# Разработка структурной схемы

На основе анализа существующих решений и технического задания, была разработана структурная схема устройства, представленная на рисунке 1.

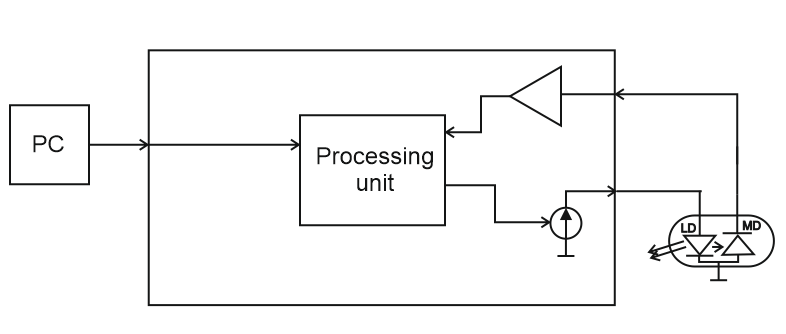


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Структурная схема состоит из: управляемого источника тока, усилителя сигнала с датчика оптической мощности и устройтства управления, которое обеспечивает управление источником тока, анализом сигнала с датчика мощности, приемом команд с персонального компьютера.

# Определение требований к проектируемому устройству.

Устройство питания лазерного диода, должно обеспечивать два режима: стабилизацию выходного тока и стабилизацию выходной мощности.

Пределы выходного тока, были определены на основе вольт-амперной характеристики DFD лазерного диода, на основе InP, представленных на рисунке 2.1, проектируемый источник питания должен обеспечивать стабилизацию тока в диапазоне от 1 до 200 мА и стабилизацию оптической мощности до 15 мВ.

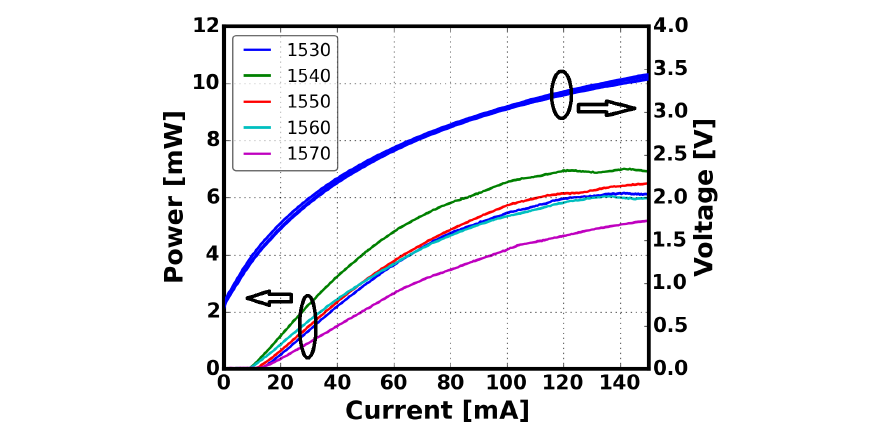


Рисунок 2.1 – Вольт-амперная характеристика лазерного диода

Для проведения экспериментов, требуется обеспечить программное управление с возможностью выбора режима стабилизации, определение уставки по току и по мощности, определение параметров плавного старта диода, мониторинг выходного тока и оптической мощности в реальном времени.

В качестве датчика оптической мощности будет использован PIN-фотодиод, характеристики которого представлены на рисунке 2.2. Чувствительность данного фотодиода составляет 0.8 А/Вт, что при оптической мощности 15 мВт, обеспечит выходной ток 12мА, без дополнительного смещения фотодиода.

