

Ограничение пиковой нагрузки в промышленной сервосистеме на топливных элементах

Документ 1007234 изм. 2

Со времени первоначальной публикации этого документа в ультраконденсаторную технологию были внесены дополнительные усовершенствования, позволяющие повысить производительность по сравнению с приведёнными в этом примере. Указанный продукт больше не доступен и был обновлён. Методологии, приведённые в этом документе, остаются без изменений.

Проблема

Замените батарею и источник питания топливным элементом и ультраконденсаторами в мобильной промышленной сервосистеме.

Компания разработала мобильную промышленную роботизированную систему. Первоначальная версия робота работала от батареи и от внешнего источника питания. Это ограничивало диапазон мобильности системы до длины кабеля. Требовалось автономное питание, потому что одни батареи были бы чрезмерно большими, чтобы выдержать сочетание непрерывной мощности и пиковой мощности, необходимой для длительной работы. Система была модернизирована для повышения мобильности путём интеграции топливного элемента и ультраконденсатора, чтобы исключить необходимость в подключении к внешнему источнику питания.

Решение

Размер топливного элемента для обеспечения непрерывной средней мощности и ультраконденсатора для пикового потребления.

В этом приложении размер ультраконденсатора был уменьшен для снижения пиковых нагрузок топливного элемента. Поскольку сам топливный элемент рассчитан на среднюю мощность, мы хотим подобрать его с учётом минимальной продолжительной потребности в средней мощности, которая будет использоваться в приложении (энергетическая способность топливного элемента зависит от запаса топлива, а не от самого топливного элемента).

Система ультраконденсаторов рассчитана для обеспечения необходимой мощности в диапазоне напряжений системы.

Использование ультраконденсатора даёт два преимущества. Во-первых, топливный элемент рассчитан на непрерывную мощность, а не на пиковую. Это позволяет получить топливный элемент меньшего размера, легче и дешевле. Во-вторых, ультраконденсатор обеспечивает время отклика, которое практически не может быть достигнуто топливным элементом, независимо от его размера.

Непрерывный средний ток составляет $(2 \text{ A} + 30 \text{ A} \times 0,05 \text{ с} / 1 \text{ с}) = 3,5 \text{ A}$. Это предполагает наихудший рабочий цикл сервопривода при одном срабатывании в секунду. Топливный элемент рассчитан на непрерывную подачу не менее 3,5 А при напряжении 150 В постоянного тока. Это обеспечит 2 А, необходимые для поддержки базовой системы, а также дополнительные 1,5 А для перезарядки ультраконденсатора между импульсами.

Ультраконденсатор должен обеспечивать 30 А в течение 50 мс при падении напряжения не более 25 В. Поскольку это короткий импульс для ультраконденсатора, сопротивление и емкость ультраконденсатора будут отличаться от его рабочих характеристик в условиях постоянного тока. На основании результатов испытаний мы можем масштабировать производительность ультраконденсатора по его номинальным характеристикам постоянного тока, чтобы определить его производительность в течение 50 мс импульса.

У Maxwell Technologies есть тестовые данные, показывающие, что в течение импульса длительностью 50 мс ультраконденсатор будет вести себя так, как если бы он имел приблизительно 30% своей ёмкости постоянного тока и 60% своего последовательного сопротивления (*ESR*). Мы также знаем, что приблизительная постоянная времени *RC* в условиях постоянного тока для ультраконденсаторов Maxwell BOOSTCAP составляет 1,5 с. Относительно низкий ток (30 А) и короткая продолжительность (50 мс) обозначают использование BOOSTCAP меньшего размера. Поскольку при 50 мс мы имеем ёмкость 30% и сопротивление 60%, устройство будет функционировать с постоянной времени 0,27 с для этих расчётов.

