

ДИСТАНЦИОННО-УПРАВЛЯЕМЫЙ ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ТОКА ФОТОДИОДА

© 2011 г. Ю. В. Чичагов, Ю. В. Тубольцев, А. В. Медведев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Россия, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

E-mail: tuboltsev@mail.ioffe.ru

Поступила в редакцию 09.11.2010 г.

Описан дистанционно-управляемый широкополосный предварительный усилитель тока фотодиода с вторичным источником питания. Предусилитель обеспечивает измерение малых токов (около 100 нА) в полосе частот 1 кГц–15.6 МГц (при емкости фотодиода до 100 пФ). Его коэффициент усиления регулируется дистанционно. Оцифровка формы сигнала с предусилителя выполняется 12-разрядным аналого-цифровым преобразователем, находящимся на PCI-шине компьютера. Созданная установка предназначена для измерения временных спектров быстропротекающих оптических процессов. Предусилитель может использоваться для решения многих других физических задач, где необходима дистанционная регулировка усиления канала регистрации.

В ряде как фундаментальных, так и прикладных задач спектроскопии твердого тела необходимо контролировать быстропротекающие оптические процессы [1], например, при создании новых материалов для элементов оптической памяти или сверхбыстрых ограничителей световых потоков и модуляторов света на основе диоксида ванадия [2, 3].

В ФТИ им. А.Ф. Иоффе для исследования временной перестройки спектров брэгговской дифракции пленочных композитов на основе опал-диоксида ванадия [4] создана установка. В ней для измерения модулированных световых потоков отражения от композитов применяются фотодиоды G5851-21 фирмы Hamamatsu. Выбор этих фотодиодов обусловлен тем, что максимум их спектральной чувствительности лежит в области 1.5 мкм, т.е. в диапазоне Telecom-стандарта волоконных линий связи, для которых и разрабатываются перспективные импульсные модуляторы света на основе диоксида ванадия.

Фотодиоды обладают широкой полосой пропускания – 40 МГц, что позволяет исследовать динамику перестройки брэгговской дифракции в композициях опал-VO₂, протекающую в наносекундном диапазоне скоростей переключения. Низкий уровень темновых шумов (50 нА при комнатной температуре) благодаря высокому внутреннему сопротивлению (100 кОм) и относительно малой внутренней емкости (80 пФ) позволяет регистрировать слабо модулированные сигналы отражения от композитов. Исходя из характеристик этих фотодиодов необходимо было разработать предусилитель сигнала, позволяющий полностью реализовать их свойства.

Таким образом, разрабатываемый предусилитель должен без искажений усиливать импульсный сигнал с временем нарастания фронта ≤ 20 –30 нс, иметь шумовой ток не более 40–60 нА. Кроме того, для удобного встраивания в элементы оптической установки необходима компактность плат усилителя и обеспечение высокостабильного питания от компьютера, управляющего спектральным комплексом. Выходной сигнал с предусилителя должен быть согласован с встроенным в компьютер 12-разрядным аналого-цифровым преобразователем (амплитуда сигнала до 2.5 В) и работать на кабель с волновым сопротивлением 50 Ом.

Производитель фотодиода Hamamatsu Photonics предлагает несколько вариантов усилителей фототока [5–7], но все они не подходят по тем или иным причинам: широкополосный усилитель [5] имеет слишком большой собственный шумовой ток (50 пА/Гц^{1/2}) и не предназначен для источников с большой емкостью, а предусилители [6, 7] подходят по шумовым свойствам, но имеют малую полосу пропускания.

Исходя из перечисленных выше требований был разработан и испытан предусилитель тока фотодиода. Упрощенная схема предусилителя представлена на рис. 1. Предусилитель состоит из трех каскадов: входного малошумящего преобразователя ток–напряжение, широкополосного усилителя с управляемым коэффициентом усиления и мощного выходного усилителя.

