Реклама
СМАРТ-ЭК
Энергонезависимая память Fujitsu 2Мбит SPI FRAM
Со склада «Смарт-ЭК»!

Коммутатор батарей

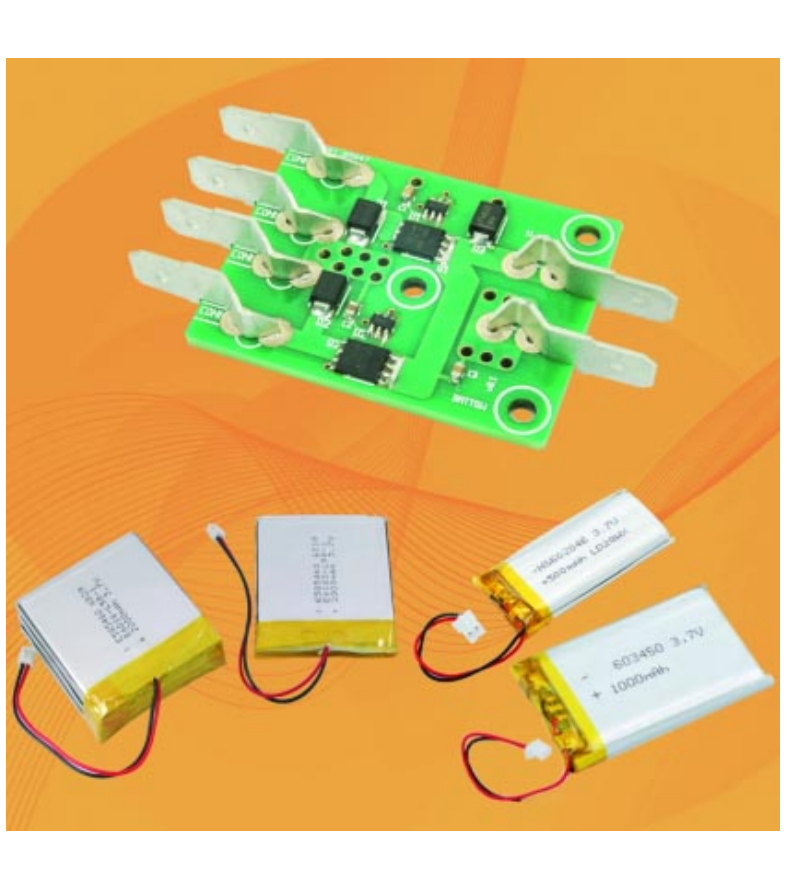
28 апреля 2026

Texas Instruments > LM5050-1 ○ LM5050-2 ○ CSD17501Q5A

Lapo Pieri

> *При наличии двух батарей устройство, исходя из напряжения, измеренного на их полюсах, выбирает ту, которая будет подключена к нагрузке. Его также можно использовать для коммутации источников питания постоянного тока.*

РЕКЛАМА
ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ MOSFET
Обзор архитектур под вашу топологию



Растущий спрос на портативные устройства, способные работать там, где нет электросети или где ее использование неудобно, быстро повышает интерес к батареям для электронных устройств, обеспечивающим максимальную плотность энергии, то есть наилучшее соотношение емкости и занимаемого объема. Когда у нас нет батареи, подходящей для нашего приложения, мы часто испытываем искушение соединить параллельно две батареи с одинаковым номинальным напряжением. Однако это решение не идеально, поскольку, хотя в начале оно и может работать, оно не гарантирует ни равномерного распределения мощности, ни длительного срока службы батарей, ни даже надежности, особенно если соединенные параллельно батареи имеют разную емкость.

