

УДК 621.384.3+621.383.53

НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Р.А. СИМОНЯН

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ИК ДИАПАЗОНА

Предложено устройство для прецизионного измерения падающей мощности ИК-диапазона. Приводится структурная схема устройства, обеспечивающего высокочувствительную зависимость между частотой выходных импульсов и величиной мощности падающего излучения. Представлены технические данные устройства и области применения.

Предложено устройство для прецизионного измерения падающей мощности ИК-диапазона. Приводится структурная схема устройства, обеспечивающего высокочувствительную зависимость между частотой выходных импульсов и величиной мощности падающего излучения. Представлены технические данные устройства и области применения.

Ил. 1 Библиогр. 4 назв.

A high-accuracy device is described for measurement of IR radiation power. The structural diagram of the device which provides high linearity between the incident IR power and output pulse frequency is given. Technical characteristics and application areas of the device are specified in the paper.

Ил. 1. Ref 4

Как известно [1,2], существуют высокочувствительные устройства для приема падающей мощности ИК-диапазона на основе канального транзистора с р-п-переходом. При этом применяется принцип построения приемного устройства в режиме накопления заряда (РНЗ) в самом элементе, что позволяет существенно повысить чувствительность фотоприемника и расширить динамический диапазон [3].

В настоящей работе используется фотоприемное устройство, в котором заряды, генерируемые ИК-излучением, нейтрализуют заряд на р-п-переходе канального транзистора, полученный электрическими импульсами.

Структурная схема устройства (рис.) состоит из: 1 - канального фототранзистора с р-п - переходом, имеющего окно в корпусе для падающей мощности, R- нагрузки в цепи стока канального транзистора, 1 - усилителя переменного тока, 2 - детектора экстремального значения, 3 - дифференциального усилителя, 4 - источника опорного напряжения постоянного тока, 5 - преобразователя напряжение - частота, 6 - формирователя отрицательных импульсов, 7 - диода с малой утечкой.

Устройство работает следующим образом: измеряемое излучение через окно корпуса падает на р-п-переход канального фототранзистора Т (КФТ). При этом р-п-переход разделяет генерируемые излучением неравновесные носители, образуя в цепи затвора фототок, который уменьшает отрицательное смещение за счет отрицательных импульсов с выхода формирователя импульсов 6. Это вызывает изменение тока через канал и уменьшает напряжение на стоке фототранзистора по экспоненциальному закону. При

поступлении следующего импульса напряжение на стоке принимает исходное значение. Таким образом, на стоке фототранзистора имеется пилообразное напряжение, обладающее экспоненциально падающими и почти мгновенно нарастающими участками, которое после усиления подается к входу детектора экстремального значения 2. Выходное значение которого пропорционально амплитудному значению пилообразного напряжения и подается к одному входу дифференциального усилителя 3. Ко второму входу усилителя 3 подключен выход источника опорного напряжения 4. Выход дифференциального усилителя соединен со входом преобразователя напряжение-частота. Выходное напряжение через формирователь отрицательных импульсов стабильной амплитудой и длительности подается к затвору КФТ. Для устранения утечки зарядов через выход формирователя затвор КФТ соединен с выходом блока 6 через диод Д, имеющий малое значение токов утечки.

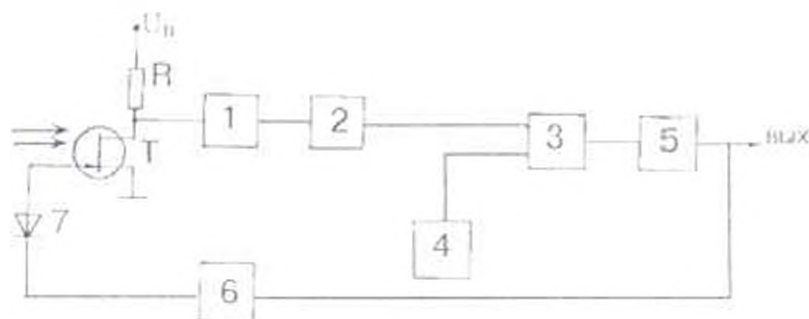


Рис.

Весь цикл работы устройства можно разделить на два полупериода - полупериод заряда емкости перехода затвор - исток отрицательными короткими импульсами, когда диод Д открыт и отрицательный потенциал затвора восстанавливается, и полупериод измерения, когда диод Д закрыт (затвор фактически отсоединен с выхода формирователя 6), происходит разряд фототоком падающего излучения зарядов емкости р-п-перехода затвор - исток. Фактически структурная схема стабилизирует выходное напряжение детектора экстремального значения на уровне выходного напряжения источника опорного напряжения 4 за счет изменения частоты следования импульсов. Пренебрегая малыми токами утечки в переходе затвор-исток КФТ и диода Д, определим зависимость частоты следования импульсов от мощности падающего излучения ИК - диапазона при стабильном уровне напряжения на выходе детектора экстремального значения 2. При падении излучения на р-п - переход генерируется фототок [4]

$$I_f = \frac{c(1-R)\eta P}{h\nu} \quad (1)$$

где R - коэффициент отражения мощности от поверхности, η - квантовая эффективность, $\eta = 0,8, 0,9$; h - постоянная Планка; ν и P - частота и мощность падающего излучения, e - заряд электрона.

