



# Lý thuyết mạch điện I

Giảng viên: TS. Trần Thị Thảo

Viện Điện, ĐH Bách khoa Hà Nội

thao.tranhti@hust.edu.vn

<https://sites.google.com/site/thaott3i/>



# Nội dung

## □ Mạch điện tuyến tính

- Khái niệm
- Mạch một chiều
- Mạch xoay chiều hình sin
- Các phương pháp giải mạch điện hình sin
- Tính chất mạch tuyến tính
- Mạng một cửa
- Mạng hai cửa
- Khuếch đại thuật toán
- Mạch chu kỳ
- Mạch điện ba pha

## Tài liệu tham khảo:

1. Nguyễn Bình Thành, Nguyễn Trần Quân, Phạm Khắc Chương, “Cơ sở kỹ thuật điện”
2. C. K. Alexander, M.N. O. Sadiku, “Fundamentals of Electric Circuits”, 2008



# Nội dung

## ☐ Mạch điện tuyến tính

- **Khái niệm**
- Mạch một chiều
- Mạch xoay chiều hình sin
- Các phương pháp giải mạch điện hình sin
- Tính chất mạch tuyến tính
- Mạng một cửa
- Mạng hai cửa
- Khuếch đại thuật toán
- Mạch chu kỳ
- Mạch điện ba pha



## ➤ Các khái niệm cơ bản

- Dòng điện
- Điện áp
- Công suất và năng lượng

## ➤ Các phần tử cơ bản của mạch điện

## ➤ Mạch điện

## ➤ Định luật Kirchhoff

- Định luật Kirchhoff về dòng điện
- Định luật Kirchhoff về điện áp
- Hệ phương trình Kirchhoff độc lập



# Dòng điện (1)

## ■ Biến thiên của điện tích theo thời gian

$$i = \frac{dq}{dt}$$

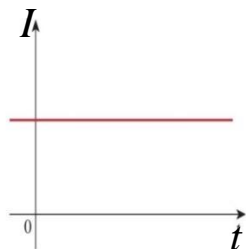
Điện tích cơ bản:  
 $e = 1,60218 \times 10^{-19} \text{ C}$

Đơn vị dòng điện : ampere (A),  $1\text{A}=1\text{C/s}$

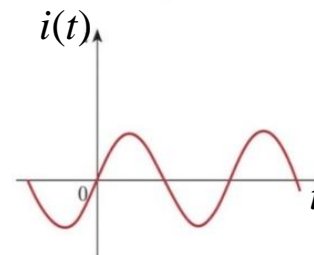
Đo dòng điện : **A** **AMMETER**



- Dòng điện một chiều (DC):  
Không đổi theo thời gian,  $I$



- Dòng điện xoay chiều (AC):  
Biến thiên (hình sin) theo thời gian,  $i(t)$





## Dòng điện (2)

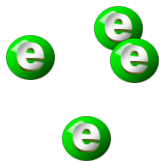
Một chiều

**D.C.** (Direct Current)



Xoay chiều

**A.C.** (Alternating Current)





# Điện áp

## ■ Điện áp (hiệu điện thế):

- Năng lượng cần thiết để chuyển dời một đơn vị điện tích theo một hướng (ví dụ từ a đến b):

$$u_{ab} = dw / dq$$

Đơn vị: volt (V)

$w$  : năng lượng (Joule)

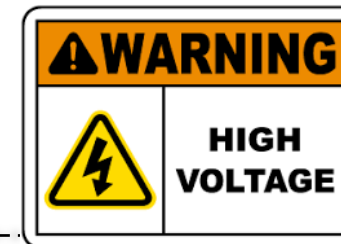
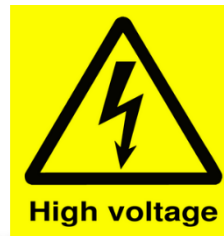
$q$  : điện tích (Colomb).



**VOLTMETER**



- Điện áp một chiều (DC):  $U$
- Điện áp xoay chiều (AC):  $u(t)$





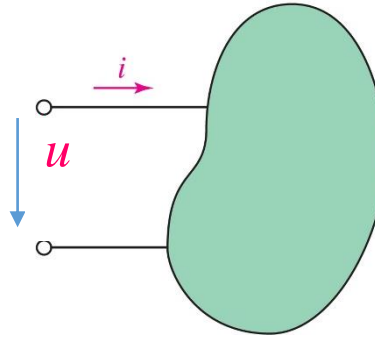
# Công suất và năng lượng (1)

## ■ Công suất:

- Sự thay đổi năng lượng theo thời gian:  $dw/dt$

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt}$$

$$= \left( \frac{dw}{dq} \right) \cdot \left( \frac{dq}{dt} \right) = ui$$



Đơn vị: watt (W)



Nếu dòng điện và điện áp không đổi (DC):  $P = UI$

Khi công suất là dương, phần tử *hấp thụ* năng lượng.  
 Khi công suất là âm, phần tử *cấp* năng lượng.

- Định luật bảo toàn công suất trong mạch:  $\sum p = 0$

Tại mọi thời điểm, tổng công suất tiêu thụ = tổng công suất phát

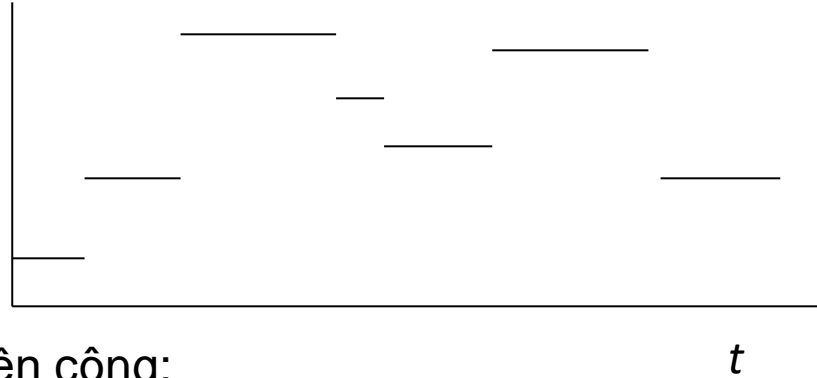




## Công suất và năng lượng (2)

- Công suất trung bình:  $p$

$$P_{tb} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$



- Năng lượng:

Đặc trưng cho khả năng thực hiện công:

$$w = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u i dt$$

Đơn vị: Joule (J)

Thường dùng watt-giờ (Wh), 1 Wh = 3600J

Appliance	kWh consumed	Appliance	kWh consumed
Water heater	500	Washing machine	120
Freezer	100	Stove	100
Lighting	100	Dryer	80
Dishwasher	35	Microwave oven	25
Electric iron	15	Personal computer	12
TV	10	Radio	8
Toaster	4	Clock	2

Typical average monthly consumption of household appliances.

