

УДК 629.113

DOI:10.46960/62045_2022_1_17

В.С. Хозеров, А.Л. Кулагин, А.С. Трофимова, К.О. Гончаров
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛАТФОРМЫ
СПОРТИВНОГО АВТОМОБИЛЯ КЛАССА «FORMULA STUDENT»

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены этапы разработки электронной платформы спортивного автомобиля класса Formula SAE. Описана цепочка разработки двух версий электронных блоков управления системой мехатроники переключения передач, приведен их сравнительный анализ, описаны основные свойства и характеристики, описан процесс разработки блока управления приборной панели и схемы электрооборудования.

Ключевые слова: электронная платформа, Formula SAE, приборная панель, электрооборудование.

1. Блок управления роботизированной трансмиссией первой версии

Конструкция спортивного автомобиля класса «Formula Student», СКБ «Формула Студент» НГТУ им. Р.Е. Алексеева подразумевает применение ряда электронных блоков управления, объединенных в одну электронную платформу. В состав электронной платформы входят следующие блоки управления: двигателя, роботизированной трансмиссии и приборной панели [2, 3].

Для обеспечения работы системы управления трансмиссией был спроектирован и изготовлен блок управления, представленный на рис. 1. Задачи блока следующие.

1. Анализ данных, передаваемых по шине CAN от блока управления двигателем.
2. Считывание угловой скорости вторичного вала КПП.
3. Прием данных от входного каскада управляющих элементов на приборной панели.
4. Управление мехатронной системой, состоящей из двух электродвигателей постоянного тока и двух датчиков положений, находящихся в цепи обратной связи.
5. Логирование данных о параметрах работы системы на SD-карту.

Конструкция блока управления включала модульность, практически полное отсутствие на основной печатной плате отдельных радиокомпонентов.

Исходя из полученного опыта разработки, создания и эксплуатации был выявлен ряд недостатков.

1. Сложность реализации достаточного уровня пыле-влажностозащиты корпуса блока управления.
2. Низкая отказоустойчивость соединения блока управления с электрооборудованием автомобиля.
3. Отсутствие специального разъема для подключения электрооборудования автомобиля
4. Отсутствие посадочных мест на плате для ее надежной фиксации в корпусе блока управления.
5. Ненадежность соединения модулей внутри блока управления

Блок управления первой версии подразумевал безальтернативное использование в системе отдельных общедоступных модулей: MCP2515, DC-DC преобразователь на основе микросхемы LM2596 модуль SD-карты.

Данные модули нельзя было заменить другими элементами, которые можно установить непосредственно на плату блок управления. При первичных испытаниях возникли недостатки в устойчивости работы из-за низкого качества производства модульных комплек-

тующих: дорожки на печатных платах были ненадежны и легко обрывались при пайке, микросхемы на модулях были не оригинальными и не отвечали требованиям автомобильных стандартов.

2. Создание блока управления роботизированной трансмиссии второй версии

На основании проеденных испытаний и выявленных эксплуатационных недостатков первой версии блока управления роботизированной трансмиссией была разработана вторая версия блока управления. При этом вторая версия получила функциональное расширение по возможностям управления [2, 4]. Основные нововведения и усовершенствования второй версии блока управления роботизированной трансмиссией следующие.

1. Влагозащищенный 23-контактный коннектор по стандарту IP-67.
2. Возможность надежного крепления всех имеющихся модулей на центральной плате блока управления.
3. Возможность установки радиокомпонентов для создания узлов, эквивалентных имеющимся съемным модулям, непосредственно на печатной плате.
4. Наличие посадочных мест для платы блока управления в корпусе блока управления.
5. Аппаратная возможность реализации технологии управления сцеплением «*clutch-by-wire*». Система управлением выжимом сцепления *clutch-by-wire* была предложена как усовершенствованная альтернатива тросовому приводу сцепления. Ввиду этого, у пилота появляется возможность вмешиваться в алгоритмы работы системы, внося корректировки в процессе эксплуатации.
6. Наличие большого количества надписей на слое шелкографии, облегчающего сборку и отладку блока управления.
7. Наличие ряда систем защиты модулей от перегрузки по току и напряжению.
8. Наличие возможности использования помехозащищенных двухканальных датчиков положения вала переключения передач, рычага сцепления, педали сцепления.



