

Ш.Т. Связь фото-вольтаического эффекта в солнечных элементах с инжекционно-вольтаическим эффектом в многослойных полупроводниковых структурах// Гелиотехника №, 200. С. 15-21.

4. Арипов Х.К., Алимова Н.Б., Бустанов Х.Х., Обьедков Е.В., Тошматов Ш.Т. Адаптированные электронные переключающие ячейки с питанием от солнечного элемента// Гелиотехника №2, 2009. С. 8-12.

УДК 621.362:621.383.5

## УПРАВЛЯЕМЫЙ ГЕНЕРАТОР НАПРЯЖЕНИЯ, РАБОТАЮЩИЙ В ИНЖЕКЦИОНО-ВОЛЬТАИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

**Алимова Н.Б., Джумамуродов К.**

Ташкентский государственный аграрный университет

E-mail: nali71@yandex.ru

*Аннотация:* В статье исследована возможность использования биполярного транзистора, в качестве управляемого генератора напряжения. Предложена реализация управляемого генератора напряжения на основе трехструктурного инжекционно-вольтаического транзистора. Результаты получены путем моделирования работы биполярного транзистора в инжекционно - вольтаическом режиме с использованием аппаратно – программной среды Multisim 10.1.

*Ключевые слова:* управляемый генератор напряжения, инжекционно-вольтаический эффект, трехструктурный инжекционно-вольтаический транзистор, фотоэлектрическая станция.

**Введение.** Теоретический анализ связи фото - вольтаического эффекта в солнечных элементах с инжекционно - вольтаическим эффектом в многослойных полупроводниковых  $p-n$  структурах и перспективы создания элементной базы устройств электроники приводятся в [1-3].

В полупроводниковой микроэлектронике широко используются генераторы стабильного напряжения [4], задача которых поддерживать величину выходного напряжения неизменной при изменениях значения нагрузки и входного, (питающего) напряжения. Идеальный генератор стабильного напряжения должен иметь на вольтамперной характеристике вертикальный участок, характеризующийся бесконечно малым значением динамического сопротивления. Генераторы стабильного напряжения, используемые в микроэлектронике, являются маломощными. Мощные управляемые генераторы стабильного напряжения на основе инжекционно - вольтаических биполярных транзисторов не разработаны. Вместе с тем, биполярный транзистор в инжекционно-вольтаическом режиме работы уже является управляемым генератором напряжения, на основе которого можно создать полупроводниковые устройства устойчивые при повышении рабочих температур и к нестабильности питания с

высокими значениями выходного тока.

**Метод исследования.** Управление генератором напряжения на основе биполярного транзистора в инжекционно-вольтаическом режиме можно осуществлять при заданном значении источника напряжения  $E_K$  (рис. 1, а и б), при этом максимальное значение тока нагрузки определяется заданием тока базы  $I_B$  или напряжением смещения базы  $E_B$  биполярного транзистора.

