

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут телекомунікаційних систем

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра телекомунікацій

(повна назва кафедри)

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

_____ Валерій ЯВІСЯ

(підпис)

(Ім'я, прізвище)

“ 4 ” _____ червня _____ 2020 р.

Дипломна робота

на здобуття освітнього ступеня “бакалавр”

(назва ОС)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка,

(код і назва)

на тему: Забезпечення синхронізації в пакетній мережі за технологією
синхронного Ethernet

Виконав: студент 4 курсу, групи ТМ-61

(шифр групи)

Пресіч Антон Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник _____ доцент кафедри ТК Тріска Н.Р.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

_____ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____ доцент кафедри ІТМ Правило В.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут телекомунікаційних систем
(повна назва)

Кафедра телекомунікацій
(повна назва)

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Валерій ЯВІСЯ
(підпис) (Ім'я, прізвище)

“ 22 ” січня 2020 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Пресічу Антону Романовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Забезпечення синхронізації в пакетній мережі за технологією синхронного Ethernet

керівник роботи _____ Тріска Н.Р. доцент кафедри ТК _____,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 30 березня 2020 р. № 924-с

2. Термін подання студентом роботи 04.06.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи: Рекомендація МСЕ-Т G.8261, Рекомендація МСЕ-Т G.8262, Рекомендація МСЕ-Т G.8264, Технічний документація Huawei CX600 X8A.

4. Зміст роботи: 1) Обґрунтування актуальності теми роботи. 2) Дослідження стандартів SyncE. 3) Провести техніко-економічне порівняння технологій SyncE та RTP для забезпечення синхронізації пакетної мережі.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

Слайд №1 Актуальність та мета, практична цінність роботи.

Слайд №2 Основні відомості про стандарти SyncE.

Слайд №3 Основні структури проектних рішень.

Слайд №4 Техніко-економічне порівняння стандартів RTP та SyncE для забезпечення тактової мережі синхронізації.

Слайд №5 Висновки до роботи, напрями подальшого вивчення.

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01.09.2019 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка, оформлення, узгодження та затвердження технічного завдання на дипломну роботу	17.09.2019- 26.09.2019	
2	Вивчення особливостей стандартів SyncE	06.11.2019- 21.11.2019	
3	Вивчення особливостей проектної реалізації SyncE	06.04.2020- 26.04.2020	
4	Техніко-економічне порівняння SyncE та RTP	18.05.2020- 29.05.2020	
5	Оформлення пояснювальної записки дипломної роботи, підготовка до захисту	29.06.2020- 02.06.2020	

Студент Пресіч А.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи Тріска Н.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота на тему «Забезпечення синхронізації в пакетній мережі за технологією синхронного Ethernet» складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 13 найменувань. Загальний обсяг роботи 54 сторінок, в тому числі 52 сторінки основного тексту та 2 сторінок використаних джерел. Робота містить 18 рисунків, 6 таблиць.

В даній роботі розглядаються основні принципи забезпечення синхронізацією пакетних мереж технологією синхронного Ethernet, а також порівнюється технологія синхронного Ethernet з конкуруючою технологією в техніко-економічному плані.

ABSTRACT

Diploma work on a theme " Providing synchronization in the packet network using synchronous Ethernet technology " consisting of the introduction, three chapters, conclusions, that list of 13 items. General volume of work of 54 pages including 52 pages of basic text and 2 pages of sources used. Work contains 18 figures, 6 tables.

In this research considers the basic principles of synchronization of packet networks with synchronous Ethernet technology, as well as compares the technology of synchronous Ethernet with competing technology in technical and economic terms.

MSE-T	Міжнародний союз електроз'язку – телекомунікації
GPS	Global Positioning system – глобальна система навігації та визначення місцезнаходження
ПЦІ	Плезіохронна цифрова ієрархія (PDH)
PRC	Primary Reference Clock – первинний пристрій синхронізації (ППС)
SEC	Генераторне обладнання СЦІ (ПС-СЦІ)
СЦІ	Синхронна цифрова ієрархія (SDH)
SSM	Повідомлення про статус синхронізації (SSM)
ПРСС	Пристрій розмножування сигналів синхронізації
SSU	Synchronization Supply Unit – блок забезпечення синхронізації (ВПС)
QLn	Quality – рівень якості сигналу синхронізації (n = 1, 2, 3, 4)
SASE	Stand Alone Synchronization Equipment – виокремлений пристрій синхронізації
NE	Network Element – Мережевий елемент
SyncE	Synchronous Ethernet – Синхронний Ethernet
EEC	Ethernet Equipment Clock - Задаючий генератор обладнання SyncE
EETS	Ethernet Equipment Timing Source - Джерело тактової синхронізації обладнання SyncE

ЗМІСТ

Вступ.....	9
Розділ 1 Дослідження стандартів SyncE	10
1.1 Необхідність синхронізації.....	10
1.2 Елементи мережі синхронізації.....	11
1.3 Еталонний ланцюг синхронізації	14
1.4 Плезіохронні та синхронні мережеві методи.....	17
1.5 Методи запобігання петлям.....	26
Висновки до 1-го розділу	29
Розділ 2 Рекомендовані проектні рішення з синхронізації мережі методом SyncE.....	30
2.1 Вимоги до синхронізованої мережі Ethernet.....	30
2.2 Реалізація систем з SyncE.....	31
2.3 Приклад сучасного обладнання на основі лінійки CX600	36
2.4 Типові проектні рішення із застосуванням SyncEthernet.....	40
Висновки до 2-го розділу	42
Розділ 3 техніко економічне порівняння технологій SyncE та PTP .	43
3.1 Технічне впровадження технологій SyncE та PTP.....	43
3.2 Технічні відмінності	46
3.3 Економічні відмінності	47

3.4 Техніко-економічне порівняння у випадку забезпечення синхронізацією пакетної мережі.	48
Висновки до 3-го розділу	51
Висновки	52
Джерела	53

Вступ

Підтримка високих стандартів якості обслуговування абонентів рівня "операторського класу" ставить перед мережами зв'язку нового покоління (NGN) завдання частотно-часового забезпечення. Висока якість частотної та часової синхронізації потрібна для багатьох важливих додатків пакетної мережі операторського класу, зокрема, для роботи систем мобільного зв'язку стандарту LTE, Wi-Max, W-CDMA. Нові технології по синхронізації активно впроваджуються, взаємодіють і конкурують в сучасних мережах зв'язку. При виборі того чи іншого варіанта синхронізації грають роль як технічні, так і економічні чинники, а також перспективи подальшого розвитку мережі і наданих нею послуг. Одну з таких технологій представляє SyncEthernet. Таким чином, актуальність роботи обумовлена впровадженням NGN - повністю пакетних мереж, використанням Ethernet в якості основної транспортної технології, необхідність підтримання високих вимог по точності і стабільності тактових сигналів для ряду послуг призводить до необхідності збереження тактової мережевої синхронізації на основі транспортних технологій нового покоління.

Об'єктом дослідження є мережі синхронізації.

Предметом дослідження є можливості та економічна доцільність синхронізації пакетної мережі за технологією синхронного Ethernet.

Мета роботи: Метою даної дипломної роботи є ґрунтовне дослідження технології SyncEthernet.

Розділ 1 Дослідження стандартів SyncE

1.1 Необхідність синхронізації

Ідея транспортування сигналів синхронізації в мережі Ethernet була запропонована на розгляд експертів Дослідницької Комісії ІК-15 МСЕ-Т в 2004 році. Ініціаторами такого підходу стали представники великих європейських телекомунікаційних операторів, які, побудувавши пакетні транспортні мережі нового покоління, зіткнулися з необхідністю забезпечення тактової синхронізації ряду важливих додатків. З практичних міркувань в якості транспортного середовища для нового способу розподілу синхросигналів був обраний Ethernet як найбільш поширена на сьогоднішній день пакетна транспортна технологія фізичного і канального рівнів. Опис принципів роботи технології синхронного Ethernet (SyncE) і основні технічні вимоги до відповідного обладнання містяться в Рекомендаціях МСЕ-Т G.8261 [1], G.8262 [2] і G.8264 [3]. Сама по собі мережа синхронізації – це вузол, завдання якого є забезпечення еталонними сигналами тактової синхронізації заданої якості мережі трафіку.

Основною метою мереж трафіку, являється передача інформації з мінімальними втратами. Втрачена інформація найчастіше причинена неякісною тактовою синхронізацією.

За сприятливих умов, неякісна синхронізація викличе лише деякі затримки та незручності в мережах трафіку. В інших, найгірших, випадках — це призводить до повного зупинення трафіку в мережі зв'язку.

Неякісна синхронізація здатна викликати втрату інформації різного ступеня. Наслідки таких втрат, за звичай, проявляються як:

- часткова або повна зупинка трафіку;
- зупинка кадрів на відео;
- роз'єднання з'єднань під час передачі обслуговування в мережах рухомого зв'язку;
- спотворення факсимільних повідомлень;
- погіршення проходження трафіку;
- повторна передача файлів;
- затримка встановлення з'єднань через повторні передачі;
- погіршена якість мови.

1.2 Елементи мережі синхронізації

Первинний еталонний (задаючий) генератор (ПЕГ)(ППС) – Primary Reference Clock (PRC)

ПЕГ (PRC) являє собою вимоги до якісних показників задаючого генератора, які підходять для подачі синхронізації в цифрові мережі, що визначенні в EN 300 462-6-1 [4] . В рекомендації визначаються та встановлюються такі параметри як:

- Точність частоти для задаючого генератора необхідна та забезпечення псевдосинхронної роботи міжнародних комутованих мереж.
- Вимоги до еталонного генератора для мереж синхронізації сумісних із вимогами щодо продуктивності цифрових мереж.

Для забезпечення необхідної якості можна використовувати два опорних генератора, оскільки ПЕГи потребують дуже високої надійності,

щоб забезпечити безперервність виходу, тому у випадку несправності першого генератора другий має зайняти його місце, однак розрив фази здійснений при такій операції не повинен перевищувати $1/8 UI$.

Параметри інтерфейсів виходу еталонного сигналу:

- 2 048 кГц відповідно до рекомендації MCE-T G.703 [5]
- 2 048 кбіт / с відповідно до рекомендації MCE-T G.703 [5]
- інші інтерфейси (наприклад, синусоїда від 8 кГц до 5 МГц)

Блок забезпечення синхронізацією - SynchronizationSuppleUnit (SSU) (ВПС)

SSU (блок забезпечення синхронізацією) являє собою стандарт вимог до якісних показників функцій задаючого генератора, які визначені в ETSI EN 300 462-4-1 [7] для транзитного застосування і ETSI EN 300 462-7-1 [8] для місцевого застосування. В рекомендації визначаються та встановлюються такі параметри як:

- Параметри фільтру для ефективного видалення фазового тремтіння і дрейфу фази з еталонних сигналів синхронізації;
- Допустимі перехідні характеристики у випадку збою та переходу на інший еталонний сигнал;
- Параметри точності частоти для випадку обриву синхронізації.

