

трещинами различной глубины.

1. Тетерко А.Я. Селективна вихрострумова дефектоскопія / А.Я. Тетерко, З.Т. Назарчук; НАН України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В.Карпенка. – Л., 2004. – 247 с.
2. Cadeau T. Pulsed eddy current probe desing based on transient circuit analysis / T.J. Cadeau, T.W. Krause // Review of Quantitative NDE. – 2009. – vol. 28. – pp. 327-334.
3. Неразрушающий контроль. Кн. 3. Электромагнитный НК / Под ред. В.В. Сухорукова – М.: Высшая школа, 1992, – 320с.
4. Yang G. Pulsed Eddy-Current Based Giant Magnetoresistive System for the Inspection of Aircraft Structures / G. Yang, A. Tamburrino, L. Udpa, S. Udpa // IEEE Trans. Magn. – 2010. – vol. 46, no. 3. – pp. 910-917.
5. Vasic D. Pulsed Eddy-Current Nondestructive Testing of Ferromagnetic Tubes / D. Vasic, V. Bilas, D. Ambrus // IEEE Trans. Instrum.

Meas. – 2004. – vol. 53, no. 4. – pp. 1289-1294.

6. Методика обработки сигналов в системах импульсной вихретоковой дефектоскопии: материалы VIII Междунар. научн.-техн. конф. «Приборостроение - 2015», 25 - 27 ноября 2015 г., Минск, Республика Беларусь / БНТУ ПБФ — Минск, 2015. — Т. 1, 322 с.
7. Lysenko I. Improvement of the Eddy Current Method of Non-Destructive Testing with Pulsed Mode Excitation [Electronic resource] / I. Lysenko, Y. Kuts, O. Dugin, A. Protasov // The e-Journal of Nondestructive Testing. – 2016. – № 7, Vol. 21. – Access mode: <http://www.ndt.net>.
8. Лисенко Ю. Ю. Застосування накладних перетворювачів в імпульсному вихрострумовому контролі / Лисенко Ю. Ю., Куц Ю. В., Протасов А.Г., Дугін О.Л. // Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування : збірник наукових праць. – 2016. – Вип. 52. – С. 58–63.

УДК 621.317.799:621.382

## МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ КОММУТАТОРОМ

Лисенков Б.Н., Грицев Н.В.

Открытое акционерное общество «МНИПИ», Минск, Республика Беларусь

Матричные коммутаторы широко применяются в автоматизированных системах измерения и контроля параметров полупроводниковых приборов (ПП). Они используются для выбора тестируемого ПП и подключения к нему источников и измерителей электрических сигналов.

Основу матричного коммутатора составляют ключи, расположенные в перекрестиях строк (A, B, C, D, ...) и колонок (1, 2, 3, 4, ...) коммутатора. Замыкание определенных ключей обеспечивает подключение измерительных приборов, каждый из которых присоединен к определенной строке, к интересующему электроду ПП, присоединенному к одной из колонок.

В простейшем случае, при тестировании двухполюсника (диода), присоединенного к колонкам 2 и 4 коммутатора, с помощью источника тока, присоединенного к его строкам A и B, и измерителя напряжения, присоединенного к его строкам C и D, блок управления замыкает ключи A2, B4 и C2, D4, которые выбирает оператор на основании измерительной схемы, представленной на рис. 1, при формировании теста.

При контроле трех- и четырехполюсников подготовка программы тестирования в части управления матричным коммутатором существенно усложняется. Это связано с тем, что для каждого теста составляется измерительная схема, отображающая связи множества (до 8ми) измерительных приборов с электродами тестируемого

ПП. На основании такой схемы определяют, в каких узлах матрицы должны быть замкнуты ключи при выполнении данного теста

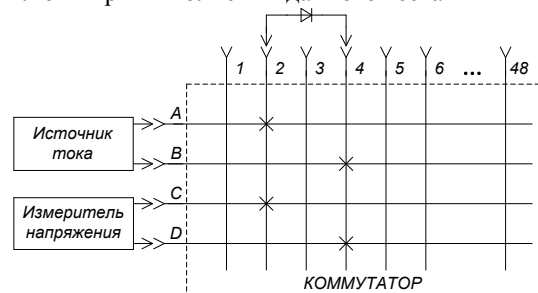


Рисунок 1 – Измерительная схема для матричного коммутатора при тестировании диода: × – замкнутые узлы

С целью исключения возможных ошибок при определении узлов матричного коммутатора, которые должны быть замкнуты в выбранном тесте, сложные измерительные схемы необходимо определенным образом визуализировать и документировать. Современные матричные коммутаторы снабжены устройствами индикации, которые отображают все узлы матричного коммутатора и позволяют выделить, светом или цветом, узлы с замкнутыми ключами. При этом, известные устройства индикации состояния матричного коммутатора весьма сложны и громоздки с точки зрения решаемой задачи.

