НОВАЯ ФАЗА В РАЗВИТИИ ИННОВАЦИОННОГО ТРАНСФОРМАТОРОСТРОЕНИЯ

АВТОР:

Ю.М. САВИНЦЕВ,
К.Т.Н.,
ООО «ЭТК «ЗОЛОТОЙ ТРЕУГОЛЬНИК»

Обычно покупатели трансформаторного оборудования руководствуются двумя критериями: цена и сроки поставки. С одной стороны, высококачественная современная модель будет заведомо дороже своего менее качественного, но дешевого аналога. С другой стороны, слишком сжатые сроки поставки подчас вынуждают производителя идти на нарушение технологической дисциплины, что, конечно, снижает качество поставляемой продукции. Инновационная продукция требует профессионального формирования ценовых и временных параметров тендеров.

Ключевые слова: инновационные энергоэффективные трансформаторы; класс энергоэффективности; инновационный магнитопровод; аморфная сталь; фольговая обмотка.

Современный высоковольтный трансформатор

ВВЕДЕНИЕ

Для внедрения инновационной продукции в любой отрасли промышленности, в бытовой сфере должны созреть, выражаясь математическим языком, необходимые и достаточные условия. Под необходимыми условиями следует понимать наличие потребности у покупателей в новой, инновационной продукции. Достаточные условия — это возможность продавцов / поставщиков / производителей удовлетворить эту потребность.

Анализ инновационного развития трансформаторного оборудования следует предварить дискурсом о сегодняшнем состоянии российского рынка силовых трансформаторов. Подробно вопрос освещен в работах [1, 2]. Кратко это состояние характеризуется несколькими словами: крайне консервативный в плане инновационной трансформаторной продукции. И консерватизм присущ обеим субъектам рынка: как заказчикам / покупателям, так и поставщикам / производителям. Заказчики своими требованиями, по сути, исключают возможность предложения инновационной продукции. Производители же лишь создают видимость инновационности, выдавая за инновации модернизированное оборудование, хотя определение инновации формулируется так: внедренное новшество, обеспечивающее качественный рост эффективности процессов или продукции, востребованное рынком.

КОНСЕРВАТИЗМ ПОКУПАТЕЛЯ

Большинство покупателей при приобретении трансформаторного оборудования руководствуются лишь двумя критериями: минимальная цена и минимальные сроки поставки. А ведь очевидно, что высококачественная модель будет заведомо дороже своего менее качественного аналога. Так, трансформатор, бывший в употреблении или восстановленный, может быть на 50 % дешевле нового, но цене соответствует и качество! Совестливые поставщики гарантийный срок на бывшие в употреблении трансформаторы даже более года не устанавливают. Организаторы же тендеров зачастую устанавливают уже начальную / максимальную цену контракта, ориентируясь именно на стоимость бывшей продукции. Аналогичная ситуация возникает с требованиями по срокам поставки. Иронично поставщики / участники тендера часто обозначают сроки поставки термином «вчера». И ведь не могут не знать уважаемые заказчики, что из-за сложностей с оборотными средствами материалы и комплектующие завод-изготовитель должен будет заказать у своих поставщиков (здесь речь не идет о поставках со склада). Нереальные, слишком сжатые сроки поставки влекут за собой вынужденные нарушения технологической дисциплины при производстве и, как следствие, более низкое качество поставляемой продукции. Инновационная продукция требует профессионального формирования ценовых и временных параметров тендеров.

КОНСЕРВАТИЗМ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ

В свою очередь, производители силовых трансформаторов в силу финансовых и других причин лишь имитируют инновационную деятельность. Если проанализировать предложения основных производителей за последние годы, то не появилось ни одного подлинно инновационного образца силовых трансформаторов. Однако накопился уже огромный потенциал, который обеспечит преодоление консерватизма, сковывающего российский рынок и широкое использование реально инновационных силовых трансформаторов.

НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЗА РУБЕЖОМ И В НАШЕЙ СТРАНЕ

В Европе внедрение и широкое распространение инновационной энергоэффективной трансформаторной продукции определяется двумя основными нормативными актами, которые регламентируют потери энергии при использовании трансформаторов [3, 4, 5]. Это европейский стандарт EN 50464-1:2007, который заменил собой согласованный документ HD 428 для трансформаторов с масляным охлаждением, и действующий согласованный документ HD 538 для трансформаторов сухого типа.

