

нагрева сорбента и десорбция паров аммиака с последующей его конденсацией в конденсаторе/испарителе;

3) заканчивается процесс охлаждения всех адсорберов до температуры окружающей среды. Адсорбер BaCl_2 с помощью вентиля отсоединяется от конденсатора/испарителя, адсорберы MnCl_2 , NiCl_2 соединяются с низкотемпературным адсорбером BaCl_2 . Начинается процесс охлаждения адсорбера из-за десорбции паров аммиака, поскольку более сильные сорбенты, находящиеся в адсорберах MnCl_2 , NiCl_2 , забирают аммиак.

4) охлаждение конденсатора/испарителя при испарении в нем жидкого аммиака. Пары аммиака адсорбируются всеми тремя адсорберами, присоединенными к конденсатору/испарителю с помощью вентиля.

Максимальная тепловая мощность, подводимая к адсорберам MnCl_2 , NiCl_2 , составляет 400 Вт на каждый адсорбер, при этом получаем 200 Вт холода в испарителе.

Анализ диаграммы Клапейрона–Клаузиуса, позволяет оценить эффективность работы теплового насоса с двумя источниками холода, которая равна 0,41 для первого прототипа теплового насоса. Для второго прототипа теплового насоса холодильный коэффициент эффективности равен 0,6.

Это означает, что с помощью сорбционного теплового насоса 1 кВт энергии отходящих газов дизеля преобразуется в 1,6 кВт теплоты для нагрева помещения и 0,6 кВт холода для его охлаждения.

Л и т е р а т у р а

1. Ключинский, В. П. Тригенерационные турбодетандерные установки на основе низкокипящих рабочих тел / В. П. Ключинский // Беларусь в современном мире: материалы XII Международ. науч. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 16–17 мая 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Гомел. обл. орг. о-ва «Знание» ; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – С. 329–331.
2. Овсяник, А. В. Тригенерационные турбоустановки на основе низкокипящих рабочих тел. / А. В. Овсяник, В. П. Ключинский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. – 2022. – № 3 (65). – С. 263–275.
3. Антух А. А. Тепловой насос для систем тригенерации энергии (электричество, теплота, холод) / А. А. Антух, Л. Л. Васильев, О. С. Филатова // Энергоэффективность. – 2006. – № 1. – С. 16–18.
4. Васильев, Л. Л. Перспективы применения тепловых насосов в Республике Беларусь / Л. Л. Васильев // ИФЖ. – Т. 78, № 1. – С. 23–24.
5. Васильев, Л. Л., Экологически чистые хладагенты и холодильные циклы для Республики Беларусь / Л. Л. Васильев // Энергоэффективность. – 2005. – № 8. – С. 21–23.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С СЕРДЕЧНИКОМ ИЗ АМОРФНОЙ СТАЛИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

К. Е. Коршунов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. В. Алферова

Силовые трансформаторы, как масляные, так и сухие, уже долгое время никак не изменяются конструктивно. Производятся улучшения отдельных элементов, что влияет на рабочие характеристики трансформаторов, но конструктивно ничего не изменяется.

Перспективным решением для уменьшения потерь в трансформаторе является замена магнитопровода из электротехнической стали на аморфные сплавы.

Ключевые слова: аморфный сплав, магнитопровод, трансформатор, электротехническая сталь, энергоэффективность.

Аморфный сплав – это определенный вид прецизионного сплава. Путем химического подбора и метода охлаждения, которое проводится со скоростью, превышающую скорость кристаллизации, достигается аморфное состояние металла. Одно из основных отличий аморфного сплава от электротехнической стали – отсутствие периодичности в расположении атомов. Эти сплавы также отличаются от кристаллических сплавов большей устойчивостью к коррозии, они прочнее в несколько раз и с выпадает лучшей электро характеристикой. Благодаря современной технологии стало возможно получение сердечников различных диаметров, начиная от нескольких миллиметров заканчивая полуметровым диаметром.

В таком магнитопроводе три кольца: два из них – внутренние, одно наружное. Изготовлены из лент аморфной стали, которые имеют толщину 0,025 мм. Поверхность каждого из колец представляет собой ленту из обычной электротехнической стали, которая является замковой пластиной. Защитный слой из эпоксидной смолы покрывает все кольца магнитопровода, за исключением областей стыка, которые расположены в нижней части магнитопровода.

На сегодняшний день, для использования в трансформаторах наиболее распространенными являются аморфные сплавы на основе металлов переходной группы железо–никель–кобальт (Fe, Ni, Co). Взаимодействуя с металлоидами бор–кремний–углерод (B, Si, C), понижается температура плавления и обеспечивается более легкое достижение температуры стеклования аморфного сплава при его охлаждении. В результате исчезают междоменные границы, что приводит к высокой твердости, прочности и коррозионной стойкости сплава.

Для придания специальных свойств сплав подвергается термо- или термоманитной обработке, в результате чего структура ленты остается аморфной, становится частично кристаллизованной или нанокристаллизованной.

