

Оптические преобразователи тока и напряжения для цифровой подстанции

Неизбежность замены традиционных СИ

2



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:

- быстроедействие, широкий частотный диапазон до 6 кГц;
- большая перегрузочная способность, динамический диапазон;
- отсутствие влияния коротких замыканий;
- высокая электрическая изоляция 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 датчики, основанные на оптических технологиях.



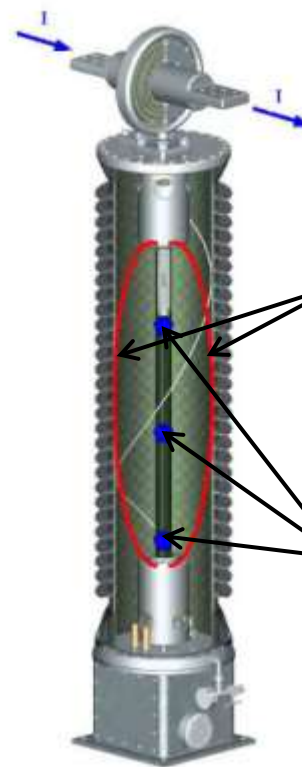
Проблемы внедрения оптических трансформаторов, в особенности на кл. напряжения 35 кВ и ниже

3

Высокая себестоимость производства оптических ИТН, сконструированных на основе эффекта Покейса, по оценке специалистов связана с техническими и технологическими проблемами и ограничивает их широкое внедрение.

Но оптические ИТН на классе напряжения 110 кВ и выше (см. рис.) выпускаются серийно несмотря на высокую стоимость. Это объясняется тем, что высокая стоимость самого оптического трансформатора компенсируется меньшими затратами на монтаж по сравнению с традиционными трансформаторами. Но этот выигрыш по общим затратам достигается лишь на уровне напряжения выше 110 кВ.

И возможно по этой причине оптические ИТН на кл. напряжения 35 кВ и ниже отсутствуют на рынке электроэнергетики для широкого применения.



**Оптический ИТН
с $U_{ном} = 110 \text{ 750 кВ}$**

Магнитооптический измерительный преобразователь тока и электрооптический измерительный преобразователь напряжения

4



В «НПП Марс-Энерго» решили восполнить пробелы с предложением оптических трансформаторов напряжения на кл. 35 кВ и ниже и тока с простой конструкцией и доступной ценой. *В результате были разработаны:*

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



Электрооптический измерительный преобразователь переменного напряжения,
основанный на использовании электрооптического эффекта электрогирации

