

ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ СТРОБОСКОПИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Федюшко Ю. М.

Таврический государственный агротехнологический университет

В статье приведены результаты теоретических исследований работы формирователя стробоскопического преобразователя импульсных рефлектометрических систем.

Постановка проблемы. Существуют различные способы формирования стробоимпульсов с длительностью менее 0,5 нс, параметры которых позволяют использовать их в стробоскопических преобразователях приемного канала импульсных рефлектометрических систем СВЧ диапазона для исследования биологических объектов [1, 2].

К числу важных требований, предъявляемых к диоду генератора стробоимпульсов, относятся малые паразитные параметры – индуктивности и емкости, а также малой величины прямого сопротивления, от которых зависит возможность реализации временного параметра пикосекундной длительности.

Анализ предшествующих исследований. К числу наиболее распространенных способов формирования коротких импульсов относятся способы, основанные на использовании полупроводниковых диодов с накоплением заряда (ДНЗ) [3 – 5].

Принципиальная схема формирователя на ДНЗ приведена на рис. 1. В этой схеме через диод *VD1* в исходном состоянии проходит ток от источника *E*. В базе диода накапливается заряд неосновных (неравновесных) носителей, величина которого тем больше, чем больше сила тока и эффективнее время жизни носителей. Под действием запирающего напряжения (рис. 2) в цепи диода возникает обратный ток, величина которого в течение отрезка времени t_1 (при малой длительности фронта) постоянна и определяется в основном сопротивлением источника запирающих импульсов.

Продолжительность отрезка времени t_1 зависит от величины накопленного заряда и обратного тока, которым рассасывается заряд.

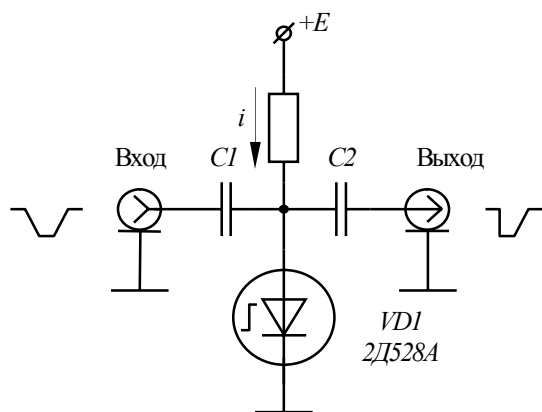


Рисунок 1 – Принципиальная схема формирователя перепада напряжения на диоде с накоплением заряда

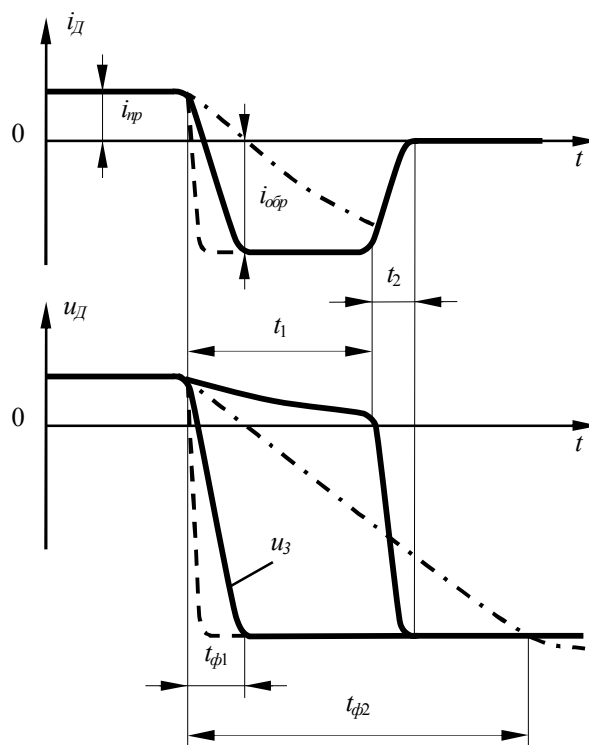


Рисунок – 2 Эпюры напряжения и тока, поясняющие работу формирователя

Однако для обеспечения требуемой амплитуды стробоимпульса необходимо подать запирающее напряжение соответствующей величины; перепад этого напряжения вызовет импульс обратного тока с амплитудой до 0,5...1 А, а ток такой величины рассасывает накопленный заряд за время 1...2 нс, что неприемлемо при проектировании импульсных рефлектометров пикосекундного диапазона.

Таким образом, для получения крутого перепада напряжения необходимо, как правило, предварительно формировать импульс с фронтом наносекундной длительности. При этом ДНЗ выполняет функции обострителя перепада.

Формирование целей статьи. Целью настоящей статьи является проведение теоретических исследований формирователя стробоимпульсов импульсных рефлектометрических систем диэлектрической спектроскопии биологических объектов.

Основная часть. Для серийных диодов индуктивность не превышает 0,5 нГн, емкость при нулевом смещении менее 0,5...0,8 пФ, а прямое дифференциальное сопротивление на линейном участке вольтамперной характеристики менее 5 Ом.

