

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
комп'ютерних систем та мереж

_____ (Ігор ЖУКОВ)

“ _____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ "БАКАЛАВР"
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 123 "КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ"

Тема: _____ «Розробка блоку POE інжектора для системи Starlink»

Виконавець: _____ Михайло ЗАЙЦЕВ

Керівник: _____ Володимир ОПАНАСЕНКО

Нормоконтролер: _____ Сергій ЖУРАВЕЛЬ

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних наук та технологій

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Спеціальність 123 "Комп'ютерна інженерія"

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

комп'ютерних систем та мереж

_____ (Ігор ЖУКОВ)

« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проєкту

Зайцеву Михайлу Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема роботи: «Розробка блоку РОЕ інжектора для системи Starlink»

затверджена наказом ректора від " 26 " квітня 2023 року № 591/СТ

2. Термін виконання проєкту (роботи): з 22.05.2023 до 25.06.2023

3. Вихідні дані до проєкту (роботи): ТЗ на розроблення блоку РОЕ інжектора для системи Starlink

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

В дипломному проєкті розроблено апаратне рішення стосовно РОЕ інжектора для системи Starlink, забезпечення безперебійного доступу з різних енергетичних джерел.

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

Презентація

6. Календарний план

№ п/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів	Примітка
1.	Ознайомитись з завданням на виконання дипломного проекту.	26.04.23-04.05.23	
2.	Вивчити літературу по темі дипломного проекту.	05.05.23-18.05.23	
3.	Визначити план змісту проекту.	19.05.23-23.05.23	
4.	Виконати огляд основних відомостей про зв'язок Starlink.	24.05.23-29.05.23	
5.	Виконати огляд апаратного забезпечення Starlink.	30.05.23-01.06.23	
6.	Розробити структуру та оформити пояснювальну записку.	02.05.23-07.06.23	

7. Дата отримання завдання «22» травня 2023 р. _____

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Володимир Опанасенко
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ Михайло Зайцев
(підпис студента)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту “ТЗ на розроблення блоку РОЕ інжектора для системи Starlink ”: 60 с., 40 рис., 12 літературних джерел.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка апаратного рішення для системи Starlink.

Об’єкт проєктування – Starlink

Предмет проєктування – РОЕ інжектор

Метод проєктування –розроблення апаратного рішення стосовно РОЕ інжектора для системи Starlink,забезпечення безперервного доступу з різних енергетичних джерел.

Прогнози припущення щодо розвитку об’єкта дослідження – підвищення популярності нових технологій енергоживлення Starlink

Результати кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при розробці інженерних та технічних модулів для терміналу Starlink.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 Технологія Starlink	8
1.1. Історія.	8
1.2. Загальний принцип.....	9
1.3. POE в Starlink.....	10
1.4. Умови експлуатації терміналу	15
1.5. Виклики та можливі рішення.....	20
Висновки до розділу	21
РОЗДІЛ 2 Проектування.....	21
2.1. Конструкція.....	21
2.2. Довгострокові вимірювання.....	23
2.3. Енергоспоживання	26
2.4. Ефективність-мета.....	28
2.5. Огляд роутера	32
2.6. Блок живлення	33
2.7. Материнська плата	34
2.8. Прошивка	40
Висновки до розділу	41
РОЗДІЛ 3 Реалізація.....	45
3.1. Прототип	45
3.2. Постійний струм.....	47
3.3. Розробка	52
3.4 Тестування	54
3.5 Результати	55
3.6 Особливості.....	58
3.7 Загальні технічні характеристики.....	59
Висновки до розділу	60

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

POE(Power over Ethernet) - це технологія, яка дозволяє передавати електричну потужність через Ethernet-кабелі.

Dishy-термінал для прийому сигналу супутників

UniFi USG Pro- 4-х портовий керований маршрутизатор із вбудованим брандмауером.

Power Sourcing Equipment- устаткування джерел живлення.

VPN- віртуальна приватна мережа.

RJ45- фізичний інтерфейс, що є одним з засобів з'єднання комп'ютерних мереж за допомогою витої пари.

SoC- Дизайн електронної схеми, яка вміщує функціональні складові цілого пристрою

OpenWrt- операційна система для бездротових Wi-Fi маршрутизаторів, заснована на ядрі Linux.

OFDM- це метод мультиплексування (поєднання кількох потоків даних в один спільний простір), який підрозподіляє заданий радіоспектр на набір ортогональних піднесних, через які передається інформація.

ISP- організація, яка надає послуги доступу та передачі (інформації) певними інформаційними каналами.

WLAN- бездротова локальна мережа

ВСТУП

Starlink - це спутникова мережа, розроблена компанією SpaceX з метою забезпечити глобальний доступ до швидкого та надійного Інтернету. Вона складається з тисяч супутників, які обертаються на низькій орбіті навколо Землі. Користувачі можуть отримати доступ до Інтернету за допомогою антени, яка підключається до наземного обладнання. Starlink пропонує швидкість зв'язку, яка суперечить традиційним супутниковим мережам, і має потенціал дати доступ до Інтернету в усіх куточках світу, включаючи віддалені та менш розвинуті регіони.

Starlink працює на принципі формування констеляції супутників, що працюють в мережі для передачі даних земним станціям і між супутниками. Це забезпечує швидку передачу сигналу та зменшує затримки. Кожен супутник з'єднується з набагато більшою кількістю сусідніх супутників і спільно організовує покриття сигналом по всій планеті.

Starlink також має потенціал вплинути на інші галузі, такі як транспорт, навігація та наукові дослідження. Наприклад, супутникова система Starlink може покращити точність глобальної навігації, що є важливим для авіації та судноплавства.

POE (Power over Ethernet) - це технологія, яка дозволяє передавати як живлення, так і дані по одному кабелю Ethernet. Що стосується Starlink, то користувацький термінал Starlink (тарілчаста антена) потребує підключення як для живлення, так і для передачі даних. Starlink використовує POE-інжектор або POE-комутатор для забезпечення живлення терміналу користувача через кабель Ethernet.

POE-інжектор - це пристрій, який подає живлення в кабель Ethernet, дозволяючи користувацькому терміналу отримувати живлення і встановлювати з'єднання з мережею Starlink. Він спрощує процес встановлення, об'єднуючи живлення і передачу даних в одному кабелі, зменшуючи потребу в додаткових джерелах живлення поблизу користувацького терміналу. Використовуючи технологію POE, Starlink забезпечує спрощений і ефективний процес налаштування для своїх користувачів, оскільки їм потрібно лише підключити користувацький термінал до POE-інжектора або POE-комутатора за допомогою одного кабелю Ethernet для отримання живлення і передачі даних.

<i>Кафедра КСМ</i>				<i>НАУ 23 05 45 000 ПЗ</i>			
<i>Виконав</i>	<i>Зайцев М.Р.</i>			<i>Розробка блоку POE інжектора для системи Starlink</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Опанасенко В.М.</i>						
<i>Консульт.</i>							
<i>Нормоконт.</i>	<i>Журавель С.В.</i>						
<i>Зав.каф.</i>	<i>Жуков І.А.</i>						
					<i>123 КС-431Б</i>		

РОЗДІЛ 1

Технологія Starlink

Починаючи написання кваліфікаційного роботи я вирішив попередньо розібратися з невідомою мені технічною складовою, принципами роботи та практичними прикладами застосування системи в більш широкому загалі.

В ході дослідження я знайшов відповіді на запитання що мене цікавили та за допомогою цього аналізу зміг скласти покроковий план дій по підготовці до практичної роботи.

Головне що потрібно знати до проектування РОЕ інжектора описав в другому розділі своєї кваліфікаційної роботи.

1.1. Історія

Starlink — це послуга супутникового Інтернету, яку надає SpaceX, компанія, заснована Ілоном Маском у 2002 році. SpaceX проектує, виробляє та запускає ракети та космічні кораблі. SpaceX почала запускати супутники Starlink у 2019 році та станом на травень 2023 року запустила понад 4395 супутників на низьку навколоземну орбіту (LEO). Основна увага Starlink зосереджена на забезпеченні високошвидкісного ширококутового Інтернету з низькою затримкою у віддалених і сільських районах по всьому світу. Станом на травень 2023 року вартість місячного обслуговування починається від 110 доларів США, а одноразова вартість обладнання становить 599 доларів США. Крім того, сервіс Starlink значно розширився завдяки великій групі супутників.

Принцип роботи мережі Starlink базується на сузір'ї супутників, які працюють разом для забезпечення глобального інтернет-покриття. Мережа складається з тисяч невеликих супутників на низькій навколоземній орбіті (LEO).

<i>Кафедра КСМ</i>				<i>НАУ 23 05 45 000 ПЗ</i>			
<i>Виконав</i>	<i>Зайцев М.Р</i>			<i>Розробка блоку РОЕ інжектора для системи Starlink</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Опанасенко В.М</i>						
<i>Консульт.</i>					<i>123 КС-431Б</i>		
<i>Нормоконт.</i>	<i>Журавель С.В.</i>						
<i>Зав.каф.</i>	<i>Жуков І.А.</i>						

Ці супутники розташовані в скоординованій і взаємопов'язаній мережі, що зв'язуються між собою за допомогою лазерних ліній і радіочастотних сигналів. Вони утворюють комірчасту мережу, де дані можуть передаватися між супутниками, що забезпечує ефективну передачу даних і покриття всієї планети.

Користувацький термінал, тарілчаста антена, встановлена в місці розташування користувача, зв'язується з найближчими супутниками Starlink, які знаходяться в полі зору. Він встановлює зв'язок з цими супутниками, передаючи і приймаючи сигнали даних. Коли користувацький термінал встановлює зв'язок з одним супутником, він може передати з'єднання іншому супутнику, коли вони переміщуються по небу, забезпечуючи безперервний зв'язок.

Супутники сузір'я Starlink обертаються на відносно низькій висоті порівняно з традиційними супутниковими мережами. Ця нижча орбіта затримку сигналу, що призводить до швидшого і більш чутливого інтернет-з'єднання.

1.2 Загальний принцип

Загальний принцип мережі Starlink полягає в наданні широкого і доступного доступу до Інтернету користувачам по всьому світу, особливо у віддалених районах, де традиційна інфраструктура є обмеженою, або в районах з недостатнім рівнем обслуговування. Використовуючи велику кількість супутників, що працюють разом, Starlink прагне забезпечити високошвидкісний, надійний і малозатратний інтернет-зв'язок, щоб подолати цифровий розрив і з'єднати людей по всьому світу.

Продовжуючи попередню інформацію, принцип мережі Starlink також передбачає постійне вдосконалення і розширення. SpaceX, компанія, що стоїть за Starlink, запускає партії супутників на орбіту на своїх ракетах Falcon 9.

Такий ітеративний підхід до розгортання дозволяє постійно вдосконалювати і оптимізувати мережу. SpaceX прагне досягти високого рівня масштабованості

Starlink, плануючи в майбутньому запуснути десятки тисяч супутників. Велика кількість супутників, що працюють спільно, забезпечує краще покриття, пропускну здатність і резервування, гарантуючи більш надійний інтернет-сервіс.

Крім того, мережа Starlink використовує передові технології для зменшення перешкод і поліпшення якості сигналу.

Наприклад, супутники використовують передові методи формування променя для фокусування своїх сигналів на терміналах користувачів, що підвищує ефективність і зменшує деградацію сигналу.

У міру зростання мережі Starlink SpaceX продовжує вдосконалювати систему, вирішуючи проблеми і впроваджуючи поліпшення на основі відгуків користувачів і технологічних досягнень.

Продовжуючи попередню інформацію, ще одним принципом мережі Starlink є пріоритетність цінової доступності.

Крім того, мережа Starlink розроблена таким чином, щоб бути гнучкою та адаптивною. Вона здатна підтримувати широкий спектр застосувань, включаючи домашнє, комерційне використання. Ця гнучкість дозволяє Starlink задовольняти різні потреби користувачів, від окремих домогосподарств до великих організацій, сприяючи економічному зростанню, освіті, телемедицині та іншим життєво важливим послугам, які залежать від надійного інтернет-з'єднання.

З точки зору технічних принципів, мережа Starlink зосереджена на зменшенні латентності, тобто затримки в передачі даних. Низька навколоземна орбіта супутників допомагає мінімізувати затримку порівняно з традиційними геостаціонарними супутниковими мережами. Така низька затримка особливо важлива для додатків, що працюють в режимі реального часу, таких як відеоконференції, онлайн-ігри та інші інтерактивні сервіси, які вимагають низької затримки.

В цілому, мережа Starlink прагне забезпечити недорогий, доступний і надійний інтернет-зв'язок по всьому світу, приділяючи особливу увагу скороченню цифрового розриву і розширенню можливостей окремих осіб, громад і підприємств користуватися перевагами високошвидкісного доступу до інтернету. Завдяки постійному вдосконаленню, масштабованості та технологічним інноваціям Starlink прагне докорінно змінити способи зв'язку та спілкування в усьому світі.

1.3 POE в Starlink

Використання технології Power over Ethernet (POE) в Starlink спрощує встановлення та експлуатацію користувачького терміналу.

Ось як це працює:

Консолідація живлення та даних: Завдяки POE кабель Ethernet виконує подвійну функцію, передаючи на термінал живлення і сигнали даних. Це усуває необхідність в окремих кабелях живлення, зменшуючи безлад і спрощуючи процес налаштування.

Інжектор POE: У системі Starlink зазвичай використовується інжектор POE.

Це пристрій, який подає живлення в кабель Ethernet.

POE-інжектор підключається до джерела живлення і терміналу користувача, забезпечуючи подачу живлення через Ethernet-з'єднання.

Вимоги до живлення: Користувачький термінал Starlink призначений для живлення через POE. Він споживає енергію від POE-інжектора для роботи, встановлення зв'язку з супутниками Starlink і забезпечення підключення до Інтернету підключених пристроїв.

Сумісність і стандарти: Starlink дотримується стандартів POE, таких як IEEE 802.3af або IEEE 802.3at, що забезпечує сумісність з широким спектром пристроїв POE. Це дозволяє користувачам інтегрувати налаштування Starlink з існуючою інфраструктурою POE, якщо вона доступна.

Гнучкість в установці: PoE усуває необхідність близькості до розеток при встановленні користувачького терміналу. Це забезпечує більшу гнучкість у виборі оптимального місця розташування антени, беручи до уваги такі фактори, як рівень сигналу і відсутність перешкод.

Масштабованість: PoE спрощує процес додавання або розширення абонентських терміналів Starlink. Оскільки живлення подається через кабель Ethernet, немає необхідності встановлювати додаткові джерела живлення або вносити зміни в електричну інфраструктуру. Масштабованість дозволяє легше розгортати Starlink в різних умовах, від окремих будинків до більш масштабних інсталяцій.

Віддалене керування живленням: PoE дозволяє централізовано керувати живленням і контролювати його. Перемикач або інжектор PoE може віддалено контролювати і керувати живленням користувачьких терміналів. Ця функція дозволяє ефективно усувати несправності, перемикати живлення і віддалено конфігурувати систему Starlink, зменшуючи необхідність виїздів на місце для технічного обслуговування.

Підвищена надійність: Об'єднуючи живлення і передачу даних в одному кабелі, PoE зменшує ймовірність перебоїв в подачі живлення або відключень. Це забезпечує більш надійне і стабільне електроживлення користувачького терміналу, гарантуючи безперебійне підключення до мережі Starlink.

Сумісність: Реалізація PoE від Starlink розроблена таким чином, щоб бути сумісною з терміналом користувача та іншими пристроями з підтримкою PoE в системі. Це забезпечує безперебійну інтеграцію і роботу без необхідності додаткових адаптерів або модифікацій.

Резервне живлення: Реалізація PoE від Starlink може не включати вбудовані можливості резервного живлення. Тому в разі відключення електроенергії користувачький термінал може втратити зв'язок з мережею. Рекомендується мати резервне джерело живлення, наприклад, джерело безперебійного живлення (ДБЖ), щоб забезпечити безперервну роботу під час перебоїв з електроживленням.

Обмеження довжини кабелю: PoE має обмеження на максимальну довжину

кабелю через втрату потужності на відстані. Точна довжина кабелю, яка може бути використана з реалізацією PoE від Starlink, може залежати від таких факторів, як вихідна потужність інжектора або комутатора PoE, якість кабелю та умови навколишнього середовища. Бажано дотримуватися рекомендацій щодо довжини кабелю, наданих компанією Starlink.

Категорія кабелю: Реалізація PoE від Starlink може вимагати використання певних категорій кабелів Ethernet, які підтримують PoE. Категорія кабелю визначає рівень потужності та можливості передачі даних. Як правило, для додатків PoE рекомендується використовувати кабелі категорії Cat 5e або вище.

Міркування щодо безпеки: При роботі з обладнанням PoE важливо дотримуватися правил техніки безпеки і дотримуватися галузевих стандартів. Це включає в себе належне заземлення, ізоляцію кабелю та захист від небезпеки ураження електричним струмом. Бажано ознайомитися з інструкціями та рекомендаціями виробника для безпечного встановлення та експлуатації.

Стандарти PoE: Стандарти PoE визначають максимальну потужність, яку можна передавати по кабелю Ethernet. Найпоширенішими стандартами є IEEE 802.3af (PoE) і IEEE 802.3at (PoE+). PoE забезпечує до 15,4 Вт потужності на порт, в той час як PoE+ може забезпечити до 30 Вт на порт.