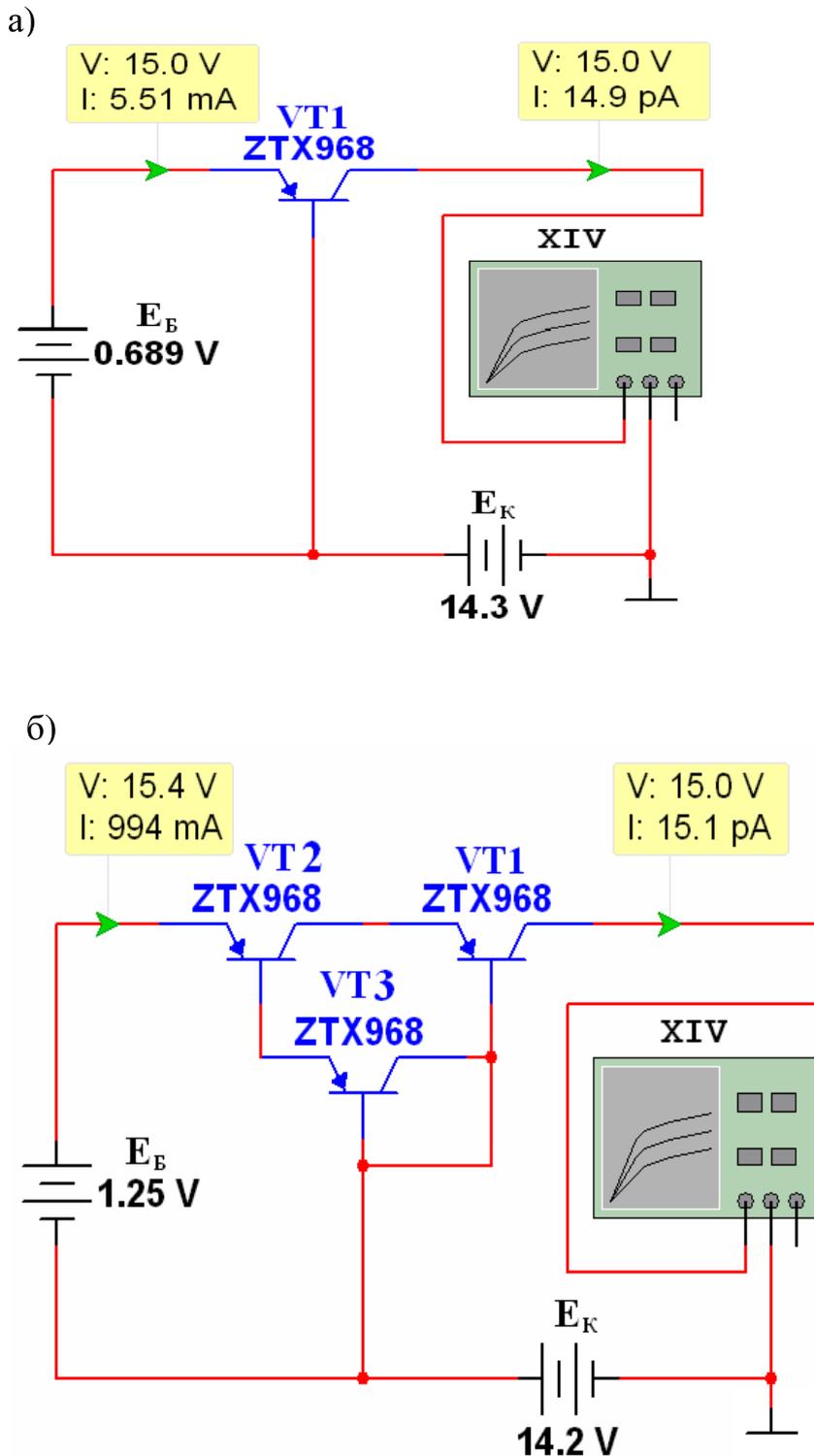


Рис. 1. Схема управляемого генератора напряжения на биполярном транзи-

сторы (а) и трехструктурном  
инжекционно-вольтаическом транзисторе (б).

**Результаты исследования.** Нагрузочная вольт-амперная характеристика биполярного транзистора в инжекционно-вольтаическом режиме ( $E_K \leq U_H \leq U_{X.X}$ ) при управлении  $E_K$  описывается уравнением [1,2]:

$$I_H = \alpha_N I_{ЭО} \left[ \exp \left( \frac{qE_B}{A_Э kT} \right) - 1 \right] - I_{КО} \left[ \exp \left( \frac{q(E_K - U_H)}{A_K kT} \right) - 1 \right]. \quad (1)$$

Как видно из уравнения (1) при  $U_H = E_K$  ток нагрузки равен току инжекции  $I_H$ , обусловленному инжекцией носителей из эмиттерной области:

$$I_H = I_{И} = \alpha_N I_{ЭО} \left[ \exp \left( \frac{qE_B}{A_Э kT} \right) - 1 \right]. \quad (2)$$

Нагрузочная ВАХ в активном режиме ( $0 \leq U_H \leq E_K$ ) описывается уравнением [4]

$$I_H = I_{И} \left[ 1 + \frac{(E_K - U_H)}{U_{ЭРЛИ}} \right], \quad (3)$$

где  $U_{ЭРЛИ}$  – напряжение Эрли.

