

Тема7. Комутація Ethernet

Вам потрібні знання про Ethernet і Ethernet-комутацію. Сьогодні дві найбільш відомі LAN - це Ethernet і WLAN. Ethernet підтримує пропускну здатність до 100 Гбіт/с, що пояснює його популярність. З використанням Wireshark ви можете дослідити структуру Ethernet-кадрів. Пропонується ознайомитись з MAC-адресами мережних пристроїв. Після вивчення цього розділу ви також зможете розгорнути комутовану мережу, яка використовує Ethernet!

Мета розділу: Пояснити, як працює Ethernet у комутованій мережі.

Назва теми	Мета вивчення теми
7.1. Кадри Ethernet	Описати зв'язок підрівнів Ethernet з полями кадру.
7.2. MAC-адреса Ethernet	Описати MAC-адресу Ethernet.
7.3. Таблиця MAC-адрес	Пояснити, як комутатор створює таблицю MAC-адрес і пересилає кадри.
7.4. Швидкості комутатора і методи пересилання	Описати методи пересилання комутаторів, а також параметри портів, доступні для налаштування на Рівні 2.

7.1. Кадри Ethernet

7.1.1. Інкапсуляція Ethernet

Цей розділ починається з обговорення технології Ethernet, включно з описом підрівня MAC і полів кадру Ethernet.

Ethernet - це одна з двох технологій LAN, які використовуються сьогодні. Інша технологія - бездротові локальні мережі (WLAN). Ethernet використовує дротовий зв'язок, включно з крученою (витою) парою, оптоволоконними та коаксіальними кабелями.

Ethernet працює на Канальному та Фізичному рівнях, як показано на рисунку. Це сімейство мережних технологій, які визначені в стандартах IEEE 802.2 та 802.3. Ethernet підтримує пропускну здатність каналу:

- 10 Мбіт/с
- 100 Мбіт/с
- 1000 Мбіт/с (1 Гбіт/с)
- 10 000 Мбіт/с (10 Гбіт/с)
- 40 000 Мбіт/с (40 Гбіт/с)
- 100 000 Мбіт/с (100 Гбіт/с)

Як показано на рисунку, стандарти Ethernet визначають як протоколи Рівня 2, так і технології Рівня 1.

Ethernet і модель OSI



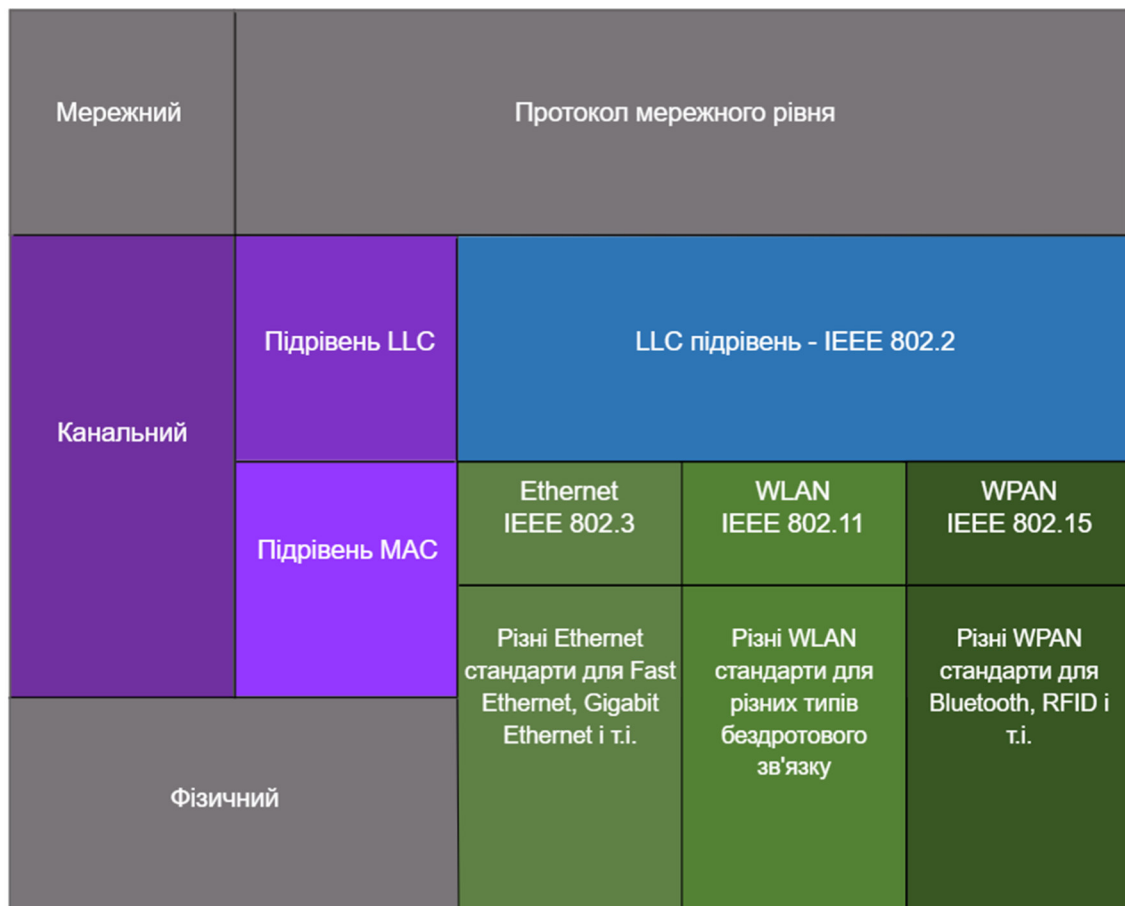
Ethernet визначається протоколами Канального та Фізичного рівнів.

7.1.2. Підрівні Канального рівня

Протоколи IEEE 802 LAN/MAN, включно з Ethernet, використовують для роботи наступні два окремі підрівні Канального рівня. Це Logical Link Control (LLC) і Media Access Control (MAC), як показано на рисунку.

Нагадаємо, що LLC і MAC виконують такі ролі на Канальному рівні:

- **LLC підрівень**- Цей підрівень IEEE 802.2 організовує взаємодію мережного програмного забезпечення верхніх рівнів і апаратного забезпечення пристрою на нижніх рівнях. Він розміщує у кадрі інформацію, що визначає, який протокол мережного рівня використовує цей кадр. Ця інформація дозволяє кільком протоколам Рівня 3, таким як IPv4 і IPv6, використовувати один і той самий мережний інтерфейс і середовище передавання даних.
- **MAC підрівень** - Цей підрівень (наприклад IEEE 802.3, 802.11 або 802.15) реалізований в апаратному забезпеченні і відповідає за інкапсуляцію даних і керування доступом до середовища передавання даних. Він забезпечує адресацію Канального рівня і інтегрований з різними технологіями Фізичного рівня.



7.1.3. Підрівень MAC

Підрівень MAC відповідає за інкапсуляцію даних і доступ до середовища передавання даних.

Інкапсуляція даних

Інкапсуляція даних IEEE 802.3 включає наступне:

- **Кадр Ethernet** - Це внутрішня структура кадру Ethernet.
- **Адресацію Ethernet** - Кадр Ethernet містить як MAC-адресу джерела, так і MAC-адресу призначення, щоб доставити кадр Ethernet від однієї Ethernet NIC до іншої Ethernet NIC в одній локальній мережі.
- **Виявлення помилок Ethernet** - Кадр Ethernet містить трейлер з контрольною послідовністю кадру (FCS), яка використовується для виявлення помилок.

Доступ до середовища передавання даних

Як показано на рисунку, підрівень MAC IEEE 802.3 містить специфікації різних комунікаційних стандартів Ethernet для різних типів середовища передавання даних, включно з міддю і оптоволоконном.

На діаграмі представлені різні стандарти Ethernet на підрівні MAC. У верхній частині діаграми розташовані Мережний рівень і Протокол мережного рівня. Нижче знаходиться Канальний рівень і його підрівні. Верхнім підрівнем є підрівень IEEE 802.2 LLC. Далі йде підрівень Ethernet IEEE 802.3 MAC. Нижче наведено п'ять стовпчиків з різними стандартами Ethernet і

типами середовища передавання даних, які охоплюють нижню частину підрівня MAC і весь Фізичний рівень OSI. Зліва направо колонки: IEEE 802.3u Fast Ethernet; IEEE 802.3z Gigabit Ethernet по оптоволокну; IEEE 802.ab Gigabit Ethernet по міді; IEEE 802.3ae 10 Gigabit Ethernet по оптоволокну; і т.д.

Ethernet стандарти на підрівні MAC

Мережний	Протокол мережного рівня				
Канальний	Підрівень LLC	LLC підрівень - IEEE 802.2			
	Підрівень MAC	Ethernet - IEEE 802.3			
Фізичний	IEEE 802.3u Fast Ethernet	IEEE 802.3z Gigabit Ethernet по оптоволокну	IEEE 802.3ab Gigabit Ethernet по міді	IEEE 802.3ae 10 Gigabit Ethernet по оптоволокну	І т. д.

Нагадаємо, що застарілий Ethernet, який використовує шинну топологію або концентратори, це напівдуплексне середовище передавання даних з множинним доступом. Ethernet у напівдуплексному середовищі передавання даних використовує метод конкурентного доступу, множинний доступ з прослуховуванням несучої/виявленням колізій (CSMA/CD). Це гарантує, що тільки один пристрій буде передавати одночасно. CSMA/CD дозволяє кільком пристроям спільно використовувати напівдуплексне середовище передавання даних, виявляючи колізії, коли більше ніж один пристрій намагається передавати одночасно. Він також забезпечує алгоритм відступу для повторної передачі.

Локальні мережі Ethernet сьогодні використовують комутатори, які працюють у повнодуплексному режимі. Повнодуплексний зв'язок з комутаторами Ethernet не вимагає контролю доступу з використанням CSMA/CD.

7.1.4. Поля кадру Ethernet

Мінімальний розмір кадру Ethernet - 64 байти, максимальний - 1518 байт. Сюди входять всі байти починаючи з поля MAC-адреса призначення до поля Контрольна послідовність кадру (FCS). Поле Преамбула не враховується під час підрахунку довжини кадру.

Будь-який кадр довжиною менше ніж 64 байти вважається "фрагментом", який утворився в результаті колізії або "карликовим кадром" і він автоматично відхиляється приймаючою станцією. Кадри, довші за 1500 байтів вважаються "переповненими" або "гігантськими".

Якщо розмір переданого кадру є меншим за мінімальний або більшим за максимальний, приймаючий пристрій знищує такий кадр. Знищені кадри можуть бути результатом колізій або інших небажаних сигналів. Вони вважаються недійсними. Переповнені кадри зазвичай підтримуються більшістю комутаторів Fast Ethernet, Gigabit Ethernet і NIC.

На рисунку показано кожне поле кадру Ethernet. Зверніться до таблиці, щоб отримати додаткові відомості про те, яку функцію виконує кожне поле.

Поля кадру Ethernet



Опис полів кадру Ethernet

Поле	Опис
Пreamбула та SFD	Пreamбула (7 байтів) і Початковий обмежувач кадру (Start Frame Delimiter, SFD), який також називають Початком кадру (1 байт). Ці поля використовуються для синхронізації пристрою, який відправляє дані з пристроєм, який їх приймає. Ці перші вісім байт кадру використовуються для того, щоб привернути увагу вузлів призначення. По суті, перші кілька байтів повідомляють одержувачів, що потрібно підготуватися до прийому нового кадру.
MAC-адреса призначення	Це 6-байтне поле ідентифікує призначеного адресата. Як ви пам'ятаєте, ця адреса використовується Рівнем 2, щоб допомогти пристроям визначитись, чи адресований цей кадр їм. Адреса, зазначена у кадрі, порівнюється з MAC-адресою пристрою. Якщо вони збігаються, то пристрій приймає кадр. Адреса може бути для індивідуальної, групової або ширококомвної розсилки.
MAC-адреса джерела	Це 6-байтне поле ідентифікує мережну інтерфейсну плату (NIC) або інтерфейс відправника кадру.
Тип / Довжина	Це 2-байтне поле ідентифікує протокол верхнього рівня, який інкапсульовано до кадру Ethernet. Поширені значення у шістнадцятковому представленні 0x800 для IPv4, 0x86DD для IPv6 та 0x806 для ARP. Примітка: Це поле також може відобразитися як EtherType, Тип, або Довжина.
Дані	Це поле (46 - 1500 байт) містить інкапсульовані дані з вищого рівня, тобто PDU Рівня 3, найчастіше це IPv4 -пакет. Усі кадри мають бути не коротші за 64 байти. Якщо інкапсулюється невеликий пакет, то використовуються

Поле	Опис
	додаткові біти, так зване холосте заповнення, для збільшення розміру кадру до цього мінімального розміру.
Frame Check Sequence	Контрольна послідовність кадру (Frame Check Sequence, FCS) (4 байти) використовується для визначення помилок у кадрі. Для цього використовуються Циклічні надлишкові перевірки (cyclic redundancy check - CRC). Пристрій відправника записує результати CRC до поля FCS кадру. Приймаючий пристрій отримує кадр і генерує CRC, щоб подивитися чи не відбулися помилки під час передавання. Якщо результати обчислень співпадають, помилок не було. Якщо ні, то це є ознакою того, що дані змінилися; отже, кадр знищується. Зміна даних може бути результатом порушення електричних сигналів, що представляють біти.

7.1.5. Питання для самоперевірки - Комутація Ethernet

1. Яка частина кадру Ethernet використовує холосте заповнення для збільшення кадру принаймні до 64 байт?

- EtherType
- Preamble
- Start of Frame Delimiter
- Data

2. Яка частина кадру Ethernet виявляє помилки у кадрі?

- Preamble
- Start of Frame Delimiter
- Frame Check Sequence

3. Яка частина кадру Ethernet описує протокол вищого рівня, який інкапсульований до цього кадру?

- EtherType
- Preamble
- Start of Frame Delimiter
- Frame Check Sequence

4. Яка частина кадру Ethernet сповіщає отримувача, що він має бути готовим до нового кадру?

- Start of Frame Delimiter
- Frame Check Sequence
- Preamble
- Data

5. Який підрівень Канального рівня керує мережним інтерфейсом за допомогою програмних драйверів?

- MAC
- LLC

6. Який підрівень Канального рівня працює з верхніми рівнями додаючи інформацію прикладного рівня для доведення даних до протоколів вищого рівня?

- MAC
- LLC

7. Що є функцією підрівня MAC? (Оберіть три.)

- контроль доступу до середовища передавання даних
- перевірка на наявність помилок в отриманих бітах
- використання CSMA/CD або CSMA/CA для підтримки технології Ethernet
- взаємодія між програмним забезпеченням верхніх рівнів і апаратним забезпеченням пристрою на нижніх рівнях
- дозволяти кільком протоколам Рівня 3 використовувати один і той самий мережний інтерфейс і середовище передавання даних

1. Яка частина кадру Ethernet використовує холосте заповнення для збільшення кадру принаймні до 64 байт?

Правильно!

- EtherType
- Preamble
- Start of Frame Delimiter
- Data

2. Яка частина кадру Ethernet виявляє помилки у кадрі?

Правильно!

- Preamble
- Start of Frame Delimiter
- Frame Check Sequence

3. Яка частина кадру Ethernet описує протокол вищого рівня, який інкапсульований до цього кадру?

Правильно!

- EtherType
- Preamble
- Start of Frame Delimiter
- Frame Check Sequence

4. Яка частина кадру Ethernet сповіщає отримувача, що він має бути готовим до нового кадру?

Правильно!

- Start of Frame Delimiter
- Frame Check Sequence
- Preamble
- Data

5. Який підрівень Канального рівня керує мережним інтерфейсом за допомогою програмних драйверів?

Правильно!

- MAC
- LLC

6. Який підрівень Канального рівня працює з верхніми рівнями додаючи інформацію прикладного рівня для доведення даних до протоколів вищого рівня?

Правильно!

- MAC
- LLC

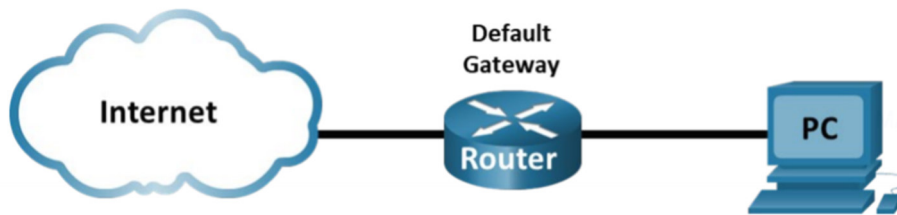
7. Що є функцією підрівня MAC? (Оберіть три.)

Правильно!

