

الديناميكا غير الخطية في الدوائر الكهربائية

من فضلك قم بقراءة التعليمات العامة الموجودة بالمظروف الجانبي (المنفصل) قبل البدء بحل الأسئلة

المقدمة

تستخدم أشباه الموصلات غير الخطية ثنائية الاستقرار (العناصر ثنائية الاستقرار) مثل الثيرستور في الكثير من الأجهزة الإلكترونية كمفاتيح إلكترونية و كمولدات ذبذبات كهرومغناطيسية. التطبيقات الأساسية للثيرستور هو التحكم في التيار المتردد في الأجهزة الإلكترونية في محطات القوى الضخمة، فمثلاً يمكن استخدامه في تقويم التيار المتردد إلى التيار المستمر بمدى يصل إلى المليون وات.

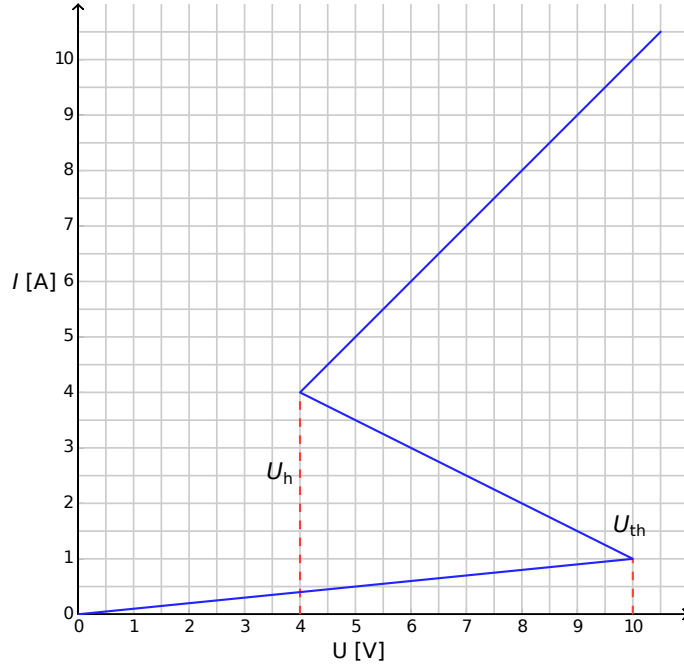
تستخدم أيضاً العناصر ثنائية الاستقرار في عمل نماذج تحاكي الأنظمة ذاتية التنظيم في الفيزياء (سيأتي تفصيل هذه الفقرة في الجزء B من السؤال) وفي علم الأحياء (التوضيح بالفقرة C) وكذلك في مختلف العلوم الحديثة غير الخطية.

الأهداف

دراسة عدم الاستقرار والديناميكا المعقدة في الدوائر الكهربائية بما في ذلك العناصر ذات الخصائص غير الخطية عند دراسة العلاقة بين فرق الجهد وشدة التيار ($I - V$). كذلك دراسة إمكانية تطبيق مثل تلك الدوائر في الأنظمة الهندسية وأجسام الكائنات الحية.

الجزء B . حالات الثبات وعدم الثبات (3 درجات)

الشكل (1) يوضح ما يسمى خصائص الشكل البياني S في العلاقة غير الخطية بين فرق الجهد وشدة التيار ($I - V$) للعنصر غير الخطي X . في مدى قيمة الجهد بين $U_{th} = 4.00 \text{ V}$ (جهد الثبات أو جهد التحول في قيم التيار) والقيمة $U_{th} = 10.0 \text{ V}$ (جهد العتبة) ، خصائص هذه العلاقة $I - V$ عديدة القيم. لتبسيط الأمر تم اختيار الشكل البياني في الشكل (1) ليكون عبارة عن أجزاء (فروع) خطية تقريباً (كل جزء عبارة عن خط مستقيم) . بشكل خاص ، فإنه عند رسم امتداد الخط العلوي فإن امتداده سيمر بنقطة الأصل. التقريب يعطي وصف جيد للثيرستور الحقيقي.



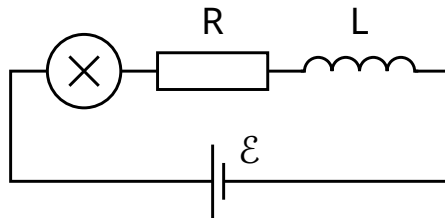
الشكل (1): خصائص العلاقة $I - V$ للعنصر غير الخطي X .

