядных токов конденсаторов
- **Реакторы для электродуговых печей** обеспечивают необходимое значение коэффициента мощности и повышают стабильность напряжения и тока электросталеплавильных печей
- **Регулировочные реакторы управления потоком распределением** обеспечивают оптимальное распределение перетоков мощности между двумя или несколькими параллельными цепями линий электропередач
- **Пусковые реакторы** двигателей подключаются последовательно к электродвигателям для ограничения переходного тока при пуске
- **Специальные применения: лабораторные реакторы** — специальные реакторы с воздушным сердечником, используемые в электролабораториях в качестве токоограничивающих. Другие устройства включают в себя сдвоенные токоограничивающие реакторы; шунтирующие; с разделенной фазой для тиристорноуправляемых реакторов



Специальные применения

- Лабораторные реакторы — это специальные реакторы с воздушным сердечником, используемые в электролабораториях, в основном, в качестве токоограничивающих
- Другие устройства включают в себя сдвоенные токоограничивающие реакторы; шунтирующие; с разделенной фазой для тиристорноуправляемых реакторов

Преимущества, получаемые пользователем

- Высокая динамическая стойкость, позволяющая выдерживать значительные токи коротких замыканий
- Низкий уровень шумов для применения в чувствительных к шуму установках
- Умеренная термическая стойкость для обеспечения повышения срока эксплуатации
- Индивидуальные компактные решения для установки в условиях ограниченного пространства
- Обработка поверхности реакторов для обеспечения возможности эксплуатации в условиях загрязненной окружающей среды предприятий и для защиты от ультрафиолетового излучения
- Минимальные требования к обслуживанию и экологическая безопасность



Повышение эффективности электроэнергетики

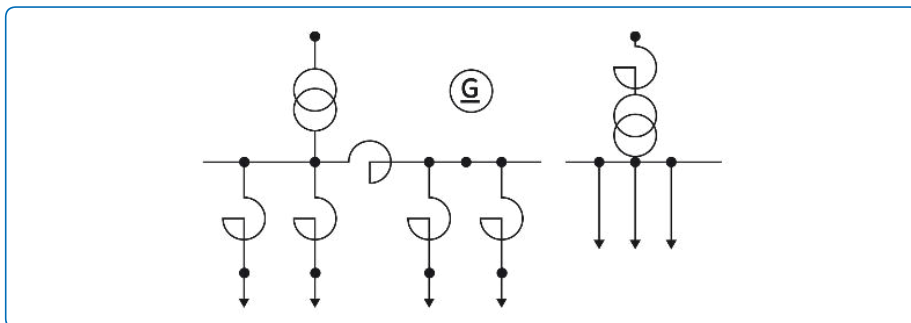
Применение реакторов

1.1. Токоограничивающие

Реакторы этого типа подключаются последовательно в линии электропередач или к фидерам для ограничения тока в случае коротких замыканий до значений совместимых с оборудованием систем коммутации и защиты. Экономическая эффективность таких решений определяется отсутствием необходимости замены коммутационного и защитного оборудования при повышении мощности короткого замыкания системы. Токоограничивающие реакторы проектируются с целью обеспечения заданного реактивного сопротивления; разрабатываются с учетом постоянного воздействия номинального тока и тока короткого замыкания на протяжении заданного периода времени (кратковременно).



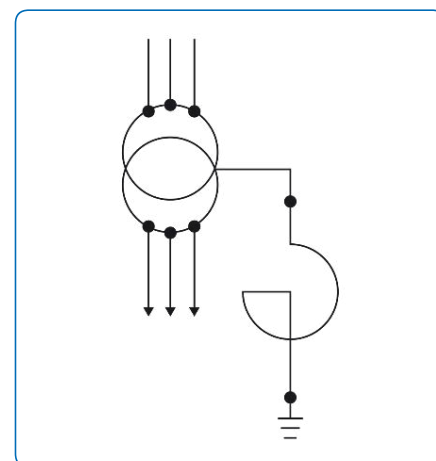
1.1 Токоограничивающие реакторы с сейсмическим проектированием



