

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ МАССОВОГО ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК PIN-ФОТОДИОДОВ

© 2023 г. С. С. Афанасенко^а, Е. Р. Гнатовский^а, Д. Н. Григорьев^{а,б,с},
А. А. Талышев^{а,с}, А. В. Тимофеев^{а,*}, Р. И. Щербаков^а

^аИнститут ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН,
Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 11

^бНовосибирский государственный технический университет,
Россия, 630073, Новосибирск, просп. Карла Маркса, 20

^сНовосибирский государственный университет
Россия, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

*e-mail: A.V.Timofeev@inp.nsk.su

Поступила в редакцию 01.04.2022 г.

После доработки 22.07.2022 г.

Принята к публикации 14.09.2022 г.

Для контроля параметров PIN-фотодиодов при массовом их производстве разработан высокопроизводительный автоматизированный многофункциональный стенд. Стенд обеспечивает измерение темнового тока, емкости при рабочем напряжении и величины отклика на световой сигнал при одновременном подключении до 16-ти фотодиодов и последовательной проверке их характеристик.

DOI: 10.31857/S0032816223010019, EDN: JRGZNZ

ОПИСАНИЕ СТЕНДА

В Институте ядерной физики СО РАН им. Г.И. Будкера разработан и изготовлен автоматизированный многофункциональный стенд для массового измерения характеристик PIN-фотодиодов [1]. Стенд состоит из независимых цепей измерения тока и емкости фотодиодов (ФД). Блок-схема стенда приведена на рис. 1. ФД подключаются к плате через штыревое соединение PLLD1.27-40R. Для контроля установлен эталонный ФД. Положительное напряжение смещения подается одновременно на катоды всех ФД от внешнего источника питания. Все аноды при этом подключены к нулевому потенциалу через управляемые ключи на полевых транзисторах (рис. 2). Для проведения измерений аноды ФД по очереди отключаются от нулевого потенциала и подключаются ко входу измерительной цепи. Такое решение позволяет избежать быстрого перетекания зарядов в момент переключения, так как разность потенциалов на ФД практически не изменяется. Стенд использует двухступенчатый источник питания. АС-ДС-блок питания работает от переменного напряжения 220 В и выдает постоянное напряжение +15 В. Вторая ступень при помощи DC-DC-преобразователей и линейных стабилизаторов формирует необходимый набор напряжений для питания контроллера, усилителей и коммутатора (± 2.5 В, ± 5 В, +10 В).

Схема измерения темнового тока подключается к катоду исследуемого диода через резистор сопротивлением 1 МОм (рис. 3), а схема измерения емкости – через конденсатор емкостью 1 мкФ (рис. 4). Выбранные номиналы позволяют надежно разделить постоянную и переменную составляющие тока. На выходе каждой измерительной цепи формируется постоянное напряжение, которое оцифровывается встроенным в управляющий контроллер АЦП.

Схема измерения темнового тока (см. рис. 3) собрана на основе двухкаскадного операционного усилителя (ОУ) AD8602. Темновой ток поступает на инвертирующий вход ОУ и компенсируется током, поступающим из цепи отрицательной обратной связи (ООС) через резистор сопротивлением 20 МОм. Второй каскад ОУ дополнительно усиливает сигнал в 25 раз. Коэффициент преобразования темнового тока в напряжение составляет 500 мВ/нА.

Для измерения емкости ФД (см. рис. 4) от внешнего генератора подается синусоидальное напряжение 1 В с частотой 1 МГц. Обусловленная емкость ФД переменная составляющая тока поступает на инвертирующий вход ОУ AD8065 и компенсируется током, поступающим из цепи ООС через конденсатор емкостью 100 пФ. На втором каскаде сигнал дополнительно усиливается в 20 раз и поступает на линейный однополупе-

