

ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В АПК

УДК 621.314.22.08

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ: ПРИНЦИПЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Гуревич В. И.¹, Савченко П. И.²

¹Центральная лаборатория электрической компании Израиля,

²Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Рассматривается вопрос о целесообразности замены электромагнитных измерительных трансформаторов тока оптоэлектронными измерительными трансформаторами тока.

Постановка проблемы. Уже не первый десяток лет во многих странах мира разрабатываются трансформаторы напряжения (ТН) и тока (ТТ) оптоэлектронного типа (рис.1), основанные на использовании электрооптических эффектов Керра и Поккельса (для измерения напряжения) и магнитооптического эффекта Фарадея (для измерения тока).

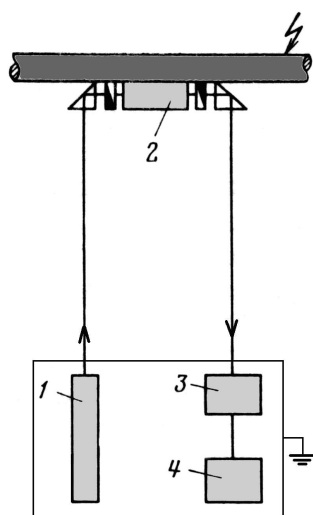


Рисунок 1 – Принцип построения оптоэлектронного измерительного трансформатора:

1 – источник поляризованного света; 2 – электрооптический преобразователь; 3 – анализатор света; 4 – фотопреобразователь и усилитель с выходным исполнительным элементом.

В трансформаторах напряжения с ячейками Керра или Поккельса (рис.2), световой поток модулируется электрическим полем в активном материале, расположенном между электродами, к которым приложено измеряемое напряжение. Эффект Керра возникает во многих изотропных веществах (бензол, эпоксидные компаунды и др.), но наиболее часто используется нитробензол, проявляющий наибольший эффект. Линейный электрооптический эффект Поккельса наблюдается в пьезоэлектрических кристаллах, помещенных в электрическое поле. Сильнее всего этот эффект проявляется в кристаллах дигидрофосфата аммония ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) и гидрофосфата калия

(KH_2PO_4) в продольном электрическом поле, создаваемом с помощью кольцевых электродов.

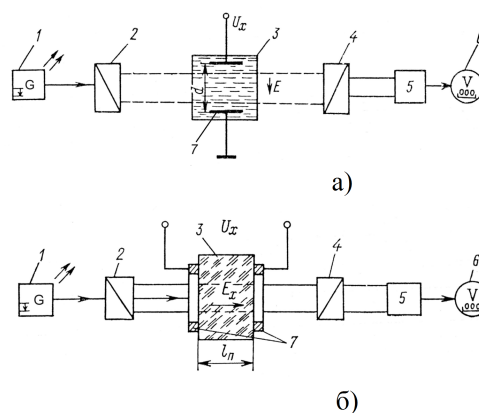


Рисунок 2 – Электрооптические преобразователи Керра (а) и Поккельса (б):

1 – источник света; 2 – поляризатор света; 3 – активный материал; 4 – анализатор поляризации; 5 – фотоприемник; 6 – выходной элемент; 7 – электроды, к которым приложено измеряемое напряжение.

В оптоэлектронных ТТ используется эффект Фарадея (рис. 3), заключающийся во вращении плоскости поляризации линейно поляризованного света в оптически активном веществе под действием внешнего магнитного поля. Измеряя угол поворота плоскости поляризации света можно определить индукцию магнитного поля или силу тока, если преобразователь поместить в магнитном поле измеряемого тока.

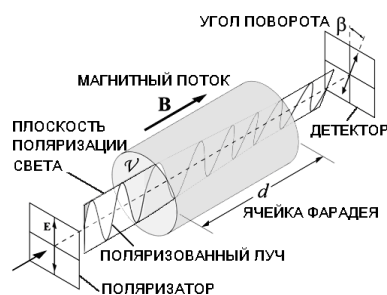


Рисунок 3 – Магнитооптический преобразователь на основе эффекта Фарадея

Угол поворота плоскости поляризации света определяется следующим соотношением:

$$\beta = \nu B d ,$$

где β – угол поворота (в радианах);

B – плотность магнитного потока (в Теслах);

d – длина части ячейки Фарадея, взаимодействующей с магнитным потоком (в метрах);

V – константа Вердета для данного материала ячейки Фарадея.

