

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ КОМПЕНСАЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**(RESEARCH of ERRORS of COMPENSATORY MEASURING CONVERTERS
ON THE BASIS OF CIRCUIT MODELING)**

Хабаровск, Хабаровский государственный технический университет
(Khabarovsk, Khabarovsk State Technical University)

In the report the results of researches of models of compensatory measuring converters of a current and voltage for electric power industry are considered. The analysis of influence of the various factors on an error of converters is made.

В настоящее время для измерений напряжений и токов с гальванической развязкой в электроэнергетике используются три основных типа первичных средств: трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН), измерительные преобразователи на основе датчиков Холла и компенсационные измерительные преобразователи.

Для задач автоматизированного контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) и цифрового осциллографирования аварийных режимов требуются первичные измерительные преобразователи повышенной точности. Широкое применение в электроэнергетике находят компенсационные измерительные преобразователи напряжения (ИПН) и тока (ИПТ). К их достоинствам следует отнести малые габариты, повышенную точность измерения в широком диапазоне изменения напряжения (тока), возможность измерения без разрыва цепи, малая входная индуктивность, а для ИПН – большое и стабильное входное сопротивление. К недостаткам их следует отнести невысокую технологичность изготовления из-за относительно большого количества витков компенсационной обмотки обратной связи, и как следствие – сложность конструкции разъемного магнитопровода для варианта преобразователя, предназначенного для бесконтактного измерения тока.

Исследование компенсационных ИПТ и ИПН показывают, что основным фактором, влияющим на погрешность, является температура [1]. Основная погрешность (нелинейность характеристики) чрезвычайно мала и не превышает 0.5 %.

Для более детального исследования различных вариантов реализации ИПН (ИПТ) целесообразно применять схемотехническое моделирование. Это позволяет оценить влияние различных факторов на отдельные узлы преобразователя, устранить их взаимовлияние, а так же проанализировать чувствительность отдельных узлов к воздействию дестабилизирующих факторов.

Моделирование преобразователя выполнялось с использованием системы схемотехнического моделирования MicroCap V. В общем случае ИПН (ИПТ) представляет собой систему “трансформатор - усилитель”, охваченную общей последовательной отрицательной обратной связью по напряжению [2]. При этом производилось моделирование усилителя по схеме, реализованной в экспериментальном макете с коэффициентом усиления порядка $3 \cdot 10^5$, с частотой среза 400-500 Гц и с выходом по току. Модель трансформатора гальванической развязки в системе MicroCap выполнялась с использованием трех индуктивностей, имеющих взаимную связь [3]. Индуктивности обмоток зависят от числа витков, и имеют значения, соответствующие реальной конструкции трансформатора. Взаимная индуктивность обмоток определяется параметрами используемого магнитопровода и способом намотки. Из них основными следует считать площадь поперечного сечения магнитопровода, среднюю длину магнитной силовой линии, ширину воздушного зазора, коэффициент заполнения сердечника, намагниченность насыщения, параметр формы безгистерезисной кривой намагничивания и коэффициент взаимной связи обмоток. Модель взаимной индуктивности была выполнена для ферромагнитного кольцевого магнитопровода 2000НМ с внешним диаметром 30мм и с коэффициентом заполнения 100%.

Из-за наличия глубокой отрицательной обратной связи анализ влияния параметров элементов преобразователя на различные виды погрешностей представляет собой достаточно сложную задачу. Однако, круг проблем можно значительно сузить, если принимать во внимание только те погрешности, возникновение которых обусловлено специфическими условиями эксплуатации.

Можно выделить следующие основные составляющие погрешности преобразователей:

- нелинейность характеристики преобразования;
- погрешности, связанные с неравномерностью амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик;
- погрешности, связанные с изменением параметров трансформатора гальванической развязки;
- погрешности, связанные с изменением температуры и напряжения питания (случайные погрешности).

Нелинейность характеристики преобразования оценивалась в диапазоне изменения входного напряжения (тока) до 20 дБ. При этом максимальное отклонение коэффициента преобразования не превышало 0.5%. После проведения анализа модели ИПН в частотной области получены следующие результаты: неравномерность АЧХ в рабочем диапазоне преобразователя 30 – 350 Гц составляет 10^{-3} дБ, что практически не вносит вклад в основную погрешность. Фазовый сдвиг в этом же диапазоне практически постоянен и не превышает 0.16 градуса, что может быть учтено при начальной калибровке в составе измерительного комплекса.

Параметрами трансформатора, влияющими на погрешность следует считать изменение воздушного зазора магнитопровода, отклонение параметров самого магнитопровода (геометрия, величина магнитной проницаемости), а так же изменение коэффициента связи обмоток. Изменение ширины воздушного зазора возникает при механических деформациях магнитопровода, а так же из-за конструктивных неточностей при установке разъемного магнитопровода ИПТ на токоведущую цепь.

Исследование показали, что при изменении величины зазора в диапазоне 0-1.5 мм погрешность преобразования не превышает 2.5%, а фазовая погрешность имеет линейную зависимость и не превышает 8% при максимальной величине зазора. Таким образом, влияние изменения величины зазора также может быть учтено при начальной калибровке в составе измерительного комплекса.

Коэффициент связи обмоток и параметры магнитопровода представляют собой величины, зависящие от многих параметров – температуры, конструктивного исполнения трансформатора, величины зазора и т.д. При этом изменение коэффициента связи можно представить как следствие влияния температуры на параметры трансформатора, что дает возможность упростить процесс моделирования. При варьировании коэффициента связи в диапазоне 0.9 – 0.1 максимальная погрешность не превышает 5 %.

По полученным результатам можно сделать следующие выводы: для уменьшения погрешности вызванной нелинейностью преобразователя, необходимо автоматическое переключение диапазонов измерения, при котором производится изменение коэффициента трансформации; величина и нелинейный характер изменения погрешности, обусловленной изменением коэффициента взаимосвязи обмоток (температуры) требует применения специальных методов компенсации; остальные составляющие погрешности достаточно просто устраняются либо начальной настройкой преобразователей, либо методами цифровой обработки.

Литература

1. Иванов В.Э., Чье Ен Ун. Показатели точности компенсационных измерительных преобразователей для электроэнергетики.// Сб. тр. всероссийской научно-технической конференции. Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. – Благовещенск, 1998.
2. Лейтман М.Б., Мелик-Шахназаров А.М. Компенсационные измерительные преобразователи электрических величин. – М.: Энергия, 1978.-224с.
3. Разевиг. В.Д. Система схемотехнического моделирования MicroCap V.- СПб: Солон, 1997.-236с.