Параметри згідно рекомендацій:

SSU необхідні з трьох причин. По-перше, вони знижують накопичений джиттер і вандер до допустимих рівнів. По-друге, SSU виконує функції вузлового пристрою синхронізації, тобто центрального генератора, що забезпечує синхронізацію всього вузла зв'язку. І, нарешті, SSU забезпечує «режим утримання», коли через будь-якої несправності втрачається сигнал

від PRC, SSU переходить в автономний режим роботи від власного генератора.

Інтерфейси входу еталонного сигналу:

- 2, 048 МГц (EN 300 166 [6]);
- 2 048 кбіт/с в кодї HDB3 (EN 300 166 [6]);
- інтерфейси STM-N.

Інтерфейси виходу:

- 2, 048 МГц (EN 300 166 [6]);
- інтерфейси STM-N.

Параметри зсуву фази під час затримки продемонстровані у таблиці 1.1:

Таблиця 1.1 Характеристики в режимі відкладених даних

Тип SSU	транзитний	місцевий
початкове відхилення частоти	5×10^{-10}	10^{-9}
відхилення за день	2×10^{-10}	10^{-9}

Задаючий генератор обладнання (ЕЕС)

Вимоги до ЕЕС представлені у стандарті МСЕ-Т G.8262 [2] . Стандарт має метою встановити мінімальні вимоги до пристроїв синхронізації, що використовуються для синхронізації мережевого обладнання, що підтримують задаючі генератори.

Інтерфейси синхронізації входу та виходу для обладнання:

- Інтерфейси 1544 кбіт / с відповідно до [МСЕ-Т G.703 [5]];
- зовнішні інтерфейси 2048 кГц відповідно до [МСЕ-Т G.703 [5]];
- інтерфейси 2048 кбіт / с відповідно до [МСЕ-Т G.703 [5]];
- інтерфейси трафіку STM-N (для гібридних NE);
- інтерфейс 64 кГц згідно [ІТУ-Т G.703 [5]];
- зовнішні інтерфейси 6312 кГц згідно [ІТУ-Т G.703 [5]];
- Інтерфейси синхронного Ethernet;
- Синхронні інтерфейси OTN.

1.3 Еталонний ланцюг синхронізації

Зазвичай мережі Ethernet працюють самостійно з похибкою ± 100 ppm. Однак, у випадку методу синхронного Ethernet, можна створити архітектуру синхронізації ведучий-ведений на фізичному рівні. У цьому випадку фізичний рівень може використовуватися для забезпечення розподілу опорного сигналу синхронізації по пакетних мережах, від рівня магістралі до рівня доступу. Такий метод може бути використаний для надання опорного сигналу синхронізації аж до крайового обладнання доступу в мережі Ethernet, що підтримує синхронний Ethernet.

Еталонний ланцюг та правила складання плану синхронізації

В залежності від обраної структури мережі змінюється і складність проектування. Крім того, змінюються впливи різних факторів, які необхідно враховувати:

- (оптимальний) розмір мережі;
- норми на керовані проскакування;
- величина фазових блукань;
- ймовірність виникнення петель (циклів) синхронізації;

- типи каналів передачі сигналів синхронізації.

Після реалізації кожного етапу розбудови мережі, необхідно провести вимірювання якісних показників проектованої мережі для перевірки відповідності заданим вимогам та паспортизації трактів та стиків мережі.

З точки зору передавання сигналів синхронізації найкращими є такі засоби (канали), в яких сигнали щонайменше потерпають від спотворень. Сигнал синхронізації має передаватися від одного вузла до іншого по каналам синхронізації транспортної мережі. При цьому слід враховувати наступне:

- Передавання сигналу від кращого пристрою синхронізації до гіршого підвищує якість роботи мережі, це особливо суттєво для підтримання стабільності в умовах утримання частоти за наявності пошкодження якогось пристрою в ланцюзі.
- Довжину ліній необхідно обирати за коротшими маршрутами.
- Необхідно дотримуватися принципу мінімальної кількості при послідовному з'єднанні пристроїв синхронізації, оскільки зі збільшенням кількості пристроїв якість сигналу синхронізації погіршується.
- Слід забезпечувати організацію обхідних маршрутів для сигналів синхронізації. За наявності резервування необхідно мати обхідні маршрути для резервних сигналів.

В сучасних транспортних мережах рекомендують використовувати для передавання сигналів синхронізації оптичні лінійні сигнали STM-N або Ethernet. Використання оптичного лінійного тракту без проміжних перетворень гарантує найвищу якість передавання синхросигналу, яку можна отримати в наш час. На такий сигнал впливає тільки джитер лінії, наприклад, внаслідок впливу теплового шуму або зміни умов навколишнього

середовища, але не впливають процеси узгодження швидкостей, механізм вказівників та ін.

Еталонний ланцюг – гіпотетична, умовна модель лінії передавання аналогових або цифрових сигналів з номінальними параметрами передавання (швидкість, шум, відстань, тощо) включаючи втрати на шляху, між проміжним та кінцевим обладнанням, з якого починається і закінчується сигнал. Призначення еталонного ланцюгу – вивчення та нормування характеристик національних та міжнародних трактів, каналів, ліній. Для гарантованого виконання необхідних характеристик сигналів синхронізації рекомендовано дотримуватись вимог зразкового, еталонного ланцюга передачі сигналу синхронізації в системі SDH (або SyncE), який визначає кількість припустимих пристроїв синхронізації кожного рангу, як показано на рис. 1.1 Так, в ланцюзі між двома вторинними пристроями може бути не більш 20 пристроїв генераторного обладнання SDH (SyncE) – SEC (EEC), а вторинних, ведених пристроїв з функціями поліпшення якості сигналу – не більше 10. Рис. 1.1 Зразковий ланцюг синхронізації в системі SDH (SEC/SyncE) [ITU-T G.803 [9]]

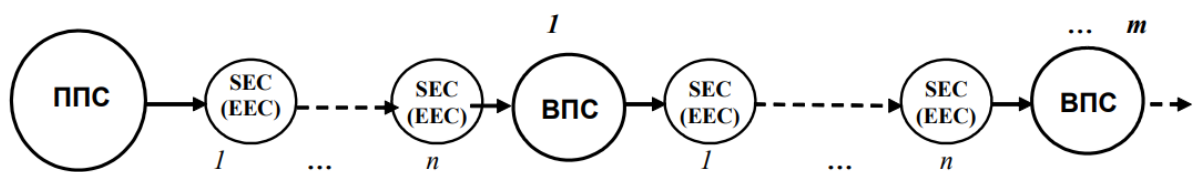


Рисунок 1.1 еталонний ланцюг синхронізації

Примітка ($m < 10$ $n < 20$)

За відсутності ЦСП СЦІ (SyncE) добре рішення розповсюдження сигналів синхронізації дають сигнали корисного навантаження плезіохронної цифрової ієрархії (ПЦІ), які є “прозорими” для сигналів синхронізації, тобто мають добрі часові параметри за нормами та “за фактом”. В цьому випадку

при проектуванні рекомендовано віддавати перевагу оптичним системам передачі з мінімальною кількістю перетворень мультиплексування – демультиплексування. На рисунку 1.2 наведено зразковий ланцюг синхронізації в пакетній мережі з обладнанням Ethernet, де кількість ЕЕС не має привіщувати $n \leq 20$, а також наведені номінальні значення частот на виходах обладнання за даними (ITU-T G.8261 [1]).

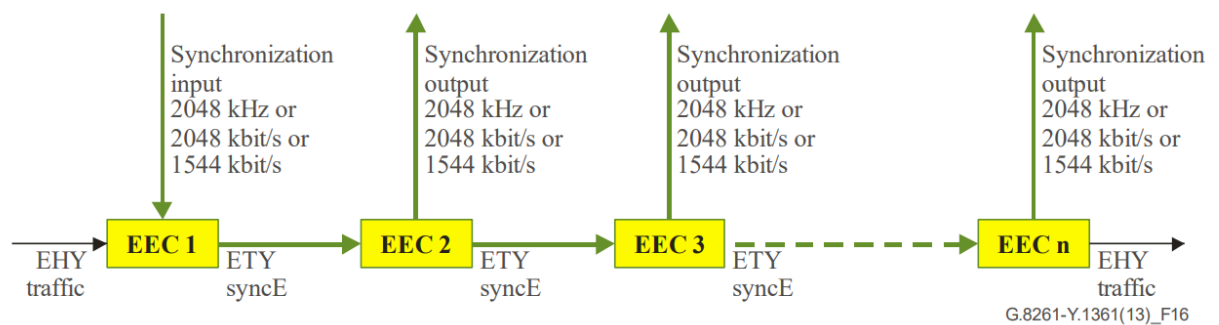


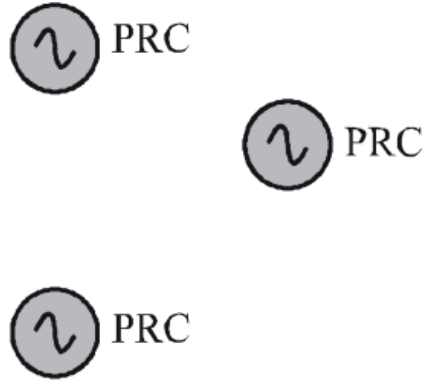
Рисунок 1.2 Зразковий ланцюг синхронізації в системі SyncE (ЕЕС)

1.4 Плезіохронні та синхронні мережеві методи

Рисунок 1.3 ілюструє методи “розподілений ПЕГ” та метод “ведучий – ведений” для забезпечення тактової синхронізації в мережах Ethernet, представлені рекомендації МСЕ-Т G.8261 [1].

Плезіохронні методи відносяться до методу розподіленого ПЕГ (наприклад, на основі GPS). Синхронні ж відносяться до методу ведучий – ведений з використанням синхронного фізичного рівня (наприклад, STM-N).

Розподілений ПЕГ(PRC)



Метод ведучий-ведений

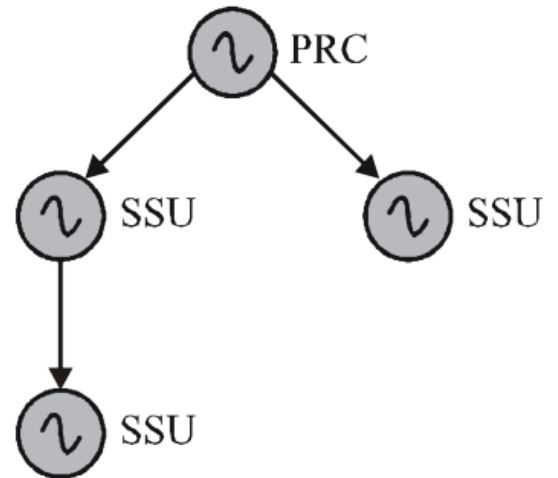


Рисунок 1.3 Еталонні плезіохронні та синхронні мережеві методи

Синхронізація за методом ведучий – ведений

На рисунку 1.4, ілюструються архітектурні параметри, відповідні до вимог мережі синхронізації за методом ведучий-ведений, представлені у рекомендації МСЕ-Т G.803 [9].

