

# Решения для тестирования автомобильных систем питания



# Решения для тестирования автомобильных систем питания

## Прогнозируйте и анализируйте энергопотребление бортовых систем автомобиля

Автомобильная электроника работает в очень жестких условиях, выдерживая постоянные вибрации, помехи и колебания температуры в диапазоне от минусовых значений до +800°C.

Также серьезной проблемой является сложная электромагнитная обстановка. Автопроизводители устанавливают мощную и высокоскоростную электронику, позволяющую создавать современные системы помощи водителю, информационно-развлекательные системы, средства связи автомобиля с любыми объектами (V2X), и конечно, электромобили с большой дальностью пробега.

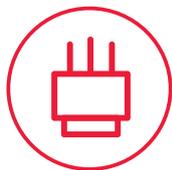
Всё это усложняет работу конструкторов автомобильной электроники, которые должны учитывать все требования, включая сброс нагрузки, ток холодной прокрутки, переполюсовку аккумулятора, запуск двигателя от аккумулятора другого автомобиля, выбросы и другие параметры, определенные стандартами LV 124, ISO 7637-2, ISO 16750-2 и TL 82066:

- переходные процессы на входе
- электромагнитные помехи
- малый ток статического режима
- диапазон напряжения на входе
- ток и напряжение на выходе



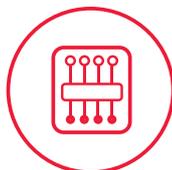
В этой брошюре рассматриваются проблемы проектирования и испытаний электроники для современного автомобиля, а также решения, призванные обеспечить более высокую безопасность и лучшие эксплуатационные характеристики.

Измерение параметров питания на уровне компонентов



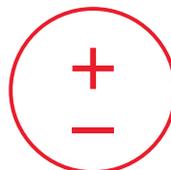
03

Исследование переходных процессов в ЭБУ



09

Преобразование постоянного тока для источников и нагрузок



15

Тестирование электромобилей и экосистемы электротранспорта



21

# Измерение параметров питания на уровне компонентов

Термин «автомобильный силовой полупроводниковый прибор» охватывает диоды, биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ), МОП-транзисторы, а также более новые полупроводниковые приборы на основе карбида кремния (SiC) и нитрида галлия (GaN). Эти приборы управляют питанием и преобразуют электрическую энергию для различных узлов автомобиля, включая электрооборудование корпуса и шасси, информационно-развлекательные и телематические системы, охранную сигнализацию и, всё чаще, силовые агрегаты электромобилей.

Для создания систем с низким расходом топлива и электроэнергии крайне важно использовать полупроводниковые приборы с малым сопротивлением в открытом состоянии и низкими коммутационными потерями. Благодаря применению полупроводниковых приборов на основе GaN и SiC удается получить более высокие рабочие частоты инверторного преобразователя, что позволяет уменьшить размеры пассивных компонентов – конденсаторов и дросселей. Использование деталей с меньшими габаритами снижает вес и увеличивает энергоэффективность автомобиля.

Сложность заключается в проверке энергоэффективности схем с этими полупроводниковыми приборами. Компания Keysight предлагает решения для тестирования силовых полупроводниковых приборов, применяемых в различных узлах автомобилей.

## Анализатор формы потребляемого тока CX3300A и ПО анализа аномальных сигналов

Для реализации важнейших функций в электромобиле используют многочисленные электронные блоки управления (ЭБУ) и программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Любая неисправность может привести к авариям со смертельным исходом и пагубным последствиям для бизнеса, таким как массовый отзыв продукции.

Анализатор формы потребляемого тока **Keysight CX3300A** и ПО анализа аномальных сигналов (рис. 1) обеспечивают быстрое обнаружение и анализ аномальных сигналов в этих ЭБУ и ПЛИС, позволяя ускорить устранение ошибок в аппаратном, программном и микропрограммном обеспечении.

