

НОВЕ ПОКОЛІННЯ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ СИЛОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ

New generation of testing equipment for power semiconductor devices

Підвищені вимоги до якості силових напівпровідникових приладів (СНП) значної потужності можна забезпечити тільки за допомогою високоточного вимірювального обладнання. Наприклад, в разі паралельного включення потужних діодів або тиристорів задовільний струморозподіл можна одержати при девіації значень прямої імпульсної напруги (для тиристорів — імпульсної напруги у відкритому стані) порядку $\pm 0,01$ В. Така точність досягається на вимірювальному обладнанні із загальною похибкою вимірів 1,0-1,5%, а не 5%, як встановлено стандартом [1].

Вимога стандарту [1] до похибки визначення повторюваної і неповторюваної напруг при випробовуванні високовольтних СНП також є недостатньою. За похибки вимірів 10% абсолютна похибка для СНП сорокового класу становить ± 400 В, що не тільки не влаштовує споживачів, а й не дає змоги коректно задавати режими для вимірювання динамічних параметрів.

Основною складовою похибки вимірів параметрів СНП є низька точність задання параметрів випробувальної дії (силових імпульсів). Силкові частини вимірювального устаткування традиційно виконуються на базі LC- або RC-контурів [1, 2, 3], особливо для вимірювання параметрів потужних СНП. Формувачі на пасивних елементах не дають можливості отримати точність задання параметрів тестових імпульсів понад 5-10%.

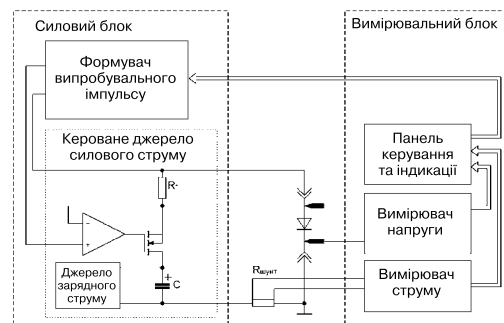
Кардинальним рішенням є побудова силових частин випробувального устаткування на базі активних формувачів — джерел імпульсного струму або напруги, що забезпечують стабілізацію параметрів випробувального впливу. Регульовальний елемент такого формувача повинен характеризуватися високою швидкодією, значним коефіцієнтом підсилення й великою імпульсною розсіюваною потужністю. Застосування потужних IGBT не вирішує проблеми, оскільки вони призначені в основному для роботи в ключовому режимі, а в підсилювальному режимі мають досить невисокі граничні частоти.

Цим вимогам найбільш відповідають сучасні польові транзистори. Значна потужність, малі втрати у відкритому стані, висока швидкодія, усталена робота в підсилювальному режимі й велика ступінь підсилення при високих струмах роблять MOSFET практично незамінними елементами для побудови силової частини вимірювального устаткування. Крім того, MOSFET допускають паралельне з'єднання без додаткових схемних витрат, що дає змогу будувати джерела імпульсного струму на 10-20 кА.

На ТОВ "Елемент-Перетворювач" (Запоріжжя, Україна) розроблено нове покоління обладнання для вимірювання параметрів СНП.

Для вимірювання параметрів ВАХ СНП у відкритому стані: імпульсної напруги у відкритому стані (U_{tm}), граничної напруги ($U_{T(to)}$) і динамічного опору (r_t) розроблено установку УП-32, функціональна схема якої зображена на малюнку 1. Силова частина установки виконана за схемою джерела струму та складається з десяти однакових за схемою побудовою і конструкцією блоків, з'єднаних паралельно.

Застосування як активного формувача керованого джерела силового струму виключає залежність амплітуди й форми тестового імпульсу від змін значень ємності накопичувальних конденсаторів і напруги на них. Це дало змогу виконати накопичувач на малогабаритних електролітичних конденсаторах, не втративши при цьому точність задання параметрів формованого імпульсу струму.



