

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ДИОДАХ

Н.М. Сапрунова, Т.А. Козина

В настоящее время диоды широко применяются в схемах преобразователей постоянного напряжения, которые характеризуются большими скоростями изменения напряжения, действующего на диоде. Поэтому представляет интерес поведение диодов в переходных режимах.

Пусть диод переключается в схеме с активной нагрузкой (рис. 1, а). Схема замещения диода представлена на рис. 1, б, где r_b – сопротивление слоя базы; r_{pn} – сопротивление p - n -перехода; C – емкость p - n -перехода.

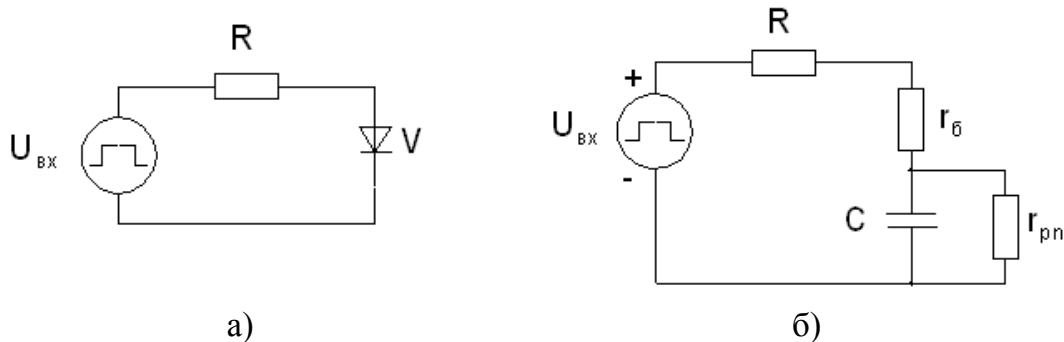


Рис. 1: а – схема с активной нагрузкой; б – схема замещения диода

Для расчета использованы выражения, приведенные в литературе [1]. При включении диода находятся две составляющие: напряжение на базе и на p - n -переходе [1]:

$$\frac{U_b(\theta)}{U_b(0)} = \left[1 - \frac{L}{\omega} \cdot \ln \left(1 + \frac{I_1}{I_0} \right) \cdot \sqrt{1 - e^{-\theta}} \right]; \quad (1)$$

$$\frac{U_{pn}(\theta)}{\varphi_T} = \ln \left(1 + \frac{I_1}{I_0} \right) \cdot \sqrt{1 - e^{-\theta}}, \quad (2)$$

где $\theta = t/\tau$ – относительное значение времени; τ – постоянная времени диода; I_0 – тепловой ток диода; φ_T – температурный потенциал; L/ω – относительное значение диффузионной длины; L – диффузионная длина; ω – ширина базы.

Условие существования функции $U_b(\theta)/U_b(0)$ определяется неравенством

$$\frac{L}{\omega} \ln \left(1 + \frac{I_1}{I_0} \right) \cdot \sqrt{1 - e^{-\theta}} < 1. \quad (3)$$

Для значений L/ω в диапазоне 0,1–2,0, значений I_1/I_0 в диапазоне $10^4 - 10^6$, значений θ – в диапазоне 0,02–1,5 на рис. 2 построена указанная область. Когда $L/\omega = 0,5$, неравенство (3) выполняется при $\theta \leq 0,04$ и $I_1/I_0 = 10^4$. При

увеличении $L/\omega > 0,5$, когда ширина базы становится соизмерима с диффузионной длиной, функции $U_b(\theta)/U_b(0)$ не существует. Это означает, что напряжение на диоде определяется p - n -переходом. Соответственно получена функция $U_b(\theta)/U_b(0)$.