- контроль доступу до середовища передавання даних
- перевірка на наявність помилок в отриманих бітах
- використання CSMA/CD або CSMA/CA для підтримки технології Ethernet
- взаємодія між програмним забезпеченням верхніх рівнів і апаратним забезпеченням пристрою на нижніх рівнях
- дозволяти кільком протоколам Рівня 3 використовувати один і той самий мережний інтерфейс і середовище передавання даних

7.1.6. Використання Wireshark для дослідження кадрів Ethernet

Топологія



Цілі та задачі

Частина 1: Дослідження полів заголовку кадру Ethernet II

Частина 2: Використання Wireshark для захоплення та аналізу кадрів Ethernet

Довідкова інформація / Сценарій

Коли протоколи верхнього рівня взаємодіють між собою, дані проходять вниз по моделі взаємодії відкритих систем (OSI) та інкапсулюються до кадру Рівня 2. Склад кадру залежить від типу доступу до середовища передавання даних. Наприклад, якщо протоколами верхнього рівня є TCP і IP, а доступ до середовища передавання даних Ethernet, то інкапсуляція кадру Рівня 2 буде Ethernet II. Це характерно для локальної мережі.

Вивчаючи концепції Рівня 2, корисно аналізувати інформацію заголовка кадру. У першій частині цієї лабораторної роботи Ви проаналізуєте поля, що містяться в кадрі Ethernet II. В частині 2 Ви будете використовувати Wireshark для захоплення і аналізу полів заголовка кадру Ethernet II для локального та віддаленого трафіку.

Необхідні ресурси

- 1 ПК (з Windows, з доступом в Інтернет і встановленим Wireshark)

Інструкції

Частина 1: Дослідження полів заголовку кадру Ethernet II

В Частині 1 Ви будете досліджувати поля заголовку та вміст кадру Ethernet II. Для вивчення вмісту цих полів буде використано захоплення трафіку за допомогою Wireshark.

Крок 1: Ознайомлення з описом і довжиною полів заголовку Ethernet II.

Преамбула	Адреса призначення	Адреса отримувача	Тип кадру	Дані	FCS
8 байтів	6 байтів	6 байтів	2 байти	46 – 1500 байтів	4 байти

Крок 2: Дослідження мережних налаштувань ПК.

У цьому прикладі IP-адреса ПК 192.168.1.147, а шлюз за замовчуванням має IP-адресу 192.168.1.1.

```
C:\> ipconfig /all
```

```
Ethernet adapter Ethernet:
```

```
Connection-specific DNS Suffix . . :  
Description . . . . . : Intel(R) 82579LM Gigabit Network Connection  
Physical Address. . . . . : F0-1F-AF-50-FD-C8  
DHCP Enabled. . . . . : Yes  
Autoconfiguration Enabled . . . . : Yes  
Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::58c5:45f2:7e5e:29c2%11(Preferred)  
IPv4 Address. . . . . : 192.168.1.147(Preferred)  
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0  
Lease Obtained. . . . . : Friday, September 6, 2019 11:08:36 AM  
Lease Expires . . . . . : Saturday, September 7, 2019 11:08:36 AM  
Default Gateway . . . . . : 192.168.1.1  
DHCP Server . . . . . : 192.168.1.1  
<output omitted>
```

Крок 3: Дослідження кадрів Ethernet у перехопленому трафіку Wireshark.

Нижче на скріншотах перехоплення Wireshark показані пакети, згенеровані на ПК командою ping на його шлюз за замовчуванням. До Wireshark було застосовано фільтр для перегляду лише протоколів ARP і ICMP. ARP означає Address Resolution Protocol (Протокол визначення адрес). ARP - це комунікаційний протокол, який використовується для визначення MAC-адреси, пов'язаної з певною IP-адресою. Сеанс починається з ARP-запиту і відповіді щодо MAC-адреси маршрутизатора-шлюзу, за яким слідують чотири ехо-запити та відповіді.

Лабораторна робота. Використання Wireshark для дослідження кадрів Ethernet

На цьому скріншоті виділені деталі кадру для ARP-запиту.

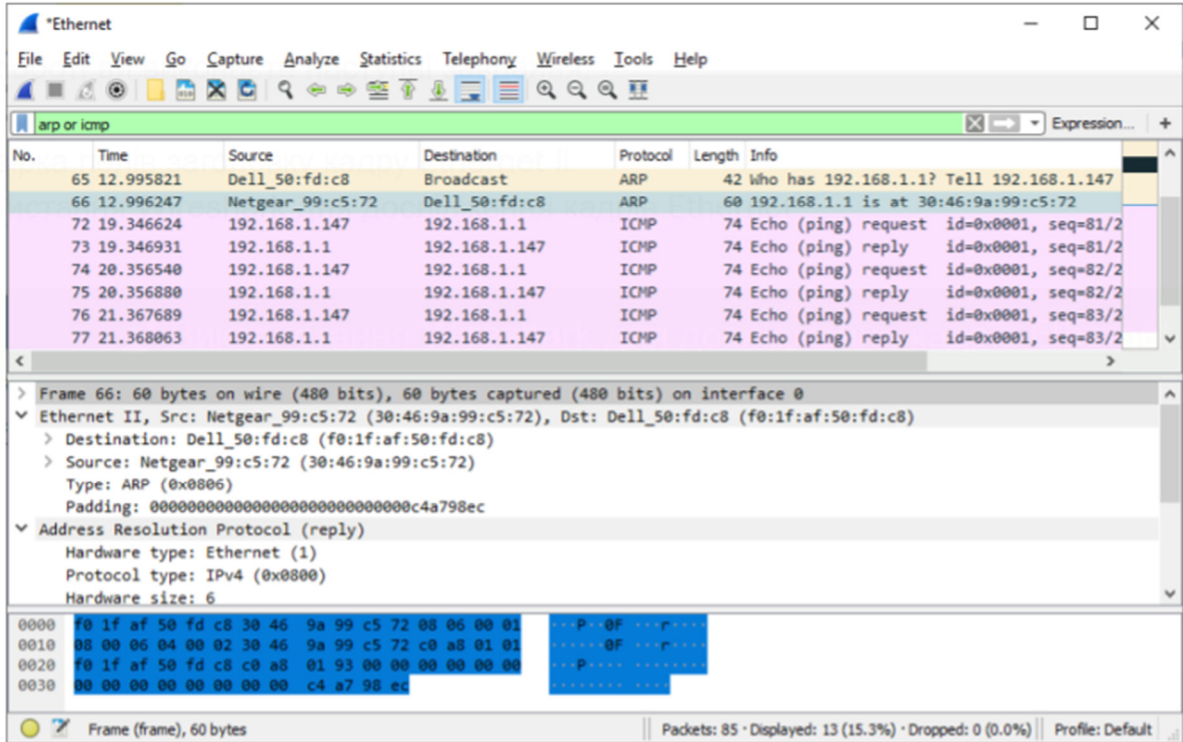
The screenshot displays the Wireshark interface with the following details:

- Filter:** arp or icmp
- Packet List:**

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
65	12.995821	Dell_50:fd:c8	Broadcast	ARP	42	Who has 192.168.1.1? Tell 192.168.1.147
66	12.996247	Netgear_99:c5:72	Dell_50:fd:c8	ARP	60	192.168.1.1 is at 30:46:9a:99:c5:72
72	19.346624	192.168.1.147	192.168.1.1	ICMP	74	Echo (ping) request id=0x0001, seq=81/2
73	19.346931	192.168.1.1	192.168.1.147	ICMP	74	Echo (ping) reply id=0x0001, seq=81/2
74	20.356540	192.168.1.147	192.168.1.1	ICMP	74	Echo (ping) request id=0x0001, seq=82/2
75	20.356880	192.168.1.1	192.168.1.147	ICMP	74	Echo (ping) reply id=0x0001, seq=82/2
76	21.367689	192.168.1.147	192.168.1.1	ICMP	74	Echo (ping) request id=0x0001, seq=83/2
77	21.368063	192.168.1.1	192.168.1.147	ICMP	74	Echo (ping) reply id=0x0001, seq=83/2
- Packet 65 Details:**
 - Frame 65: 42 bytes on wire (336 bits), 42 bytes captured (336 bits) on interface 0
 - Ethernet II, Src: Dell_50:fd:c8 (f0:1f:af:50:fd:c8), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
 - Destination: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
 - Source: Dell_50:fd:c8 (f0:1f:af:50:fd:c8)
 - Type: ARP (0x0806)
 - Address Resolution Protocol (request)
 - Hardware type: Ethernet (1)
 - Protocol type: IPv4 (0x0800)
 - Hardware size: 6
 - Protocol size: 4
- Packet Bytes:**

0000	ff ff ff ff ff ff f0 1f af 50 fd c8 00 06 00 01	
0010	00 00 06 04 00 01 f0 1f af 50 fd c8 c0 a8 01 93	
0020	00 00 00 00 00 00 c0 a8 01 01	

На цьому скріншоті виділені деталі кадру для ARP-відповіді.



Крок 4: Дослідження вмісту заголовку Ethernet II ARP-запиту.

Наступна таблиця заповнена даними з першого кадру в захопленні Wireshark і відображає дані в полях заголовку Ethernet II.

Поле	Значення	Опис						
Преамбула	Не показано в результатах захоплення	Це поле містить синхронізуючі біти, які обробляються апаратним забезпеченням NIC.						
Адреса призначення (Destination Address)	Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)	Адреси Рівня 2 для кадру. Кожна адреса довжиною 48 біт, або 6 октетів, представлених у вигляді 12 шістнадцяткових цифр, 0-9, A-F. Поширеним форматом є 12:34:56:78:9A:BC.						
Адреса джерела (Source Address)	Netgear_99:c5:72 (30:46:9a:99:c5:72)	Перші шість шістнадцяткових цифр вказують на виробника мережної інтерфейсної плати (NIC), останні шість шістнадцяткових цифр - серійний номер NIC. Адреса призначення може бути broadcast, яка містить всі одиниці, або індивідуальною. Адреса джерела завжди є індивідуальною.						
Тип кадру	0x0806	Для кадрів Ethernet II це поле містить шістнадцяткове значення, яке використовується для позначення типу протоколу верхнього рівня, інкапсульованого в полі даних. Ethernet II підтримує багато протоколів верхніх рівнів. Два поширених типи кадру: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Значення</th> <th>Опис</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0x0800</td> <td>Протокол IPv4</td> </tr> <tr> <td>0x0806</td> <td>Address Resolution Protocol (ARP)</td> </tr> </tbody> </table>	Значення	Опис	0x0800	Протокол IPv4	0x0806	Address Resolution Protocol (ARP)
Значення	Опис							
0x0800	Протокол IPv4							
0x0806	Address Resolution Protocol (ARP)							

Тип кадру	0x0806	Для кадрів Ethernet II це поле містить шістнадцяткове значення, яке використовується для позначення типу протоколу верхнього рівня, інкапсульованого в полі даних. Ethernet II підтримує багато протоколів верхніх рівнів. Два поширених типи кадру: Значення Опис 0x0800 Протокол IPv4 0x0806 Address Resolution Protocol (ARP)
Дані	ARP	Містить інкапсульований протокол верхнього рівня. Поле даних містить від 46 до 1 500 байт.
FCS	Не показано в результатах захоплення	Контрольна послідовність кадру, використовується NIC для виявлення помилок, які виникли під час передавання. Значення обчислюється відправником, охоплюючи адресні поля, тип і поле даних кадру. Перевіряється отримувачем.

7.2. MAC-адреса Ethernet

7.2.1. MAC-адреса та шістнадцяткова система числення

В мережних технологіях IPv4-адреси представлені за допомогою десяткової системи числення з основою десять і двійкової системи числення з основою два. IPv6-адреси і адреси Ethernet представлені за допомогою шістнадцяткової системи числення з основою 16. Щоб зрозуміти шістнадцяткову систему числення, спочатку потрібно добре знатися на двійковій і десятковій.

Шістнадцяткова система числення використовує цифри від 0 до 9 і літери від А до F.

MAC-адреса Ethernet складається з 48-розрядного двійкового числа. Шістнадцяткова система числення використовується для запису Ethernet-адрес, оскільки одна шістнадцяткова цифра представляє чотири двійкові біти. Тому 48-бітна MAC-адреса Ethernet може бути записана за допомогою 12 шістнадцяткових цифр.

На рисунку порівнюються еквівалентні десяткові і шістнадцяткові значення для двійкових чисел від 0000 до 1111.

На рисунку три стовпчика, показують десяткові і шістнадцяткові еквіваленти вибраних 4-бітних двійкових чисел. Зліва направо заголовки стовпців: десяткова СЧ, двійкова СЧ та шістнадцяткова СЧ. Кожен стовпець має 16 рядків під заголовком.

Десяткові та двійкові еквіваленти шістнадцяткових цифр від 0 до F

Десяткова СЧ	Двійкова СЧ	Шістнадцяткова СЧ
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

Враховуючи, що 8 біт (один байт) є поширеним двійковим групуванням, двійкові числа від 00000000 до 11111111 можуть бути представлені в шістнадцятковій системі числення в діапазоні від 00 до FF, як показано на наступному рисунку.

На рисунку представлено три стовпчики, що показують десяткові і шістнадцяткові еквіваленти окремих 8-бітних двійкових чисел. Зліва направо заголовки стовпців: десяткова СЧ, двійкова СЧ та шістнадцяткова СЧ. Кожен стовпець має 18 рядків під заголовком.

При використанні шістнадцяткової системи числення провідні нулі завжди відображаються, щоб мати повне 8-бітне представлення. Наприклад, в таблиці двійкове значення 0000 1010 показано в шістнадцятковому вигляді як 0A.

Шістнадцяткові числа часто мають префікс **0x** (наприклад, 0x73), щоб розрізнити десяткові та шістнадцяткові числа в документації.

Шістнадцяткове число також може бути представлено числом 16 у нижньому індексі, або шістнадцятковим числом, за яким слідує літера H (наприклад, 73H).

Можливо, доведеться проводити перетворення між десятковими та шістнадцятковими значеннями. Якщо такі перетворення необхідні, перетворюємо десяткове або шістнадцяткове значення на двійкове, а потім перетворюємо двійкове значення на десяткове або шістнадцяткове відповідно.

Окремі десяткові, двійкові та шістнадцяткові еквіваленти

Десяткова СЧ	Двійкова СЧ	Шістнадцяткова СЧ
0	0000 0000	00
1	0000 0001	01
2	0000 0010	02
3	0000 0011	03
4	0000 0100	04
5	0000 0101	05
6	0000 0110	06
7	0000 0111	07
8	0000 1000	08
10	0000 1010	0A
15	0000 1111	0F
16	0001 0000	10
32	0010 0000	20
64	0100 0000	40
128	1000 0000	80
192	1100 0000	C0
202	1100 1010	CA
240	1111 0000	F0
255	1111 1111	FF

7.2.2. MAC-адреса Ethernet

У локальній мережі Ethernet кожен мережний пристрій підключено до одного спільного середовища передавання даних. MAC-адреса використовується для ідентифікації фізичних пристроїв (NIC) джерела та місця призначення в локальному сегменті мережі. MAC-адресація забезпечує метод ідентифікації пристрою на Канальному рівні моделі OSI.

MAC-адреса Ethernet - це 48-бітна адреса, записана 12 шістнадцятковими цифрами, як показано на рисунку. Оскільки байт дорівнює 8 бітам, ми також можемо сказати, що довжина MAC-адреси 6 байт.

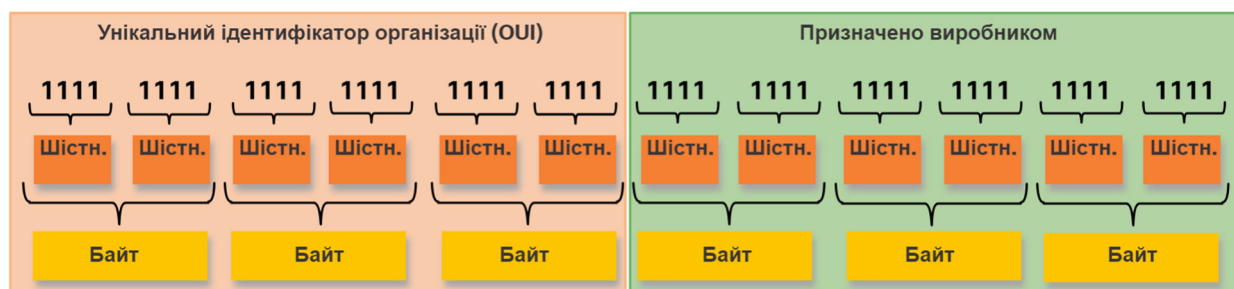


Всі MAC-адреси повинні бути унікальними для кожного Ethernet-пристрою або інтерфейсу Ethernet. Для цього всі постачальники, які продають Ethernet-пристрої, повинні зареєструватися в IEEE, щоб отримати унікальний з 6 шістнадцяткових цифр (тобто 24-бітний або 3-байтний) код, який називається унікальним ідентифікатором організації (OUI).

Коли виробник призначає MAC-адресу пристрою або інтерфейсу Ethernet, він повинен:

- Використовувати призначений йому OUI в якості перших 6 шістнадцяткових цифр.
- Призначити унікальну послідовність останніх 6 шістнадцяткових цифр.

Таким чином, MAC-адреса Ethernet складається 6 шістнадцяткових цифр OUI виробника, за якими слідує 6 шістнадцяткових цифр, призначених виробником, як показано на рисунку.



Наприклад, припустимо, що Cisco потрібно призначити унікальну MAC-адресу новому пристрою. IEEE призначив Cisco OUI **00-60-2F**. Cisco надає пристрою унікальний код від виробника, наприклад **3A-07-BC**. Таким чином, MAC-адреса Ethernet цього пристрою буде **00-60-2F-3A-07-BC**.

