

ОПТИЧНІ, ОПТОЕЛЕКТРОННІ І РАДІАЦІЙНІ СЕНСОРИ

OPTICAL AND OPTOELECTRONIC AND RADIATION SENSORS

УДК 621.382

АНАЛОГОВИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СВЕТА НА ОДНОПЕРЕХОДНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

И. М. Викулин, Ш. Д. Курмашев, А. В. Веремьева
Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова
Одесса, 65029, Украина, ул. Кузнечная, 1.
Тел. 723-61-18. E-mail: kurmash12@gmail.com

АНАЛОГОВИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СВЕТА НА ОДНОПЕРЕХОДНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

И. М. Викулин, Ш. Д. Курмашев, А. В. Веремьева

Анотация. Рассмотрен принцип действия аналогового преобразователя света на основе генератора на однопереходном транзисторе с токозадающим элементом и конденсатором в эмиттерной цепи. Выходным параметром является частота генерации как функция интенсивности света. Максимальная чувствительность достигается, когда в качестве токозадающего элемента используется биполярный фототранзистор, а емкость конденсатора снижается с уменьшением напряжения.

Ключевые слова: аналоговый преобразователь, фотоприемник, однопереходной транзистор, генератор

АНАЛОГОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ СВІТЛА НА БАЗІ ОДНОПЕРЕХІДНОГО ТРАНЗИСТОРА

И. М. Викулин, Ш. Д. Курмашев, А. В. Веремьева

Анотація. Розглянуто принцип дії аналогового перетворювача світла на базі генератора на одноперехідному транзисторі із струмозадаючим елементом і конденсатором в емітерному ланцюжку. Вихідним параметром є частота генерації як функція інтенсивності світла. Максимальна чутливість досягається, коли в якості струмозадаючого елемента використовується биполярний фототранзистор, а ємність конденсатора знижується із зменшенням напруги.

Ключові слова: аналоговий перетворювач, фотоприймач, одноперехідний транзистор, генератор

ANALOG CONVERTER OF LIGHT ON THE BASE OF UNIJUNCTION TRANSISTOR

I. M. Vikulin, Sh. D. Kurmashev, A. V. Veremyova

Abstract. The principle of action of the analog converter of light based on the base of unijunction transistor oscillator with current driving element and the capacitor in the emitter circuit is shown. The output parameter is the frequency of oscillation as a function of light intensity. Maximum sensitivity is achieved when the element is used as a current driving bipolar phototransistor and the capacitance decreases with decreasing voltage.

Keywords: analog converter, photodetector, unijunction transistor, oscillator

Однопереходные транзисторы (ОПТ) являются одним из известных типов негатронов – приборов с отрицательным дифференциальным сопротивлением [1]. Помимо обычных ОПТ (двухбазовых диодов), в настоящее время широкое применение нашли программируемые ОПТ, оптроны на фото-ОПТ, интегрированные с тиристором ОПТ. Однопереходные транзисторы получили широкое применение в различных устройствах автоматики, импульсной и измерительной техники - генераторах, пороговых устройствах, делителях частоты, реле времени, схемах фазового управления и т. д. Перспективными представляются возможности их применения в линиях связи, измерительных устройствах, приборах ядерной и физической электроники, лазерных дальномерах и локаторах, видеоимпульсных радарх, оптических и импульсных рефлектометрах и др.

Хотя основная функция ОПТ такая же, как и у переключателя, основным функциональным узлом среди большинства схем на ОПТ является релаксационный генератор. Особого внимания заслуживают функциональные схемы на ОПТ в интегральном исполнении в качестве фотоприемников с частотным выходом. Проблемой при этом является необходимость достижения высокой фоточувствительности. В настоящей работе изучены некоторые возможности увеличения чувствительности таких аналоговых преобразователей света.

