

التحليل بفضاء الحالة

(١٦.١) المقدمة والأهداف

كانت معظم تحليلات الأنظمة في الفصول السابقة بسيطة نسبياً، بدخل واحد وخرج واحد. نحن الآن لدينا الأدوات اللازمة أو الضرورية لمواجهة الأنظمة الكبيرة. من الممكن أن يكون تحليل الأنظمة الكبيرة مملاً وعرضة للأخطاء نتيجة حجم نظام المعادلات الكبير المطلوب لوصف هذه الأنظمة وعدد المعالجات المطلوبة لإيجاد حل لهذه المعادلات. لذلك كان من الضروري أن نوجد خطوات منتظمة لتعييننا على التعامل مع الأنظمة الكبيرة وأن نوجد حلولاً لهذه الأنظمة بدون أخطاء وبدون تضييع أزمنة كبيرة. طريقة مشهورة لتحليل الأنظمة الكبيرة تكون من خلال تحليل فراغ الحالة state space analysis باستخدام متغيرات الحالة.

أهداف الفصل

- ١- تنظيم عملية تحليل الأنظمة الكبيرة .
- ٢- التعرف على درجة النظام ثم نحدد له متغيرات الحالة تبعاً لذلك.
- ٣- تطبيق طرق المصفوفات التي تخفي تعقيد النظام في صورة مدمجة .
- ٤- تحديد عمليات معينة على النظام ومعاملاته التي تغلف أو تحتوي صفات النظام.
- ٥- إيجاد العلاقة بين التحليل بالحالة الفراغية ودوال العبور .
- ٦- تعلم كيفية التحويل من واحد من متغيرات الحالة إلى متغير حالة آخر وكيفية وضع متغيرات الحالة التي تصف الأنظمة في صورة قطرية .
- ٧- التألف والتعود على استخدام أدوات ماتلاب في تحليل فضاء الحالة .
- ٨- تطبيق طرق الحالة الفراغية على كل من الأنظمة المستمرة زمنياً والأنظمة المتقطعة زمنياً .

(١٦.٢) الأنظمة المستمرة زمنياً

أي مجموعة من متغيرات الحالة هي مجموعة الإشارات في هذا النظام، التي مع بعضها بعضاً، ومع إثارات النظام، تحدد حالة النظام بالكامل عند أي زمن مقبل. افترض المرشح RC المنفذ للترددات المنخفضة. نريد أن نعرف الجهد المبدي على المكثف من أجل أن نصل للشوايت الاختيارية ونحصل على الحل الصحيح لاستجابة الجهد المستقبلية. في دائرة RLC سنحتاج لكل من الجهد المبدي على المكثف والتيار البدي في الملف. جهد المكثف والتيار الملف يعتبران أمثلة بسيطة على متغيرات الحالة، وقيمهما تحدد تماماً حالة النظام عند أي زمن. بمجرد معرفتنا لهذين المتغيرين وديناميكية النظام والإثارة فإنه يمكننا معرفة أي شيء آخر نريده لتحديد حالة النظام في الأزمنة المستقبلية.

كل نظام له درجة. درجة النظام هي نفسها عدد متغيرات الحالة الضرورية من أجل التحديد الفريد لحالته. إذا كان النظام موصوفاً بمعادلة تفاضلية أو معادلة فرقية واحدة، فإن درجة النظام تكون هي نفسها درجة هذه المعادلة. إذا كان النظام موصوفاً بعدد من المعادلات المستقلة، فإن درجته تكون مجموع درجات هذه المعادلات. عدد متغيرات الحالة المطلوبة لأي نظام تحدد حجم متجه الحالة وبالتالي عدد الأبعاد في فراغ الحالة، والتي تعتبر مجرد مثال محدد لفراغ المتجه. بعد ذلك يمكن تصور أو وضع حالة النظام كموضع في فراغ الحالة. من المصطلحات الشائعة أنه مع استجابة النظام للإثارات، فإن حالة النظام تتبع مساراً معيناً خلال هذا الفراغ.