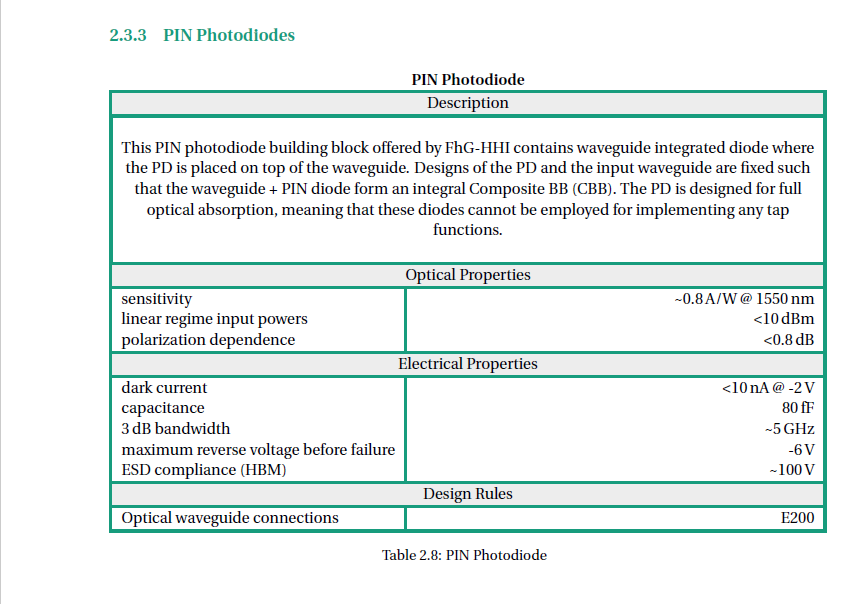


Рисунок 2.2 – Характеристики фотодиода.

Необходимо предусмотреть возможность подключения модулей, объединяющих лазерный и фотодиод в одном корпусе. В таких модулях, чаще всего, анод лазерного диода и катод фотодиода подключаются к общему проводу. Поэтому источник тока необходимо проектировать с учетом того, что нагрузка подключается одним выводом к общему проводу.

Требуемое напряжение питания схемы: 5В.

# Разработка источника питания

Источник питания лазерного диода, можно разбить на следующие устройства: устройство стабилизации тока, включающее в себя источник тока, и схему измерения тока; устройство измерения тока лазерного диода; устройство управления и связи с ПК.

## Разработка схемы стабилизации тока.

На основе требований, представленных в пункте 2, были рассмотрены следующие схемы источников токов.

Источник тока на основе полевого транзистора, схема которого представлена на рисунке 3.1. В качестве элемента регулирования тока, выступает полевой транзистор, на затвор которого подается управляющее напряжение. Измерение выходного тока происходит с шунта R1, и дифференциального усилителя U1. Данная схема имеет ряд недостатков: стабилизация тока в данном режиме, полностью будет происходить на устройстве управления: установка опорного напряжения V\_ref, и отслеживание выходного тока, что будет накладывать определенные требования к быстродействию ЦАП и АЦП устройства управления.

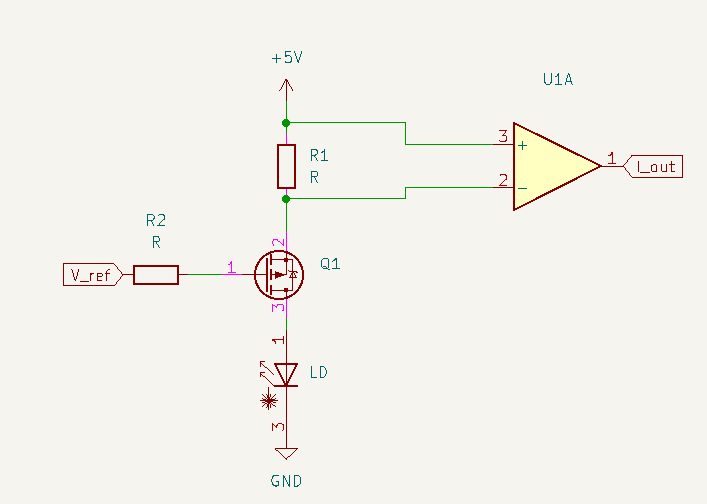


Рисунок 3.1 – Схема стабилизации тока

Следующая рассмотренная схема, представляет собой источник тока на полевом транзисторе, с операционным усилителем, охваченным отрицательной обратной связью. В данной схеме, за стабилизацию тока, отвечает операционный усилитель, а не устройство управление, это позволит упростить разработку программного обеспечения и снизить требования к устройству управления. Выходной ток данного стабилизатор определяется выражением: *I=* (5В – *V\_ref)/R1*

