

Dinamika Nonlinear dalam Rangkaian Listrik (10 poin)

Sebelum kalian mengerjakan soal ini, bacalah terlebih dahulu Instruksi Umum yang ada dalam amplop terpisah.

Pendahuluan

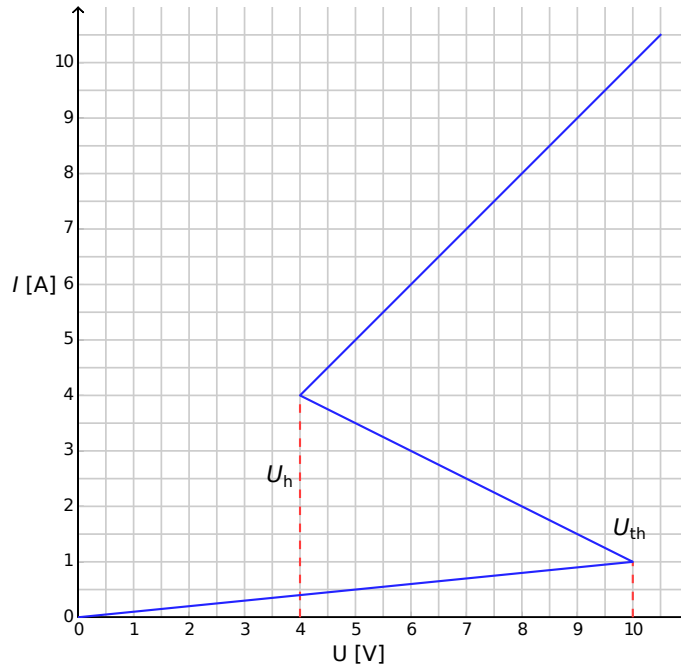
Elemen semikonduktor non-linier bistable (seperti thyristor) saat ini banyak digunakan dalam elektronik sebagai saklar dan generator osilasi elektromagnetik. Kinerja utama dalam aplikasi thyristor adalah untuk mengontrol arus bolak-balik dalam daya elektronik, dan untuk merubah sesaat arus AC menjadi DC pada skala megawatt. Elemen bistable memungkinkan juga bertindak sebagai sistem model untuk fenomena pengendalian diri dalam fisika (isu ini dibahas dalam bagian B dari soal ini), dalam biologi (lihat bagian C), dan dalam bidang-bidang lainnya dalam sains non-linier modern.

Tujuan

Untuk mempelajari ke-tidakstabilan dan ke-tidak sederhanaan dinamika rangkaian yang mengandung elemen dengan karakteristik $I - V$ nya yang tidak linier. Juga untuk menemukan kemungkinan mengaplikasikan rangkaian tersebut dalam engineering dan dalam pemodelan sistem biologi.

Bagian A. Keadaan-keadaan Stationer dan ke-tidakstabilan (3 poin)

Gambar 1 menunjukkan kurva karakteristik $I - V$ yang berbentuk **huruf S** dari sebuah elemen non-linier X . Dalam interval tegangan antara $U_h = 4.00$ V (tegangan hold) dan $U_{th} = 10.0$ V (tegangan threshold), kurva karakteristik $I - V$ ini bernilai banyak. Untuk penyederhanaan, grafik pada Gambar 1 dibuat berupa beberapa potongan linier (setiap potongan garis merupakan segmen dari garis lurus). Khusus untuk potongan garis yang atas, ia akan melewati titik asal jika garis tersebut diperpanjang. Pendekatan ini memberikan gambaran yang baik tentang thyristor.



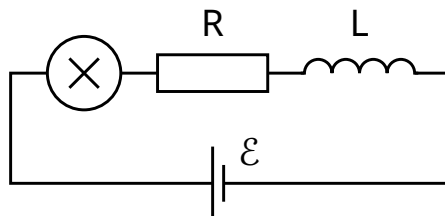
Gambar 1: Karakteristik $I - V$ dari elemen non-linear X .

- A.1** Dari grafik, tentukan resistansi R_{on} elemen X dari potongan garis yang atas, dan nilai R_{off} dari potongan garis yang bawah pada kurva karakteristik $I - V$. Potongan garis yang tengah dinyatakan dalam persamaan 0.4pt

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

Tentukan nilai dari I_0 dan R_{int} .

