

РАЗДЕЛ 3. КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

УДК: 621.317.785

ОБРАЗЦОВЫЙ СЧЕТЧИК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Ю.А. Пасынков, М.А. Савиных

В статье приведено описание образцового счетчика электроэнергии, предназначенного для использования в технологическом процессе производства и/или ремонта счетчиков электроэнергии на производственном предприятии. Приведено описание функциональной схемы прибора, описаны основные функциональные блоки. Кроме этого, в статье дан анализ погрешностей и способов их уменьшения.

Ключевые слова: образцовый счетчик, калибровка, метрологические характеристики, погрешность.

Введение

При производстве различных измерительных устройств вследствие разброса параметров аналоговых элементов функция преобразования может меняться от прибора к прибору. Поскольку все устройства должны отвечать заданному классу точности, то необходимо определять погрешность измерения в одной или нескольких точках рабочего диапазона (калибровка) и соответствующим образом регулировать прибор для корректировки функции преобразования.

На предприятиях по производству счетчиков электроэнергии объем производства может достигать десятков тысяч единиц в месяц, поэтому многие счетчики обладают функцией автокалибровки. В некоторых счетчиках для ее реализации необходимо нагрузить входы калибруемого прибора электрической мощностью (ток и напряжение с генератора фиктивной мощности) и на специальный вход подать частоту, пропорциональную этой мощности. После измерения этих параметров счетчик автоматически вычисляет и запоминает поправочный коэффициент, который будет использоваться в его дальнейшей работе. Таким образом, для операции калибровки требуется образцовый преобразователь мощности в частоту. Кроме того, перед государственной поверкой необходимо производить внутренний контроль метрологических параметров. Для этого требуется образцовый счетчик электроэнергии. Приборы, генерирующие образцовую частоту, пропорциональную мощности, существуют и используются на предприятиях. Имеется и дорогостоящее оборудование, предназначенное для контроля метрологических параметров. Од-

нако, в отличие от них, разрабатываемый прибор является универсальным и может быть использован и на той и на другой операции. В данной статье приводится описание разработки универсального образцового прибора, который можно применять как для калибровки, так и для контроля метрологических параметров на предприятии. Этот технологический счетчик должен быть существенно дешевле имеющегося на рынке оборудования, что делает его востребованным на производственном предприятии.

Устройство прибора

Исходя из требований ГОСТа и условий работы определен класс точности образцового прибора – 0.1 (поскольку он предназначен для работы со счетчиками класса точности 1), а также другие характеристики, такие как диапазон рабочих напряжений (120 – 260В), рабочих токов (0.25 – 100А), параметры частотного выхода и др. Исходя из этих требований, на прибор разработано техническое задание. Кроме этого, разработана функциональная схема прибора (рисунок 1),

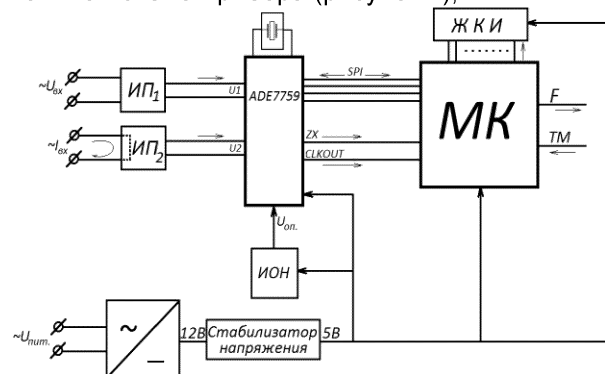


Рисунок 1 - Функциональная схема прибора.

РАЗДЕЛ 3. КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

программное обеспечение для микроконтроллера, принципиальная электрическая схема; рассчитаны параметры аналоговых цепей, проанализированы погрешности.

