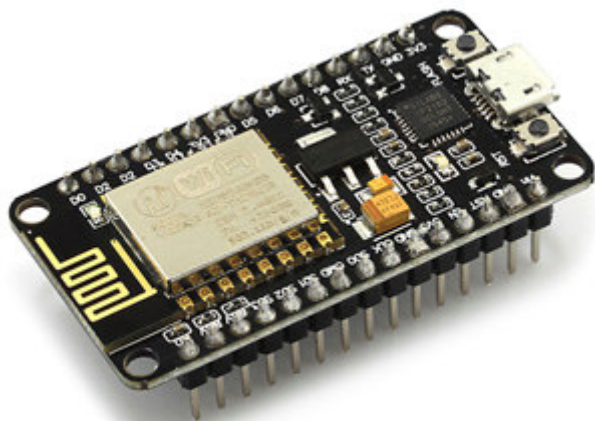


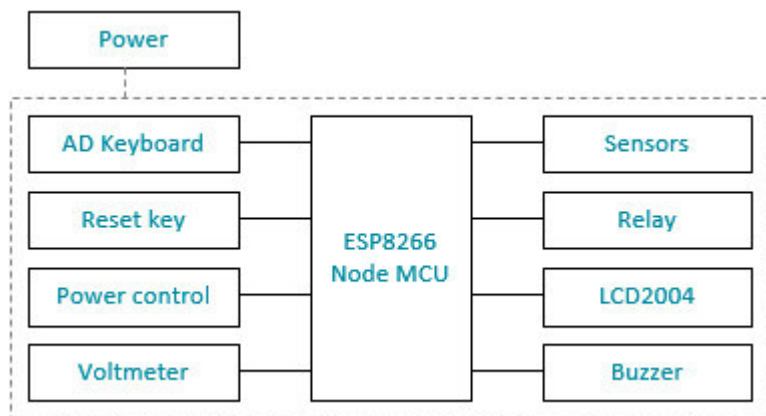
## Аппаратная часть контроллера CLRC-02

За основу CLRC-02 взята сборка ESP8266 NODE MCU v3 (далее МК). В отличие от Ардуино, на ESP8266 32-х разрядная архитектура, больше памяти и мощнее процессор. Также, на борту имеется WiFi-модуль и часть флэш-памяти отдана под файловую систему. Из минусов - малое количество управляемых пинов, всего один канал АЦП и прерывания исполнения основного потока, возникающие при обслуживании FiWi. Нужно отметить, что программирование этого микроконтроллера может выполняться в среде Arduino IDE, и большинство имеющихся под Arduino скетчей без проблем адаптируются под ESP8266 NODE MCU.