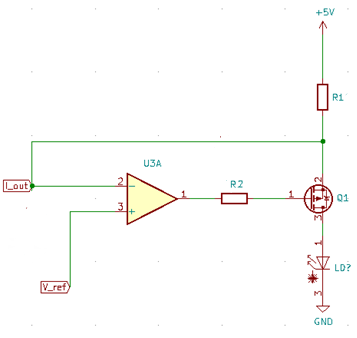


Рисунок 3.2 – Стабилизатор тока с операционным усилителем.

Для реализации данного решения был выбран полевой транзистор IRLML6402, характеристики которого представлены на рисунке 3.3. Данный транзистор имеет низкое сопротивление канала, низкое пороговое напряжение открытия, а также транзистор выполнен в маленьком корпусе SOT-23.

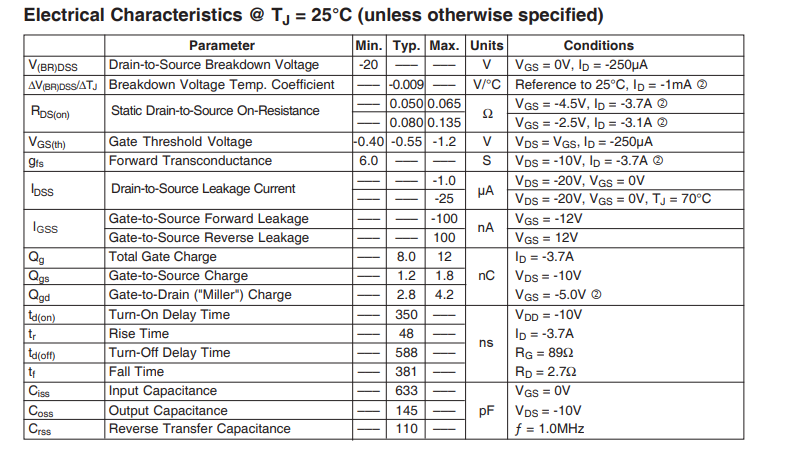


Рисунок 3.3 – Характеристики транзистора IRLML6402

В качестве операционного усилителя была выбрана микросхема MCP6002, характеристики которого представлены на рисунке 3.4.

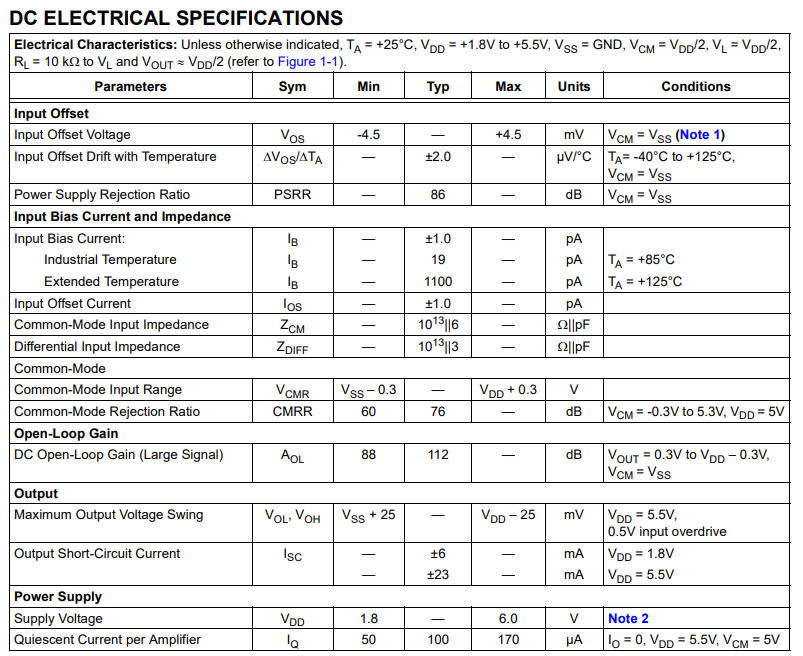
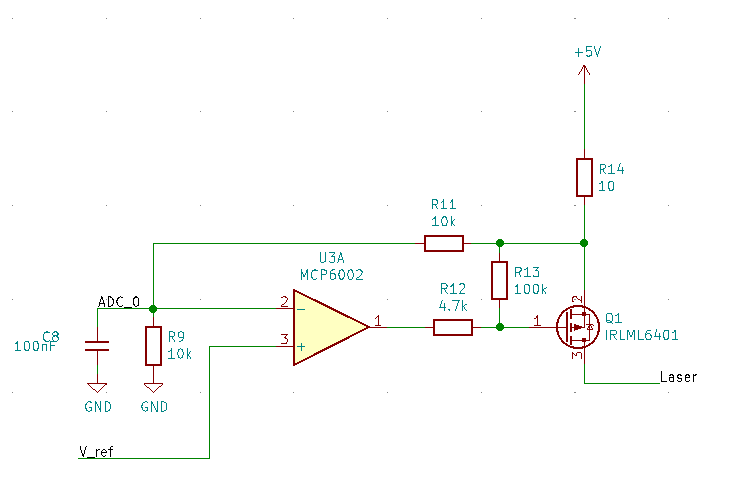


