**Хронометр на Ардуино с коррекцией хода с шагом 4 микросекунды.**

Гребенников очень много экспериментировал со временем, точнее с ходом времени.




Наличие часов можно часто наблюдать не его рисунках и фотографиях.



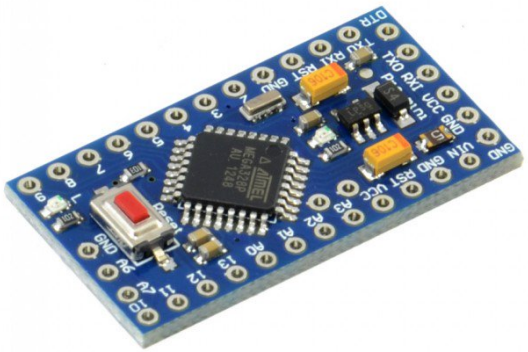

Получается что он чётко понимал, что иногда ЭПС влияет на ход времени.

Поэтому мною был разработан хронометр. Хронометр это в принципе те же часы, только обладающие повышенной точностью.
Почему нужна повышенная точность ?? Да потому, что иногда влияние очень слабое и не всегда можно увидеть разницу. Да и как не спутать разницу с погрешностью.

Для стабильности показаний хронометра нужно:
1. стабильная температура.
2. стабильное напряжение питания.
3. неизменное местоположение !!!

Хронометр решил построить на Arduino Pro Mini (микроконтроллер MEGA328). Для отображения информации выбрал светодиодный индикатор TM1637.



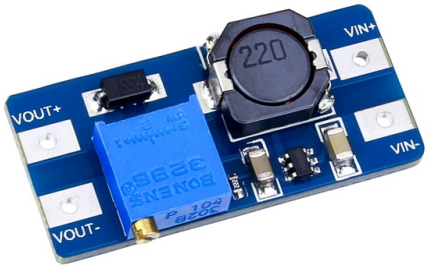



Измерительным элементом является кварцевый резонатор на 16 Mhz, который расположен на плате Ардуино.

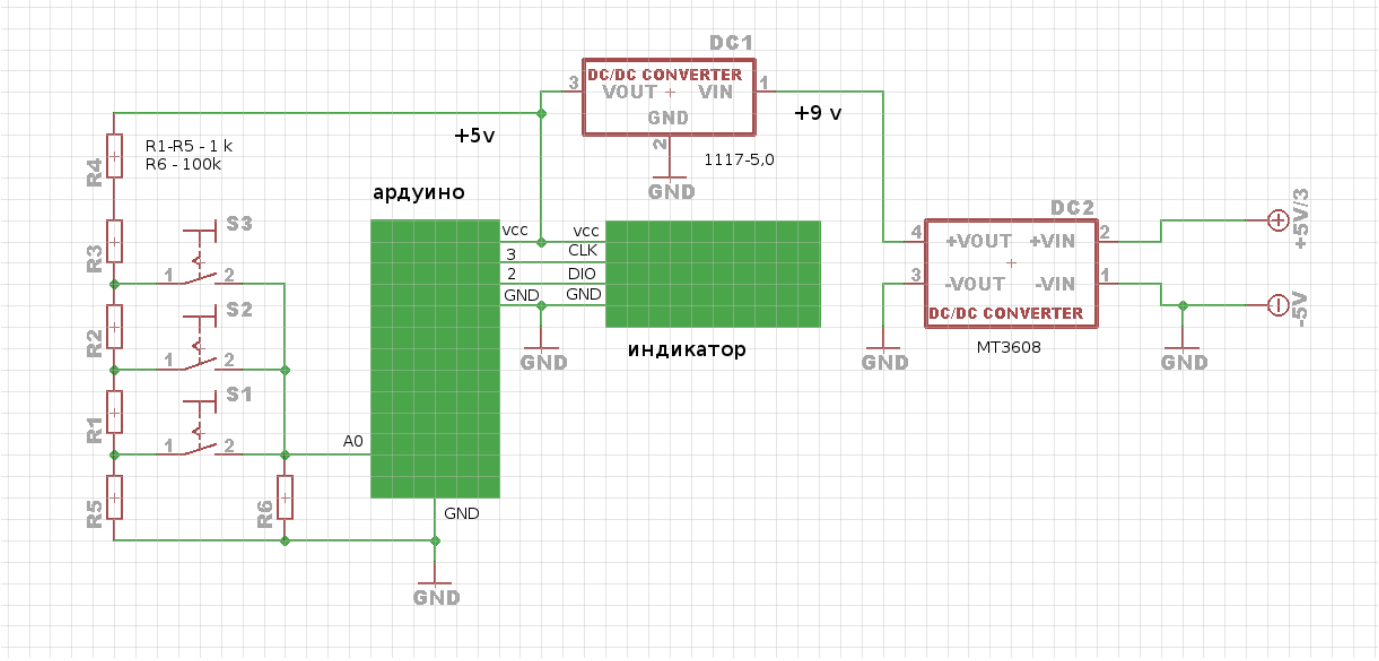
Для высокой точности измерений введена цифровая коррекция хода с шагом 4 микросекунды. Получилась очень хорошая точность хода. При комнатной температуре 24 градуса ± 2 градуса, точность хода составила ± 1 сек в месяц. (с керамическим кварцем) !!!

