Робот- пылесос Red_RV-R571. Опыт ремонта.

Кубов В.И. 2025

Недорогой, около 40$, робот-пылесос без Лидара. Отсутствие “лазерного зрения” не мешает пылесосику ловко прибираться, и выметать мусор из уголков, и из под мебели. Можно его гонять и вручную, с помощью ИК-пульта дистанционного управления - ДУ. В аварийной ситуации ограничения свободы движения, робот останавливается, пищит и мигает красными светодиодами.

Робот умеет сам находить зарядную станцию, и имеет множество сенсоров:

- Два ИК-приемника спереди для нацеливания на ИК-маяк зарядной станции.
- Три ИК-приемо-передатчика обнаружения края ступеньки. Один спереди и два по бокам. Предупреждает от падения на ступенях.
- Два ИК-приемника команд пульта ДУ (справа и слева, что бы не было слепых зон).
- ИК-передатчик и ИК-приемник обнаружения препятствия спереди. Позволяет обнаруживать стены и стенки мебели, не натыкаясь на них. Работает только на светлых препятствиях.
- Два ИК-приемо-передатчика сенсоров столкновения с препятствием. Реагируют на смещения подвижного бампера. В зависимости от того, с какой стороны произошло столкновение, делает маневр отката, и обхода препятствия.

В какой-то момент пылесосик “умер”. Включается на несколько секунд и выключается. Но аварию при этом не показывает. Отсутствие индикации аварии, в наибольшей степени, затруднило поиски причин неисправности, и повело по длинному пути анализа возможной логики работы этого робота, и локализации проблемы.

Ниже описана история поиска и устранения неисправности.

1. Проверка батареи.

Первое, что приходит в голову – проблемы с батареей. Батарея собрана из трех Li-ion элементов 18650, и имеет 4-проводный интерфейс. Интерфейс очень похож на интерфейс батарей по схеме 3S – три элемента последовательно. Как раз – два силовых (черный и красный), и два промежуточных (желтых)для зарядки с внешней балансировкой.

Проверка напряжения на разъеме показала, что на основном выходе 5V, вместо 12V, а на промежуточных - вообще ничего.

Понятно, проблема внутри батареи. Надо разбирать – рис.1.

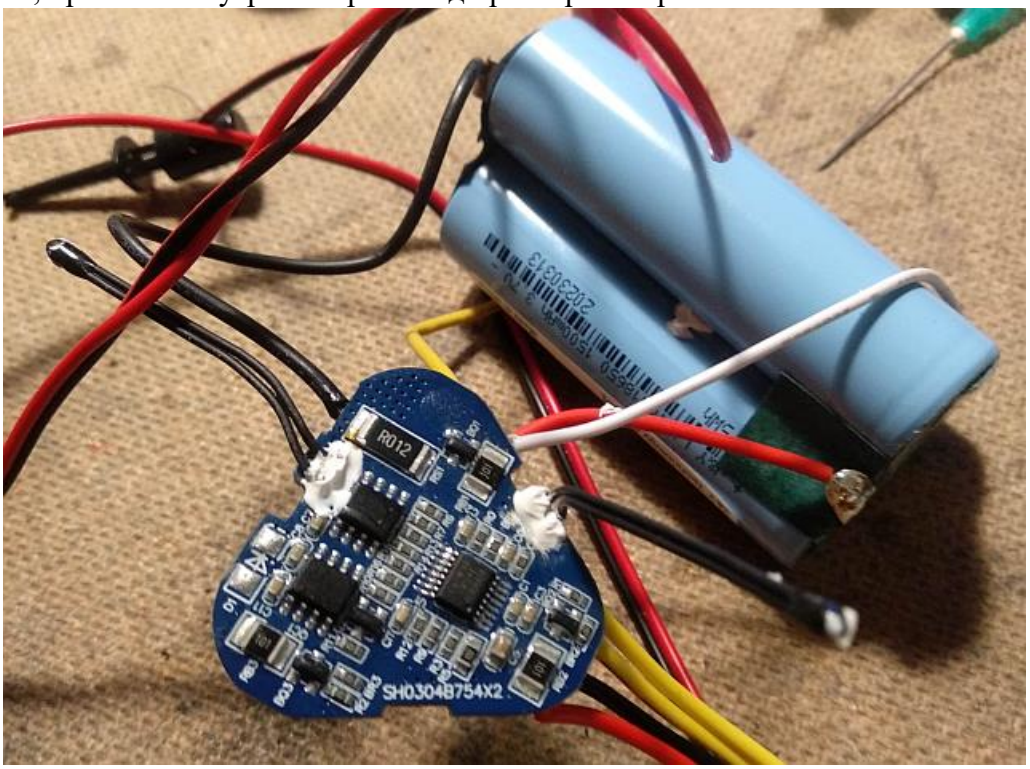


Рис.1. Внутренности аккумуляторной батареи.

Первое впечатление об устройстве батареи оказалось ошибочным. Внутри достаточно навороченный BMS с двумя сенсорами температуры. Один сенсор подключен к контроллеру BMS, а другой выведен на разъем.

