

Учреждение образования Республики Беларусь
Учреждение образования Белорусский
государственный университет информатики
и радиоэлектроники

УДК 621.314.22.08

Валенда

Анатолий Геннадиевич

Методики определения метрологических характеристик эталона единиц
коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального
напряжения и тока

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-38 80 01 «Приборостроение, метрология и
информационно-измерительные приборы и системы»

Научный руководитель
Белошицкий Анатолий Павлович
кандидат технических наук, доцент

Минск 2017

ВВЕДЕНИЕ

Повышение точности измерений качественных и количественных показателей электроэнергии всегда являлось приоритетной задачей метрологии и измерительной техники, поскольку результаты этих измерений служат основанием для финансовых расчетов между производителем и потребителем энергии, а также позволяют оценить экономическую эффективность технологических процессов и оборудования, управлять ими или создавать новые энергосберегающие технологии.

Решение этой задачи обеспечивается с помощью исходного эталона единиц коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока на частоте 50 Гц, который создан и эксплуатируется в Белорусском государственном институте метрологии (БелГИМ). Комплект эталонного оборудования применяется при метрологическом контроле измерительных трансформаторов тока и напряжения на месте их эксплуатации и позволяет проводить работы по созданию более современной нормативной и методической базы, а также существенно повысить достоверность измерений при поверке и калибровке трансформаторов.

Целью данной работы является разработка методики проведения исследований эталона коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока и разработка методик калибровки масштабных преобразователей тока и напряжения промышленной частоты.

Для достижения этой цели в работы поставлены и решены следующие задачи:

- анализ современных методов и эталонных средств измерения коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока;
- разработка и обоснование методики проведения исследования эталона единиц коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока;
- разработка и обоснование методик калибровки масштабных преобразователей тока и напряжения промышленной частоты;
- экспериментальное исследование метрологических характеристик эталона масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока с использованием разработанных методик.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Учитывая развитие промышленности и деятельность в области энергосбережения, направленную на снижение энергоемкости внутреннего валового продукта Республики Беларусь, становится более острой и актуальной проблема точного учета потребляемой электроэнергии. Одним из этапов учета электроэнергии является преобразование высоких токов и напряжений к стандартизированным номиналам, доступным для измерения счетчикам электрической энергии. Эту функцию берут на себя измерительные трансформаторы тока и напряжения.

Для метрологического обеспечения измерительных трансформаторов тока и напряжения применяется эталон масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока частотой 50 Гц.

В связи с этим актуальными являются задачи разработки эталонных средств измерений и исследования их метрологических характеристик.

Целью данной работы является разработка методик определения метрологических характеристик эталона единиц коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока.

Для достижения этой цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- анализ современных методов и эталонных средств измерения коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока;
- разработка и обоснование методик проведения исследования эталона единиц коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока;
- разработка и обоснование методик калибровки масштабных преобразователей тока и напряжения промышленной частоты;
- экспериментальное исследование метрологических характеристик эталона масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока с использованием разработанных методик.

Новизна работы определяется следующими результатами:

- разработаны и обоснованы методики калибровки масштабных преобразователей тока и напряжения промышленной частоты;
- предложены методики обработки результатов экспериментальных исследований эталона единиц коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока;
- предложены методики оценки неопределенности измерений при калибровке первичных преобразователей тока и напряжения.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные методики исследования метрологических характеристик эталона коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока и первичных преобразователей тока и напряжения, входящих в его состав, могут являться основой для написания методик калибровки и исследования метрологических характеристик конкретных типов эталонных средств измерений единиц коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока.

