

# Керування мережних пристроїв на основі протоколу канального рівня STP стека протоколів TCP/IP

**1 Мета роботи.** Вивчення основних принципів роботи комутаторів та мостів в інформаційних мережах на основі протоколу STP та отримання навичок щодо усунення активних петель в мережі за допомогою протоколів STP та RSTP.

## 2 Ключові положення

### 2.1 Структура і принципи роботи мостів

Об'єднання сучасних мереж здійснюється як за допомогою маршрутизаторов, так і за допомогою мостів і комутаторів. Основна відмінність між ними полягає в тому, що об'єднання мереж за допомогою мостів і комутаторів відбувається на канальному рівні еталонної моделі взаємозв'язку відкритих систем (BBC, англійська аббревіатура - OSI), а маршрутизатор використовує мережний рівень; крім того, ці пристрої підтримують різні алгоритми при переміщенні інформації по мережі.

*Міст* - це пристрій, що забезпечує взаємозв'язок декількох локальних мереж за допомогою передачі кадрів з однієї мережі в іншу. Мережний міст з'єднує дві інші окремі комп'ютерні мережі, щоб забезпечити зв'язок між ними та дозволити їм працювати як єдина мережа. Мости використовуються з локальними мережами (ЛВС), щоб розширити їх охоплення, щоб охопити більші фізичні області, ніж може досягти ЛОМ.

Мост перевіряє вхідний мережний трафік і визначає, чи слід пересилати або відкидати його відповідно до призначеного пункту призначення. Він приймає кадр, зберігає його в буферній пам'яті, аналізує адресу призначення кадру. За належності кадру до мережі, з якої він отриманий, міст на цей кадр не реагує

Типи мережних мостів. Мостові пристрої існують для Wi-Fi до Wi-Fi, Wi-Fi до Ethernet та Bluetooth для Wi-Fi-з'єднань. Кожен із них призначений для певних типів мереж.

Мости особливо популярні у комп'ютерних мережах Wi-Fi. У безпроводному з'єднанні Wi-Fi потрібно, щоб точки доступу зв'язувалися один з одним у спеціальному режимі, який підтримує трафік, що протікає між ними. Дві точки доступу, які підтримують режим безпроводного моста, працюють як

пара. Кожен із них продовжує підтримувати свою власну локальну мережу підключених клієнтів, а також обмінюється інформацією з іншого, щоб обробляти міст.

Режим мосту можна активувати в точці доступу через адміністративне налаштування або іноді фізичний перемикач пристрою. Не всі точки доступу підтримують безпроводний режим; зверніться до документації виробника, щоб визначити, чи ця модель підтримує цю модель.

Мости та мережні ретранслятори мають подібний зовнішній вигляд; іноді один блок виконує обидві функції. Однак, на відміну від мостів, ретранслятори не виконують жодної фільтрації трафіку та не об'єднуються у дві мережі. Натомість повторювачі передають весь трафік, який вони отримують. Ретранслятори служать головним чином для регенерації сигналів трафіку, тому одна мережа може досягати більш тривалих фізичних відстаней.

Мости не мають інтелекту мережних маршрутизаторів: Bridges не розуміють концепцію віддалених мереж і не можуть динамічно перенаправляти повідомлення в різні місця розташування, але натомість підтримують лише один зовнішній інтерфейс.

У провідних комп'ютерних мережах мости виконують аналогічну функцію, як мережні комутатори. Традиційно провідні мости підтримують одне вхідне і вихідне мережне з'єднання, доступне через апаратний порт, тоді як комутатори зазвичай пропонують чотири або більше апаратних портів. З цієї причини комутатори іноді називають багатоповерховими мостами.

## **2.2 Структура і принципи роботи комутаторів**

Комутатор (switch, switching hub) - це пристрій об'єднання комп'ютерів у мережу та організації зв'язку між невеликими локальними мережами.