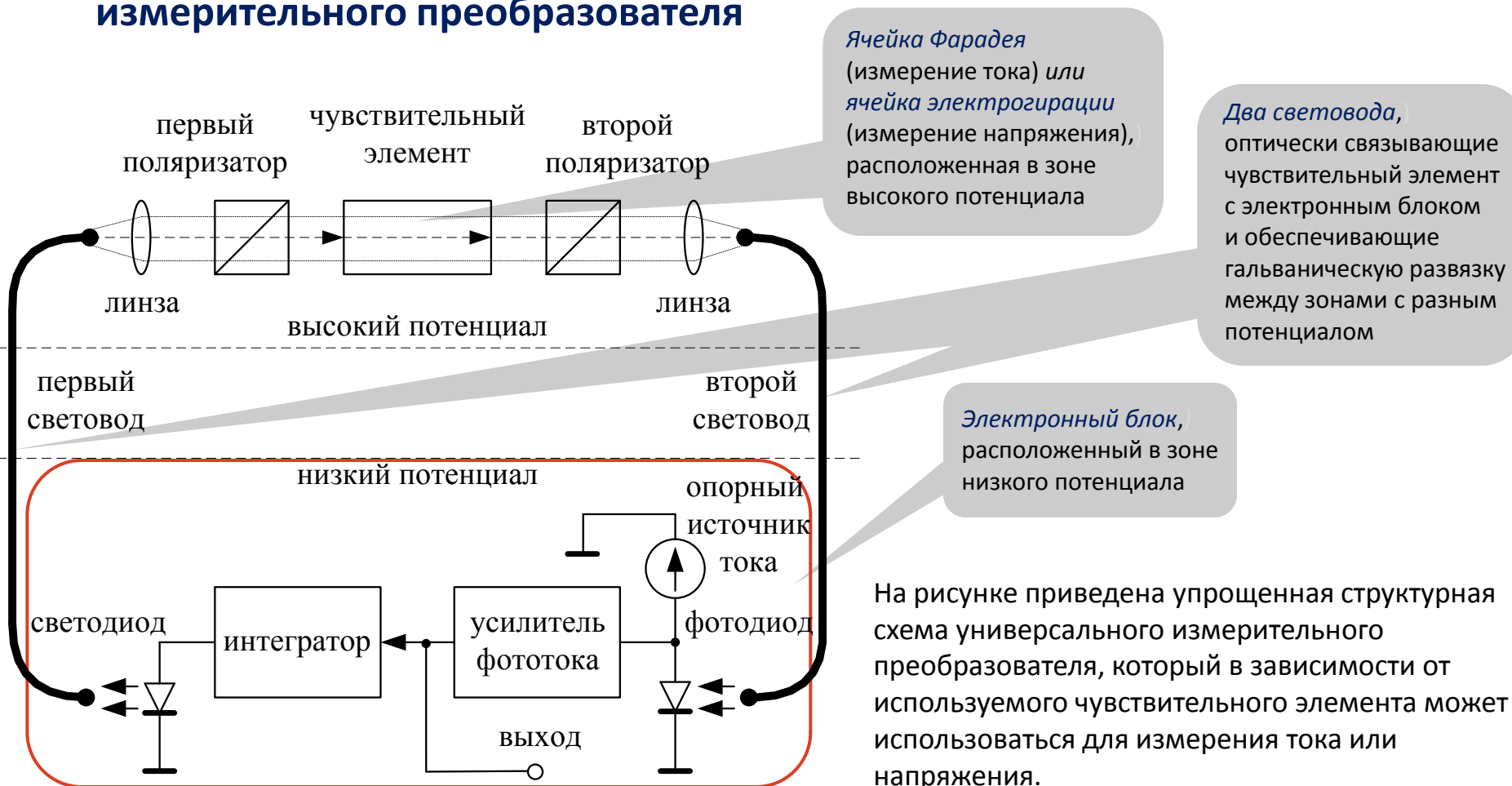


Магнитооптический измерительный преобразователь тока и электрооптический измерительный преобразователь напряжения

5



Структурная схема универсального измерительного преобразователя



Перспективные СИ

Магнитооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного тока МПР-МЭ-5

6



Назначение

Преобразователь, 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

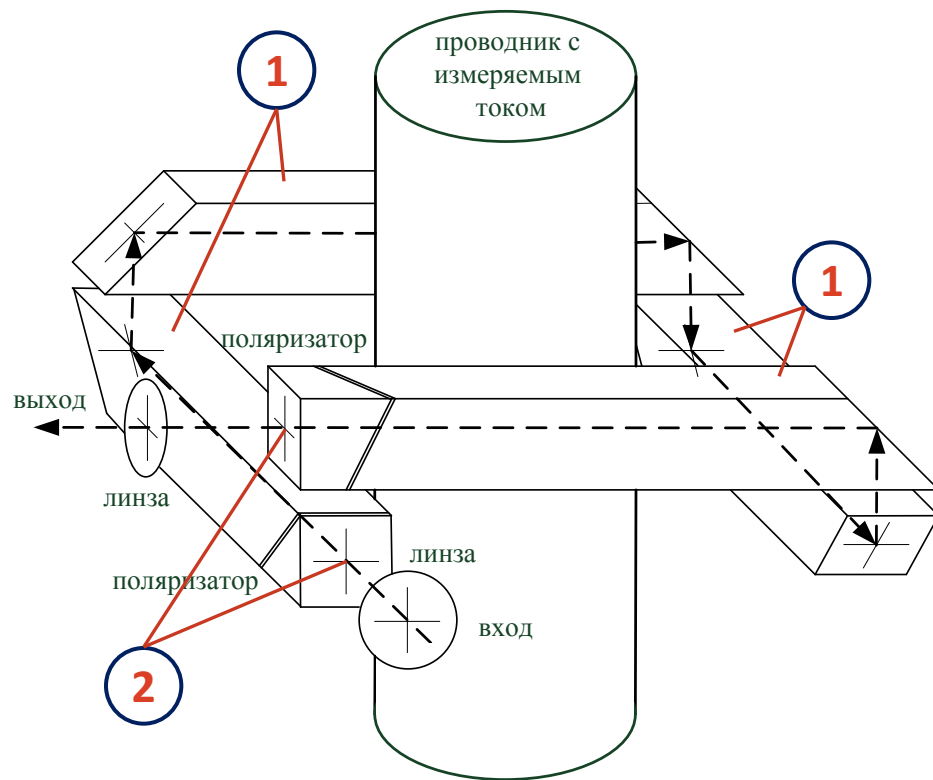
Эффект Фарадея проявляется в повороте плоскости поляризации линейно поляризованного света.