Подібну мережу синхронізації можливо уявити, поділивши на ланцюги синхронізації, які беруть початок від джерела синхронізації (ПЕГ, PRC) через відповідні сигнали до приймачів синхронізації (SSU або EEC).

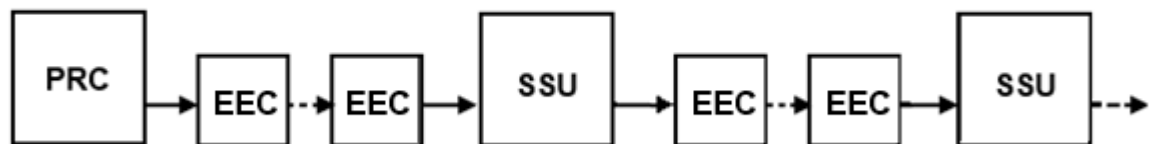


Рисунок 1.4 Приклад ланцюга синхронізації

Така мережа складається з рівнів, що визначається положенням задаючого генератора в мережі синхронізації. В такій мережі характерна односпрямованість розподілу еталонного сигналу, тобто сигнал подається завжди від вищого до нижчого рівня в ієрархії. Це обумовлено ризиком появи петель тактової синхронізації та необхідності їх запобігання.

Від ПЕГ сигнал тактової синхронізації попадає на ЕЕС, кожен з яких забезпечує синхронізацією підмережу другого рівня. У випадку припинення надходження до ЕЕС еталонних сигналів від ПЕГ, ЕЕС займає вищу позицію у ієрархії та стає еталонним генератором для підмережі. В такій системі також необхідний запасний ПЕГ для запобігання зупинки надходження еталонних сигналів, у випадку виходження з ладу одного з генераторів – інший повинен зайняти його місце.

Для мереж синхронізації ведучий-ведений характерним є деревовидний розподіл (див Рисунок 1.5). При чому, у разі несправності у мережі по можливості повинно бути знайдено інше дерево для доставки еталонного сигналу. Генератори в мережі відрізняються по параметрам та призначенню, та можуть бути розподілені ієрархічно відносно їх якості. В мережі генератор більш низької якості не повинен бути еталонним для генератора вищого рівня за якістю. У випадку обриву ланцюга синхронізації нижчестоящий SSU займає місце еталонного генератора та постачає сигнал у зворотну сторону для елементів які залишились без еталонного сигналу синхронізації.

На даний момент згідно рекомендацій встановлено максимальну кількість підключених ЕЕС та SSU для великих мереж трафіку на рівні 60 та 10 відповідно.

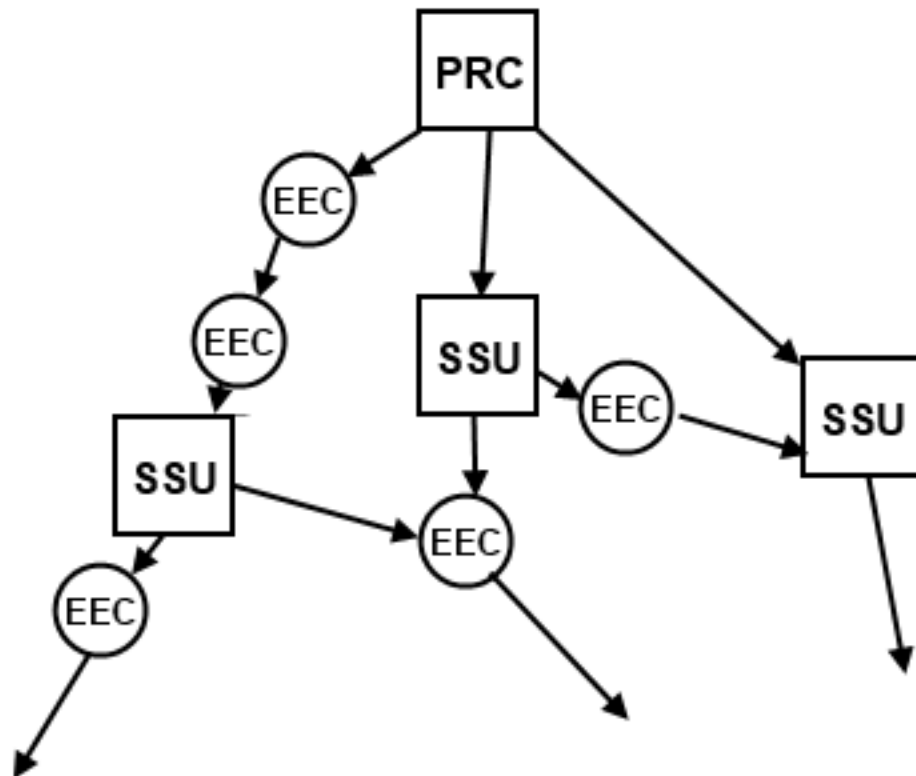


Рисунок 1.5 Архітектура мережі ведучий-ведений

Опорний ланцюг мережі синхронізації

Для опису опорного ланцюга синхронізації в ланцюзі мережевих елементів Sync Ethernet досить розглянути секцію еталонного ланцюга синхронізації, яку проілюстровано на рисунку 1.6. За нормальної роботи інформація про еталонну частоту передається від верхнього генератора (в нашому випадку ПЕГ, хоча це може бути SSU синхронізований до ПЕГ), до нижнього SSU через мережеві елементи (NE), що містять EEC.

Повідомлення також містять інформацію про рівень якості джерела синхронізації, яка може допомогти годиннику вибрати найбільш якісний еталон синхронізації з набору доступних посилок. Мета цих повідомлень - дозволити годинникам самостійно перенастроюватись на більш якісний сигнал синхронізації, уникаючи створення циклів синхронізації.

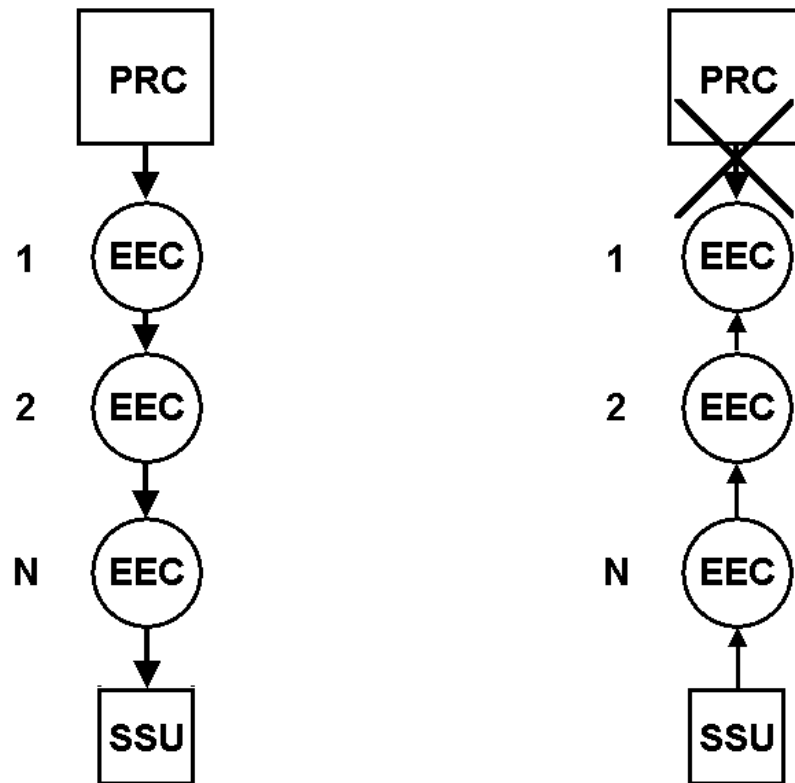


Рисунок 1.6 Опорний ланцюг синхронізації

У випадку пошкодження ланцюга синхронізації мережеві елементи (NE) у ланцюзі забезпечуються синхронізацією від нижчестоящего SSU, змінюючи на протилежний напрямок транспортування синхронізації вище точки пошкодження.

Синхронізація методом розподіленого ПЕГ

На відміну до методу синхронізації ведучий-ведений в даній стратегії синхросигнал розподіляється безпосередньо до кожного задаючого генератору мережі, як показано на рисунку 1.7. Для реалізації такої стратегії підходить розподіл радіосигналом еталонного сигналу синхронізації

(наприклад сигнал GPS). Для цього методу використовуються ПЕГи синхронізовані зовні системи, та передаються до SSU. Після надходження до SSU починається класичний розподіл еталонного сигналу за методом ведучий-ведений.

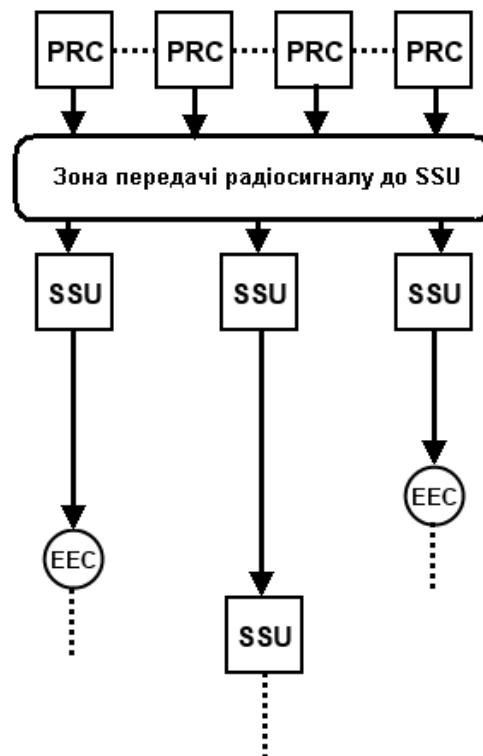


Рисунок 1.7 Архітектура мережі синхронізації з розподілим ПЕГ

На прикладі синхронізації побудованої на GPS можна розглянути загальний метод на основі розподіленого ПЕГ. Система GPS у такому випадку є задаючим генератором тактової частоти для мережі, ланцюги розподілу ведучий-ведений до першого SSU від ПЕГ замінюються супутниковими сигналами. Приймач системи обробляє прийнятий сигнал GPS і виділяє з нього еталонний синхросигнал для SSU. У більшості випадків розподіл синхронізації нижче рівня першого SSU ідентичної мережі, синхронізовані за методом ведучий-ведений.

Внутрішньовузлова синхронізація

Метою внутрішньовузлової синхронізації є постачання еталонним синхросигналом усіх розташованих разом частин апаратури, наприклад, в одній будівлі. Еталонні сигнали генеруються у вузловому задаючому генераторі, який зазвичай є SASE з якістю, що відповідає EN 300 462-4-1 [7]. SASE синхронізується по еталонному сигналу, що приходить від ПЕГ за допомогою міжвузлового транспортування синхронізації. В EN 300 462-2-1 [10] рекомендується, щоб внутрішньовузловий розподіл синхронізації здійснювався у формі логічної зірки. Ця конфігурація ілюструється на рисунку 1.8.