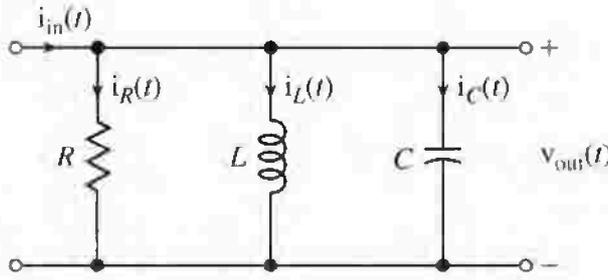
متغيرات الحالة لأي نظام ليست فريدة. قد يختار شخص ما مجموعة من هذه المتغيرات، ويختار شخص آخر مجموعة أخرى، وكل من المجموعتين تكونان صحيحتين وكاملتين. على الرغم من ذلك، ففي العديد من الحالات قد تكون هناك مجموعة واحدة من متغيرات الحالة تكون أكثر ملاءمة عن المجاميع الأخرى في بعض أغراض التحليل. يتميز التحليل بفراغ الحالة بالميزات المطلوبة التالية:

- ١- أنه يقلل احتمالات أخطاء التحليل عن طريق جعل العملية أكثر نظامية.
- ٢- يصف كل إشارات النظام المهمة الداخلية والخارجية.
- ٣- يعير الاهتمام إلى ديناميكية النظام وهذا من الممكن أن يساعد في أمثلة التصميم.
- ٤- يمكن تشكيله في صورة طرق مصفوفية، وعند عمل ذلك، فإن حالة النظام واستجاباته يمكن وصفها بمعادلتين مصفوفيتين.
- ٥- عند دمج طرق تحليل متغيرات الحالة مع الطرق التحويلية فإنهما يكونان أكثر قوة في تحليل الأنظمة الكبيرة.

معادلات النظام والخرج

لكي نتعرف على طرق تحليل فراغ الحالة، سنبدأ بتطبيقها على نظام بسيط وهو دائرة توازي RLC كما موضحة في شكل (١٦.١). سنفترض أن الإثارة هي التيار عند منفذ الدخل $i_{in}(t)$ وسنفترض أن الاستجابات ستكون عند المخرج $v_{out}(t)$ ، وأن التيار خلال المقاومة سيكون $i_R(t)$. بتجميع التيارات عند العقدة العليا ومساواته بالصفر نحصل على:

$$Gv_{out}(t) + \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t v_{out}(\lambda) d\lambda + C v'_{out}(t) = i_{in}(t)$$



شكل رقم (١٦.١) دائرة RLC على التوازي

حيث $G=1/R$ ، وهذه معادلة تفاضلية تكاملية. يمكننا أن نفاضل الطرفين بالنسبة للزمن لنكون معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية. لذلك فإن هذا النظام يكون من الدرجة الثانية.

بدلاً من أن نبدأ بالحل الفوري لهذه المعادلة في صورتها الحالية، فإننا سنعيد صياغة المعلومات التي تحتويها. سنحدد جهد المكثف على أنه $v_c(t)$ وأن تيار الملف هو $i_L(t)$ على أنها المتغيرات الفراغية. الوصف القياسي لمتغيرات الحالة لأي نظام يكون من مجموعتين من المعادلات وهما معادلات النظام ومعادلات الخرج. معادلات النظام تكون مكتوبة في صورة قياسية. كل معادلة يكون بها تفاضل لأحد متغيرات الحالة على الجانب الأيسر وتجميع خطي لمتغيرات الحالة والإثارات على الجانب الأيسر. باستخدام قانون أوم وقوانين كيرتشفوف مع تحديد معادلات للملفات والمكثفات، يمكننا أن نكتب معادلات النظام كما يلي:

$$i'_L = (1/L)v_c(t)$$

وأيضاً:

$$v'_c(t) = (1/C)i_L(t) - (G/C)v_c(t) + (1/C)i_{in}(t)$$

معادلات الخرج تعبر عن الاستجابات كتجميع خطي لمتغيرات الحالة، والتي ستكون على الصورة التالية

في هذه الحالة:

$$v_{out}(t) = v_c(t)$$

وأيضاً:

$$i_R(t) = G v_C(t)$$

يمكن إعادة صياغة معادلات النظام في الصورة المصفوفية التالية :

