НАУЧНО-
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Оптические трансформаторы тока и напряжения для цифровой подстанции

Инвестиционный проект

© «НПП Марс-Энерго», Санкт-Петербург, 2019

Неизбежность замены традиционных СИ

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Что влечет за собой развитие сетей Smart Grid и внедрение идеологии цифровых подстанций? Неизбежность замены традиционных аналоговых СИ (трансформаторов тока и напряжения, систем учета, защиты и автоматики) на цифровые СИ.

Основные требования к цифровым СИ, включая датчики, сенсоры тока, напряжения:

- быстродействие, широкий частотный диапазон до 6 кГц;
- большая перегрузочная способность, широкий динамический диапазон;
- отсутствие влияния коротких замыканий;
- высокое сопротивление электрической изоляции при компактных размерах;
- малый вес, удобство монтажа;
- пожаробезопасность, экологичность.

Имеются альтернативные варианты традиционным трансформаторам (в основном электромагнитным). Это датчики тока на основе катушек Роговского, магнитотранзисторов и датчики напряжения на основе емкостных и резистивных делителей.
Но наиболее перспективными, с нашей точки зрения, являются оптические измерительные трансформаторы.

Переход от индуктивных традиционных к оптическим измерительным трансформаторам

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Взгляд на перемены в технологии производства