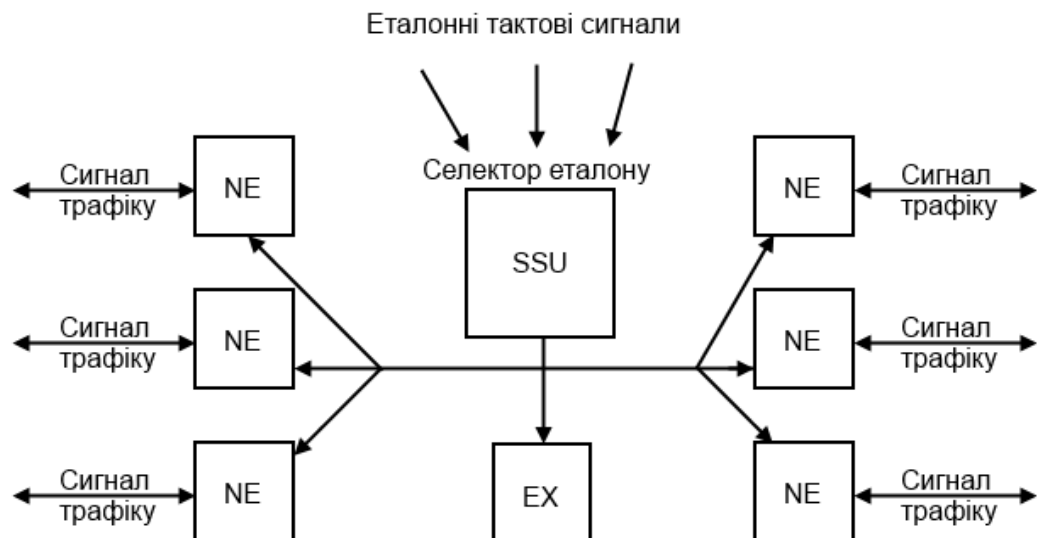


Рисунок 1.8 Внутрішньовузловий розподіл синхронізації

NE: Мережевий елемент, з'єднаний з транспортним сигналом на кордоні мережевого вузла, наприклад, мультиплексори, апаратура лінійного закінчення і т.п.

Ех: Апаратура, безпосередньо не з'єднана з транспортними сигналами, наприклад, комутаційна станція

Примітка: Можливо, SSU буде вставлений в NE; в цьому випадку він повинен приймати і передавати тактову синхронізацію в транспортних сигналах.

Параметри і функції внутрішньовузлової синхронізації:

- Сигнали, призначені для транспортування синхронізації до і від вузлового задаючого генератора:
 - 2 048 кГц (EN 300 166 [6])
 - 2 048 кбіт/с (EN 300 166 [6]);
 - 2 048 кбіт/с (EN 300 166 [6]), що підтримує процес повідомлень про стан синхронізації.

В існуючих нині мережах використовується переважно сигнал 2048 кГц.

- для живучості при пошкодженнях в якості потенційних джерел еталонних сигналів при транспортуванні синхронізації вибирається кілька транспортних сигналів, що приходять на сайт. Те, які транспортні сигнали придатні як потенційні джерела еталонних сигналів, визначається з точки зору мережі в процесі проектування синхронізації мережі;
- переконатися, що еталонний сигнал на вході задаючого генератора вузла має відповідні якісні показники. Це можна зробити декількома способами:
- придушити еталонний вихідний сигнал на NE, якщо якість, діагностуємих SSM у вхідному сигналі трафіку, нижче порога. Поріг не повинен бути нижче якості задаючого генератора вузла (в режимі відкладених даних), тобто "SSU-T" або "SSU-L". Для придушення додатково

використовуються критерії, подібні таким, як "Втрата сигналу", "Втрата циклової синхронізації" і т.п.;

- спостерігати за сигналами на входах задаючого генератора вузла щодо відхилення частоти, стрибків фази і т.п.;
- оцінити SSM на вході задаючого генератора вузла. Для цього потрібно, щоб SSM доставлялося на задаючий генератор вузла, тобто використовувався сигнал 2048 кбіт/с з SSM;
- зібрати інформацію про якість NE в системі управління і вибрати, за допомогою керуючої команди, кращий сигнал для задаючого генератора вузла. Це рішення вимагає, щоб до NE і задаючого генератора вузла був доступ від загальної системи управління.
- передбачити код SSM для сигналів SyncE, що виходять з вузла. Для того щоб ввести правильне значення, необхідно мати інформацію про якість еталонного сигналу, що використовується в задаючому генераторі вузла:
- якщо внутрішньовузловий розподіл синхронізації робиться за допомогою сигналів 2048 кГц, єдиним способом інформації про "транспорт" є придушення сигналу відповідно по деяким критеріям системи спостереження;
- якщо для внутрішньовузлової синхронізації використовуються сигнали 2048 кбіт/с, що підтримують SSM, інформація про якість може направлятися за допомогою SSM. Це рішення вимагає, щоб всі складові апаратури мали еталонні вхідні і вихідні сигнали 2048 кбіт/с і підтримували SSM;
- транспортувати інформацію про якість через систему управління (вимоги див. вище);

- якщо жоден з перерахованих варіантів не доступний, у сигнали SyncE, які виходять з вузла, має вводитися фіксоване значення SSM. Призначення відповідного SSM є завданням проектування синхронізації.

1.5 Методи запобігання петлям

У мережах розподіленої синхронізації важливим етапом є запобігання петлям синхронізації. Для існуючих SDH мереж це завдання виконує SSM – система обміну повідомленнями про статус синхронізації. Для синхронного Ethernet ця необхідність була врахована розробниками, та відтворена аналогічно до SSM, використовуючи той же код для позначення рівня якості генераторів синхронного Ethernet., тобто встановлено декілька рівнів якості (QL - Quality Level), що відповідають різним класів генераторного обладнання: QL-PRC, QL-SSU-A, QL-SSU-B, QL-SEC і QL-DNU

Вимоги до формату SSM в трактах синхронного Ethernet визначені в рекомендації MCE-T G.8264 [3] . SSM для Ethernet реалізують за допомогою OSSP, це повільний протокол Ethernet, визначений у MCE-T з параметрами вказаними у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Параметри протоколу ESMC

Спеціальний ідентифікатор MCE-T (ITU-OUI)	0x0019A7
Підтип низькошвидкісного протоколу	0x0A

Протоколом OSSP в трактах синхронного Ethernet формується спеціальний канал обміну повідомленнями про синхронізацію ESMS. У

таблиці 1.3 продемонстрований вміст полів модуля даних протоколу (PDU) для ESMC.

Таблиця 1.3 вміст полів модуля даних протоколу PDU для ESMC

Номера байтів	Розмір поля	Вміст поля
з 1 по 6	6 байт	Адреса пункту призначення: 01-80-C2-00-00-02 (hex)
з 7 по 12	6 байт	Адреса джерела
з 13 по 14	2 байта	Тип протоколу Ethernet - 88-09 (hex)
15	1 байт	Підтип протоколу - 0A (hex)
з 16 по 18	3 байта	ITU-OUI - 00-19-A7 (hex)
з 19 по 20	2 байта	Підтип ITU
21	4 біта	Номер версії
	1 біт	Прапор події (див. примітку 1)
	3 біта	Резервовано
з 22 по 24	3 байта	Резервовано
з 25 по 1532	36 – 1490 байт	Дані
Останні 4 байта	4 байта	FCS (див. Примітку 2)
<p>Примітка 1. Якщо прапор події = 1, модуль PDU є модулем події (ESMS Event PDU) інакше модуль PDU є інформаційним модулем (ESMC Information PDU).</p> <p>Примітка 2. FCS - Перевірочна послідовність (Framechecksequence).</p>		

Повідомлення SSM безпосередньо передаються в першому блоці TLV. Формат блоку TLV наведено в таблиці 1.4

Таблиця 1.4 Формат блоку TLV

8 біт	Тип: 0x01
16 біт	Довжина: 0x04
4 біта	(не використовується)
4 біта	SSM

У каналі ESMC розрізняють два типи повідомлень що переносять коди SSM. Один раз в секунду передаються «інформаційні повідомлення» («Information message»), що задають ритм. Відразу ж після того, як відбувається подія, яка змінює зміст SSM, передається «повідомлення про подію» («Event message»). Така система гарантує швидку реакцію на зміни SSM, незважаючи на те, що швидкість передачі становить близько одного повідомлення в секунду. Якщо протягом 5 с по вхідному каналу ESMC не надійшло жодного «інформаційного повідомлення», то генераторное обладнання розцінює це як несправний стан.

Висновки до 1-го розділу

У першому розділі був проведений аналіз основних особливостей стандартів МСЕ-T G.8261 [1] , G.8262 [2] і G.8264 [3] для синхронного Ethernet (SyncE).

- Визначені мінімальні параметри використовуваного обладнання.
- Визначені рекомендовані архітектури мережі синхронного Ethernet.
- Визначені методи запобіганням петлям синхронізації.
- Визначені особливості захисту неперервності мережі синхронізації у випадку несправності у ланцюгу.

Розділ 2 Рекомендовані проектні рішення з синхронізації мережі методом SyncE.

2.1 Вимоги до синхронізованої мережі Ethernet

Схема ФАПЧ в технології SyncE повинна виявляти збій відновленого сигналу синхронізації і вміти переключатися або на інший хороший опорний сигнал системи, або перемикати генератор в режим утримання. Вимоги до SyncE коротко викладено в специфікації внутрішнього годинника синхронної Ethernet-мережі (ITU G.8262 [2]). Ці вимоги засновані на специфікації ITU-T G.813 для тактових сигналів стандарту SDH. Нижче перераховані основні вимоги ITU G.8262 [2].

- Точність в автономному режимі: точність вихідного сигналу схеми ФАПЧ, коли вона не керується опорним сигналом, повинна бути рівною або вище ніж $\pm 4,6$ ppm протягом одного року. Це дуже висока точність щодо точності традиційної Ethernet-мережі (± 100 ppm).
- Режим утримання: система ФАПЧ постійно розраховує середнє значення частоти синхронізованого опорного сигналу. У разі якщо опорний сигнал не надходить, а також відсутні інші опорні сигнали, ФАПЧ переходить в режим утримання і генерує вихідний синхросигнал на основі розрахункового середнього значення. Стійкість режиму залежить від дозволу усредняючого алгоритму і стабільності частоти генератора, використовуваного в якості задає тактового генератора ФАПЧ.
- Контроль за опорним сигналом: система ФАПЧ повинна постійно контролювати якість вхідних опорних сигналів. Якщо воно погіршується (сигнал зникає, або дрейфує частота), блок ФАПЧ подає сигнал тривоги (переривання) і переключається на інший діючий опорний сигнал.

