

УДК 004.725.2

***ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС РЕАЛИЗУЮЩИЙ NTP-
СЕРВЕР ВЕРХНЕГО ПОРЯДКА***

Бережной А.Р.

студент,

*Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) ДГТУ в
г. Шахты,
Шахты, Россия*

Маков С.В.

к.т.н., доцент,

*Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) ДГТУ в
г. Шахты,
Шахты, Россия*

Аннотация

В данной работе кратко обсуждается необходимость использования устройств синхронизации времени в локальных вычислительных сетях или сетях с ограниченным доступом к интернету. Описывается работа протокола NTP для передачи точного времени и его упрощенной версии SNTP для менее требовательных сетей. Обсуждаются различные методы получения точных данных о времени, существующие на данный момент. В статье представлена необходимость создания описанного в ней устройства, объяснены основные составляющие и преимущества выбранных элементов. Также рассказывается о модулях программного кода, составляющих устройство, и приводится сравнение его работы с удаленным NTP-сервером. Предлагаемый подход в данной работе позволяет получить NTP-сервер с характеристиками точности, сравнимыми с публичными серверами, но без необходимости подключения к интернету.

Ключевые слова: GPS, NTP-сервер, синхронизация, время, локальная сеть.

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX THAT IMPLEMENTS A TOP-LEVEL NTP SERVER

Berezhnoy A.R.

student,

Institute of Service and Entrepreneurship (branch) DSTU in Shakhty,

Shakhty, Russia

Makov S.V.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Institute of Service and Entrepreneurship (branch) DSTU in Shakhty,

Shakhty, Russia

Summary

This paper briefly discusses the need to use time synchronization devices in local area networks or networks with limited Internet access. Describes the operation of the NNTP protocol for transmitting accurate time and its simplified version of SNTP for less demanding networks. Various methods of obtaining accurate time data that currently exist are discussed. The article presents the need to create the device described in it, explains the main components and advantages of the selected elements. It also tells about the modules of the program code that make up the device, and compares its operation with a remote NTP server. The proposed approach in this paper makes it possible to obtain an NTP server with accuracy characteristics comparable to public servers, but without the need for an Internet connection.

Keywords: GPS, NTP server, synchronization, time, local network

Введение

В настоящее время существует растущая потребность в устройствах синхронизации времени в вычислительных сетях. В даже небольших сетях становится все более важным иметь службы, которые зависят от точного времени, такие как службы в операционных системах или протокол

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

аутентификации Kerberos. Для некоторых систем требуется, чтобы системное время на компьютерах отличалось не более, чем на 5 минут. Системы автоматизированного учета, измерения, контроля и управления, атомные электростанции, гидроэлектростанции, узлы распределения и системы управления, операторы связи и интернет-провайдеры, аэропорты, железнодорожные станции и автовокзалы - все они нуждаются в точной синхронизации времени. Также растет число систем видеонаблюдения с архивами видеозаписей, что приводит к необходимости синхронизации устройств в этих системах. В настоящее время для синхронизации используются открытые NTP-серверы, но это решение не всегда применимо из соображений безопасности. Поэтому актуальной задачей является разработка устройства, которое будет получать текущие данные времени и синхронизировать устройства внутри локальной вычислительной сети.

Широко используемый протокол Network Time Protocol (NTP)[1] предназначен для получения точных данных о текущем времени и синхронизации времени в сетях с переменной латентностью и пакетной коммутацией данных. Он обладает высокой устойчивостью к изменениям латентности передачи данных, и представляет время в виде 64-битного числа, состоящего из 32-битного счетчика секунд и 32-битного счетчика долей секунды. Благодаря этому время может передаваться в диапазоне 2^{32} секунд с теоретической точностью 2^{32} секунды. Однако следует учитывать, что время в NTP отсчитывается с полуночи 1 января 1900 года, а не с 1970 года, как это делается в Windows или Unix-системах. Для того, чтобы добиться корректной совместимости времени с Windows или Unix-системами, необходимо вычесть около 70 лет, учитывая високосные годы. Кроме того, шкала времени в NTP повторяется каждые 232 секунды, что соответствует примерно 136 годам. Следовательно, для того чтобы получить точные данные о текущем времени, приемник должен хотя бы приблизительно знать текущее время с точностью по меньшей мере 68 лет. Кроме протокола NTP, существует упрощенная версия

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

под названием Simple Network Time Protocol (SNTP) [2], которая также используется для сетей, не требующих высокой точности времени. Отличие между ними заключается в отсутствии в SNTP сложных систем фильтрации и исправления ошибок, присутствующих в NTP.