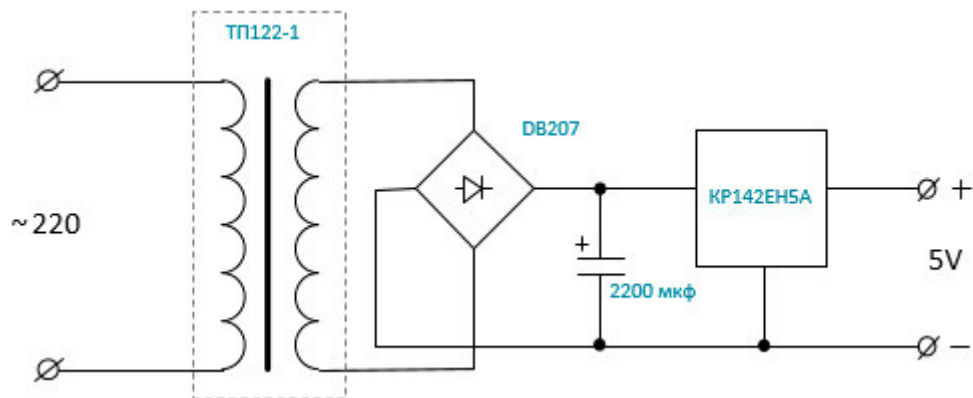


### Основные компоненты контроллера

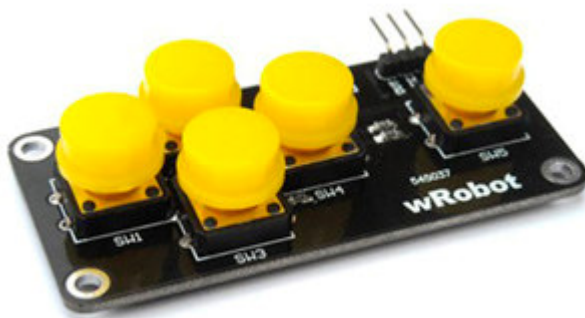
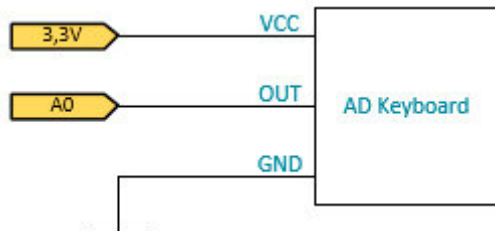
Кроме ESP8266 NODE MCU понадобится периферия, обслуживающая разные функции. На рисунке ниже изображены основные блоки контроллера CLRC-02. Далее будет рассказано об аппаратной части каждого из них.



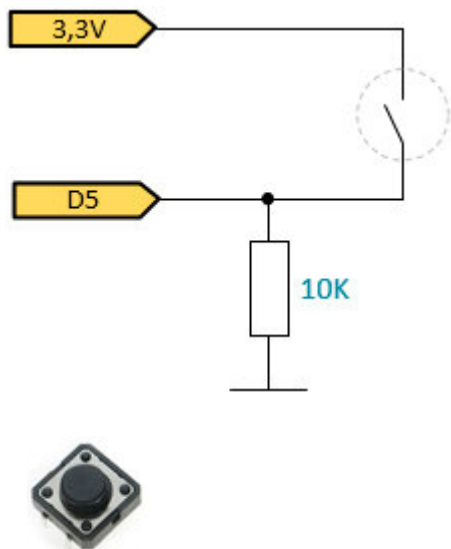
**Power** - блок питания. Все используемые элементы запитываются от 5 Вольт (кроме *AD Keyboard*). Суммарный максимальный ток - около одного ампера. Блок питания простейший на **KP142EH5A**.



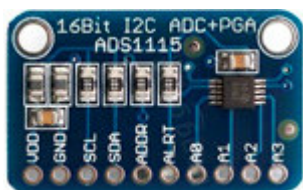
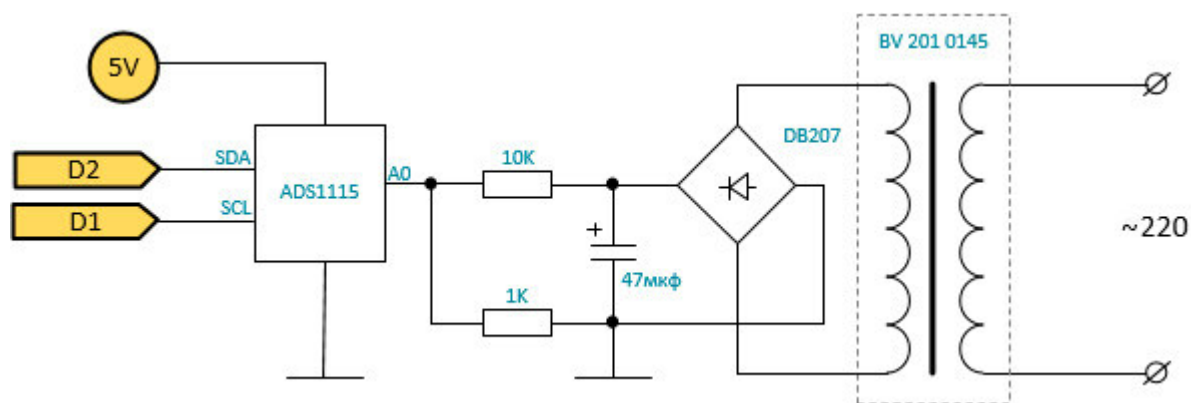
**AD Keyboard** - плата с пятью кнопками для управления контроллером. Она подключается к единственному каналу АЦП (pin A0). AD-клавиатура содержит пять кнопок, каждая из которых через встроенные в плату резисторы различных номиналов замыкается на шину питания. Это означает, что нажатие разных кнопок будет формировать на выходе клавиатуры разный потенциал. Именно он будет измеряться при помощи АЦП.



