

УДК 621.311.6

Панычев Андрей Иванович, Максимов Александр Викторович

**РЕКОНФИГУРИРУЕМЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
ОСОБЕННОСТЕЙ ОДНОФАЗНЫХ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ
ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ**

Представлен реконфигурируемый виртуальный стенд для изучения характеристик и параметров полупроводниковых однофазных неуправляемых выпрямителей, разработанный в среде схемотехнического моделирования Multisim. Предложены методики выполнения основной и дополнительной программ исследования особенностей данного функционального узла. Реконфигурирование состава выпрямителя посредством коммутации ветвей электрической схемы позволяет исследовать основные свойства и получить оценки параметров однофазного однополупериодного и мостового неуправляемых выпрямителей с различными пассивными сглаживающими фильтрами. Углубленное изучение характеристик выпрямителей предусматривает самостоятельное внесение обучающимися изменений в схему в части замены одиночных электрических вентилях последовательной и параллельной комбинацией диодов, а также формирования многозвенного и резонансного индуктивно-емкостных сглаживающих фильтров. Электропитание, выпрямители, САПР, инженерное образование.

Panychev Andrey Ivanovich, Maksimov Aleksandr Viktorovich

**RECONFIGURABLE STAND FOR STUDYING THE SINGLE-PHASE
UNCONTROLLED RECTIFIERS FEATURES**

A reconfigurable virtual stand for studying the semiconductor single-phase uncontrolled rectifiers characteristics and parameters, developed in the Multisim circuit modeling environment, is presented. The methods of performing the main and additional programs for studying the features of this functional node are proposed. Reconfiguration of the rectifier composition by switching the electrical circuit branches makes it possible to investigate the basic properties and obtain estimates of the parameters of single-phase single-half-period and bridge uncontrolled rectifiers with various passive ripple filters. An in-depth study of the rectifiers characteristics provides for students to independently make changes to the circuit in terms of replacing single electric valves

with a serial and parallel combination of diodes, as well as the formation of multi-link and resonant inductive-capacitive ripple filters.

Power supply, rectifiers, CAD, engineering education.

Введение

Инженерными образовательными программами в области электроники, радиотехники и систем связи предусмотрено приобретение студентами навыков использования систем автоматизированного схемотехнического проектирования электрических цепей. Наиболее популярные САПР для имитационного моделирования электроники и их краткие описания приведены на сайте [1].

Программным пакетом, хорошо адаптированным для образовательных целей и позволяющим моделировать электронные цепи, анализировать их работу без создания реальной схемы и использования физических измерительных приборов является САПР NI Multisim. Основные преимущества NI Multisim – простой наглядный интерфейс, мощные средства графического анализа результатов моделирования, наличие виртуальных измерительных приборов, копирующих реальные аналоги. Библиотека элементов содержит более 2000 SPICE-моделей компонентов National Semiconductor, Analog Devices, Phillips, NXP и других производителей. Для имитационного моделирования электро-преобразовательных устройств важно, что разработаны библиотеки электромеханических моделей, импульсных источников питания, преобразователей мощности [2, 3].

Виртуальный реконфигурируемый стенд

Виртуальный лабораторный реконфигурируемый стенд для изучения однофазных неуправляемых выпрямителей приведен на рис. 1.

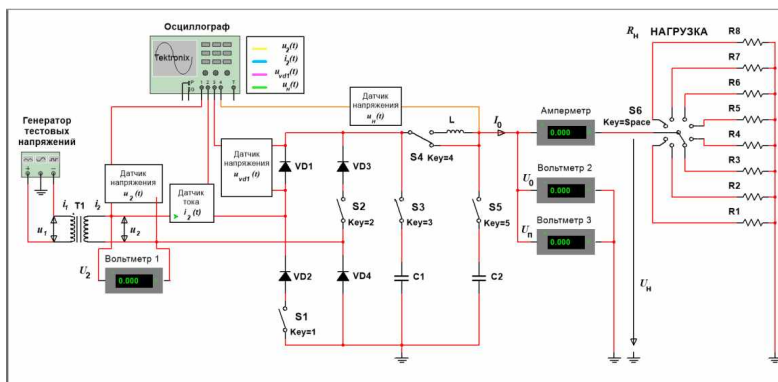


Рис. 1. Схема реконфигурируемого стенда для изучения однофазных неуправляемых выпрямителей

Стенд содержит следующие функциональные элементы:

- четыре диода VD1...VD4, формирующие исследуемые схемы выпрямления;
- дроссель L и конденсаторы C1, C2, формирующие исследуемые сглаживающие фильтры;
- генератор тестовых напряжений;
- силовой трансформатор T1;
- комплект резисторов НАГРУЗКА;
- осциллограф;
- амперметр и вольтметры.

Реконфигурирование схемы однофазного выпрямителя, подключенного к вторичной обмотке силового трансформатора T1, производится с помощью переключателей S1...S5.

Переключателями S1 и S2 задается одна из однофазных схем выпрямления:

- однополупериодная (S1 и S2 разомкнуты): выпрямительную функцию выполняют последовательно включенные диоды VD1 и VD4; обратный диод, функцию которого выполняет VD3, в схему вводится переключателем S2;
- мостовая (S1 и S2 замкнуты): выпрямление выполняется диодами VD1...VD4.

