

Министерство образования и науки Украины
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Академия наук прикладной радиоэлектроники

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

1-й Международной конференции « ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ »

в рамках 3-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2008

Том III

30 сентября - 3 октября 2008г.

Харьков - Судак
2008

ФОТОПРИЕМНОЕ УСТРОЙСТВО ИЗМЕРИТЕЛЯ АБСОЛЮТНОГО РАССТОЯНИЯ ДЛЯ ГЕТЕРОДИННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ

Бабич В.М.⁽¹⁾, Татьяна Д.Н.⁽²⁾, Мачехин Ю.П.⁽³⁾

⁽¹⁾ННЦ «Институт метрологии», Харьков, ул. Мироносицкая, 42, тел. 704-97-83,
e-mail: optolas@metrology.kharkov.ua

⁽²⁾ИРЭ НАНУ, Харьков, ул. Ак. Проскуры, 16, тел. 720-33-46,
e-mail: optolas@metrology.kharkov.ua

⁽³⁾Харьковский национальный университет радиозлектроники, Харьков, пр. Ленина, 14,
тел. 702-14-84, e-mail: yuri_m49@mail.ru

The developed photoreceiver block for the channel of the reflected signal enters in the complement of transceiver of absolute measuring device of distance and intended for the heterodyne optical signal reflected from a purpose shaping, in the signal of intermediate frequency in the range of radio waves. The optical signal shaping is carried out through photodetecting by photodiode of visual signals of semiconductor laser-transmitter and HeNe laser-geterodine.

Вступлення

Разработанный фотоприемный блок для канала отраженного сигнала входит в состав приемопередатчика абсолютного измерителя дальности и предназначен для гетеродинного преобразования оптического сигнала, отраженного от цели, в сигнал промежуточной частоты в диапазоне радиоволн. Преобразование оптического сигнала осуществляется при помощи фотодетектирования фотодиодом оптических сигналов полупроводникового лазера-передатчика и HeNe лазера-гетеродина. Гетеродинная схема преобразования особенно полезна для детектирования слабых оптических сигналов, когерентных с сигналом лазера-гетеродина. Его принцип работы основан на квадратической зависимости тока фотодиода от электрического поля оптического излучения на входе. При нормальном падении двух электромагнитных волн одинаковой поляризации с частотами ω_1 и ω_2 на приемную площадку фотодиода их поля складываются:

$$E_i = E_1 \cos(\omega_1 t) + E_2 \cos(\omega_2 t), \quad (1)$$

среднее значение выходного сигнала фотодиода на промежуточной частоте $(\omega_1 - \omega_2) = \omega_{IF}$, выраженное в долях составляющей постоянного тока, и при обычном условии использования лазера-гетеродина с $E_2 \gg E_1$, равно

$$r_{IF} = 2 \frac{E_1}{E_2} r_{DC} \cos(\omega_{IF} t). \quad (2)$$

Тогда среднее значение квадрата выходного сигнала фотодиода на промежуточной частоте будет равно:

$$\langle r_{IF}^2 \rangle = 2 \frac{P_1}{P_2} r_{DC}^2, \quad (3)$$

а среднее значение квадрата дробового шума фотодиода r_N , на который подано напряжение обратного смещения, дается хорошо-известной формулой:

$$\langle r_N^2 \rangle = 2e \cdot r_{DC} \cdot \Delta f. \quad (4)$$

Эффективность метода преобразования оценивается отношением сигнал/шум (по мощности):

$$(S/N)_{power} = \frac{\langle r_{IF}^2 \rangle}{\langle r_N^2 \rangle} = \frac{P_1}{e \cdot \Delta f} \left(\frac{r_{DC}}{P_2} \right), \quad (5)$$

и поскольку величину r_{DC} определяет большая мощность лазера-гетеродина, то ее можно выразить через квантовую эффективность η :

$$r_{DC} = \frac{\eta \cdot e}{h\nu} P_2,$$

и выражение (5) принимает вид:

$$(S/N)_{\text{power}} = \frac{\eta \cdot P_1}{h\nu \cdot \Delta f} \quad (6)$$

При снижении отношения сигнал/шум до $S/N=1$ входная мощность отраженного сигнала составляет $P_1 = \frac{h\nu \cdot \Delta f}{\eta}$; ее называют минимальной детектируемой мощностью

P_{min} . При рабочей частоте лазера-гетеродина $4,74 \times 10^{12}$ Гц и квантовой эффективности фотодиода 65% минимальная детектируемая мощность P_{min} составляет $0,12 \times 10^{-9}$ Вт.