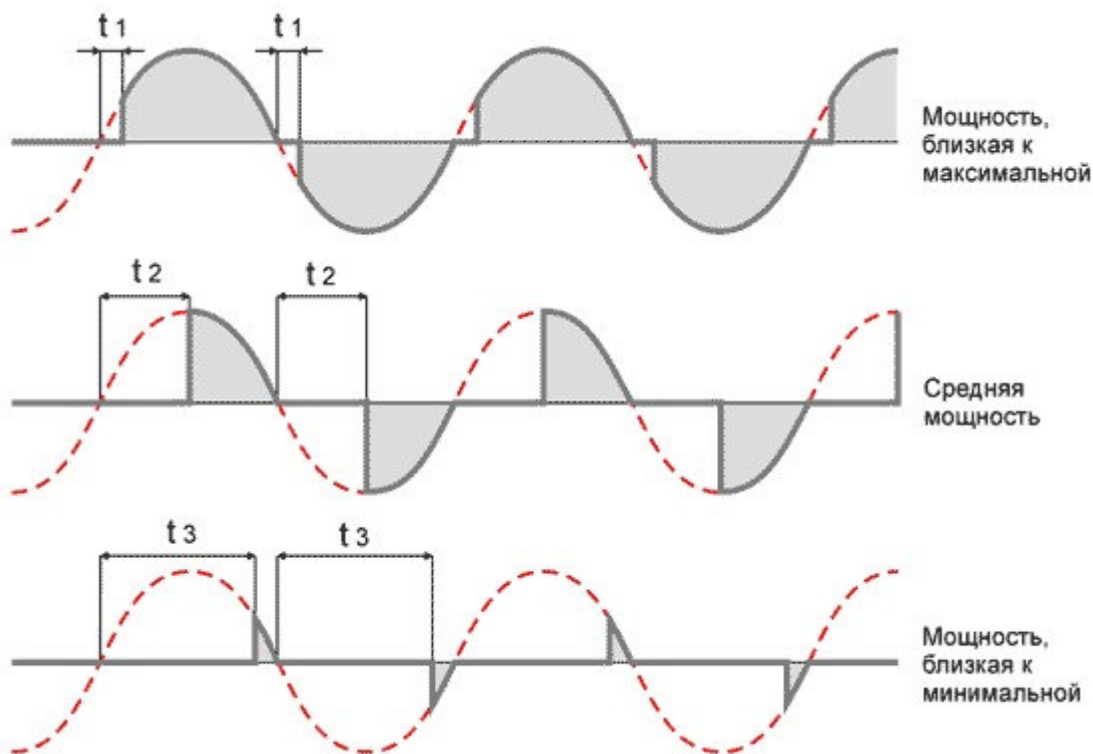
**Reset key** - это кнопка для сброса настроек контроллера к дефолтным установкам. Она будет монтироваться непосредственно на плате CLRC-02. Обязательно подтянуть пин на землю через резистор номиналом 10K. Второй контакт кнопки на питание МК 3,3V или на 5V.



**Voltmeter** - электронный вольтметр. Т.к. напряжение в сети может значительно отклоняться от номинала, необходима коррекция в работе модуля *Power control* в соответствии с текущим значением напряжения. Для этого нужно замерять это напряжение, что и делает вольтметр. Принцип работы прост. Трансформатором напряжение понижается с 220 до 16 Вольт, выпрямляется диодным мостом, сглаживается конденсатором, и через делитель замеряется при помощи АЦП. Но единственный канал АЦП уже занят модулем *AD Keyboard*, поэтому используется внешний АЦП **ADS1115**, подключенный к МК шиной **I2C**. На входе ЦАП A0 должен быть потенциал от 2-х до 4-х Вольт. Если потенциал не попадает в данный диапазон, то следует изменить резисторы в делителе напряжения (можно поставить подстроечник).