Обладнання для забезпечення живлення (Power Sourcing Equipment, PSE): PSE відноситься до пристрою, який забезпечує живлення в системі PoE. Це може бути комутатор PoE, інжектор PoE або проміжний концентратор PoE. PSE узгоджує вимоги до живлення з живильним пристроєм (PD) і забезпечує відповідний рівень потужності.

Пристрій з живленням (PD): PD - це пристрій, який отримує живлення від PSE через кабель Ethernet. Прикладами PD є IP-телефони, бездротові точки доступу, IP-камери та мережеві комутатори. PD повинні бути сумісні зі стандартом PoE, який підтримується PSE.

Бюджет живлення і розподіл живлення: Система PoE має контролер живлення, який визначає загальну потужність, доступну для всіх підключених пристроїв. Кожен порт або пристрій в системі PoE вимагає певної кількості енергії, яка узгоджується і розподіляється PSE. Важливо переконатися, що сумарна потреба в енергії підключених пристроїв не перевищує доступний ліміт потужності.

Класи PoE: Пристрої PoE поділяються на різні класи (0-8) залежно від їхніх вимог до енергоспоживання. PSE та PD узгоджують відповідний клас потужності під час процесу підключення. Більш високі класи енергоспоживання дозволяють підтримувати більш енергоємні пристрої в системі PoE.

Виявлення та захист PoE: Системи PoE мають вбудовані механізми виявлення, які визначають, чи є підключений пристрій сумісним з PoE. Це гарантує, що живлення подається тільки на пристрої, які підтримують PoE, запобігаючи пошкодженню пристроїв, що не підтримують PoE. Крім того, системи PoE включають функції захисту від перенапруги, перевантаження по струму і короткого замикання.

Еволюція стандартів PoE: Стандарти PoE продовжують розвиватися, підтримуючи більш високі рівні потужності і додаткові функції.

IEEE 802.3bt (PoE++) - це найновіший стандарт, здатний передавати до 60 Вт (тип 3) або 100 Вт (тип 4) потужності на порт.

Наприклад, пристрої класу 0 не потребують живлення, тоді як пристрої класу 4 можуть запитувати найвищий доступний рівень потужності.

Подовжувачі PoE: Подовжувачі PoE, також відомі як повторювачі PoE, - це пристрої, що використовуються для збільшення максимальної відстані з'єднання PoE за межі стандартних обмежень довжини кабелю. Вони регенерують і

підсилюють сигнали PoE, щоб підтримувати живлення і цілісність даних на довгих ділянках кабелю.

Управління та моніторинг PoE: Вдосконалені системи PoE можуть включати функції управління та моніторингу. Ці функції дозволяють адміністраторам контролювати енергоспоживання, керувати розподілом живлення і віддалено керувати окремими портами PoE, забезпечуючи підвищений контроль і ефективність розгортання PoE.

1.4 Умови експлуатації терміналу

Ось деякі загальні умови експлуатації, які можуть застосовуватися до Starlink:

Розміщення терміналу користувача: Термінал користувача Starlink (тарілчаста антена) повинен бути встановлений на відкритому майданчику з прямою видимістю в небо. Перешкоди, такі як дерева, будівлі або інші споруди, можуть впливати на якість з'єднання.

Вимоги до живлення: Для роботи терміналу користувача потрібне джерело живлення 220 V.

Інтернет-провайдер (ISP): Starlink надає послуги Інтернету безпосередньо користувачам. Користувачі повинні оформити підписку на Starlink і дотримуватися умов і положень, встановлених Starlink як постачальником послуг Інтернету.

Використання даних та ліміти: Starlink може встановлювати ліміти на використання даних або політику добросовісного використання, які застосовуються до їхніх послуг. На користувачів можуть поширюватися певні обмеження на передачу даних або дроселювання на основі їхнього плану підписки.



Рис. 1.1 Глобальна система супутників Starlink

1.4 Архітектура системи Starlink. Наземні станції або шлюзи Starlink знаходяться на постійному зв'язку з супутниками. Вони забезпечують доступ до Інтернету і передають керуючу інформацію на термінали користувачів. Зв'язок між користувачем і супутником використовує Ku-діапазон, а зв'язок між наземною станцією і супутником - Ku-діапазон для низхідної лінії зв'язку і Ka-діапазон для висхідної лінії зв'язку .

Супутники SpaceX генерують надмалі точкові промені завдяки тому, що вони знаходяться набагато ближче до Землі порівняно з геостаціонарними супутниками.

Близькість до Землі забезпечує вищу швидкість і меншу затримку. Орієнтовна загальна пропускна здатність на початку комерційного розгортання становить 23,7 Тбіт/с.

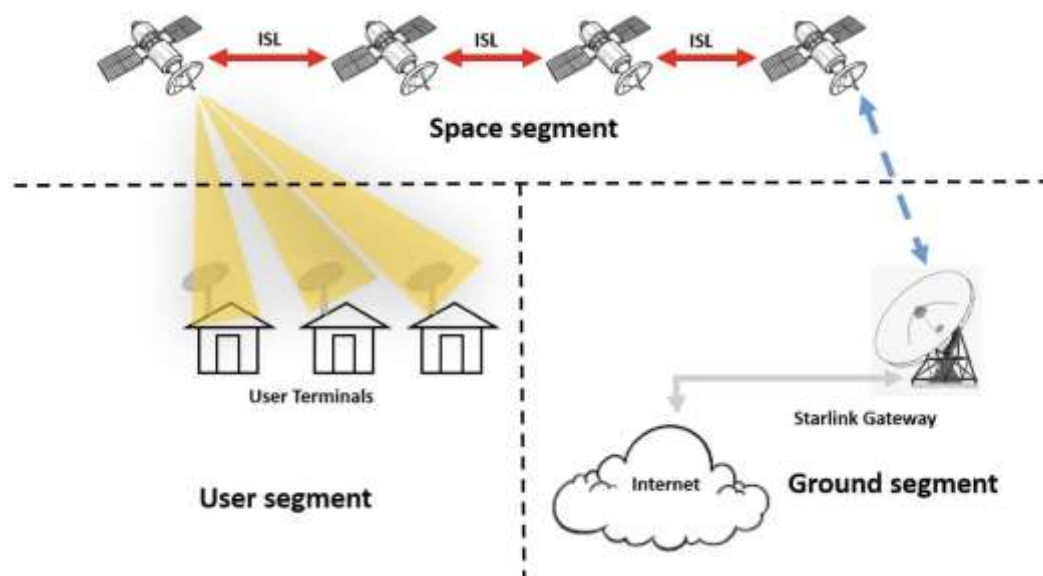


Рис. 1.2 Структура передачі

Абонентське обладнання Starlink складається з супутникової антени, Wi-Fi роутера та блоку живлення. Це система типу "підключи і працюй". Антена має діаметр 23" і з нею може легко впоратися одна людина. Її можна розмістити на землі або на даху, де є видимість чистого неба. Антена складається з фазованої антенної решітки, що має структуру складених сот. Антена може автоматично вирівнюватися з доступним супутником Starlink. Starlink використовує передову технологію фазованих антенних решіток як для супутника, так і для абонентської антени. Це дозволяє майже миттєво перемикатися між різними супутниками без механічних переходів. Для забезпечення зв'язку маршрутизатор оснащений портом Gigabit Ethernet і Wi-Fi. Супутникова антена підключена до маршрутизатора, і обидва пристрої живляться за технологією Power over Ethernet (PoE). Один роутер може підтримувати до 128 пристроїв одночасно. Він працює від джерела живлення 56 В постійного струму, що подається через PoE. Маршрутизатор відповідає стандарту IEEE 802.11 і працює на частотах 2,4 ГГц і 5 ГГц. Для передачі використовується технологія OFDM модуляції. Основною перевагою Starlink перед наземними стільниковими та оптоволоконними технологіями є те, що його можна розгорнути у віддалених сільських районах без значної допоміжної інфраструктури в економічно вигідний спосіб.

Крім того, Starlink може забезпечити продуктивність, порівнянну або навіть кращу, ніж стільникові системи в сільській місцевості.

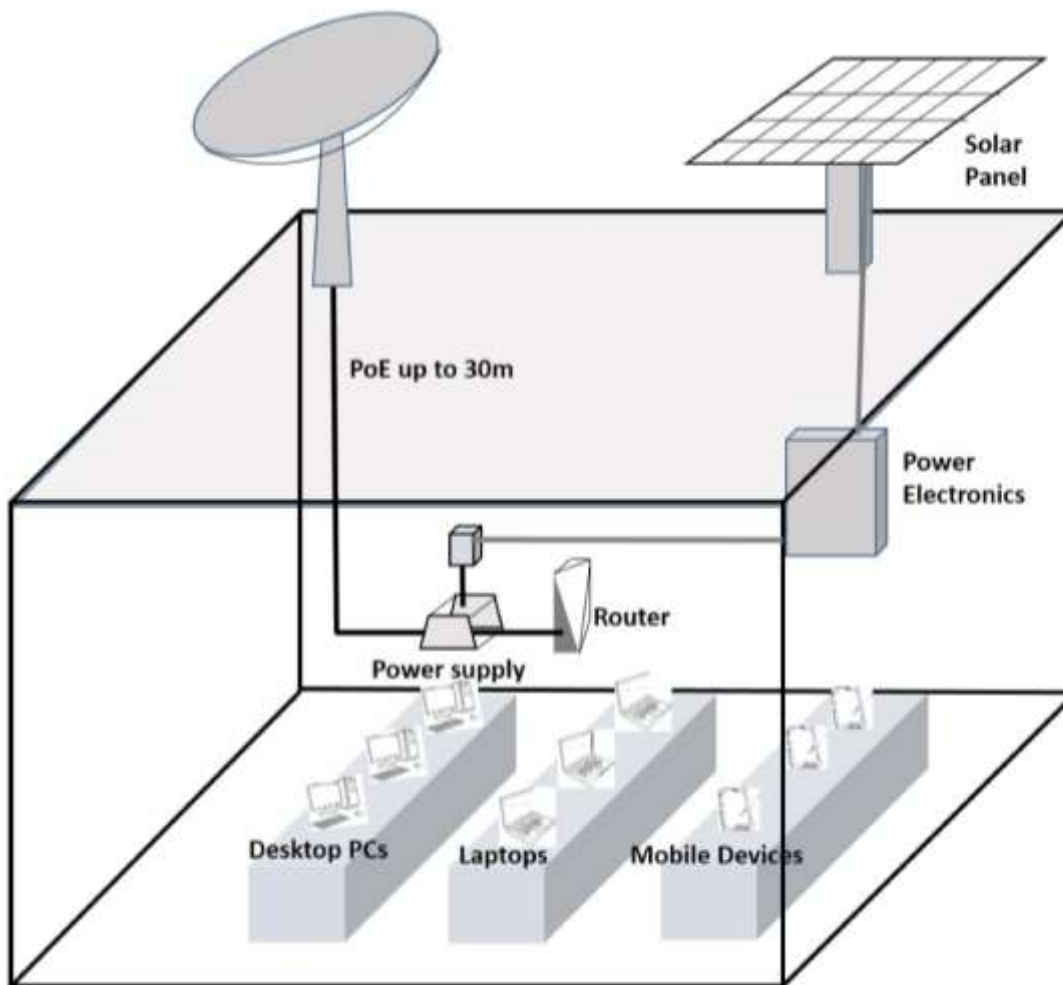


Рис. 1.3 Побудова локальної мережі

Можна припустити, що стаціонарний ПК зі LED дисплей споживає приблизно 150 Вт енергії, а ноутбук - 60 Вт. Крім того, планшет споживає приблизно 10 Вт. Таким чином, всі пристрої разом споживають приблизно 1,45 кВт. Враховуючи всі інші вимоги, для живлення такого центру буде достатньо сонячної енергетичної системи потужністю 3 кВт.

1.5 Виклики та можливі рішення

Для того, щоб Starlink міг працювати в будь-якій країні, необхідно отримати дозвіл регуляторних органів на надання телекомунікаційних послуг у цій країні.

Наразі немає жодних доказів того, що Starlink отримав такий дозвіл від будь-якої з країн глобального півдня. Очікується, що вони розпочнуть цей процес найближчим часом.

Враховуючи архітектуру мережі Starlink, користувачі могли б мати доступ до Інтернету, не підпадаючи під контроль урядів відповідних країн. Уряди можуть розглядати це як загрозу своєму суверенітету.

Тому дуже важливо, щоб Starlink дійшов згоди з урядами, щоб вирішити це питання, яке задовольнить усі зацікавлені сторони. Одним з рішень може бути створення принаймні одного шлюзу в країні, що становить інтерес, і маршрутизація трафіку через цей шлюз.

Це викличе протидію з боку вже існуючих інтернет-провайдерів (ISP) в країні, які можуть розглядати Starlink як конкурента.

Крім того, якість ширококуглових послуг у багатьох країнах глобального півдня є низькою, і цілком можливо, що Starlink зможе надавати кращі послуги ширококуглового зв'язку навіть у міських районах порівняно з місцевими провайдерами. Тому дуже важливо, щоб усі сторони зібралися разом і знайшли шляхи співпраці таким чином, щоб усі сторони, включно з клієнтами, отримали вигоду. Однією з можливостей є використання Starlink для покращення продуктивності стільникового зв'язку місцевих провайдерів послуг.

Starlink зможе підключати абонентські термінали до місцевої інтернет-інфраструктури через шлюз.

Висновки до розділу

В першому розділі бакалавровської кваліфікаційної роботи були досліджені основні аспекти системи Starlink і її вплив на широкопasmовий доступ до Інтернету. Дослідження показало, що система Starlink є потужним інструментом для забезпечення інтернет-з'єднання віддалених регіонів, де традиційні мережі недоступні або недостатньо ефективні.

За допомогою мережі супутників, компанія SpaceX розширила можливості широкопasmового Інтернету, забезпечуючи стабільну швидкість передачі даних і високу доступність послуг. Технологічні вдосконалення, такі як зростання кількості супутників та покращення антенних систем, сприяли поліпшенню продуктивності і покриття мережі Starlink.

Однак, є виклики, з якими стикається система Starlink, включаючи конкуренцію на ринку, регуляторні обмеження і стійкість покриття. Впровадженням системи Starlink можуть супроводжуватися екологічними проблемами, які потребують уваги і вирішення.

Незважаючи на це, система Starlink має потенціал для подальшого розвитку і покращення. Зниження вартості послуг, розширення географічного охоплення і вдосконалення технологій можуть зробити її більш доступною і ефективною.

Розділ 2 Проектування

2.1 Конструкція

В цілому, позитивне використання інжекторів PoE в контексті Starlink покращує зв'язок, забезпечує гнучкість розгортання, спрощує управління, підтримує масштабованість і пропонує економічну ефективність. Ці переваги сприяють більш раціональному і надійному впровадженню мережі Starlink.

Звичайно, SpaceX має деякі перемикачі для депріоритизації трафіку для користувачів, які перебувають у роумінгу, але все мережеве обладнання має обмеження по пропускну здатності. Як тільки ви досягаєте певної кількості підключених пристроїв, продуктивність падає для всіх.

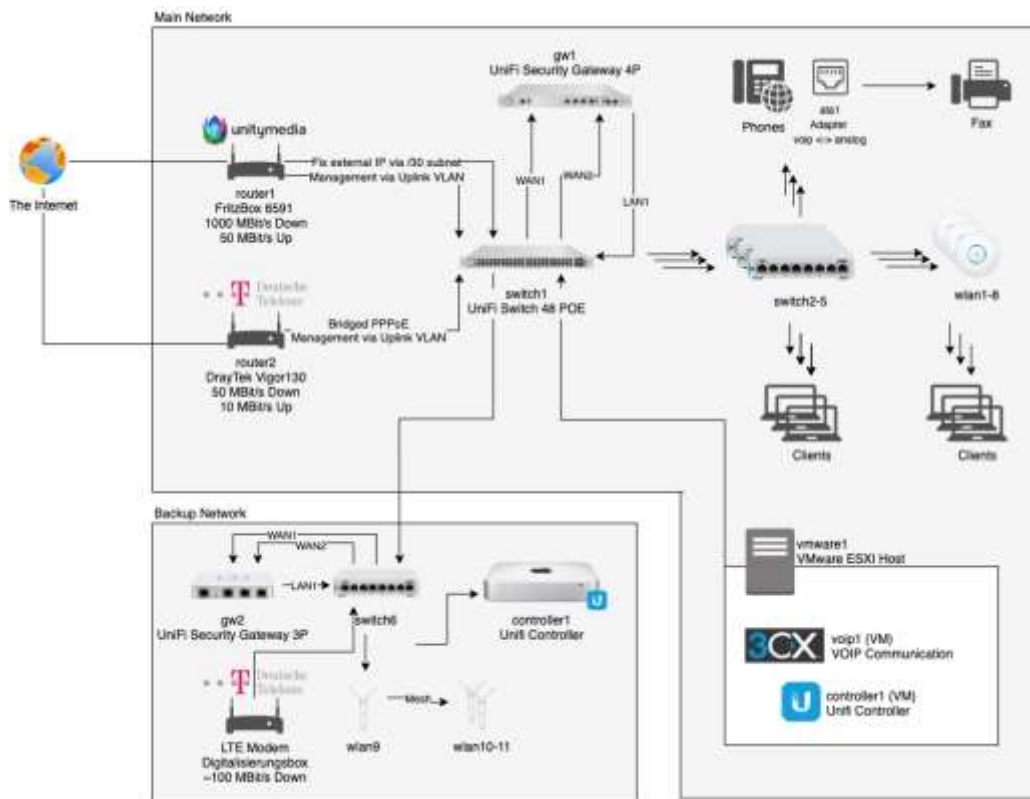


Рис. 2.1 Структура

<i>Кафедра КСМ</i>				<i>НАУ 23 05 45 000 ПЗ</i>			
<i>Виконав</i>	<i>Зайцев М.Р</i>			<i>Розробка блоку POE інжектора для системи Starlink</i>	<i>Лім.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Керівник</i>	<i>Опанасенко В.М</i>						
<i>Консульт.</i>							
<i>Нормоконт.</i>	<i>Журавель С.В.</i>				<i>123 КС-431Б</i>		
<i>Зав.каф.</i>	<i>Жуков І.А.</i>						

Наразі моя мережа складається, з компонентів UniFi: В основній мережі у мене є UniFi USG Pro, п'ять керованих комутаторів UniFi (3 x 48 портів, 2 x 8 портів) і 8 активних точок доступу. Програмне забезпечення контролера UniFi працює у віртуальній машині на моє сервері.