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

Перспективные СИ

Магнитооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного тока МПР-МЭ-5



Технические характеристики опытного образца – прототипа

Диапазон измерения тока	0,1 – 6 кА с допустимой кратковременной перегрузкой 100 кА
Рабочая частота	1 Гц ... 10 кГц
Модульная погрешность измерения, Δf	0,2–0,5 %
Угловая погрешность измерения, $\Delta \delta$	2 мин

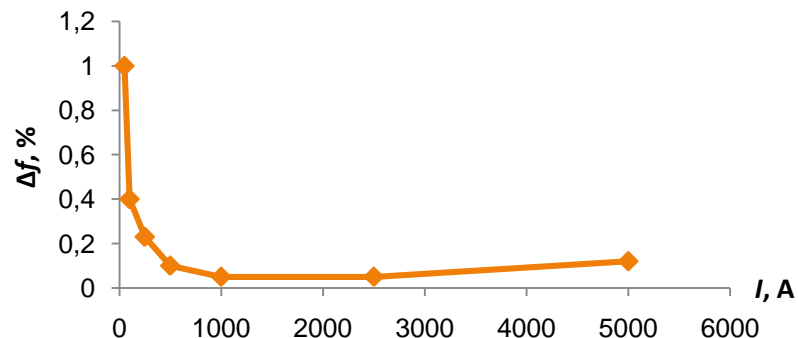
Структурная схема преобразователя тока



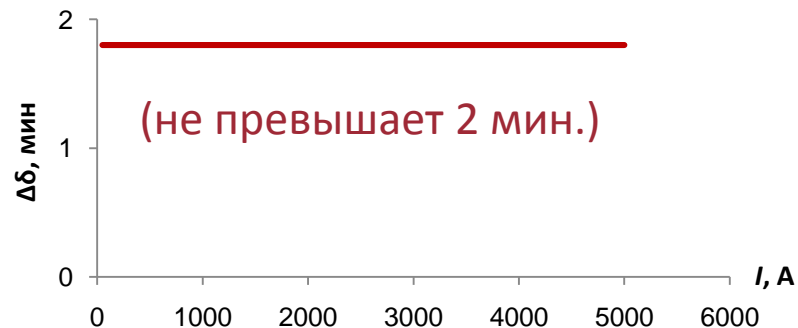
Предварительные результаты испытаний

Испытания проводились в лаборатории при н. у.

Модульная погрешность



Угловая погрешность



Перспективные СИ

Магнитооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного тока МПР-МЭ-5

8



Эталонный
трансформатор
тока

Источник
тока

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

Оптоэлек-
тронный
блок



Перспективные СИ

Электрооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного напряжения ЭПР-МЭ-35,100

9

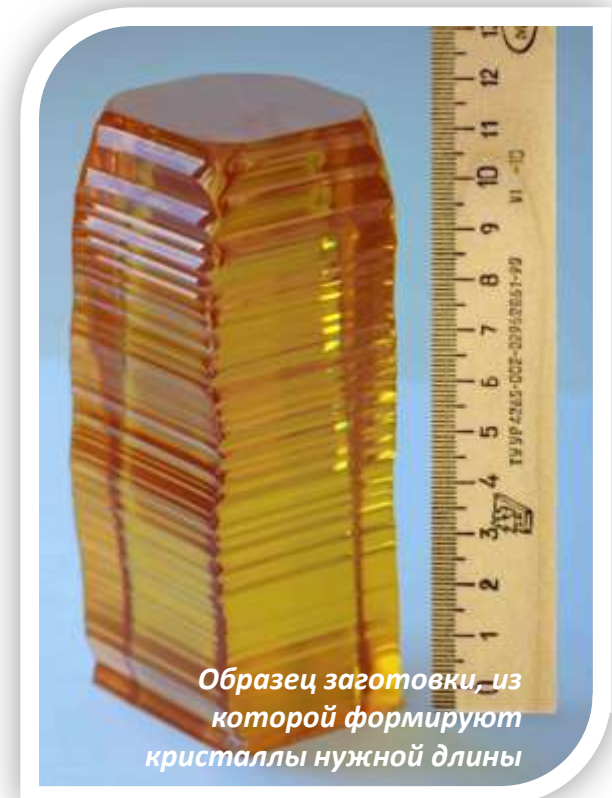


Назначение

Преобразователь предназначен для масштабного преобразования мгновенных значений высоких переменных и импульсных напряжений в пропорциональные значения низкого напряжения. Он основан на использовании электрооптического эффекта электрогирации.

