

А. А. МЯСИЩЕВ
Хмельницкий национальный университет

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ESC РЕГУЛЯТОРОВ SIMONK-30A И EMAX SIMON-12A ЧЕРЕЗ ARDUINO И ПОЛЕТНЫЙ КОНТРОЛЛЕР

Показана необходимость перепрограммирования ESC регуляторов современными прошивками, например BLHeli или SimonK в зависимости от аппаратной части регулятора. Если регуляторы основаны на микроконтроллерах ATMEL (ATmega8a и др.), то используются прошивки BLHeli или SimonK, если используются микроконтроллеры SILABS(F330, F39X), то они прошиваются только BLHeli. В работе отмечено, что протокол PWM связи полетного контроллера с ESC регулятором не синхронизируется с работой гироскопа летательного аппарата. Поэтому ESC получает старый сигнал от контроллера полета. Показано, что OneShot125 синхронизирует импульсы аппаратуры управления с выходом сигнала с гироскопа. Это позволяет ESC иметь самые актуальные последние данные из полетного контроллера без больших задержек, и это стало возможным потому, что длина управляющего импульса OneShot125 в 8 раз меньше чем у PWM. Синхронизация позволяет осуществлять более точное управление, устанавливать более высокие значения PID и добиться большей стабильности полета особенно для гоночных квадрокоптеров. Показано, что прошивка SimonK способна поддерживать относительно медленные протоколы PWM и OneShot125 и в настоящее время не поддерживается. Работает только на микроконтроллерах ATMEL. Прошивка BLHeli поддерживает всю линейку высокопроизводительных современных протоколов. Она работает на микроконтроллерах ATMEL, SILABS. В зависимости от модели микроконтроллера SILABS поддерживаются разные по производительности протоколы. Установлена возможность использования Arduino Nano для программирования ESC EMAX-12A прошивкой BLHeli через три проводника в случае невозможности использования начального загрузчика из-за аппаратных ограничений регулятора ESC для прошивки по сигнальному кабелю. Установлено, что при аппаратной доработке ESC регулятора EMAX-12A (и других ESC из этой серии) существует возможность программирования ESC через сигнальный провод, который используется для подключения к полетному контроллеру. В этом случае программирование ведется также через Arduino Nano. В работе рассмотрено программирование ESC регулятора Simonk-30A самой последней версии прошивки SimonK через Arduino Nano по одному сигнальному проводу с помощью программы BLHeliSuite.exe. Установлено, что если все ESC регуляторы (или несколько) подключены к полетному контроллеру с прошивкой CleanFlight (опробована ver.2.5.0), то ESC регуляторы можно прошивать новыми прошивками, необязательно BLHeli, а также менять параметры регуляторов, если используется прошивка BLHeli. Если используется полетный контроллер, например APM 2.6, то перепрошивку ESC можно выполнять по сигнальному проводу через Arduino, предварительно отключив ESC от полетного контроллера.

Ключевые слова: ESC, EMAX-12A, SimonK, PWM, OneShot125, Arduino Nano, BLHeli, Dshot, SILABS F330, MultiShot, CleanFlight.

А. А. MYASISCHEV
Khmelnitskyi National University

PROGRAMMING ESC SIMONK-30A REGULATORS AND EMAX SIMON-12A THROUGH ARDUINO AND FLIGHT CONTROLLER

The necessity of reprogramming ESC controllers with modern firmware, such as BLHeli or SimonK, depending on the controller's hardware, is shown. If the regulators are based on ATMEL microcontrollers (ATmega8a, etc.), then BLHeli or SimonK firmware is used; if SILABS (F330, F39X) microcontrollers are used, then only BLHeli is flashed. The paper noted that the PWM communication protocol of the flight controller with the ESC controller is not synchronized with the operation of the gyroscope of the aircraft. Therefore, the ESC receives the old signal from the flight controller. It is shown that the OneShot125 synchronizes the pulses of the control equipment with the output of the signal from the gyroscope. This allows the ESC to have the most up-to-date latest data from the flight controller without major delays, and this was possible because the OneShot125 control pulse length is 8 times smaller than that of the PWM. Synchronization allows for more precise control, setting higher PID values and achieving greater flight stability, especially for racing quadcopters. SimonK firmware has been shown to support the relatively slow PWM and OneShot125 protocols and is not currently supported. Works only on ATMEL microcontrollers. BLHeli firmware supports the entire line of high-performance modern protocols. It works on ATMEL, SILABS microcontrollers. Depending on the SILABS microcontroller model, different protocols are supported. The possibility of using Arduino Nano for programming ESC EMAX-12A with BLHeli firmware through three conductors in case it is impossible to use the initial loader due to the hardware limitation of the ESC controller for firmware over the signal cable has been established. It has been established that with the hardware revision of the ESC controller EMAX-12A (and other ESC from this series), it is possible to program the ESC through a signal wire that is used to connect to the flight controller. In this case, programming is also carried out through the Arduino Nano. The paper describes the programming of the ESC controller Simonk-30A with the latest version of the SimonK firmware via Arduino Nano over a single signal wire using the BLHeliSuite.exe program. It has been established that if all ESC controllers (or several) are connected to a flight controller with CleanFlight firmware (tested ver.2.5.0), then ESC controllers can be flashed with new firmware, optionally BLHeli, and also change controller settings if BLHeli firmware is used. If a flight controller is used, for example, APM 2.6, then the ESC flashing can be performed over the signal wire through the Arduino, after disconnecting the ESC from the flight controller.

Keywords: ESC, EMAX-12A, SimonK, PWM, OneShot125, Arduino Nano, BLHeli, Dshot, SILABS F330, MultiShot, CleanFlight.