CX3300A располагает следующими возможностями:

- захват неперiodических отклонений сигналов, измерение небольших расхождений между нормальным и аномальным сигналами с большой точностью
- длительное измерение до 100 часов с частотой выборки 10 Мвыб./с
- широкая полоса анализа до 200 МГц
- высокое разрешение 14/16 разрядов
- низкий уровень собственного шума и высокая чувствительность, начиная с долей наноампера и микровольта



Анализатор формы потребляемого тока CX3300A

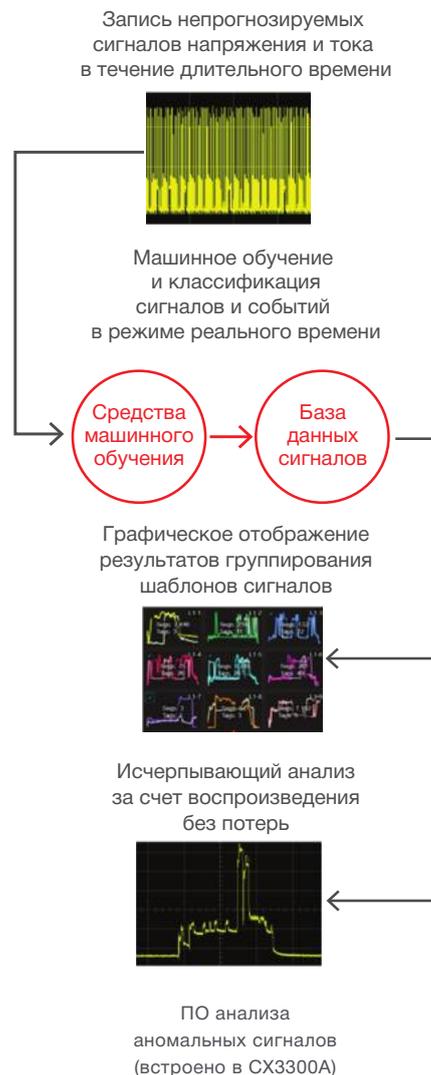


Рисунок 1. Анализатор формы потребляемого тока CX3300A с ПО анализа аномальных сигналов

## Анализатор силовых полупроводниковых приборов/ характериограф B1505A



Рис. 2. Анализатор силовых полупроводниковых приборов/  
характериограф Keysight B1505A

Keysight B1505A – это моноблочное решение для измерения характеристик силовых полупроводниковых приборов от субпикоамперного диапазона до 1500 А при напряжении до 10 кВ. Основные возможности B1505A:

- оценка новых полупроводниковых приборов, таких как БТИЗ, и материалов, таких как GaN и SiC
- поддержка различных источников питания/измерителей (SMU), включая рассчитанные на большие токи и напряжения, а также модулей-расширителей диапазона тока и напряжения.

## Анализатор силовых полупроводниковых приборов B1506A для схемотехнических исследований

Keysight B1506A – это комплексное решение для тестирования эффективности, безопасности и надежности систем электрооборудования автомобиля. Он работает в широком диапазоне токов и напряжений от долей наноампера до 1500 А и от единиц микровольт до 3 кВ. Анализаторы этой серии поддерживают работу с большинством автомобильных полупроводниковых приборов и компонентов. B1506A предлагает следующие возможности:

- автоматизированные измерения ВАХ и ВФХ
- автоматизированные климатические испытания
- измерение входной (C11и), выходной (C22и) и проходной (C12и) емкости, а также измерение емкостей Cзи, Cзс и Cси при напряжении смещения до 3 кВ
- вычисление рассеиваемой мощности



Рис. 3. Анализатор силовых полупроводниковых приборов B1506A

## Анализатор импеданса E4990A



Анализатор импеданса **Keysight E4990A** с диапазоном частот от 20 Гц до 120 МГц обеспечивает минимальную в отрасли базовую погрешность 0,045% (тип.) при измерении импеданса в широком диапазоне с применением встроенного источника смещения 40 В. Она предоставляет следующие возможности:

- снизить общую стоимость тестирования благодаря точному измерению характеристик резонаторов или дросселей, а также расходы на входной контроль, требующий измерений во многих точках на одном или многих тестируемых устройствах
- измерять характеристики и оценивать электронные компоненты, полупроводниковые приборы и материалы в ходе исследований и разработок, работ по обеспечению качества и проверок

Рис. 4. Анализатор импеданса Keysight E4990A

## Анализатор импеданса E4991B

Анализатор импеданса **Keysight E4991B** с диапазоном частот от 1 МГц до 3 ГГц обеспечивает базовую погрешность 0,65% (тип.) при измерении импеданса в широком диапазоне с применением встроенного источника смещения 40 В. Он предлагает:

- функцию анализа эквивалентной схемы, которая поддерживает семь многопараметрических моделей и помогает имитировать эквивалентные значения параметров компонентов
- поддержку различных принадлежностей для исследования материалов, точного измерения импеданса на пластине или микрокомпонентах и т. д.