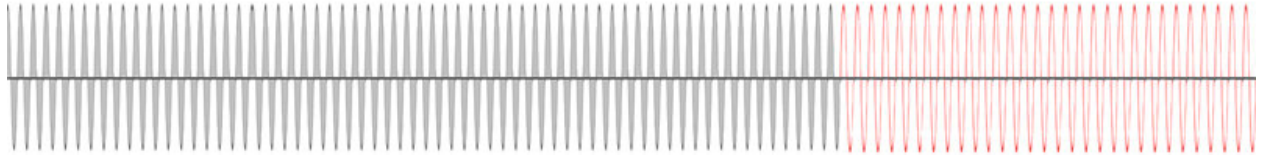
**Power control** - модуль управления мощностью нагревателя. Существует множество схем для решения задачи регулировки мощности. Простейший вариант основан на использовании симистора. Симистор имеет три вывода. Один из них управляющий, а через два других подключается нагрузка. При подаче потенциала на управляющий вывод симистора он переходит в открытое состояние. При снятии потенциала с управляющего вывода симистор закрывается. Казалось бы, что можно подать на управляющий вывод ШИМ сигнал контроллера и его заполнением регулировать мощность. Но есть один нюанс. Через симистор проходит переменный ток с частотой 50 Hz. Особенность симистора заключается в том, что при снятии с управляющего вывода потенциала симистор переходит в закрытое состояние не сразу, а лишь в момент прохождения потенциала протекающего через него тока через 0. Т.е. при частоте 50Hz симистор может переходить в закрытое состояние только в определенные моменты, а именно, 100 раз в секунду (за один период синусоида дважды пересекает 0). Если подать на управляющий вывод ШИМ-сигнал с большой скважностью, то симистор будет почти всегда открыт, т.к. открывается он в любой момент, а закрыться может только в определенные моменты. Для борьбы с данной особенностью применяют схему обратной связи - контроллер постоянно следит за потенциалом переменного напряжения и ждет моменты прохождения через нулевую точку. Отсчитывая определенное время от нулевой точки контроллер открывает симистор коротким импульсом. Симистор закрывается при прохождении потенциала протекающего тока через 0. Выглядит это так:



Кроме усложнения аппаратной части (введение обратной связи) усложняется и программная часть. Во-первых, нужно постоянно фиксировать прохождение синусоиды через 0, а, во-вторых, нужно делать расчеты времени, когда нужно открыть симистор. Т.к. имеем дело с синусоидой, а мощность пропорциональна площади закрашенной области под ней, то, фактически, нужно рассчитывать моменты открытия симистора исходя из этой площади. Конечно, вычисления относительно просты, но делать их приходится 100 раз в секунду. Чтобы их не делать, вместо постоянных расчетов используют готовые таблицы с заранее посчитанными значениями. Для обеспечения точности регулировки в 1% требуется отсчитывать интервалы времени с точностью в  $10^{-4}$  секунды (одна десяти тысячная).

