

Сверхпроводящие трансформаторы энергетического назначения

Ш.И. Лутидзе, Э.А. Джафаров

ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского», 119991, Москва, Россия

Важнейшими элементами энергетических систем и комплексов, связанными с другими элементами не только конструктивно, но и единством протекающих в них процессов, являются силовые трансформаторы, оказывающие существенное влияние на экономию электрической энергии, надежную и экологически чистую транспортировку ее от мест генерации до объектов потребления.

Рост мощности силовых трансформаторов энергетических систем и комплексов за рубежом и в нашей стране осуществляется за счет увеличения рабочих напряжений обмоток трансформаторов. В нашей стране были достигнуты величины единичной мощности – 1250 МВА и напряжения – 1200 кВ [1]. Дальнейшее повышение мощностей силовых трансформаторов за счет увеличения напряжений обмоток создает все более трудные проблемы, связанные с их применением в энергетических системах и комплексах. Так, практически достигнуты предельно возможные по электрической прочности воздуха напряжения; габариты и масса наиболее мощных генераторных трансформаторов во много раз превышают допустимые значения по грузоподъемности и площади железнодорожных платформ.

Остро стоящие вопросы экономии электрической энергии, связанной с уменьшением потерь в силовых трансформаторах стимулируют развитие энергосберегающих технологий на современном этапе развития трансформаторостроения.

Использование сверхпроводящих обмоток в силовых трансформаторах позволит уменьшить массогабаритные показатели трансформаторов (в 2 – 3 раза), снизит потери в обмотках (более чем в 3 раза), увеличит токонесущую способность обмоток (в десятки раз), КПД и коэффициент мощности [2].

Применение жидкого азота в качестве хладагента сверхпроводящих трансформаторов (СПТ) позволит, помимо основной функции использовать его для высокоэффективной изоляции, обладающей отличными диэлектрическими свойствами, отличающимися от обычной традиционной изоляции такими параметрами как нестарение, экологическая чистота, противопожарная безопасность. Использование жидкого азота в качестве изоляционного материала в СП трансформаторах ведет к увеличению ресурсосбережения и надежности последних.

Сочетание сверхпроводящих трансформаторов с устройствами силовой электроники (GTO-тиристоры, IGBT- транзисторы, криотроны) позволит использовать такие

трансформаторы в качестве электромагнитных устройств ввода энергии переменного тока в сверхпроводящие энергетические системы постоянного тока, а также для соединения энергосистем, энергетических сетей, ЛЭП и кабелей постоянного тока с разным уровнем напряжения [3].

Использование аморфной электротехнической стали в качестве материала магнитопровода сверхпроводящих трансформаторов снизит потери холостого хода в них (в 5÷6 раз), намагничивающий ток (в десятки раз) и, тем самым снижая общие потери в СПТ, повышает эффективность энергосбережения как в самих силовых трансформаторах, так и в энергетических системах и комплексах, где они должны быть использованы [4].

В лаборатории криогенной электротехники ЭНИИ им. Г.М.Кржижановского с 1975 г. по настоящее время ведутся работы по созданию и исследованию СП трансформаторов с пульсирующим магнитным полем тороидального и стержневого типа и с вращающимся магнитным полем электромашинного типа, имеющими силовые обмотки и отдельную обмотку возбуждения, находящиеся как в полностью низкотемпературной среде (жидкий гелий, жидкий азот), так и в разных температурных зонах (жидкий гелий, жидкий азот, комнатная температура). Разработанные экспериментальные модели СП трансформаторов с локализованным магнитным полем, осуществляемые неплотной намоткой витков силовых обмоток и применением отдельной обмотки возбуждения основного магнитного поля, позволили с их помощью проверить разработанные принципы и условия, необходимые для уменьшения потерь, увеличения КПД, токонесущей способности и мощности, практического выполнения сверхпроводящих трансформаторов для последующего использования их в энергетических системах и комплексах.

