

медным анодом при ускоряющих напряжениях 10–40 КэВ и токах 100–400 мкА. Предложена методика восстановления изображения, полученного в условиях экстремально низкой освещенности (в режиме малого числа фотонов, что характерно для рентгеновского диапазона).

Литература

1. Karolyn, A. MacDonald. An Introduction to X-ray Physics, Optics, and Applications / A. MacDonald Karolyn. – Princeton University Press, 2017. – 368 p.
2. Attwood. D. Soft X-rays and extreme ultraviolet radiation / D. Attwood. – Cambridge, 1999.

УДК 621.317.799:621.382

МЕТОД ЗАРЯДА НАКОПИТЕЛЬНОГО КОНДЕНСАТОРА

Лисенков Б.Н.

ОАО «МНИПИ»

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Разработан метод заряда накопительного конденсатора в измерителе динамических параметров силовых полупроводниковых приборов. Новый метод позволяет существенно снизить массу, габариты и стоимость источника напряжения заряда.

Ключевые слова: динамические параметры силовых полупроводниковых приборов, метод двойного импульса, заряд накопительного конденсатора.

STORAGE CAPACITOR CHARGING METHOD

Lisenkov B.

JSC "MNIPI"

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. A method has been developed for charging a storage capacitor in a dynamic parameter meter for power semiconductor devices. The new method can significantly reduce the weight, dimensions and cost of the charge voltage source.

Key words: dynamic parameters of power semiconductor devices, double pulse test, storage capacitor charge.

Адрес для переписки: Лисенков Б.Н., ул. Я. Коласа, 73, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: lisenkovmniipi@tut.by

При измерении динамических параметров силовых полупроводниковых приборов (ПП), например, времени переключения, времени восстановления обратного сопротивления (reverse recovery) и др., формируют испытательные импульсы с пиковым током от единиц до сотен ампер путем разряда конденсатора через силовой объект тестирования.

Предварительно конденсатор заряжают через токоограничивающий резистор. Напряжение на конденсаторе приближается к напряжению источника по экспоненциальному закону с постоянной времени $\tau = RC$, где R – сопротивление токоограничивающего резистора, а C – емкость конденсатора. Напряжение испытательных импульсов задают с погрешностью $\pm 10\%$, при неравномерности вершины до 5% [1–5].

Емкость конденсатора выбирают так, чтобы за время разряда напряжение на нем изменилось не более допустимого предела. Например, в разработанном макете измерителя динамических параметров силовых полупроводниковых приборов, который реализует измерение динамических параметров силовых ПП по методу двойного импульса (Dabble Pulse Test), емкость конденсатора составляет 1500 мкФ.

При измерении времени восстановления обратного сопротивления диода, обратное напряжение на нем должно составлять $100\text{ В} \pm 10\text{ В}$ [3]. Это позволяет определить сопротивление токоограничивающего резистора в зависимости от мощности используемого источника напряжения.

Например, при мощности источника 100 Вт и напряжении 100 В, выходной ток равен 1,0 А ($100\text{ Вт}/100\text{ В}$), сопротивление токоограничивающего резистора равно 100 Ом ($100\text{ В}/1\text{ А}$), а постоянная времени зарядной цепи $\tau = 0,15\text{ с}$ ($100\text{ Ом} \times 1500\text{ мкФ}$). Время заряда конденсатора традиционным методом (по экспоненте) с приемлемой точностью соответствует 5τ и составляет около 0,75 с.

Чтобы устранить перегрев объекта тестирования, на котором рассеивается энергия испытательного импульса, интервал времени между импульсами может быть сравним с временем замены объекта тестирования вручную. С этой точки зрения, длительность интервала между импульсами порядка секунды представляется вполне допустимой, однако мощность (100 Вт), а следовательно габариты, вес и стоимость источника напряжения, мощность которого задействована лишь в течение $1/5$ времени заряда, неоправданно высоки.

Источник напряжения для заряда накопительного конденсатора, наряду с осциллографом и генератором задающих импульсов, относится к основным узлам измерителя динамических параметров, поэтому снижение его стоимости, массы и габаритов весьма целесообразно и экономически оправдано.

