

## Động học phi tuyến trong các mạch điện (10 điểm)

Em hãy đọc các hướng dẫn chung trong phong bì riêng trước khi bắt đầu làm bài

### Giới thiệu

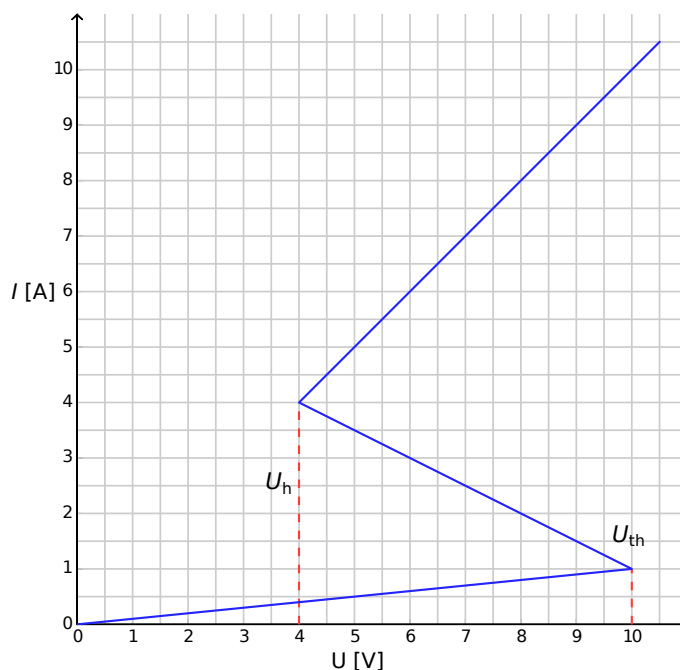
Các phần tử bán dẫn phi tuyến lưỡng ổn (ví dụ thyristor) hiện đang được sử dụng rộng rãi trong điện tử học để làm các chuyển mạch hoặc các máy phát dao động điện tử. Những ứng dụng quan trọng nhất của thyristor là điều khiển dòng xoay chiều trong các hệ điện tử công suất lớn, ví dụ như chỉnh lưu dòng xoay chiều thành dòng một chiều ở công suất cỡ mega oát. Các phần tử lưỡng ổn cũng có thể được dùng làm mẫu cho những hiện tượng tự tổ chức trong vật lí (đây là chủ đề của phần B), trong sinh học (phần C) và trong các lĩnh vực khác của khoa học phi tuyến hiện đại.

### Mục đích

Nghiên cứu sự bất ổn định và động học bất thường của các mạch điện chứa có chứa các phần tử với đặc trưng  $I - V$  phi tuyến. Khảo sát những khả năng ứng dụng của các mạch như vậy trong kĩ thuật và trong mô hình hóa các hệ sinh học.

### Phần A. Các trạng thái dừng và sự bất ổn định (3 điểm)

Hình. 1 cho thấy đặc trưng  $I - V$  dạng chữ S (**S-shaped**  $I - V$ ) của một phần tử phi tuyến  $X$ . Trong khoảng điện áp từ  $U_h = 4.00$  V (điện áp giữ) và  $U_{th} = 10.0$  V (điện áp ngưỡng) đặc trưng  $I - V$  không đơn trị. Để đơn giản, đồ thị trên Hình 1 được làm gần đúng tuyến tính trên từng đoạn (mỗi nhánh là một đoạn thẳng). Đường thẳng ở nhánh trên cùng sẽ đi qua gốc tọa độ nếu được kéo dài. Phép gần đúng này mô tả tốt đặc trưng của thyristor thực.



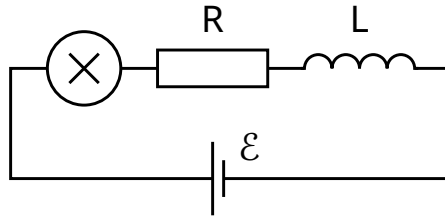
Hình 1: Đặc trưng  $I - V$  của phần tử phi tuyến  $X$ .

- A.1** Từ đồ thị, hãy xác định điện trở  $R_{\text{on}}$  của phần tử  $X$  ở nhánh trên cùng của đặc trưng  $I - V$ , và  $R_{\text{off}}$  ở nhánh dưới cùng. Nhánh giữa được mô tả bằng phương trình 0.4pt

$$I = I_0 - \frac{U}{R_{\text{int}}}. \quad (1)$$

Hãy tìm giá trị của các tham số  $I_0$  và  $R_{\text{int}}$ .

