

УДК 621.3

Анализ энергоэффективности сухих распределительных трансформаторов

Волынчикова Е.В., Тарнацкая О.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент РАДКЕВИЧ В.Н.

Оценку энергоэффективности сухих трансформаторов можно производить по нормативам Комиссии ЕС, установленным на 2015 и на 2021 годы [1]. Трансформаторы средней мощности должны соответствовать значениям максимально допустимых потерь короткого замыкания (КЗ) и холостого хода (ХХ) или значениям индекса максимальной эффективности (КПД). Используя указанные нормативные данные, выполнена оценка показателей энергоэффективности сухих распределительных трансформаторов, выпускаемых Минским электротехническим заводом имени Козлова (МЭТЗ) [2]. На рис.1 представлена зависимость потерь (ΔP) КЗ и ХХ трансформаторов от их номинальной мощности $S_{\text{ном}}$ по нормативам Комиссии ЕС и данным МЭТЗ. Кривая, отражающая зависимость потерь КЗ трансформаторов МЭТЗ, на участке с номинальной мощностью до 160 кВ·А совпадает с нормативами ЕС как на 2015, так и на 2021 годы. Наиболее сильное расхождение потерь КЗ трансформаторов МЭТЗ по сравнению с нормами на 2021 год начинается с $S_{\text{ном}}=250$ кВ·А и продолжается до $S_{\text{ном}}=630$ кВ·А, в том время как нормам на 2015 год они полностью соответствуют.