Традиционные трансформаторы

+ Большие производ-ственные площади

+ Вредные технологии с использованием компаунда на основе эпоксидных смол

+ Традиционная технология производства с начала прошлого века

= **Индуктивные измерительные трансформаторы**

Оптические трансформаторы

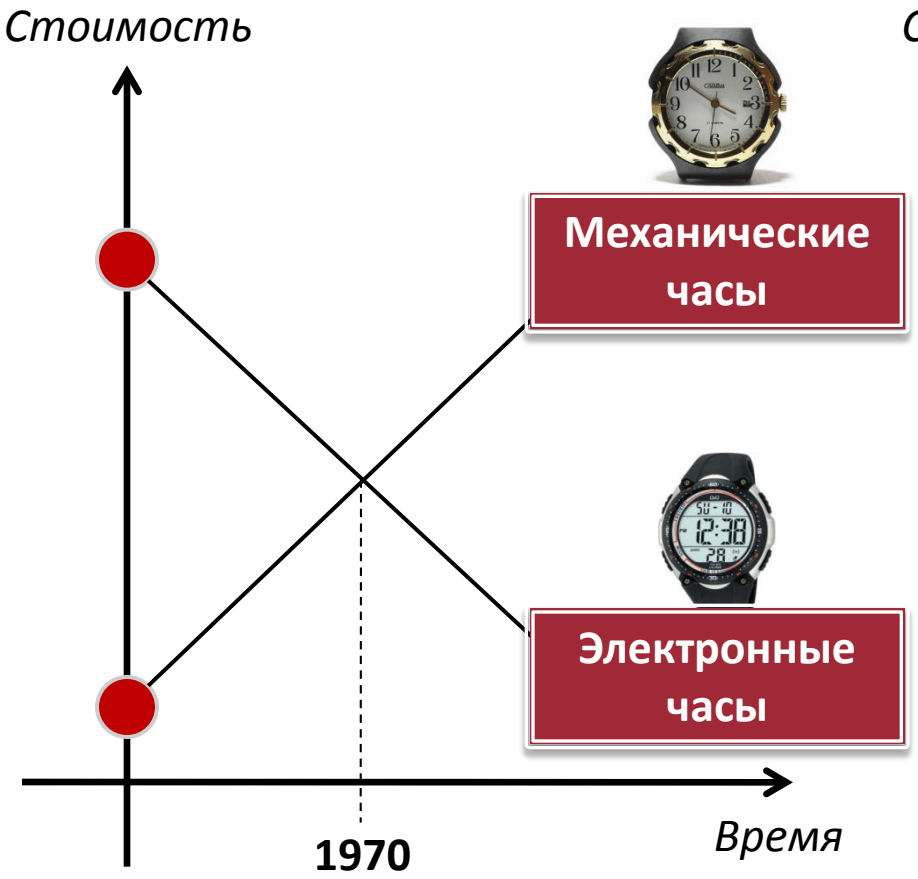
+ Электроника

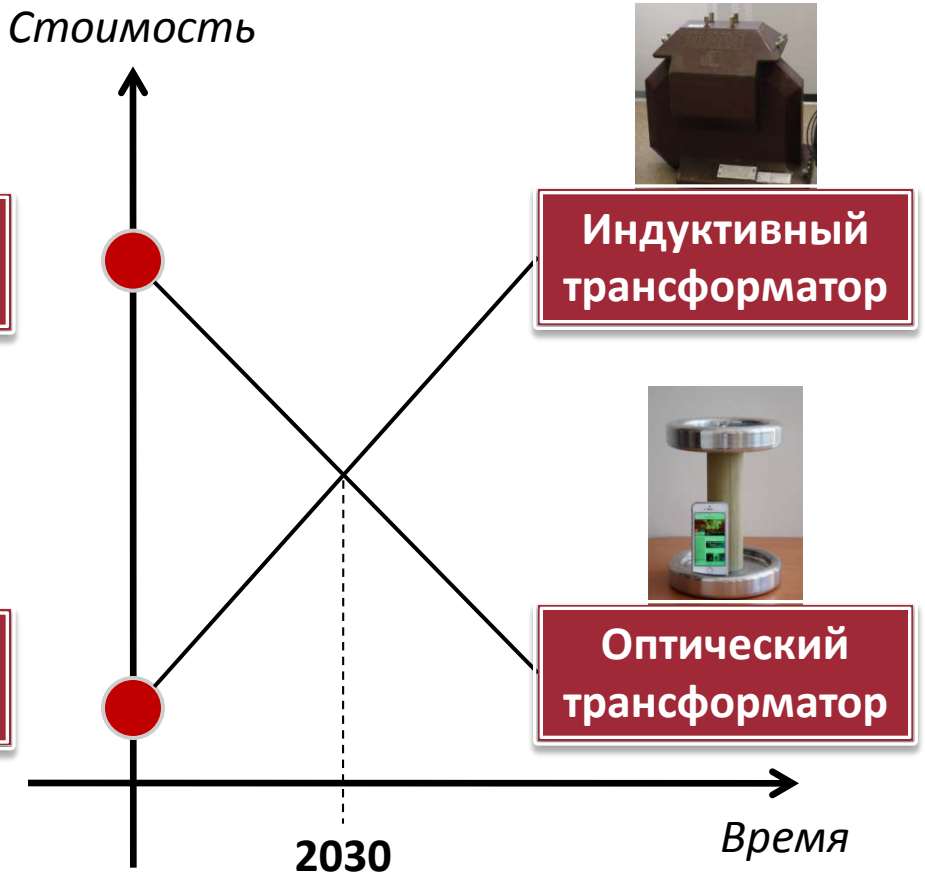
+ Наукоемкие высокие технологии обработки

= **Оптические трансформаторы**

Аналогии трансформирования стоимости

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

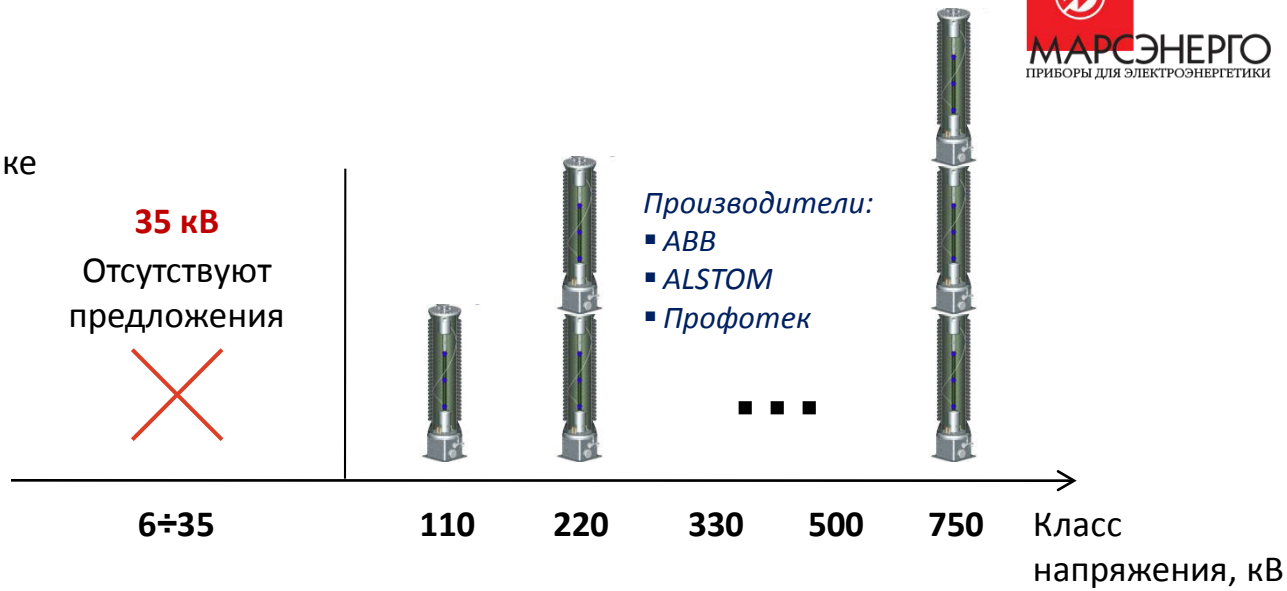




Оценка потенциального спроса на оптические трансформаторы кл. напряжения 6÷35 кВ

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В настоящее время на рынке электроэнергетики России отсутствует предложение серийных оптических измерительных трансформаторов напряжения на кл. напряжения 6÷35 кВ.



Количество ПС 6÷35 кВ в составе ОАО «Россети» составляет порядка 450 тыс. ед. Степень износа оборудования – 70 %, а средний технический уровень ПС отстает от аналогичных ПС развитых стран на 25–30 лет (по материалам официального сайта ОАО «Россети»).

Количество измерительных трансформаторов в составе ПС 6÷35 кВ – не менее 3 млн. ед. Большую часть из них потребуется заменить в ближайшие 15–20 лет по причинам физического износа, старения (порядка 50 %) и перехода на цифровые технологии (порядка 5 %).

По самым скромным оценкам 5 % рынка за 15 лет займут цифровые оптические трансформаторы, что составит порядка 150 тыс. ед., т. е. потребуется установка 10 тыс. ед. ежегодно.

Инвестиционная привлекательность проекта

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Таким образом с развитием сетей Smart Grid ожидаемые изменения в сегменте измерительных трансформаторов открывают новые возможности для финансовых и технических инвестиций. Кроме того, целесообразно заранее готовиться к импортозамещению не дожидаясь полного захвата данного сегмента рынка.

«НПП Марс-Энерго» предлагает техническое решение проекта, подготовку к серийному производству и метрологическое обеспечение, опираясь на 25-летний опыт производства измерительного оборудования.