Phần tử  $X$  được mắc nối tiếp với điện trở  $R$ , cuộn cảm  $L$  và nguồn lí tưởng có điện áp  $\mathcal{E}$  (xem Hình 2). Ta nói mạch ở trạng thái dừng (stationary state) nếu dòng điện qua mạch không đổi theo thời gian  $I(t) = \text{const.}$



Hình 2: Mạch điện gồm phần tử  $X$ , điện trở  $R$ , cuộn cảm  $L$  và nguồn điện  $\mathcal{E}$ .

- A.2** Hãy xác định số các trạng thái dừng có thể có của mạch ở Hình 2 nếu ta giữ nguyên giá trị  $\mathcal{E}$  và lấy  $R = 3.00 \Omega$ ? Kết quả là thế nào nếu lấy  $R = 1.00 \Omega$ ? 1pt

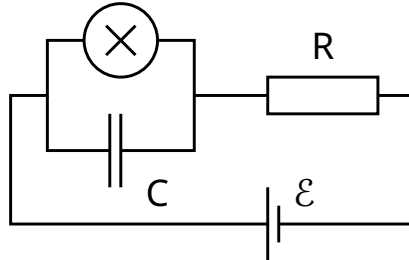
- A.3** Lấy  $R = 3.00 \Omega$ ,  $L = 1.00 \mu\text{H}$  và  $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$  trong mạch ở Hình 2. Hãy xác định giá trị của dòng điện  $I_{\text{stationary}}$  và điện áp  $V_{\text{stationary}}$  trên phần tử phi tuyến  $X$  ở trạng thái dừng. 0.6pt

Mạch điện trên Hình 2 ở trạng thái dừng với  $I(t) = I_{\text{stationary}}$ . Trạng thái dừng này được gọi là ổn định nếu sau khi dòng điện biến đổi một lượng nhỏ (tăng hoặc giảm), thì hệ lại trở về trạng thái dừng. Trạng thái dừng là không ổn định nếu sau khi dòng điện biến đổi một lượng nhỏ, thì hệ dờ xa khỏi trạng thái dừng.

- A.4** Hãy dùng các giá trị ở câu **A.3** và khảo sát sự ổn định của trạng thái dừng với  $I(t) = I_{\text{stationary}}$ . Đây là trạng thái ổn định hay không ổn định? 1pt

## Phần B. Các phần tử lưỡng ổn phi tuyến trong vật lí: Máy phát vô tuyến điện (5 điểm)

Ta hãy khảo sát một mạch điện mới (xem hình. 3). Lần này, phần tử phi tuyến  $X$  được mắc song song với tụ điện  $C = 1.00 \mu\text{F}$ . Cụm này được mắc nối tiếp với điện trở  $R = 3.00 \Omega$  và nguồn điện lí tưởng có điện áp  $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$ . Ta thấy mạch sẽ dao động, khi đó, phần tử phi tuyến  $X$  nhảy qua lại giữa hai nhánh trên đường đặc trưng  $I - V$  trong mỗi chu kì.



Hình 3: Mạch điện với phần tử  $X$ , tụ điện  $C$ , điện trở  $R$  và nguồn điện  $\mathcal{E}$ .

**B.1** Hãy vẽ chu kỳ dao động trên đồ thị  $I - V$ , bao gồm cả chiều (cùng chiều hoặc ngược chiều kim đồng hồ). Hãy giải thích câu trả lời của em bằng các phương trình và hình vẽ. 1.8pt

**B.2** Hãy tìm biểu thức của khoảng thời gian  $t_1$  và  $t_2$  mà hệ nằm ở mỗi nhánh của đồ thị  $I - V$  trong một chu kỳ dao động. Tính giá trị bằng số của các khoảng thời gian này. Hãy tìm giá trị bằng số của chu kỳ dao động  $T$  với giả thiết rằng thời gian nhảy giữa các nhánh trên đồ thị  $I - V$  có thể được bỏ qua. 1.9pt

**B.3** Ước tính công suất tiêu tán trung bình  $P$  trên phần tử phi tuyến trong một chu kỳ dao động. Chỉ cần nêu bậc độ lớn là đủ. 0.7pt