Мал. 1. Функціональна схема установки для вимірювання параметрів ВАХ у відкритому стані

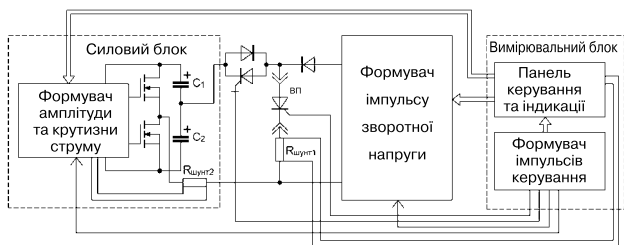
У ході випробовувань через випробовуваний прилад пропускається однократний триступінчастий імпульс струму, що забезпечує вимогу повного включення напівпровідникової структури великої площі за мінімальних енергетичних витрат [4]. Тривалість першого ступеня становить не менш ніж 3,5 мс, амплітуда регулюється від 100 до 500 А, тривалість другого і третього ступенів складають не менше за 300 мкс. Амплітуди цих ступенів регулюються від 200 А до 12500 А. На другому ступені вимірюється значення імпульсної напруги, необхідне для визначення граничної напруги й динамічного опору, на третьому ступені вимірюється значення U_{tm} .

Блок керування установки — мультипроцесорна система на базі мікропроцесорів Atmel. Вимірювач миттєвих значень струму й напруги виконаний на 12-розрядному АЦП Analog Devices. Форма випробувальної дії задається 12-розрядним ЦАП. Після вимірювання на індикатори виводяться чотири значення: амплітуда струму, за якої вимірювалося U_{tm} , значення U_{tm} , $U_{T(to)}$ й r_t . Похибка вимірів напруги й струму у всьому діапазоні становить не більш ніж 1%.

Для вимірювання напруги з точністю ± 10 мВ необхідно виключити вплив на результат вимірювань електромагнітної складової, обумовлений протіканням у силовому колі імпульсів струму амплітудою близько 10 кА. З цією метою монтаж силової частини установки та її підключення до випробуваного приладу виконані у вигляді біфілярних ліній з мінімальною власною індуктивністю.

За аналогічними схемотехнічними і конструктивними рішеннями виконано джерела прямого й зворотного імпульсів струму установи для вимірювання часу вимикання. Відмінності обумовлені вимогами до вищої швидкодії формувача. Функціональна схема установки наведена на малюнку 2. Формувач

імпульсів прямого і зворотного струмів — це підсилювач із двотактним виходом, несиметричною (плюс 25 В і мінус 100 В) напругою живлення та глибоким зворотним зв'язком по струму. Розв'язка низьковольтних джерел струму від високовольтного джерела повторної напруги здійснюється швидковідновлюваними діодами VD1 і VD2 та замикним тиристором VT1.



Мал. 2. Функціональна схема установки для вимірювання часу вимикання

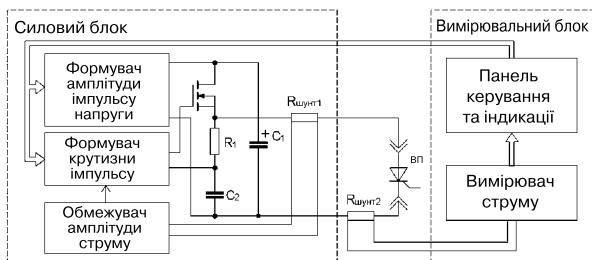
Основні технічні характеристики установки:

- амплітуда імпульсу прямого струму: 200 – 2000 А;
- рівень обмеження зворотного струму дорівнює амплітуді імпульсу прямого струму;
- швидкість спаду прямого струму: 5 – 200 А/мкс (мінімальна тривалість фронту спаду струму становить 10 мкс);
- швидкість наростання повторної напруги: 20 – 200 В/мкс;
- амплітуда імпульсу повторної напруги: 500 – 2000 В;
- діапазон вимірюваних значень часу вимикання: 15 – 1000 мкс.

Всі параметри регулюються незалежно один від одного.

Ще однією принциповою особливістю установки є побудова джерела імпульсів повторної напруги. Джерело складається з восьми послідовно з'єднаних формувачів, кожен з яких формує імпульс напруги трапецеїдальної форми з лінійним переднім фронтом. Вихідний імпульс джерела, що прикладається до випробовуваного приладу, має швидкість наростання напруги і амплітуду, пропорційну кількості формувачів.

