

Поступила в редакцию 08.12.2020

DOI 10.46960/2658-6754_2020_4_82

УДК 621.3.049

Д.В. Алешкин, И.В. Гуляев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
Саранск, Россия

Представлена основная информация о рассеивающей электронной нагрузке постоянного тока, выступающей в роли средства измерения, способного измерить основные выходные параметры испытуемого устройства. Систематизированы ее основные режимы работы. Проанализированы вольт-амперные характеристики электронной нагрузки. Представлена схемная реализация электронной нагрузки в разных режимах ее работы. Выполнена проверка работы AC/DC и DC/DC преобразователей, аккумуляторов, портативной электроники с помощью электронной нагрузки. Приведенные результаты подтверждают, что электронные нагрузки способны поглощать электрическую энергию источника, являются регулируемым эквивалентом активного сопротивления с возможностью реализации больших мощностей. Отмечено, что электронные нагрузки являются эффективным средством повышения результативности испытаний.

Ключевые слова: режим постоянного напряжения, режим постоянной мощности, режим постоянного сопротивления, режим постоянного тока, электронная нагрузка.

1. Введение

Для имитации работы электрических нагрузок широкое применение находят устройства, представляющие собой схему, поглощающую электрическую энергию источника и функционально являющиеся регулируемым эквивалентом активного сопротивления с возможностью поглощения больших мощностей. Такая электронная нагрузка (ЭН) позволяет испытывать современные полупроводниковые преобразователи электрической энергии для реализации всевозможных схмотехнических решений.

Большинство электронных нагрузок способны выполнять как роль нагрузочного элемента, так и средства измерения с возможностью отображения на дисплее различных параметров нагружаемого источника (ток, напряжение, мощность и т.д.)

II. Цель и задачи исследования

Значительная часть современных электронных нагрузок являются запрограммированными инструментами, содержащими такие режимы работы как режим постоянного тока (*Permanent Direct Current Mode, PDCM*), постоянного напряжения (*Permanent Voltage Mode, PVM*), постоянной мощности (*Permanent Power Mode, PPM*) и постоянного сопротивления (*Permanent Resistance Mode, PRM*). Большинство моделей электронных нагрузок поддерживают режим изменения своего состояния по алгоритму, заданному пользователем. Это позволяет проводить сложные испытания, максимально соответствующие работе проверяемых устройств в реальных условиях.

Для ЭН указывается максимальный уровень мощности, который может поглотить устройство. На рис. 1 изображен пример вольтамперной характеристики (ВАХ) электронной нагрузки 200 Вт с кривой максимальной мощности, заданной производителем.

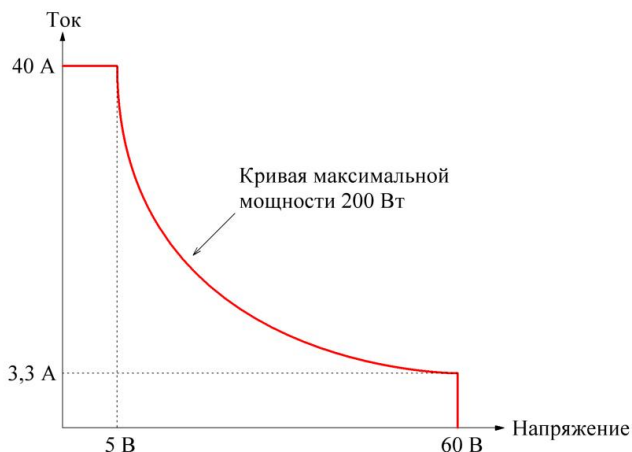


Рис. 1. ВАХ электронной нагрузки с кривой максимальной мощности

Для имитации реальной нагрузки, как правило, использовались либо наборы резисторов, либо реостаты. Такой метод тестирования испытуемого источника применяется, когда нужна имитация чисто резистивной нагрузки. В современных условиях электронная нагрузка постепенно вытесняет способы тестирования источников питания мощными резисторами, так как она способна реализовывать не только сложные алгоритмы испытаний, имитирующих реальную электрическую нагрузку, но и выступать в роли средства измерения, способного измерить основные выходные параметры испытуемого устройства [1].