Комутатор приймає рішення щодо просування пакетів виходячи з заголовків протоколів 2-го рівня моделі OSI, тобто протоколів типу Ethernet (по MAC - адресам).

За принципом обробки кадрів комутатор нічим не відрізняється від мосту. Основна його відмінність від мосту полягає в тому, що він є свого роду комунікаційним мультипроцесором, оскільки кожен його порт оснащений спеціалізованим процесором, який обробляє кадри алгоритму мосту незалежно від процесорів інших портів. За рахунок цього загальна продуктивність комутатора зазвичай набагато вища за продуктивність традиційного мосту, що має один процесорний блок.

Комутатори, як було зазначено, обробляють кадри з алгоритму моста. Суть цього методу така: міст будує адресну таблицю виходячи з пасивного спостереження трафіком. За апаратною адресою джерела він робить висновки щодо належності цього вузла тому чи іншому сегменту мережі (див. Таблиця 1).

Таблиця 1. Адресна таблиця

MAC-адреса	Порт
101A173DBC11	1
008100 5e24 a8	2
111C101ADB01	3
230282ABFED1	4
.....	....

Як тільки в таблиці з'являється запис, міст використовує її, перевіряючи збіг з ним адрес призначення кадрів інформації, що надходять.

У комутаторах кожен порт складає свою таблицю адрес та обробляють кадри незалежно від інших портів.

Такий спосіб побудови адресних таблиць призводить до неможливості роботи в мережах із петлеподібною структурою.

### 2.3 Протокол SPT для мостів і комутаторів

Для підвищення надійності мережі часто використовують надлишкові з'єднання між комутаторами. Але ця надмірність може стати причиною стану у мережі, при якому відбувається нескінченне пересилання кадрів між комутаторами, підключеними в один і той же сегмент мережі, а саме:

- петлі канального рівня,
- широкомовний шторм,
- дублювання одноадресних фреймів.

Spanning Tree Protocol (IEEE 802.1D) - мережний протокол, який працює на другому (канальному) рівні моделі OSI. Заснований на однойменному алгоритмі STA (Spanning Tree Algorithm), розробником якого є Радья Перлман.

Основним завданням STP є приведення мережі Ethernet з множинними зв'язками до деревоподібної топології, що виключає цикли пакетів. Тобто протокол логічно блокує надлишкові канали між комутаторами і трафік через

них не передається. У разі, якщо один з ділянок шляху буде недоступний, протокол STP вирахує новий шлях і розблокує один з заблокованих ділянок.

### **Принцип дії протоколу**

1. Після включення комутаторів в мережу, за замовчуванням кожен комутатор вважає себе головним, тобто кореневим (root).

Потім комутатор починає посилати по всіх портах конфігураційні Hello BPDU пакети (Bridge Protocol Data Units - основна одиниця (кадр) обміну інформацією в протоколі STP) раз в 2 секунди. Виходячи з даних Hello BPDU пакетів, той чи інший комутатор набуває статус root, тобто кореня.

Тобто в мережі вибирається один кореневий комутатор або міст (англ. Root Bridge), який призначається з найнижчими BID (Bridge ID - ідентифікатор поточного комутатора). Можливі випадки, коли пріоритет у двох і більше комутаторів буде однаковий, тоді вибір кореневого комутатора (root-a) буде відбуватися на підставі MAC-адреси комутатора, де кореневих (root) комутатором стане комутатор з найменшим MAC-адресою.

2. Далі кожен комутатор або міст прораховує найкоротший шлях до кореневого, використовуючи STA за критерієм найменшої вартості. Кожен порт має свою вартість (cost) з'єднання, встановлену або на заводі-виробнику (за замовчуванням), або вручну. Відповідний порт називається кореневим портом (англ. Root Port). У будь-якого не кореневого комутатора може бути тільки один кореневий порт. Після цього всі порти крім root port і designated port блокуються.

3. Після цього порти комутатора або моста, через які проходить цей шлях, стають призначеними для цієї мережі (англ. Designated Bridge).