A.1 باستخدام الرسم البياني عين المقاومة R_{on} للعنصر X في الفرع (الجزء) العلوي من العلاقة $I - V$ وكذلك R_{off} على الجزء (الفرع أو المقطع) السفلي للعلاقة. الجزء المتوسط يوصف من العلاقة: **0.4pt**

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

أوجد العلاقة للمتغيرات (للبارميترات) R_{int} و I_0

العنصر X يتم توصيله على التوالي مع المقاومة R وملف حثي L ومصدر جهد مثالي \mathcal{E} (انظر الشكل 2). تكون الدائرة في حالة ثبات إذا كانت قيمة التيار مقدار ثابت عند الزمن $I(t) = \text{const}$.



الشكل 2: دائرة كهربائية من العنصر X والمقاومة R وملف الحث L ومصدر الجهد \mathcal{E} .

A.2 ما هو عدد حالات الاستقرار للدائرة بالشكل 2 عندما يكون قيمة الجهد للمصدر \mathcal{E} ثابتة عندما تكون قيمة المقاومة $R = 3.00 \Omega$ وكيف تتغير الإجابة إذا كانت المقاومة $R = 1.00 \Omega$. **1pt**

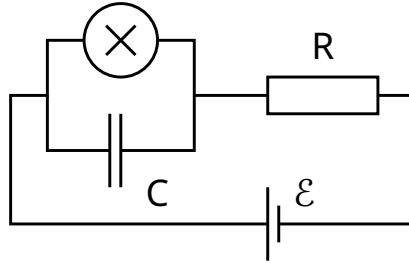
A.3 في الدائرة الموضحة بالشكل 2 ، اجعل قيمة المقاومة والحث $R = 3.00 \Omega$ ، $L = 1.00 \mu\text{H}$ وجهد المصدر $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$. قيم بتعيين قيم تيار الاستقرار $I_{\text{stationary}}$ وجهد الاستقرار $V_{\text{stationary}}$ على العنصر غير الخطي X في حالة الاستقرار.

الدائرة الكهربائية بالشكل 2 في حالة ثبات عندما $I(t) = I_{\text{stationary}}$ ، تم إضافة تيار جزئي δI للتيار الأساسي لتكون قيمة التيار $I = I_{\text{stationary}} + \delta I$. إذا نقصت قيمة التيار الجزئي مع الزمن $|\delta I(t)|$ يمكن وصف حالة الثبات بالاستقرار إذا عاد التيار الكهربائي لحالة الثبات بعد الإزاحة الصغيرة (زيادة التيار أو نقصانه) أما إذا ظل النظام يتحرك بعيداً عن حالة الثبات يقال عن حالة الثبات أنها غير مستقرة.

A.4 استخدم قيم رقمية للسؤال (A.3) ثم قم بدراسة مدى الاستقرار لحالة الثبات عندما $I(t) = I_{\text{stationary}}$. كيف يتغير قيمة التيار الجزئي $\delta I(t)$ مع الزمن عندما $\delta I(0) > 0$ و $\delta I(0) < 0$ ؟ هل هناك استقرار أم عدم استقرار؟

الجزء B : العناصر غير الخطية ثنائية الاستقرار (5 درجات)

الآن نقوم بدراسة تركيب جديد للدائرة الكهربائية (انظر الشكل 3) . هذه المرة تم توصيل العنصر غير الخطي X على التوازي مع مكثف ذو سعة $C = 1.00 \mu\text{F}$ ، ثم تم توصيلهم على التوالي مع مقاومة ذات قيمة $R = 3.00 \Omega$ ومصدر جهد مثالي $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$. لوحظ أن تلك الدائرة تعاني تذبذب مع العنصر غير الخطي X حيث يتأرجح بين جزء (فرع) وجزء (فرع) آخر على العلاقة $I - V$ في الدورة الواحدة.



شكل 3: دائرة تحتوي على العنصر X ومكثف C ومقاومة R ومصدر جهد \mathcal{E} .

B.1 ارسم دورة التذبذب على الرسم البياني للعلاقة $I - V$ متضمناً الاتجاه (في اتجاه عقارب الساعة أم في عكس اتجاه عقارب الساعة) . وضح إجابتك باستخدام المعادلات والرسم التخطيطية.

B.2 أوجد علاقات لكل من الزمن t_1 و t_2 الذي يستغرقه النظام في كل فرع من الرسم البياني للعلاقة $I - V$ وذلك خلال دورة التذبذب. كذلك حدد قيمهم العددية. أوجد القيم العددية لفترة التذبذب T متجاهلاً الزمن اللازم للتأرجح بين الفروع (الأجزاء) على الرسم البياني للعلاقة $I - V$.

B.3 قم بتقدير متوسط القدرة المفقودة P بواسطة العنصر غير الخطي عبر دورة واحدة للتذبذب. رتبة المقدار كافية.

