

## الديناميكا غير الخطية في الدوائر الكهربائية ( 10 علامات)

الرجاء قراءة التعليمات العامة في المغلف المنفصل قبل البدء في هذا السؤال.

### مقدمة

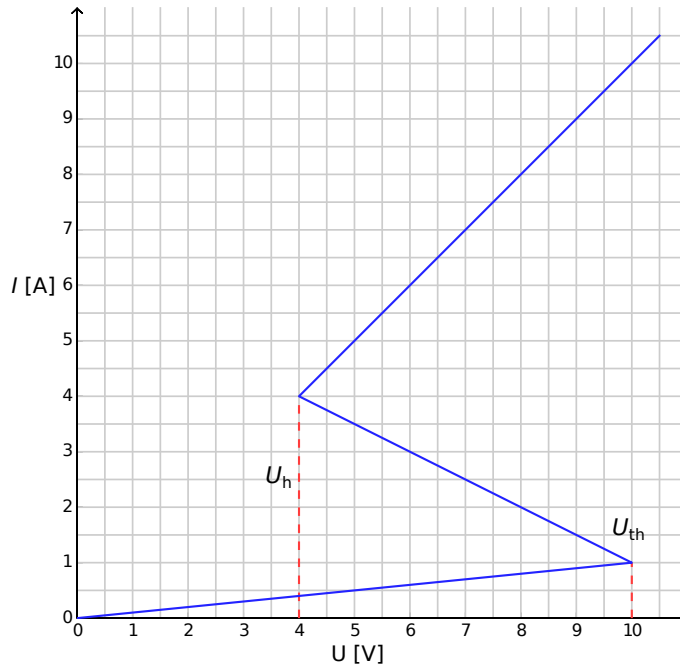
يتم استخدام عناصر أشباه الموصلات غير الخطية ذات الاستقرار المزدوج (مثل الثايرستور thyristors) بشكل واسع في الإلكترونيات كمفاتيح تحكم و مولدات للاهتزازات الكهرومغناطيسية. المجال الأساسي لتطبيقات الثايرستور هو التحكم بالتيارات المترددة في إلكترونيات القدرة، على سبيل المثال تقويم التيار المتردد AC إلى مستمر DC على مستوى قدرات بالميجاوات. تستخدم العناصر ذات الاستقرار المزدوج لانتاج نماذج أنظمة الظواهر ذات التنظيم الذاتي في الفيزياء (تتم تغطية هذا الموضوع في الجزء B من هذه المسألة)، الأحياء (biology) ( انظر الجزء C) و المجالات الأخرى في العلوم غير الخطية.

### الأهداف

دراسة عدم الاستقرار و الديناميكا الغير بديهية بالدوائر الكهربائية التي تحتوي على عناصر ذات منحنى مميز  $I - V$  غير خطي. اكتشاف التطبيقات الممكنة لمثل هذه الدوائر في الهندسة وعمل نماذج أنظمة حيوية.

### جزء A: حالات الثبات و عدم الاستقرار ( 3 علامات)

شكل 1: يعرض ما يسمى بشكل S ( S-shaped ) لتغير المنحنى المميز للتيار مع الجهد  $I - V$  لعنصر غير خطي  $X$ . في مدى الجهد بين جهد الإمساك  $U_h = 4.00 \text{ V}$  ( جهد الـ holding the voltage) و جهد العتبة  $U_{th} = 10.0 \text{ V}$  ( جهد العتبة voltage threshold) وتغير التيار مع الجهد لمنحنى  $I - V$  المميز هنا يكون متعدد القيم. للتبسيط، يتم دراسة الرسم البياني في الشكل 1 على أنه خطي لكل قطعة ( كل فرع هو قطعة من خط مستقيم). وعلى وجه الخصوص فإن الفرع العلوي يلامس نقطة الأصل اذا تم مده. هذا التقريب يعطي وصف جيد للثايرستور الحقيقي.



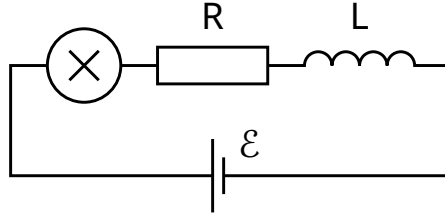
شكل 1: رسم التيار مع الجهد  $I - V$  المميز لعنصر غير خطي  $X$ .

**A.1** باستخدام الرسم. حدد المقاومة  $R_{\text{on}}$  للعنصر  $X$  على الفرع العلوي لمنحنى  $I - V$  المميز، و  $R_{\text{off}}$  على الفرع السفلي على التوالي. يمثل الفرع المتوسط بالمعادلة

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

أوجد قيم المعاملات  $R_{\text{int}}$  و  $I_0$ .