4. Далі на всіх комутаторах або мостах блокуються всі порти, які не є кореневими та призначеними (root та designated). В результаті виходить деревоподібна структура (покриваюче дерево - математичний граф) з вершиною в вигляді кореневого комутатора.

### **Ролі портів**

**Root (кореневі) порти** - порти некореневих комутаторів, через які проходить трафік в сторону кореневого комутатора. Може бути тільки один кореневий порт у комутатора. MAC адреси джерела фреймів, отримані на цей порт, заносяться в таблицю MAC адрес комутатора.

**Designated (призначені) порти** - можуть бути і у кореневих, і у некореневих комутаторів. У кореневих - це все порти. У некореневих - все

некореневі порти, через які дозволено передача трафіку. В одному сегменті мережі може бути тільки один призначений порт. MAC адреси джерела фреймів, отримані на ці порти, заносяться в таблицю MAC адрес комутатора.

**Non-designated (непризначені) порти** - порти, які перебувають в стані блокування. Трафік через них заборонений.

**Disabled (відключені) порти** - порти, які вимкнені адміністратором командою **shutdown**.

### **Визначення кращого шляху до root bridge**

У BPDU повідомленнях крім bridge ID і root ID передається таже вартість шляху до root ID. Після того, як root bridge був обраний, STA починає процес визначення найкращого шляху до кореневого мосту зі всіх напрямків вшироковещательном домені. Інформація про шляхах визначається шляхом підсумовування індивідуальних вартостей портів на шляху від комутатора призначення до root bridge.

За замовчуванням, вартість портів комутаторів наступна:

10 Гб / с - 2

1 Гб / с - 4

100 Мб / с - 19

10 Мб / с - 100

Для кожного порту можна задати вартість вручну командою:

**S1 (config-if) # spanning-tree cost cost**

Для скасування ручної настройки вартості порту використовується команда:

**S1 (config-if) #no spanning-tree cost**

Після підрахунку вартостей всіх шляхів, вибирається шлях з найменшою вартістю, а все резервні шляхи блокуються. Для перевірки вартостей портів, а також вартості шляху до root bridge використовується команда:

**S1 # show spanning-tree**

Для виведення більш детальної інформації використовується команда:

**S1 # show spanning-tree detail**

### **Bridge ID**

Поле bridge ID в BPDU складається з трьох частин.

**Bridge Priority** - пріоритет комутатора при виборі root bridge. Може змінюватися від 1 до 65536. За замовчуванням дорівнює 32768. Чим менше значення, тим більше пріоритет.

**Extended System ID** - номер VLANa. Використовується в PVST. Додається до Bridge Priority для обчислення пріоритету.

**MAC Address** . Коли все комутатори в мережі сконфігуровані з однаковими пріоритетом (Bridge Priority) та номером Extended System ID, Раша фактором при виборі root bridge буде MAC адресу. Комутатор з найменшим MAC адресою буде обраний як root bridge.

Бувають випадки, коли необхідно, щоб конкретний комутатор був кореневим. Для цього змінюється пріоритет комутатора. Зробити це можна двома способами.

1. Командою **S1 (config) # spanning-tree vlan vlan-id root primary** . Комутатора буде присвоєно пріоритет 24576 або на 4096 менший, ніж самий менший виявлений пріоритет в мережі. Це буде основний кореневої комутатор.
2. Командою **S1 (config) # spanning-tree vlan vlan-id root secondary** . Комутатора буде присвоєно пріоритет 28672. Це буде запасний кореневої комутатор. Він стане кореневим, якщо основний кореневої стане недоступний і почнуться нові вибори, при умови, що у інших комутаторів пріоритет встановлений по замовчуванню.
3. 2. Командою **S1 (config) #spannin g-tree vlan vlan-id priority value** . Цим способом можна призначати конкретні значення пріоритетів.