То, что казалось выводами для зарядки, оказалось выводами термо-сенсора.

На сборке напряжения 9V, и схема защиты BMS отключила выход батареи.

Подал напряжение 12.6V на черный и красный проводники батареи. Пошел приличный ток - 2.5A (ограничивается моим блоком питания). Через какое-то время ток заряда уменьшился до нуля.

Аккумулятор вобрал 1500mAh. На банках маркировка 1450mAh. Очень правдоподобно. Могли бы взять банки с большей емкости для такого навороченного BMS.

Похоже проблемы в контактах зарядной станции и пылесосика.

2. Проверка пылесоса с заряженными аккумуляторами.

Подключил аккумулятор и включил кнопкой.

Пылесос немного погудел, слегка дернулся и выключился – светодиоды мигают белым.

Включил с пульта дистанционного управления. Дал команду вперед – немного проехал и остановился - светодиоды мигают белым. Больше на команды не реагирует.

После нескольких попыток понял, что чтобы пылесос выполнял команды, его надо заново выключать и включать. Можно и кнопкой пульте ДУ.

Поведение достаточно странное. Раньше он управлялся с пульта без промежуточных остановок. Впечатление, что робот чего-то ждет, но не может дождаться.

Похоже, робот “сошел с ума”.

Надо копать глубже.

3. Разборка пылесоса

На рис.2-4 показаны общие планы внутренностей робота-пылесоса.

Рис.2. Дно пылесоса с открытым батарейным отсеком, и снятая верхняя крышка.

Вверху слева - зарядная станция с маячком, а вверху справа – пульт дистанционного управления.

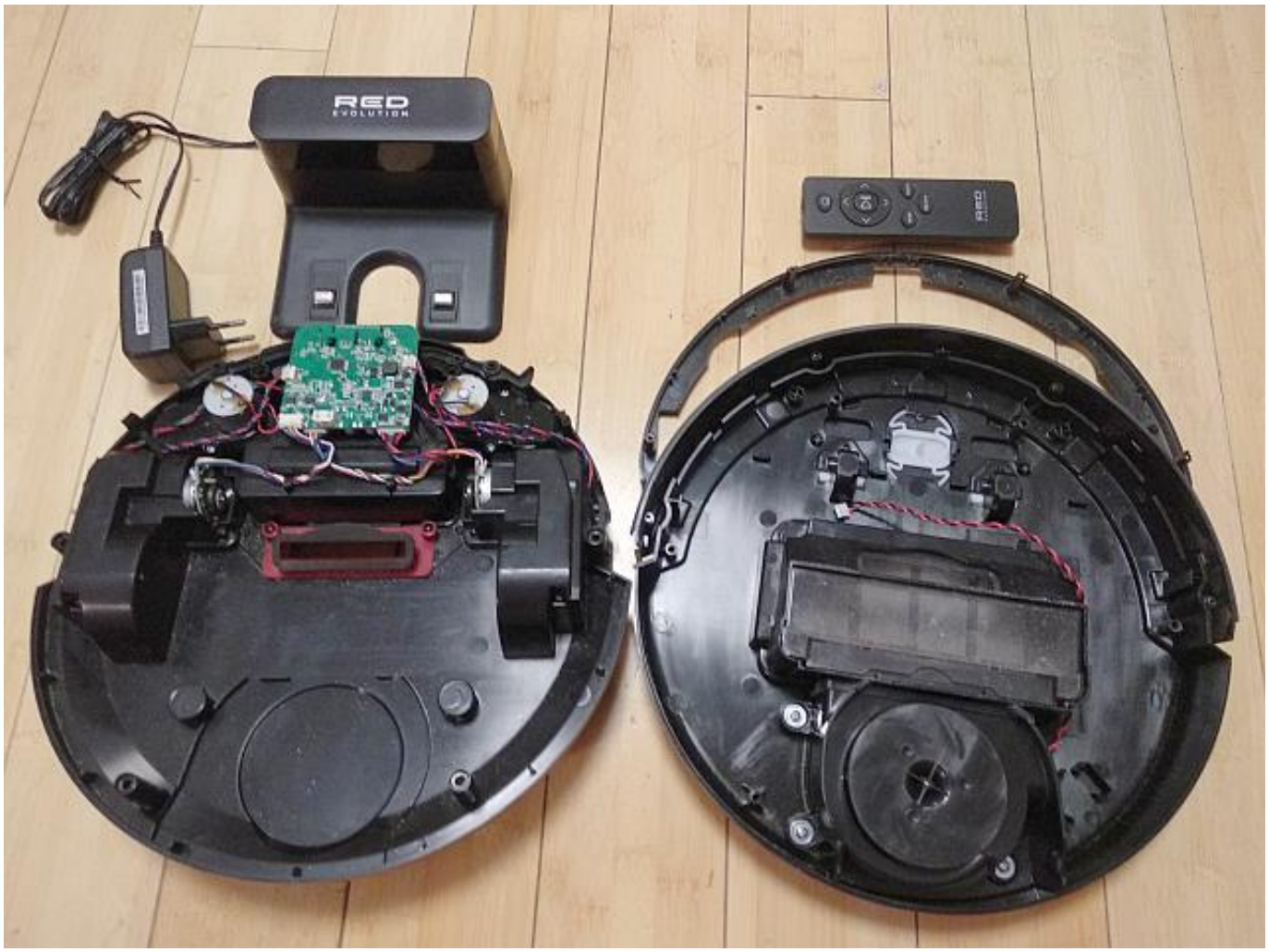


Рис.3. Внутренности пылесоса.