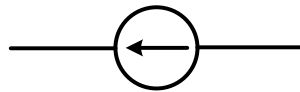


# Các phần tử cơ bản (1)

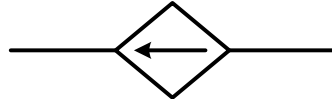
## Phần tử tích cực

– Nguồn áp

độc lập

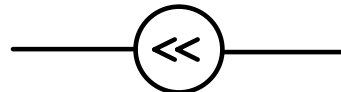


phụ thuộc

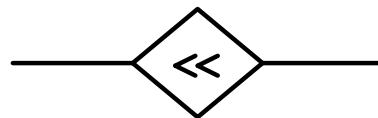


– Nguồn dòng

độc lập

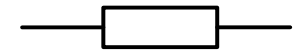


phụ thuộc



## Phần tử thụ động

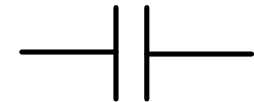
– Điện trở



– Điện cảm



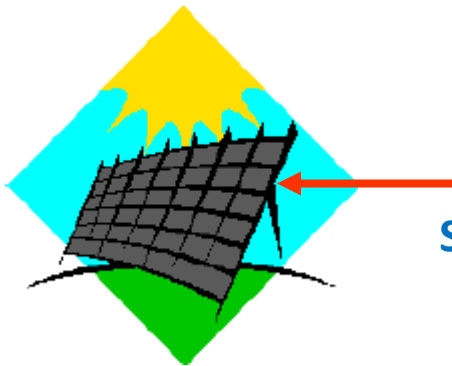
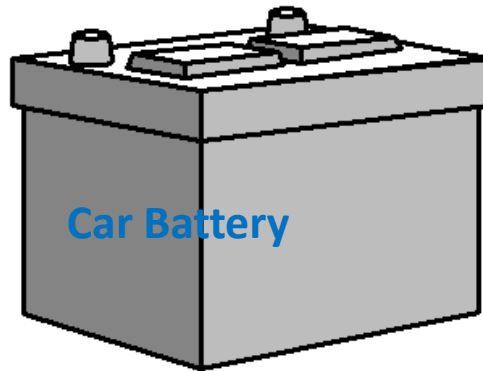
– Điện dung



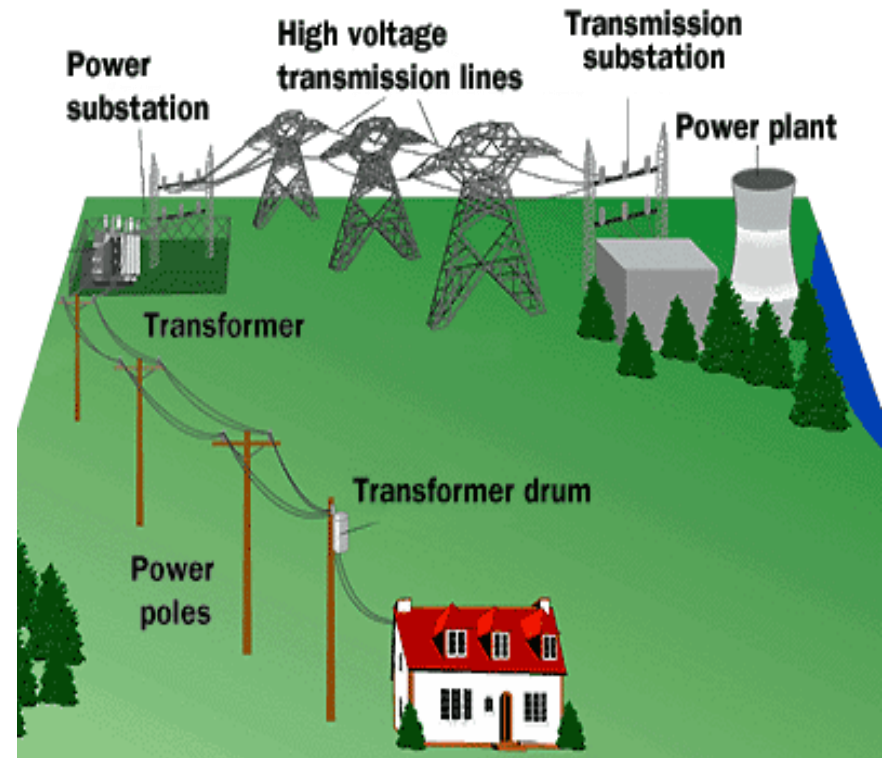


## Các phần tử cơ bản (2)

### ❑ Nguồn điện



Solar Cell



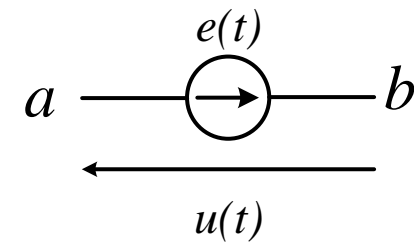


## Các phần tử cơ bản (3)

- Nguồn áp (nguồn sức điện động):  $e(t)$ 
  - Là nguồn lý tưởng, luôn có khả năng gây ra trên hai đầu của nó một điện áp theo quy luật đã cho, không phụ thuộc vào dòng qua nó.
  - Điện trở trong bằng không
  - Có thể một chiều hoặc xoay chiều

Ví dụ:

$$E_1 = 24\text{V} ; e_2(t) = 100\sin 314t \text{ V}$$



$$u(t) = e(t)$$

$$e(t) = \varphi_b - \varphi_a$$

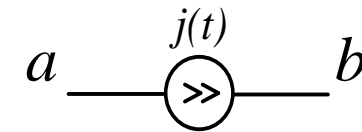
điện thế/thế  
(potential)



## Các phần tử cơ bản (4)

### ■ Nguồn dòng: $j(t)$

- Là nguồn lý tưởng, luôn có khả năng bơm ra dòng điện theo quy luật đã cho
- Điện trở trong vô cùng lớn
- Có thể một chiều hoặc xoay chiều

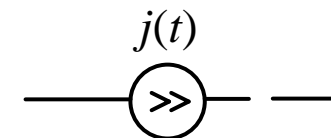
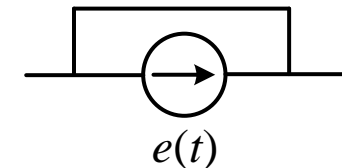


Ví dụ:

$$J_1 = 2A ; j_2(t) = 0,2\cos 314tV$$

❖ Khái niệm **triệt tiêu nguồn**:  $e=0$ ;  $j=0$

Nguồn áp: ngắn mạch; nguồn dòng: hở mạch



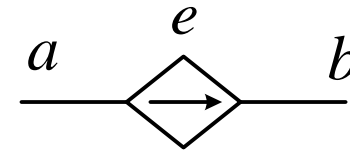


## Các phần tử cơ bản (5)

### b) Nguồn phụ thuộc

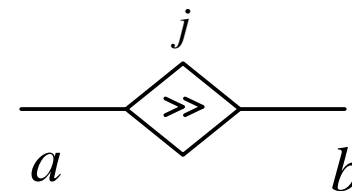
#### ■ Nguồn áp phụ thuộc :

- Nguồn áp phụ thuộc áp:  $e(u)$
- Nguồn áp phụ thuộc dòng:  $e(i)$



#### ■ Nguồn dòng phụ thuộc :

- Nguồn dòng phụ thuộc áp:  $j(u)$
- Nguồn dòng phụ thuộc dòng:  $j(i)$



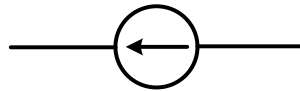


# Các phần tử cơ bản (1)

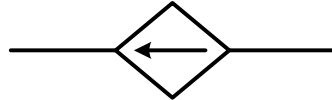
## Phần tử tích cực

– Nguồn áp

độc lập



phụ thuộc

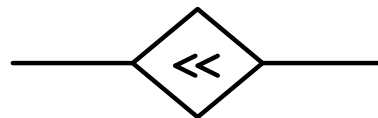


– Nguồn dòng

độc lập

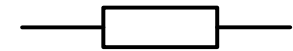


phụ thuộc



## Phần tử thụ động

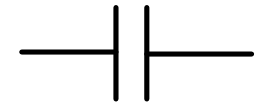
– Điện trở



– Điện cảm



– Điện dung







## Các phần tử cơ bản (6)

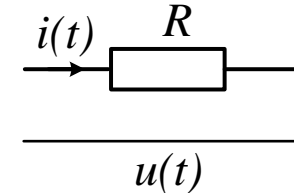
### ❑ Điện trở, điện dẫn

- Đặc trưng cho sự tiêu tán của vùng xét

Biến đặc trưng:  $u, i$

Phương trình mô tả (luật Ohm):  $u = Ri$

hoặc:  $i = gu$



$R [\Omega]$  (Ohm),  
Điện dẫn:  $g [S]$  (Siemens)

Điện trở (resistor) trong mạch điện tử:



100  $\Omega$



1k $\Omega$



2,2k $\Omega$



339  $\Omega$

4-Band-Code

2%, 5%, 10%      560k  $\Omega$   $\pm$  5%

COLOR	1 <sup>ST</sup> BAND	2 <sup>ND</sup> BAND	3 <sup>RD</sup> BAND	MULTIPLIER	TOLERANCE
Black	0	0	0	1 $\Omega$	
Brown	1	1	1	10 $\Omega$	$\pm$ 1% (F)
Red	2	2	2	100 $\Omega$	$\pm$ 2% (G)
Orange	3	3	3	1K $\Omega$	
Yellow	4	4	4	10K $\Omega$	
Green	5	5	5	100K $\Omega$	$\pm$ 0.5% (D)
Blue	6	6	6	1M $\Omega$	$\pm$ 0.25% (C)
Violet	7	7	7	10M $\Omega$	$\pm$ 0.10% (B)
Grey	8	8	8		$\pm$ 0.05%
White	9	9	9		
Gold				0.1 $\Omega$	$\pm$ 5% (J)
Silver				0.01 $\Omega$	$\pm$ 10% (K)

0.1%, 0.25%, 0.5%, 1%      237  $\Omega$   $\pm$  1%

5-Band-Code





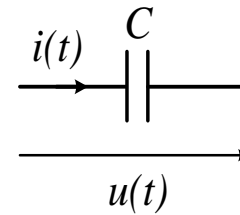
# Các phần tử cơ bản (7)

## □ Điện dung

- Đặc trưng cho tính chất tích năng lượng điện trường của vùng xét

Biến đặc trưng:  $u, i$

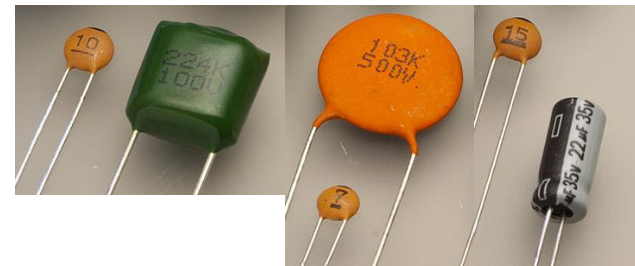
Phương trình mô tả:  $Q=Q(u)=Cu$



$C$  [F] (Farad)

$$i_C = \frac{dQ}{dt} \quad i = C \frac{du}{dt} \quad u = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt$$

Tụ điện (capacitor) trong mạch điện tử :





## Các phần tử cơ bản (8)

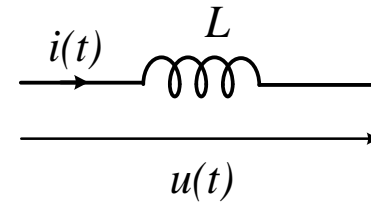
### □ Điện cảm

- Đặc trưng cho hiện tượng tích lũy năng lượng từ trường của vùng xét

Biến đặc trưng:  $u$ ,  $i$ ,  $\psi$

Phương trình mô tả:  $\psi = \psi(i) = Li$

$$u_L = \frac{d\psi}{dt} \quad u = L \frac{di}{dt}$$



Đơn vị: H [Henry]

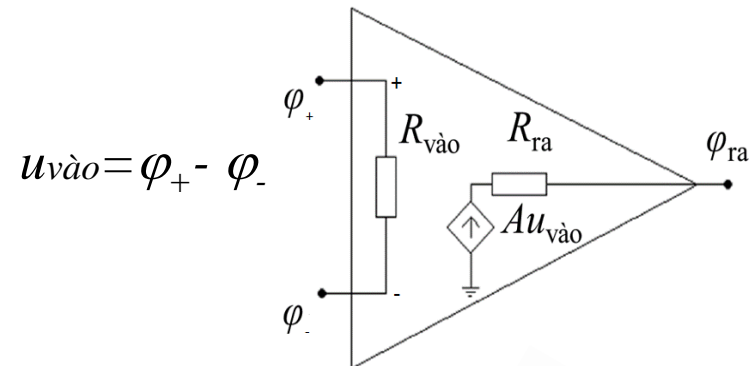
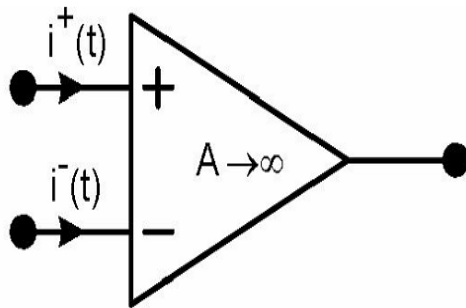
Cuộn dây/cuộn cảm(inductor):



## Các phần tử cơ bản (9)

### ❑ Phần tử khuếch đại thuật toán (OPAMP)

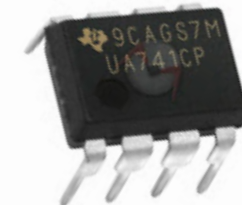
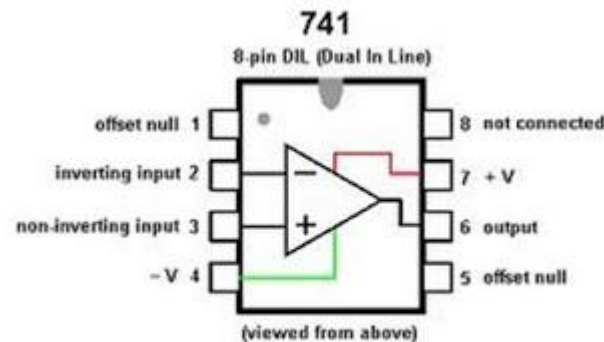
- **Operational Amplifier:**
- Mô hình tương đương đương:



OPAMP lý tưởng:

$$i^+(t) = i^-(t) = 0$$

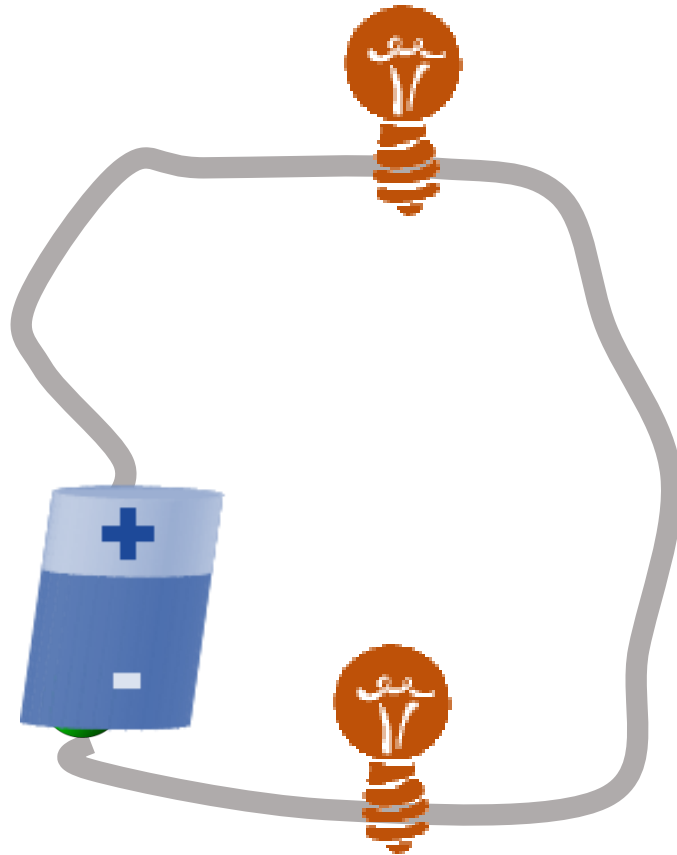
$$\varphi_+ = \varphi_-$$



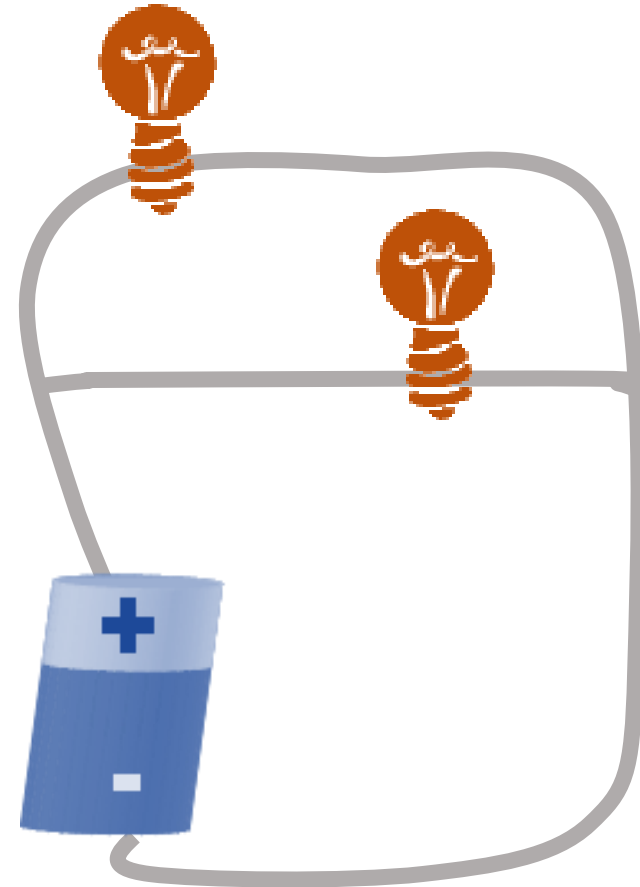


# Mạch nối tiếp-song song

- Nối tiếp



- Song song



# Các đại lượng và đơn vị cơ bản

Quantity	Unit	Symbol
electric charge	coulomb	C
electric potential	volt	V
resistance	ohm	$\Omega$
conductance	siemens	S
inductance	henry	H
capacitance	farad	F
frequency	hertz	Hz
force	newton	N
energy, work	joule	J
power	watt	W
magnetic flux	weber	Wb
magnetic flux density	tesla	T

pica (p):  $10^{-12}$

tera (T):  $10^{12}$

nano (n):  $10^{-9}$

giga (G) :  $10^9$

micro ( $\mu$ ):  $10^{-6}$

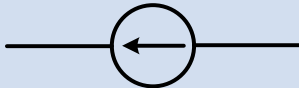



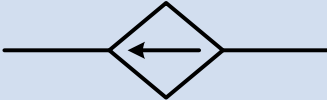
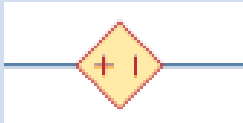


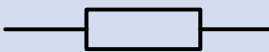

mega (M):  $10^6$

milli (m):  $10^{-3}$

kilo (k):  $10^3$



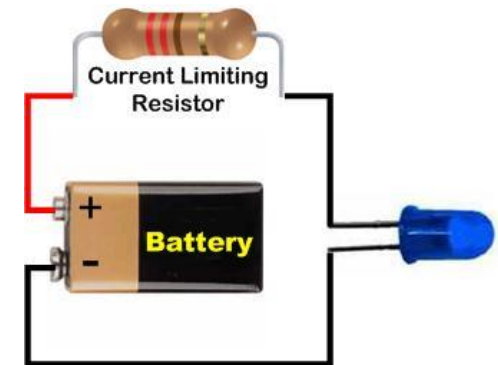
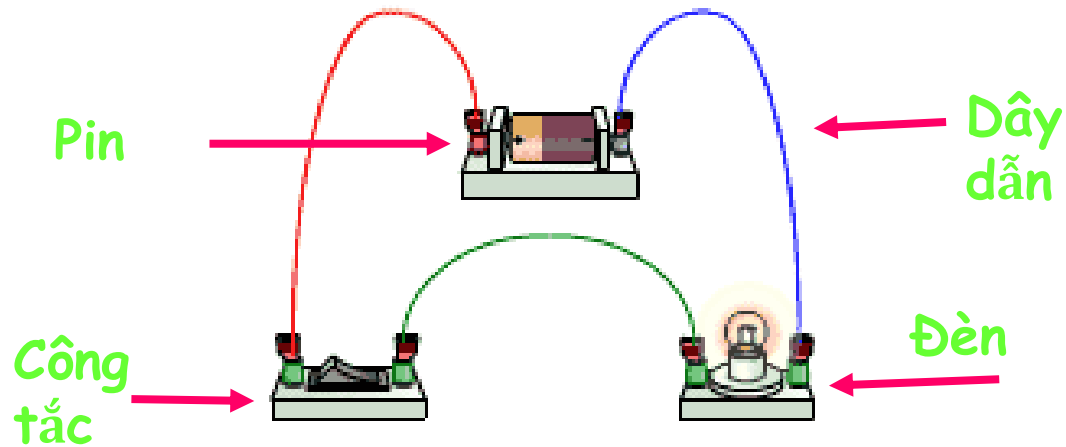
# Một số khác biệt về ký hiệu

Ký hiệu	Tiếng Việt	Anh-Mỹ
Nguồn áp		
Nguồn dòng		
Nguồn áp phụ thuộc		
Nguồn dòng phụ thuộc		
Điện trở		
Điện áp	$U, u$	$V, v$

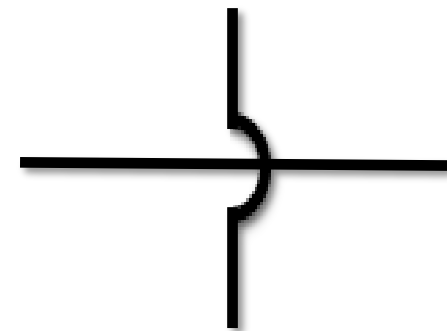


# Mạch điện

## ■ Mạch điện đơn giản



Dây dẫn

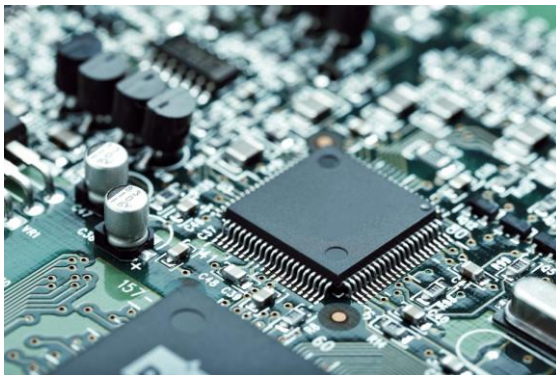
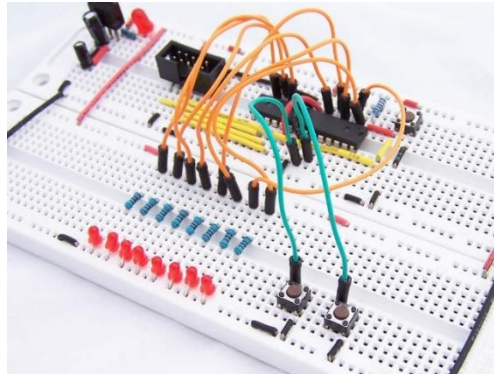
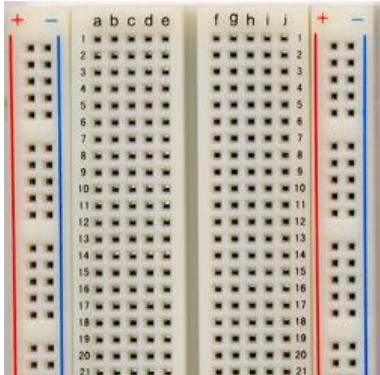