Система NTP-серверов работает по иерархическому принципу, где каждый уровень представляет собой ярус (stratum). Наиболее точный нулевой ярус состоит из эталонных часов, получающих сигналы от GPS[3] или службы ACTS. На этом ярусе нет работающих NTP-серверов. Серверы на первом ярусе получают данные времени от эталонных часов, а серверы на втором ярусе синхронизируются с серверами первого яруса. Очередной повышение яруса приводит к увеличению погрешности относительно первичного сервера, но их общее число возрастает, что разгружает сервера. Вместо использования первичных серверов, обладающих наиболее точным временем, на практике используются серверы более низких ярусов, что позволяет уменьшить загрузку. Всего в системе может быть до 15 ярусов.

Цели и задачи исследования

Существует несколько способов решения проблем синхронизации времени, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Одной из возможностей синхронизировать время самостоятельно является использование общедоступных серверов NTP. В интернете существует множество общедоступных NTP-серверов, к которым можно подключиться для синхронизации времени. Например, можно использовать серверы от NIST (National Institute of Standards and Technology) или серверы от "NTP Pool project".

Для того чтобы синхронизировать время с помощью общедоступного сервера, необходимо сконфигурировать свое устройство для подключения к выбранному серверу. В большинстве случаев это делается путем указания IP-адреса или доменного имени сервера в настройках времени операционной системы или сетевого устройства. После этого устройство будет

периодически обновлять время, используя выбранный сервер [7].

Синхронизация времени с общедоступными серверами NTP имеет ряд преимуществ. Во-первых, это бесплатно и достаточно просто настроить. Во-вторых, общедоступные серверы обычно имеют высокую точность и надежность, что позволяет синхронизировать время с высокой степенью точности. Однако, следует иметь в виду, что общедоступные серверы могут быть перегружены или недоступны в случае сетевых проблем, поэтому иногда может потребоваться настройка нескольких серверов для обеспечения надежной синхронизации времени. Если требуется высочайшая точность синхронизации времени, то подобное решение может не подойти [5].

Для транспортной отрасли, систем видеонаблюдения и систем контроля доступа не подойдут вышеуказанные решения из соображений безопасности, и им необходим NTP-сервер, который может работать в локальной сети и не требует подключения к интернету. В таком случае, может быть приобретен собственный сервер первого яруса, который получает время непосредственно по GPS и может работать локально. Однако существующие на рынке варианты представляют собой промышленные устройства, предназначенные для обработки большого количества запросов и подключенных устройств, и требуют оборудованной серверной. Цены на такие устройства являются значительными. Например, УКУС-ПИ 02ДМ стоит 100000 рублей, Wharton 5200.EU – 227000 рублей, СТВ-01М [4] – 300000 рублей. Однако для многих небольших организаций, которые хотят синхронизировать камеры видеонаблюдения или систему контроля доступа, весь функционал этих устройств не требуется, так что высокая цена является значительным недостатком.

Основная часть

Было проведено исследование эксплуатационных и точностных характеристик модулей приема спутникового сигнала GPS/GLONASS. В

ходе проведённого исследования были выбраны наиболее оптимальные решения. При этом существует возможность работы при использовании другого модуля приема спутникового сигнала GPS/GLONASS, что делает разрабатываемое устройство устойчивым при изменении ситуации на рынке GPS/GLONASS модулей [6].

Технические характеристики различных GPS/GLONASS модулей представлены в таблице 1. В данной работе проводится анализ различных популярных чипсетов. Так как именно при рассмотрении чипсетов мы получаем интересующие характеристики, интересующие нас при проведении данного исследования.

Таблица 1 - Основные технические характеристики тестируемых модулей

Название Модуля	Чипсет	Потребление, мА	Чувствительность при холодном старте, дБм	Чувствительность в рабочем режиме, дБм	Время старта (холодный/теплый/горячий)	Число каналов
Locosys AC-1513	Atmel ANTARIS 4	39	-141	-158	42/30/4	16
Locosys UC-1513	ATHEROS	46	-142	-154	38/30/2	20
Locosys SC-1513	SiRFstarIII	40	-144	-159	38/15/2	20
Locosys MC-1513-96	MediaTek	45	-148	-165	36/33/1	22/66
u-blox LEA-6M	u-blox 6	40	-146	-160	32/32/1	18/50

Рассмотрим основные параметры модулей приема сигналов GPS/GLONASS. По номинальному энергопотреблению хорошие результаты показывают модули от Atmel, u-blox и SiRFstarIII так как обладают самым низким энергопотреблением из рассматриваемых модулей, что является важным так как питание ограничено стандартами технологии PoE. Чувствительность модуля по этому признаку лучшими показателями обладают модули MediaTek и u-blox, для сравнения использовалась чувствительность при холодном старте и в рабочем режиме.