Однопереходной транзистор (ОПТ) представляет собой брусок полупроводника с двумя омическими контактами на концах

и эмиттерным переходом между ними (рис. 1а). Входная вольтамперная характеристика (ВАХ) ОПТ имеет участок отрицательного дифференциального сопротивления S-типа (рис. 1б). Это означает, что в определенных условиях входное напряжение или сигнал могут уменьшаться даже при возрастании выходного тока через нагрузку. Участок S-типа образуется следующим образом [1]. Если к базам приложено напряжение $U_{об}$, то часть его U_1 падает на нижней части базы длиной l_1 с сопротивлением r_1 . С другой стороны на эмиттер подается входное напряжение U_3 . Результирующее напряжение на эмиттерном $p-n$ -переходе $U_{pn} = U_3 - U_1$. При напряжении $U_3 < U_1$ $p-n$ -переход включен в обратном направлении и через него протекает малый обратный ток. С увеличением U_3 , как только это напряжение превысит U_1 , $p-n$ -переход включится в прямом направлении и начнет инжектировать в базу дырки. Сопротивление нижней части базы r_1 , а соответственно и напряжение U_1 уменьшаются. Это обеспечивает дальнейший рост напряжения U_{pn} , увеличение инжекции и т.д. Такой самоускоряющийся процесс приводит к скачкообразному росту тока эмиттерного $p-n$ -перехода и уменьшению U_3 до U_0 за счет увеличения падения напряжения на сопротивлении R_3 . Напряжение U_1 на ВАХ принято называть напряжением включения, а U_0 остаточным напряжением.

Генератор релаксационных колебаний на основе ОПТ (рис. 2) характеризуется минимальным количеством элементов. При включении источника питания с напряжением E конденсатор C заряжается через сопротивление R_3 до напряжения $U_3 = U_1$, после чего

эмиттерный $p-n$ -переход включается и конденсатор разряжается до напряжения U_0 , а затем процесс повторяется. Переменное напряжение можно снимать либо с конденсатора, либо, чаще всего, с резистора R_1 . Период и частота выходного сигнала определяются как

$$T = \frac{1}{f} = R_3 \cdot C \cdot \frac{\ln(E - U_0)}{E - U_1} \quad (1)$$

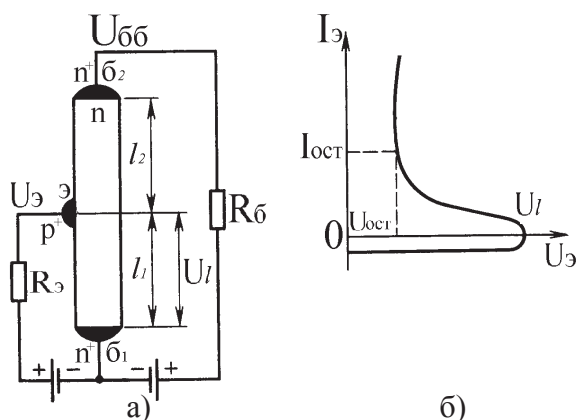


Рис. 1. Схема включения ОПТ (а), входная ВАХ (б)

При использовании вместо R_3 элемента, ток через который I_3 слабо зависит от напряжения (генератор тока), формула (1) упрощается и

$$f = \frac{I_3}{C(U_1 - U_0)} \approx \frac{I_3}{CU_1} \quad (2)$$

Генератор на ОПТ может быть использован в качестве фотоприемника. При освещении нижней части базы ее сопротивление r_1 и напряжение U_1 уменьшаются, а частота генерации f увеличивается. В экспериментальных исследованиях использовали промышленный ОПТ типа КТ117, входящий в качестве фотоприемника в оптрон типа ЗОТ102 [2]. При освещении базы такого ОПТ от светодиода типа АЛ119 интенсивностью излучения до 10 мВт на-пряжение U_1 уменьшалось в 5...10 раз. На рис. 3 (гр. 1) показана зависимость частоты генератора на ОПТ от интенсивности освещения. В соответствии с (2) уменьшение U_1 приводит к росту частоты.