Рисунок 3.4 – Характеристики операционного усилителя MCP6002

Данный операционный усилитель может работать от однополярного источника питания, с напряжением от 1.8В до 6В. Выходы Rali-to-Rail, что обозначает, что напряжение на выходе может достигать напряжение питания. Итоговая схема стабилизатора тока представлена на рисунке 3.5.

  
Рисунок 3.5 – Схема стабилизатора тока

В данную схему был добавлен делитель напряжения, состоящий из резисторов R11 и R9. Выходной ток данной схемы определяется выражением *I=* (5В – 2*V\_ref)/R14.* Напряжение, для оцифровки текущего значения тока, будет измеряться с инвертирующего входа операционного усилителя, и определятся выражением *UADC=(5В-R14‧I)/2.*

## Разработка схемы измерения тока фотодиода.

Для измерения тока фотодиода, необходимо реализовать трансимпедансный усилитель. Данная схема преобразует малый входной ток, в выходное напряжение, которое в дальнейшем можно оцифровать при помощи АЦП. Схема трансимпедансного усилителя, приведена на рисунке 3.6.

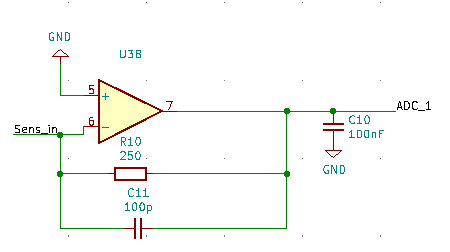


Рисунок 3.6 – Схема трансимпедансного усилителя

Схема, изображенная на рисунке 3.6, представляет собой преобразователь тока в напряжение, и обладает низким выходным сопротивлением. Выходное напряжение определяется выражением: *Uout=-Iphoto‧R10.* Таким образом, при максимальном значении тока в 12мА, выходное напряжение данного каскада составляет 3В.

## Разработка схемы управления.

В качестве основного управляющего узла будет выступать микроконтроллер, который должен выполнять следующие функции:

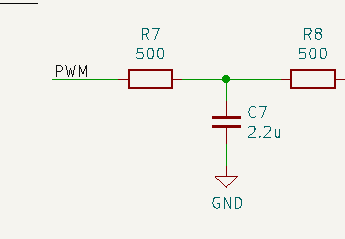
* задание опорного напряжения для источника тока
* измерение выходного тока
* измерение тока фотодиода
* стабилизация оптической мощности, на основе тока фотодиода
* связь с ПК для настройки и мониторинга выходных параметров.