Как видно из уравнения (3) при  $U_H = 0$  ток нагрузки равен току короткого замыкания  $I_{КЗ}$

$$I_H = I_{КЗ} = I_{И} \left[ 1 + \frac{E_K}{U_{ЭРЛИ}} \right]. \quad (4)$$

Из уравнения (4) определяется величина  $I_{И}$  соответствующая току  $I_{КЗ}$

$$I_{И} = I_{КЗ} \left[ 1 + \frac{E_K}{U_{ЭРЛИ}} \right]^{-1}. \quad (5)$$

Из уравнения (2) определяется величина  $E_B$ , соответствующая току инжекции:

$$E_B = \frac{A_Э kT}{q} \ln \left[ \frac{I_{И}}{\alpha_N I_{ЭО}} + 1 \right]. \quad (6)$$

Если в уравнении (1) значение  $I_H = 0$ , то на выходе биполярного транзистора между электродами коллектор-база генерируется инжекционно-вольтаическая ЭДС, величина которой определяется:

$$U_{X.X} = E_K + U_{ИВЭДС} = E_K + \frac{A_Э kT}{q} \ln \left[ \frac{I_{И}}{\alpha_N I_{КО}} + 1 \right]. \quad (7)$$

В трехструктурном в инжекционно-вольтаическом транзисторе отсутствует эффект Эрли и существенно ослаблена тепловая неустойчивость. Поведение

трехструктурного инжекционно-вольтаического транзистора описывается моделью Эберса - Молла для идеального биполярного транзистора [5-6]. Нагрузочная вольт-амперная характеристика управляемого генератора напряжения на трехструктурном инжекционно-вольтаическом транзисторе (рис. 2) описывается уравнениями (1)-(7) при значении  $U_{ЭРЛН} = \infty$ . При этом напряжение  $E_{Б1}$  определяется выражением:

$$E_{Б1} = E_B + E_{CM} = E_B + \left( A_{Э1} kT/q \right) \ln \left( K_H / \beta_{N1} \cdot \alpha_M \cdot \alpha_{N2} I_{Э01} \right) \cdot 1_{-}. \quad (8)$$

Аналогичное рассмотрение можно произвести в случае управления током  $I_H$ :

$$I_H = \alpha_N I_{Э0} \exp \left[ (E_K - U_B) / A_{Э} kT \right] - 1 \cdot I_{КО} \exp \left[ (U_H - U_B) / A_K kT \right] \cdot 1_{-}. \quad (9)$$

Как видно из уравнения (9) при  $U_H = U_B$  ток нагрузки равен току инжекции  $I_H$ , обусловленному инжекцией носителей из эмиттерной области:

$$I_H = I_H = \alpha_N I_{Э0} \exp \left[ (E_K - U_B) / A_{Э} kT \right] - 1_{-}. \quad (10)$$

Нагрузочная вольт-амперная характеристика в активном режиме ( $0 \leq U_H \leq E_K$ ) описывается уравнением [4]

$$I_H = I_H \left[ 1 + (E_K - U_H) / U_{ЭРЛН} \right]_{-}. \quad (11)$$

Как видно из уравнения (11) при  $U_H = 0$  ток нагрузки равен току короткого замыкания  $I_{КЗ}$

$$I_H = I_{КЗ} = I_H \left[ 1 + (E_K / U_{ЭРЛН}) \right]_{-}. \quad (12)$$

Из уравнения (12) определяется величина  $I_H$  соответствующая току  $I_{КЗ}$

$$I_H = I_{КЗ} \left[ 1 + (E_K / U_{ЭРЛН}) \right]_{-}. \quad (13)$$

Из уравнения (10) определяется величина  $U_B$ , соответствующая току инжекции:

$$E_K - U_B = \left( A_{Э} kT/q \right) \ln \left( K_H / \alpha_N I_{Э0} \right) \cdot 1_{-}. \quad (14)$$

