

## **Лабораторна робота № 6**

# **НАЛАГОДЖЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРОТОКОЛУ PVST+ У МЕРЕЖІ НА БАЗІ КОМУТАТОРІВ CISCO**

*Мета заняття:* ознайомитися з особливостями функціонування протоколу PVST+; отримати практичні навички налагодження, моніторингу та діагностування роботи протоколу PVST+ у мережі, побудованій з використанням комутаторів Cisco; дослідити процес роботи протоколу PVST+ на комутаторах Cisco та процеси передачі даних у мережах, побудованих із використанням даного протоколу.

### **Теоретичні відомості**

#### ***Застосування протоколу STP та його модифікацій на комутаторах Cisco***

Класичний протокол STP був розроблений ще у середині 80-х років ХХ сторіччя. На той час значна кількість технологій, які були надалі впроваджені в комутаторах, ще не були стандартизовані чи навіть розроблені. Зокрема, це стосується технологій агрегації каналів та технологій VLAN. Розробка високошвидкісних технологій ЛКМ, орієнтованих на використання високопродуктивних комутаторів, та досвід експлуатації класичного протоколу STP показали, що закладені часові та інші параметри роботи протоколу не задовольняють сучасні умови. Це викликало розробку покращеного, швидшого протоколу, відомого як Rapid STP. Як правило, розробка загального стандарту IEEE здійснювалася з певними затримками, а споживачі мережних технологій вимагали високопродуктивного обладнання, тому інженери Cisco були вимушені розробляти свої специфікації протоколу STP для реалізації взаємодії з відповідними технологіями. З часом деякі розроблені та відпрацьовані Cisco функції включалися у відповідні міжнародні стандарти, зокрема і стандарт протоколу RSTP.

Класичний протокол STP та його модифікація RSTP були орієнтовані на використання у мережі, яка не розділяється на VLAN. Фірмою Cisco були розроблені фірмові модифікації згаданих протоколів, такі як PVST/PVST+/RPVST+, для використання у мережі, яка може розділятися на декілька VLAN. Пізніше був розроблений стандартний протокол MSTP, який розширив застосування можливостей вищезгаданих

протоколів у мережі, побудованій з використанням комутаторів не лише Cisco, а й інших виробників. Деякі виробники розробляють свої власні модифікації протоколу STP. Як приклад можна навести протокол VSTP (VLAN Spanning Tree Protocol) фірми Juniper Networks.

На сьогодні розроблено декілька модифікацій протоколу STP, які можуть застосовуватися на різних моделях комутаторів Cisco. Їх перелік та особливості застосування наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Модифікації протоколу STP, що застосовуються на комутаторах Cisco**

Абревіатура	Повна назва	Алгоритм	Кількість екземплярів дерева (Instances)	Транковий протокол	Стандарт/Фірмова розробка
STP	Spanning Tree Protocol	Legacy ST	1	–	IEEE 802.1D–1998
PVST	Per-VLAN Spanning Tree Protocol		на VLAN	ISL	Cisco
PVST+	Per-VLAN Spanning Tree Plus		на VLAN	ISL, 802.1Q	Cisco
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol	Rapid ST	1	–	IEEE 802.1W, IEEE 802.1D-2004
RPVST+ (PVRST+)	Rapid Per-VLAN Spanning Tree+ (Per-VLAN Rapid Spanning Tree+)		на VLAN	ISL, 802.1Q	Cisco
MST, MIST	Multiple Spanning Trees, Multiple Instances of Spanning Trees		налаштовується	ISL, 802.1Q	IEEE 802.1S, IEEE 802.1Q-2003

Основними протоколами, які підтримуються комутаторами Cisco, є протоколи PVST+ та RPVST+, які забезпечують функціонування кількох екземплярів протоколу STP для різних VLAN. За замовчуванням є активованим і використовується протокол PVST+. Надалі будемо використовувати терміни PVST та RPVST замість PVST+ та RPVST+ відповідно. Застосування протоколу MSTP вимагає образів Cisco IOS із специфічними наборами можливостей. Існує можливість поєднання різних STP-протоколів в одній мережі, але це вимагає високої кваліфікації персоналу для налагодження комутаторів такої мережі.

## *Порядок налагодження протоколу PVST+ на комутаторах Cisco*

На комутаторах Cisco протокол PVST+ активований і функціонує за замовчуванням. Це означає, що процес формування активної топології мережі починається автоматично відразу ж після включення живлення і завантаження IOS, переформування активної топології виконується після будь-якої дії, пов'язаної зі зміною фізичного чи логічного стану комутаторів чи їх портів. По суті, у найпростішому випадку, ручного налагодження протоколу виконувати не потрібно. У той же час автоматичний вибір кореневого комутатора та корневих маршрутів не завжди є раціональним. Така ситуація вимагає втручання адміністратора. Детальне налагодження протоколу PVST+ (та й будь-якого з STP-протоколів) на комутаторах Cisco передбачає те, що адміністратор мережі чітко уявляє структуру мережі, розуміє логіку функціонування протоколу та вміє оптимізувати його роботу. Важливим також є правильне застосування функцій, які підвищують рівень безпеки мережі.

Узагальнений порядок налагодження STP-протоколу на комутаторах Cisco є таким:

1. Активувати/деактивувати роботу протоколу (необов'язково).
2. Вибрати протокол – PVST, RPVST+ чи MST (необов'язково).
3. Призначити первинний та вторинний кореневі комутатори (необов'язково).
4. Налагодити пріоритети решти комутаторів (необов'язково).
5. Налагодити вартості корневих маршрутів (необов'язково).
6. Налагодити пріоритети портів комутаторів (необов'язково).
7. Налагодити таймери протоколу (необов'язково).
8. Налагодити типи середовищ для портів (необов'язково).
9. Активувати функції прискорення роботи протоколу (необов'язково).
10. Активувати функції безпеки на комутаторі в цілому (необов'язково).
11. Налагодити функції безпеки на портах комутатора, до яких підключені кінцеві вузли (необов'язково).
12. Налагодити функції безпеки на портах комутатора, які беруть участь у побудові активної топології (необов'язково).

