

НОВИНКИ RIGOL. ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ НАГРУЗКИ

INNOVATIONS FROM RIGOL. PROGRAMMABLE ELECTRONIC LOADS

Гуськов А.А. (A. Guskov), сертифицированный специалист по продукции RIGOL

Данная статья продолжает цикл обзоров, посвященных контролю измерительному оборудованию, выпускаемому компанией RIGOL Technologies, Inc. В предыдущем номере журнала «КИПС» был опубликован обзор новых моделей анализаторов спектра Rigol. А до этого публиковались статьи о цифровых осциллографах, универсальных генераторах сигналов, векторных РЧ генераторах, программируемых источниках питания, коммутационно-измерительной системе сбора данных и ряде других приборов. Основной новинкой 2017 года в ассортименте Rigol стало новое для этой компании направление — программируемые электронные нагрузки. Это неудивительно, так как совсем недавно подобный и новый для себя тип приборов выпустил ряд производителей, в том числе Tektronix (серия Keithley 2380).

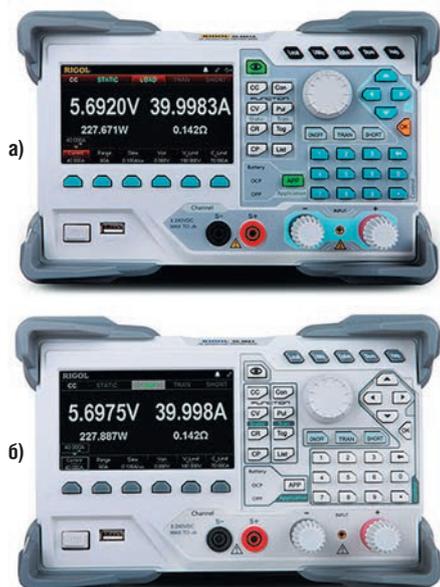


Рис. 1. Программируемая электронная нагрузка Rigol серии DL3000 с индексом «А» (а) и базовая модель (б)

Электронные нагрузки способны имитировать нагрузку для источников питания в различных статических, динамических и некоторых специальных режимах работы и способны выполнять измерения основных параметров источников питания. Представленные весной 2017 года программируемые электронные нагрузки Rigol получили модельный индекс DL3000. К настоящему моменту в серию DL3000 входят четыре модели: DL3021, DL3021A,



DL3031 и DL3031A. Все они являются нагрузками постоянного тока. Третья цифра в индексе модели обозначает максимальную мощность рассеивания электронной нагрузки. Соответственно цифра «2» в индексе (DL3021 и DL3021A) означает максимальную мощность 200 Вт, цифра «3» (DL3031 и DL3031A) — 350 Вт. Максимальное входное напряжение у всех моделей составляет 150 В, а входной ток — 40 А (DL3021, DL3021A) или 60 А (DL3031, DL3031A).

Буквенные индексы в названии модели различных приборов Rigol также имеют особый смысл. Это четко просматривается в цифровых осциллографах, источниках питания, анализаторах спектра Rigol. Если в конце индекса модели нет буквы, то это стандартный базовый вариант выпускаемого прибора. Буква «Е» в конце индекса моделей означает более упрощенный вариант прибора, т.е. некоторые технические или функциональные характеристики могут быть хуже, чем у базовой модели. Буква «А» в индексе, наоборот, означает более «продвинутой» относительно базовой модели, технические характеристики и/или функциональность которой лучше, чем у модели, выпускаемой в стандартном исполнении. Исходя из этих предпосылок видно, что две модели серии (DL3021 и DL3031) выполнены в стандартном исполнении, а две другие (DL3021A и DL3031A) — с улучшенными характеристиками. Их легко отличить даже по внешнему виду (рис. 1): в моделях с индексом «А» (рис. 1 а)



Рис. 2. Органы управления электронной нагрузки DL3021 на передней панели прибора

присутствует цветовая дифференциация и окраска органов управления, выполненная в зависимости от функционального назначения, и цветного интерфейса меню управления на экране.

Как и во всех приборах Rigol, органы управления электронных нагрузок DL3000 четко разделены по функциональным областям, благодаря этому упрощается работа и управление прибором. У всех моделей каждая область на лицевой панели подписана и обведена, а у моделей с индексами «А» кнопки окрашены в разные цвета (рис. 2).

Все цифровые значения параметров можно задать при помощи цифровой клавиатуры, с последующим подтверждением ввода нажатием кнопки «ОК». Изменение числового значения параметра производится поворотным регулятором, переход к выбору нужного параметра, а также переход к нужному разряду внутри цифрового значения параметра осуществляется кнопками с изображением стрелок.