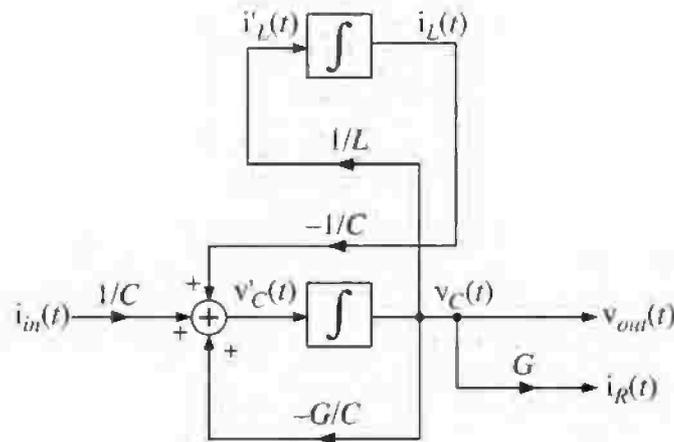
$$\begin{bmatrix} i'_L(t) \\ v'_C(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1/L \\ -1/C & -G/C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_C(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/C \end{bmatrix} = [i_{in}(t)]$$

ويمكن كتابة معادلات الخرج أيضاً في الصورة المصفوفية التالية :

$$\begin{bmatrix} v_{out}(t) \\ i_R(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_C(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = [i_{in}(t)]$$

متغيرات الحالة تبدو بدرجة كبيرة مثل استجابات النظام. التمييز بين متغيرات الحالة والاستجابات يأتي فقط من طريقة استخدامها. متغيرات الحالة هي مجموعة إشارات النظام التي تصف بالكامل حالة النظام. استجابات النظام هي الإشارات التي يتم تحديدها اختيارياً كاستجابات لأي غرض من أغراض النظام قد نحتاجه عند أي تحليل للنظام. متغير الحالة من الممكن أن يكون أيضاً استجابة. ولكن حتى لو كان أي متغير حالة هو نفسه استجابة في تحليل معين للنظام، فإنه في صورة المعادلات الفراغية سنعطي كل منهما اسماً مختلفاً عن الآخر وذلك نكون أكثر تنظيماً. قد يبدو ذلك إهداراً للزمن، ولكن في تحليل الأنظمة الكبيرة فإنها تكون فعلاً فكرة جيدة ومن الممكن أن تمنع الكثير من الأخطاء.

إعادة الصياغة في صورة متغيرات الحالة لأي نظام تجعل عملية رسم المخطط الصندوقي لهذا النظام عملية سهلة ونظامية. مثلاً، يمكن رسم المخطط الصندوقي للنظام السابق بطريقة مباشرة من خلال معادلات النظام كما في شكل (١٦.٢).



شكل رقم (١٦.٢) مخطط صندوقي لمتغيرات الحالة للدائرة RLC المتوازية

سنرمز لمتجه متغيرات الحالة على أنه $q(t)$ ، ومنتجه الإثارة على أنه $x(t)$ ومنتجه الاستجابات على أنه $y(t)$. المصفوفة التي تحتوي $q(t)$ في معادلة النظام (١٦.١) تسمى عرفياً بالاسم A والمصفوفة التي تحتوي $x(t)$ في معادلة النظام تسمى عرفياً بالاسم B. المصفوفة التي تضرب $q(t)$ في معادلة الخرج (١٦.٢) تسمى عرفياً بالاسم C

والمصفوفة التي تضرب $x(t)$ في معادلة الخرج تسمى عرفياً بالاسم D . باستخدام هذا المصطلح يمكننا أن نكتب معادلة النظام كما يلي:

$$q'(t) = Aq(t) + Bx(t)$$

حيث في هذه الحالة يكون:

$$q(t) \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & 1/L \\ -1/C & -G/C \end{bmatrix} B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1/C \end{bmatrix}, x(t) = [i_{in}(t)]$$

يمكننا كتابة معادلة الاستجابة كما يلي:

$$y(t) = Cq(t) + Dx(t)$$

حيث في هذه الحالة:

$$y(t) = \begin{bmatrix} v_{out}(t) \\ i_R(t) \end{bmatrix}$$

تمثل متجه الاستجابات. وأيضاً:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & G \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(معادلة الاستجابة تسمى عرفياً معادلة الخرج). مهما كانت درجة تعقيد النظام، مع التحديد المناسب لمتجهات متغيرات الحالة ومصفوفاتها، فإن معادلات النظام والخرج للأنظمة LTI من الممكن عادة كتابتها مثل معادلتنا المصفوفات السابقة. في هذا المثال البسيط نسبياً، فإن قوة هذه الطريقة قد لا تبدو ظاهرة، لأن حل نظام بمثل هذه البساطة لا يكون صعباً باستخدام الطرق الكلاسيكية. ولكن عندما يصبح النظام كبيراً، فإن هذه الطريقة الجديدة النظامية تكون أكثر تفضيلاً عن الطرق الأقل نظامية.

