

М.Ю. ЯНТУРАЕВ, студент (УГАТУ)
А.А. МЕДНОВ, младший научный сотрудник (УГАТУ)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

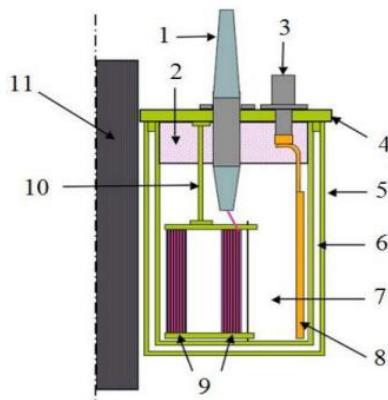
Развитие технологий в областях электроэнергетики и энерготехнологии напрямую связано с развитием науки и техники. Инновации дают возможность совершенствования качества изоляционных и проводящих материалов. В данной статье выполнен анализ современной литературы на предмет определения тенденции развития трансформаторов, а также рассмотрены несколько типов трансформаторов: трансформаторы с использованием сверхпроводимости, трансформаторы с магнитопроводом из нанокристаллических и аморфных сплавов и трансформаторы с гибридными магнитопроводами и приведены их преимущества и недостатки этих трансформаторов по сравнению с традиционными.

Прогресс совершенствования конструкций трансформатора в настоящее время в значительной степени определяется созданием новых и совершенствованием используемых изоляционных, магнитных и проводниковых материалов.

Трансформаторы с использованием сверхпроводимости

В качестве новых проводниковых материалов в настоящее время используют высокотемпературные проводники, которые, соответственно, и применяют при изготовлении так называемых высокотемпературных сверхпроводниковых трансформаторов (ВТСП).

Принцип работы ВТСП-трансформатора (рисунок 1) в следующем [1]: обмотки ВН и НН погружены в жидкий азот, который является как хладагентом, так и изоляционным материалом, но сердечник трансформатора при этом работает при температуре окружающей среды.



**IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
18-20 ноября 2021 года**

238-2

Рисунок 1 – Устройство ВТСП трансформатора: 1 – ввод первичной обмотки; 2 – газовая прослойка; 3 – криокуллер; 4 – крышка; 5 – криостат; 6 – вакуум; 7 – жидкий азот; 8 – охлаждающая оболочка; 9 – обмотки; 10 – поддерживающая трубка; 11 – магнитопровод

Основные преимущества сверхпроводниковых:

- небольшие потери при протекании тока с большой плотностью;
- резкое увеличение сопротивления при достижении током определённого значения (критического тока);

Вышеперечисленные свойства позволяют создать трансформатор, который обладает более высокими характеристиками по сравнению с традиционно применяемыми по следующим параметрам:

- уменьшение потерь при номинальном режиме работы до 90%, что приводит к увеличению КПД трансформатора;
- уменьшение размеров трансформатора до 40% и снижение уровня шума;
- уменьшение токов короткого замыкания;
- уменьшение реактивного сопротивления;
- большая перегрузочная способность;
- низкие нагрузочные потери;

Из вышеперечисленных преимуществ ключевым является снижение нагрузочных потерь по сравнению с традиционными.

Ниже приведен сравнительный анализ потерь у ВТСП и традиционных трансформаторов [4]

Таблица 1 – Сравнительный анализ ВТСП и традиционного трансформаторов

Потери*	ВТСП трансформатор	Традиционный
Магнитопровод	8	9
Контакты	5	5
Масляный бак	-	7
Проводимость	<1	79
Рефрижератор	7	-
Охлаждающий вентиль	2	-
Итоговые потери	23%	100%

*общие потери традиционного масляного трансформатора приравнены к 100%

Но, несмотря на все эти преимущества, данный тип трансформаторов не получил широкого распространения, так как их основным и основополагающим недостатком является огромная стоимость, чтобы обеспечить сверхпроводимость.

Нанокристаллические сплавы

**IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
18-20 ноября 2021 года**

238-3

В настоящее время особая роль отводится новому магнитному материалу - нанокристаллический сплав, который лег в основу создания новых аморфных сплавов, используемых для создания аморфных трансформаторов (АМТ).

Аморфный сплав имеет беспорядочную структуру и обладает следующими отличительными свойствами [5]:

- Низкая коэрцитивная сила;
- Легкое намагничивание и размагничивание;
- Низкие удельные потери.
- Имеют низкие магнитные потери
- Быстрее перемагничиваются

Нагрузочные потери в трансформаторах зависят от нагрузки сети, в то время как потери холостого хода остаются практически постоянными.

Ниже представлены усредненные потери холостого хода для силовых трансформаторов [8].

Таблица 2 - Сравнение потерь традиционного и АМ трансформаторов.

Мощность трехфазного трансформатора 10 кВ	Потери ХХ, традиционный трансформатор	Потери ХХ трансформатора с магнитопроводом из аморфной стали	Снижение потерь, %
25 кВА	100	28	72
40 кВА	140	39	72
63 кВА	180	50	72
100 кВА	260	66	75

Согласно таблице, применение аморфных сталей для магнитопровода позволяют сократить потери холостого хода в 4-5 раз. Но основным недостатком является то, что увеличение размеров для мощных трансформаторов ведет к увеличению их собственной емкости и усложнению изоляционных конструкций, что существенно повышает требования стойкости при перенапряжениях. [55].