III. Описание и обоснование предлагаемых методов решения поставленных задач

Рассмотрим основные режимы работы электронной нагрузки постоянного тока.

Режим постоянного тока

Самым распространенным режимом работы ЭН является режим постоянного тока (PDCM). Он характерен тем, что через электронную нагрузку протекает ток, соответствующий заданному пользователем значению, и это значение тока не меняется при изменении напряжения тестируемого устройства.

Описанный выше принцип работы ЭН отлично характеризует идеальную модель устройства, но в реальной ситуации все обстоит несколько иначе. В любой ЭН есть минимальный порог напряжения, ниже которого нагрузка не может обеспечить протекание заданного тока. Этот минимальный порог обусловлен уровнем входного тока и ВАХ МОП-транзистора при низком напряжении сток-исток [2].

Пример реальной ВАХ в режиме постоянного тока для электронных нагрузок 100 и 200 Вт представлен на рис. 2. На нем обозначено минимальное напряжение, при котором ток еще находится на запрограммированном уровне.

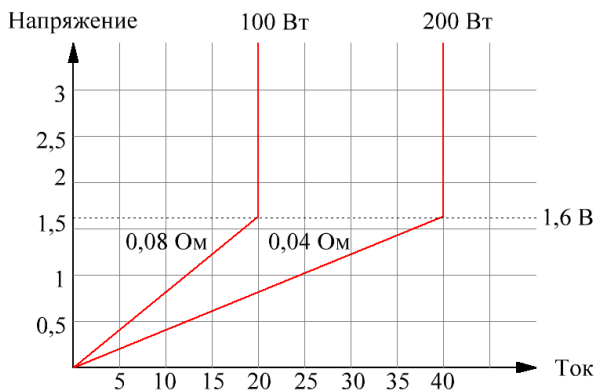


Рис. 2. ВАХ электронной нагрузки в режиме постоянного тока с минимальным поддерживаемым напряжением

Когда ЭН работает в режиме постоянного тока, она регулирует свое сопротивление таким образом, чтобы через нее протекал заданный пользователем ток. Для регулировки сопротивления используются в основном мощные МОП-транзисторы. Напряжением на затворе МОП-транзистора

можно регулировать ток, протекающий через его канал. Можно увеличить мощность нагрузки, параллельно подключив несколько таких транзисторов.

На рис. 3 предложена функциональная схема ЭН в режиме PDCM. Принцип ее работы заключается в том, что ток от тестируемого устройства, протекающий через ЭН, контролируется низкоомным шунтом R1 (например, 1 Ом). Потенциал с шунта подается на инвертирующий вход операционного усилителя (ОУ), а на неинвертирующий вход подается программируемое (задаваемое пользователем) опорное напряжение, которое стремится сделать напряжение между входами равным нулю путем изменения выходного напряжения. Выходное напряжение ОУ открывает транзистор, через который начинает протекать ток. Таким образом, меняя программируемое напряжение на неинвертирующем входе, можно контролировать ток, протекающий через транзистор.