Несмотря на то что обязательных стандартов в Европе не существует, имеется порядок организации закупок (внутренние стандарты предприятий электроснабжения), который тщательно соблюдается в Бельгии, Нидерландах, Люксембурге, Австрии, Швейцарии и во всех странах Скандинавии. В этих странах большинство электрораспределительных компаний покупают трансформаторы, соответствующие стандартам HD 428 и EN 50464-1:2007. За пределами Европы стандарты эффективности выражаются в пересчете на электрический КПД под определенной нагрузкой или в пересчете на максимальные значения потерь

под нагрузкой и в режиме холостого хода. В Австралии «пересчитали» американские нормы КПД при частоте 60 Гц стандарта NEMA TP-1 до 50 Гц, а также линейно интерполировали КПД для мощностей, отличающихся от тех, которые используются в США. В Китае требования стандартов к энергоэффективности трансформаторов обновляются с 1999 г. Почти за 20 лет произошло последовательное усиление норм от серии трансформаторов S7, затем S9 до разрешенной сегодня серии S11, устанавливающей допустимый уровень потерь под нагрузкой и в режиме холостого хода немного ниже европейского уровня. Следующий шаг — это замена стандарта серии S11 на более жесткий стандарт серии S13 и выше, где нормы потерь станут еще ниже.

В России также предпринимаются последовательные реальные шаги по внедрению инновационного энергоэффективного трансформаторного оборудования. За 8,5 лет, прошедших с принятия Федерального закона от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», положившего начало новейшей государственной политике энергоэффективности, произошли значительные изменения. Можно утверждать, что энергосбережение состоялось как тренд деятельности не только отдельных промышленных предприятий России, но и целых отраслей. Начал складываться рынок энергоэффективного оборудования. Появились профессиональные игроки, которым выгодно вкладывать средства и усилия в бизнес, связанный с энергосбережением.

В апреле 2017 г. был принят отраслевой стандарт организации ПАО «Россети» СТО 34.01-3.2-011-2017 «Трансформаторы силовые распределительные 6–10 кВ мощностью 63–2500 кВА. Требования к уровню потерь холостого хода и короткого замыкания». В этом документе практически реализованы предложения, высказанные автором 8 лет назад в статье [6]. Дословно тогда автор писал: «Что необходимо предпринять для успешного продвижения в России энергоэффективных трансформаторов?

КЛАССЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПО ПОТЕРЯМ ХОЛОСТОГО ХОДА

Мощность, кВА	Потери холостого хода, Вт					
	Класс энергоэффективности					
	X1	X1 (допускается до 01.01.2019)	X2	X2 (допускается до 01.01.2019)	X3	X4
63	175	210	160		128	104
100	260	270		217	180	145
160	375	400	300		260	210
250	520	—	425		360	300
400	750	—	565	610	520	430
630	1000	—	696	800	730	560
1000	1400	—	957	1100	940	770
1250	1500	—	1350		1150	950
1600	1950	—	1478		1450	1200
2500	2600	—	2130		2100	1750

Таблица 1

КЛАССЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПО ПОТЕРЯМ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Мощность, кВА	Потери короткого замыкания, Вт			
	Класс энергоэффективности			
	K1	K2	K2 (допускается до 01.01.2019)	K3
63	1280	1270		1031
100	1970	1591		1475
160	2900	2136	2350	2000
250	3700	2955	3250	2750
400	5400	4182	4600	3850
630	7600	6136	6750	5600
1000	10 600	9545	10500	9000
1250	13 500	13 250		11 000
1600	16 500	15 455		14 000
2500	26 500	23 182		22 000

Таблица 2

1. Скорректировать нормативные документы по силовым трансформаторам. По крайней мере, в два документа необходимо внести радикальные изменения. ГОСТ Р 52719-2007 необходимо распространить на все выпускаемые изделия, а не только на разработанные после 2008 г. ГОСТ 11920-85 требуется переработать, с тем чтобы ужесточить требования по потерям холостого хода и короткого замыкания — эти потери должны быть равными аналогичным в нормативных документах ЕС.
2. Централизованно снабдить всех потенциальных потребителей трансформаторной продукции методикой расчета капитализации потерь; в этом случае каждый покупатель будет сам решать для себя: или сэкономить сейчас и расплачиваться за некачественное оборудование многие годы эксплуатации, или затратить сейчас большую сумму, но обеспечить себе экономию в течение всего срока эксплуатации.
3. Немедленно ввести в паспорта на трансформаторы раздел, в котором будет указан конкретный класс энергоэффективности, подтвержденный соответствующими протоколами приемо-сдаточных испытаний» [6, с. 19].