1.1 Токоограничивающие реакторы

1.2. Заземление нейтрали

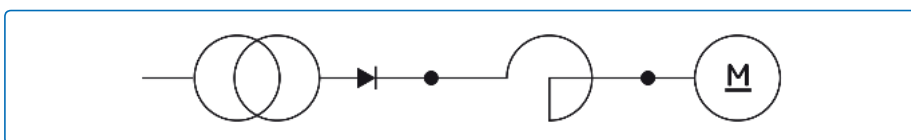
Однофазные реакторы заземления нейтрали используются для заземления нейтральной точки трехфазных сетей с целью ограничения токов, возникающих между фазой и землей в случае аварии. Если электрическая сеть симметрична, то в нормальном режиме результирующий ток, протекающий через реактор, будет равен нулю, что не вызовет дополнительных потерь.



1.2 Реакторы заземления нейтрали

1.3. Сглаживающие реакторы

Сглаживающие реакторы используются для уменьшения токов ВГС и токов переходных процессов (пульсаций) в системах постоянного тока. Они используются на высоковольтных линиях постоянного тока и на промышленных установках, таких как выпрямители, тяговые системы и т.д.

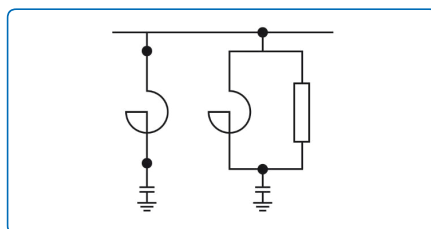


1.3 Сглаживающие реакторы

1.4. Фильтрация ВГС

Токи высших гармонических составляющих представляют собой искажения, возникающие в питающей сети при наличии резкопеременной нелинейной нагрузки, а именно, мощных устройств силовой электроники и т. п. Токи ВГС вызывают в питающей сети:

- увеличение потерь активной мощности;
- сбои в работе систем управления;
- высокие токи нейтрали;
- негативное влияние на телекоммуникационное оборудование;
- вмешательство в работу компьютерных систем.



1.4 Фильтровые реакторы



1.4 Высоковольтный фильтр подавления гармоник



1.5 Шунтирующий реактор



1.5.1 Реактор для систем СТКРМ – ФКУ (статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности – фильтро-компенсирующие устройства)



1.5.1 Тиристорноуправляемый реактор (ТУР)

Реакторы высоковольтных фильтров ВГС совместно с конденсаторными батареями фильтров, образуют резонансный контур, настроенный на частоту конкретной ВГС, а в сочетании с резисторами образуют цепи широкополосных фильтров, настроенных на заданную (резонансную) частоту, для снижения уровня гармонических составляющих токов и напряжений в заданном диапазоне частот. Реакторы, конденсаторные батареи и резисторы фильтров соединяются либо параллельно, либо последовательно.

Высоковольтные фильтры ВГС обычно устанавливаются на узловых подстанциях энергосистем и распределительных сетях промышленных предприятий; в составе статических тиристорно-управляемых компенсаторов реактивной мощности (СТКРМ - ФКУ) и на преобразователе – инверторных подстанциях линий электропередач постоянного тока.

Реакторы проектируются с учетом специальных требований и критериев, обеспечивая соответствие не только индивидуальных техническим условиям Заказчика, но и стабильность индуктивности реактора в широком диапазоне режимов.

1.5. Шунтирующие реакторы

Реакторы этого типа используются для компенсации емкостной реактивной мощности, генерируемой длинными слабонагруженными воздушными или кабельными линиями электропередач. В результате обеспечивается возможность увеличения пропускной способности энергосистемы. При низкой нагрузке шунтирующие реакторы могут быть использованы для уменьшения повышения напряжения вследствие избыточной генерации емкостной мощности линиями электропередач и, вследствие этого, обеспечивают сокращение потерь на корону. В большинстве установок шунтирующие реакторы подключаются к третичной обмотке высоковольтного трансформатора.