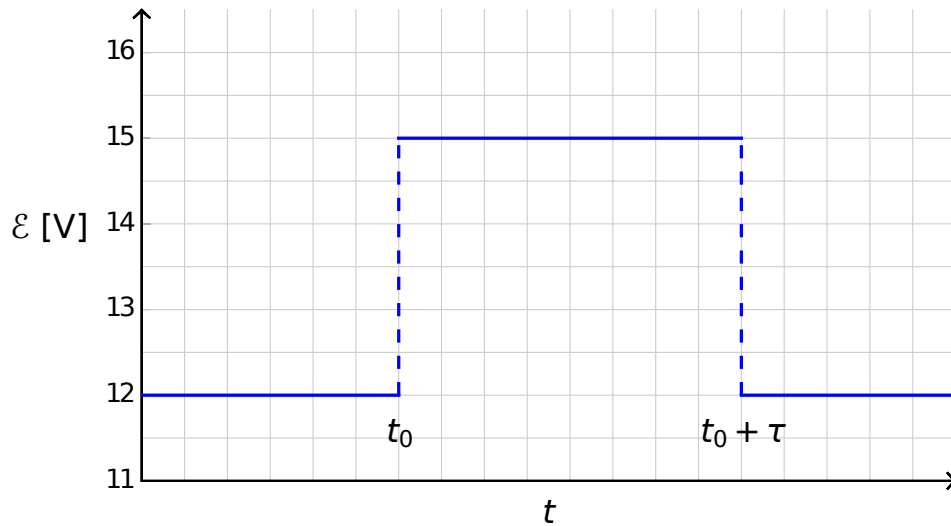
Mạch điện ở Hình. 3 được dùng làm máy phát vô tuyến điện. Với mục đích đó, phần tử  $X$  được mắc vào một đầu của một anten thẳng (là một sợi dây dẫn dài) có độ dài  $s$ . Đầu còn lại của anten để hở. Trong anten hình thành sóng điện từ dừng (sóng đứng). Tốc độ của sóng điện từ dọc theo anten giống như trong chân không. Máy phát này dùng hài cơ bản của hệ, với chu kỳ  $T$  tìm được ở **B.2**.

**B.4** Tìm giá trị tối ưu của  $s$  với giả thiết nó không vượt quá 1 km? 0.6pt

### Phần C. Các phần tử lưỡng ổn phi tuyến trong sinh học: neuristor (2 điểm)

Trong phần này, ta xem xét một ứng dụng của phần tử lưỡng ổn phi tuyến để mô hình hóa các quá trình sinh học. Một tế bào thần kinh (nơron-tiếng Anh là neuron) trong não người có tính chất sau: khi bị kích thích bởi một tín hiệu bên ngoài, nó thực hiện một dao động duy nhất rồi sau đó trở lại trạng thái ban đầu. Đặc tính này được gọi là khả năng bị kích thích. Do tính chất này, các xung có thể lan truyền trong mạng các nơ ron tạo nên hệ thần kinh. Một chip bán dẫn được thiết kế để bắt chước khả năng bị kích thích và sự lan truyền của xung được gọi là một neuristor (từ neuron và transistor).

Ta mô hình hóa một neuristor đơn giản bằng cách dùng một mạch điện chứa phần tử phi tuyến  $X$  mà ta đã nói đến ở trên. Muốn vậy, nguồn điện áp  $\mathcal{E}$  trong mạch ở Hình. 3 được giảm xuống đến giá trị  $\mathcal{E}' = 12.0 \text{ V}$ . Dao động dừng lại và hệ đạt tới trạng thái dừng. Tiếp theo, điện áp tăng nhanh về giá trị  $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$ , và sau một khoảng thời gian  $\tau$  (với  $\tau < T$ ) điện áp lại được đặt ở giá trị  $\mathcal{E}'$  (Xem Hình. 4). Người ta thấy có một giá trị tới hạn  $\tau_{\text{crit}}$ , mà hệ thể hiện hành vi khác nhau nếu  $\tau < \tau_{\text{crit}}$  hay  $\tau > \tau_{\text{crit}}$ .



Hình 4: Điện áp của nguồn như là hàm của thời gian.

- |            |   |       |
|------------|---|-------|
| <b>C.1</b> | Hãy vẽ phác các đồ thị phụ thuộc thời gian của dòng điện $I_X(t)$ trên phần tử phi tuyến $X$ với $\tau < \tau_{\text{crit}}$ và với $\tau > \tau_{\text{crit}}$ . | 1.2pt |
| <b>C.2</b> | Hãy tìm biểu thức và giá trị bằng số của thời gian tới hạn $\tau_{\text{crit}}$ .   | 0.6pt |
| <b>C.3</b> | Mạch điện với $\tau = 1.00 \times 10^{-6}$ s có phải là một neuristor không?  | 0.2pt |