Рисунок 5. Анализатор импеданса Keysight E4991B

## Осциллографы и импульсные генераторы Keysight

Измерение характеристик в ключевом режиме – важная часть тестирования на уровне компонентов. Компания Keysight предлагает для этого свои осциллографы и импульсные генераторы (рис. 6). Осциллографы Keysight InfiniiVision серии 4000-X обладают достаточной полосой пропускания и разрешением при разумной цене и, при необходимости, могут использоваться с токовым пробником. Импульсный генератор Keysight 81150A подает импульсы с частотой и уровнем, достаточным для измерения характеристик компонентов автомобильной электроники.



Рис.6. Оценка характеристик ключевого режима с помощью осциллографа и импульсного генератора

## Решения для измерения характеристик датчиков

Вы можете быстро измерить характеристики компонентов микроэлектромеханической системы (МЭМС) по постоянному току с помощью анализатора полупроводниковых приборов Keysight B1500A и источника питания/измерителя B2900A. Источники питания/измерители являются удобными средствами измерения ВАХ автомобильных датчиков. Например, с помощью B1500A и B2900A можно измерять постоянные токи и напряжения на устройствах MEMS (таких как акселерометры, см. рис. 7).



Рис.7. Слева направо: источник питания/измеритель Keysight B2900A, анализатор полупроводниковых приборов B1500A и экран измерения выходного напряжения акселерометра MEMS

## Оценка MEMS с помощью измерителя иммитанса E4980A



Ёмкостные датчики MEMS (например, датчики давления или акселерометры) обнаруживают механическое смещение по изменению ёмкости. При функциональном тестировании этих устройств обычно используется электростатическая сила (а не механическое воздействие), поскольку это повышает эффективность испытания. Однако поскольку изменение ёмкости на исполнительном устройстве незначительно, измерительное оборудование должно быть способно измерять ёмкость с субфемтофардным разрешением.

Для этого идеально подходит измеритель индуктивности (L), ёмкости (C) и сопротивления (R) E4980A, поскольку он измеряет ёмкость с аттофардным разрешением ( $\sigma$  менее одного фемтофарада) (см. рис. 8).



Рис. 8. Измеритель иммитанса Keysight E4980A измеряет ёмкость с субфемтофардным разрешением

# Исследование переходных процессов в ЭБУ

Электронные блоки управления (ЭБУ) оборудованием автомобиля должны быть невосприимчивы к отклонениям параметров бортовой системы электропитания. Скачки и провалы напряжения в этой системе являются обычным явлением, поэтому разработчику ЭБУ нужны инструменты, которые могут воспроизводить и анализировать переходные процессы в системе электропитания автомобиля.

Он также нуждается в мощных средствах воспроизведения сигналов при различных номинальных мощностях, напряжениях и токах, чтобы анализировать и отлаживать схемы, обеспечивая соответствие тестируемых устройств требованиям стандартов ISO 7637-2 и ISO 16750-2.



ISO 7637-2 регламентирует стендовые испытания для оценки устойчивости к кондуктивным импульсным помехам и измерения излучаемых импульсных помех оборудования, установленного на пассажирских и легких грузовых транспортных средствах с номинальным напряжением питания 12 В, и на грузовых транспортных средствах с номинальным напряжением питания 24 В.

ISO 16750-2 распространяется на электрические и электронные системы и компоненты для дорожного транспорта. В нём описывается потенциальное воздействие на окружающую среду и указываются испытания и требования, рекомендуемые для конкретного места установки снаружи или внутри дорожного транспортного средства.