Цей порядок може бути скорочений або більш деталізований залежно від моделі комутатора та особливостей функціонування одного з STP-протоколів.

## **Основні команди налагодження роботи протоколу PVST+ на комутаторах Cisco**

На сучасних моделях комутаторів Cisco використовується і є активованим за замовчуванням протокол PVST+. Оскільки на комутаторі активною за замовчуванням є VLAN 1, то робота протоколу активується саме для неї. Зміна протоколу PVST+ на RPVST+ чи MST (або навпаки) виконується за допомогою команди **spanning-tree mode**. Якщо ж виникає потреба активувати роботу даного протоколу для іншої VLAN, використовується команда **spanning-tree vlan *vlan-id***. Деактивація протоколу виконується командою **no spanning-tree vlan *vlan-id***. Команда **spanning-tree vlan** є базовою для формування інших команд. Налагодження роботи протоколу PVST+ здійснюється як глобально для всього комутатора, так і локально для певних інтерфейсів. Глобальні налагодження включають налагодження певних загальних параметрів та додаткових функцій, спрямованих на підвищення рівня стабільності роботи пристрою та рівня його інформаційної безпеки. Особливою є команда **spanning-tree extend system-id**, яка активує властивості розширеного системного ідентифікатора. За замовчуванням розширений системний ідентифікатор активований, і його не можна відключити.

Синтаксис команди **spanning-tree mode** (режим глобального конфігурування):

**spanning-tree mode [mst | pvst | rapid-pvst],**

де **mst** – параметр, призначений для активації роботи протоколу MST;

**pvst** – параметр, призначений для активації роботи протоколу PVST+ (встановлений за замовчуванням);

**rapid-pvst** – параметр, призначений для активації роботи протоколу RPVST+.

Синтаксис команди **spanning-tree extend system-id** (режим глобального конфігурування):

**spanning-tree extend system-id.**

Команда не має параметрів.

Синтаксис розширеної команди **spanning-tree vlan** (режим глобального конфігурування):

**spanning-tree vlan *vlan-id* {forward-time *seconds* | hello-time *seconds* | max-age *seconds* | priority *priority* | {root {primary | secondary} [diameter *net-diameter* [hello-time *seconds*]]},**

де ***vlan-id*** – ідентифікатор (номер) VLAN, може зазначатися в межах від 1 до 4094; можна через кому перераховувати ідентифікатори кількох VLAN або зазначити діапазони ідентифікаторів;

**forward-time seconds** – встановлення таймера переходів між станами порту/інтерфейсу (Forward Delay Timer); значення **seconds** може змінюватися в межах від 4 до 30 с, за замовчуванням дорівнює 15 с;

**hello-time seconds** – встановлення інтервалу розсилки Hello-повідомлень (Hello Timer); значення **seconds** може змінюватися в межах від 1 до 10 с, за замовчуванням дорівнює 2 с;

**max-age seconds** – встановлення інтервалу часу, який будь-який комутатор повинен очікувати після припинення отримання Hello-повідомлень (Max Age Hello Timer); значення **seconds** може змінюватися в межах від 6 до 40 с, за замовчуванням дорівнює 20 с;

**priority priority** – встановлення пріоритету комутатора; параметр **priority** може набувати значень: 4096, 8192, 12288, 16384, 20480, 24576, 28672, 32768, 36864, 40960, 45056, 49152, 53248, 57344, 61440; за замовчуванням дорівнює 32768;

**root** – службова конструкція, яка використовується для встановлення пріоритетів первинного (кореневого) і вторинного (кандидата на кореневий) комутаторів;

**primary** – службова конструкція, яка використовується для примусового налагодження комутатора на роль кореневого, значення пріоритету комутатора встановлюється на 8192 меншим від пріоритету визначеного раніше кореневого комутатора;

**secondary** – службова конструкція, яка використовується для примусового налагодження комутатора на роль кандидата на кореневий, значення пріоритету комутатора встановлюється на 4096 меншим від пріоритету первинного комутатора, або на 8092 меншим від пріоритету визначеного раніше кореневого комутатора;

**diameter net-diameter** – встановлення максимальної кількості комутаторів між двома кінцевими станціями; значення **net-diameter** може змінюватися в межах від 2 до 7.

Похідними командами від команди **spanning-tree vlan**, які набули широкого застосування при глобальних налагодженнях комутаторів є команди **spanning-tree vlan priority**, **spanning-tree vlan root**.

Синтаксис команди **spanning-tree vlan priority** (режим глобального конфігурування):

**spanning-tree vlan *vlan-id* priority *priority*.**

Синтаксис команди **spanning-tree vlan root** (режим глобального конфігурування):

**spanning-tree vlan *vlan-id* root {primary | secondary}.**

Параметри команд аналогічні параметрам розширеної команди **spanning-tree vlan**.

Налагодження протоколу PVST здійснюються також на певних інтерфейсах. Для цього використовуються команди **spanning-tree cost** (зміна вартості певного порту), **spanning-tree link-type** (встановлення типу середовища, за замовчуванням тип середовища визначається з налагоджень режиму передачі інтерфейсу), **spanning-tree port-priority** (встановлення вартості порту), **spanning-tree portfast** (активація функції швидкого переходу порту до стану Forwarding, за замовчуванням дана функція вимкнена на всіх інтерфейсах, але автоматично активується на інтерфейсах динамічного доступу), **spanning-tree transmit hold-count** (встановлення кількості BPDU, які передаються комутатором за 1 с).