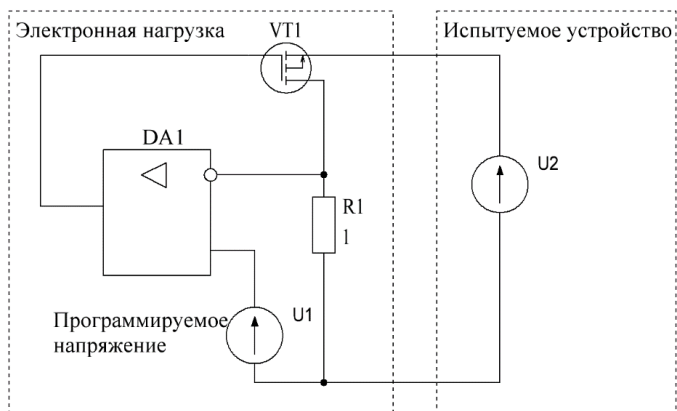


Рис. 3. Функциональная схема электронной нагрузки в режиме постоянного тока

Режим постоянного тока используется для испытаний источников напряжения и определения основных параметров, например, погрешности установки выходного напряжения и нестабильности выходного напряжения [1].

Режим постоянного напряжения

Режим постоянного напряжения (PVM) характерен тем, что на электронной нагрузке падает напряжение, заданное пользователем, и это напряжение не меняется при изменении выходного тока испытуемого устройства. В режиме PVM обычно тестируются устройства, являющиеся источниками тока (зарядное устройство, светодиодный драйвер и т.д.). Суть этого режима в том, что ЭН регулирует свое сопротивление таким

образом, чтобы поддерживать заданное напряжение при любом протекающем токе (в пределах ВАХ максимальной мощности, как на рис. 1) [3].

Функциональная схема ЭН в режиме PVM представлена на рис. 4. Принцип ее работы в том, что подающееся напряжение на ЭН контролируется через делитель напряжения. На инвертирующий вход ОУ поступает потенциал с делителя, пропорциональный напряжению источника тока (в данном случае $1/5$ напряжения источника), на неинвертирующий вход поступает запрограммированное напряжение. ОУ стремится к тому, чтобы напряжение между входами было равным нулю, путем изменения выходного напряжения. Выходное напряжение ОУ управляет МОП-транзистором таким образом, чтобы поддерживать напряжение на ЭН неизменным.

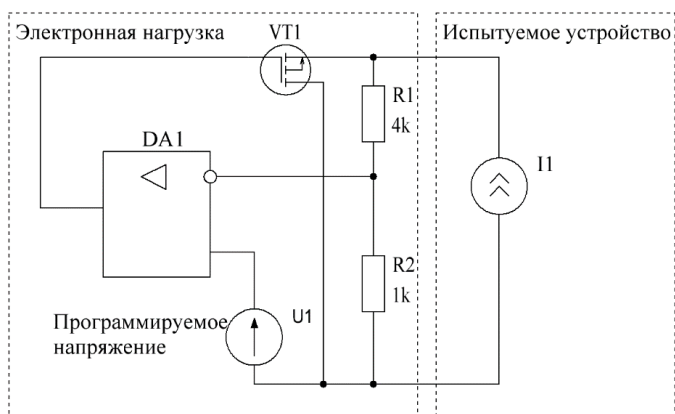


Рис. 4. Функциональная схема электронной нагрузки в режиме постоянного напряжения

ВАХ электронной нагрузки в режиме постоянного напряжения представлена на рис. 5 [1].

Режим постоянного сопротивления

Режим постоянного сопротивления (PRM) характерен тем, что на электронной нагрузке устанавливается постоянное соотношение падения напряжения к потребляемому току, что эквивалентно постоянному активному сопротивлению нагрузки. Сопротивление (отношение напряжения к току), заданное пользователем, остается постоянным при изменении выходного значения источника тока или напряжения. Режим PRM характерен тем, что электронная нагрузка работает как программируемый мощный резистор. ЭН в этом режиме используется в основном для нагрузки источников напряжения или тока [2].

На рис. 6 представлена ВАХ электронной нагрузки в режиме PRM при нагрузке источника напряжения или тока.