На самом деле, электротехника учит нас, что параллельное соединение двух идеальных генераторов с разным напряжением неосуществимо, поскольку при нулевом внутреннем сопротивлении генератор с более высоким напряжением будет отдавать бесконечный ток в генератор с более низким напряжением. Но даже если генераторы реальные, генератор с более высоким напряжением отдает часть своего тока тому, у которого напряжение ниже. Давайте проясним концепцию с помощью Рисунка 1. Предположим, у нас есть источник напряжения V_1 12.4 В (внутреннее сопротивление которого равно R_{I1}) и источник V_2 с напряжением 12.8 В. Установим внутреннее сопротивление второго (R_{I2}) равным сопротивлению R_{I1} и равным 5 мОм. Эти генераторы будут питать нагрузку R_L = 4 Ом, которая, соответственно, будет поглощать ток порядка 3 А.

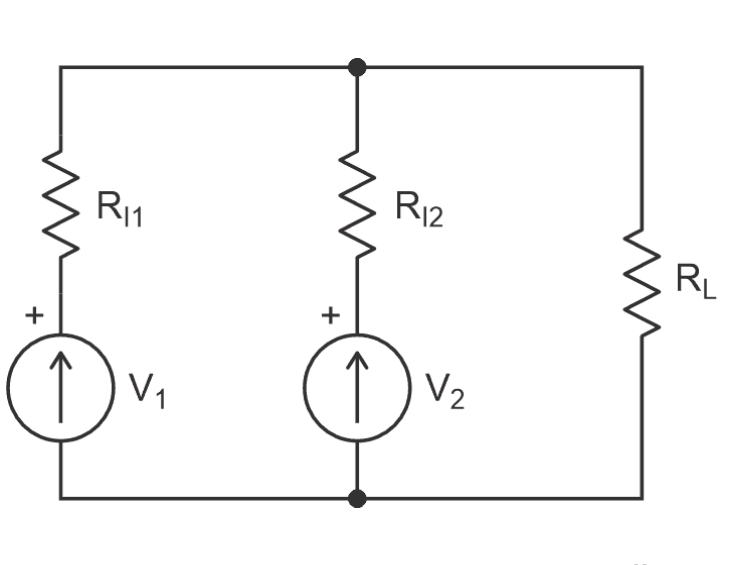


Рисунок 1. ***Генераторы с нагрузкой.***

Однако даже без нагрузки (как показано на Рисунке 2) мы уже можем заметить, что источник V_2 будет подавать в V_1 ток:

$$I_P = \frac{V_2 - V_1}{R_{I1} + R_{I2}} = 40\ \text{А}.$$

Поэтому значительная часть энергии теряется на внутренних резисторах генераторов, которые рассеивают мощность, равную:

$$P_P = I_P^2 \cdot (R_{I1} + R_{I2}) = 16\ \text{Вт},$$

тогда как в нагрузку поступает порядка 36 Вт, что означает потери примерно 30%.