Постановка задачи

Известно, что ESC это Electronic Speed Controller, который необходим для контроля скорости двигателей. ESC получает сигнал дроссельной заслонки аппаратуры управления от контроллера полета и приводит в движение бесщеточный двигатель с оптимальной скоростью, обеспечивая необходимый

уровень электрической мощности. Качественные ESC с качественной прошивкой обеспечивают надежный и беспроблемный полет. Большинство ESC поставляются с программным обеспечением (прошивкой) производителя. Однако такие прошивки не всегда оптимальны для этого ESC. Часто на ESC устанавливается прошивка с открытым исходным кодом SimonK и BLHeli, однако версии этих прошивок являются устаревшими и поддерживают старые протоколы связи полетного контроллера и ESC. Например, устаревший протокол PWM. Бывают случаи, когда ESC поставляется с прошивкой BLHeli, не рекомендованной для этого ESC. Например регуляторы EMAX Simon-12A приходят с прошивками EMAX20A Rev.-14.3.-Multi. Хотя рекомендацией BLHeli для EMAX Simon-12A является прошивка XP-12A Rev.-14.9.-Multi. Также видно, что и прошивка Rev.-14.3. является устаревшей. Аналогичная ситуация с ESC SimonK 30A, которые используют устаревшую прошивку Simonk, не поддерживающую протокол OneShot125. Следует отметить кроме SimonK и BLHeli также и новые прошивки:

- BLHeli_S является вторым поколением прошивки BLHeli, разработанной специально для ESC с процессорами Busybee с аппаратным PWM. Прошивки Simonk и BLHeli формируют программный PWM.

- BLHeli_32 для ESC является третьим и последним поколением BLHeli. Прошивка написана специально для 32-битных процессоров ESC и ее программный код был закрыт. Эти ESC с более мощными процессорами обеспечивают более плавную, точную и надежную работу, чем предыдущие ESC.

Прошивка SimonK начиная с 2016 года не поддерживается. Ее последняя версия была выпущена 12-09-2015г. Перечисленные выше замечания требуют выполнения перепрошивки перечисленных выше регуляторов.

Изложение основного материала работы

Протокол ESC используется для связи между FC (контроллером полета) и ESC, в основном для того, чтобы контролировать скорость вращения двигателя. Первоначально протокол был основан на широтно-импульсной модуляции, имеющей аббревиатуру ШИМ или PWM. Это способ получения аналогового результата цифровыми средствами. Цифровые средства здесь используются для получения импульсов квадратной формы. Сигнал переключается между двумя состояниями, On и Off. В случае прошивки полетного контроллера прошивкой LibrePilot, сигнал PWM используется для указания ESC положения позиции стика Газа на пульте управления. На рисунке 1 показан стандартный сигнал PWM с частотой следования импульсов 490 Гц (с периодом ~2000 мкс).

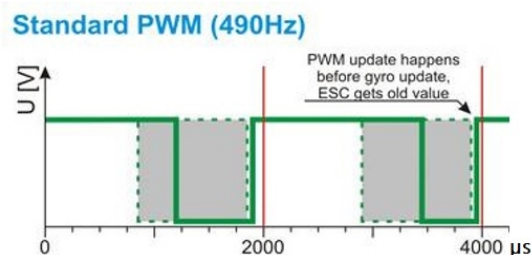


Рис. 1. Схема Standard PWM – протокол управления ESC

Для ESC, используемых в системах радиуправления (RC), длина импульса стандартного RC PWM сигнала используется в процентах. Длина импульса в 1000 мкс соответствует 0%, а 2000 мкс – 100% частоте вращения мотора. Например, если ESC должен обеспечить 50% частоты вращения мотора, он пошлет сигнал PWM длительностью 1500 мкс. Следует отметить, что PWM не синхронизирует PWM сигнал, который контроллер полета посылает ESC с работой гироскопа летательного аппарата. Поэтому обновление PWM происходит до обновления сигнала с гироскопа и ESC получает старый сигнал от контроллера полета.

OneShot125 является развитием стандартного сигнала RC PWM. OneShot125 состоит из двух частей:

- Первая часть OneShot125 синхронизирует импульсы RC (PWM сигнал, который контроллер полета посылает ESC) с выходом сигнала с гироскопа. Это позволяет ESC иметь самые актуальные последние данные из полетного контроллера без больших задержек.

- Вторая часть OneShot125, это передать на ESC самые свежие актуальные данные без задержек.

Стандартный PWM импульс находится в промежутке между 1000 и 2000 микросекундами. OneShot125 короче PWM импульса и находится в диапазоне между 125 и 250 мкс. Это означает, что ESC получает полный сигнал PWM в 8 раз быстрее. Для ESC важно иметь самые свежие данные. Полетный контроллер постоянно меняет данные для ESC на основании данных, полученных с гироскопов. Свежие актуальные без задержек данные позволяют ESC получить необходимые значения газа быстрее. Это позволяет осуществлять более точное управление, устанавливать более высокие значения PID и добиться большей стабильности особенно для гоночных квадрокоптеров.

На рис. 2 показан стандартный PWM с частотой обновления 490 Hz при ширине импульса 1000-2000 мкс. Этот PWM не синхронизируется с выходом гироскопа. В настоящее время все ESC работают с этим протоколом. PWM импульс выдается на частоте обновления равной 490 Hz.

Standard PWM (490Hz)

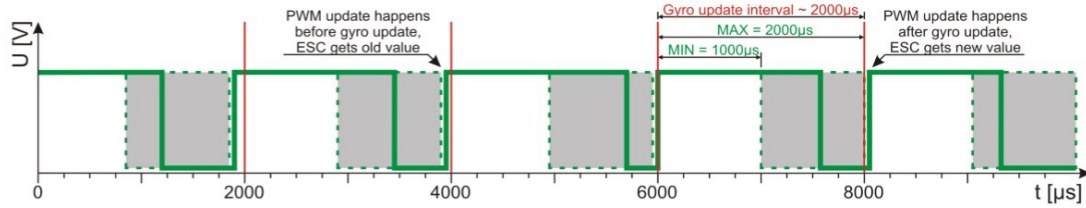


Рис. 2. Стандартный PWM для Multicopter

На рисунке 3 показан OneShot125 с частотой обновления 500 Hz и шириной импульса 125–250 μs. Для его работы требуется ESC с поддержкой OneShot125. Свободно распространяемые прошивки BLHeli версии 13.0+, SimonK 2015-02-26 и новее поддерживают OneShot125, если их можно установить на ESC.