# Mạch điện

- Bo mạch điện tử



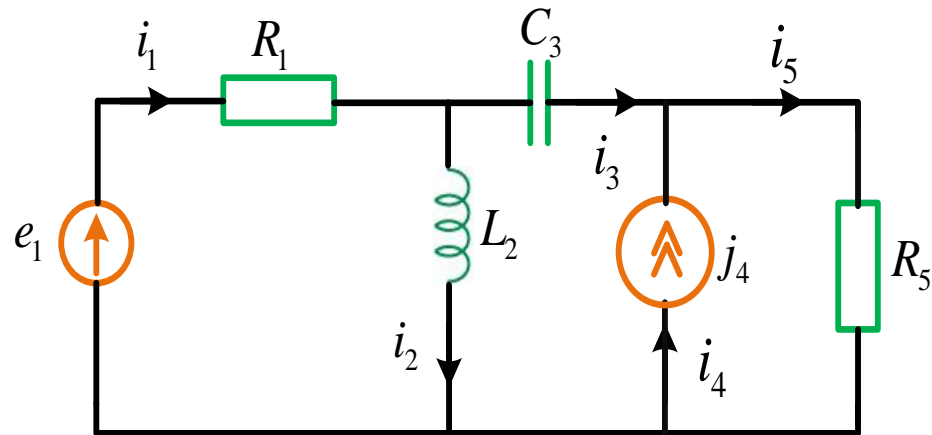




## Khái niệm mạch điện (1)

- Mô hình của thiết bị điện (hay hệ thống điện), trong đó các phần tử cơ bản được nối với nhau một cách thích hợp để mô tả việc truyền đạt năng lượng và tín hiệu của thiết bị điện đó.

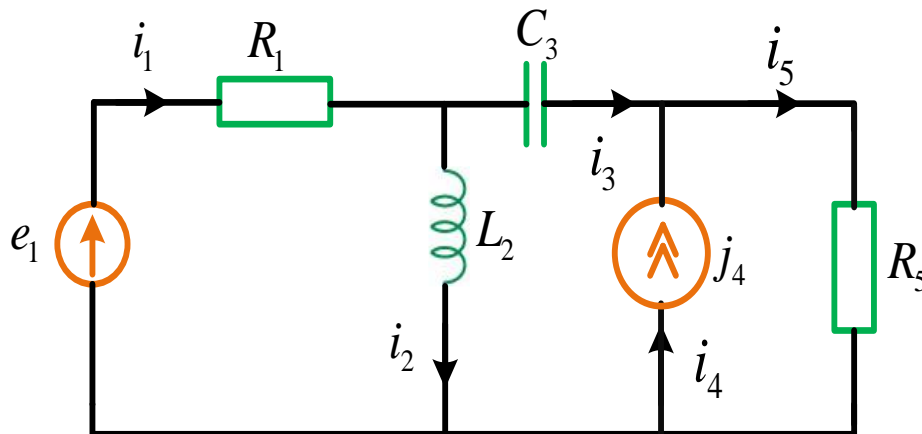
Ví dụ mạch điện:





## Khái niệm mạch điện (2)

- Phần tử (*elements*) : tích cực ( $e, j$ ), thụ động ( $R, L, C$ )
- Nhánh (*branch*): Tập hợp các phần tử ghép lại với nhau, trong đó có cùng một dòng điện chạy qua



Nhánh 1:  $e_1, R_1$

Nhánh 2:  $L_2$

Nhánh 3:  $C_3$

Nhánh 5:  $R_5$

Nhánh 4:  $j_4$

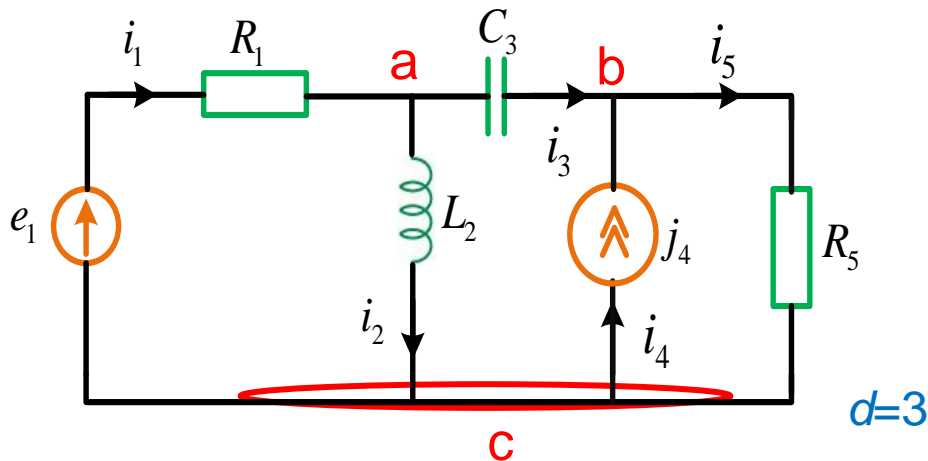
$N$ : số nhánh độc lập (không kể nhánh nguồn dòng)



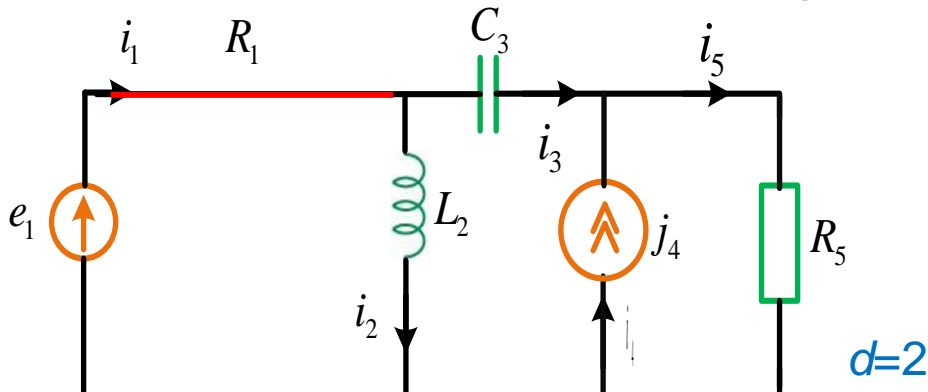
## Khái niệm mạch điện (3)

- Nút/đỉnh (*node*): Nơi gặp nhau của 3 nhánh trở lên (tính cả nguồn dòng)

$d$ : số nút/đỉnh



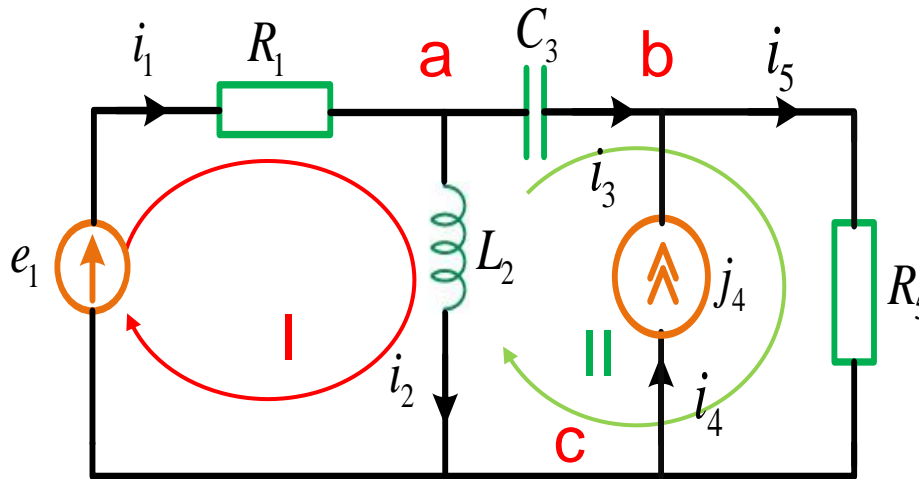
**Siêu nút:** Các nút được nối trực tiếp với nhau bởi nguồn áp