Время старта - один из самых важных параметров, поскольку это

влияет на скорость синхронизации часов для нашего NTP-сервера. Лучшие показатели по времени старта показал модуль от фирмы u-blox, он имеет наименьшее время как холодного старта (после длительного отключения питания), так и время теплого (отключение модуля на 4-6 часов), и время горячего старта что является наиболее важным при кратковременных потерях соединения. Также стоит отметить, что данный модуль поддерживает A-GNSS, что сокращает время поиска спутников.

Количество каналов напрямую определяет скорость получения данных модулем и также точность получаемых данных. Один канал обрабатывает сигнал с одного из спутников, соответственно большое их количество улучшает точность получаемых данных, что особенно актуально в городской среде, где из-за плотного расположения домов появляется риск принимать отраженные сигналы. По этому показателю выгодно отличаются чипсеты MediaTek и u-blox 6, так как по мимо общего числа каналов (второе число в таблице 1), у их также есть число каналов, по которым ведется расчет координат (первое число таблица 1). Каналы, не вошедшие в число тех по которым рассчитываются координаты используются для выявления отраженных сигналов, что повышает точность.

В ходе проведенного анализа модулей приема спутникового сигнала был выбран модуль NEO-M8N от фирмы UBLOX. Модуль способен к одновременной работе в диапазонах GPS и GLONASS, время холодного и горячего старта 26 секунд и 1 секунда соответственно. Модуль обладает сравнительно низким энергопотреблением 75 мВт, поддерживает A-GNSS, что позволяет ускорить процесс подключения к спутникам, 72 канальный u-blox M8 engine.

Рассмотрим преимущества и недостатки различных популярных микроконтроллеров для реализации стека протоколов IP.

ESP8266 - это недорогой Wi-Fi микроконтроллер, основанный на ядре Tensilica LX106. Он поддерживает протоколы TCP/IP и сетевые интерфейсы

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

Wi-Fi. Особенностью ESP8266 является возможность использования его как Wi-Fi точки доступа, клиента или режима моста. Недостатком является малое количество встроенных библиотек, а также малое количество литературы, и обладает частотой процессора 80МГц.

STM32 - это линейка микроконтроллеров, основанных на ядре ARM Cortex-M. Они имеют множество периферийных устройств, таких как USB, Ethernet, и поддерживают протоколы TCP/IP. STM32 также поддерживает работу с различными стеками протоколов. Имеется большое количество различных программных библиотек, таких, как например LWIP (Lightweight IP), которая является открытым программным обеспечением и поддерживает различные протоколы, и литературы, поддержка различных интерфейсов, таких как SPI, I2C, UART, USART, кроме того, поддержка операционной системы FreeRTOS и различных библиотек позволяет более эффективно управлять ресурсами микроконтроллера

Arduino Uno - это недорогой микроконтроллер, работающий на основе ATmega328P. Он имеет ограниченные периферийные устройства, но может быть расширен при помощи щитов (штекерных плат). Arduino Uno поддерживает протоколы TCP/IP через Ethernet Shield, который подключается к платформе. Однако недостатком является малое количество библиотек, и малый объем памяти.

Raspberry Pi - это одноплатный компьютер с процессором ARM и операционной системой Linux. Он имеет Ethernet интерфейс и поддерживает протоколы TCP/IP. Raspberry Pi может использоваться для создания серверов и приложений, работающих в сети. В сравнении с приведенными аналогами он обладает более высокой стоимостью и большим энергопотреблением.

Для реализации проекта был выбран микроконтроллер STM32F407VGT6, данный микроконтроллер имеет все необходимые возможности для реализации сложных стеков протоколов IP. Кроме того, этот микроконтроллер также имеет хорошо развитую экосистему разработки, Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

включая многочисленные библиотеки, средства отладки и другие инструменты, которые могут значительно упростить разработку. Также данный микроконтроллер имеет высокую производительность - частота ядра 168 МГц позволяет обеспечить быструю обработку данных. Большой встроенной памяти - 1 Мбайт Flash-памяти и 128 Кбайт оперативной памяти. Данный микроконтроллер имеет встроенные модули USART, SPI, I2C, USB и Ethernet. Низкое энергопотребление - встроенный контроллер питания обеспечивает минимальное энергопотребление в режиме глубокого сна.

