

кадром и парой, т.к. оценка скорости является приблизительной и может давать большие ошибки при долгосрочных прогнозах.

Выбор временных интервалов между кадрами и парами кадров зависит от ожидаемых и интересующих исследователя скоростей частиц. Например, диапазон 0-1 м/с для снижения ошибки определения скорости разбивается на поддиапазоны, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Поддиапазон скоростей, м/с	Время между кадрами, с	Время между парами кадров, с
0-0,125	0,32	3,2
0,125-0,25	0,16	1,6
0,25-0,5	0,08	0,8
0,5-1,0	0,04	0,4

Список использованных источников

1. Барышев Е.Ю., Семкин Н.Д. Система измерения параметров пылевой компоненты собственной внешней атмосферы космического аппарата.//Вестник СГАУ. Серия: Актуальные проблемы радиоэлектроники. Выпуск 5. – Самара: Изд-во СГАУ, 2001.
2. Барышев Е.Ю., Воронов К.Е., Боговявленский Н.Л. Модель ПЗС- датчика системы измерения параметров пылевой компоненты внешней атмосферы космического аппарата.//Вестник СГАУ. Серия: Актуальные проблемы радиоэлектроники. Выпуск 6. – Самара: Изд-во СГАУ, 2001.
3. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике – М.: Изд-во физ. мат. лит-ры, 1963.
4. Пресс Ф.П. Формирователи видеосигнала на приборах с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1981.

УДК 621.396

СВЕДЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ТРАНЗИСТОРА К СИСТЕМЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Дмитриев В. Д., Пищулина Н. П., Пак В. Т.

Питание биполярного транзистора от источника высокочастотного напряжения позволяет формировать S-образную характеристику и определяет особенности построения простых экономичных и быстродействующих устройств. В связи с этим для исследования необходимо получить выражение токов транзистора при питании переменным напряжением.

Уравнение переноса дырок дрейфового транзистора р-п-р типа описывается уравнением [1]

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - a \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{1}{D_p} \cdot \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{1}{L_p^2} (p - p_{\infty} \cdot e^{\alpha x}), \quad (1)$$

где D_p – коэффициент диффузии дырок, p – концентрация инжектированных дырок, L_p – диффузионная длина дырок, $p_{\delta\delta}$ – концентрация равновесных дырок в базе у эмиттера, a – коэффициент, определяющий распределение примесей в базе, x – ось абсцисс перпендикулярно металлургическим границам р-п-р структуры.

При решении уравнения (1) принимается постоянство коэффициентов L_p , D_p , a и одномерное приближение. Приняв за начало координаты x металлургическую границу р-п перехода эмиттер – база, границы базы у эмиттера и коллектора обозначим соответственно через x_3 и x_k , а расстояние между металлургическими границами р-п-р структуры – через W_0 (рисунок 1). На рисунке 1 величины x_3 , x_k и W_0 (ширина базы) соответствуют случаю отсутствия на р-п переходах внешних напряжений. При подаче на эмиттерный и коллекторный переходы переменных напряжений $U_3(t)$ и $U_k(t)$ положения границ базы x_3 и x_k изменяются периодически во времени и в зависимости от их амплитуды и фазы. В общем случае положения границ у эмиттера и коллектора обозначим через $x_3(t)$ и $x_k(t)$, которые будут изменяться в интервале заштрихованных областей (рисунок 1).

Используя в качестве граничных условий концентрацию дырок в базе на границах у эмиттера и коллектора, для заданного случая питания переходов запишем:

для границы базы у эмиттера:

$$p[x_3(t), t] = p_{\delta\delta} \cdot e^{a \cdot x_3(t)} \cdot e^{\gamma_3(t)}, \quad (2)$$

для границы базы у коллектора:

$$p[x_k(t), t] = p_{\delta\delta} \cdot e^{a \cdot x_k(t)} \cdot e^{\gamma_k(t)},$$

где $\gamma_3(t) = \frac{U_3(t)}{\varphi_T}$, $\gamma_k(t) = \frac{U_k(t)}{\varphi_T}$, φ_T – температурный потенциал.

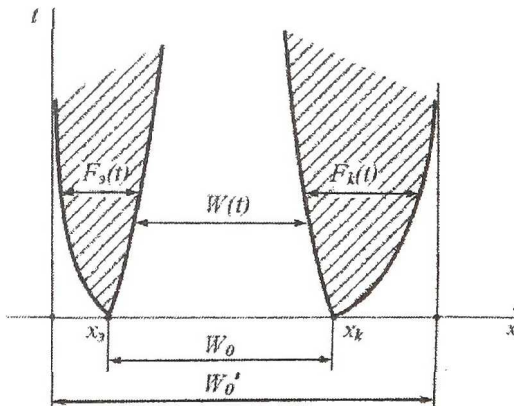


Рисунок 1 - Изменение ширины $W(t)$ базы

Подстановкой $p(x, t) = e^{\frac{ax}{2}} \cdot e^{kt} \cdot B(x, t) + p_{\partial\partial} \cdot e^{ax}$, (3)