Нагрузочные потери трансформатора изменяются с увеличением нагрузки, в то время как потери холостого хода остаются постоянными. Ключом к решению проблемы потерь энергии является снижение потерь холостого хода. Для снижения потерь холостого хода в сердечнике силового трансформатора используются пятикратные ленты из аморфных сплавов, таких как $Fe_{78}B_{13}Si_9$.

За рубежом первые распределительные трансформаторы мощностью 630–1000 кВА с аморфным сердечником были изготовлены более 10 лет назад. В данном направлении дальше всех продвинулись США, Китай и Индия. С 2009 г., ряд европейских распределительных компаний также установили в опытную эксплуатацию несколько трансформаторов мощностью 400 кВА с сердечником из аморфной ленты. В 2012 г. первой в России к выпуску силовых трансформаторов с аморфными сердечниками АТМГ приступила группа «Трансформер».

К примеру, для трансформатора ТСЛ 1000 кВА потери составляют 410 Вт, а для обычного ТСЛ других производителей эта величина равна в среднем 1550–2200 Вт. Получается, что в сравнении с аналогичными устройствами трансформаторы с аморфным сердечником ТСЛ экономят потребителю в 4–6 раз больше денег в год (рис. 1).



Рис. 1. Сравнительные потери на гистерезис аморфной и электротехнической стали

По данным американской компании Metglas, при использовании стальных магнитопроводов годовые потери силовых трансформаторов в распределительных сетях могут достигать около 8 % от стоимости покупки. В таблице приведены средние потери холостого хода силовых трансформаторов с номинальным напряжением 10 кВ и мощностью 25–2500 кВА.

Усредненные потери холостого хода для силовых трансформаторов

Мощность трехфазного трансформатора 10 кВ	Усредненные потери XX, магнитопровод – трансформаторная сталь SiFe	Усредненные потери XX, магнитопровод – аморфный сплав	Сравнительное снижение потерь, %
25 кВА	100	28	72%
40 кВА	140	39	72%
63 кВА	180	50	72%
100 кВА	260	66	75%
250 кВА	520	150	71%
630 кВА	1000	280	77%
1000 кВА	1700	350	80%
1600 кВА	2100	490	77%
2500 кВА	2700	550	80%

Энергоэффективные распределительные трансформаторы с магнитопроводами из нанокристаллических материалов, по данным энергетических компаний США и Японии, окупаются у покупателя примерно за три года.

Кроме снижения потерь в магнитопроводе из нанокристаллических сплавов также уменьшается значение тока намагничивания. В результате при снижении потерь холостого хода и снижении тока намагничивания в трансформаторах:

- снижается температура трансформатора и увеличивается его срок службы;
- в несколько раз снижаются затраты при передаче электроэнергии потребителю;
- имеет место общее сокращение энергопотребления в энергетике страны; в результате возникает общее существенное снижение объема сжигания органического топлива для выработки электроэнергии и вредных выбросов в атмосферу.

Производственный анализ, проведенный авторами статьи, показал, что трансформаторы с сердечниками из аморфных сплавов более энергоэффективны, чем трансформаторы с сердечниками из обычной электротехнической стали. Необходимо увеличить производство аморфных сплавов и постепенно перейти к их использованию в сердечниках современных трансформаторов различного назначения. Дальнейшие исследования свойств аморфных сплавов могут привести к их использованию в электромеханических электромагнитных системах и статических электромагнитных устройствах.

Литература

1. Современные тенденции применения аморфных сплавов в магнитопроводах силовых трансформаторов / С. В. Хавроничев [и др.] // Междунар. журнал приклад. и фундамент. исследований. – 2015. – № 12–4. – С. 607–610.
2. Гуринович, Е. А. Конструктивные особенности, характеристики, достоинства и недостатки трансформаторов с сердечниками из аморфных сплавов / Е. А. Гуринович // Актуальные проблемы энергетики : материалы 69-й науч.-техн. конф. студентов и аспирантов / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск: БНТУ, 2014. – С 112.

ОПТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

В. А. Бабына

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. О. Добродей

Рассмотрен принцип работы и конструкция оптических трансформаторов тока. Проанализированы их свойства, технические возможности и преимущества применения в электроэнергетике. Приведены метрологические характеристики, включая погрешности по величине силы тока и по углу, а также соответствие требованиям по классу точности

Ключевые слова: эффект Фарадея, трансформатор, измерительный преобразователь.

За последнее десятилетие термин «аналоговый» успел стать синонимом к слову «устаревший». Когда речь идет о повышении точности измерительных средств и их интеграции в единую сеть мониторинга и контроля технологических процессов, потенциал, имеющийся у аналоговой аппаратуры, становится явно недостаточным. Одним из решений в данной области являются оптоволоконные трансформаторы, основанные на эффекте Фарадея. Этот эффект был открыт примерно в то же время, что и закон электромагнитной индукции, но его эффективное использование ожидало появления соответствующих технологий.

Магнитооптический измерительный преобразователь переменного тока, основанный на использовании магнитооптического эффекта Фарадея представлен на рис. 1.