Питание разрабатываемого устройства будет реализовано по технологии PoE (power over ethernet). По этой причине именно исходя из стабильности работы PoE, будет определяться влияние на работу модуля GPS/GLONASS, в дальнейшем будет рассматриваться именно работу PoE.

Существует два основных официальных стандарта IEEE 802.3af и IEEE 802.3at, однако существуют так называемые «частные» стандарты, которые внедряют на своем производстве различные производители, из таких стандартов, наиболее известен Passive PoE. Питание по витой паре согласно стандартам 802.3af, 802.3at принято называть активным PoE, питание, реализованное с использованием Passive PoE принято называть пассивным. Характеристики стандартов PoE представлены в таблице 2.

Таблица 2 – характеристики стандартов PoE

Характеристика	Стандарт 802.3af	Стандарт 802.3at (PoE+, PoE plus)
Диапазон напряжения постоянного тока на питаемом устройстве	от 36 до 57 V (номинальное 48V)	от 42,5 до 57 V
Диапазон напряжения, выдаваемого источником	от 44 до 57 V	от 50 до 57 V
Максимальная мощность PoE-источника	15,4 Вт	30 Вт
Максимальная мощность, получаемая PoE-потребителем	12,95 Вт	25,50 Вт
Максимальный ток	350 mA	600 mA
Максимальное сопротивление кабеля	20 Ом (для cat.3)	12,5 Ом (для cat.5)
Классы питания	0-3	0-4

Passive PoE представляет собой более дешевый аналог описанных

выше двух международных стандартов. Так как реализация 802.3af/802.3at является сложным процессом, повышающим стоимость устройства. Особенность пассивного питания по витой паре заключается в том, что источник питания по технологии PoE (в данном случае Passive PoE) не согласует мощность и не опрашивает питаемое устройство, что может вызвать перегрев оборудования при несогласованных мощностях.

При работе с модулями приема спутникового сигнала GPS/GLONASS неустойчивость напряжения на входе модуля может привести к ошибкам в сборе и обработке данных, поэтому стабильное и качественное питание является необходимым условием для нормальной работы модуля.

Длина кабеля при использовании Power over Ethernet (PoE) может влиять на стабильность его работы. PoE использует Ethernet-кабель для передачи, как данных, так и электропитания на удаленные устройства. На больших расстояниях сигналы могут слишком ослабляться, что может приводить к ошибкам передачи и неполадкам в работе PoE. Например, это может вызвать потери напряжения - сигналы и питание могут ослабляться по мере увеличения длины кабеля, превышающей норму. Окончательный результат - пониженное напряжение на устройстве клиента, что может привести к сбоям в работе, увеличение шумов - при большой длине кабеля уровень шумов может также увеличиваться, что может привести к ошибкам в передаче данных и сбоям в работе сети, ухудшение качества сигнала - длинный Ethernet-кабель может вызывать деградацию сигнала, что проявляется в ошибке передачи и неполадках в работе.

Согласно указанным выше международным стандартам максимальная длина кабеля при использовании технологии PoE равна 100 метрам, однако при практическом применении технологии PoE максимальная длина может быть уменьшена из-за различных факторов, таких как перегибы кабеля, сечение проводников, что может вызывать потери мощности и нестабильную работу.

В результате было принято решение использовать стандарт PoE 802.3at(PoE+). Этот стандарт способен обеспечить не более 30 Вт на порт, а устройства с PoE — не больше 15,4 Вт на порт. Однако, при передаче некоторая часть мощности всегда теряется. В следствие чего при использовании данного стандарта удастся увеличить длину кабеля.

Была разработана принципиальная электронная схема программно-аппаратного комплекса, реализующего NTP-сервер верхнего уровня. Разрабатываемый медиа-конвертор представляет собой устройство в виде печатной платы, с установленными электронными компонентами.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема формирования напряжения питания. Схема основана на микросхеме TSP2378