Входной малошумящий преобразователь ток–напряжение выполнен на операционном усилителе ADA4899R (DA₁). Малые шумы (1 нВ/Гц^{1/2}, 2.6 пА/Гц^{1/2}) и широкая полоса пропускания (600 МГц на уровне –3 дБ при K = 1) данного опе-

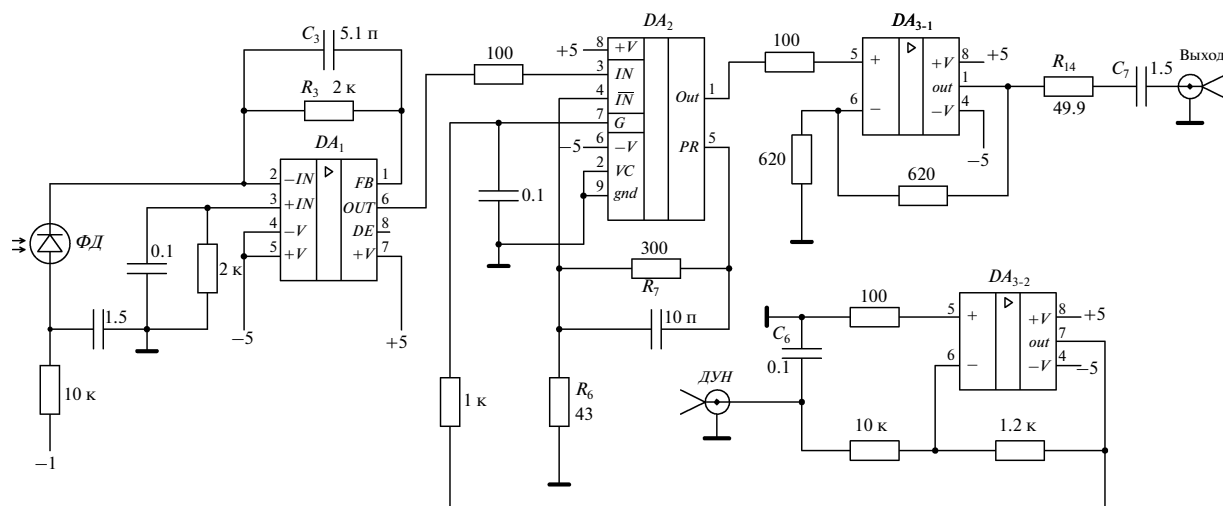


Рис. 1. Схема предусилителя тока фотодиода. DA_1 – ADA4899R, DA_2 – AD8337BCP, DA_3 – AD8017R; ФД – фотодиод, ДУН – вход дистанционного управляющего напряжения.

рационного усилителя дают возможность обеспечить оптимальное согласование каскада и его устойчивость при работе от источников сигнала с относительно большой емкостью.

Входная емкость $C_{вх}$ формирует в характеристике Бode преобразователя ток–напряжение полюс на частоте $f_{п} = 1/2\pi R_3 C_{вх}$, что может вызвать неустойчивость и самовозбуждение каскада на высоких частотах. Для компенсации этого эффекта в цепь обратной связи операционного усилителя добавляется небольшая емкость (в данном случае C_3), определяемая из выражения

$$C_3 = (C_{вх}/2\pi R_3 f_T)^{1/2},$$

где f_T – частота единичного усиления операционного усилителя. Так, при указанных параметрах цепи обратной связи R_3 – C_3 , компенсирующей влияние входной емкости, эквивалентная входная емкость может достигать 100 пФ при сохранении приемлемой полосы пропускания каскада

$$f_{п} = 1/2\pi R_3 C_3 = 15.6 \text{ МГц.}$$

Подробнее методика компенсации входной емкости рассмотрена, например, в [8].

Второй широкополосный каскад с коэффициентом усиления, управляемым напряжением, выполнен на микросхеме AD8337BCP (DA_2), имеющей малые входные шумы (2.2 нВ/Гц^{1/2}), широкую полосу пропускания (280 МГц на уровне –3 дБ) и номинальный диапазон регулирования коэффициента усиления G от 0 до 24 дБ (от 1 до 16 раз). При этом с помощью двух внешних резисторов можно установить требуемую величину усиления. В данном случае она определяется отношением $R_7/R_6 = 7$ и составляет

$$(1 + R_7/R_6) G = 8–128.$$

Управление усилением осуществляется дистанционно подачей на вход ДУН напряжения с

внешнего с потенциометра или цифроаналогового преобразователя. Для уменьшения влияния выходного сопротивления и фильтрации шумов на входе ДУН используется буферный усилитель $DA_{3,2}$ с конденсатором C_6 .