OneShot125 (500Hz synced to gyro)

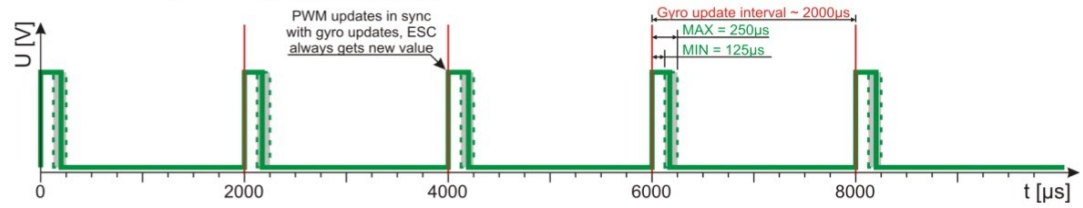


Рис. 3. OneShot125 для Multicopter

Таким образом:

- Oneshot125 устанавливает скорость таймера на выходе двигателя в 8 раз быстрее. Выходной сигнал двигателя теперь намного короче (125–250 мкс), чем исходный PWM (1000 мкс – 2000 мкс), это означает, что для отправки данных в ESC требуется меньше времени. Теперь проблема, связанная с обновлением сигнала PWM с опозданием устранена.
- Oneshot125 посылает только «один выстрел» сигнала в каждом цикле контроллера полета и делает это, как только у контроллера полета появляется новое значение для ESC.
- ESC теперь записывает новое значение в двигатель, даже до того, как FC запускает следующий цикл управления, поэтому имеет место более быстрый отклик FC и ESC. В связи с этим значение P для PID регулятора может быть немного увеличено. Отмечается более быстрым изменением скорости двигателя в соответствии с реакцией газа на пульте управления. Это важно для гоночных дронов, облетающих препятствия.

Ниже перечислены все протоколы ESC, доступные для мультикоптера, и соответствующая им ширина сигнала – время, необходимое для отправки одного пакета данных:

- Стандартный PWM (1000 мкс – 2000 мкс)	- Dshot150 (106,8 мкс)
- Oneshot125 (125 мкс – 250 мкс)	- Dshot300 (53,4 мкс)
- Oneshot42 (42 мкс – 84 мкс)	- Dshot600 (26,7 мкс)
- Multishot (5 мкс – 25 мкс)	- DShot1200 (13,4 мкс)

Протоколы Oneshot125, Oneshot42 и Multishot представляют собой аналоговые сигналы, похожие на стандартный PWM, но намного быстрее. Эти протоколы синхронизируются с циклом PID-регулятора, чтобы уменьшить дрожание, повысить производительность и уменьшить задержку между вводом данных со стика аппаратуры управления и реакцией корабля.

DShot – это новейший протокол ESC, представляющий собой цифровой сигнал. Это будущее протокола ESC, который имеет лучшую надежность и производительность, а также способности посылать на ESC не только параметры скорости двигателя, но и конкретные команды.

Аппаратное обеспечение ESC регуляторов и полетных контроллеров, выпущенное после середины 2017 года, должно поддерживать все протоколы ESC, кроме DShot1200, который является относительно новым и совместим только с некоторыми 32-разрядными ESC.

Рассмотрим аппаратную часть ESC, основой которой является микроконтроллер. Существует три основных семейства микроконтроллеров (MCU) – это Atmel, Silabs и ARM Cortex. Различные MCU имеют разные спецификации и функции, которые позволяют запускать разные прошивки.

- 8-битный ATMEL поддерживается прошивками SimonK и BLHeli ESC;
- SILABS 8-битный может работать только BLHeli или BLHeli_S;
- Atmel ARM Cortex 32-битный (точнее STM32 F0) может работать BLHeli_32.

ESC на основе ATMEL были более распространены до того, как на рынке начали доминировать SILABS. ESC Silabs, как правило, превосходят 8-битные ATMEL по производительности. В 2017 году Atmel Arm Core MCU стал использоваться для 32-битных ESC.

В ESC на основе SiLabs установлены разные процессоры, которые обеспечивают разную производительность. Наиболее используемые в настоящее время – F330 и F39X. MCU F330 имеет более низкую тактовую частоту и может иметь проблемы с работой двигателей с высоким KV. F39X не имеет этих

проблем и поддерживает протоколы Multishot и Oneshot42 для ESC.

Busybee MCU – это обновленные микроконтроллеры F330 и F39X. Прошивка BLHeli_S для ESC обычно работает на BusyBee1 - BB1 (EFM8BB10F8) и BusyBee2 - BB2 (EFM8BB21F16). Преимущество BusyBee в том, что вместо использования программного PWM, у них есть специальное оборудование для аппаратной генерации PWM-сигнала, который синхронизируется с рабочим циклом MCU, в результате получается гораздо более плавный отклик на газ аппаратуры управления. Эти микроконтроллеры поддерживают новейшие протоколы DShot ESC.

Оценивая производительность микроконтроллеров, можно записать ряд от лучшего к худшему: 1.BB2, 2.BB1, 3.F330, 4.F396, 5.Atmel 8-разрядный.

В настоящее время большинство ESC используют 8-разрядные процессоры (F330, F39X, Busybee и т. д.). Но с 2016 года начали появляться некоторые 32-разрядные ESC на основе STM32. Эти мощные 32-разрядные процессоры имеют много новых функций, которые были невозможны из-за ограниченной вычислительной мощности и возможностей 8-разрядного MCU.

Рассмотрим обновление прошивки у ESC EMAX-12A. Здесь может быть два варианта. Прошивка с помощью 3-х проводов (интерфейс C2) и по одному сигнальному проводу (требуется загрузчик), который использует ESC для подключения к полетному контроллеру. В первом варианте прошивки для указанных двух случаев в качестве адаптера связи компьютера с ESC используется Arduino Nano v3.0 с преобразователем USB-UART CH340. Во втором варианте прошивка выполняется через полетный контроллер с прошивкой cleanflight.

Для выполнения прошивки вначале необходимо загрузить на компьютер программное обеспечение с прошивками для различных ESC с сайта <https://github.com/bitdump/BLHeli> (BLHeli-master.zip) и программу для выполнения прошивки с <https://www.mediafire.com/folder/dx6kfaasyo241/BLHeliSuite> (BLHeliSuite16714901.zip).

Рассмотрим прошивку ESC по интерфейсу C2. В этом случае выводы на мотор изолируются и должна быть удалена термоусадка с ESC для напайки трех проводников к контактным площадкам ESC. На рисунке 3 показано подключение Arduino Nano к ESC.