В отраслевом стандарте СТО 34.01-3.2-011-2017 устанавливаются 4 категории уровня максимальных потерь в силовом трансформаторе 6–10 кВ (холостого хода (х.х.) с индексом «X» и короткого замыкания (к.з.) с индексом «K»): 1, 2, 3 и 4, приведенные в табл. 1 и 2.

В зависимости от сочетания категорий «X» и «K» возможны различные сочетания классов энергоэффективности, приведенные в табл. 3.

Отраслевой стандарт сопровождает приведенные выше таблицы следующими комментариями:

1. Все силовые трансформаторы 6–10 кВ номинальной мощностью 63–2500 кВА, закупаемые для нужд ДЗО (дочернее зависимое общество) ПАО «Россети», должны соответствовать одному из классов энергоэффективности.
2. Допустимые отклонения величин, приведенных в табл. 1 и 2, определяются в соответствии с ГОСТ Р 52719-2007.
3. Класс энергоэффективности X2K2 удовлетворяет требованиям к энергоэффективности, рекомендованным Постановлением Правительства Российской Федерации от 17.06.2015 № 600 «Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности».
4. Для трансформаторов номинальной мощностью 63 кВА, 100 кВА, 160 кВА до 01.01.2019 допускаются значения потерь холостого хода, соответствующие классу энергоэффективности X1: 210, 270 и 400 Вт соответственно.
5. Для трансформаторов номинальной мощностью 400 кВА, 630 кВА, 1000 кВА до 01.01.2019 допускаются значения потерь холостого хода, соответствующие классу энергоэффективности X2: 610, 800 и 1100 Вт соответственно.
6. Для трансформаторов номинальной мощностью 160 кВА, 250 кВА, 400 кВА, 630 кВА, 1000 кВА до 01.01.2019 г. допускаются значения потерь короткого замыкания, соответствующие классу энергоэффективности K2, 2350, 3250, 4600, 6750, 10 500 Вт соответственно.

Важнейшим моментом рассмотренного выше отраслевого стандарта является классификация маркировки классов эффективности в зависимости от потерь короткого замыкания и холостого хода. Такая классификация приведена впервые и дает всем производителям и потребителям трансформаторной продукции четкие границы между разными уровнями энергоэффективности.

Определены следующие классы энергоэффективности:

- 1 класс энергоэффективности — «стандартный» (выпускаемые трансформаторы);
- 2 класс энергоэффективности — «энергоэффективный» (усовершенствованная технология);
- 3 класс энергоэффективности — «высокий энергоэффективный» (передовая технология);
- 4 класс энергоэффективности — «инновационный» (инновационная технология).

В цитируемом отраслевом стандарте отмечается также, что серия

СОЧЕТАНИЕ КЛАССОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

$P_{к.з.}$ \ $P_{х.х.}$	K1	K2	K3
X1	X1K1	X1K2	X1K3
X2	X2K1	X2K2	X2K3
X3	X3K1	X3K2	X3K3
X4	X4K1	X4K2	X4K3

Таблица 3

СХЕМА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АМОРФНЫХ ЛЕНТ

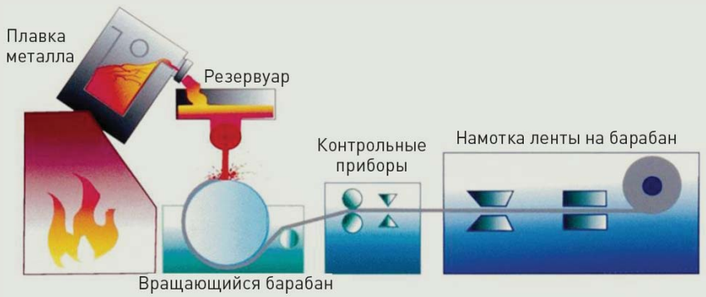


Рис. 1

трансформаторов с классом энергоэффективности Х3К3 Х4К3 в настоящее время не разработана, и требуется время на подготовку производителей к выпуску такой продукции. Поэтому требования к потерям в трансформаторах по уровню Х4К3 вступают в силу через 3 года с даты утверждения указанного стандарта.

