

Результаты. В результате работы был сконструирован прототип устройства позволяющий протестировать систему контроля и управления движением платформы. Зазор между платформой и поверхностью составляет около 100 мкм, чего хватает для плавного движения платформы без сопротивления на поверхности. Полученная платформа способна перемещаться по выделенной поверхности посредством управления внешним устройством и имеет номинальную тягу подруливающего устройства в 0,08 Н, общий вес

платформы составил 0,7 кг, а вес, который способна переносить платформа, составляет 1,5 кг.

Литература

1. Проектирование аэродинамической платформы для предполетных испытаний наноспутников / В.С. Баранова [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2022. – Вып. 11.
2. Dynamic air-bearing hardware in-the-loop testbed to experimentally evaluate autonomous spacecraft proximity maneuvers / R. Zapulla [et al.] // Journal of Spacecraft and Rockets. – 2017. – Vol. 54, № 4.

УДК 621.317, 537.58

ТЕСТИРОВАНИЕ И КАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОВЕРХНОСТИ СО СТАТИЧЕСКИМ ЗОНДОМ

Воробей Р.И., Гусев О.К., Жарин А.Л., Микитевич В.А., Пантелеев К.В., Свистун А.И., Самарина А.В., Тявловский А.К., Тявловский К.Л.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Предлагается методика тестирования и калибровка измерительного преобразователя электрического потенциала поверхности со статическим зондом. Процедура калибровки заключается в сравнении сигналов измерительного преобразователя электрического потенциала поверхности при контроле поверхности изделия и эталонного образца. Калибровка достигается изменением положения отсчетного электрода относительно электродов эталонного образца и изменением напряжений, подаваемых на его электроды.

Ключевые слова: поверхность, электрический потенциал, однородность, статический зонд, калибровка.

TESTING AND CALIBRATION OF THE MEASURING CONVERTER OF THE SURFACE ELECTRICAL POTENTIAL WITH A STATIC PROBE

Vorobey R.I., Gusev O.K., Zharin A.L., Mikitsevich U.A., Pantišaleyeu K.U., Svistun A.I., Samarina A.V., Tyavlovsky A.K., Tyavlovsky K.L.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The testing and calibration methodology for the measuring converter of the surface electrical potential with a static probe is proposed. The calibration procedure includes comparison of output signals of the measuring converter obtained when monitoring the surface of the sample under study and a reference sample. Calibration is achieved by repositioning the reference electrode in relation to the electrodes of the reference sample and changing the voltages applied to its electrodes.

Key words: surface, electric potential, homogeneity, static probe, calibration.

*Адрес для переписки: Тявловский К.Л., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
e-mail: ktyavlovsky@bntu.by*

При контроле и исследовании свойств изделий и материалов с прецизионными поверхностями часто применяются бесконтактные методы измерения электрического потенциала поверхности, основанные на методе Кельвина [1; 2]. Несмотря на необходимость увеличения площади зонда по сравнению с устройствами, использующими вибрирующий зонд, методики измерения с неподвижным зондом имеют ряд преимуществ и расширяют область применения измерений электрического потенциала поверхности в контроле изделий с прецизионными поверхностями [3].

Одним из факторов, влияющих на формирование измерительного сигнала, особенно при относительно больших размерах зонда в статической методике измерения, является неоднородность поверхности под отсчетным электродом. Даже для изделий с прецизионными поверхностями характерно микрон неоднородное пространственное распределение электрического потенциала поверхности. Микрон неоднородность распределения электрического потенциала поверхности связана с различиями в работе выхода электрона на микрочастьках поверхности с различной плотностью

дефектов разной физической природы. Под пространственной микронеоднородностью поверхности понимается существование дефектов поверхности с размерами существенно меньшими размеров отсчетного электрода. Невозможность проведения измерений с пространственным разрешением менее размеров отсчетного электрода в случае статического зонда [1; 3] вызывает необходимость описывать природу формирования потенциала поверхности моделью эффективной работы выхода [4]. В этой модели измеряемое значение электрического потенциала обуславливается не определенными поверхностными состояниями, а средним значением работы выхода микроучастков на поверхности, а наблюдаемые изменения поверхностного потенциала могут быть вызваны не изменением работы выхода электрона на дефектах нового типа, а только изменением соотношения площадей микроучастков поверхности с разным составом дефектов [4]. Математическое моделирование формирования измерительного сигнала в потенциально-зондовых методах при микронеоднородном распределении свойств поверхности показывает сложную зависимость измерительного сигнала от различных факторов [5].