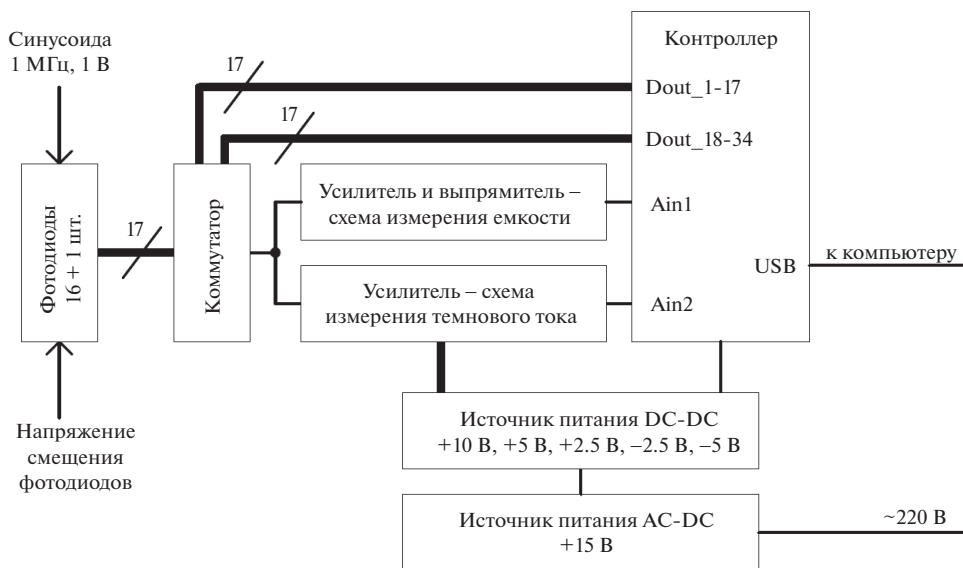


Рис. 1. Блок-схема автоматизированного многофункционального стенда для массового измерения характеристик PIN-фотодиодов.

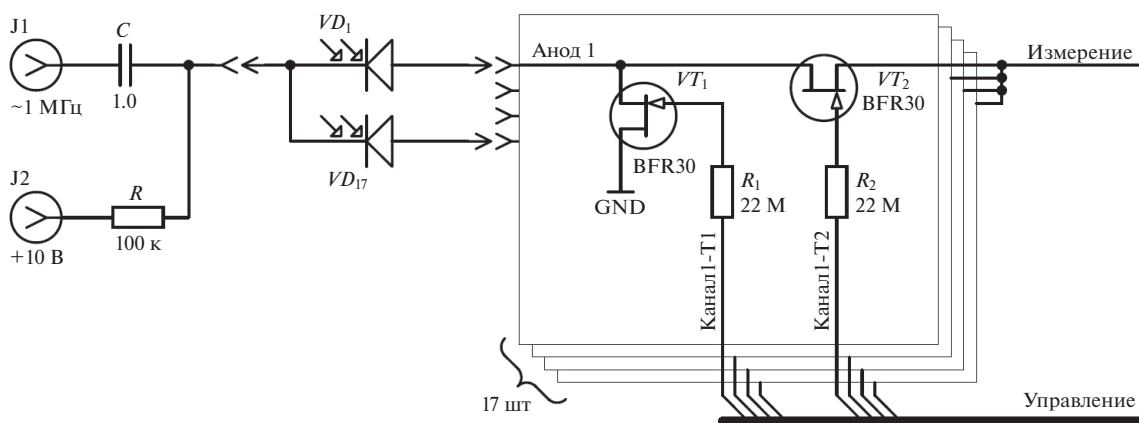


Рис. 2. Схема подключения фотодиодов и коммутатора.

риодный выпрямитель на основе ОУ AD829 и интегрирующей RC-цепи с постоянной времени 4.4 мс. Постоянное напряжение на выходе пропорционально емкости ФД с коэффициентом 0.15 В/пФ. Диапазон измерения емкостей можно увеличивать при помощи установки конденсатора большего номинала в цепи ООС усилителя AD8065.

Для измерения отклика на световой сигнал используется схема измерения темного тока. Исследуемый ФД облучается светодиодом одновременно с эталонным (в конкретной реализации используется ФД Hamamatsu S10993-05GT [2]), и его чувствительность рассчитывается из отношения сигналов. Такой подход позволяет измерять

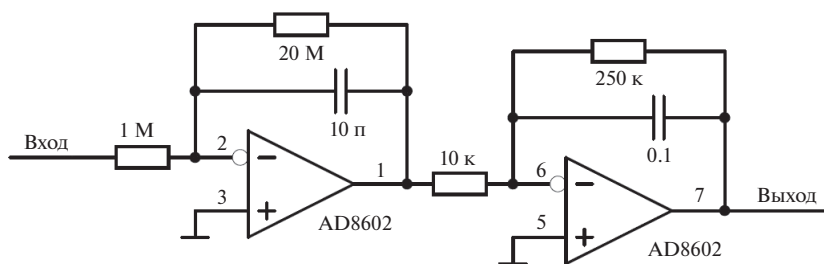


Рис. 3. Схема канала измерения темного тока ФД.

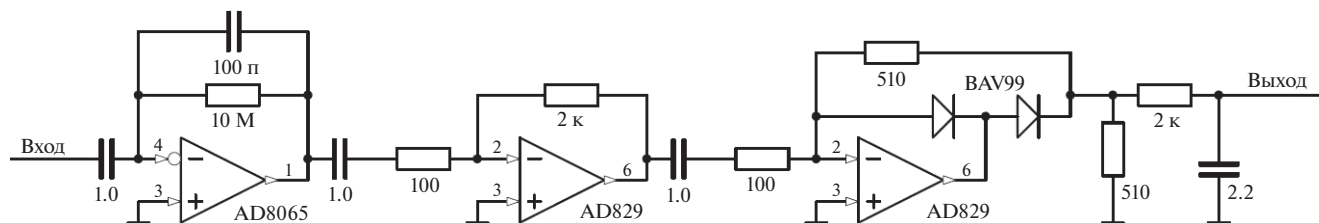


Рис. 4. Схема канала измерения емкости ФД.