Источник: Международная организация по стандартизации (ИСО)

## Электронные нагрузки постоянного тока серии N3300

Тестирование источников питания постоянного тока и преобразователей постоянного тока с несколькими выходами может занять много времени, если необходимо выполнять измерения на каждом выходе по очереди. Последовательное тестирование имеет место при выполнении измерений через мультиплексор одним цифровым мультиметром.

Благодаря встроенным измерительным функциям электронной нагрузки **Keysight N3300A** (рис. 9) вы можете выполнить измерения одновременно на всех выходах. Или наоборот, вы можете одновременно протестировать несколько источников питания с одним выходом. Прибор может:

- обрабатывать команды более чем в 10 раз быстрее своих предшественников
- имитировать профили реальных нагрузок с минимальным числом команд программирования
- работать с максимальной стабильностью даже при околонулевых уровнях напряжения

## Анализатор питания постоянного тока N6705C

Анализатор источников питания постоянного тока **Keysight N6705C** (рис. 10) предлагает возможности программируемого источника питания и электронной нагрузки в одном настольном приборе высотой 4U. Этот базовый блок предлагает функции пяти приборов в одном: источника питания, вольтметра/амперметра, осциллографа, генератора сигналов произвольной формы и регистратора данных. Он позволяет:

- Выполнять измерения источника и потребителя тока с помощью источника питания и электронной нагрузки, объединенных в одной платформе.
- Легко программировать анализатор питания постоянного тока N6705C с источником питания и электронной нагрузкой.
- Заряжать и разряжать аккумуляторную батарею, анализировать эффективность преобразователя постоянного тока и измерять влияние переходных процессов в цепи питания.



Рис. 9.  
Электронные нагрузки  
постоянного тока  
серии N3300



Рис. 10.  
Анализатор питания  
постоянного тока  
Keysight N6705C



## Электронные нагрузки серии N6790

Новые **электронные нагрузки Keysight серии N6790** (рис. 11) представлены модулями мощностью 100 Вт и 200 Вт высотой 1U каждый. Пользователь может выбрать один из четырех режимов работы: постоянное напряжение, постоянный ток, постоянное сопротивление и постоянная мощность. Благодаря высокоточной системе измерения и возможностям оцифровки модуль позволяет быстро анализировать результаты тестирования источников питания. Кроме того, приборы этой серии обладают встроенным генератором сигналов произвольной формы, позволяющим имитировать сложные сигналы динамически изменяющейся нагрузки. Это необходимо для удовлетворения требований к тестированию силовой автомобильной электроники большой мощности.



Рис. 11. Модули электронной нагрузки Keysight N6791A (100 Вт) и N6792A (200 Вт)

## Высокопроизводительная система питания Keysight N7900A

Электромобиль – это снабженное колесами сложное высоковольтное устройство, в состав которого, среди прочего, входят бортовые зарядные устройства, тяговые аккумуляторные батареи, система управления батареями, преобразователи постоянного тока и инверторы для управления электродвигателем. Любые переходные процессы могут повлиять на множество функций, от управления мощностью, передаваемой на колеса, до зарядки и дальности хода, а также безопасности.

Производительная система питания Keysight N7900A (рис. 12) представляет собой надёжное и гибкое решение для измерения переходных процессов большой мощности:

- Входящие в систему N7900A источники питания мощностью 1 кВт и 2 кВт можно включить параллельно для получения мощности до 10 кВт.
- Пользователь получает динамические выходы, сигналы произвольной формы, возможность работы по списку, в 6 раз более быстрые времена отработки переходов вверх/вниз по сравнению с аналогами.
- N7900A подаёт сигналы, имитирующие переходные процессы, с напряжением от нуля до максимального выходного значения и длительностью менее 0,5 мс. Быстрое нарастание, помимо других возможностей генератора сигналов произвольной формы, позволяет моделировать практически все динамические помехи в цепях питания, определённые стандартом ISO 16750-2 и связанными с ним нормативами.