ДЗО ПАО «Россети» при вводе в эксплуатацию новых силовых трансформаторов мощностью от 63 до 2500 кВА классов напряжения 6–10 кВ, помимо испытаний, предусмотренных РД 34.45-51.300-97 «Объемы и нормы испытаний электрооборудования», рекомендовано включать в состав испытаний измерения потерь холостого хода для силовых трансформаторов 6–10 кВ мощностью до 1000 кВА и измерения потерь короткого замыкания для силовых трансформаторов 6–10 кВ мощностью от 63 до 2500 кВА с целью контроля соответствия фактических значений потерь холостого хода и потерь короткого замыкания требуемому классу энергоэффективности.

Таким образом, с апреля прошлого года в РФ крупнейший покупатель распределительных трансформаторов дал сигнал всем производителям и поставщикам о начале новой фазы на российском рынке силовых трансформаторов — фазы инновационного энергоэффективного оборудования.

19 апреля 2018 г. подписано Распоряжение Правительства РФ от 19.04.2018 № 703-р «Об утверждении комплексного плана мероприятий по повышению энергетической эффективности экономики Российской Федерации». Этот документ обеспечит реализацию мероприятий по внедрению во все отрасли экономики России, в частности,

КЛАССЫ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Номинальная мощность трансформатора, кВА	Потери, Вт										$U_{к.з.}$, %
	класс E		класс D		класс C		класс B		класс A		
	$P_{х.х.}$	$P_{к.з.}$	$P_{х.х.}$	$P_{к.з.}$	$P_{х.х.}$	$P_{к.з.}$	$P_{х.х.}$	$P_{к.з.}$	$P_{х.х.}$	$P_{к.з.}$	
100	320	2516	260	2150	210	1750	180	1475	145	1250	4
КПД, % (загрузка 100 %)	97,24	97,65	98,08	98,37	98,62	4					
160	460	3627	375	3100	300	2350	260	2000	210	1700	4
КПД, % (загрузка 100 %)	97,51	97,87	98,37	98,61	98,82	4					
250	650	4914	530	4200	425	3250	360	2750	300	2350	4
КПД, % (загрузка 100 %)	97,82	98,14	98,55	98,77	98,95	4					
400	930	7020	750	6000	610	4600	520	3850	430	3250	4
КПД, % (загрузка 100 %)	98,05	98,34	98,71	98,92	99,09	4					
630	1200	10 179	940	8700	800	6750	680	5600	560	4800	6
КПД, % (загрузка 100 %)	98,23	98,49	98,82	99,01	99,16	6					
1000	1700	15 210	1400	13 000	1100	10 500	940	9000	770	7600	6
КПД, % (загрузка 100 %)	98,34	98,58	98,85	99,02	99,17	6					

Таблица 4

и инновационных энергоэффективных силовых трансформаторов.

Таким образом, необходимые условия для широкого распространения инновационного энергоэффективного трансформаторного оборудования в России сформировались.

ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Достаточным условием широкого внедрения энергоэффективных трансформаторов является предложение заводами-производителями не просто отдельных позиций, а полного спектра серийных линеек инновационных энергоэффективных распределительных трансформаторов. Далее приведен сравнительный анализ энергоэффективности серийно выпускаемых инновационных трансформаторов российского производителя с серийной трансформаторной продукцией.

Распределительные трансформаторы мощностью 25–2500 кВА напряжением 6–10 кВ являются наиболее массовой линейкой производимых и эксплуатируемых трансформаторов как в нашей стране, так и за рубежом. По данным сборника статей Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова [7], общее количество распределительных трансформаторов в России составляет более чем 3 млн шт. Ежегодное потребление электроэнергии в России находится на уровне 1000 млрд кВт·ч. При этом общие потери электроэнергии в распределительных трансформаторах оцениваются в 75 млрд кВт·ч. При тарифе на компенсацию потерь порядка 2 руб. / кВт·ч стоимость потерь в год составляет 150 млрд руб.

