УДК 621.316

П.И. НИКИТИН, студент гр. ЭП-102 (КузГТУ)
Научный руководитель: Т.Л. ДОЛГОПОЛ, доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТРАНСФОРМАТОРОСТРОЕНИИ

Научно-технический прогресс с каждым годом приносит все больше и больше инноваций в различные сферы деятельности, в том числе и в электроэнергетику. В данной стать представлены и проанализированы новые технологии в трансформаторостроении.

Силовой трансформатор является одним из важнейших элементов каждой электрической сети. Передача электрической энергии на большие расстояния от места ее производства до места потребления требует в современных сетях не менее пяти-шестикратной трансформации в повышающих и понижающих трансформаторах. В связи с этим, снижение потерь в самих трансформаторах очень актуально для повышения энергоэффективности систем электроснабжения потребителей.

В трансформаторах основные потери обусловлены магнитными процессами в магнитопроводах (потери холостого хода) и нагревом обмоток (нагрузочные потери). Потери холостого хода трансформатора являются условно постоянными, так не зависят от тока нагрузки. Потери короткого замыкания (нагрузочные) изменяются с изменением тока нагрузки и зависят от графика нагрузки трансформатора.

Потери в магнитопроводе трансформатора можно снизить двумя путями: улучшением типа и качества материала, а так же изменением конструкции. В большинстве современных трансформаторов магнитопровод выполнен из холоднокатанной анизотропной электротехнической стали, а соединения отдельных элементов магнитопровода выполнены с помощью шихтовки.

По способу соединения стержней с ярмами магнитопроводы подразделяют на стыковые, шихтованные, навитые. В стыковых магнитопроводах возникают большие потери в месте стыка, но при этом, этот метод является самым простым в изготовлении. В шихтованных магнитопроводах пластины стержней и ярм собирают в переплёт – шихтуют, благодаря чему они не имеют сплошного стыка в плоскости поперечного сечения, что приводит к существенному уменьшению немагнитных зазоров и тока холостого хода по сравнению со стыковыми магнитопроводами. По форме стыка пластин стержней и ярм шихтованные магнитопроводы выполняются с прямыми или косыми стыками.

Наиболее совершенной из плоских шихтованных магнитопроводов является схема шихтовки «Step-lap».

При схеме шихтовки «Step-lap» сборка пакетов осуществляется в пять положений со сдвигом относительно друг друга на 15 мм.

Сдвиг пакетов относительно друг друга позволяет перекрывать косые стыки и минимизировать зону, в которой направление магнитного потока не совпадает с направлением проката стали, и уменьшить влияние воздушных зазоров.

Магнитные системы всех новых типов трансформаторов и в России, и за рубежом выполняются по данной схеме шихтовки. Это не только уменьшает потери холостого хода, но и уменьшает шум, создаваемый трансформатором в процессе работы. Пониженный уровень шума позволяет максимально приближать подстанции к потребителям, сокращая длину линий более низких уровней напряжения, а, следовательно, уменьшать потери электроэнергии в распределительных сетях.

Еще более современной является технология Riedel (магнитная система типа Unicore), особенностью которой является новая геометрия и конструкция сердечника, при которой листовая трансформаторная сталь имеет форму трехразмерных колец.

Обычная трансформаторная сталь характеризуется прямоугольной геометрией, которая не соответствует дугообразной форме силовых линий. При вынужденном изменении направления силовые линии магнитного поля в стальном сердечнике имеют неравномерную характеристику, они переплетаются, что обусловливает повышение сопротивления стали, и, как следствие увеличение потерь на намагничивание.

Этот отрицательный эффект усиливается за счет того, что в зонах уже и так неравномерной характеристики расположены отверстия для крепления пакета активной стали, в результате чего дополнительно уменьшается эффективное сечение сердечника и повышается сопротивление магнитному потоку. При обычной конструкции трансформаторов листовая трансформаторная сталь формируется из плоских штампованных элементов, которые объединяются в пакеты. В конструкции магнитной системы Unicore отдельные элементы представляют собой сформированные в трех измерениях стальные ленты, которые особым образом формируются в пакеты. В этом случае магнитный поток постоянно направлен в оптимальном направлении, т. е. замыкается по пути с наименьшим сопротивлением.

Кроме этого, при использовании традиционной конструкции трансформаторов воздушный зазор, который образуется при сборке сердечника, геометрически распределяется по всему сечению пакета трансформаторной стали, что приводит к повышению магнитного сопротивления пакета трансформаторной стали. При использовании технология Riedel воздушный зазор распределяется по периферии пакета трансформаторной стали, что, с одной стороны, приводит к снижению магнитного сопротивления и, с другой, обусловливает снижение уровня шума. Таким образом, основными преимуществами технологии Riedel является повышение КПД транс-

форматора, снижение на 45% потерь электрической энергии в стали трансформатора и снижение уровня шума.