Для исследования цепи стробоимпульсов рассмотрим работу стробоскопического преобразователя (рис. 3).

Цикл работы смесителя складывается из времени в течении которого диод $VD1$ закрыт и времени, когда он проводит ток под действием напряжения стробоимпульсов.

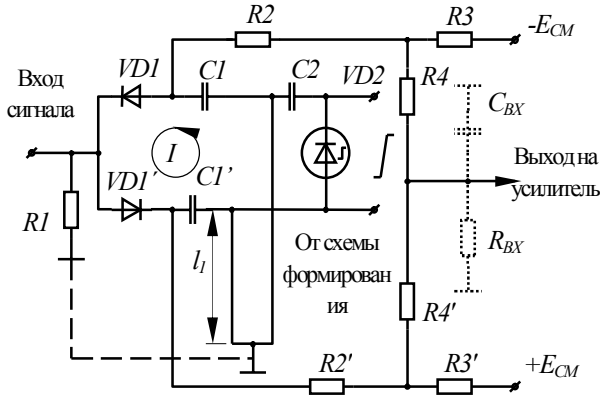


Рисунок 3 – Принципиальная схема стробоскопического преобразователя

Эквивалентная схема цепи стробоимпульсов может быть представлена в виде, изображенном на рис 4, а). Короткозамкнутый формирующий отрезок в ней заменен активным сопротивлением R_w , равный волновому, поэтому данная схема справедлива для интервала времени длительностью $t_s = 2l_1/V$, отсчитываемого от момента поступления перепада напряжения на вход отрезка до момента прихода его отражения (V – скорость распространения волны в формирующем устройстве). Волновые сопротивления линии, подводящей перепад, и короткозамкнутого отрезка (устройства) обычно одинаковы и равны R_w .

Так как за время формирования стробоимпульса напряжение на $C1, C1'$ (рис. 3), заряженных до напряжения, пропорционального E , практически не изменяется, то в схеме они заменены источником ЭДС E_{0l} (с учетом их последовательного соединения). Емкости корпусов диодов здесь не учитываются. Полезное действие переходов диодов отражено включением нелинейного активного сопротивления, вольтамперная характеристика которого описывается функцией $F_I(u_I)$.

В результате упрощений получим эквивалентную схему рис. 4 б), в которой:

$$R_I = 2R_B + 0,5R_w; L_I = 2L_K; C_I = 0,5C_{II}, \quad (1)$$

где R_B – сопротивление перехода;

C_{II} – емкость перехода;

L_K – индуктивность короткозамкнутого устройства.

Допустим, что на входе действует перепад напряжения B_0 с конечной длительностью линейного нарастающего фронта t_ϕ . Для формирования импульса минимальной длительности без потери амплитуды

необходимо, чтобы:

$$t_\phi = t_s.$$

Функция $F_I(u_I)$ обычно имеет вид:

$$F_I(u_I) = \begin{cases} 0 & \text{при } u_I \leq E_{0l} \\ F_{0l}(u_I - E_{0l}) & \text{при } u_I \geq E_{0l} \end{cases}$$

Поэтому, при $u_I \geq E_{0l}$ схема описывается линейным дифференциальным уравнением:

$$L_I C_I \frac{d^2 u_I}{dt^2} + R_I C_I \frac{du_I}{dt} + u_I = \frac{B_0}{t_\phi} t. \quad (2)$$

при $0 \leq t \leq t_0$,

где t_0 – момент времени, соответствующий равенству $u_I = E_{0l}$. При этом, очевидно, должно быть $t_0 < t_\phi = t_s$.

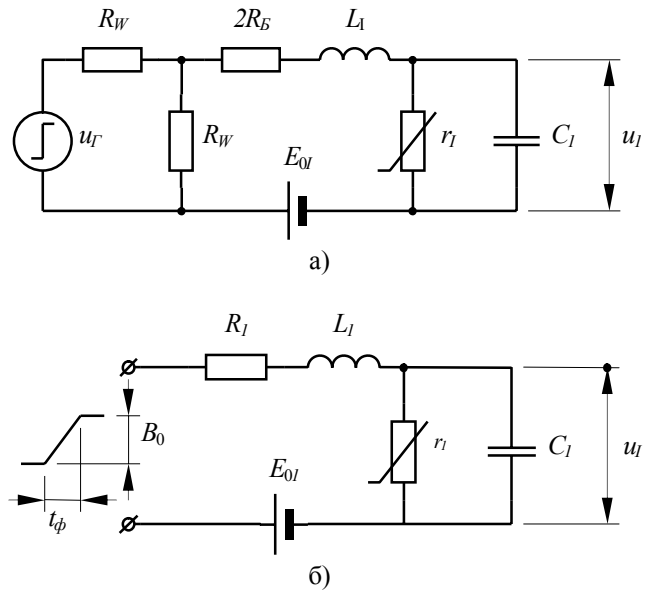


Рисунок 4 – Эквивалентные схемы цепи стробоимпульсов: а – полная, б – упрощенная

Если активная часть стробоимпульса, открывающая диоды, весьма мала, так что уровень отсечки импульса близок к вершине, а затухание контура велико, то за время t_0 переходной процесс успеет закончиться, и величина t_0 может быть приближенно определена по формуле:

$$t_0 \cong \frac{E_{0l}}{B_0} t_\phi + R_I C_I.$$

Рассмотрим случай, когда вольтамперная характеристика переходов диодов при $u_I \geq E_{0l}$ аппроксимируется параболой:

$$F_{0l}(u_I - E_{0l}) = S_I (u_I - E_{0l})^2 \quad (3)$$

Тогда дифференциальное уравнение цепи при $u_i \geq E_{0i}$ в новой системе координат (рис. 5), начало которой смещено в точку (t_0, E_{0i}) будет иметь вид:

$$L_i C_i \frac{d^2 v_i}{d\theta^2} + [R_i C_i + 2S_i L_i v_i] \frac{dv_i}{d\theta} + v_i + S_i R_i v_i^2 = \varphi_i(\theta) \quad (4)$$

причем

$$\varphi_i(\theta) = \frac{B_0}{t_\phi} (\theta + t_0) - E_{0i}$$

при $0 \leq \theta \leq t_\phi - t_0$,

где $\theta = t - t_0$,

$v_i = u_i - E_{0i}$.

Решение этого нелинейного дифференциального уравнения определяет $u_i(t)$ на отрезке $[t_0, t_\phi]$.

Для расчета напряжения на переходах $u_i(t)$ при $t > t_\phi$ необходимо найти форму отраженной волны от конца короткозамкнутого отрезка. Эквивалентная схема для этого случая имеет вид, где напряжение отраженной волны $u_{\text{отп}}(t) = -u_{\text{ав}}(t - t_a)$ и определяется решением дифференциального уравнения (2).

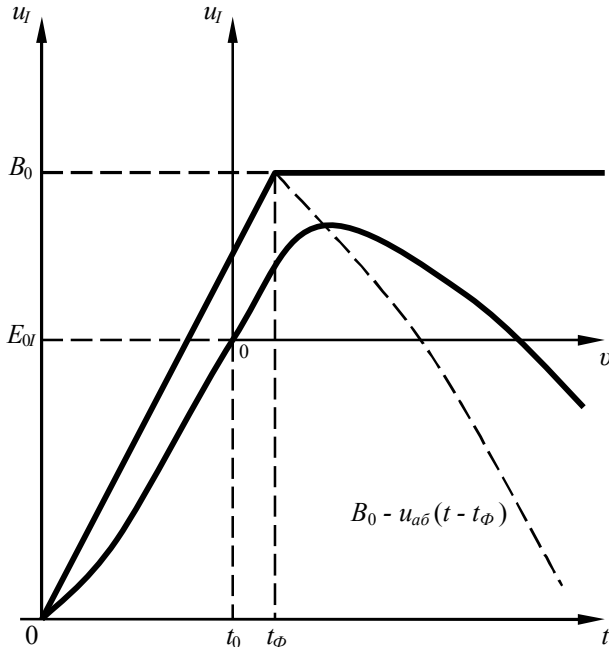


Рисунок 5 – К расчету формы импульса на переходах диодов

Выводы. Напряжение источника сохраняется постоянным и равным B_0 . Уравнение цепи аналогично, только в правой его части будет:

$$\begin{aligned} \varphi_i(\theta) &= B_0 - u_{\text{ав}}(t - t_s) = \\ &= B_0 - u_{\text{ав}}(\theta + t_0 - t_s) \end{aligned} \quad (5).$$

Таким образом, последовательное решение уравнений (2), (4) позволит определить форму и параметры импульса непосредственно на переходах диодов.

Список использованных источников

1. Федотов А. Я. Полупроводниковые диоды и их применение / Под ред. А. Я. Федотова. – М.: Сов радио, 1966. – Вып. 15. – 412 с.
2. Малиский И. В. СВЧ устройства на полупроводниковых диодах. Проектирование и расчет / Под ред. И. В. Малиского. – М.: Сов. радио, 1969. – 243 с.
3. Федюшко Ю. М. Анализ параметров стробоимпульсов стробоскопического преобразователя импульсного рефлектометра для измерения диэлектрической проницаемости биообъектов / Ю. М. Федюшко, А. Д. Черенков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 1/3 (37). – С. 4 – 6.
4. Полупроводниковые приборы. Сверхвысокочастотные диоды / Под ред. Б. А. Наливайко. Справочник. – Томск: МГП "Раско", 1992. – 224 с.
5. Неймарк Ю. И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний / Ю. И. Неймарк. – М.: "Наука", 1972. – 321 с.

Анотація

ФОРМУВАННЯ ІМПУЛЬСІВ СТРОБОСКОПІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Федюшко Ю. М.

У статті приведені результати теоретичних досліджень роботи формувача стробоскопичного перетворювача імпульсних рефлектометричних систем.

Abstract

FORMING OF IMPULSES OF STROBOSKOP TRANSFORMERS

Y. Fediushko

The results of theoretical researches of work of formirovatel of transformer stroboscopic of the impulsive reflektometric systems are resulted in the article.