### **Визначення ролі порту**

**Вибір кореневого порту.** Комутатор порівнює вартості всіх можливих шляхів до кореневого комутатора. Порт комутатора, у якого сама низька вартість шляху, автоматично стає кореневим. Якщо два і більше портів мають однакову вартість шляху, вибирається порт, який має більший пріоритет. Якщо пріоритети теж однакові, вибирається порт, який має найменший номер (port ID). Пріоритет порту налаштовується командою **S1 (config-if) # spanning-tree port-priority value** . Діапазон від 0 до 240 з кроком 16. За замовчуванням дорівнює 128.

**Вибір призначених і непризначених портів** . Кореневої комутатор автоматично визначає всі свої порти як призначені. На некореневих комутаторах Еторе вибір відбувається після вибору кореневого порту. Вибір відбувається на кожному сегменті. Комутатор дивиться повідомлення BPDU, що приходить на порт і вирішує: якщо bridge ID у нього менше, ніж у сусіда, порт стає призначеним, а якщо більше - непризначеним.

Перевірити ролі портів і їх пріоритети можна командою **S1 # show spanning-tree**

### **Стан порту**

Порти комутатора при роботі протоколу STP можуть знаходитися в п'яти станах.

**Blocking (заблокований)** - непризначений порт НЕ бере участь в процесі пересилання фреймів. Але передає приймає BPDU.

**Listening (прослуховування)** - порт приймає і передає тільки BPDU.

**Learning (вивчення)** - порт готується до початку пересилання фреймів. Порт приймає і передає BPDU, а також вивчає MAC адреси з фреймів, що приходять на нього.

**Forwarding (пересилання)** - порт приймає і передає вивчає MAC адреси з фреймів, що приходять на нього.

**Disabled** - порт відключений адміністратором командою **shutdown**.

### **Варіанти STP**

**Per-VLAN spanning tree protocol (PVST)** - пропрієтарний протокол Cisco. Використовує для організації транків свій протокол ISL. Сполучна дерево будується окремо для кожного VLANa. Це дає можливість балансувати трафік на 2-му рівні. Для PVST розроблені розширення настройки портів BackboneFast, UplinkFast і PortFast.

**Per-VLAN spanning tree protocol plus (PVST +)** - пропрієтарний протокол Cisco. Розроблено для підтримки транкового протоколу IEEE 802.1Q. Підтримує всі розширення PVST, а також введені доповнення BPDU guard і Root guard.

**Rapid per-VLAN spanning tree protocol (rapid PVST +)** - пропрієтарний протокол Cisco. заснований на стандарті IEEE802.1w і має меншу час збіжності по порівнянні з STP. Підтримує всі розширення PVST і PVST +.

**Rapid spanning tree protocol (RSTP)** - загальнодоступний протокол. Включає розширення Cisco BackboneFast , UplinkFast і PortFast . Має меншу час збіжності по порівнянні з STP. Саме він зараз і застосовується. Тобто STP = RSTP

**Multiple STP (MSTP)** - загальнодоступний протокол. Дозволяє будувати сполучні дерева для декількох VLANов. Тобто дозволяє зменшувати кількість дерев на комутаторі. Передбачає кілька шляхів для переадресації трафіка і дозволяє балансувати навантаження.

**PVST** + - це пропрієтарний протокол Cisco. Він будує сполучні дерева для кожного VLANa і дозволяє блокувати порти для кожного VLANa в окремо. Тому більш економічно використовується смуга пропускання кожного порту (НЕ простоює).

Відповідно і налаштовувати пріоритети для комутаторів і портів можна для кожного VLANa. Наприклад, для половини VLANов коренових комутатором настрівается один комутатор, а для другої половини - інший.

Але треба пам'ятати, що якщо не налаштовувати пріоритети, все комутатори мережі для всіх VLANов будуть приймати рішення про кореновому комутаторі, ґрунтуючись на MAC адресах комутаторів. І ніккакой балансування навантаження НЕ буде.