Виробник несе відповідальність за те, щоб жодному іншому з його пристроїв не була присвоєна така сама MAC-адреса. Однак дублікати MAC-адрес можуть існувати через помилки, допущені під час виробництва, або помилки, допущені в методах впровадження деяких віртуальних машин, або через модифікації, виконані за допомогою деяких програмних утиліт. Незалежно від причини необхідно буде змінити MAC-адресу, використовуючи нову NIC або внести модифікації через програмне забезпечення.

7.2.3. Обробка кадрів

Іноді MAC-адресу називають прошитою (burned-in address, BIA), оскільки адресу дійсно прошито до пам'яті, яка призначена тільки для читання, (ROM) на NIC. Це означає, що адреса закодована в мікросхемі ROM назавжди.

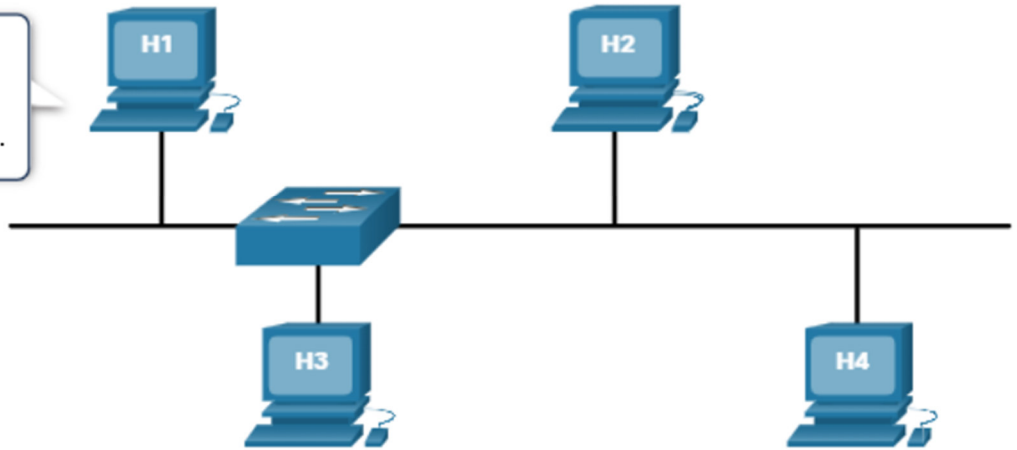
Примітка: Для сучасних операційних систем ПК і для NIC можлива зміна MAC-адреси в програмному забезпеченні. Це зручно під час спроби отримати доступ до мережі, яка фільтрує клієнтів на основі MAC-адрес. Отже, фільтрація або контроль трафіку на основі MAC-адреси більше не є безпечними.

При завантаженні комп'ютера NIC копіює свою MAC-адресу з ROM до оперативної пам'яті. Коли пристрій пересилає повідомлення до мережі Ethernet, заголовок Ethernet містить наступні поля:

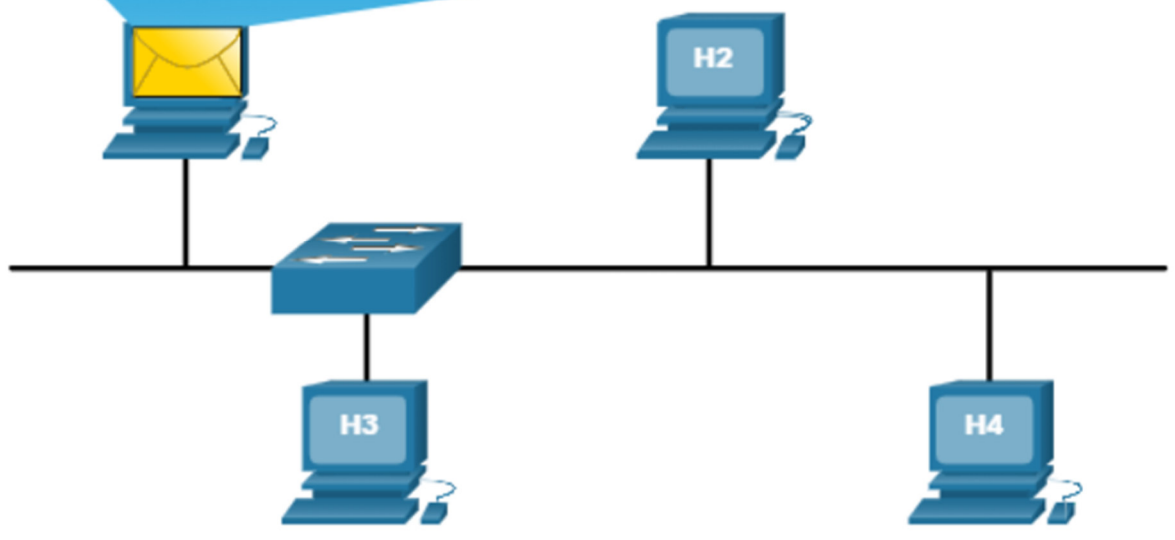
- **Source MAC address** - Це MAC адреса NIC пристрою джерела.
- **Destination MAC address** - Це MAC-адреса NIC пристрою призначення.

Натисніть Відтворити в анімації, щоб переглянути процес пересилання кадрів.

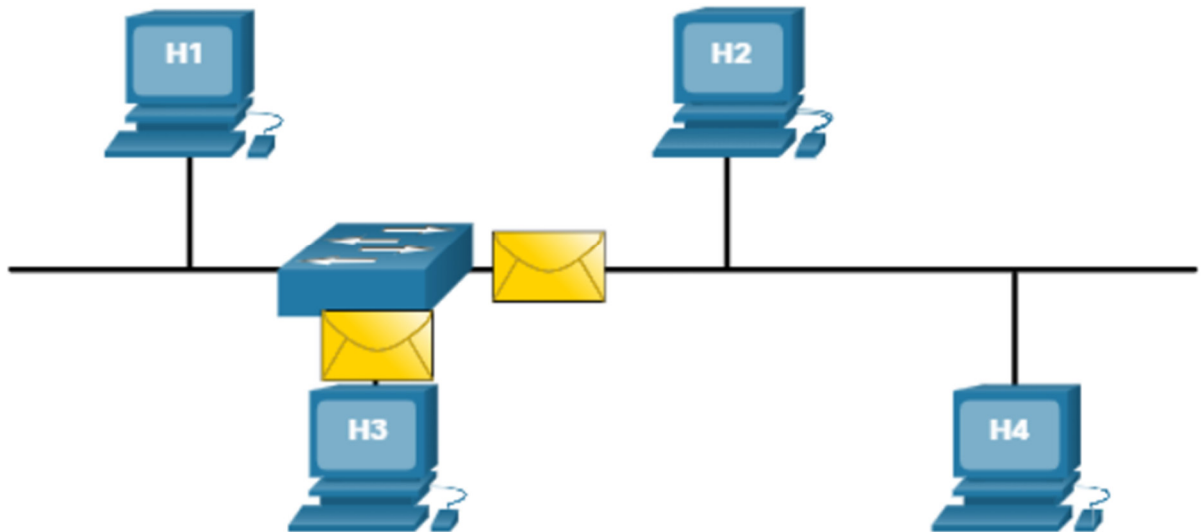
Мені потрібно надіслати інформацію до H3.



Destination Address	Source Address	Data
CC:CC:CC:CC:CC:CC	AA:AA:AA:AA:AA:AA	Інкапсульовані дані
Адресація кадру		



Destination Address	Source Address	Data
CC:CC:CC:CC:CC:CC	AA:AA:AA:AA:AA:AA	Інкапсульовані дані
Адресація кадру		



Destination Address	Source Address	Data
CC:CC:CC:CC:CC:CC	AA:AA:AA:AA:AA:AA	Інкапсульовані дані
Адресація кадру		



Коли NIC отримує Ethernet-кадр, він аналізує MAC-адресу призначення, щоб дізнатися, чи співпадає вона з його фізичною MAC-адресою, яка зберігається в оперативній пам'яті. Якщо вони не збігаються, то пристрій скидає кадр. Якщо збігаються, то кадр передається вгору по рівнях OSI, і в цей час відбувається процес деінкапсуляції.

Примітка: Мережні інтерфейсні карти Ethernet також приймають кадри, якщо MAC-адреса призначення є broadcast або адресою групової розсилки і вузол належить до відповідної групи.

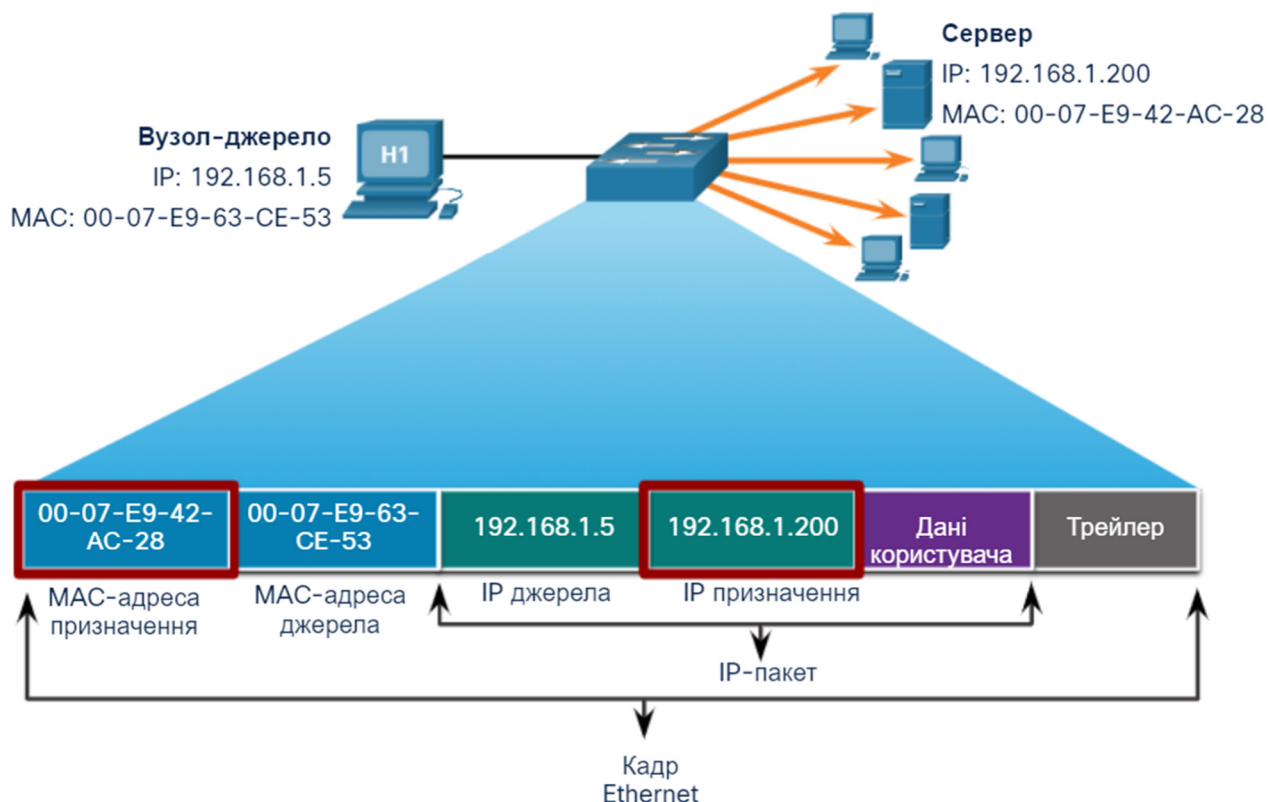
Будь-який пристрій, який є джерелом або пунктом призначення Ethernet-кадру, матиме Ethernet NIC і, отже, MAC-адресу. Це робочі станції, сервери, принтери, мобільні пристрої та маршрутизатори.

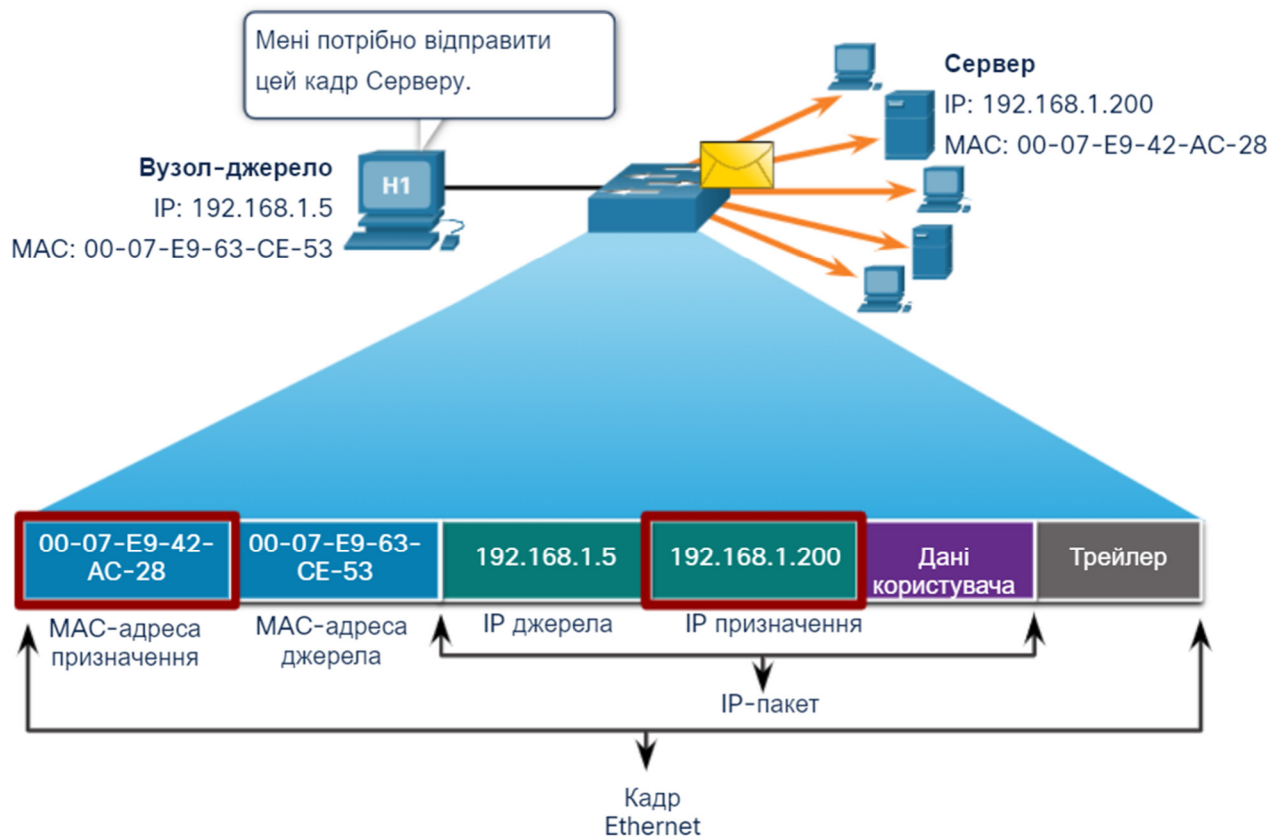
7.2.4. MAC-адреса індивідуальної розсилки

В Ethernet для індивідуальної, широкомовної та групової розсилки Рівня 2 використовуються різні MAC-адреси.

MAC-адреса індивідуальної розсилки (unicast) — це унікальна адреса, яка використовується, коли кадр надсилається з одного пристрою-джерела на один пристрій призначення.

Натисніть Відтворити в анімації, щоб переглянути, як обробляється кадр індивідуальної розсилки. У цьому прикладі обидві адреси, MAC-адреса призначення та IP-адреса призначення є індивідуальними.





В прикладі, показаному в анімації, вузол з адресою IPv4 192.168.1.5 (джерело) запитує веб-сторінку з сервера за індивідуальною IPv4-адресою 192.168.1.200. Для того, щоб індивідуальний пакет був відправлений і отриманий, в заголовку IP-пакета має бути IP-адреса призначення. Відповідна MAC-адреса призначення також повинна бути в заголовку кадру Ethernet. IP-адреса і MAC-адреса об'єднуються для доставки даних одному конкретному вузлу призначення.

Процес, який вузол-джерело використовує для визначення MAC-адреси призначення, пов'язаної з IPv4-адресою, відомий як протокол визначення адрес (Address Resolution Protocol, ARP). Процес, який вузол-джерело використовує для визначення MAC-адреси призначення, пов'язаної з IPv6-адресою, відомий як виявлення сусіда (Neighbor Discovery, ND).

Примітка: MAC-адреса джерела завжди повинна бути індивідуальною.