Рис. 1. Блок управления первой версии

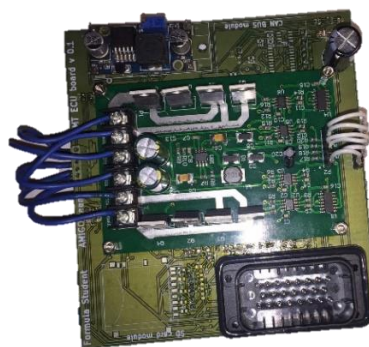


Рис. 2. Блок управления второй версии

Для возможности реализации системы *clutch-by-wire* были выбраны датчики положения с двумя независимыми реостатами для получения обратной связи. При повороте вала данного датчика показания значений сопротивления двух реостатов меняются пропорционально. В случае износа одной из дорожек изменения значений происходят непропорционально друг другу. Сравнительный анализ изменения сигналов исправного и неисправного датчиков представлен ниже. На рис. 3 изображено пропорциональное изменение сопротивлений реостатов, установленных в датчике положения педали сцепления. Красной линией изображено сопротивление реостата 1, синей – реостата 2. На оси абсцисс отложено сопротивление реостатов в Омах, на оси ординат – угол поворота вала датчика в градусах. На рис. 4 изображен пример изменения сопротивлений реостатов в неисправном датчике. Такие

несоответствия в показаниях позволяют блоку управления определять неисправность датчика, что повышает уровень безопасности системы.

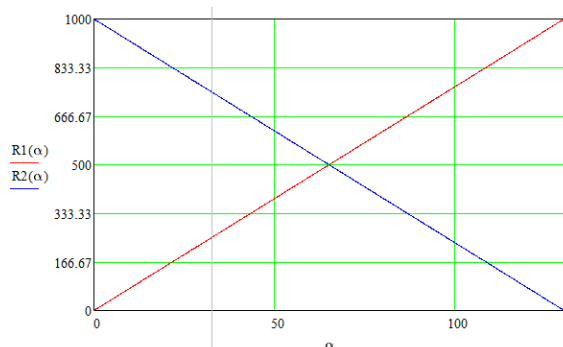


Рис. 3. Пример сигналов исправного датчика

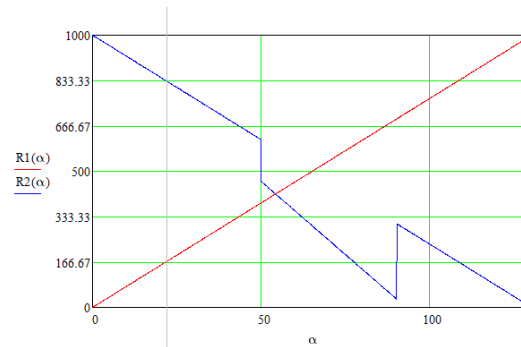


Рис. 4. Пример сигналов неисправного датчика

Еще одно принципиальное отличие второй версии блока управления роботизированной трансмиссией – это внесение изменений в компоновку т.е. возможность установки микросхем, способных заменить модульные подключаемые блоки. Схема разводки одного из слоев печатной платы представлена на рис. 5. Испытания системы показали оправданность внесенных в конструкцию изменений. Благодаря примененным в конструкции решениям существенно улучшилась отказоустойчивость системы и повысилась ее наработка на отказ.

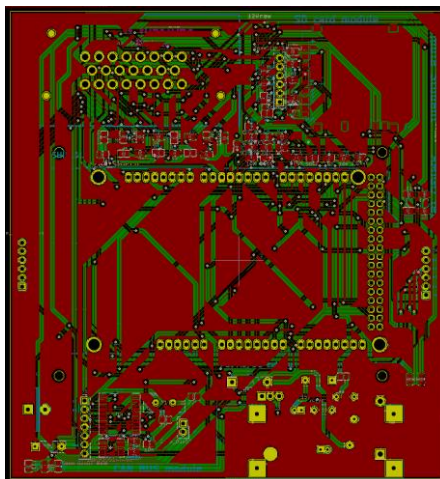


Рис. 5. Схема разводки одного из слоев печатной платы

Сравнение вида печатных плат представлено на рис. 5 и 6. На рис. 5 изображена печатная плата первой версии блока управления роботизированной трансмиссией, на рис. 6 – вторая версия блока управления роботизированной трансмиссией. После завершения разработки блока управления и его сборки, был разработан влагозащитный корпус с предусмотренными в нем выходами для разъемов, трехмерная модель которого представлена на рисунке 7.

