

الديناميك اللاخطي في الدارات الكهربائية (10 درجات)

يرجى قراءة التعليمات العامة الموجودة في الظرف المنفصل قبل البدء.

مقدمة

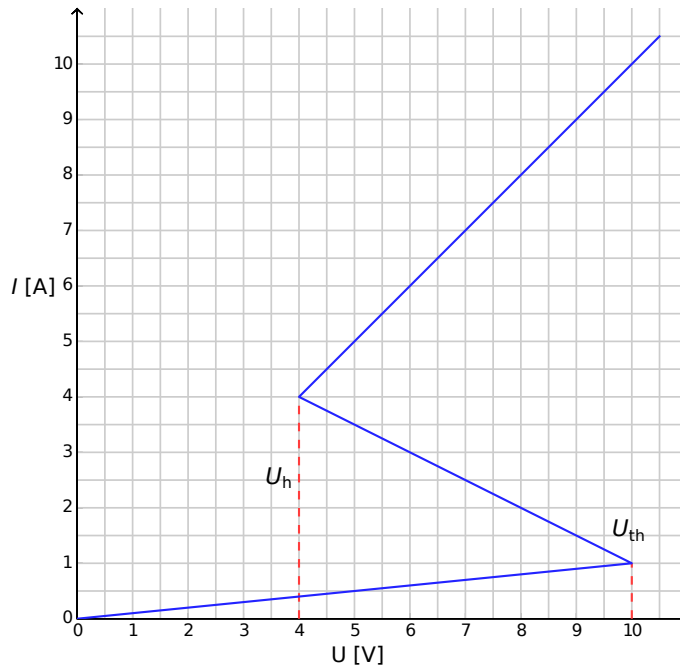
تستخدم العناصر ثنائية الاستقرار اللاخطية نصف الناقلية (العناصر ثنائية الاستقرار اللاخطية) بشكل واسع في الإلكترونيات في القواطع ومولدات الاهتزازات الإلكترونية ومغناطيسية. الاستخدام المبدئي لتطبيقات التيرستور نجده في السيطرة على التيارات المتناوبة في الكترولونات الاستطاعة، مثل تحويل التيار المتناوب AC إلى مستمر DC في مقاس ال ميغاوات. تخدم العناصر ثنائية الاستقرار أيضاً كنموذج لظواهر التنظيم الذاتي في الفيزياء (هذا مغطى في الجزء B من المسألة)، وكنموذج في البيولوجيا (انظر الجزء C) وحقول أخرى من علم الظواهر اللاخطية الحديث.

أهداف

دراسة عدم الاستقرار والديناميك غير البديهي للدارات بما فيها العناصر التي لها توابع مميزة $I - V$ لخطية. لاكتشاف تطبيقات ممكنة لهذه الدارات في هندسة ونمذجة الجمل البيولوجية.

الجزء A. الحالات المستقرة و ظواهر عدم الاستقرار (3 درجات)

يبين الشكل 1 ما يُسمى التابع المميز $I - V$ ذو الشكل S لعنصر لا خطي X. في مجال الكمونات بين $U_h = 4.00 \text{ V}$ (كمون الحمل) و $U_{th} = 10.0 \text{ V}$ (كمون العتبة) يكون التابع المميز $I - V$ أكثر من قيمة. للتبسيط تم اختيار المنحني في الشكل 1 ليكون خطياً خلال قطع محددة منه (كل فرع هو قطعة من خط مستقيم). مع الإشارة إلى أن الخط في الفرع الغلوي يمر من المبدأ إذا قمنا بتمديده. يُعطي هذا التقريب وصف جيد للعناصر ثنائية الاستقرار اللاخطية.



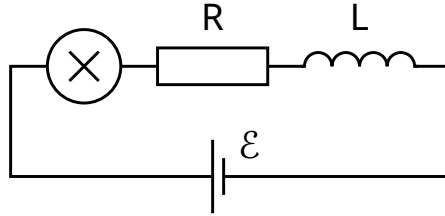
الشكل 1: التابع المميز $I - V$ لعنصر X لا خطي.

A.1 باستخدام المنحني الموضح بالشكل 1، اكتب العلاقة التي تُعطي المقاومة R_{on} للعنصر X للفرع الأعلى للتابع المميز $I - V$ ، واكتب العلاقة التي تُعطي المقاومة R_{off} للفرع الأدنى. نصف الفرع الأوسط يُمكن وصفه بالمعادلة:

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

أوجد قيم كل من المعاملين I_0 و R_{int} .