Для оценки влияния магнитной индукции на удельные потери в стали магнитопровода были произведены замеры на трансформаторах с системой шихтовки «Step-lap» и «Unicore». Измерения проводились с использованием многофункционального счётчика электрической энергии СЭТ-4ТМ для трансформаторов мощностью 100 и 160 кВА с магнитной системой «Unicore» и для трансформатора мощностью 160 кВА со схемой шихтовки «Step lap».

Изменение потребления активной электроэнергии трансформатором фиксировалось при подаче напряжения, начиная с 300 В с шагом 10 В до достижения значения тока 10 А или напряжения 500 В.

Результаты исследования представлены на рис.1 и 2.

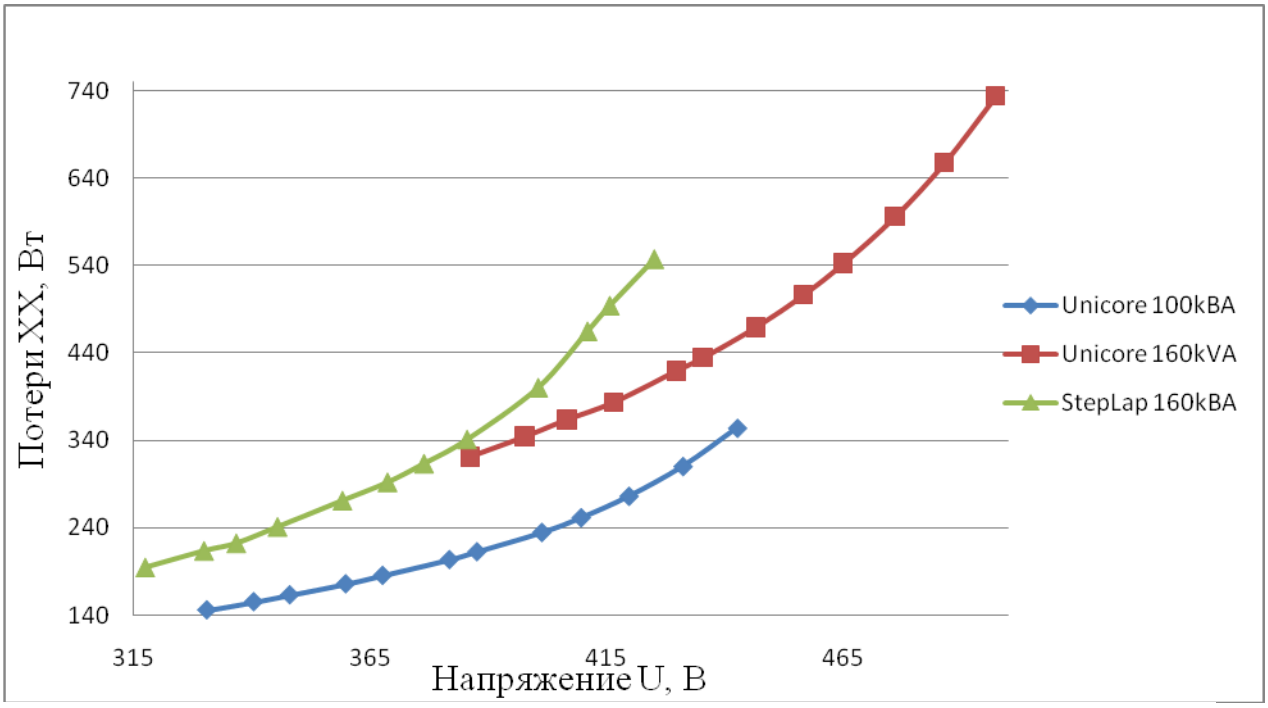

Рис. 1. Зависимость потерь холостого хода в магнитопроводе от напряжения при разных типах магнитопровода

Как следует из сравнения потерь холостого хода при использовании разных конструкций магнитных систем, при напряжении 400 В потери в стали трансформатора с новой геометрией сердечника почти на 20% меньше, чем при использовании прямоугольных магнитных систем со схемой шихтовки «Step lap».