На рис. 1 представлены силовые (первичная криопроводящая и вторичная сверхпроводящая) обмотки СПТ стержневого типа, выполненные неплотной намоткой витков и размещенные на отдельном стержне СПТ в азотной и гелиевой полостях криостата, соответственно. Отдельная, нормально проводящая, обмотка возбуждения размещена на другом стержне магнитопровода СПТ (на рис.1 не показаны) и функционирует при комнатной температуре.

Величина критического тока в СП обмотке, выполненной неплотной намоткой витков по



Рис. 1. Силовые обмотки и гелиевая полость криостата СПТ стержневого типа.

сравнению с аналогичным трансформатором с традиционной плотной намоткой витков увеличивается в 5,48 раз (при этом обмотки находятся в разных магнитных полях, величина же докритического тока СПТ, при условии, что витки обеих сравниваемых СП обмоток находятся в равных магнитных полях увеличивается в 8,73 раза.

На рис.2 представлена конструкция разработанного и экспериментально испытанного СПТ тороидального типа с пульсирующим магнитным полем с СП силовыми обмотками и СП отдельной обмоткой возбуждения, где также использован принцип выполнения силовых обмоток неплотной намоткой витков. Величина критического тока в таком СПТ по сравнению с аналогичным СПТ с традиционной плотной намоткой витков увеличивается в 4,8 раза (СП обмотки находятся в разных магнитных полях), величина же докритического тока неплотной СП обмотки при условии, что сравниваемые СП обмотки находятся в равных магнитных полях превышает величину аналогичного тока плотной обмотки почти в 10 раз.

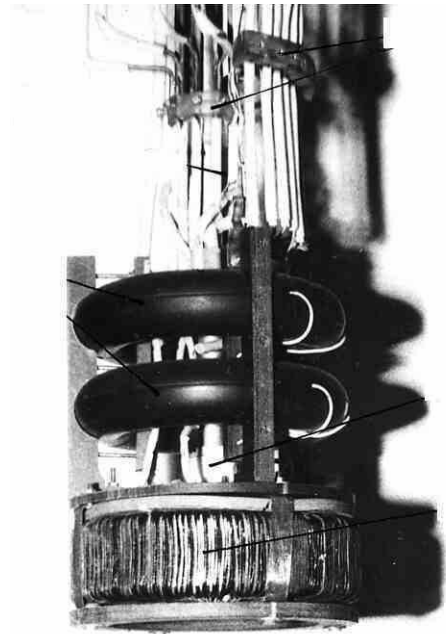


Рис. 2. Общий вид СПТ тороидального типа с СП индуктивной нагрузкой.

Разработанный также экспериментальный СПТ с вращающимся магнитным полем электромашинного типа с силовыми СП первичной и вторичной обмотками и нормально проводящей обмоткой возбуждения был испытан в режимах х.х., к.з. и нагрузки. Испытания показали эффективность применения отдельной обмотки возбуждения. Так в режиме к.з. увеличением напряжения на обмотке возбуждения постепенно достигается уменьшение тока к.з. в первичной СП обмотке до нуля, что позволит отключить такой СПТ от питающего напряжения сети в аварийном режиме работы. В режиме нагрузки использование отдельной обмотки возбуждения позволило увеличить вторичный ток трансформатора на 15%.

Результаты экспериментальных исследований сверхпроводящих трансформаторов тороидального, стержневого и электромашинного типа с локализованным магнитным полем подтвердили правильность разработанных принципов и условий получения максимальной токонесущей способности обмоток СПТ, увеличения их единичной мощности и КПД, уменьшения потерь и массогабаритных показателей.

1. Лизунов С.Д., Лоханин А.К. Электричество, 2000, № 8.
2. Лутидзе Ш.И., Джафаров Э.А. «Сверхпроводящие трансформаторы» Научтехлитиздат М.2002.
3. Лутидзе Ш.И., Джафаров Э.А. Пат.РФ №2207696 Б.И. № 18, М. 2003.
4. Лутидзе Ш.И., Джафаров Э.А. Приборы и системы управления, 1999, №10.