### **Зміна топології STP**

Після того, як вибори коренового комутатора завершилися і сталося призначення ролей портів комутатора, все комутатори, за винятком коренового, припиняють генерацію своїх BPDU. Тільки коренової комутатор генерує BPDU і розсилає з на шіроковещетельний адресу. Все остальное - тільки ретранслюють його.

При зміні топології комутатор, який це виявив, відправляє спеціальне повідомлення BPDU, яке називається TCN (topology change notification), через кореновий порт в напрямку коренового комутатора. Некоренові комутатори, які приймають це повідомлення, ретранслюють його через свій коренової порт, а також відправляють назад підтвердження про отримання - TCA (topology change acknowledgement).

Після того, як коренової комутатор отримав TCN, він спочатку відправляє назад TCA. А потім широкомовно відправляє BPDU з встановленим прапором TC (topology change). Таким чином, всі комутатори мережі дізнаються про зміну топології мережі і збільшують час **Maximum age** до 35 секунд по замовчуванням .

## **3 Контрольні питання**

- 3.1 У чому полягає відмінність маршрутезатора та комутатора або моста?
- 3.2 Поясніть основні функціональні відмінності між мостом і комутатором.
- 3.3 Перерахуйте ролі портів в STP?.



3.4 З яким інтервалом за замовчуванням комутатори передають BPDU кадри?

3.5 Яке значення пріоритету за умовчанням мають всі комутатори?

3.6. Що таке "активні петлі" в мережі, як вони виникають і яким чином їх наявність позначається на функціонуванні мережі?

3.7 Поясніть призначення і принцип функціонування протоколу STP .

3.8 В які стану, згідно з протоколом STP , в залежності від ситуації в мережі можуть переходити порти мостів і комутаторів?

3.9 Які дії, згідно з протоколом STP , передбачені у випадках: а) утворення "активної петлі"; б) обриву мережного кабелю між комутатором а ми; в) виходу з ладу кореневого комутатора?