К блоку питания для хронометра предъявлены высокие требования. Я предполагал что его можно питать от любых источников с напряжением около 5 вольт. Пусть это будут переносные повербанки, или просто зарядные устройства для сотовых телефонов. Но разброс напряжений таких устройств очень большой, поэтому в схему хронометра введён дополнительный преобразователь, который обеспечивает стабильное питание +4.95 вольт при входном напряжении от 3 до 9 вольт.

Преобразователь собран на готовой платке на микросхеме
MT3608 в связке с линейным стабилизатором 1117-5.0.

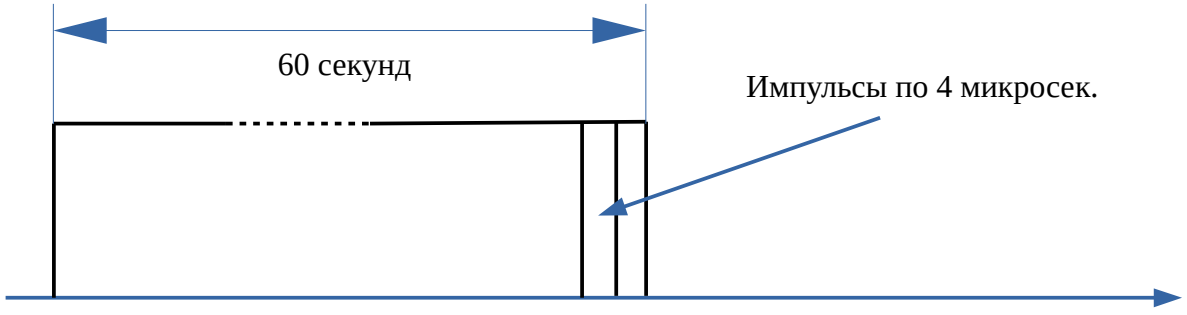


Общая электрическая схема имеет такой вид.



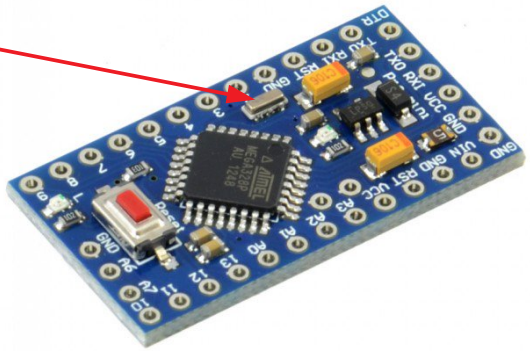

Блок управления собран на резистивных делителях — R1-R5. Это значительно сокращает количество проводов и проще бороться с дребезгом контактов. Как заметили отсутствия кнопки S4 и свободный выход с резистора R4. Этот резистор введён для дальнейшей модернизации хронометра. Но в данной версии хронометра кнопка S4 не понадобиться. Выход с делителя подключен на аналоговый вход A0 микроконтроллера. Связь с индикатором осуществляется по шине (CLK, DIO).
Преобразователь напряжения на микросхеме MT3608 повышает входное напряжение до +9 вольт. При этом оно немного меняется в зависимости от входного напряжения. Но линейный стабилизатор выравнивает выходное напряжение до 4.95 вольт (из практических измерений). Таким образом питающее напряжение может быть от 3 до 9 вольт, без малейших изменений на выходе. Так что для питания хронометра можно использовать практически любой источник — литиевый аккумулятор, повербанк для сотовых телефонов, зарядные устройства на 5-6 вольт и др. Точность показаний от этого не меняется. Правда КПД такого преобразователя не очень...

Главная отличительная особенность хронометра в том, что он имеет программную установку коррекции хода. Которая устанавливается в зависимости от погрешности кварцевого резонатора. Коррекция хода увеличивает или уменьшает временной интервал для минутного импульса. Шаг коррекции составляет всего 4 микросекунды.



Таким образом ход часов можно настроить очень точно.
Теперь насчёт кварцевых резонаторов : у меня Ардуино с керамическим кварцем, но конечно будет намного лучше если вы найдёте вариант с нормальным кварцем. Хотя и этот вариант вполне хорош.

Керамический резонатор



**Теперь переходим к этапу настройки.**

При включении на индикаторе загорается **SEt** и часы переходят в режим установки времени. При этом на дисплее загорается — **12:00**. Кнопками S1 и S2 устанавливаем время, часы потом минуты и нажимаем на кнопку S3. Часы переходят в режим настройки точности хода. При этом на индикаторе высвечивается **Corr** (коррекция). На первый раз оставляем значение «ноль» и нажимаем кнопку S3 повторно, тогда, когда в контрольных часах будет нулевое значение секунд.
Всё часы запущены… В процессе работы активны кнопки — кнопкой S1 и S2 можно уменьшать или увеличивать минуты, кнопкой S3 обнулять значение секунд. Если не удалось точно выставить часы, то попробуйте сделать это ещё раз.