Синтаксис команди **spanning-tree cost** (режим конфігурування інтерфейсу/групи інтерфейсів):

**spanning-tree [vlan *vlan-id*] cost *cost*,**

де ***vlan-id*** – ідентифікатор (номер) VLAN, може зазначатися в межах від 1 до 4094; можна через кому перераховувати ідентифікатори кількох VLAN або зазначати діапазони ідентифікаторів;

***cost cost*** – встановлення вартості маршруту; значення ***cost*** може змінюватися в межах від 1 до 200000000.

Синтаксис команди **spanning-tree link-type** (режим конфігурування інтерфейса/групи інтерфейсів):

**spanning-tree link-type {point-to-point | shared},**

де **point-to-point** – встановлення з'єднання типу „двоточкове з'єднання”, як правило, налаштовується для дуплексного порту/інтерфейсу, якщо порт дуплексний, такий тип з'єднання обирається автоматично;

**shared** – встановлення типу з'єднання – розділюване середовище, як правило, налаштовується для напівдуплексного порту/інтерфейсу, якщо порт напівдуплексний, такий тип з'єднання обирається автоматично.

Синтаксис команди **spanning-tree port-priority** (режим конфігурування інтерфейсу/групи інтерфейсів):

**spanning-tree [vlan *vlan-id*] port-priority *priority*,**

де ***vlan-id*** – ідентифікатор (номер) VLAN, може зазначатися в межах від 1 до 4094; можна через кому перераховувати ідентифікатори кількох VLAN або зазначати діапазони ідентифікаторів;

**port-priority *priority*** – встановлення пріоритету порту/інтерфейсу; параметр ***priority*** може набувати значень: 0, 16, 32, 48, 64, 80, 96, 112, 128, 144, 160, 176, 192, 208, 224, 240; за замовчуванням дорівнює 128;

Синтаксис команди **spanning-tree portfast** (режим конфігурування інтерфейсу/групи інтерфейсів):

### **spanning-tree portfast [disable | trunk],**

де **disable** – параметр, призначений для відключення функції Portfast на поточному інтерфейсі;

**trunk** – параметр, призначений для активації функції Portfast на транковому інтерфейсі.

Синтаксис команди **spanning-tree transmit hold-count** (режим глобального конфігурування):

### **spanning-tree transmit hold-count [value],**

де **value** – значення, що вказує, яку кількість BPDU пересилати кожної секунди, може змінюватися в межах від 1 до 20, за замовчуванням дорівнює 6.

## ***Основні команди діагностики роботи протоколу PVST на комутаторах Cisco***

Для визначення параметрів роботи протоколу, ролей комутаторів, ролей портів, станів портів тощо, використовується команда **show spanning-tree** та її модифікації (табл. 3). Для відстеження подій та повідомлень, які генеруються протоколом та його модифікаціями, використовується команда **debug spanning-tree** та її модифікації.

Синтаксис команди **show spanning-tree** (привілейований режим):

**show spanning-tree [active | backbonefast | blockedports | bridge | brief | detail | inconsistentports | interface interface-type interface-id | root | summary [totals] | uplinkfast | vlan vlan-id],**

де **active** – параметр, який вказує на необхідність виведення інформації лише про активні інтерфейси;

**backbonefast** – параметр, який вказує на необхідність виведення інформації про статус функції BackboneFast;

**blockedports** – параметр, який вказує про необхідність виведення інформації про заблоковані порти;

**bridge** – параметр, який вказує на необхідність виведення інформації про статус і конфігурацію даного комутатора;

**brief** – параметр, який вказує про необхідність виведення інформації у скороченому вигляді;

**detail [active]** – параметр, який вказує на необхідність виведення інформації в детальному вигляді;

**inconsistentports** – параметр, який вказує на потребу виведення інформації про несумісні порти;

**interface interface-type interface-id** – виведення інформацію про роботу протоколу STP на конкретному інтерфейсі, **interface-type** може

набувати значень Ethernet, FastEthernet, GigabitEthernet, Port-channel, Vlan, а **interface-id** – номер відповідного інтерфейсу;

**pathcost method** – параметр, який вказує на потребу виведення інформації про метод розрахунку вартості шляху передачі даних;

**root** – параметр, який вказує на потребу виведення інформації про стан та конфігурацію кореневого моста;

**summary [totals]** – параметр, який вказує на потребу виведення сумарної інформації про всі порти, додатковий параметр **totals** не є обов'язковим, його використання передбачає виведення інформації у порядкувому режимі;

**uplinkfast** – параметр, який вказує на потребу виведення інформації про статус функції UplinkFast;

**vlan *vlan-id*** – параметр, який вказує на потребу виведення інформації про роботу протоколу STP для конкретної VLAN, **vlan-id** – ідентифікатор конкретної VLAN або діапазон ідентифікаторів VLAN.

Синтаксис команди **debug spanning-tree** (привілейований режим):

**debug spanning-tree {all | backbonefast | bpdu | bpdu-opt | config | csuf | etherchannel | events | exceptions | general | mstp | pvst+ | root | snmp | switch | uplinkfast}**.

Таблиця 2

Перелік основних команд **show** діагностики роботи протоколу PVST+ на комутаторах Cisco

Команда	Призначення
<b>show spanning-tree</b>	Виведення інформації про стан комутатора
<b>show spanning-tree active</b>	Виведення інформації лише про активні інтерфейси протоколу
<b>show spanning-tree detail</b>	Необхідність виведення інформації в детальному вигляді
<b>show spanning-tree inconsistentports</b>	Виведення інформації про порти, які знаходяться у стані inconsistent
<b>show spanning-tree interface <i>interface-type interface-id</i></b>	Виведення інформації про роботу протоколу на конкретному інтерфейсі
<b>show spanning-tree summary</b>	Виведення сумарної інформації про роботу протоколу на пристрої
<b>show spanning-tree vlan</b>	Виведення інформації про роботу протоколу для певної VLAN



**Приклад розрахунку параметрів та оптимального налагодження функціонування протоколу PVST+ у мережі, побудованій з використанням комутаторів Cisco**

Розглянемо специфіку розрахунку параметрів та оптимального налагодження функціонування протоколу PVST+ для мережі, схема якої наведена на рис. 1. Додаткові дані для розрахунку наведені у табл. 3.