При передаче энергии из первичной обмотки во вторичную возникают электрические потери мощности. Потери в трансформаторе разделяются, как известно, на потери холостого хода $P_{х.х.}$ (потери, которые присутствуют в трансформаторе, подключенном к сети, всегда, независимо от загрузки) и потери короткого замыкания $P_{к.з.}$ (потери, зависящие от загрузки трансформатора). В общих потерях электроэнергии $P_к$ и P_0 участвуют одинаково. По европейскому стандарту EN 50464-1:2007 выделяются классы энергопотребления трансформаторов, представленные в табл. 4.

ВНЕШНИЙ ВИД ИННОВАЦИОННОГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ТРАНСФОРМАТОРА РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДИТЕЛЯ КЛАССА А/1,5...А/2

Рис. 2

В настоящее время в России и странах СНГ серийно выпускаются трансформаторы с классом потерь D и энергосберегающие трансформаторы классом потерь С. Трансформаторы, находящиеся в эксплуатации у сетевых компаний и конечных потребителей, соответствуют только классу потерь Е. Рассмотрим характеристики и преимущества инновационного энергоэффективного трансформатора отечественного производства, соответствующие уровню потерь класса энергоэффективности выше европейского класса А, на уровне А/1,5... А/2.

Уменьшение потерь $P_{х.х.}$ связано с изменением конструкции и материала магнитопровода. Наиболее перспективный путь снижения затрат на производство и эксплуа-

ИННОВАЦИОННЫЙ МАГНИТОПРОВОД

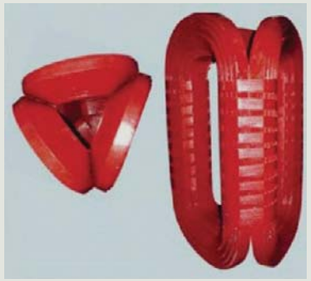


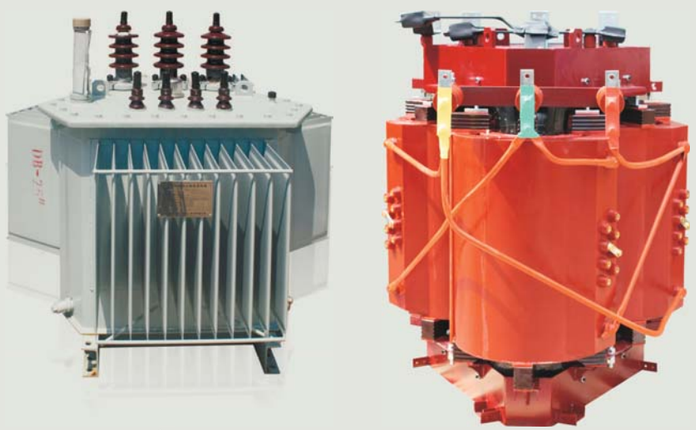
Рис. 3

тацию силовых распределительных трансформаторов — это применение магнитопровода из аморфных (нанокристаллических) сплавов. Это вещества с характерным строением, которое близко к структуре расплавленного металла или стекла. Благодаря характерной структуре аморфные металлы обладают рядом особых свойств: они становятся в несколько раз прочнее, значительно улучшаются электромагнитные свойства, повышается стойкость к коррозии. В противоположность обычным стеклам они проявляют заметную пластичность. Эти вещества обеспечивают более чем пятикратное снижение потерь холостого хода по сравнению с трансформатором с магнитопроводом из холоднокатаной электротехнической стали. Аморфные ленты изготавливаются при охлаждении расплава со скоростью 106 °С/с на быстровращающемся охлаждаемом барабане (рис. 1 на с. 60). Внешний вид инновационного энергоэффективного трансформатора российского производителя представлен на рис. 2 на с. 61.