تم وصل العنصر  $X$  على التوالي (انظر شكل 2) مع المقاومة  $R$  والملف الحثي  $L$  ومصدر جهد مثالي  $\mathcal{E}$ . يمكن القول أن الدائرة الكهربائية في حالة ثبات إذا كان التيار الكهربائي مع الزمن  $I(t) = \text{const}$ .



شكل 2: الدائرة بالعنصر  $X$ ، المقاومة  $R$ ، ملف الحث  $L$  ومصدر الجهد  $\mathcal{E}$ .

**A.2** ما هي الأعداد الممكنة لحالات الثبات المختلفة للدائرة في الشكل 2 وذلك عندما تكون قيمة  $\mathcal{E}$  ثابتة (بأخذ  $R = 3.00 \Omega$  و  $R = 1.00 \Omega$ ؟ كيف ستختلف الإجابة ل  $\mathcal{E}$ ؟

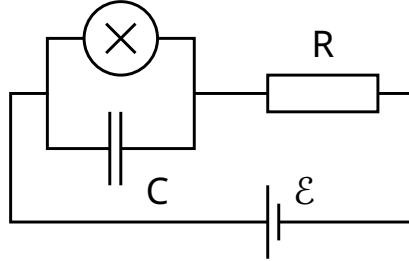
**A.3** بأخذ قيم  $L = 1.00 \mu\text{H}$ ,  $R = 3.00 \Omega$ , و  $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$  في الدائرة المعطاة بالشكل 2. حدد قيم التيار  $I_{\text{stationary}}$  و الجهد  $V_{\text{stationary}}$  للعنصر الغير خطي  $X$  في حالة الثبات.

الدائرة في شكل 2 هي في حالة الثبات حيث  $I(t) = I_{\text{stationary}}$ . وتسمى حالة الثبات هذه مستقرة (stable) اذا تم عمل إزاحة صغيرة (زيادة أو نقص بالتيار) يعود التيار الى حالة الثبات. أما إذا كان النظام يبتعد عن حالة الثبات فإن حالة الثبات تكون غير مستقرة.

**A.4** استخدم القيم العددية للسؤال **A.3** و أدرس استقرار حالة الثبات عندما  $I(t) = I_{\text{stationary}}$ . هل حالة الثبات مستقرة أم غير مستقرة؟

### جزء B: العناصر الغير خطية ذات الإستقرار المزوج في الفيزياء: مرسل الراديو (5 علامات)

نقوم الآن بالبحث في ترتيب دائرة كهربائية جديدة (انظر شكل 3). في هذه الحالة يتم وصل العنصر غير الخطي  $X$  على التوازي مع مكثف بسعة  $C = 1.00 \mu\text{F}$ . وهذه المجموعة موصولة على التوالي إلى مقاومة  $R = 3.00 \Omega$  ومصدر جهد مثالي بجهد  $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$ . وهذا يؤدي أن هذه الدائرة تمر باهتزازات بحيث أن العنصر غير الخطي  $X$  يقفز من أحد فروع منحنى  $I - V$  المميز إلى الأخر على مدى دورة واحدة.



شكل 3: الدائرة بالعنصر  $X$ ، المكثف  $C$ ، المقاومة  $R$  و مصدر الجهد  $\mathcal{E}$ .

**B.1** ارسم دورة الاهتزاز على منحنى  $I - V$ ، مبيناً اتجاهه (مع عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة) أدمع إجابتك 1.8pt بالمعادلات والرسم التوضيحي.

**B.2** أوجد تعبيرات رياضية للأوقات  $t_1$  و  $t_2$  التي يمضيها النظام على كل فرع من منحنى  $I - V$  خلال دورة الاهتزاز. حدد قيمها الرقمية. أوجد القيمة العددية للزمن الدوري للاهتزاز  $T$  بفرض أن الزمن اللازم للقفزات بين الفروع لمنحنى  $I - V$  يكون مهملاً. 1.9pt