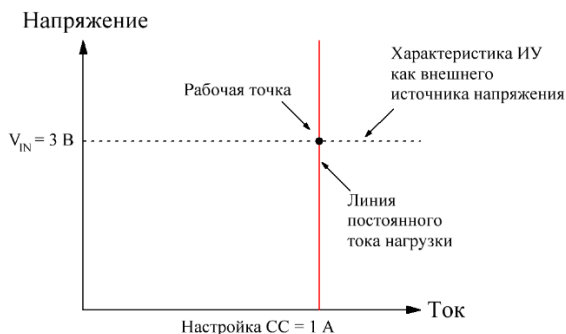


Рис. 5. ВАХ электронной нагрузки в режиме постоянного напряжения



Рис. 6. ВАХ электронной нагрузки в режиме постоянного сопротивления

Для поддержания постоянного сопротивления, следует регулировать протекающий через ЭН ток или падающее напряжение. Это зависит от подключаемого к ЭН устройства. Если это источник тока, то регулируется подаваемое напряжение, если источник напряжения – регулируется протекающий ток.

Режим постоянного сопротивления может быть весьма полезен, если запрограммировать и настроить динамически меняющееся сопротивление нагрузки на любое значение в пределах заданного диапазона. Например,

для таких измерений, как сброс/наброс нагрузки это позволяет оценить работу петли регулирования по выявленным переходным процессам [1].

Режим постоянной мощности

В режим постоянной мощности (PPM) электронная нагрузка (ЭН) нагружает испытуемое устройство (например, источник напряжения) так, что выделяемая источником мощность остается постоянной (заданной пользователем) в допустимых пределах мощности рассеивания электронной нагрузки. Постоянства заданной мощности обеспечивает регулирование падения напряжения на нагрузке и протекающего через нее тока [3].

На рис. 1 приведена ВАХ максимальной мощности при нагрузке испытуемого устройства в режиме PPM. Рисунок иллюстрирует ВАХ предельно рассеиваемой мощности. Режим PPM применяется в основном для разряда аккумуляторов с постоянно потребляемой мощностью, чтобы получить информацию о его сроке службы. На рис. 7 представлена функциональная схема ЭН в режиме PPM. Падение напряжения на ЭН контролируется через делитель напряжения, а протекающий через нее ток – через токоизмерительный шунт (падение напряжения на нем пропорционально току). Измерение потребляемой мощности производится путем умножения тока на напряжение. Результат умножения поступает на инвертирующий вход ОУ и сравнивается с запрограммированным значением мощности инвертирующего входа. В результате напряжение на выходе ОУ открывает МОП-транзистор так, чтобы нагрузка потребляла заданную мощность [1].