Если два оптических пучка не параллельны, не освещают один и тот же участок приемной площадки фотоприемника или падают под косым углом, тогда величина отношения сигнал/шум и минимальной детектируемой мощности отличаются от указанных выше. Это обязывает производить тщательную юстировку между пучками лазера-гетеродина и отраженного сигнала для сохранения постоянства фазы по всей поверхности приемной площадки фотодиода. Кроме того, максимально достижимое отношение сигнал/шум ограничено также искажениями фронта отраженной волны при распространении ее в атмосфере. Поэтому расчетные значения нижней границы мощности входного сигнала должны быть увеличены с учетом неидеальности условий измерений; для расчета коэффициента передачи сигнала от входа до выхода всего устройства принят уровень мощности входного сигнала в 10^{-7} Вт.

1. Структура и составные узлы блока

Блок-схема разработанного фотоприемного блока имеет вид, представленный на Рис.1. В ее состав входят преобразователь оптического сигнала видимого диапазона в сигнал промежуточной частоты в диапазоне радиоволн, трансимпедансный усилитель, быстродействующий дифференциальный усилитель, высоковольтный источник напряжения смещения и источник питания.



Рис.1. Блок-схема фотоприемного блока.

1.1. Преобразователь оптического сигнала

В качестве первичных преобразователей оптического сигнала видимого диапазона интерес представляют кремниевые PIN-фотодиоды и кремниевые лавинные фотодиоды, имеющие высокий квантовый выход ($> 65\%$), динамический диапазон (120 дБ) и широкую полосу частот пропускания ($\sim 1,5-2$ ГГц). Использование эффекта лавинного умножения носителей заряда позволяет усилить сигнал на промежуточной частоте в сотни раз.

Техническим требованиям разработки удовлетворяет модуль AD500-9-400M-TO5 фирмы Pacific Silicon Sensor Inc., представляющий собой кремниевый лавинный фотодиод AD500-TO52i и трансимпедансный усилитель, герметически смонтированные в корпусе TO-5 (Рис.2). Лавинный фотодиод AD500-TO52i имеет диаметр приемной площадки 500 мкм, темновой ток 1,0 нА, собственную емкость 1,2 пФ, время включения 550 пикосекунд, частоту среза (по уровню -3 дБ) 400 МГц, эквивалентную мощность шума 2×10^{-14} Вт/√Гц.

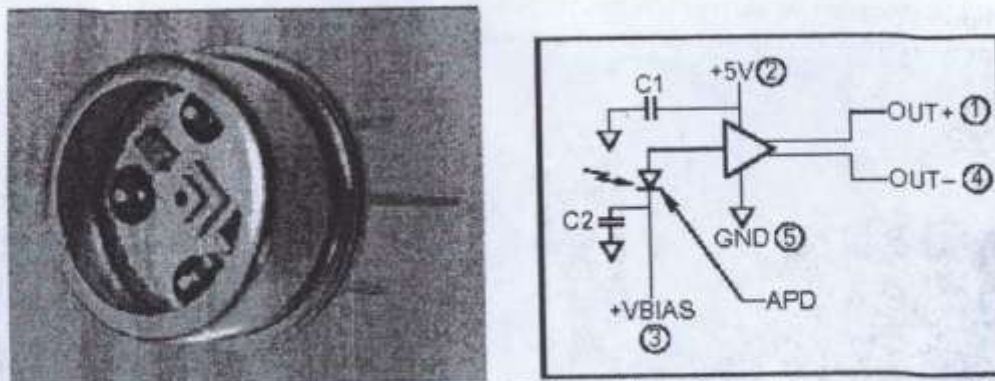


Рис.2. Модуль AD500-9-400M-TO5 фирмы Pacific Silicon Sensor Inc. в корпусе TO-5 и схема его включения.

На выходе усилителя формируется дифференциальный сигнал, который позволяет обеспечить более высокое соотношение сигнал/шум при измерении слабых сигналов.

Частотная характеристика модуля AD500-9-400M-TO5 представлена на Рис.3 и ограничена сверху частотой 400 МГц по уровню -3 дБ, хотя полоса частот трансимпедансного усилителя превышает 1500 МГц.

Для использования эффекта лавинного умножения носителей заряда на фотодиод необходимо подать положительное напряжение смещения, которое не должно превышать напряжение пробоя для данного фотодиода, равное 260 В. Пробивное напряжение ЛФД может превышать рабочее напряжение смещения всего на несколько вольт, поэтому необходимо соблюдать осторожность при установке рабочего режима работы фотодиода.