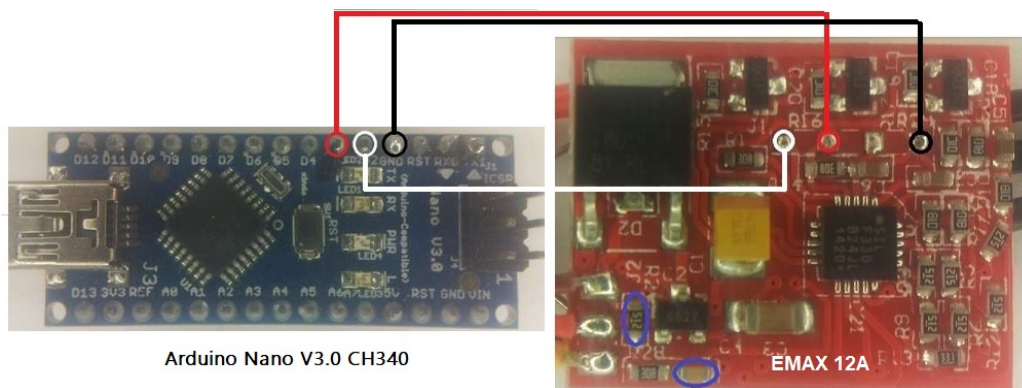


Рис. 3. Подключение Arduino Nano к ESC EMAX 12A

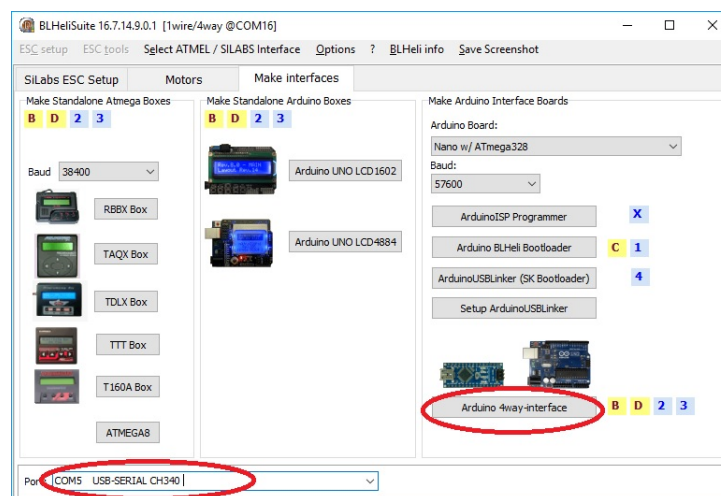


Рис. 4. Выбор интерфейса

Перед прошивкой ESC в Arduino Nano должна быть загружена программа, которая позволит Arduino выполнить процесс программирования. Для этого подключается Arduino к компьютеру через USB кабель, запускается программа BLHeliSuite.exe, выполняется переход на вкладку Make interfaces, выбирается порт и интерфейс (рис. 4).

На рис. 2 выбрана плата Arduino Nano со скоростью порта 57600. После нажатия на кнопку Arduino 4way-interface необходимо будет выбрать файл загрузки, как на рис. 5.

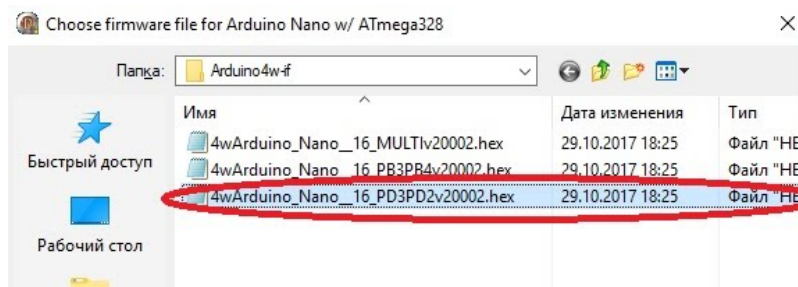


Рис. 5. Выбор файла загрузки

После выбора файла выполняется программирование Arduino. При успешной загрузке файла будет выдано соответствующее сообщение. Для загрузки прошивки необходимо перейти во вкладку Silabs ESC Setup и во вкладке Select ATMEL/SILABS Interface выбрать SILABS C2(4way-if). После этого к ESC необходимо подключить батарею и нажать на кнопку Connect.

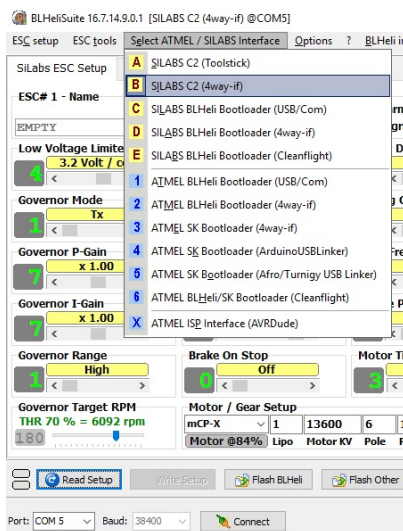


Рис. 6. Выбор интерфейса и загрузка прошивки

После успешного подключения к ESC необходимо нажать на кнопку Flash BLHeli. Далее появится окно для выбора файла прошивки. Для EMAX 12A, установленного на квадрокоптере, выбирается файл XP-12A Multi Rev.14.9. После этого выполняется прошивка и результат ее выводится на дисплей. После завершения процедуры и нажатия на кнопку Read Setup выводится обновленный экран с параметрами этой прошивки, как на рисунке 7.