Оценить финансовую целесообразность проекта потенциальным инвесторам могут помочь следующие предварительные расчеты:

Предварительная оценка стоимости цифрового, оптического измерительного канала на апрель 2015 года

Стоимость комбинированного оптического цифрового трансформатора тока и напряжения на кл. напряжения 6÷35 кВ может составлять порядка 500 тыс. рублей на одну точку учета, включая электронный блок. Потребительский спрос порядка 150 тыс. ед. за 15 лет. Исходя из вышеперечисленного объем рынка оптических измерительных цифровых трансформаторов составляет ***75 млрд. руб***.

150 тыс. ед. цифровых трансформаторов

75 млрд. руб.

Потенциальный объем рынка

Оптические измерительные трансформаторы тока и напряжения от компании «НПП Марс-Энерго»

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

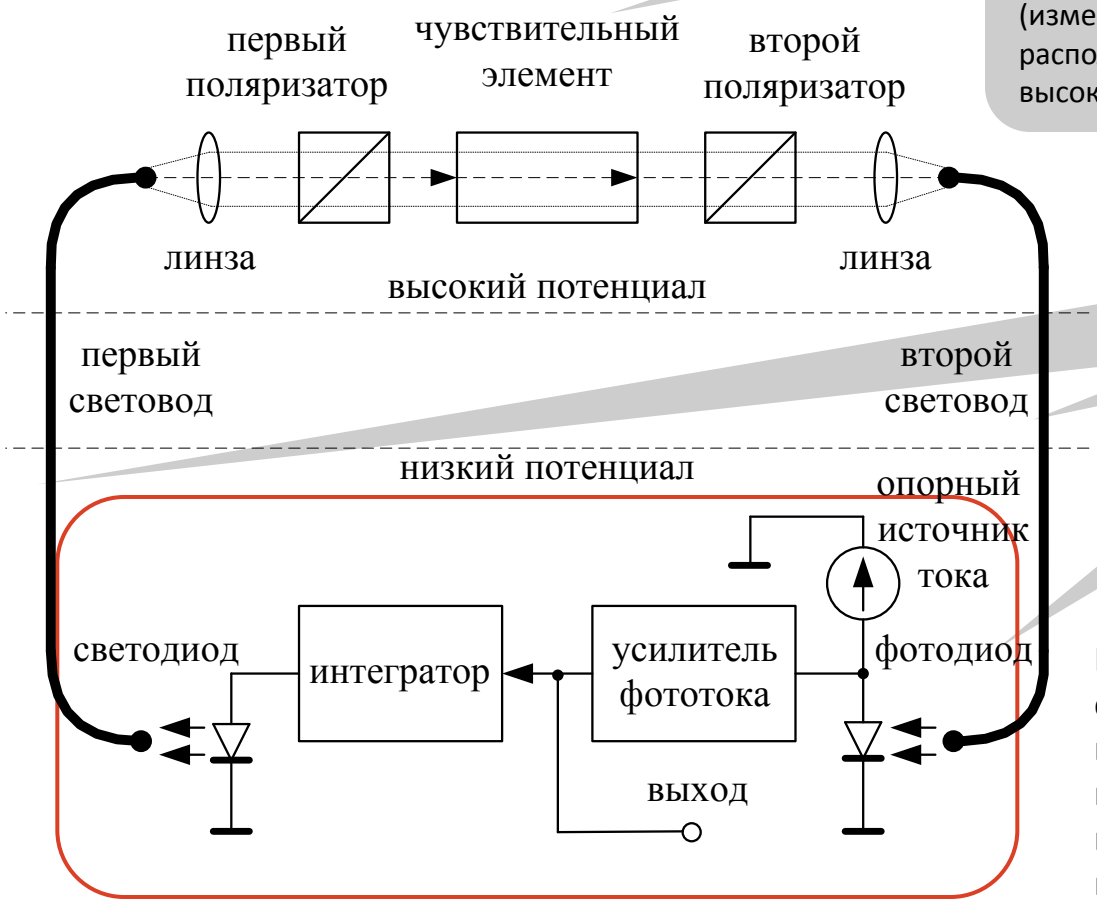
В «НПП Марс-Энерго» были разработаны и изготовлены следующие прототипы оптических трансформаторов напряжения и тока на кл. 6÷35 кВ с простой конструкцией и приемлемой себестоимостью:

Магнитооптический измерительный преобразователь переменного тока, основанный на использовании магнитооптического эффекта Фарадея

Электрооптический измерительный преобразователь переменного напряжения, основанный на использовании электро-оптического эффекта электрогирации

Структурная схема универсального измерительного преобразователя тока и напряжения

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ



Ячейка Фарадея (измерение тока) *или* *ячейка электрогирации* (измерение напряжения), расположенная в зоне высокого потенциала

Два световода, оптически связывающие чувствительный элемент с электронным блоком и обеспечивающие гальваническую развязку между зонами с разным потенциалом

Электронный блок, расположенный в зоне низкого потенциала

На рисунке приведена упрощенная структурная схема универсального измерительного преобразователя, который в зависимости от используемого чувствительного элемента может использоваться для измерения тока или напряжения.

Оптический трансформатор тока

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Назначение

Магнитооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного тока **МПР-МЭ-5**, состоящий из чувствительного элемента (ячейки Фарадея) и оптоэлектронного блока, предназначен для преобразования первичных мгновенных значений переменных и импульсных токов в пропорциональные значения низкого вторичного тока или цифровой сигнал. Он основан на использовании магнитооптического эффекта Фарадея.