В качестве рабочего вещества в магнитооптических преобразователях используют стекла содержащие оксид свинца (так называемые флинты, кроны), а также плавненный кварц. Особенно большую чувствительность к магнитному полю имеют пленки из феррита граната. В этом устройстве, рис. 1, поляризованный луч с заземленного источника поступает по оптическому волокну или по световоду другого типа на ячейку Фарадея, расположенную непосредственно на высоком потенциале. В этой оптической ячейке световой поток меняет свой вектор поляризации в зависимости от величины воздействующего на нее магнитного потока (пропорционального току в высоковольтной цепи), рис.3. Далее, промодулированный таким образом, световой луч возвращается на потенциал земли, где преобразуется в электрический сигнал (рис.1). Разработкой устройств такого рода занимаются уже лет 30 - 40. И только сравнительно недавно на рынке появились оптические трансформаторы, рис. 4.

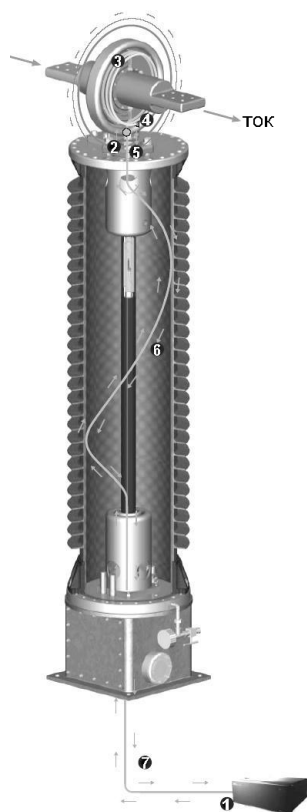


Рисунок 4 – Высоковольтный комбинированный измерительный трансформатор компании NxtPhase T&D.

Чувствительный элемент ТТ установлен на полимерной изоляционной колонке, снабженной поддерживающим изолятором, обеспечивающим спуск гибкого световода на землю. Преобразователь 1 входного сигнала в два линейно поляризованных сигнала, которые поступают по оптоволокну, сохраняя поляризацию, на измерительную головку, выполнен на базе светоизлучающего диода. Круговой поляризатор 2 наверху изоляционной колонки (опорного изолятора) преобразует два линейно поляризованных световых сигнала в сигналы с круговой поляризацией левого и правого вращения. Световые сигналы 3 многократно обходят проводник. Магнитное поле, создаваемое током, протекающим в высоковольтном проводнике, замедляет один сигнал и ускоряет другой (эффект Фарадея). Когда сигналы с круговой поляризацией проходят весь путь вокруг проводника, они отражаются зеркалом 4 и направляются в обратный путь. При этом, направление их поляризации теперь обратно первоначальному. На этом обратном пути эффект удваивается. После этого оба сигнала возвращаются обратно на круговой поляризатор, который снова преобразует их в линейно поляризованные световые пучки. Свет поступает обратно на оптоэлектронный блок внизу колонки по оптическому волокну 6. Разница в скорости распространения этих двух оптических сигналов обуславливает сдвиг по фазе между ними. Поскольку оба сигнала распространяются по идентичным путям, вибрация и изменение температуры воздействуют на них одинаково и поэтому не влияют на точность измерения тока.