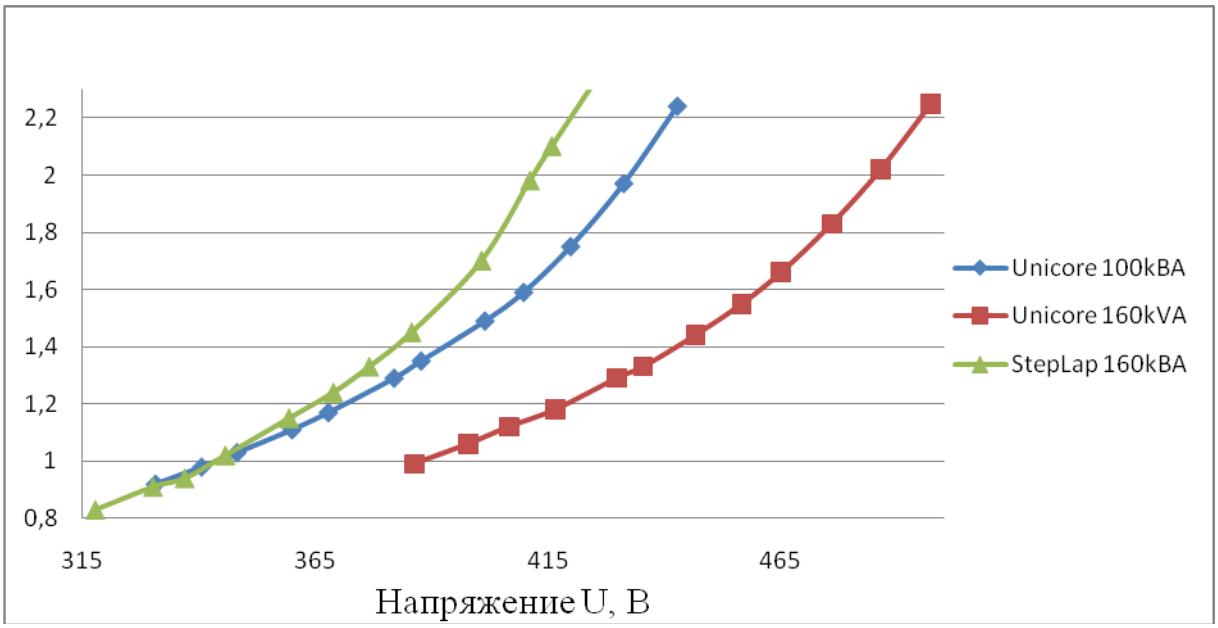

Рис. 2. Зависимость удельных потерь холостого хода
в магнитопроводе от напряжения при разных типах магнитопровода

Удельные потери холостого хода также меньше при использовании для магнитных систем трансформаторов технологии Riedel.

До недавнего времени для изготовления магнитных систем трансформаторов в России использовалась только электротехническая сталь. В июле 2012 года Группа «Трансформер» приступила к производству опытных образцов распределительных силовых трансформаторов с сердечником из аморфной стали. Главной особенностью таких трансформаторов является их высокая энергоэффективность, достигаемая за счет значительного снижения потерь холостого хода.

Трансформаторы с сердечником из аморфной стали изготавливаются в США уже на протяжении 30 лет, в Индии – 15 лет, в Китае – около 10 лет.

Опыт эксплуатации аморфных трансформаторов за рубежом показал, что увеличение стоимости силовых трансформаторов на 30-35% окупается в течение 3-5 лет в зависимости от региональных тарифов на электроэнергию.

Магнитопровод из аморфной электротехнической стали имеет следующие технические преимущества: снижаются потери холостого хода на 75%, т.к. сплав имеет высочайшую магнитную проницаемость и высокое удельное сопротивление (приблизительно в 10 раз большее, чем электротехническая сталь), а также более высокую коррозионную стойкость.

Список литературы:

1. Тихомиров, П. М. Расчёт трансформаторов [Текст]: учеб. пособие для вузов – 5-е изд., и доп. / П. М. Тихомиров. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.

2. Лизунова, С. Д. Силовые трансформаторы [Текст]: справочная книга / С. Д. Лизунова, А. К. Лоханина. – М. : Энергоиздат, 2004. – 616 с.

3. Дубатов, Б . П. Производство трансформаторов до 630 кВА [Текст] / Б . П. Дубатов, С. И. Рабинович. – М. : Энергия, 1997. – 112 с.

4. Сергеенков, Б. Н. Электрические машины: Трансформаторы [Текст]: учеб. пособие для электромех. спец. вузов / Б. Н. Сергеенков, В. М. Киселёв, Н. А. Акимова; под ред. И. П. Копылова. – М. :Высш. шк. – 1989. – 352 с.

5. Морозов, Ю. В. Новая технология Unicore для изготовления магнитопроводов / Ю. В. Морозов // Компоненты и технологии. – 2006. – № 8.