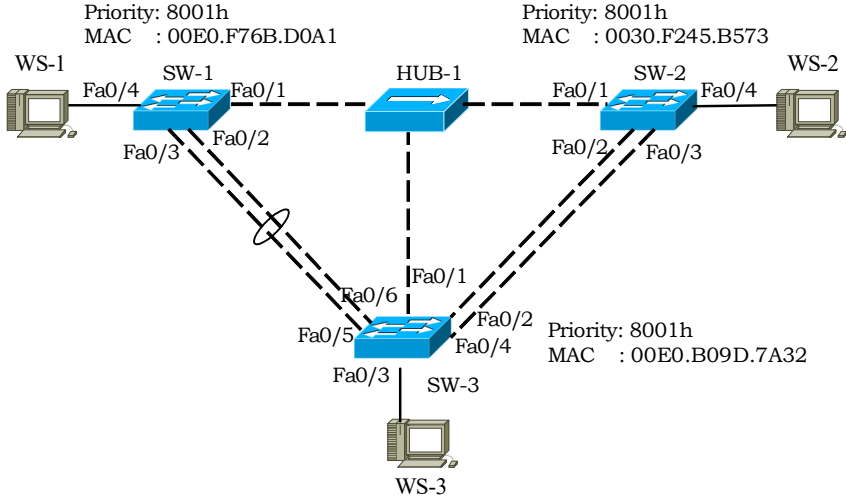


Рис. 1. Приклад мережі

Таблиця 3

**Ідентифікатори та ролі комутаторів для прикладу**

Комутатор / Ідентифікатор комутатора	Інтерфейс	Ідентифікатор інтерфейсу	Інтерфейс	Ідентифікатор інтерфейсу
SW-1 / 8001.00E0.F76B.D0A1	Fa0/1	128.1	Fa0/5	128.5
	Fa0/2	128.2	...	...
	Fa0/3	128.3	Fa0/24	128.24
	Fa0/4	128.4	Po1	128.25
SW-2 / 8001.0030.F245.B573	Fa0/1	128.1	Fa0/4	128.4
	Fa0/2	128.2	...	...
	Fa0/3	128.3	...	...
SW-3 / 8001.00E0.B09D.7A32	Fa0/1	128.1	Fa0/6	128.6
	Fa0/2	128.2	...	...
	Fa0/3	128.3	...	...
	Fa0/4	128.4	Fa0/24	128.24
	Fa0/5	128.5	Po1	128.25

Визначаємо ідентифікатори комутаторів та на їх основі роль кожного із комутаторів мережі. У даному випадку комутатор SW-2 має мінімальний ідентифікатор, відповідно він буде кореневим комутатором. Решта комутаторів будуть призначеними.

Визначаємо ролі інтерфейсів комутаторів. Для кореневого комутатора всі інтерфейси є призначеними. Для призначених комутаторів визначаємо, які з інтерфейсів будуть кореневими, які призначеними і які альтернативними. Для цього для кожного комутатора необхідно визначити множину маршрутів до кореневого комутатора та з цієї множини вибрати найменший за вартістю – кореневий маршрут. Для розрахунку вартості маршрутів скористаємося довідниковими даними табл. 4.

Таблиця 4

**Довідникові вартості портів для розрахунку маршрутів протоколу PVST+**

Технологія	Швидкість, Мбіт/с	Вартість	
		Реальне обладнання	Симулятор
<b>Звичайні канали</b>			
Ethernet	10	100	100
802.11 wireless	54	33	
Fast Ethernet	100	19	19
Gigabit Ethernet	1000	4	4
10G Ethernet	10000	2	
<b>Агреговані канали EtherChannel (10 Мбіт/с)</b>			
2x10	20	56	19
3x10	30	47	19
4x10	40	41	19
5x10	50	35	19
6x10	60	30	19
7x10	70	26	19
8x10	80	23	19
<b>Агреговані канали Fast EtherChannel (100 Мбіт/с)</b>			
2x100	200	12	9
3x100	300	9	
4x100	400	8	7
5x100	500	7	
6x100	600	6	5
7x100	700	5	
8x100	800	5	5
<b>Агреговані канали Gigabit EtherChannel (1000 Мбіт/с)</b>			
2 x 1000	2000	3	3
4 x 1000	4000	3	3

Результати розрахунків наведені у табл. 5. Слід відмітити, що зв'язок через розділюване середовище типу «комутатор-концентратор-комутатор» відповідає двоточковому зв'язку «комутатор-комутатор». Для комутатора SW-1 кореневим маршрутом буде маршрут 1 з вартістю 19. Відповідно інтерфейс Fa0/1 комутатора SW-1 буде кореневим. Для комутатора SW-3 наявні три маршрути до кореневого комутатора з однаковою мінімальною вартістю. Кореневим у даному випадку буде обраний маршрут 1, оскільки інтерфейс кореневого комутатора Fa0/1, через який проходить цей маршрут, має найменший ідентифікатор. Для комутатора SW-3 відповідно кореневим буде вибрано інтерфейс Fa0/1.

Таблиця 5

**Маршрути до кореневого комутатора та їх вартості**

Комутатор	Маршрут	Вартість маршруту
SW-1	<b>1. SW1(Fa0/1) – HUB – SW2(Fa0/1)</b>	<b>19 (min)</b>
	2. SW1(Fa0/1) – HUB – SW3(Fa0/1-Fa0/2) – SW2(Fa0/2)	19+19=38
	3. SW1(Fa0/1) – HUB – SW3(Fa0/1-Fa0/4) – SW2(Fa0/3)	19+19=38
	4. SW1(Po1) – SW3(Po1-Fa0/2) – SW2(Fa0/2)	9 + 19 = 28
	5. SW1(Po1) – SW3(Po1-Fa0/4) – SW2(Fa0/3)	9 + 19 = 28
	6. SW1(Po1) – SW3(Po1-Fa0/1) – HUB – SW2(Fa0/1)	9 + 19 = 28
SW-3	<b>1. SW3(Fa0/1) – HUB – SW2(Fa0/1)</b>	<b>19 (min)</b>
	2. SW3(Fa0/2) – SW2(Fa0/2)	19
	3. SW3(Fa0/4) – SW2(Fa0/3)	19
	4. SW3(Po1) – SW1(Po1-Fa0/1) – HUB – SW2(Fa0/1)	9 + 19 = 28