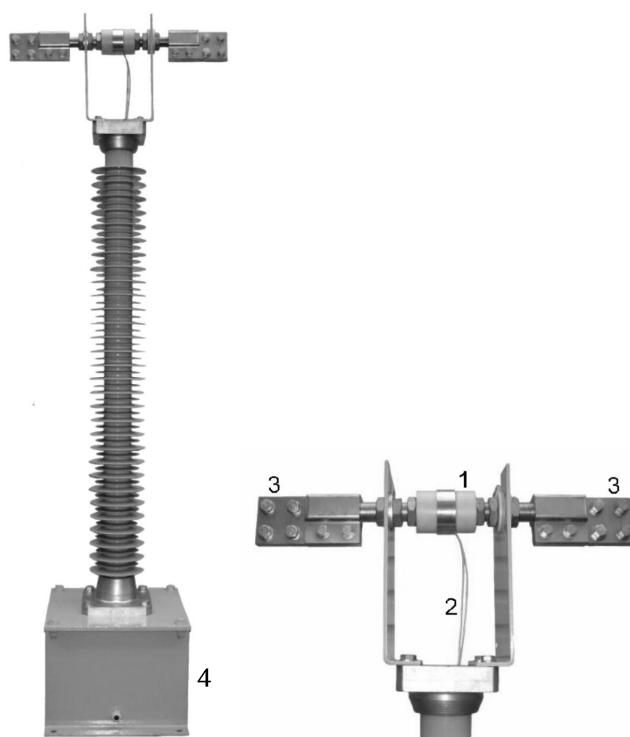


Рисунок 5 – Первый Российский оптоэлектронный измерительный трансформатор тока типа ОИЦТТ-110кВ-2кА-0.2s:

1 – ячейка Фарадея; 2 – оптическое волокно; 3 – токовые выводы; 4 – электронный преобразователь

Анализ последних исследований и публикаций. На таком же принципе работает и первый российский образец оптоэлектронного ТТ, разработанный ООО Научно-производственная компания "Оптолинк" совместно с ОАО Раменский электротехнический завод "Энергия" (рис. 5).

В последнее время в многочисленных публикациях (см. например, статью А. Гуртовцева "Оптические трансформаторы и преобразователи тока. Принципы работы, устройство, характеристики" в журнале "Новости электротехники", № 5, 2009) появились хвалебные оды в честь оптоэлектронных трансформаторов тока, представляющих их чуть ли не панацеей от все бед и проблем электроэнергетики. Но традиционные трансформаторы тока верой и правдой служат в электроэнергетике уже более сотни лет. Это один из самых простых, самых надежных, самых стабильных и самых "безпроблемных" элементов в электроэнергетике.

Поэтому, когда заходит речь о принципиально новых устройствах и призывах заменить ими традиционные, нужны очень веские аргументы в пользу новых устройств. Есть ли такие аргументы у апологетов оптоэлектронных ТТ? Могут ли их заменить чисто рекламные заявления публикуемые, обычно ими?

Рассмотрим эти заявления подробнее:

"широкая полоса пропускания сигналов (не менее 6 кГц), позволяющая производить полный анализ не только количества, но и качества электроэнергии в части гармоник (до 100 гармоник) и переходных процессов (для защиты)"

Вопрос: А разве полоса пропускания обычных ТТ недостаточна для "полного анализа не только количества, но и качества электроэнергии в части гармоник (до 100 гармоник) и переходных процессов (для защиты)"? Разве аварийные переходные процессы в сетях сегодня не записываются цифровыми регистраторами? Как показано в ряде исследований, выполненных различными авторами, частотные характеристики самых обычных ТТ простираются до частот в 100 кГц [1, 2]. То есть получается, что частотные характеристики обычных ТТ даже лучше, чем оптоэлектронных.

"высокая помехоустойчивость к электромагнитным помехам, позволяющая монтировать изделия в сложной электромагнитной обстановке без ее предварительного анализа и коррекции"

Вопрос: высокая помехоустойчивость по сравнению с чем? С традиционными ТТ? А что, разве с этим есть проблемы? На основании каких таких данных утверждается о высокой помехоустойчивости оптоэлектронных ТТ, содержащих весьма сложные микропроцессорные преобразователи электрических сигналов в оптические и обратно, которые, как и все устройства такого рода обладают весьма ограниченной помехоустойчивостью?