К микроконтроллеру выдвигаются следующие требования:

* наличие аппаратных интерфейсов UART и I2C для связи с ПК
* наличие встроенного АЦП, для оцифровки напряжений
* возможность использовать свободно-распространяемые средства разработки и отладки, для задания опорного напряжение может быть использован или ШИМ. ЦАП

В качестве микроконтроллера был выбран STM32F030F4P6, в корпусе TSSOP20, представленного на рисунке 3.7. Данный микроконтроллер обладает интерфейсами UART, I2C, встроенным 12 разрядным многоканальным АЦП, несколькими аппаратными 32х разрядными таймерами, для генерации ШИМ.

Для реализации управляющего напряжения, был использован RC фильтра, который сглаживал пульсации ШИМ, переводя его скважность в постоянное напряжение.



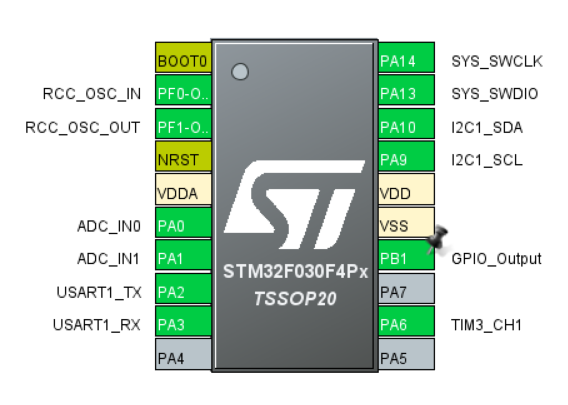


Рисунок 3.7 – Микроконтроллер STM32F030F4P.

## Разработка общей схемы

Общая схема, представленая на рисунке 3.8, включает в себя:

* трансимпедансный усилитель
* стабилизатор тока
* стабилизатор напряжения питания, для питания микроконтроллера
* микроконтроллер
* разъем для программирования и отладки
* выходы UART, I2C и разъем подключения лазерного модуля.

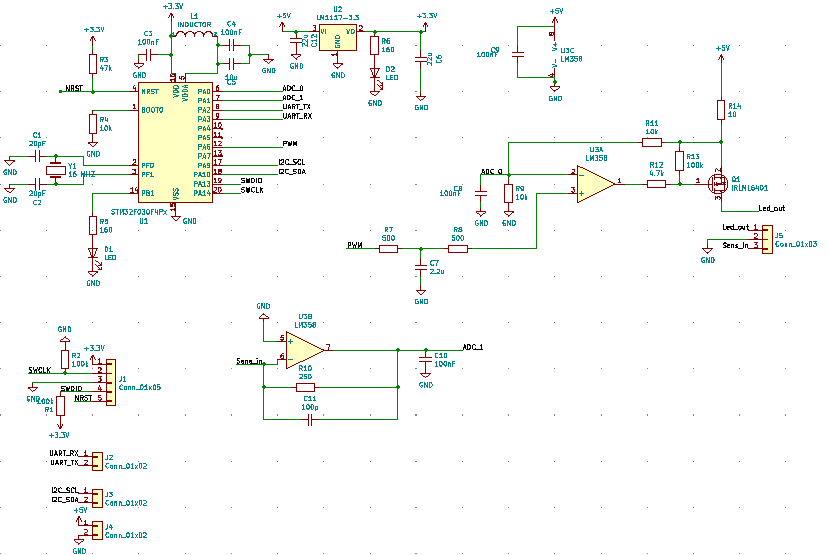


Рисунок 3.8 – Общая схема устройства

# Трассировка печатной платы

Для сборки и тестирования устройства, была разработана однослойная печатная плата, представленная на рисунке 4.1