Рис. 3. Зависимость тока от напряжения в режиме постоянного тока (CC)

Как и большинство приборов данного класса, электронные нагрузки Rigol серии DL3000 могут имитировать как статические, так и динамические режимы нагрузки, которые могут возникать при эксплуатации источников питания в реальных условиях работы. Выбор статического или динамического режима работы электронной нагрузки производится кнопками, расположенными в области «FUNCTION». Левый ряд из четырех кнопок «Static» отвечает за выбор одного из статических режимов работы, правый «Tran» — за выбор динамического режима.

При статических вариантах работы нагрузки DL3000 позволяют использовать четыре основных режима: эмулировать режимы постоянного тока Constant Current (CC), постоянного напряжения Constant Voltage (CV),

постоянного сопротивления Constant Resistance (CR) и постоянной мощности Constant Power (CP).

В режиме стабилизации постоянного тока (CC) через электронную нагрузку будет протекать ток в соответствии с заданным значением, который будет постоянным и не будет зависеть от изменения входного напряжения (рис. 3). Если в определённый момент максимальная величина тока тестируемого источника питания превысит заданную величину тока, то напряжение тестируемого источника питания снизится.



Рис. 4. Зависимость напряжения от тока в режиме постоянного напряжения (CV)

В программируемых электронных нагрузках Rigol серии DL3000 в режиме эмуляции постоянного тока (CC) имеется возможность регулировки скорости изменения тока. Иногда этот параметр называется крутизной изменения тока. Этот параметр соответствует изменению тока на нагрузке за единицу времени в диапазоне заданных уровней 10%-90% при нарастании тока и 90%-10% при уменьшении тока, а единицей измерения являются амперы в микросекунду (А/мкс).



Рис. 5. Зависимость тока от напряжения в режиме постоянного сопротивления (CR)

У бюджетных нагрузок Rigol DL3000 без индекса «А» (DL3021 и DL3031) пользователи могут задавать скорость изменения тока в диапазоне от 0,001 А/мкс до 2,5 А/мкс, а у более «продвинутых» моделей — до 3 А/мкс (DL3021А) и до 5 А/мкс (DL3031А) с шагом 0,001 А/мкс. При этом опорные уровни 10% и 90% определяются исходя из установленных, т.е. заданных пользователем, значений токов. У нагрузок DL3000 максимальная крутизна нарастания может быть улучшена до уровня DL3000А, благодаря активации дополнительной опции SLEWRATE-DL3.

Режим постоянного тока (CC) обычно применяется для тестирования исы-

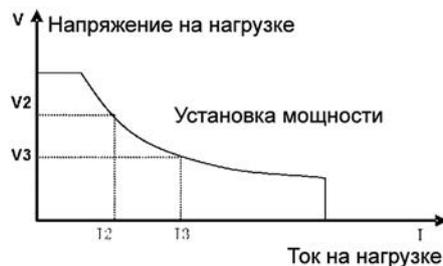


Рис. 6. Зависимость напряжения от тока в режиме постоянной мощности (CP)

точников напряжения, в т.ч. на предмет измерения нестабильности и погрешности.

В режиме стабилизации напряжения постоянного тока (CV) через электронную нагрузку будет протекать ток, равный установленному значению тока на источнике питания, находящемся в режиме стабилизации тока. При этом значение напряжения будет постоянным и неизменным при изменении значения тока на источнике питания (рис. 4).

Режим постоянного напряжения (CV) используется для тестирования источников тока и зарядных устройств.



Рис. 7. Основной экранный интерфейс

В режиме постоянного сопротивления (CR) через нагрузку будет протекать ток пропорциональный входному напряжению, который будет соответствовать установленному значению сопротивления (рис. 5).

Данный режим применяется для определения минимальных и максимальных значений выходного тока источников питания.

В режиме Constant Power (CP) нагрузка рассеивает заданную постоянную мощность ($P=V \times I$). При изменении напряжения или тока на выходе источника питания, т.е. на входе электронной нагрузки, изменится, соответственно, ток или напряжение, протекающий через нагрузку, таким образом, чтобы мощность рассеивания на нагрузке осталась неизменной (рис. 6).



Рис. 8. Отображение режима работы в графическом виде

Во всех своих новых устройствах инженеры-разработчики компании Rigol обязательно вносят какие-либо инновации или интересные новшества, которые зачастую становятся стандартами и в дальнейшем используются другими производителями в своих устройствах. В качестве индикатора в электронных нагрузках Rigol используется большой цветной графический жидкокристаллический дисплей. Это позволяет не только обеспечить цифровую визуализацию параметров и режимов (рис. 7), но и отобразить работу режима с заданными параметрами в виде графического тренда (рис. 8).