Принцип действия

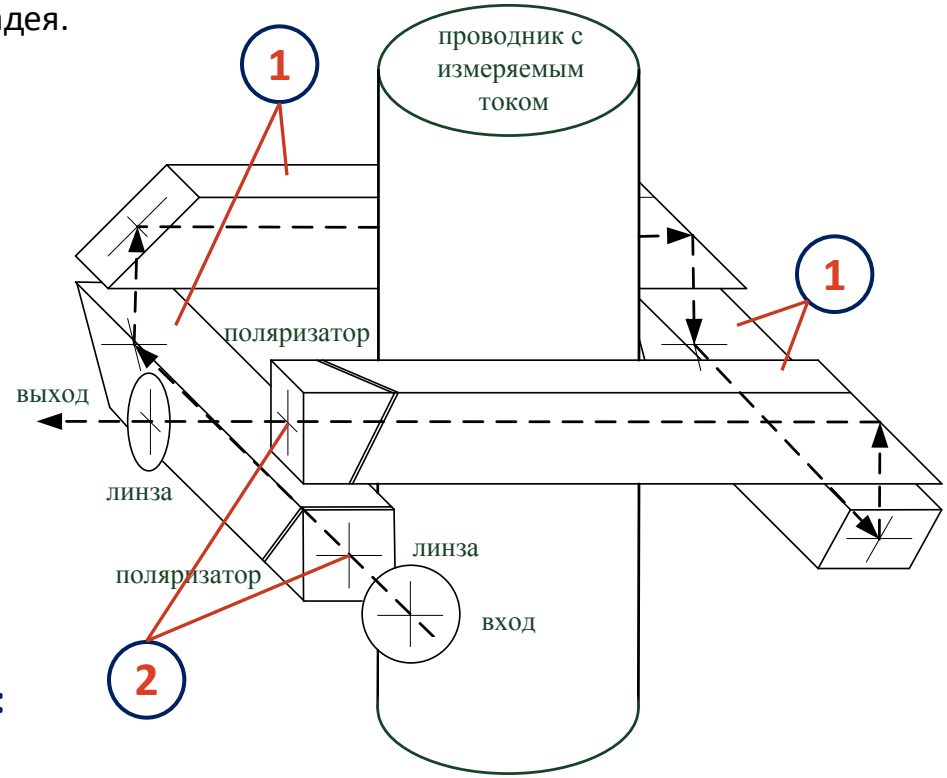
Эффект Фарадея проявляется в повороте плоскости поляризации линейно поляризованного света.

Особенности конструкции:

1. В разработанном преобразователе чувствительным элементом являются *четыре призмы*, расположенные последовательно по ходу распространения света, выполненные из стандартного диамагнитного стекла и образующие замкнутый контур вокруг проводника с измеряемым током.
2. *Поляризаторы* интегрированы в призмы.

Преимущества исполнения преобразователя:

1. Низкий уровень шумов
2. Простота оптоэлектронного блока



Устройство ячейки Фарадея

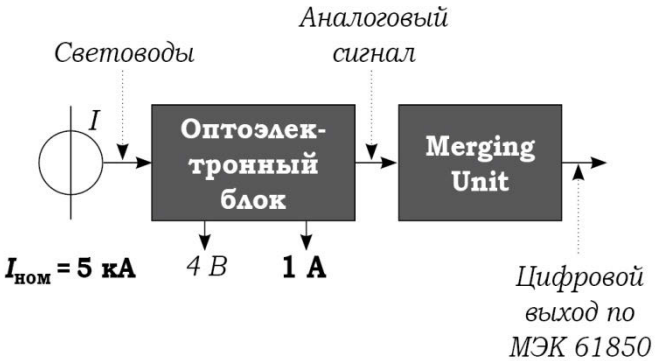
Оптический трансформатор тока

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Технические характеристики опытного образца – прототипа

Диапазон измерения тока	0,1 ÷ 6 кА с допускаемой кратковременной перегрузкой 100 кА
Рабочая частота	1 Гц … 10 кГц
Модульная погрешность измерения, Δ*f*	0,2–0,5 %
Угловая погрешность измерения, Δδ	2 мин

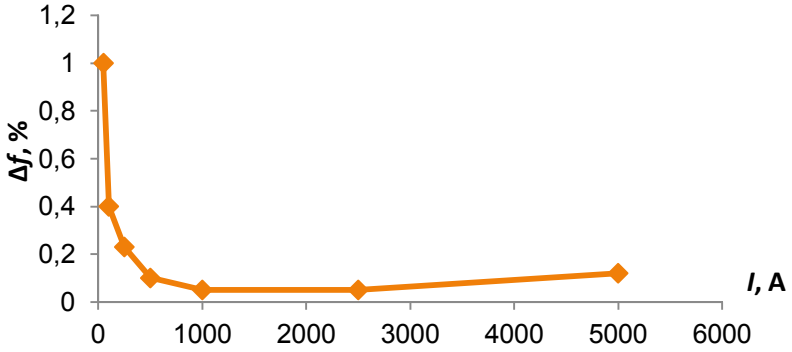
Структурная схема преобразователя тока



Предварительные результаты испытаний

(от 30.04.2014)