При заряде разряженной емкости перехода затвор - исток от напряжения U_2 до U_1 необходимое количество зарядов в импульсе представлено в виде

$$\Delta q = C(U_1 - U_2), \quad (2)$$

где C - емкость перехода затвор-исток.

Средняя величина тока заряда р-п - перехода равна

$$I_1 = fC(U_1 - U_2), \quad (3)$$

где f - частота следования импульсов, заряжающих переход затвор-исток.

В стационарном режиме работы, когда на входах дифференциального усилителя 4 напряжения примерно одинаковы, фототок и ток заряда емкости перехода затвор-исток равны ($I_1 = I_{\phi}$), т.е.

$$\frac{e(1-R)\eta P}{h\nu} = fC(U_1 - U_2), \quad (4)$$

откуда

$$f = \frac{e(1-R)\eta P}{h\nu C(U_1 - U_2)}, \quad (5)$$

Таким образом, для зависимости частоты от мощности падающего излучения имеем

$$f = kP, \quad (6)$$

где

$$k = \frac{e(1-R)\eta}{h\nu C(U_1 - U_2)}. \quad (7)$$

Так как входящие в (7) величины постоянны (R, η, e, h, ν, C), а разность $(U_1 - U_2)$ поддерживается строго постоянной, получается линейная зависимость между частотой на выходе преобразователя напряжение-частота и мощностью падающего излучения.

Как уже отмечено, токи утечки р-п-переходов фототранзистора Т и диода Д пренебрегались при выводе формулы (6). Для устранения влияния этих токов на точность измерения, в особенности, при измерении малых уровней мощности ИК-излучения, диод и транзистор установлены в термостат с точностью термостатирования $\pm 0,1^\circ\text{C}$. В разработанном устройстве в качестве усилителя 1 применялся однокаскадный усилитель, собранный на операционном усилителе К574УД1А. Для детектора экстремального значения была разработана специальная схема, в которой сочетаются быстроедействие и высокая точность при выделении значения напряжения пилообразной формы. Дифференциальный усилитель 3 реализован на одном операционном усилителе К140УД6, источник опорного напряжения 4 регулируемый, собран по схеме параметрического стабилизатора на термокомпенсированном стабилитроне КС191Ф.

Преобразователь напряжение-частота реализован по схеме управляемого генератора прямоугольных импульсов на основе микросхемы КР1108ПП1, обеспечивающей высокую линейность преобразования с широким диапазоном выходных частот.

Формирователь импульсов 6 реализован на микросхеме интегрального таймера КР1006ВИ1 с преобразователем полярности на биполярных транзисторах высокой частоты.

Для измерения частоты с выхода преобразователя напряжение-частота применялся частотомер с кварцевой калибровкой и четырехразрядной индикацией измеряемого параметра. В качестве диода Д применялся р-п-переход полевого транзистора КП303Е с током утечки затвора менее 0,1 мкА, в качестве канального фототранзистора - транзистор 2Т903 А, имеющий ток утечки затвора порядка 0,1 мкА. Для доступа падающей мощности к р-п-переходу в корпусе сделано специальное окно. С целью измерения параметров фотоприемного устройства и исследования временной и температурной стабильности в качестве источника ИК излучения применены как вольфрамовая лампа, так и излучающий диод АЛ107. Для питания лампы применялся высокостабильный источник тока (коэффициент стабилизации тока 0,01%). Для повышения стабильности излучающей мощности корпус диода термостатирован ($\Delta T \leq 0,1^\circ\text{C}$).

Основные параметры измеряемого устройства: нижний предел измеряемой мощности 10^{-10} Вт; длина волны измеряемого излучения $\sim 0,95$ мкм; длительность периода заряда ≤ 1 мкс; длительность экспоненциального участка до 100 мкс.

Благодаря высокой точности и чувствительности измеритель может применяться как для ИК-астрономии и калибровки источников ИК-энергии, так и для изготовления точных и высокочувствительных дистанционных измерителей температур, в особенности, для измерения и контроля технологических процессов (рост высокотемпературных кристаллов, термической обработки материалов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирзабекян Э.Г., Абрамян Ю.А., Симонян Р.А., Арамян Н.С. Приемники ИК-излучения с аномально высокой чувствительностью. ДАН АрмССР. - 1981. - Т 72. - С. 28.
2. Симонян Р.Г., Арамян Н.С. Исследование фотоэлектрических свойств канального приемника ИК-излучения // Радиотехника и электроника. - 1984. - Т. 29. № 4. - С. 810-812.
3. Веклер Г.П. Пути создания фотополупроводниковых устройств передачи изображения на основе использования режима накопления заряда // Электроника. - 1967. - № 9. - С. 19-23.
4. Ван дер Зил А. Шумы при измерениях. - М. Мир, 1979. - 154 с.

Ин-т радиофизики и
электроники НАН РА

19.06.1997