لقد قمنا حتى الآن بوصف النظام ولكننا لم نحل المعادلات. واحدة من الاعتبارات القوية في طريقة صياغة فراغ الحالة لتحليل الأنظمة تمثل الطريقة المباشرة والنظامية التي يمكن بها حل هذه المعادلات. معادلات الحالة هي:

$$q'(t) = Aq(t) + Bx(t)$$

$$y(t) = Cq(t) + Dx(t)$$

من الواضح أنه إذا كنا نستطيع إيجاد متجه الحل $q(t)$ فإنه يمكننا فوراً حساب متجه الاستجابة $y(t)$ حيث إن متجه الإثارة $x(t)$ يكون معروفاً. لذلك فإن عملية الحل ستكون أن نوجد أولاً حلاً لمعادلة النظام.

من الممكن أن نوجد حلاً مباشراً في النطاق الزمني من هذه المعادلات المصفوفية، ولكن من الأسهل أن نستخدم تحويل لابلاس أحادي الجانب للمساعدة في إيجاد هذا الحل. بإجراء تحويل لابلاس على معادلة النظام نحصل على ما يلي:

$$sQ(s) - q(0^-) = AQ(s) + BX(s)$$

أو:

$$[sI - A]Q(s) = BX(s) + q(0^-)$$

حيث $q(0^-)$ هي متجه القيم الابتدائية لمتغيرات الحالة. يمكن حل هذه المعادلة لـ $Q(s)$ بضرب الطرفين في $[sI-A]^{-1}$ كما يلي:

$$\text{المعادلة رقم (١٦.٣)} \quad Q(s) = [sI - A]^{-1}[BX(s) + q(0^-)]$$

المصفوفة $[sI-A]^{-1}$ يتم الرمز لها في العادة بالرمز $\Phi(s)$. باستخدام ذلك تصبح المعادلة (١٦.٣) كما يلي:

$$\text{المعادلة رقم (١٦.٤)} \quad Q(s) = \Phi(s)[BX(s) + q(0^-)] = \underbrace{\Phi(s)BX(s)}_{\text{استجابة الدخل صفر}} + \underbrace{\Phi(s)q(0^-)}_{\text{استجابة الحالة صفر}}$$

ومن الواضح أن متجه الحالة يتكون من جزأين وهما استجابة الحالة صفر واستجابة الدخل صفر. يمكننا

الآن أن نوجد الحل في النطاق الزمني عن طريق إجراء تحويل لابلاس العكسي للمعادلة (١٦.٤):

$$q(t) = \underbrace{\Phi(t) * Bx(t)}_{\text{استجابة الدخل صفر}} + \underbrace{\Phi(t)q(0^-)}_{\text{استجابة الحالة صفر}}$$

حيث:

$$\Phi(t) \xleftrightarrow{L} \Phi(s)$$

و $\square(t)$ تسمى مصفوفة نقل الحالة. الاسم "مصفوفة نقل الحالة" يأتي من حقيقة أنه بمجرد معرفة الحالة الابتدائية والإشارات، فإن $\square(t)$ هي التي تسمح لنا بحساب

حالة عند أي زمن مستقبلي، أي أن $\square(t)$ هي التي تسمح لنا بحساب الطريقة التي سينتقل بها النظام من حالة معينة إلى حالة أخرى.

سنطبق الآن هذه الطريقة على المثال السابق. المصفوفات في معادلة الحالة هي:

$$q(t) \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_C(t) \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & 1/L \\ -1/C & -G/C \end{bmatrix} B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1/C \end{bmatrix}, x(t) = [i_{in}(t)]$$

لكي نجعل المشكلة أكثر تحديداً سنفترض أن تيار الإثارة هو وحدة الخطوة كما يلي:

$$i(t) = Au(t)$$

وسنفترض أن الحالة أو الشروط الابتدائية هي:

$$q(0^-) = \begin{bmatrix} i_L(0^-) \\ v_C(0^-) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

وسنفترض أن قيم المكونات هي $R=1/3$ ، و $C=1$ ، و $L=1$. باستخدام حقيقة أن مقلوب المصفوفة هو تبديل