Принцип действия

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



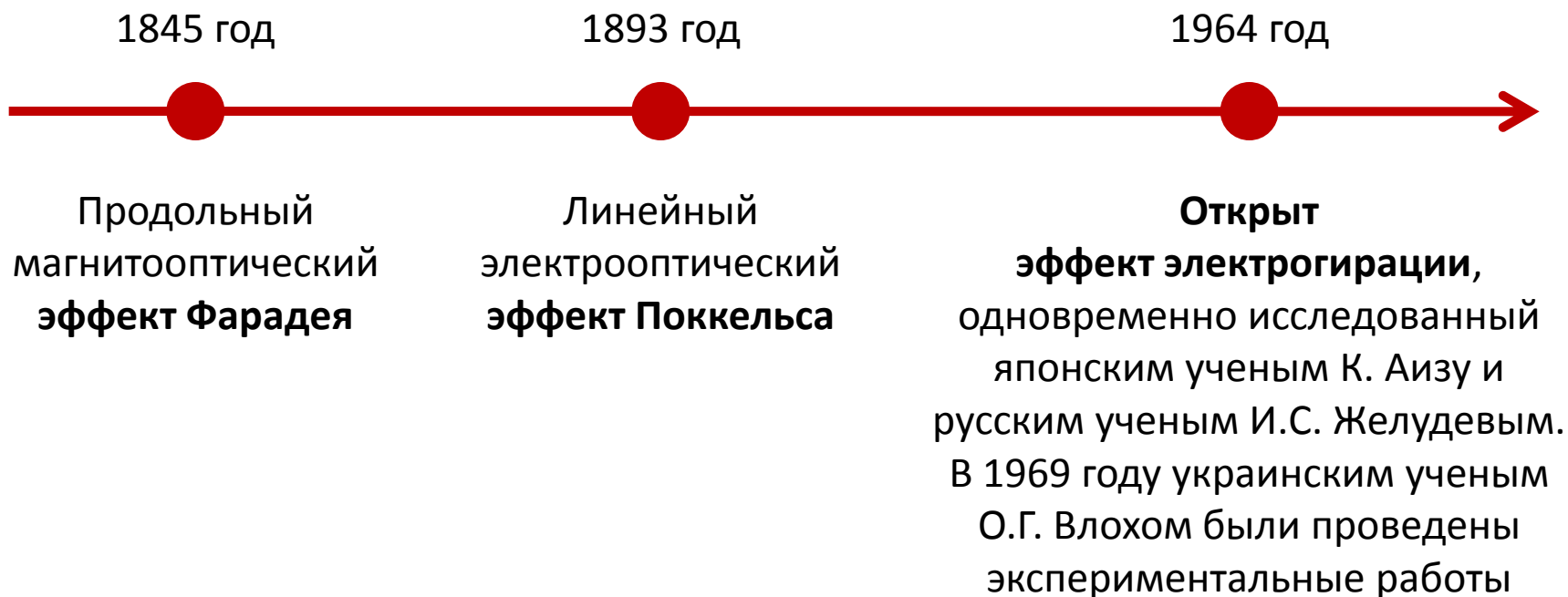
Образец заготовки, из которой формируют кристаллы нужной длины

