

Нелинейни елементи в електрически вериги (10 points)

Моля, прочетете първо общите инструкции, намиращи се в отделен плик.

Увод

Бистабилните нелинейни елементи (например тиристори) се използват широко в електрониката, например като електронни ключове и в генератори на електромагнитни трептения. Важно приложение на тиристорите е преобразуването на променлив ток в постоянен в промишлени мащаби. Бистабилните елементи могат да се използват също като модел за самоорганизация във физиката (разглежда се в част В от задачата) и в биологията (част С).

Цели на задачата

Да се изследват неустойчивости и динамика във вериги с елементи, които имат нелинейна $I - V$ характеристика. Да се изучат приложенията на такива вериги в инженерството и при моделиране на биологични системи.

Part A. Стационарни състояния и неустойчивост (3 points)

На Fig. 1 е показана т.нар. **S-образна** $I - V$ характеристика на нелинеен елемент X . В интервала напрежения от $U_h = 4.00 \text{ V}$ (задържащо напрежение) до $U_{th} = 10.0 \text{ V}$ (прагово напрежение) тази $I - V$ характеристика е нееднозначна функция. За простота графиката от Fig. 1 е представена като съставена от три линейни участъка. Мисленото продължение на най-горната линия минава през координатното начало. Това е едно добро приближение за реалните тиристори.

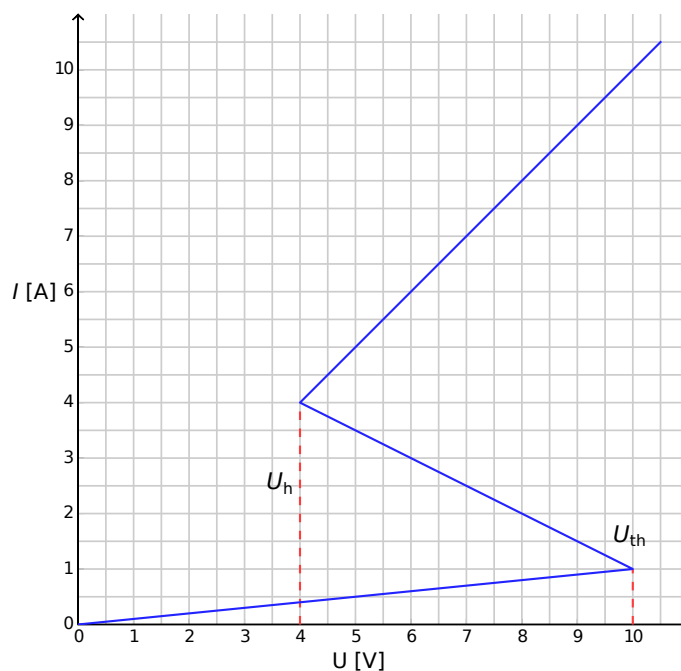


Figure 1: $I - V$ характеристика на нелинеен елемент X .

- A.1** Като използвате графиката, определете съпротивлението R_{on} на елемента X за горния участък на $I - V$ характеристиката и R_{off} на долния участък. Средният участък се описва с уравнението: 0.4pt

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

Определете стойността на параметрите I_0 и R_{int} .

Елементът X е свързан последователно (Fig.2) с резистор със съпротивление R , намотка с индуктивност L и идеален източник с електродвижещо напрежение \mathcal{E} . Казваме, че веригата е в стационарно състояние, ако токът е постоянен във времето, $I(t) = \text{const}$.

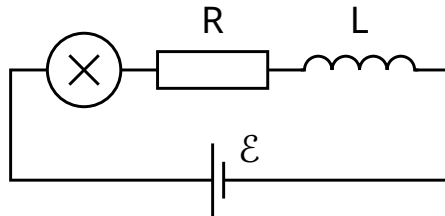


Figure 2: Верига с елемента X , резистора R , индуктивността L и източника \mathcal{E} .

- A.2** Колко е възможният брой стационарни състояния на веригата от Fig. 2 при $R = 3.00 \Omega$ за фиксирана стойност на \mathcal{E} ? Как се променя отговорът при $R = 1.00 \Omega$? 1pt

- A.3** Нека за веригата от Fig. 2 $R = 3.00 \Omega$, $L = 1.00 \mu\text{H}$ и $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$. Определете тока $I_{\text{stationary}}$ и напрежението $V_{\text{stationary}}$ върху нелинейния елемент X за стационарното състояние. 0.6pt

Нека веригата от Fig. 2 е в стационарно състояние с ток $I(t) = I_{\text{stationary}}$. Казваме, че състоянието е устойчиво, ако при малко нарастване или намаляване на тока, системата се връща към стационарното състояние. Казваме, че състоянието е неустойчиво, ако системата се отдалечава от стационарно състояние, т.е. токът продължава да се увеличава или намалява.

- A.4** Използвайте числените стойности от **A.3** и изследвайте устойчивостта на стационарното състояние с $I(t) = I_{\text{stationary}}$. Устойчиво или неустойчиво е то? 1pt

Part V. Бистабилни нелинейни елементи във физиката: радиоизлъчване (5 points)

Ще разгледаме нова верига (виж Fig. 3). Нелинейният елемент X е свързан успоредно на кондензатор с капацитет $C = 1.00 \mu\text{F}$. Към тях е свързан последователно резистор със съпротивление $R = 3.00 \Omega$ и идеален източник с напрежение $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$. Във веригата възникват трептения, като нелинейният елемент X "прескача" периодично от един на друг участък от $I - V$ характеристиката.