**Теперь о контрольных часах!!**

Для меня было неожиданностью, когда понял что точность хода очень сложно настроить, потому что нет сигналов точного времени.  Время онлайн сильно зависит от скорости интернета, (от времени пинга) и порой даёт разницу в 0.4-0.8 секунд. Это очень большая разница и этот вариант мне не подошёл.
Синхронизация времени сотового телефона с сетью вообще давала суточный разброс ± 1 сек. По такому времени вообще не настроишь. Часы на ресивере «Триколор» отстают на 7-10 секунд. ))) «Точное» время с первого канала даёт разброс ± 3 секунды. Сигналы с радиостанций запаздывают на 2-4 секунды. Время на электросчётчике «Эшелон» отстаёт на 5 секунд и постоянно меняется (вероятно используют свой сервер). Как оказалось в наш век электроники нет точного времени. )))

В нашем случае спасёт только GPS время со спутника. И то оказывается время меняется от высоты орбиты (этот факт скрывают простым людям) и поэтому на каждом спутнике установлено своё «персональное» время. От того с какого спутника возьмётся время, будет величина погрешности. Но этот вариант более подходящий, и мне удалось поймать сигналы точного времени в пределах точности ± 0.2 сек. Это лучший результат, и я остановился на нём.
Для этого на телефон ( на Андроиде ) нужно установить небольшую программку — **GPS Time**. У меня хорошо заработала **версия 0.6.3**. Она не требует рута (супер пользователя) и показывает время со спутников, время на телефоне и разницу. Но всё равно для «вылавливания» точного времени требуется несколько раз закрыть-раскрыть программу.

**Начальная калибровка.**

Конечно все кварцы имеют разбросы.  И поэтому в самом начале требуется установить грубую коррекцию. Это начальная коррекция кварца. В последующим будет ещё и точная коррекция. После того, как точное время установлено оставляем хронометр на 5-10 суток для проверки точности хода.
Например за 5 суток ваш хронометр отстал на 6 секунд.
Получается что суточный уход составляет 6 / 5= 1.2 сек.
Рассчитаем коррекцию:
разделим 1.2 секунды на 24 часа и на 60 минут.  Получим 0,000833333333333 секунд за 1 минуту.
Это 833,333333333 микросекунд. ( 0,000833333333333 * 1000 000).
Но у нас шаг 4, поэтому значение коррекции должно быть кратно 4. Ближайшее значение 832 микросекунды (832 / 4 = 208).
Значит принимаем значение 832 за значение коррекции. Но наш хронометр именно отстал, значит значение коррекции нужно вычесть (чтобы ускорить скорость хода). Получается что коррекция должна быть — 832 ( 832 со знаком минус)….
Залезаем в скетч (открыть текстовым редактором) ищем там строку :

```
void setup()
{

  tm1637.init();                  //Инициализация модуля
  tm1637.set(0);                  //Установка яркости горения сегментов от 0 до 7
  pinMode(A0, INPUT);             // вход для кнопок
  korr = 0;                      // значение коррекции времени
  time = 1200;                     // начальное время равно 12:00
  timsum = 59906060;                 //начальное значение паузы времени

}
void loop()
{
```

Найти это значение

И меняем его с учётом коррекции (59 906 060 — 832 = 59 905 228)
и число 59 905 228 вписываем вместо старого значения.
После нужно в Ардуино залить скетч с новым значением под ваш конкретный кварц и плату.
Всё начальная калибровка готова ))).

**Тонкая калибровка.**

Теперь нужно тонко откалибровать хронометр.
Ну конечно опять включаем и настраиваем точное время по GPS. Коррекцию оставляем с нулевым значением и оставляем работать минимум чем на 10 суток. Тем больше, чем точнее получиться точность.
После этого времени замеряем уход и вычисляем значение коррекции, по той же методике. Но теперь она будет незначительная и это значение можно запомнить, или записать на корпусе хронометра и вводить его каждый раз при включении (после установки времени). Вписывать в скетч его не надо, так как от времени года (от комнатной температуры ) значение будут меняться.

**Что удалось выяснить.**

Первое конечно, что даже со спутников «поймать» точное время довольно сложно.
Второе, что рядом со спящим человеком замедляется время. Примерно 5-10 сек за месяц.
Я раньше читал про это, теперь убедился сам.
Третье, что замеряя время обычными часами — это просто ловить погрешности. )))

Я написал в начале о модернизации хронометра.
Есть возможность сделать два хронометра. Один будет основной, для синхронизации и сравнения, а второй переносной. Так сказать персональный ~~дозиметр~~ хронометр ))).
Его можно взять с собой в аномальную зону побыть там, а потом сравнить показания с основным. Сразу можно увидеть разницу в микросекундах и понять если ли расхождение во времени.
Для этого два хронометра должны очень точно настраиваться, чтобы между ними в нормальных условиях были очень маленькие погрешности. И придётся немного изменить программу работы, чтобы использовать синхронизацию и сравнение значений.

**Дорохов А.П. 2018 г.**