У резервній мережі використовується USG 3P, 1 комутатор і 3 mesh-точки доступу, Програмне забезпечення контролера UniFi для резервної мережі працює на комп'ютері Mac Mini.

Основна лінія зв'язку працює через кабель Vodafone (↓ близько 1000 Мбіт/с ↑ близько 50 Мбіт/с) та DSL-лінію Telekom (↓ близько 50 Мбіт/с ↑ близько 10 Мбіт/с). Висхідний канал резервної мережі працює за допомогою LTE-модему Telekom (↓ прибіл. 100 Мбіт/с), який бронює одинденний LTE-трафік на випадок збою.

Для того, щоб протестувати Starlink в реальних умовах, ми відтворюємо нашу мережу якомога ближче до реальної.

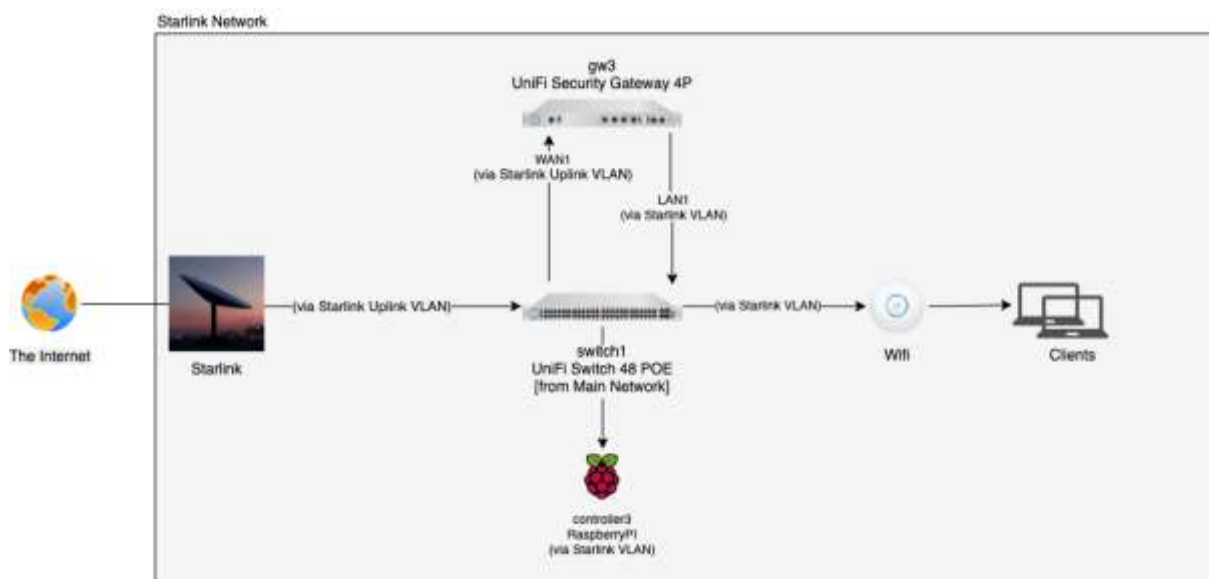


Рис. 2.2 Офісна мережа

Для цього ми використовуємо UniFi USG Pro, а також дві точки доступу UniFi. Raspberry Pi запускає програмне забезпечення контролера UniFi і автоматично виконує тести для довготривалих вимірювань. Тому нам не потрібен роутер Starlink, який постачається з Dishy. Замість цього ми підключаємо "Power Brick" безпосередньо до нашого комутатора, який передає дані на наш USG Pro через виділену VLAN. Ми розподіляємо "Starlink Internet" між двома точками доступу через другу VLAN.

Таким чином, ми можемо тестувати "Інтернет з космосу", як вони ласкаво назвали його під час налаштування.

2.2 Довгострокові вимірювання

Для того, щоб прийняти рішення про можливий перехід на Starlink як основного провайдера, ми постійно збираємо метрики. Для цього ми використовуємо Telegraf, який працює як Docker-контейнер на Raspberry Pi в мережі Starlink. Агент регулярно виконує команди, такі як тести швидкості, пінги, DNS-запити тощо, і надсилає їх до хмари Influxdata Cloud.

Ми можемо знайти відповідну конфігурацію Dockerfile і Telegraf в цій метриці. Потім ми генеруємо нашу інформаційну панель на основі цих даних:

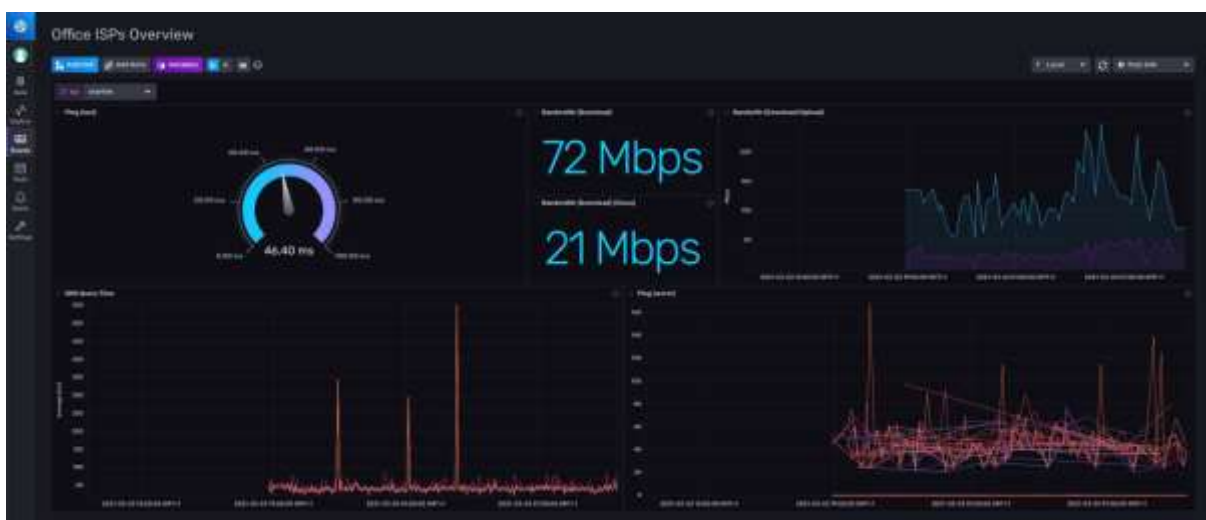


Рис. 2.3 Тестування

Приблизно через 24 години я побачив , що Starlink постійно забезпечує пристойну пропускну здатність. Я досяг швидкості завантаження понад 200 Мбіт/с на окремих ділянках, що мене здивувало. Однак, є також деякі відхилення в пінгу та DNS-запитах. Це також помітно при використанні Starlink з ноутбука. Періодично трапляються відключення (іноді раз на годину на 1-3 хвилини), які унеможливають виконання деяких завдань, наприклад, відеодзвінків. Однак, це може бути викликано поточним супутниковим угрупованням і має покращитися в майбутньому.

Я буду стежити за тим, як Starlink працюватиме в довгостроковій перспективі протягом наступних кількох тижнів.

Перші результати тестування є дуже багатообіцяючими. Інтернетом можна користуватися і він досягає хороших швидкостей, частково перевищуючи мої очікування. Однак періодичні відключення ще не роблять Starlink повноцінною заміною іншим провайдерам. Однак, оскільки наразі доступно "лише" близько 1 300 із запланованих 42 000 супутників, можна припустити, що ці відключення незабаром більше не траплятимуться.

Досліджуючи програмний код я отримав це чудове зображення кота Няня

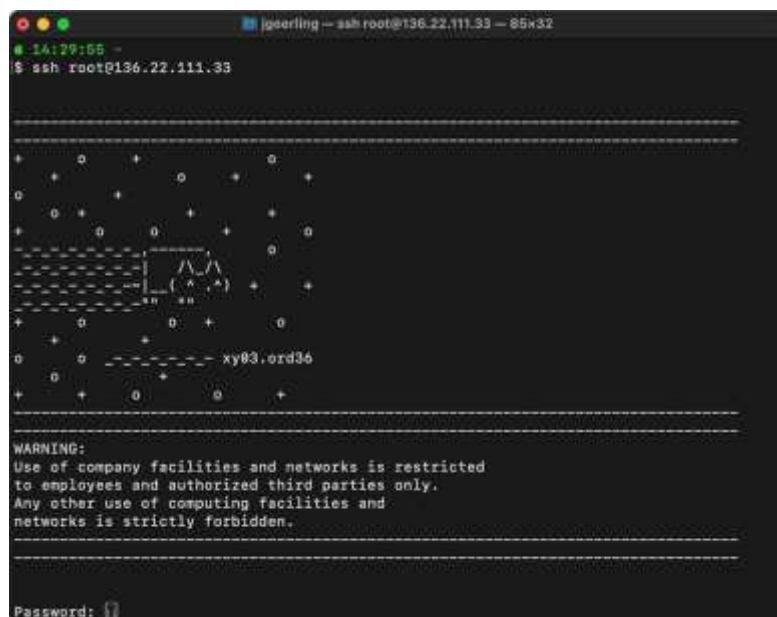
A screenshot of a terminal window with a dark background. At the top, it shows the terminal title 'jgeerling -- ssh root@136.22.111.33 -- 85x32'. Below that, the terminal prompt shows the time '14:29:55' and the command '\$ ssh root@136.22.111.33'. The main content of the terminal is a large ASCII art of a cat's face, composed of various characters like '+', 'o', and 'x'. Below the cat, there is a 'WARNING:' message: 'WARNING: Use of company facilities and networks is restricted to employees and authorized third parties only. Any other use of computing facilities and networks is strictly forbidden.' At the bottom, there is a 'Password:' prompt with a cursor.

Рис. 2.4 Внутрішня командний рядок

Найкраще налаштовувати Starlink через мобільний додаток. Якщо ви відвідаєте 192.168.100.1 у своєму браузері, ви отримаєте доступ до деяких функцій, таких як приховування дисків, перезавантаження роутера та перегляд статистики з'єднань, але це все.

Зате мобільний додаток має всю функціональність, доступну в інтернеті, і навіть більше: після входу ви можете керувати ім'ям мережі WiFi, розділити мережі 2,4 і 5 ГГц і отримати доступ до всіх поширених запитань і відповідей служби підтримки Starlink.

Роутер не складний. Ви не можете отримати статичну IPv4-адресу, якщо це вас цікавить, оскільки Starlink використовує CGNAT, але VPN працює. І ви технічно можете отримати статичну маршрутизовану IPv6-адресу, якщо використовуєте власний роутер, а роутер Starlink викинете, але це не те, що цікавить середньостатистичного користувача.

Я також повинен зазначити, що багато з цих речей змінилося з тих пір, як я вперше почав користуватися бета-версією.

Я задоволений простотою роутера, а також тим, що ви можете використовувати свій власний, якщо хочете. Але з точки зору апаратного забезпечення, є два основних недоліки:

На задній панелі є лише один гігабітний мережевий порт, тому вам знадобиться комутатор, щоб підключити більше одного дротового пристрою.

2.3 Енергоспоживання



Рис. 2.5 Енергоспоживання

Тарілка плюс роутер споживають майже 100 Вт енергії протягом усього дня. Порівняйте це з 5-10 Вт, які споживають мій кабельний модем і роутер HUAWEI, і це, безумовно, є над чим замислитися.



Рис. 2.6 Нагрів поверхні

Під час сильного снігопаду потужність Dishy швидко зросла до 125 Вт, а наприкінці хуртовини досягла піку в 175 Вт.

За словами служби підтримки, Dishy має своєрідний "сніговий режим", коли він нагрівається настільки, що розтоплює сніг зверху, і здається, що він автоматично переходить у цей режим, коли сніг починає затуляти небо.

Dishy споживає багато енергії. Якщо ви хочете використовувати сонячну енергію, додавання додаткових 90+ ват до вашого навантаження - це не дрібниці.

Інші супутникові інтернет-провайдери теж споживають трохи енергії, але Starlink знаходиться у власній лізі.

Щоденне енергоспоживання Starlink становить 2,4 кВт/год, а це означає, що робота Starlink 24x7 в середньому коштуватиме близько \$10 на місяць.

Це приблизно стільки ж, скільки споживає сучасний холодильник середнього розміру.

Ефективність - суб'єктивна

Starlink вартий цих додаткових витрат енергії, якщо він працює.

І я розділю цю частину свого огляду на дві частини: суб'єктивну та об'єктивну. Вам не потрібно говорити, що я можу дзвонити по FaceTime, грати в Halo, керувати своїми проектами з відкритим вихідним кодом і дивитися YouTube цілий день.

Тому що це все, суб'єктивно кажучи. Це нудно, тому що Starlink - це в основному те, до чого я звик: високошвидкісний інтернет-зв'язок, який працює переважно в режимі онлайн.

Єдине, що не завжди було приємним, - це те, як деякі програми обробляють обриви зв'язку, особливо деякі стрімінгові платформи та додатки для відеоконференцій. Оскільки у мене вдома таке трапляється кілька разів на годину, мені доводилося передзвонювати комусь, або оновлювати сторінку і знову дивитися рекламу, щоб повернутися в роботу.

Більшість відомих додатків, таких як Netflix, FaceTime і Zoom, справлялися з цим без жодних проблем. А от додатки та сервіси, які, очевидно, є аутсорсинговими, наприклад, неякісно зроблені додатки для телевізійних мереж, мали дивні проблеми, які вимагали перезапуску.

Суб'єктивно, мені дуже подобається Starlink. Я можу залишати свої iPhone та iPad підключеними лише через Starlink, і я майже не помічаю перешкод.

Збої стали рідшими, оскільки SpaceX запускає більше супутників (що означає більше покриття неба) і оновила програмне забезпечення Dishy, щоб краще перемикалася між супутниками.

2.4 Ефективність – мета

Але як насправді працює Starlink?

Я детально описав, як я використовую Raspberry Pi для моніторингу свого інтернету. Мені потрібні були необроблені цифри з великою кількістю даних за певний проміжок часу, щоб я міг скласти тверду думку про Starlink.

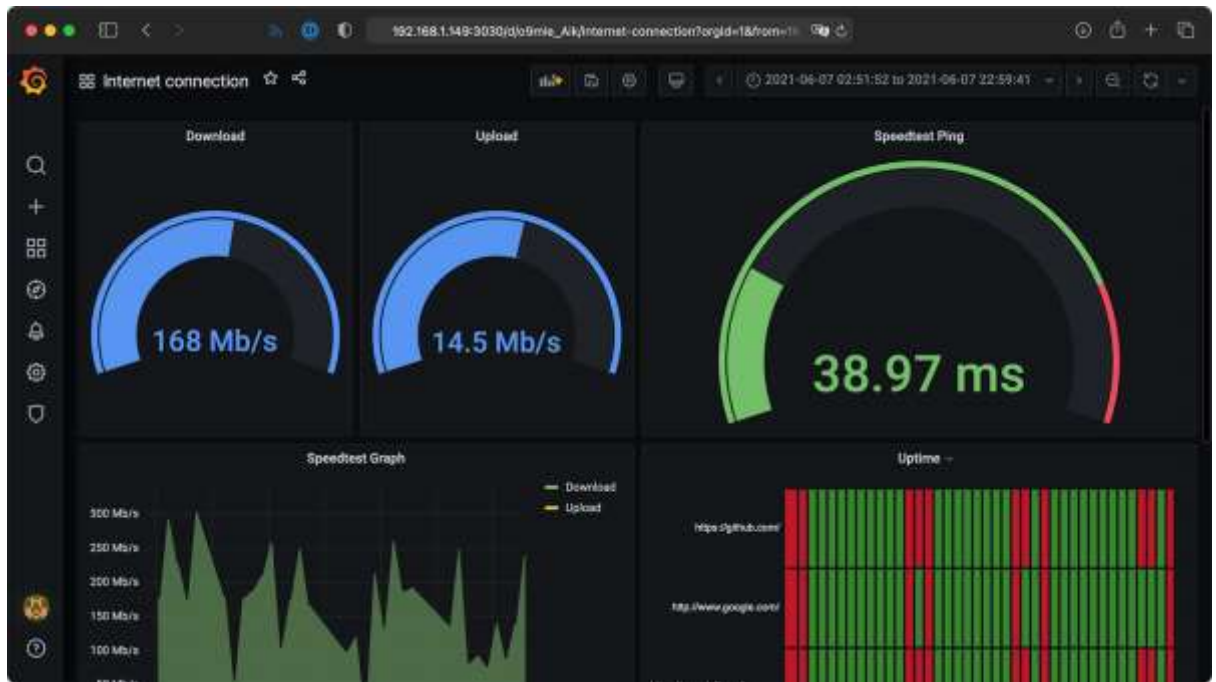


Рис. 2.7 Тестування швидкості

В середньому за останні кілька місяців я отримував близько 150 Мбіт/с вниз і 20 Мбіт/с вгору з затримкою 40 мс.

