

Ультраконденсаторы BOOSTCAP®

Выбор размера

Документ # 10073627

Изм. 3

ПОДОПЛЕКА

Профиль напряжения ультраконденсатора (напряжение в зависимости от времени) состоит из двух компонентов: ёмкостного компонента и резистивного компонента. Ёмкостный компонент представляет собой изменение напряжения из-за изменения энергии в ультраконденсаторе. Резистивный компонент представляет собой изменение напряжения из-за эквивалентного последовательного сопротивления (*ESR*) ультраконденсатора. Рис. 1 иллюстрирует эти два компонента для разряда постоянным током.

Профиль заряда будет аналогичным, но напряжение будет скорее увеличиваться, чем уменьшаться. В этом документе весь анализ будет основан на разрядах.

Для многоэтапных применений анализируйте каждый этап зарядки или разрядки отдельно.

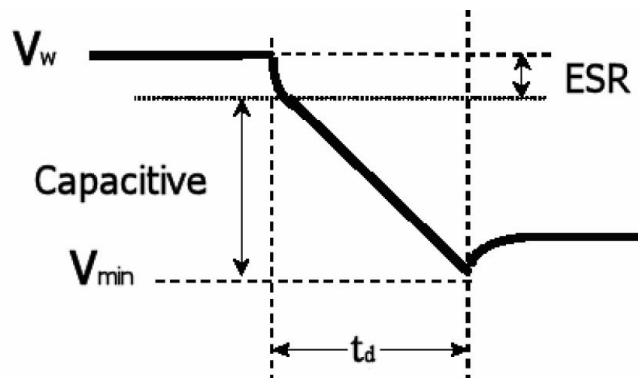


Рис. 1 Профиль разряда постоянным током

На рис. 1 показаны следующие переменные:

V_w — рабочее напряжение

ESR — падение напряжения из-за *ESR* (см. формулу (3))

Capacitive — падение напряжения из-за разряда ёмкости (см. формулу (2))

V_{min} — минимально-допустимое напряжение (или минимальное напряжение, возникающее во время разряда)

t_d — время разряда

Ёмкостной компонент определяется уравнением:

$$i_c = C \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

где:

i — ток;

C — ёмкость;

dV — изменение напряжения;

dt — промежуток времени (время разряда).

Решение уравнения (1) для dV :

$$dV = i \times \frac{dt}{C} \quad (2)$$

Резистивный компонент определяется из уравнения:

$$V = i \times R \quad (3)$$

где:

V — падение напряжения на резисторе;

i — ток;

R — эквивалентное последовательное сопротивление.

Общее изменение напряжения при зарядке или разрядке ультраконденсатора включает оба эти компонента. Объединение емкостной и резистивной составляющих в уравнениях (2) и (3):

$$dV = i \times \frac{dt}{C} + i \times R \quad (4)$$

Давайте кратко проанализируем переменные в этом уравнении.

dV — изменение напряжения при разряде конденсатора. Оно определяется разностью рабочего напряжения (V_w) и минимально допустимого напряжения системы (V_{min}). V_w должно быть типичным рабочим напряжением в начале разряда. В некоторых случаях это будет максимальное напряжение системы (V_{max}), а в других – нет. Кроме того, будьте осторожны определяя, что используется именно минимально допустимое напряжение системы, а не просто минимальное напряжение, при котором система работает в данный момент. Зачастую, спецификация минимального напряжения ограничивается не системой, а компонентом, который может быть заменен ультраконденсатором.

i — ток при разряде конденсатора. Этот расчёт предполагает постоянный ток разряда. Поскольку в большинстве приложений используется приблизительно постоянная мощность или работа при как-либо изменяющемся токе, используйте для расчёта средний ток. Его можно определить, рассчитав ток при максимальном напряжении ($I_{min}=мощность/V_{max}$) и при минимальном напряжении ($I_{max}=мощность/V_{min}$), и усреднив эти два значения.

В некоторых случаях клиенты указывают постоянное потребление тока, когда требуется постоянное питание. Они часто предполагают постоянное напряжение питания (например, аккумулятор или источник питания постоянного тока), поэтому они игнорируют соображения постоянной мощности. Проверьте, требуется ли постоянный ток или постоянная мощность. Постоянная мощность требует большего значения тока при уменьшении напряжения. Это часто упускается из виду во время первоначального анализа и может привести к занижению размера решения.

dt — длительность (в секундах) импульса разряда.

C — ёмкость всей ультраконденсаторной системы в её рабочей точке. Это значение будет основано на количестве отдельных конденсаторов последовательно или параллельно. Для параллельно соединённых ультраконденсаторов ёмкость суммируется. Для последовательно соединённых ультраконденсаторов суммарная ёмкость определяется как обратная величина суммы $1/ёмкость$. На ёмкость также влияет длительность импульса. Очень короткие импульсы потребуют уменьшения эффективной ёмкости и рассматриваются в отдельном документе 1007234.

$$C_{total} = C_{cell} \times \frac{\# parallel}{\# series} \quad (5)$$

Чтобы определить, сколько ячеек требуется последовательно, разделите максимальное приложенное напряжение V_{max} на максимально допустимое напряжение ячейки. Максимально допустимое напряжение элемента определяется сроком службы и температурой. Номинально можно считать 2,5 вольт на ячейку.