Если в уравнении (9) значение  $I_H = 0$ , то на выходе биполярного транзистора между электродами коллектор-база генерируется инжекционно-вольтаическая ЭДС, величина которой определяется:

$$U_{Х.Х} = U_B + U_{НВЭДС} = U_B + \left( A_{Э} kT/q \right) \ln \left( K_H / \alpha_N I_{КО} \right) \cdot 1_{-}. \quad (15)$$

Моделирование работы биполярного транзистора в инжекционно-вольтаическом режиме проведено с использованием Multisim 10.1. Для моделирования использованы кремниевые биполярные транзисторы ZTX968 ( $p-n-p$  - структура).

Нагрузочные вольт-амперные характеристики биполярного транзистора ZTX968 ( $p-n-p$  - структура) в инжекционно-вольтаическом режиме при управлении напряжением  $E_K$  (кривые 1-4) приведены на рис. 2.

На вертикальной части характеристики биполярного транзистора имеет низкое динамическое сопротивление. Поэтому он может быть рассмотрен как генератор напряжения для внешних цепей, которые имеют большие внутренние сопротивления.

Нагрузочные вольт-амперные характеристики биполярного транзистора (рис. 2, кривые 1 и 2) при управлении напряжением  $E_K=14,3$  В и  $E_K=29,3$  В соответствуют напряжениям  $U_H=15$  В и  $U_H=30$  В, соответственно в диапазоне токов нагрузки  $0 \div 0,4$  А. Эффективность управляемого генератора напряжения не более 50 %.