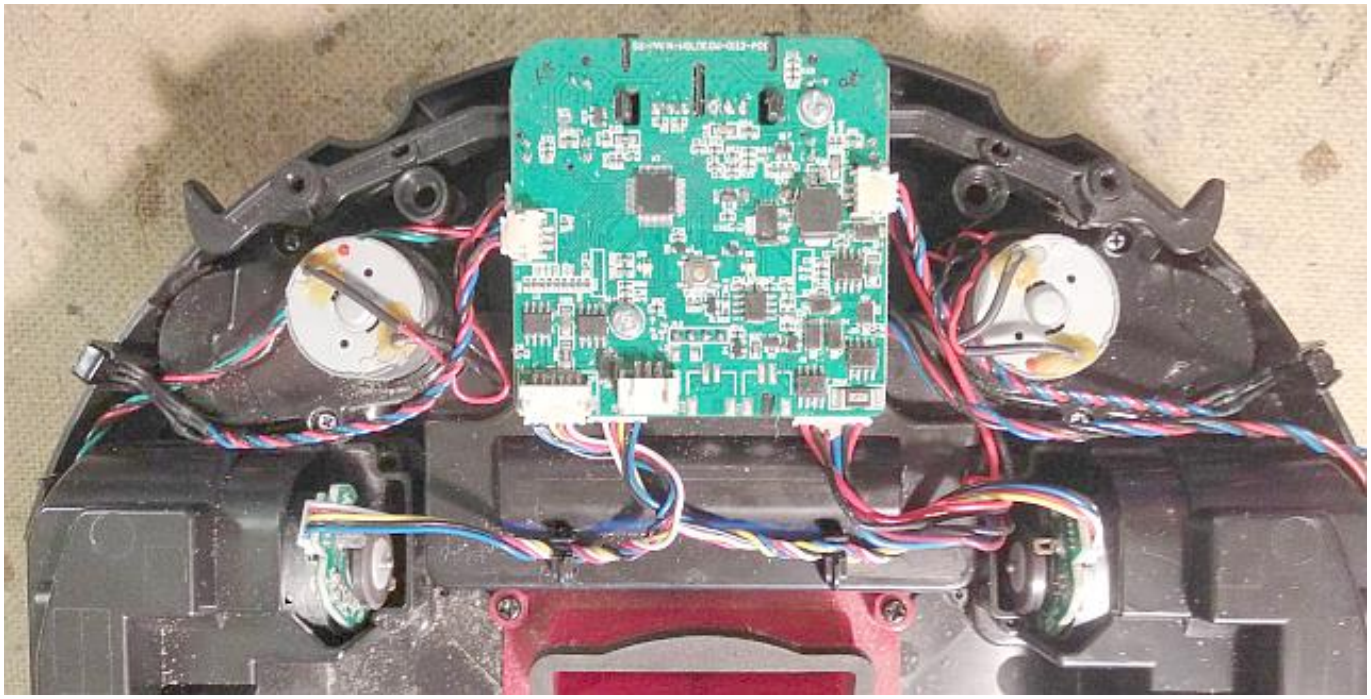


Рис.4. Плата управления, приводы колес (ниже) и приводы щеток (выше).

На рис. 4 приведена передняя часть пылесоса с платой управления, приводами колес, и приводами щеток. По бокам - справа и слева, видны трехвыводные ИК-приемники команд ДУ. Над двигателями щеток видны рычаги шторок оптического сенсора столкновения с бампером. Сами сенсоры оптопары видны на нижней стороне платы – рис. 6.

На рис. 5-6 приведен вид платы контроллера с верхней и нижней стороны.

В верхней части обратной стороны платы – рис.6, под черным пластиковым козырьком находятся стерео, ИК-сенсоры прицеливания на ИК-маяк зарядной станции (по центру). А по бокам, тоже под козырьком, ИК-передатчик и ИК-приемник оптического сенсора препятствия спереди.