مصفوفة المعاملات الفرعية مقسومة على محددها:

$$\Phi(s) = (sI - A)^{-1} = \begin{bmatrix} s & -1/L \\ 1/C & s + G/C \end{bmatrix}^{-1} = \frac{\begin{bmatrix} s+G/C & 1/C \\ -1/L & s \end{bmatrix}^T}{s^2 + (G/C)s + 1/LC}$$

$$\Phi(s) = \frac{\begin{bmatrix} s+G/C & 1/C \\ -1/L & s \end{bmatrix}}{s^2 + (G/C)s + 1/LC}$$

والحل لمتغيرات الحالة في النطاق اللاپلاسي سيكون:

$$Q(s) = \Phi(s)[BX(s) + q(0^-)]$$

$$Q(s) = \frac{\begin{bmatrix} s+G/C & 1/C \\ -1/L & s \end{bmatrix}}{s^2+(G/C)s+1/LC} \begin{bmatrix} 0 \\ 1/C \end{bmatrix} [1/s] + \frac{\begin{bmatrix} s+G/C & 1/C \\ -1/L & s \end{bmatrix}}{s^2+(G/C)s+1/LC} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

أو:

$$Q(s) = \frac{\begin{bmatrix} 1/sLC \\ 1/C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L \\ 1 \end{bmatrix}}{s^2+(G/C)s+1/LC}$$

$$Q(s) = \left[\frac{1}{sLC(s^2+(G/C)s+1/LC)} + \frac{1}{L(s^2+(G/C)s+1/LC)} \right] \left[\frac{1}{C(s^2+(G/C)s+1/LC)} + \frac{1}{s^2+(G/C)s+1/LC} \right]$$

بالتعويض بقيم المكونات العددية نحصل على:

$$Q(s) = \left[\frac{1}{s(s^2+3s+1)} + \frac{1}{s^2+3s+1} \right] \left[\frac{1}{s^2+3s+1} + \frac{s}{s^2+3s+1} \right]$$

أو في صورة الكسور الجزئية:

$$Q(s) = \left[\frac{1}{s} + \frac{0.17}{s+2.62} - \frac{1.17}{s+0.382} - \frac{0.447}{s+2.62} + \frac{0.447}{s+0.382} \right] \left[-\frac{0.447}{s+2.62} + \frac{0.447}{s+0.382} + \frac{1.17}{s+2.62} - \frac{0.17}{s+0.382} \right]$$

$$Q(s) = \left[\frac{1}{s} - \frac{0.277}{s+2.62} - \frac{0.723}{s+0.382} \right] \left[\frac{0.723}{s+2.62} + \frac{0.277}{s+0.382} \right]$$

يأجراء تحويل لابلاس العكسي:

$$q(t) = \begin{bmatrix} 1 - 0.277e^{-2.62t} - 0.723e^{-0.382t} \\ 0.723e^{-0.382t} + 0.277e^{-2.62t} \end{bmatrix} u(t)$$

الآن يمكننا إيجاد الاستجابات فوراً باستخدام معادلة الخرج $y(t)=Cq(t)+Dx(t)$.

$$y(t) = A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & G \end{bmatrix} q + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} x = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 - 0.277e^{-2.62t} - 0.723e^{-0.382t} \\ 0.723e^{-0.382t} + 0.277e^{-2.62t} \end{bmatrix} u(t)$$

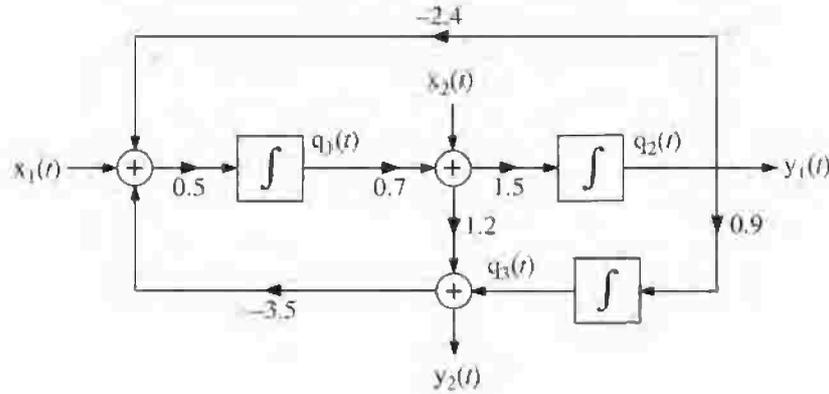
أو:

$$y(t) = \begin{bmatrix} 0.723e^{-0.382t} + 0.277e^{-2.62t} \\ 2.169e^{-0.382t} + 0.831e^{-2.62t} \end{bmatrix} u(t)$$