Ядро прибора составляет специализированная измерительная микросхема ADE7759, которая выполняет измерение мощности и энергии. Данная микросхема хорошо изучена и широко применяется для производства однофазных счетчиков. Она обеспечивает линейность и относительную погрешность измерения менее 0.1% в динамическом диапазоне 1000:1 [3], что позволяет построить на ее основе образцовый счетчик класса точности 0.1. Кроме этого, как указано в [3], при токе 5А (который чаще всего используется при калибровке счетчиков) погрешность составляет около 0.02%. Но при этом необходимо выбрать остальные компоненты схемы прецизионными и высокостабильными для уменьшения инструментальных погрешностей (это касается входных аналоговых цепей, источника опорного напряжения, кварцевого резонатора).

На входы микросхемы с измерительных преобразователей ИП1 и ИП2 поступают отфильтрованные и масштабированные сигналы, пропорциональные, соответственно, напряжению и току. В ADE7759 имеются два параллельно работающих сигма-дельта АЦП, а также блок умножения, цифровые фильтры, накопительные регистры и т.д. Для точной и стабильной работы АЦП используется внешний высокостабильный источник опорного напряжения (ИОН) AD780, а частота дискретизации стабилизируется кварцевым резонатором. Микроконтроллер (МК), для которого написана программа на языке С, выполняет обработку результатов измерения и управление всем прибором. Если прибор работает в режиме преобразователя мощности в частоту, то МК генерирует выходную частоту F , используя встроенный таймер-счетчик. В режиме образцового счетчика МК измеряет сигнал телеметрии с контролируемого счетчика (для определения измеренной им энергии), сравнивает ее со своими показаниями, принятыми за эталон, вычисляет погрешность и выводит ее на дисплей (ЖКИ).

Ниже на рисунках 2 и 3 приведены функциональные схемы ИП1 и ИП2.

Основной функциональный элемент в канале напряжения – резистивный делитель, в канале тока – трансформатор тока с резистивной нагрузкой. Кроме того, во всех каналах имеются RC-фильтры нижних частот для

отфильтровывания высокочастотных помех и предотвращения элайзинга. Такая конфигурация ИП рекомендована производителем микросхемы ADE7759 и применяется для построения счетчика класса точности 1.0. Однако, для построения счетчиков класса 0.1 такая конфигурация не годится, так как конденсаторы рекомендуемой емкости 33нФ [3], обладающие достаточной временной и температурной стабильностью, труднодоступны.

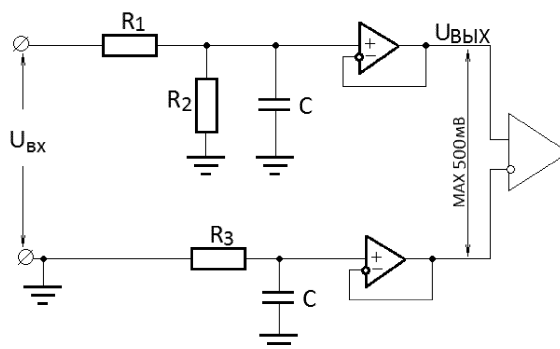


Рисунок 2 – Функциональная схема ИП1 в канале напряжения.

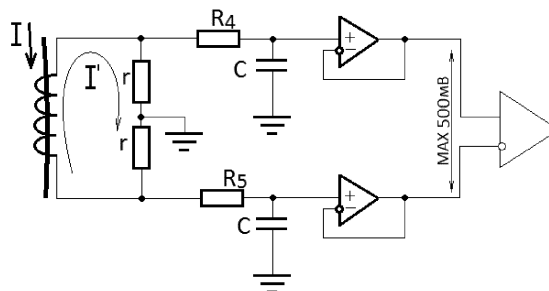


Рисунок 3 – Функциональная схема ИП2 в канале тока.

Поэтому было принято решение поставить между измерительными цепями и входами микросхемы повторители напряжения. Обеспечение требуемой постоянной времени в этом случае решается путем увеличения сопротивления резисторов и уменьшения номиналов конденсаторов. Это позволяет использовать керамические конденсаторы, имеющие достаточную стабильность. Смещение нуля ОУ не влияет на работу устройства, так как микросхема обеспечивает подавление постоянной составляющей. Собственный шум ОУ составляет 3мкВ в диапазоне частот 10-2000 Гц [4], что вносит незначительную погрешность, так как уровень входного сигнала при токе 5А составляет около 25 мВ.