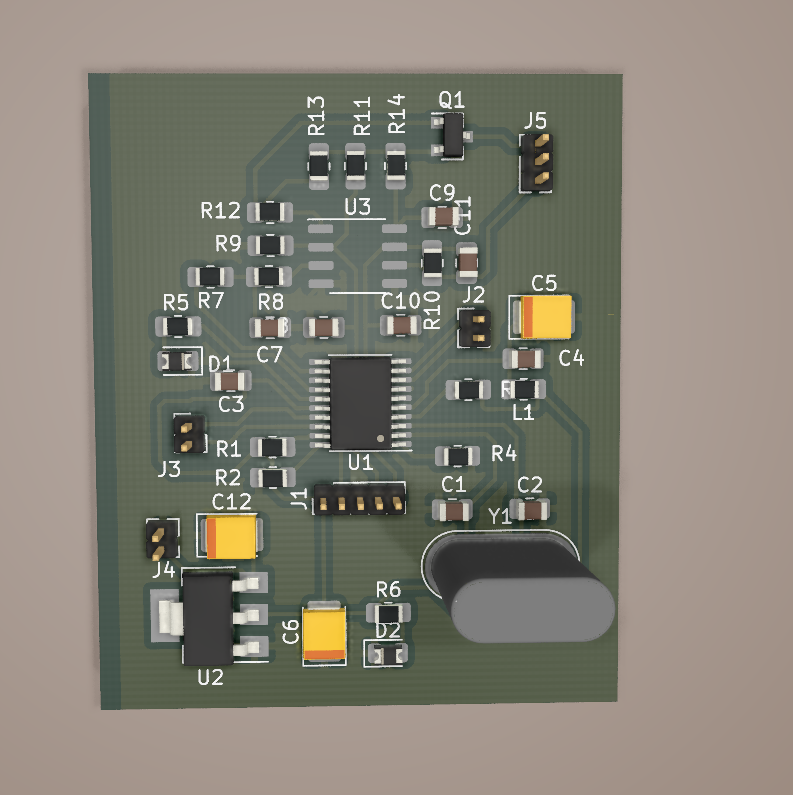


Рисунок 4.1 – Печатная плата устройства

Размеры устройства составляют: длина 45мм., ширина 35мм. Для уменьшения размеров можно разработать многослойную печатную плату, что уменьшит размеры, но сделает невозможным изготовление без применения специализированного оборудования.

# Тестирование устройства

В процессе тестирования устройства были обнаружены следующие недостатки схемотехнических решений.

При включении питания, полевой транзистор был открыт, и в нагрузку отдавался максимальный ток, так как управляющее напряжение не успевало принять требуемое значение, и операционный усилитель не закрывал транзистор.



Рисунок \* - Осциллограмма процесса включения, зеленый – управляющее напряжение, фиолетовый – напряжение на нагрузке

Для решения данной проблемы в схему был добавлен полевой транзистор, затвор которого был подключен к микроконтроллеру, и подтянут к питанию, таким образом, в момент подачи питания, полевой транзистор был закрыт, а момент открытие транзистора может быть настроен в ПО микроконтроллера. Для минимизации потерь, был выбран транзистор с низким сопротивлением открытого канала. Модифицированная схема источника тока представлена на рисунке .

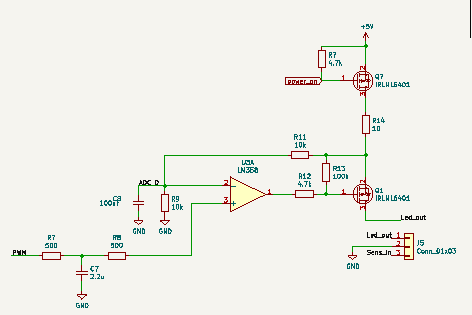


Рисунок \* -

В результате модификации схемы, открытие выхода происходит только черещ 100мс после подачи питания, результат представлен на рисунке



Рисунок \* - Осциллограмма процесса включения, зеленый – напряжение питания, фиолетовый – напряжение на нагрузке

Следующая проблема – высокий уровень пульсаций напряжения на нагрузке, который был вызван пульсациями управляющего напряжения источника тока, уровень пульсация составлял 300мВ на нагрузке 25Ом, осцилограмма которых представлена на рисунке \*. В схему был добавлен конденсатор, на вход операционного усилителя, модифицированная схема представлена на рисунке \*. После добавления конденсатора, уровень пульсация составил 3мВ на нагрузке 25Ом, осцилограмма представлена на рисунке \*.