- Перемикання опорного сигналу без паузи: якщо ФАПЧ-система не виявляє опорного сигналу, вона захоплює інший опорний сигнал. При цьому фаза сигналу не змінюється.
- Фільтрація джиттера і стабілізація дрейфу: блок ФАПЧ можна розглядати як фільтр для джиттера і засіб стабілізації дрейфу. Чим вже ширина смуги петлі, тим менше джиттер і дрейф.
- Стійкість до джиттеру і дрейфу: система ФАПЧ повинна бути стійкою до великого джиттеру і дрейфу на вході і підтримувати синхронізацію, що не генеруючи сигналу тривоги.

Ці жорсткі вимоги можна задовольнити тільки за допомогою цифрової системи ФАПЧ (DPLL), схожою з тією, яка використовується для синхронізації мережі SONET / SDH. Основна відмінність полягає в тому, що система SyncE DPLL повинна захоплювати і генерувати тактові частоти, використовувані в Ethernet (25, 125 і 156,25 МГц), тоді як в SONET / SDH задіяні інші значення тактових частот (19,44 і 155,52 МГц).

2.2 Реалізація систем з SyncE

SyncE-системи операторського класу повинні забезпечувати високонадійне функціонування при всіх умовах. Для цього найбільш важливі компоненти системи мають деяку надмірність, в т.ч. щодо синхронізації.

Синхронізація в системі операторського класу реалізується за допомогою двох плат, з яких тактові сигнали надходять на кілька лінійних плат через загальну плату, як видно з рисунка 2.1. Всі лінійні плати синхронізуються з тактовим сигналом, що надходить з активною плати. Якщо, наприклад, її не підключений, лінійні плати стануть синхронізувати до

сигналу з резервної плати. Перемикання з одного плати синхронізації на іншу не повинно викликати переривання або збій в системі.

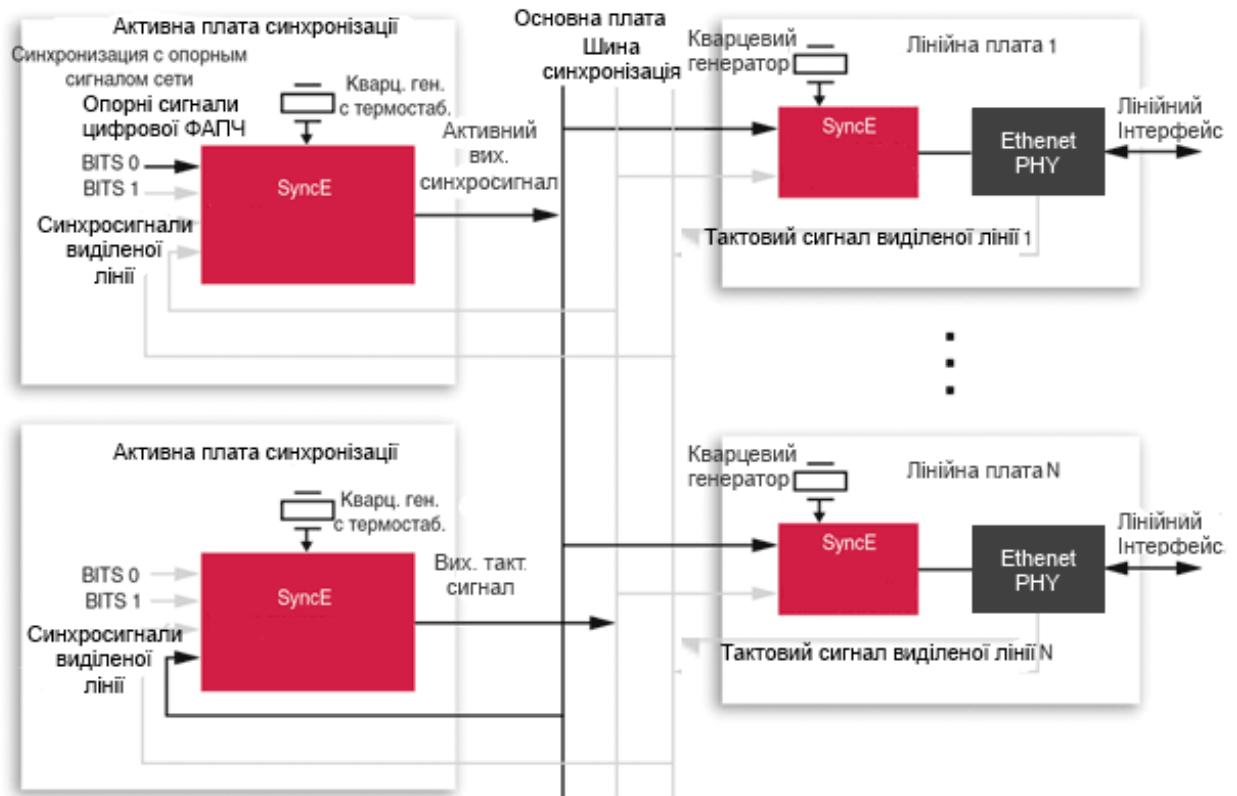


Рисунок 2.1 Синхронізація в системі операторського класу

Дві плати синхронізації забезпечують захист системи на випадок відмови однієї з них. З рисунка 2.1 видно, що плати мають можливість синхронізувати від більш ніж одного опорного сигналу. Плата приймає опорні сигнали з декількох джерел, вибирає один з них, очищає від фазового шуму за допомогою цифрової ФАПЧ і передає лінійним платам через загальну панель. Цифрова схема ФАПЧ є найбільш важливою складовою плати синхронізації. Опорні сигнали цифрової ФАПЧ можуть надходити ззовні з блоку SSU / BITS, зсередини з лінійних плат або від іншої плати

синхронізації в системі. Цифрова ФАПЧ плати синхронізації повинна відповідати всім вимогам рекомендації ІТУ-Т G.8262 [2] / Y1362.

Як видно з рисунка 2.1, кожна лінійна плата оснащена схемою цифрового ФАПЧ, яка дозволяє зменшити джиттер і перетворити частоту, наприклад, 25-МГц тактового сигналу в один або більше тактовий сигнал для Ethernet РНУ з частотою 125, 156,25, 155,52 МГц і т.д.

Цифрова ФАПЧ лінійної плати повинна також забезпечити перемикання без паузи між активним і резервним тактовим сигналом, наприклад в разі, коли активний синхросигнал несподівано зникає, а система ще не виявила збій і не перемкнула цифрову схему ФАПЧ лінійної плати на резервний опорний сигнал. Для цифрової ФАПЧ лінійної плати, як і для будь-якої іншої схеми ФАПЧ, потрібно кварцовий генератор.

Вартість цього генератора невисока, тому що для цифрової ФАПЧ лінійної плати не потрібен режим утримання (крім коротких інтервалів часу перемикання з активного на резервний тактовий сигнал). У разі якщо цей режим займає тривалий час, система використовує цифрову ФАПЧ плати синхронізації і тому їй необхідні кварцові генератори більш високої якості (ТСХО, ОСХО).

Малі SyncE-системи, яким не потрібно резервна синхронізація, зазвичай мають тільки одну цифрову схему ФАПЧ. Вона повинна відповідати всім вимогам як цифровий системи ФАПЧ плати синхронізації, так і цифровий ФАПЧ лінійної плати. У цій ФАПЧ повинна бути вузька ширина смуги петлі, функція утримання високої якості (потрібно ТСХО або ОСХО), можливість перемикання опорного сигналу без паузи і дуже малий власний джиттер. Залежно від того чи іншого додатка, можливо, потрібно буде, щоб ця цифрова ФАПЧ генерувала такі частоти як 8 кГц; 2,048; 1, 544; 34,368; 44,736 МГц і т.д.

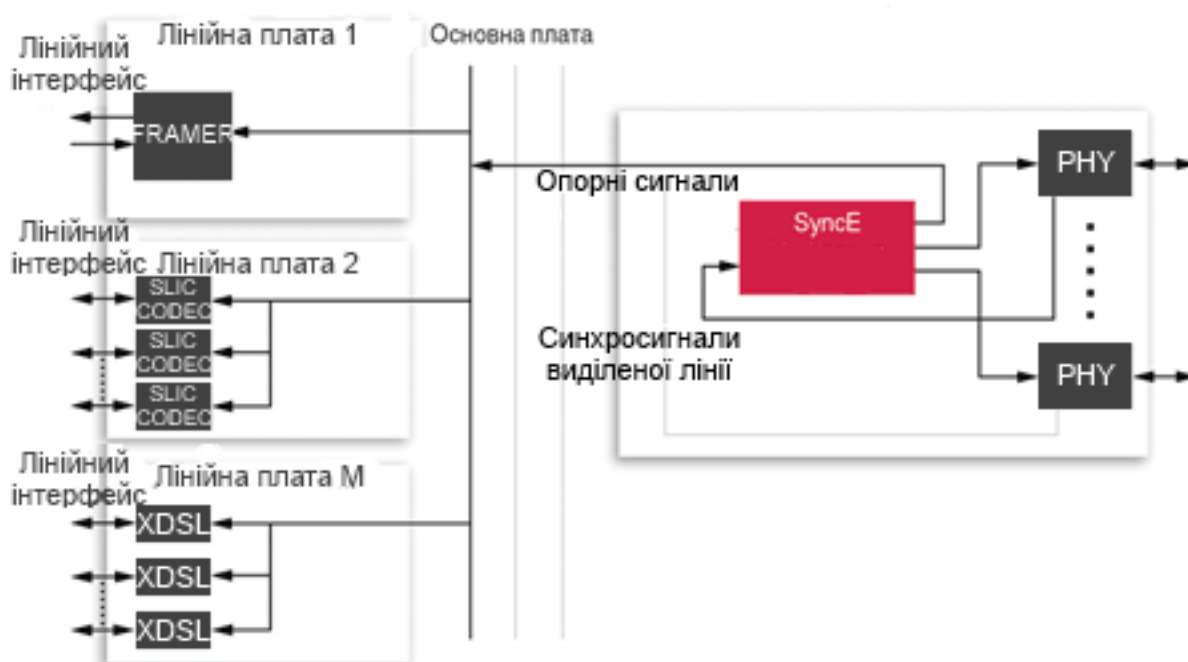


Рисунок 2.2 цифровий канал зв'язку

На рисунку 2.2 показаний цифровий канал зв'язку (Digital Loop Carrier, або ЦКШ) наступного покоління, що працює на тактових частотах Ethernet-мережі і телекому. Цей канал встановлюється таким чином, щоб об'єднати трафік телефонних станцій, ліній xDSL, звести до мінімуму кількість ліній, що йдуть до центрального офісу (ЦО), і збільшити швидкість передачі даних по xDSL за рахунок укорочення мідних ліній.