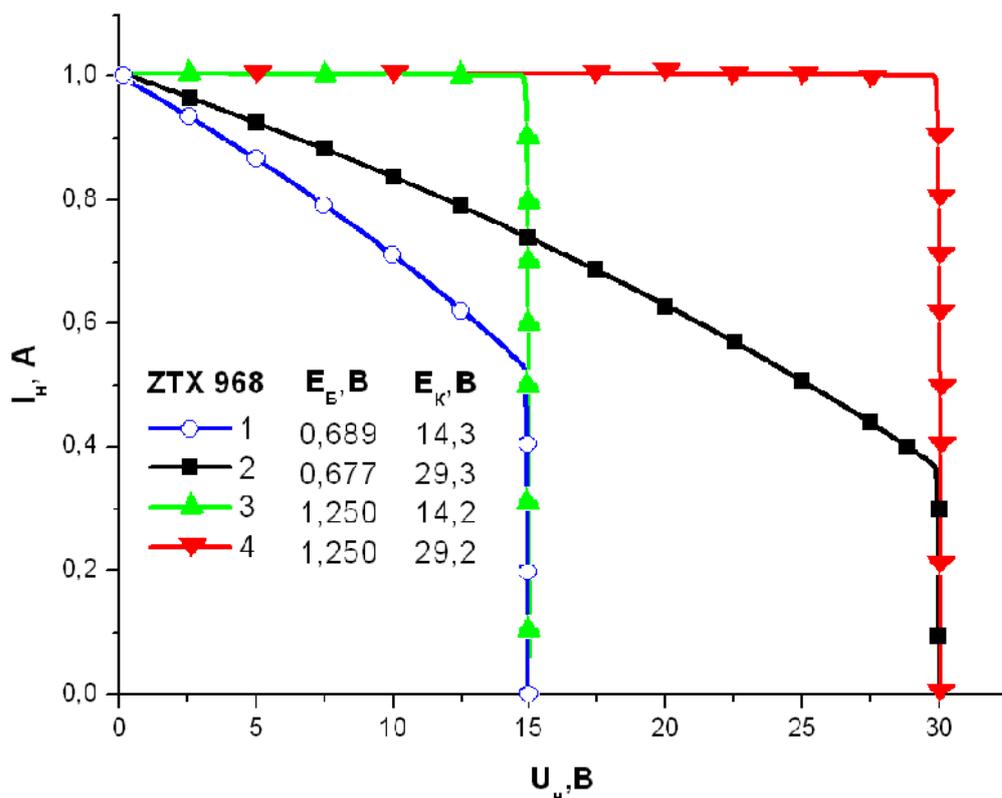


Рис. 2. Нагрузочные вольт-амперные характеристики биполярного транзистора ZTX968 ( $p-n-p$  - структура) в инжекционно-вольтаическом режиме при управлении напряжением  $E_K$ .

Нагрузочные вольт-амперные характеристики трехструктурного инжекционно-вольтаического транзистора (рис. 2, кривые 3 и 4) при управлении напряжением  $E_K=14,2$  В и  $E_K=29,2$  В соответствуют напряжениям  $U_H=15$  В и  $U_H=30$  В.

В, соответственно в диапазоне токов нагрузки  $0 \div 1$  А. Эффективность управляемого генератора напряжения порядка 90 %.

Из рис. 2 можно заключить, что при непосредственном последовательном соединении каскадов, одного, управляемого напряжением  $E_B$  и второго, управляемого током эмиттера, входная характеристика выходит за пределы горизонтального участка соответствующего режиму генератора тока. Следует отметить, что в данном случае транзистор VT1, управляемый током, является нелинейной нагрузкой для транзистора VT2, управляемого напряжением  $E_B$ . Для того чтобы каскад, управляемый током, работал в режиме ограничения тока его входную характеристику необходимо сместить в область меньших напряжений каскада управляемого напряжением, что можно сделать включением транзистора VT3 в диодном режиме как источник напряжения смещения  $E_{CM}$  между базами каскадов.

**Выводы.** Таким образом, показано, что для создания управляемого генератора напряжения необходимо реализовать трехструктурный инжекционно-вольтаический транзистор. В трехструктурного инжекционно-вольтаическом транзисторе отсутствует эффект Эрли, и существенно ослаблена тепловая неустойчивость. Поведение трехструктурного инжекционно-вольтаического транзисторе описывается моделью Эберса-Молла для идеального биполярного транзистора [5-6].

**Заключение.** Трехструктурный инжекционно-вольтаический транзистор найдет применение в зарядных устройствах аккумуляторов, преобразователях напряжения, усилителях мощности, системах управления электрическими двигателями в системах слежения за Солнцем в фотоэлектрических станциях и других устройствах силовой электроники, где требуется высоконадежный управляемый генератор напряжения.

### Список литературы

1. Арипов Х.К., Алимова Н.Б., Бустанов Х.Х., Обьедков Е.В., Тошматов Ш.Т. Связь фото-вольтаического эффекта в солнечных элементах с инжекционно-вольтаическим эффектом в многослойных полупроводниковых структурах// Гелиотехника №1, С. 15-21.
2. Арипов Х.К., Алимова Н.Б., Бустанов Х.Х., Обьедков Е.В., Тошматов Ш.Т. Адаптированные электронные переключающие ячейки с питанием от солнечного элемента// Гелиотехника №2, 2009. С. 8-12.
3. Арипов Х.К., Алимова Н.Б., Бустанов Х.Х., Обьедков Е.В., Тошматов Ш.Т. Исследование усилительных свойств биполярного транзистора в инжекционно-вольтаическом режиме// Информационные коммуникации: Сети-Технологии-Решения. №1 (9), 2009, С. 22-25.
4. Edwin W Greeneich. Analog Integrated Circuits-New York, Chapman & Hall, 1977. 341 p.
5. Арипов Х.К., Румянцев В.Д. Солнечные элементы с распределенными параметрами. 1. Вольт-амперные характеристики при равномерном и неравномерном освещении// Гелиотехника №4, 1983. С.6-10.