

УДК 621.316.92

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ ТОКОВ

Р. А. Гончаров, Н. В. Штабель

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
 Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
 E-mail: 350871@mail.ru

Рассматриваются методы повышения точности измерения малых токов с помощью датчика, основанного на эффекте магнитной модуляции.

Ключевые слова: датчик напряжения и токов утечки, относительная погрешность, сопротивление изоляции.

METHODS FOR ACCURACY IMPROVEMENT OF SMALL CURRENT MEASUREMENTS

R. A. Goncharov, N. V. Shtabel

Reshetnev Siberian State Aerospace University
 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
 E-mail: 350871@mail.ru

In article, methods of increase in accuracy of measurement of small currents based on the magnetic modulation sensor are considered.

Keywords: sensor of tension and current of leak, relative accuracy, insulation resistance.

Одной из особенностей современных систем электропитания космического аппарата (СЭП КА) является связь шины «минус» с корпусом. В ходе наземных испытаний на сопротивление изоляции воздействуют механические, тепловые, и электрические нагрузки, что постепенно вызывает ухудшение её свойств. В случае нарушения целостности сопротивления изоляции, токоведущие шины могут замкнуться на корпусе, что представляет опасность для персонала, работающего с системой электропитания [1].

Для контроля сопротивления изоляции линий в процессе наземных испытаний СЭП КА используются датчики напряжения и токов утечки (ДНТУ).

Структура ДНТУ показана на рис. 1. ДНТУ состоит из: микроконтроллера (МК), датчика малых токов утечки (ДТУ), блока питания (БП), делителя напряжения (ДН), модуля связи по CAN-шине (CAN), твердотельных реле и резисторов K1...K4, R1...R4.

Датчик тока утечки измеряет разность токов, протекающих из источника в нагрузку и обратно. При снижении сопротивления изоляции и замыкании её на корпус, образуется замкнутый контур шина«+» → корпус, по которому и будет протекать ток утечки в обход датчика. Следовательно, разность токов в шине «+» и шине «-» будет не нулевой и датчик это зафиксирует.

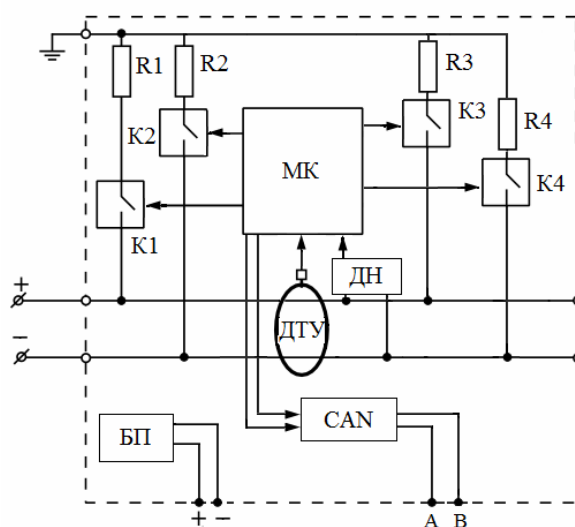


Рис. 1. Структурная схема датчика напряжения и токов утечки

При измерении сигнала датчика с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) общего назначения, встроенного в микроконтроллер, возникает проблема измерения в области малых токов (менее 1 мА).

Из-за ограниченной разрядности АЦП (12 бит), что при коэффициенте передачи датчика 25 мВ/мА, величине младшего разряда АЦП 1,22 мВ, входном диапазоне АЦП от 0 до 5В и диапазоне измерения токов ± 100 мА дает чувствительность $\pm 48,8$ мкА. При напряжении линии 20В и сопротивлении изоляции 1 МОм ток утечки будет равен 20 мкА. Следовательно, для расширения диапазона контроля сопротивления изоляции требуется повысить точность измерения сигнала датчика тока.

В данной работе было произведено сравнение двух способов повышения чувствительности схемы измерения токов: многодиапазонная схема и схема с использованием прецизионного АЦП.

На рис. 2. представлена многодиапазонная схема измерения малых токов с тремя рабочими диапазонами. В зависимости от текущего сигнала датчика в нижнее плечо делителя напряжения подключаются различные сопротивления, дающие разное смещение и коэффициент усиления, также изменяется коэффициент усиления операционного усилителя U . Данную схему возможно реализовать с применением специальных МК, имеющих встроенный операционный усилитель и аналоговые ключи. Данное решение позволяет увеличить чувствительность в области малых токов в более чем в 80 раз.