Формувач напруги виконаний за схемою (мал. 3) параметричного джерела струму на MOSFET, що працює на ємнісне навантаження. Щоб виключити вплив зміни бар'єрної ємності випробовуваного приладу на форму переднього фронту імпульсу напруги, зворотний зв'язок по струму береться тільки з резистора R1, включеного послідовно з формувальним конденсатором C2. Амплітуда вихідного імпульсу напруги регулюється зміною напруги на витоку транзистора.



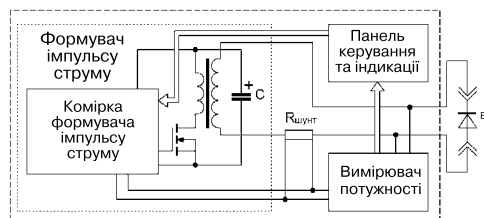
Мал. 3. Функціональна схема формувача імпульсів повторної напруги

Такий же формувач імпульсів напруги є основою установки для визначення критичної швидкості наростання напруги в закритому стані $(du/dt)_{crit}$.

Установка для визначення $(du/dt)_{crit}$ забезпечує вимірювання тиристорів класів від 5 до 42 (амплітуда вихідної напруги від 335 до 2814 В задається з похибкою не більш ніж 5%) і має діапазон регулювання швидкості наростання переднього фронту імпульсів напруги від 50 до 2500 В/мкс. Відхилення

швидкості наростання напруги від заданого значення в діапазоні від 0,1 до 0,9 амплітуди не перевищує 5%. Висока вірогідність результатів вимірювань обумовлена й тим, що при включенні випробовуваного тиристора по перевищенню (du/dt) формувач забезпечує протікання через нього імпульсу струму з амплітудою близько 10 А.

Схемотехнічні рішення, покладені в основу силової частини установки для визначення максимальної ударної потужності зворотних втрат, дещо відрізняються від розглянутих вище. Джерело імпульсів напівсинусоїдальної форми [1] з напругою до 7,5 кВ і максимальною імпульсною потужністю понад 40 кВт реалізоване у вигляді джерела струму на MOSFET, що працює на імпульсний трансформатор (мал. 4). Глибокий зворотний зв'язок по струму із вторинної обмотки трансформатора дає змогу забезпечити точність підтримки форми тестового імпульсу та стабільність його амплітуди при нелінійному характері навантаження.



Мал. 4. Функціональна схема установки для визначення максимальної ударної потужності зворотних втрат

Через випробовуваний діод пропускається дворівневий імпульс струму. Спочатку формується імпульс струму трапецеїдальної форми з амплітудою 100 мА, призначений для виведення випробовуваного діода на початок лавинного пробою та для вимірювання його напруги лавинного пробою. Потім струм збільшується, і на ділянці лавинного пробою має напівсинусоїдальну форму тривалістю 100 мкс за рівнем 0,5 від амплітудного значення. Амплітуда імпульсу регулюється від 100 мА до величини, обмеженої максимальною потужністю 40 кВт.

Метрологічні характеристики установки дають можливість випробовувати лавинні діоди всіх відомих типів.

Висновок

1. Нове покоління випробовувального устаткування забезпечує точність вимірювань, що відповідає будь-яким вимогам споживачів у виборі параметрів СНП.
2. Висока точність вимірювань забезпечує високу якість СНП виробництва ТОВ «Елемент-Перетворювач».
3. MOSFET на сьогодні не мають альтернативи у розробці силових блоків точного вимірювального устаткування для СНП.

4. Активні формувачі дають змогу будувати силову частину випробовувального устаткування із набору однотипних секцій, що забезпечує майже необмежені можливості розширення діапазонів за струмом і напругою.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 24461-80. Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний.
2. Бардин В.М., Моисеев Л.Г., Сурочан Ж.Г., Чебовский О.Г. Аппаратура и методы контроля параметров силовых полупроводниковых вентилях. – М.: Энергия, 1971.
3. Лаппе Р., Фишер Ф. Измерения в энергетической электронике. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
4. Бардин В.М., Цетлин В.П., Миков А.Г., Петров Б.И. Переносной прибор для измерения прямого падения напряжения на силовых полупроводниковых приборах // Измерительная техника. – 1980. – №1. – с. 59.