Бесконтактные измерения электрического потенциала поверхности имеют ряд методических особенностей [1–6], что приводит к необходимости их учета при контроле свойств материалов и изделий, разработке средств калибровки и метрологического обеспечения применяемых методик неразрушающего контроля.

Исследование свойств поверхности различных изделий показывает, что поверхность контролируемого образца S в проекции зонда Z (рисунок 1) можно представить не более чем четырьмя составляющими. Например, основным участком поверхности a , скоплением точечных дефектов b , относительно большим микронеоднородным участком c поверхности с отличающимся от участка a потенциалом, линейным дефектом d или их скоплением. При моделировании измерительного сигнала в соответствии с моделью эффективной работы выхода [4] реальная поверхность (рисунок 1, a) может быть заменена на ее эквивалент с замещающими составляющими a^* , b^* , c^* , d^* (рисунок 1, b).

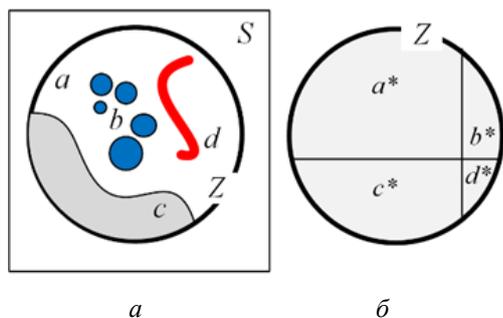


Рисунок 1 – Схема замещения реальной поверхности S (a) ее моделью (b)

Для проведения процедуры калибровки измерительного преобразователя электрического потенциала поверхности со статическим зондом предлагается использовать эталонный образец, образованный четырьмя металлическими поверхностями A , B , C , D (рисунок 2).

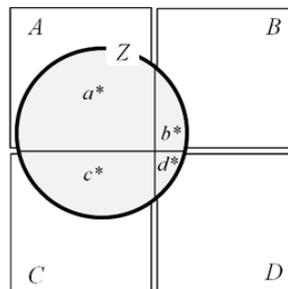


Рисунок 2 – Схема калибровки измерительного преобразователя электрического потенциала поверхности

Изменением положения отсчетного электрода Z относительно электродов эталонного образца и изменением напряжений, подаваемых на электроды A , B , C , D , которые моделируют участки поверхности a^* , b^* , c^* , d^* (рисунок 1, b), можно добиться равенства параметров измерительных сигналов, получаемых при контроле реальной поверхности S и процедуре калибровки по предлагаемой схеме (рисунок 2). Необходимо отметить, что в параметры формирования измерительного сигнала в случае микронеоднородного распределения электрического потенциала под отсчетным электродом включается зависимость измеряемого потенциала от межэлектродного зазора контролируемая поверхность – отсчетный электрод зонда.

В схеме калибровки измерительного преобразователя с применением частичных эталонных электродов может быть решена и обратная задача. При этом для различных сочетаний напряжений на электродах A – D и их коэффициентов влияния, изменяемых соотношением площадей этих электродов в проекции зонда Z формируется зависимость измерительного сигнала от параметров процедуры калибровки. Это позволяет уже в процессе контроля поверхности изделия оценить параметры ее микронеоднородности.

Предлагаемая методика тестирования и калибровки измерительного преобразователя электрического потенциала поверхности со статическим зондом отличается простотой аппаратной реализации, но требует набора большой базы зависимостей измерительного сигнала от совокупности частичных напряжений на электродах эталонного образца и коэффициентов влияния их вклада по соотношению площадей участков A , B , C , D в проекции зонда.

Литература

1. Kronik, L. Surface photovoltage phenomena: theory, experiment, and applications / L. Kronik, Y. Shapira // Surface Science Reports. – 1999. – № 37. – P. 1–206.

2. Noras, A. Non-contact surface charge/voltage measurements. Capacitive probe – principle of operation / A. Noras // *Trek*. – 2002. – № 3001. – P. 2–8.