Это утверждение справедливо независимо от того предполагается ли самостоятельная разработка источника постоянного напряжения или покупка готового изделия. Необходимо учесть, что, для построения измерителя динамических параметров требуется как минимум два источника – с положительным и отрицательным выходным напряжением.

Нами разработан оригинальный метод заряда накопительного конденсатора, основанный на выборе величины выходного напряжения источника, используемого для заряда, выше номинального напряжения на конденсаторе и прекращении зарядного тока после достижения на конденсаторе требуемого уровня напряжения, чтобы заряд конденсатора происходил уже на начальном, практически линейном, участке экспоненты.

Заряд конденсатора начинают по команде формирования очередного испытательного импульса и сравнивают нарастающее на конденсаторе напряжение, предварительно уменьшенное с помощью резистивного делителя, с постоянным опорным уровнем, соответствующим номинальному значению напряжения на конденсаторе с учетом делителя. После того как напряжение на конденсаторе достигнет своего номинального значения, заряд прекращают.

Напряжение заряда контролируют не на обкладках конденсатора, а непосредственно на силовом объекте тестирования, поскольку при формировании большого импульсного тока, на различных элементах измерительной цепи, в первую очередь на медных проводниках, возникает паразитное падение напряжения.

Измерение напряжения на силовом объекте тестирования в момент воздействия сильноточного испытательного импульса осуществляют с помощью осциллографа, другой канал которого используют для наблюдения формы тока через объект тестирования и измерения интересующего динамического параметра этого объекта, согласно соответствующим стандартам.

Рассмотрим преимущества нового метода на примере разработанного измерителя, в котором напряжение источника для заряда конденсатора составляет 150 В, максимальный ток источника – 0,32 А, пиковый ток до 0,41 А, токоограничивающий резистор – 400 Ом, постоянная времени зарядной цепи $\tau_1 = 0,6$ с ($400 \text{ Ом} \times 1500 \text{ мкФ}$).

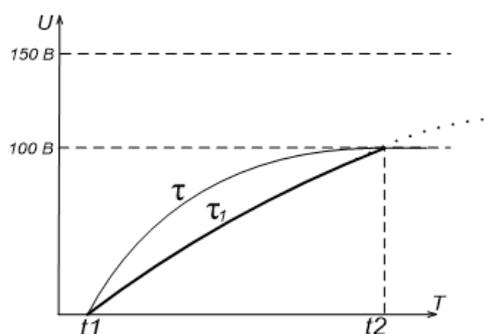
В данном случае, заряд конденсатора происходит за интервал времени приблизительно равный τ_1 , что подтверждается с помощью осциллографа,

а не за $5\tau_1$, как, при использовании традиционного метода. Заметного улучшения скорости заряда, по сравнению с рассмотренным ранее примером (100 В, 100 Вт), не достигнуто, но, благодаря снижению зарядного тока, существенно снижены габариты, вес и стоимость источника напряжения.

В разработанном измерителе источник напряжения реализован на трех включенных последовательно малогабаритных преобразователях АС-DC мощностью 15 Вт каждый с выходным напряжением 48 В (50 В) и с габаритами приблизительно соответствующими по объему 2-м спичечным коробкам.

Предложенный метод позволяет сравнительно просто регулировать напряжение заряда конденсатора двумя способами. Ступенчато – путем переключения коэффициента деления резистивного делителя и плавно – путем соответствующего изменения опорного уровня.

На рис. 1 показаны временные диаграммы заряда накопительного конденсатора традиционным методом (постоянная времени τ) и диаграмма заряда этого же конденсатора согласно разработанного метода (постоянная времени τ_1).



t_1 – начало заряда конденсатора, t_2 – окончание заряда конденсатора; τ – постоянная времени при заряде конденсатора в течение 5τ (по экспоненте); τ_1 – постоянная времени при заряде конденсатора по предложенному методу, $\tau_1 \approx 5\tau$

Рисунок 1 – Временные диаграммы заряда накопительного конденсатора согласно предложенному и традиционному методам

Представленный метод заряда позволяет существенно снизить стоимость, массу и габариты измерителя динамических параметров и обеспечивает высокую стабильность (повторяемость) установки напряжения на конденсаторе, что подтверждается результатами испытаний.