Для сегментів, у яких немає корневих інтерфейсів, визначасмо, які інтерфейси будуть призначеними, а які альтернативними (заблокованими). Для цього використовуються ідентифікатори комутаторів. Підключений до сегмента інтерфейс, що належить комутатору з меншим ідентифікатором, стає призначеним, відповідно інший (інші) – альтернативним (заблокованим). Наприклад, для сегмента, що з'єднує комутатори SW-2 (порт Fa0/3) та SW-3 (порт Fa0/4), менший ідентифікатор має комутатор SW-2, відповідно призначеним стане порт Fa0/3 комутатора SW-2, а альтернативним – інтерфейс Fa0/4 комутатора SW-3. Аналогічно, для сегмента, що з'єднує комутатори SW-1 (порт Po1) та SW-3 (порт Po1) менший ідентифікатор має комутатор SW-3, відповідно призначеним стане інтерфейс Po1 комутатора SW-3, а альтернативним – інтерфейс Po1 комутатора SW-1. Слід відмітити, що інтерфейси, до яких підключаються кінцеві вузли, стають призначеними.

Зведені дані стосовно ролей комутаторів, ролей інтерфейсів та їх станів після визначення активної топології для розглянутого прикладу наведені у табл. 6.

Таблиця 6

**Визначені та розраховані параметри комутаторів та їх інтерфейсів для побудованої активної топології мережі за протоколом PVST+**

Комутатор	Ідентифікатор комутатора		Роль комутатора / Вартість кореневого маршруту	
<b>SW-1</b>	<b>8001.00E0.F76B.D0A1</b>		<b>Призначений / 19</b>	
Інтерфейс	Пріоритет інтерфейсу	Роль інтерфейсу	Стан інтерфейсу	Тип середовища
Fa0/1	128.1	Кореневий	Активний (Forwarding)	Shared
Fa0/2	128.2	–	–	–
Fa0/3	128.3	–	–	–
Fa0/4	128.4	Призначений	Активний (Forwarding)	P2P
Pol	128.25	Альтернативний	Заблокований (Blocking)	Shared
<b>SW-2</b>	<b>8001.0030.F245.B573</b>		<b>Кореневий / –</b>	
Інтерфейс	Пріоритет інтерфейсу	Роль інтерфейсу	Стан інтерфейсу	Тип середовища
Fa0/1	128.1	Призначений	Активний (Forwarding)	Shared
Fa0/2	128.2	Призначений	Активний (Forwarding)	P2P
Fa0/3	128.3	Призначений	Активний (Forwarding)	P2P
Fa0/4	128.4	Призначений	Активний (Forwarding)	P2P
<b>SW-3</b>	<b>8001.00E0.B09D.7A32</b>		<b>Призначений / 19</b>	
Інтерфейс	Пріоритет інтерфейсу	Роль інтерфейсу	Стан інтерфейсу	Тип середовища
Fa0/1	128.1	Кореневий	Активний (Forwarding)	Shared
Fa0/2	128.2	Альтернативний	Заблокований (Blocking)	P2P
Fa0/3	128.3	Призначений	Активний (Forwarding)	P2P
Fa0/4	128.4	Альтернативний	Заблокований (Blocking)	P2P
Fa0/5	128.5	–	–	–
Fa0/6	128.6	–	–	–
Pol	128.25	Призначений	Активний (Forwarding)	Shared

Для перевірки розрахунків скористаємося командою діагностики роботи протоколу PVST+ **show spanning-tree**. Результати виконання цієї команди на комутаторах SW-1, SW-2 та SW-3 наведені на рис. 2, 3, 4 відповідно. Вони підтверджують правильність визначених та розрахованих параметрів активної топології мережі.

```

SW-1#show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    32769
            Address    0030.F245.B573
            Cost      19
            Port      1(FastEthernet0/1)
            Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority    32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
            Address    00E0.F76B.D0A1
            Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
            Aging Time 20

Interface    Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
-----
Fa0/1        Root FWD 19        128.1    Shr
Fa0/4        Desg FWD 19        128.4    P2p
Po1          Altn BLK 9         128.25   Shr

```

SW-1#

Рис. 2. Результат виконання команди **show spanning-tree** на комутаторі SW-1

```

SW-2#show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    32769
            Address    0030.F245.B573
            This bridge is the root
            Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority    32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
            Address    0030.F245.B573
            Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
            Aging Time 20

Interface    Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
-----
Fa0/1        Desg FWD 19        128.1    Shr
Fa0/2        Desg FWD 19        128.2    P2p
Fa0/3        Desg FWD 19        128.3    P2p
Fa0/4        Desg FWD 19        128.4    P2p

```

SW-2#

Рис. 3. Результат виконання команди **show spanning-tree** на комутаторі SW-2

```

SW-3#show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    32769
            Address    0030.F245.B573
            Cost      19
            Port      1(FastEthernet0/1)
            Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority    32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
            Address    00E0.B09D.7A32
            Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
            Aging Time 20

Interface    Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
-----
Fa0/1        Root FWD 19        128.1    Shr
Fa0/2        Altn BLK 19        128.2    P2p
Fa0/3        Desg FWD 19        128.3    P2p
Fa0/4        Altn BLK 19        128.4    P2p
Po1          Desg FWD 9         128.25   Shr

```

SW-3#

Рис. 4. Результат виконання команди **show spanning-tree** на комутаторі SW-3

Слід відмітити, що обрана активна топологія не є раціональною. Трафік від комутатора SW-1 до решти комутаторів у даному випадку йде через концентратор, відповідно передача не є високопродуктивною, оскільки здійснюється у напівдуплексному режимі. Для комутатора SW-2 ситуація аналогічна. Оптимальним було б обрання первинним кореневим комутатором SW-3. Це дало б змогу спрямувати трафік від комутатора SW-1 по агрегованому каналу. Трафік від комутатора SW-2 до комутатора SW-3 доцільно було б переспрямувати на один з двох дуплексних інтерфейсів, а інший – встановити першим резервним, напівдуплексний інтерфейс – залишити останнім у резерві.