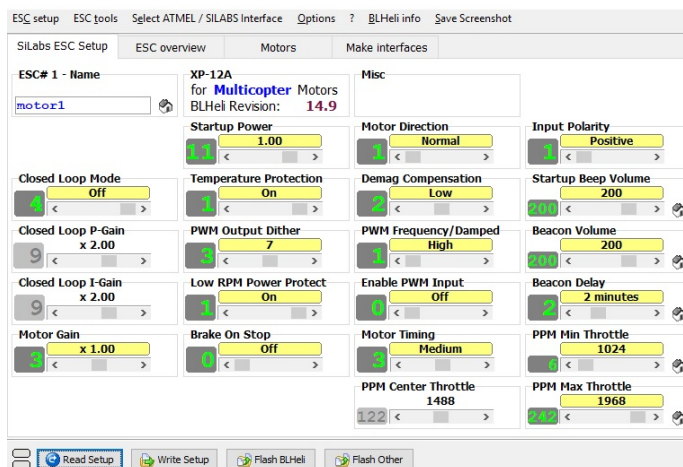


Рис. 7. Параметры прошивки

Параметры прошивки можно менять. Для их сохранения необходимо нажать на кнопку Write Setup. Если не отпаивать провода от контактных площадок, то даже после установки ESC на квадрокоптер их

можно использовать для изменения параметров или перепрошивки ESC через Arduino Nano. Однако мотор при этих действиях рекомендуется отключать.

Ниже перечислены некоторые параметры с их расшифровкой. Closed Loop Mode – режим замкнутого контура – устанавливает диапазон скоростей, с которыми может работать контур управления.

- Для High значения дроссельной заслонки от 0% до 100% линейно соответствуют заданным значениям оборотов т.е. от 0 до 200000 электрических оборотов в минуту (для 2-полюсного мотора).

- Для Middle диапазона значения дроссельной заслонки от 0% до 100% линейно соответствуют заданным значениям оборотов от 0 до 100000 электрических оборотов в минуту.

- Для Low диапазона значения дроссельной заслонки от 0% до 100% линейно соответствуют заданным значениям оборотов от 0 до 50000 электрических оборотов в минуту. Когда Closed Loop Mode Off, контур управления отключен.

Таким образом с помощью этого параметра ESC пытается управлять крутящим моментом в зависимости от текущих оборотов. Если установить HiRange, это соответствует 200 тыс. оборотов в минуту при полном открытии дроссельной заслонки. Например, если мотор 1000 KV, батарея 4S то 4,2 Вольт x 4S x 1000KV = 16.8 тыс. оборотов в минуту на полном газу на заряженных аккумуляторах. То есть нужно установить или HiRange или вовсе выключить. По умолчанию режим выключен. В этом случае при максимальной дроссельной заслонке мотор работает с максимальными оборотами для заданного напряжения.

Motor Gain – ограничивает максимальную мощность в зависимости от входного сигнала.

Startup Power – мощность импульса при старте мотора.

Temperature Protection – защита от перегрева.

PWM Output Dither – это параметр, который добавляет некоторое изменение к длительности цикла PWM отключения двигателя. Это может уменьшить проблемы (например, дискретность сигнала дроссельной заслонки или вибрации) в областях частот вращения, где частота PWM равна гармоникам частоты коммутации двигателя. Полезно в режиме активного торможения (DampedLight).

Low RPM Power Protect – если включить этот параметр, то ESC отключит мотор, если пропеллеры за что-то зацепились (мотор увяз при низких оборотах). Эта исключит пожар квадрокоптера.

Brake On Stop – при включении этого параметра выполняется резкий останов пропеллера при выключении мотора пультом управления.

Motor Direction – направление вращения мотора. Если мотор вращается не в ту сторону, необходимо изменить этот параметр.

Demag Compensation – защита от срыва синхронизации. Для небольших двигателей параметр не актуален.

PWM Frequency – частота входящего PWM-сигнала. Значение Low – около 8 кГц, High – около 20 кГц.

PWM Frequency – Damped и Damped Light – режимы торможения двигателя. Не все регуляторы имеют поддержку Damped. Это зависит от скорости работы силовых ключей регулятора.

Enable PWM input – включить PWM вход. В режиме "OFF" ESC будет ждать на входе только протокол OneShot125, а в режиме "ON" будет выбирать автоматически между OneShot и PWM.

Motor Timing – синхронизация двигателя. Low – 0 градусов, MediumLow – 8 градусов, Medium – 15 градусов, MediumHigh – 23 градуса, High – 30 градусов. Практика показывает, что если мотор на низких оборотах начинает дергаться при резком увеличении газа, то увеличивают Motor Timing.

Синхронизация двигателя, настраиваемая ESC, важна для эффективности двигателя, надежности его работы, крутящего момента и числа оборотов. Для вращения мотора пропускается электрический ток через катушку, которая создает магнитную силу и притягивает магнит ротора. Когда включается и выключается ток через катушку, происходит индукция. При получении тока катушкой, требуется время для создания магнитного поля и достижения его идеального уровня, когда ток отключается, потребуется также время, чтобы магнитное поле полностью исчезло. Целью синхронизации двигателя является раннее переключение катушки двигателя, для создания магнитного поля в нужное время. Если включить катушку раньше, когда она еще далека от магнита, это увеличит обороты двигателя, но уменьшит крутящий момент. Когда запускается катушка поздно, она находится близко к магниту, увеличивается крутящий момент двигателя, но уменьшается число оборотов.

Синхронизация двигателя во многом зависит от индукции, а индукция зависит, например, от тока, сопротивление катушки, число витков катушки и так далее. Разные двигатели будут иметь разное время индукции, и, следовательно, Motor Timing должен подстраиваться.

Input Polarity – полярность PWM сигнала. Если при нулевом газе мотор работает на полных оборотах, то меняется значение этого параметра.

Startup Beep Volume – громкость сигнала при подаче питания на квадрокоптер, издаваемая моторами.

Beacon Volume – громкость сигнала при бездействии.

Beacon Delay – задержка перед подачей сигнала бездействия.

PPM Min Throttle – минимальное значение PPM-сигнала.

PPM Max Throttle – максимальное значение PPM-сигнала.

Рассмотрим программирование (прошивку) ESC регулятора EMAX-12A по одному сигнальному проводу прошивкой BLHeli. В этом случае предыдущее программное обеспечение(прошивка) ESC регулятора должно иметь также и загрузчик. В противном случае прошивка должна быть выполнена предыдущим способом для прошивки BLHeli или как работе [13] для прошивки Simonk. Обычно современные ESC поставляются с прошивками, имеющими начальный загрузчик (bootloader) но с устаревшими версиями SimonK и BLHeli, которые могут не поддерживать протоколы OneShot. Однако даже при наличии bootloader-a ESC необходимо доработать, чтобы он мог работать с начальным загрузчиком. Например, в EMAX-12A требуется выпаять конденсатор и резистор, обведенные синим цветом на рисунке 3 (аналогично на рис. 8).