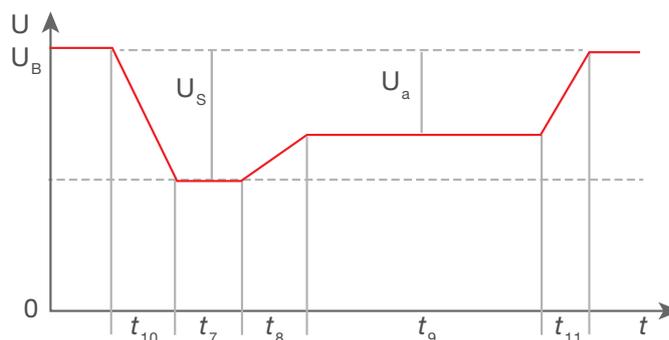
Рис. 12. Производительная система питания Keysight N7900A

## Программное обеспечение расширенного анализа и управления

Программное обеспечение расширенного анализа и управления Keysight PathWave BenchVue BV9200B обеспечивает простой и быстрый доступ с мощным функциям подачи питания и измерения анализатора питания постоянного тока N6705, рекуперативных источников питания серии RP7900 или производительной системы питания серии N7900 без какого бы то ни было программирования:

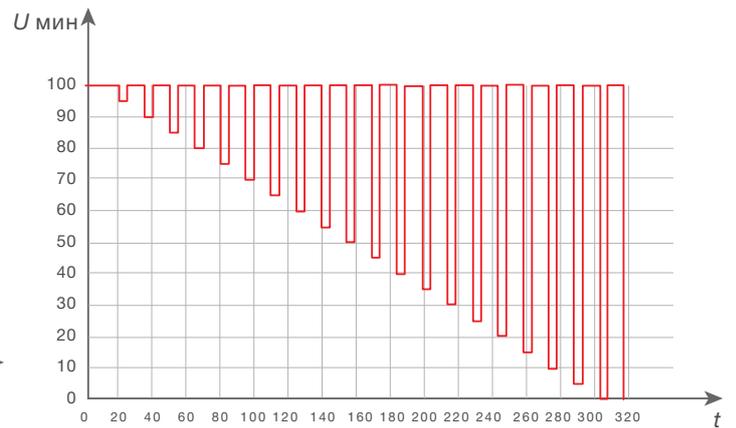
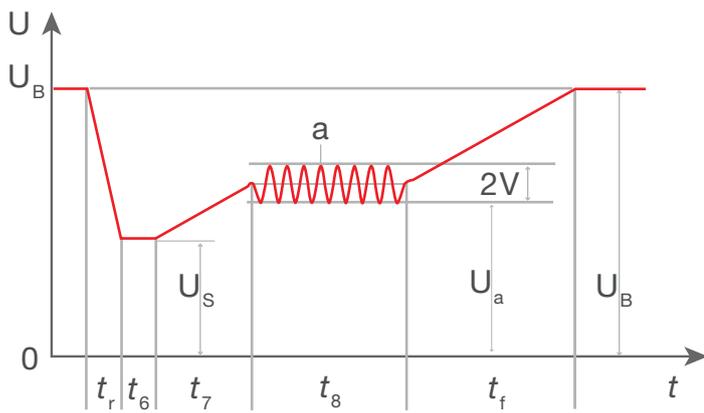
- Мониторинг и быстрая регистрация значений на выходах источников питания для лучшего понимания влияния различных событий на энергопотребление.
- Графическое конфигурирование трёх режимов анализа: осциллограф (непродолжительный захват сигналов), регистратор данных (долговременный захват сигналов), статистический анализ с помощью комплементарной интегральной функции распределения.
- Быстрое создание сигналов сложной формы для подачи питания или создания нагрузки на тестируемое устройство путем ввода формулы, выбора готовых сигналов или импорта описания формы сигнала.

Некоторые примеры применения ПО управления и анализа BV9200 показаны на рис. 13-15.