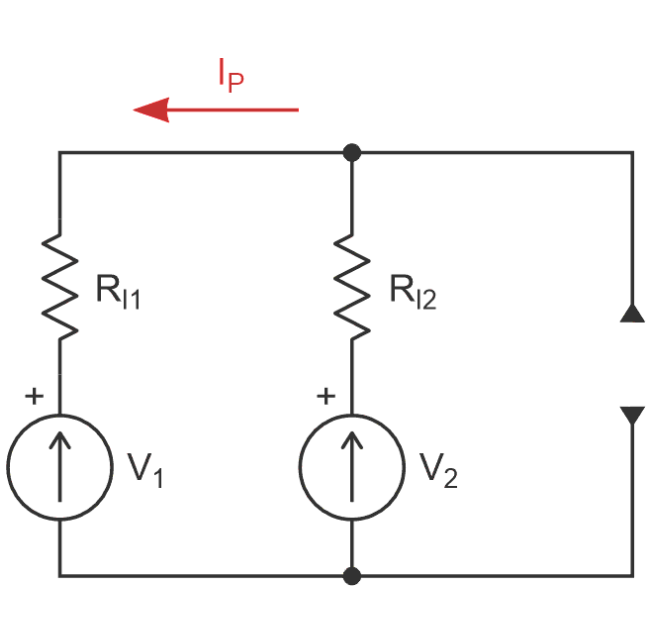


Рисунок 2. ***Генераторы без нагрузки.***

В случае, если эти генераторы являются аккумуляторными батареями, батарея с более высоким напряжением будет немного подзаряжать батарею с более низким напряжением, пока напряжения не выровняются. Однако процесс подзарядки происходит в условиях, сильно отличающихся от тех, которые указаны производителем батареи. В предыдущем примере, хотя и в течение очень короткого промежутка времени (несколько секунд или даже меньше), батарея заряжается током примерно в 20 раз большим, чем тот, который должен подаваться при нормальных условиях работы. Аналогично, более заряженная батарея в течение того же короткого промежутка времени будет испытывать нагрузку в 40 А!

Два условия, которых следует избегать любой ценой, чтобы обеспечить батарее долгую жизнь. Кроме того, как в случае батарей, так и в случае источников питания со ступенчатой регулировкой, небезопасно допускать протекание таких больших токов, в 10-20 раз превышающих номинальные.

Итак, становится ясно, что проблема параллельного соединения батарей нетривиальна. Первое, что приходит на ум для решения этой проблемы, – использование двух диодов, как показано на Рисунке 3. Таким образом, батарея с более высоким напряжением будет питать нагрузку R_L до тех пор, пока она не разрядится и не достигнет уровня батареи с более низким напряжением, после чего последняя начнет подавать ток. В случае равных напряжений, например при одинаковых падениях напряжений на двух элементах цепи, обе батареи будут подавать ток параллельно. На первый взгляд, теперь все работает нормально; больших токов нет, даже если разница между V_1 и V_2 значительна, а различие между R_{I1} и R_{I2} очень мало.

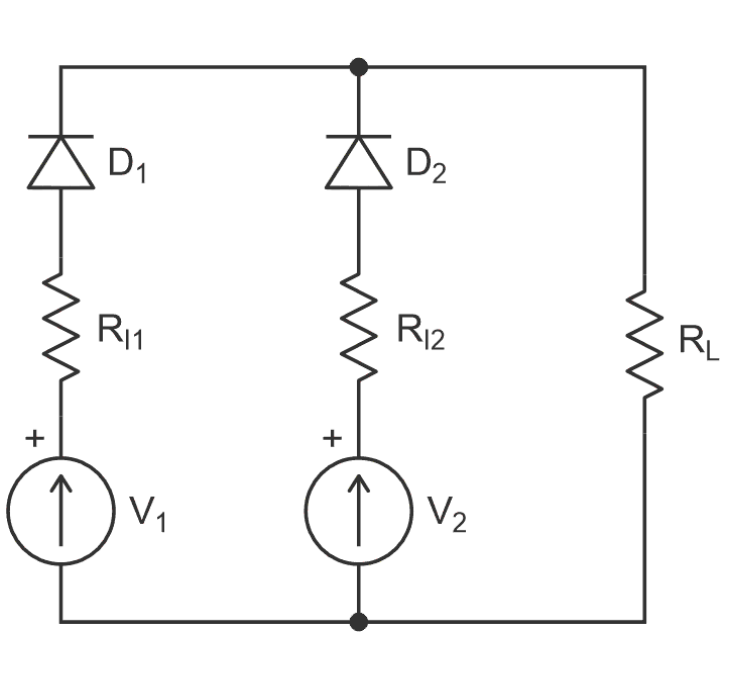


Рисунок 3. ***Параллельное соединение генераторов с использованием диодов.***

Однако проблема заключается в падении напряжения на диодах, составляющем 0.6–0.7 В для диодов с p-n переходом и 0.2–0.3 В для диодов Шоттки. К падению напряжения на переходе необходимо добавить падения напряжений на объемных сопротивлениях диодов, которые у мощных диодов, способных выдерживать токи 5–10 А, в сумме нередко дают падение напряжения более 1.1–1.2 В.