Их выполняют либо на светодиодах, расположенных в узлах матрицы, изображенной на передней панели коммутатора, причём количество светодиодов соответствует числу узлов коммутатора, либо на базе графического дисплея, занимающего большую часть площади передней панели [1].

Устройство отображения состояния матричного коммутатора позволяет повысить достоверность тестирования ПП, но практически не влияет на оперативность управления, так как основное время в этом процессе занимает составление и анализ измерительных схем для множества тестов.

При тестировании ПП с помощью программируемых измерителей параметров полупроводниковых приборов (ИППП), или анализаторов вольтамперных характеристик (ВАХ), построенных на основе источников-измерителей (ИИ) уже не требуется подключения к электроду ПП одновременно нескольких измерительных приборов. Каждый ИИ формирует тестирующий сигнал (ток или напряжение) подаваемый на электрод ПП и одновременно измеряет сигнал-отклик (напряжение или ток), возникающий на этом электроде [2].

Благодаря возможности выбора типа формируемого и измеряемого сигналов, ИИ может рассматриваться как самостоятельная ступень коммутации, которая обеспечивает подключение к электроду ПП источника и измерителя электрических сигналов и выбор типа каждого из них (тока или напряжения). Поэтому в системе измерения, включающей программируемый ИППП или анализатор ВАХ и матричный коммутатор, требования к функциональным возможностям матричного коммутатора существенно снижаются и метод задания состояния коммутатора в формируемом тесте, может быть упрощен.

Программируемые ИППП и анализаторы ВАХ, обеспечивают отображение измерительной схемы выбранного теста. Это позволяет упростить конструкцию, используемого вместе с такими приборами, матричного коммутатора, за счет исключения громоздкого индикатора его состояния, который, в этом случае, будет избыточным.

Например, в ИППП-1 измерительная схема представлена в виде таблицы, где указаны вид и параметры тестирующего и измеряемого сигналов для каждого электрода ПП вместе с наименованием этого электрода [2]. В ИППП-3 измерительная схема представлена в виде условного обозначения (диод, биполярный или полевой транзистор, тиристор) с указанием каналов прибора, подключенных к каждому электроду. При этом, вид тестирующего и измеряемого сигналов уже определен согласно выбранному условному обозначению ПП [3].

Метод управления разработан для матричного коммутатора входящего в состав автоматизированного измерительного комплекса (АИК), структурная схема которого приведена на рис. 2. АИК предназначен для измерения и контроля параметров группы ПП, которая представлена в виде обобщенного объекта тестирования с множеством выводов (рис. 2). В качестве такого объекта можно рассматривать либо тестовый модуль на полупроводниковой пластине, либо группу ПП в отдельных корпусах, либо группу ПП в одном многовыводном корпусе.

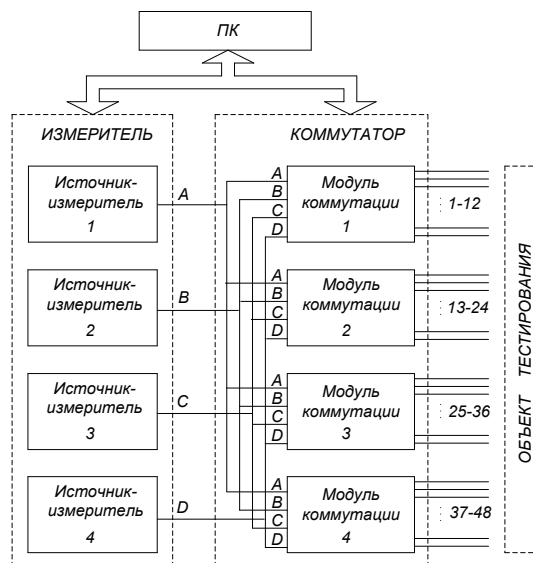


Рисунок 2 – Структурная схема АИК

АИК содержит компьютер, управляющий с помощью матричного коммутатора выбором объекта тестирования из множества ПП, подключенных к колонкам коммутатора, и работой измерителя в процессе тестирования выбранного ПП. Измеритель включает четыре ИИ, которые подключены к строкам А, В, С, D матричного коммутатора.

Матричный коммутатор состоит из четырех модулей коммутации, каждый из которых содержит по четыре строки А, В, С, D и двенадцать колонок. Соответствующие строки модулей, как показано на рисунке 2, соединены между собой. В результате образуется матричный коммутатор  $12 \times 4 = 48$ , в котором количество колонок определяется суммой колонок всех модулей.