تستخدم الدائرة بالشكل 3 في بناء أجهزة إرسال الراديو. لعمل ذلك يتم توصيل العنصر X لأحد نهايتي هوائي (سلك طويل مستقيم) خطي طوله s . الطرف الثاني من الهوائي (السلك) سيكون حرراً. تتكون الموجات الموقوفة الكهرومغناطيسية في الهوائي. إن سرعة الموجات

الكهرومغناطيسية في الهوائي هي نفسها في الفراغ. يستخدم النظام النغمة الأساسية للنظام والتي لها الزمن الدوري T الموجودة بالسؤال B.2.

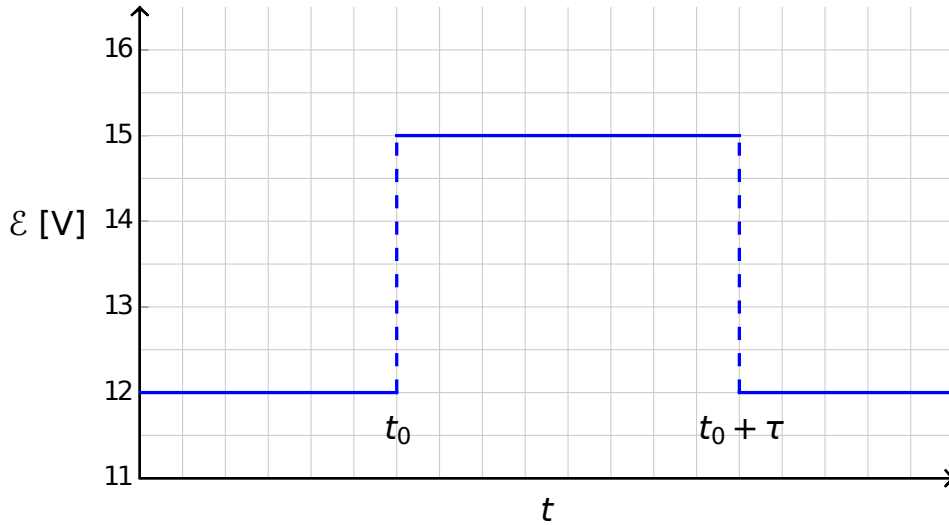
0.6pt

B.4 ما هي أفضل قيمة للطول s مفترضاً أن الطول لا يزيد عن 1 km ؟

الجزء C. العناصر غير الخطية ثنائية الاستقرار في علم الأحياء: نيروستور (2 درجة)

في هذا الجزء من السؤال ، سنقوم بتطبيق استخدام العناصر غير الخطية ثنائية الاستقرار في عمل نماذج محاكاة للعمليات الحيوية في أجسام الكائنات الحية. النيرون (الخلية العصبية) في مخ الإنسان لها الخصائص التالية : عند إثارتها بمؤثر خارجي تقوم بعمل ذبذبة واحدة ثم تعود لحالتها الأولى. هذه الخاصية تسمى قابلية الإثارة. بسبب هذه الخاصية تنتشر (النبضة) الإشارة العصبية في الشبكة المكونة من ثنائيات الخلايا العصبية المكونة للأنظمة العصبية. يتم تصميم رقاقة إلكترونية لمحاكاة قابلية الإثارة وانتشار النبضة وتسمى هذه الرقاقة بالنيروستر (الاسم مكون من كلمتي نيرون وترانزستور)

سنقوم بمحاولة تصميم نموذج للنيروستور باستخدام دائرة كهربائية تحتوي على عنصر غير خطي X والذي قمنا بدراسته سابقاً. يقل الجهد \mathcal{E} بالدائرة بالشكل 3 إلى القيمة $\mathcal{E}' = 12.0 \text{ V}$. يتوقف التذبذب ويصل النظام إلى حالة الثبات. بعد ذلك يتزايد الجهد بسرعة ليصل للقيمة $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$ وبعد فترة من الزمن τ حيث $(\tau < T)$ يتم إعادة الجهد مرة أخرى للقيمة \mathcal{E}' (انظر شكل 4). يتضح أن هناك قيمة حرجة معينة τ_{crit} ويظهر النظام اختلاف نوعي في السلوك لكل من $\tau < \tau_{\text{crit}}$ و $\tau > \tau_{\text{crit}}$.



شكل 4: جهد المصدر كدالة في الزمن

C.1 ارسم الخط البياني للزمن المرتبط بالتيار $I_X(t)$ على العنصر غير الخطي X لكل من $\tau < \tau_{\text{crit}}$ و $\tau > \tau_{\text{crit}}$. 1.2pt

C.2 أوجد العلاقة وكذلك القيم الرقمية للزمن الحرج τ_{crit} والذي عنده يتبدل الحدث. 0.6pt

C.3 هل تعتبر الدائرة نيروستر عند القيمة $\tau = 1.00 \times 10^{-6} \text{ s}$. 0.2pt