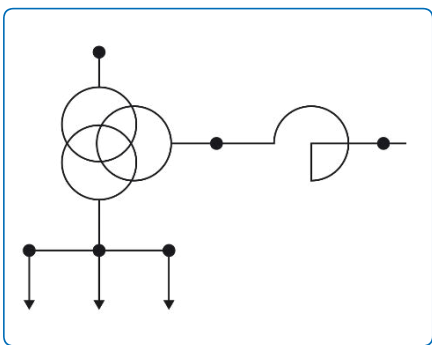
1.5.1 Реактор для систем СТКРМ

СТКРМ – ФКУ используются для обеспечения динамической стабилизации напряжения, адаптивной компенсации потребляемой реактивной мощности и повышения качества электроэнергии в системах электроснабжения мощной резкопеременной нелинейной нагрузки предприятий, а также для стабилизации режима напряжения, предотвращения низкочастотных качаний и повышения устойчивости энергосистем и энергообъединений. СТКРМ – ФКУ также рекомендуется использовать для

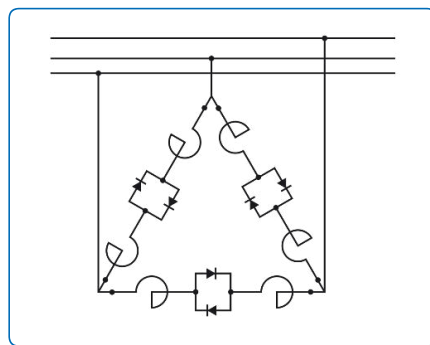
динамической балансировки нагрузки в промышленных установках, использующих мощные электрические двигатели и другое оборудование с переменной нагрузкой. Типовые применения СТКРМ – ФКУ – системообразующие электрические сети энергосистем; металлургические предприятия, оснащенные мощными электродуговыми сталелитейными печами и установками «печь – ковш», прокатными станами с тиристорно-управляемым приводом; горно-обогатительные предприятия; крановое оборудование; целлюлозно-бумажные комбинаты, и т. д.

Системы СТКРМ – ФКУ обеспечивают не только динамическую компенсацию потребляемой реактивной мощности и повышение качества электроэнергии в распределительных и промышленных сетях, но и динамическую стабилизацию напряжения, повышение стабильности энергосистем, сглаживание колебаний потребляемой реактивной мощности и обеспечение баланса реактивной мощности, снижение фликера и сокращение потерь активной мощности.

СТКРМ – ФКУ обычно комплектуются тиристорно-управляемыми реакторами, конденсаторными батареями с тиристорным управлением, конденсаторными батареями с механическим переключением и фильтрами высших гармонических составляющих.



1.5 Шунтирующий реактор, подключенный к третичной обмотке высоковольтного трансформатора



1.5.1 Тиристорноуправляемый реактор

1.6. Демпфирующие реакторы

Демпфирующие реакторы подключаются последовательно с конденсаторными батареями с целью ограничения коммутационных токов при включении – отключении конденсаторной батареи или ступеней регулирования мощности батареи. Они проектируются для обеспечения заданного импеданса и должны выдерживать воздействие номинального тока и тока повреждения в случае короткого замыкания.

1.7. Разрядный реактор

Данное устройство представляет собой реактор для систем последовательной компенсации, представляющих собой высоковольтные конденсаторные батареи, подключенные последовательно к линии электропередач.

Разрядный реактор обеспечивает:

- улучшение условий регулирования напряжения;
- повышение стабильности системы в переходных процессах;
- увеличение пропускной способности линий электропередач;
- снижение электрических потерь и сокращение эксплуатационных затрат.

1.8. Последовательные реакторы электродуговых печей

Последовательные реакторы дуговых печей подключаются последовательно к цепи печной трансформатор – электроды электродуговых печей, используемых на современных металлургических предприятиях (выплавка стали, алюминия и др.)

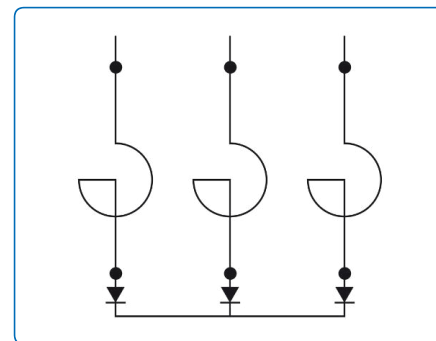
Обеспечиваются необходимая корректировка коэффициента мощности и ограничение нестабильного тока и напряжения дуговой печи (фликер), особенно в процессе расплава. Обмотка реактора имеет высокую динамическую и термическую стойкость, которые требуются при коммутациях печной нагрузки.

