Целью дипломного проекта является разработка системы управления шагающего робота. Система управления такого робота довольно сложна. Она должна быть построена таким образом, чтобы реализовывать координированное движение всех ног, обеспечивающее заданное движение корпуса. Преимущества шагающего робота определяют его высокую сложность в реализации и большое энергопотребление. Робот имеет большое число управляемых степеней свободы, т.е. количество углов, определяющих положения звеньев всех ног. Это приводит к сложным конструкциям, использованию высокоэффективных сервоприводов и быстродействующих микроконтроллеров.

В настоящем разделе рассмотрены вопросы, связанные с обеспечением энергосбережения шагающего робота. Питание робота основано на Ni-Mh аккумуляторной батарее, напряжение которой составляет 7.2 В. Аккумулятор имеет емкость 1800 мА\*ч., выдерживает кратковременные токи до 150 А и применяется для длительного использования в устройствах с умеренным энергопотреблением [1].

Исходя из расчета меньшей энергозависимости и продолжительным временем автономной работы робота система управления реализована на двух микроконтроллерах, построенных на архитектуре ARM Cortex-M3.

Архитектура ARM Cortex приобрела огромный успех в мире, в первую очередь, за счет низкого энергопотребления, что особенно важно для применения в устройствах с батарейным питанием. Микроконтроллеры на основе Cortex-M3 предназначены для использования в составе встраиваемых решений, где требуется одновременное сочетание высокой производительности, возможностей работы в масштабе реального времени, малой потребляемой мощности и низкой стоимости [2].

Снизить стоимость и энергопотребление разработчикам ядра Cortex-M3 удалось за счет оптимизации архитектуры, снижения размеров кристалла (вследствие более плотного расположения компонентов ядра, снижения количества логических вентилей и повышения эффективности использования памяти) и применения технологии 0,18 мкм. Возможности управления тактовой частотой и доступность нескольких экономичных режимов работы позволяют еще больше снизить энергопотребление [3].

Используемые в разрабатываемой системе управления микроконтроллеры STM32F103 работают на частоте 72 МГц и отличаются более высокой степенью интеграции ОЗУ и устройств ввода-вывода. Уровень удельного энергопотребления микроконтроллера составляет всего лишь 0,19 мВт/МГц. При работе на частоте 72 МГц потребляемый ток составляет 27 мА при рабочем напряжении 2 В. Кроме того, уровень потребления может быть еще больше снижен при переходе в один из экономичных режимов работы (до 2 мкА в дежурном режиме). Такие характеристики энергопотребления позволяют не только использовать микроконтроллеры в системах с батарейным питанием, но и снизить критерии к выбору источника питания.

Таблица 1 - Сравнение ядер ARM7DTMI и ARMCortex-M3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | ARM7TDMI | ARM Cortex-M3 |
| Архитектура | ARMv4T (Фон Неймана) | ARMv7 (Гарвардская) |
| Набор инструкций | Thumb/ARM | Thumb/Thumb-2 |
| Конвейер | 3 уровня | 3 уровня + предсказание ветвлений |
| Прерывания | FIQ/IRQ | NMI + от 1 до 240 физич. |
| Длительность входа в обработчик прерывания | 24-42 цикла | 12 циклов |
| Длительность переключения обработчиков прерываний | 24 цикла | 6 циклов |
| Режимы пониженного энергопотребления | Нет | Встроены |
| Защита памяти | Нет | Блок защиты с 8 областями |
| Производительность по тесту Dhrystone | 0,95 DMIPS/МГц (ARM)  0,74 DMIPS/МГц (Thumb) | 1,25 DMIPS/МГц |
| Энергопотребление ядра | 0,28 мВт/МГц | 0,19 мВт/МГц |
| Площадь кристалла | 0,62 мм2 (ядро) | 0,86 мм2 (ядро + периферия) |

В семействе Cortex-M3 впервые применен новый набор инструкций Thumb-2 (данные таблицы 1), который обеспечивает повышенную производительность и плотность кода и одновременно позволяет снизить энергопотребление ядра.

Также стоит отметить встроенные режимы пониженного энергопотребления [4]. Для систем с автономным питанием компания STMicroelectronics специально разработала линейку STM32F, сочетающую высокую производительность ядра ARM Cortex-M3 и низкое энергопотребление. Ядро Cortex-M3 имеет механизм перехода в спящий режим, и этот механизм был дополнен собственными режимами семейства STM32F. Управление энергопотреблением стало намного более гибким за счет добавления новых режимов энергопотребления, динамического режима изменения напряжения ядра и переработанной энергоэффективной периферии. В таблице 2 представлены типичные значения энергопотребления микроконтроллеров STM32, изготовленных по специальной технологии, минимизирующей утечки транзисторов. Соответственно, эти изделия имеют наилучшие показатели.