Рис. 9. Органы управления переходом нагрузки в статические и динамические режимы

Переход в режим визуализации осуществляется нажатием всего одной кнопки, расположенной сверху справа от дисплея. В таком режиме визуализации пользователи могут увеличивать или уменьшать фрагмент, останавливать тренд, выбирать параметр, по которому строится график, а также выполнять захват и сохранение текущей графической формы.

На передней панели электронной нагрузки в области «Function» справа от кнопок, отвечающих за рассмотренные статические режимы работы, имеется ряд из четырех кнопок, посредством которых прибор может перейти в динамические режимы работы (рис. 9).

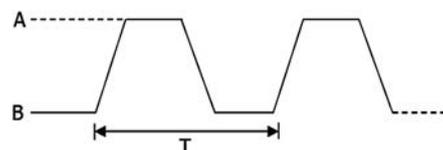


Рис. 10. Непрерывный динамический режим работы нагрузки

Этот ряд обозначен как «Tran» и позволяет переключаться в четыре основных динамических режима: непрерывный режим «Con», импульсный режим «Pul», режим срабатывания по запускающему импульсу «Tog» и режим работы по списку (он же режим тайминга) «List».

Во всех разновидностях динамических режимов общим является то, что электронные нагрузки переключаются между двумя нагрузочными значениями. Разница между этими видами динамических режимов состоит в задании условий переключения между нагрузочными состояниями. Именно динамические режимы применяются для тестирования переходных процессов в источниках питания, например, при изменении выходного напряжения или тока в источнике питания или при включении источника питания. Поэтому область этих кнопок и называется «Tran» (Transition — переходной).

В программируемых электронных нагрузках Rigol серии DL3000 динамические режимы работы применяются, когда прибор находится в режиме постоянного тока (CC).

При запуске непрерывного режима работы («Con») нагрузка начинает постоянно переключаться между двумя нагрузочными состояниями с заданной частотой (рис. 10).

Пользователю доступно задание не только амплитудных значений уровней переключения (A и B), но и таких частотно-временных параметров, как частота / период переключения (T), длительность нахождения на заданном уровне / скважность, скорость нарастания и спада тока при переходе между уровнями, а также источник запуска (рис. 11).

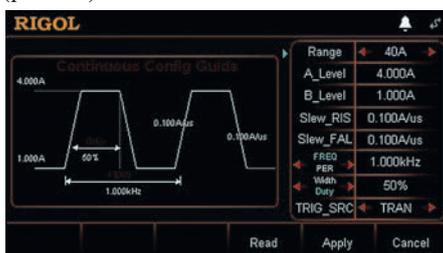


Рис. 11. Экранный интерфейс при задании параметров в непрерывном динамическом режиме работы прибора

Электронным нагрузкам серии DL3000 доступны два диапазона задания уровней в непрерывном режиме работы, которые соответствуют режимам работы при эмуляции постоянного тока (CC). У моделей DL3021 и DL3021A младший диапазон составляет от 0 до 4 А, а старший — от 0 до 40 А. У моделей DL3031 и DL3031A младший диапазон — от 0 до 6 А, старший — от 0 до 60 А.



Рис. 12. Отображение непрерывного динамического режима работы в графическом виде на экране прибора

Частота работы нагрузки может быть задана от 0,001 Гц до 15 кГц (DL3021 и DL3031) и до 30 кГц у моделей с индексом «А» (DL3021А и DL3031А). При активации дополнительной опции FREQ-DL3 (на нагрузках DL3000) максимальное значение частоты работы в непрерывном режиме у моделей DL3021 и DL3031 также может достигать 30 кГц. Активация опции SLEWRATE-DL3 у моделей DL3000 позволит увеличить максимальную величину крутизны нарастания тока до уровня 5 А/мкс.

Источником запуска может быть вы-

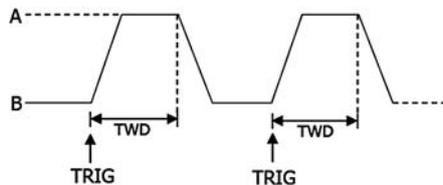


Рис. 13. Импульсный динамический режим работы нагрузки

бран запуск с передней панели (Tran), запуск внешней командой (BUS), внешний запуск через цифровой порт ввода/вывода (DIGIO).

Как и в статических режимах работы, имеется возможность визуализации на дисплее прибора непрерывного режима работы электронной нагрузки (рис. 12).

Полученный сигнал может быть сохранен в бинарный файл, также сохранить можно и настройки для каждого режима. Сохранение доступно как во внутреннюю память прибора, так и на внешний USB-носитель. В дальнейшем эти данные могут быть вызваны из памяти. Кроме того, в файл с расширением «BMP» можно сохранять и снимки экранов.

