

# Расчет зависимости минимальной длительности времени переключения р-і-п-диодов от рабочей частоты

При разработке любого устройства для обеспечения требуемых характеристик очень важно еще на этапе эскизного проектирования правильно выбрать элементную базу. Это даст возможность сократить время разработки.

В статье приведено полученное выражение, позволяющее оценить возможность практической реализации коммутирующего устройства на р-і-п-диодах по критерию обеспечения требуемой длительности радиоимпульса на его выходе.

Татьяна МАКУЛИНА

## Введение

Благодаря своим свойствам р-і-п-диоды широко используются в различных СВЧ-устройствах: коммутаторах, электрически управляемых аттенуаторах, а также в устройствах бланкирования для защиты радиоэлектронной аппаратуры от воздействия нежелательных СВЧ-импульсов (например, в радиолокаторах) [1–6]. Они зарекомендовали себя как надежные и, что немаловажно, дешевые и доступные элементы. Но если необходимо разработать устройство, обеспечивающее коммутацию сигналов с заданным временем переключения, р-і-п-диоды не всегда могут обеспечить достижение требуемых характеристик. Так, например, при разработке устройства бланкирования для метеорологического радиолокатора с целью уменьшения мертвой зоны необходимо обеспечивать минимально возможное время переключения менее 1 мкс. Устройство должно коммутировать частоту  $F$ , которая равна 60 МГц. Если далее пойти обычным путем анализа технической документации на конкретные типы р-і-п-диодов, на это придется потратить много времени. Но при этом, к сожалению, может оказаться, что требуемое устройство не может быть реализовано на р-і-п-диодах.

## Оценка минимальной длительности радиоимпульса на выходе коммутатора на р-і-п-диодах

Рассмотрим задачу: разработать коммутирующее устройство сигнала с частотой  $F$  при длительности сформированного коммутатором радиоимпульса  $\tau$  на р-і-п-диодах.

Рабочий диапазон частот р-і-п-диодов ограничен снизу временем рекомбинации носителей в  $i$ -области соотношением [2–4]:

$$F \geq F_{\min} \gg 1/\tau_p, \quad (1)$$

где  $F$  — рабочая частота разрабатываемого устройства;  $F_{\min}$  — минимальная рабочая частота р-і-п-диоода;  $\tau_p$  — время жизни носителей в  $i$ -области.

Время обратного восстановления р-і-п-диоода обычно определяет быстродействие устройства в целом и связано с прямым и обратным токами и временем жизни носителей соотношением [5]:

$$T_{FR} = \ln(1 + (I_F/I_R))\tau_p, \quad (2)$$

где  $I_F$  и  $I_R$  — прямой и обратный токи р-і-п-диоода соответственно.

Таким образом, чем ниже рабочая частота разрабатываемого устройства, тем больше должно быть время жизни носителей в  $i$ -области р-і-п-диоода. Но при этом неизбежно увеличивается время переключения, что и приводит к ограничению возможности реализации коммутирующего устройства на р-і-п-диодах.

Ограничим длительность фронта радиоимпульса величиной  $T_{FR} = 0,1\tau$ . Из соотношений (1) и (2) при условии равенства прямого и обратного токов получаем, что длительность радиоимпульса не может быть меньше, чем

$$\tau_{\min} \geq 70/F. \quad (3)$$

Полученное значение минимальной длительности сформированного коммутатором

радиоимпульса не зависит от характеристик конкретного типа р-і-п-диоода и позволяет еще на этапе выбора элементной базы разрабатываемого устройства оценить возможность и целесообразность использования р-і-п-диодов без тщательного анализа технических характеристик конкретного образца и, следовательно, сократить сроки разработки.

Например, необходимо разработать коммутирующее устройство для сигнала частотой 60 МГц. Из (3) находим, что минимальная длительность радиоимпульса не может быть менее 1,17 мкс. Другими словами, создание коммутирующего устройства на р-і-п-диодах для сигнала частотой 60 МГц при длительности радиоимпульса менее 1,17 мкс без принятия специальных мер проблематично. Целесообразно в этом случае использовать другие коммутирующие устройства. Например, ИМС ADG736, которую выпускает компания Analog Devices [7].

ИМС содержит два CMOS коммутирующих элемента, управляемых логическими уровнями ТТЛ/КМОП. ADG736 позволяет коммутировать сигналы с частотой до 200 МГц. Питательное напряжение равно 1,8–5,5 В. Сопротивление потерь во включенном состоянии не превышает 4,5 Ом при  $E_n = 5$  В, что обеспечивает прямые потери не более 0,5 дБ при работе на нагрузку 75 Ом. Развязка между переключаемыми каналами — 62 дБ [7]. Время включения  $t_{ON} \leq 16$  нс, время выключения  $t_{OFF} \leq 8$  нс.

Однако такое устройство стоит несколько дороже, чем р-і-п-диод. Кроме того, при несомненных достоинствах эта ИМС позволяет коммутировать сигналы, находящиеся в пределах питающих напряжений.

## Выводы

На основании анализа приведенных в литературе соотношений получено выражение, позволяющее оценить минимальную длительность сформированного коммутирующим устройством на  $p-i-n$ -диодах радиоимпульса без привязки к конкретному типу  $p-i-n$ -диода по заданной рабочей частоте. Это позволяет существенно сократить срок разработки комму-

тирующих устройств рассматриваемого типа без трудоемкого изучения технической документации на конкретные типы  $p-i-n$ -диодов. ■

## Литература

1. Вайсблат А. В. Коммутационные устройства СВЧ на полупроводниковых диодах. М.: Радио и связь, 1987.
2. Резников В., Губырин Л. Высокочастотные и СВЧ  $p-i-n$ -диоды // Компоненты и технологии. 2000. № 3.
3. Hewlett Packard, Inc. Applications of P-I-N Diodes. Application Note 922.
4. Hewlett Packard, Inc. Fast Switching P-I-N Diodes. Application Note 929.
5. [www.ieee.li/pdf/pin\\_diode\\_handbook.pdf](http://www.ieee.li/pdf/pin_diode_handbook.pdf)
6. Hewlett Packard, Inc. Surface Mount P-I-N Diode. Technical Data. HSMP-38XX and HSMP-48XX Series.
7. Analog Devices, Inc. CMOS Low Voltage 2.5  $\Omega$  Dual SPDT Switch ADG736.