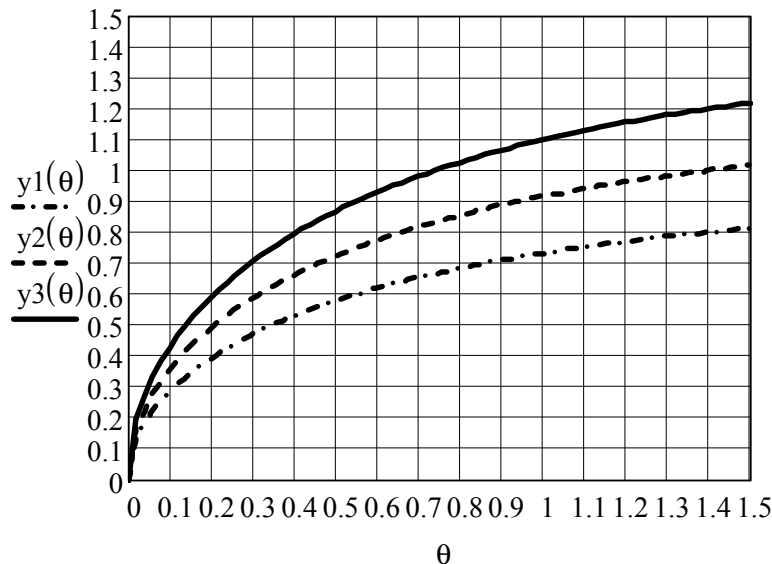


Рис. 2. Область существования функции $U_b(\theta)/U_b(0)$ при $L/\omega = 0,1$: $y1(\theta)$ – при $I_1/I_0 = 10^4$, $y2(\theta)$ – при $I_1/I_0 = 10^5$, $y3(\theta)$ – при $I_1/I_0 = 10^6$

Относительные значения напряжения на базе $U_b(\theta)$, на p - n -переходе U_{pn} и результирующее напряжение на диоде U_d для двух значений I_1/I_0 приведены на рис. 3, 4.

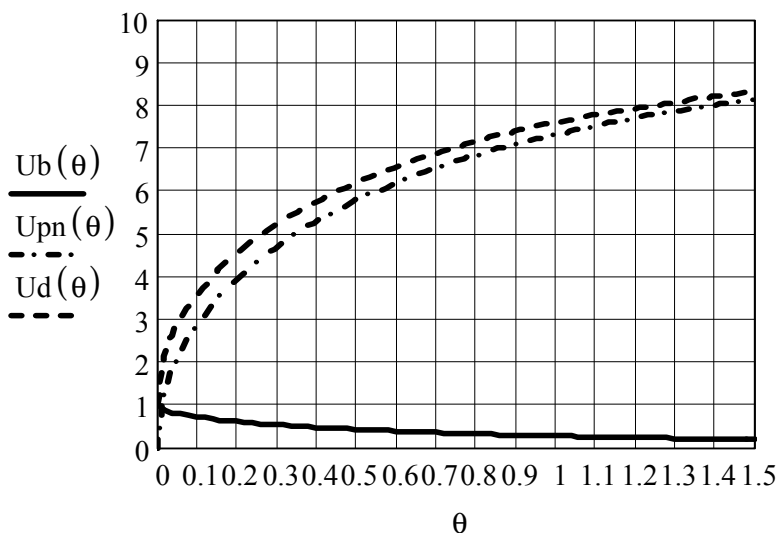


Рис. 3. Относительные значения напряжения на базе $U_b(\theta)$, на p - n -переходе $U_{pn}(\theta)$ и результирующее напряжение на диоде $U_d(\theta)$ при $I_1/I_0 = 10^4$

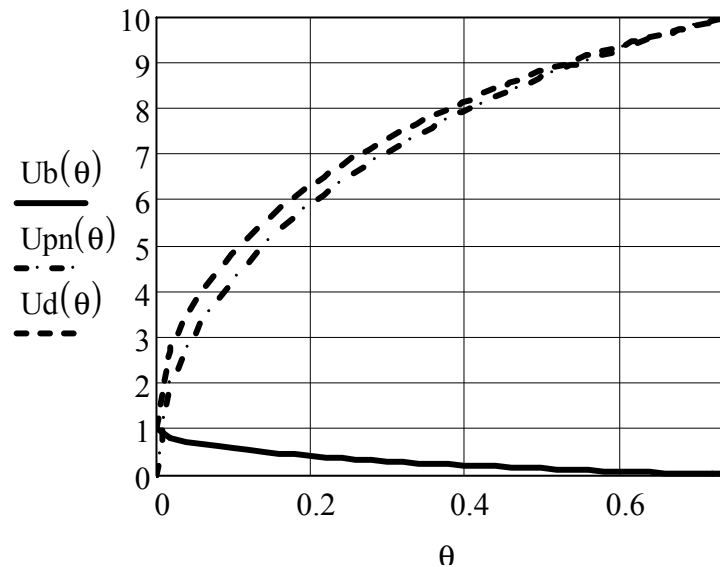


Рис. 4. Относительные значения напряжения на базе $U_b(\theta)$, на $p-n$ -переходе $U_{pn}(\theta)$ и результирующее напряжение на диоде $U_d(\theta)$ при $I_1/I_0 = 10^6$

При экспериментальном исследовании использовался стандартный генератор прямоугольных импульсов ГЗ-111 и нестандартный генератор. Использование стандартного генератора ГЗ-111 ограничено его большим внутренним сопротивлением. Как у стандартного, так и у нестандартного генератора выходное напряжение не имеет идеально прямоугольную форму. При исследовании использовались частоты развертки 1 и 2 МГц. В связи с этим опытные осциллограммы переходных процессов будут отличаться от расчетных значений.

