

В.Ф. Зотин

(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ НАРАСТАНИЯ ОБРАТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИИ ДИОДОВ ШОТТКИ

С помощью компьютерного моделирования подтверждена возможность программного управления скоростью нарастания обратного напряжения при автоматизированном контроле параметров диодов Шоттки.

The possibility of programmed control of the rate of rise of reverse voltage with automated control of the parameters of Schottky diodes was confirmed using computer simulation.

Ключевые слова: моделирование, параметры, диоды Шоттки, автоматизированный контроль.

Keywords: simulation, parameters, Schottky diodes, automated control.

Важным параметром силовых диодов Шоттки является максимально допустимая скорость нарастания обратного напряжения dV/dt . Прежде всего это относится к SiC-диодам, применяемым в силовых электронных преобразователях с режимом жёсткой коммутации. Так, для диода IDM10G120C5 (1200 В, 10 А, Infineon Technologies) производитель гарантирует $dV/dt=80$ В/нс, а для аналогичного по предельным параметрам диода C4D10120A (Wolfspeed) – 200 В/нс.

Для автоматизированного контроля стойкости SiC-диодов Шоттки к dV/dt и их разбраковки по данному параметру испытательное оборудование должно обеспечивать формирование высоковольтных импульсов обратного напряжения с регулируемой амплитудой и управление скоростью нарастания обратного напряжения.

Известны способы формирования импульсов обратного напряжения при испытании силовых диодов Шоттки [1 – 3], но при автоматизированном контроле актуальными являются задачи управления скоростью нарастания обратного напряжения и режимом испытаний, а также защиты испытуемого диода от вторичного пробоя.

Предлагается реализовать возможность программного управления скоростью нарастания обратного напряжения с помощью устройства, схема модели которого в среде Multisim приведена на рис. 1. Фронт обратного напряжения на испытуемом диоде $D1$ формируется при включении транзистора $Q1$. Амплитуда импульсов обратного напряжения задаётся источником напряжения $V3$. Схема содержит дополнительный транзистор $Q2$ и генератор управляющих импульсов $V2$.

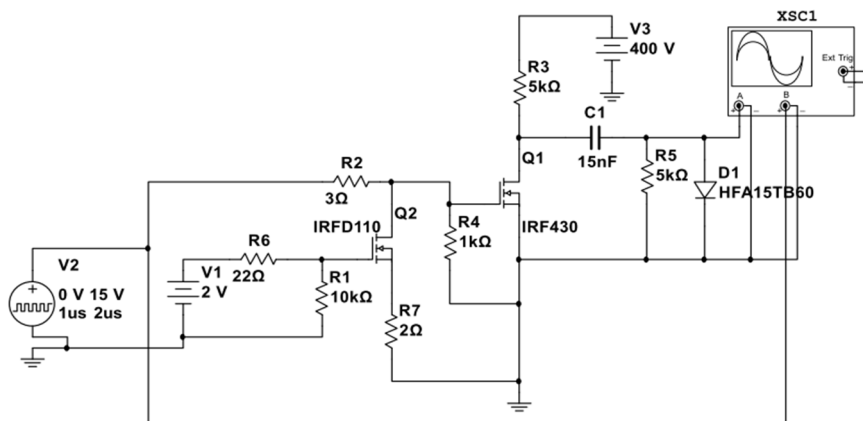


Рис. 1. Схема модели устройства

Элементами, регулирующими скорость нарастания обратного напряжения, являются резистор $R2$ и источник постоянного напряжения $V1$. Резистор $R5$ представляет сопротивление делителя напряжения, используемого обычно при осциллографировании высоковольтных импульсов.

Моделирование устройства с параметрами элементов, указанными на рис. 1, даёт максимальное значение $dV/dt = 133$ В/нс. Так как напряжение источника $V1$ меньше порогового, то влияние транзистора $Q2$ на процесс формирования фронта несущественно. С увеличением сопротивления резистора $R2$ до 12 Ом максимальное значение dV/dt уменьшается до 75 В/нс при слабо выраженной нелинейности регулировочной характеристики.