Второй способ уменьшения $P_{х.х.}$ — изменение конструкции магнитопровода. Инновационный вариант конструкции приведен на рис. 3. Инновационное пространственное расположение обмоток на магнитопроводе не в одной плоскости, а по осям треугольной призмы, обеспечивает сокращение массы магнитопровода на 25 % по сравнению с традиционным расположением осей обмоток в одной плоскости. Это, в свою очередь, приводит к сокращению массы трансформатора. Важным следствием пространственного расположения стержней и обмоток магнитопровода является более высокая перегрузочная способность трансформатора вследствие образования вентиляционного канала между обмотками. Витая конструкция магнитопровода исключает искажения магнитного потока, позволяет снизить потери холостого хода на 25–35 % по сравнению с традиционной конструкцией. Кроме того, уровень шума при работе трансформатора с инновационным объемным магнитопроводом удалось уменьшить до 41 децибела. И, наконец, трансформатор с объемным витым магнитопроводом имеет меньший объем за счет сокращения одного из линейных размеров. Внешний вид масляного и сухого инновационных трансформаторов приведен на рис. 4.

Уменьшение мощности потерь короткого замыкания (потери в обмотках) — это инновации в конструкции обмоток силового трансформатора. В первую очередь нужно использовать фольговую обмотку (рис. 5), которая выполняется из широкого медного или алюминиевого листа толщиной от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров. Это позволит увеличить сечение и уменьшить габариты обмотки низкого напряжения (НН), что, в свою очередь, позволит уменьшить длину провода высокого напряжения (ВН). Кроме того, обмотки из фольги обладают определенными преимуществами: улучшается охлаждение обмотки благодаря более равномерному распределению температуры по всему сечению катушки; уменьшаются осевые усилия при коротком замыкании, так как обеспечивается сбалансированность МДС (магнитодвижущей силы) обмоток по высоте.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ЭТК «ЗОЛОТОЙ ТРЕУГОЛЬНИК» С ОБЪЕМНЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ (А) И ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ СТЕРЖНЕЙ И ОБМОТОК (Б)



а) б)

Рис. 4

ОБМОТКА С АЛЮМИНИЕВОЙ ЛЕНТОЙ

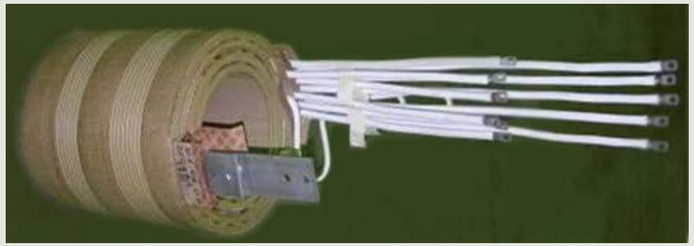


Рис. 5

Сравним КПД различных трансформаторов одной распространенной мощностью 250 кВА. КПД, как известно, характеризует эффективность преобразования напряжения в трансформаторе. Коэффициент полезного действия трансформатора определяется отношением мощности P2, отдаваемой трансформатором в нагрузку, к мощности P1, потребляемой из сети: n = P2 / P1. Для сравнения выберем 4 типа трансформаторов, массово производимых в России, — это серийные и энергосберегающие; самый экономичный трансформатор по европейскому стандарту — это трансформатор энергопотребления класса А и инновационный трансформатор. Сравнение будем производить для различных коэффициентов загрузки. Результаты сравнения представлены в табл. 5.

Из табл. 5 мы видим, что зависимость КПД трансформатора от на-

СРАВНЕНИЕ КПД ТРАНСФОРМАТОРОВ

Коэффициент загрузки	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Отдаваемая мощность, кВт	250	225	200	175	150	125	100	75	50	25
Серийные трансформаторы, производимые в России										
$P_{х.х.}$, Вт	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540
$P_{к.з.}$, Вт	3700	2997	2368	1813	1332	925	592	333	148	37
Потребляемая мощность, кВт	254,2	228,5	202,9	177,4	151,9	126,5	101,1	75,9	50,7	25,6
КПД	98,33	98,45	98,57	98,67	98,77	98,84	98,88	98,85	98,64	97,74
Энергосберегающие трансформаторы, производимые в России										
$P_{х.х.}$, Вт	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425
$P_{к.з.}$, Вт	3250	2632,5	2080	1592,5	1170	812,5	520	292,5	130	32,5
Потребляемая мощность, кВт	253,68	231,59	205,41	179,37	153,47	127,70	102,08	76,59	51,24	26,03
КПД	98,55	97,15	97,36	97,56	97,74	97,88	97,97	97,92	97,57	96,03
Трансформатор энергопотребления класса А										
$P_{х.х.}$, Вт	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
$P_{к.з.}$, Вт	2350	1903,5	1504	1151,5	846	587,5	376	211,5	94	23,5
Потребляемая мощность, кВт	252,65	227,20	201,80	176,45	151,15	125,89	100,68	75,51	50,39	25,32
КПД	98,95	99,03	99,11	99,18	99,24	99,30	99,33	99,32	99,22	98,72
Инновационный энергоэффективный трансформатор российского производителя										
$P_{х.х.}$, Вт	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
$P_{к.з.}$, Вт	1200	972	768	588	432	300	192	108	48	12
Потребляемая мощность, кВт	251,35	226,12	200,92	175,74	150,58	125,45	100,34	75,26	50,20	25,16
КПД	99,46	99,50	99,54	99,58	99,61	99,64	99,66	99,66	99,61	99,36