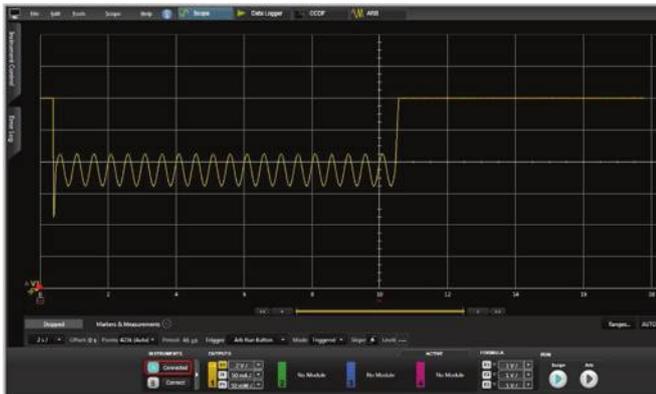


P	Значение	P	Значение
$U_B$	12 В	$U_s$	-6 В
$U_a$	-3 В	$t_7$	40 мс
$t_8$	25 мс	$t_9$	500 мс
$t_{10}$	5 мс	$t_{11}$	50 мс

Рис. 13. Значения напряжения переходного процесса электродвигателя стартера



$U_{\text{мин.}} = 10,5 \text{ В}$   
Провал напряжения на 5% от  $U_{\text{мин.}}$  за 5 с



Р	Значение	Р	Значение
$U_B$	12 В	$U_s$	4,5 В
$U_a$	6,5 В	$t_8$	10 с
$t_f$	100 мс	$t_r$	5 мс
$t_6$	15 мс	$t_7$	50 мс

Рис. 14. Запуск двигателя

Рис. 15. Восстановление напряжения после провала

# Преобразование постоянного тока для источников и нагрузок

## Рекуперативная система питания RP7900

Потребитель требует от электромобилей большей дальности хода и меньшего времени зарядки, что вызывает потребность в аккумуляторах большей емкости, работающих при более высоких напряжениях. Для тестирования высоковольтных аккумуляторных батарей и двунаправленных преобразователей требуются источник питания и нагрузка. Традиционная нагрузка или специальные модули нагрузки преобразуют электрическую энергию в тепловую. При тестировании устройств большой мощности выделяется чрезмерное количество тепла, которое трудно отвести.

Рекуперативный источник питания (RPS) позволяет более эффективно тестировать устройства большой мощности, поскольку он возвращает электроэнергию в сеть, когда работает в качестве нагрузки. Приборы серии RP7900 обладают рядом преимуществ над традиционными решениями:

- Тестирование компонентов более высокого напряжения – до 2000 В.
- Плавный переход от режима источника к режиму потребителя тока.
- Программирование одного прибора в режимах источника питания и нагрузки даже на более высокой мощности.
- Тестирование устройств мощностью более 20 кВт с несколькими параллельно включенными источниками питания, находящимися под управлением главного источника питания.



## Применение моделей серии RP7900

### Аккумуляторный модуль высокой мощности и системы накопления электроэнергии

Имитация аккумуляторной батареи важна для оценки времени автономной работы изделия и обнаружения преждевременного ухудшения его характеристик. Программирование сопротивления до 277 Ом (в зависимости от модели) в источниках питания серии RP7900 для имитации внутреннего сопротивления батареи позволяет воспроизводить работу батареи при разных уровнях заряда.

RP7900 использует активное программирование уменьшения напряжения для сокращения времени установления и ускорения тестирования. Когда источник питания установлен на меньшее напряжение или запрограммирован на его уменьшение, он нагружает свой выход, пока не будет достигнуто это меньшее напряжение. Во время уменьшения напряжения источник питания потребляет ток и возвращает электроэнергию в электросеть. Активное программирование уменьшения напряжения частично полезно для тестирования модулей со сглаживающим конденсатором большой емкости.

RP7900 позволяет выполнять множество тестов с помощью одного прибора, что упрощает измерительные схемы. Рекуперативный источник питания позволяет сократить количество оборудования, требуемого для тестирования зарядки и разрядки батареи, поскольку может выполнять и то, и другое. Аналогичным образом, тесты, требующие большего тока, чем может подать один источник питания RP7900, можно выполнить благодаря встроенному порту управления. Он позволяет подключать несколько источников питания параллельно. Через встроенный порт управления рекуперативные источники питания обмениваются данными и работают вместе как один, но более мощный прибор. Таким образом, можно выполнить множество тестов, программируя только один рекуперативный источник питания.