Согласно приведенным выше расчетам, для заряда такого же конденсатора с приемлемой точностью за интервал времени около 0,75 с по экспоненциальному закону потребуется в несколько раз более громоздкий и дорогостоящий источник напряжения мощностью 100 Вт. На основании этого можно заключить, что предложенный метод формирования сильноточных испытательных импульсов экономически весьма эффективен.

Литература

1. Диоды полупроводниковые. Метод измерения времени обратного восстановления : ГОСТ 18986.8-73. – Москва: ИПК Издательство стандартов. – 1998.
2. Диоды полупроводниковые. Метод измерения времени выключения : ГОСТ 18986.5-73. – Москва: ИПК Издательство стандартов. – 1998.

3. Приборы полупроводниковые силовые, методы измерений и испытаний : ГОСТ 24461-80. – Москва: ИПК Издательство стандартов. – 1990.
4. Транзисторы полевые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров : ГОСТ 19095-73. – Москва: ИПК Издательство стандартов. – 1983.
5. Test methods for semiconductor devices, MIL-STD-750E [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.everyspec.com/> – Дата доступа 10.03.2021.

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА АНТЕННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ РАДИОКОЛЛИМАТОРА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ Малай И.М., Титаренко А.В., Озеров М.А.

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт
физикотехнических и радиотехнических измерений»

г.п. Менделеево, Солнечногорск, Московская область, Российская Федерация

Аннотация. Одним из этапов создания радиотехнических систем является подтверждение задаваемых при проектировании характеристик используемых антенных систем или параметров штатной работы в режиме излучения и приема сигналов. Для решения этих задач необходимо использование антенных измерительных комплексов. Примером одного из наиболее универсальных решений для испытаний сложных радиотехнических систем являются измерительные комплексы на основе радиоколлиматоров. Такие комплексы, несмотря на известные достоинства, имеют ряд функциональных и технических ограничений. В работе изложены результаты исследований особенностей радиоколлиматорных систем, оказывающих ключевое влияние на их метрологические характеристики.

Ключевые слова: антенна, измерения, радиоколлиматор.

DEVELOPMENT OF AN COMPACT RANGE FACILITY FOR RADIOELECTRONIC SYSTEMS TESTING

Malay I., Titarenko A., Ozerov M.

Federal State Unitary Enterprise «Russian metrological institute of technical physics and radioengineering»
Solnechnogorsk city, Moscow region, Russian Federation

Abstract. One of the stages in the development of radio electronic systems is the confirmation of the characteristics of the antenna systems used during the design. It is necessary to use antenna measuring systems to solve these problems. An example of one of the most versatile solutions for radio electronic systems testing is a compact range. The paper presents the results of studies of the features of compact range systems that have a key effect on their accuracy.

Key words: antenna, compact range, measurements.

Адрес для переписки: Титаренко А.В., г.п. Менделеево, Солнечногорск 141570, Московская область, Российская Федерация
e-mail: titarenko@vniiftri.ru

Введение. Одним из наиболее универсальных и эффективных типов антенных измерительных комплексов являются комплексы на основе радиоколлиматоров (компактные полигоны). Компактных полигонов в настоящее время насчитывается свыше сотни в мире и около десятка в Российской Федерации. Однако их теоретические и экспериментальные характеристики никем не афишируются. Единственным источником информации служат данные, предоставляемые производителями и публикуемые в научных статьях.

При проектировании радиоколлиматорного комплекса ФГУП «ВНИИФТРИ» решалась задача создания прецизионного инструмента для

антенных измерений обладающего широкими функциональными возможностями.

Задачи проектирования. Хотя известны примеры использования радиоколлиматоров на основе диэлектрических линз, наибольшее распространение получили радиоколлиматоры на основе металлических зеркал следующих видов:

- однозеркальные со скругленными краями;
- однозеркальные с зубчатыми краями;
- двухзеркальные с зубчатыми краями.

Все они отличаются только видом используемых коллиматорных зеркал. Характеристики радиоколлиматоров оцениваются по равномерности амплитудного-фазового распределения (АФР) электромагнитного поля в рабочей зоне и уровню