Пікова швидкість завантаження може становити трохи більше 300 Мбіт/с, а пікова завантаження - близько 30 Мбіт/с, і, за словами Ілона, час пінгу може колись знизитися до 20 мілісекунд, але мене більше цікавить те, що я можу виміряти прямо зараз.

Отже, як Starlink справляється з моїм кабельним з'єднанням?

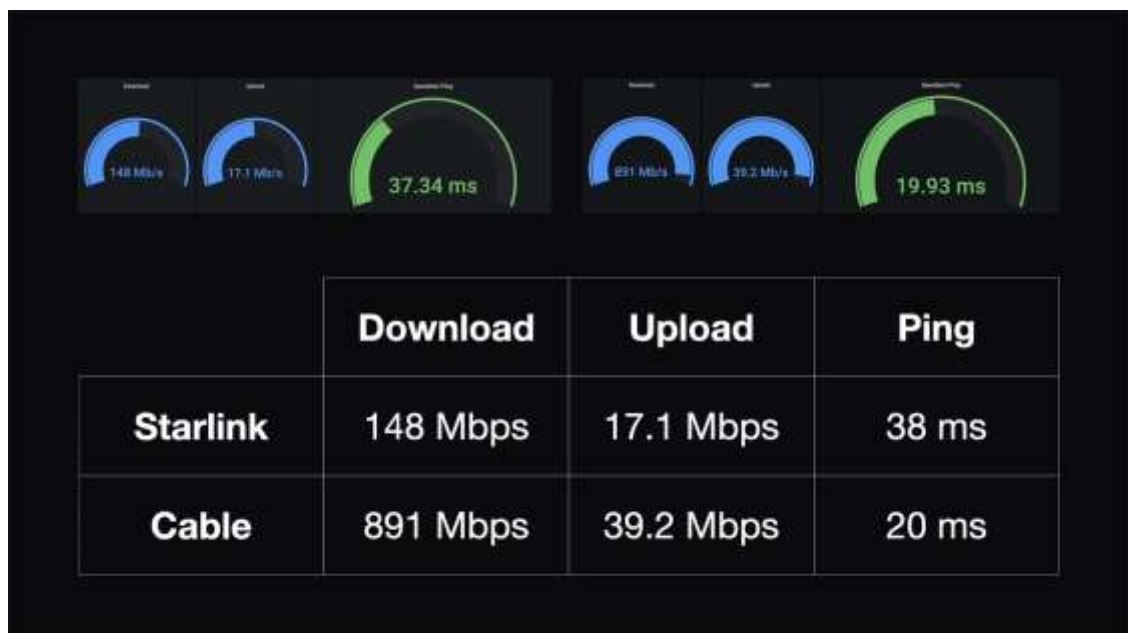


Рис. 2.8 Порівняння Starlink та оптоволоконно інтернету

(Наведені вище результати є середніми за цілий 7-денний період.)

Це нечесна боротьба, оскільки Starlink не може конкурувати з міським кабельним інтернетом, але з іншого боку, я плачу в 1,5 рази більше за кабельний інтернет, і хоча він дає мені набагато швидше завантаження, він лише трохи випереджає його за швидкістю вивантаження, з точки зору співвідношення вивантаження:завантаження.

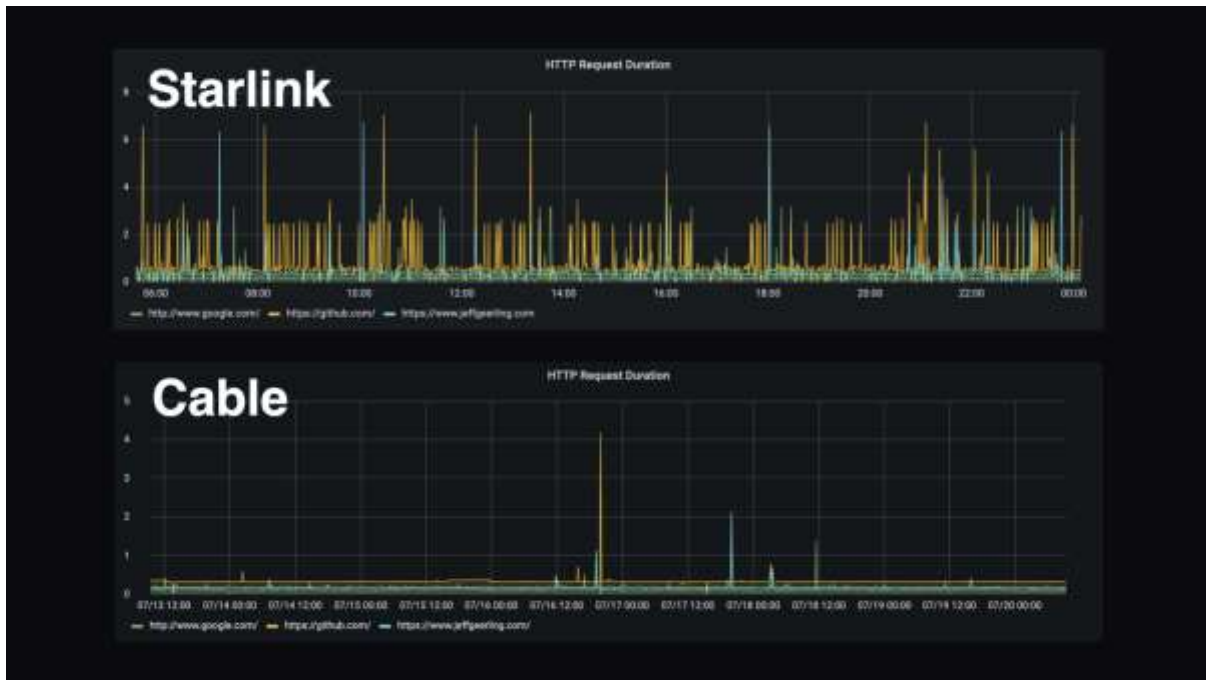


Рис. 2.9 Вимірювання затримки

Найкращим показником того, як це відчувається, є джиттер, і, використовуючи графік "Тривалість запиту", легко побачити, що у Starlink більше джиттеру, або варіацій у часі відгуку. Але все не так погано, як я думав.

Якби я був геймером-змагальником або намагався транслявати щось важливе в прямому ефірі, я б поки що не покладався на Starlink. Я провів повну трансляцію на моєму нестабільному, схильному до перешкод з'єднанні... і це спрацювало! Але були деякі прогалини під час обривів і моменти, коли YouTube знижував бітрейт.

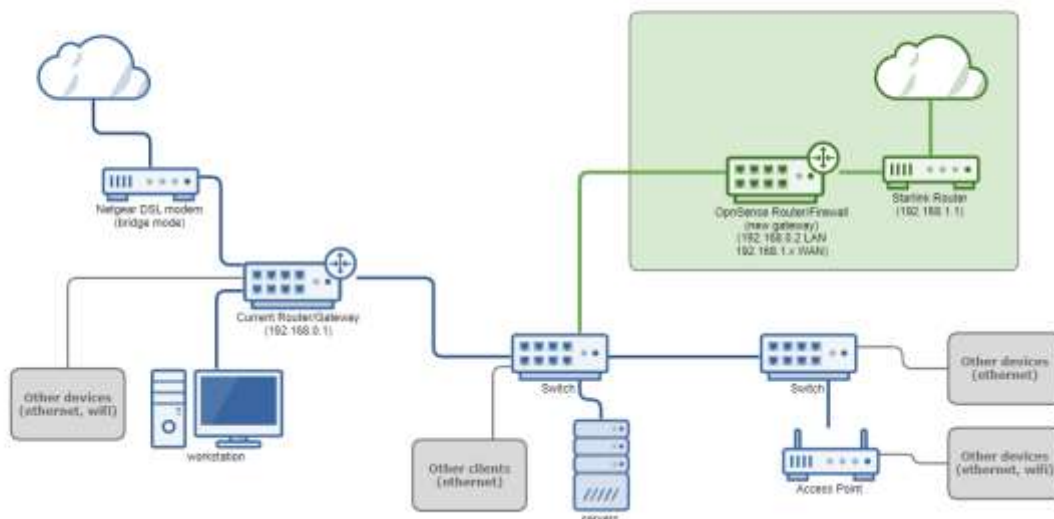


Рис. 2.10 Конструкція мережі

Тимчасове налаштування з 2 шлюзами в локальній мережі та роутером Starlink

У мене була ускладнена мережа з великою кількістю комутаторів і 25+ пристроїв, підключених до мого поганого DSL-з'єднання, тому я не хотів нічого чіпати поки Dishy не був належним чином встановлений і у мене не з'явився кращий план.

Після початкового встановлення та перевірки Starlink WiFi, я встановив Ethernet-з'єднання з місцем, де зараз знаходиться роутер Starlink. Не чіпаючи налаштування Starlink, я підключив нову коробку OpnSense, яку я створив (*), до порту AUX роутера Starlink, що підключається до порту WAN OpnSense (який отримує адресу 192.168.1.x від DHCP) . Потім LAN-порт OpnSense підключається до моєї існуючої мережі, і я можу (вручну) вибрати шлюз для своїх пристроїв, щоб вибрати, чи буде "Вихід" через мою DSL-лінію (шлюз 192.168.0.1) або через OpnSense (192.168.0.2).

Одна з проблем, з якою я зіткнувся, коли вперше встановив OpnSense (до появи Dishy), полягала в тому, що я налаштував LAN-шлюз на 192.168.0.1 для встановлення оновлень (WAN-порт OpnSense не був зайнятий). Після того, як я підключив Dishy до OpnSense, я забув про цей додатковий шлюз, і все просто не

працювало. Відключення цього додаткового шлюзу локальної мережі негайно все виправило, я був задоволений.

Я планую попрацювати з кількома пристроями, що виходять через Dishy, і подивитися, що з цього вийде. Наразі обидва інтернет-з'єднання працюють, і я також можу підключатися до Starlink WiFi незалежно і користуватися ним так, ніби решти моєї мережі там немає.

Єдине зауваження полягає в тому, що хоча я все ще можу зайти на 192.168.100.1 через мій шлюз OpnSense з моєї локальної мережі, сторінка показує мені лише "Хороше з'єднання" і "Запустити тест швидкості", але жодна з інших опцій не ввімкнена.

2.5 Огляд роутера

Новий дизайн поєднує в собі апаратне забезпечення маршрутизатора і блок живлення з фірмовим роз'ємом Dishy.

Вбудованого порту Ethernet немає, що не є найкращим рішенням. Користувачі повинні використовувати зовнішній Ethernet-адаптер. Я зробив детальний огляд і аналіз цього адаптера.

Передня панель роутера виготовлена зі скла і приклеєна до корпусу. Складається враження, що маршрутизатор призначений для використання на відкритому повітрі. Роз'єми Dishy і живлення на нижній панелі також є вологозахищеними. Він має клас захисту IP54.

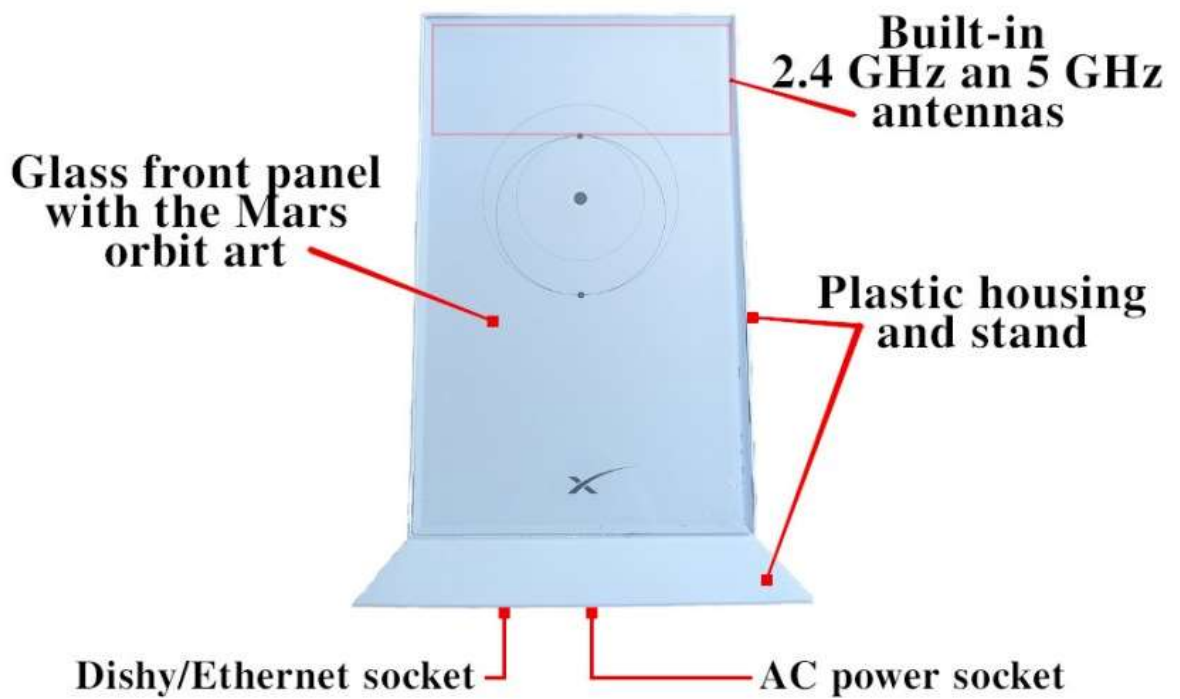


Рис.2.11 Будова роутера

Також на лицьовій стороні є малюнок еліпса переходу з Землі на Марс. Повідомляється, що зняти передню скляну панель досить складно.

2.6 Блок живлення

Під передньою панеллю знаходиться материнська плата, блок живлення і радіатор. Ось внутрішня частина роутера зі знятою материнською платою.



Рис. 2.12 Внутрішня будова

Блок живлення виготовлений компанією Chicony і видає 50 В 2,4 А для Dishy і 12 В 1,25 А для самого роутера.

Масивна металева пластина охолоджує процесор роутера та радіо.

2.7 Материнська плата

Всі компоненти роутера розміщені на одній стороні друкованої плати.

Друкована плата має дивну форму, щоб поміститися всередині корпусу з блоком живлення. Я не впевнений, що це позитивно впливає на виробничі витрати і кількість споживання.

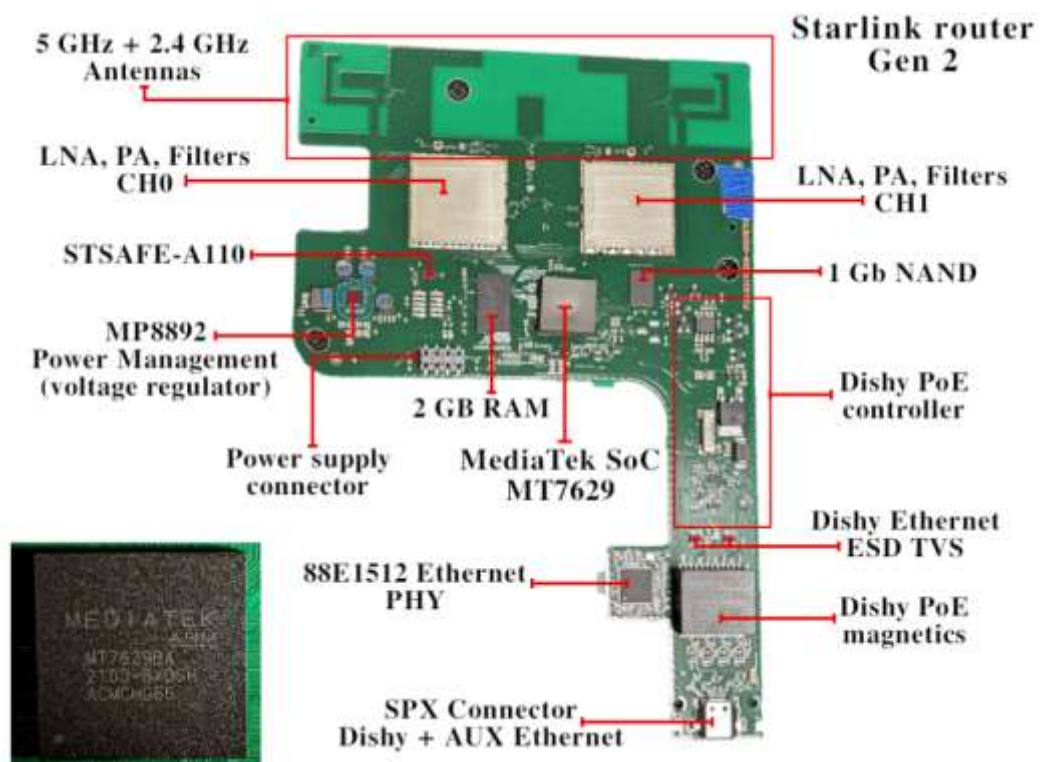


Рис. 2.13 Розміщення схем

Але кількість компонентів було значно зменшено порівняно з маршрутизатором першого покоління. Загальна вартість BOM, безумовно, нижча.