### Тестирование распределительных модулей высокого напряжения и другой двунаправленной электроники

Использование нескольких источников питания серии RP7900 упрощает тестирование двунаправленных распределительных модулей. Более новые распределительные модули имеют дополнительный порт для быстрой зарядки постоянным током. Одновременное тестирование всех портов требует скоординированной работы и регистрации данных источников питания. Программное обеспечение расширенного анализа и управления **PathWave BenchVue** управляет, захватывает и одновременно отображает данные от одного или нескольких рекуперативных источников питания. Модуль распределения питания соединяется с несколькими модулями высокого напряжения, включая модуль преобразователя, трёхфазный инвертор, бортовое зарядное устройство, компрессор кондиционера и электрообогреватель. Приборы серии RP7900 могут тестировать все эти модули высокого напряжения.



Рис. 16. Плавный переход от режима источника к режиму потребителя тока в рекуперативном источнике питания RP7900

## Источники питания постоянного тока с автоматическим выбором диапазона N8900

Высоковольтные преобразователи постоянного тока в гибридных и электрических транспортных средствах осуществляют преобразование напряжения аккумуляторной батареи в напряжение бортовой сети 12 В. Эти преобразователи высокой мощности требуют тщательного тестирования на соответствие техническим требованиям и стандартам безопасности.

Традиционные методики тестирования используют источники питания с прямоугольной выходной характеристикой. Они подают полную мощность только с одной комбинацией тока и напряжения, что делает процесс тестирования медленным и утомительным.

Источники питания постоянного тока высокой мощности Keysight серии N8900 автоматически выдают широкий диапазон комбинаций напряжения и тока при максимальной выходной мощности (см. рис. 17). Серия N8900 обеспечивает следующие преимущества:

- автоматический выбор диапазона и высокая выходная мощность позволяют сократить число необходимых приборов
- выходное напряжение до 1500 В, выходной ток до 510 А и мощность более 100 кВт при параллельном подключении источников питания
- порты GPIB, Ethernet/LAN, USB 2.0 и аналоговые интерфейсы для упрощения соединений

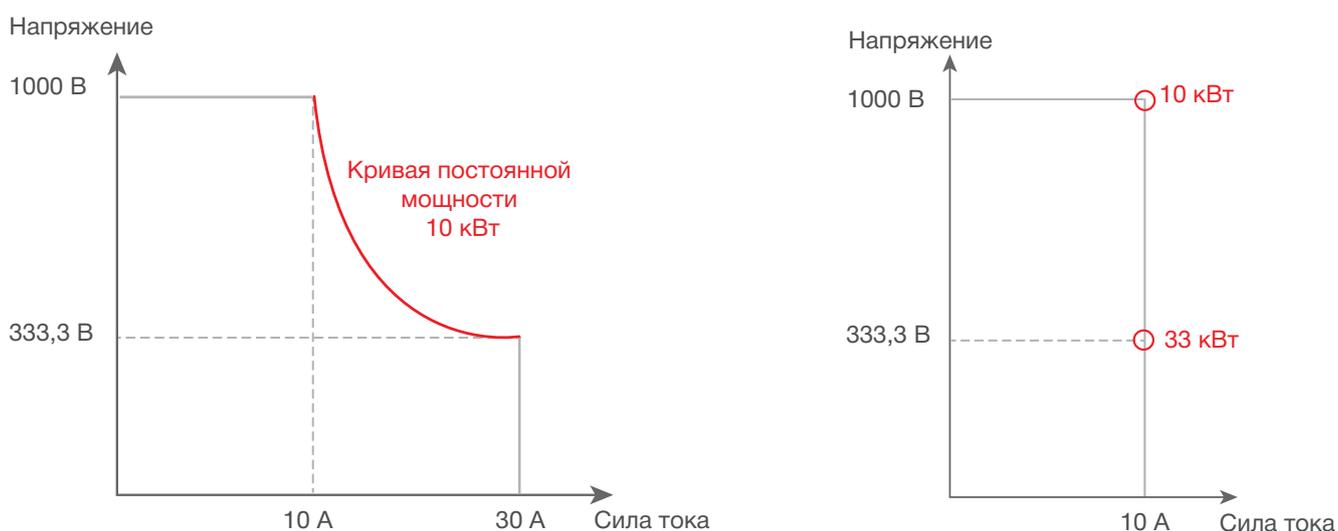


Рис. 17. Выходная характеристика с автоматическим выбором диапазона источника питания серии N8900 (слева) и традиционная прямоугольная выходная характеристика (справа)