نصل العنصر X على التسلسل (انظر الشكل 2) مع مقاومة R وذاتية L ومنبع كمون مثالي \mathcal{E} . يُمكن القول إن هذه الدارة في حالة مستقرة إذا كان التيار ثابت مع الزمن، $I(t) = \text{const}$.



الشكل 2: دارة فيها العنصر X ، ومقاومة R ، وذاتية L ، ومنبع كمون \mathcal{E} .

A.2 من أجل قيمة ثابتة ل \mathcal{E} وفي حال كانت $R = 3.00 \Omega$: ما هو عدد الحالات المستقرة التي يُمكن أن تتواجد فيها دارة الشكل 2 ؟
أعد السؤال عندما نأخذ $R = 1.00 \Omega$

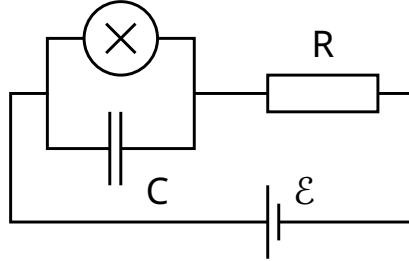
A.3 نأخذ $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$ ، $R = 3.00 \Omega$ ، $L = 1.00 \mu\text{H}$ في الدارة الموضحة في الشكل 2. أوجد قيم التيار $I_{stationary}$ وفرق الكمون $V_{stationary}$ في العنصر اللاخطي X في الحالة المستقرة.

تتواجد الدارة في الشكل 2 في حالة مستقرة مع $I(t) = I_{stationary}$. نقول عن هذه الحالة المستقرة إنها تامة الاستقرار إذا تحقق الشرط الآتي: إذا أجرينا انزياحاً صغيراً عليها (بزيادة أو إنقاص شدة التيار) سوف تعود شدة التيار إلى حالته الابتدائية. وإذا ابتعدت الجملة بعد الإزاحة عن حالة الاستقرار نقول عن الاستقرار إنه قلق.

A.4 استخدم القيم العددية للسؤال A.3 وادرس الحالة المستقرة مع $I(t) = I_{stationary}$. هل الحالة تامة الاستقرار أم قلقة؟

الجزء B. العنصر ثنائي الاستقرار اللاخطي (5 درجات)

نقوم الآن بدراسة دارة جديدة (انظر الشكل 3). هنا نربط العنصر اللاخطي X على التفرع مع مكثفة سعتها $C = 1.00 \mu\text{F}$. ونربط الجزء السابق مع مقاومة $R = 3.00 \Omega$ ومنبع كمون مستمر قوته المحركة الكهربائية $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$. فنجد أن هذه الدارة تنتج اهتزازات يقفز فيها العنصر اللاخطي X من فرع إلى آخر من التابع المميز $I - V$ خلال دورة.



الشكل 3: دائرة تحوي العنصر X والمكثفة C والمقاومة R ومولد الكمون \mathcal{E} .

B.1 ارسم دورة الاهتزاز على المنحني $I - V$ ، مع تحديد اتجاهه على الشكل (باتجاه عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة). علل إجابتك باستخدام المعادلات والتمثيل بالرسم. **1.8pt**

B.2 أوجد علاقات تُعطي الزمنين t_1 و t_2 التي تقضيها الجملة في كل فرع من التابع المميز $I - V$ خلال دور. احسب قيمتهما العددية. أوجد القيمة العددية للدور T بافتراض أن الزمن اللازم للقفز بين فرعي المنحني المميز $I - V$ مهمل. **1.9pt**

B.3 قدر الاستطاعة المتوسطة المبددة بالعنصر اللاخطي خلال دور اهتزاز واحد. حساب رتبة كبر المقدار السابق كافٍ **0.7pt**