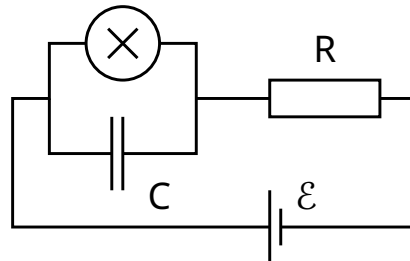


Figure 3: Верига с елемента X , кондензатора C , резистора R и източника \mathcal{E} .

- | | | |
|------------|--|-------|
| B.1 | Върху $I - V$ характеристиката начертайте един пълен цикъл на изменение на тока и напрежението, като означите и посоката на обикаляне (по или срещу часовниковата стрелка). Обосновете отговора с формули и чертежи. | 1.8pt |
| B.2 | Получете изрази за времената t_1 и t_2 , които системата прекарва върху двата участъка на $I - V$ характеристиката в продължение на един цикъл. Пресметнете числените им стойности. Пресметнете числено пълния период T на трептенето, ако предположите, че системата прескача мигновено от единия на другия клон на $I - V$ характеристиката. | 1.9pt |
| B.3 | Оценете средната мощност P , отделяща се в нелинейния елемент. Достатъчна е оценка по порядък. | 0.7pt |

Веригата от Fig. 3 се използва в радиоизлъчвател. За целта елементът X е свързан към единия край на линейна антена (дълга права жица) с дължина s . Другият край на жицата е свободен. По дължината на антената се формира хармонична стояща електромагнитна вълна със същия период T , както беше определен в **B.2**.

- | | | |
|------------|---|-------|
| B.4 | Колко е дължината на антената s , ако тя не трябва да превишава 1 km? | 0.6pt |
|------------|---|-------|

Part C. Бистабилен нелинеен елемент: neuristor (2 points)

Невроните в човешкия мозък имат свойство, наречено възбудимост. Когато невронът бъде възбуден от външен електричен сигнал, той извършва едно пълно електромагнитно трептене, след което се връща в начално състояние. Това свойство позволява на електричните сигнали да се разпространяват в мрежата от свързани неврони, съставлящи нервната ни система. Тук ще разгледаме електрическа верига, наречена невристор (*neuristor* от *neuron* и *transistor*), която моделира процеса на възбуждане на невроните.

Ще моделираме невристор с помощта на вече разгледаната верига с нелинейния елемент X , показана на Fig. 3. Първоначално напрежението на източника е намалено до $\mathcal{E}' = 12.0 \text{ V}$. Електромагнитните трептения престават и веригата достига стационарно състояние. После напрежението рязко се увеличава до $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$ и след интервал време τ (като $\tau < T$) отново рязко намалява до \mathcal{E}' (виж Fig. 4). Оказва се, че има критичен интервал τ_{crit} , такъв че системата има качествено различно поведение при $\tau < \tau_{\text{crit}}$ и при $\tau > \tau_{\text{crit}}$.

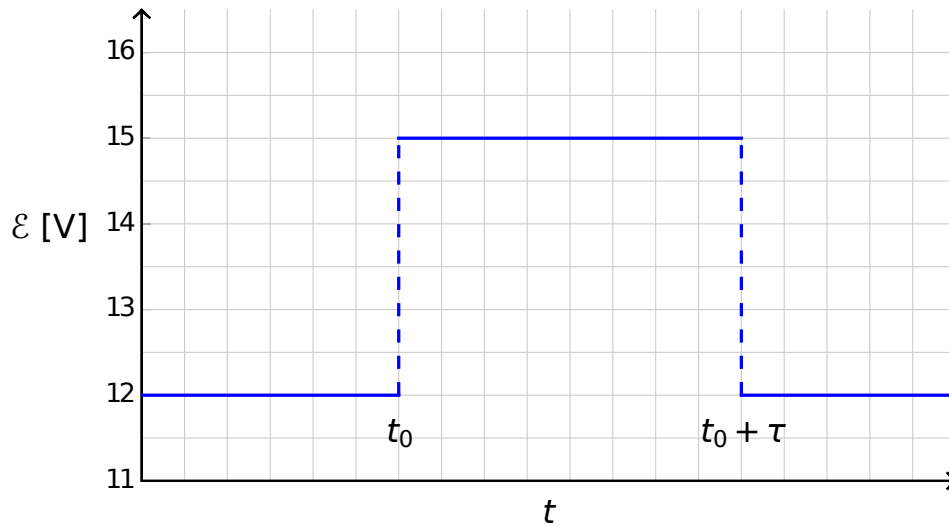


Figure 4: Напрежението на източника като функция на времето.

- | | | |
|------------|---|-------|
| C.1 | Нарисувайте качествена графика на тока $I_X(t)$ през нелинейния елемент X от времето за двата случая: $\tau < \tau_{\text{crit}}$ и, $\tau > \tau_{\text{crit}}$, съответно. | 1.2pt |
| C.2 | Получете израз и пресметнете числено критичния интервал τ_{crit} , при който настъпва преход от единия в другия режим. | 0.6pt |
| C.3 | Може ли верига с $\tau = 1.00 \times 10^{-6}$ s да служи като невристор? | 0.2pt |