Предлагаемый метод управления матричным коммутатором в составе АИК включает следующие операции:

- выбор типа ПП (диод, транзистор, и др.), в соответствии с которым на дисплее АИК отображается измерительная схема формируемого теста;
- установку типа тестирующего и измеряемого сигналов по каждому электроду ПП;

- установку в произвольном порядке существенных параметров формируемого теста и номеров колонок матричного коммутатора, соответствующих каждому из электродов выбранного ПП, согласно измерительной схеме на дисплее АИК;

- переход к формированию следующего теста.

Метод не предполагает выполнения таких операций, как составление и анализ измерительной схемы формируемого теста для определения узлов коммутатора которые должны быть замкнуты в этом тесте. Это способствует повышению оперативности формирования последовательно тестов при программировании АИК и существенно упрощает конструкцию коммутатора.

УДК 531.385

### ИНФОРМАЦИОННО ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОРСКИХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С САМОНАСТРОЙКОЙ ПАРАМЕТРОВ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА

Малютин Д.М.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»  
Тула, Российская Федерация

Известно [1], что в случае гармонической качки среднее за период значение погрешности гравиметра из-за ускорений и наклонов гиростабилизатора (ГС) может быть выражено через амплитудную и фазовую частотные характеристики передаточной функции ГС и определяется зависимостью:

$$\langle \delta g_1 \rangle = \frac{1}{2} (W_\xi^0)^2 A(\omega) \cos(Y(\omega)), \quad (1)$$

где  $W_\xi^0$  – амплитуда горизонтального ускорения качки;  $A(\omega)$  – значение амплитудно-частотной характеристики ГС на частоте качки;  $Y(\omega)$  – значение фазовой частотной характеристики ГС на частоте качки.

Среднее значение погрешности гравиметра, обусловленной наклонами ГС, определяется зависимостью:

$$\langle \delta g_2 \rangle = -\frac{1}{4} g (\alpha^0)^2, \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $\alpha^0$  – амплитуда наклонов ГС.

Из приведенных зависимостей (1), (2) следует, что при установке гравиметра на ГС для уменьшения погрешностей гравитационных измерений необходимо обеспечить высокую точность стабилизации платформы относительно горизонта и добиться близости к нулю значения косинуса сдвига фазы между горизонтальными ускорениями качки и наклонами платформы. Эффективность выполнения этих требований в свою очередь обусловлена структурой построения ГС.

Структурная схема контура коррекции индикаторного ГС с контуром самонастройки параметров корректирующего устройства представ-

1. Каталог Keithley – Tektronix 2014. издание 2 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tektronix.ru/>. – Дата доступа 24.06.2016.

2. Измеритель параметров полупроводниковых приборов ИППП-1. Руководство по эксплуатации. УШЯИ.411251.003 РЭ. часть первая. – 47 с.

3. Измеритель параметров полупроводниковых приборов ИППП-3. Руководство по эксплуатации. УШЯИ.411251.005 РЭ. часть первая. – 41 с.

лена на рисунке 1.

Сигнал с выхода акселерометра поступает на вход устройства измерения спектра, в котором определяется преобладающая частота качки  $\omega_K$  [2].

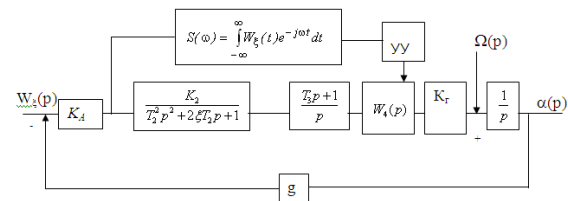


Рисунок 1 – Структурная схема контура коррекции индикаторного ГС с контуром самонастройки параметров:  $K_A$  – коэффициент передачи акселерометра,  $T_2, T_3, K_\xi, \xi$  – параметры корректирующего устройства контура коррекции,  $K_Г$  – коэффициент передачи гироскопа по управляющему воздействию

В соответствии со значением преобладающей частоты качки управляющее устройство (УУ) изменяет постоянную времени  $T_4$  апериодического звена с передаточной функцией  $W_4(p) = \frac{1}{T_4 p + 1}$  таким образом, чтобы фазовый сдвиг между горизонтальными ускорениями и отклонением платформы был точно равен  $-270$  град. Постоянная времени  $T_4$  определяется исходя из условия самонастройки:

$$T_4 = \frac{\operatorname{tg} \left[ -90^\circ + \operatorname{arctg}(T_3 \omega_K) + \operatorname{arctg} \left( \frac{2\xi \omega_K T_2}{(\omega_K T_2)^2 - 1} \right) \right]}{\omega_K} \quad (3)$$

Например, при настройке системы на частоту качки  $\omega_K = 0,785 \text{ c}^{-1}$  постоянная времени