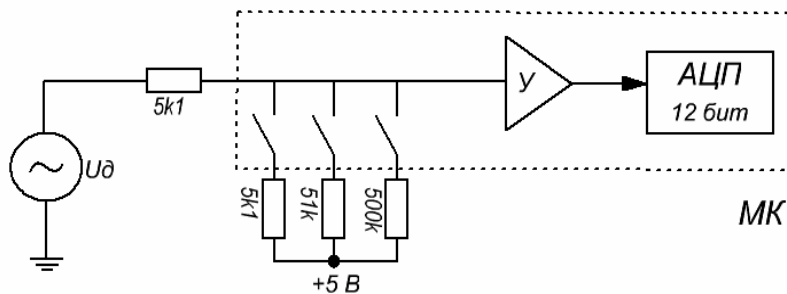


Рис. 2. Многодиапазонная схема измерения сигнала датчика тока

Альтернативным методом повышения точности является использование прецизионного АЦП, основанного на сигма-дельта модуляции. Схема измерения показана на рис. 3.

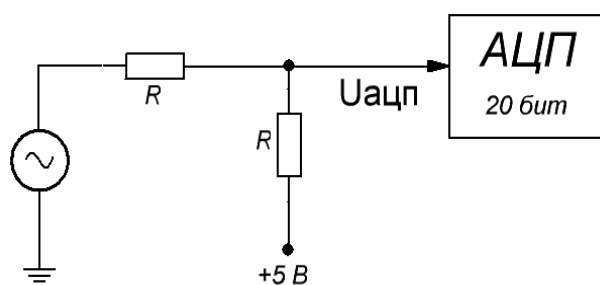


Рис. 3. Схема измерения с прецизионным АЦП

Для сравнения двух методов был проведен эксперимент, схема эксперимента показана на рис. 4.

Для измерений используется микроконтроллер Cypress CY5888 [2], который имеет встроенные АЦП последовательного приближения с разрядностью 12 бит и сигма-дельта АЦП с разрядностью 20 бит, а также встроенные аналоговые ключи и операционный усилитель для реализации многодиапазонной схемы.

В ходе эксперимента с помощью источника U-тест через постоянный резистор создавался тестовый ток, который измерялся точным миллиамперметром и датчиком SLD1 на основе

эффекта магнитной модуляции. Измеренные с помощью МК [3] значения передавались на ПК и сравнивались с показаниями амперметра.

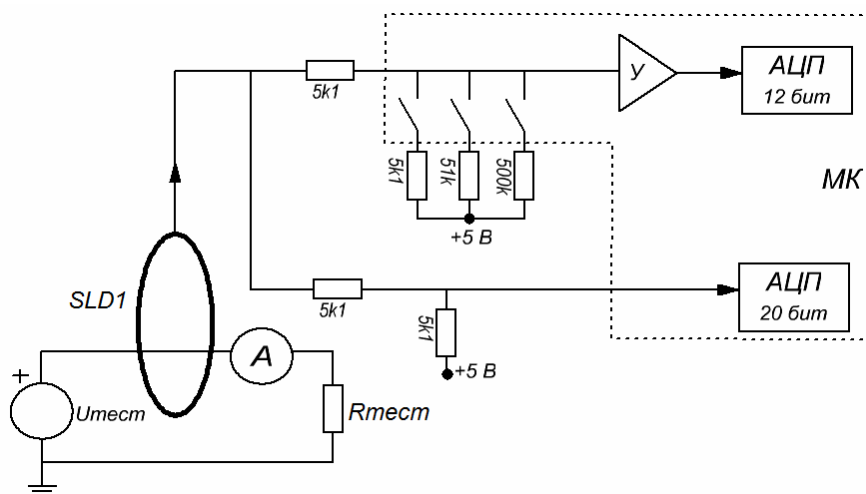


Рис. 4. Схема эксперимента

Были произведены измерения при трёх разных токах во всем диапазоне работы датчика: 1 мА, 4,9 мА, 46 мА. Полученная усредненная относительная погрешность для многодиапазонной схемы составила 2,683 %, приведенная погрешность 0,26 %. Для схемы с сигма-дельта АЦП относительная погрешность составила 2,417 %, приведенная 0,484 %.

Из результатов эксперимента видно, что схемы дают практически одинаковые результаты, однако применение сигма-дельта АЦП повышает стоимость устройства. Также схема с сигма-дельта АЦП работает с частотой выборки 130 выб/с, а схема с АЦП последовательного приближения работает с частотой 65 000 выб/с, что делает возможной дополнительную цифровую фильтрацию результата измерений и понижает общее время отклика системы.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение № 14.577.21.0082). Уникальный идентификатор RFMEFI57714X0082.

Библиографические ссылки

1. Способ автоматического контроля сопротивления изоляции шин источников постоянного тока на корпус: пат 2391679 РФ. МПК⁵¹G01R31/02/ заявитель и патентообладатель ОАО «ИСС» (RU) № 2009103681/28; заяв: 04.02.2009; опубл.: 10.06.2010.
2. Cypress [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cypress.com/part/cy8c5888lti-lp097> (дата обращения: 10.04.2017)
3. Cypress [Электронный ресурс] URL: <http://www.cypress.com/documentation/development-kitsboards/cy8ckit-059-psoc-5lp> (дата обращения: 08.04.2017)

© Гончаров Р. А., Штабель Н. В., 2017