Выходной каскад $DA_{3,1}$ согласует выход устройства с коаксиальным кабелем и низкоомной нагрузкой. Цепь R_{14} – C_7 служит для подавления влияния низкочастотных помех и устранения смещения по постоянному току на выходе.

Для получения необходимых характеристик предусилителя – достаточно малых шумов при широкой полосе пропускания – была оптимизирована схема его питания и подключения в канале регистрации. Структурная схема измерения и регистрации тока фотодиода приведена на рис. 2.

Для оцифровки формы выходных сигналов предусилителя используется аналого-цифровой преобразователь (ADC) PCI-1714 [9]. Плата ADC расположена на PCI-шине компьютера. В том же компьютере имеются USB-разъемы, на которые выведено напряжение питания +5 В с максимальным током нагрузки 500 мА. Данное напряжение удобно использовать для питания предусилителя. Для уменьшения влияния помех и шумов первичного источника питания предусилителя целесообразно осуществлять с гальванической развязкой через вторичный источник напряжения ВИП.

Схема ВИП состоит из преобразователя напряжения DC–DC и двух линейных стабилизаторов (рис. 3). Двухваттный преобразователь AM2D-0509D (DA_1) обеспечивает гальваническую развязку входа и выхода ВИП и вырабатывает напряжения ± 9 В, из которых линейные стабилизаторы напряжения LM317EMP (DA_3) и LM337IMP (DA_2) формируют стабильные напряжения ± 5 В, а также значительно подавляют пульсации и помехи.

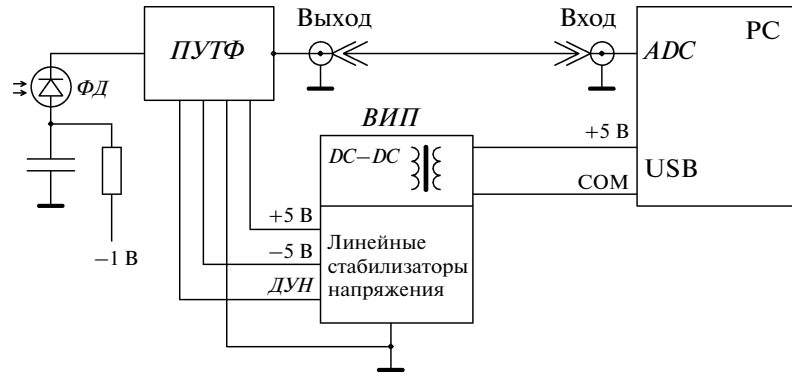


Рис. 2. Структурная схема измерения тока фотодиода. ПУТФ – предварительный усилитель тока фотодиода, ВИП – вторичный источник питания, PC – персональный компьютер.

