

УДК 621.396.41

DOI: 10.30987/conferencearticle_61c997efaeaab7.63562209

КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕВЯЗКУ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И МОДЕЛЬНЫХ КРИВЫХ, ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ p - n - ПЕРЕХОДА НА ИМПУЛЬСНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛАХ

Глеб Михайлович Шевченко, ассистент, gleb.m.shevchenko@tusur.ru

Эдуард Валерьевич Семенов, профессор, д.т.н., edwardsemyonov@narod.ru

Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники, Россия, Томск

Аннотация. В статье рассмотрены ключевые факторы, влияющие на невязку экспериментальных и модельных кривых, при моделировании p - n -перехода на импульсных широкополосных сигналах. Причина невязки заключается в квазистатическом представлении процессов прямого и обратного восстановления p - n -перехода в стандартной SPICE-модели. Квазистатическое приближение не учитывает переходные процессы в p - n -переходе, которые связаны со временем протекания неосновных носителей заряда и последовательным сопротивлением потерь.

Ключевые слова: p - n - переход, последовательное сопротивление потерь, SPICE-модель, диффузионный заряд.

KEY FACTORS AFFECTING THE DISCONNECTION OF EXPERIMENTAL AND MODEL CURVES IN MODELING P - N -TRANSITION ON PULSE BROADBAND SIGNALS

Gleb M. Shevchenko, assistant, gleb.m.shevchenko@tusur.ru

Edward V. Semyonov, professor, doctor of engineering sciences, edwardsemyonov@narod.ru

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk

Abstract. The article discusses the key factors influencing the discrepancy between the experimental and model curves when simulating a p - n junction on pulsed broadband signals. The reason for the discrepancy lies in the quasi-static representation of the forward and backward reconstruction of the p - n junction in the standard SPICE model. The quasi-static approximation does not take into account the transient processes in the p - n junction, which are associated with the transit time of minority charge carriers and the series resistance of losses.

Keywords: p - n - junction, series loss resistance, SPICE model, diffusion charge.

Проектирование любых радиоэлектронных средств не обходится без предварительного компьютерного проектирования. Качество моделирования определяет количество итераций при разработке макетов. В свою очередь, это значительно сказывается, в большую сторону, на сроках и стоимости разрабатываемого устройства.

Обычно работа p - n - перехода в установившемся режиме анализировалась с использованием основных уравнений дрейфовой диффузии, которые удовлетворительно описывали переходные процессы p - n - перехода. Со

временем наблюдались более сложные эффекты, и стали заметны новые подходы. При моделировании, вопросы возникают на этапе исследования динамического поведения $p-n$ - перехода, таких как работа переменного тока или быстрое переключение.

Во многих источниках [1, 2] последовательное сопротивление потерь принимается постоянным значением, что противоречит его фактическому поведению и приводит к существенной погрешности моделирования на импульсных сигналах при прямом восстановлении $p-n$ - перехода. На переходной характеристике прямого восстановления $p-n$ - перехода наблюдается выброс напряжения (рис. 1, кривая 1). Выброс напряжения объясняется зависимостью последовательного сопротивления $p-n$ - перехода от накопленного в нем диффузионного заряда [3].

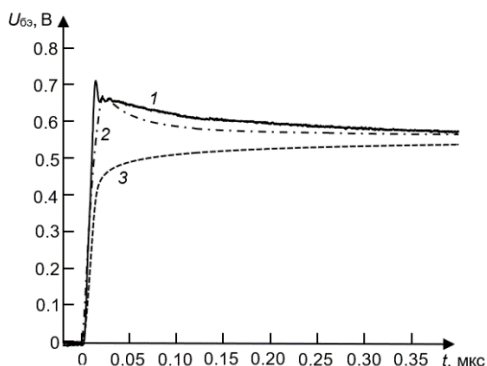


Рисунок 1 – Прямое напряжение на $p-n$ -переходе: кривая 1 – эксперимент; кривая 2 – неквазистатическая модель; кривая 3 – квазистатическая модель

Невязка экспериментальной кривой (рис. 1, кривая 1) с разработанной неквазистатической моделью (рис. 1, кривая 2) не превышает $\pm 9\%$. Квазистатическая модель (рис. 1, кривая 3) имеет отклонение от экспериментальной кривой до $\pm 35\%$.