Анализ погрешностей

Для разработанного прибора теоретически исследованы погрешности измерения.

Значительную погрешность измерения тока и напряжения потенциально могут вносить аналоговые элементы (резисторы и конденсаторы) вследствие отклонения их реальных параметров от номинальных. Однако для устранения этой погрешности разработан алгоритм калибровки прибора с использованием другого образцового прибора более высокого класса точности (образцовый счетчик класса точности 0.05, например УППУ-МЭ 3.3 («Марс-Энерго») или аналогичные). В процессе калибровки оценивается реальная погрешность разработанного прибора в разных точках рабочего диапазона, вычисляется поправочный коэффициент и заносится в энергонезависимую память микроконтроллера. Таким образом калибруется крутизна функции преобразования и фазовая задержка. В результате калибровки разработанного прибора устраняется погрешность значений сопротивлений, емкостей, а также коэффициента преобразования трансформатора тока, смещения нуля операционных усилителей, коэффициента усиления внутреннего усилителя микросхемы ADE7759. Стоит отметить, что, поскольку прибор работает в динамическом диапазоне приблизительно 1:800 по мощности (1:400 по току), то для повышения точности измерения малых токов введен дополнительный поддиапазон, на котором сигнал с ИП тока усиливается в 16 раз встроенным в ADE7759 усилителем с программируемым коэффициентом усиления (PGA). Переключение диапазонов происходит автоматически и каждый из них калибруется по отдельности.

Кроме того, погрешность вносят:

- Температурный дрейф резисторов и конденсаторов. Однако, в пределах рабочего диапазона относительная погрешность измерения мощности составит не более 0,01%, поскольку для измерительных цепей выбраны элементы с высокой температурной стабильностью (прецизионные резисторы C2-29B класса Д с ТКС = ± 5 ppm/°C, керамические конденсаторы K10-17Б 6800пФ NP0 5% с ТКЕ = ± 30 ppm/°C);
- Нестабильность источника опорного напряжения (в пределах рабочего диапазона температур). Так как в схеме прибора используется многоуровневая стабилизация опорного напряжения, а также высокостабильный ИОН AD780, относительная погрешность от нестабильности опорного напряжения составляет не более 0,006%;
- Фазовые сдвиги от реактивных элементов. Имеющиеся в ИП конденсаторы, то-

ковый трансформатор вносят сдвиг фаз между током и напряжением, что приводит к погрешности измерения, которая максимальна при исходном сдвиге фаз 60° (одна из контролируемых точек). Для минимизации этого эффекта в ADE7759 имеется возможность вносить цифровую задержку в канале тока. Эта задержка калибруется, и остаточная относительная погрешность составляет не более 0,03% (так как вносимая задержка дискретна).

Таким образом, для минимизации погрешностей измерения предложены следующие меры:

- Применение прецизионных высокостабильных элементов;
- Калибровка прибора;
- Особенности разводки печатной платы для минимизации влияния внешних помех и взаимных влияний цепей (экранирование, раздельное питание цифровых и аналоговых цепей, применение дифференциальных пар для сигнальных линий, вынесение источников питания за пределы печатной платы);
- Для минимизации термоэлектрических эффектов (возникновение термо-ЭДС на границе разнородных материалов при градиенте температуры) на прибор накладывается требование прогревать его в течение 30 минут перед эксплуатацией.

На основе данных о долговременных характеристиках элементов определен первый межповерочный интервал (МИ), который равен 3 месяцам. В дальнейшем МИ будет уточняться по результатам очередной проверки. Для теоретической оценки МИ взяты данные об используемых в преобразователе элементах: изменение сопротивлений резисторов составляет около 0.5% в течение 100000 часов; изменение напряжения ИОН – ± 20 ppm за первые 1000 часов работы; изменение частоты кварца – ± 5 ppm/год. Расчеты показывают, что за 3 месяца работы погрешность преобразователя может увеличиться на 0.02%. При этом по истечении указанного срока определяется погрешность измерения прибора в различных точках диапазона, пересчитываются поправочные коэффициенты и изменения вносятся в программу микроконтроллера.