3. Измерение электрического потенциала поверхности с использованием статического зонда / К.Л. Тявловский [и др.] // *Приборы и методы измерений*. – 2023. – Т. 14, № 2. – С. 135–144.

4. Woodall, I.M. Summary Abstract: Are they really Schottky barriers after all? / I.M. Woodall, I.L. Freouf // *J. Vac. Sci. Technol.* – 1982. – V. 21, № 2. – P. 574–576.

5. Алгоритм неразрушающего контроля изделий с прецизионными поверхностями на основе методологии измерения параметров объектов с неопределенными состояниями / Р.И. Воробей [и др.] // *Метрология и приборостроение*. – 2012. – № 2. – С. 29–36.

6. Многопараметрические измерения электрического потенциала поверхности с использованием адаптивной односигнальной модели / К.Л. Тявловский [и др.] // *Метрология и приборостроение*. – 2008. – № 2. – С. 27–32.

УДК 539.1.05

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО АМПЛИТУДНОГО АНАЛИЗАТОРА, ВСТРАИВАЕМОГО В FPGA ARTIX7 ПЛАТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ СЧИТЫВАНИЯ ROESTI СТРОУ-ТРЕКЕРА ПРОЕКТА СОМЕТ

Воропай Е.С.², Евтухович П.Г.¹, Коваленко М.Н.², Павлов А.Л.¹, Понарядов В.В.², Рутковская Л.С.²

¹*Объединенный институт ядерных исследований
Дубна, Российская Федерация*

²*Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Целью работы является разработка встраиваемого полностью цифрового амплитудного анализатора, встраиваемого в FPGA платы электроники считывания ROESTI, что дает возможность проводить выравнивание коэффициентов передачи по каждому каналу и тем самым проводить калибровку по амплитуде каждого канала регистрации сигналов со строу-трубок. Амплитудный анализатор апробирован на плате ROESTI с использованием сигналов сцинтилляционного детектора и строу-трекера от тестовых источников ионизирующего излучения.

Ключевые слова: АЦП, амплитудный анализатор, строу-трекер.

DEVELOPMENT OF A DIGITAL AMPLITUDE ANALYZER BUILT INTO THE FPGA ARTIX7 ELECTRONICS BOARD FOR READING THE ROESTI STRAW TRACKER OF THE COMET PROJECT

Voropay E.S.², Evtukhovich P.G.¹, Kovalenko M.N.², Pavlov A.L.¹, Ponaryadov V.V.², Rutkovskaya L.S.²

¹*Joint Institute for Nuclear Research
Dubna, Russian Federation*

²*Belarusian State University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The goal of the work is to develop a built-in fully digital amplitude analyzer built into the FPGA of the ROESTI readout electronics board, which makes it possible to equalize the transmission coefficients for each channel and thereby calibrate the amplitude of each channel for recording signals from straw tubes. The amplitude analyzer was tested on the ROESTI board using signals from a scintillation detector and a straw tracker from ionizing radiation sources.

Key words: ADC, amplitude analyzer, straw tracker.

*Адрес для переписки: Коваленко М.Н., пр. Независимости, 4, г. Минск, 220030, Республика Беларусь
e-mail: kovalenkom@bsu.by, тел. (029)6100263*

Эксперимент СОМЕТ нацелен на поиск когерентного безнейтринного перехода мюона в электрон в мюонном атоме ($\mu\text{-e}$ конверсия), $\mu^- + N(A,Z) \rightarrow e^- + N(A,Z)$, на протонном исследовательском ускорительном комплексе (J-PARC) в Токай, Япония. $\mu\text{-e}$ конверсия – это редкий процесс, который нарушает закон сохранения лептонного числа в заряженном лептонном секторе. Одной из систем детектирования эксперимента СОМЕТ является трекер – сборка из пяти модулей, каждый из которых представляет собой кольцо с двумя парами рядов строу-трубок

перпендикулярных друг другу. Считывание информации в каждом модуле осуществляется через 16-канальные платы электроники ROESTI, расположенные вдоль кольца. Трекер находится внутри сверхпроводящего соленоида, создающего магнитное поле 1 тесла.

Сигнал с каждой строу-трубки после прохождения через нее заряженной частицы, представляет собой импульсный скачок напряжения. Он должен быть усилен, сформирован по длительности с сохранением амплитуды и, если он выше порога, далее оцифрован и записан для дальнейшей