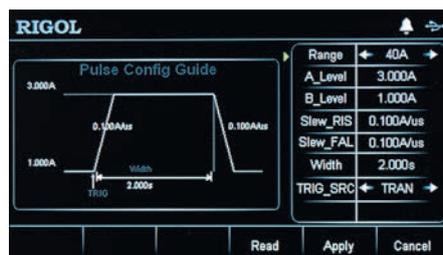


Рис. 14. Экранный интерфейс при задании параметров в импульсном динамическом режиме

В импульсном режиме «Pul» нагрузка переключается с уровня «В» на уровень «А» по поступлению одиночного запускающего импульса (Trig) и удерживается на уровне «А» в течение времени (TWD), а затем возвращается к уровню «В» (рис. 13).

В импульсном, как и в непрерывном, режиме доступны такие установки, как: амплитуда уровней «А» и «В» в двух диапазонах, скорости нарастания и спада, три источника запуска, а вместо длительности импульса или периода — время стояния на уровне (Width) (рис. 14).

График работы нагрузки в импульсном режиме также можно визуализировать (рис. 15).

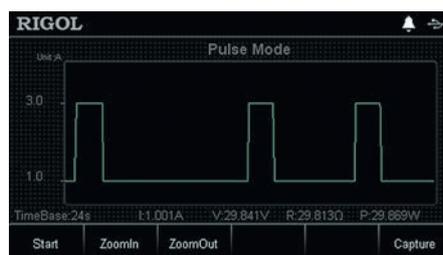


Рис. 15. Визуализация импульсного динамического режима работы в графическом виде на экране прибора

Здесь хотелось бы немного отойти от темы режимов работы нагрузки. Из рис. 14 и рис. 15 видно, что внешний вид, точнее цветное отображение последнего описанного режима на экране, претерпело изменение. Объяснение этому очень простое: для демонстрации статических режимов работы и непрерывном динамическом режиме работы (рис. 11, 12) были показаны экраны электронных нагрузок Rigol DL3000A. Как уже было указано выше, одной из особенностей нагрузок с индексом «А» является цветовая дифференциация кнопок управления на передней панели

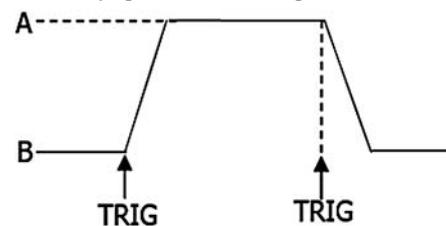


Рис. 16. Динамический режим работы нагрузки при запуске по одиночному импульсу

прибора. Но кроме этого, модели с индексом «А» (DL3031А и DL3021А) предусматривают и полноцветное отображение параметров на экране, что и видно на рис. 11, 12. Модели DL3031 и DL3021 предусматривает квазимонохромное отображение на экране, хотя это скорее условность, т.к. параметры, величины, графические подсказки и т.д. все равно выделяются другим цветом. Для наглядности, начиная с импульсного режима работы нагрузки (рис. 14), снимки экранов всех дальнейших режимов будут показаны снятыми с экранов моделей без индекса «А».



Рис. 17. Экранный интерфейс при задании параметров в режиме срабатывания по одиночному импульсу

По нажатию на передней панели прибора кнопки «Tog» электронная нагрузка перейдет в режим срабатывания по одиночному импульсу. Переключение между уровнями «А» и «В», а затем с уровня «В» на «А», будет происходить при каждом получении импульса синхронизации (рис. 16).

Параметры, доступные для установки в режиме срабатывания от одиночного импульса, не включают, как в импульсном режиме, длительность стояния на уровне, т.к. в данном режиме это время задается последовательными приходами двух импульсов синхронизации TRIG.

Вариант формы сигнала, графически отображаемой на дисплее элек-

тронной нагрузки серии DL3000 при режиме срабатывания от одиночного импульса, изображен на рис. 18.

И, наконец, еще одним вариантом динамического тестирования является режим работы по списку или тайминг. В этом режиме пользователи могут создавать сложные последовательности изменения нагрузочных состояний прибора, запуск которых будет синхронизирован с внутренним или внешним сигналом (рис. 19). При работе по списку доступна поддержка любой из функций эмуляции: постоянного тока (CC), напряжения (CV), сопротивления (CR) и мощности (CV).