Электрооптический эффект электрогирации 50 лет спустя

10



История открытий в оптике

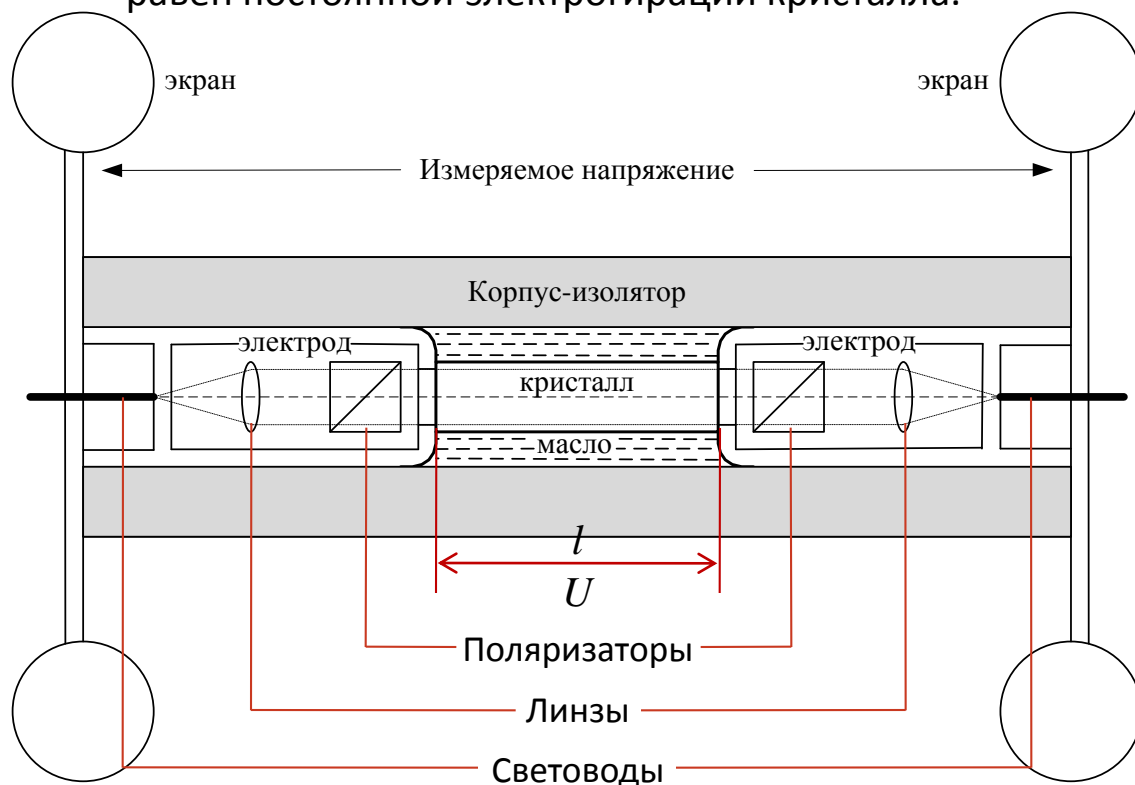


Электрооптический эффект электрогирации 50 лет спустя

11



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

Перспективные СИ

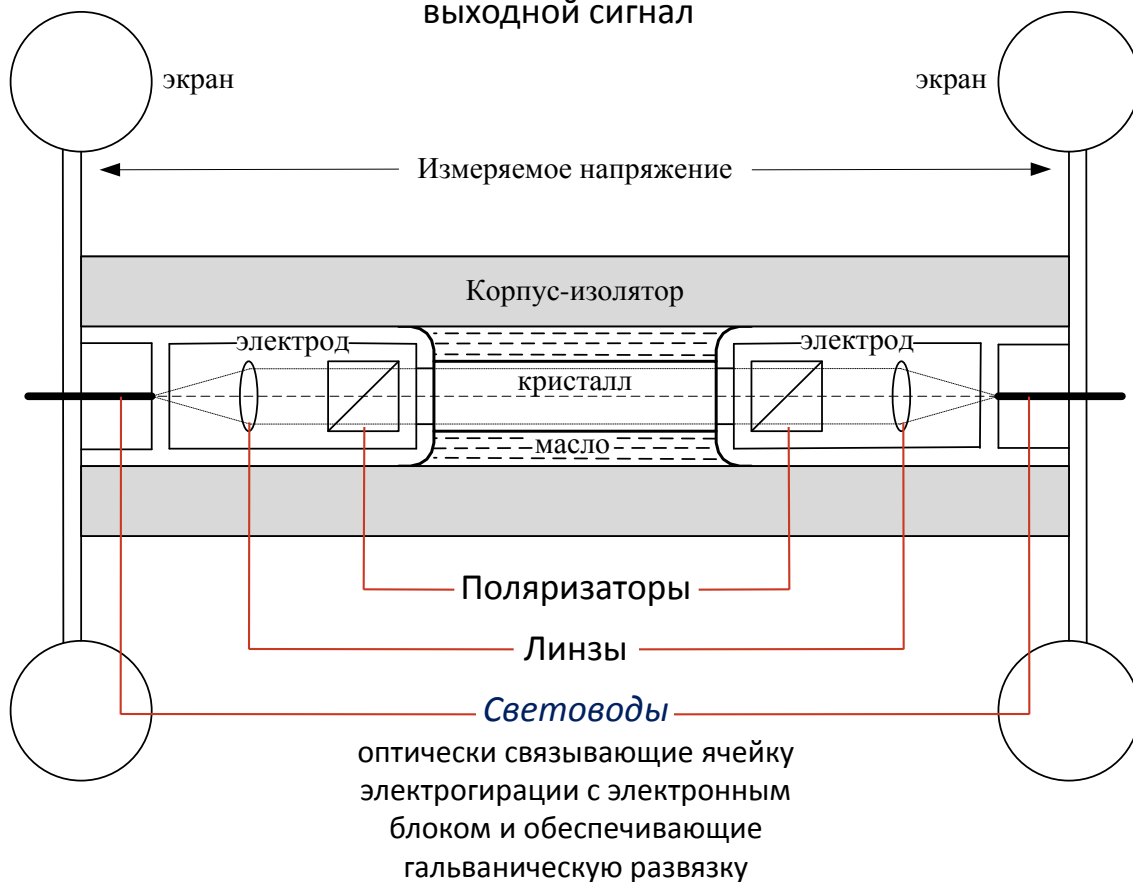
Электрооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного напряжения ЭПР-МЭ-35,100

12



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.