مثال ١٦.١

تحليل فضاء الحالة لنظام له دخلان وخرجان

اكتب معادلات الحالة للنظام الموضح في شكل (١٦.٣). بعد ذلك أوجد استجابات النظام للدخول

إذا كانت الشروط الابتدائية هي $q_1(0)=2$ و $q_2(0)=0$ و $q_3(0)=-1$ و $x_1(t)=u(t)$ و $x_2(t)=\delta(t)$ ؟

شكل رقم (١٦.٣) نظام له دخلان وخرجان

يمكننا كتابة معادلات الحالة مباشرة من المخطط كما يلي:

$$q'_1(t) = 0.5\{x_1 - 2.4q_2(t) - 3.5(q_3(t) + 1.2[0.7q_1(t) + x_2(t)])\}$$

$$q'_2(t) = 1.5[0.7q_1(t) + x_2(t)]$$

$$q'_3(t) = 0.9q_2(t)$$

$$y_1(t) = q_2(t)$$

$$y_2(t) = q_3(t) + 1.2[0.7q_1(t) + x_2(t)]$$

بوضع هذه المعادلات في صورة مصفوفة متغيرات الحالة القياسية:

$$q'(t) = Aq(t) + Bx(t)$$

$$y(t) = Cq(t) + Dx(t)$$

حيث:

$$A = \begin{bmatrix} -1.47 & -1.2 & -1.75 \\ 1.05 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0.5 & -2.1 \\ 0 & 1.5 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0.84 & 0 & 1 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1.2 \end{bmatrix}, x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix}, y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix}$$

$$\Phi(s) = (sI - A)^{-1} = \begin{bmatrix} s + 1.47 & 1.2 & 1.75 \\ -1.05 & s & 0 \\ 0 & -0.9 & 0 \end{bmatrix}^{-1}$$

$$\Delta = s^2(s + 1.47) - 1.2(-1.05s) + 1.75(0.945) = s^3 + 1.47s^2 + 1.26s + 1.65375$$

$$\Phi(s) = \frac{\begin{bmatrix} s^2 & 1.05s & 0.945 \\ -1.2s-1.575 & s(s+1.47) & 0.9s+1.323 \\ -1.75s & -1.8375 & s^2+1.47s+1.26 \end{bmatrix}^T}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375}$$

$$\Phi(s) = \frac{\begin{bmatrix} s^2 & -1.2s-1.575 & -1.75s \\ 1.05s & s(s+1.47) & -1.8375 \\ 0.945 & 0.9s+1.323 & s^2+1.47s+1.26 \end{bmatrix}}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375}$$

$$X(s) = \begin{bmatrix} 1/s \\ 1 \end{bmatrix}, q(0^-) = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$Q(s) = \Phi(s)[BX(s) + q(0^-)]$$

$$Q(s) = \frac{\begin{bmatrix} s^2 & -1.2s-1.575 & -1.75s \\ 1.05s & s(s+1.47) & -1.8375 \\ 0.945 & 0.9s+1.323 & s^2+1.47s+1.26 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} 0.5 & -2.1 \\ 0 & 1.5 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/s \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \right)}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375}$$

$$Q(s) = \frac{\begin{bmatrix} s^2 & -1.2s-1.575 & -1.75s \\ 1.05s & s(s+1.47) & -1.8375 \\ 0.945 & 0.9s+1.323 & s^2+1.47s+1.26 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.5/s - 0.1 \\ 1.5 \\ -1 \end{bmatrix}}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375}$$

$$Q(s) = \frac{\begin{bmatrix} 0.5s-0.1s^2-1.8s-2.3625+1.75 \\ 0.525-0.105s+1.5s^2+2.205s+1.8375 \\ 0.4725/s-0.0945+1.35s+1.9845-s^2-1.47s-1.26 \end{bmatrix}}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375}$$

$$= \frac{\begin{bmatrix} 0.1s^2-0.45s-2.3625 \\ 1.5s^2+2.1s-2.3625 \\ -s^2-0.12s+0.63+0.4725/s \end{bmatrix}}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375}$$

$$Q_2(s) = \frac{0.1s^2+2.1s-2.3625}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375} = -\frac{0.7628}{s+1.409} + \frac{2.236s-1.041}{s^2+0.6116+1.174}$$