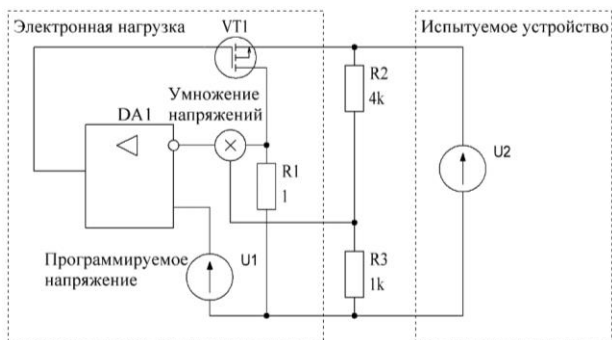


Рис. 7. Функциональная схема электронной нагрузки в режиме постоянной мощности

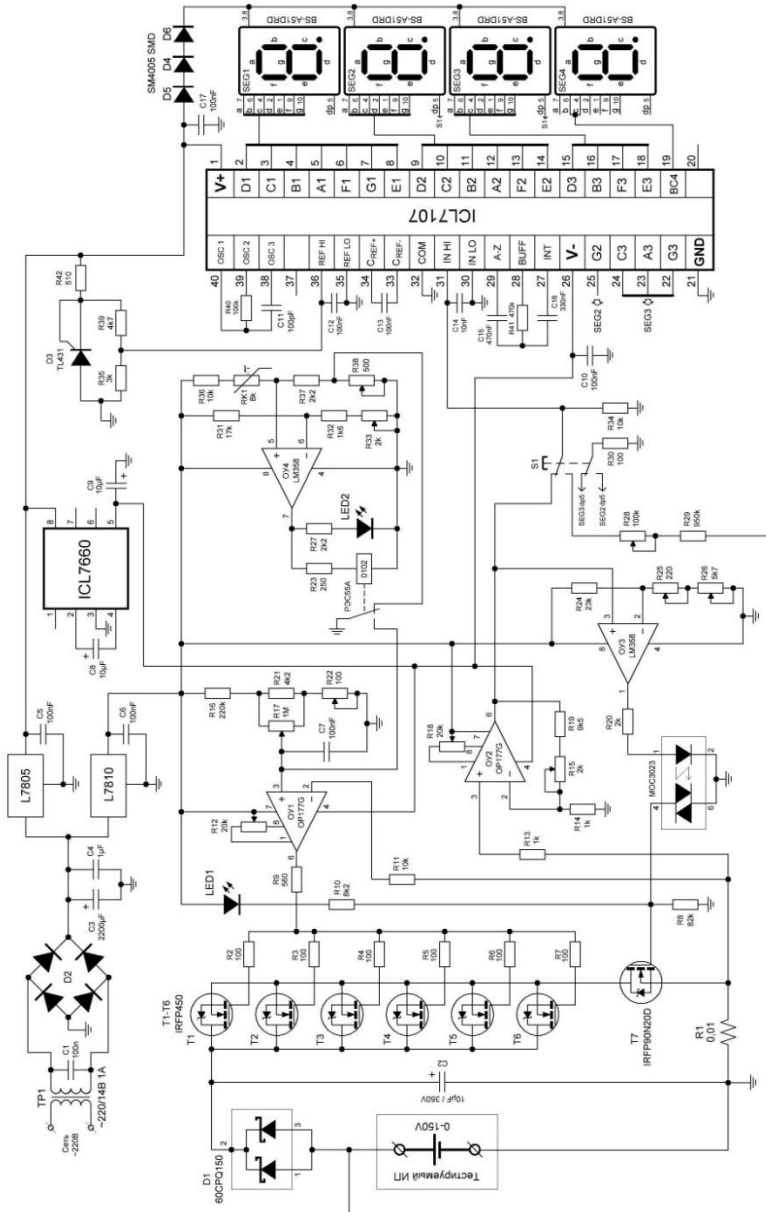


Рис. 8. Принципиальная схема электронной нагрузки

Измерение проводится с помощью микросхемы АЦП ICL7107, а индикация осуществляется с помощью подключаемых к ней семи сегментных индикаторов SEG1 – SEG4.

IV. Результаты

Поскольку электронные нагрузки предназначены для имитации различных режимов работы источников питания, они являются эффективным средством повышения результативности испытаний. Приведем несколько примеров.

Проверка AC/DC и DC/DC преобразователей. С помощью электронной нагрузки можно наиболее быстро и эффективно проверить работу AC/DC и DC/DC-преобразователей. ЭН может имитировать включение и выключение устройства, проверять уровни пульсаций напряжения и тока, оценивать уровень шумов и помех и т.д. По этой схеме проверялась работа преобразователей частоты асинхронизированного вентильного двигателя и бесконтактного асинхронизированного синхронного двигателя в лабораторной установке для исследования статических характеристик [4–6].

Проверка аккумуляторов. Проверка аккумулятора с помощью ЭН в режиме PPM обеспечивает постоянное потребление энергии во всем диапазоне времени тестирования и предоставляет истинные, либо максимально близкие к истинным, результаты.

Проверка портативной электроники. С помощью ЭН, запрограммированной на имитацию различных состояний, можно проверять портативные устройства при различных состояниях питания, таких как: «спящий» режим, энергосбережение и режим полной мощности [1].