Основные усовершенствования блока управления второй версии по отношению к блоку управления первой версии представлены в табл. 1.

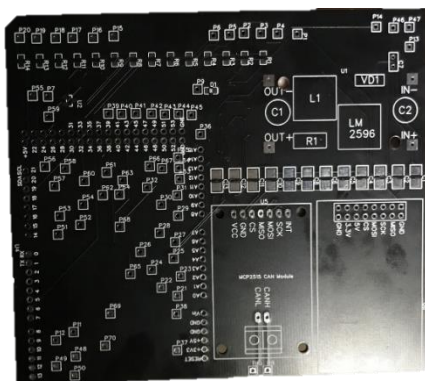


Рис. 5. Печатная плата блока управления первой версии

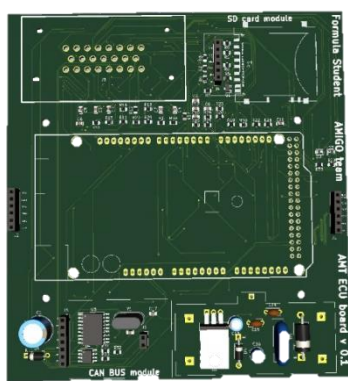


Рис. 6. Печатная плата блока управления первой версии

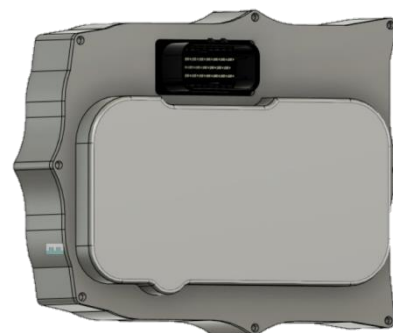


Рис. 7. Корпус блока управления роботизированной трансмиссией

Таблица 1.
Сравнительные характеристики блоков управления роботизированной трансмиссией спортивного автомобиля класса «Formula Student»

Параметр	Блок управления второй версии	Блок управления первой версии
Поддерживаемые шины данных	CAN	CAN
Напряжение питания, В	6-48 В	6-18 В
Максимальное количество контролируемых актуаторов	2	2
Количество аналоговых входов	6	4
Количество цифровых входов	6	5
Класс влагозащиты	IP-67	-
Возможность логирования данных	Подключаемый модуль SD-карты/встроенный модуль SD-карты	Подключаемый модуль SD-карты
Размещение модуля H-мостов	Жесткое, с фиксацией платы на крепежных элементах и проводов при помощи многоразовых разъемов	-
Коннектор	ОЕМ 23-контактный многоразовый разъем	-
Возможность отладки программного обеспечения без демонтажа корпуса блока	Реализована через USB-разъем с классом влагозащиты IP-67	-
Возможность применения технологии Clutch-by-wire	+ С возможностью определения неисправности в цепи сигналов датчиков положения педали и рычага сцепления	-
Управляющее устройство	Arduino Mega 2560/Arduino Uno/Arduino Nano	Arduino mega 2560
Вибрационная устойчивость соединений на плате блока управления	+	-
Возможность сборки копий в автоматическом режиме	+	-

3. Разработка блока управления приборной панелью

Основной задачей данного блока является сбор данных о системах автомобиля по шине CAN и отображение ее в графическом виде на жидкокристаллическом дисплее [5]. Для данной задачи была выбран миникомпьютер Raspberry Pi 3.

Наличие линий GPIO (General purpose input-output) позволяет применить в проекте любой CAN-трансивер с трехвольтовой логикой и принимать сообщения по шине CAN о па-

раметрах систем автомобиля. Наличие возможности вывода данных в графическом виде позволяет использовать на приборной панели автомобиля жидкокристаллический дисплей, изображенный на рис. 8, и с высокой долей информативности сообщать пилоту параметры различных систем.