На роль вторинного кореневого комутатора, для якого буде формуватися активна топологія, можна обрати як комутатор SW-1, так і комутатор SW-2. У даному випадку вибір не важливий, оскільки при виході з ладу комутатора SW-3 між SW-1 та SW-2 залишиться лише один канал зв'язку – напівдуплексний канал через концентратор. Вихід з ладу агрегованого каналу між комутаторами SW-1 та SW-3 може вплинути на процес переформування активної топології, для цього випадку краще, щоб трафік від SW-1 до SW-2 йшов по каналу через концентратор, а від SW-3 до SW-2 – через один із прямих дуплексних каналів.

Сценарії оптимального налагодження функціонування протоколу PVST+ для розглянутого прикладу будуть такими:

```
...
SW-3>enable
SW-3#configure terminal
SW-3(config)#spanning-tree vlan 1 root primary
SW-3(config)#interface FastEthernet 0/2
SW-3(config-if)#spanning-tree vlan 1 port-priority 16
SW-3(config-if)#spanning-tree link-type point-to-point
SW-3(config-if)#exit
SW-3(config)#interface FastEthernet 0/4
SW-3(config-if)#spanning-tree vlan 1 port-priority 32
SW-3(config-if)#spanning-tree link-type point-to-point
SW-3(config-if)#exit
SW-3(config)#interface FastEthernet 0/1
SW-3(config-if)#spanning-tree vlan 1 port-priority 240
SW-3(config-if)#spanning-tree link-type shared
SW-3(config-if)#
...
SW-2>enable
```

```

SW-2#configure terminal
SW-2(config)#spanning-tree vlan 1 root secondary
SW-2(config)#interface FastEthernet 0/2
SW-2(config-if)#spanning-tree vlan 1 port-priority 16
SW-2(config-if)#spanning-tree link-type point-to-point
SW-2(config-if)#exit
SW-2(config)#interface FastEthernet 0/3
SW-2(config-if)#spanning-tree vlan 1 port-priority 32
SW-2(config-if)#spanning-tree link-type point-to-point
SW-2(config-if)#exit
SW-2(config)#interface FastEthernet 0/1
SW-2(config-if)#spanning-tree vlan 1 port-priority 240
SW-2(config-if)#spanning-tree link-type shared
SW-2(config-if)#
...

```

Для підвищення продуктивності і рівня безпеки для даного прикладу було б доцільно провести додаткове налагодження функцій PortFast та BPDUGuard (як глобально, так і на інтерфейсах, до яких підключені кінцеві вузли). Приклад сценарію їх налагодження для комутатора SW-1 буде таким:

```

SW-1>enable
SW-1#configure terminal
SW-1(config)#spanning-tree portfast default
SW-1(config)#spanning-tree portfast bpduguard default
SW-1(config)#interface FastEthernet 0/4
SW-1(config-if)#spanning-tree portfast
SW-1(config-if)#spanning-tree bpduguard enable
SW-1(config-if)#

```

Продемонструвати роботу функцій можна таким чином: між робочою станцією WS-1 та комутатором SW-1 розмістити додатковий комутатор зловмисника Violator. У результаті інтерфейс Fa0/4 комутатора SW-1 автоматично відключиться, оскільки отримує BPDU, згенероване комутатором Violator.

Для діагностики змін в активній топології після виконання вищезгаданих сценаріїв скористаємося командою **show spanning-tree**. Результати її виконання на комутаторах SW-1, SW-2 та SW-3 наведені на рис. 5, 6, 7 відповідно.

```

SW-1#show spanning-tree
VLAN0001
Spanning tree enabled protocol ieee
Root ID    Priority    24577
           Address    00E0.B09D.7A32
           Cost      9
           Port      25 (Port-channel 1)
           Hello Time 2 sec    Max Age 20 sec    Forward Delay 15 sec

Bridge ID  Priority    32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
           Address    00E0.F76B.D0A1
           Hello Time 2 sec    Max Age 20 sec    Forward Delay 15 sec
           Aging Time 20

Interface  Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
-----
Fa0/1      Altn BLK 19       128.1    Shr
Po1        Root FWD 9        128.25   Shr
SW-1#

```

Рис. 5. Результат виконання команди **show spanning-tree** на комутаторі SW-1

```

SW-2#show spanning-tree
VLAN0001
Spanning tree enabled protocol ieee
Root ID    Priority    24577
           Address    00E0.B09D.7A32
           Cost      19
           Port      2 (FastEthernet0/2)
           Hello Time 2 sec    Max Age 20 sec    Forward Delay 15 sec

Bridge ID  Priority    28673 (priority 28672 sys-id-ext 1)
           Address    0030.F245.B573
           Hello Time 2 sec    Max Age 20 sec    Forward Delay 15 sec
           Aging Time 20

Interface  Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
-----
Fa0/2      Root FWD 19       16.2     P2p
Fa0/3      Altn BLK 19       32.3     P2p
Fa0/4      Desg FWD 19       128.4    P2p
Fa0/1      Altn BLK 19       240.1    Shr
SW-2#

```

Рис. 6. Результат виконання команди **show spanning-tree** на комутаторі SW-2

```

SW-3#show spanning-tree
VLAN0001
Spanning tree enabled protocol ieee
Root ID    Priority    24577
           Address    00E0.B09D.7A32
           This bridge is the root
           Hello Time 2 sec    Max Age 20 sec    Forward Delay 15 sec

Bridge ID  Priority    24577 (priority 24576 sys-id-ext 1)
           Address    00E0.B09D.7A32
           Hello Time 2 sec    Max Age 20 sec    Forward Delay 15 sec
           Aging Time 20

Interface  Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
-----
Fa0/1      Desg FWD 19       240.1    Shr
Fa0/2      Desg FWD 19       16.2     P2p
Fa0/3      Desg FWD 19       128.3    P2p
Fa0/4      Desg FWD 19       32.4     P2p
Po1        Desg FWD 9        128.25   Shr
SW-3#