Стоимость магнитопровода из аморфного материала намного превосходит традиционный из электротехнической стали, а также обработка более дорогостоящая, что связано с хрупкостью материала. Это два основных фактора, которые препятствуют распространению АМТ в настоящее время.

Гибридные материалы

В настоящее время одним из перспективных способов повысить энергетические характеристики трансформаторов является использование

**IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
18-20 ноября 2021 года**

238-4

гибридной конструкции магнитопровода Схематично, устройство данного трансформатора представлена на рисунке 3.

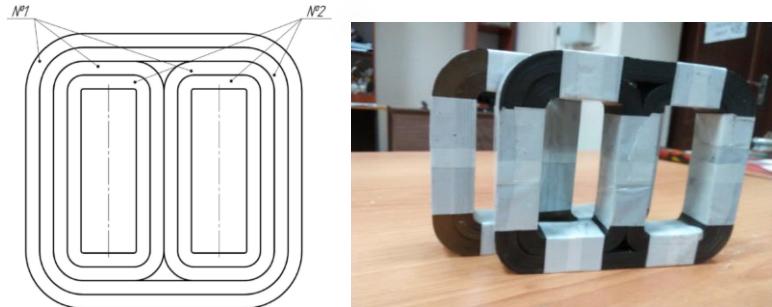


Рисунок 3 – Магнитопровод гибридного трансформатора: 1 – аморфный магнитный материал, 2 – прецизионный магнито-мягкая сталь.

Данные магнитопроводы состоят из аморфного магнитного материала (АММ) и прецизионной магнито-мягкой стали и основной задачей при производстве является рациональный подбор пропорции ферромагнитных материалов, который влияет на электромагнитные параметры.

Различное соотношение ферромагнитных материалов позволяет получить следующие показатели, представленные в таблице 3 [7Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Таблица 3 – Параметры трансформаторов с различным соотношением ферромагнитных материалов в гибридном магнитопроводе

Соотношение V_1/V_2 для 1СР/49К2ФА, %	Масса магнитопровода	Масса трансформатора	Потери в магнитопроводе, Вт	Потери в трансформаторе, Вт
0/100	1,51	3,78	50,56	429,4
25/75	1,89	2,07	45,92	410,78
50/50	2,37	4,43	43,29	387,6
75/25	2,28	4,62	27,84	419,1
100/0	3,02	5,48	10,85	424,7

Из данных таблицы можно увидеть тенденцию увеличения массы при увеличении доли сплава 49К2ФА, но при достижении определенной пропорции V_1/V_2 происходит уменьшение потерь в магнитопроводе, что повышает КПД устройства.

Данный тип магнитопроводов в настоящее время является экспериментальным, но является довольно перспективным направлением в развитии трансформаторов.

Вывод

На основе сравнительного анализа ВТСП трансформаторов, трансформаторов с магнитопроводом из нанокристаллического сплава и магни-

**IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
18-20 ноября 2021 года**

238-5

топровода гибридной конструкции можно сделать вывод, что прослеживается закономерность в создании новых конструкций и использовании новых материалов. Основная проблема заключается в стоимости реализации данных конструкций, но с развитием уровня науки и техники данная проблема будет решена, что даст толчок в использовании данный трансформаторов.

Список литературы

1. E. Chew, «Superconduction transformem design and construction», University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. March 2010.
2. Александров Н.В., Манусов В.З., «Трансформаторы с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками», Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия, 2011
3. Елагин П.А. Высокотемпературные сверхпроводящие трансформаторы. Новое поколение подстанционного оборудования. – Новости электротехники. 2005, №1. – С. 20-21.
4. Еремин И.В., Тихонов А.И., Попов Г.В. Проектирование силовых трансформаторов с сердечником из аморфной стали / ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 84 с.
5. Инаходова Л.М., Казанцев А.А. Исследование силового трансформатора с аморфным магнитопроводом // Электрика. – 2013. - №5
6. Лутидзе Ш.И., Джрафоров Э.А. Сверхпроводящие трансформаторы. – М: Научтехлитиздат, 2002. – 206 с.
7. Меднов А.А., Саяхов И.Ф, Минияров А.Х., Аналитическое определение оптимальных соотношений материалов гибридных магнитных систем, Уфимский государственный авиационный технический университет.
8. Хавроничев С.В., Сошинов А.Г., Галущак В.С., Копейкина Т.В. Современные тенденции применения аморфных сплавов в магнитопроводах силовых трансформаторов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-4. – С. 607-610.

Информация об авторах:

Меднов Антон Александрович, младший научный сотрудник кафедры Электромеханика, УГАТУ, 450000, г.Уфа, ул. Карла Маркса д.12 корп.4. e-mail: antonkind@inbox.ru

Янтураев Макар Юрьевич, студент кафедры Электромеханика, УГАТУ, 450000, г.Уфа, ул. Карла Маркса д.12 корп.4. e-mail: yanturaev_makar@mail.ru