Elemen X dirangkai seri dengan sebuah resistor R , induktor L , dan sumber tegangan \mathcal{E} (lihat Gambar 2). Pada suatu kondisi, rangkaian mencapai keadaan setimbang ketika arusnya konstan, $I(t) = \text{const}$.



Gambar 2: Rangkaian dengan elemen X , resistor R , induktor L dan sumber tegangan \mathcal{E} .

- A.2** Berapakah jumlah keadaan setimbang yang mungkin terjadi pada rangkaian dalam Gambar 2 untuk suatu nilai \mathcal{E} tertentu dan $R = 3.00 \Omega$? Dan berapa pula jika $R = 1.00 \Omega$? 1pt

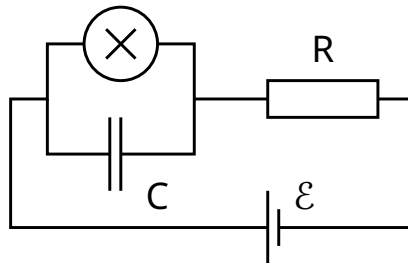
- A.3** Untuk rangkaian pada Gambar 2, katakan $R = 3.00 \Omega$, $L = 1.00 \mu\text{H}$ dan $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$. Tentukan nilai arus $I_{\text{stationary}}$ dan tegangan $V_{\text{stationary}}$ pada elemen non-linier X dalam keadaan setimbang. 0.6pt

Rangkaian pada Gambar 2, dalam keadaan setimbang $I(t) = I_{\text{stationary}}$. Keadaan setimbang ini disebut stabil apabila setelah diberikan perubahan arus yang kecil (baik ditambah ataupun dikurangi), arus kembali ke keadaan setimbangnya. Dan jika sistem tetap bergerak menjauhi keadaan setimbangnya, maka kesetimbangannya disebut tidak stabil.

- A.4** Gunakan nilai-nilai numerik pada pertanyaan **A.3** dan pelajari stabilitas keadaan setimbang dengan $I(t) = I_{\text{stationary}}$. Apakah keadaan setimbangnya stabil ataukah tidak stabil? 1pt

Bagian B. Elemen non-linier bistable dalam fisika: transmiter radio (5 poin)

Sekarang kita cermati suatu rangkaian baru (lihat Gambar 3). Disini elemen non-linier X disusun paralel dengan sebuah kapasitor $C = 1.00 \mu\text{F}$. Blok ini kemudian dihubungkan seri dengan sebuah resistor $R = 3.00 \Omega$ dan sumber tegangan $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$. Ternyata susunan ini menyebabkan sistem rangkaian berosilasi, dimana elemen non-linier X dalam satu siklusnya melakukan lompatan dari satu potongan garis ke potongan garis lainnya pada kurva karakteristik $I - V$.



Gambar 3: Rangkaian dengan elemen X , kapasitor C , resistor R dan sumber tegangan \mathcal{E} .

- B.1** Gambarkan siklus osilasinya pada grafik $I - V$, termasuk arahnya (searah atau berlawanan arah jarum jam). Jelaskan jawaban kalian dengan menggunakan formula atau sketsa. 1.8pt

- B.2** Tentukan waktu yang dibutuhkan oleh sistem pada setiap potongan garis pada grafik $I - V$, t_1 dan t_2 , untuk satu siklus osilasi. Hitung nilai numeriknya. Tentukan pula nilai numerik untuk periode osilasi T , asumsikan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk lompat antara potongan-potongan garis pada grafik $I - V$ diabaikan. 1.9pt

- B.3** Estimasi daya disipasi rata-rata P pada elemen non-linier selama satu osilasi. Tentukan pula orde besaran nilainya. 0.7pt