Модульная погрешность



Угловая погрешность

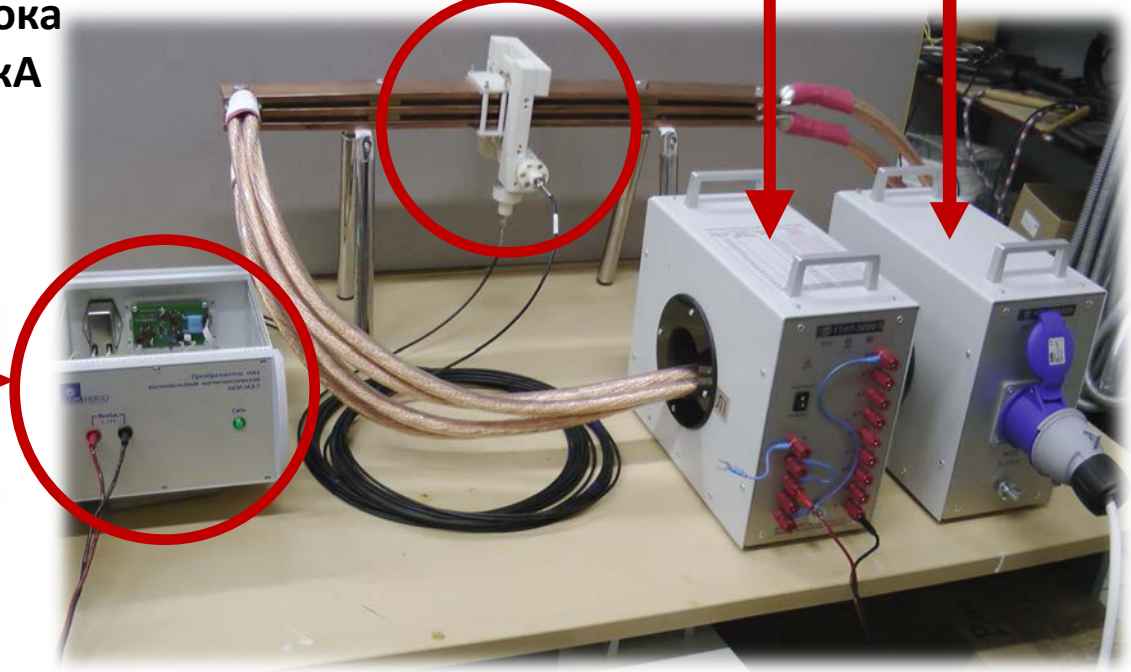
Оптический трансформатор тока

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Оптический датчик тока
$I_{ном}$ = 5 кА

Патент
№ 149253

Оптоэлек-
тронный
блок



Эталонный
трансформатор
тока

Источник
тока

Оптический трансформатор напряжения

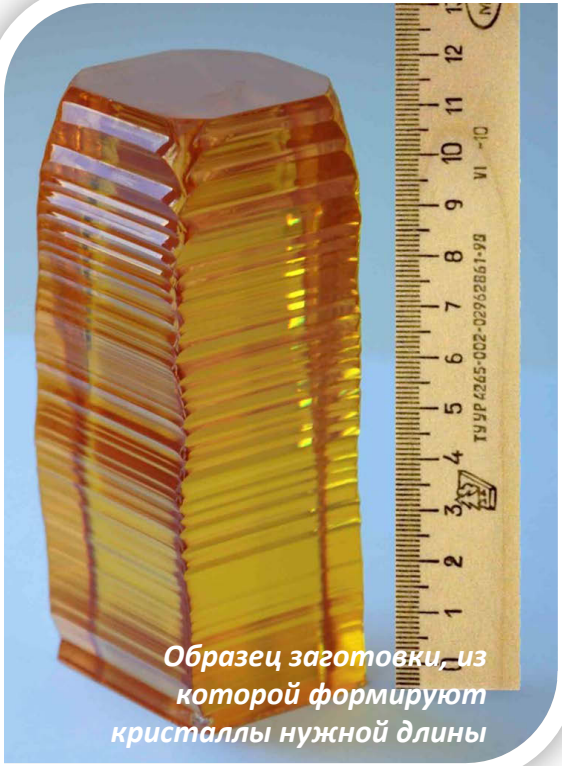
МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Назначение

Электрооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного напряжения **ЭПР-МЭ-35,100** предназначен для масштабного преобразования мгновенных значений высоких переменных и импульсных напряжений в пропорциональные значения низкого напряжения. Он основан на спользовании электрооптического эффекта электрогирации.

Принцип действия

Эффект электрогирации проявляется в появлении оптической активности центрально симметричных кристаллов под действием напряженности электрического поля измеряемого напряжения.