## Системы сбора данных DAQ970A/DAQ973A

Системы Keysight DAQ970A и DAQ973A (рис. 18) обладают разрешением  $6\frac{1}{2}$  разряда (22 бит), базовой погрешностью измерения постоянного напряжения 0,003% и сверхнизким шумом считывания. Объединив эти показатели со скоростью сканирования до 450 каналов в секунду, вы получите быстрдействие и точность, необходимые для правильного выполнения задачи с первого раза даже при сложных измерениях автомобильной электроники.

К основным функциональным особенностям этих систем относятся следующие:

- 3-слотовый базовый блок со встроенным  $6\frac{1}{2}$ -разрядным цифровым мультиметром
- базовая погрешность измерения постоянного напряжения 0,003%
- 9 сменных модулей: коммутатор, ВЧ, а также новый четырёхканальный дигитайзер с синхронной дискретизацией
- скорость сканирования 450 кан./с и до 120 каналов на систему
- память результатов сканирования объёмом до 1 млн точек



Рис. 18. Системы сбора данных DAQ970A/DAQ973A

## Система сбора данных 34980A



Рис. 19. Система сбора данных 34980A

Конструкторы и производители автомобильных электронных подсистем часто имеют слишком много приложений для проверки и тестирования своих разработок. Система сбора данных Keysight 34980A (рис. 19) – это решение, которое отвечает потребностям конечных пользователей в упрощении разработки тестов с минимальными затратами. Она предоставляет следующие возможности:

- коммутация сигналов в системе с частотой до 26,5 ГГц
- независимая настройка каналов для выполнения пользовательских измерений встроенным цифровым мультиметром
- измерение температуры, переменного и постоянного напряжения, сопротивления, частоты, тока и других заданных пользователем параметров с помощью одного прибора



## Электрометры серии B2980A



Рис. 20. Электрометр Keysight серии B2980A

По мере развития автомобильной электроники в соответствии с требованиями современных спецификаций для сенсоров и электромобилей, допуски на параметры, определяющие задержки, безопасность и чувствительность, будут становиться всё более строгими.

Фемто/пикоамперметры и электрометры/петаомметры Keysight серии B2980A (рис. 20) представляют собой источники питания/измерители, выполняющие множество высокоточных измерений. К их преимуществам относятся:

- единственные в мире пикоамперметры/электрометры с графическим дисплеем для достоверных измерений тока до 0,01 фА и сопротивления до 10 пОм
- высокая скорость считывания до 20 000 показаний в секунду
- модели с автономным питанием для измерений без влияния шума сети питания

# Тестирование электромобилей и экосистемы электротранспорта

Требования к снижению стоимости компонентов силового агрегата электромобиля (тяговых электродвигателей, силовых преобразователей и аккумуляторных батарей) продолжают стимулировать появление новых фундаментальных технологий. Эти технологии увеличивают потребность в решениях по проектированию и тестированию, которые могут обеспечить лучшую имитацию и возможности тестирования для обеспечения соответствия техническим требованиям и стандартам безопасности.

Рост рынка подключенных транспортных средств также способствует появлению новых технологий в смежной экосистеме возобновляемых источников энергии. К ним относятся фотоэлектрические инверторные преобразователи и интеллектуальные электросети. Для решения новых проблем проектирования и тестирования компания Keysight создала и представила инновационные подходы, помогающие разработчикам и производителям ускорить выполнение своих программ.



В нашей брошюре, посвященной электротранспорту, *«Решения по разработке и тестированию компонентов силового агрегата электромобиля и экосистемы гибридного/электрического транспорта»* представлен всесторонний обзор решений и услуг, предлагаемых Keysight для этой экосистемы.





Технические характеристики и описания продуктов могут изменяться без предварительного уведомления. © Keysight Technologies, 2020, Published in USA, November 3, 2020, 7120-1235.RU