Рисунок \*

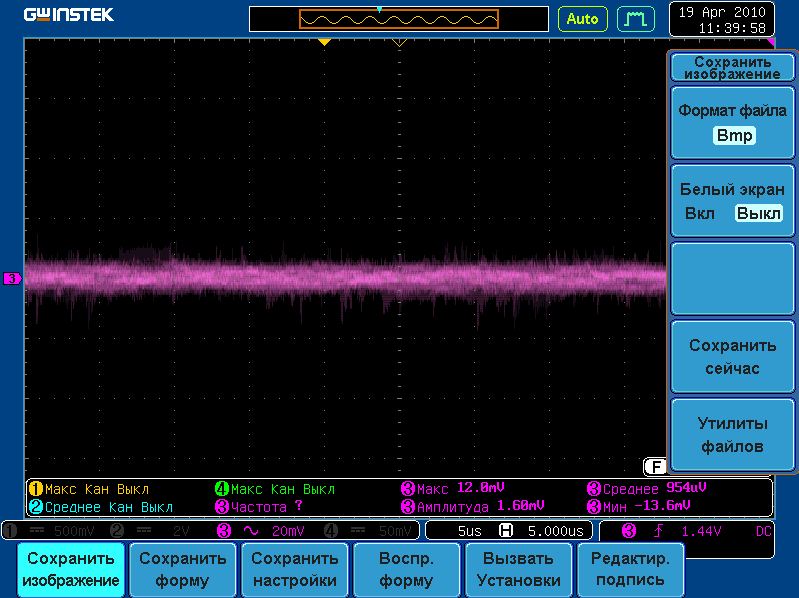


Рисунок \*

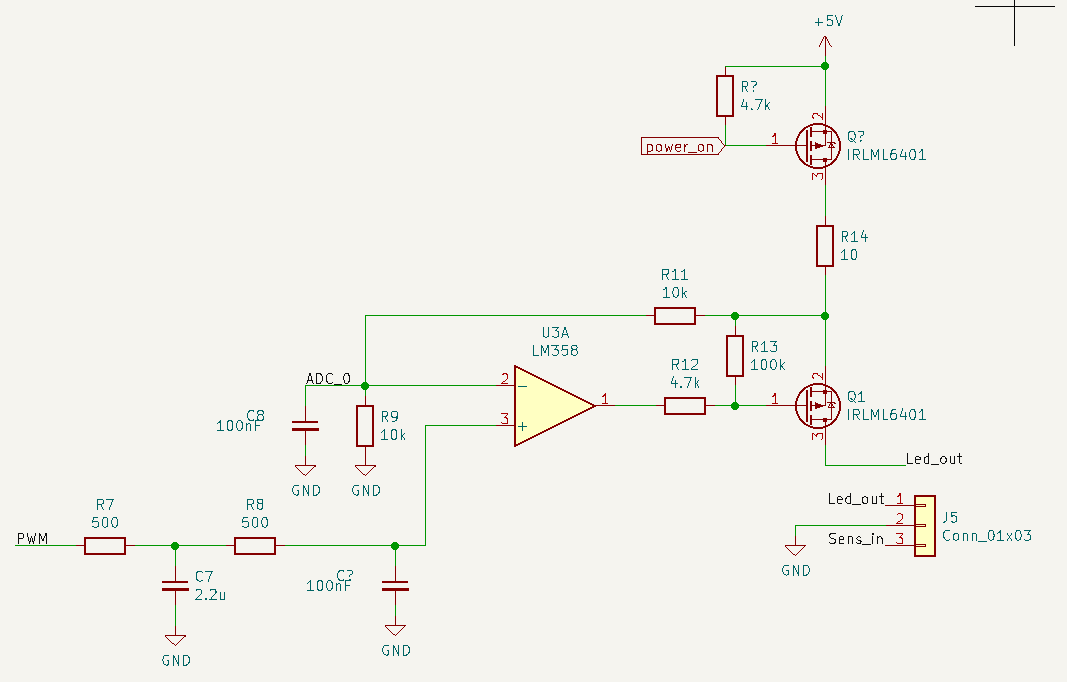


Рисунок \*

В таблице представлено результаты тестирования устройства, при различных значениях уставки на ток. Исследование проводилось на нагрузке 25Ом.