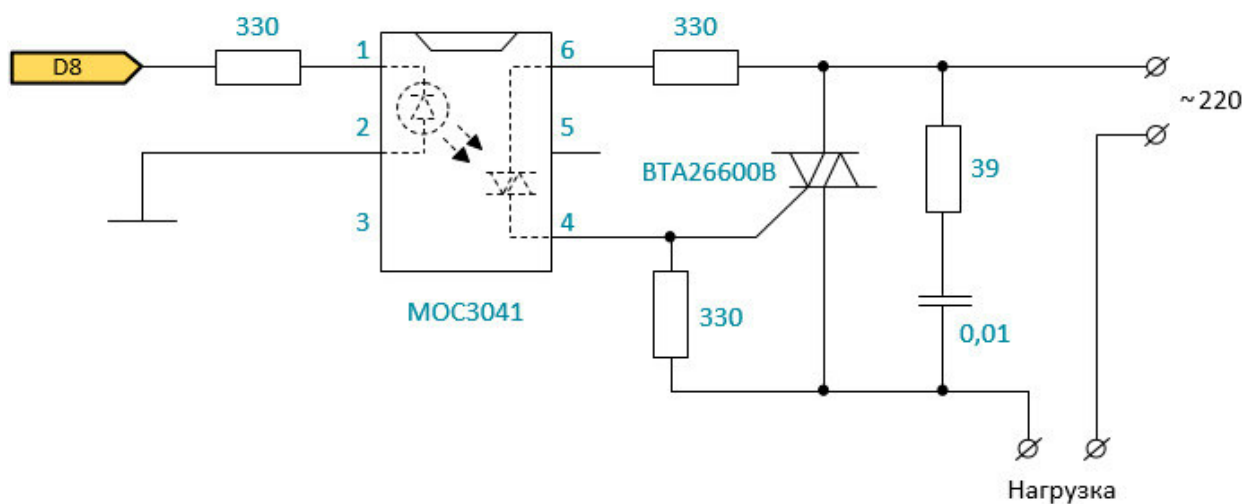
Подобный подход, применительно к обсуждаемой теме, неоправданно излишен. Зачем управлять симистором каждый полупериод? Давайте разбираться. Что используется в качестве нагревателей? Индукционная плита к такому типу управления не подойдет. Т.е., в любом

случае, при нагреве бака будут использоваться или тены или комфорка. Какова инертность тенев и комфорок? Она очень большая. У комфорки она измеряется десятками секунд. У тенев меньше, но, гарантированно, больше секунды. Значит, можно просто применить управляющий ШИМ-сигнал с низкой частотой. Допустим, нам нужно выставить мощность 70%. Если 0,7 секунды держать симистор открытым, а 0,3 секунды закрытым, то мы получим нужный результат. Какова при этом максимальная ошибка в регулировке мощности? Максимум на одну полуволну синусоиды, а их сто в одной секунде. Т.е. максимальная ошибка 1%. И не нужно вводить обратную связь, делать расчеты и отмерять интервалы времени с точностью в  $10^{-4}$  секунды. График управления мощностью будет выглядеть так:

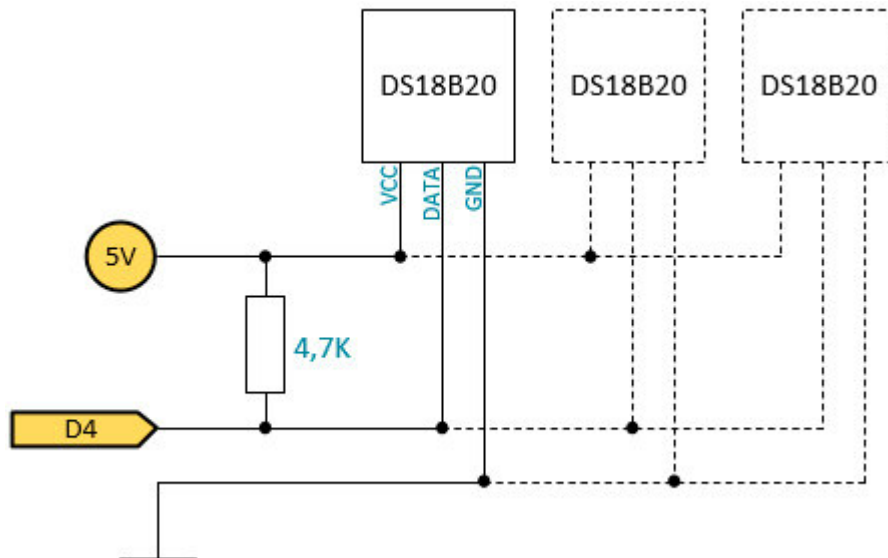


У данного подхода есть еще одно существенное достоинство. Если бы МК занимался только расчетом мощности, то оба метода давали бы примерно одинаковые результаты в точности регулировки. Но, если использовать периферию, например, с шиной I2C, то при работе с такими устройствами, на время обмена по шине I2C, приостанавливаются все прерывания. А значит нет возможности гарантированно отслеживать моменты прохождения синусоиды через 0 и отсчитывать точные временные интервалы. В CLRC-02 еще будет задействован и WiFi-модуль. Для его работы тоже требуется остановка прерываний. В итоге второй метод регулировки мощности оказывается более точным.