Образец заготовки, из которой формируют кристаллы нужной длины

Электрооптический эффект электрогирации 50 лет спустя

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

История открытий в оптике

1845 год

Продольный магнитооптический **эффект Фарадея**

1893 год

Линейный электрооптический **эффект Поккельса**

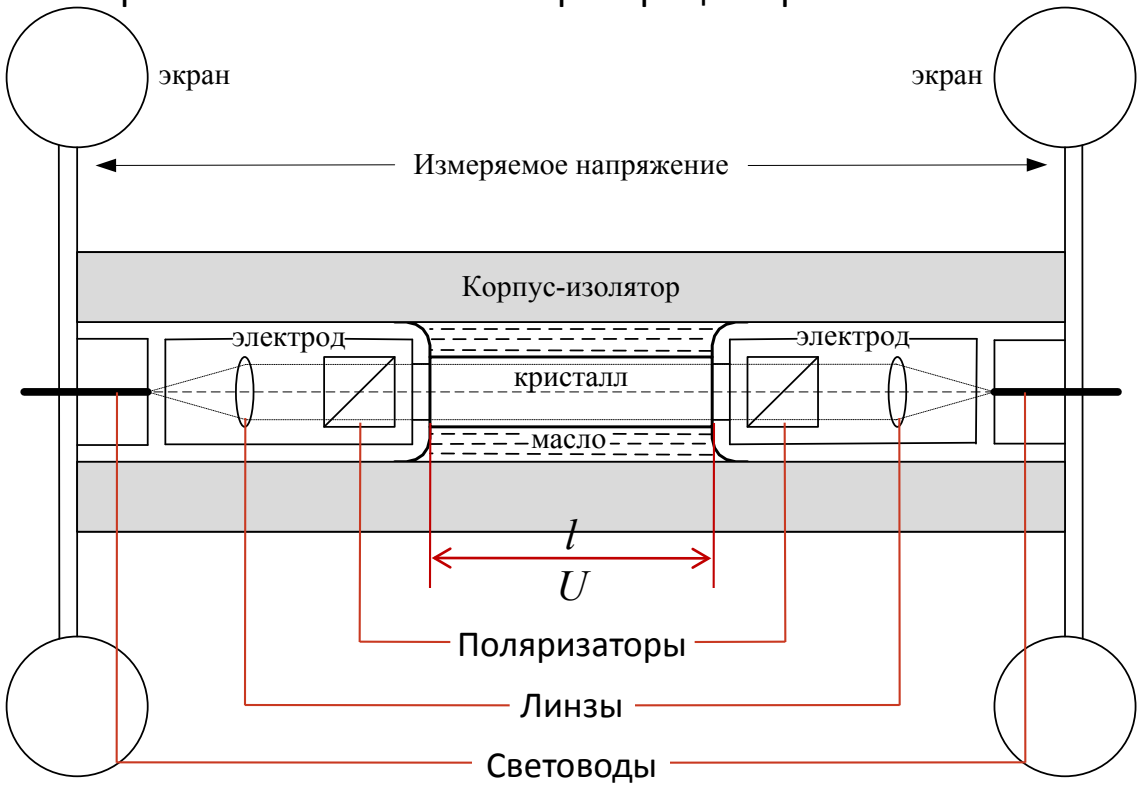
1964 год

Открыт эффект электрогирации, одновременно исследованный японским ученым К. Аизу и русским ученым И.С. Желудевым. В 1969 году украинским ученым О.Г. Влохом были проведены экспериментальные работы

Электрооптический эффект электрогирации 50 лет спустя

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Эффект электрогирации заключается в возникновении или изменении оптической активности в кристаллах, находящихся в электрическом поле, которая вызывает поворот плоскости поляризации линейно поляризованного света при его распространении через кристалл на угол, пропорциональный напряженности электрического поля и длине пути света в кристалле. Коэффициент пропорциональности равен постоянной электрогирации кристалла.



$$\varphi = G\int_1^2 \vec{E}d\vec{l} = G\times U$$

G — постоянная электрогирации кристалла;

$\vec{E}$ — вектор напряженности электрического поля

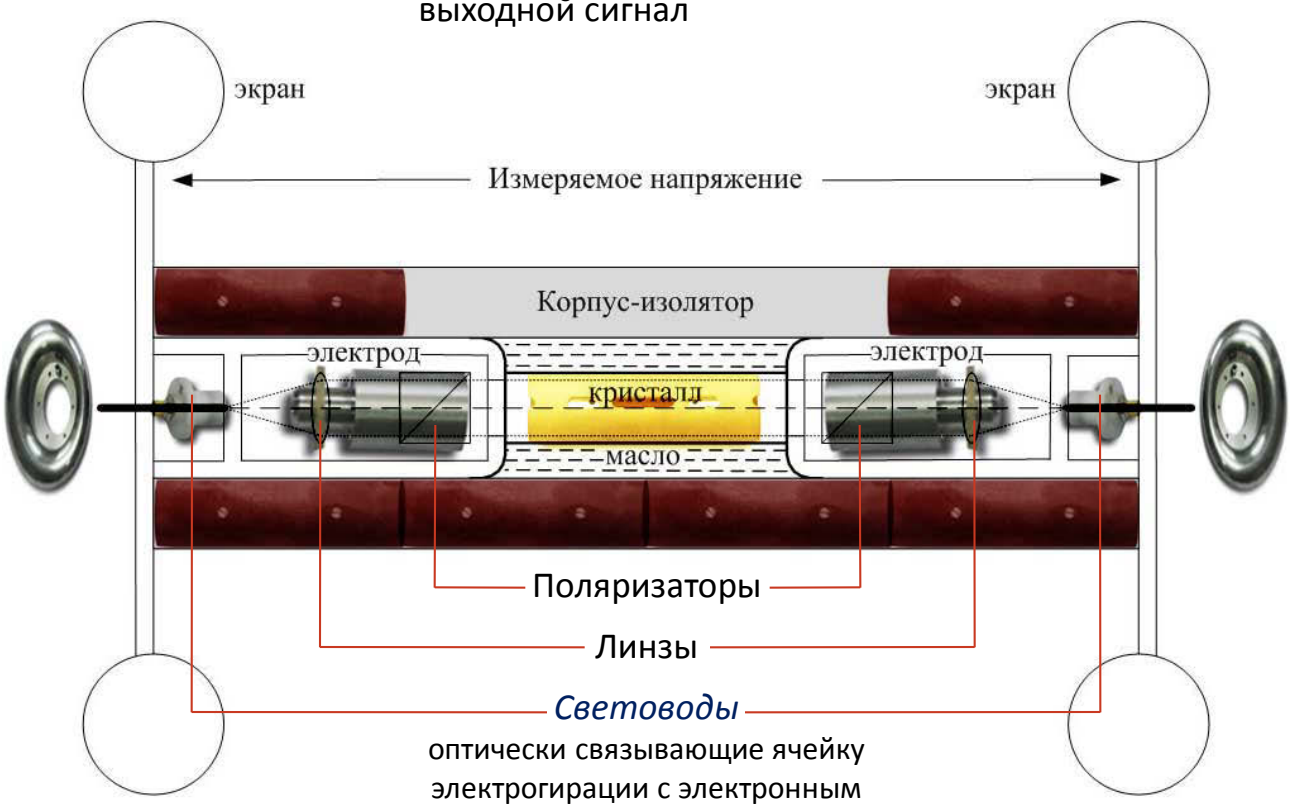
$d\vec{l}$ — элемент контура на промежутке между электродами

Оптический трансформатор напряжения

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Конструкция

- *ячейка электрогирации*, входные электроды которой подключены к измеряемому напряжению,
- *электронный блок*, формирующий нормированный выходной сигнал



Особенности конструкции:
в преобразователе измеряемое напряжение прикладывается непосредственно к торцам центрально симметричного кристалла.