Большое количество примеров программных проектов и электронных схем для данного одноплатного компьютера позволяет быстрее производить разработку программного обеспечения для конкретных нужд. Встроенные модули Wi-Fi и Bluetooth позволяют блоку управления приборной панелью выполнять функцию логгера данных не только записывая данные во внутреннюю память, но и ведя их беспроводную передачу на компьютер или смартфон, находящиеся поблизости.

Дополнительно, через обратную связь, появляется возможность дистанционно управлять автомобилем и менять параметры работы как приборной панели, так и других систем во время отладки автомобиля, быстрее узнавать о неисправностях и планировать ремонтные работы.

Во избежание повреждений компьютера при включении и выключении зажигания, на печатной плате блока управления приборной панелью был предусмотрен микроконтроллер, цель которого – контролировать энергообеспечение одноплатного компьютера до полного его отключения, используя резервное питание, идущее напрямую с аккумуляторной батареи. Таким образом, при отключении зажигания микроконтроллер сообщает компьютеру о необходимости завершения работы. После завершения всех необходимых процедур компьютер отключается. При этом напряжение на специальной ножке GPIO становится равным 0 В, что является сигналом для микроконтроллера, после получения которого он производит перевод подконтрольного транзистора в режим отсечки. Вследствие этого питание на весь блок управления приборной панелью отключается. Повторная подача питания возможна только при включении зажигания тумблером. Грубое выключение, при котором питание отключается резко и незапланированно для системы может быть произведено только через главный выключатель, расположенный на боковой стенке автомобиля. Данная защитная функция не противоречит правилам регламента Formula SAE 2022 [1]. Блок управления приборной панелью так же, как и блок управления роботизированной трансмиссией, имеет влагозащищенный корпус и разъемы, соответствующие стандарту IP-67. Изображения блока управления приборной панелью представлены на рис. 9.



Рис. 8. Дисплей приборной панели

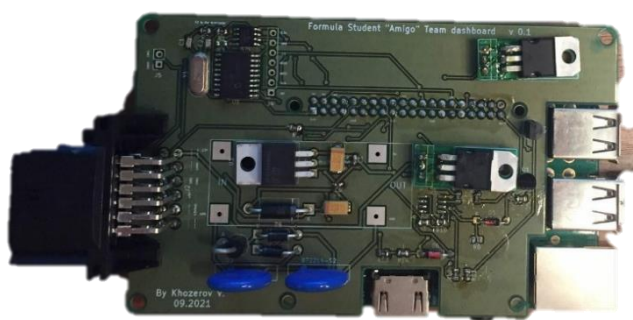


Рис. 9. Блок управления приборной панелью

Основные характеристики блока управления приборной панелью представлены в табл. 2.

Таблица 2.
Основные характеристики блока управления приборной панелью

Название параметра	Характеристика
Питание	через тумблер включения зажигания с резервом от аккумуляторной батареи
Класс влагозащиты	IP-67
Вывод данных на экран	HDMI-кабель
Вывод данных на светодиодную шкалу	Однопроводная шина данных
Беспроводные стандарты передачи данных	Wi-Fi Bluetooth
Разъемы	ОЕМ 12-контактный влагозащитный разъем Разъем USB с классом влагозащиты IP-67 Разъем HDMI с классом влагозащиты IP-67

Высокое энергопотребление жидкокристаллического экрана, одноплатного компьютера, светодиодной шкалы тахометра (рис. 10) с функцией отображения ошибок заставило отказаться от применения в системе отдельного модуля питания. Несмотря на то, что расчетный максимальный ток потребления системы не превышает максимального тока для отдельного модуля, в основе которого находится преобразователь напряжения LM2596, а лишь близок к нему, было принято решение использовать преобразователь напряжения, состоящий из компонентов, установленных непосредственно на плате. В основу данного преобразователя входит микросхема серии LM1084. Его максимальный выходной ток почти в два раза выше, чем у LM2596, и ему не требуется наличие принудительного охлаждения при выходном токе, составляющим максимальный расчетный для системы управления приборной панелью. Входной каскад преобразователя напряжения входит цепь защиты, предотвращающая повреждение компонентов блока управления приборной панелью при скачках напряжения в бортовой сети автомобиля до 48 Вольт. Данный каскад стоит как на основной линии питания, так и на резервной. Наличие влагозащищенных разъемов HDMI и USB на корпусе блока управления позволяют произвести подключение жидкокристаллического дисплея и, в случае необходимости отладки, компьютерную мышь, клавиатуру и флэш-накопитель.