Сукупний трафік передається в ЦО по оптоволоконному кабелю або декільком мідних лініях. Традиційно, в ЦКШ для передачі даних між цим каналом і центральним офісом використовувалися технології SONET / SDH. Однак ці канали замінили Ethernet-мережею завдяки низьким капітальним витратам і операційних витрат на її реаліза

Перелік фізичних інтерфейсів Ethernet, що підходять для роботи в режимі SyncE, наведених в Рек. МСЕ-Т G.8262 [2] (Додаток III, табл.III.1) показано на рисунку 2.3:

100BASE-BX10	25GBASE-CR
100BASE-FX	25GBASE-CR-S
100BASE-LX10	25GBASE-KR
100BASE-TX	25GBASE-KR-S
1000BASE-BX10	25GBASE-SR
1000BASE-CX	25GBASE-ER
1000BASE-KX	25GBASE-LR
1000BASE-LX	40GBASE-KR4
1000BASE-SX	40GBASE-CR4
10GBASE-CX4	40GBASE-SR4
10GBASE-ER	40GBASE-LR4
10GBASE-EW	100GBASE-CR10
10GBASE-KR	100GBASE-SR10
10GBASE-KX4	100GBASE-LR4
10GBASE-LR	100GBASE-ER4
10GBASE-LRM	200GBASE-DR4
10GBASE-LW	200GBASE-FR4
10GBASE-LX4	200GBASE-LR4
10GBASE-SR	400GBASE-FR8
10GBASE-SW	400GBASE-LR8

Рисунок 2.3 Фізичні інтерфейси Ethernet, які підходять для роботи в режимі SyncE

2.3 Приклад сучасного обладнання на основі лінійки CX600

CX600 -X8A - це високоякісне мережеве обладнання (Рисунок 2.4) розроблене компанією Huawei, призначене для організації доступу до мережі, конвергенції та передачі послуг Ethernet. Таке обладнання має новітню комутацію 3-го рівня і підтримує широкий спектр високошвидкісних і низькошвидкісних інтерфейсів. Крім того, підтримує Triple-Play послуги: передачу голосу, відео і даних, VPN послуги а також може нести 2G, 3G і LTE послуги одночасно . Основні особливості системи:

- Швидке розгортання послуг
- Компактна структура, яка збільшує щільність портів
- Розподіл каналів управління, каналів обслуговування та моніторингу
- Високий рівень надійності операторського класу і керованість
- Модуль рівня захисту, який відповідає за електромагнітну сумісність
- Можливість гарячої заміни плат, блоків живлення і модулів
- Резервне копіювання мікропроцесорів
- Захист від неправильної установки плат
- Сигналізація працездатності та стану блоків живлення
- Сигналізація працездатності та стану напруги і температури навколишнього середовища



Рисунок 2.4 Схема CX 600-X8A [11]

Платформа CX600 -X8A може підтримувати максимум 1T-лінійну плату, що відповідає підвищеним мережевим вимогам клієнтів. А потужна лінійна плата 480G може підтримувати типи портів 100GE та 10GE, що може забезпечити гнучку конфігурацію. Завдяки розвиненій технології чіпсетів, CX600-X8A повинен забезпечити стійку високу пропускну здатність у майбутньому.

CX600-X8A підтримує різноманітні функції IPv6, включаючи орендовану лінію IPv6, подвійний стек та тунелювання. CX600-X8A підтримує технології для оптимізації часу конвергенції IPv6 та для поліпшення масштабованості. Усі вони допомагають забезпечити комплексні

рішення на основі високої продуктивності переходу від IPv6 до IPv4. І завдяки різноманітності технологій провайдер має змогу перейти до нових технологій найбільш ефективним шляхом.

Забезпечуючи всебічні технології захисту надійності, включаючи рівень обладнання, рівень мережі та рівень обслуговування, лінійка CX600-X8A може впоратися з різними видами відмов несучої мережі та забезпечити відновлення послуги. На основі цих даних CX600-X8A пропонує ієрархічне рішення, яке може відповідати вимогам всієї мережі та повністю задовольняти вимоги надійності класу перевізників.

На рівні обладнання CX600-X8A забезпечує резервне копіювання основних компонентів. Ці компоненти підтримують швидку заміну та швидку резервну копію. Для покращення можливостей відновлення послуг та забезпечення безперервної переадресації послуг CX600-X8A також використовує маршрутизацію без зупинки, безперервну переадресацію.

Надійність на рівні мережі підтримується різними протоколами розповсюдження типу: IP / LDP / VPN, застосовується багатоадресна передача, резервне копіювання каналу магістралі, виявлення двонаправленої переадресації, адміністрування операцій Ethernet та обслуговування та технології демпфування протоколу / порту / VLAN для забезпечення стабільності всієї мережі. CX600-X8A забезпечує рішення захисту мережі, яке може у випадку відмови гарантувати відновлення послуги протягом 200 мс..

Крім того, CX600-X8A підтримує всебічну тактову синхронізацію Ethernet, що добре відповідає вимогам щодо розвитку послуг.

Основні характеристики моделі CX600 X8A показані у таблиці 2.1:

Таблиця 2.1 Основні характеристики моделі CX600 X8A

Властивість	Значення
Пропускна здатність	25.16 Tbps
SPU	2
LPU	8
SRU	2
Потужність	6520W
Маса	207kg
Розміри	442mm×650mm×934mm
Протоколи IPv4	так
Протоколи IPv6	так

Надійність у сьогочасного обладнання також являється важливим чинником, тому виробники вдаються до всебічного забезпечення необхідної якості обладнання. CX600 для забезпечення надійності підтримує наступні технології:

- Підтримує технології BGP / IS-IS / OSPF / LDP / RSVP-TE / PIM, VLL / VPLS / L3VPN NSR.
- Підтримує BGP GR Helper, IS-IS GR Helper та OSPF GR Helper.
- Підтримує помічник GR LDP, протокол резервування ресурсів (RSVP)
- Підтримує оновлення програмного забезпечення в службі (ISSU).
- Підтримує швидку конвергенцію внутрішніх протоколів шлюзу (IGP), BGP та маршрутизації для багатоадресної передачі.
- Підтримує IP / LDP / VPN / TE / VLL FRR.
- Підтримується IP Auto FRR. Підтримує BFD для статичного протоколу маршрутизації та таких протоколів, як IS-IS, RSVP, LDP, TE, Label Switched Path (LSP), PW, OSPF, BGP, VRRP та PIM.

- Підтримує Ethernet OAM, Y.1731.
- Підтримує резервне копіювання сервісних маршрутизаторів.

Підтримувані протоколи багатоадресної передачі

IGMPv1, IGMPv2, IGMPv3, IGMP, VPN для багатоадресної передачі та IPv6. Підтримує статичні маршрути для багатоадресної передачі, протоколи маршрутизації для багатоадресної передачі: PIM-SM, PIM-SSM, протокол виявлення джерела передачі даних (MSDP) та мультипротокол BGP (MBGP).[11]

2.4 Типові проектні рішення із застосуванням SyncEthernet

Типовий сценарій розгортання мережі з використанням Synchronous Ethernet на основі продемонстрований на основі серії CX600 на рисунку 2.5. Серія CX600-X8A може нести послуги для житла, VPN та мобільних пристроїв.

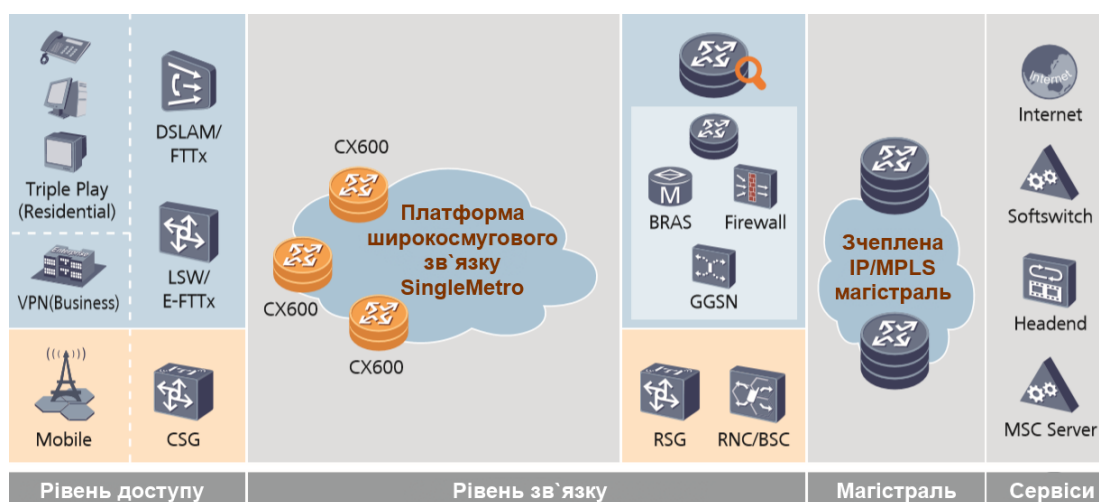


Рисунок 2.5 типовий сценарій мережі з використанням SynE [11]

Структурно такі проектні рішення являють собою магістраль, зазвичай оптоволоконних кабелів, поєднаних платформами широкосмугового зв'язку. Фактично зчеплена магістраль це декілька поєднаних між собою кілець магістралей, як показано на рисунку 2.6.

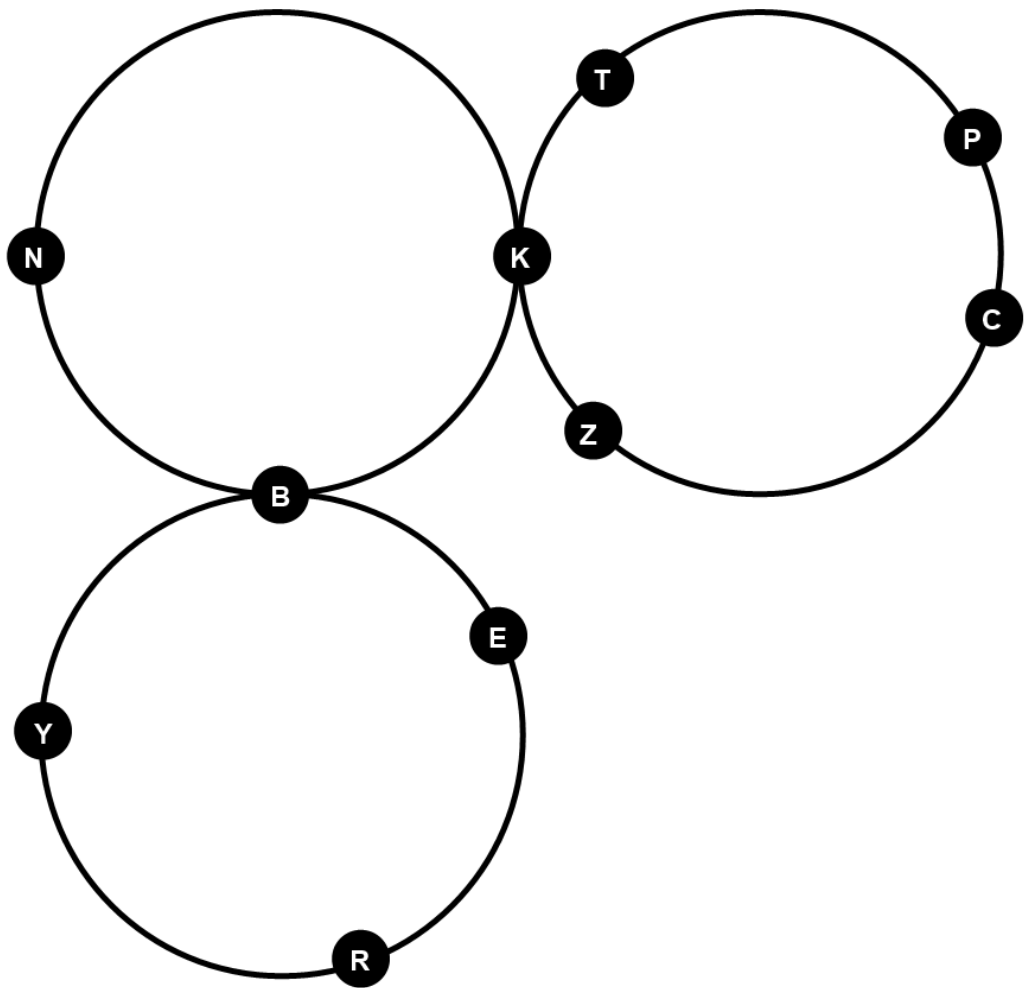


Рисунок 2.6 типовий граф мережі

Крім того, платформи повністю підтримують механізми синхронізації тактових годин на основі Синхронного Ethernet, що допомагає збільшити пропускну здатність такої системи.