## 4 Лабораторне завдання

**4.1 Побудувати мережу** зазначену на рисунку 4.1, самостійно призначив IP-адреси в мережі.

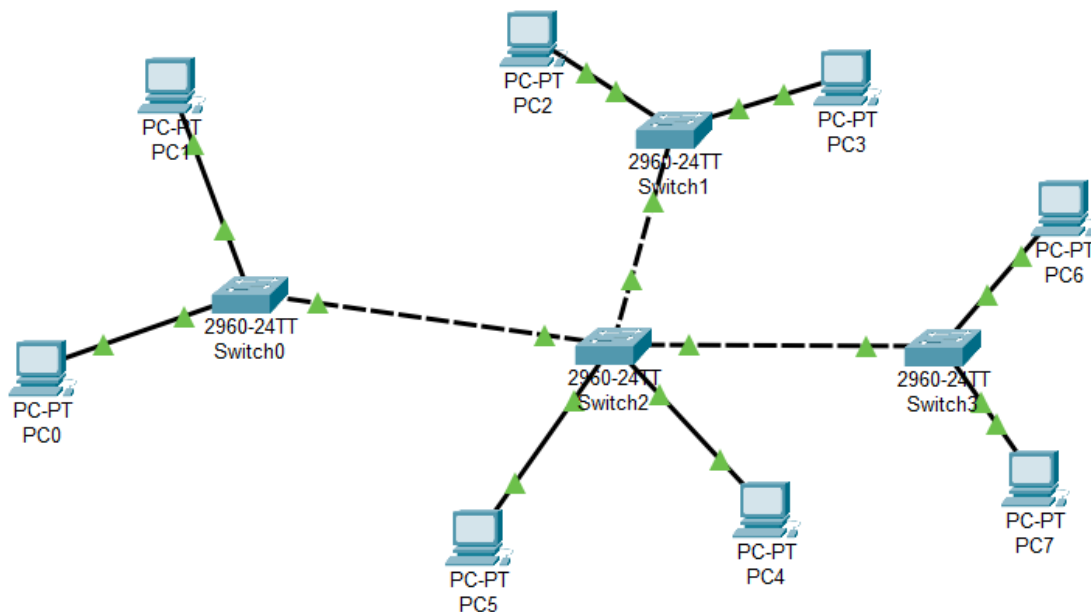


Рисунок 4.1 – Вихідна мережа

**4.2 Перевірити працездатність** мережі за допомогою передачі Simple PDU.

**4.3 Внести зміни в топологію** для утворення “петлі” - додайте надлишкові смуги між Switch 0, Switch 1 та Switch 3, рис. 4.2.

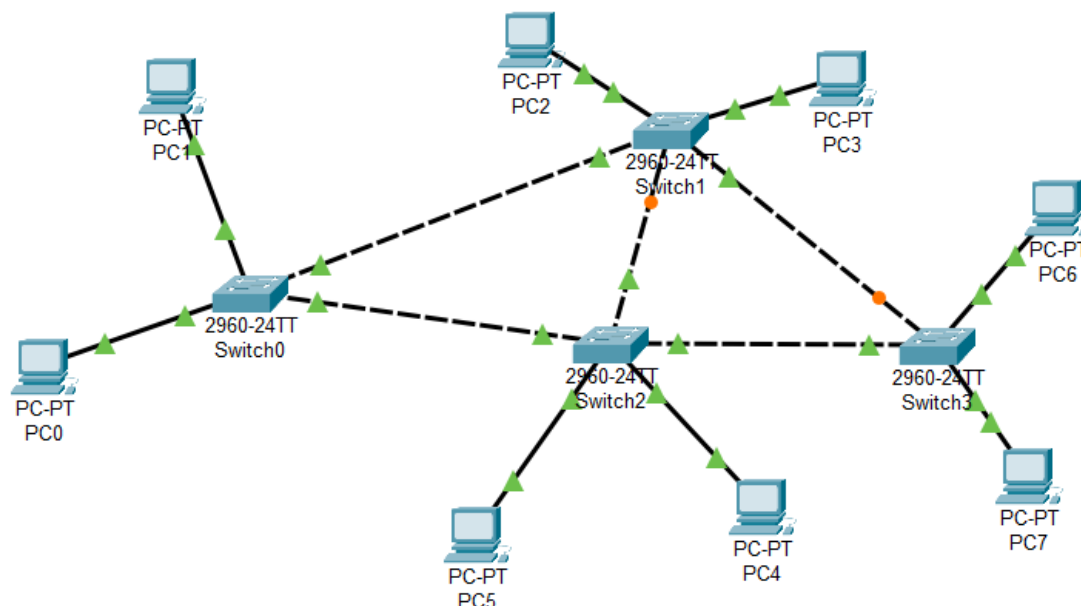


Рисунок 4.2 – Утворилась петля

Cisco PT самостійно налаштовує роботу STP. Для перегляду її роботи зайдіть в CLI Switch 0 та наберіть команду:

```
switch > en
```

```
switch #show spanning-tree
```

Пояснення виводу команди:

```
VLAN0001                                     # Номер влана, в котором работает данный процесс STP
Spanning tree enabled protocol ieee           # Тип STP
Root ID    Priority      32771                 # Информация о корневом свиче : приоритет
Address    0007.ECC4.09E2                     # Мас-адрес
Cost       4                                     # Сколько стоит добраться до корневого свича
Port       25(GigabitEthernet1/1)             # Через какой порт лучше добраться (Root Port)
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec # Таймеры STP

Bridge ID  Priority      32771 (priority 32768 sys-id-ext 3) # Информация о текущем свиче: приоритет (стандартный 32768+номер влана)
Address    000B.BE2E.392C
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
Aging Time 20

Interface  Role  Sts  Cost  Prio.Nbr Type                # Состояние портов
-----
Fa0/2      Desg  FWD  19    128.2  P2p
Fa0/24     Desg  FWD  19    128.24 P2p
Gi1/1      Root  FWD  4     128.25 P2p
Gi1/2      Altn  BLK  4     128.26 P2p
```