Результаты работы апробированы на 9-ой Международной НТКМУС «Новые направления развития приборостроения» – БНТУ (Минск, 20-22 апреля 2016 г.), 52-ой Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Телекоммуникационные системы и сети» – БГУИР (Минск, 25-30 апреля 2016 г.) и опубликованы в материалах этих конференций.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** приводятся результаты анализа методов и эталонных средств измерений коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока, описан принцип работы масштабных преобразователей и проанализированы их метрологические характеристики. Существующие в настоящее время методы и средства позволяют с достаточной для измерительной практики точностью производить измерение коэффициента и угла масштабного преобразования. Каждый из использованных методов измерения имеет свои преимущества, особенности применения и недостатки. Результаты сравнительной характеристики методов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение методов измерений коэффициента и угла масштабного преобразования

Метод	Достоинства	Недостатки
Дифференциальный метод	- наиболее простой и универсальный метод измерения; - высокая точность; - высокая стабильность.	- малая мобильность; - большие габариты и вес масштабных преобразователей.
Применение делителей напряжения (разновидность дифференциального метода)	- малые габариты и вес делителя; - высокая мобильность.	- малая стабильность воспроизведения коэффициента масштабного преобразования.
Применение анализаторов	- высокая мобильность; - высокая скорость измерения; - большое количество измеряемых характеристик; - широкий диапазон измеряемой величины.	- малая точность по сравнению с дифференциальным методом; - невозможность хранить единицу масштабного преобразования.

Приведены методы определения погрешностей коэффициента и угла масштабного преобразования трансформаторов тока и напряжения.

Во **второй главе** описываются состав эталона единиц коэффициента и

угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока на частоте 50 Гц, его метрологические характеристики и сферы его применения.

Эталон масштабного преобразования представляет собой набор масштабных преобразователей и источников тока и напряжения, смонтированных на мобильную платформу.

В состав эталона входят: компаратор СА507, прибор сравнения КНТ-05А, магазин нагрузок СА5055, магазин нагрузок МН1200/100, эталон коэффициента масштабного преобразования электрического напряжения КТГ-110-І, эталон коэффициента масштабного преобразования электрического напряжения НОМО-15-І, магазин нагрузок СА5018/5, магазин нагрузок СА5018/1, трансформатор тока ТС(п)-08, трансформатор тока ТС(п)-010, трансформатор тока ИТГ-3000.5, вольтметр универсальный В7-54/3.

Конструкция и размеры КТГ-110-І позволили разместить его на одноосном прицепе производства «Газель». Это решение позволило не извлекать КТГ-110-І из транспортного средства при определении погрешностей трансформаторов напряжения.

Внешний вид мобильной платформы со смонтированным на ней оборудованием представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид мобильной платформы со смонтированным на ней оборудованием

Эталон позволяет производить работы в режиме измерения напряжения от $3/\sqrt{3}$ до $110/\sqrt{3}$ кВ и силы переменного тока от 0,5 до 5000 А при $\cos \varphi$ равным от 0,8 до 1 и применяется при метрологическом контроле измерительных трансформаторов тока и напряжения на месте их эксплуатации.

Погрешность эталона при измерении коэффициента трансформации трансформаторов напряжения до 110 кВ составляет 0,1 %, а при измерении коэффициента трансформации трансформаторов тока – 0,005 %.

В **третьей главе** приводится разработанная методика калибровки масштабных преобразователей тока. В методике установлены методы и средства калибровки масштабных преобразователей тока, описана процедура измерений при определении коэффициента и угла масштабного преобразования, описаны требования техники безопасности при измерениях. Предложены методики обработки результатов измерений и оценки неопределенности калибруемых параметров.

Для оценки неопределенности определения коэффициента и угла масштабного преобразования выбрана следующая функция измерения:

$$K = K_3 - \delta_3 - \delta_o - \delta_c; \quad (1)$$

Составляющие функции измерения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень составляющих функции измерения

Величина X_i	Обозначение	Единица измерения	
		Относительная погрешность тока	Угловая погрешность
K	Измеренное значение величины	%	[']
K_3	Показание компаратора	%	[']
δ_3	Поправка на погрешность эталонного ТТ	%	[']
δ_c	Поправка на погрешность компаратора	%	[']
δ_o	Поправка на погрешность, связанную с дискретностью считывания результатов наблюдения с компаратора	%	[']

Для калибруемых параметров составлены бюджеты неопределенности и приведены выражения стандартной и расширенной неопределенности измерения калибруемых параметров.