Для программирования с помощью Arduino по сигнальному проводу необходимо выполнить подключение Arduino к EMAX-12A, как на рисунке 8 (вывод D3 Arduino к сигнальному проводу ESC, GND Arduino к GND ESC).

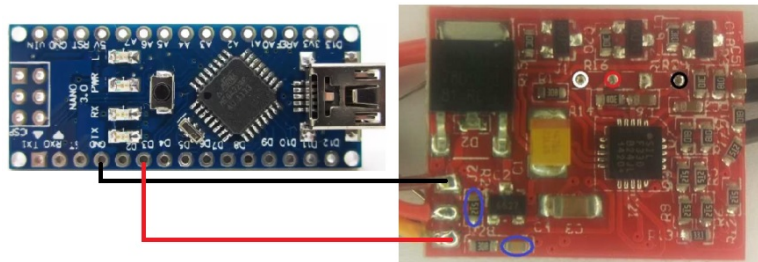


Рис. 8. Программирование с помощью Arduino по сигнальному проводу ESC EMAX-12A

Программирование Arduino Nano выполняется как в предыдущем случае по рисункам 4 и 5. Для загрузки прошивки необходимо перейти во вкладку Silabs ESC Setup и во вкладке Select ATMEL/SILABS Interface выбрать SILABS BLHeli Bootloader(4way-if). После этого к ESC подключить батарею через и нажать на кнопку Connect.



Рис. 9. Выбор интерфейса

После успешного подключения к ESC необходимо нажать на кнопку Flash BLHeli. Далее появиться окно для выбора файла прошивки. Для EMAX 12A, установленного на квадрокоптере и выбирается файл XP-12A Multi Rev.14.9. После этого выполняется прошивка и результат ее выводится на дисплей. После завершения процедуры и нажатия на кнопку Read Setup выводится обновленный экран с параметрами этой прошивки как было представлено на рис. 7.

Рассмотрим программирование (прошивка) ESC регулятора SimonK-30A по одному сигнальному проводу прошивкой SimonK (tgy_2015-09-12). В регуляторе SimonK-30A должна быть установлена прошивка с Bootloader-ом. Arduino Nano подключается к ESC как на рисунке 10. Необходимо учесть, что ESC Simonk-30A работает под управлением микроконтроллера ATMEGA-8A.

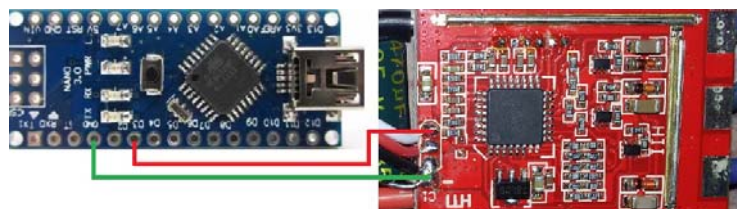


Рис. 10. Программирование с помощью Arduino по сигнальному проводу ESC Simonk-30A

Программирование Arduino Nano выполняется как в предыдущем случае по рисункам 4 и 5. Для загрузки прошивки необходимо перейти во вкладку Silabs ESC Setup и во вкладке Select ATMEL/SILABS Interface выбрать ATMEEL BLHeli Bootloader(4way-if) – рис. 11. После этого к ESC подключить батарею через и нажать на кнопку Connect.

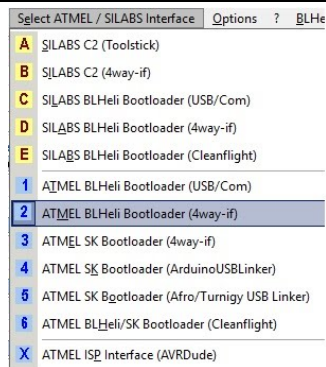


Рис. 11. Выбор интерфейса

Далее через 15–20 секунд необходимо нажать на кнопку Read Setup, после чего должно появиться окно (рис. 12).

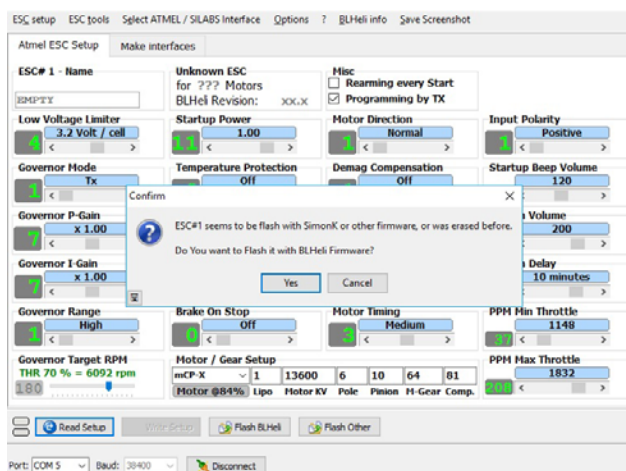


Рис. 12. Окно с идентификацией прошивки Simonk или другой неизвестной

После нажатия на кнопку Cancel, а потом на Flash Other, появится запрос на выбор файла прошивки. Прошивку необходимо скопировать с сайта <http://0x.ca/tgy/downloads/> - файл tgy_2015-09-12_103edb5.zip и распаковать его в каталоге. Для прошивки выбирается файл tgy.hex. Далее выполняется прошивка, ход которой отображается на экране. В случае успешной прошивки появляется соответствующее сообщение. После этого ESC Simonk-30A будет поддерживать протокол OneShot125.

После установки ESC и полетного контроллера на квадрокоптер, ESC можно перепрошивать по сигнальному проводу после отключения его от полетного контроллера и переподключения к Arduino Nano. Однако перепрошивку можно делать и через полетный контроллер, если там установлена прошивка CleanFlight последних версий. Для этого вначале подключается полетный контроллер через USB к компьютеру, затем подключается к квадрокоптеру батарея и запускается программа BLHeliSuite.exe (рис. 13).