MT7629 SoC

Серцем нової системи є SoC MediaTek MT7629.

Детальну інформацію про цей чіп важко знайти, але ми можемо отримати деякі відомості з репозиторію джерел і Google.

MT7629 - це двоядерний ARM Cortex-A7 + MT7615-сумісний 3-ланцюговий радіоприймач. Плюс вбудований 1G Ethernet PHY і два інтерфейси SGMII для зовнішніх PHY/комутаторів.

Спрощена схема SoC:

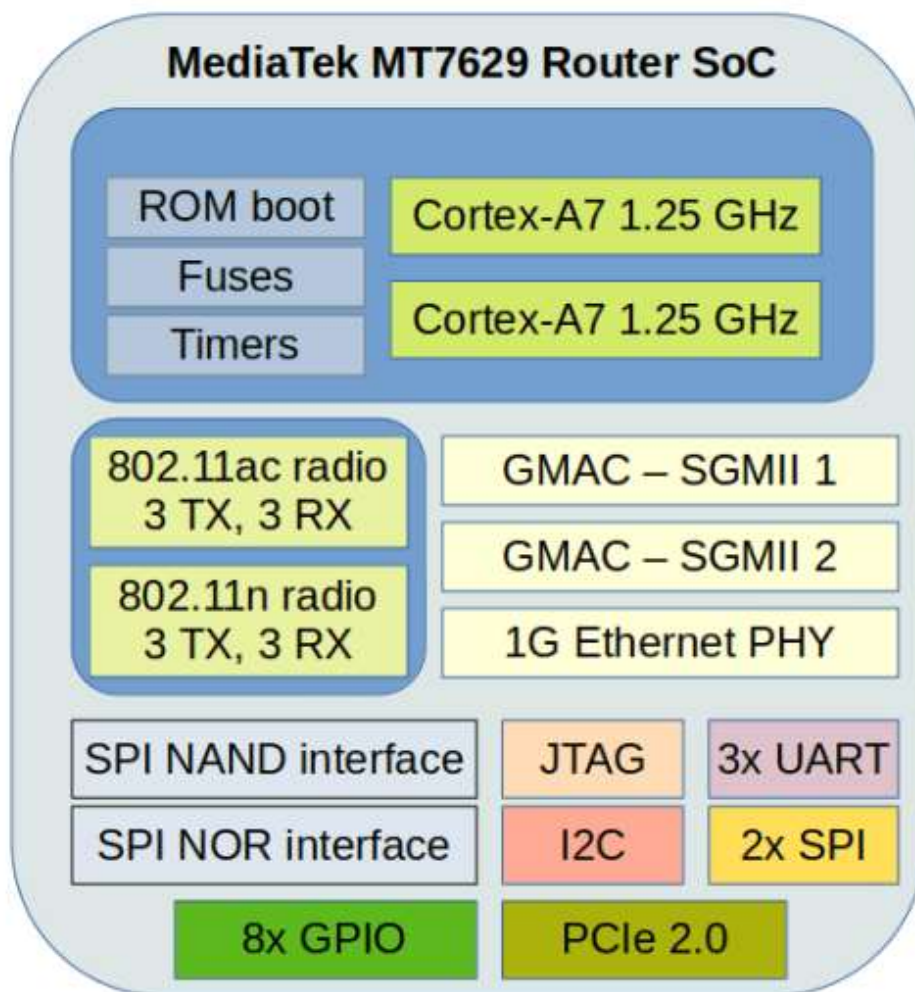


Рис. 2.14 Схема SoC

Радіочастотна передня частина

Погляньмо на конструкцію антени та радіочастотну передню частину.

Невідомо, що саме знаходиться під цими радіочастотними екранами. Але оскільки SoC містить повністю інтегровану WLAN, всередині банок немає нічого, крім підсилювачів потужності, малозумних підсилювачів, фільтрів і перемикачів.

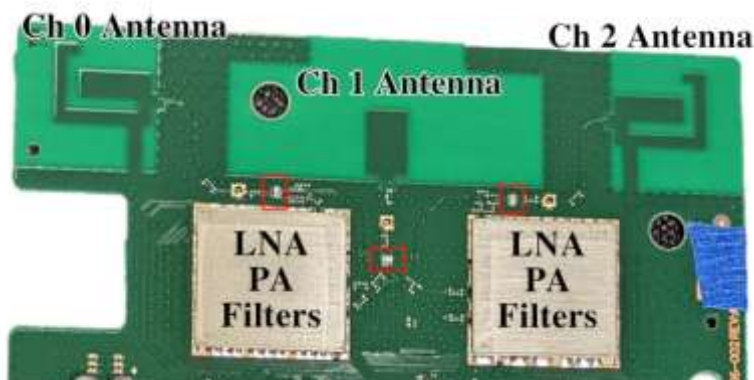


Рис. 2.15 Будова антен

Конструкція антен Ch0 і Ch2 була запозичена з оригінального роутера.

Але це MIMO-радіо 3×3 (3 TX, 3 RX). Тому у нас є третя антена CH1. Це проста патч-антена.

Нове розташування антени допомагає створити просторову різноманітність для оптимальної роботи MIMO. Це, безумовно, краще, ніж було в оригінальному роутері.

Позначені квадратні елементи - це радіочастотні диплексори, такі як цей.

Ці елементи дозволяють підключати лінії 2,4 ГГц і 5 ГГц до однієї антени.

Це типова схема дводіапазонного WiFi-роутера.

Три однакових канали:

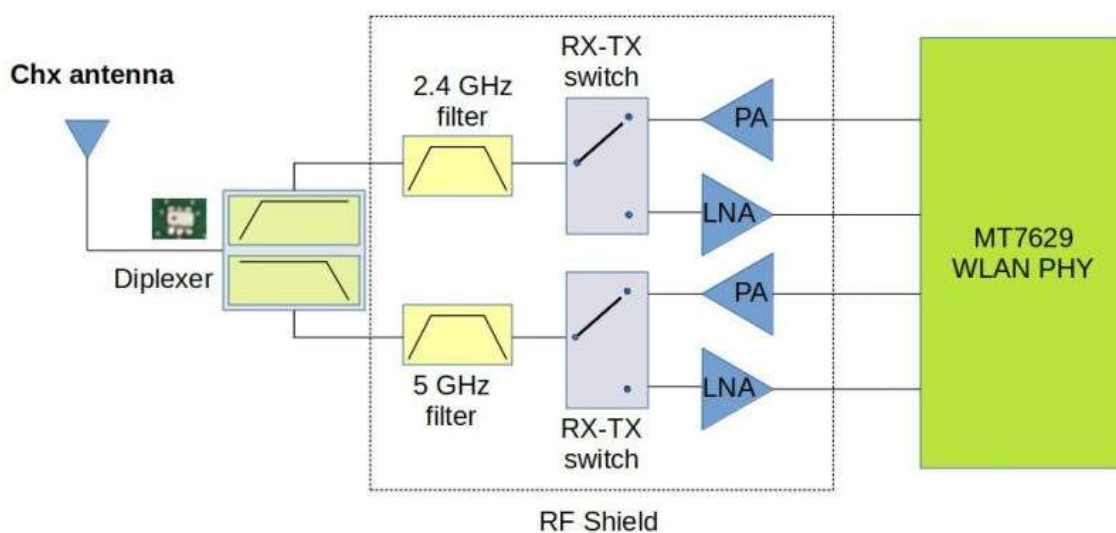


Рис. 2.16 Чіпи на схемі антени

Цікаво, що компоненти CH1 2,4 ГГц розташовані під першим екраном, а 5 ГГц - під другим.

WiFi характеристики системи:

2,4 ГГц 802.11n 3×3 MIMO

Смуга пропускання каналу, МГц 20, 40

5 ГГц 802.11ac 3×3 MU-MIMO

Смуга пропускання каналу, МГц 20, 40, 80

Максимальна кількість клієнтів (802.11n + 802.11ac) 255

Зверніть увагу, що це лише розмір MAC-таблиці чіпа. Це означає, що ця точка доступу може одночасно обслуговувати до 255 підключених клієнтів. Але це не означає, що всі 255 клієнтів будуть працювати ефективно. Звичайно, це не так.

Потужність і чутливість передавача

Вбудований в SoC інтегрований динамік може видавати до 23,5 дБм на частоті 5 ГГц.

Чутливість RX становить близько -94 дБ.

Невідомо, що знаходиться під цими радіочастотними банками, тому ми не знаємо реальних характеристик радіочастотного фронту. Я очікую вищу вихідну потужність близько 25-27 дБм і подібну (або меншу) чутливість RX близько -94 -90 дБ.

Загалом, це хороша і сучасна точка доступу WiFi.

Ethernet

Є дві лінії Ethernet. Перша - WAN, і вона використовується для з'єднання з Dishy. Інтерфейс WAN використовує вбудований в SoC Ethernet PHY. Єдиними зовнішніми компонентами є потужні магніти і конденсатори PoE.

Додатковий зовнішній PHY 88E1512 підтримує інтерфейс LAN. Це PHY серії Alaska від Marvell. На платі немає магнітів Ethernet.

Цей PHY керує трансформатором всередині зовнішнього адаптера Ethernet.

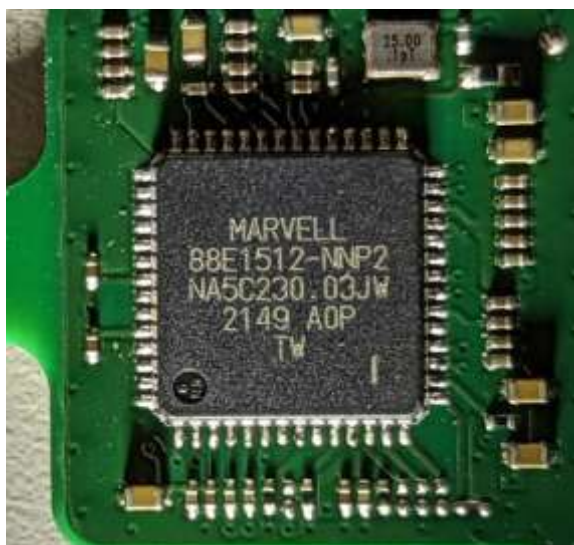


Рис. 2.17 Чіп ethernet входу

Пристрій підключається до однієї з ліній SGMII SoC.

Контролер Dishy PoE



Рис. 2.18 Контролер Dishy PoE

Тут ми бачимо MOSFET для вмикання та вимикання живлення Dishy.

Маленька QFN мікросхема повинна бути контролером PoE.

Живлення 50 В і 2 А означає, що Starlink використовує 4-парний 802.3bt PoE.

Це останній стандарт PoE.

Я не впевнений, що SpaceX на 100% дотримується цього стандарту.

На жаль, я не зміг знайти жодної інформації про контролер PoE PSE. Я підозрюю, що це може бути щось з лінійки LTC. Можливо, це навіть LTPoE++.

Великий SMD-резистор 0,05 Ом - це, безумовно, струмовий шунт. Це означає, що операційний підсилювач - це схема вимірювання струму.

По суті, операційний підсилювач вимірює різницю напруг на клеммах шунта. Через високий імпеданс струм на вхід операційного підсилювача не надходить.

Існує лише різниця напруг.

Зазвичай струмовий шунт підключають безпосередньо до PoE-контролера. Але в даному випадку чомусь вирішили використовувати зовнішній підсилювач.

Можливо, це вимоги мікросхеми PoE-контролера.

Цікаво відзначити, що вивід Vss операційного підсилювача не з'єднаний з землею безпосередньо. Додатковий ланцюг, який "піднімає" землю приблизно на 0,5 В, дозволяє підсилювачу вимірювати нижчі значення, аж до 0 В.

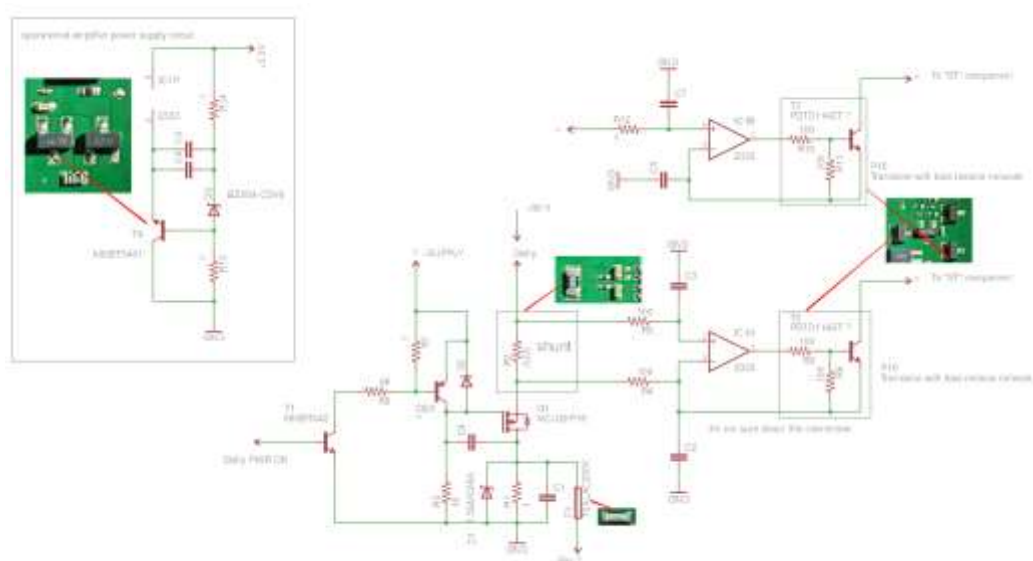


Рис. 2.19 Схема конструкції

Q1 MOSFET комутує 50В живлення для Dishy. Це схема драйвера на двох транзисторах. Завжди важливо правильно керувати силовим MOSFET. "Dishy PWR ON" повинен бути підключений до PoE-контролера, тому 50 В подається тільки тоді, коли контролер виявляє підключений PD-контролер з іншого боку (Dishy).

Перший канал операційного підсилювача вимірює струм Dishy на шунті 0,05 Ом. Виходи обох каналів підключені до транзисторів. Ця схема схожа на емітерний повторювач. .

Нарешті, цю схему слід підключити до PoE-контролера. Це апаратний захист від короткого замикання та інших проблем з Dishy.

Звичайно, деякі лінії можуть бути підключені до SoC, щоб контролювати напругу/струм за допомогою програмного забезпечення.

STSAFE

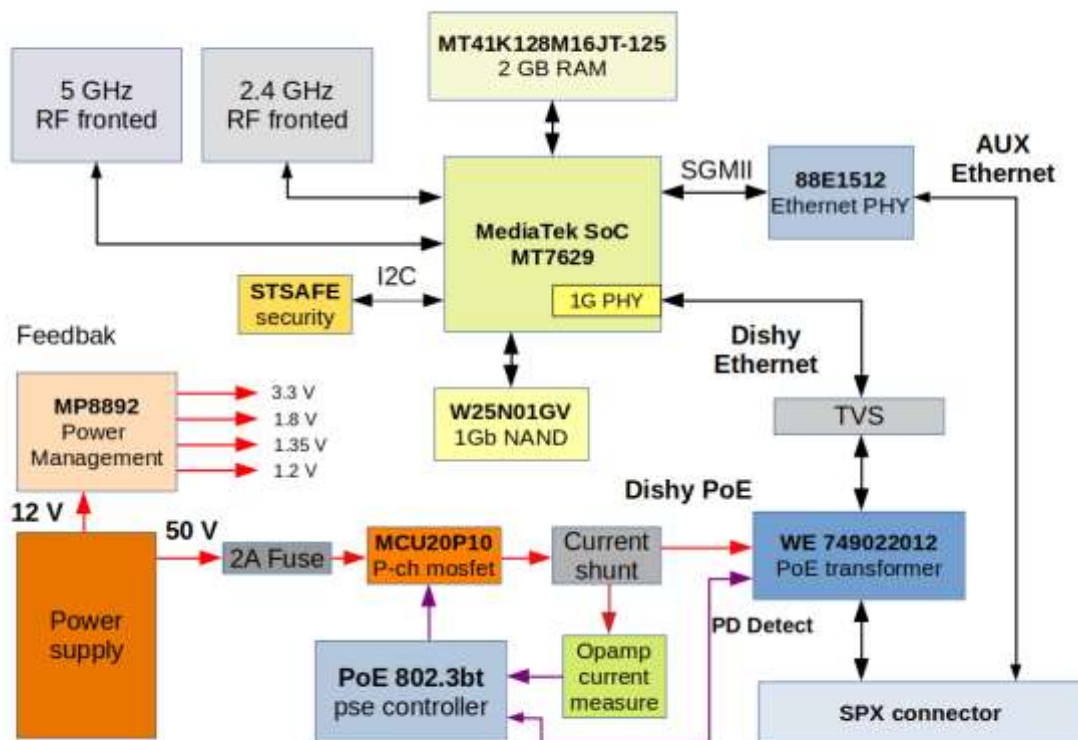


Рис. 2.20 Мікрочіпи на схемі

2.8 Прошивка

Нова прошивка базується на LEDE (OpenWrt) 17.01 та MediaTek SDK. Команда SpaceX стверджує, що вони намагаються залишатися максимально близькими до вихідного коду OpenWrt.