Висновки до 2-го розділу

У цьому розділі була проаналізована основана структура проектної реалізації мереж із синхронним езернетом, визначені основні особливості структурної реалізації синхронізації за допомогою лінійних плат. Були проаналізовані можливості та особливості сучасного популярного обладнання та їх основні технологічні властивості, такі як:

- Пропускна здатність
- Основні порти
- Маса-габаритні властивості
- Потужність
- Технологічні рішення безпеки

Був визначений перелік фізичних інтерфейсів Ethernet, що підходять для роботи в режимі SyncE.

Розділ 3 техніко економічне порівняння технології SyncE та PTP

3.1 Технічне впровадження технологій SyncE та PTP

Синхронний Ethernet базується на поширенні еталонної частоти через фізичний рівень Ethernet, PTP синхронізує годинники на пакетному апаратному рівні через встановлення середньочасової затримки на проходження сигналу та підстройки годинника. Докладніше на рисунку 3.1.

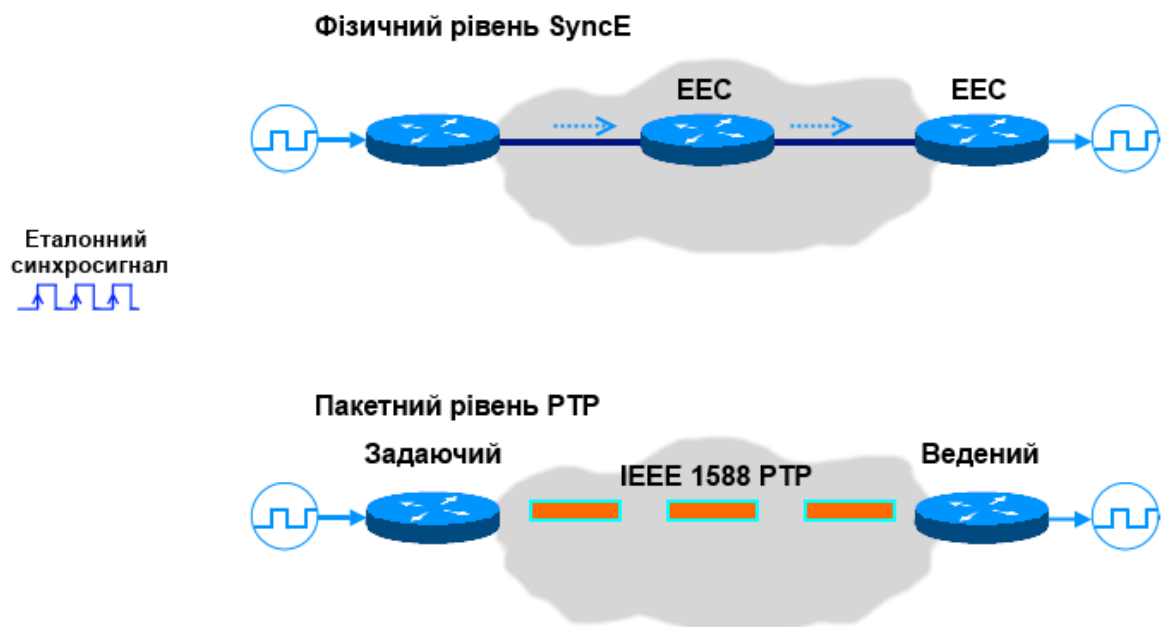


Рисунок 3.1 структурна схема синхронізації з GPS

У першому і другому випадку для реалізації системи повинен бути високоточний еталонний годинник який є ведучим годинником для обох типів мереж синхронізації. У більшості обладнання є можливість використання кожної з технологій та їх симбіоз. Відмінність полягає в тому що механізм Sync-E функціонує на фізичному рівні - не залежить від

завантаження мережі, це дозволяє передавати сигнал синхронізації через транзитні пристрої, але забезпечує тільки частотну синхронізацію, а IEEE 1588 здатен завдяки своїй програмній реалізації забезпечити частотну і фазову синхронізацію.

Сеанс роботи PTP

На рисунку 3.2 показана процедура спілкування головного пристрою і пристрою, який потрібно синхронізувати.

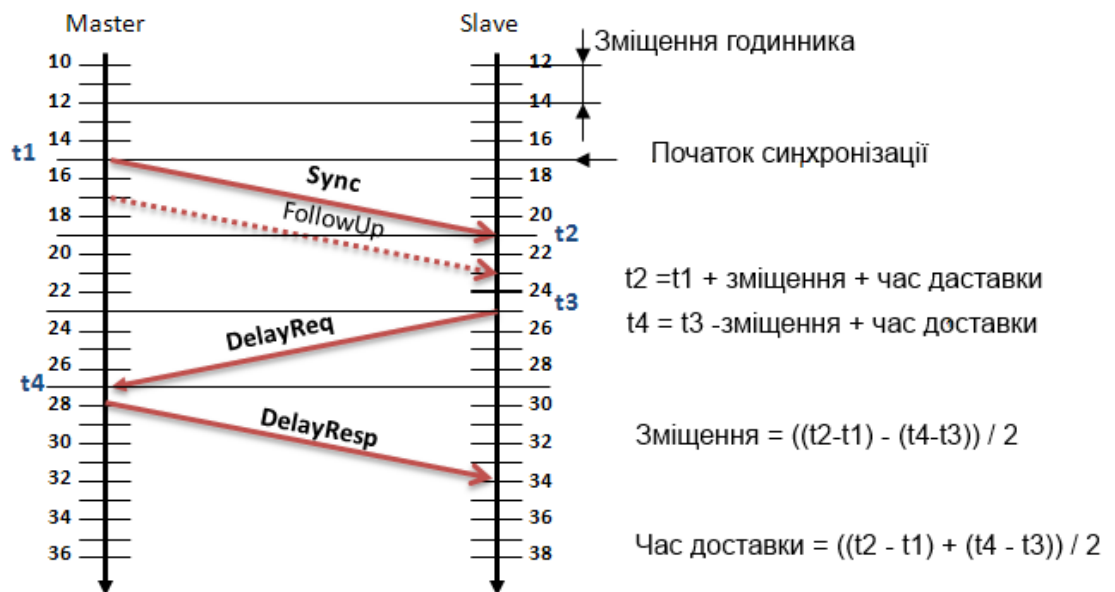


Рисунок 3.2 Сеанс синхронізації PTP [12]

- Все починається з того, що Master відправляє повідомлення Sync і одночасно записує час відправки t_1 . Існує одно- і двоетапні режими роботи. Відрізнити їх дуже легко: якщо присутній повідомлення FollowUp - то ми маємо справу з двоетапною реалізацією, пунктирною стрілкою показані необов'язкові повідомлення

- FollowUp повідомлення відправляється слідом за Sync і містить час $t1$. Якщо здійснюється передача в один етап, то Sync містить $t1$ в тексті листа. У будь-якому випадку $t1$ буде отримано нашим пристроєм. У момент отримання повідомлення Sync на Slave генерується відмітка про час надходження $t2$. Таким чином ми отримуємо $t1, t2$
- Slave генерує повідомлення DelayReq одночасно з генерацією $t3$
- Master отримує DelayReq повідомлення, одночасно генеруючи $t4$
- $t4$ відправляється Slave пристрою в DelayResp повідомленні

Сеанс роботи SyncE

На рисунку 3.3 показана процедура спілкування головного пристрою і пристрою, який потрібно синхронізувати.

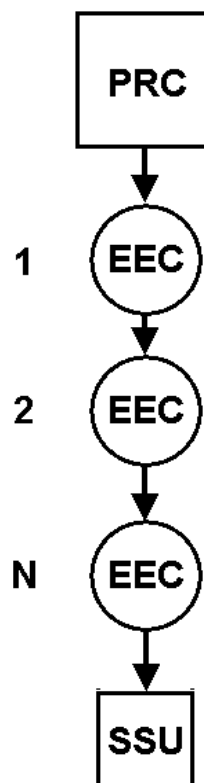


Рисунок 3.3 Сеанс синхронізації SyncE

- Інформація про еталонну частоту передається до нижнього SSU через мережеві елементи (NE), що містять ЕЕС.
- Разом з повідомленнями про еталонну частоту передається SSM через низькошвидкісний канал ESMS –сигнал про рівень якості джерела синхронізації.
- Годинник обирає найбільш якісний еталонний сигнал синхронізації з доступних та підстроюється під нього.

3.2 Технічні відмінності

- У порівнянні з іншими способами синхронізації в IP-мережах, такими як протокол PTP, SyncE є найбільш оптимальним в сенсі гарантування якості сигналу - в силу своєї природи і виконання на апаратному рівні для всього обладнання.
- Архітектура Sync-E також сумісна з сучасною мережею синхронізації. Таке рішення дає провайдерам електрозв'язку гнучкість в обслуговуванні безлічі вузлів і додатків з визначеним якістю характеристик при хорошому розумінні перспективи переходу існуючих транспортних мереж до таких на основі Ethernet. У випадку PTP та його версій залишається велика проблема сумісності, що є причиною заміни або модернізації обладнання, не кажучи вже про різні недефолтні версії IEEE v2 протоколу, де зазвичай вносяться обмеження на можливість роботи, крім того, для забезпечення синхронізації потрібно забезпечити однакове налаштування обладнання .
- У випадку PTP найголовнішою проблемою в розрахунку розбіжності тимчасових інтервалів є те, що між пристроями Grand Master і Slave можуть стояти маршрутизатори 3 рівня, які не підтримують протокол

РТР 5 рівня, що значно може погіршити якість. В архітектурі Sync-E синхронізація підтримується завдяки правильному розподілу еталонного сигналу відносно посилок про якість генераторного обладнання.