"долговечность, долговременная стабильность и высокая повторяемость метрологических параметров изделий"

Вопрос: а разве традиционные ТТ не обеспечивают надлежащую долговечность, стабильность и повторяемость результатов, достаточную для нужд измерения тока и работы релейной защиты? Кто-

нибудь проводил сравнительные испытания на надежность и стабильность параметров традиционных и оптоэлектронных ТТ с их сложными электронными блоками?

"низкая восприимчивость к вибрациям и изменениям температуры"

Вопрос: разве традиционные ТТ восприимчивы к вибрациям и изменениям температуры? Разве оптические волокна и сложные микропроцессорные системы более устойчивы к вибрациям и изменениям температуры, чем медные обмотки, намотанные на железной болванке?

"простота и надежность конструкции, высокая надежность и самодиагностика электронно-оптических блоков минимизируют требования к техническому обслуживанию и проверке изделий"

Вопрос: с каких это пор сложная оптическая система, снабженная сложным электронным микропроцессорным блоком стала более простой, чем медная обмотка на железе? По какой это теории сложнейшая электронная система оказалась более надежной, чем медная обмотка на железном сердечнике? Необходимость самодиагностики электронной системы – это скорее отрицательное качество, чем положительное, так как это показатель того, что без постоянной самодиагностики система не способна обеспечить высокую надежность.

"отсутствие насыщения трансформатора"

Вопрос: а разве сегодня при выборе ТТ для релейной защиты не учитываются максимальные токи короткого замыкания в данной линии? А разве в реальных высоковольтных линиях электропередач класса 110 кВ и выше (для которых и рассчитаны оптоэлектронные ТТ) могут быть токи короткого замыкания такой величины, что они могут вызвать сильное насыщение ТТ с номинальным током, например, 1200А? Во-вторых, разве широко известные трансформаторы тока Роговского не обладают полным иммунитетом к насыщению при неограниченно больших токах?

"снижение затрат на эксплуатационное обслуживание по сравнению с элегазовыми и маслонаполненными изоляторами"

Вопрос: во-первых, какое такое специальное "эксплуатационное обслуживание" требуют маслонаполненные, а тем более элегазовые ТТ? Во-вторых, какие сегодня имеются основания считать, что такие сложные устройства, как оптоэлектронные ТТ не будут требовать обслуживания? Кто сказал, что их не нужно будет периодически проверять и калибровать? Разве случаи выхода из строя сложных электронных систем так уж редки? Разве самые современные микропроцессорные устройства релейной защиты со встроенной самодиагностикой сегодня выходят из строя реже, чем старые электромеханические, [3]?

Цель статьи. Обосновать, на основе анализа преимуществ и недостатков, целесообразность замены оптоэлектронными измерительными трансформаторами тока обычных электромагнитных измерительных трансформаторов тока.

Основные материалы исследования. Мы не видим четких и однозначных ответов на поставленные вопросы, хотя, конечно, совершенно очевидно, что

оптоэлектронные измерительные трансформаторы действительно имеют определенные преимущества, например, в области сверхвысоких напряжений, когда стоимость изоляции традиционного измерительного трансформатора получается очень высокой. Или в области специальных применений с очень значительными кратностями токов, когда обычные ТТ могут насыщаться. Что же касается якобы особо высокой помехоустойчивости оптоэлектронных ТТ, то это вызывает серьезное сомнение.

Так, недавно, после неприятного инцидента с системой FOCUS (Fiber Optic Communication for Utility Systems), используемой для преобразования электрических сигналов в оптическом, их передачи через оптический кабель и восстановления электрических сигналов из оптических в конце оптического кабеля, мы вынуждены были проверить эту систему на соответствие стандартам группы IEC-60255: 60255-22-1, 60255-22-3, 60255-22-4, 60255-5, 60255-6, 60255-11.

Эти стандарты описывают требования электромагнитной совместимости (ЭМС) к устройствам релейной защиты (система FOCUS используется для передачи команд между реле защиты и поэтому рассматривается как часть релейной защиты).