В **четвертой главе** приводится разработанная методика калибровки масштабных преобразователей напряжения. В методике установлены методы и средства калибровки масштабных преобразователей напряжения, описана процедура измерений при определении коэффициента и угла масштабного преобразования, описаны требования техники безопасности при измерениях.

Предложены методики обработки результатов измерений и оценки неопределенности калибруемых параметров.

Для оценки неопределенности определения коэффициента и угла масштабного преобразования выбрана следующая функция измерения:

$$K = K_3 - \delta_3 - \delta_o - \delta_c; \quad (2)$$

Составляющие функции измерения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень составляющих функции измерения

Величина X_i	Обозначение	Единица измерения	
		Относительная погрешность напряжения	
K	Измеренное значение величины	%	K
K_3	Показание компаратора	%	K_3
δ_3	Поправка на погрешность эталонного ТН	%	δ_3
δ_c	Поправка на погрешность компаратора	%	δ_c
δ_o	Поправка на погрешность, связанную с дискретностью считывания результатов наблюдения с компаратора	%	δ_o

Для калибруемых параметров составлены бюджеты неопределенности и приведены выражения стандартной и расширенной неопределенности измерения калибруемых параметров.

В **пятой главе** приведены результаты экспериментальных исследований масштабных преобразователей, входящих в состав эталона: масштабного преобразования напряжения НОМО-15-1, масштабного преобразования напряжения КТГ-110-1, масштабного преобразователя тока ТС(п)-010, масштабного преобразователя тока ТС(п)-08 и эталонного двухступенчатого трансформатора тока ИТТ-3000.5., полученные с использованием разработанных методик.

Для калибруемых точек составлены бюджеты неопределенности и оценены действительные значения калибруемых параметров.

На рисунках 2 и 3 приведены результаты определения погрешностей эталонного трансформатора тока ТС(п)-08 эталона при 100% номинальной нагрузке.

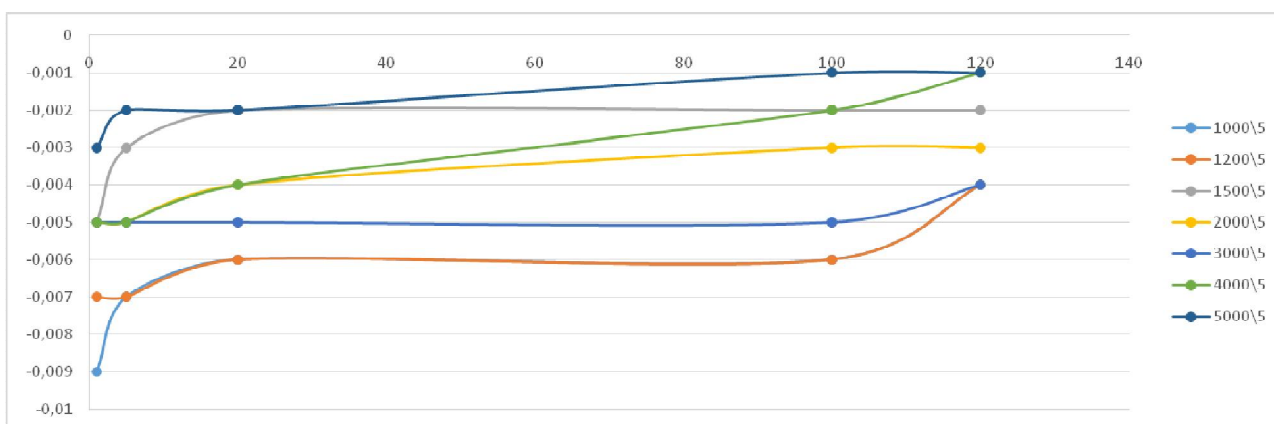


Рисунок 2 – Зависимость погрешности коэффициента трансформации от номинального значения силы переменного тока