Рис. 18. Отображение режима срабатывания по одиночному импульсу в графическом виде

Кроме режимов стабилизации, при создании списка тестирования пользователь может установить уровни нагрузочных состояний, соответствующие каждому из режимов стабилизации, время:

- в режиме CC: диапазон токов от 0 до 4 А или от 0 до 40 А (у DL3021 и DL3021A); от 0 до 6 А или от 0 до 60 А (у DL3031 и DL3031A);
- в режиме CV: диапазон напряжений от 0 до 15 В или от 0 до 150 В;
- в режиме CR: диапазон напряжений от 0,08 до 15 Ом или от 2 до 15 кОм.

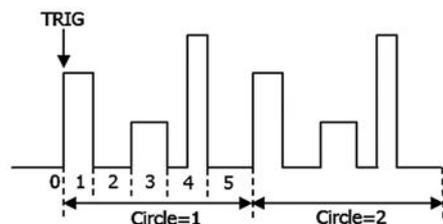


Рис. 19. Режим работы по списку

Также пользователь может установить:

- количество циклов повторения от 0 до 99999;
- количество шагов в каждом цикле от 2 до 512;
- состояние сигнала на входе нагрузки после прохождения теста: отключен или нет;
- источник запуска: с передней панели (Tran), внешней командой (BUS), внешний запуск через цифровой порт ввода/вывода (DIGIO);
- время стояния на шаге (длительность шага) от 0,00005 с до 3600 с;
- скорость нарастания (только для CC).

Все созданные рабочие списки могут быть сохранены как во внутреннюю память электронной нагрузки, так и на внешний USB-носитель в формате «.LST».



Рис. 20. Экранный интерфейс при задании параметров в режиме работы по списку

Кроме статических и динамических режимов функционирования в электронных нагрузках Rigol серии DL3000 имеется возможность задать прикладные режимы, т.е. прибор должен выполнять при этом какую-то прикладную задачу.

Выбор этих функций производится нажатием соответствующих кнопок на передней панели прибора в области «App» (Application).

Как видно из рис. 21 таких прикладных функции три: Battery — функция тестирования батарей; OCP — функция тестирования защиты по току источника питания; OPP — функция тестирования защиты по мощности.

В режиме тестирования защиты по току (OCP) электронная нагрузка постепенно ступенчато увеличивает ток от начального до конечного заданного значения с определенным пользователем шагом. Одновременно нагрузка сравнивает текущее значение напряжения с установленным значением в тесте OCP и если оно выше, то нагрузка продолжает работать. Так продолжается до тех пор, пока не срабатывает защита OCP. Если величина тока срабатывания попадает в установленный диапазон, то тест считается пройденным, если нет — то тест будет считаться не пройденным, и соответствующее информационное сообщение появится на экране нагрузки. Схематично функция тестирования OCP показана на рис. 22.

Задавать параметры тестирования функции защиты по току (OCP) можно двумя способами. Первый — через экранный интерфейс задания параме-

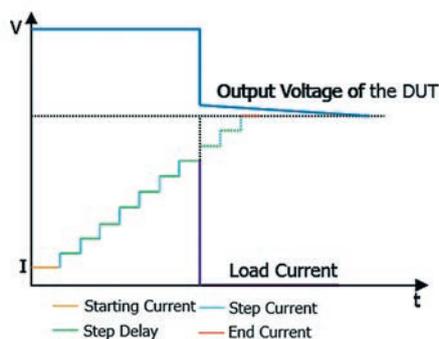


Рис. 22. Схематичное отображение режима тестирования защиты по току (OCP)

тров тестирования. При таком варианте, кроме возможности установки значений величин тестирования, есть еще и графическая подсказка (рис. 23).

Второй — через основной экранный интерфейс, в котором выбран режим OCP и текущие нагрузочные значения будут отображаться на экране (рис. 24).

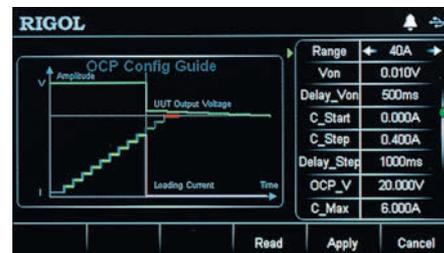


Рис. 23. Экранный интерфейс при задании параметров в режиме тестирования защиты по току (OCP)



Рис. 24. Основной экран в режиме тестирования защиты по току (OCP)

Аналогично ранее рассмотренным режимам, процедуру тестирования срабатывания защиты по току (OCP) можно наблюдать и в виде построения графического тренда (рис. 25), который в дальнейшем можно сохранить на внешний USB-носитель.

Объяснение, почему график тренда, отображенный на рис. 23, и форма тестирования на графической подсказке на рис. 25 зеркально отличаются, очень простое: тренд строится от минимального значения тока по временной оси справа налево.