Недостатком рассмотренного способа управления параметром dV/dt является проблематичность его практической реализации при автоматизированном контроле. Возможности предлагаемого способа управления параметром dV/dt с помощью изменения напряжения источника $V1$ иллюстрируют регулировочные характеристики, полученные с помощью модели и представленные на рис. 2.

Как видно из рис. 2, данный способ также обеспечивает достаточный диапазон значений dV/dt , но ширина диапазона зависит от сопротивления резистора $R2$.

Необходимо отметить влияние сопротивления резистора отрицательной обратной связи $R7$ (рис. 1) на регулировочные характеристики, полученные изменением напряжения $V1$. Уменьшение сопротивления ведёт к расширению диапазона регулирования и увеличению крутизны характеристики. Это может привести к росту погрешности задания параметра dV/dt .

Дополнительными возмущающими факторами, влияющими на точность задания параметра dV/dt , являются задаваемая амплитуда обратного напряжения и собственные параметры испытуемого диода. Так, по результатам моделирования процесса испытания диода HFA15TB60 по схеме рис. 1 при $V1=3 В$ и $V3=400 В$ максимальная скорость нарастания обратного напряжения составляет 110 В/нс, а при $V3=300 В$ она снижается до 86 В/нс. Для диода HFA04TB60 с меньшим рабочим током максимальная скорость соответственно равна 128 В/нс и 100 В/нс.

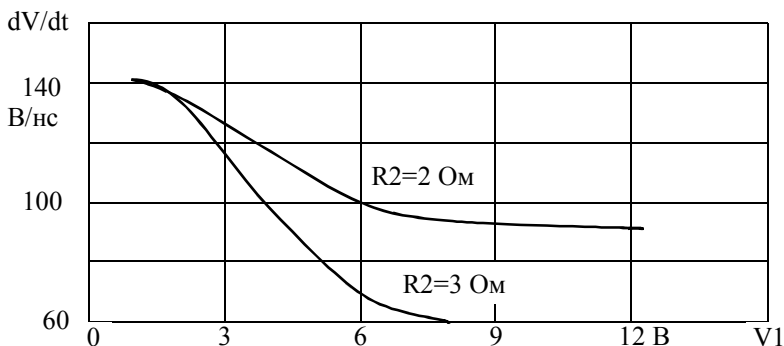


Рис. 2. Регулировочные характеристики при изменении напряжения $V1$

Анализ результатов моделирования формирователя фронта обратного напряжения показывает возможность задания параметра dV/dt с помощью аналогового сигнала (напряжения), что позволяет автоматизировать процесс испытания диодов. Однако задающий сигнал должен формироваться с учётом нелинейности регулировочных характеристик, амплитуды обратного напряжения и типоминимала испытуемого диода. Это требует тщательной калибровки задающего устройства и применения базы данных.

Результаты проведённых исследований использованы при разработке устройства формирования импульсов обратного напряжения в составе тестера для автоматизированного контроля параметра dV/dt SiC-диодов Шоттки.

Список литературы

1. Cree SiC Power White Paper: The Characterization of dV/dt Capabilities of Cree SiC Schottky diodes using an Avalanche Transistor Pulser. Sep. 2015. <https://www.wolfspeed.com/power/tools-and-support/white-papers>.
2. Брюхно, Н. Исследование стойкости SiC-диодов Шоттки ЗАО «ГРУППА КРЕМНИЙ ЭЛ» к скорости нарастания обратного напряжения/ Н. Брюхно, В. Громов, А. Демидов и др. //Силовая электроника. – 2018. – №2. – С.10 – 13.
3. Van Brunt E., Wang G., Liu J. et al. Operation of 4H-SiC Schottky diodes at dV/dt values over 700 kV/ μ s. Proceedings of the 2016 28 th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD). June 12 – 16, 2016, Prague, Czech Republic.

Материал поступил в редколлегию 15.10.18.