По этой причине нагрузка R_L будет получать более низкое напряжение, чем выдают генераторы, и мощность, пропорциональная напряжению, будет рассеиваться в диодах. Предположим, что токи обоих генераторов равны, и, используя значения из предыдущего примера, мы получим мощность P_D, рассеиваемую на каждом диоде, примерно равную

$$P_D = \frac{V_D \cdot I}{2} \approx 2\ \text{Вт},$$

где V_D – падение напряжения на диоде.

Если теперь нагрузка питается напряжением

$$V_1 = V_2 = 12\ \text{В},$$

она получает

$$V_L = V - V_D = 11\ \text{В},$$

а мощность на ней составляет порядка 30 Вт. Поскольку потери составляют около 4 Вт, КПД системы, показанной на Рисунке 3, будет близок к 87%. Для обеспечения низких потерь при коммутации необходимо искать альтернативные решения, например, описанное на этих страницах.

Принципиальная схема

Предлагаемая нами схема автоматического коммутатора батарей (Рисунок 4) выполнена на силовых MOSFET, которые, несмотря на небольшой корпус для поверхностного монтажа, способны выдерживать значительные токи благодаря очень низким сопротивлениям открытых каналов. Поэтому эти устройства очень хорошо подходят для работы в качестве силовых коммутаторов.