Після того, як комутатори вибрали root bridge, кожен з інших комутаторів повинен знайти один і лише один порт, який вестиме до кореневого комутатора. Такий порт називається **кореневим портом (Root port)**. Щоб зрозуміти, який порт краще використовувати, кожен некореневий комутатор визначає вартість маршруту від кожного порту до кореневого комутатора. Ця вартість

визначається сумою вартості всіх лінків, які потрібно пройти кадру, щоб дійти до кореневої комутатора. У свою чергу, вартість лінка визначається просто-по його швидкості (що вища швидкість, тим менша вартість). Процес визначення вартості маршруту пов'язаний із полем BPDU “Root Path Cost” та відбувається.

Кореневий комутатор посилає BPDU з полем Root Path Cost, рівним нулю.

Найближчий комутатор дивиться на швидкість свого порту, куди BPDU прийшов, і додає вартість згідно з таблицею

Швидкість порту	Вартість STP (802.1d)
10 Mbps	100
100 Mbps	19
1 Gbps	4
10 Gbps	2

Далі цей другий комутатор посилає цей BPDU нижчестоящим комутаторам, але вже з новим значенням Root Path Cost, і далі по ланцюжку вниз

Якщо мають місце однакові вартості (як у нашому прикладі з двома комутаторами та двома проводами між ними – у кожного шляху буде вартість 19) – кореневим вибирається менший порт.

Далі вибираються призначені ( **Designated** ) порти. З кожного конкретного сегмента мережі повинен існувати тільки один шлях до кореневого комутатора, інакше це петля.

**4.4 По черзі переглянути роботу STP** на всіх 4-х комутаторах позначте на схемі в протоколі Root порти і випишіть cost для всіх портів, визначивши кореневий комутатор і чи працює STP .

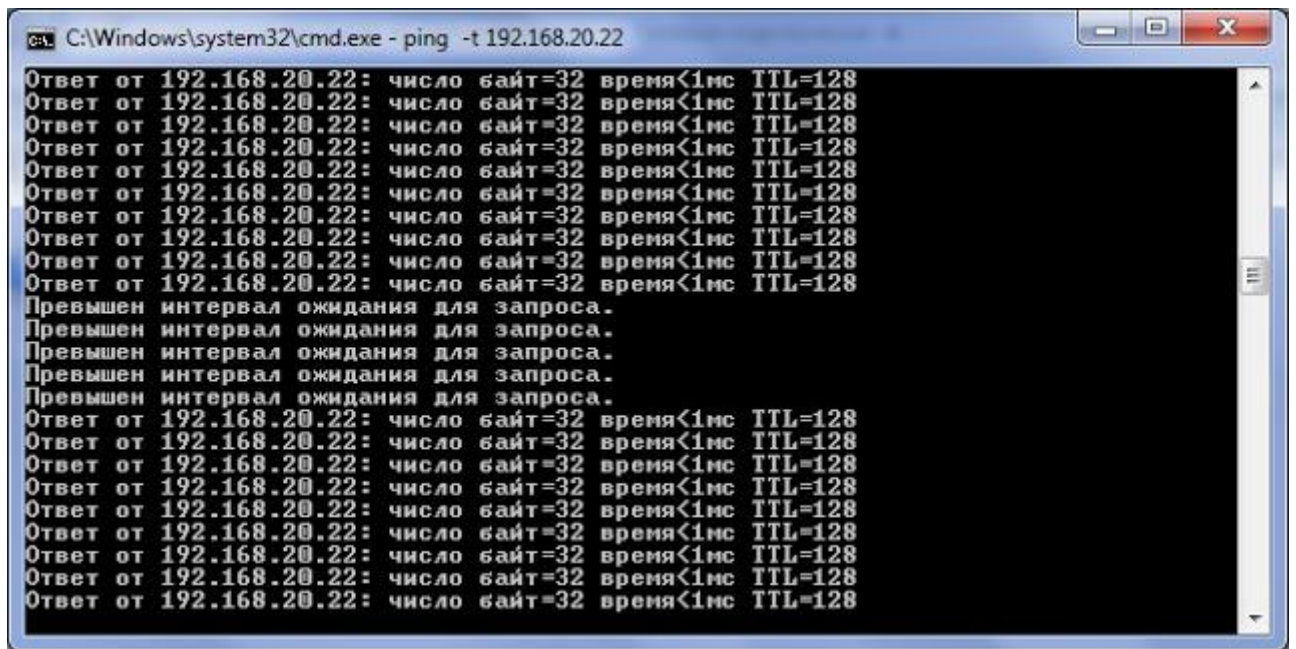
#### **4.5 Вивчити процес конвергенції STP**