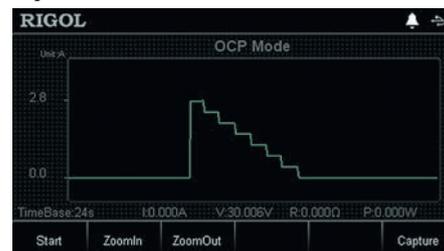


Рис. 25. Графическое представление на экране режима тестирования защиты по току (OCP)

Функция тестирования срабатывания защиты по мощности (OPP) аналогична функции тестирования OCP, но в этом режиме задается и изменяется не значение тока, а величина мощности.

Функция тестирования батарей работает в режиме постоянного тока (CC). В качестве параметров тестирования батареи пользователь может установить: время разряда, величину емкости батареи, минимальное рабочее напряжение. Как только одно из трех заданных значений достигается, разряд

батареи останавливается, что схематично отображено на рис. 26.

Установка параметров при выполнении функции тестирования батарей производится на главном экранном интерфейсе и, кроме трех вышеуказанных параметров, здесь задаются диапазон тока, ток разряда и начальное напряжение.

В дополнение к вышеуказанным режимам, электронные нагрузки Rigol DL3000 имеют возможность выполнять быстрое тестирование источников питания на соответствие заявленным вы-

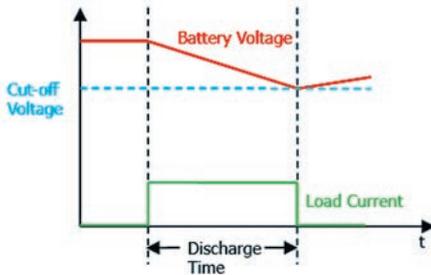


Рис. 26. Схематичное отображение режима тестирования батарей



Рис. 27. Экранный интерфейс в режиме тестирования источников питания на соответствие заявленным заводским параметрам

ходным параметрам тока и напряжения. При стабилизации тока (CC) или напряжения (CV) можно задать максимальное и минимальное значение соответствующего параметра (рис. 27). Этот режим можно использовать, например, для проверки стабильности выходных параметров источника питания.

Если выходной параметр удерживается в заданном диапазоне, то тест считается пройденным и на экране нагрузки появляется надпись «Pass», иначе — «Fail» (рис. 28).

Источники питания имеют маленькое внутреннее сопротивление и схемы защиты в них должны срабатывать при достижении предельных значений выходного тока для защиты прибора от повреждения, например при коротком замыкании. Электронные нагрузки Rigol DL3000 имеют возможность эмуляции короткого замыкания, что облегчает работу при тестировании источников питания. Запуск режима эмуляции короткого замыкания производится нажатием кнопки «Short», расположенной под поворотным регулятором (рис. 29).

Максимальное значение тока короткого замыкания у нагрузок DL3021 и DL3021A составляет 44 А, а у моделей DL3031 и DL3031A — 64 А. Работа режима короткого замыкания не влияет на рабочие настройки значения тока. Когда режим короткого замыкания выключен, нагрузка возвращается в обычный режим работы.

Рядом с кнопкой «Short» на лицевой панели прибора расположена кнопка запуска динамического режима с пе-

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ НАГРУЗОК RIGOL СЕРИИ DL3000