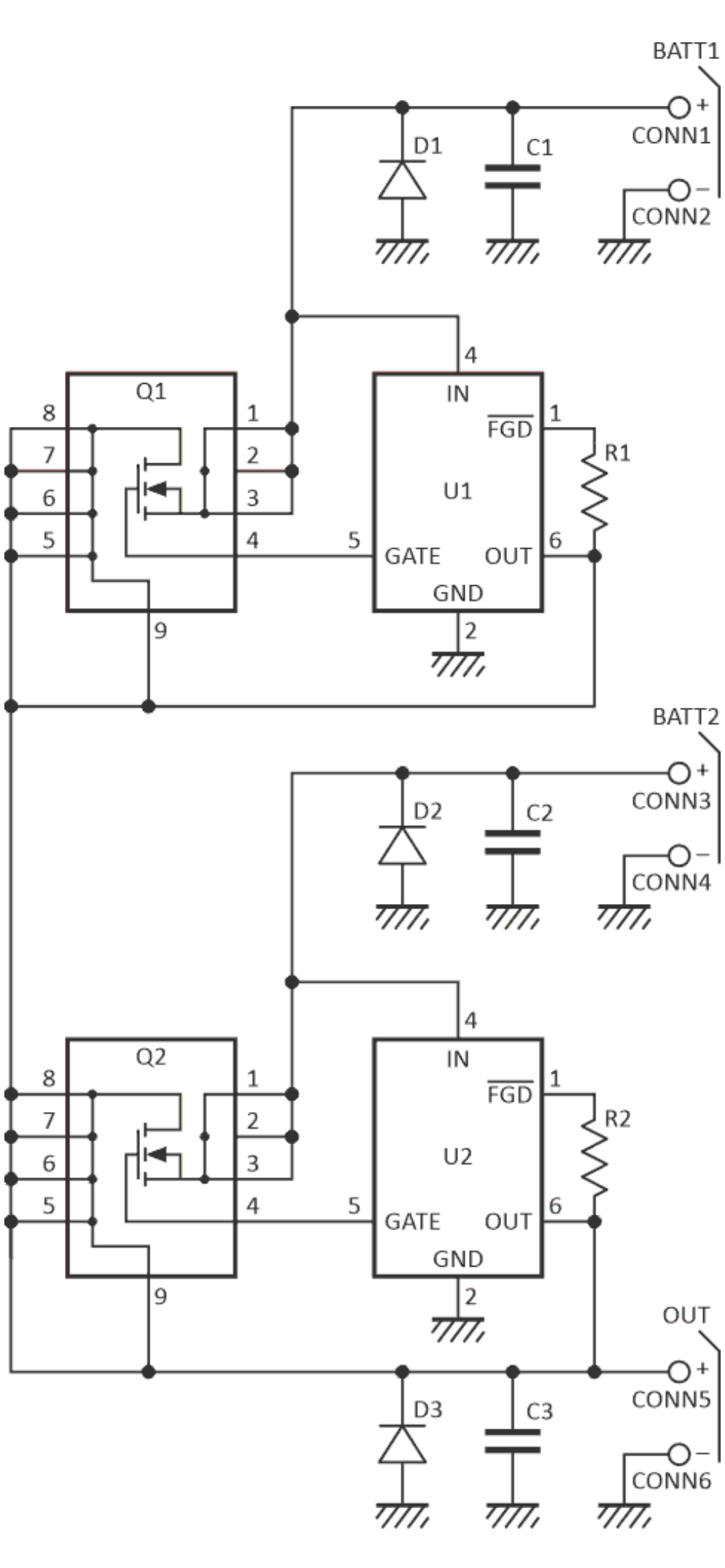


Рисунок 4. ***Схема автоматического коммутатора батарей.***

Технические характеристики:

- Входные напряжения: 3.6 – 40 В
- Коммутируемый ток: 40 А
- Порог переключения: менее 0.1 В
- Размеры: 36 × 47 мм (печатная плата, за исключением выступающих частей разъемов)

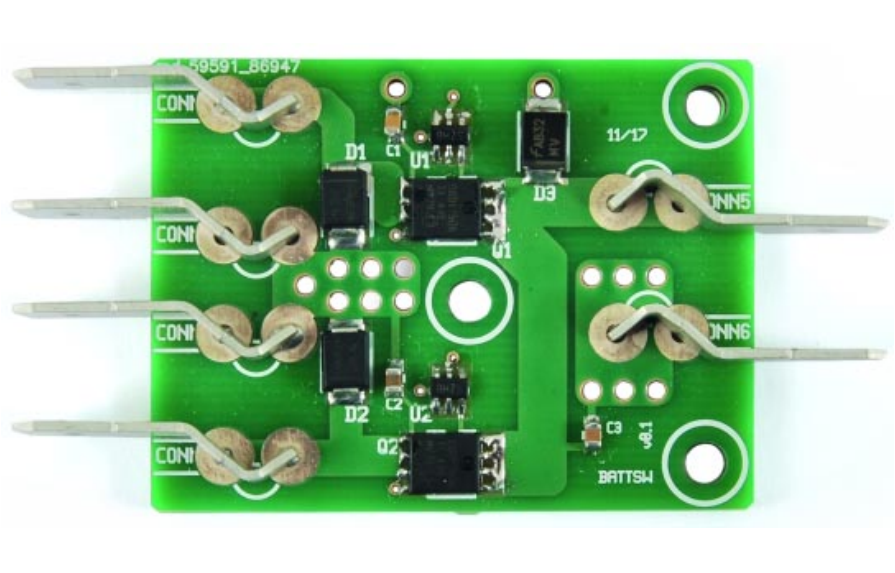


Рисунок 5. ***Внешний вид автоматического коммутатора батарей.***

Внешний вид коммутатора показан на Рисунке 5, а перечень использованных компонентов приведен в Таблице 1.

Таблица 1. ***Перечень компонентов схемы***

Обозначение	Тип	Корпус	Кол-во
C1, C2, C3	1 мкФ	SMD 0805	3
D1, D2	MBRS240	DO214AA	2
D3	SMBJ45A	DO214AA	1
Q1, Q2	CSD17501Q5A	Q5A	2
R1, R2	LM5050-1: 0 LM5050-2: безразл.	SMD 1206	2
U1, U2	LM5050	SOT23-6	2

Здесь используется транзистор CSD17501Q5A, способный выдерживать напряжение 30 В и ток 100 А; сопротивление между его стоком и истоком в открытом состоянии составляет всего 2.4 мОм.

