

УДК 681.3.06

СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

Тукай П. А., Баран А. Г.

Научный руководитель – Гавриелок Ю. В.

Токоограничивающий реактор – электрический аппарат, предназначенный для ограничения ударного тока короткого замыкания. Включается последовательно в схему и работает как индуктивное дополнительное сопротивление при коротком замыкании, уменьшающее ударный ток. В нормальном режиме на реакторе наблюдается падение напряжения порядка 3 %, что вполне допустимо. В режиме короткого замыкания на реактор приходится большая часть напряжения.

Основными наиболее распространенными типами реакторов долгое время являлись бетонные, масляные и броневые реакторы.

Бетонные реакторы получили распространение для внутренней установки и при напряжениях сетей до 35 кВ. Бетонный реактор представляет собой concentрически расположенные витки изолированного многожильного провода, залитого в радиально расположенные бетонные колонки. При коротких замыканиях обмотки и детали реактора испытывают значительные механические нагрузки, обусловленные электродинамическими силами. Поэтому, при их изготовлении применяется бетон с высокой прочностью. Все металлические детали реактора изготавливаются из неферромагнитных металлов. Фазные катушки реактора располагают так, что при собранном реакторе поля катушек расположены встречно, что необходимо для преодоления продольных динамических усилий при коротком замыкании. Бетонные реакторы могут выполняться как естественно-воздушного, так и воздушно-принудительного охлаждения.

Масляные реакторы применяются в сетях выше 35 кВ. Данный реактор состоит из обмоток медных проводников, изолированных кабельной бумагой, которые укладываются на изоляционные цилиндры и заливаются трансформаторным маслом или иным электротехническим жидким диэлектриком. Жидкость служит одновременно и изолирующей и охлаждающей средой. Для снижения нагрева стенок бака от токов Фуко, порождаемых переменным магнитным полем обмоток реактора применяют электромагнитные экраны или магнитные шунты. Также используются магнитные шунты – пакеты листовой электротехнической стали, расположенные внутри бака реактора около стенок, и являются искусственным магнитопроводом с магнитным сопротивлением, меньшим сопротивлением стенок бака, что замыкает основной магнитный поток обмотки реактора, а не через ферромагнитные стенки бака.

Не смотря на тенденцию изготавливать токоограничивающие реакторы без ферромагнитного магнитопровода, вследствие опасности насыщения магнитной системы при токе КЗ и как следствие резким падением токоограничивающих свойств, некоторые электротехнические предприятия выпускают реакторы с сердечниками броневой конструкции из электротехнической стали. Преимуществом данного типа токоограничивающих реакторов является меньшие массо-габаритные показатели и стоимость, за счёт уменьшения в конструкции доли цветных металлов. Недостаток является возможность потери токоограничивающих свойств при ударных токах, больших номинального для данного реактора, что в свою очередь требует тщательного расчёта токов короткого замыкания в сети и выбора броневых реактора таким образом, чтобы в любом режиме сети ударный ток короткого замыкания не превышал номинального.

Наиболее современным и инновационным в данной сфере является производство сухих реакторов (РТСТ). Они пришли на смену другим конструкциям, благодаря своим значительным преимуществам перед конструкциями другого типа. Основным преимуществом сухих токоограничивающих реакторов является их массо-габаритные

показатели, срок службы и электродинамическая стойкость. Разные производители сухих реакторов предлагают различные конструктивные решения основных составляющих элементов токоограничивающего реактора, таких как:

- обмотки;
- прессующая система;
- изоляторы;
- вводные и выводные шины;
- крепление реактора к фундаменту.

На сегодняшний день лидерами в направлении разработки и производства сухих токоограничивающих реакторов в России являются: группа «СвердловЭлектро», группа компаний «Трансформер», предприятие ООО «КПМ», Свердловский Завод Высоковольтного Оборудования «СЗВО».

Наиболее прогрессивной и технологичной считается конструкция реакторов из ленты. Лидером в производстве данных реакторов в России является группа компаний «Трансформер», которая имеет свои представительства по всем регионам СНГ.

Основными потребителями токоограничивающих реакторов являются генерирующие станции, распределительные подстанции, электрические сети, крупные промышленные предприятия, энергоемкие объекты инфраструктуры. Многие из этих предприятий приобретают сухие реакторы для замены бетонных аналогов, морально устаревших и уже не соответствующих современным требованиям.

Обмотки таких реакторов изготавливаются из алюминиевой ленты. Обмотки надежно скрепляются с помощью конструкций, выполненных из немагнитного материала.

Изоляция реактора состоит из изоляции проводника, межслоевой изоляции и пропиточного лака. Пропитка лаком осуществляется методом вакуум-давления, являющимся самым эффективным и позволяющим в максимальной степени использовать полезные свойства лака. Плотная намотка ленточного проводника в сочетании с пропиткой лаком вакуум-давлением делает конструкцию очень жесткой и устойчивой к механическим и электродинамическим нагрузкам при аварийных режимах.

Одним из преимуществ РТСТ «Трансформер», как и всех сухих реакторов в целом, является высокая динамическая стойкость. Что стало возможным благодаря применению современных изоляционных материалов и технологических особенностей производства.

Другим преимуществом является повышенная энергоэффективность. Разработанная компанией «Трансформер» уникальная математическая модель процессов, протекающих в ленточной обмотке, позволила в значительной степени снизить дополнительные потери за счет оптимизации сечения ленты и геометрии обмоток. Ленточная технология в совокупности с применением данной модели обеспечивают высокую энергоэффективность оборудования.

Токоограничивающие реакторы РТСТ являются более компактными в сравнении с громоздким бетонным аналогом. Сухие реакторы позволяют эффективно заменить бетонные реакторы в существующей камере с увеличением числа подключений.

РТСТ «Трансформер» выдерживают значительные электродинамические нагрузки при аварийных режимах, благодаря своим конструктивным особенностям, которая заключается в плотной намотке ленточного проводника. В сочетании с пропиткой лаком вакуум-давлением эта конструкция является очень жесткой. В совокупности с инновационным проектированием это позволяет возникающие в аварийном режиме в обмотке электродинамические усилия распределять по всей высоте ленты, а не сосредотачивать в отдельных проводниках. Каждая обмотка надежно скрепляется с двух сторон с помощью крестовин, выполненных из немагнитного материала.

В настоящее время реакторы из ленты изготавливает фирма *Nokian* (Финляндия), *Trench* (Австрия), *Coilinnovation* (Австрия), *Areva* (Франция), *Hilkar* (Турция), *F.d.u.e.G.* (Италия).

Основной недостаток реакторов из ленты состоит в наличии мощного эффекта вытеснения тока, что предъявляет повышенные требования как к методикам их расчета, так и к технологии производства. Поэтому остается актуальным производство сухих реакторов с проводниками в виде кабелей или многожильного провода, что создает конкурентную среду в этой области, способствующую дальнейшему развитию существующих и появлению новых конструкций и технологий производства реакторов.