4. Разработка светодиодной шкалы

Для наглядности отображения данных и быстрого их восприятия приборная панель, спортивного автомобиля класса «Formula Student», предусматривает светодиодную шкалу и индикатор неисправности.

Светодиодная шкала отражает частоту вращения коленчатого вала двигателя. Индикатор неисправности сигнализирует о критической неисправности в системе управления двигателем, трансмиссией или системе питания автомобиля.

Для расширения функционала светодиодной шкалы, упрощения конструкции печатной платы и уменьшения количества проводов, идущих к ней, были использованы адресные светодиоды. Это позволило сократить количество проводов, необходимых для работы светодиодной шкалы, до трех, упростить конструкцию печатной платы и снизить издержки при производстве. Плата выполнена однослойной. Ее изображение представлено на рис. 10.



Рис. 10. Плата светодиодной шкалы приборной панели

Светодиоды могут изменять цвет свечения и яркость как одновременно, так и по отдельности, в зависимости от команд, идущих от блока управления приборной панелью. Отдельный светодиод, выполняющий функцию индикации критических ошибок в системах автомобиля имеет красный цвет свечения. Светодиод, обозначающий ошибку может указывать не только на критические ситуации, загораясь красным цветом, но и подкритические, загораясь желтым. Дополнительно он может мигать некоторое количество времени при появлении новых ошибок, привлекая внимание пилота.

Описанные выше особенности блоков управления и их функционал позволяют снизить эмоциональную нагрузку на пилота, снизить его утомляемость, предотвратить от попадания в тоннельный эффект во время гонки, повысить его эффективность на треке и увеличить уровень пассивной безопасности.

5. Разработка схемы электрооборудования

Конструкция спортивного автомобиля класса Formula Student СКБ «Формула Студент» НГТУ им. Р.Е. Алексеева» подразумевает применение ряда электронных блоков управления, объединенных в одну платформу. В их число входит блок управления двигателем внутреннего сгорания, блок управления роботизированной трансмиссией, блок управления приборной панелью. Дополнительно в цепи электрооборудования присутствует ряд датчиков, актуаторов мехатронной системы переключения передач, блок предохранителей и силовых реле, блок органов управления на приборной панели, реле-регулятор напряжения бортовой сети и сервисные разъемы. В составе схемы электрооборудования спортивного автомобиля предусмотрено двадцать восемь обособленных жгутов. Для удобства распознавания назначения каждого обособленного жгута и каждого провода, а также для снижения трудоемкости обслуживания, ремонта и диагностики применены провода разных расцветок.

Для расширения спектра цветов применяемых проводов используются оплетки с двумя и более количеством цветов, один из которых является основным. Все провода должны быть специализированными, изготовленными для применения в транспортных средствах и иметь требуемое сечение соответствующее току в конкретной цепи.

Для разработки, документирования и удобной сборки электрической схемы автомобиля был выбран инструмент с открытым исходным кодом «Wirevizard». Он позволяет преобразовать код, написанный на языке разметки «YML», в цветные схемы с обозначением цветов проводов, их сечений, длины жгутов, назначений контактов в разъемах, данных об их производителе поставщике. При использовании данного инструмента можно создать список (ВОМ-файл – Bill of materials) требуемых проводов с их длинами, сечениями и расцветками. Использование данного инструмента сильно упростило разработку схемы электрооборудования, снизило трудоемкость ее сборки. Результаты созданной инструментом «wirevizard» схемы электрооборудования спортивного автомобиля представлены на рис. 11.