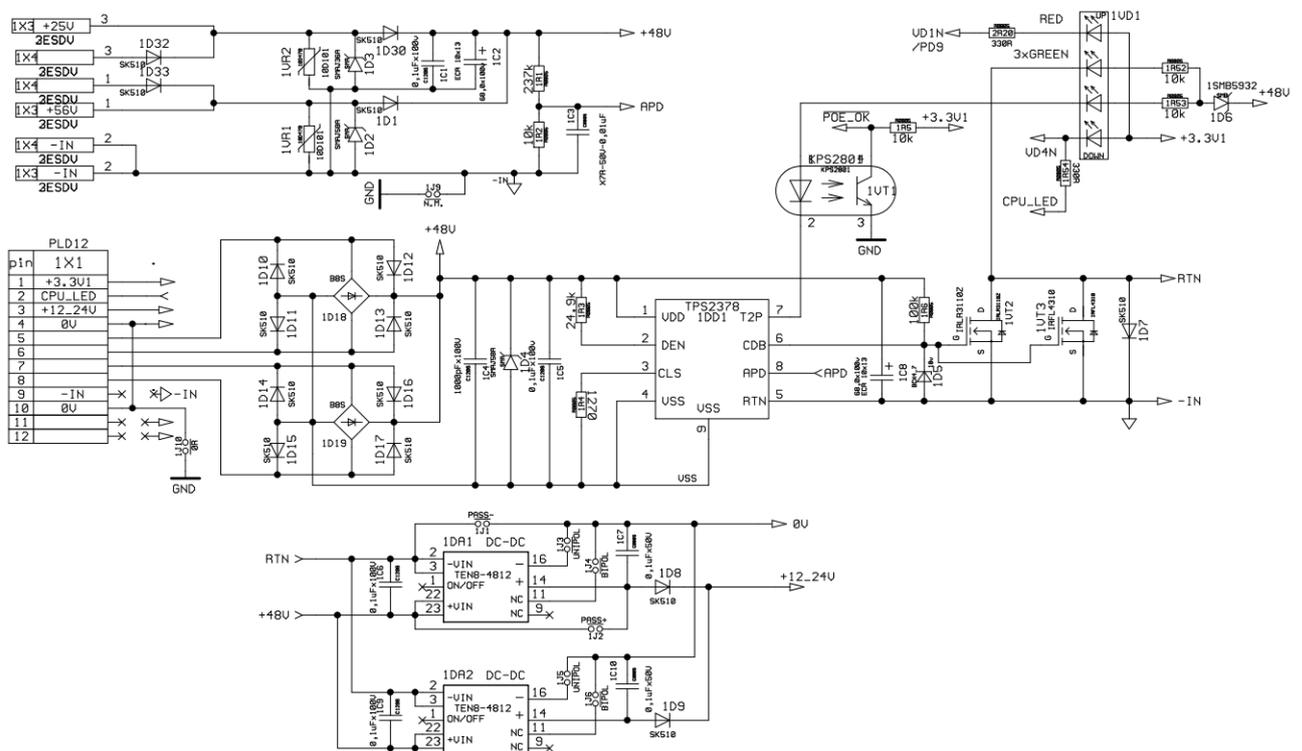


Рисунок 1 – Схема формирования напряжение питания (авторская разработка)

Первый пин микросхемы TSP2378 VDD соединение с положительным выходом шины питания PoE, параллельно подключенным конденсатором 0,1

формируется напряжение 3,3 В. Преобразователь 1DD2 также формирует 3.3 В, преобразователь 1DD3 формирует на выходе 1,9 В. Преобразователь 1DD4 формирует 3,3 В и также 1,2 В.

На рисунке 3 представлена схема центрального процессора, микроконтроллера STM32F407VTG.