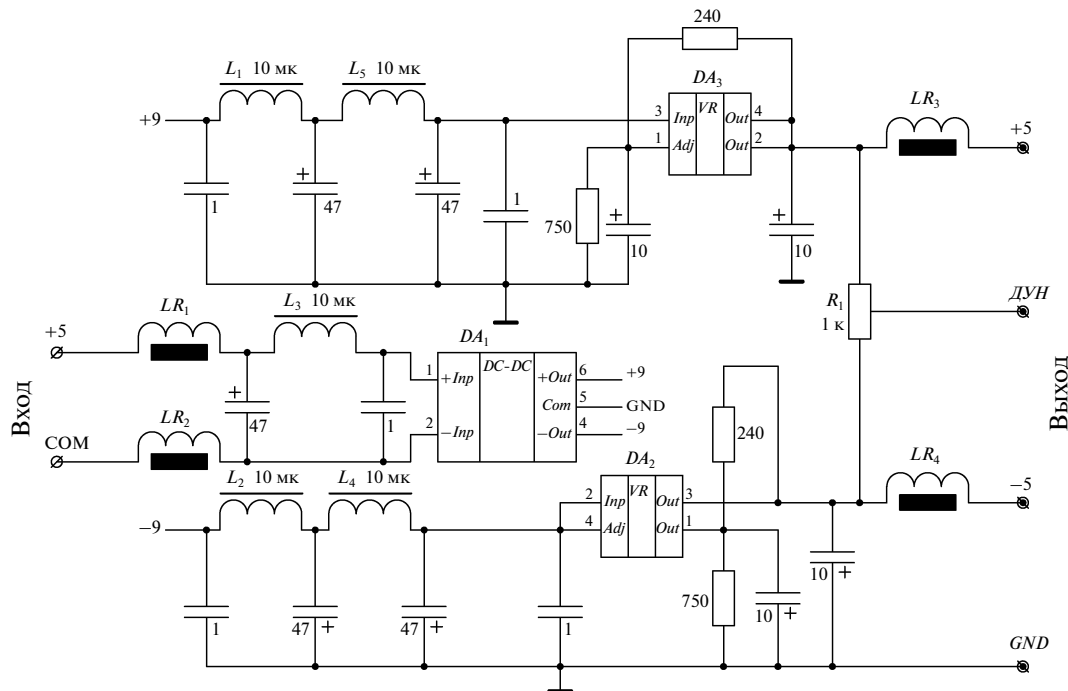


Рис. 3. Вторичный источник питания для предусилителя. DA_1 – AM2D-0509D, DA_2 – LM337IMP, DA_3 – LM317EMP; L_1 – L_5 – LQH32CN, LR_1 – LR_4 – BLM21.

Кроме того, для уменьшения шумов и пульсаций входных и выходных напряжений широко используются индуктивности для поверхностного монтажа LQH32CN (L_1 – L_5) и чип-ферритовые бусины BLM21 (LR_1 – LR_4).

В данной установке реализована ручная дистанционная регулировка коэффициента усиления предусилителя с помощью потенциометра R_1 , расположенного на плате ВИП. С него управляющее напряжение поступает на вход ДУН усилителя.

Основные характеристики предусилителя при работе с фотодиодом емкостью 80 пФ (G5851-21 фирмы Hamamatsu Photonics): эквивалентный шу-

мовой ток 60 нА; коэффициент преобразования тока 16–128 кОм; время нарастания выходного сигнала 23 нс; полоса пропускания на уровне –3 дБ – 1 кГц–15.6 МГц; максимальное напряжение выходного сигнала +3.6 В; диапазон управляющего напряжения ± 5 В; ток потребления по цепям ± 5 В не более 50 мА.

Конструктивно предусилитель выполнен на печатной плате, размещенной внутри цилиндрического экрана $\varnothing 30$ и длиной 70 мм, в торце которого имеется входное окно для фотодиода. Вторичный источник питания предусилителя выполнен в алюминиевом корпусе размерами 90 × 38 × 30 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cavalleri A., Rini M., Schoenlein R.W.* // J. Phys. Soc. Japan. 2006. V. 75. № 1. P. 011004-1.
2. *Данилов О.Б., Климов В.А., Михеева О.П. и др.* // ЖТФ. 2003. Т. 73. Вып. 1. С. 79.
3. *Karakurt I., Boneberg J., Leiderer P. et al.* // Appl. Phys. Lett. 2007. V. 91. Issue 9. P. 091907.
4. *Pevtsov A.B., Kurdyukov D.A., Golubev V.G. et al.* // Phys. Rev. B. 2007. V. 75. Issue 15. P. 153101.
5. Hamamatsu Photonics // http://sales.hamamatsu.com/assets/pdf/parts_C/c8366_kacc1067e03.pdf
6. Hamamatsu Photonics // http://sales.hamamatsu.com/assets/pdf/parts_C/C9051.pdf
7. Hamamatsu Photonics // http://sales.hamamatsu.com/assets/pdf/parts_C/C9329.pdf
8. Analog Devices // <http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-059.pdf>
9. Advantech Co. Ltd // <http://www.advantech.com/products/>