З командного рядка PC2 виконати команду ping із параметром -t для PC4 (номер робочих станцій визначається згідно топології вказаної на Рис. 4.1 та може відрізнятися від нумерації Вашої топології мережі)

На комутаторі Switch 2 для порту за участю Root (в даному проєкті Fa0/1) виконати команду shutdown.

```
Switch (config)#interface F0/1
```

```
Switch (config-if)#shutdown
```



```
C:\Windows\system32\cmd.exe - ping -t 192.168.20.22
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Превышен интервал ожидания для запроса.
Превышен интервал ожидания для запроса.
Превышен интервал ожидания для запроса.
Превышен интервал ожидания для запроса.
Превышен интервал ожидания для запроса.
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
Ответ от 192.168.20.22: число байт=32 время<1мс TTL=128
```

Відзначити приблизний час сходження мережі, з висновку команди ping.

Повернути попередній стан порту командою no shutdown:

```
Switch (config-if)#no shutdown
```

#### 4.6 Налаштувати на комутаторах Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)

На комутаторах Switch 0, Switch1, Switch2 та Switch3 увімкнути для spanning-tree режим rapid-pvst

```
Switch (config)#spanning-tree mode rapid-pvst
```

```
Switch (config)#spanning-tree mode rapid-pvst
```

```
Switch (config)#spanning-tree mode rapid-pvst
```

Перевірити **show spanning-tree** та зафіксувати в протоколі.

#### 4.7 Переналаштування кореневого комутатора

Щоб встановити інший кореневий комутатор необхідно налаштувати мінімальний пріоритет для одного з комутаторів, що не є корневим. Для налаштування пріоритету комутатора використовується команда bridge priority.

Значення пріоритету може знаходитись в діапазоні від 0 до 65 535, але крок між значеннями становить 4 096. Значення за замовчуванням – 32 768.

Завдання пріоритету:

```
Switch 0 (config)#spanning-tree vlan 1 priority 4096
```

Якщо він не є кореневим, якщо у Вас він кореневий, то наступний, який полягає у VLAN 001.

Результати запишіть у протоколи

Потім відновіть пріоритет за промовчанням:

```
Switch 0 (config)# no spanning-tree vlan 1 priority
```

Перевірити show spanning-tree та зафіксувати в протоколі.

#### **4.8 Перевірка працездатності протоколу STP**

Для перевірки працездатності протоколу STP використовуйте наступні команди:

4.8.1 Переглянути відображення стану портів.

```
Switch 7# show spanning-tree summary
```

4.8.2 Переглянути відображення конфігурації та стану кореневого мосту.

```
Switch 7# show spanning-tree root
```

4.8.3 Переглянути відображення заблокованих портів.

```
Switch 7# show spanning-tree blockedports
```

Результати запишіть у протоколи

#### **5 Зміст протоколу**

- Назва роботи;
- Мета роботи;
- Відповіді на контрольні питання
- Порядок дій щодо виконання лабораторної роботи;
- Висновки за результатами виконаної роботи.