```

Рис. 7. Результат виконання команди **show spanning-tree** на комутаторі SW-3



## Завдання на лабораторну роботу

1. У середовищі програмного симулятора/емулятора створити проект мережі (рис. 8). При побудові звернути увагу на вибір моделей комутаторів, мережних модулів та адаптерів, а також мережних з'єднань. На схемі канали зв'язку показані у загальному вигляді, при побудові мережі вибрати потрібний тип кабелю для відповідної технології та звертати увагу на те, чи є канал агрегованим. Для цього використовувати дані табл. 7. Канали підключення кінцевих вузлів довільні. Для побудованої мережі заповнити таблицю, яка аналогічна табл. 3, доповнивши її стовпчиками: «Канал», «Підключення до пристрою», «Підключення до інтерфейсу».

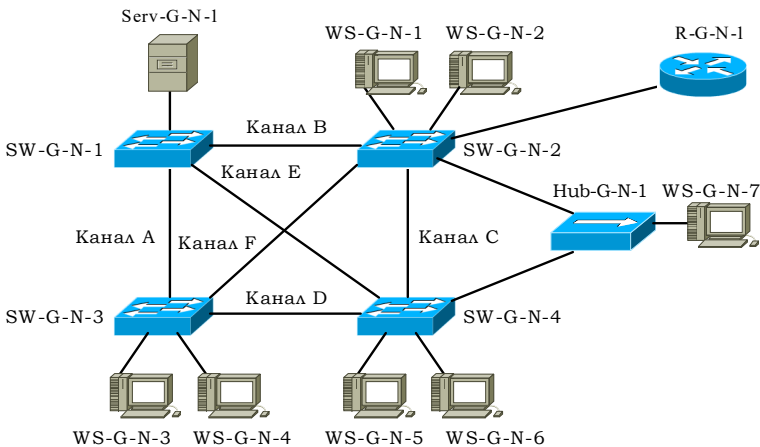


Рис. 8. Проект мережі

2. Для побудованої мережі визначити кореневий та призначені комутатори (для визначення MAC-адреси блока управління комутатором скористатися командою **show version** (або **show interface vlan 1**); пріоритети комутаторів за замовчуванням дорівнюють  $32769$  ( $\text{Bridge Priority} + \text{VLAN-ID} = 32768 + 1$ ). Визначити множину маршрутів до кореневого комутатора, розрахувати вартості маршрутів та вибрати кореневий маршрут для кожного із призначених комутаторів. При розрахунках враховувати дані табл. 4. Результати представити у вигляді таблиці, яка аналогічна табл. 5. Використовуючи теоретичні відомості, визначити ролі та стани інтерфейсів комутаторів. Результати представити у вигляді таблиці, яка аналогічна табл. 6.

Параметри каналів зв'язку

№ варіанта	Канал А	Канал В	Канал С	Канал D	Канал Е	Канал F
1	10BaseT	2x100BaseTX	100BaseTX	10BaseT	100BaseTX	10BaseT
2	2x100BaseTX	100BaseFX	100BaseTX	100BaseFX	10BaseT	100BaseTX
3	10BaseT	10BaseT	2x100BaseTX	100BaseTX	10BaseT	10BaseT
4	100BaseTX	100BaseFX	100BaseFX	2x1000BaseT	100BaseTX	100BaseTX
5	2x100BaseFX	10BaseT	100BaseFX	100BaseTX	100BaseFX	10BaseT
6	100BaseTX	100BaseFX	10BaseT	2x1000BaseT	10BaseT	100BaseFX
7	100BaseFX	2x100BaseTX	1000BaseT	10BaseT	10BaseT	10BaseT
8	100BaseFX	100BaseTX	2x1000BaseT	1000BaseT	100BaseFX	100BaseFX
9	1000BaseFX	100BaseFX	100BaseTX	2x100BaseTX	100BaseTX	100BaseFX
10	2x100BaseTX	1000BaseT	100BaseTX	100BaseTX	100BaseFX	100BaseTX
11	1000BaseT	100BaseTX	100BaseTX	2x1000BaseT	100BaseTX	1000BaseT
12	100BaseFX	2x100BaseFX	100BaseFX	100BaseTX	1000BaseT	100BaseTX
13	2x100BaseTX	100BaseTX	100BaseTX	100BaseFX	1000BaseT	1000BaseT
14	1000BaseT	2x1000BaseT	1000BaseT	100BaseTX	100BaseTX	100BaseTX
15	100BaseTX	100BaseTX	2x100BaseTX	1000BaseT	100BaseFX	1000BaseT
16	2x100BaseFX	1000BaseT	1000BaseFX	100BaseFX	1000BaseT	100BaseFX
17	1000BaseT	100BaseFX	2x1000BaseFX	1000BaseFX	1000BaseT	1000BaseT
18	1000BaseFX	2x1000BaseT	100BaseFX	1000BaseFX	100BaseFX	100BaseFX
19	100BaseTX	100BaseTX	2x100BaseTX	100BaseTX	100BaseTX	10BaseT
20	1000BaseT	2x1000BaseT	1000BaseT	1000BaseT	10BaseT	100BaseTX
21	100BaseTX	1000BaseFX	100BaseTX	2x1000BaseFX	10BaseT	10BaseT
22	2x1000BaseT	1000BaseT	100BaseTX	1000BaseFX	100BaseTX	100BaseTX
23	1000BaseT	2x100BaseTX	100BaseFX	100BaseFX	100BaseFX	10BaseT
24	100BaseTX	1000BaseT	2x100BaseTX	100BaseTX	10BaseT	100BaseFX
25	1000BaseFX	2x100BaseTX	1000BaseFX	1000BaseFX	10BaseT	10BaseT
26	1000BaseFX	1000BaseFX	2x1000BaseT	1000BaseT	100BaseFX	100BaseFX
27	1000BaseFX	2x1000BaseT	100BaseTX	1000BaseT	100BaseTX	100BaseFX
28	100BaseFX	100BaseFX	2x1000BaseFX	100BaseFX	100BaseFX	100BaseTX
29	10BaseT	2x100BaseTX	100BaseTX	100BaseTX	100BaseTX	1000BaseT
30	100BaseFX	100BaseFX	2x1000BaseFX	1000BaseFX	1000BaseT	100BaseTX

3. За допомогою команд **show spanning-tree** визначити кореневий та призначений комутатори, ролі та стани їх портів та інші параметри. Результати відобразити для кожного комутатора окремо. Порівняти отримані результати з розрахованими у п. 2.