Перспективные СИ

Электрооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного напряжения ЭПР-МЭ-35,100

13



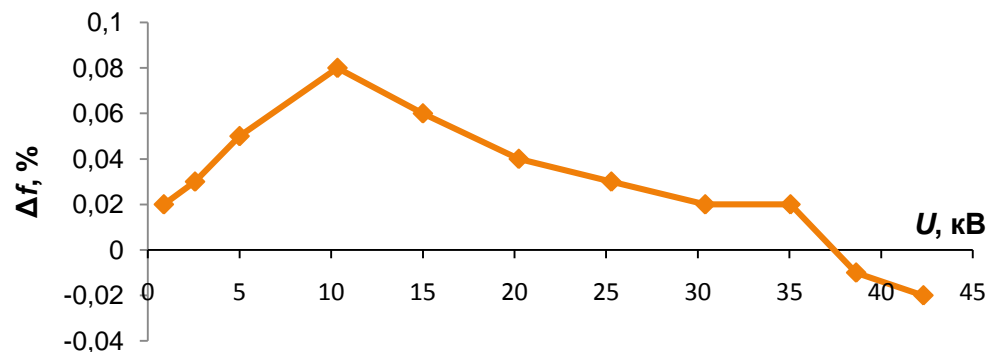
Технические характеристики опытного образца – прототипа

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

Предварительные результаты испытаний

Испытания проводились в лаборатории при н. у. 30.04.2014

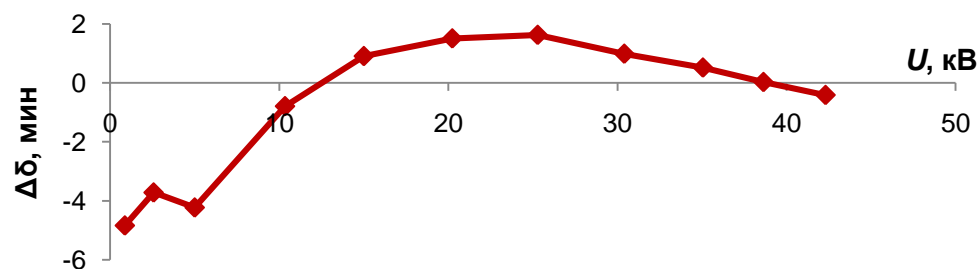
Модульная погрешность



Структурная схема преобразователя напряжения



Угловая погрешность



Перспективные СИ

Электрооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного напряжения ЭПР-МЭ-35,100