1.9. Управление потокораспределением

Данные реакторы подключаются последовательно к высоковольтным линиям энергосистем (обычно, параллельные линии электропередач) с целью оптимизации распределения передаваемой мощности между параллельными линиями либо сечениями путем изменения импеданса линий электропередач. Назначением является изменение импеданса линии для управления потокораспределением и обеспечения максимальной пропускной способности и снижения общих потерь активной мощности.

2.0. Пусковые реакторы

Реактор подключается последовательно к электродвигателю для снижения переходного тока при пуске двигателя. После завершения пуска реактор обычно шунтируется с целью уменьшения потерь при последующей работе. Реактор может быть оборудован защитой от короткого замыкания.

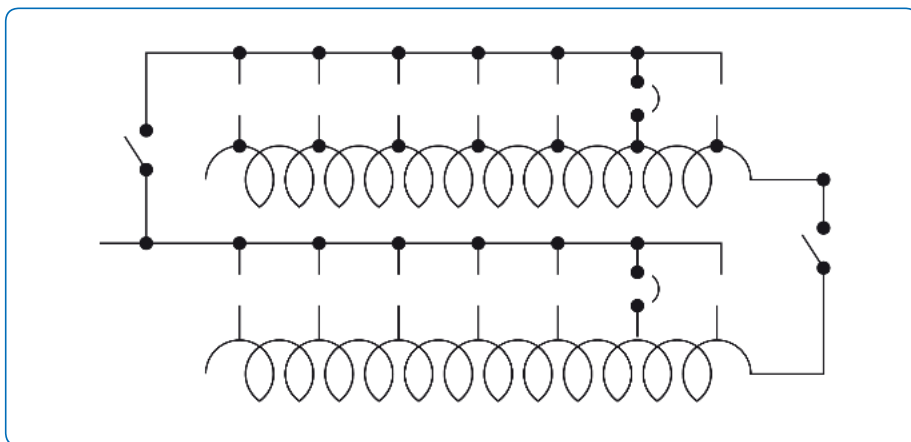


1.6 Демпфирующие реакторы

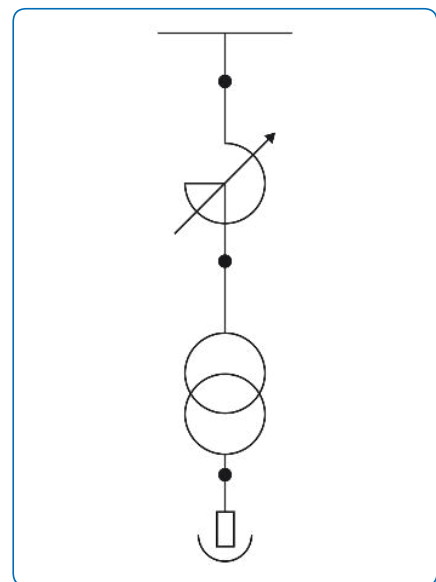
2.1. Реакторы для электролабораторий

Испытательные лаборатории зачастую требуют наличия разнообразных реакторов с отводами, позволяющими регулировать величину индуктивности, а также гибкими клемниками, позволяющими подключать реактор параллельно или последовательно в соответствии с требованиями проводимых испытаний.

Обычно номинальный ток имеет низкое значение, а основной уровень изоляции или кратковременный ток — высокое.