## Khái niệm mạch điện (4)

- Vòng (*loop*): Đường khép kín qua các phần tử (không kể nguồn dòng)



$N$ : số nhánh độc lập (không kể nhánh nguồn dòng)

$d$ : số nút/đỉnh

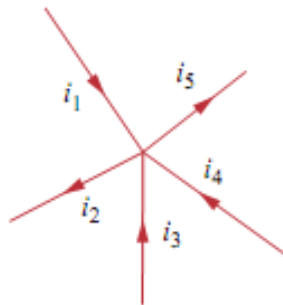
Số vòng độc lập:  $l = N - d + 1$

## Định luật Kirchhoff về dòng điện (Kirchhoff 1-KCL)

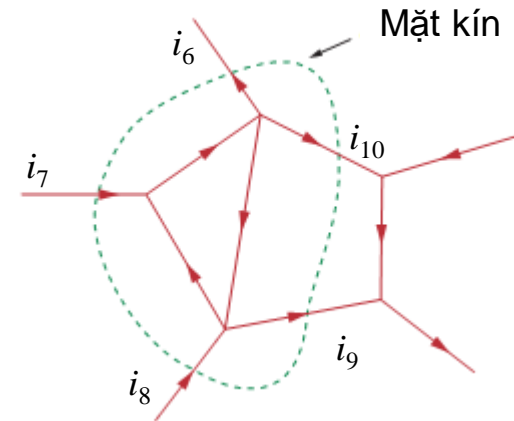
□ Tổng **đại số** các dòng điện tại một nút (hoặc mặt kín) bằng không

$$\sum_{n=1}^M i_n = 0$$

- Dòng điện đi vào nút (mặt kín) mang dấu âm
- Dòng điện đi ra nút (mặt kín) mang dấu dương



$$-i_1 + i_2 - i_3 - i_4 + i_5 = 0$$



$$i_6 - i_7 - i_8 + i_9 + i_{10} = 0$$

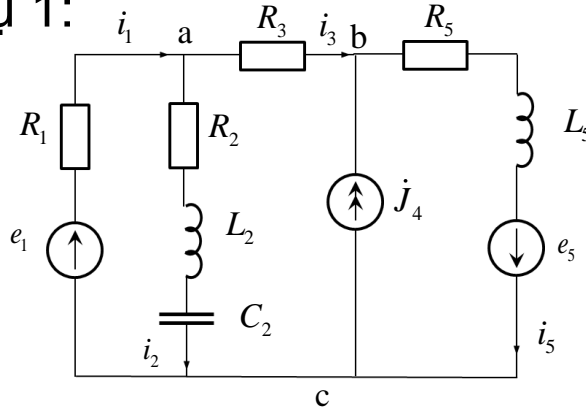
- Cách phát biểu khác: tổng các dòng điện vào một nút/mặt kín bằng tổng các dòng điện ra khỏi nút/mặt kín đó.

Lưu ý: dòng điện tính cả nguồn dòng (độc lập, phụ thuộc)



# Định luật Kirchhoff về dòng điện (Kirchhoff 1-KCL)

## ■ Ví dụ 1:



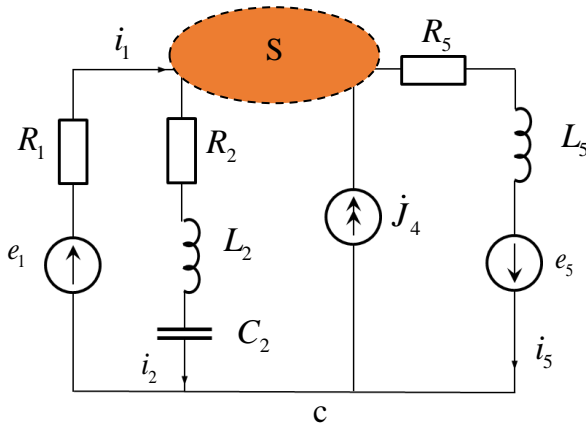
Nút a:  $-i_1 + i_2 + i_3 = 0$

Nút b:  $-i_3 - i_4 + i_5 = 0$

Nút c:  $i_1 - i_2 + j_4 - i_5 = 0$

*Một trong ba phương trình trên đều có thể được suy ra từ các phép biến đổi tuyến tính (cộng, trừ, thế) của hai phương trình còn lại.*

- Chọn một mặt kín  $S$  bao lấy  $R_3$  và hai nút a-b



Mặt kín S:  $-i_1 + i_2 - j_4 + i_5 = 0$

*Để ý ta cũng thấy phương trình  $K_1$  cho mặt  $S$  chính là tổng của phương trình cho nút a và b*

➡ Chỉ cần xây dựng số phương trình K độc lập



## Định luật Kirchhoff về điện áp (Kirchhoff 2- KVL)

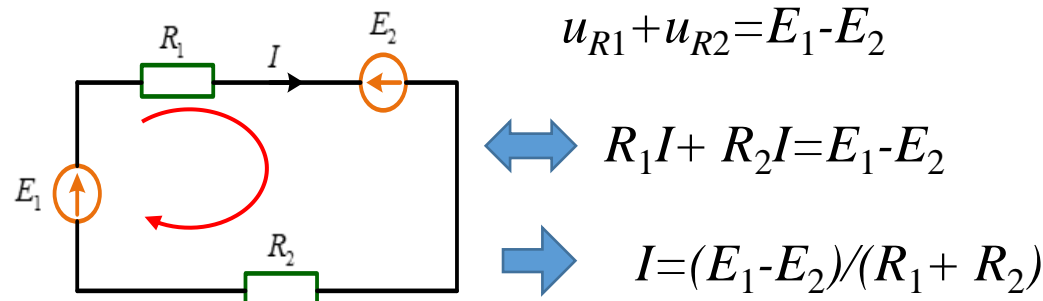
- Tổng đại số điện áp rơi trong một vòng kín (*loop*) bằng tổng đại số các nguồn áp có trong vòng kín đó

$$\sum_{loop} u_k(t) = \sum_{loop} e_k(t)$$

- Quy ước:

- Điện áp (nguồn áp) cùng chiều với chiều vòng kín mang dấu dương
- Điện áp (nguồn áp) ngược chiều với chiều vòng kín mang dấu âm

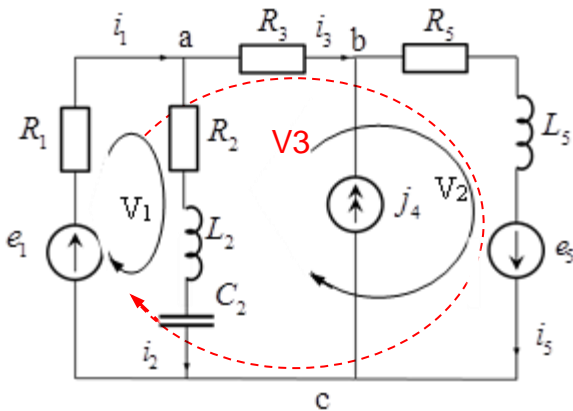
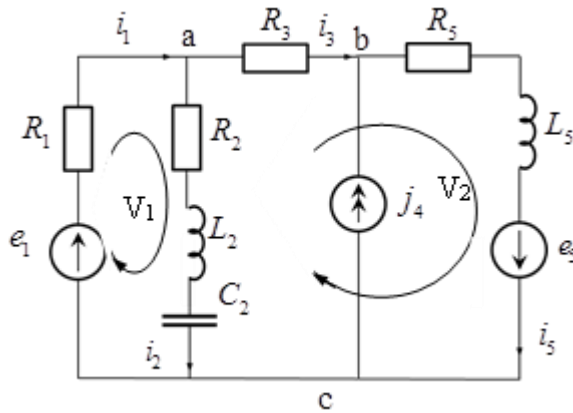
- Ví dụ 1





# Định luật Kirchhoff về điện áp (Kirchhoff 2- KVL)

## Ví dụ 2



### Vòng V1:

$$R_1 i_1 + R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{C_2} \int i_2 dt = e_1$$

### Vòng V2:

$$-R_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} - \frac{1}{C_2} \int i_2 dt + R_3 i_3 + R_5 i_5 + L_5 \frac{di_5}{dt} = e_5$$

### Vòng V3:

$$R_1 i_1 + R_3 i_3 + R_5 i_5 + L_5 \frac{di_5}{dt} = e_1 + e_5$$

Để ý ta thấy phương trình cho V3 có thể được suy ra từ phương trình V1 và V2

➡ Chỉ cần xây dựng số phương trình K2 độc lập





# Hệ phương trình Kirchhoff độc lập (1)

## ❑ Số phương trình **độc lập** trong mạch

- Giả sử mạch điện có N nhánh độc lập và d nút

Số phương trình Kirchhoff 1:  $K1=d-1$

Số phương trình Kirchhoff 2:  $K2=N-d+1$

- *Lưu ý:* Chọn các vòng để lập các phương trình K2 không chứa nhánh nguồn dòng.