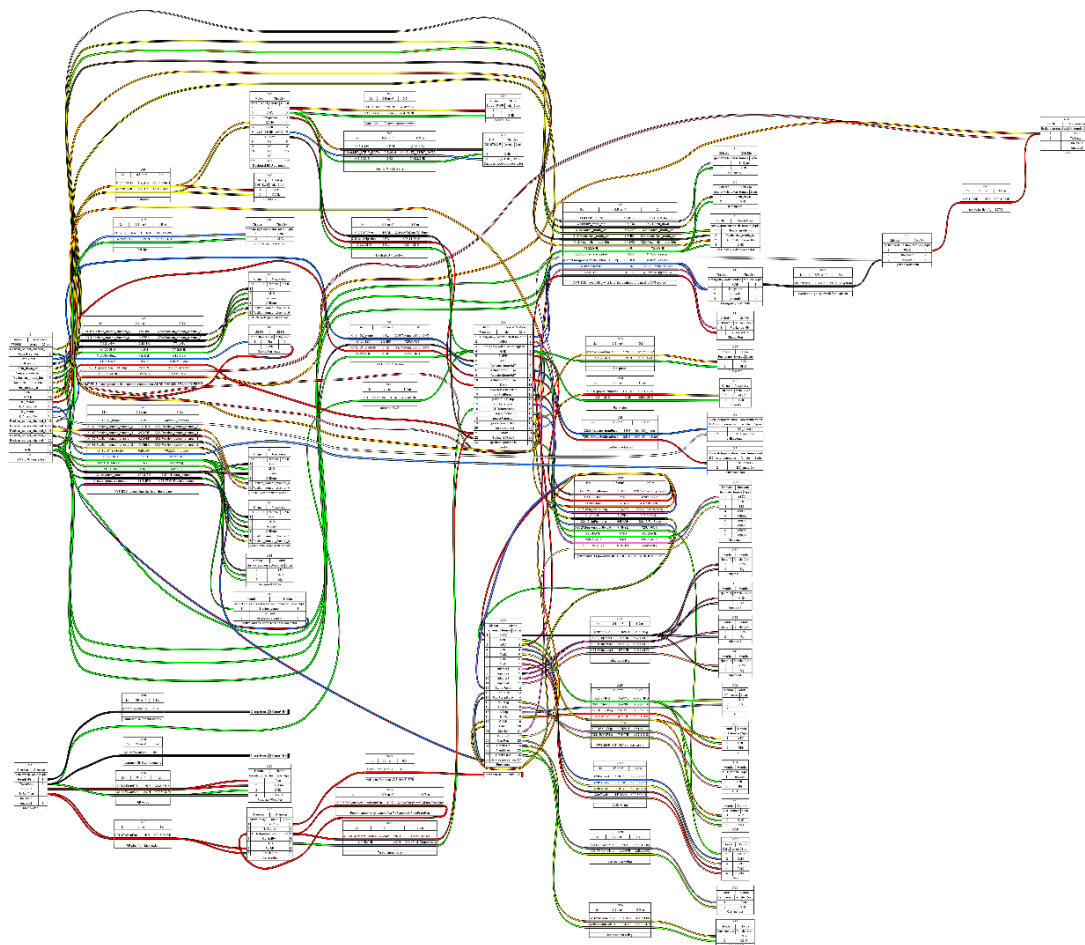


Рис. 11. Пример схемы электрооборудования

Библиографический список

1. Formula SAE Rules. SAE International, [Текст]. 2022. – 134 p.
2. Kulagin, A. Electronic component base for controlling the engine, mechatronic transmission and adaptive brake force limitation system as part of the electronic platform of the Formula SAE class sports vehicle [Текст] / A. Kulagin, K. Goncharov, V. Khozerov // 5th International Scientific and Practical Seminar Mobility of Transport and Technological Vehicles 12th-13th. Vol. 1086, Nizhny Novgorod, Russian Federation.
3. Хозеров. В.С. Разработка электронной платформы гоночного болида класса «Formula Student» [Текст] / В.С. Хозеров, А.Л. Кулагин // «Будущее технической науки». Сборник статей и тезисов 19-ой Всероссийской молодежной научно-технической конференции. – Нижний Новгород, НГТУ, 2020.
4. Хозеров В.С. Модульная платформа комплексной оптимизации АСУ транспортных средств [Текст] / В.С. Хозеров, А.Л. Кулагин // Сборник статей и тезисов 20-ой Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». – Нижний Новгород, НГТУ, 2021.
5. Трофимова, А.С. Разработка конструкции приборной панели спортивного автомобиля класса «FORMULA STUDENT» [Текст] / А.С. Трофимова, А.Л. Кулагин // Сборник статей и тезисов 20-ой Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». – Нижний Новгород, НГТУ. 2021.