7.2.5. Широкомовна (Broadcast) MAC-адреса

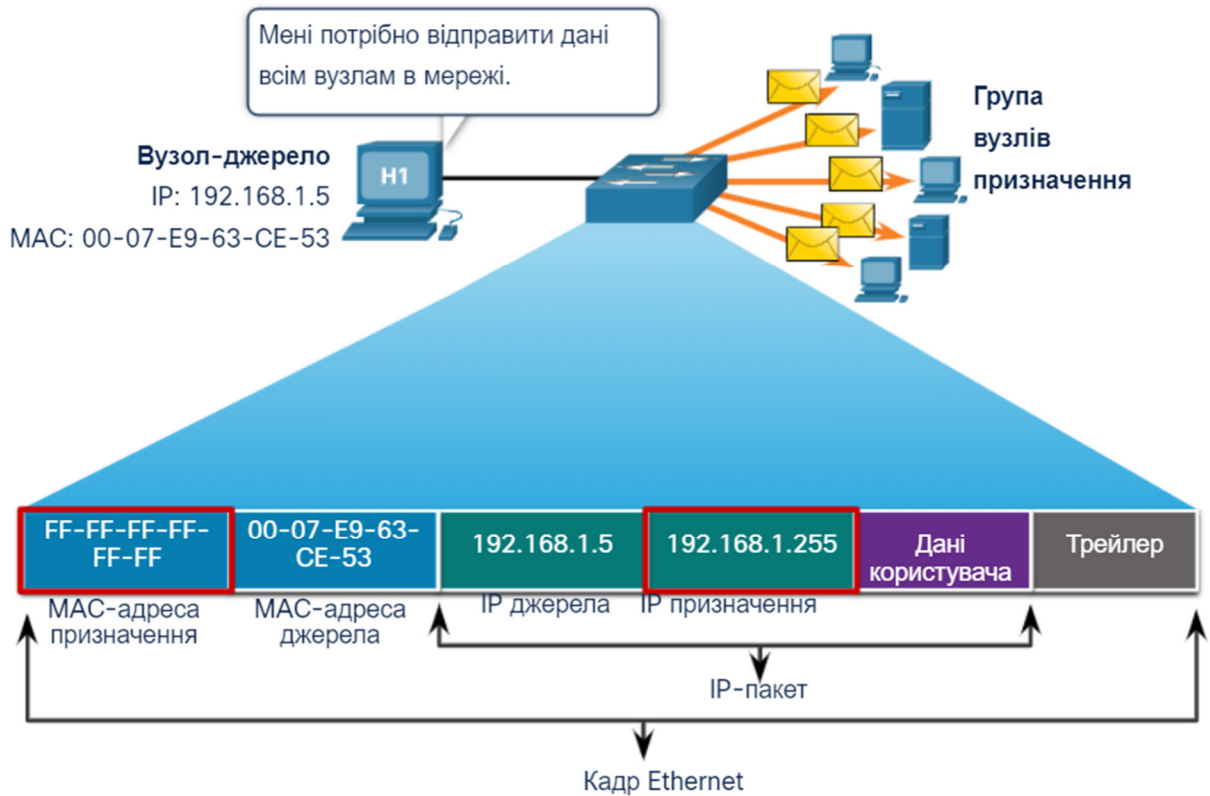
Широкомовний (broadcast) кадр Ethernet отримує і оброблює кожен пристрій в локальній мережі Ethernet. Особливості широкомовного кадру Ethernet полягають в наступному:

- Він має MAC-адресу призначення FF-FF-FF-FF-FF-FF у шістнадцятковому представленні (48 одиниць у двійковому форматі).
- Він пересилається на всі порти комутатора Ethernet, окрім вхідного порту.
- Він не пересилається маршрутизатором.

Якщо інкапсульовані дані - це IPv4 широкомовний пакет, це означає, що IPv4-адреса призначення в пакеті має всі одиниці в частині, яка ідентифікує вузол. Цей шаблон в адресі

означає, що всі вузли в цій локальній мережі (широкомовному домені) отримують і обробляють пакет.

Натисніть Відтворити в анімації, щоб переглянути, як обробляється широкомовний кадр. В цьому прикладі MAC-адреса призначення і IP-адреса призначення, обидві є широкомовними.



Як показано в анімації, вузол-джерело надсилає широкомовний IPv4-пакет всім пристроям в своїй мережі. IPv4-адреса - це широкомовна адреса, 192.168.1.255. Коли широкомовний пакет IPv4 інкапсулюється до кадру Ethernet, як MAC-адреса призначення використовується широкомовна MAC-адреса FF-FF-FF-FF-FF-FF в шістнадцятковому вигляді (48 одиниць в двійковому форматі).

DHCP для IPv4 є прикладом протоколу, який використовує широкомовні Ethernet і IPv4-адреси.

Однак, не всі широкомовні кадри Ethernet переносять широкомовні IPv4-пакети. Наприклад, ARP запити не використовують IPv4, але ARP-повідомлення надсилаються як Ethernet broadcast.

7.2.6. Групова MAC-адреса

Ethernet-кадр групової розсилки (multicast) отримає і обробить група пристроїв в локальній мережі Ethernet, які належать до однієї multicast групи. Особливості групового Ethernet-кадру наступні:

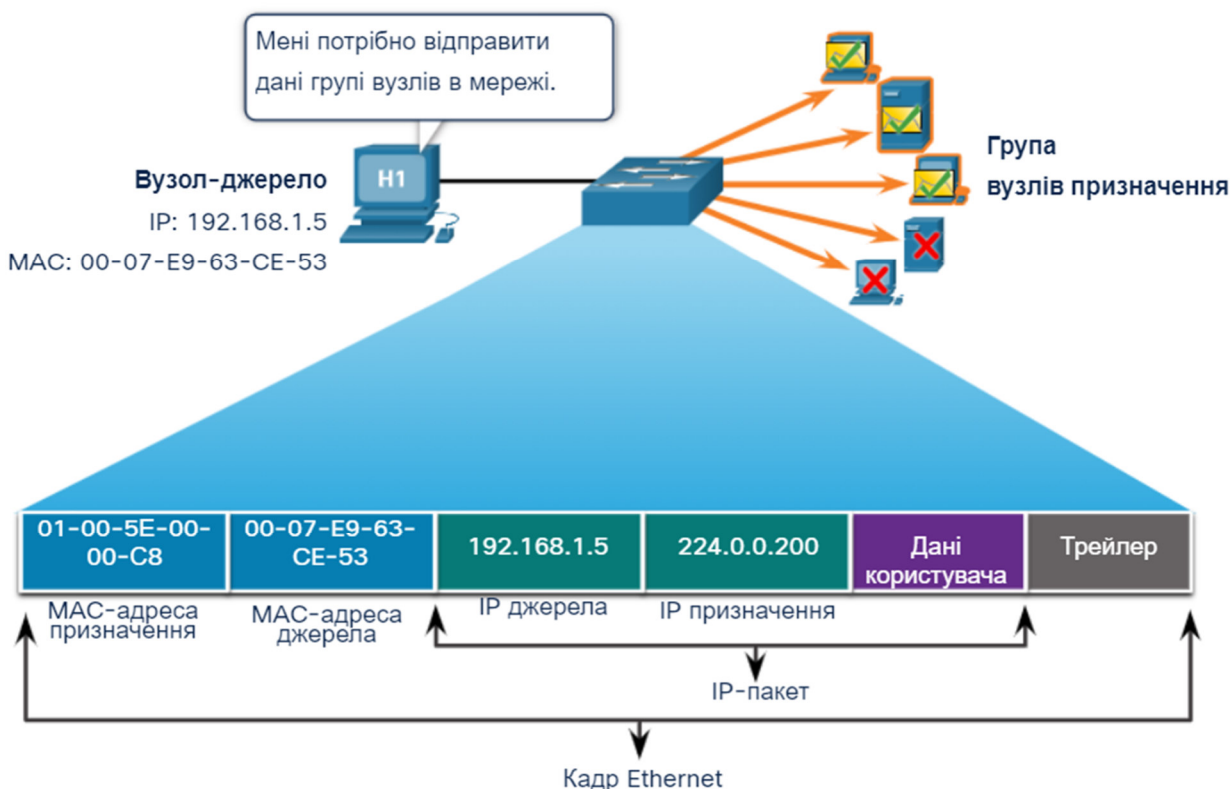
- MAC-адреса призначення 01-00-5E використовується, коли інкапсульовані IPv4-дані є пакетом групової розсилки. MAC-адреса призначення 33-33 використовується, коли інкапсульовані дані є IPv6-пакетом групової розсилки.

- Існують інші зарезервовані MAC-адреси призначення групової розсилки, коли інкапсульовані дані - це не IP, а наприклад, Spanning Tree Protocol (STP) та Link Layer Discovery Protocol (LLDP).
- Такі кадри пересилаються на всі порти комутатора Ethernet, окрім випадків, коли комутатор налаштований на прослуховування групових розсилок (multicast snooping).
- Такі кадри не пересилаються маршрутизатором, окрім випадків, коли маршрутизатор налаштований на маршрутизацію пакетів групової розсилки.

Якщо інкапсульовані дані є IP-пакетом групової розсилки, пристроям, які належать до такої групи, призначаються IP-адреси з діапазону групової розсилки. Діапазон групової розсилки IPv4 — від 224.0.0.0 до 239.255.255.255. Діапазон групової розсилки IPv6 починається з ff00::/8. Оскільки адреси групової розсилки представляють групу адрес (іноді їх називають групою хостів), їх можна використовувати лише в якості адреси призначення пакета. Адреса джерела завжди є індивідуальною.

Як і для індивідуальних і ширококомовних адрес, IP-адреса групової розсилки також потребує відповідної MAC-адреси групової розсилки для доставки кадрів в локальній мережі. MAC-адреса групової розсилки пов'язана з, і використовує адресну інформацію з IPv4 або IPv6-адреси групової розсилки.

Натисніть Відтворити в анімації, щоб переглянути, як обробляється кадр групової розсилки. У цьому прикладі MAC-адреса призначення та IP-адреса призначення є адресами групової розсилки.



Протоколи маршрутизації та інші мережні протоколи використовують групову адресацію. Такі програми, як відео-застосунки та програмне забезпечення для обробки зображень, також можуть використовувати групову адресацію, хоча multicast застосунки не такі поширені.

7.2.7. Дослідження MAC-адрес мережних пристроїв

Топологія



Таблиця адресації

Пристрій	Інтерфейс	IP-адреса	Маска підмережі	Шлюз за замовчуванням
S1	VLAN 1	192.168.1.2	255.255.255.0	N/A
PC-A	NIC	192.168.1.3	255.255.255.0	192.168.1.1

Цілі та задачі

Частина 1: Налаштування пристроїв та перевірка підключення

Частина 2: Відображення, опис та аналіз MAC-адрес Ethernet

Лабораторна робота - Дослідження MAC-адрес мережних пристроїв

- Кабелі Ethernet, як показано в топології.

Інструкції

Частина 1: Налаштування пристроїв та перевірка підключення

В цій частині Ви зберете топологію мережі та налаштуєте основні параметри, такі як IP-адреси інтерфейсів та імена пристроїв. Зверніться до адресної таблиці, щоб дізнатися назви пристроїв та адресну інформацію.

Крок 1: З'єднайте пристрої у мережу, як показано на топології.

- Приєднайте пристрої, показані на топології, та, якщо необхідно, підключіть за допомогою кабелю.
- Увімкніть живлення на усіх пристроях у топології.

Крок 2: Налаштуйте IPv4-адресу для ПК.

- Налаштуйте IPv4-адресу, маску підмережі та параметри шлюзу за замовчуванням на PC-A.
- З командного рядку на PC-A пропінгуємо адресу комутатора.

Чи був ping вдалим? Поясніть.

Крок 3: Зробіть основні налаштування на комутаторі.

На цьому кроці Ви маєте налаштувати ім'я пристрою та IP-адресу, а також вимкнути пошук DNS (DNS lookup) на комутаторі.

- a. Зайдіть через консоль на комутатор і увійдіть до режиму глобальної конфігурації.

```
Switch> enable
Switch# configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#
```

- b. Призначте ім'я комутатору відповідно до адресної таблиці.

```
Switch(config)# hostname S1
```

- c. Вимкніть пошук DNS (DNS lookup).

```
S1(config)# no ip domain-lookup
```

- d. Налаштуйте та увімкніть SVI інтерфейс для VLAN 1.

```
S1(config)# interface vlan 1
S1(config-if)# ip address 192.168.1.2 255.255.255.0
S1(config-if)# no shutdown
S1(config-if)# end
*Mar 1 00:07:59.048: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
```

Крок 4: Перевірте підключення до мережі.

Пропінгуйте комутатор з PC-A.

Чи був ping вдалим?

Частина 2: Відображення, опис та аналіз MAC-адрес Ethernet

Кожен пристрій в локальній мережі Ethernet має MAC-адресу, яка призначається виробником і зберігається в прошивці NIC. MAC-адреси Ethernet мають довжину 48 біт. Вони відображаються за допомогою набору з шести шістнадцяткових цифр, які зазвичай розділені тире, двокрапками або крапками. Наступний приклад показує одну і ту саму MAC-адресу у трьох різних нотаціях:

00-05-9A-3C-78-00 00:05:9A:3C:78:00 0005.9A3C.7800

Примітка: MAC-адреси також називаються фізичними адресами, апаратними адресами або адресами обладнання Ethernet.

Ви будете виконувати команди для відображення MAC-адрес на ПК і комутаторі, а також аналізувати властивості кожної з них.

Крок 1: Проаналізуйте MAC-адресу NIC на PC-A.

Перш ніж проаналізувати MAC-адресу на PC-A, подивіться на приклад з NIC іншого ПК. Ви можете використати команду **ipconfig /all**, щоб переглянути MAC-адресу вашої NIC. Приклад виводу на екран показаний нижче. Під час використання команди **ipconfig /all**, зверніть увагу, що MAC-адреси називаються фізичними адресами. Читаючи MAC-адресу зліва направо пам'ятаємо, що перші шість шістнадцяткових цифр ідентифікують вендора (виробника) цього пристрою. Ці перші шість шістнадцяткових цифр (3 байти) також відомі як унікальний ідентифікатор організації (OUI). Цей 3-байтний код виробник отримує від організації IEEE.

Щоб знайти виробника, скористайтеся ключовими словами **IEEE OUI standards** для пошуку OUI в Інтернеті або перейдіть на <http://standards-oui.ieee.org/oui.txt>, щоб знайти зареєстровані OUI коди виробників. Останні шість цифр - це серійний номер NIC, призначений виробником.

- a. Використовуючи результати виводу команди **ipconfig /all**, дайте відповідь на наступні питання.

```
C:\> ipconfig /all
```

```
<output omitted>
```

```
Ethernet adapter Ethernet:
```

```
Connection-specific DNS Suffix . :
```

```
Description . . . . . : Intel(R) 82577LM Gigabit Network Connection
```

```
Physical Address. . . . . : 5C-26-0A-24-2A-60
```

```
DHCP Enabled. . . . . : Yes
```

```
Autoconfiguration Enabled . . . . : Yes
```

```
Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::b875:731b:3c7b:c0b1%10 (Preferred)
```

```
IPv4 Address. . . . . : 192.168.1.147 (Preferred)
```

```
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
```

```
Lease Obtained. . . . . : Friday, September 6, 2019 11:08:36 AM
```

```
Lease Expires . . . . . : Saturday, September 7, 2019 11:08:36 AM
```

```
Default Gateway . . . . . : 192.168.1.1
```

```
<output omitted>
```

Чому дорівнює OUI частина MAC-адреси для цього пристрою?

Чому дорівнює частина MAC-адреси, яка представляє серійний номер цього пристрою?

Лабораторна робота - Дослідження MAC-адрес мережних пристроїв

Використовуючи наведений вище приклад, знайдіть ім'я виробника цієї NIC.

- b. В командному рядку на PC-A задайте команду **ipconfig /all** і визначить OUI частину MAC-адреси для NIC на PC-A.

Визначте частину MAC-адреси, яка представляє серійний номер для NIC PC-A.

Визначить ім'я виробника, який виготовив NIC на PC-A.

Крок 2: Проаналізуйте MAC-адресу інтерфейсу F0/6 комутатора S1.

Для відображення MAC-адрес на комутаторі можна використовувати різноманітні команди.

- a. Зайдіть через консоль на S1 і використовуйте команду **show interfaces vlan 1** для пошуку інформації про MAC-адреси. Приклад показаний нижче. Використовуйте дані з екрану, згенеровані вашим комутатором, щоб відповісти на запитання.

```
S1# show interfaces vlan 1
```

```
Vlan1 is up, line protocol is up
```

```
Hardware is EtherSVI, address is 001b.0c6d.8f40 (bia 001b.0c6d.8f40)
```

```
Internet address is 192.168.1.2/24
```

```
MTU 1500 bytes, BW 1000000 Kbit/sec, DLY 10 usec,  
reliability 255/255, txload 1/255, rxload 1/255
```

```
Encapsulation ARPA, loopback not set
```

```
Keepalive not supported
```

```
ARP type: ARPA, ARP Timeout 04:00:00
```

```
Last input never, output 00:14:51, output hang never
```

```
Last clearing of "show interface" counters never
```

```
Input queue: 0/75/0/0 (size/max/drops/flushes); Total output drops: 0
```

```
Queueing strategy: fifo
```

```
Output queue: 0/40 (size/max)
```

```
5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
```

```
5 minute output rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
```

```
0 packets input, 0 bytes, 0 no buffer
```

```
Received 0 broadcasts (0 IP multicasts)
```

```
0 runts, 0 giants, 0 throttles
```

```
0 input errors, 0 CRC, 0 frame, 0 overrun, 0 ignored
```

```
34 packets output, 11119 bytes, 0 underruns
```

```
0 output errors, 2 interface resets
```

```
0 unknown protocol drops
```

```
0 output buffer failures, 0 output buffers swapped out
```

Яка MAC-адреса для VLAN 1 на S1?