**B.3** قدر معدل القدرة المبذولة  $P$  للعنصر غير الخطي على مدى اهتزازة كاملة. يكفي إعطاء قيمة تقريبية عامة. 0.7pt

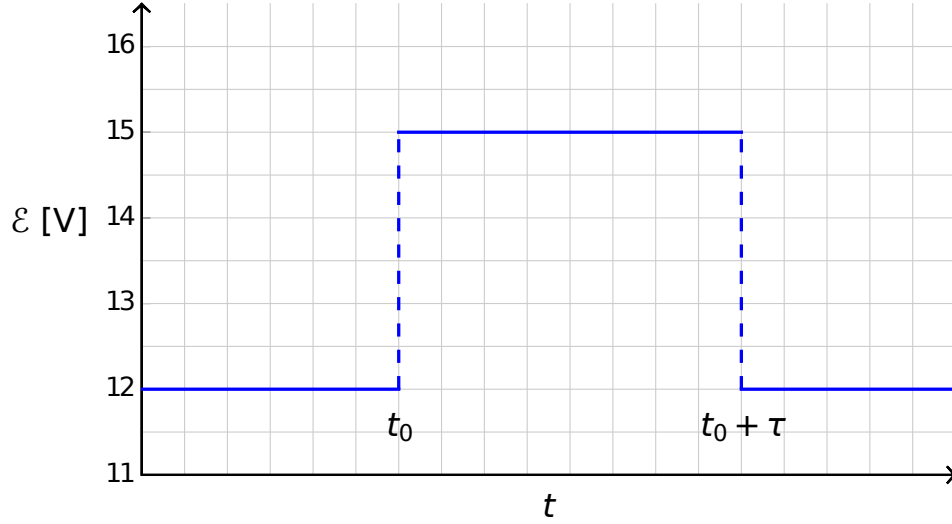
الدائرة في شكل 3 تستخدم لبناء مرسل راديو. لهذا الغرض يتم وصل العنصر  $X$  بأحد أطراف هوائي خطي (سلك طويل مستقيم) بطول  $s$ . ويكون الطرف الآخر حر. حيث تتشكل موجة كهرومغناطيسية موقوفة في المرسل. وتكون سرعة الموجة في المرسل كسرعتها بالفراغ. ويستخدم المرسل نفس التوافق الرئيسي للنظام بفترة زمنية  $T$  كما في السؤال **B.2**

**B.4** ما هي القيمة المثلى لـ  $s$  بفرض أنها لا يمكن أن تزيد عن 1 km ؟ 0.6pt

### جزء C: العناصر الغير خطية ذات الإستقرار المزوج في الأحياء: نيورستور(الخلية العصبية الإلكترونية) (2 علامة)

في هذا الجزء من المسألة سنقوم بدراسة تطبيق لعناصر خطية ذات استقرار مزدوج كنموذج لعملية حيوية. لدى الخلية العصبية في الدماغ البشري الخاصية التالية: عند استئارتها بإشارة خارجية فهي تقوم باهتزاز واحد ثم تعود إلى وضعها الابتدائي هذه الميزة تسمى بالاهتجاجية (excitability). وبسبب هذه الخاصية يمكن للنبضات أن تنتشر في شبكة من الأعصاب المزدوجة التي تشكل الجهاز العصبي. تسمى شريحة شبه الموصل المصممة لتقليد الأهتجاج و انتشار النبضات بنيورستور (neuristor) (و التي تم اشتقاق اسمها من كلمتين عصب neuron و ترانزيستور transistor).

نحاول إنتاج نموذج لنيورستور بسيط باستخدام دائرة كهربائية تحتوي على العنصر غير الخطي  $X$  الذي درسناه سابقاً. لهذا الغرض يتم خفض الجهد  $\mathcal{E}$  في الدائرة في الشكل 3 لقيمة  $\mathcal{E}' = 12.0 \text{ V}$ . تتوقف الاهتزازات و يصل النظام إلى حالة الثبات الخاصة به. ثم تتم زيادة الجهد بشكل سريع إلى قيمة  $\mathcal{E} = 15.0 \text{ V}$  مرة أخرى، ثم بعد فترة من الزمن  $\tau$  (حيث  $\tau < T$ ) يتم إعادته إلى القيمة  $\mathcal{E}'$  مرة أخرى ( انظر شكل 4). نجد أن هناك قيمة حرجة  $\tau_{crit}$ ، حيث يظهر النظام تصرف مختلف لقيم  $\tau < \tau_{crit}$  و  $\tau > \tau_{crit}$ .



شكل 4: جهد مصدر الجهد بدلالة الزمن.

**C.1** ارسم الرسوم البيانية التي تمثل اعتماد التيار  $I_X(t)$  على الزمن للعنصر غير الخطي  $X$  لقيم  $\tau < \tau_{crit}$  و  $\tau > \tau_{crit}$ . **1.2pt**

**C.2** أوجد التعبير الرياضي و القيمة العددية للزمن الحرج  $\tau_{crit}$  التي ينعكس عندها السيناريو (طريقة تصرف النيورستور). **0.6pt**

**C.3** هل الدائرة الكهربائية بقيمة  $\tau = 1.00 \times 10^{-6}$  s نيورستور؟ **0.2pt**