Таблица 5

СРАВНЕНИЕ КПД ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рис. 6

грузки нелинейна. Для понимания полной картины построим диаграмму зависимости КПД от коэффициента загрузки (рис. 6).

Из рис. 6 хорошо видно, что максимум КПД достигается при загрузке 30–40 %. Преимущество инновационного энергоэффективного трансформатора над серийными составляет около 1 %. Характеристика инновационного энергоэффективного трансформатора более линейна, т.е. он имеет низкие потери и при минимальной загрузке, и при перегрузке, что является преимуществом по сравнению с аналогами.

Авторы СТО 34.01-3.2-011-2017 записали в документе следующий пункт: «6.2.3. В связи с тем, что серия трансформаторов с классом энергоэффективности Х3К3 Х4К3 в настоящее время не разработана, и требуется время на подготовку производителей к выпуску данных трансформаторов, требования к потерям в трансформаторах по уровню Х4К3 вступают в силу через 3 года с даты утверждения настоящего стандарта». Но на сегодняшний день все крупные заводы уже изготовили первые образцы трансформаторов с указанными выше классами энергоэффективности.

Проблема заключается в отсутствии заинтересованности и мотивации конечного потребителя в приобретении и эксплуатации такого оборудования. Несмотря на все законодательные акты, четкий механизм мотивации потребителя не проработан и не прописан. А такой механизм необходим, потому что затраты на приобретение энергоэффективного трансформатора существенно выше, чем на приобретение обычного трансформатора. Если рыночная цена обычного масляного трансформатора ТМГ мощностью 630 кВА составляет примерно 310 тыс. руб. с НДС, то стоимость одного из вариантов энергоэффективного трансформатора ТМГ с объемным инновационным магнитопроводом либо с плоским магнитопроводом из аморфной стали мощностью 630 кВА — примерно 780 тыс. руб. с НДС. Хотя совокупная стоимость владения энергоэффективным трансформатором уже на пятилетнем горизонте эксплуатации сравнивается с обычным трансформатором (а после пяти лет трансформатор уже начинает «работать» на владельца, экономя его финансовые ресурсы), закупка энергоэффективного трансформатора требует более чем на 100 % больше затрат. Поэтому необходимо проработать механизм компенсации первоначальных затрат на приобретение энергоэффективного трансформаторного оборудования.

Дополнительной стимуляцией производителей силовых трансформаторов могло бы стать целевое субсидирование модернизации производства, так как для изготовления инновационных магнитопроводов требуется дорогостоящее технологическое оборудование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савинцев Ю.М. Экспертный анализ рынка силовых трансформаторов России. Ч. 1. I–III габарит. Екатеринбург, Издательские решения, 2016.
2. Савинцев Ю.М. Экспертный анализ рынка силовых трансформаторов России. Ч. 2. IV–VIII габарит. Екатеринбург, Издательские решения, 2018.
3. Инновации в трансформаторостроении // ЭнергоНьюс. 2009. URL: http://energo-news.ru/archives/123.
4. Энергосбережение в Европе: применение энергоэффективных распределительных трансформаторов // Энергосбережение. 2004. № 1. С. 61–65.
5. Канарейкин А. «Умные» трансформаторы для «умной» энергетики // Энергетика и промышленность России. 2012. № 08 (196). С. 16.
6. Савинцев Ю.М., Карамутдинов Р.Н., Боков В.А. Энергоэффективные распределительные трансформаторы: проблемы и надежды // Электрооборудование и ремонт. 2010. № 7. С. 11–19.
7. Электроэнергетика. Транспорт, надежность и учет: сб. статей / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012.