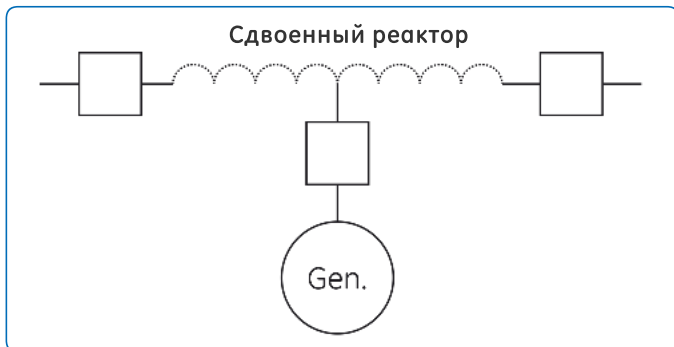
2.1 Специальные реакторы для лабораторий



1.8 Реактор дуговой печи

2.2 Сдвоенные токоограничивающие реакторы

Сдвоенные токоограничивающие реакторы имеют низкое реактивное сопротивление в нормальных условиях и высокое в условиях коротких замыканий, при этом обеспечивается незначительное падение напряжения в нормальных условиях. Реакторы такого типа могут использоваться также в автономных энергосистемах.



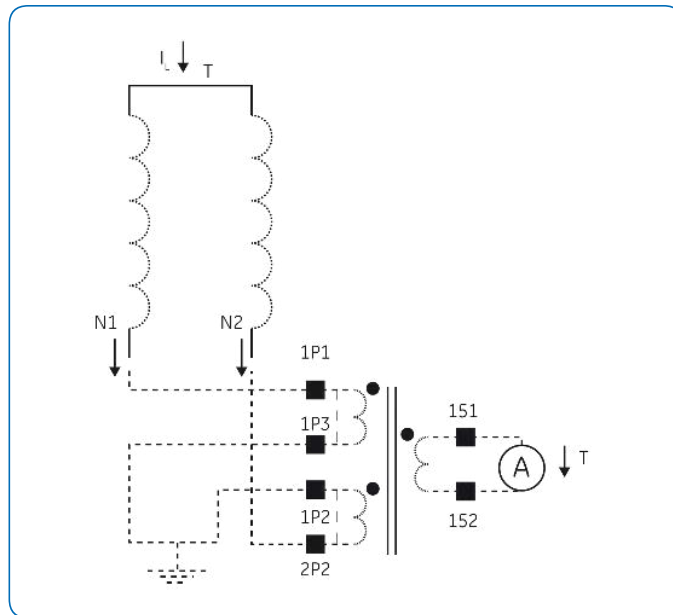
2.2 Сдвоенный реактор

Сдвоенные реакторы сконструированы так, чтобы в нормальных условиях магнитные поля двух полукатушек фаз были направлены в противоположные стороны, в результате чего реактивное сопротивление между источником питания и нагрузкой ниже.

В случае к. з. на одной из цепей подключения ток протекает только через одну полукатушку и, соответственно, противоположно направленный ток другой полукатушки ограничивается возросшим реактивным сопротивлением последовательно подключенной полукатушки с неисправным фидером.

2.3 Шунтирующие реакторы с расщепленной фазой

В зависимости от требуемых номинальных параметров реакторы могут изготавливаться с расщепленной фазой, что обеспечивает необходимую чувствительность при обнаружении межвитковых замыканий. В этом случае разбаланс между токами двух обмоток реактора может использоваться для срабатывания защитных реле.



2.3 Реактор с расщепленной фазой

2.4 Реакторы с нулевой погрешностью

Если требуется, чтобы ошибка индуктивности была равна 0 (нулю), имеется возможность использовать конструкции с расщепленной фазой (две вертикально установленных части катушек). Номинальное значение индуктивности регулируется путем регулировки зазора между частями катушки.

Производство

Обмотки реакторов GE состоят из множества алюминиевых или медных проводников, соединенных параллельно. Проводники могут представлять собой отдельные изолированные провода, кабели в изоляции или алюминиевые профили, разделенные между собой перегородками из стеклопластика. Выбираемые в зависимости от размеров и типа проводников экономичные решения могут быть использованы в различных конструкциях, в зависимости от требуемых параметров оборудования и условий установки и эксплуатации.

В случае герметичного исполнения проводники механически фиксируются и изолируются с помощью пропитанного эпоксидными смолами стекловолокна, образуя цилиндр. В зависимости от требуемых номинальных параметров реакторов, несколько таких цилиндров подключаются параллельно между алюминиевыми или медными крестовинами. Отдельные цилиндры разделяются стеклопластиковыми прокладками, образующими охлаждающие каналы.