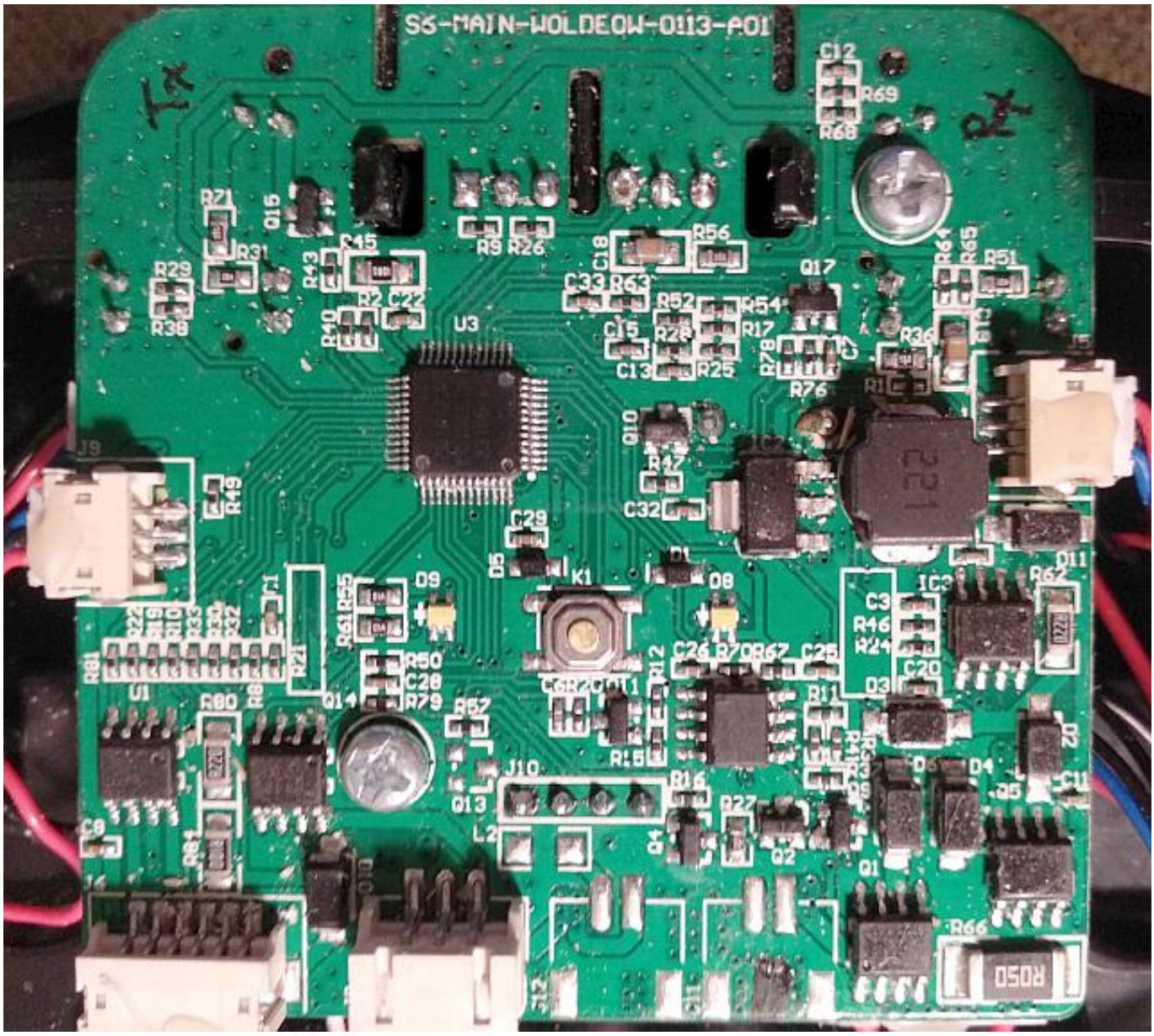


Рис.5. Верхняя сторона платы контроллера пылесоса.

Поверхности SMD-элементов покрыты сверху чем-то похожим на клей или парафин.

Если защитное покрытие удалить, и поверхность протереть спиртом, то иногда удается прочитать маркировку элемента.

Маркировка некоторых элементов платы:

U3=CHIPSEA/F03C8T6;
U1=T8870; U2=T8870;
IC3=UTC PMB5/MC34063AG; IC2=LD1117AG;
Q1=TF4407; Q2=2T; Q5=TF4407; Q7= AOLA/AH; Q8=Y1; Q9=2X; Q10=2X; Q11=2X; Q12=2X; Q14=TF4406; Q15=2X; Q17=3401;
?=A42S/BDMk

Процессор U3, похоже, некий клон популярного STM32.

На плате присутствует позиция для не распаянного 4-pin разъема – J10. Гнездо для этого разъема доступно из батарейного отсека. Похоже, это отладочный интерфейс.

Рис.6. Нижняя сторона платы контроллера пылесоса.

5. Отладочный разъем J10.

Может быть, анализ сигналов на этом интерфейсе что-то подскажет?

Подпаял разъем J10 и стал смотреть сигналы на этом разъеме осциллографом.

Два крайних вывода - питание и земля. Еще один, похоже, для записи - Rx, а самый крайний – для вывода какой-то информации - Tx.

При каждой команде на выходе Tx появляются пачки какого-то 8-битный кода.

Подключил логический анализатор, и получил кодограммы – рис.7-8.