Репозиторій GitHub містить майже все, окрім пропрієтарних драйверів MediaTek та деяких інструментів. Крім того, частина коду SpaceX залишається закритою, але двійкові файли там є.

Крім того, цього разу у нас є Docker і деякі додаткові скрипти.

Але це не допомагає зібрати репозиторій. Деякі файли OpenWrt відсутні. Крім того, є проблема з підписом завантажувача.

Роутер Starlink використовує безпечне завантаження, тому для збірки з двійковими файлами завантажувача потрібен сертифікат. Звісно, в репозиторії немає сертифікату SpaceX. Але система збірки очікує цей файл. Це порушує процес збірки.

Я вирішив ввести додатковий прапор BUILD_BOOTLOADERS, щоб вирішити цю проблему. Цей прапорець вимикає компіляцію завантажувачів.

Обидві проблеми вирішуються в моїх коммітах тут і там.

Система завантажується з однієї мікросхеми NAND. Завантажувач першого етапу записано у ПЗП SoC.

NAND містить завантажувач другого етапу, u-boot, дві копії ядра Linux і дві копії операційної системи. Плюс кілька додаткових розділів.

Partition name	Start offset	Length
BL2	0x00000	0x0080000
InactiveFIP	0x80000	0x0200000
ActiveFIP	0x280000	0x0200000
Config	0x480000	0x0080000
Factory	0x500000	0x0200000
InactiveKernel	0x2000000	0x2000000
ActiveKernel	0x4000000	0x2000000
Storage	0x6000000	0x1800000



Рис. 2.21 Командний рядок Starlink

wifi_control

Як і в попередньому маршрутизаторі, всією роботою маршрутизатора керує власний демон `wifi_control`, написаний на мові Go.

Конфігурація драйвера WiFi зберігається у звичайному текстовому форматі. Формат файлу типовий для платформи MediaTek.

Я не впевнений, що цього разу використовується двійкова конфігурація `wifi_control`, але, ймовірно, так.

```
pi@raspberrypi:~$ sudo ./wifi_control.stripped
INFO[2022-03-25T00:07:31Z] Hardware version: v1
INFO[2022-03-25T00:07:31Z] Software version: 2021.19.0.mr2666-prod
INFO[2022-03-25T00:07:32Z] Device ID: Router-010000000000000000
INFO[2022-03-25T00:07:32Z] Manufactured SKU:
ERROR[2022-03-25T00:07:32Z] Error reading WITL whitelist (safely assuming not WITL): open /etc/spacex/witl_whitelist: no such file or directory
INFO[2022-03-25T00:07:32Z] Reboot reason: FORGOTTEN
ERROR[2022-03-25T00:07:33Z] Error getting new SHA of power table file: open /etc/spacex/power_tables/US_UK_JP/boarddata: no such file or directory
ERROR[2022-03-25T00:07:33Z] Error getting new SHA of power table file: open /etc/spacex/power_tables/US_UK_JP/boarddata: no such file or directory
ERROR[2022-03-25T00:07:33Z] Error getting new SHA of power table file: open /etc/spacex/power_tables/US_UK_JP/boarddata: no such file or directory
WARN[2022-03-25T00:07:33Z] Error reading early init log file: open /tmp/early_init.log: no such file or directory
WARN[2022-03-25T00:07:33Z] Error removing early init log file: remove /tmp/early_init.log: no such file or directory
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Telemetry flush rate is 5m0s
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'speedtest.download' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'speedtest.upload' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'speedtest.tcp.1.download' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'speedtest.tcp.1.upload' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'speedtest.tcp.8.download' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'speedtest.tcp.8.upload' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'speedtest.tcp.64.download' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'speedtest.tcp.64.upload' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'speedtest.errors' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'boot' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'bootcount' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'config' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'connection' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'proc' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'client speedtest' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'ping' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'net' forever.
INFO[2022-03-25T00:07:33Z] Enabling telemetry flow 'clients' forever.
```

Рис. 2.22 Командний рядок на мові GO

wifi_control правильно визначає платформу першого покоління і намагається налаштувати систему IPQ401x.

Цікаво, що вся робота роутера контролюється одним файлом /tmp/enable_bypass_mode

Коли цей файл присутній, роутер переходить в обхідний режим: wifi_control не працює взагалі, а правила брандмауера очищені, окрім вихідного трафіку.

Також демон wifi_control запускає вбудований веб-сервер. Цей веб-сервер реалізовано на стандартній бібліотеці Go "HTML template".

Тут знаходяться всі файли HTML-шаблонів. JS код і CSS знаходяться в сусідньому каталозі.

Всі ці файли розміщені в OpenWrt squashfs по шляху /etc/www/templates/. Там можна знайти багато цікавого.

Наприклад, сторінку конфігурації маршрутизатора. Вона виглядає як сторінка заводських налаштувань/режиму обслуговування, яка недоступна для звичайних користувачів:

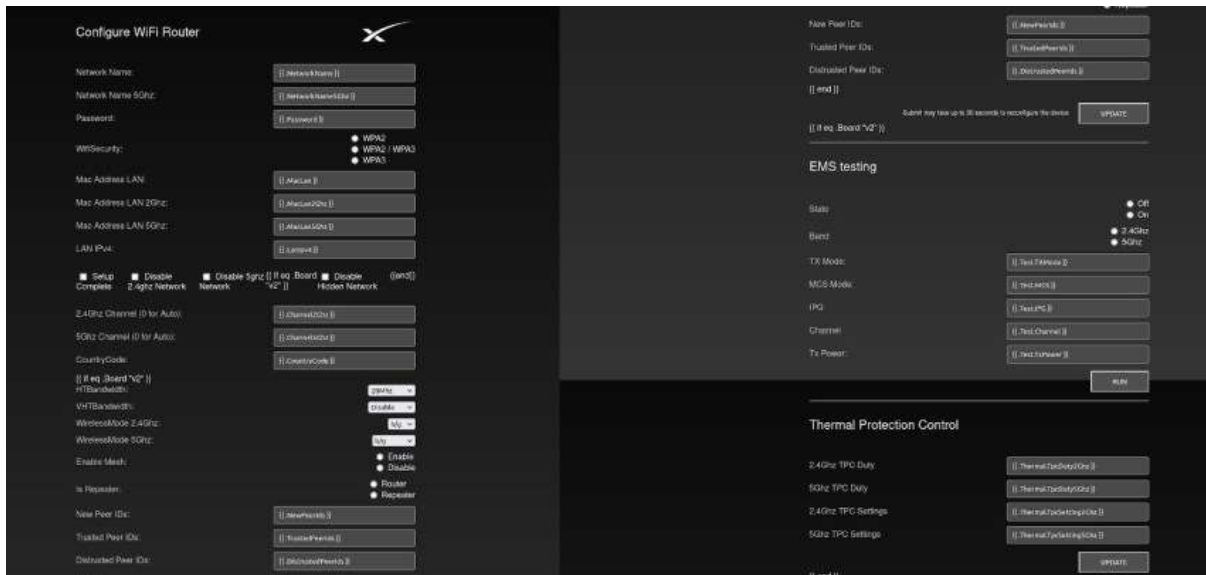


Рис. 2.23 Серверне меню

Ви можете бачити шаблони Go замість реальних даних.

Але найцікавіше - це сторінка з топологією сітки.

Схоже, що SpaseX впроваджує технологію WiFi mesh. Це означає, що вони збираються окремо продавати роутери або їх варіанти.

Думаю, це вже не є великим секретом, плюс все є у відкритому репозиторії. Ось чому я пишу про це.

Виглядає так, ніби вся сторінка - це просто Work In Progress. Звичайно, ця сторінка нічого не відображає, якщо відкрити її в браузері.

Нам потрібно надати дані, щоб щось побачити.

Я проаналізував JS-код і виявив, що сторінка очікує JSON у певному форматі для відображення топології IEEE 1905.

Висновок до розділу

Використання інжекторів PoE в контексті Starlink має багато переваг, таких як покращений зв'язок, гнучкість розгортання, спрощене управління, масштабованість і економічна ефективність. Ці переваги сприяють більш раціональному і надійному впровадженню мережі Starlink.

Для прийняття рішення про перехід на Starlink як основного провайдера використовуються метрики, зібрані за допомогою Telegraf на Raspberry Pi в мережі Starlink. Це дозволяє отримати необхідні дані, які допомагають утворити об'єктивну думку про ефективність Starlink.

Новий дизайн Starlink поєднує в собі апаратне забезпечення маршрутизатора і блок живлення з роз'ємом Dishy. Однак відсутність вбудованого порту Ethernet може бути недоліком, оскільки користувачам доведеться використовувати зовнішній Ethernet-адаптер. Передня панель роутера виготовлена зі скла і має вологозахист IP54, що підказує, що пристрій призначений для використання на відкритому повітрі.

Узагалі, з огляду на позитивні переваги інжекторів PoE, моніторинг за допомогою Telegraf і поточний розвиток Starlink можна зробити висновок, що мережа Starlink є перспективною і може бути ефективним варіантом для користувачів, які шукають надійний і швидкий Інтернет-зв'язок.

Розділ 3

Реалізація

3.1 Прототип

Starlink офіційно запустив свій рівень обслуговування будинків на колесах ще в травні 2022 року, але відсутність офіційних аксесуарів для будинків на колесах продовжує бентежити мене і багатьох моїх читачів. Найбільш затребуваним аксесуаром для Starlink RV є блок живлення на 12 В постійного струму. Наразі не існує готового рішення, навіть від сторонніх виробників.



Рис. 3.1 Блок живлення 12V

З невеликими змінами можете створити власний блок живлення постійного струму для Starlink. Його можна живити від існуючої електромережі на 12, 24 або 48 В. Якщо ви не хочете мати справу з інверторами і бажаєте живити Starlink безпосередньо від акумулятора.

У цій роботі я покажу вам, як побудувати джерело живлення 12 В постійного струму для Starlink. Спочатку я поясню, навіщо він вам взагалі потрібен. Потім я розповім про всі витратні матеріали, необхідні для цього проекту. Нарешті, я проведу вас через весь процес крок за кроком.

<i>Кафедра КСМ</i>				<i>НАУ 23 05 45 000 ПЗ</i>			
<i>Виконав</i>	<i>Зайцев М.Р.</i>			<i>Розробка блоку POE інжектора для системи Starlink</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Опанасенко В.М.</i>						
<i>Консульт.</i>							
<i>Нормоконт.</i>	<i>Журавель С.В.</i>						
<i>Зав.каф.</i>	<i>Жуков І.А.</i>						
					<i>123 КС-431Б</i>		

3.2 Постійний струм

Чому постійний струм?

Фургони, мікроавтобуси, наземні бурові установки і навіть автономні будиночки використовують акумулятори для отримання електроенергії. Ефективність надзвичайно важлива для максимізації кількості доступної енергії.

Маршрутизатор Starlink RV слугує джерелом живлення для тарілки. Він перетворює змінний струм від настінної вилки в придатний для використання постійний струм 48 В для тарілки.

Це чудово підходить для житлових приміщень, де ви підключені до електромережі і маєте доступ до змінного струму. Але з автономною акумуляторною системою вам потрібен інвертор, щоб отримати живлення змінного струму. Таким чином, ви будете переходити від постійного струму до змінного, а потім знову до постійного маршрутизаторі. Це додаткове перетворення на змінний струм створює проблеми з ефективністю та марнує дорогоцінну енергію

Ідеальне рішення для живлення терміналу Starlink Dishy у віддалених місцях. Розроблений спеціально для використання в автофургонах, каютах або автономних енергетичних системах, цей блок живлення дозволяє використовувати Dishy і маршрутизатор від акумуляторів, забезпечуючи надійний і стабільний зв'язок навіть у найвіддаленіших місцях.

Можливо підключити Starlink Dishy до електромережі 12/24 В постійного струму без втрат, які виникають при використанні інвертора змінного струму.

Вбудований 48-вольтовий підвищувальний перетворювач має пікову ефективність >95%, що дозволяє залишатися на зв'язку довше.

Унікальна функція подвійного PoE дозволяє жити маршрутизатор з підтримкою PoE одночасно від одного джерела постійного струму. Напругу живлення маршрутизатора можна вибрати за допомогою перемички між вхідною напругою для низьковольтних маршрутизаторів, які використовують пасивну інжекцію PoE, і 48 В для маршрутизаторів 802.3at/af. Напругу на порту

маршрутизатора також можна вимкнути, знявши перемичку для маршрутизаторів без підтримки PoE, які живляться незалежно.

Три незалежні сигнали дистанційного вимкнення дозволяють підключати однополюсні перемикачі для вибіркового вимкнення терміналу Dishy, маршрутизатора або DC-DC перетворювача для економії батарей.

Потрібна модифікація кабелів для квадратних Dishy. На кабелі повинен бути обтиснутий роз'єм RJ45.

Зручність підключення: блок живлення має знімні клемні колодки, що спрощує процес підключення.

Живлення

Незважаючи на те, що роз'єми є фірмовими, основною технологією, що з'єднує роутер і прямокутну тарілку, є гігабітний Ethernet з нестандартним PoE (помаранчева і зелена пари є позитивними, синя і коричнева пари - негативними). Сам кабель - звичайний багатожильний STP CAT5e, придатний для зовнішнього використання. Роутер працює як джерело живлення 48 В, 2 А PoE, тому на порту роутера доступно 96 Вт.

Опір

Опір - це основний обмежувальний фактор, з яким ми зіткнемося. Зі збільшенням довжини кабелю і додаванням додаткових роз'ємів/конекторів опір зростає. Якщо опір занадто високий, напруга на приставці буде (можливо, лише іноді) падати занадто низько, що призведе до помилкового перезавантаження або взагалі не завантажиться.

Точний максимальний опір кабелю в обох напрямках, при якому стабільність роботи Dishy погіршиться, не відразу зрозумілий, але 1,8 Ом в обох напрямках (~88 Вт, доступних для Dishy) здається стабільним, в той час як 2,5 Ом в обох напрямках - ледь-ледь нестабільним. Потрібно врахувати довжину всієї лінії якомога коротшою, а кількість роз'ємів якомога меншою. Безперервні кабелі майже завжди кращі за кабелі зі з'єднувачами.

Для зовнішньої прокладки використовувати кабель, призначений для використання на відкритому повітрі. Потрібно використовувати кабель

CAT6/CAT6A 23AWG (або більшого перерізу), який забезпечить питомий опір близько 0,03 Ом/метр при безперервному прокладанні.

Оригінальний кабель є лише 24AWG, тому якщо ми використовуємо кабель 23AWG, то чим меншу довжину ми використовуємо від оригінального кабелю, тим краще. По розрахункам виходить, що кожен з'єднувач вносить ~0,02-0,1 Ом в опір в обох напрямках. Потрібно уникати непотрібних використання комутаційних панелей, вони вводять додаткові роз'єми і збільшують опір.

150 футів - це, швидше за все, найбільша відстань, яку ми можемо отримати, не змінюючи свого підходу (наприклад, розділивши живлення на дроти більшого перерізу).

Заземлення

При тривалому використанні належне заземлення та захист від перенапруги стають все більш важливими. Dishy повинен бути заземлений певним чином. У немодифікованому оригінальному кабелі заземлення йде від роутера. Оскільки ми перерізаємо цей кабель, нам потрібно переконатися, що ми забезпечимо це заземлення. Принаймні перше закінчення RJ45 з боку тарілки має бути заземленим штекером RJ45.

Використовуємо високоякісний, заземлений, сумісний з PoE мережевий фільтр для захисту від перенапруги на роз'ємі, найближчому до нашої схеми.

Якщо ми це зробимо на "сервісному вході" (там, де провід входить у наш будинок), то після цього нам не знадобиться екранований Ethernet-кабель, але ми можемо використати, щоб він був екранований, щоб зменшити радіочастотні перешкоди.

Якщо ми використовуємо екранований кабель після заземленого мережевого фільтра, переконаймося, що у нас немає безперервного заземлення між мережевим фільтром і маршрутизатором Starlink - це створить петлю заземлення, а ми цього не хочемо. Якщо є замикання на землю, частина струму перенапруги може пройти через наш екран!

Крім того, ми можемо відмовитися від мережевого фільтра і використовувати екрановані кабелі, роз'єми та вилки протягом усього процесу та забезпечити безперервність між маршрутизатором Starlink та dishy.

Я протестував PoE маршрутизатора StarLink за допомогою тестера NF-488 PoE. Я вставив тестер в кабель Ethernet Dongle; це був просто найшвидший спосіб зробити це. Я взяв потужний тесак, розрізав шнур Ethernet Dongle навпіл, пришив два екранованих роз'єми Cat5e на відкритих кінцях і вставив тестер між ними. У роз'ємах Cat5e сині/зелені пари поміняні місцями, тому контакти 4,5 поміняні місцями з контактами 3,6.