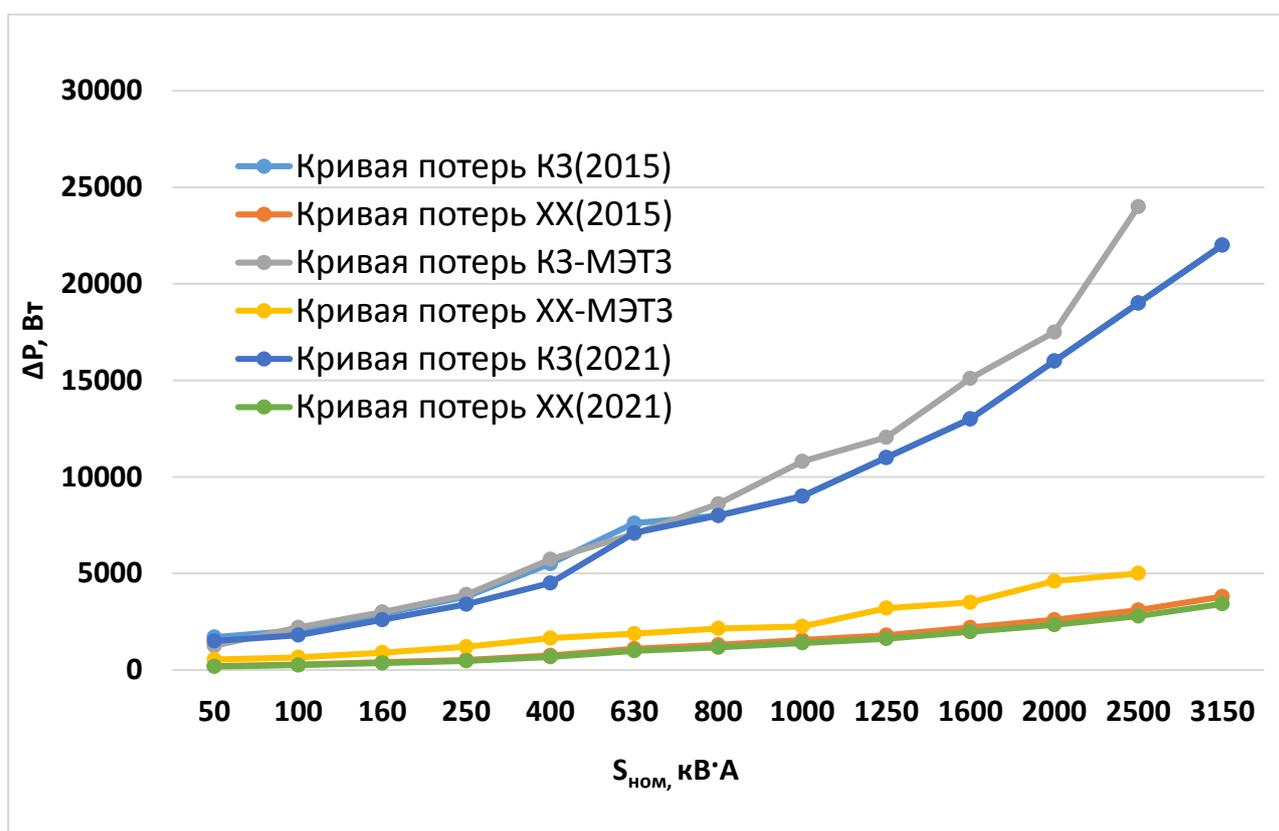


Рисунок 1– Зависимость потерь короткого замыкания и холостого хода от номинальной мощности трансформатора

Двигаясь вверх по кривой КЗ-МЭТЗ, можно отметить некоторое несовпадение характеристик трансформаторов с кривыми, построенными по нормам на 2021 и на 2015 годы. Отметим, что нормативы на указанные периоды полностью совпадают. Для трансформаторов МЭТЗ потери увеличиваются, начиная от значения $S_{\text{ном}}=630$ кВ·А, особенно при $S_{\text{ном}} \geq 2000$ кВ·А.

Что касается потерь ХХ, во всех трансформаторах МЭТЗ в независимости от $S_{\text{ном}}$ эти потери оказываются выше допустимых в соответствии с нормативами ЕС. Наибольшее расхождение имеет место в диапазоне $S_{\text{ном}}=1000-3150$ кВ·А.

Сами же нормы на 2015 и 2021 годы практически совпали по всей кривой зависимости потерь ХХ от номинальной мощности.

В работе произведена оценка суммарных потерь КЗ и ХХ сухих распределительных трансформаторов МЭТЗ в зависимости от $S_{ном}$ по нормативам ЕС. Полученные результаты приведены на рис.2.