## ❑ Hệ phương trình Kirchhoff

- Số phương trình độc lập: N  
(số nhánh không chứa nguồn dòng)

## Hệ phương trình Kirchhoff độc lập (2)

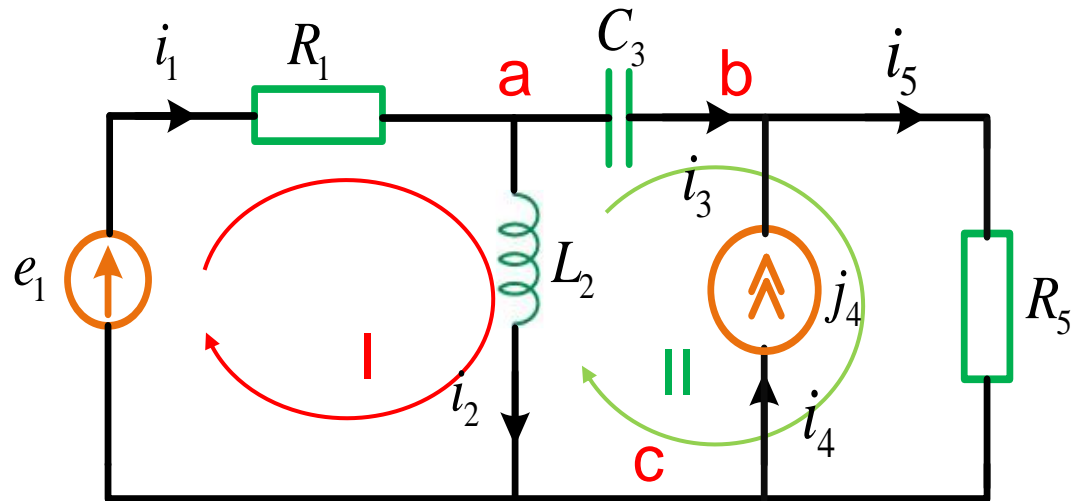
### ❑ Ví dụ 3

Số nhánh độc lập :  $N=4$

Số nút:  $d=3$

$K1=d-1=2$

$K2=N-d+1=2$



Hệ phương trình K1: viết cho nút a và b  
(coi c là “đất”)

$$-i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$-i_3 + i_5 - j_4 = 0$$

Hệ phương trình K2: viết cho vòng I và II

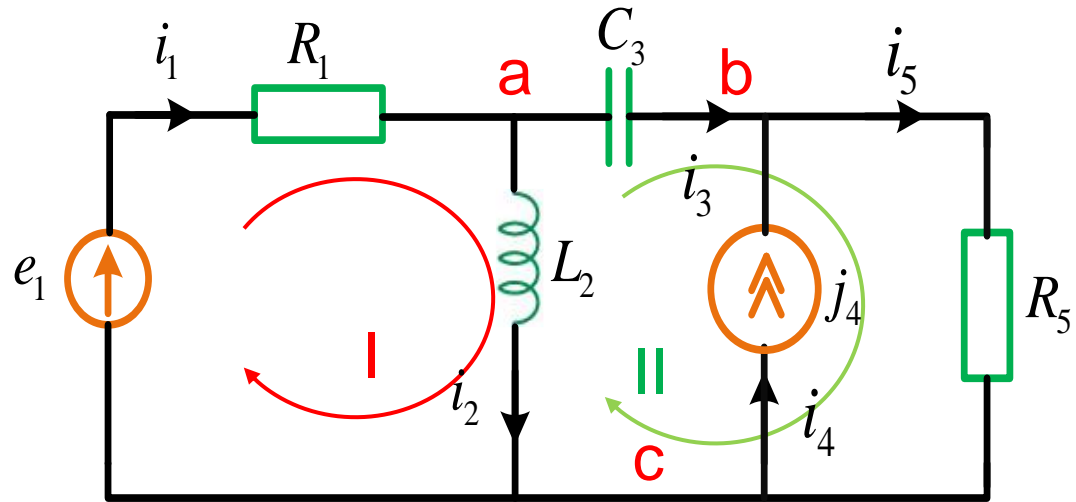
$$u_{R1} + u_{L2} = e_1$$

$$-u_{L2} + u_{C3} + u_{R5} = 0$$



## Hệ phương trình Kirchhoff độc lập (3)

$$\begin{cases} -i_1 + i_2 + i_3 = 0 \\ -i_3 + i_5 - j_4 = 0 \\ u_{R1} + u_{L2} = e_1 \\ -u_{L2} + u_{C3} + u_{R5} = 0 \end{cases}$$



Hệ tương đương:

$$\begin{cases} -i_1 + i_2 + i_3 = 0 \\ -i_3 + i_5 = j_4 \\ R_1 i_1 + L_2 \frac{di_2}{dt} = e_1 \\ -L_2 \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{C_3} \int_{-\infty}^t i_3 dt + R_5 i_5 = 0 \end{cases}$$



## Hệ phương trình Kirchhoff độc lập (4)

### ❑ Ví dụ 4

Có siêu nút: số nhánh độc lập

$$N=3$$

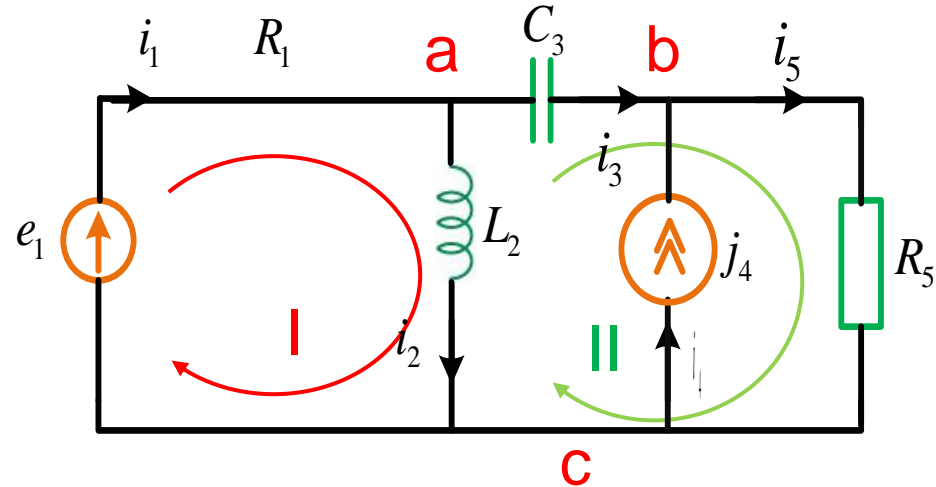
Số nút:  $d=2$

$$K1=d-1=1$$

$$K2=N-d+1=2$$

Hệ phương trình K1: viết cho nút b

(coi c là “đất”)