Кроме последовательного сопротивления потерь, существенную роль играет диффузионный заряд, который влияет на процесс обратного восстановления. Рис. 2 иллюстрирует кривые импульса тока обратного восстановления, полученные с помощью эксперимента и моделирования.

Из рис. 2 видно, что кривая, полученная с помощью неквазистатической модели (рис. 2, кривая 2) имеет отклонение 3% от экспериментальной (рис. 2, кривая 1). В то время как квазистатическая модель отклоняется на $\pm 35\%$ (рис. 2, кривая 3).

Экспериментально установлено неравномерное изменение последовательного сопротивления потерь при включении и выключении $p-n$ -перехода, следовательно, оно не постоянно и зависит от диффузионного заряда [3]. Кроме этого, предложенные эквивалентные схемы [4, 5], при реализации в используемом САПР вызывают трудности у пользователей, связанные с

описанием в нем дифференциальных уравнений с помощью рекурсивного алгоритма. Рекурсивные алгоритмы более затратные как с точки зрения производительности ЭВМ, так и требуют специальных знаний у пользователей для их реализации.

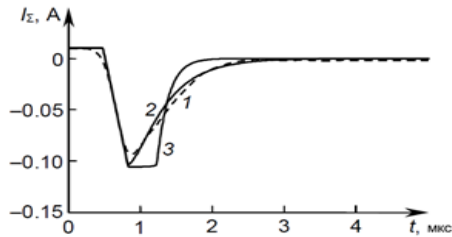


Рисунок 2 – Импульс ток обратного восстановления диода 2Д510: Кривая 1 – эксперимент, кривая 2 – неквазистатическая модель, кривая 3 – квазистатическая модель

Известно, что диффузионный заряд от тока электропроводности через диод. Существующие системы автоматизированного проектирования используют в своих SPICE-моделях квазистатическое приближение диффузионного заряда:

$$Q_d(t) = i(t)T, \quad (1)$$

где $i(t)$ – описываемый вольт-амперной характеристикой ток электропроводности; T – время жизни неравновесных носителей заряда.

Такое решение не позволяет корректно охарактеризовать инерцию накопления и релаксации неравновесных носителей заряда при прямом и обратном восстановлении $p-n$ - перехода. Это сказывается на переходной характеристике прямого восстановления $p-n$ - перехода при его моделировании на импульсном воздействии.

Заключение. Использование неквазистатической модели позволит существенно уменьшить невязку между экспериментальными кривыми. Минимизация невязки в 5-7 раз достигается путем учета внутренней инерции последовательного сопротивления потерь и диффузионного заряда. Кроме этого, малая погрешность моделирования позволит в разы снизить время и стоимость конечного продукта (радиоэлектронного устройства).

Список литературы

1. Ebers, J.J. Moll, J.L. Large-Signal Behavior of Junction Transistors, Proceedings of the IRE, vol. 42, pp. 1761 - 1772.
2. Arkaprava Bhattacharyya. NQS Effects Investigation For Compact Bipolar Transistor Modeling, 2014. – 156 с.
3. Tseng K.J. Int. J. Electron. – 1998. – V. 84. – P. 437–444.
4. Lauritzen P., Ma C. IEEE Trans. Power Electron. – 1991. – V. 6. – No. 2. – P. 188–191.
5. Yang A.T., Liu Yu, Yao J.T. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. – 1994. – V. 13. – No. 2. – P. 231–23.

Материал принят к публикации 07.10.21.