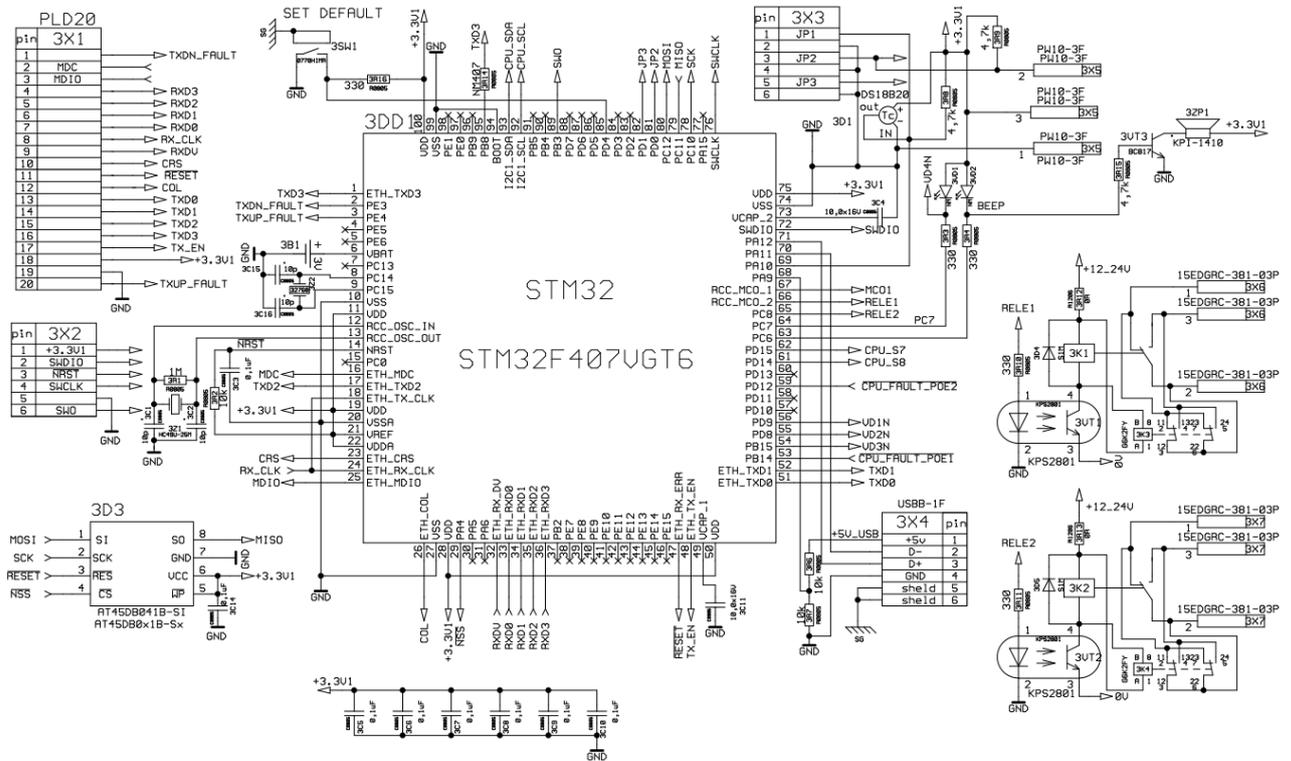


Рисунок 3 – Принципиальная схема ЦПУ (авторская разработка)

К микроконтроллеру STM32F407VTG подключены Ethernet, последовательный порт для подключения модуля приема спутникового сигнала GPS/GLONASS, отладочные светодиоды, питание, USB для прошивки микроконтроллера и подключения устройства к компьютеру, пины для подключения программатора.

На рисунке 4 изображена схема подключения к микросхеме коммутатора.