Який серійний номер міститься в MAC для VLAN 1?

Лабораторна робота - Дослідження MAC-адрес мережних пристроїв

Чому дорівнює OUI для VLAN 1?

На основі цього OUI, визначте ім'я постачальника.

Що означає "bia"?

Чому у виводі на екран одна і та сама MAC-адреса показана двічі?

- b. Ще один спосіб відображення MAC-адреси на комутаторі - це використання команди **show arp**. Використайте команду **show arp** для відображення інформації про MAC-адресу. Ця команда зіставляє адресу Рівня 2 з відповідною адресою Рівня 3. Приклад показаний нижче. Використовуйте дані з екрану, згенеровані вашим комутатором, щоб відповісти на запитання.

```
S1# show arp
```

```
Protocol Address Age (min) Hardware Addr Type Interface
```

```
Internet 192.168.1.2 - 001b.0c6d.8f40 ARPA Vlan1
```

```
Internet 192.168.1.3 0 5c26.0a24.2a60 ARPA Vlan1
```

Які адреси Рівня 2 відображаються на S1?

Які адреси Рівня 3 відображаються на S1?

Крок 3: Перегляньте MAC-адреси на комутаторі.

Виконайте команду **show mac address-table** на комутаторі S1. Приклад показаний нижче. Використовуйте дані з екрану, згенеровані вашим комутатором, щоб відповісти на запитання.

```
S1# show mac address-table
```

```
Mac Address Table
```

```
-----  
Vlan Mac Address Type Ports
```

```
----  
All 0100.0ccc.cccc STATIC CPU  
All 0100.0ccc.cccd STATIC CPU  
All 0100.0ccc.cccd STATIC CPU  
All 0180.c200.0001 STATIC CPU  
All 0180.c200.0002 STATIC CPU  
All 0180.c200.0003 STATIC CPU  
All 0180.c200.0004 STATIC CPU  
All 0180.c200.0005 STATIC CPU  
All 0180.c200.0006 STATIC CPU  
All 0180.c200.0007 STATIC CPU  
All 0180.c200.0008 STATIC CPU  
All 0180.c200.0009 STATIC CPU  
All 0180.c200.000a STATIC CPU  
All 0180.c200.000b STATIC CPU  
All 0180.c200.000c STATIC CPU
```

Лабораторна робота - Дослідження MAC-адрес мережних пристроїв

```
All 0180.c200.000d STATIC CPU  
All 0180.c200.000e STATIC CPU  
All 0180.c200.000f STATIC CPU  
All 0180.c200.0010 STATIC CPU  
All ffff.ffff.ffff STATIC CPU
```

```
1 5c26.0a24.2a60 DYNAMIC Fa0/6
```

```
Total Mac Addresses for this criterion: 21
```

Чи відображає комутатор MAC-адресу PC-A? Якщо відповідь «Так», на якому порту він був приєднаний?

Питання для самоперевірки

1. Чи може бути ширококомплетна на Рівні 2? Якщо так, то якою має бути MAC-адреса?
2. Навіщо потрібно знати MAC-адресу пристрою?

7.3. Таблиця MAC-адрес

7.3.1. Основи роботи комутатора

Тепер, коли ви знаєте все про MAC-адреси Ethernet, час поговорити про те, як комутатор використовує ці адреси для пересилання (або відкидання) кадрів до інших пристроїв в мережі. Якщо комутатор буде просто перенаправляти кожен кадр, який він отримав, на всі порти, ваша мережа буде настільки перевантажена, що це може призвести до повної зупинки.

Ethernet-комутатор Рівня 2 використовує MAC-адреси Рівня 2 для прийняття рішень щодо пересилання кадрів. Абсолютно не важливо які дані (протокол) переносяться в полі даних кадру, це пакет IPv4, ARP-повідомлення або IPv6 ND пакет. Комутатор приймає рішення щодо пересилання виключно базуючись на MAC-адресі Ethernet Рівня 2.

Комутатор Ethernet аналізує таблицю MAC-адрес, щоб прийняти рішення щодо пересилання для кожного кадру, на відміну від застарілих концентраторів Ethernet, які повторюють біти на всі свої порти, окрім вхідного порту. На рисунку чотирьох портовий комутатор, який щойно увімкнули. Наведено таблицю MAC-адрес, яка ще не встигла вивчити MAC-адреси чотирьох підключених ПК.

Примітка: MAC-адреси скорочені вздовж всієї теми для демонстраційних цілей.

Примітка: Таблицю MAC-адрес іноді називають таблицею асоціативної пам'яті (content addressable memory, CAM). Хоча термін CAM-таблиця є досить поширеним, в цьому курсі ми будемо називати її таблицею MAC-адрес.



Таблиця MAC-адрес комутатора порожня.

7.3.2. Комутатор: процеси вивчення та перенаправлення

Комутатор динамічно будує таблицю MAC-адрес шляхом вивчення MAC-адрес джерела кадрів, отриманих на порту. Комутатор пересилає кадри, шукаючи відповідність між MAC-адресою призначення у кадрі та записом в таблиці MAC-адрес.

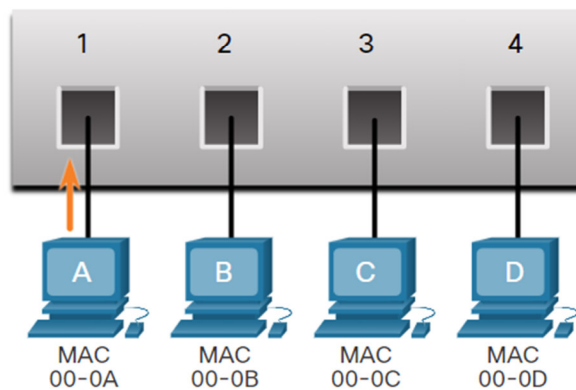
Дослідити MAC-адресу джерела

Кожен кадр, що надходить до комутатора, перевіряється на наявність нової інформації для вивчення. Для цього перевіряється MAC-адреса джерела кадру та номер порту, через який кадр надійшов до комутатора. Якщо MAC-адреса джерела кадру відсутня в таблиці, вона додається до таблиці MAC-адрес разом із номером вхідного порту. Якщо MAC-адреса джерела присутня в таблиці, комутатор оновлює таймер для цього запису. За замовчуванням більшість комутаторів Ethernet зберігають запис у таблиці протягом п'яти хвилин.

На рисунку, наприклад, PC-A відправляє Ethernet-кадр до PC-D. В таблиці показано, що комутатор додає MAC-адресу вузла PC-A до таблиці MAC-адрес.

Примітка: Якщо MAC-адреса джерела присутня в таблиці, але на іншому порту, комутатор розглядає це як новий запис. Запис замінюється на зіставлення тієї ж MAC-адреси, але з більш актуальним номером порту.

Порт	MAC-адреса
1	00-0A



MAC призначення 00-0D	MAC джерела 00-0A	Тип	Дані	FCS
--------------------------	----------------------	-----	------	-----

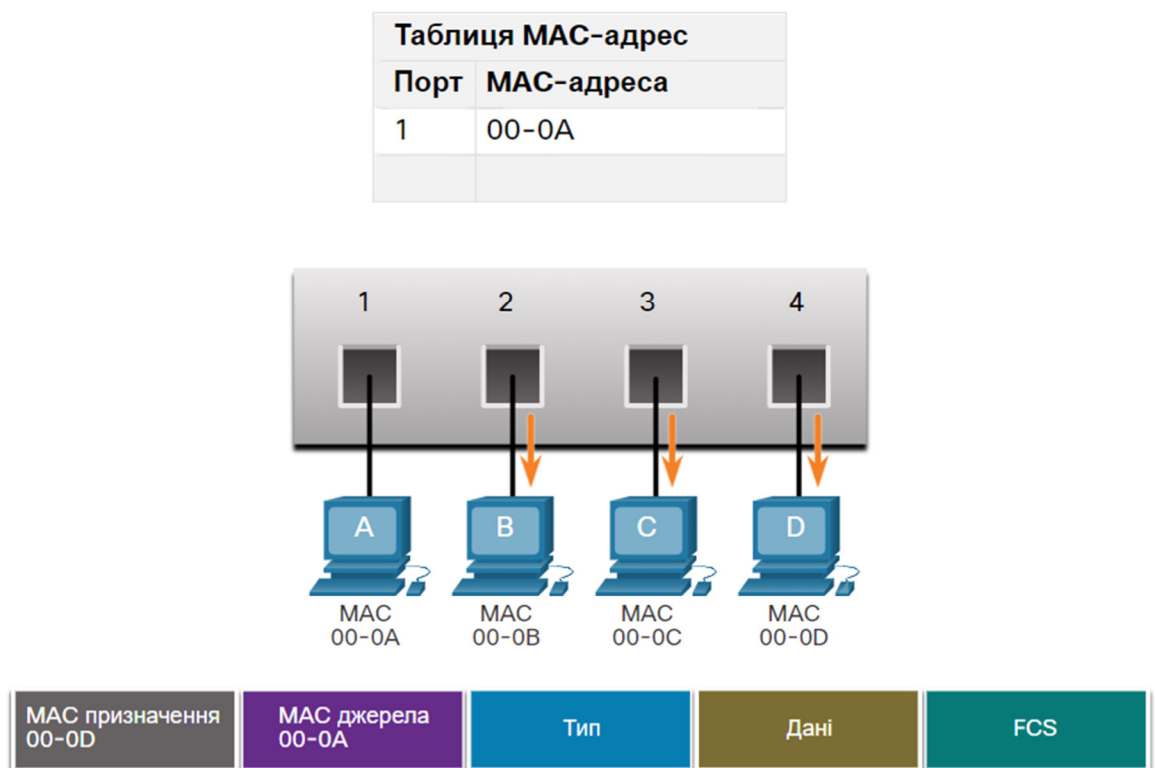
1. PC-A надсилає Ethernet-кадр.
2. Комутатор додає номер порту та MAC-адресу вузла PC-A до таблиці MAC-адрес.

Знайти MAC-адресу призначення

Якщо MAC-адреса призначення є адресою індивідуальної розсилки, комутатор буде шукати відповідність між MAC-адресою призначення кадру та записом в його таблиці MAC-адрес. Якщо MAC-адреса призначення представлена в таблиці, комутатор передасть кадр через визначений порт. Якщо MAC-адреса призначення відсутня в таблиці, комутатор передасть кадр через усі порти за винятком вхідного порту. Це називається індивідуальна розсилка невідомому отримувачу (unknown unicast).

Як показано на рисунку, комутатор не має MAC-адреси призначення PC-D в своїй таблиці, і тому пересилає кадр на всі порти, окрім порту номер 1.

Примітка: Якщо MAC-адреса призначення є широкомовною або адресою групової розсилки, кадр також передається через всі порти, крім вхідного порту.



1. MAC-адреса призначення відсутня в таблиці.
2. Комутатор перенаправляє кадр на всі інші порти.

7.3.3. Фільтрація кадрів

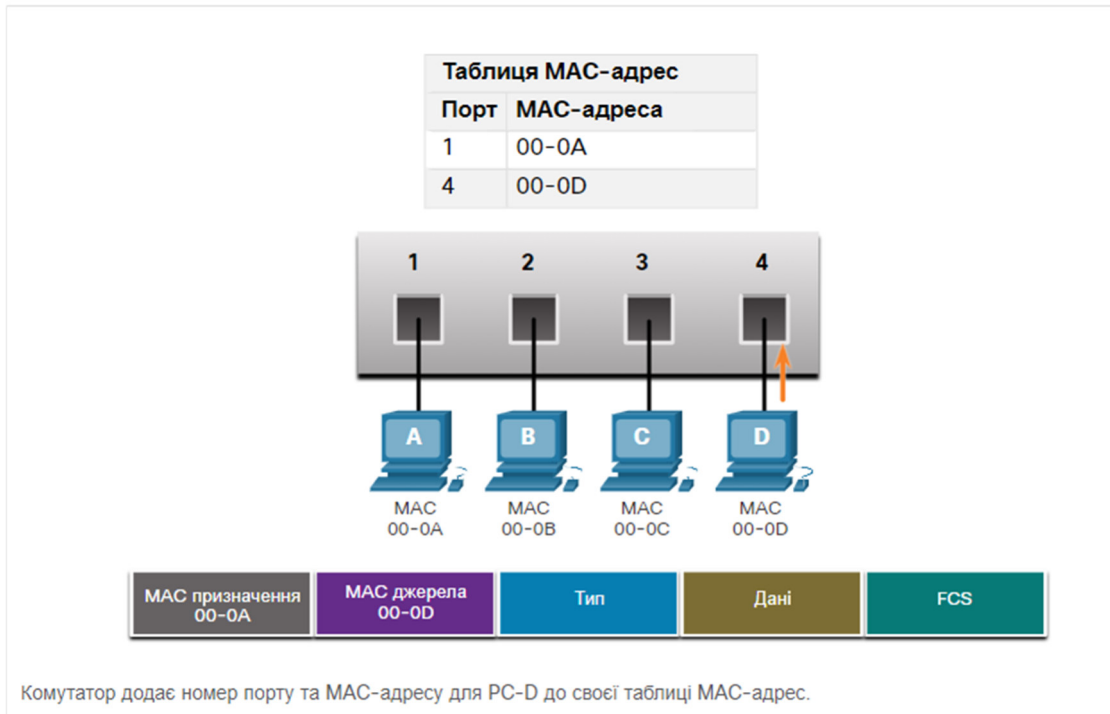
Оскільки комутатор отримує кадри з різних пристроїв, він може заповнювати свою таблицю MAC-адрес, вивчаючи MAC-адреси джерела кожного кадру. Якщо таблиця MAC-адрес комутатора містить MAC-адресу призначення, то комутатор здатен фільтрувати кадр і пересилати його через один порт.

Від PC-D на комутатор

Від комутатора на PC-A

Від PC-A на комутатор і на PC-D

На рисунку PC-D відповідає вузлу PC-A. Комутатор бачить MAC-адресу вузла PC-D у вхідному кадрі на порту 4. Потім комутатор поміщає MAC-адресу PC-D до таблиці MAC-адрес, пов'язуючи її з портом 4.

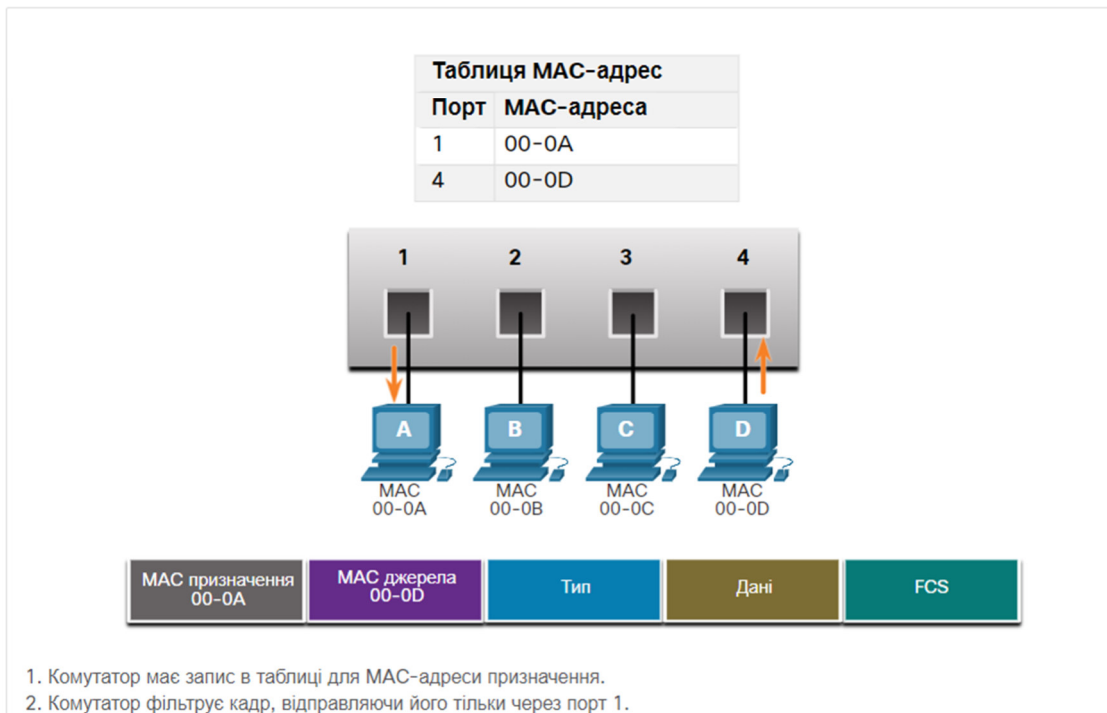


Від PC-D на комутатор

Від комутатора на PC-A

Від PC-A на комутатор і на PC-D

Далі, оскільки комутатор має MAC-адресу призначення вузла PC-A в таблиці MAC-адрес, він відправить кадр тільки через порт 1, як показано на рисунку.