Полное падение напряжения, допустимое в этом приложении, составляет 25 В. Для запаса мы рассчитываем эту систему на падение напряжения в 20 В. Два фактора способствуют общему падению напряжения во время разряда: падение напряжения из-за сопротивления ($dV = I \times ESR$) и падение напряжения из-за разряда конденсатора ($dV = I \times dt / C$). Следовательно, общее падение сопротивления во время импульса будет:

$$dV = I \times ESR + I \times dt / C \text{ — влияние тока нагрузки}$$

$$dV = I \times (ESR + dt / C) \quad ESR \times C, \text{ постоянная времени } RC = 0,27; C = 0,27 / ESR$$

$$DV = I \times (ESR + DT \times ESR / 0,27)$$

$$DV = I \times ESR \times (1 + DT / 0,27)$$

$$ESR = dV / (I \times (1 + dt / 0,27)); dV = 20 \text{ В}; I = 30 \text{ А}, dt = 0,05 \text{ с}$$

$$ESR \text{ при } 50 \text{ мс} = 0,56 \text{ Ом}$$

Это значение *ESR* в омах для 50 мс, что составляет 60% от *ESR* постоянного тока.

$$ESR @ DC = 0,94 \text{ Ом}$$

Поскольку постоянная времени *RC* = 1,5 на постоянном токе

$$\text{Ёмкость } C = 1 / ESR = 1,5 / 0,94 = 1,6 \text{ Ф}$$

Теперь мы знаем, что нам нужен конденсатор 1,6 Ф, работающий при 150 В постоянного тока. Поскольку для ультраконденсаторов BOOSTCAP рекомендуемое максимальное постоянное рабочее напряжение составляет 2,3 В, а это в основном непрерывный профиль напряжения, нам необходимо $150 \text{ В} / 2,3 \text{ В} = 66$ элементов последовательно, чтобы удовлетворить это требование.

Общая ёмкость батареи из конденсаторов, включённых прследовательно (одинакового значения) равна ёмкости отдельного конденсатора, деленной на число конденсаторов в батарее; $C_{total} = C_{cell} / (\text{количество конденсаторов в батарее})$. Следовательно, $C_{cell} = C_{total} \times (\text{количество конденсаторов в батарее})$. Это указывает на то, что для этого приложения нам нужны конденсаторы, которые в идеале должны иметь ёмкость 105 Ф. Теперь нам нужно найти выбрать ультраконденсатор из выпускаемх.

Ультраконденсаторы BOOSTCAP производства Maxwell Technologies поставляются с ёмкостью 100 Ф, модель PC100. Эти конденсаторы имеют типичное ESR 0,015 Ом. 66 конденсаторов, включённых последовательно будут соответствовать конденсатору 1,52 Ф с сопротивлением 1 Ом на постоянном токе. Характеристики этой сборки для импульса 50 мс составит 0,455 Ф и 0,6 Ом (на основе 60% ESR и 30% ёмкости для этой короткой ширины импульса). Общее падение напряжения для импульса 30 А длительностью 50 мс составит:

$$dV = I * (ESR + DT / C)$$

где;

$$I = 30 \text{ А}; ESR = 0,6 \text{ Ом}; dt = 0,05 \text{ с}; C = 0,455 \text{ Ф}$$

Следовательно;

$$dV = 21,3 \text{ В}$$

Исходные системные требования: падение напряжения не более 25 В во время импульса. Использование ультраконденсаторов PC100 (100 Ф, 0,015 Ом) при последовательном соединении 66 конденсаторов удовлетворяет этим требованиям. (Сотрудники Maxwell Technologies регулярно работают с клиентами, чтобы оценить их конкретные требования к характеристикам.)

Резюме

66 ультраконденсаторов PC100 были интегрированы в промышленную сервосистему, которая в настоящее время работает с системой топливных элементов. Конечный вес батареи ультраконденсаторов, включая корпус, составил 4,2 кг. Роботизированная система теперь мобильна и больше не требует подключения к стационарному источнику питания.

Использование ультраконденсаторов совместно с топливным элементом обеспечивает производительность системы, для которой ранее требовалась батарея с автономным источником питания. Ультраконденсаторы позволяют использовать топливный элемент в приложениях с импульсной нагрузкой, что было бы нецелесообразно только для одного топливного элемента. Та же самая стратегия проектирования может быть использована с любым источником питания, имеющим отличные энергетические возможности, но с низкими энергетическими характеристиками и (или) плохим временем отклика.

Теперь система полностью мобильна в течение более длительных периодов времени и имеет меньший вес и объём, чем эквивалентный аккумуляторный блок.