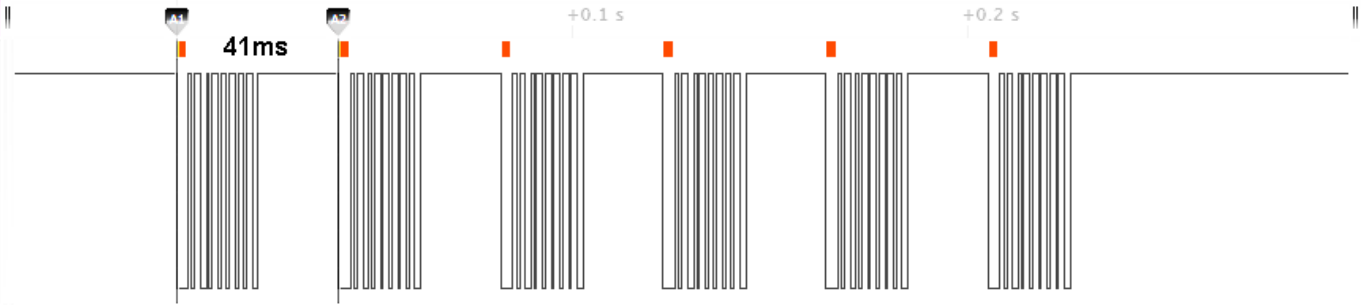
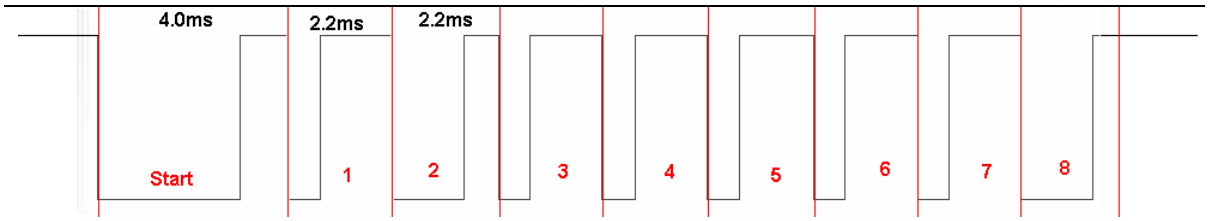
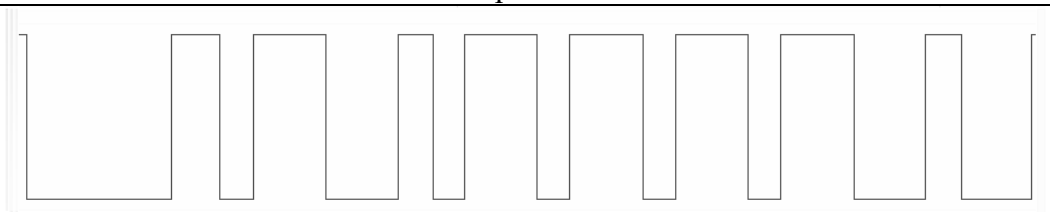


Рис.7. Пачки импульсов по команде ДУ - ▲.

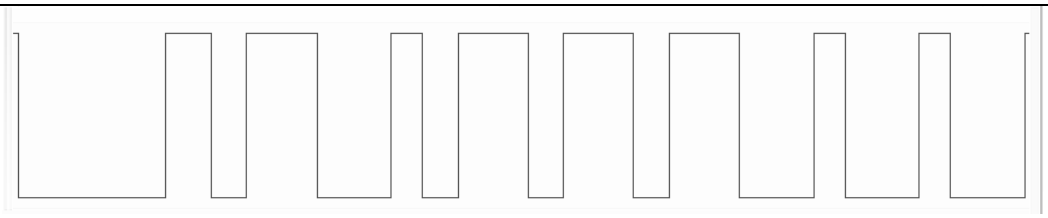
Каждая пачка состоит из более длинного стартового импульса и 8 бит данных.