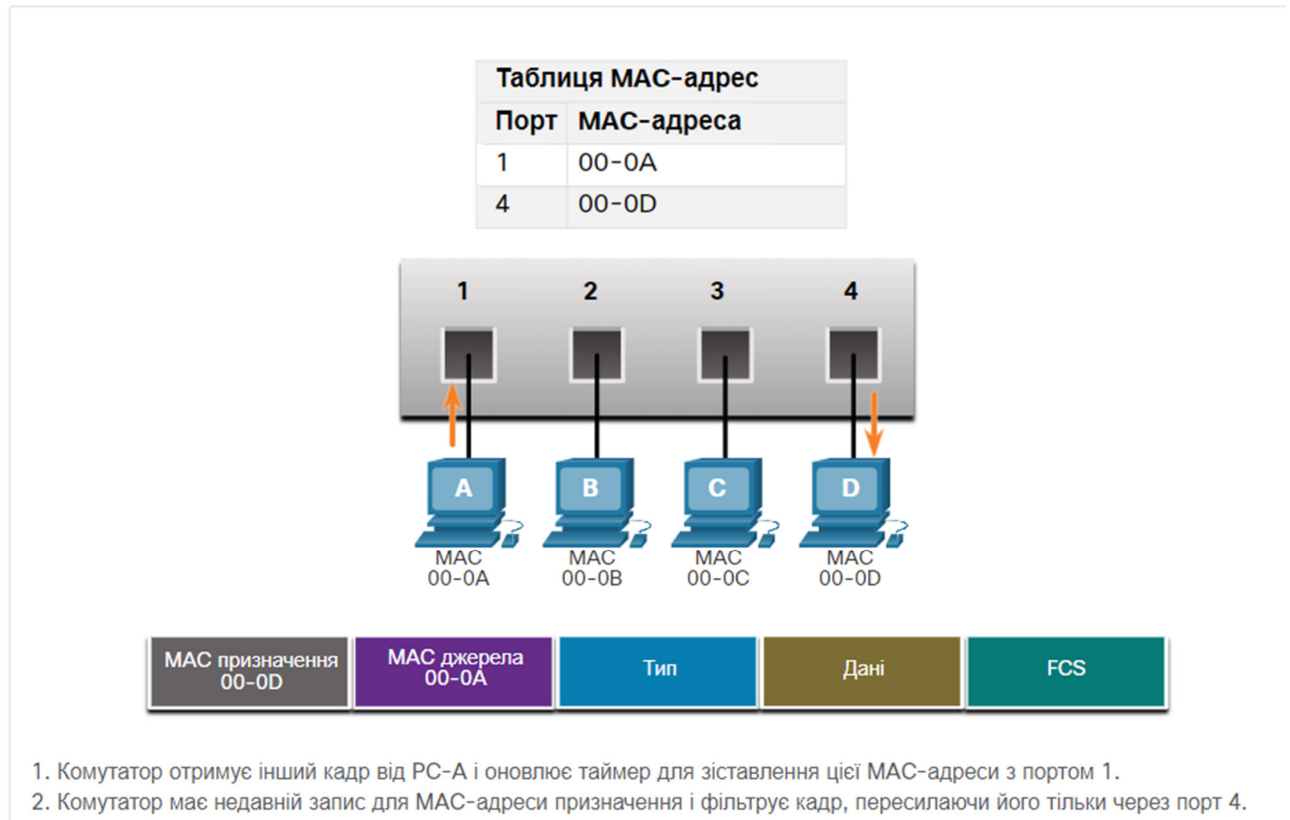


Від PC-D на комутатор

Від комутатора на PC-A

Від PC-A на комутатор і на PC-D

Далі PC-A відправляє інший кадр до PC-D, як показано на рисунку. Таблиця MAC-адрес вже містить MAC-адресу для PC-A, тому п'ятихвилинний таймер оновлення для цього запису буде оновлено. Далі, оскільки таблиця комутатора містить MAC-адресу призначення для PC-D, комутатор пересилає кадр тільки через порт 4.



7.3.4. Таблиці MAC-адрес на підключених між собою комутаторах

Комутатор може мати кілька MAC-адрес, пов'язаних з одним портом. Зазвичай так буває, коли комутатор підключений до іншого комутатора. Комутатор матиме окремий запис в таблиці MAC-адрес для кожного кадру, отриманого з іншою MAC-адресою джерела.

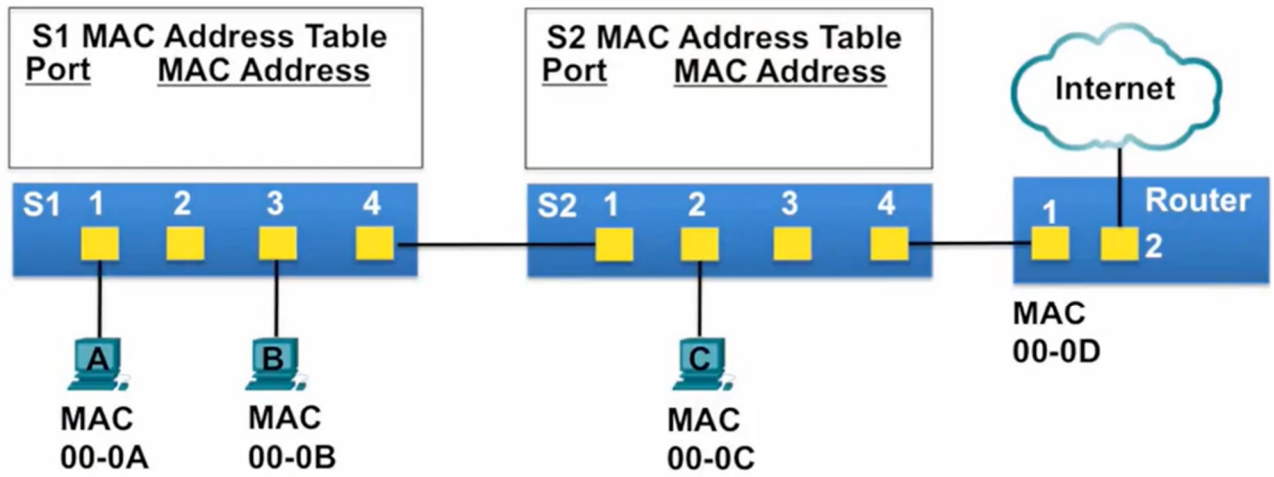
Натисніть кнопку Відтворити на рисунку, щоб переглянути демонстрацію того, як два з'єднаних між собою комутатори будують таблиці MAC-адрес.

Video - MAC Address Tables on Connected Switches

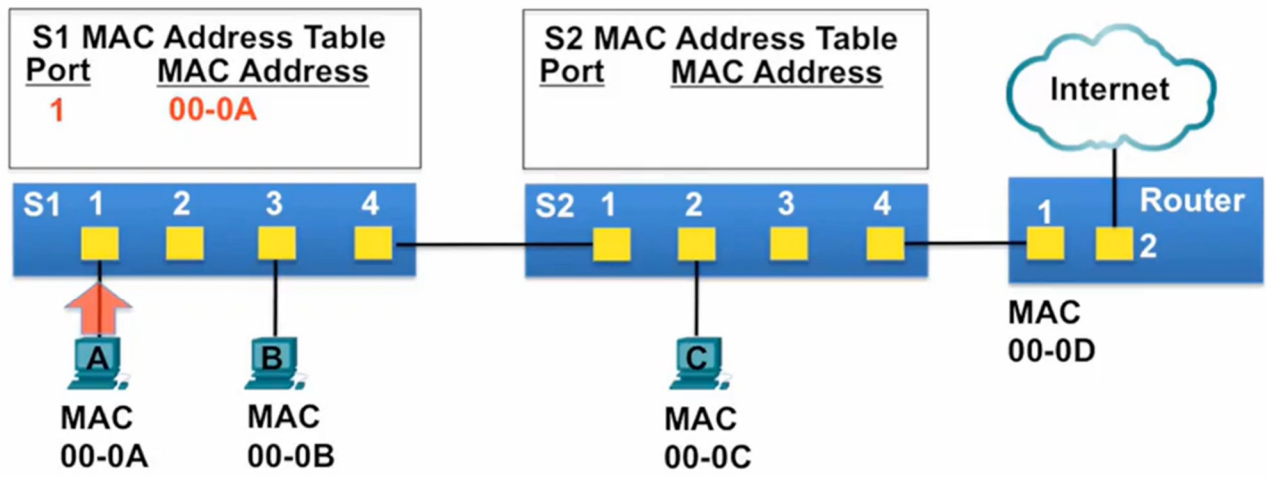
This video will cover the following:

- How switches build MAC address tables
- How switches forward frames based on the content of their MAC address tables

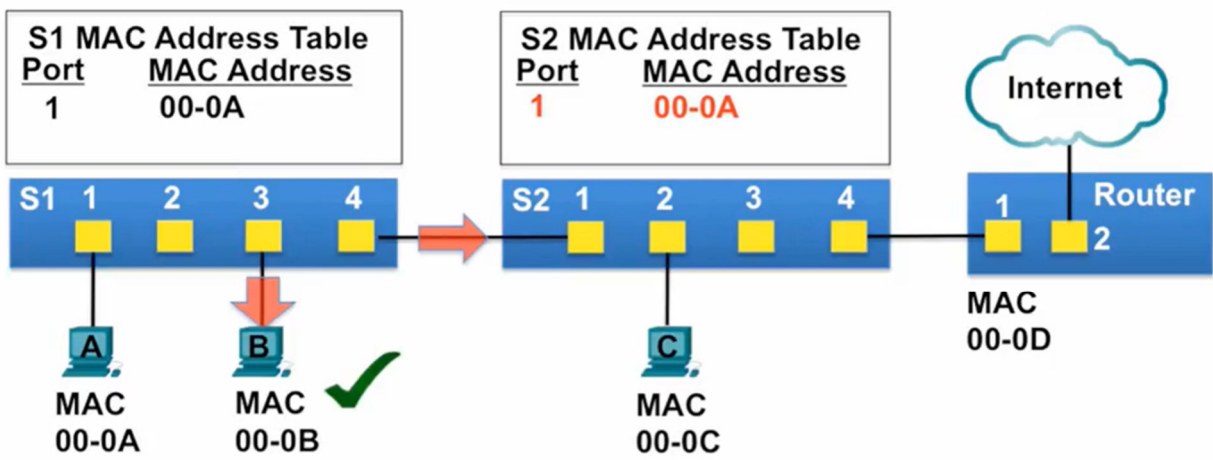
2-й варіант: від 00-0A передача до 00-0B



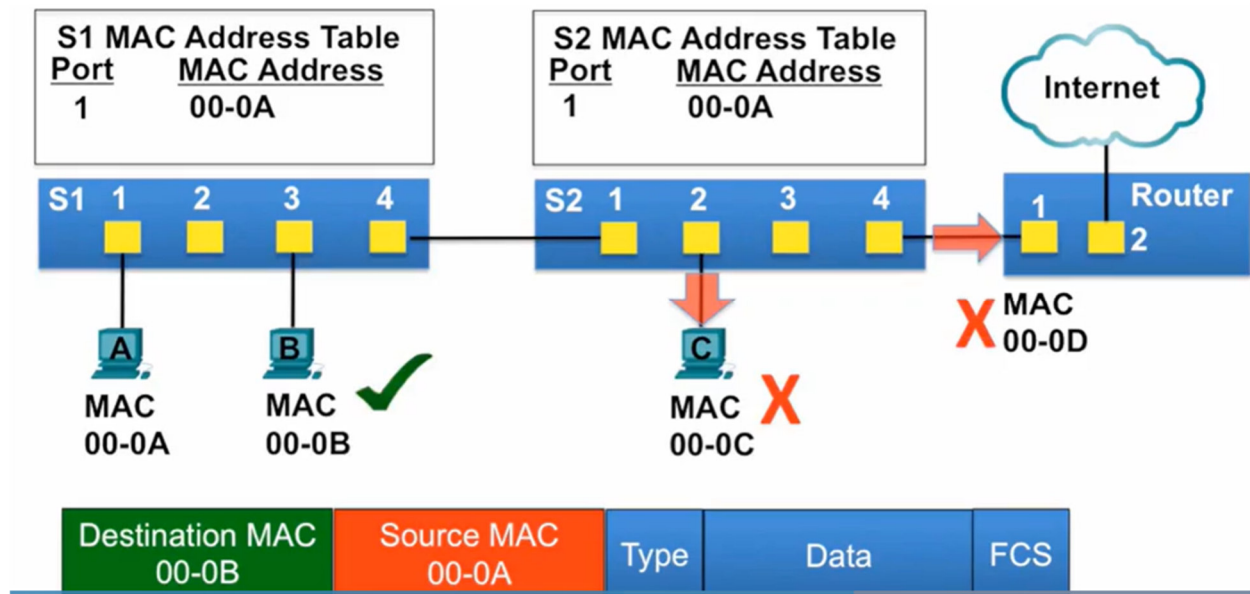
Destination MAC 00-0B	Source MAC 00-0A	Type	Data	FCS
--------------------------	---------------------	------	------	-----



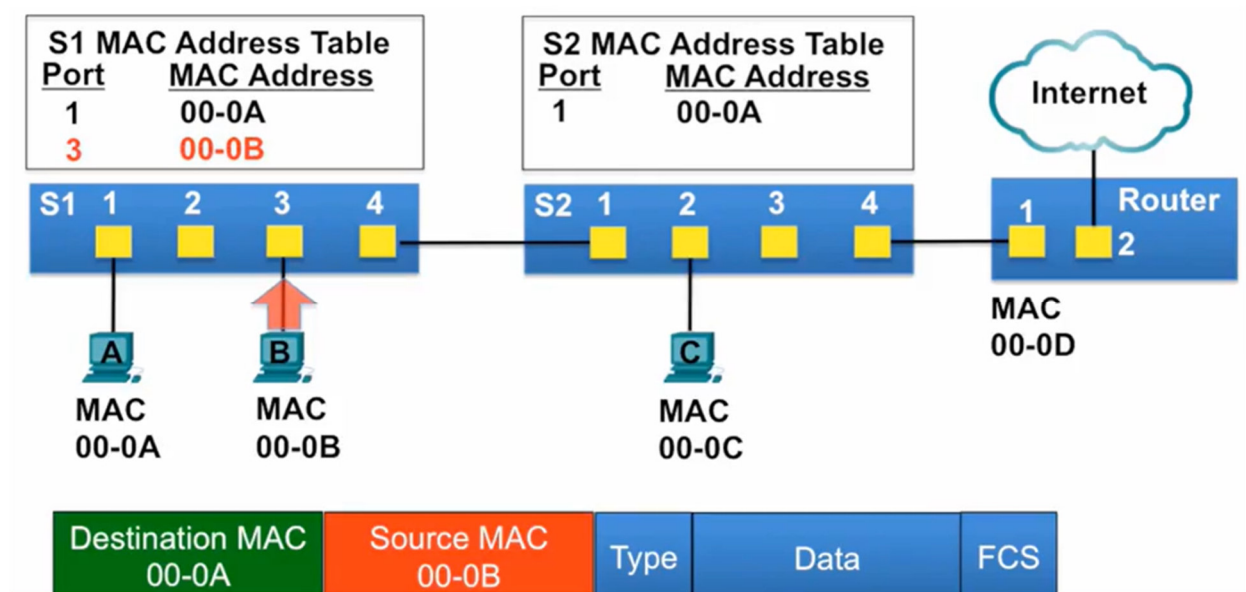
Destination MAC 00-0B	Source MAC 00-0A	Type	Data	FCS
--------------------------	---------------------	------	------	-----



Destination MAC 00-0B	Source MAC 00-0A	Type	Data	FCS
--------------------------	---------------------	------	------	-----



2-й варіант: від 00-0B передача до 00-0A



7.3.5. Відправка кадру до шлюзу за замовчуванням

Коли пристрій призначення має IP-адресу, що знаходиться у віддаленій мережі, кадр Ethernet не може бути надісланий безпосередньо на пристрій призначення. Натомість кадр Ethernet надсилається на MAC-адресу шлюзу за замовчуванням, на маршрутизатор.