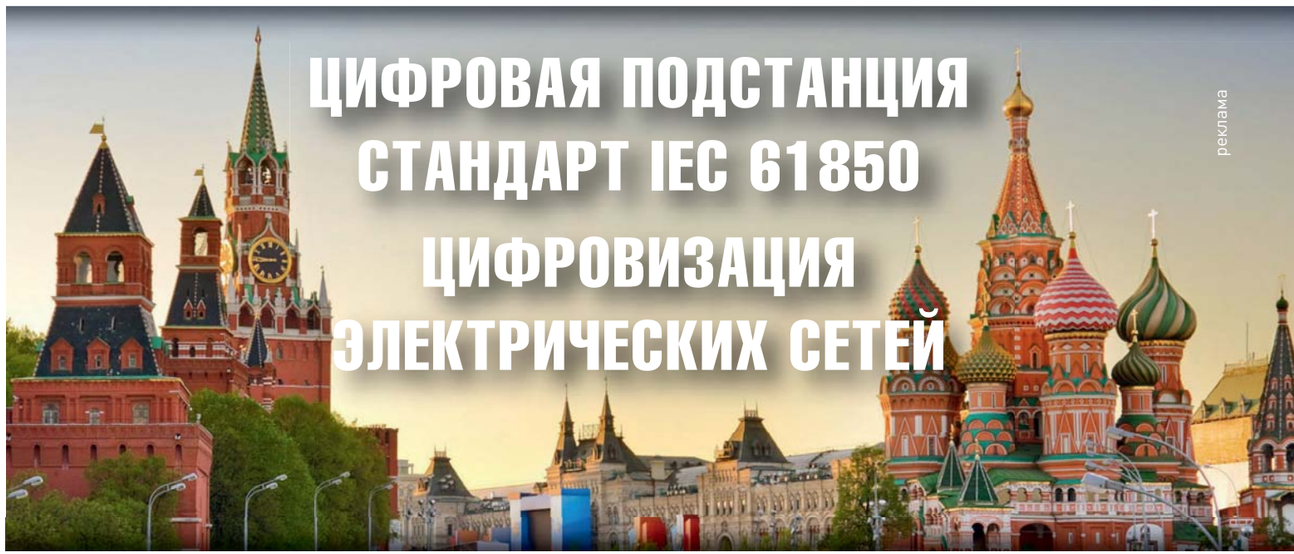
ВТОРАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ЦИФРОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ. СТАНДАРТ IEC 61850
ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
МОСКВА
2019
18–20 ИЮНЯ

ЦЕЛИ КОНФЕРЕНЦИИ:
• Международный обмен информацией по широкому кругу вопросов «Цифровизации электрических сетей».
• Продвижение передового опыта.

cigre Россия

В РАМКАХ КОНФЕРЕНЦИИ:
• встреча европейской группы пользователей стандарта IEC 61850;
• совместное обсуждение отечественными и специалистами европейской группы пользователей актуальных тем:
– национальный профиль стандарта IEC 61850, вопросы сертификации оборудования;
– тенденции в создании оборудования для реализации технологии «ЦПС», вопросы типизации оборудования;
– вопросы проектирования «цифровых подстанций» с применением типовых проектных решений, разработанных на базе доступных наилучших технологий;
– виды испытаний оборудования для ЦПС, инструментальные средства;
– технологии применения промышленного интернета энергии и использование технологии «больших данных» в рамках цифровизации электрических сетей;
– технологии «цифровых двойников» подстанций для обеспечения их надежности и эффективной эксплуатации (на всех стадиях жизненного цикла оборудования);
• выставка продукции российских и зарубежных компаний, оборудование которых реализовано на базе стандарта IEC 61850.

cigre Россия A3 Высоковольтное оборудование



При поддержке:
ФСК ЕЭС
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»
DNV·GL KEMA Laboratories

Генеральный информационный партнер:
ЭНЕРГИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ
РУМ Руководящие материалы по проектированию и эксплуатации электрических сетей

115201, г. Москва,
Каширское шоссе, д. 22, корп. 3
IEC61850@ntc-power.ru
Тел.: (495) 727-19-09, (495) 981-94-00
Факс: (495) 727-19-08, (495) 981-94-01
www.IEC61850ru.ru