В процессе испытаний мы были неприятно удивлены, обнаружив, что система не отвечает требованиям большинства указанных выше стандартов и, следовательно, не может обеспечить надежное функционирование релейной защиты при воздействии электромагнитных возмущений. В частности, функционирование системы было нарушено и связь между двумя комплектами системы FOCUS полностью потеряна при воздействии стандартных импульсов высокого напряжения между полюсами порта питания (230 Вольт) и корпусом, между портами логических входов и корпусом.

При некоторых типах испытаний наблюдался сброс уставок, записанных в памяти, что потребовало ручного введения уставок через компьютер. А при испытании электрической прочности изоляции входов относительно заземленного корпуса одноминутным напряжением 2 кВ переменного тока при плавном его подъеме, уже при напряжении 1130 В произошел пробой внутренних цепей, сопровождающийся обильным выделением дыма.

Таким образом, оптоэлектронная система, предназначенная для повышения помехоустойчивости релейной защиты, сама по себе является элементом крайне не надежным в плане устойчивости к электромагнитным воздействиям.

Выводы. Приведенные выше результаты испытаний являются весьма ярким примером того, что сложные микропроцессорные оптоэлектронные системы вовсе не являются верхом совершенства. Поэтому и оптоэлектронные ТТ, по нашему мнению, вовсе не являются универсальными устройствами, призванными заменить все типы существующих ТТ, а будут иметь, скорее ограниченное применение в некоторых специальных случаях.

Оптоэлектронные измерительные трансформаторы действительно имеют определенные преимущества, например, в области сверхвысоких напряжений,

когда стоимость изоляции традиционного трансформатора получается очень высокой. Или в области очень значительных кратностей аварийных токов, когда обычные (электромагнитные) ТТ могут насыщаться. Или при необходимости измерений очень больших токов (сотни килоампер).

На эти частные преимущества и следовало бы, по нашему мнению, обратить внимание специалистов вместо восхваления устройств, которые в реальной жизни вовсе не могут заменить собой традиционные ТТ во всех областях их применения.

Кроме того, сравнивая оптоэлектронные ТТ с другими типами ТТ, необходимо учитывать, что такими "другими" типами могут быть не только электромагнитные ТТ, но и устройства на основе катушки Роговского, получившие широкое практическое распространение. Трансформаторы тока на основе катушек Роговского могут работать и при очень больших кратностях токов, и для измерения больших уровней тока. При этом они очень просты и дешевы, в отличие от оптоэлектронных ТТ.

Список использованных источников

1. Poulichet P. High-Frequency Modeling of a Current Transformer by Finite-Element Simulation / P. Poulichet, F. Costa, É. Labouré // IEEE Transactions on Magnetics. – vol. 39. – No. 2, March, 2003.

2. Redfern M. A Laboratory Investigation into the use of MV Current Transformers for Transient Based Protection / M. A. Redfern, S. C. Terry, F. V. P. Robinson, and Z. Q. Bo. // International Conference on Power Systems Transients – IPST 2003 in New Orleans, USA.

3. Gurevich V. Digital Protective Relays: Problems and Solutions / V. Gurevich– Taylor & Francis, New York – Boca Raton – London, 2010. – 350 p.

Анотація

ОПТОЭЛЕКТРОННІ ТРАНСФОРМАТОРИ СТРУМУ І НАПРУГИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ: ПРИНЦИПИ І ПЕРСПЕКТИВИ

Гуревич В. І., Савченко П. І.

Розглядаються питання про доцільність заміни електромагнітних вимірювальних трансформаторів струму оптоелектронними вимірювальними трансформаторами струму.

Abstract

PHOTOELECTRIC TRANSFORMERS OF CURRENT AND VOLTAGE FOR ELECTRIC POWER SYSTEMS: THEORY AND ASPECTS

V. Gurevich, P. Savchenko

Consider the question for replacement expediency of the electromagnetic current transformers with the optoelectronic current transformers.