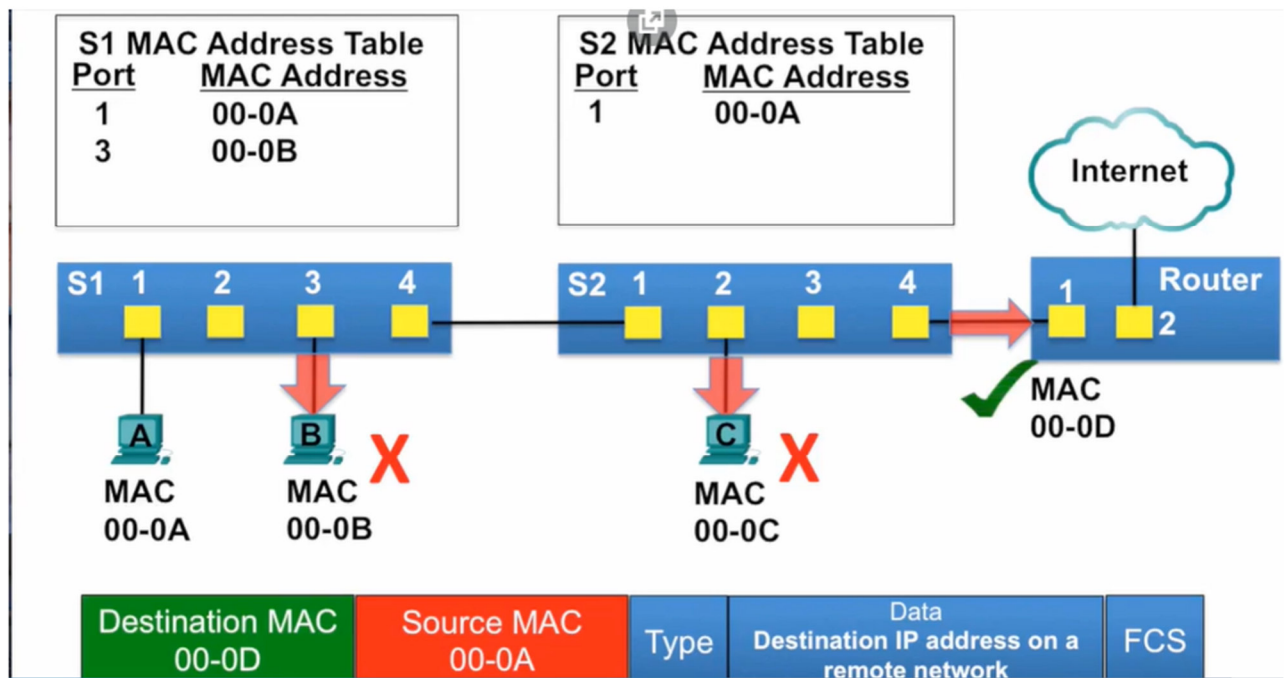
Натисніть кнопку Відтворити на рисунку, щоб переглянути демонстрацію того, як PC-A взаємодіє зі своїм шлюзом за замовчуванням.

Примітка: В цьому відео IP-пакет, який надсилається з PC-A до місця призначення у віддаленій мережі, має IP-адресу джерела PC-A і IP-адресу призначення віддаленого хоста. IP-пакет відповіді буде мати за IP-адресу джерела адресу віддаленого хоста і адресу PC-A в якості IP-адреси призначення.

Video - Send a Frame to the Default Gateway

This video will cover the following:

- What a switch does when the destination MAC address is not listed in the switch's MAC address table.
- What a switch does when the source MAC address is not listed in the switch's MAC address table



7.3.6. Інтерактивне завдання - Працюй як комутатор!

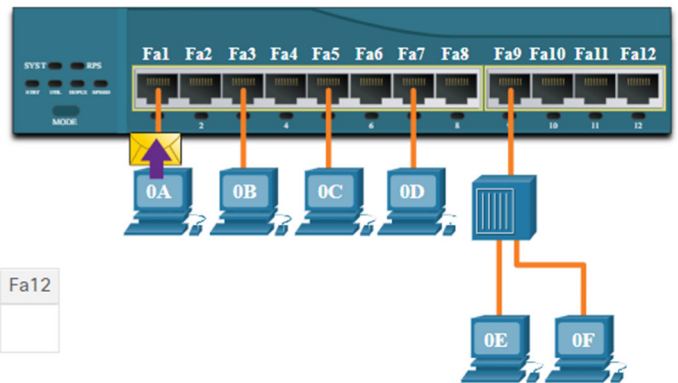
Визначте, як комутатор пересилає кадр, базуючись на MAC-адресі джерела, MAC-адресі призначення та інформації в MAC-таблиці комутатора. Відповідайте на запитання, використовуючи надану інформацію.

Frame

Preamble	Destination MAC	Source MAC	Type / Length	Frame	End of Frame
	0E	0A			

MAC-таблиця

Fa1	Fa2	Fa3	Fa4	Fa5	Fa6	Fa7	Fa8	Fa9	Fa10	Fa11	Fa12
0A	0B							0F			



Питання 1 - На які порти комутатор буде пересилати кадр?

- Fa1 Fa2 Fa3 Fa4 Fa5 Fa6 Fa7 Fa8 Fa9 Fa10 Fa11 Fa12

Питання 2 - Які твердження є вірними щодо того, як комутатор пересилає кадр?

- Комутатор додає MAC-адресу джерела, якої зараз немає в таблиці MAC-адрес.
 Кадр є ширококовним і буде перенаправлений на всі порти.
 Кадр є індивідуальним і пересилається тільки на конкретний порт.
 Кадр є індивідуальним і буде пересланий на всі порти.
 Кадр є індивідуальним, але він буде знищений комутатором.

Перевірити

Нова задача

Показати

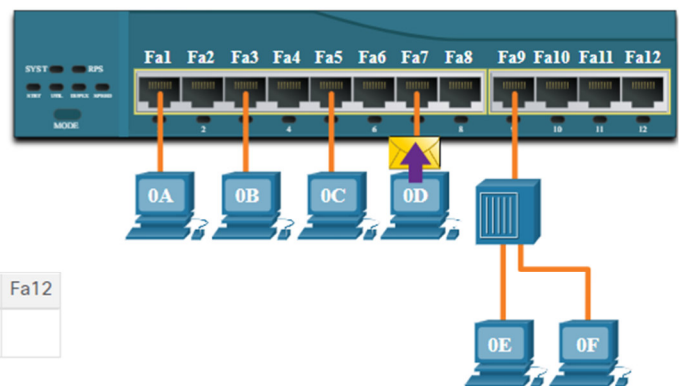
Допомога

Frame

Preamble	Destination MAC	Source MAC	Type / Length	Frame	End of Frame
	0F	0D			

MAC-таблиця

Fa1	Fa2	Fa3	Fa4	Fa5	Fa6	Fa7	Fa8	Fa9	Fa10	Fa11	Fa12
				0C							



Питання 1 - На які порти комутатор буде пересилати кадр?

- Fa1 Fa2 Fa3 Fa4 Fa5 Fa6 Fa7 Fa8 Fa9 Fa10 Fa11 Fa12

Питання 2 - Які твердження є вірними щодо того, як комутатор пересилає кадр?

- Комутатор додає MAC-адресу джерела, якої зараз немає в таблиці MAC-адрес.
 Кадр є ширококовним і буде перенаправлений на всі порти.
 Кадр є індивідуальним і пересилається тільки на конкретний порт.
 Кадр є індивідуальним і буде пересланий на всі порти.
 Кадр є індивідуальним, але він буде знищений комутатором.

7.4. Швидкості комутатора і методи пересилання

7.4.1. Методи пересилання кадрів на комутаторах Cisco

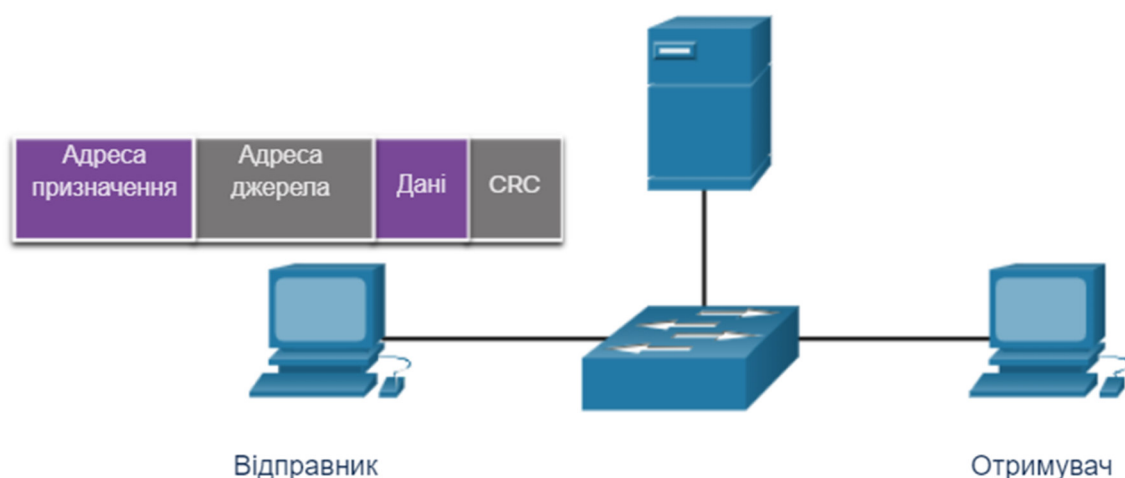
З попередньої теми ви дізналися, що комутатори використовують свої таблиці MAC-адрес, щоб визначити, яким портом скористатися для пересилання кадрів. Комутатори Cisco фактично використовують два способи пересилання кадрів, і існують вагомі причини використовувати один замість іншого, залежно від ситуації.

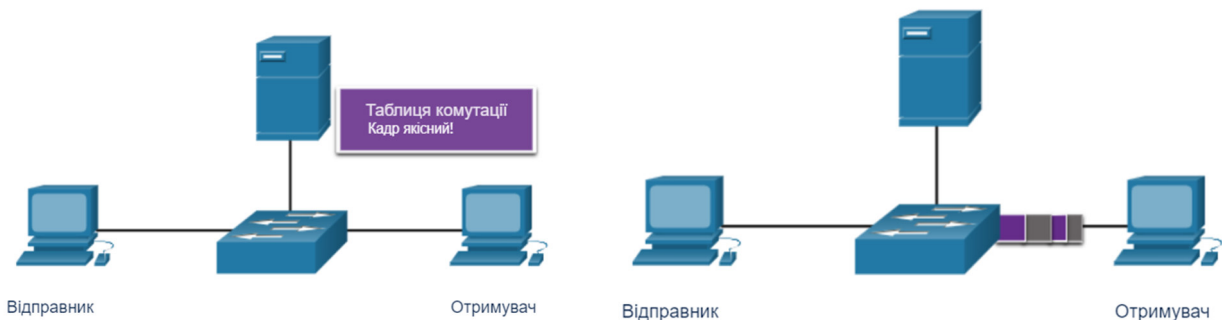
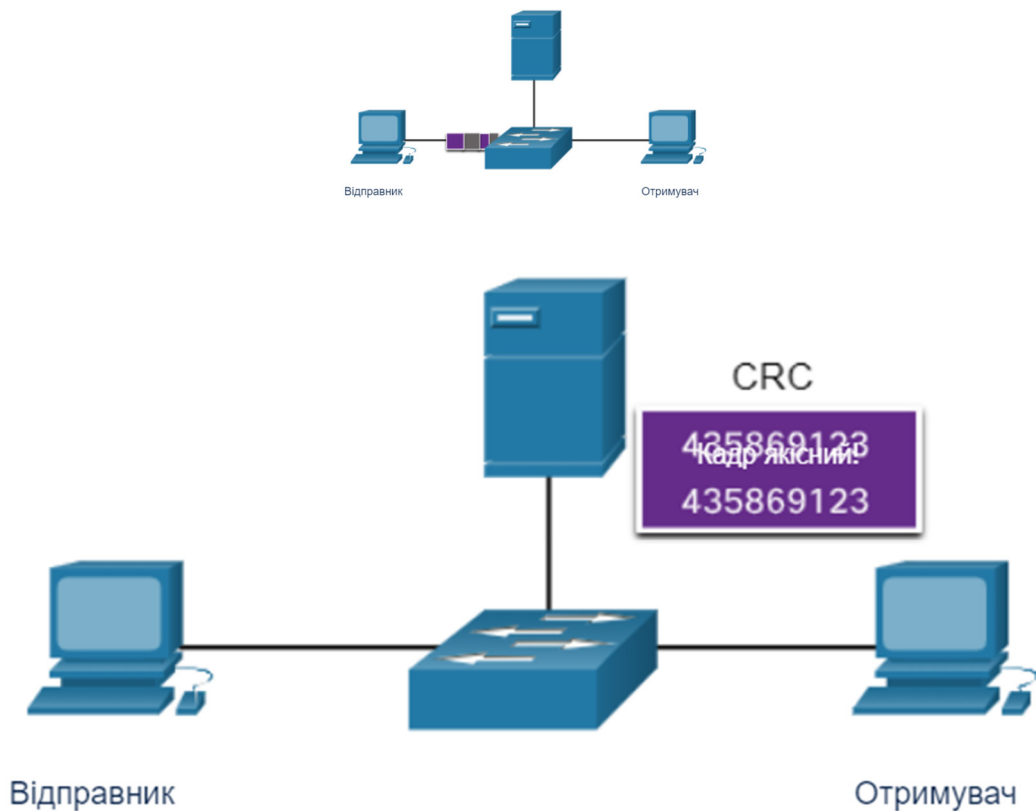
Для комутації даних між мережними портами комутатори використовують один із наступних методів пересилки:

- **Комутація з проміжним збереженням (Store-and-forward)** - Цей метод пересилання кадрів передбачає повне отримання кадру та підрахунок CRC. CRC використовує математичну формулу, яка базується на кількості бітів (1-ць) у кадрі, для визначення наявності помилок в отриманому кадрі. Якщо перевірку CRC пройдено, комутатор шукає адресу призначення, яка визначає вихідний інтерфейс. Потім кадр пересилається через правильний порт.
- **Наскрізна комутація (Cut-through)** - Цей метод пересилки передбачає пересилку кадру далі ще до повного його отримання. Як мінімум, адреса призначення кадру має бути прочитана, перш ніж кадр може бути пересланий далі.

Великою перевагою комутації з проміжним збереженням є те, що вона визначає, чи є у кадрі помилки перед тим, як поширювати його далі. Якщо у кадрі виявлена помилка, комутатор цей кадр відкидає. Відкидання кадрів з помилками зменшує частину пропускну здатності, яка використовується пошкодженими даними. Комутація з проміжним збереженням потрібна для забезпечення якості обслуговування (QoS) у конвергентних мережах, де необхідна класифікація кадрів для визначення пріоритетності трафіку. Наприклад, потоки даних для передачі голосу поверх IP (VoIP) потребують більшого пріоритету ніж веб-трафік.

Натисніть [Відтворити](#) в анімації для демонстрації процесу комутації з проміжним збереженням.





7.4.2. Наскрізна комутація (Cut-Through)

При наскрізній комутації комутатор обробляє дані, як тільки їх отримує, навіть якщо їх передавання ще не завершено. Комутатор буферизує достатню частину кадру, щоб прочитати MAC-адресу призначення, і мати можливість визначити, на який порт він буде пересилати дані. MAC-адреса призначення розташована в перших 6 байтах кадру, одразу за преамбулою. Комутатор шукає MAC-адресу призначення у своїй таблиці комутації, визначає порт вихідного інтерфейсу та пересилає кадр до місця призначення через призначений порт комутатора. Комутатор не виконує перевірку кадру на помилки.

Натисніть Відтворити в анімації для демонстрації процесу наскрізної комутації.



Існують два варіанти наскрізної комутації:

- **Комутація зі швидкою пересилкою (Fast-forward)** - Комутація зі швидкою пересилкою пропонує найнижчий рівень затримки. Комутація зі швидкою пересилкою негайно пересилає пакет далі, прочитавши адресу його призначення. Оскільки комутація зі швидкою пересилкою починає пересилання, перш ніж буде отримано весь пакет, можуть траплятися випадки передачі пакетів з помилками. Це трапляється нечасто, і NIC призначення відкине пошкоджений пакет. При комутації зі швидкою пересилкою затримка вимірюється від першого отриманого біта до першого переданого біта. Комутація зі швидкою пересилкою - це типовий метод наскрізної комутації.
- **Комутація з виключенням фрагментів (Fragment-free)** - В комутації з виключенням фрагментів, комутатор зберігає перші 64 байти кадру, перш ніж пересилати далі. Комутацію з виключенням фрагментів можна розглядати як компроміс між комутацією з проміжним збереженням і комутацією зі швидкою пересилкою. Комутація з виключенням фрагментів зберігає лише перші 64 байти кадру через те, що більшість помилок і колізій в мережі трапляються саме під час передачі перших 64 байт. Комутація з виключенням фрагментів намагається покращити комутацію з проміжним збереженням, виконуючи невелику перевірку на помилки перших 64 байтів кадру, щоб переконатися, що при пересиланні кадру не виникло колізії. Комутація з виключенням фрагментів - це компроміс між високою затримкою і високою цілісністю комутації з проміжним збереженням, низькою затримкою і зниженою цілісністю комутації зі швидкою пересилкою.

Деякі комутатори налаштовані на виконання наскрізної комутації для кожного порту, доки не буде досягнуто визначеного користувачем порогу помилок, після чого автоматично вмикається комутація з проміжним збереженням. Коли частота помилок падає нижче порогового значення, порт автоматично повертається до режиму наскрізної комутації.

7.4.3. Буферизація пам'яті на комутаторах

Комутатор Ethernet може використовувати технологію буферизації для зберігання кадрів перед їх пересиланням. Буферизація може також використовуватися, коли порт призначення зайнятий через перевантаженість. Комутатор зберігає кадр до того часу, коли він може бути переданий.

Як показано в таблиці, є два способи буферизації пам'яті:

Методи буферизації пам'яті

Метод	Опис
Буферизація пам'яті на основі портів	<ul style="list-style-type: none">• Кадри зберігаються в чергах, які пов'язані з певними вхідними та вихідними портами.• Кадр передається до вихідного порту тільки тоді, коли всі попередні в черзі кадри будуть успішно передані.• Можлива ситуація, коли один кадр затримує передачу всіх кадрів в пам'яті через зайнятість порту призначення.• Така затримка виникає навіть якщо інші кадри можуть бути передані до відкритих портів призначення.
Буферизація в спільній пам'яті	<ul style="list-style-type: none">• Всі кадри розміщуються в загальному буфері пам'яті, який використовується усіма портами комутатора, і обсяг буферної пам'яті, необхідний певному порту, виділяється динамічно.• Кадри в буфері динамічно асоціюються з портом призначення. Це дозволяє отримати пакет на одному порту, а потім передати на інший порт, без переміщення його до іншої черги.