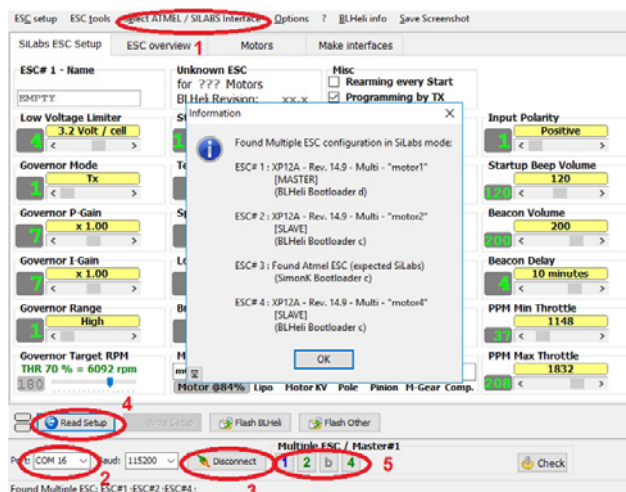


Рис. 13. Подключение ко всем ESC через полетный контроллер

Для загрузки прошивок с 4-х ESC необходимо перейти во вкладку Select ATMEL/SILABS Interface и выбрать ATMEL BLHeli Bootloader (CleanFlight) – рис. 11. На втором этапе выбирается номер порта полетного контроллера - COM 16 со скоростью 115200. На третьем этапе нажимается кнопка Connect. Примерно через 10–15 секунд нажимается кнопка Read Setup. Это приводит к чтению параметров всех ESC. 3-й ESC был определен с начальной загрузчиком Simonk, микроконтроллером Atmel и неизвестной прошивкой, остальные с прошивкой XP12A BLHeli. Выбор нужного регулятора можно выполнить в соответствии с меткой 5 рис. 13. Для выбора, например 2-го ESC необходимо нажать на кнопки не нужных ESC, например 1,4. Останется 2-й ESC, который можно перепрошить или поменять у него параметры.

В источнике [17] показано фото квадрокоптера с рамой 250 мм, у которого установлено три регулятора EMAX-12A с прошивкой XP12A BLHeli и один регулятор SimonK-30A с последней прошивкой SimonK. Полетный контроллер SP Racing F3 - Асго управляется прошивкой Cleanflight. В качестве протокола связи с ESC используется OneShot125. Тестирование квадрокоптера после установки прошивок рассмотренным выше способом показало достаточную его устойчивость в полете.

Выводы

1. Показана необходимость перепрограммирования ESC регуляторов современными прошивками, например, BLHeli или SimonK в зависимости от аппаратной части регулятора. Если регуляторы основаны на микроконтроллерах ATMEL (ATmega8а и др.) то используются прошивки BLHeli или SimonK, если используются микроконтроллеры SILABS(F330, F39X), то они прошиваются только BLHeli.

2. Показано, что протокол PWM связи полетного контроллера с ESC регулятором не синхронизируется с работой гироскопа летательного аппарата. Поэтому ESC получает старый сигнал от контроллера полета. Протокол OneShot125 синхронизирует импульсы аппаратуры управления с выходом сигнала с гироскопа. Это позволяет ESC иметь самые актуальные последние данные из полетного контроллера без больших задержек, и это стало возможным потому, что длина управляющего импульса OneShot125 в 8 раз меньше чем у PWM.

3. Показано, что прошивка SimonK способна поддерживать относительно медленные протоколы PWM и OneShot125 и в настоящее время не поддерживается. Работает только на микроконтроллерах ATMEL. Прошивка BLHeli поддерживает всю линейку высокопроизводительных современных протоколов. Она работает на микроконтроллерах ATMEL, SILABS.

4. Показана возможность использования Arduino Nano для программирования ESC EMAX-12A прошивкой BLHeli через три проводника в случае невозможности использования начального загрузчика из-за аппаратных ограничений регулятора ESC для прошивки по сигнальному кабелю. Здесь на контактные площадки ESC напаиваются три проводника, которые подключаются к Arduino. Перед прошивкой ESC Arduino предварительно программируется.

5. При аппаратной доработке ESC регулятора EMAX-12A (и других ESC из этой серии) показана возможность программирования ESC через сигнальный провод, который используется для подключения к полетному контроллеру. В этом случае программирование ведется также через Arduino Nano.

6. Рассмотрена возможность программирования ESC регулятора Simonk-30A самой последней версией прошивки SimonK через Arduino Nano по одному сигнальному проводу с помощью программы BLHeliSuite.exe.

7. Установлено, что если все ESC регуляторы (или несколько) подключены к полетному контроллеру с прошивкой CleanFlight (опробована ver.2.5.0), то ESC регуляторы можно прошивать новыми прошивками, необязательно BLHeli, а также менять параметры регуляторов, если используется прошивка BLHeli. Если используется полетный контроллер, например APM 2.6, то перепрошивку ESC можно выполнять по сигнальному проводу через Arduino, предварительно отключив ESC от полетного контроллера.

Литература

1. Paweł Sychalski. PWM, OneShot125, OneShot42, Multishot and DSHOT comparison. 2016. URL: <https://quadmeup.com/pwm-oneshot125-oneshot42-and-multishot-comparison/>.
2. Oscar Liang. WHAT IS ONESHOT ESC PROTOCOL – ACTIVE BRAKING. 2016. URL: <https://oscarliang.com/oneshot125-esc-quadcopter-fpv/>
3. Использование OneShot125 или PWMsSync. 2016. URL: <http://fpv-community.ru/applications/core/interface/file/attachment.php?id=2204>
4. Oscar Liang. WHAT IS DSHOT ESC PROTOCOL. 2017. URL: <https://oscarliang.com/dshot/>
5. Programming adapters for BLHeli. 2017. URL: <https://flyingmodscom.files.wordpress.com/2017/06/blheli-programming-adapters.pdf>
6. Oscar Liang. FLASH AND PROGRAM BLHELI ESC VIA CLEANFLIGHT – FLIGHT CONTROLLER. 2015. URL: <https://oscarliang.com/flash-esc-via-cleanflight-fc/>
7. ESCs supported by BLHeli SiLabs. 2018. URL: <https://www.mediafire.com/folder/dx6kfaasyo24l/BLHeliSuite>
8. Pin Configuration for BLHeliSuite 4-Way Interfaces (4w-if) on Arduino boards for Atmel/SiLabs ESC (v3). 2018. URL: <https://www.mediafire.com/folder/dx6kfaasyo24l/BLHeliSuite>