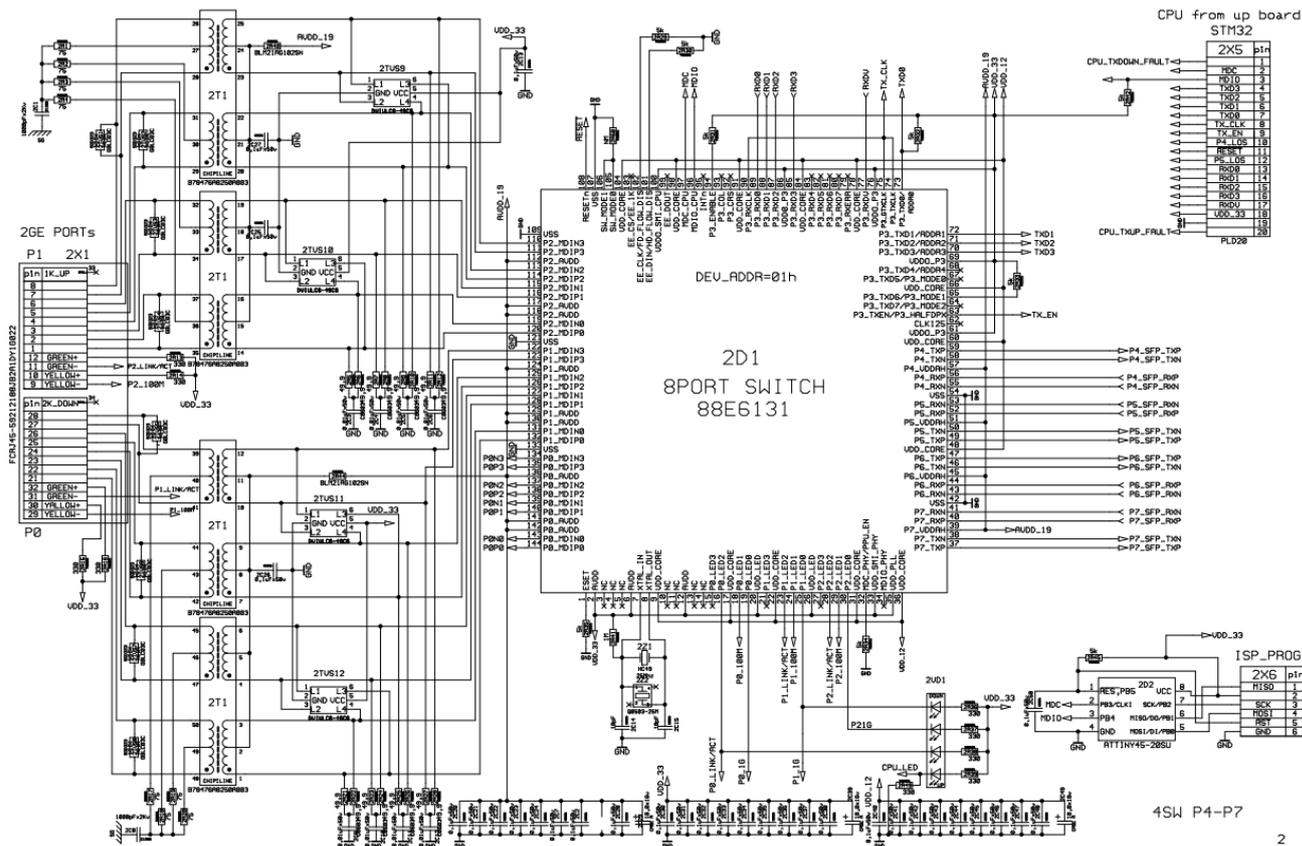


Рисунок 4 - Схема подключения к микросхеме коммутатора (авторская разработка)

К ЦПУ (центральное процессорное устройство), подключается четырех портовый коммутатор, что позволяет подключать несколько устройств одновременно. Что позволяет на основе подключенных к нашему устройству коммутаторов создавать Stratum 2 NTP-серверы.

На рисунке 5 представлена верхняя часть разработанной печатной платы программно-аппаратного комплекса, реализующего NTP-сервер верхнего уровня. На рисунке 6 представлена нижняя часть разработанной печатной платы.

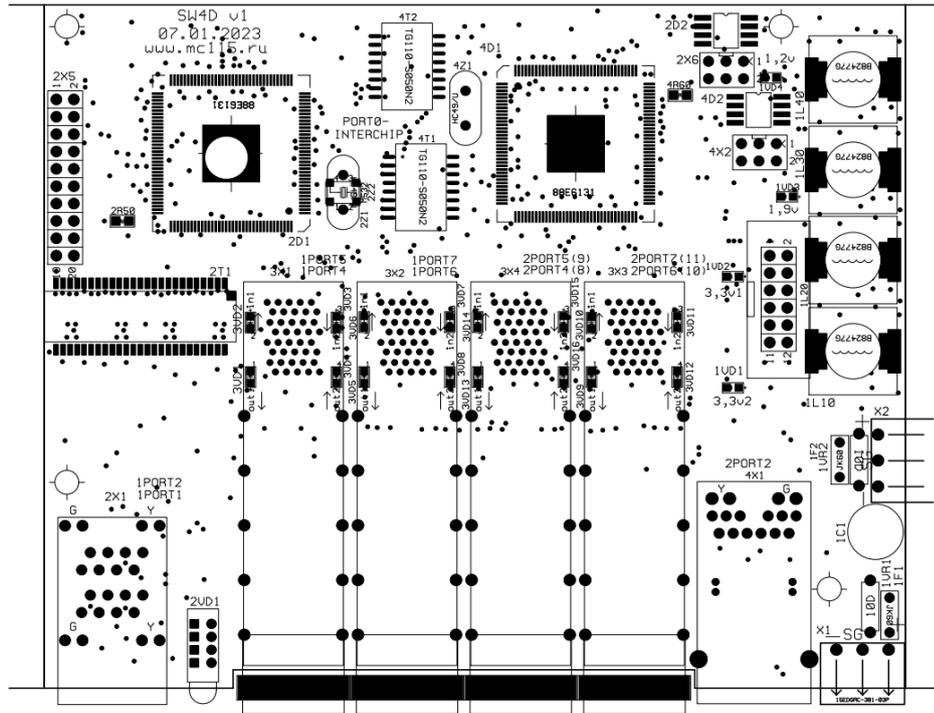


Рисунок 5 – верхняя часть разработанной печатной платы (авторская разработка)