Количество параллельных ячеек определяется после первой итерации этого расчёта. Если первая итерация указывает на то, что ёмкость недостаточна для требований приложения, ёмкость и сопротивление можно изменить, либо разместив больше ячеек параллельно, либо используя более крупные ячейки. В некоторых случаях использование меньшего количества последовательных ячеек и выбор работы с отдельными ячейками при более высоких напряжениях является вариантом. Это компромисс между характеристиками и сроком службы, поскольку более высокие рабочие напряжения уменьшают срок службы. Компромисс должен быть сделан на индивидуальной основе.

R — сопротивление всей ультраконденсаторной системы. Это значение будет основано на количестве отдельных конденсаторов последовательно или параллельно. Чем больше параллельных ячеек, тем ниже сопротивление. Чем больше ячеек в серии, тем больше сопротивление. Обратите внимание, что это противоположно тому, как рассчитывается ёмкость. Сопротивление также будет зависеть от длительности импульса. Очень короткие импульсы потребуют уменьшения эффективного сопротивления. Об этом говорится в отдельном документе 1007234. Определение количества элементов соединённых последовательно или параллельно обсуждалось ранее.

$$R_{total} = R_{cell} \times \frac{\# series}{\# parallel} \quad (6)$$

Определение переменных приложения

При анализе любого приложения нам сначала нужно определить системные переменные. Из них мы определяем значение переменных, необходимых для решения уравнения (4). Поэтому нам необходимо собрать следующую информацию о приложении.

- V_{max} — максимальное напряжение
- V_w — рабочее напряжение
- V_{min} — минимально допустимое напряжение
- i — требуемый ток

ИЛИ

- P — требуемая мощность
 - t — требуемое время разряда (или заряда)
- Полный набор необходимой информации:
- 1) максимальное напряжение
 - 2) минимальное напряжение
 - 3) допустимое изменение напряжения во время импульса
 - 4) мощность или ток
 - 5) длительность импульса
 - 6) температура
 - 7) частота повторения

8) требуемое время жизни

1 – используется для определения количества ячеек серии

1, 8 – используется для определения напряжения элемента

2, 3, 4, 5, 6 – используется для определения необходимого размера ячейки или количества параллельных ячеек

6 – определяет ESR в условиях низких температур

7 – определяет саморазогрев от резистивных потерь (и, следовательно, требования к охлаждению)

Теперь мы можем действовать в одном из двух направлений: мы можем определить характеристики на основе известного размера конденсатора, или мы можем определить требуемый размер конденсатора для достижения определенных характеристик. Начнём с определения характеристик на основе известного размера конденсатора.

Пример размеров решения на основе известного ультраконденсатора

Предположим, у нас есть промышленное приложение бесперебойного питания (ИБП), требующее 10 киловатт (кВт) в течение 5 секунд. Система обычно работает при напряжении 56 вольт и может работать при напряжении до 25 вольт. В системе никогда не будет более 60 вольт.

Определяем основные параметры системы:

Шаг 1: Определяем основные параметры системы

$$V_{max} = 60 \text{ В}$$

$$V_w = 56 \text{ В}$$

$$V_{min} = 25 \text{ В}$$

$$\text{Мощность} = 10 \text{ кВт}$$

$$\text{время} = 5 \text{ с}$$

Шаг 2: Определяем значения переменных в уравнении (4)

$$dV = V_w - V_{min} = 56 - 25 = 31 \text{ В}$$

i = средний ток

$$i_{max} = \text{мощность} / V_{min} = 10000 \text{ Вт} / 25 \text{ В} = 400 \text{ А}$$

$$i_{min} = \text{мощность} / V_{max} = 10000 \text{ Вт} / 56 \text{ В} = 179 \text{ А}$$

$$i_{avg} = (400 + 179) / 2 = 289 \text{ А (среднее значение тока)}$$

$$i = 289 \text{ А}$$

$$dt = 5 \text{ с}$$

C = общая ёмкость батареи

V_{max} определяется как 60 Вольт. Мы предполагаем, что, поскольку приложение представляет собой систему ИБП, большую часть времени она будет работать при максимальном напряжении или вблизи него, и что клиенту требуется срок службы не менее 10 лет. Разделим V_{max} на напряжение элемента, чтобы получить необходимое количество элементов включённых последовательно. Для конденсаторов серии MC напряжение ячейки составляет 2,7 В:

$$V_{max} = 60 \text{ В}$$

$$\text{Напряжение на ячейке} = 2,5 \text{ В}$$

$$\text{Количество ячеек} = 60 \text{ В} / 2,5 \text{ В} = 23 \text{ шт. последовательно.}$$

$$\text{Из уравнения 5, } C_{total} = C_{cell} \times \frac{\# \text{ parallel}}{\# \text{ series}}$$

Предположим, что используется ВСАР1500, ёмкость элемента = 1500 Ф (для ВСАР1500)

$\# parallel = 1$ (изначально один в параллель)

$\# series = 23$

общая ёмкость батареи = $1800 \text{ Ф} / 23 = 65,2 \text{ Ф}$

Из уравнения 6, $R_{total} = R_{cell} \times \frac{\# series}{\# parallel}$

R = общее сопротивление батареи. Поскольку мы уже выбрали ячейку и количество соединённых последовательно, используем эти цифры для расчёта сопротивления батареи.