Заключение, выводы

Разработан универсальный образцовый прибор, который можно использовать для калибровки и для контроля метрологических параметров счетчиков электроэнергии на

РАЗДЕЛ 3. КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

производственном предприятии, алгоритм его работы и функциональная схема. Рассчитаны параметры аналоговых цепей, определены возможные источники погрешностей и оценены их значения. Написана программа для микроконтроллера на языке C в среде AVR Studio 5. Разработана принципиальная схема прибора в САПР Altium Designer.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8.584-2004, счетчики статические активной электрической энергии переменного тока.

2. Мир электроники; аналого-цифровое преобразование. Редактор оригинального издания У. Кестер; пер. с англ. под ред. Е.Б. Володина. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2007.
3. Datasheet ADE7759.
4. Datasheet AD8639.
5. Datasheet AtMega64.

д.т.н. Пасынков Ю.А. – профессор и Савиных М.А. – магистрант. Новосибирский государственный технический университет, E-mail: maxim_sav@sibnet.ru.

УДК: 543.27.089.6

МЕТОД ЭКСПРЕСС-ГРАДУИРОВКИ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

А.Г. Шумихин, М.С. Орехов

Рассмотрен способ градуировки газоанализаторов в динамическом режиме, основанный на непрерывном изменении во времени по заданному закону концентрации анализируемого компонента в газеносителе на входе измерительного канала газоанализатора, отличающийся тем, что закон изменения концентрации формируется естественным образом при продувке аппарата-смесителя с интенсивным перемешиванием заполненного первоначально газом - носителем с известной концентрацией в нем анализируемого компонента с последующей продувкой газом-носителем с известным постоянным расходом или импульсным вводом в продуваемый аппарат известного количества анализируемого компонента.

Ключевые слова: газоанализаторы, градуировка, поверка, динамический режим.

Введение

На современных химических, нефтеперерабатывающих, нефтегазодобывающих, горнодобывающих и других предприятиях, в производствах которых обращаются газовые и паровые среды, образующие с воздухом взрывоопасные смеси в производственных помещениях и на наружных установках в соответствии с нормативными документами по промышленной безопасности во взрывоопасных зонах применяется большое количество автоматических газоанализаторов – сигнализаторов до взрывоопасных концентраций.

В процессе функционирования газоанализатора могут изменяться характеристики как датчиков, так и аналоговых и цифровых дискретных устройств, средств отображения измерительной информации, что может привести, например, к ложным срабатываниям или несрабатываниям системы противоаварийной защиты. Поэтому газоанализаторы – сигнализаторы периодически проходят метрологическую поверку и проверки срабатывания в системах сигнализации и автоматической противоаварийной защиты, и в некоторых случаях возникает необходимость переградуировки газоанализаторов.

Для проведения поверки, градуировки и настройки газоанализаторов используют заранее приготовленные поверочные газовые смеси (ПГС) с различной концентрацией анализируемого компонента (концентрация ниже НКПР) реальной газовой воздушной смеси.

При наличии на предприятии большого количества газоанализаторов возникают проблемы, связанные с приобретением, хранением, обслуживанием и контролем емкостей (баллонов) с ПГС.

При градуировке определяется статическая характеристика газоанализатора, представляющая собой зависимость между значениями выходного сигнала газоанализатора (S) и измеряемой концентрацией (c), т.е. $S = f(c)$

Линейность и непрерывность характеристики газоанализатора сложно выявить, используя ПГС, так как они представляют диапазон измерения газоанализатора лишь в небольшом количестве дискретных точек.

В настоящей статье рассмотрены некоторые результаты исследований разработанного авторами способа градуировки газоанализаторов, основанного на экспериментальном определении статической характеристики из-