Переключателями S3, S4 и S5 формируется один из вариантов пассивного сглаживающего фильтра:

- без фильтра (переключатели S3 и S5 разомкнуты, S4 в нижнем положении);
- емкостной (S3 замкнут, S4 в нижнем положении);
- индуктивный (S3 и S5 разомкнуты, S4 в верхнем положении);
- индуктивный с обратным диодом (S2 замкнут, S3 и S5 разомкнуты, S4 в верхнем положении);
- индуктивно-емкостной Г-образный (S5 замкнут, S4 в верхнем положении);
- индуктивно-емкостной П-образный (замкнуты S3 и S5, S4 в верхнем положении).

Переключателем S6 выбирается значение сопротивления нагрузки R_H . Назначение измерительных приборов следующее.

• Осциллограф Tektronix TDS 2024 предназначен для одновременного наблюдения и исследования временной взаимосвязи электрических величин:

- напряжения на вторичной обмотке трансформатора u_2 ;
- тока во вторичной обмотке трансформатора i_2 ;
- напряжения на выпрямительном диоде u_{VD1} ;
- выпрямленного напряжения на нагрузке (после фильтра) u_H .

• Вольтметр 1 измеряет действующее значение входного напряжения U_2 .

• Вольтметр 2 измеряет постоянную составляющую выпрямленного напряжения U_0 .

• Вольтметр 3 измеряет действующее значение напряжения пульсации U_P .

• Амперметр измеряет постоянную составляющую тока нагрузки I_0 .

Использование виртуального осциллографа Tektronix TDS 2024 является отличительной особенностью стенда и существенно упрощает выполнение лабораторной работы, т.к. данный тип реальных осциллографов широко применяется в физических лабораторных стендах многих инженерных дисциплин.

Программа исследований однофазных неуправляемых выпрямителей

Реконфигурируемый стенд для изучения однофазных неуправляемых выпрямителей применен в лабораторном практикуме [4].

Стандартная программа практикума включает измерение:

- формы токов и напряжений в однофазных однополупериодной и мостовой схемах выпрямителей;
- нагрузочных характеристик выпрямителей с различными пассивными сглаживающими фильтрами;
- зависимостей коэффициентов пульсаций и угла отсечки тока вентиля от тока нагрузки;
- коэффициентов сглаживания фильтров.

Дополнительным заданием предусмотрены исследования:

- формы токов и напряжений, коэффициентов сглаживания сглаживающих фильтров, угла отсечки тока выпрямительного диода в режиме работы выпрямителей, близких к режиму короткого замыкания;
- однофазных неуправляемых выпрямителей при прямоугольной форме входного напряжения;
- однофазных неуправляемых выпрямителей при треугольной форме входного напряжения.

Также стенд предусматривает возможность исследования свойств составных электрических вентилях, применяемых в мощных выпрямителях. В библиотеке компонентов стенда размещены сборки диодов, предназначенные для увеличения прямого тока (рис. 2,а) и обратного напряжения (рис. 2,б) электрического вентиля выпрямителя.

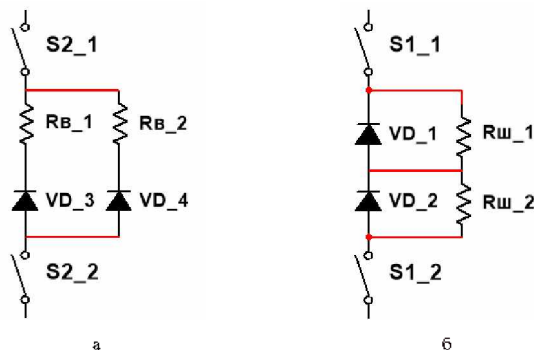


Рис. 2. Схемы параллельного (а) и последовательного (б) включения электрических вентилях

Студенты могут исследовать влияние типа диода и величины сопротивления выравнивающих и шунтирующих резисторов на основные параметры выпрямителя.

Выводы

Реконфигурируемый стенд, разработанный в системе моделирования радиоэлектронных устройств NI Multisim, обеспечивает возможность исследования характеристик и параметров однофазных однополупериодного и мостового неуправляемых выпрямителей с различными пассивными сглаживающими фильтрами. Углубленное изучение особенностей этих функциональных узлов источников электропитания включает анализ работы в режиме, близком к короткому замыканию на выходе, при входных напряжениях различной формы, при использовании составных электрических вентилей, обеспечивающих большой ток и высокое напряжение в нагрузке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. URL: https://cxem.net/software/soft_CAD.php (дата обращения 20.05.2024 г.).
2. *Хернтер М.Е.* Электронное моделирование в Multisim. – М.: Книга по требованию, 2009. – 500 с.
3. *Шестеркин А.Н.* Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 943 с.
4. *Панычев А. И., Гарматюк С. С., Ваганова А. А., Марков К. В.* Устройства электропитания радиоэлектронных средств: учебное пособие / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2021. – 249 с.

Панычев Андрей Иванович, кандидат технических наук, доцент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: aipanychev@sfnedu.ru.

Максимов Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: avmaksimov@sfnedu.ru.

Panychev Andrey Ivanovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate Professor of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, 44 Nekrasovsky per., Taganrog, Russia, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: aipanychev@sfnedu.ru.

Maksimov Aleksandr Viktorovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate Professor of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, 44 Nekrasovsky per., Taganrog, Russia, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: avmaksimov@sfedu.ru.