14



Оптический датчик напряжения кл. 35 кВ

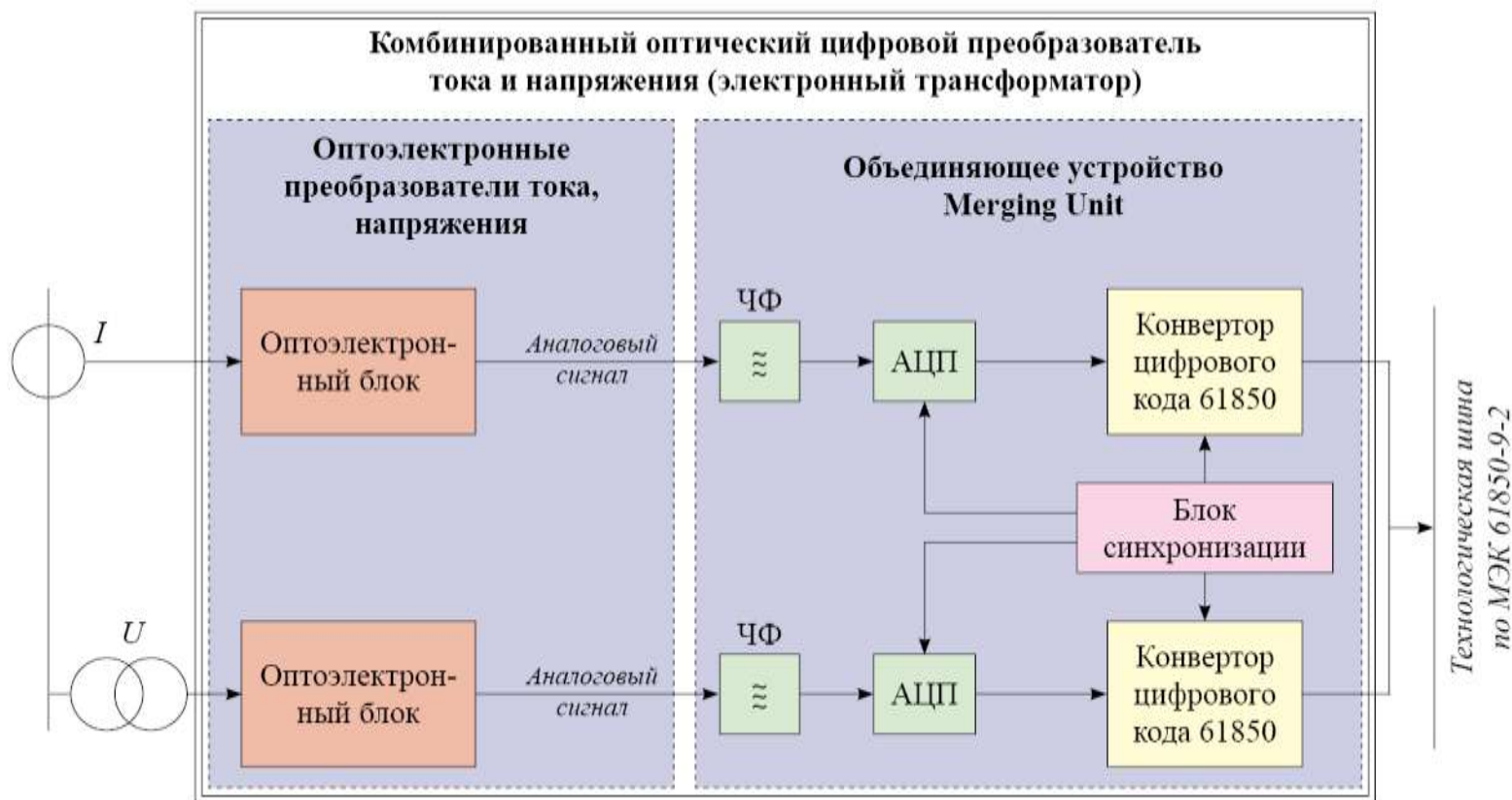


Оптоэлектронный блок



Исполнение ИТН и ИТТ для работы в составе ЦПС

15



Метрологическое обеспечение электронных (цифровых) трансформаторов тока и напряжения

16



Комплекс средств поверки трансформаторов
тока и напряжения «КСП-61850»

Многофункциональный
эталонный прибор
«Энергомонитор-61850»



Высоковольтный
измерительный
комплект
поверки ИТН



Комплект
поверки ИТТ



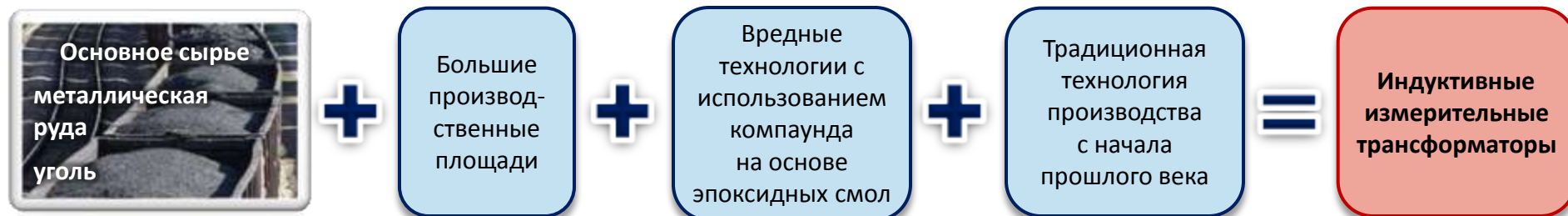
Переход от индуктивных традиционных к оптическим измерительным трансформаторам