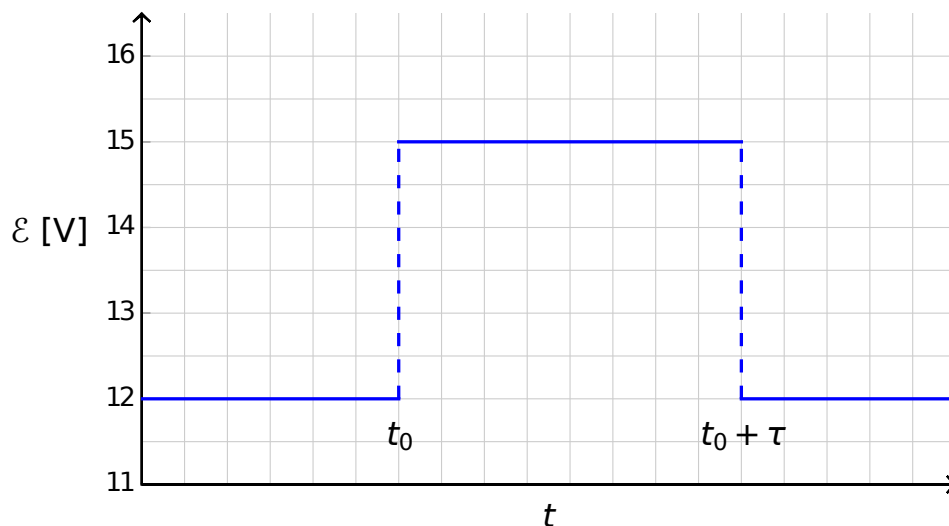
Rangkaian dalam Gambar 3 digunakan untuk membuat sebuah antena transmiter radio. Untuk maksud ini, elemen X ditempelkan pada salah satu ujung dari sebuah antena lurus (suatu kawat lurus yang panjang) dengan panjang s . Ujung lainnya dari kawat tersebut bebas. Pada antena terbentuk gelombang berdiri elektromagnetik. Laju gelombang elektromagnetik sepanjang antena sama dengan di dalam vakum. Transmitter menggunakan harmonik utama dari sistim yang memiliki periode T seperti pada pertanyaan **B.2**.

B.4 Berapakah nilai optimal s dengan asumsi bahwa panjang antena tidak boleh lebih dari 1 km? 0.6pt

Bagian C. Elemen non-linier bistable dalam biologi: neuristor (2 poin)

Di bagian soal ini, kita tinjau aplikasi elemen non-linier bistable untuk pemodelan proses-proses biologi. Sebuah syaraf di dalam otak manusia memiliki sifat sebagai berikut: ketika dirangsang oleh suatu sinyal dari luar, syaraf akan membuat satu osilasi tunggal dan kemudian kembali ke keadaan awalnya. Gambaran ini disebut sebagai rangsangan. Karena sifat ini, pulsa-pulsa dapat menjalar di dalam jaringan pasangan syaraf/neuron yang membentuk sistim syaraf. Sebuah chip semikonduktor yang di desain untuk meniru rangsangan dan perambatan pulsa disebut sebagai *neuristor* (berasal dari neuron dan transistor).

Kita coba membuat sebuah model neuristor sederhana menggunakan rangkaian yang mengandung elemen non-linier X sebagaimana telah kita bahas sebelumnya. Untuk mencapai maksud ini, tegangan \mathcal{E} pada rangkaian dalam Gambar 3 berkurang hingga menjadi $\mathcal{E}' = 12.0$ V. Osilasi berhenti, dan sistim mencapai keadaan setimbangnya. Kemudian tegangan bertambah lagi dengan cepat hingga berharga $\mathcal{E} = 15.0$ V, dan setelah suatu periode τ (dimana $\tau < T$) ia kembali lagi ke harga \mathcal{E}' (lihat Gambar 4). Ternyata terdapat suatu nilai kritis tertentu $\tau_{crit.}$, dan sistim secara kualitatif menunjukkan perilaku yang berbeda ketika $\tau < \tau_{crit.}$ dan $\tau > \tau_{crit.}$



Gambar 4: Tegangan pada sumber tegangan sebagai fungsi waktu.

C.1 Gambarkan grafik arus $I_X(t)$ sebagai fungsi waktu pada elemen non-linier X untuk $\tau < \tau_{crit.}$ dan untuk $\tau > \tau_{crit.}$ 1.2pt

C.2 Tentukan waktu kritis τ_{crit} tersebut dan nilai numeriknya.

0.6pt

C.3 Apakah rangkaian dengan nilai $\tau = 1.00 \times 10^{-6}$ s adalah sebuah neuristor?

0.2pt