Аппаратная часть модуля управления мощностью очень простая. На [MOC3041](#) выполнена оптическая развязка высоковольтной части. Симистор стоит брать с запасом мощности. Например [BTA26600B](#). Он рассчитан на ток до 25А. Т.е. к нему можно смело подключать нагреватели мощностью до 4КВт.



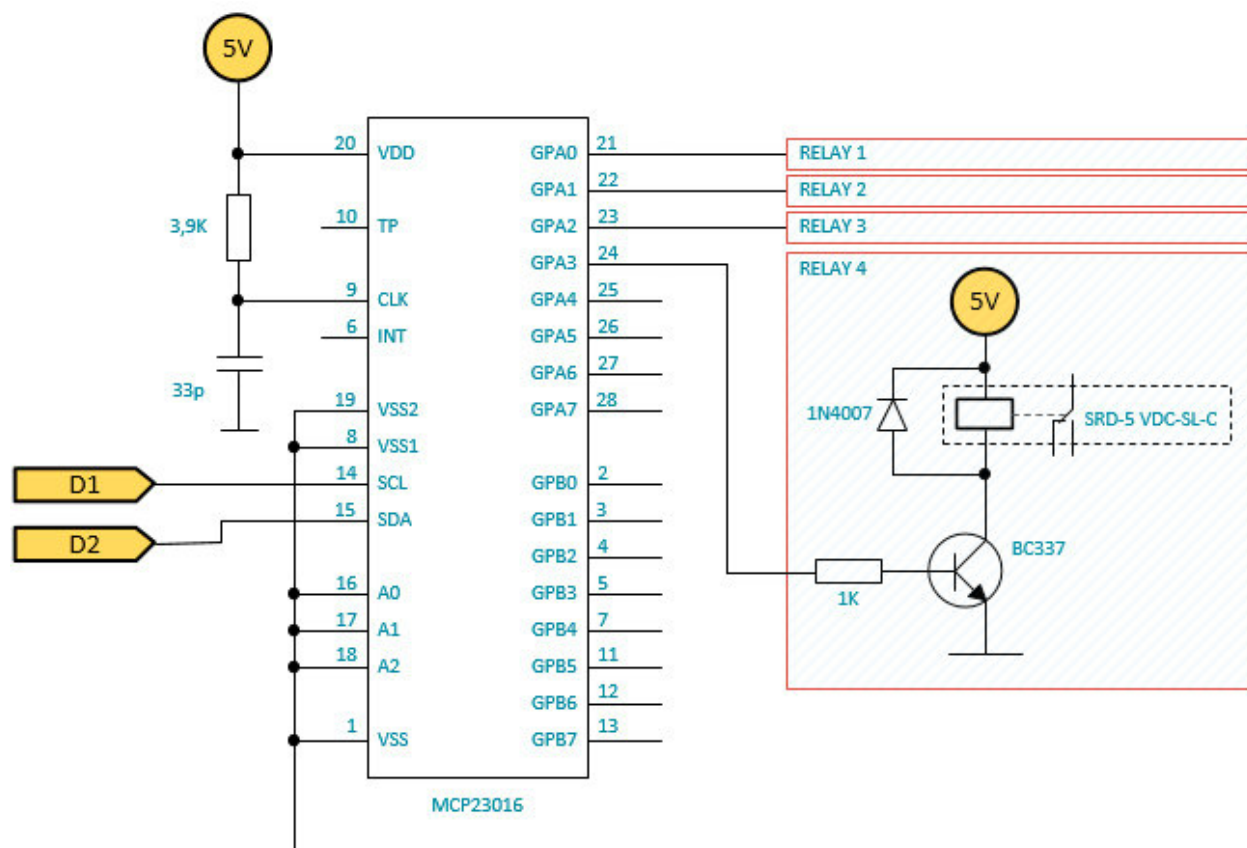
**Sensors** - электронные термодатчики [DS18B20](#). Работают на шине [1-Wire](#), что позволяет использовать для нескольких термодатчиков всего один пин. Обязательна подтяжка сигнального провода на шину питания через резистор номиналом 4,7K. Точность данных термодатчиков по даташиту в интересующем нас интервале температур  $\pm 0,5\%$ . Программными методами фильтрации и усреднения данных эта точность будет существенно увеличена.