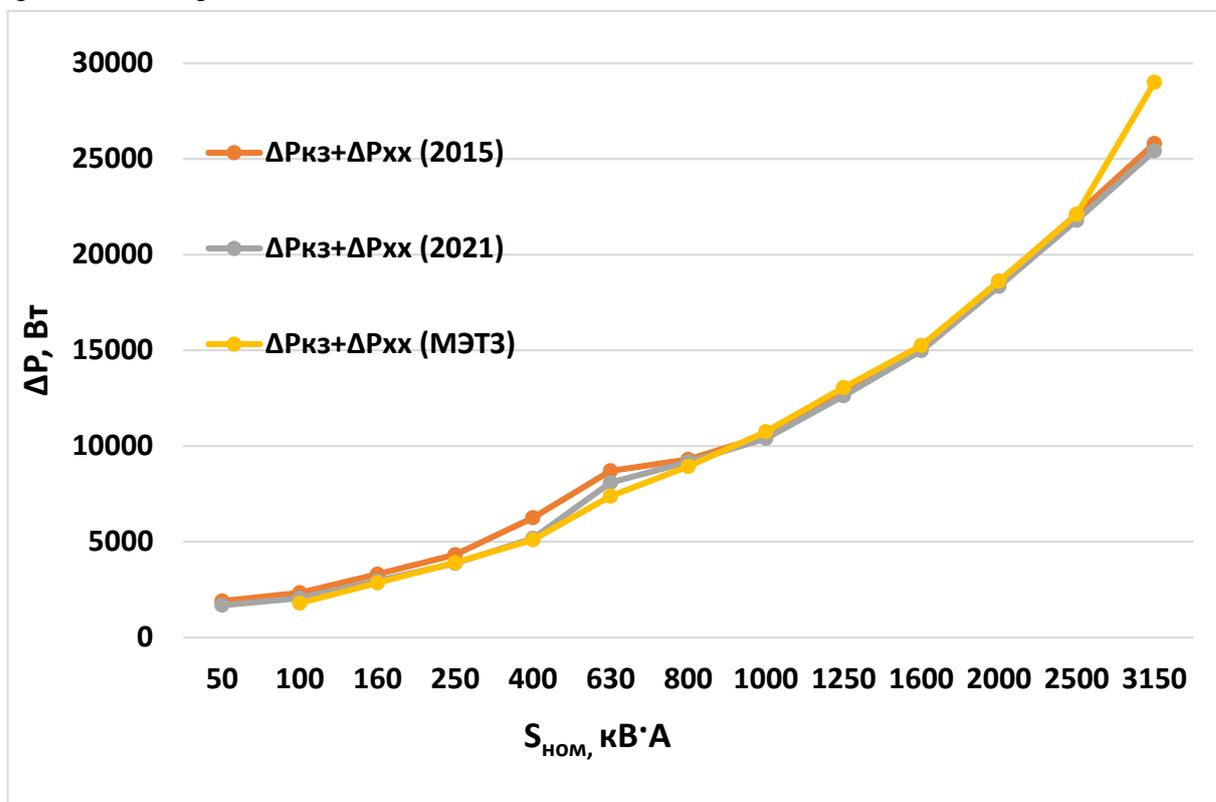


Рисунок 2 – Зависимость суммарных потерь мощности от номинальной мощности трансформатора

Анализ графических зависимостей приведенных на рис.1 и 2 показывает, что на рис.1 кривые потерь КЗ и ХХ на участке с $S_{ном}=800-2500 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ располагаются выше нормы, то на рис.2 кривые суммарных потерь мощности трансформаторов МЭТЗ и норматива наложились друг на друга. Для трансформаторов с $S_{ном}=50-250 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ существенного отклонения от норм не наблюдается.

Самый салюберогенный участок с $S_{ном}=400-800 \text{ кВ}\cdot\text{А}$: кривая общих потерь трансформаторов МЭТЗ лежит ниже нормируемых, что указывает на высокую энергоэффективность сухих трансформаторов МЭТЗ.

Анализируя построенные графики и полученную по ним информация, можно отметить, что больше всего соответствуют требованиям нормативам ЕС трансформаторы МЭТЗ с $S_{ном}=400-2500 \text{ кВ}\cdot\text{А}$.

Потери в распределительных трансформаторах составляют значительную часть общих потерь в системах передачи и распределения энергии. В связи с необходимостью достижения масштабного энергосбережения во всех отраслях народного хозяйства в технологически развитых странах в течение нескольких последних десятилетий уделяется также большое внимание решению проблемы существенного повышения энергоэффективности таких трансформаторов, несмотря на то, что до настоящего времени отсутствует четкое определение этого понятия.

Немаловажными факторами, влияющими на выбор трансформаторов, являются потери холостого хода и потери короткого замыкания, определяющие эффективность энергосбережения, а также уровни шума и электромагнитного излучения, экологичность и массогабаритные показатели.

Уменьшение мощности потерь холостого хода (потерь в магнитопроводе) непосредственно связано с изменением конструкции и материала магнитопровода. Наиболее перспективный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов - это применение магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов, обеспечивающих более чем пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с магнитопроводами из холоднокатаной электротехнической стали. Силовые трансформаторы с сердечником из аморфных сплавов долгое время в нашей стране считались оборудованием будущего. Теперь они стали настоящей реальностью. Недостатком сердечников из аморфных материалов является их более высокая стоимость по сравнению с традиционными материалами.

Уменьшение мощности потерь короткого замыкания достигается инновациями в обмотках силовых трансформаторов, что связано с использованием высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) материалов. Трансформаторы с обмотками из ВТСП материалов имеют ряд преимуществ:

- снижение нагрузочных потерь при номинальной нагрузке почти в два раза, что значительно увеличивает КПД трансформатора;
- уменьшение веса и габаритов трансформатора до 40%, что, в свою очередь, позволяет применять такие трансформаторы в уже существующих подстанциях без их конструктивных изменений со значительным увеличением мощности;
- свойство ограничения токов КЗ, что в аварийных режимах защищает электрооборудование сети;
- значительное уменьшение реактивного сопротивления, что позволяет обеспечить стабилизацию напряжения, не прибегая к его регулированию;
- большая перегрузочная способность без повреждения изоляции и старения трансформатора;
- уменьшение уровня шума.

Кроме того, трансформаторы с обмотками из ВТСП пожаробезопасны и экологичны.

Возможными способами повышения энергоэффективности трансформаторов являются оптимальный коэффициент загрузки (отношение потребляемой мощности к номинальной мощности трансформатора) и увеличение коэффициента мощности нагрузки.

Литература

1. Норматив Комиссии (ЕС) № 548/2014 от 21 мая 2014 г (электронный ресурс). Режим доступа: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/?uri=CELEX:32014R0548>. Дата доступа 15.10.2018.
2. Сухие силовые трансформаторы. Каталог. Минский электротехнический завод, 2018. – 53 с.