4. Змінити ролі та пріоритети комутаторів відповідно до даних табл. 8. Після закінчення процедури формування активної топології оптимізувати її структуру за рахунок зміни пріоритетів портів.

## Ідентифікатори комутаторів для налагодження

№ варі- анта	Первинний кореневий комутатор		Вторинний кореневий комутатор		Решта комутаторів	
	Комутатор	Пріоритет	Комутатор	Пріоритет	Комутатори	Пріоритет
1	SW-G-N-1	0	SW-G-N-2	4096	SW-G-N3,SW-G-N4	8192
2	SW-G-N-1	4096	SW-G-N-3	8192	SW-G-N2,SW-G-N4	12288
3	SW-G-N-1	8192	SW-G-N-4	12288	SW-G-N2,SW-G-N3	16384
4	SW-G-N-2	12288	SW-G-N-1	16384	SW-G-N3,SW-G-N4	20480
5	SW-G-N-2	16384	SW-G-N-3	20480	SW-G-N1,SW-G-N4	24576
6	SW-G-N-2	20480	SW-G-N-4	24576	SW-G-N1,SW-G-N3	28672
7	SW-G-N-3	24576	SW-G-N-1	28672	SW-G-N2,SW-G-N4	32768
8	SW-G-N-3	28672	SW-G-N-2	32768	SW-G-N1,SW-G-N4	36864
9	SW-G-N-3	32768	SW-G-N-4	36864	SW-G-N1,SW-G-N2	40960
10	SW-G-N-4	36864	SW-G-N-1	40960	SW-G-N2,SW-G-N3	45056
11	SW-G-N-4	40960	SW-G-N-2	45056	SW-G-N1,SW-G-N3	49152
12	SW-G-N-4	45056	SW-G-N-3	49152	SW-G-N1,SW-G-N2	53248
13	SW-G-N-1	49152	SW-G-N-2	53248	SW-G-N3,SW-G-N4	57344
14	SW-G-N-1	53248	SW-G-N-3	57344	SW-G-N2,SW-G-N4	61440
15	SW-G-N-1	0	SW-G-N-4	8192	SW-G-N2,SW-G-N3	16384
16	SW-G-N-2	4096	SW-G-N-1	12288	SW-G-N3,SW-G-N4	20480
17	SW-G-N-2	8192	SW-G-N-3	16384	SW-G-N1,SW-G-N4	24576
18	SW-G-N-2	12288	SW-G-N-4	20480	SW-G-N1,SW-G-N3	28672
19	SW-G-N-3	16384	SW-G-N-1	24576	SW-G-N2,SW-G-N4	32768
20	SW-G-N-3	20480	SW-G-N-2	28672	SW-G-N1,SW-G-N4	36864
21	SW-G-N-3	24576	SW-G-N-4	32768	SW-G-N1,SW-G-N2	40960
22	SW-G-N-4	28672	SW-G-N-1	36864	SW-G-N2,SW-G-N3	45056
23	SW-G-N-4	32768	SW-G-N-2	40960	SW-G-N1,SW-G-N3	49152
24	SW-G-N-4	36864	SW-G-N-3	45056	SW-G-N1,SW-G-N2	53248
25	SW-G-N-1	40960	SW-G-N-2	49152	SW-G-N3,SW-G-N4	57344
26	SW-G-N-1	45056	SW-G-N-3	53248	SW-G-N2,SW-G-N4	61440
27	SW-G-N-1	0	SW-G-N-4	16384	SW-G-N2,SW-G-N3	32768
28	SW-G-N-2	8192	SW-G-N-1	24576	SW-G-N3,SW-G-N4	40960
29	SW-G-N-2	16384	SW-G-N-3	32768	SW-G-N1,SW-G-N4	49152
30	SW-G-N-2	20480	SW-G-N-4	24576	SW-G-N1,SW-G-N3	32768

5. Розробити схему адресації пристроїв мережі. Використати IP-адресу мережі вигляду 192.G.N.0 з маскою 255.255.255.0. Результати навести у вигляді таблиці.

6. Провести налагодження параметрів IP-адресації пристроїв мережі у відповідності до даних, які отримані у п. 5. Перевірити наявність зв'язку між пристроями мережі. Дослідити особливості передачі трафіка по побудованій активній топології.

### **Контрольні питання**

1. Передумови, причини розробки та призначення протоколу STP.
2. Версії та модифікації протоколу STP.
3. Визначення активної топології STP.
4. Призначення та принцип формування ідентифікатора моста та принцип формування ідентифікатора порту.
5. Визначення кореневого і призначеного комутаторів.
6. Визначення кореневого, призначеного та заблокованого портів.
7. Таймери протоколів STP/RSTP.
8. Стани портів у протоколах STP/RSTP.
9. Типи повідомлень протоколу STP.
10. Етапи побудови дерева у протоколі STP.
11. Стани портів у протоколі STP.
12. Основні команди діагностування роботи STP-протоколів на комутаторах Cisco.
13. Команди налагодження кореневого комутатора на комутаторах Cisco.
14. Команди налагодження параметрів STP-протоколів на комутаторах Cisco.
15. Основні команди налагодження функцій безпеки STP-протоколів на комутаторах Cisco.