Параметр	DL3021	DL3021A	DL3031	DL3031A	
Входное напряжение	0...150 В				
Входной ток	0...40 А		0...60 А		
Мощность поглощения	200 Вт		350 Вт		
CC режим	Диапазоны	0...4 А / 0...40 А		0...6 А / 0...60 А	
	Разрешение	1 мА			
	Погрешность	±(0,05%+0,05% полной шкалы)			
CV режим	Диапазоны	0...15 В / 0...150 В			
	Разрешение	1 мВ / 5 мВ			
	Погрешность	±(0,05%+0,02% полной шкалы) / ±(0,05%+0,025% полной шкалы)			
CR режим	Диапазоны	0,08 Ом...15 Ом / 2 Ом...15 кОм			
	Разрешение	2 мА/Ууст			
	Погрешность	V _{вх} /V _{уст} ×0,2%+0,2% I полной шкалы			
CP режим	Диапазоны	0...200 Вт		0...350 Вт	
	Разрешение	100 мВт			
Динамические режимы	непрерывный, импульсный, запуск по одиночному импульсу, работа по списку (2...512 шагов, 0...99999 циклов)				
Непрерывный режим (Соп)	0,001 Гц...15 кГц (до 30 кГц — опция SLEWRATE-DL3)	0,001 Гц...30 кГц	0,001 Гц...15 кГц (до 30 кГц — опция SLEWRATE-DL3)	0,001 Гц...30 кГц	
Скорость изменения тока	Диапазоны	0,001 А/мкс...0,25 А/мкс 0,001 А/мкс...2,5 А/мкс (>5 В) (до 3 А/мкс — опция HIRESDL3)	0,001 А/мкс...0,3 А/мкс 0,001 А/мкс...3 А/мкс (>5 В)	0,001 А/мкс...0,25 А/мкс 0,001 А/мкс...2,5 А/мкс (>5 В) (до 5 А/мкс — опция HIRESDL3)	0,001 А/мкс...0,5 А/мкс 0,001 А/мкс...5 А/мкс (>5 В)
	Разрешение	0,001 А/мкс			
Прикладные и специальные режимы и функции	тестирование батарей; тестирование ИП защиты по току (OCP) и мощности (OPP); тестирование ИП на соответствие заводским выходным параметрам тока и напряжения; эмуляция режима КЗ				
Диапазон минимального напряжения V _{оп}	0...150 В				
Измерение тока	Диапазоны	0...40 А		0...60 А	
	Разрешение	1 мА (0,1 мА — опция HIRESDL3)	0,1 мА	1 мА (0,1 мА — опция HIRESDL3)	0,1 мА
	Погрешность	±(0,05%+0,05% полной шкалы)			
Измерение напряжения	Диапазоны	0...150 В			
	Разрешение	1 мВ			
	Погрешность	±(0,05%+0,02% полной шкалы)			
Измерение сопротивления	Диапазоны	0,08 Ом...15 кОм			
	Разрешение	2 мА/Ууст			
Измерение мощности	Диапазоны	0...200 Вт		0...350 Вт	
	Разрешение	100 мВт			
Стабильность (ток / напряжение)	±(0,01%±10 мА) / ±(0,01%±10 мВ)				
Входное сопротивление	350 кОм				
Интерфейсы	USB Host/Device, RS-232; LAN, Digital I/O, GPIB — опция				
Дисплей	Тип	ЖК, цветной 4.3" TFT			
	Цветовое отображение	квазимонохромное	полноцветное	квазимонохромное	полноцветное
Габаритные размеры	239 × 157 × 442 мм				
Вес	7,58 кг				

редней панели «Tran» и кнопка «ON/OFF», позволяющая подключать входные терминалы электронной нагрузки к выходам источника питания. Когда терминалы нагрузки подключены к источнику питания, кнопка «ON/OFF» подсвечивается. Кроме того, в некоторых режимах (например, CC, тестирование батарей, OCP) при включении терминалов нагрузки пользователь может задать минимальное напряжение, достигая которого прибор начинает устанавливать рабочий ток нагрузки (рис. 30).

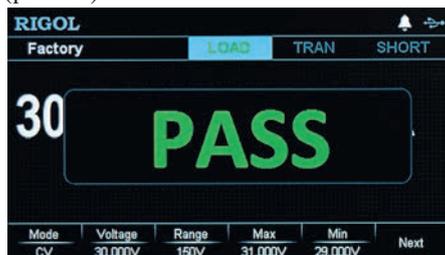


Рис. 28. Экран DL3000 при положительном прохождении теста источника питания

Минимальное напряжение — это довольно важный параметр, который становится еще более значимым при тестировании низковольтных источников питания и аккумуляторных батарей. Ведь при формировании тока на входе прибора присутствует определенное падение напряжения для работы активных элементов нагрузки. Сила тока, протекающего через нагрузку, исходя из закона Ома, связана с внутренним сопротивлением электронной нагрузки.

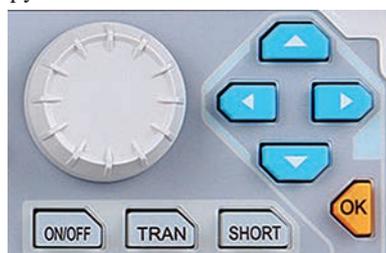


Рис. 29. Фрагмент области органов управления электронной нагрузкой DL3000A

Электронные нагрузки Rigol DL3000 обеспечивают широкий диапазон установки минимального напряжения. Например, в режиме OCP минимальное напряжение может быть задано значением от 0,01 В до 150 В.