V. Заключение

Приведенные результаты подтверждают, что ЭН способны поглощать электрическую энергию источника и являются регулируемым эквивалентом активного сопротивления с возможностью реализации больших мощностей. ЭН способны испытывать современные полупроводниковые преобразователи электрической энергии для реализации всевозможных схемотехнических решений.

ЭН выполняет задачу нагрузочного элемента, а также средства измерения, с отображением различных параметров нагружаемого источника для визуального исследования.

Библиографический список

- [1] Penaranda M. Electronic load fundamentals // Keysight Technologies. May 11, 2019.
- [2] Корнеев С. Новое поколение программируемых электронных нагрузок Good Will Instek // Компоненты и технологии. № 8 (121). 2011. С. 185-188.
- [3] Серков Д. Электронные нагрузки АКИП – эффективный инструмент тестирования LED-драйверов // Электроника: наука, технология, бизнес. 2012. № 7 (121). С. 98-101.
- [4] Сонин Ю.П., Байнев В.Ф., Гуляев И.В. Статические характеристики бесконтактного асинхронизированного вентильного двигателя // Электротехника. 1994. № 9. С. 15-20.
- [5] Копылов И.П., Сонин Ю.П., Гуляев И.В., Никулин В.В. Бесконтактный асинхронизированный синхронный двигатель // Электротехника. 1999. № 9. С. 29-32.
- [6] Гуляев И.В., Тутаев Г.М., Маняев И.В. Влияние частоты возбуждения на энергетические характеристики асинхронизированного вентильного двигателя // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2010. № 3-2. С. 81-88.

D.V. Aleshkin, I.V. Gulyaev

**USING AN ELECTRONIC LOAD FOR STUDY
OF MODERN ELECTRIC POWER CONVERTERS**

National Research Ogarev Mordovia State University
Saransk, Russia

Abstract. The article provides basic information about the DC dissipating electronic load, which acts as a measuring instrument capable of measuring the main output parameters of the device under test. Its main operating modes (permanent direct current mode, permanent voltage mode, permanent power mode, permanent resistance mode) are systematized. The current-voltage curve of an electronic load is analyzed. The schematic implementation of the electronic load in different modes of its operation is presented. The operation of AC/DC and DC/DC converters, accumulators, and portable electronics was tested using an electronic load. These results confirm that electronic loads are capable of absorbing the electrical energy of the source, are a regulated equivalent of the active resistance with the possibility of realizing high powers. It is noted that electronic loads are an effective means of increasing the effectiveness of tests.

Keywords: electronic load, permanent direct current mode, permanent voltage mode, permanent power mode, permanent resistance mode.

References

- [1] M. Penaranda, *Electronic load fundamentals*, Keysight Technologies. May 11, 2019.
- [2] S. Korneev, “Novoe pokolenie programmiruemykh ehlektronnykh nagruzok Good Will Instek [New generation of programmable electron loads Good Will Instek]”, *Komponenty i tekhnologii [Components and technologies]*, no. 8 (121), pp. 185-188, 2011 (in Russian).
- [3] D. Serkov, “Electronic load AKIP – An effective LED drivers test instrument”, *Electronics: Science, Technology, Business*, no. 7 (121), pp. 98-101, 2012.
- [4] Yu.P. Sonin, V.F. Bainev and I.V. Gulyaev, “Static characteristics of contactless asynhronized thyatron motor”, *Russian Electrical Engineering*, vol. 65, no. 9, pp. 20-29, 1994.
- [5] I.P. Kopylov, Yu.P. Sonin, I.V. Gulyaev and V.V. Nikulin, “Contactless asynhronized synchronous motor”, *Russian Electrical Engineering*, vol. 70, no. 9, pp. 35-41, 1999.
- [6] I. Gulyaev, G. Tutaev and I. Manyayev, “Influence of frequency of excitation on power characteristics of asynhronized thyatron motor”, *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [News of Tula State University. Technical Sciences]*, no. 3-2, pp. 81-88, 2010 (in Russian).