чувствительность ФД в диапазоне длин волн от 400 до 1000 нм, используя светодиоды с разными спектрами излучения. В отличие от измерений темнового тока и емкости, которые проводятся для каждого ФД, отклик на световой сигнал контролируется выборочно для нескольких ФД из партии. Поэтому для удобства работы и возможности использования больших сигналов была изготовлена упрощенная версия стенда – без цепи измерения емкости и с меньшей на 4 порядка чувствительностью.

УПРАВЛЕНИЕ СТЕНДОМ

Управление стендом осуществляется при помощи встроенного контроллера, в качестве которого используется готовая плата Arduino Mega 2560 [3]. Плата имеет необходимое количество цифровых выходов для управления транзисторными ключами, 10-битный АЦП с диапазоном входных напряжений от 0 до 5 В и несколько аналоговых входов. Управление коммутатором осуществляется при помощи цифровых выходов платы контроллера, которые задают состояние ключей. Уровни сигналов для управления ключами передаются в контроллер от компьютера. Сигналы с выходов каналов измерения поступают на аналоговые входы и коммутируются на вход АЦП.

Для управления платой Arduino написана программа для контроллера ATmega2560 [4]. Для прошивки использовались встроенный в плату программатор и IDE Arduino. Были определены 34 цифровых выхода для управления коммутатором на полевых транзисторах (по 2 вывода на каждый из 16 + 1 каналов ФД) и 2 аналоговых входа для измерения емкости и темнового тока. Были написаны функции доступа к этим выводам. На цифровых выводах состояние “1” включает, а “0” выключает соответствующие полевые транзисторы в коммутаторе. Аналоговые выводы подключаются к встроенному в микроконтроллер АЦП. Измеренные значения передаются в персональный компьютер (ПК) для вычисления параметров. Для большей автономности и универсальности подключения к разным компьютерам использован USB-интерфейс, через который эмулируется работа COM-порта.

Программа на ПК, написанная на языке C++ [5], управляет режимами работы стенда: включает его в режим измерения емкости или режим измерения темнового тока, переключает коммутатор каналов. Также она позволяет проводить необходимые измерения, вычислять значения измеряемых величин с использованием калибровочных параметров и сохранять данные в файл. Вместе с измеренными данными в файл записываются отметки о текущем времени измерений и комментарии. В данной программе есть возможность изменять следующие настройки: величины максимальных и минимальных допустимых значений, калибровочные коэффициенты, название порта для подключения стенда к компьютеру, а также настройки подключения к ПК.

КАЛИБРОВКА СТЕНДА

Для калибровки канала измерения темнового тока была измерена зависимость выходного напряжения от входного тока. Для этого на вход стенда было подано постоянное напряжение через резистор сопротивлением 2 ГОм, т.е. 1 В соответствует току 0.5 нА. Изменяя напряжение на входе от 0 до 10 В, мы получили линейную зависимость и определили уточненный коэффициент преобразования тока в напряжение. В стенде, предназначенном для проверки отклика на световой сигнал, калибровка канала измерения тока проходила аналогично, только калибровочный ток подавался через сопротивление 200 кОм.

Для калибровки канала измерения емкости были измерены 4 конденсатора с известными номиналами. По результатам калибровки определена чувствительность стенда – 6.7 пФ/В.

С целью проверки стенда были измерены параметры фотодиода Hamamatsu S10993-05GT. Полученные значения в пределах точности измерения согласуются с паспортными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданы два автоматизированных многофункциональных стенда для массового измерения характеристик PIN-ФД. Один стенд позволяет прецизионно измерять темновой ток и емкость

ФД при поданном обратном смещении, второй – предназначен для проверки отклика на световой сигнал, рассчитан на большой входной ток и оборудован светодиодом со светофильтром.

Были достигнуты следующие характеристики:

– диапазон измерения темнового тока от 0 до 5 нА с точностью 0.05 нА;

– диапазон измерения емкости от 0 до 30 пФ при точности 0.15 пФ;

– относительная точность измерения отклика на световой сигнал 2%;

– время измерения параметров 16-ти ФД составляет 2 мин;

– дрейф составляет не более 1 младшего значащего разряда АЦП за 80 мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А.* Твердотельная фотоэлектроника. М.: Физматкнига, 2005.
2. *Hamamatsu Photonics K.K.* Si PIN photodiode S10993-05GT. Hamamatsu City, 2013.
3. <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardMega2560>
4. *Evans B.W.* Arduino Programming Notebook. San Francisco, 2007.
5. *Сван Т.* Программирование для Windows в Borland C++. М.: БИНОМ, 1995.