При подключении электронной нагрузки к тестируемому источнику пита-

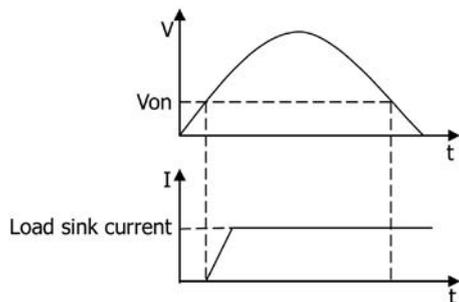


Рис. 30. Зависимость установки рабочего тока при минимальном напряжении

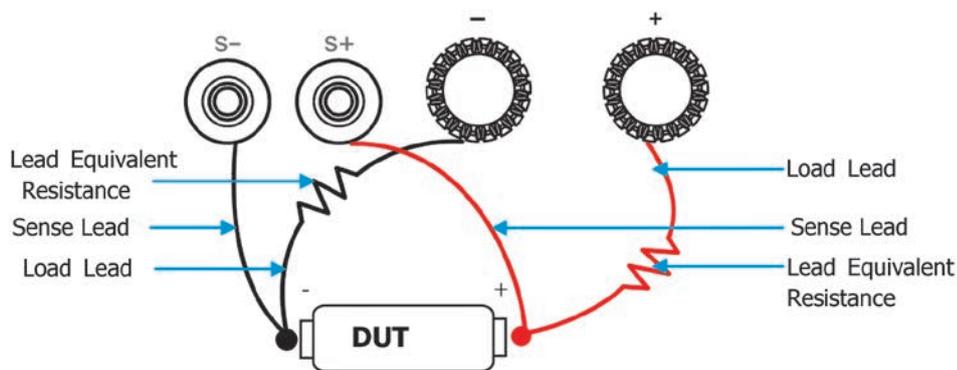


Рис. 31. Четырехпроводная схема подключения электронной нагрузки

ния обязательно происходит уменьшение его выходного напряжения, вызванное, например, падением напряжения на соединительных проводах. Чем больше их длина, тем больше падение напряжения. Соответственно, результат измерения и тестирования будет некорректным. Для компенсации падения напряжения на соединительных проводах в электронных нагрузках Rigol DL3000 можно использовать четырехпроводную схему подключения нагрузки к источнику питания (рис. 31).

Для четырехпроводного подключения используются терминалы «S-» и «S+», расположенные на передней панели прибора около основных входных терминалов.



Рис. 32. Вид сзади электронной нагрузки DL3000

Наличие встроенного вольтметра и амперметра в электронных нагрузках Rigol позволяет проводить более точные и корректные измерения при тестировании источников питания, т.к. на экране нагрузки отображаются реальные измеренные значения на входных терминалах прибора. В штатном варианте разрешение считывания (измерения) тока и напряжения составляет 1 мА и 1 мВ соответственно. Однако, активировав опцию HIRES-DL3, разрешение считывания можно улучшить до 0,1 мА и 0,1 мВ соответственно.

Для предотвращения случайной порчи электронной нагрузки, все модели DL3000 имеют встроенную систему защиты от перегрузки по напряжению, по току, по мощности, от перегрева и от смены полярности. При возникновении перегрузки по любому из этих параметров электронная нагрузка Rigol автоматически немедленно отключит свои входы и выдаст на дисплей сообщение об этом.

На задней панели электронных нагрузок Rigol DL3000 (в левой части прибора) располагаются выходные терминалы «Vmon OUT» и «Imon OUT» (рис. 32). Фактически это разъемы аналоговых выходов напряжения «Vmon OUT» и тока «Imon OUT». На выходе этих терминалов формируется напряжение от нуля до +10 В, которое прямо пропорционально текущим входным параметрам. Подключив к этим выходам цифровой вольтметр или осциллограф, можно производить наблюдение изменения входных параметров электронной нагрузки.

Кроме терминалов «Vmon OUT» и «Imon OUT» на задней панели DL3000 и 3000A расположены разъемы цифрового порта ввода/вывода Digital I/O (который может быть запрограммирован как вход или выход внешнего запуска), а также разъемы интерфейсов дистанционного управления USB, RS-232, LAN.

Наиболее полно технические характеристики электронных нагрузок Rigol серии DL3000 в различных режимах работы можно посмотреть в таблице 1.

Редакция благодарит компанию RIGOL Technologies, Inc. и официального дистрибьютора Rigol на территории РФ и стран СНГ ООО «Ирит» за предоставленные материалы. ☑

In previous issues of our magazine we published the articles dedicated to various test and measuring devices produced by RIGOL Technologies, Inc. We provided full and detailed information about such equipment like spectrum analyzers, digital oscilloscopes, signal generators, programmable power supplies. This time the present article will cover programmable electronic loads. This is the main innovative product of 2017 for the company and in general electronic loads production is the new trend for RIGOL. New RIGOL electronic loads series introduced in Spring 2017 got DL3000 model index and it contains four DC models: DL3021, DL3021A, DL3031 and DL3031A. Maximum input voltage for all models is 150 V and input current — 40 A (DL3021, DL3021A) or 60 A (DL3031, DL3031A). Find more details in the present article.