Если вернуться к предыдущему примеру, падение напряжения при нагрузке 3 А составляет всего 21.6 мВ, что соответствует рассеиваемой мощности около 65 мВт, тогда как для диода, как мы видели, мощность может достигать 4 Вт. Таким образом, при использовании двух MOSFET для подключения генераторов к одной нагрузке КПД этого переключателя приближается к 100% (99.82%); кроме того, напряжение на нагрузке будет практически таким же, как и на генераторах.

Итак, мы нашли идеальный ключ, однако для выполнения нашей задачи, а именно создания автоматического коммутатора батарей, нам необходима логика управления, способная попеременно подключать любой из генераторов к одной нагрузке, как мы пытались это сделать с парой диодов. Эту систему управления MOSFET можно очень просто сделать с помощью небольшой микросхемы, такой как LM5050, которая измеряет напряжение на выводах истока и стока MOSFET и уменьшает напряжение затвор-исток, если напряжение истока более чем на 0.1 В превышает напряжение стока. Таким образом, к нагрузке будет подключена батарея с более высоким напряжением.

Это значит, что наша схема также позволяет подключаться к источникам питания параллельно для обеспечения резервирования (как в серверах и других устройствах, где требуется максимальная гарантия бесперебойности работы и электроснабжения). Кроме того, мы можем использовать эту схему для питания нагрузки от батареи, подключенной к клеммам CONN1 и CONN2, и внешнего источника питания, подключенного к клеммам CONN3 и CONN4. Таким образом, при наличии напряжения от внешнего источника питание нагрузки будет осуществляться от электросети; в противном случае в работу включится батарея. Однако мы должны быть осторожны, так как батареи пришлось бы заряжать отдельно.

Следуя этой схеме, можно также создать устройство с более чем двумя входами, многократно дублируя секцию, состоящую из элементов C1, D1, U1, Q1 и R1 – столько раз, сколько источников питания мы хотим «включить параллельно». Очевидно, что для размещения всех компонентов нам пришлось бы перепроектировать печатную плату, соблюдая правила работы с большими токами. Всестороннюю проверку работоспособности схемы можно легко выполнить с помощью двухканального стабилизированного источника питания, возможно, с дисплеем, позволяющим одновременно отслеживать значения напряжения и тока обоих каналов. Мы собираемся перевести источник питания в «независимый» режим, при котором два отдельных выхода подключаются к CONN1 (положительной клемме первой секции источника питания), CONN2 (отрицательной клемме первой секции источника питания), CONN3 (положительной клемме второй секции источника питания) и CONN4 (отрицательной клемме второй секции блока питания). При этом, если мы не хотим повредить коммутатор, нужно соблюдать правильную полярность подключений, поскольку, учитывая протекающие токи, добавление защиты от неправильной полярности невозможно (или, по крайней мере, неэффективно).

Перед включением источника питания нам нужно было бы откалибровать выходы обеих секций источника на ноль и подключить небольшую нагрузку к выходу коммутатора (клеммы CONN5 и CONN6).

Включив источник питания, мы начнем с повышения напряжения на одной из его секций, наблюдая при этом за ростом потребляемого тока, вторая же секция будет оставаться при нулевом напряжении, не отдавая и не поглощая при этом никакого тока. Теперь мы можем повышать напряжение на второй секции до тех пор, пока оно не превысит значение, установленное для первой секции. И вот тогда мы увидим истинную ценность этой схемы: когда напряжения будут различаться менее чем на 0.1 В, мы заметим, что поглощение тока будет медленно «мигрировать» от первой секции ко второй, пока оно полностью не перейдет ко второй секции, когда ее напряжение станет на 0.1 В выше напряжения первой секции.

Обратите внимание, что в случае с батареями разряд будет происходить таким образом, что, за исключением начального периода, когда обеспечивать нагрузку энергией может самостоятельно только одна батарея, в течение короткого времени напряжения обеих батарей под нагрузкой станут одинаковыми, и питание нагрузки будет осуществляться ими совместно, практически в равных долях (50 на 50). И это также является существенным преимуществом, поскольку при заданной нагрузке каждая из батарей разряжается минимально возможным током.