Таблица 2 - Энергопотребление STM32 в разных режимах

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Линейка | Частота, при которой измеряется потребление, МГц | Работа из флэш-памяти, периферия активна, мкА/МГц | Работа из RAM, периферия активна, мкА/МГц | Режим STOP, мкА | Режим Standby, мкА |
| STM32F-1 | 74 | 434 | 375 | 21 | 3,4 |
| STM32F-2 | 120 | ТВD | 415 | 350 | 4 |

Типовое потребление МК STM32 в активном и спящем режимах немного выше, чем у лучших низкопотребляющих 8- или 16-разрядных МК конкурентов. Но высокая производительность STM32F позволит выполнить все задачи за более короткое время и вернуться в спящий режим.

Для понижения энергопотребления предусмотрены три режима: SLEEP, STOP и STANDBY [5].

Первый из режимов сниженного энергопотребления – «спящий» режим SLEEP. Этом режиме ядро остановлено, а вся периферия работает, и при возникновении прерывания запускает ядро. В режиме SLEEP энергопотребление может быть снижено до 0.14 мА.

При входе STM32 в STOP режим, энергопотребление падает с единиц или десятков мА до уровня 24 мкА. Дальнейшее снижение энергопотребления достигается за счет перевода встроенного регулятора напряжения в специальный экономичный режим. В этом режиме микроконтроллер имеет самое низкое энергопотребление при сохранении содержимого ОЗУ и регистров. Все тактовые схемы, кроме часов реального времени, остановлены. Выход из этого режима возможен при возникновении внешнего прерывания на EXTI, прерывания от PVD, по сигналу от часов реального времени и сигналу «пробуждения» от шины USB [3].

В режиме STANDBY, в отличие от режима STOP, не сохраняется содержимое ОЗУ и регистров, кроме специализированных регистров управления. В этом режиме микроконтроллер действительно выключается. Выключается встроенный регулятор напряжения и осцилляторы HSE и HSI. STM32 потребляет в этом режиме 2 мкА. Как самый энергоэкономичный, режим Standby требует наибольшего времени выхода.

Встроенный RC- осциллятор на 8 МГц позволяет быстро выходить из режимов сниженного энергопотребления пока внешний осциллятор стабилизируется. Быстрый вход и выход из режимов сниженного потребления сокращает общую энергозатратность системы [4].

Область резервирования, в которую входит часть ОЗУ и RTC с питанием от батареи, остается активной во время всех режимов сниженного энергопотребления. Эта область потребляет около 1.4 мкА на 3.3 В [5].

Микроконтроллеры Cortex-M3 были специально спроектированы для достижения высокой производительности всей системы в недорогих высокоэкономичных встроенных приложениях. Они идеально подходят для управления сервоприводами, входящими в состав конечностей робота. В разрабатываемой системе управления шагающим роботом применяется 12 сервоприводов RDS-3115, напряжение питания которых составляет от 4.8 до 8.4 В., а ток потребления - всего 150 мА.

Компактные размеры привода обеспечивают большую гибкость в проектировании систем и размещение значительного количества оборудования на одной и той же площади [6].

Сервоприводы имеют минимальные энергозатраты: энергоресурс используется при включении и произведении самой работы. Затраты энергии в сервоприводах пропорциональны сопротивлению элемента, в отличии от шагового двигателя, где на двигатель постоянно подаётся номинальное напряжение с запасом по возможной перегрузке.

Конструкция сервопривода выполнена таким образом, что крутящий момент от двигателя к выходному валу передается через редуктор с большим передаточным числом, поэтому при малых размерах и энергозатратах, сервоприводы могут обеспечивать большую тягу [7].

Сочетание современных высокопроизводительных ARM Cortex-M3 микроконтроллеров с достаточно низким энергопотреблением и высокоэффективных сервоприводов позволяют более рационально и экономично расходовать емкость аккумуляторной батареи, что обеспечивает меньшую энергозависимость и увеличивает время автономной работы шагающего робота.

Таким образом, изложенные выше предложения обеспечивают энергосбережение шагающего робота.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Rcmotors [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rcmotors.ru/mashiny/akkumulyatory-i-zaryadnye-ustrojstva/elementy-pitaniya/silovye-akkumulyatory-nimh-72v/akkumulyator-silovoj-standart-7-2v-1800mach-nimh-rocket2-orion-razem-venom-uni-plug-perehodniki-tamiya-deans-t-plug-trx-ec3-ori10368/>

[2] Введение в архитектуру Cortex-M3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/07_07/stat_1.htm>

[3] Староверов, К. Микроконтроллеры на основе ядра ARM Cortex M. Ст. 4, №1 / 2008 – Новости Электроники, КомпЭл.

[4] Иванов, Р. Прыжок производительности: микроконтроллеры серии STM32F2. №2 / 2011 Статья 5, Санкт-Петербург

[5] ARM. Technical Reference Manual Cortex™-M3, Copyright © 2005, 2006 ARM Limited ARM DDI 0337E

[6] Подключение сервопривода к микроконтроллеру [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://avrproject.ru/publ/kak_podkljuchit/servo_bascom_avr_reload/2-1-0-68>

[7] Р.Хусаинов, А.Качалов, А.Степанов. Комплекс стендового оборудования “Сервопривод и системы стабилизации” Электроника. Выпуск #7/2011