Буферизація в спільній пам'яті також дозволяє зберігати більше кадрів з потенційно меншою кількістю скинутих кадрів. Це важливо при асиметричній комутації, яка дозволяє використовувати різні швидкості передачі даних на різних портах, наприклад, коли підключається сервер до порту комутатора 10 Гбіт/с, а ПК до портів 1 Гбіт/с.

7.4.4. Налаштування швидкості і дуплексного режиму

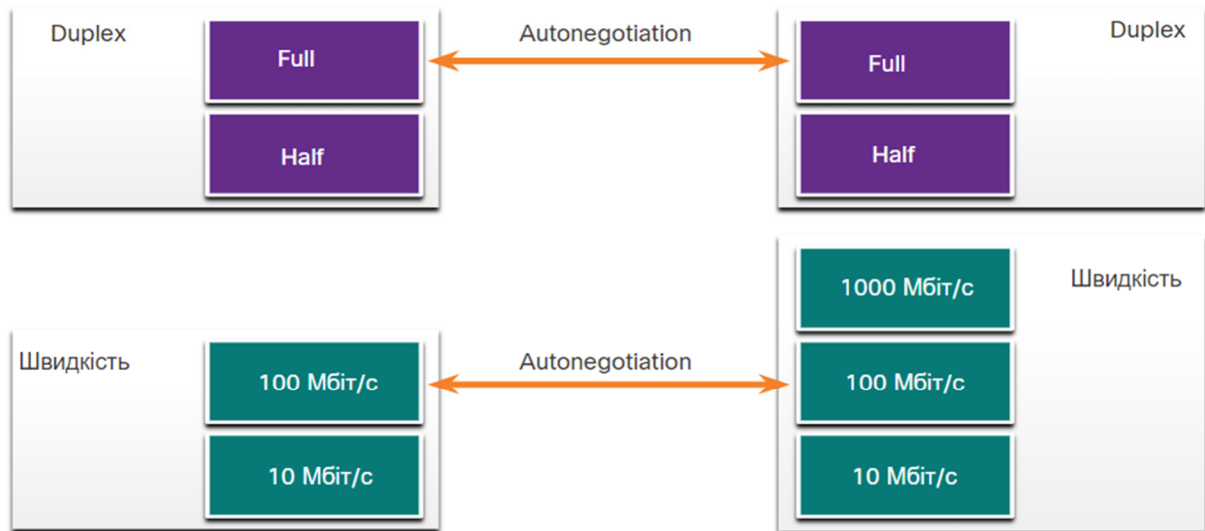
Два основні параметри комутатора - це пропускна здатність (іноді її називають "швидкістю") і параметри дуплексного режиму для кожного окремого порту комутатора. Важливо, щоб параметри дуплексного режиму та пропускної здатності співпадали на порту комутатора та на підключених пристроях, таких як комп'ютер чи інший комутатор.

Існує два типи дуплексного режиму, які використовуються для зв'язку в мережі Ethernet:

- **Повнодуплексний (Full-duplex)** - Обидві сторони з'єднання можуть надсилати і отримувати дані одночасно.
- **Напівдуплексний (Half-duplex)** - Тільки одна сторона з'єднання може надсилати в конкретний момент часу.

Автоматичне узгодження (Autonegotiation) - це додаткова функція, що зустрічається на більшості Ethernet-комутаторів та NIC. Ця функція дозволяє двом пристроям автоматично узгоджувати найкращі швидкості та налаштування дуплексного режиму. Повнодуплексний режим вибирається, якщо обидва пристрої його підтримують разом із найвищою спільною пропускною здатністю.

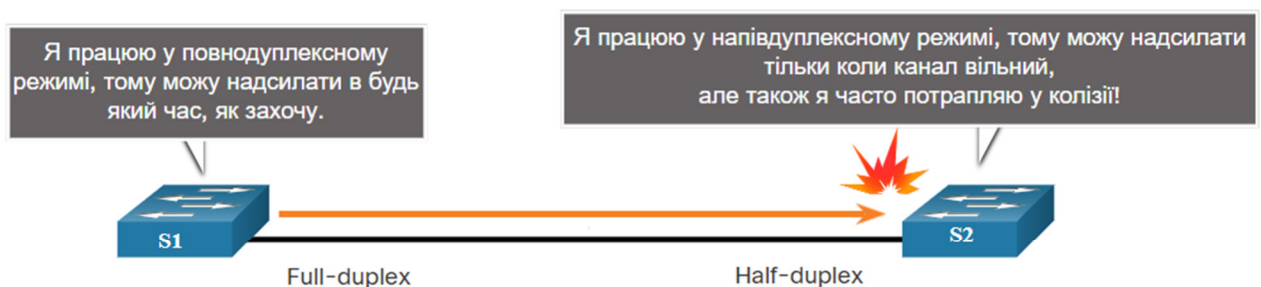
На рисунку Ethernet NIC комп'ютера PC-A може працювати у повнодуплексному режимі або у напівдуплексному, і на швидкості 10 Мбіт/с або 100 Мбіт/с.



PC-A під'єднаний до комутатора S1 на порту 1, який може працювати у повнодуплексному або напівдуплексному режимі і на швидкостях 10 Мбіт/с, 100 Мбіт/с або 1000 Мбіт/с (1Гбіт/с). Якщо обидва пристрої використовують автоматичне узгодження (autonegotiation), робочий режим буде повнодуплексний на швидкості 100 Мбіт/с.

Примітка: На більшості комутаторів Cisco та Ethernet NIC по замовчуванню налаштовано режим автоматичного узгодження швидкості та дуплексного режиму. Порти Gigabit Ethernet працюють тільки у повнодуплексному режимі.

Невідповідність дуплексного режиму - одна з найпоширеніших причин виникнення проблем продуктивності на каналах Ethernet 10/100 Мбіт/с. Таке відбувається, коли один порт каналу працює у напівдуплексному режимі, тоді як інший - у повнодуплексному, як показано на рисунку.



S2 буде постійно стикатися з колізіями, оскільки S1 може надсилати кадри в будь-який час, коли має що надіслати.

Невідповідність дуплексного режиму виникає, коли один або обидва порти перезапускаються, і процес автоматичного узгодження не призводить до того, що обидва партнери по каналу мають однакову конфігурацію. Такий самий результат отримуємо, коли користувачі змінюють налаштування однієї сторони каналу та забувають змінити налаштування іншої. Обидві сторони каналу повинні мати налаштування

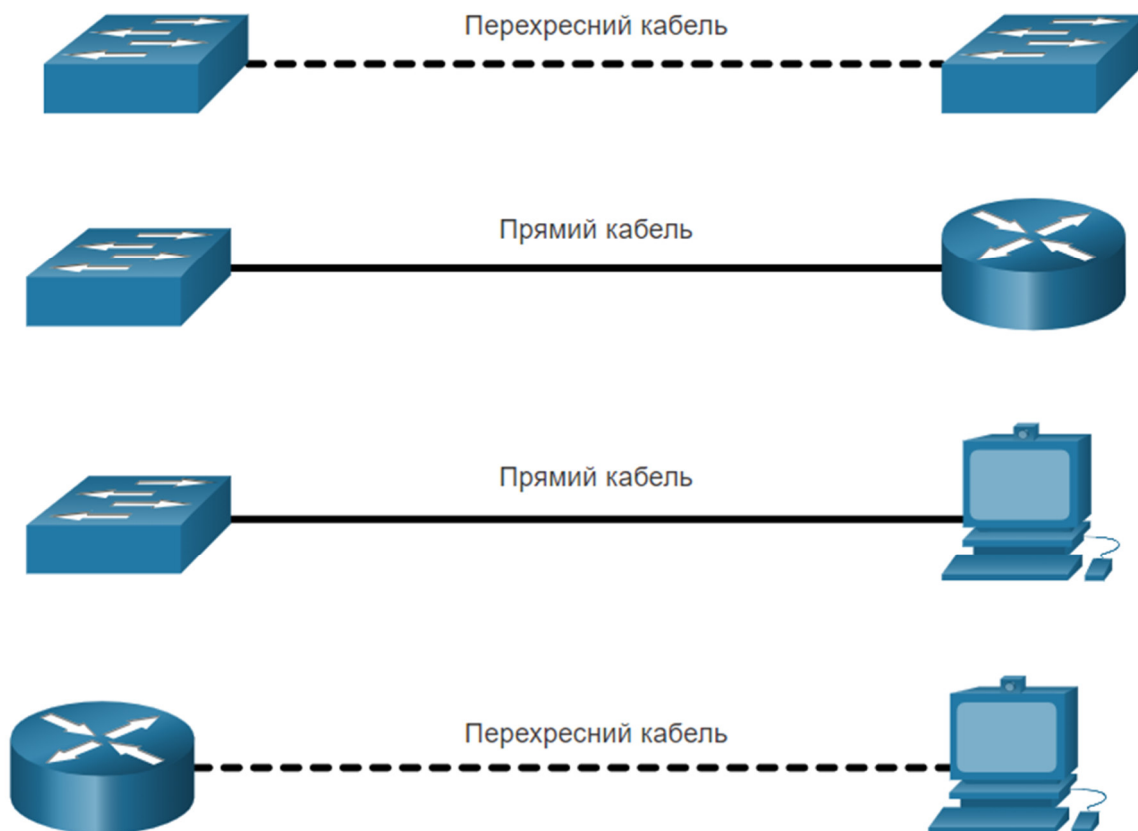
режиму автоматичного узгодження або ця функція має бути вимкнута на обох сторонах. Найкраща практика - налаштувати порти обох комутаторів Ethernet на повнодуплексний режим.

7.4.5. Auto-MDIX

З'єднання між пристроями раніше вимагали використання перехресного або прямого кабелю. Тип необхідного кабелю залежав від типу пристроїв, що з'єднувались.

Наприклад, на рисунку показано правильний тип кабелю, необхідний для з'єднання пристроїв «комутатор-комутатор», «комутатор-маршрутизатор», «комутатор-вузол» або «маршрутизатор-вузол». Перехресний кабель використовувався для з'єднання подібних пристроїв, а прямий кабель використовувався для з'єднання різних пристроїв.

Примітка: Пряме з'єднання маршрутизатора з вузлом вимагає перехресного з'єднання.



Сьогодні більшість комутаторів підтримують функцію автоматичного визначення типу інтерфейсу (automatic medium-dependent interface, auto-MDIX). Коли ця функція увімкнена, комутатор автоматично визначає тип кабелю, приєднаного до порту і відповідно налаштовує інтерфейси. Тому для підключення до мідного порту 10/100/1000 на комутаторі ви можете використовувати як перехресний так і прямий кабель, незалежно від типу пристрою на іншому кінці з'єднання.

Функція auto-MDIX увімкнена за замовчуванням на комутаторах, що працюють під керуванням Cisco IOS Release 12.2(18)SE або новішої версії. Однак функцію можна відключити. З цієї причини завжди слід використовувати правильний тип кабелю і не

покладатися на функцію auto-MDIX. Auto-MDIX можна увімкнути повторно за допомогою **mdix auto** команди налаштування інтерфейсу.

7.4.6. Питання для самоперевірки – Швидкості комутатора і методи пересилання

1. Які два методи є методами комутації даних між портами на комутаторі?
(Оберіть два.)

- cut-off switching
- store-and-forward switching
- cut-through switching
- store-and-supply switching
- store-and-restore switching

2. Який метод комутації може бути реалізований за допомогою fast-forward switching або fragment-free switching?

- cut-off switching
- cut-through switching
- store-and-forward switching
- store-and-restore switching

3. Які два типи буферизації пам'яті використовуються комутаторами? (Оберіть два.)

- long-term memory buffering
- port-based memory buffering
- shared memory buffering
- short-term memory buffering

4. Яка функція автоматично узгоджує найкращі параметри швидкості та дуплексного режиму між з'єднаними пристроями?

- auto-MDIX
- autobots
- autonegotiation
- autotune

1. Які два методи є методами комутації даних між портами на комутаторі? (Оберіть два.)

Правильно!

- cut-off switching
- store-and-forward switching
- cut-through switching
- store-and-supply switching
- store-and-restore switching

2. Який метод комутації може бути реалізований за допомогою fast-forward switching або fragment-free switching?

Правильно!

- cut-off switching
- cut-through switching
- store-and-forward switching
- store-and-restore switching

3. Які два типи буферизації пам'яті використовуються комутаторами? (Оберіть два.)

Правильно!

- long-term memory buffering
- port-based memory buffering
- shared memory buffering
- short-term memory buffering

4. Яка функція автоматично узгоджує найкращі параметри швидкості та дуплексного режиму між з'єднаними пристроями?

Правильно!

- auto-MDIX
- autobots
- autonegotiation
- autotune

7.5. Контрольна робота з розділу – Комутація Ethernet

1. Які дві характеристики описують технологію Ethernet? (Оберіть два варіанти.)

- It uses a ring topology.
- Вона підтримується IEEE 802.3 стандартами.
- Вона підтримується IEEE 802.5 стандартами.
- Вона використовує метод контролю доступу CSMA/CD.
- Вона зазвичай передає дані в середньому на швидкості 16 Мбіт/с.

2. Яке твердження описує характеристику MAC-адрес?

- Вони додаються як частина PDU Рівня 3.
- Вони повинні бути глобально унікальними.
- Вони мають 32-бітове двійкове значення.
- Вони маршрутизуються тільки в межах приватної мережі.

3. Яке спеціальне значення присвоєно першим 24 бітам MAC-адреси групової розсилки?

- FF-00-5E
- FF-FF-FF
- 01-00-5E
- 01-5E-00

4. Що буде робити вузол в мережі Ethernet, якщо він отримає кадр з MAC-адресою призначення, яка не співпадає з його власною MAC-адресою?
- Він відкине кадр.
 - Він перешле кадр наступному вузлу.
 - Він проведе деінкапсуляцію кадру Канального рівня, щоб перевірити IP-адресу призначення.
 - Він видалить кадр з середовища передавання даних.
5. Який мережний пристрій приймає рішення про пересилання, базуючись на MAC-адресі призначення, що міститься у кадрі?
- ретранслятор (repeater)
 - Кадр надсилається шлюзу за замовчуванням.
 - концентратор (hub)
 - комутатор (switch)
6. Який мережний пристрій за основну функцію має надсилання даних до певного місця призначення на основі інформації, знайденої в таблиці MAC-адрес?
- концентратор (hub)
 - комутатор (switch)
 - маршрутизатор (router)
 - модем (modem)

7. Яку функцію або операцію виконує підрівень LLC?

- Він додає заголовок і трейлер до пакета, щоб сформувати PDU Рівня 2 моделі OSI.
- Він відповідає за контроль доступу до середовища передавання даних.
- Він виконує інкапсуляцію даних.
- Він комунікує з верхніми протокольними рівнями.

8. Що відбувається з карликовими кадрами, отриманими Cisco Ethernet комутатором?

- Кадр транслюється на всі інші пристрої в тій самій мережі.
- Кадр скидається.
- Кадр повертається мережному пристрою, який його створив.
- Кадр надсилається шлюзу за замовчуванням.

9. Яка адресна інформація записується комутатором для побудови його таблиці MAC-адрес?

- адреса джерела Рівня 2 вхідних кадрів
- адреса призначення Рівня 3 вхідних пакетів
- адреса призначення Рівня 2 вихідних кадрів
- адреса джерела Рівня 3 вихідних пакетів

10. Що таке авто-MDIX?

- тип комутатора Cisco
- тип порту на комутаторі Cisco
- функція, яка визначає тип кабелю
- тип Ethernet роз'єму

11. До якого типу належить адреса 01-00-5E-0A-00-02?

- адреса, яка дозволяє довести дані до кожного вузла в локальній підмережі
- адреса, яка дозволяє довести дані до кожного вузла в мережі
- адреса, яка дозволяє довести дані до одного конкретного вузла
- адреса, яка дозволяє довести дані до певної групи вузлів

12. Яке твердження є вірним стосовно MAC-адрес?

- ISO відповідає за регулювання MAC-адрес.
- Перші три байти використовуються для OUI, призначеного виробнику.
- NIC потребує тільки MAC-адреси, щоб під'єднатись до WAN.
- MAC-адреси реалізовані програмно.

13. Які два розміри (мінімальний і максимальний) кадру Ethernet? (Оберіть два варіанти.)

- Він додає контрольну інформацію до даних Мережного рівня.
- 1024 байти
- 128 байтів
- 56 байтів
- 64 байти

14. Які дві функції або операції виконує підрівень MAC? (Оберіть два варіанти.)

- Він відповідає за контроль доступу до середовища передавання даних.
- Він додає контрольну інформацію до даних Мережного рівня.
- Він виконує функцію програмного забезпечення драйвера мережного адаптера (NIC).
- Він додає заголовок і трейлер для формування PDU Рівня 2 моделі OSI.
- Він підтримує зв'язок між верхніми і нижніми рівнями.