$$-i_3 + i_5 - j_4 = 0$$

Hệ phương trình K2: viết cho vòng I và II

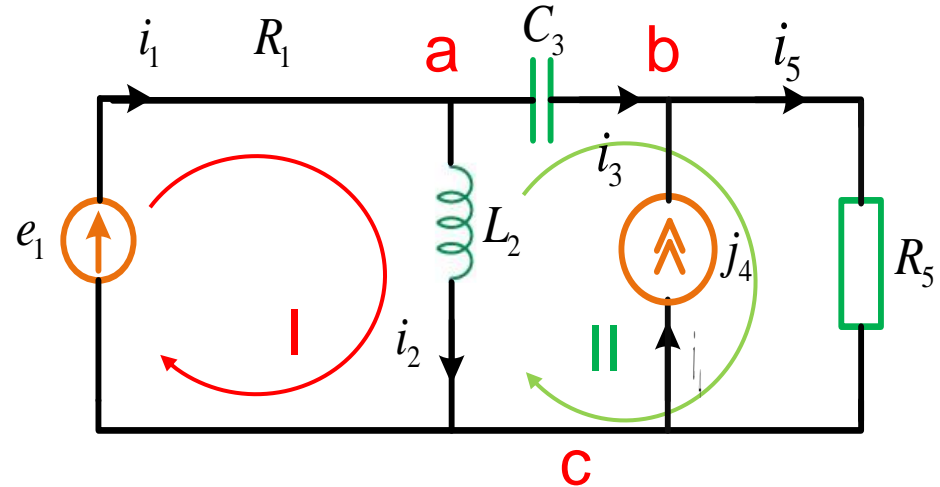
$$u_{L2} = e_1$$

$$-u_{L2} + u_{C3} + u_{R5} = 0$$



## Hệ phương trình Kirchhoff độc lập (5)

$$\begin{cases} -i_3 + i_5 - j_4 = 0 \\ u_{L2} = e_1 \\ -u_{L2} + u_{C3} + u_{R5} = 0 \end{cases}$$



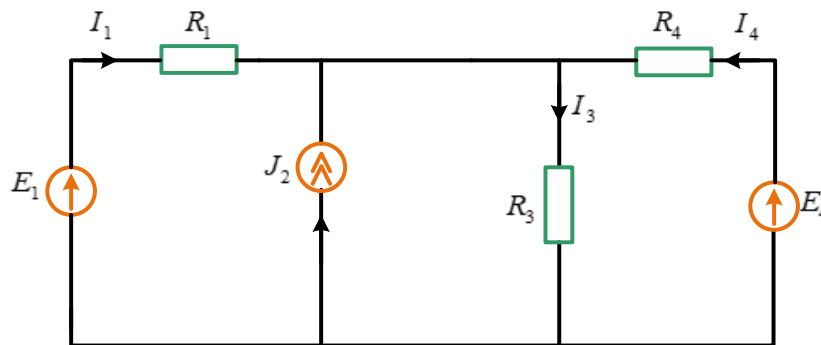
Hệ tương đương:

$$\begin{cases} -i_3 + i_5 = j_4 \\ L_2 \frac{di_2}{dt} = e_1 \\ -L_2 \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{C_3} \int_{-\infty}^t i_3 dt + R_5 i_5 = 0 \end{cases}$$



# Bài tập

Lập hệ phương trình Kirchhoff của các mạch:

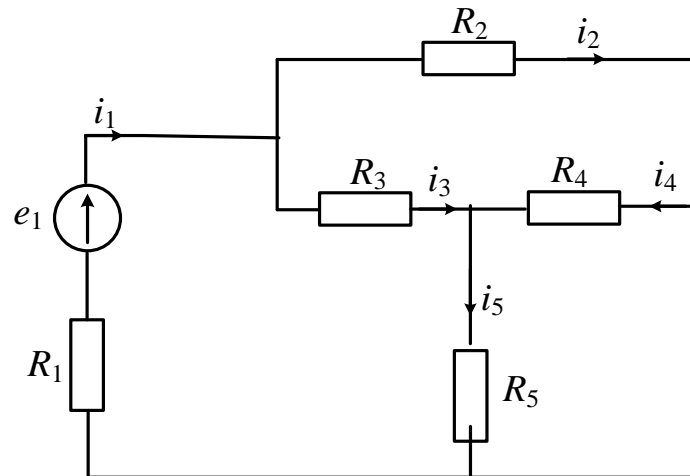


$$\begin{aligned} N &= 3 \\ d &= 2 \rightarrow K1 = 1 \\ L &= 2 \end{aligned}$$



# Bài tập

Lập hệ phương trình Kirchhoff của các mạch:

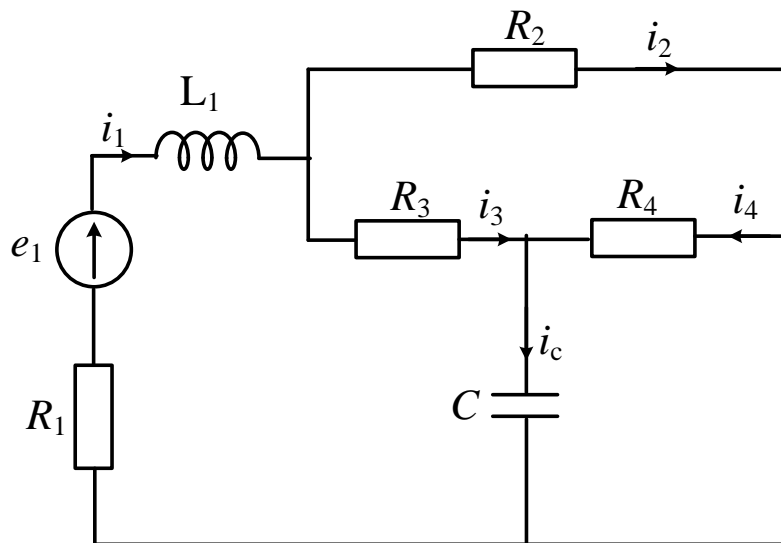




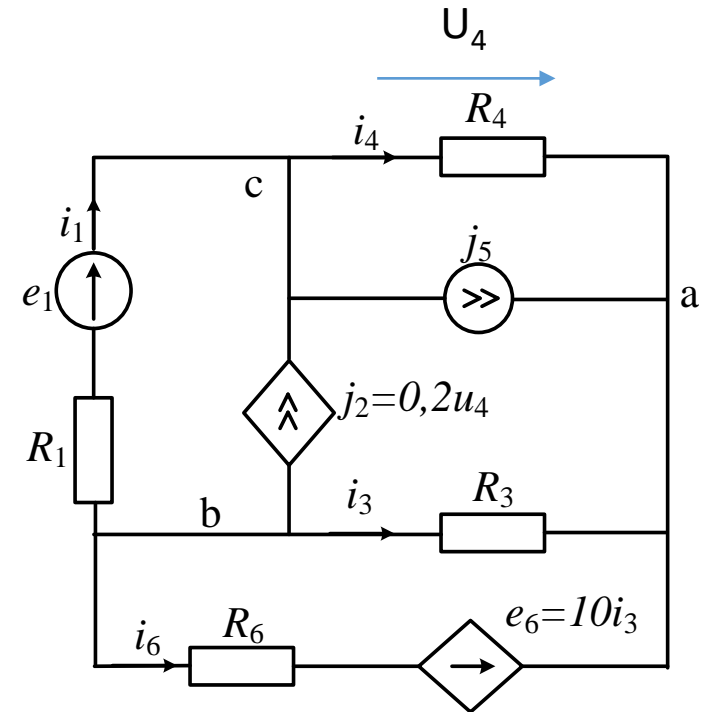
# Bài tập

Lập hệ phương trình Kirchhoff của các mạch:

1



2







# Bài tập

Lập hệ phương trình Kirchhoff của các mạch:

