

CHUYÊN ĐỀ: ĐIỆN HỌC

MỤC LỤC

I. CÁC ĐẠI LƯỢNG VÀ CÔNG THỨC CƠ BẢN	5
1. Bản chất dòng điện và các đại lượng đặc trưng.....	5
2. Định luật Ôm	5
3. Quy luật phân phối trong mạch điện phức hợp	5
4. Năng lượng và Công suất điện.....	5
DẠNG 1: KỸ THUẬT ĐỌC VÀ BIẾN ĐỔI SƠ ĐỒ MẠCH ĐIỆN	6
1. HỆ THỐNG LÝ THUYẾT CƠ BẢN VÀ CHUYÊN SÂU	6
1.1. Các điểm cùng điện thế và kỹ thuật chập nút.....	6
1.2. Kỹ thuật “trái phằng” mạch.....	6
1.3. Mạch có khóa K	6
1.4. Mở rộng dành cho HSG.....	6
2. PHƯƠNG PHÁP GIẢI	6
3. BÀI TẬP VẬN DỤNG	7
♦ PT Bài 1: Kỹ thuật chập nút và xử lý dây nối tắt	7
♦ PT Bài 2: Phân tích mạch chứa ampe kế lí tưởng.....	8
♦ PT Bài 3: Phương pháp “trái phằng” mạch điện phức tạp	8
♦ PT Bài 4: Biến đổi cấu trúc mạch theo trạng thái khóa K.....	9
♦ PT Bài 5: Phân tích nhiều trạng thái với hệ thống khóa K phức hợp	11
DẠNG 2: DỤNG CỤ ĐO - BIẾN TRỞ - PHÂN BỐ DÒNG ĐIỆN VÀ HIỆU ĐIỆN THẾ.....	14
1. HỆ THỐNG LÝ THUYẾT CƠ BẢN VÀ CHUYÊN SÂU	14
1.1. Dụng cụ đo lí tưởng.....	14
1.2. Biến trở có con chạy.....	14
1.3. Phân bố dòng điện và hiệu điện thế	14
1.4. Năng lượng điện trong mạch hỗn hợp.....	14
2. PHƯƠNG PHÁP GIẢI	14
3. BÀI TẬP VẬN DỤNG	15
♦ PT Bài 1: Mạch chứa biến trở và sự phân bố hiệu điện thế	15

♦ PT Bài 2: Mạch hỗn hợp chứa nhiều dụng cụ đo	16
♦ PT Bài 4: Biến trở trong mạch rẽ và bài toán chấp mạch đầu cuối	17
♦ PT Bài 5: Phân bố dòng điện và năng lượng trong mạch hỗn hợp	18
♦ PT Bài 6: Thay đổi cấu trúc mạch khi thay vôn kế bằng ampe kế	20
♦ PT Bài 7: Xác định thông số mạch từ số chỉ ampe kế và vôn kế	22
DẠNG 3: BIẾN TRỞ VÀ BÀI TOÁN CỰC TRỊ DÒNG ĐIỆN - CÔNG SUẤT	24
1. HỆ THỐNG LÝ THUYẾT CƠ BẢN VÀ CHUYÊN SÂU	24
1.1. Tham số hóa vị trí con chạy.....	24
1.2. Cực trị dòng điện và điện trở tương đương	24
1.3. Cực trị công suất trên điện trở biến đổi.....	24
1.4. Công cụ toán học.....	24
2. PHƯƠNG PHÁP GIẢI	24
3. BÀI TẬP VẬN DỤNG	25
♦ PT Bài 1: Cực trị dòng điện và công suất trong mạch chứa biến trở.....	25
♦ PT Bài 2: Phân bố hiệu điện thế với biến trở và cực trị công suất	26
♦ PT Bài 3: Biến trở - phân bố hiệu điện thế và điều chỉnh dòng điện.....	29
♦ PT Bài 4: Cực trị công suất trong mạch chứa biến trở.....	32
♦ PT Bài 5: Cực đại công suất trên biến trở trong mạch ba nhánh.....	34
DẠNG 4: MẠCH CẦU - DỤNG CỤ ĐO LÍ TƯỢNG - BIỆN LUẬN HSG.....	37
1. HỆ THỐNG LÝ THUYẾT CƠ BẢN VÀ CHUYÊN SÂU	37
1.1. Mạch cầu và trạng thái cân bằng.....	37
1.2. Dụng cụ đo lí tưởng trong mạch cầu.....	37
1.3. Xử lí mạch cầu ở mức THCS.....	37
1.4. Kỹ thuật biện luận.....	37
2. PHƯƠNG PHÁP GIẢI	37
3. BÀI TẬP VẬN DỤNG	38
♦ PT Bài 1: Mạch cầu với vôn kế và ampe kế lí tưởng.....	38
♦ PT Bài 2: Mạch cầu có đèn và dụng cụ đo - điều kiện hoạt động định mức.....	39
♦ PT Bài 3: Mạch cầu không cân bằng - cực trị công suất trên nhánh cầu	40

♦ PT Bài 4: Mạch cầu có điện kế lí tưởng và bài toán hoán đổi điện trở.....	42
DẠNG 5: BÀI TOÁN TỔNG HỢP - BIẾN TRỞ, CÔNG SUẤT VÀ ĐÈN ĐỊNH MỨC.....	44
1. HỆ THỐNG LÍ THUYẾT CƠ BẢN VÀ CHUYÊN SÂU	44
1.1. Mạch nhiều nhánh với một nguồn điện.....	44
1.2. Công suất, điện năng và nhiệt lượng.....	44
1.3. Thiết bị và bóng đèn định mức	44
1.4. Cực trị trong mạch có biến trở.....	44
2. PHƯƠNG PHÁP GIẢI	44
3. BÀI TẬP VẬN DỤNG	45
♦ PT Bài 1: Khảo sát dòng điện trong mạch nhiều nhánh có biến trở	45
♦ PT Bài 2: Biến trở và điều kiện hoạt động của bóng đèn.....	47
♦ PT Bài 3: Biến trở dây quấn - đèn định mức và cực đại công suất	48
♦ PT Bài 4: Hai đèn định mức và thiết kế các điện trở phụ	49
♦ PT Bài 5: Ba bóng đèn - biến trở dây quấn và điều kiện sáng bình thường.....	50

LỜI NÓI ĐẦU

Chuyên đề **Điện học - Vật lý 9** được biên soạn dành cho học sinh khá, giỏi, học sinh **ôn thi vào lớp 10 chuyên và bồi dưỡng học sinh giỏi**. Trọng tâm của tài liệu là năng lực đọc sơ đồ, biến đổi cấu trúc mạch, mô hình hóa dụng cụ đo và giải các bài toán biến trở - mạch cầu - cực trị.

Nội dung được thẩm định và tổ chức lại thành 5 dạng lớn theo bản chất phương pháp. Mỗi dạng có hệ thống lí thuyết cơ bản và chuyên sâu, quy trình giải, phần tóm tắt nhanh và hệ thống bài tập vận dụng có hướng dẫn chi tiết.

Tài liệu giữ lại các bài toán có giá trị rèn luyện từ bản thảo gốc, đồng thời chuẩn hóa thuật ngữ, số thứ tự, cách trình bày và các điều kiện vật lí. Các bài nâng cao được xử lí bằng định luật Ôm cho đoạn mạch, quan hệ nối tiếp – song song, quan hệ cường độ dòng điện tại điểm phân nhánh, công suất – điện năng và các biến đổi đại số phù hợp học sinh THCS.

Khi học, nên đọc phần lí thuyết và phương pháp của từng dạng trước; sau đó tự phân tích sơ đồ và chỉ xem phần định hướng khi cần. Với các bài cực trị hoặc mạch cầu, bước kiểm tra miền giá trị và chiều dòng điện là bắt buộc trước khi kết luận.

Physics Team - <https://physicsteam.vn>

I. CÁC ĐẠI LƯỢNG VÀ CÔNG THỨC CƠ BẢN

1. Bản chất dòng điện và các đại lượng đặc trưng

- **Cường độ dòng điện (I):** Đại lượng đặc trưng cho độ mạnh, yếu của dòng điện; được đo bằng ampe kế và có đơn vị là ampe (A).
- **Hiệu điện thế (U):** Đại lượng cho biết sự chênh lệch điện giữa hai điểm trong mạch; được đo bằng vôn kế và có đơn vị là vôn (V).
- **Điện trở (R):** Đại lượng đặc trưng cho mức độ cản trở dòng điện của vật dẫn. Với dây dẫn đồng chất, tiết diện đều:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

ρ : là điện trở suất ($\Omega \cdot m$); l : chiều dài (m); S : tiết diện dây (m^2)

2. Định luật Ôm

- **Cho đoạn mạch thuần điện trở:** Cường độ dòng điện chạy qua đoạn mạch tỉ lệ thuận với hiệu điện thế giữa hai đầu đoạn mạch và tỉ lệ nghịch với điện trở của đoạn mạch đó:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = I \cdot R$$

3. Quy luật phân phối trong mạch điện phức hợp

Đặc điểm	Đoạn mạch Nối tiếp	Đoạn mạch Song song
Cường độ dòng điện (I)	$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
Hiệu điện thế (U)	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$
Điện trở tương đương (R_{td})	$R_{td} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R_{td}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$
Hệ thức tỉ lệ	$U \sim R \left(\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \right)$	$I \sim \frac{1}{R} \left(\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \right)$

4. Năng lượng và Công suất điện

- **Công của dòng điện (Điện năng tiêu thụ):**

$$A = U \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

(Đơn vị: Joule - J).

- **Công suất điện:** Đặc trưng cho tốc độ tiêu thụ điện năng:

$$P = \frac{A}{t} = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

(Đơn vị: Watt - W).

- **Định luật Joule – Lenz:** Nhiệt lượng tỏa ra trên vật dẫn:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

DẠNG 1: KỸ THUẬT ĐỌC VÀ BIẾN ĐỔI SƠ ĐỒ MẠCH ĐIỆN**1. HỆ THỐNG LÝ THUYẾT CƠ BẢN VÀ CHUYÊN SÂU****1.1. Các điểm cùng điện thế và kỹ thuật chập nút**

- Hai điểm được xem là cùng điện thế khi nối trực tiếp với nhau bằng dây dẫn có điện trở không đáng kể, bằng ampe kế lí tưởng hoặc bằng khóa đang đóng.
- Khi hai nút đã chập, mọi phần tử có hai đầu cùng nối vào nút đó bị nối tắt; hiệu điện thế hai đầu phần tử bằng 0 và không có dòng điện qua phần tử thuần trở.

$$V_A = V_B \Rightarrow U_{AB} = 0$$

1.2. Kỹ thuật “trải phẳng” mạch

- Hình dạng hình học của sơ đồ không quyết định cách mắc; điều quan trọng là mối linh kiện nối giữa cặp nút nào.
- Sau khi đặt tên các nút, đưa các nút cùng điện thế về một vị trí rồi nối lại từng điện trở theo đúng hai đầu của nó. Cách làm này giúp nhận ra nối tiếp, song song và các nhánh cầu.

1.3. Mạch có khóa K

- Khóa mở: nhánh chứa khóa bị hở, không có dòng điện đi qua nhánh đó.
- Khóa đóng lí tưởng: khóa được thay bằng dây dẫn không điện trở; cần kiểm tra ngay khả năng chập nút và nối tắt linh kiện.
- Mỗi trạng thái khóa phải được xem như một mạch điện riêng; không sử dụng cấu trúc của trạng thái này cho trạng thái khác.

1.4. Mở rộng dành cho HSG

- Sau khi vẽ mạch tương đương, có thể dùng quan hệ cường độ dòng điện tại điểm phân nhánh để kiểm tra chiều dòng điện: tổng dòng đi vào một nút bằng tổng dòng đi ra.
- Nếu một nhánh có hiệu điện thế bằng 0 thì dòng qua mọi điện trở hữu hạn trên nhánh đó bằng 0.

2. PHƯƠNG PHÁP GIẢI

Bước 1: Đánh dấu hai cực nguồn và tất cả các nút giao quan trọng.

Bước 2: Chập các điểm cùng điện thế do dây nối, ampe kế lí tưởng hoặc khóa đóng.

Bước 3: Ghi rõ hai đầu của từng điện trở/linh kiện rồi vẽ lại mạch theo các nút.

Bước 4: Xác định các cụm nối tiếp, song song, cầu; với nhiều khóa, lặp lại quy trình cho từng trạng thái.

Bước 5: Kiểm tra bằng đường đi của dòng điện và điều kiện $U = 0$ trên nhánh bị nối tắt.

TÓM TẮT NHANH

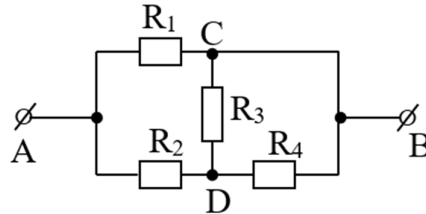
- Cùng điện thế $\Rightarrow$ có thể chập nút.
- Khóa mở = hở mạch; khóa đóng lí tưởng = dây dẫn.

- Luôn xác định hai đầu của linh kiện trước khi kết luận nối tiếp/song song.

3. BÀI TẬP VẬN DỤNG

♦ PT | Bài 1: Kỹ thuật chập nút và xử lý dây nối tắt

Cho mạch điện như hình vẽ. Bỏ qua điện trở dây nối. Em hãy phân tích cấu trúc mạch điện.



📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

Bước 1: Nhận xét và xác định các điểm cùng điện thế

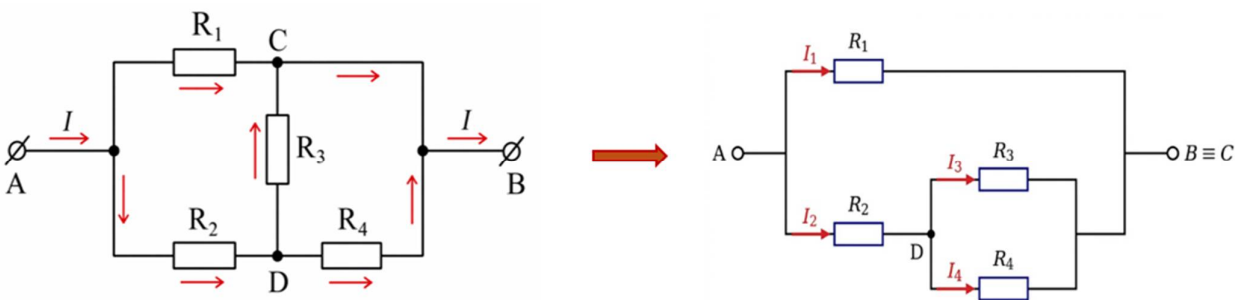
- Quan sát mạch điện, ta thấy điểm C và điểm B được nối với nhau bằng một dây dẫn không có điện trở.
- Hệ quả: Điện thế tại C và B bằng nhau ($V_C = V_B$). Trong sơ đồ mạch điện tương đương, ta có thể chập điểm C vào điểm B.

Bước 2: Phân tích lộ trình dòng điện và vị trí các điện trở

Sau khi xác định $C \equiv B$, ta lần lượt xem xét các điện trở nối giữa các cặp điểm nào:

- Điện trở R_1 : Nối giữa hai điểm A và C. Vì $C \equiv B$ nên R_1 mắc giữa A và B.
- Điện trở R_2 : Nối giữa hai điểm A và D.
- Điện trở R_3 : Nối giữa hai điểm C và D. Vì $C \equiv B$ nên R_3 mắc giữa B và D.
- Điện trở R_4 : Nối giữa hai điểm D và B.

Bước 3: Vẽ lại sơ đồ mạch điện tương đương



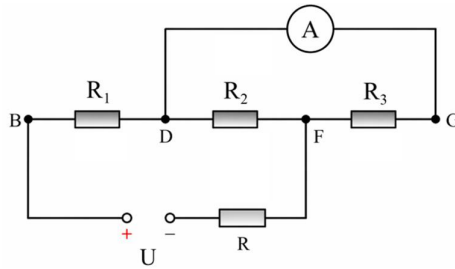
Bước 4: Kết luận cấu trúc mạch

Dựa vào sơ đồ vừa vẽ, ta có biểu thức cấu trúc mạch điện như sau:

$$R_1 \parallel [R_2 \text{ nt } (R_3 \parallel R_4)]$$

♦ PT | Bài 2: Phân tích mạch chứa ampe kế lí tưởng

Cho mạch như hình vẽ. Bỏ qua điện trở của ampe kế và dây nối. Em hãy phân tích cấu trúc mạch điện.



📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

Bước 1: Nhận xét vai trò của Ampe kế

- Ampe kế là lí tưởng (điện trở $R_a \approx 0$).
- Hệ quả: Hai điểm nối với hai đầu Ampe kế có điện thế bằng nhau. Trong hình này, điểm D và điểm G có cùng điện thế ($V_D = V_G$). Ta thực hiện chập điểm D với điểm G.

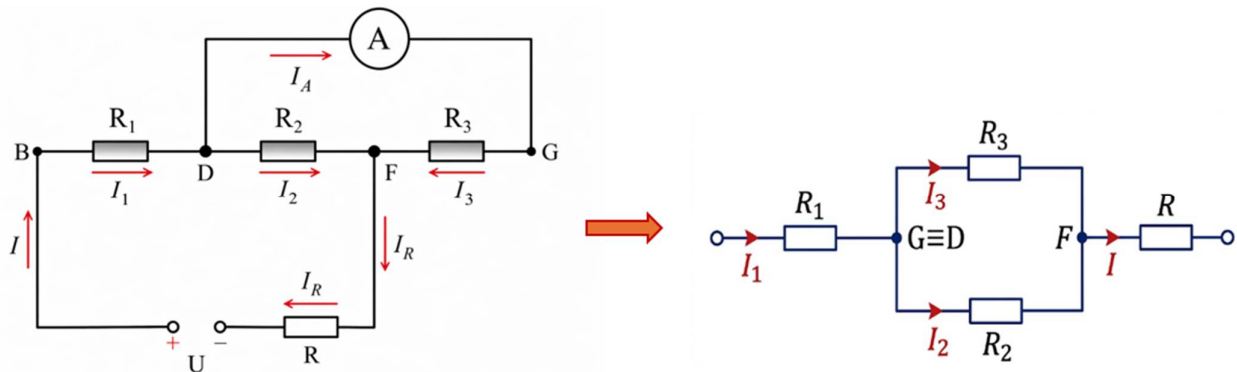
Bước 2: Phân tích lộ trình dòng điện

Dòng điện đi từ cực dương của nguồn U qua điện trở R_1 đến nút D. Tại đây dòng điện rẽ làm 2 nhánh để đi về cực âm:

- Nhánh 1: Đi qua R_2 về nút F.
- Nhánh 2: Đi qua R_3 về nút F.

Sau đó dòng đi từ F qua R về cực âm.

Bước 3: Vẽ lại sơ đồ mạch điện tương đương



Bước 4: Kết luận cấu trúc mạch

Dựa trên sơ đồ đã vẽ lại, cấu trúc mạch điện được viết như sau:

$$R \text{ nt } [(R_2 \parallel R_3) \text{ nt } R_1]$$

♦ PT | Bài 3: Phương pháp “trái phải” mạch điện phức tạp

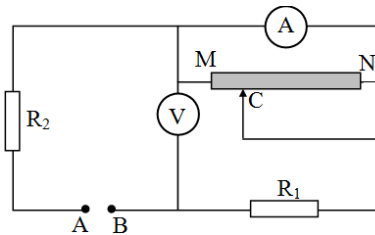
Cho mạch điện như hình. Bỏ qua điện trở dây nối. Em hãy phân tích mạch điện.

TÓM TẮT NHANH

- A lý tưởng: $R_A = 0$; V lý tưởng: $R_V \rightarrow \infty$.
- Biến trở: luôn kèm miền $0 \leq x \leq R$.
- Tính số chỉ dụng cụ đo trên sơ đồ gốc, không chỉ trên sơ đồ rút gọn.

3. BÀI TẬP VẬN DỤNG**♦ PT |Bài 1: Mạch chứa biến trở và sự phân bố hiệu điện thế**

Cho mạch điện như hình. Ampe kế và vôn kế lý tưởng. Em hãy phân tích mạch điện và cho biết ý nghĩa số chỉ các dụng cụ đo.

**📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT - PHÂN TÍCH CẤU TRÚC MẠCH****1. Phân tích vai trò các thiết bị đo lý tưởng**

- Ampe kế lý tưởng ($R_A \approx 0$): Nó đóng vai trò như một dây dẫn thuần túy. Điểm đầu Ampe kế nối với nút phía trên biến trở, điểm cuối nối với đầu N. Do đó, ta có thể chập hai điểm này thành một nút chung (gọi là nút P).

+ Hệ quả: Điện thế tại M và N bằng nhau ($V_M = V_N$).

- Vôn kế lý tưởng ($R_V \rightarrow \infty$): Không có dòng điện chạy qua vôn kế. Nó chỉ đo hiệu điện thế giữa điểm M (nút P) và điểm sau điện trở R_1 (cực âm B).

2. Phân tích cấu trúc mạch điện

- Dòng điện từ cực dương A đi qua R_2 đến nút P.

- Tại nút P, dòng điện rẽ làm hai ngã đi vào biến trở:

+ Nhánh 1: Qua phần điện trở R_{MC} .

+ Nhánh 2: Qua Ampe kế rồi qua phần điện trở R_{CN} .

+ Cả hai nhánh này cùng hội tụ tại con chạy C.

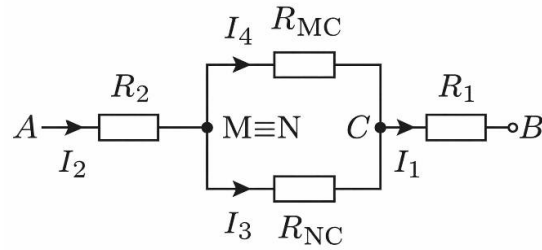
$\Rightarrow R_{MC} \parallel R_{CN}$.

- Từ con chạy C, dòng điện tổng đi qua điện trở R_1 để về cực âm B.

Kết luận cấu trúc mạch:

$$R_2 \text{ nt } [(R_{MC} \parallel R_{CN}) \text{ nt } R_1]$$

3. Sơ đồ mạch điện tương đương và Phân tích dòng điện



4. Ý nghĩa số chỉ các dụng cụ đo

Ý nghĩa số chỉ các dụng cụ đo được xác định trực tiếp trên sơ đồ gốc sau khi đã rút gọn mạch:

- Số chỉ Ampe kế (I_A): Chính là cường độ dòng điện chạy qua nhánh CN . ($I_A = I_{CN}$).

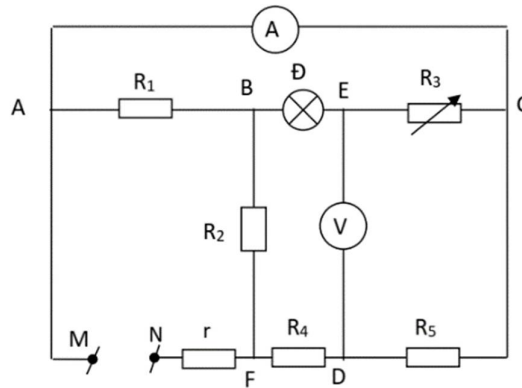
- Số chỉ Vôn kế (U_V): Đo hiệu điện thế giữa điểm P và B.

+ Công thức: $U_V = U_{CB} + U_{R1} = I \cdot (R_{CB} + R_1)$ (với R_{CB} là điện trở tương đương của cụm song song).

+ Hoặc: $U_V = U_{AB} - U_{R2}$.

♦ PT | Bài 2: Mạch hỗn hợp chứa nhiều dụng cụ đo

Cho mạch điện như hình. Ampe kế và vôn kế lí tưởng. Em hãy phân tích mạch điện.



📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

Bước 1: Khử các thiết bị đo lí tưởng để đơn giản hóa sơ đồ

- Ampe kế (A) lí tưởng ($R_A \approx 0$): Đóng vai trò là một dây dẫn nối trực tiếp điểm A và điểm C. Ta thực hiện chập điểm A và điểm C thành một nút chung, gọi là nút (AC).

- Vôn kế (V) lí tưởng ($R_V \approx \infty$): Không cho dòng điện chạy qua nhánh chứa nó. Ta coi như nhánh ED bị hở khi phân tích dòng điện, nhưng Vôn kế vẫn đo hiệu điện thế giữa hai điểm này ($U_V = V_E - V_D$).

Bước 2: Phân tích lộ trình dòng điện (Từ cực dương M đến cực âm N)

Giả sử cực dương nối vào M và cực âm nối vào N:

- Dòng điện từ M đi vào nút chung (AC). Tại đây, dòng điện rẽ làm 3 ngã chính:

+ Ngã 1: Qua điện trở R_1 đến nút B.

+ Ngã 2: Qua biến trở R_3 đến nút E, sau đó đi tiếp qua đèn Đ để đến nút B.

+ Ngã 3: Qua điện trở R_5 đến nút D, sau đó đi tiếp qua điện trở R_4 để đến nút F.

- Tại nút B, dòng điện từ ngã 1 và ngã 2 hội tụ lại, sau đó đi qua điện trở R_2 để đến nút F.

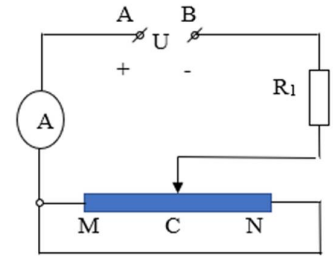
- Lập biểu thức I, U hoặc P bằng định luật Ôm và công thức công suất; sau đó mới xử lí cực trị bằng biến đổi đại số phù hợp.
- Nghiệm toán học phải thỏa cấu trúc mạch và miền vật lí của biến trở.

3. BÀI TẬP VẬN DỤNG

♦ PT | Bài 1: Cực trị dòng điện và công suất trong mạch chứa biến trở

Cho mạch điện như hình vẽ. Hiệu điện thế $U = 12V$, điện trở $R_1 = 2\Omega$. Biến trở MN có điện trở toàn phần $R = 9\Omega$, gọi điện trở đoạn MC là x , ampe kế và dây nối có điện trở không đáng kể.

- Khi $x = 3\Omega$, tìm số chỉ ampe kế.
- Xác định vị trí con chạy C để số chỉ ampe kế là lớn nhất, là nhỏ nhất. Tìm số chỉ ampe kế khi đó.
- Xác định vị trí con chạy C (giá trị x) để công suất tiêu thụ trên bộ biến trở đạt giá trị cực đại. Tính giá trị cực đại đó.
- Tính nhiệt lượng tỏa ra trên toàn mạch trong thời gian 5 phút khi con chạy C ở vị trí $x = 4,5\Omega$.



📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

* Phân tích mạch điện

- Vì có dây dẫn nối tắt giữa M và N nên điểm M và điểm N có cùng điện thế.
- Dòng điện từ ampe kế đến nút (M, N) sẽ chia làm hai nhánh: một nhánh qua đoạn biến trở MC và một nhánh qua đoạn biến trở NC , sau đó cùng hội tụ tại con chạy C.
- Cấu trúc mạch: $A \text{ nt } [(R_{MC} \parallel R_{NC}) \text{ nt } R_1]$.
- Gọi $R_{MC} = x$ ($0 \leq x \leq 9\Omega$), suy ra $R_{NC} = 9 - x$.
- Điện trở cụm biến trở: $R_p = \frac{x(9-x)}{9} = \frac{9x-x^2}{9}$.
- Điện trở toàn mạch: $R_{tm} = R_1 + R_p = 2 + \frac{9x-x^2}{9} = \frac{18+9x-x^2}{9}$.

a) Khi $x = 3\Omega$

- $R_p = \frac{3 \cdot (9-3)}{9} = 2\Omega$.
- $R_{tm} = 2 + 2 = 4\Omega$.
- Số chỉ ampe kế: $I_A = \frac{U}{R_{tm}} = \frac{12}{4} = 3(A)$.

b) Cực trị số chỉ ampe kế

Số chỉ ampe kế: $I_A = \frac{U}{R_{tm}} = \frac{108}{18+9x-x^2}$.

- I_A lớn nhất khi mẫu số $(18 + 9x - x^2)$ nhỏ nhất. Xét hàm $f(x) = -x^2 + 9x + 18$ trên đoạn $[0; 9]$. Giá trị nhỏ nhất đạt tại hai đầu mút $x = 0$ hoặc $x = 9$.

$\Rightarrow I_{A,max} = \frac{108}{18} = 6(A)$. (Khi C trùng M hoặc N).

- I_A nhỏ nhất khi mẫu số $(18 + 9x - x^2)$ lớn nhất. Đỉnh của parabol tại $x = \frac{-b}{2a} = 4,5\Omega$.

$$\Rightarrow R_p = \frac{4,5^2}{9} = 2,25\Omega \Rightarrow R_{tm} = 4,25\Omega.$$

$$\Rightarrow I_{A,min} = \frac{12}{4,25} \approx 2,82(A). \text{ (Khi C ở giữa MN).}$$

c) Công suất trên biến trở cực đại

$$\text{Công suất trên biến trở: } P_p = I^2 \cdot R_p = \frac{U^2 \cdot R_p}{(R_1 + R_p)^2}.$$

Theo bất đẳng thức Cô-si, P_p đạt cực đại khi $R_p = R_1 = 2\Omega$.

$$-\frac{9x - x^2}{9} = 2 \Leftrightarrow x^2 - 9x + 18 = 0.$$

- Giải phương trình ta được: $x = 3\Omega$ hoặc $x = 6\Omega$.

$$-\text{ Công suất cực đại: } P_{p,max} = \frac{U^2}{4R_1} = \frac{12^2}{4 \cdot 2} = 18(W).$$

d) Nhiệt lượng tỏa ra (t = 5 phút = 300s)

Khi $x = 4,5\Omega$, từ câu (b) ta có $R_{tm} = 4,25\Omega$.

Nhiệt lượng tỏa ra trên toàn mạch:

$$Q = \frac{U^2}{R_{tm}} \cdot t = \frac{12^2}{4,25} \cdot 300 \approx 10164,7(J).$$

⚠ LƯU Ý CHO HỌC SINH

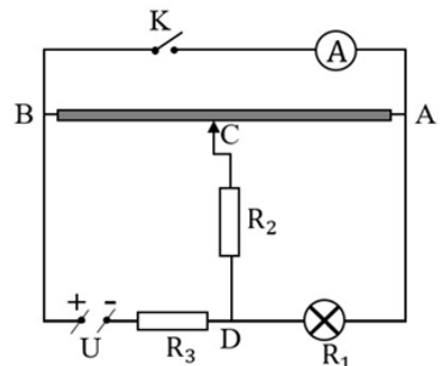
- **Nhận diện dây nối tắt:** Luôn kiểm tra xem có dây dẫn nào nối giữa hai đầu biến trở không. Nếu có, hai đầu đó có cùng điện thế và biến trở sẽ trở thành mạch song song ($MC \parallel NC$).
- **Cực trị dòng điện:** Trong mạch có biến trở nối tiếp với điện trở cố định (R_1), dòng điện I nhỏ nhất khi điện trở biến trở lớn nhất (con chạy ở giữa) và lớn nhất khi điện trở biến trở nhỏ nhất (con chạy ở hai đầu).
- **Cực đại công suất:** Trong riêng cấu trúc của bài này, sau khi lập biểu thức P và biến đổi, điều kiện cực đại dẫn đến điện trở tương đương của bộ biến trở bằng điện trở cố định còn lại. Không dùng kết luận này như một quy tắc cho mọi mạch.

♦ PT | Bài 2: Phân bố hiệu điện thế với biến trở và cực trị công suất

Trong một buổi thực hành Vật lý, một nhóm học sinh thiết lập sơ đồ mạch điện như Hình vẽ để khảo sát sự thay đổi cường độ dòng điện và công suất tiêu thụ của các linh kiện khi thay đổi vị trí con chạy của biến trở.

Biết nguồn điện có hiệu điện thế không đổi $U = 6V$. Các linh kiện trong mạch gồm:

- Một bóng đèn dây tóc có điện trở không đổi $R_1 = 3\Omega$.
- Hai điện trở có giá trị $R_2 = 3\Omega$ và $R_3 = 2\Omega$.
- Một biến trở con chạy AB có điện trở toàn phần bằng 12Ω .



điện.

- Sau khi vẽ lại mạch, chỉ dùng định luật Ôm, nối tiếp – song song và quan hệ dòng điện tại điểm phân nhánh.

3. BÀI TẬP VẬN DỤNG

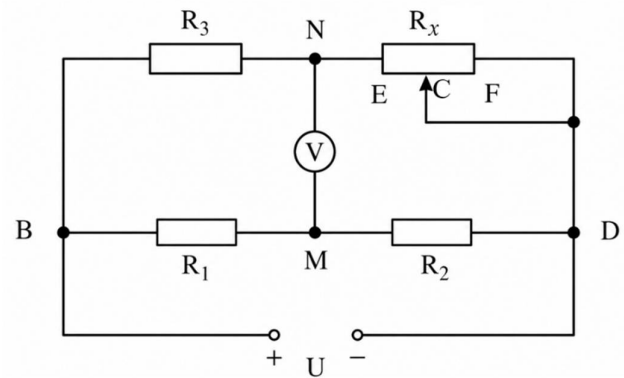
♦ PT | Bài 1: Mạch cầu với vôn kế và ampe kế lí tưởng

Cho mạch điện có sơ đồ như hình vẽ. Các điện trở có giá trị như đã cho; hiệu điện thế giữa hai đầu đoạn mạch được duy trì không đổi. Biến trở được điều chỉnh đến vị trí xác định trong từng yêu cầu.

1. Khảo sát mạch điện với dụng cụ đo lí tưởng:

Điều chỉnh con chạy C sao cho điện trở đoạn EC của biến trở có giá trị $R_{EC} = R_4 = 4 \Omega$.

- Mắc một vôn kế lí tưởng vào giữa hai điểm M và N . Hãy xác định số chỉ của vôn kế và cho biết cực dương của vôn kế nên nối vào điểm nào để kim đo lệch đúng chiều?
- Thay vôn kế bằng một ampe kế lí tưởng. Hãy mô tả lại cấu trúc mạch điện tương đương và tính cường độ dòng điện chạy qua ampe kế.



🔗 ĐỊNH HƯỚNG TƯ DUY

Khi mắc Vôn kế vào M, N:

- **Định hướng:** Vì Vôn kế lí tưởng ($R_V = \infty$), không có dòng điện chạy qua nhánh MN .
- **Cấu trúc mạch:** $(R_1 \text{ nt } R_2) \parallel (R_3 \text{ nt } R_x)$.
- **Cách giải:** Tính $U_{AM} = U_{R1}$ và $U_{AN} = U_{R3}$.

Khi thay Vôn kế bằng Ampe kế:

- **Định hướng:** Ampe kế lí tưởng có điện trở không đáng kể nên hiệu điện thế giữa M và N bằng 0. Có thể chấp M và N khi vẽ mạch tương đương.
- **Cấu trúc mạch:** $(R_1 \parallel R_3) \text{ nt } (R_2 \parallel R_x)$.

📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

1. Khảo sát mạch điện với dụng cụ đo lí tưởng:

a) Số chỉ của vôn kế; cực dương của vôn kế nên nối vào điểm nào:

- Số chỉ vôn kế: $U_{NM} = 1 \text{ V}$, nên $V_N > V_M$; cực dương của vôn kế nối vào N , cực âm nối vào M .

b) Trường hợp thay vôn kế bằng ampe kế:

Mạch điện khi đó có cấu trúc: $(R_1 \parallel R_3) \text{ nt } (R_2 \parallel R_4)$.

- Điện trở các cụm: $R_{13} = (R_1 \cdot R_3) / (R_1 + R_3) = 1,2 \Omega$; $R_{24} = (R_2 \cdot R_4) / (R_2 + R_4) \approx 1,714 \Omega$.

- Điện trở toàn mạch: $R_{td} = R_{13} + R_{24} \approx 2,914 \Omega$.
- Dòng điện mạch chính: $I = U/R_{td} \approx 2,059 \text{ A}$.
- Hiệu điện thế các cụm: $U_{13} = I \cdot R_{13} \approx 2,471 \text{ V}$; $U_{24} = I \cdot R_{24} \approx 3,529 \text{ V}$.
- Dòng điện qua các điện trở: $I_1 = U_{13}/R_1 \approx 0,824 \text{ A}$; $I_2 = U_{24}/R_2 \approx 1,176 \text{ A}$.
- Số chỉ ampe kế: $I_A = I_2 - I_1 = 1,176 - 0,824 = 0,352 \text{ A}$.

◆ PT | Bài 2: Mạch cầu có đèn và dụng cụ đo - điều kiện hoạt động định mức

1. Cho mạch điện có sơ đồ như hình vẽ bên. Biết các điện trở $R_1 = 18\Omega, R_3 = R_4 = 6\Omega, R_2$ là đèn có ghi $6\text{V} - 6\text{W}$. Đặt vào hai điểm A, B một hiệu điện thế không đổi $U = 18\text{V}$. Vôn kế có điện trở rất lớn, ampe kế và dây nối có điện trở không đáng kể.

a) Khi khóa K mở. Tìm số chỉ của ampe kế, vôn kế và cho biết đèn sáng như thế nào?

b) Khi khóa K đóng. Điều chỉnh biến trở có giá trị $R_x = R_0$ thì công suất tỏa nhiệt trên R_1 là 8 W . Tìm công suất tỏa nhiệt trên R_4 và giá trị của R_0 .

2. Cho một số điện trở giống nhau có cùng giá trị $R = 2 \Omega$. Cần phải mắc tối thiểu bao nhiêu điện trở R trên để mạch điện có điện trở tương đương là $3,2 \Omega$? Nêu và vẽ sơ đồ cách mắc.

📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

1. Mạch có đèn và dụng cụ đo

Đèn $6 \text{ V} - 6 \text{ W}$ được coi có điện trở không đổi: $R_2 = \frac{U_{dm}^2}{P_{dm}} = 6\Omega$; dòng định mức $I_{dm} = 1 \text{ A}$.

a) Khi K mở, hai nhánh (R_1 nt R_2) và (R_3 nt R_4) mắc song song vào $U = 18\text{V}$.

Nhánh trên: $I_{12} = \frac{18}{18+6} = 0,75 \text{ A} \Rightarrow$ ampe kế chỉ $0,75 \text{ A}$.

Nhánh dưới: $I_{34} = 18/(6 + 6) = 1,5 \text{ A}$. Hiệu điện thế giữa nút giữa $R_1 - R_2$ là $4,5 \text{ V}$ so với B; hiệu điện thế giữa nút giữa $R_3 - R_4$ là 9 V so với B.

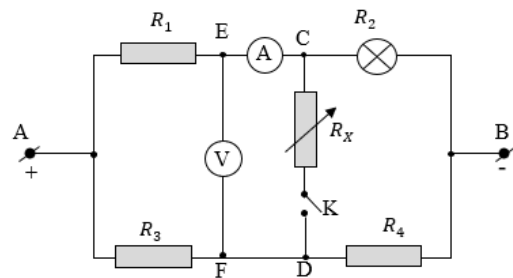
Vì vậy vôn kế chỉ $9 - 4,5 \text{ V} = 4,5 \text{ V}$; cực dương nối vào nút giữa R_3 và R_4 . Dòng qua đèn $0,75 \text{ A} < 1 \text{ A}$ nên đèn sáng yếu hơn bình thường.

b) Khi K đóng và $P_1 = 8 \text{ W}$: $I_1 = \sqrt{\frac{P_1}{R_1}} = \sqrt{\frac{8}{18}} = \frac{2}{3} \text{ A}$; do đó độ giảm điện thế trên R_1 là 12 V và hiệu điện thế giữa C và B bằng 6 V .

Đèn có $U_2 = 6 \text{ V}$ nên $I_2 = 1 \text{ A}$. Theo quan hệ cường độ dòng điện tại điểm phân nhánh, dòng qua R_x có độ lớn $I_x = I_2 - I_1 = \frac{1}{3} \text{ A}$ và chạy từ nút D sang C.

Gọi hiệu điện thế giữa D và B là V_D . Tại D: $\frac{18-V_D}{6} = \frac{V_D}{6} + \frac{1}{3} \Rightarrow V_D = 8 \text{ V}$.

Suy ra $P_4 = \frac{V_D^2}{R_4} = \frac{64}{6} = \frac{32}{3} \text{ W} \approx 10,67 \text{ W}$; $R_x = (V_D - V_C)/I_x = \frac{8-6}{\frac{1}{3}} = 6\Omega$.



- Bài có đèn định mức: tính từ thông số định mức và kiểm tra trạng thái hoạt động.

3. BÀI TẬP VẬN DỤNG

♦ PT | Bài 1: Khảo sát dòng điện trong mạch nhiều nhánh có biến trở

Trong một bài thực hành, nhóm học sinh thiết lập mạch điện như hình vẽ để kiểm tra cách phân bố dòng điện và khảo sát sự phụ thuộc của cường độ dòng điện vào điện trở thành phần.

Các thông số kỹ thuật được thiết lập như sau:

- Nguồn điện có hiệu điện thế $U = 30 \text{ V}$.
- Điện trở bảo vệ mạch: $R = 3 \Omega$.
- Các điện trở thành phần: $R_1 = 12 \Omega$; $R_2 = 36 \Omega$; $R_3 = 18 \Omega$.

1. Phân tích mạch điện khi mắc dụng cụ đo:

Để kiểm tra dòng điện tại nhánh DG , nhóm học sinh mắc một Ampe kế lí tưởng (điện trở không đáng kể) vào giữa hai điểm này.

- Dựa trên nguyên lý các điểm cùng điện thế, em hãy vẽ lại sơ đồ mạch điện tương đương và mô tả cách dòng điện phân bố trong mạch.
- Xác định cường độ và chiều dòng điện qua ampe kế. Từ đó nhận xét hiệu điện thế giữa hai điểm D và G trước khi mắc ampe kế.

2. Khảo sát khi thay ampe kế bằng biến trở:

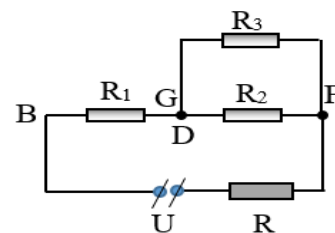
Nhóm học sinh thay thế Ampe kế bằng một linh kiện có điện trở biến thiên R_4 (biến trở) để điều chỉnh cường độ dòng điện trong nhánh DG . Khoảng giá trị của biến trở có thể điều chỉnh từ 2Ω đến 8Ω .

- Lập biểu thức cường độ dòng điện chạy qua biến trở theo giá trị điện trở của nó.
- Dựa trên biểu thức vừa lập, tìm giá trị của biến trở để dòng điện trong nhánh đạt lớn nhất và giải thích kết quả.

📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

1a) Phân tích sơ đồ tương đương:

- Do Ampe kế có điện trở không đáng kể ($R_A \approx 0$), nó đóng vai trò như một dây dẫn lí tưởng nối giữa hai điểm D và G.
- Hệ quả: Điểm D và điểm G có cùng điện thế ($V_D = V_G$). Ta chập hai điểm này lại khi vẽ sơ đồ tương đương.
- Dòng điện từ cực dương đi qua R_1 đến nút D. Tại đây, dòng điện rẽ làm hai nhánh song song:
 - + Nhánh 1: Qua điện trở R_2 để đến F.
 - + Nhánh 2: Qua Ampe kế đến G, rồi qua R_3 để đến F.
- Tại F, hai dòng điện nhập lại và đi qua điện trở bảo vệ R để về cực âm.
- Sơ đồ tương đương: R_1 nt $(R_2 \parallel R_3)$ nt R .



1b) Tính toán các đại lượng:

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 12\Omega; \Rightarrow R_{td} = R + R_1 + R_{23} = 27\Omega$$

- Áp dụng định luật Ôm cho đoạn mạch tương đương AB để tìm dòng điện mạch chính:

$$I_c = \frac{E}{R_{td}} = \frac{30}{27} = \frac{10}{9} \text{ A}$$

$$\Rightarrow I_1 = I_c = I_{23} \Rightarrow U_{23} = I_{23} \cdot R_{23} = \frac{10}{9} \cdot 12 = \frac{40}{3} \text{ V} = U_2 = U_3$$

$$\Rightarrow I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{10}{27} \text{ A}; I_3 = I_c - I_2 = \frac{20}{27} \text{ A} = I_A.$$

Vậy Ampe kế chỉ $\frac{20}{27} \text{ A} \approx 0,74 \text{ A}$ và dòng điện có chiều từ D sang G

2a) Khi thay Ampe kế bằng biến trở R_4 :

$$R_{34} = R_3 + R_4 = 18 + R_4.$$

$$R_{234} = \frac{R_2 R_{34}}{R_2 + R_{34}} = \frac{36(18 + R_4)}{54 + R_4}$$

$$\Rightarrow R_{td} = R + R_1 + R_{234} = 3 + 12 + \frac{36(18 + R_4)}{54 + R_4} = 3 + \frac{1296 + 48R_4}{54 + R_4}$$

$$\Rightarrow \text{Dòng điện mạch chính: } I_c = \frac{U}{R_{td}} = \frac{30}{\frac{1296 + 48R_4}{54 + R_4} + 3} = \frac{30(54 + R_4)}{1458 + 51R_4} = \frac{10(54 + R_4)}{486 + 17R_4}$$

$$\Rightarrow \text{HĐT } U_{234} = I_c \cdot R_{234} = \frac{10(54 + R_4)}{486 + 17R_4} \cdot \frac{36(18 + R_4)}{54 + R_4} = \frac{360(18 + R_4)}{486 + 17R_4} = U_{34} = U_2 \Rightarrow$$

$$I_{34} = U_{34}/R_{34} = \frac{360(18 + R_4)}{(486 + 17R_4)(18 + R_4)} = \frac{360}{(486 + 17R_4)} = I_3 = I_4$$

2b) Biện luận để tìm giá trị cực đại:

- Xét hàm số $I_4(R_4) = \frac{360}{17R_4 + 486}$ với $R_4 \in [2, 8]$.

- Ta thấy $I_4(R_4) = 360/(17R_4 + 486)$. Tử số dương không đổi, mẫu số là hàm bậc nhất có hệ số góc 17 > 0 nên I_4 giảm khi R_4 tăng.

- Để phân thức I_4 đạt giá trị lớn nhất thì mẫu số $(17R_4 + 486)$ phải đạt giá trị nhỏ nhất.

- Điều này xảy ra khi R_4 đạt giá trị bé nhất trong khoảng xác định.

$$\Rightarrow R_{4min} = 2\Omega$$

Vậy: Để dòng điện qua R_4 đạt cực đại thì $(486 + 17R_4)$ phải đạt cực tiểu $\Rightarrow R_4 = 2\Omega$

Δ LƯU Ý CHO HỌC SINH

- **Chập nút:** Ampe kế lí tưởng ($R_A = 0$) coi như dây dẫn, chập hai đầu nút để vẽ lại mạch tương đương.
- **Số chỉ Ampe kế:** Phân tích dòng tại nút giao để xác định I_A là tổng hay hiệu các dòng nhánh.
- **Biện luận cực trị:** Thiết lập hàm I theo biến trở R_x , dòng đạt cực đại khi mẫu số chứa R_x cực tiểu.
- **Điều kiện biên:** Luôn đối chiếu kết quả tìm được với khoảng giá trị cho phép của biến trở (VD: 2Ω đến 8Ω).

♦ PT | Bài 2: Biến trở và điều kiện hoạt động của bóng đèn

Trong một thí nghiệm điều khiển độ sáng bóng đèn, một nhóm học sinh thiết lập mạch điện như Hình vẽ. Biết nguồn điện $U = 12\text{ V}$; các điện trở $R_1 = 6\ \Omega$, $R_2 = 8\ \Omega$, $R_3 = 2\ \Omega$.

a) Xác định thông số định mức:

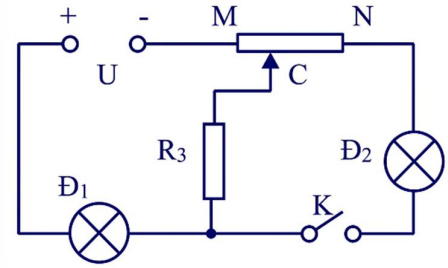
Khi khóa K mở và con chạy C đặt tại M, đèn Đ₁ hoạt động đúng công suất thiết kế (sáng bình thường). Em hãy thiết lập sơ đồ mạch điện tương đương và xác định công suất định mức của đèn Đ₁.

b) Xác định chế độ đèn sáng yếu nhất:

Khi đóng khóa K, dịch chuyển con chạy C để thay đổi dòng điện qua các nhánh.

- Bằng cách lập biểu thức cường độ dòng điện, hãy xác định điện trở toàn phần của biến trở MN để đèn Đ₂ đạt trạng thái sáng yếu nhất khi $R_{NC} = 4\ \Omega$.

- Giải thích vai trò của biến trở đối với sự phân bố dòng điện giữa các nhánh.



📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

a) Tính công suất định mức của đèn Đ₁

Phân tích mạch:

- Khi khóa K mở, nhánh chứa đèn Đ₂ bị hở, dòng điện không đi qua Đ₂.
- Khi con chạy C ở vị trí M, phần biến trở tham gia vào mạch $R_{MC} = 0$.
- Sơ đồ mạch điện lúc này đơn giản là: Đ₁ nối tiếp với điện trở R_3 .

Tính toán:

- Điện trở tương đương của mạch:

$$R_{td} = R_1 + R_3 = 6 + 2 = 8\ (\Omega)$$

- Cường độ dòng điện chạy trong mạch:

$$I = \frac{U}{R_{td}} = \frac{12}{8} = 1,5\ (A)$$

- Vì đèn Đ₁ sáng bình thường nên cường độ dòng điện định mức của đèn chính là cường độ dòng điện qua mạch: $I_{dm1} = I = 1,5\ (A)$.

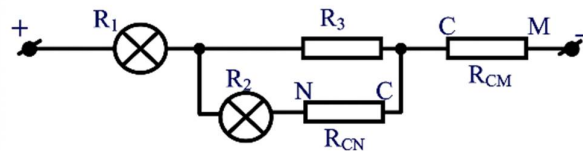
- Công suất định mức của đèn Đ₁:

$$P_{dm1} = I_{dm1}^2 \cdot R_1 = 1,5^2 \cdot 6 = 2,25 \cdot 6 = 13,5\ (W)$$

b) Tìm điện trở toàn phần của biến trở MN

Phân tích mạch:

- Khi khóa K đóng, dòng điện từ cực dương qua Đ₁, đến nút phân nhánh rồi chia làm 2 ngả: một ngả qua R_3 đến C, một ngả qua Đ₂ đến N rồi qua đoạn biến trở NC đến C. Tại C, hai dòng điện nhập lại và đi qua đoạn biến trở MC về cực âm.



- Gọi điện trở toàn phần của biến trở là R_0 . Đặt $R_{MC} = x\ (\Omega)$ thì $R_{NC} = R_0 - x\ (\Omega)$ (với $0 \leq x \leq R_0$).

- Cấu trúc mạch: Đ₁ nt $\{ [R_3 \parallel (Đ_2 \text{ nt } R_{NC})] \text{ nt } R_{MC} \}$