17

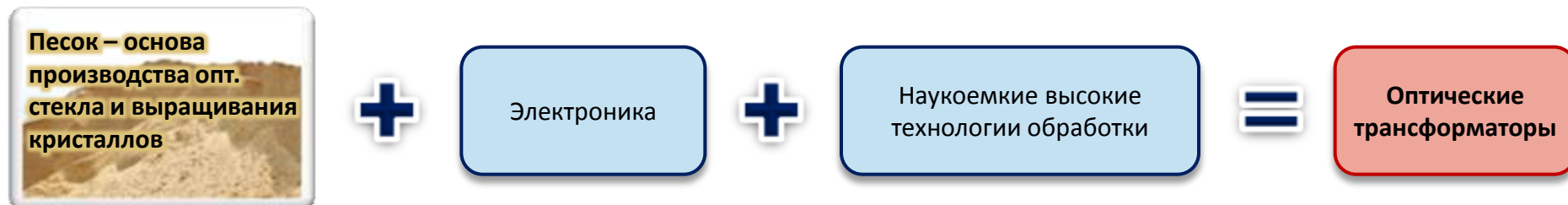


Взгляд на перемены в технологии производства

Традиционные трансформаторы



Оптические трансформаторы

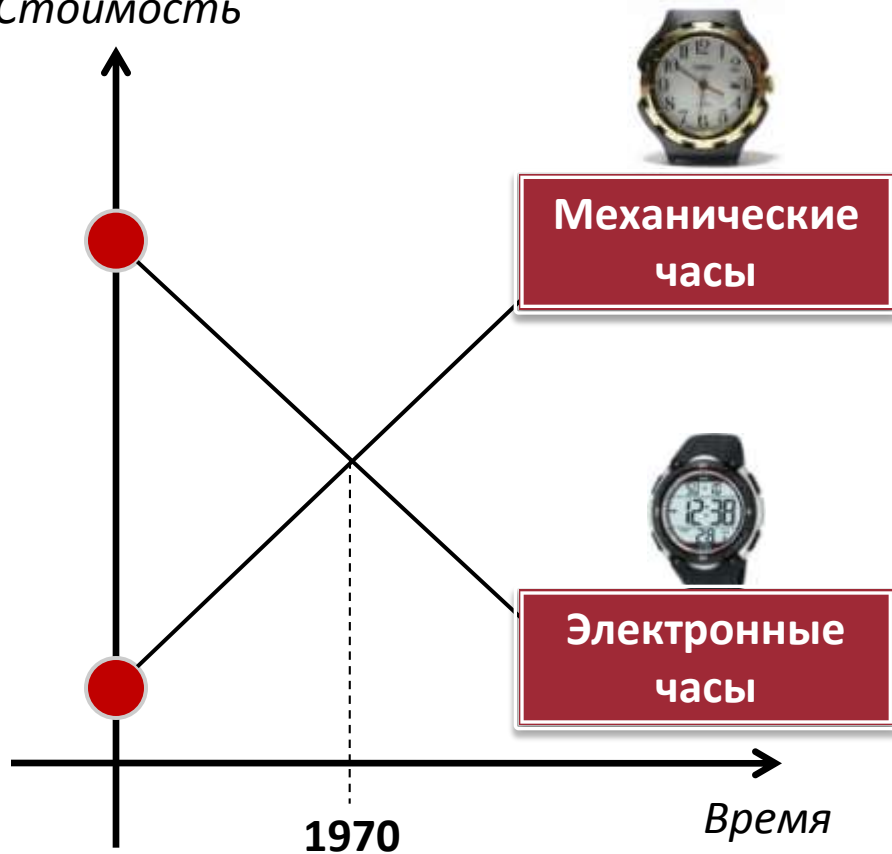


Аналогии трансформирования стоимости

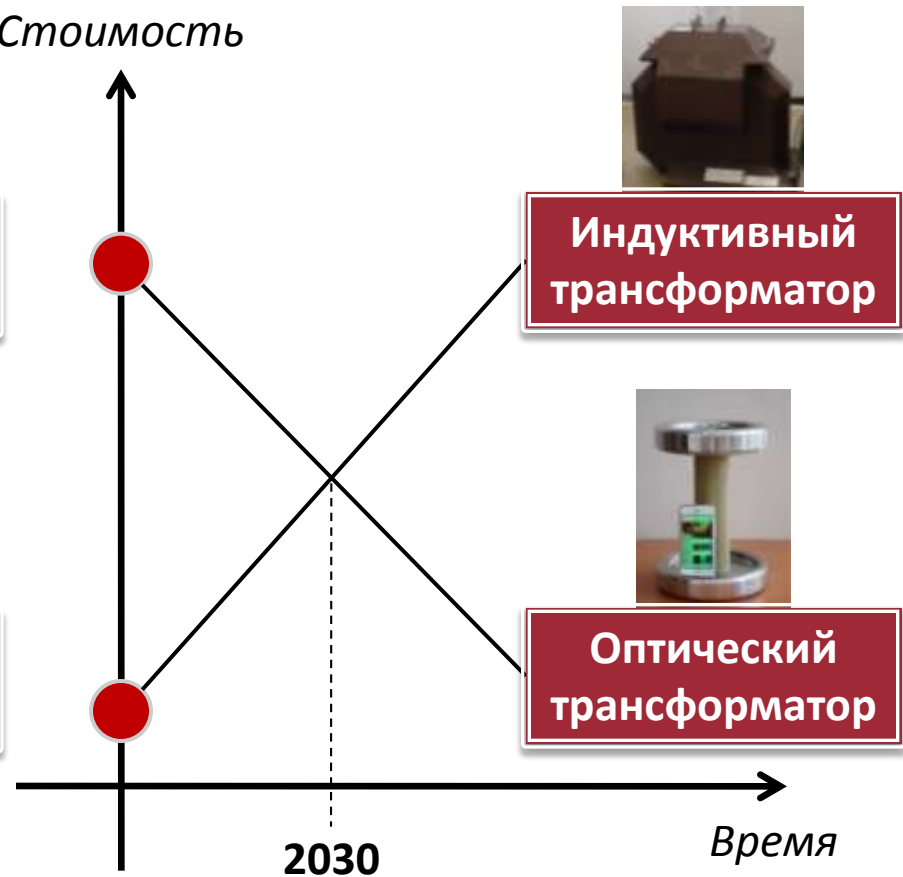
18



Стоимость



Стоимость



Архангельский Владимир Борисович

к. т. н., ведущий специалист

Гиниятуллин Ильдар Ахатович

директор ООО «НПП Марс-Энерго»

www.mars-energo.ru