На рис. 5 приведены осциллограммы включения выпрямительного диода с предельным током 0,5 А; на рис. 6 – диода Шоттки с предельным током 0,5 А. Цифры 1 и 2 на рис. 5, 6 указывают положения нулевых линий, соответственно для тока и напряжения. На осциллограммах видно пороговое значение на диоде, соответствующее моменту начала протекания тока. На опытной кривой (рис. 6) можно выделить несколько участков, на которых изменяется скорость нарастания напряжения на диоде. Такие же участки получаются на расчетных кривых. Например, для первого участка (рис. 4), имеющего наибольшую скорость изменения напряжения, $\Delta U/\Delta t$ при $\tau = 1$ мкс составляет примерно 0,03 мкс. В опытной кривой необходимо учесть скорость нарастания входного напряжения из-за его неидеальности. Тогда при изменении напряжения на диоде на одну и ту же величину $\Delta t \approx 0,02$ мкс. Получаются величины Δt одного порядка для опытных и расчетных значений, тем более что постоянная времени τ может иметь разброс.

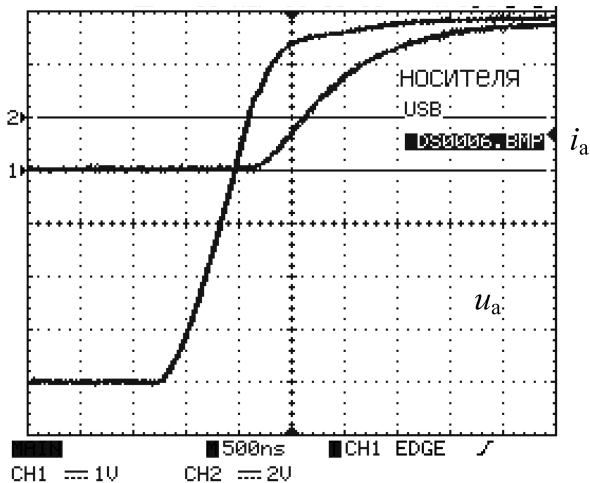


Рис. 5. Осциллограмма включения выпрямительного диода с предельным током 0,5 А

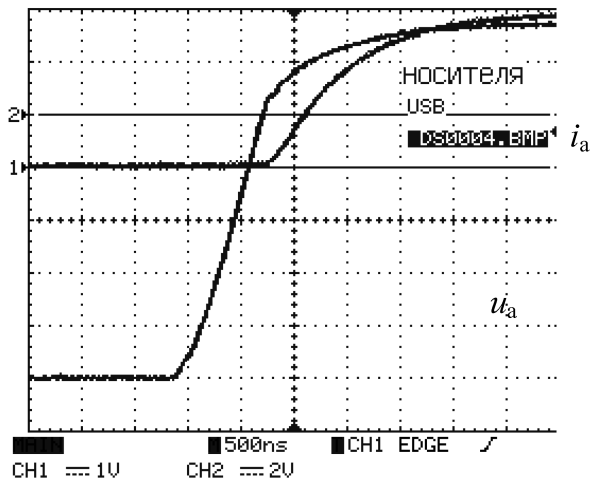


Рис. 6. Осциллограмма включения диода Шоттки с предельным током 0,5 А

Из сравнения осциллограмм включения диодов с одинаковым предельным током видно, что переходный процесс в диодах Шоттки проходит быстрее; время установления напряжения на диоде Шоттки меньше на 2 мкс и составляет примерно 2,2 мкс.

Вывод: рассчитанные кривые процесса включения диодов отражают реальную картину переходных процессов. Определение абсолютных значений величин требует знания внутренних параметров диодов.

Библиографический список

1. Степаненко, И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем / И.П. Степаненко. – М.: Энергия, 1977.