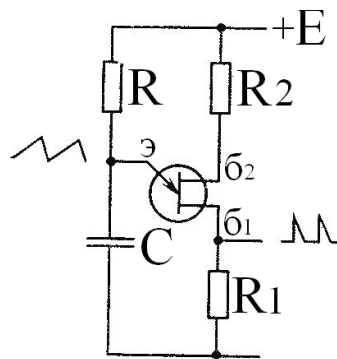


Рис. 2. Схема релаксационного генератора на ОПТ

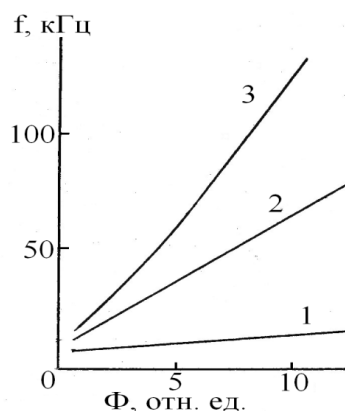


Рис. 3. Зависимость частоты генерации от интенсивности освещения. Элементы во входной цепи: 1 – резистор R_3 и конденсатор C ; 2 – биполярный фототранзистор и конденсатор; 3 – биполярный фототранзистор и конденсатор, емкость которого зависит от напряжения

Для увеличения чувствительности фотоприемника вместо резистора R_3 можно включить биполярный фототранзистор, ток через который $I_3 = \beta I_{к0}$, где β – коэффициент усиления тока (типичное значение 20...100), $I_{к0}$ – обратный ток коллекторного перехода. Отмечено, что одновременное уменьшение U_1 ОПТ и рост I_3 в (2) в несколько раз увеличивают зависимость частоты f от светового потока. На рис. 3 (гр. 2) приведена зависимость $f(\Phi)$ для генератора на ОПТ с биполярным $n-p-n$ -фототранзистором в эмиттерной цепи, конструктивно встроенным в область p -эмиттера ОПТ.

Увеличения чувствительности фотоприемника можно достичь использованием в схеме генератора на ОПТ конденсатора, емкость кото-

рого C снижается с уменьшением напряжения на нем [3]. Максимальное напряжение, при котором конденсатор в схеме генератора начинает разряжаться, равно U_1 . При освещении ОПТ напряжение U_1 уменьшается, одновременно уменьшается емкость C . Это приводит к уменьшению знаменателя в (2) уже по двум параметрам и усилению зависимости частоты f от светового потока. На рис.3 (гр. 3) представлен экспериментальный график зависимости $f(\Phi)$ для генератора на ОПТ с МДП-конденсатором на основе структуры Al-SiO₂-Si. Пластины кремния окисляли при 1000 °С, вакуумным напылением формировали алюминиевый электрод. Фоточувствительность генератора с таким конденсатором в 3...5 раз выше, чем при использовании конденсатора с емкостью, не зависящей от напряжения.

Отметим, что технология изготовления всех элементов генератора не отличается от технологии микроэлектронных приборов, генератор может быть изготовлен в виде единой микросхемы.

Показано, что чувствительность фотоприемника на основе генератора на однопереходном транзисторе определяется токозадающим элементом и конденсатором в эмиттерной цепи. Максимальная чувствительность достигается, когда в качестве токозадающего элемента используется биполярный фототранзистор, а емкость конденсатора снижается с уменьшением напряжения.

Литература

1. Дьяконов В .П. Однопереходные транзисторы и их аналоги. Теория и применение. М.: СОЛОН-Пресс, 2008. – 240 с.
2. Викулин И. М., Стафеев В. И. Физика полупроводниковых приборов.- Москва: Радио и связь.- 1990.- 264 с.
3. Баюков В. В. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. Справочник - М.: Энергоатомиздат, 1987.- 744 с.
4. Патент України № 7 6 5 9 3 «Фотоприймач», МПК H011 31/10 // Вікулін І. М., Курмашев Ш. Д. Пріор. 19.06.2012 р., вид. 10.01.2013 р., бюл. №1, 2013 р.