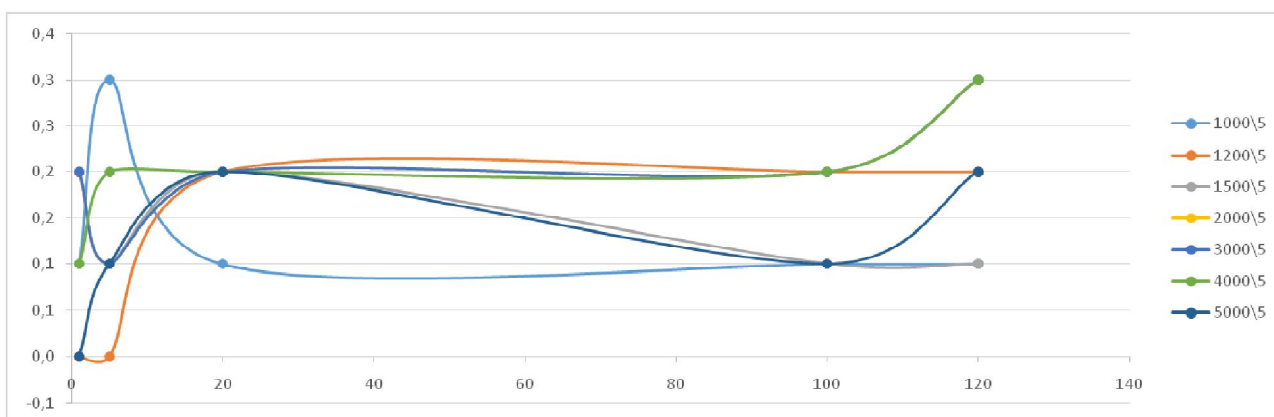


Рисунок 3 – Зависимость погрешности угла фазового сдвига от номинального значения силы переменного тока

На рисунках 4 и 5 приведены результаты определения погрешностей эталонного трансформатора напряжения КТГ-110-I при 100% номинальной нагрузке.

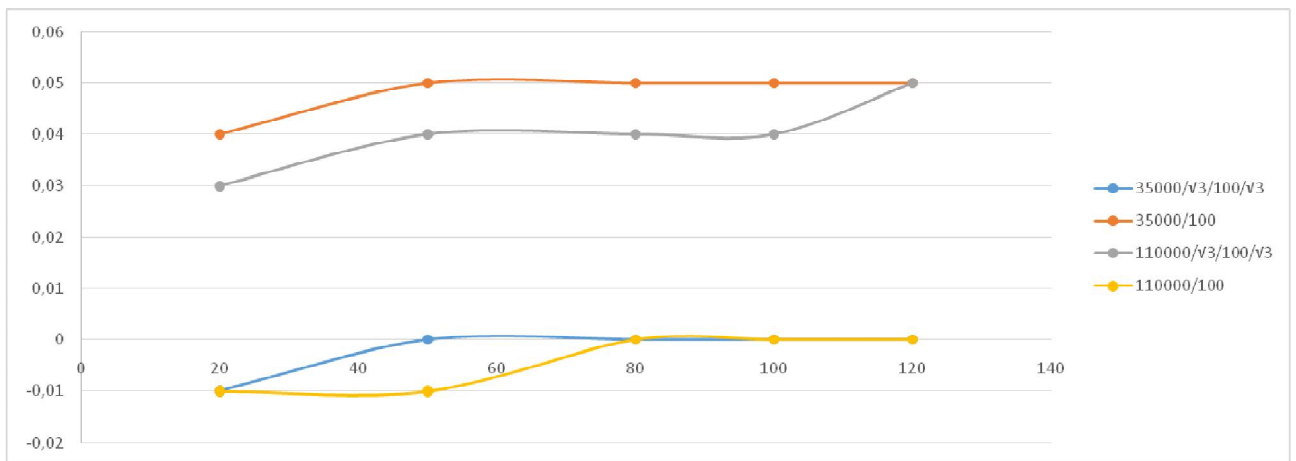


Рисунок 4 – Зависимость погрешности коэффициента трансформации от номинального значения напряжения переменного тока