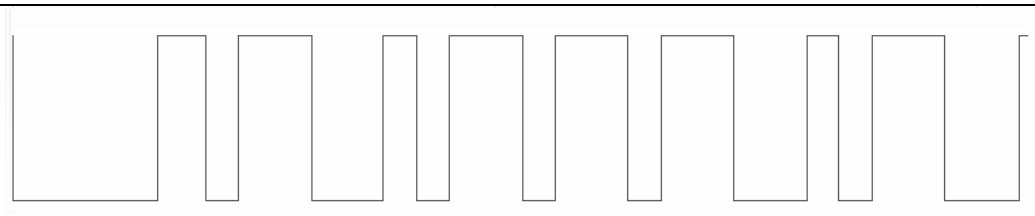
▲ – Вперед. b10111110



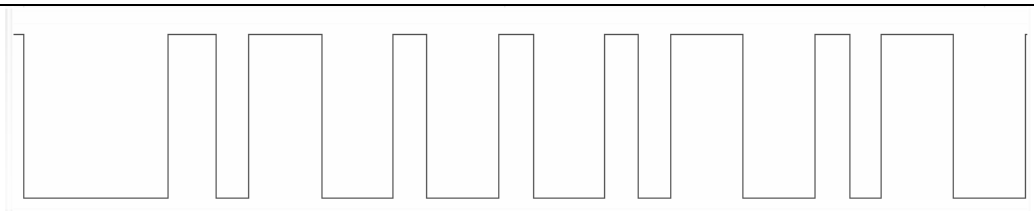
▼- Назад. b10111100



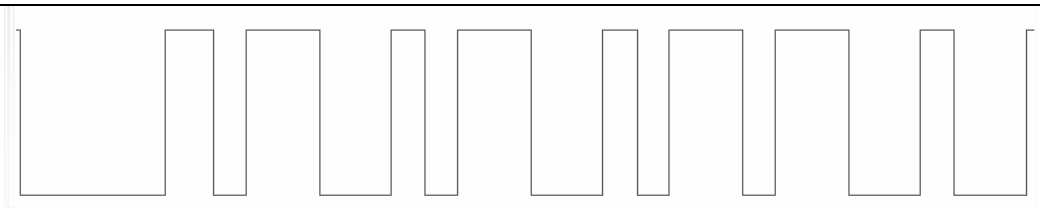
►- Вправо. b10111000



◄ - Влево. b10111010



►‖ - Пуск/Стоп. b10001010



⌂ - Домой. b10101100

Рис.8. Коды команд ДУ.

Видно, что код хоть и последовательный, но не UART.

Кодировка осуществляется изменением ширины импульса внутри тактовых интервалов одинаковой ширины. Что-то похожее на 1-wire код.

При дальнейшем анализе выяснилось, что это копия того, что принимает ИК-сенсор управления ДУ. Причем, сборка из сигналов левого и правого сенсора.

Код ДУ оказался очень примитивным – никаких адресов устройств, т.е. все пылесосы этой модели могут управляться с одного и того же пульта (это было проверено на другом пылесосе). Передаются только команды. Для 8 бит - это 256 разных команд.

Может быть, среди этих команд есть и команда, способная вернуть робота во вменяемое состояние путем сброса к заводским настройкам?

Малоперспективное занятие. Особенно с учетом того, что может быть, для сброса надо передать не один байт, а цепочку из нескольких байт. Тупик ???

А может еще что-то можно проверить, менее трудоемким способом.

А если попробовать уменьшить нагрузку, отключив часть приводов?

6. Проверка влияния нагрузки.

Отключил приводы щеток. И о чудо, пылесосик стал работать до отключения заметно дольше. Т.е. проблема как-то завязана на нагрузку. Это уже попроще!

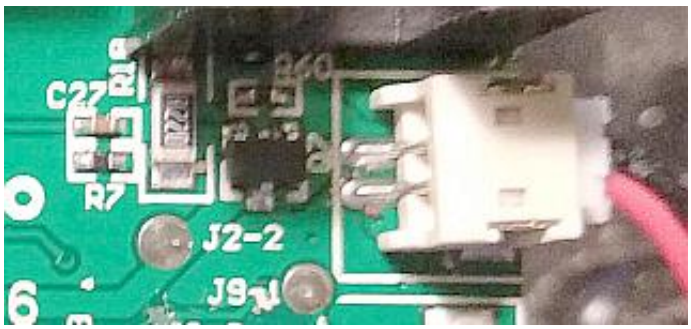
Проверил электродвигатели привода щеток от внешнего источника питания 12V. Оба двигателя работают, и ток на холостом ходу менее 10mA (меньше индикатор моего блок питания не показывает).

Сопротивление обмоток двигателя 38Ω. Т.е. максимальный ток двигателя 12V/38Ω ~ 0.3A (максимальный пусковой ток). Не солидный ток - мелочь.

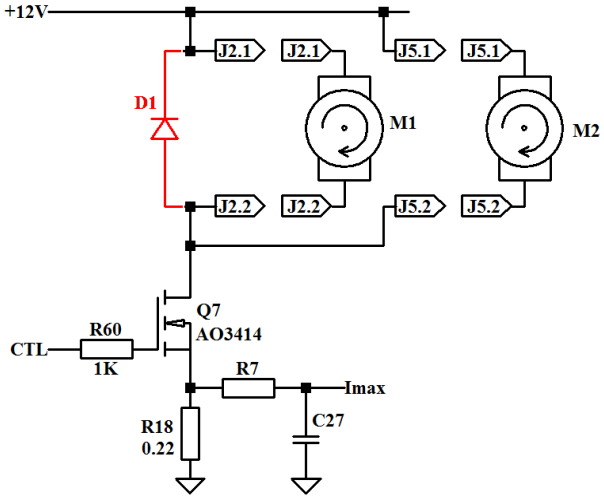
А что с цепями управления приводами?

На рис.9 приведен фрагмент фото платы возле разъема левого привода щеток и соответствующая схема.

На фото можно опознать силовой ключ Q7 с маркировкой AOLA/AH (вероятно, N-MOSFET AO3414), и токо-измерительный резистор R18=0.22Ω.



a) Фрагмент фото платы возле разъема привода правой щетки пылесоса



b) Схема

Рис.9. Цепи управления двигателями щеток пылесоса.

Оба двигателя включены в параллель через общий ключ Q7.

После прозвонки элементов схемы выяснилось следующее:

- Резистор R18 перегорел (в обрыве).
- Транзистор Q7 перегорел (закорочен по всем выводам).

Электродвигатель частично является индуктивной нагрузкой, и такую нагрузку обычно шунтируют защитным диодом (добавлен D1 на схеме рис.9b). Но обнаружить такой диод на плате не удалось.

Соответственно, появилась версия выгорания цепи управления двигателями:

1. В какой-то момент щетки пылесоса заклинило.
2. Сработала защита по току на R18.
3. Процессор отключил транзистор Q7.
4. Цепи нагрузки были разорваны, а ток, который в индуктивности не может скачком обратится в ноль, сформировал выброс высокого напряжения.
5. Выброс высокого напряжения привел к пробою транзистора, и он закоротил собой цпь.
6. Через закороченный транзистор пошел большой ток и сжег токоизмерительный резистор.
7. На оборванном резисторе R18 появилось плавающее напряжение, ложно сигнализирующее о повышенном токе.

Процессор, похоже, реагировал на ложную сигнализацию о повышенном токе:

1. В момент включения, игнорировал сигнал о повышенном токе, считая, что это пусковой ток.
2. Через время, достаточного для завершения пуска, процессор видел, что ток слишком большой, и отключал питание приводов пылесоса.

Появилась возможность проверить версию о причинах выключения пылесоса.

После замены выгоревшего резистора, функциональность пылесоса (за исключением не работающих щеток) восстановилась. Пылесос стал нормально реагировать на команды пульта ДУ. Смог самостоятельно находить зарядную станцию, и вставать на зарядку.

Теперь надо заказать и впаять транзистор. А для исключения подобных случаем в будущем, зашунтировать разъем двигателей защитным диодом (как на схеме рис.9b).

7. Замена силового транзистора

Итак, впаиваем транзистор, подключаем разъемы, и включаем пылесос.

И результат, тот же самый, что был перед этим. Пылесос на короткое время включается, и выключается.

Проверяем цепи. Резистор опять выгорел, а транзистор опять закоротил цепь.

Что-то не так.

Действительно, пусковой ток, как уже отмечалось, для сопротивления двигателя 38Ω всего лишь 0.3А. Для двух двигателей 0.6А. Этого явно не достаточно, что бы сжечь, достаточно большой и мощный, резистор R18.

Надо еще раз проверить двигатели. Что-то с ними не так.

8. Проверка двигателей привода щеток.

Медленно кручу ротор каждого из двух двигателей привода щеток. И обнаруживаю, что у одного из двигателей в некоторых положениях сопротивление падает с 38Ω, до менее чем 2Ω.

А при таком сопротивлении резистор вполне может перегореть.

Разбираю проблемный двигатель – рис.10.

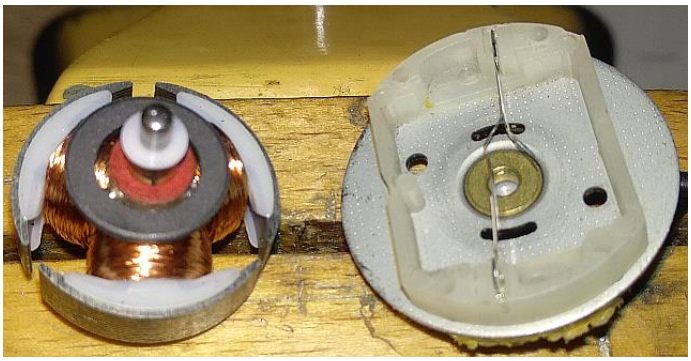


Рис.10. Коллекторный узел электропривода правой щетки пылесоса.

Одна из щетинок щетки коллекторного узла двигателя вывернулась в обратную сторону, и эта щетка охватывает коллектор сразу с двух сторон. А это, в свою очередь, порождает короткое замыкание - КЗ.

Интересно, что при проверке от отдельного блока питания это КЗ никак не проявилось.

Как такое могло получиться?

Версия повреждения коллекторного узла.

По каким-то причинам двигатель заклинило. При этом щетка коллектора слегка приварилась к коллектору.

Когда двигатель разблокировали, ротор повернули в направлении, противоположном направлению нормального вращения, и одна из щетинок вывернулась на изнанку.

Поврежденная щетка коллекторного узла заметно пострадала. Вывернутая щетинка обломалась, а оставшиеся щетинки подгорели и потеряли упругость.

Двигатель надо менять!!! Но когда он появится, новый двигатель? А проверить хочется уже сейчас.

9. Временная реставрация двигателя и проверка пылесоса.

Выравниваю щетки коллекторного узла и собираю двигатель. Проверяю, ничего не коротит.

Еще раз меняю резистор R18 и транзистор Q7.

Подключаю разъемы и включаю. **Все работает**!!! Около часа пылесосик ездил по комнате и собирал мусор, а потом встал на зарядку.

Двигатель, конечно, надо менять. А пока пусть работает с дефектным двигателем.

10. Общие замечания по конструкции и программе пылесоса к разработчику.