Коли це зроблено, NF-488 правильно розпізнає маршрутизатор StarLink як такий, що забезпечує "4-парне" PoE, і повідомляє напругу і "потужність", яким я вірю.

Заявлена потужність варіюється від 20 Вт до 66 Вт. Я не знаю періоду усереднення, адже це можуть бути миттєві значення, але вони постійно знаходяться в цьому діапазоні, а напруга змінюється пропорційно; практично пік від 48 В до 47 В.

При використанні в якості тестера для PSE маршрутизатора, тобто з відключеною тарілкою, NF-488 не може ідентифікувати PSE. У підсумку він повідомляє, що вона нестандартна. Під час цих тестів маршрутизатор досягає максимуму при 2,8 В; тобто при відключеній тарілці він не подає живлення, що свідчить про те, що це активний PSE. Можливо, це 802.3bt.

Струм 14А, як тільки запускається... Це викликало занепокоєння, тому я скористався швидким режимом min-max на Fluke 189, щоб перевірити пусковий струм; насправді він становив 6А!

Проблема полягала в тому, що я вмикав/вимикав живлення, потягнувши за роз'єм на бочці постійного струму (48 В). Це викликає сильний кидок напруги. Fluke робить швидкі міні-максимальні вибірки за час близько 250 мкс, але все одно такий струм може спричинити іскріння і, можливо, пошкодити щось. Магніти антени, очевидно, є якимось спеціальним пристроєм Würth Elektronik 4PPoE++; вони не

вказують номер деталі, але інші магніти цієї серії можуть витримувати до 1500 мА на пару (на центральний відведення); отже, це живлення 3А/150 Вт. Все одно 6А - це занадто багато.

Я змінив свою методику на вмикання/вимикання з боку мережі змінного струму; витягнув вилку з БЖ. Це призводить до м'якого старту; швидкий min-max не реєструє стрибків напруги. Початковий пусковий струм становить близько 55 мА протягом перших 5 секунд, потім він підскакує до 150 мА протягом наступних 30 секунд, а потім переходить до максимумів, які спостерігаються одразу після цього; 1 А на 38 секунд, 1,5 А на 45 секунд. Довгострокове середнє значення становить 700 мА.

Це без попереднього нагрівання, але попереднє нагрівання, здається, не додало більше 0,25 А. Здається, все в межах номіналу PoE роутера; 2А при 48В..

Споживання електроенергії є одним з найважливіших факторів, якщо ви живете в будинку на колесах або поза мережею. Більшість електричних пристроїв працюють від змінного струму з випрямлячем всередині. Тому, якщо ви живете поза мережею, використовуючи сонячні батареї або акумулятори, вам доведеться використовувати інвертор для перетворення постійного струму в змінний. Потім випрямлячі перетворюють змінний струм назад у постійний у пристроях. Ці процеси неефективні, оскільки при перетворенні відбуваються втрати. Тож можна заощадити кілька ват, якщо запускати пристрої безпосередньо від джерела постійного струму.

3.3 Розробка

Я протестував вихід круглого блоку живлення і виявив наступне на кабелі Ethernet/RJ45:

Контакт 1, дані В+ = білий з помаранчевою смугою

Контакт 2, дані В- = помаранчевий

Контакт 3, дані А+ = білий із зеленою смужкою

Контакт 4, дані С+ = синій

Контакт 5, дані С- = білий з синьою смужкою

Контакт 6, дані А- = зелений

Контакт 7, дані D+ = білий з коричневою смужкою

Контакт 8, дані D- = коричневий

Позитивна напруга подається на сигнальні пари даних А і В.

Негативна - на сигнальні пари даних С і даних D.

Постійний струм подається на сигнали даних через імпульсний трансформатор. Я вирішив використати той самий імпульсний трансформатор, який Starlink використовував у блоці живлення round Dish, щоб забезпечити сумісність. Схема досить проста, але можуть виникнути ускладнення з сигналами через розташування друкованої плати. Моє тестування нижче показує, що мій дизайн працює і не "обмежує швидкість" передачі даних.

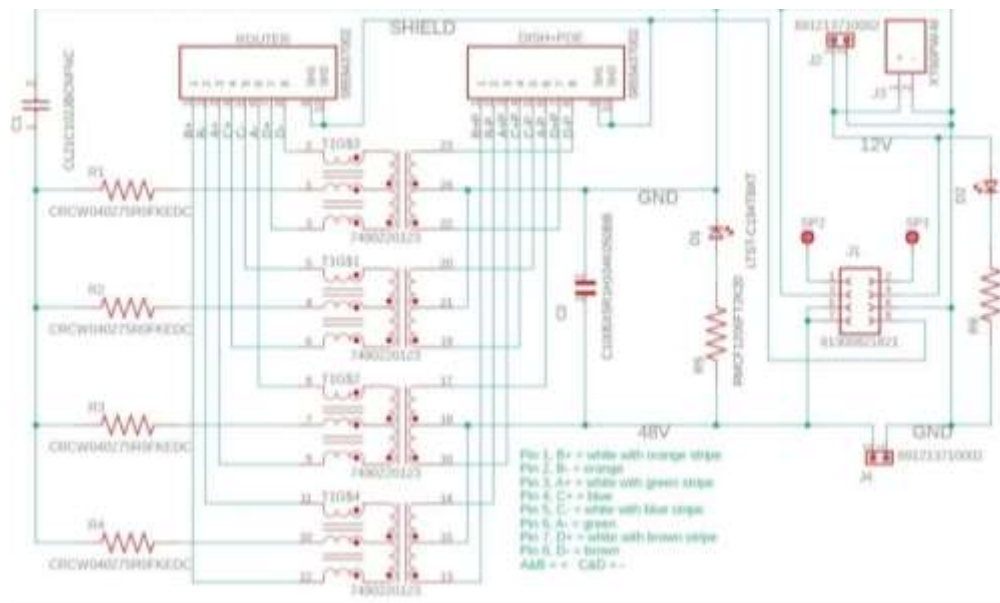


Рис. 3.2 Схема Starlink роутер



Рис. 3.3 Лицьова частина інжектора

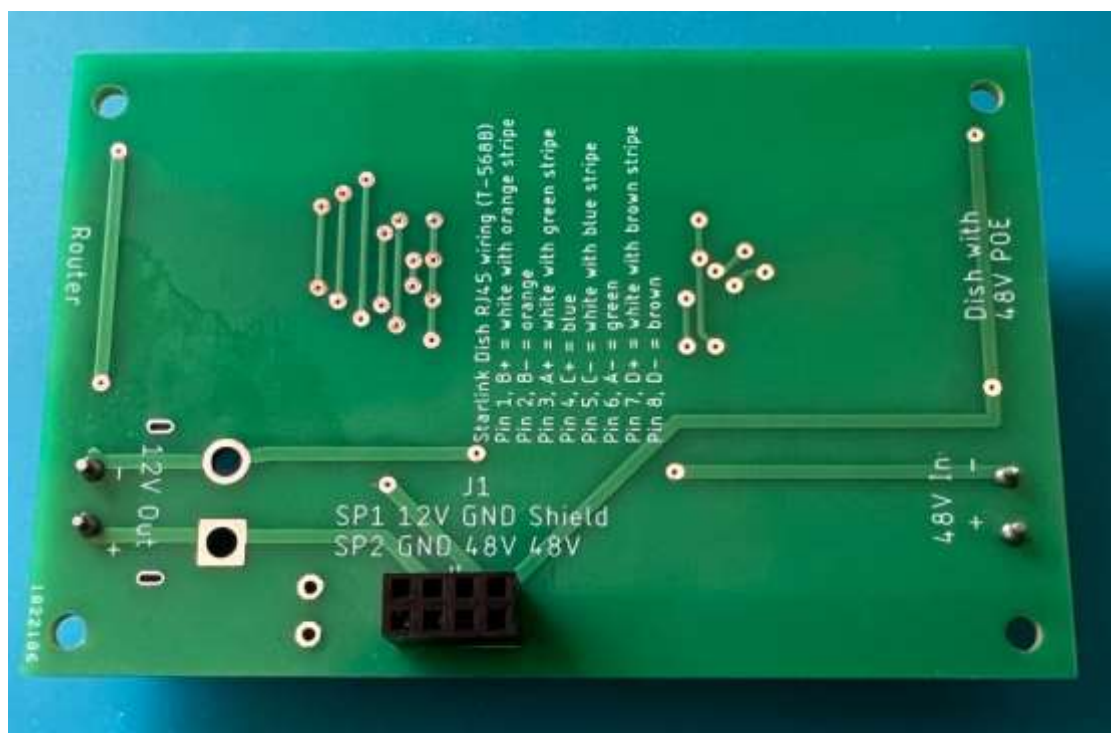


Рис. 3.4 Задня частина інжектора

Друкована плата спроектована таким чином, може підключатися до джерела живлення Starlink. Його також можна використовувати з іншим джерелом живлення 48 В, підключивши його це хороший спосіб зробити перетворення постійного струму.

Роз'єм J2/J3 є виходом 12 В від блоку живлення Starlink і може використовуватися для живлення маршрутизатора або комутатора.

Блок живлення Starlink має максимальний струм 12 В 1,25 А.

D1 світиться, коли на друкованій платі є 48 В від підключеного джерела живлення.

D2 світиться, коли на друкованій платі є 12 В від джерела живлення Starlink.

У мене був простий корпус, виготовлений за допомогою 3D-друку. Це не найкращий дизайн для тривалого використання, але для тестування він підійшов.

Специфікація прототипу друкованої плати

Прототип був побудований на друкованій платі FR-4 TG130 товщиною 1,6 мм з шарами міді вагою 1 унція і паяльними майданчиками HASL (Hot Air Solder Level - рівень пайки гарячим повітрям).

3.4 Тестування

Ось які тести я провів:

1. Я помістив інжектор POE без живлення між Ethernet-адаптером маршрутизатора Starlink і ноутбуком. Потім я провів кілька тестів на швидкість, щоб переконатися, що він працює правильно.
2. Я під'єднав плату POE-інжектора до блоку живлення прямокутної тарілки роутера Starlink (який я вийняв зі свого роутера). Я використовував розривний кабель, щоб перевірити напругу та проводку для виходу POE на стороні тарілки.
3. Я підключив Dish і маршрутизатор стороннього виробника до інжектора POE і провів ще кілька тестів швидкості і перевірів, що налагоджувальні дані "SlowEthernetSpeeds" були "помилковими".
4. Я відстежував температуру блоку живлення Starlink, щоб переконатися, що він не перегрівається, оскільки він не має радіатора.

3.5 Результати

Інжектор POE зміг досягти швидкості з'єднання 1000/1000 (Мбіт/с) - гігабітного з'єднання. Це був тест без живлення, підключений між ноутбуком і адаптером Ethernet на маршрутизаторі Starlink. Це показує, що POE-інжектор не повинен мати жодних обмежень швидкості передачі даних.

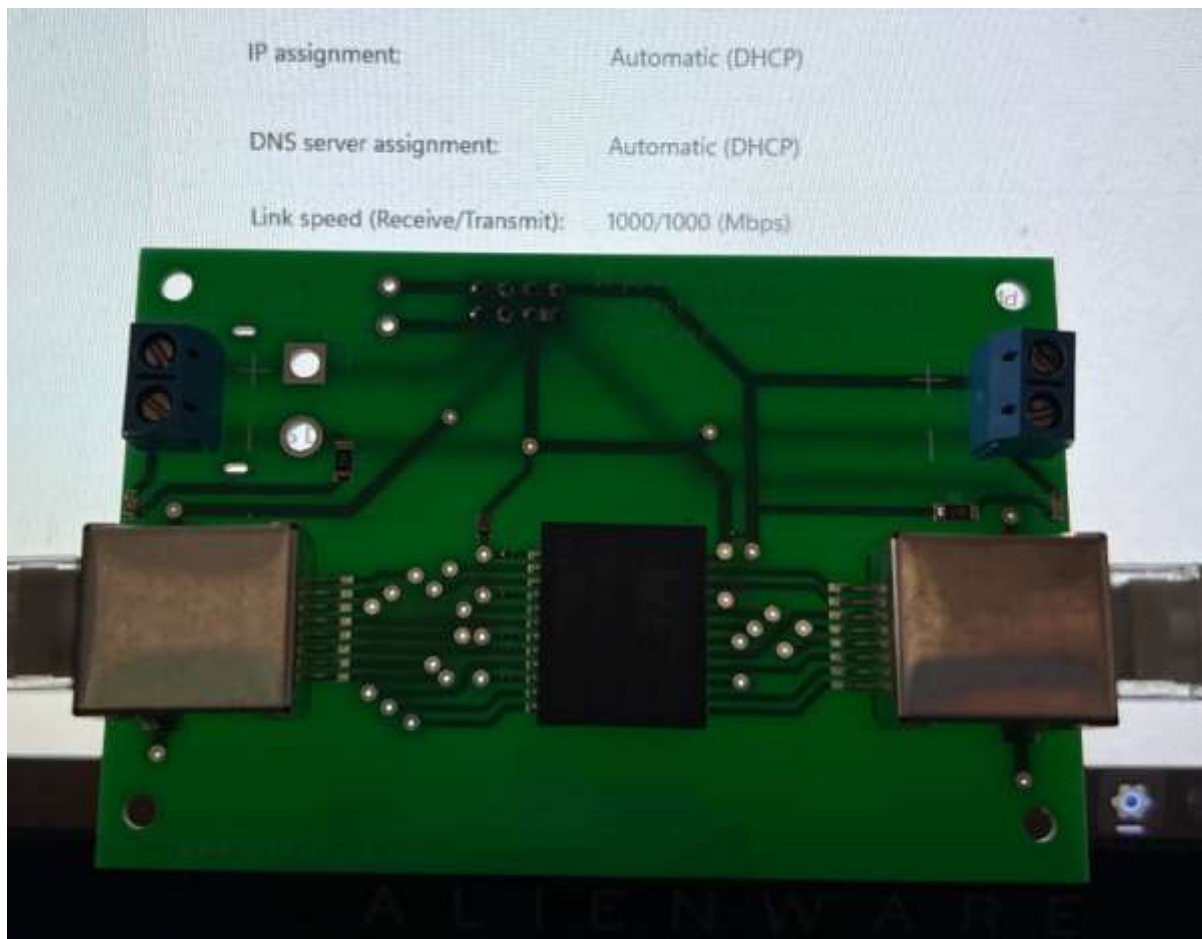


Рис. 3.5 Тестування

Я провів кілька тестів і регулярно досягав швидкості завантаження понад 100 Мбіт/с (це були тести швидкості Starlink, а не чистої швидкості Ethernet). Це було важливо, оскільки багато хто з тих, хто намагався використовувати POE-інжектори, не змогли досягти швидкості 100 Мбіт/с.

Мої найвищі швидкості були 163 Мбіт/с вниз і 16 Мбіт/с вгору.

Я працював з мережевим блоком живлення Starlink протягом 4 годин 20 хвилин без жодних радіаторів, але повітря могло циркулювати навколо блоку живлення.

Температура навколишнього середовища становила 28°C, а найгарячіша температура, яку я зафіксував на блоці живлення Starlink, була 60°C, що цілком відповідає специфікаціям компонента. Ці результати отримані для стандартної прямокутної тарілки з вимкненою функцією танення снігу.

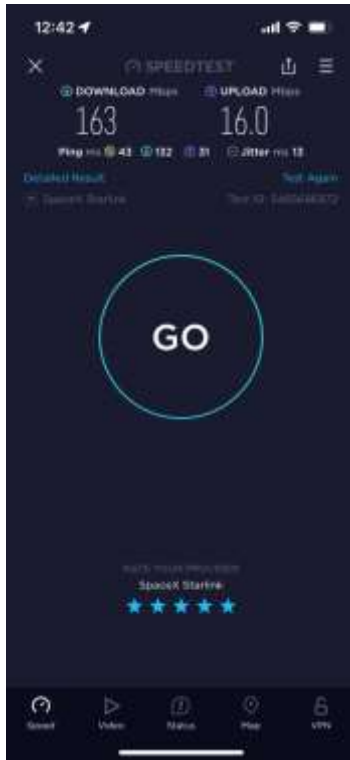


Рис. 3.6 Speed Test



Рис. 3.7 Знаходження в коробці

Ніжки корпусів розеток RJ45 не припаювалися в цьому процесі, оскільки корпус виконував роль великого радіатора. Ці ніжки були легко припаяні вручну. Далі я встановив компоненти з наскрізними отворами, штекер і гвинтові клєми.

Тарілка підключається до роз'єму RJ45 з позначкою "Dish with 48V POE" (Тарілка з живленням 48 В). Кабель тарілки повинен бути підключений до кольорового коду T-568B, він надрукований на зворотному боці друкованої плати для вашої зручності.

Наш роутер підключається до гнізда RJ45 з написом "Router".