- Технологія синхронного Ethernet має доволі велику стійкість до обривів ланцюгів синхронізації та швидке відновлення синхронізації завдяки розподіленій структурі. РТР при обриві синхронізації потребує деякий час на відновлення та корегування похибок, щоб встановити синхронізацію у обладнання.
- РТР має недолік в необхідності налаштування деяких параметрів, наприклад: механізм вимірювання затримки; інтервали і початкові значення всіх конфігурованих параметрів і т.д., для стабільної і коректної роботи мережі синхронізації.
- Технологія синхронного Ethernet має обмеження у кількості генераторів між вторинними пристроями, та обмеження на кількість вторинних пристроїв у мережі.
- РТР у відмінності від методу синхронного Ethernet тримає синхронізацію не тільки на рівні частоти а й на рівні фази
- Технологія SyncE має значно швидшу реакцію на зрив синхронізації та відновлює її менше ніж за секунду, проти п'яти секунд у РТР

3.3 Економічні відмінності

- РТР суттєво відрізняється від SyncE тим, що для доставки часу на край мережі використовується протокол. Це дозволяє значно зменшити кількість дорогоцінного обладнання, необхідного для реалізації синхронізації.

- Кількість використовуваних комутаторів при використанні технології IEEE1588 - обумовлена балансом між гнучкістю: чим більша кількість комутаторів тим більша кількість можливого кінцевого обладнання, надійністю: при зростанні кількості комутаторів в системі, значно збільшується ймовірність відмови одиничного комутатора, експлуатаційна надійність: у випадку відмови будь якого з використовуваних комутаторів, якнайменша кількість елементів має втратити управління, в ідеальному випадку, система має залишитися без втрат.
- Технологія SyncE потребує однозначної наявності запасного еталонного генератора, що значно збільшує вартість такої системи. RTP може мати запасний еталонний генератор для підвищення надійності системи, але він є необов'язковим.
- Значна кількість додаткового генераторного обладнання, з високою точністю – значно підвищує вартість ТМС на основі технології синхронного Ethernet, що не є стільки необхідним у технології RTP, завдяки програмній реалізації.
- При використанні технології RTP варто пам'ятати про те, що точність синхронізації напряму впливає на кількість займаемого трафіку в мережі, оскільки в IEEE 1588 один з основних методів покращення синхронізації є збільшення частоти відправлення пакетів RTP.

3.4 Техніко-економічне порівняння у випадку забезпечення синхронізацією пакетної мережі.

Для такого порівняння, буде розглянута система, в якій роль еталонного генератора бере на себе система GPS. Тобто структурно схеми набувають виду, як на рисунку 3.4.

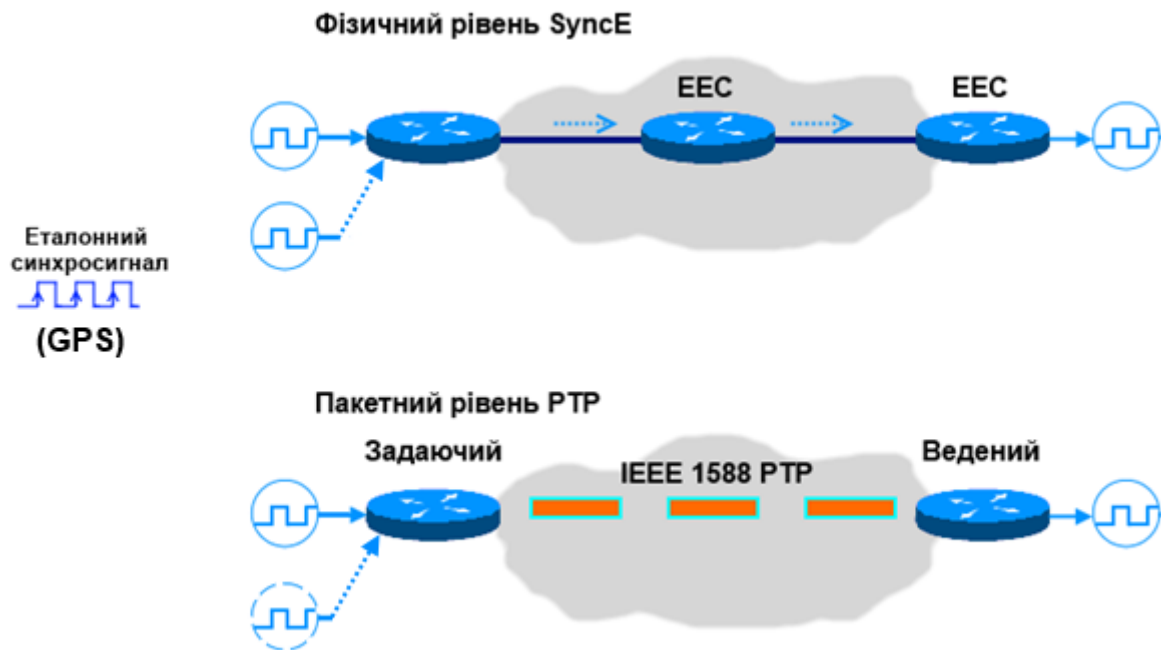


Рисунок 3.4 структурна схема синхронізації з GPS

Для прийняття сигналу GPS, кожна з технологій може використовувати одну й ту ж апаратуру, тому ми не будемо розраховувати вартість однакового обладнання, а більше зосередимось на різниці вартості і отриманої якості при реалізації цих двох методів.

Першим таким нюансом є обов'язкова необхідність для систем з синхронним Ethernet запасного еталонного генератора, проти опціонального запасного генератора у технології PTP, зважаючи на те, що вартість такого обладнання на ринку сьогодні приблизно 28 000 грн. - це є доволі важливим чинником для вибору між систем. З іншого боку апаратура Grandmaster для IEEE 1588 коштує 57 000 грн. у середньому на ринку. Якщо подивитися на підлеглі годинники, то розбіжності в ціновій політиці ще сильніше розділяють ці два методи в економічному просторі. Блок SSU синхронного Ethernetу на ринку загалом тримається на позначці у 51 000 грн, а обладнання

для підлеглих годинників протоколу IEEE 1588 досягають в середньому до 127 000 грн, при чому апаратура що здатна підтримувати обидві технології в середньому коштує 110 000 грн. Порівняльний кошторис при реалізації систем на ведений у таблиці 3.1, для більш наглядної ілюстрації економічних відмінностей.

Таблиця 3.1 кошторис обладнання

	Тільки SyncE	Тільки PTP	Тільки PTP	PTP та SyncE
Вартість ведучих генераторів	28 000 грн x2 =56 000 грн	57 000 грн	57 000 грн x2 = 114 000 грн	110 000 грн
Вартість ведених генераторів	51 000 грн	127 000 грн	127 000 грн	110 000 грн
Вартість структури загалом	107 000 + 51 000 за кожний новий рівень	184 000 + 127 000 за кожний новий рівень	241 000 + 127 000 за кожний новий рівень	220 000 + 110 000 за кжний новий рівень

Примітка: PTP показана у реалізації при одному еталонному генераторі та при наявності запасного

При реалізації систем, на виході ми повинні отримати точність +/- 4.6 ppm для синхронного Ethernet, та +/- 100 нс для технології PTP.

Але такі данні можливі не у будь якому випадку. Для технології PTP необхідна точна настройка параметрів, та необхідність апаратної підтримки PTP для кінцевих пристроїв, не кажучи вже про те, що таку точність

стабільно може гарантувати тільки друга версія протоколу та її різновиди. Такі особливості створюють ще великі економічні навантаження на проектування та настройку синхронізації мережі за методом РТР, окрім того, на підтримку та оновлення мережі, наприклад для масштабування мережі, чи підняття новітнім обладнанням точності синхронізації - піде значно більше коштів ніж у випадку синхронізації за допомогою методу SyncE.

Висновки до 3-го розділу

У розділі були знайдені відмінності між реалізацією систем з SyncE та РТР, їх методикою роботи та особливостями що значно впливають на степінь важкості реалізації тактової синхронізації, та реалізації проектних рішень на основі цих методів в принципі.

В ході порівняння було визначено перевагу синхронізації частоти методом SyncE над РТР спричиненої такими основнимим чинниками як:

- Значна різниця в ціні обладнання при однакових топологіях.
- Необхідність важкої додаткової підстройки у випадку використання РТР.
- Слабка сумісність різних версій протоколу РТР.
- Невелика точність при невикористанні апаратної підтримки для РТР.
- Вища стійкість та швидкість відновлення синхронізації за методом SyncE

Висновки

По темі «Забезпечення синхронізації в пакетній мережі за технологією синхронного Ethernet» був зроблений аналіз міжнародних стандартів технології Synchronous Ethernet, проаналізована основана структура проектної реалізації мереж із синхронним Ethernetом та можливості сучасного обладнання для реалізації синхронізації методом синхронного Ethernetу.

За допомогою проведеного аналізу було проведене тезніко-економічне порівняння двох конкуруючих технологій для синхронізації пакетної мережі та виявлені переваги синхронізації методом синхронного Ethernet над методом протоколу точного часу.

Отримані результати можуть значною мірою вплинути на подальше проектування комерційних проектів де є гостра необхідність в синхронізації без прив'язки до жорсткої фази.

Джерела

1. ITU-T G.8261 , "Timing and synchronization aspects in packet networks", 08/2019
2. ITU-T G.8262 , "Timing characteristics of a synchronous Ethernet equipment slave clock", 11/2018
3. ITU-T G.8264 , "Distribution of timing information through packet networks", 08/2017
4. ETSI EN 300 462-6-1 : "Transmission and Multiplexing (TM); Generic requirements for synchronization networks; Part 6-1: Timing characteristics of primary reference clocks".
5. MCE-T G.703 : "Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces".
6. ETSI EN 300 166 : "Transmission and Multiplexing (TM); Physical and electrical characteristics of hierarchical digital interfaces for equipment using the 2 048 kbit/s - based plesiochronous or synchronous digital hierarchies".
7. ETSI EN 300 462-4-1 : "Временные характеристики ведомых задающих генераторов для источника синхронизации аппаратуры (SDH) и (PDH)".
8. ETSI EN 300 462-7-1 : "Временные характеристики ведомых задающих генераторов для источника синхронизации аппаратуры, применяемой в местных узлах ".
9. МСЭ-T G.803 , "Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH)", 2003.
10. ETSI EN 300 462-2-1 : "Transmission and Multiplexing (TM); Generic requirements for synchronization networks; Part 2-1: Synchronization network architecture based on SDH networks".
11. CX600-X3AX8AX16A V800R007 Universal Service Router Product Brochure(en) URL <https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/data-communication/router/cx600>

12. IEEE 1588-2019 - IEEE Approved Draft Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems

13. [Электронный ресурс] URL <https://russianelectronics.ru/tehnologiya-sinhronizaczii-ethernet-seti/>