Компания GE располагает командой опытных специалистов в области компенсации реактивной мощности, готовых разрабатывать технические решения, способные удовлетворить любые специальные требования заказчиков.

Дополнительные элементы

3.1. Защитные кольца против возникновения короны

В случае необходимости, с целью избегания видимого коронного разряда, реакторы GE оснащаются соответствующими кольцами, выполненными из алюминиевых труб.

3.2. Барьеры от птиц

По отдельному заказу компания GE может оборудовать реакторы барьерами, защищающими их от птиц. Птичьи барьеры выполняются из температуро- и высоковольтно-стойкого стеклопластика, армированного пластмассовой решеткой с проемами прямоугольной формы. Такие птичьи барьеры не препятствуют охлаждению реактора.

3.3. Опорные изоляторы

GE поставляет все необходимые опорные изоляторы для реакторов всех типов.

3.4. Основания

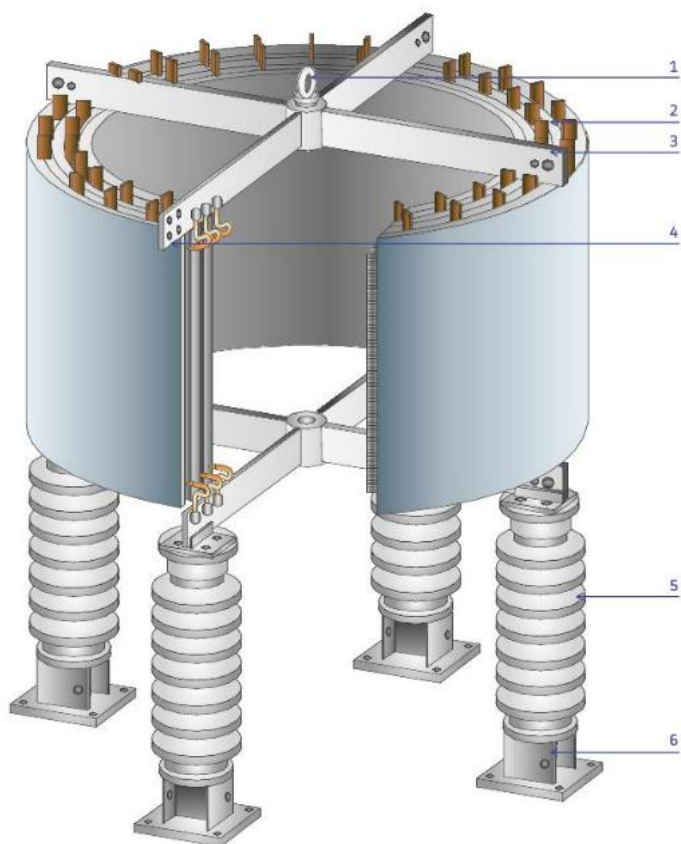
Основания, поставляемые с реакторами GE, обеспечивают магнитный и электрический зазоры необходимые в соответствии с конструкцией реактора для минимизации индукционных потерь.

3.5. Оболочки

По заказу, компания GE может спроектировать и поставить реакторы в защитном корпусе.

3.6. Регулировочные отпайки

Реакторы могут снабжаться регулировочными отпайками для получения различных значений индуктивности.



Конструкция реактора с воздушным сердечником

- 1 /Подъемная проушина
- 2 /Прокладки (каналы охлаждения)
- 3 /Поперечные балки (крестовина)
- 4 /Клемма
- 5 /Изолятор
- 6 /Подставки (основание)

Экономичные решения

Монтаж

4.1. Размещение

Реакторы GE пригодны как для наружной, так и для внутренней установки.

Во многих случаях реакторы устанавливаются на действующих подстанциях или предназначены для замены существующих реакторов. Наши реакторы спроектированы в соответствии с ограничениями по располагаемому пространству; реакторы могут монтироваться на существующих фундаментах. Они также производятся для установки в шкафах. При этом номинальное тепловыделение и конструкция реакторов обеспечивает отсутствие перегрева.