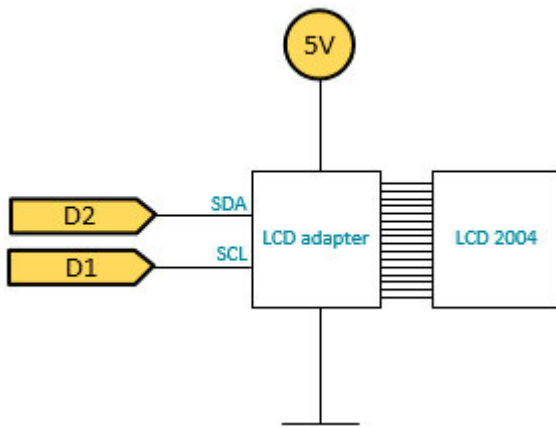
**Relay** - реле для клапанов. Выше уже говорилось, что ESP8266 NODE MCU имеет мало пинов для управления периферией. Чтобы снять это ограничение можно использовать расширитель портов на микросхеме [MCP23016](#). Подключение этой микросхемы к МК производится по той же шине I2C, как и в случае с ADS1115. Одна такая микросхема позволяет добавить 16 портов. В моём варианте CLRC-02 используется 4 реле и большая часть портов расширения не задействовано. В скетче можно изменить количество реле до восьми.

Почему я использую реле? Это универсальный подход. Через них вы можете управлять устройствами с разным напряжением питания. Я категорически не жалую варианты использования на клапанах 220V, хотя через реле их можно подключать и всё будет работать.

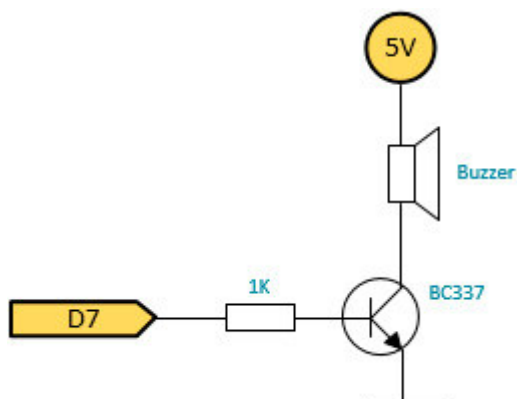
Ниже приведена принципиальная схема подключения MCP23016 и только одного блока управления реле (*RELAY 4*). Остальные блоки реле аналогичны. В случае необходимости увеличить количество реле до восьми, нужно использовать выводы расширителя портов с 25-й по 28-й.



**LCD2004** - текстовый дисплей 20x4. Будет использоваться для отображения информации. Важно: данный дисплей не имеет I2C интерфейса. Для использования I2C нужно использовать специальный адаптер, который подпаивается непосредственно к дисплею (кстати, это обычный расширитель на 8 портов). Стоимость адаптера 0,5 доллара и его можно приобрести вместе с дисплеем. Подключение без каких-либо дополнительных ухищрений.



**Buzzer** - зумер. Будет использоваться для генерации звуковых сигналов при изменениях состояния контроллера и для сигнализации аварий. Зумер нужно брать на 5V. Схема элементарна:



Описание принципиальной схемы закончено. Всё "упаковано" на плате с размерами 100x140мм. На рисунке ниже малиновым фоном выделены детали зумера, желто-коричневым выделены детали модуля реле и бирюзовым выделены детали электронного вольтметра. Без этих модулей контроллер будет нормально работать. Если они не нужны, то можно не монтировать их детали. Для отключения модулей в программной части нужно будет закомментировать соответствующие строки.