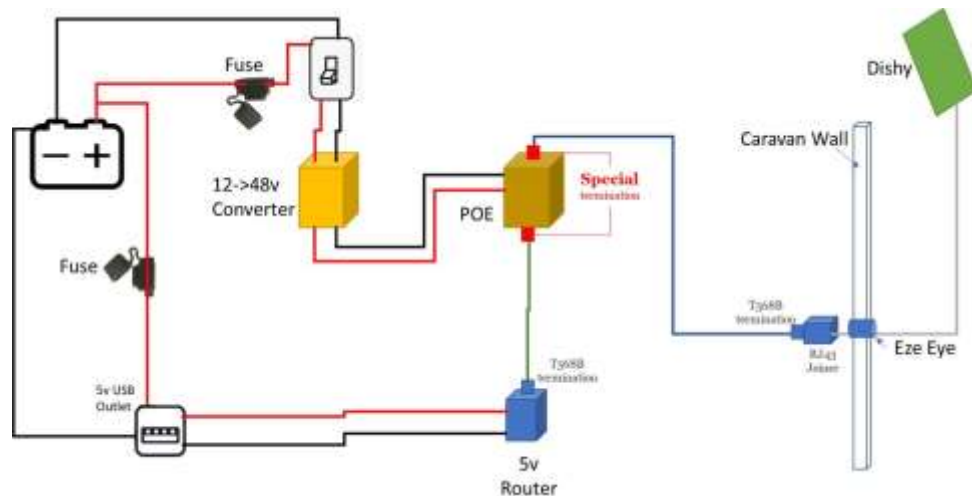


Рис. 3.8 Схема живлення

По-перше, я додав підвищувальний перетворювач 12v->48v.

Starlink використовує POE для живлення dishy. Це означає, що нам не потрібно прокласти шнур живлення до тарілки, що дуже добре! Він споживає досить багато енергії (щонайменше 48 В) і тому використовує всі чотири пари дротів в екранованому Ethernet-кабелі Cat6 (більшість малопотужних POE використовують лише дві пари).

Екранований кабель Cat6 - мінімум 24AWG (бажано 23 AWG)

Екрановані з'єднання RJ45

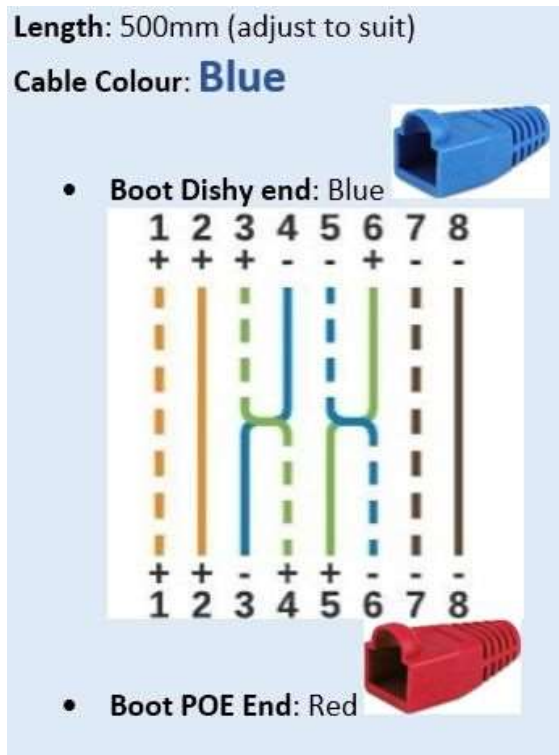


Рис. 3.9

Кабель 1 - POE-> з'єднання з тарілкою

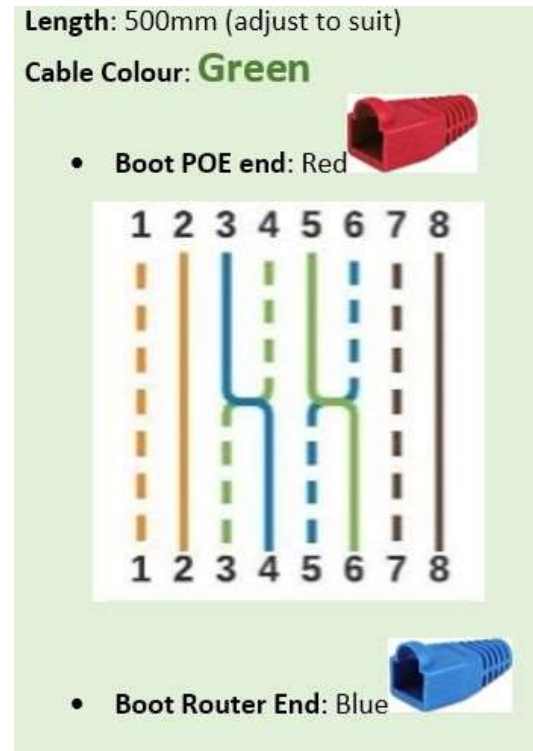


Рис 3.10

Кабель 2 - з'єднання POE->роутер

Маршрутизатор

Потім я підключаю спеціальний кабель від інжектора POE безпосередньо до порту WAN на моєму автономному міні-маршрутизаторі 5v / точці доступу Wi-Fi.

Ви можете використовувати маршрутизатор на свій вибір, але в моєму випадку я хотів малопотужний, тому я вибрав GL.iNet GL-AXT1800 (Slate AX) Portable Wi-Fi 6 Travel Router.

3.6 Особливості

- Пасивний інжектор PoE (Power Over Ethernet) тільки для Starlink Dishy
- Призначений для нестандартної розводки PoE від Starlink, контакти 1 2 3 6 для +VE і 4 5 7 8 для -VE, (не звичайний PoE++ IEEE 802.3bt).
- Підключай і працюй з круглими тарілками (без додаткової проводки, спеціальних кабелів, адаптерів або заміни пар PoE всередині/зовні).
- Сумісність з квадратними тарілками (потрібно відрізати роз'єм Starlink і використовувати екранований роз'єм Cat5ERJ45, що входить до комплекту).
- Усі компоненти розроблені та розраховані на мінімальну потужність 150 Вт і пройшли ретельні випробування з круглими та квадратними розетками (до 180 Вт).
- Спеціальний 150-ватний (4-х парний) полімагнітний модуль.
- Всі високоякісні фірмові компоненти, роз'єми TEConnectivity RJ45, роз'єм живлення TEConnectivity зі знімною клемною колодкою, Würth

Магніти Elektronik PoE, керамічні конденсатори Kyrocera AVX, напівпровідникові або резистивні опори Rohm та свинцева друкована плата Cu HASL вагою 4 унції червоного кольору.

Вимоги - кругла тарілка

- Мінімальний блок живлення 180 Вт 56 В постійного струму (рекомендований блок живлення 200 Вт), Dishy буде споживати 180 Вт під час завантаження, сканування неба, прошивка

Оновлення та в режимі танення снігу, занижена потужність блоку живлення може спричинити проблеми з продуктивністю.

- Для 12 В потрібне високоякісне, високопродуктивне джерело живлення 12 В > 56 В, навантаження Dishy буде швидко коливатися / стрибати, деякі перетворювачі 12 В > 56 В з силою струму 3-5 А

підвищувальні перетворювачі не працюватимуть без додаткових вихідних згладжувальних конденсаторів.

Вимоги - Square Dishy

- Мінімум 120 Вт 48 В постійного струму, Dishy буде споживати 100 Вт під час завантаження, сканування неба, оновлення прошивки та в режимі танення снігу.
- Для 12 В потрібне високоякісне, високопродуктивне джерело живлення 12 В > 48 В, навантаження Dishy буде швидко коливатися / стрибати, деякі підвищувальні перетворювачі не працюватимуть без додаткових зовнішніх конденсаторів з плавним регулюванням. (Рекомендований та протестований список БЖ буде опублікований на DishyPowa.com).
- Потрібне закінчення роз'єму RJ45 Ethernet, відріжте роз'єм Starlink з кінця кабелю Ethernet, використовуйте екранований роз'єм Cat5ES, призначений для Стоячого кабелю 24 AWG, закінчіть роз'єм відповідно до стандарту T568B.

3.7 Загальні технічні характеристики

- Вхід постійного струму: 48-56 В постійного струму, 3.2 А
- Робоча температура: від -40 до +85°C макс (рекомендована температура навколишнього середовища від 10°C до 40°C)
- Ethernet: Cat5ET568, тільки кабелі та роз'єми, гігабітний Ethernet
- Узгодження PoE: Немає - вихід PoE завжди увімкнений, сумісний лише зі Starlink Dishy, підключення виходу PoE до чогось іншого, крім Dishy, призведе до короткого замикання, що призведе до пошкодження DishyPowa, вашого джерела живлення та вашого PoE-пристрою.

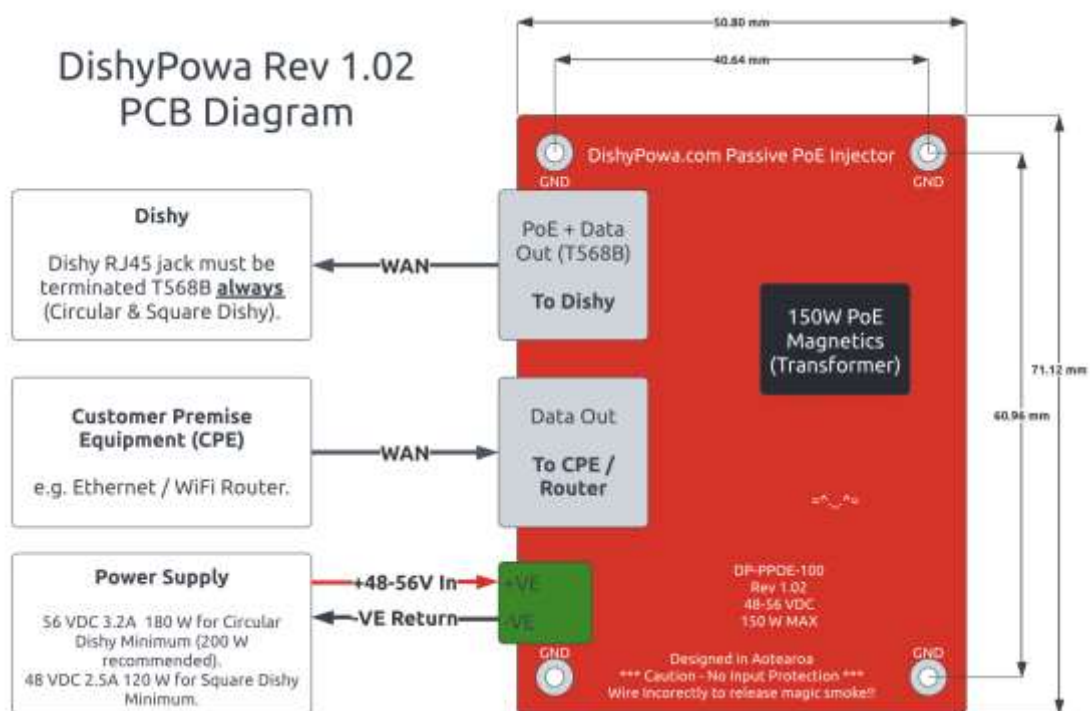


Рис. 3.11 Задня частина інжектора

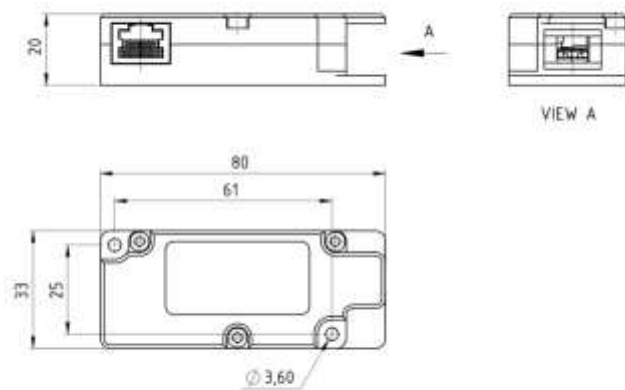


Рис. 3.12 Розміри POE інжектора



Рис. 3.13 Задня частина інжектора

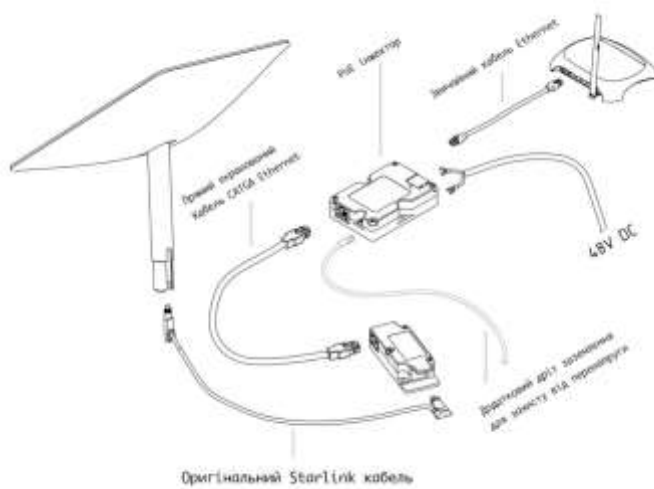


Рис. 3.14 Схема підключення

Висновок до розділу

Найбільш затребуваним аксесуаром для Starlink є блок живлення на 12 В постійного струму, оскільки багато будинків на колесах використовують акумулятори для електропостачання. Для забезпечення ефективності і максимізації доступної енергії, маршрутизатор Starlink RV перетворює змінний струм від настінної вилки в постійний струм 48 В для живлення тарілки.

Щоб забезпечити належне заземлення та захист від перенапруги, необхідно використовувати високоякісний фільтр та заземлену роз'ємну систему. Також, використання екранованого Ethernet-кабелю може допомогти зменшити радіочастотні перешкоди.

Для підключення до маршрутизатора виробник рекомендує використовувати спеціальний кабель, який можна підключити до порту WAN маршрутизатора або точки доступу Wi-Fi. Вибір маршрутизатора залишається на вибір користувача, проте рекомендованим варіантом є малопотужний міні-маршрутизатор з підтримкою Wi-Fi 6.

Starlink використовує технологію POE (Power over Ethernet) для живлення тарілки, що дозволяє уникнути необхідності прокладання додаткового кабелю живлення. Для забезпечення живлення тарілки використовуються всі чотири пари дротів в екранованому Ethernet-кабелі Cat6.

Загалом, хоча офіційні аксесуари такого типу від Starlink ще не доступні, існують альтернативні рішення та виробники сторонніх аксесуарів, які можуть задовольнити потреби користувачів.

ВИСНОВКИ

У данній кваліфікаційній роботі було розроблено апаратне рішення для створення РОЕ-інжектора для системи Starlink.

У першому розділі були описані різні аспекти технології і звернуто увагу на структуру та основні аспекти побудови. Також було розглянуто технологію будівництва РОЕ та описано взаємодію технології на фізичному рівні.

У другому розділі були розглянуті етапи вибору компонентів, визначені різні типи конструкцій і порівняні моделі. Це дало можливість здійснити правильний вибір компонентів та оптимальну конструкцію для проекту.

У третьому розділі було проведено дослідження роботи на практиці, взято дані замірів ефективності та оптимізацій. Це дозволило перевірити розроблений РОЕ-інжектор на практиці і здійснити необхідні корекції для досягнення оптимальних показників роботи.

В результаті дипломної роботи було спроектовано, протестовано та ознайомлено з технічною документацією РОЕ-інжектора. Розроблений пристрій відповідає поставленим вимогам і може бути успішно використаний для системи Starlink. Виконання дипломного проекту дало змогу отримати практичні навички в області розробки апаратних рішень.

Крім того, процес розробки РОЕ-інжектора для системи Starlink включав в себе не лише проектування та тестування пристрою, але й вивчення технічної документації. Цей етап дозволив збагнути всі деталі технології і ознайомитись зі специфікаціями, що мали вирішальне значення для успішної реалізації проекту.

Результати цього дипломного проекту можуть бути використані як основа для подальших досліджень та розвитку в галузі РОЕ-інжекторів та системи Starlink.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 12V DC Power Supply For Starlink RV / Noah Clarke/2023:
<https://www.starlinkhardware.com/tutorial-12v-dc-power-supply-for-starlink-rv/>
2. Heatsink for PoE Injector/ProfessionalField904/2021:
https://www.reddit.com/r/Starlink/comments/of7zl2/heatsink_for_poe_injector/
3. Running Starlink high-speed internet on a boat with DC power/2021:
<https://boathackers.com/starlink/>
4. Reverse engineering of the Starlink Ethernet adapter/ OLEG KUTKOV/2022:
<https://olegkutkov.me/2022/03/07/reverse-engineering-of-the-starlink-ethernet-adapter/>
5. Starlink Power Over Ethernet (POE) Injector/2021:
<https://tuckstruck.net/truck-and-kit/geekery/starlink-poe-injector/>
6. Hacking the Rectangular Starlink Dishy Cable/2019:
https://gist.github.com/darconeous/8c7899c4d2f849b881d6c43be55066ee?permalink_comment_id=4182955
7. Truckee-Tahoe Internet: Broadband in the Mountains/2023:
<https://tti.employees.org>
8. How to use a third-party router with Starlink/2022:
<https://spaceexplored.com/2022/01/28/how-to-use-a-third-party-router-with-starlink/>
9. DishyPowa, the 48-56V DC passive PoE injector for Starlink Dishy/2023:
<https://dishypowa.com>
10. Analysis and reverse-engineering of the original Starlink router/2021:
<https://olegkutkov.me/2021/12/25/analysis-and-reverse-engineering-of-the-original-starlink-router/>
11. SpaceX Starlink First Impressions/2021
<https://www.amandablevins.com/blog/2021/3/1/spacex-starlink-first-impressions>
12. Starlink RV Internet/2023
<https://blinqblinq.com/starlink-rv/>