4.2. Варианты монтажа

Реакторы могут проектироваться для вариантов горизонтального или вертикального расположения фаз. В случае ограниченного свободного пространства или реакторной камеры, компания может предложить специальные инженерные решения по монтажу. На рисунке 2 ниже показаны возможные варианты реализации установки.

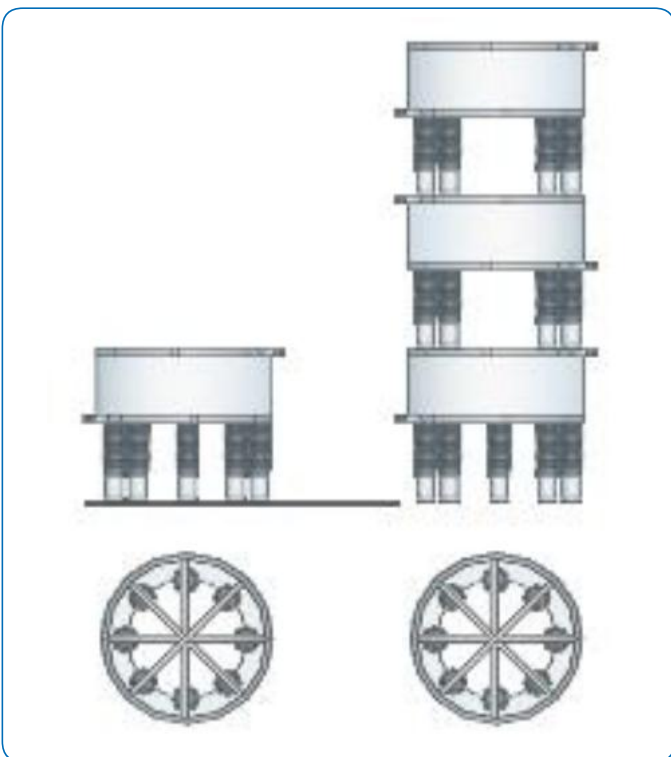


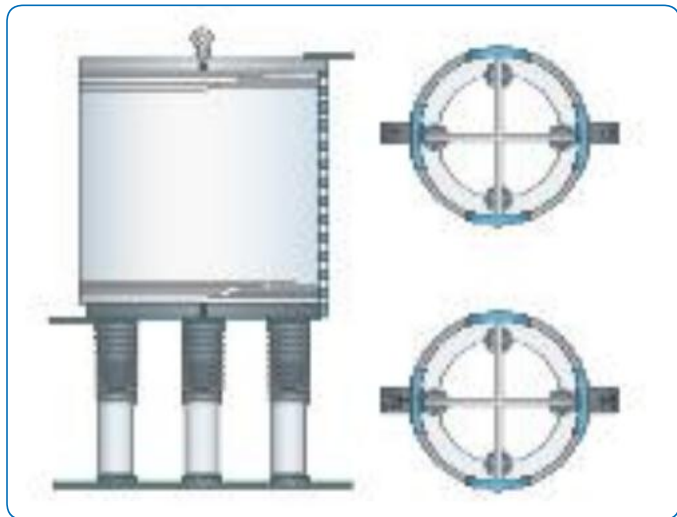
Схема расположения

4.3. Магнитные зазоры

Схема магнитных расстояний доступна по запросу в компании GE

5. Расположение клемм и клеммных отверстий

Реакторы GE поставляются с плоскими клеммами типа NEMA или IEC, выполненными из алюминия или меди. По дополнительному запросу могут быть поставлены клеммы других стандартов. На рисунках 4 и 5 показано типовое расположение клемм и клеммных отверстий. По дополнительному запросу могут быть поставлены реакторы с другим расположением клемм и отверстий. В случае использования медных проводников могут поставляться биметаллические луженые клеммы.



Расположение клемм

6. Окраска

После окончания намотки реактор тщательно подготавливается к покраске высококачественной эмалью, которая обеспечивает долгосрочную защиту от ультрафиолетовых лучей. Обычные цвета — Munsell № 6.5 серый, ANSI 70, RAL 7037 и RAL 5024, но по запросу могут быть использованы другие цвета.