где
$$\kappa = -D_p \left(\frac{a^2}{4} + \frac{1}{L_p^2} \right),$$

уравнение (1) приводим к простому виду

$$D_p \frac{\partial^2 B(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial B(x, t)}{\partial t} \quad (4)$$

со следующими начальными и граничными условиями:

$$B(x, 0); B[x_3(t), t] = p_{\partial\partial} \cdot e^{\frac{a \cdot x_3(t)}{2}} \cdot e^{kt} \cdot (e^{\gamma_3(t)} - 1),$$

$$B[x_\kappa(t), t] = p_{\partial\partial} \cdot e^{\frac{a \cdot x_\kappa(t)}{2}} \cdot e^{kt} \cdot (e^{\gamma_\kappa(t)} - 1) \quad (5)$$

Однако решение уравнения (4) представляет трудную задачу ввиду подвижности границ базы. Удобным аналитическим аппаратом для решения уравнения (4) с подвижными границами является метод тепловых потенциалов [2]. Согласно данному методу представим решение в виде

$$B(x, t) = \int_0^t \frac{x - x_3(\tau)}{4\sqrt{\pi} [D_p(t - \tau)]^{\frac{3}{2}}} \cdot e^{-\frac{[x - x_3(\tau)]^2}{4D_p(t - \tau)}} \cdot \bar{\mu}_1(\tau) \cdot d\tau +$$

$$+ \int_0^t \frac{x - x_\kappa(\tau)}{4\sqrt{\pi} [D_p(t - \tau)]^{\frac{3}{2}}} \cdot e^{-\frac{[x - x_\kappa(\tau)]^2}{4D_p(t - \tau)}} \cdot \bar{\mu}_2(\tau) \cdot d\tau, \quad (6)$$

где $\mu_1(\tau)$ и $\mu_2(\tau)$ определяются из системы уравнений (7) и (8):

$$\mu_1(t) + \frac{1}{2D_p} \int_0^t \frac{x_3(t) - x_3(\tau)}{4\sqrt{\pi} [D_p(t - \tau)]^{\frac{3}{2}}} \cdot e^{-\frac{[x_3(t) - x_3(\tau)]^2}{4D_p(t - \tau)}} \cdot \mu_1(\tau) \cdot d\tau +$$

$$+ \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{x_3(t) - x_\kappa(\tau)}{[D_p(t - \tau)]^{\frac{3}{2}}} \cdot e^{-\frac{[x_3(t) - x_\kappa(\tau)]^2}{4D_p(t - \tau)}} \cdot \bar{\mu}_2(\tau) \cdot d\tau = \mu_1(t); \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{\mu_2(t)}{2D_p} + \frac{1}{4\pi} \int_0^t \frac{x_k(t) - x_o(\tau)}{[D_p(t-\tau)]^{\frac{3}{2}}} \cdot e^{-\frac{[x_k(t)-x_o(\tau)]^2}{4D_p(t-\tau)}} \cdot \mu_1(\tau) \cdot d\tau + \\
& + \frac{1}{4\pi} \int_0^t \frac{x_k(t) - x_k(\tau)}{[D_p(t-\tau)]^{\frac{3}{2}}} \cdot e^{-\frac{[x_k(t)-x_k(\tau)]^2}{4D_p(t-\tau)}} \cdot \mu_2(\tau) \cdot d\tau = \mu_2(t), \quad (8)
\end{aligned}$$

где $\mu_1(t) = B[x_o(t), t]$, $\mu_2(t) = B[x_k(t), t]$.

Система уравнений (7) и (8) является системой интегральных уравнений типа Вольтерра. Решением уравнения (1) является выражение (3) совместно с решением (6). Это решение справедливо для произвольного вида переменного напряжения на р-п переходах транзистора. Имея решение (3), легко получить выражения для дырочных составляющих коллекторного и эмиттерного токов транзистора.

Список использованных источников

1. Спиридонов Н. С., Вертоградов В. И. Дрейфовые транзисторы. Изд. «Советское радио», 1964.
2. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. Изд. «Наука», 1977.

УДК 539.216

ВЫБОР УСТРОЙСТВА ДЛЯ СНЯТИЯ ПРОФИЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ПО ДЛИНЕ ПЛЕНОЧНОГО ПРОВОДНИКА

Архипов В.А., Кривошеев К.Е., Архипов А.В.

Проблема контроля качества пленочного проводника на этапе отладки технологического процесса формирования металлической пленки является актуальной задачей. Для реализации методики диагностирования электродиффузионных и ряда других отказов нужно контролировать профиль распределения температур по длине пленочного проводника. Отсюда возникает необходимость выбора принципа контроля и устройства способного решить поставленную задачу. При ее решении абсолютное значение температуры не представляет интереса. Нас интересует изменение температуры перегрева пленочного проводника относительно подложки. Можно сказать, что точность измерения также не очень важна. Важно, чтобы вносимая процессом измерения погрешность была постоянной. Измеряемая температура, предположительно, будет колебаться от