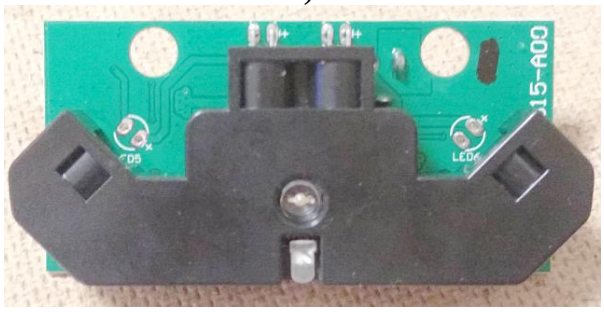
1. Конструктор явно сэкономил, и не поставил защитный диод, там, где обычно его ставят. Может это и стало причиной приваривания щетки коллектора к коллектору.
2. Отсутствует индикация перегрузок в определенных режимах. Сколько бы времени удалось сэкономить, если бы была сигнализация того, что пылесос находится в аварийном режиме.
3. Предусмотренная защита по перегрузке, явно недостаточна. Надо было делать двухуровневую защиту:
   - Защиту по максимальному пусковому току, исходя из ожидаемого значения тока для конкретного сопротивления обмоток двигателя.
   - Защиту от перегрузки в рабочем режиме, по отклонению от номинального значения тока.

Приложение

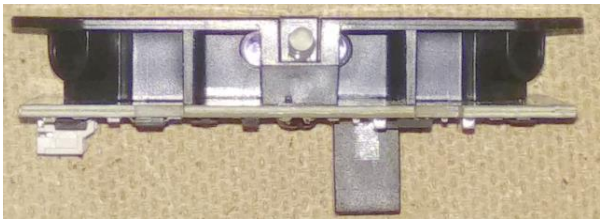
Зарядная станция

a)

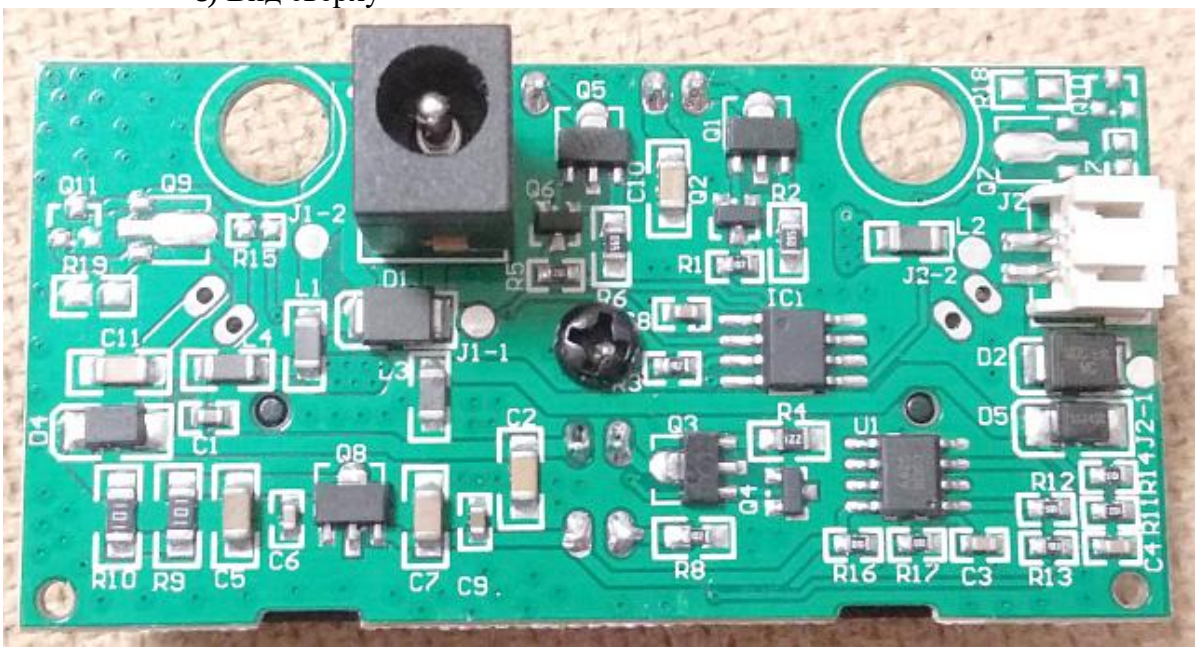
b)



c) Вид сверху



d) Вид спереди



e) Нижняя сторона платы

Рис.П1. Элементы маяка зарядной станции.

Маяк зарядной станции формируется тремя навигационными ИК-светодиодами:

- Ненаправленный светодиод – рис.П1c. Излучает вверх на коническое зеркало. Служит для грубой оценки направления на зарядную станцию.
- Направленные светодиоды – рис.П1d. Излучают вперед, и образуют стерео-базу. Служат для точного позиционирования робота пылесоса.

Кроме навигационных ИК-светодиодов, есть индикаторный светодиод, для обозначения работы зарядной станции.

Можно предположить, что робот ориентируется так, чтобы левый и правый ИК-сенсоры робота видели свои ИК-светодиоды зарядной станции.