



Рис. 1. Осциллограммы результатов практического исследования:  
а – без ООС; б – с доработанной ООС

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания FEWG-2022-0002.

#### Литература

1. Дулуб, Я. В. Волновой твердотельный гироскоп в режиме датчика угловой скорости / Я. В. Дулуб, А. В. Каликанов // Сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции «Наука молодых – будущее России». – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2023. – С. 47–52.

УДК 621.3

### АНАЛИЗАТОР ЖИДКОСТИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ pH

Студент гр. 31303120 Жарко А. В.

Ст. преподаватель Ломтев А. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Анализатор жидкости для изменения pH (pH-метр) – прибор для измерения водородного показателя (показателя pH), характеризующего активность ионов водорода в растворах, воде, пищевой продукции и сырье, объектах окружающей среды и производственных системах непрерывного контроля технологических процессов, в том числе в агрессивных средах.

Общее описание устройства и его компонентов.

**Электроды.** Электроды являются ключевым элементом pH-метра. Обычно pH-метр имеет два электрода – рабочий (стеклянный) и опорный. Рабочий электрод контактирует с образцом жидкости, а опорный электрод обеспечивает стабильность и точность производимых измерений.

**Электронный блок.** Это электронная часть pH-метра, которая содержит датчики, усилители, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и другие компоненты, необходимые для проведения измерения с заданной точностью и усиления, и электронной обработки измерительного сигнала.

**Дисплей.** pH-метр обычно имеет цифровой дисплей, на котором отображается измеренное значение pH. Это позволяет оператору легко воспринимать результаты измерений.

**Кнопки управления.** Кнопки управления позволяют пользователю включать и выключать прибор, выполнять калибровку, выбирать режимы измерения и т. д.

**Источник питания.** Большинство pH-метров работают от встроенных аккумуляторов или от сети переменного тока. Некоторые модели также могут работать от батарей.

**Разъемы и порты.** pH-метры могут иметь различные порты и разъемы для подключения к компьютеру, принтеру или другим электронным устройствам для записи или анализа и обработки данных.

В целом же, электронный pH-метр представляет собой компактное устройство, обычно имеющее прочный корпус, который защищает внутренние компоненты от воздействия влаги и других внешних факторов. Он прост в использовании и обеспечивает точные и надежные измерения pH.

Измерение pH основано на принципе определения концентрации водородных ионов ( $H^+$ ) в растворе. Отношение концентрации ионов водорода к воде ( $H_2O$ ) определяет характеристику кислотности или щелочности раствора.

В данной работе представлен анализатор жидкости для измерения уровня рН, диапазон измерения уровня рН которого находится в пределах от 0 до 14.

Шкала рН-метра имеет цену деления 0,1 рН.

Точность измерений составляет  $\pm 0,1$  рН.

Анализатор жидкости работает при температуре от 0 до 50 °С.

Для калибровки прибора в комплекте поставляется специальная отвертка.

Электроды являются чувствительными элементами устройства.

Усилительно-согласующее устройство предназначено для усиления сигнала и приведению его к формату измерения АЦП микроконтроллера.

Микроконтроллер измеряет значение сигнала, посредством АЦП преобразует его в значения рН в диапазоне от 0 до 14.

Интерфейс USB предназначен для изменения настроек представленного анализатора жидкости, например при его отладке.

Индикатор предназначен для отображения информации, получаемой с данного устройства, а именно значения рН.

УДК 681

### ИТЕРАЦИОННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Магистранты гр. 61315023 Забогонский К. А., Париза И. А.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Шадурская Л. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В реальном полупроводнике присутствуют различные примеси и дефекты с широким спектром энергетических уровней в запрещенной зоне полупроводника, существенно влияющих на время жизни неравновесных носителей заряда  $\tau_p$  и  $\tau_n$ . Данная работа посвящена методике расчета  $\tau_p$  и  $\tau_n$  итерационным методом в случае произвольного числа центров рекомбинации и созданию программного обеспечения для решения данной задачи.

Процессы стационарной рекомбинации неравновесных носителей заряда (ННЗ) в случае произвольного количества дефектов описывается системой уравнений:

$$\sum_{i=1}^K (R_{ni} + \Delta R_{ni}) = \sum_{i=1}^K (R_{pi} + \Delta R_{pi}), \quad (1)$$

где  $R_{ni}$ ,  $R_{pi}$  – скорости рекомбинации электронов и дырок на  $i$ -том энергетическом уровне в отсутствие других уравнений;  $\Delta R_{ni}$  и  $\Delta R_{pi}$  – изменение скорости рекомбинации электронов и дырок на  $i$ -том центре, связанное с существованием других дефектов. Уравнение (1) аналитически не решается.

Неравновесная стационарная функция распределения  $i$ -го уровня  $f_i$  зависит от функций распределения других  $j$ -ых дефектов, а вероятности заполнения этих уровней, в свою очередь, зависят от наличия дефекта с  $i$ -тым уровнем, следовательно возбуждение  $P_i$  не только определяет  $f_i$ , но и само зависит от  $f_i$ . Поэтому  $P_i$  можно назвать самосогласованным.

Внешнее самосогласованное возбуждение можно представить в виде:

$$P_i = \sum_{j \neq i}^{K-1} N_j (f_j - f_{j0}), \quad (2)$$

где  $P_i$  определяет изменения концентрации неравновесных носителей заряда  $\Delta n$  и  $\Delta p$  за счет наличия всех дефектов, кроме дефекта с  $i$ -тым уровнем;  $N_j$  – концентрация дефектов с уровнем  $j$ ,  $f_j$  – неравновесное стационарное уравнение заполнения  $j$ -го уровня,  $f_{j0}$  – равновесная функция заполнения  $j$ -го уровня.

Введение внешнего самосогласованного возбуждения  $P_i$  дает возможность перейти к рассмотрению системы независимых центров и систему кинетических уравнений, описывающих рекомбинационные процессы представить в виде:

$$U_{ni} = U_{pi}, i = 1, 2, 3, \dots K. \quad (3)$$