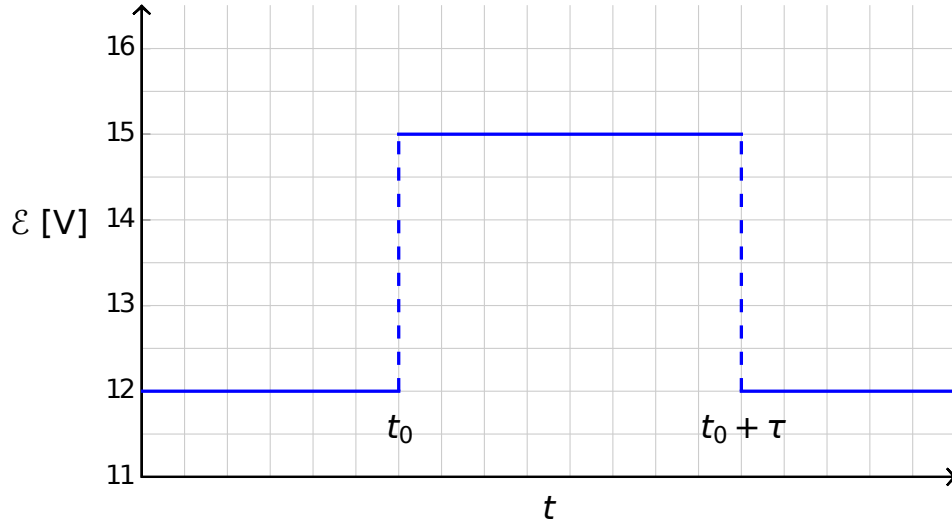
نستخدم الدارة السابقة (الشكل 3) كناقل موجات الراديو. لتحقيق ذلك نصل العنصر X في نهاية هوائي خطي (أنتين : وهو سلك مستقيم طويل) طوله l . النهاية الأخرى للسلك حرة. تتكون في الهوائي موجة كهرومغناطيسية مستقرة. سرعة انتشار الموجة الكهرومغناطيسية في الهوائي تساوي سرعة انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية في الخلاء. يستخدم ناقل الموجات التواتر الأساسي للجملة الذي له الدور T الذي رأيت في السؤال B.2.

B.4 ما القيمة المثلى لـ l بافتراض أنها لا تتجاوز 1km ? **0.6pt**

الجزء C. العناصر ثنائية الاستقرار اللاخطية في البيولوجيا : نيروستور (2 درجة)

في هذا الجزء نأخذ تطبيق للعنصر ثنائي الاستقرار اللاخطي لنموذج الإجراءات البيولوجية. تمتلك الخلية العصبية البشرية (العصبون) الخاصة الآتية: عندما يجري إثارتها بإشارة خارجية، تقوم باهتزاز وحيد وتعود إلى وضعها الابتدائي. تسمى هذه الخاصة الإثارية. نتيجة لهذه الخاصة تنتشر الومضات في شبكة العصبونات المرتبطة التي تشكل الجملة العصبية. تم تصميم شريحة نصف ناقلة لتقليد الإثارية وانتشار الومضة، تسمى هذه الشريحة نيروستور.

نسعى لنموذج النيروستور البسيط باستخدام دائرة تحوي العنصر اللاخطي X الذي درسناه سابقاً. من أجل ذلك جرى تخفيض فرق الكمون في دائرة الشكل 3. إلى القيمة $\mathcal{E}' = 12.0\text{ V}$ تتوقف الاهتزازات، وتصل الجملة إلى حالة مستقرة. بعدها تجري زيادة فرق الكمون بسرعة إلى القيمة $\mathcal{E} = 15.0\text{ V}$ ، وبعد فترة من الزمن τ (مع $\tau < T$) نعيد الكمون إلى القيمة \mathcal{E}' (انظر الشكل 4). يظهر أن هناك قيمة حرجة محددة τ_{crit} ، وأن الجملة تُظهر تصرفاً مختلفاً عندما $\tau < \tau_{\text{crit}}$ وعندما $\tau > \tau_{\text{crit}}$.



الشكل 4: فرق كمون المنبع كتابع للزمن.

C.1 قم بتمثيل منحنى تغير شدة التيار $I_X(t)$ كتابع للزمن وذلك للعنصر اللاخطي X في الحالتين: $\tau < \tau_{crit}$ و $\tau > \tau_{crit}$. **1.2pt**

C.2 أوجد العلاقة التي تُعطي الزمن الحرج τ_{crit} الذي تنطلق عنده العملية المشروحة سابقاً. **0.6pt**

C.3 هل تُمثل الدارة نيروستور عندما $\tau = 1.00 \times 10^{-6}$ s. **0.2pt**