Преимущества конструкции:
1) возможность измерения межфазного напряжения;
2) отсутствие пьезоэффекта.

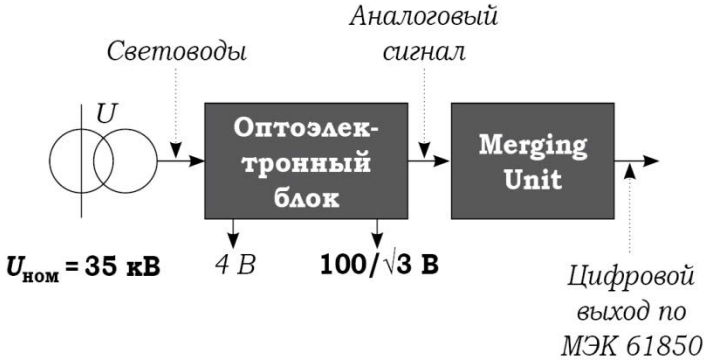
Оптический трансформатор напряжения

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Технические характеристики опытного образца – прототипа

Номинальное значение измеряемого напряжения	35, 110 кВ
Рабочая частота	1 Гц … 10 кГц
Модульная погрешность измерения	0,2–0,5 %
Угловая погрешность измерения	2 мин

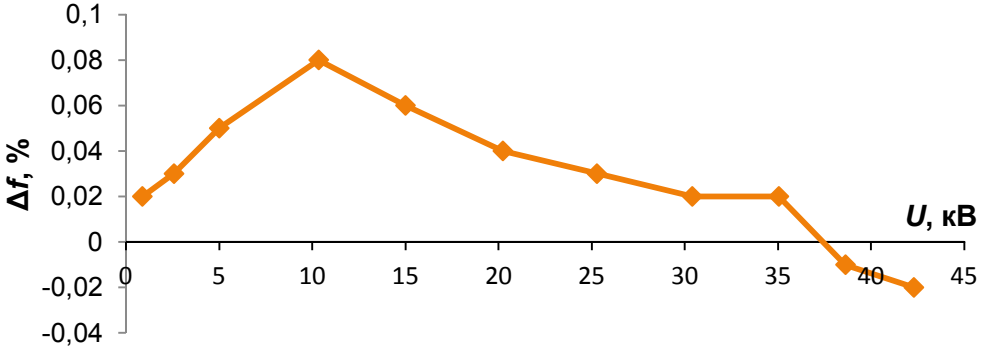
Структурная схема преобразователя напряжения



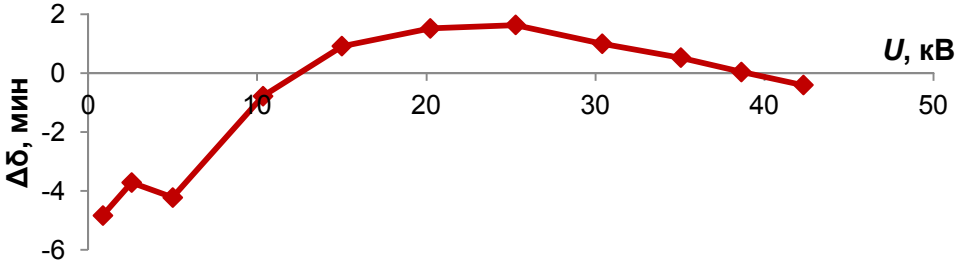
Предварительные результаты испытаний

(от 30.04.2014)