9. BLHeliSuite MultipleESC mode 14.3.0.2 and later. 2018. URL: <https://www.mediafire.com/folder/dx6kfaasyo24l/BLHeliSuite>
10. Operation manual for BLHeli SiLabs Rev14.x. 2018. URL: <https://www.mediafire.com/folder/dx6kfaasyo24l/BLHeliSuite>
11. Oscar Liang. HOW TO CHOOSE ESC FOR RACING DRONES AND QUADCOPTERS. 2017. URL: <https://oscarliang.com/choose-esc-racing-drones/>
12. Мясичев А. А. Перепрошивка регуляторов Hobbypower ESC-30A, Readytosky ESC-30A и Simonk 30A прошивкой Simonk. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://sites.google.com/site/webstm32/esc_reg
13. Мясичев А. А. Использование платы RobotDyn Mega2560 Pro для построения полетного контроллера гексакоптера / А. А. Мясичев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 3. – С. 172–180.
14. Мясичев А. А. Настройка PID регуляторов и GPS модуля для прошивки MegapirateNG полетного контроллера на базе Arduino mega2560 / А. А. Мясичев, Е. С. Ленков, В. М. Полозова // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – Київ : ВІКНУ, 2017. – Вип. 57. – С. 143–152.
15. Мясичев А. А. Построение БПЛА на базе полетного контроллера APM 2.6 / А. А. Мясичев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 5. – С. 225–230.
16. Мясичев А. А. Настройка PID регуляторов для полетного контроллера на базе ARDUINO MEGA256 и прошивки MEGAPIRATENG / А. А. Мясичев // Materialy XIII mezinarodni vedecko-prakticka konference «Moderni vymozenosti vedy – 2017». - Dil 8. Technicke vedy. Fyzika. Matematika. Stavebnictvi a architektura. Modernich informacnich technologii. – Praha : Publishing House «Education and Science» s.r.o., 2017. – 86 s.
17. Мясичев А.А. Использование BLHeliSuite для прошивки ESC регуляторов SimonK 30A и EMAX Simon-12A прошивками SimonK и BLHeli. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sites.google.com/site/webstm32/blhelisuite>, 2019.

References

1. Paweł Spychalski. PWM, OneShot125, OneShot42, Multishot and DSHOT comparison. 2016. URL: <https://quadmeup.com/pwm-oneshot125-oneshot42-and-multishot-comparison/>
2. Oscar Liang. WHAT IS ONESHOT ESC PROTOCOL – ACTIVE BRAKING. 2016. URL: <https://oscarliang.com/oneshot125-esc-quadcopter-fpv/>
3. Использование OneShot125 или PWMSync. 2016. URL: <http://fpv-community.ru/applications/core/interface/file/attachment.php?id=2204>
4. Oscar Liang. WHAT IS DSHOT ESC PROTOCOL. 2017. URL: <https://oscarliang.com/dshot/>
5. Programming adapters for BLHeli. 2017. URL: <https://flyingmodscm.files.wordpress.com/2017/06/blheli-programming-adapters.pdf>
6. Oscar Liang. FLASH AND PROGRAM BLHELI ESC VIA CLEANFLIGHT – FLIGHT CONTROLLER. 2015. URL: <https://oscarliang.com/flash-esc-via-cleanflight-fc/>
7. ESCs supported by BLHeli SiLabs. 2018. URL: <https://www.mediafire.com/folder/dx6kfaasyo24l/BLHeliSuite>
8. Pin Configuration for BLHeliSuite 4-Way Interfaces (4w-if) on Arduino boards for Atmel/SiLabs ESC (v3). 2018. URL: <https://www.mediafire.com/folder/dx6kfaasyo24l/BLHeliSuite>
9. BLHeliSuite MultipleESC mode 14.3.0.2 and later. 2018. URL: <https://www.mediafire.com/folder/dx6kfaasyo24l/BLHeliSuite>
10. Operation manual for BLHeli SiLabs Rev14.x. 2018. URL: <https://www.mediafire.com/folder/dx6kfaasyo24l/BLHeliSuite>
11. Oscar Liang. HOW TO CHOOSE ESC FOR RACING DRONES AND QUADCOPTERS. 2017. URL: <https://oscarliang.com/choose-esc-racing-drones/>
12. Mjasishhev A. A. Pereproshivka reguljatorov Hobbypower ESC-30A, Readytosky ESC-30A i Simonk 30A proshivkoj Simonk. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : https://sites.google.com/site/webstm32/esc_reg
13. Mjasishhev A. A. Ispol'zovanie platy RobotDyn Mega2560 Pro dlja postroenija poletnogo kontrollera geksakoptera / A. A. Mjasishhev // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tehnichni nauki. – 2018. – № 3. – S. 172–180.
14. Mjasishhev A. A. Nastrojka PID reguljatorov i GPS modulja dlja proshivki MegapirateNG poletnogo kontrollera na baze Arduino mega2560 / A. A. Mjasishhev, E. S. Lenkov, V. M. Polozova // Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu Kiivs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. – Kiiv : VIKNU, 2017. – Vip. 57. – S. 143–152.
15. Mjasishhev A. A. Postroenie BPLA na baze poletnogo kontrollera ARM 2.6 / A. A. Mjasishhev // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tehnichni nauki. – 2016. – № 5. – S. 225–230.
16. Mjasishhev A. A. Nastrojka PID reguljatorov dlja poletnogo kontrollera na baze ARDUINO MEGA256 i proshivki MEGAPIRATENG / A. A. Mjasishhev // Materialy XIII mezinarodni vedecko-prakticka konference «Moderni vymozenosti vedy – 2017». - Dil 8. Technicke vedy. Fyzika. Matematika. Stavebnictvi a architektura. Modernich informacnich technologii. – Praha : Publishing House «Education and Science» s.r.o., 2017. – 86 s.
17. Mjasishhev A.A. Ispol'zovanie BLHeliSuite dlja proshivki ESC reguljatorov SimonK 30A i EMAX Simon-12A proshivkami SimonK i BLHeli. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://sites.google.com/site/webstm32/blhelisuite>, 2019.

Рецензія/Peer review : 24.2.2019 р.

Надрукована/Printed : 10.4.2019 р.

Стаття рецензована редакційною колегією