Для эксплуатации в условиях высокого загрязнения GE использует специальную технологию покраски (RTV); кроме того, реакторы могут быть оснащены верхней защитной крышкой, уменьшающей вредное воздействие сильно загрязненной окружающей среды.



Схема расположения отверстий

Расчетные формулы

Полезные формулы:

X_L Индуктивное сопротивление (Ом)
 f Частота (Гц)
 L Номинальная индуктивность (Гн)
 Q_L Номинальная мощность (Вар)
 I_n Номинальный ток (А)
 Q Добротность контура (Q-фактор)
 R_{ac} Эффективное сопротивление (Ом) в системе или частота настройки

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$Q_L = I_n^2 \cdot X_L$$

$$Q = \frac{X_L}{R_{ac}}$$

$$\text{Потери} = \frac{Q_L}{Q}$$

Контроль качества

На заводах GE внедрена система непрерывного улучшения качества, основанная на постоянном поиске путей оптимизации конструкции изделия, закупаемых материалов и компонентов, технологии и улучшения обслуживания клиентов. Изделия, изготавливаемые опытным специально обученным персоналом, гарантируют максимальное соответствие требованиям заказчика. Благодаря этому фундаментальному принципу, применяемому совместно с системой менеджмента качества, все производственные подразделения компании GE сертифицированы по стандартам качества ISO 9001, ISO 14001 и OHSAS 18001.

Испытания

Программа заводского испытания реакторов предусматривает использование измерительных систем, специально разработанных для этих целей. Испытания соответствуют требованиям международных стандартов, таких как IEC, ANSI или аналогичных им. Многочисленные типовые испытания были успешно выполнены на реакторах GE в таких всемирно признанных лабораториях, как KEMA (Голландия), CESI (Италия), IREQ (Канада), CEPTEL (Бразилия) и LAPEM (Мексика).

Результаты типовых испытаний предоставляются по запросу.



Запрашиваемая информация

- Номинальная индуктивность (мГн) или номинальное индуктивное сопротивление (Ом);
- Номинальный ток (А);
- Токи высших гармонических составляющих (А);
- Номинальное напряжение (кВ)
- Требуемый уровень прочности изоляции (кВ, Гц, 1 мин; кВ, ударн., ВIL)
- Номинальная частота (Гц)
- Ток термической стойкости (кА ср.кв.) / продолжительность (сек)
- Ток динамической стойкости (кА, макс)
- Способ монтажа;
- Номинальная мощность (МВАр) для шунтирующих реакторов;
- Дополнительные сведения: сейсмические условия, ветровая нагрузка, уровень загрязнений, соленые брызги, высота над уровнем моря, стандарт соответствия, окружающая температура, влажность, ледяная нагрузка, цикл работы, требования по клеммам и углам между выводами фаз, требования по шуму и т.д.

Исследовательская деятельность

GE находится на передовых позициях инновационных решений. Компания имеет международную команду специалистов в области исследований и проектирования, обладающих многолетним опытом работы с самыми современными технологиями, используемыми компаниями – предшественниками. Целью компании является разработка передовых инновационных технологий, наилучшим образом отвечающих потребностям заказчиков, при этом, обеспечивающих экономичные решения и экологическую безопасность. Высокотехнологичные специалисты Центра Компетенции GE разрабатывают комплексные решения по компенсации реактивной мощности и фильтрации гармоник. Одна из их ключевых задач - продолжать держать лидерство в области производства сухих реакторов с воздушным сердечником.

Для дополнительной информации обращайтесь:
GE Energy Connections
Grid Solutions

Всемирный контактный центр

Web: www.GEGridSolutions.com/contact
Тел.: +44 (0) 1785 250 070

GEGridSolutions.com

IEC is a registered trademark of Commission Electrotechnique Internationale. IEEE is a registered trademark of the Institute of Electrical Electronics Engineers, Inc.

GE and the GE monogram are trademarks of General Electric Company.

GE reserves the right to make changes to specifications of products described at any time without notice and without obligation to notify any person of such changes.

Grid-PEA-L3-ACR-0586-2017_04-EN. © Copyright 2017, General Electric Company.



Imagination at work