Проведенные испытания схемы с использованием батарей, способных отдавать большие токи, а также соответствующих нагрузок (таких как двигатель дрона и его батареи), продемонстрировали повышение КПД и увеличение времени автономной работы. Но, прежде всего, такой способ использования энергии, содержащейся в двух батареях, определенно лучше, чем простое параллельное соединение, даже если срок службы батарей разный. Фактически, если бы внутреннее сопротивление батареи увеличилось, можно было бы ожидать следующего сценария. При полностью заряженных батареях значительное падение напряжения на внутреннем сопротивлении самой старой батареи привело бы к тому, что нагрузку питала бы более новая батарея. Затем, по мере разряда последней, мы бы подошли к моменту, когда подаваемое от нее напряжение стало бы выше, чем напряжение новой, частично разряженной батареи.

Теперь нагрузку будет питать самая старая батарея с более высоким внутренним сопротивлением. Следовательно, в течение короткого времени она будет доминировать над самой молодой батареей, однако в течение этого короткого времени вся ее энергия будет использована наилучшим образом. И так далее, и тому подобное – в циклической последовательности переключений до фактической разрядки обеих батарей без какой-либо неэффективной передачи энергии между ними.

С другой стороны, если бы мы напрямую соединили параллельно две батареи разного возраста, самая молодая тратила бы часть своей энергии на подзарядку самой старой (выходя за пределы рекомендуемых значений), и у последней не было бы возможности эффективно возвращать эту энергию обратно.

Материалы по теме

1. Datasheet Texas Instruments LM5050-1
2. Datasheet Texas Instruments LM5050-2
3. Datasheet Texas Instruments CSD17501Q5A
4. Datasheet onsemi MBRS240LT3H
5. Datasheet Diodes SMBJ45A

open-electronics.org

Перевод: AlexAAN по заказу РадиоЛоцман

На английском языке: Battery switch

Хотите получать уведомления о выходе новых материалов на сайте? Подпишитесь на рассылку!

Купить **LM5050** на РадиоЛоцман.Цены — от **103** до **59** ₽
32 предложений от 16 поставщиков
Модуль герметичный ARL-LM5050-3L-12V White, Модуль герметичный ARL-LM5050-3L-12V White

Элитан Россия	LM5050MK-1 Texas Instruments	102 ₽	Купить
727GS Весь мир	LM5050MK-1 Texas Instruments	по запросу	Купить
Рутоника Россия и страны СНГ	LM5050MK-2 National Semiconductor	по запросу	Купить
ЭлектроПласт Россия	LM5050MK-2 Texas Instruments	по запросу	Купить

Реклама

Для комментирования материалов с сайта и получения полного доступа к нашему форуму Вам необходимо **зарегистрироваться**.

Логин Логин ☐Запомнить?
Пароль Вход

Фрагменты обсуждения: Полный вариант обсуждения »

- А зачем в этой схеме диоды?

Публикации по теме

- Datasheets > Datasheet Texas Instruments CSD17501Q5A
- Datasheets > Datasheet Texas Instruments LM5050-1
- Datasheets > Datasheet Texas Instruments LM5050-2
- Новости > Новый USB 1.1-коммутатор фирмы Fairchild обеспечивает низкое энергопотребление и широкую рабочую полосу для сверхминиатюрных переносных устройств — FSUSB11
- Форум > Коммутатор для светодиодов

РЕКЛАМА
Гид по выбору инструментальных усилителей
Популярные модели под любые задачи

Реклама
Эиком
ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ
РАДИОДЕТАЛИ
БЕСПЛАТНАЯ ДОСТАВКА

Срезы

Реклама
Отечественные беспроводные датчики
в трёх корпусах для любых задач
Bluetooth 5.0