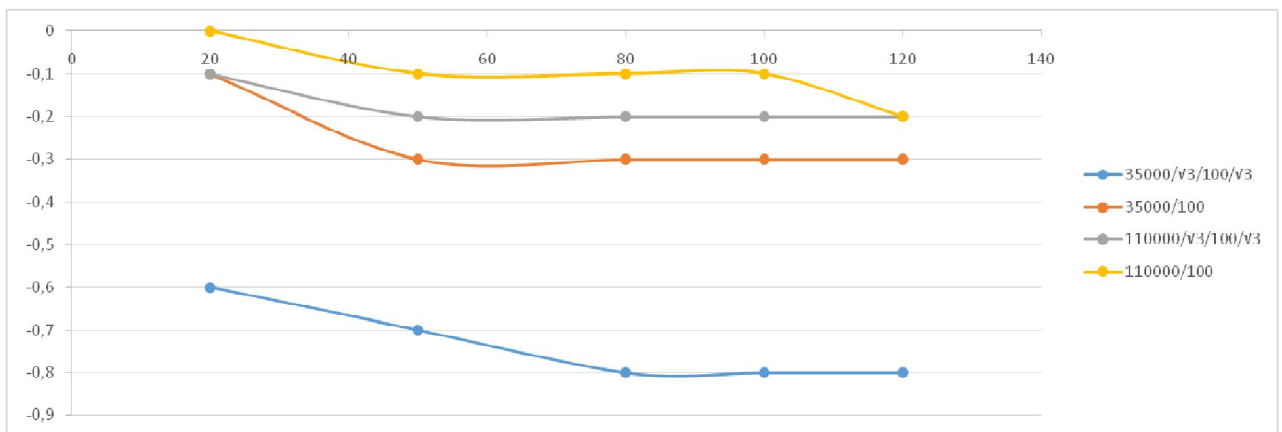


Рисунок 5 – Зависимость погрешности угла фазового сдвига от номинального значения напряжения переменного тока

Результаты исследований этих трансформаторов при нагрузке 25% от номинальной, а так же других эталонных средств, входящих в состав эталона, приведены в диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ современных методов и средств измерений коэффициента масштабного преобразования в широком диапазоне входных напряжений и токов. Описаны основные характеристики методов и современных средств измерения коэффициента масштабного преобразования.

Сравнительная характеристика методов и средств измерения коэффициента масштабного преобразования показала, что существующие в настоящее время методы и средства позволяют измерять напряжения и токи промышленной частоты в широких диапазонах значений с необходимой точностью. Каждый метод измерения имеет свои преимущества, особенности применения и недостатки. Наиболее сбалансированным с точки зрения удобства применения и обеспечиваемой точности является дифференциальный метод измерения.

Рассмотрены устройство, состав и метрологические характеристики эталона единиц коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока на частоте 50 Гц.

Разработаны методики калибровки первичных преобразователей тока и напряжения. С использованием разработанных методик проведены исследования метрологических характеристик эталона.

Разработаны и обоснованы методики оценивания неопределенности измерения коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока. Эти методики могут быть использованы на практике при калибровке измерительных трансформаторов тока и напряжения различных типов.

Приведены результаты экспериментальных исследований эталона коэффициента масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока на частоте 50 Гц.

Результаты работы апробированы на 9-ой Международной НТКМУС «Новые направления развития приборостроения» – БНТУ (Минск, 20-22 апреля 2016 г.), 52-ой Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Телекоммуникационные системы и сети» – БГУИР (Минск, 25-30 апреля 2016 г.) и опубликованы в материалах этих конференций.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1 Валенда А. Г., Белошицкий А.П. Исследование метрологических характеристик исходного эталона единиц коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока: материалы 9-ой международной НТКМУС «Новые направления развития приборостроения» – БНТУ в 2-х ч. Ч. 2 – Минск, 2016 – С.173.

2 Валенда А. Г., Белошицкий А.П. Исследование метрологических характеристик исходного эталона единиц коэффициента и угла масштабного преобразования синусоидального напряжения и тока: материалы 52-ой Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Телекоммуникационные системы и сети» – БГУИР – Минск, 2016 – С.17.