1.2 Трансимпедансный усилитель

Усиленный выходной ток фотодиода преобразуется в выходное напряжение трансимпедансным усилителем. Выходное сопротивление трансимпедансного усилителя равно 50 Ом, что требует согласования с последующим каскадом для предотвращения потерь в величине передаваемого сигнала.

1.3 Высоковольтный источник напряжения смещения

Для стабильной работы лавинного фотодиода необходимо использовать стабилизированные высоковольтные источники напряжения смещения и иметь низкий уровень шумов, а это требует разработки специальных заказных схем и, обычно, сопряжено с большими габаритами и большими финансовыми затратами. Однако, модульные источники высокого напряжения CA05P серии CA (EMCO High Voltage Corp.) позволяют заменить обычные крупногабаритные и дорогостоящие заказные источники напряжения.

1.4 Дифференциальный усилитель

Для последующего усиления дифференциального сигнала промежуточной частоты в полосе от 1 МГц до 240 МГц требуется быстродействующий дифференциальный усилитель, обеспечивающий работу с низкоомной нагрузкой 50 Ом и заданным КСВН. Дифференциальный усилитель позволяет также получить прирост динамического диапазона на 6 дБ и обеспечить хорошее подавление напряжения шумов общего типа при условии правильного проектирования проводников для передачи дифференциального сигнала.

Коэффициент передачи дифференциального усилителя программируется единственным резистором R_G , который подключается к выводам 2 и 5. Его величина может принимать значение от 0 дБ до 26 дБ в зависимости от номинального значения резистора R_G и номинального значения резистора нагрузки R_L .

3. Конструкция фотоприемного блока

Фотоприемный блок конструктивно оформлен в виде двух узлов: собственно приемная часть и источник питания. Общий вид фотоприемных блоков для двух каналов интерферометра представлен на фотографиях (см. Рис.3а и Рис.3б). Приемный узел размещен в корпусе,

который установлен на юстировочном устройстве, позволяющем перемещать приемный узел вверх/вниз и вправо/влево относительно входного оптического пучка.

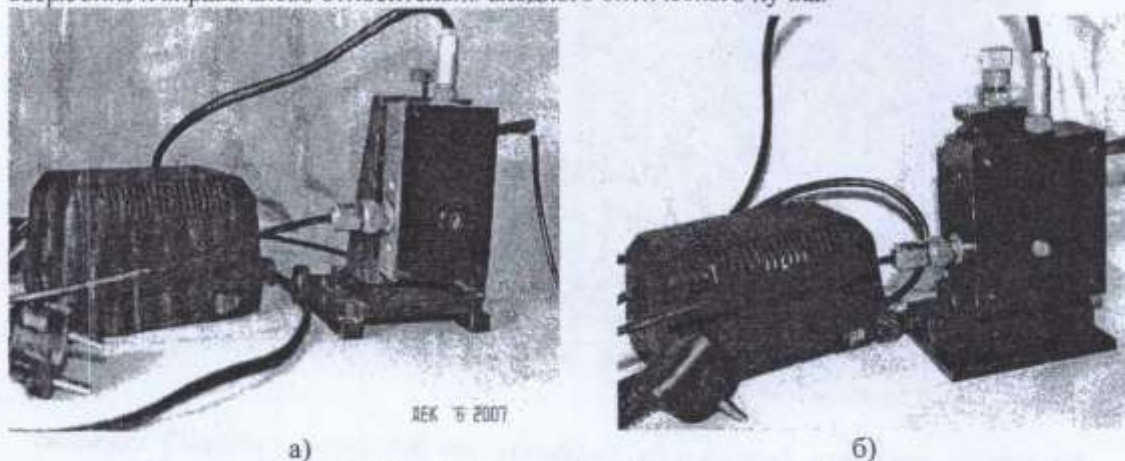


Рис.3. Фотографии фотоприемных блоков.

Результаты исследования схемы.

Проведены исследования электронной схемы усиления фотоприемника опорного канала. Сняты амплитудно-частотные характеристики. Результаты исследований зафиксированы в четырех протоколах измерений и показаны на рисунке 11.



Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика электронной схемы усиления фотоприемника опорного канала.

Измеренная амплитудно-частотная характеристика электронной схемы усиления фотоприемника опорного канала показала, что полоса пропускания сигнала на уровне -3дБ находится в промежутке частот от 27 МГц до 325 МГц. Таким образом, полоса пропускания сигнала составляет 298 МГц, что удовлетворяет требованиям технического задания.

Работа выполнена при финансовой поддержке по проекту УНТЦ №3377.