Модульная погрешность



Угловая погрешность



Оптический трансформатор напряжения

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

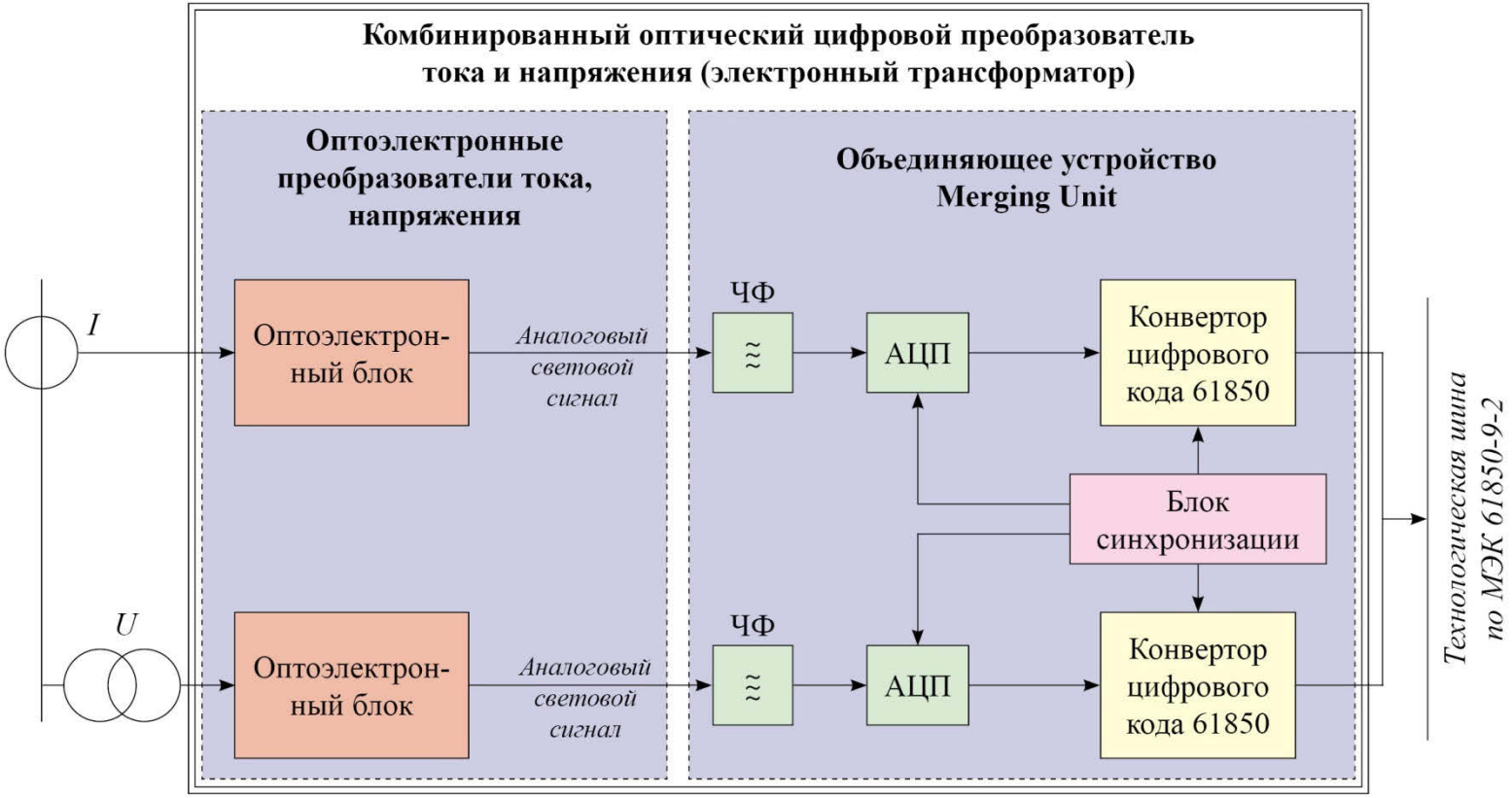
Патент № 144464

Оптический датчик напряжения кл. 35 кВ

Оптоэлектронный блок

Исполнение ИТН и ИТТ для работы в составе ЦПС

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ



Результаты испытаний экспериментального оптического трансформатора тока на ЗАО «Чебоксарский электроаппаратный завод»

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В марте 2015 года были проведены предварительные испытания оптического ИТТ в высоковольтной ячейке 6/10 кВ КРУ совместно со специалистами ЗАО «ЧЭАЗ».

В результате проведенных работ на высоковольтной ячейке испытательной станции МПРЗА БЭМП был составлен протокол испытаний и даны рекомендации для дальнейшего улучшения потребительских и технических характеристик оптического ИТТ.

ПРОТОКОЛ ПОВЕРКИ
Оптического трансформатора

Оптический трансформатор тока
Номинальный первичный ток: 5000А
Номинальный вторичный ток___1 А_____
Номинальная частота _____50 Гц._____
Предприятие-изготовитель____ООО «НПП Марс-Энерго»_____
Принадлежит _____ ООО «НПП Марс-Энерго»_____
наименование организации, представившей трансформатор на поверку
Эталонные средства измерений:
Трансформатор тока: ЗАО «ЧЭЗ»
номинальный первичный ток :3000А
номинальный вторичный ток: 5А
номинальная частота: 50 гц
1) Результат внешнего осмотра_____**соответствует**_____
соответствует, не соответствует
2) Результат поверки сопротивления изоляции____ **соответствует** _____
соответствует, не соответствует
3) Результат проверки правильности маркировки выводов___**соответствует**_____
соответствует, не соответствует
4) Результаты определения погрешностей

Номинальный первичный ток, А	Нагрузка поверяемого трансформатора тока, В·А; при cos φ = 1	Значение первичного тока, % от номинального значения	Погрешности поверяемого ТТ		Нормы по ГОСТ 23624-2001 кл 0,5	
			δ_f, %	Δδ,…′	δ_f, %	Δδ,…′
3000	0	5	0.2624	-6.0	±1,5	±90
		20	0.3133	9.6	±0,75	±45
		50	-0.1096	9.6	±0,5	±30
		67	-0.0487	10.8	±0,5	±30

Заключение_____годен_____
годен, не годен

Положительно отмечены компактные размеры, небольшой вес и удобство подключения испытуемого оптического ИТТ.

В качестве образцового ТТ был применен ТШЛ-СЭЩ-10-01 (3000/5 кл. т. 0,5S).

МАРСЭНЕРГО
ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Архангельский Владимир Борисович

к. т. н., ведущий специалист

Гиниятуллин Ильдар Ахатович

директор ООО «НПП Марс-Энерго»

ООО «НПП МАРС-ЭНЕРГО»

190034, Санкт-Петербург, В. О.,
13-я линия, д. 6–8, лит. А

Тел./факс: (812) 327-21-11,
8 800 333 10 51

E-mail: mail@mars-energo.ru
www.mars-energo.ru