Сопротивление элемента = 0,00047 Ом (для ВСАР1500)

$\# series = 23$

общее сопротивление батареи = $0,00047 \text{ Ом} \times 23 = 0,0108 \text{ Ом}$

Определив все переменные, мы можем определить изменение напряжения (dV) или длительность (dt).

Решение для заданного изменения напряжения позволяет нам видеть, какой запас у нас есть во времени. Решение для заданной продолжительности разряда (заряда) позволяет нам увидеть, насколько мы имеем запас по напряжению. Поскольку уравнение (4) уже решено для dV , мы продолжим в этом направлении.

$$dV = i \times \frac{dt}{C} + i \times R$$

Подставляя в формулу значения для i , dt , C и R :

$dV = 289 \text{ А} \times 5 \text{ с} / 65,2 \text{ Ф} + 289 \text{ А} \times 0,0108 \text{ Ом}$

$dV = 22,16 + 3,12 = 25,28 \text{ В}$

Наши первоначальные требования допускали изменение напряжения на 31 В, а решение обеспечивает 25,3 В, так что это хорошо подходит. У нас 81% допустимого падения напряжения ($25,3 / 31$). Поскольку уравнения представляют собой простые линейные зависимости, оптимальный ультраконденсатор будет составлять 81% от размера конденсатора ВСАР1500 или 1223Ф.

Нахождение оптимального размера на основе неизвестного ультраконденсатора

Альтернативный метод определения размера решения заключается в определении оптимального размера, который соответствует требованиям, а затем корректировку на основе фактических предложений продукта. Это хороший метод, если у вас ещё нет опыта для правильной первой оценки подходящего размера, как это использовалось в предыдущем примере.

Шаг 1: Определяем основные параметры системы (так же, как в предыдущем примере)

$V_{max} = 60 \text{ В}$

$V_w = 56 \text{ В}$

$V_{min} = 25 \text{ В}$

Мощность = 10 кВт

время = 5 секунд

Шаг 2: Определяем значения переменных в уравнении 4

$$dV = V_w - V_{min} = 56 - 25 = 31 \text{ В}$$

i = средний ток

$$i_{max} = \text{мощность} / V_{min} = 10000 \text{ Вт} / 25 \text{ В} = 400 \text{ А}$$

$$i_{min} = \text{мощность} / V_{max} = 10000 \text{ Вт} / 56 \text{ В} = 179 \text{ А}$$

$$i_{avg} = (400 + 179) / 2 = 289 \text{ А}$$

$$i = 289 \text{ А}$$

$$dt = 5 \text{ с}$$

C = общая ёмкость батареи

R = общее сопротивление батареи.

Мы определим общую ёмкость батареи, используя постоянную времени RC для определения сопротивления. Постоянная времени RC ультраконденсатора является произведением его значения ёмкости и сопротивления. В этом примере мы будем считать постоянную времени ультраконденсатора 0,7 с. Обратите внимание, что ВСАР1500 имеет 1500 Ф и 0,00047 Ом = 0,705 с. Если это не известно, используйте 1 секунду и повторяйте процесс вычислений до тех пор, пока не получите соответствия по требованиям к ячейке.

Так как $RC = 0,7 \text{ с}$, $R = 0,7/C$ [Ом].

Определив все переменные, мы переставим уравнение 4 и решим для C :

$$C = \frac{i}{dV} \times (dt + 0,7)$$

Подставляя значения для dV , i и dt :

$$C = 289 \text{ А} / 31 \text{ В} * (5 + 0,7)$$

$$C = 53,1 \text{ Ф}$$

Помните, что это значение ёмкости является общей ёмкостью батареи. Теперь мы должны определить требуемую ёмкость ячейки. Для этого этапа анализа нам нужно знать только количество требуемых ячеек в батарее. Анализ такой же, как и в предыдущем примере, поэтому нам нужно 23 ячейки в батарее.

Из уравнения 5 решение для ёмкости элемента:

$$C_{cell} = C_{total} \times \# \text{ series}$$

$$\text{Ёмкость батареи} = 53,1 \text{ Ф}$$

$$\# \text{ series} = 23 \text{ ячейки}$$

$$\text{Ёмкость ячейки} = 1222 \text{ Ф}.$$

Наш предыдущий анализ показал, что ВСАР1500 допускает падение напряжения, которое составляет 81% от допустимого падения. Было отмечено, что оптимальный размер ультраконденсатора будет составлять 81% от ВСАР1500.

Обратите внимание, что 81% от 1500 Ф составляет 1222 Ф.

Если бы это был наш первоначальный анализ, и мы определили, что ячейка 1222 Ф была оптимальным решением, мы бы тогда посмотрели на реальные предложения продукта.