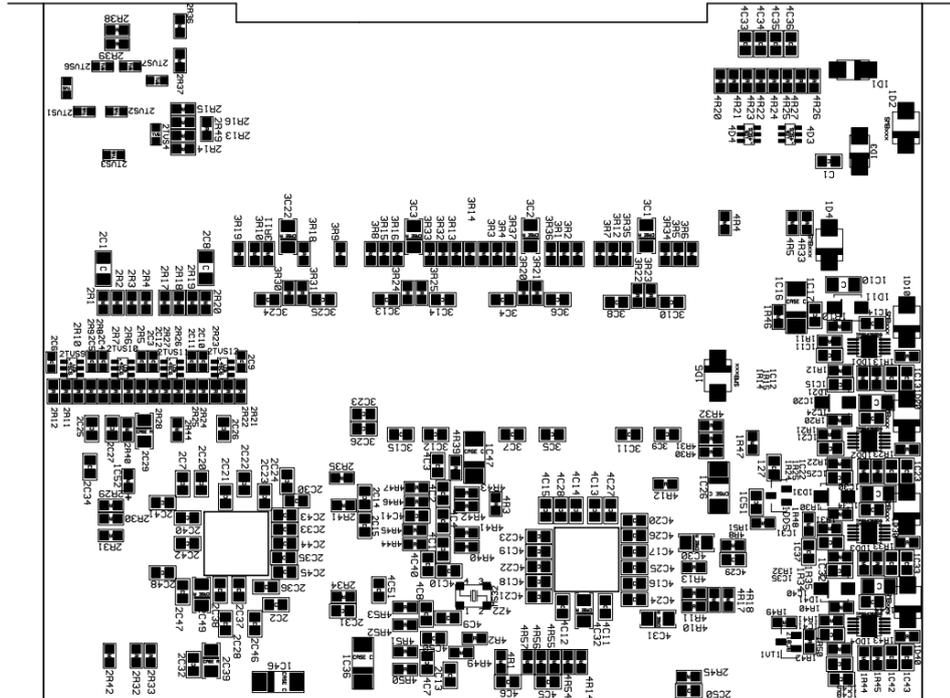


Рисунок 6 – нижняя часть разработанной печатной платы (авторская разработка)

Заключение

Были исследованы различные модули приема спутникового сигнала GPS/GLONASS. В ходе анализа различных модулей был выбран модуль NEO-M8N от фирмы UBLOX, так как данный обладает имеет большим в сравнении с аналогами количеством каналов, сравнительно не большим временем холодного и горячего старта и поддерживает технологию A-GNSS, что позволяет ускорить процесс синхронизации со спутниками.

Были проведены исследования возможности реализации стека протоколов IP среди различных микроконтроллеров. В результате рассмотрения преимуществ и недостатков, популярных в настоящее время микроконтроллеров был выбран STM32F407VTG, данный микроконтроллер обладает высокой производительностью, большим объемом памяти, поддержкой FreeRTOS и LwIP, большим количеством литературы и программных библиотек, а также удобной средой разработки от производителя.

Были проведены исследования влияния характеристик питающего напряжения на стабильность работы модуля GPS/GLONASS. В результате исследований был выбран стандарт питания 802.3at(PoE+). Так как этот стандарт обеспечит достаточную мощность для стабильной работы GPS/GLONASS модуля и возможность удаления устройства от источника питания до 100 метров.

Была разработана принципиальная схема устройства программно-аппаратного комплекса NTP-сервера верхнего уровня в виде печатной платы с установленными на ней электронными компонентами. А также была разработана печатная плата устройства.

Был разработан лабораторный образец программно-аппаратного комплекса NTP-сервера верхнего уровня.

Библиографический список:

1. IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://standards.ieee.org/ieee/1588/4355/> (дата обращения: 10.07.2022).
2. ITELON: что такое NTP сервер [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://itelon.ru/blog/ntp-server/> (дата обращения: 10.07.2022).
3. Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/> (дата обращения: 4.07.2022).
4. ICB: Сервер точного времени СТВ-01М [Электронный ресурс]: официальный сайт. URL: <https://icbcom.ru/ru/product-category/servery-vremeni-ntp-klienty/servery-tochnogo-vremeni/server-tochnogo-vremeni-stv-01m/> (дата обращения: 10.07.2022).
5. IEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements - Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications - Data Terminal Equipment (DTE) Power Via Media Dependent Interface (MDI) [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://standards.ieee.org/ieee/802.3af/1090/> (дата обращения: 10.07.2022).
6. Богданов, М. Р. Применения GPS/ГЛОНАСС : учебное пособие / М.Р. Богданов. - Долгопрудный : Интеллект, 2012. - 136 с. - ISBN 978-5-91559-109-6.
7. Рыжков А.В., Шварц М.Л., Аладин В.М., Исупов А.В. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ // Т-Comm. 2022. №7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-vnedreniya-sistem-chastotno-vremennogo-obespecheniya-setey-svyazi> (дата обращения: 19.08.2023).

8. Техническая спецификация на TPS54260 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.ti.com/lit/ds/slvs86d/slvs86d.pdf> (дата обращения 10.05.2022).

Оригинальность 85%