$$Q_1(s) = \frac{-0.1s^2+0.45s-2.3625}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375} = \frac{-1.04}{s+1.409} + \frac{0.9399s-0.8105}{s^2+0.6116+1.174}$$

$$q_1(t) = [1 - 1.04e^{-1.4088t} + 1.2181e^{-0.030579t} \cos(1.083t + 0.425)]u(t)$$

$$q_2(t) = [-0.76283e^{-1.4088t} + 2.4843e^{-0.030579t} \cos(1.083t + 0.42547)]u(t)$$

$$Q_3(s) = \frac{-s^3 - 0.12s^2 + 0.63s + 0.4725}{s(s^3 + 1.47s^2 + 1.26s + 1.65375)} = \frac{0.4951}{s+1.409} + \frac{0.2857}{s} - \frac{0.9399s - 0.8105}{s^2 + 0.6116 + 1.174}$$

$$q_3(t) = [-0.49509e^{-1.4088t} + 2.28571e^{-0.030579t} + 0.98066e^{-0.030579t} \cos(1.083t + 2.5085)]u(t)$$

$$y(t) = Cq(t) + Dx(t)$$

$$y_1(t) = q_2(t) = [-0.76283e^{-1.4088t} + 2.4843e^{-0.030579t} \cos(1.083t + 0.42547)]u(t)$$

$$Y_1(s) = Q_3(s) + 1.2[0.7Q_1(s) + X_3(s)]$$

$$Y_2(s) = -\frac{0.4951}{s+1.409} + \frac{0.2857}{s} - \frac{0.7906s - 0.6041}{s^2 + 0.6116 + 1.174} + 1.2 \left\{ 0.7 \left[\frac{-1.04}{s+1.409} + \frac{0.9399s - 0.8105}{s^2 + 0.6116 + 1.174} \right] + 1 \right\}$$

$$Y_2(s) = -\frac{1.3687}{s+1.409} + \frac{0.2857}{s} - \frac{0.0011s - 0.0767}{s^2 + 0.6116 + 1.174} + 1.2$$

$$y_2(t) = [-1.3687e^{-1.4088t} + 0.2857 + 0.0708e^{-0.030579t} \cos(1.083t + 1.5863)]u(t)$$

أحد الطرق للاختبار السريع لأخطاء التحليل تكون عن طريق مقارنة القيم المحسوبة للحالات عند $t=0^+$ مع ما يجب أن نتوقعه بالنظر المباشر للنظام. الشروط الابتدائية هي $q_1(0)=2$ و $q_2(0)=0$ و $q_3(0)=-1$. عندما $t=0$ فإن الخطوة تبدأ وتحدث الصدمة. إثارة الخطوة لمكامل تعطي استجابة خطية، لذلك فإن الاستجابة نتيجة إثارة الخطوة عند $t=0^+$ تساوي صفرًا. لذلك، فإن كل الحالات تكون إشارة خرج لمكامل، حيث إن الخطوة لن تغير قيم أي حالة في هذا النظام عند $t=0^+$. إثارة الصدمة لمكامل تعطي استجابة خطوة وحجم الخطوة هو شدة الصدمة. في هذا النظام تنتشر الصدمة $x_2(t)=\delta(t)$ خلال نقطة التجميع الوسطى، وتضرب في 1.2، ثم تنتشر خلال نقطة التجميع السفلي، وتضرب في -3.5، ثم تنتشر خلال نقطة التجميع اليسرى، وتضرب في 0.5، ثم يتم تكاملها عن طريق المكامل الأيسر لتوليد استجابة الخطوة التي يتم ضربها في 0.7، وبعد ذلك تنتشر خلال نقطة التجميع الوسطى ويتم ضربها في 1.2 وتنتشر خلال نقطة التجميع السفلي. في الوقت نفسه فإن الصدمة تثير المكامل الذي في أعلى اليمين وتنتج استجابة خطوة، وكل ذلك يحدث وقتياً. لذلك فإن q_1 يجب أن تتغير من قيمتها الابتدائية التي تساوي 2 بمقدار $1.2 \times (-3.5) \times 0.5 = -2.1$. من النتائج التحليلية السابقة:

$$q_1(0^+) = -1.04 + 1.2181 \cos(0.68951) = -0.1$$

قيمة q_2 يجب أن تكون قيمتها الابتدائية التي تساوي الصفر بالإضافة إلى التغير نتيجة الصدمة الذي يساوي

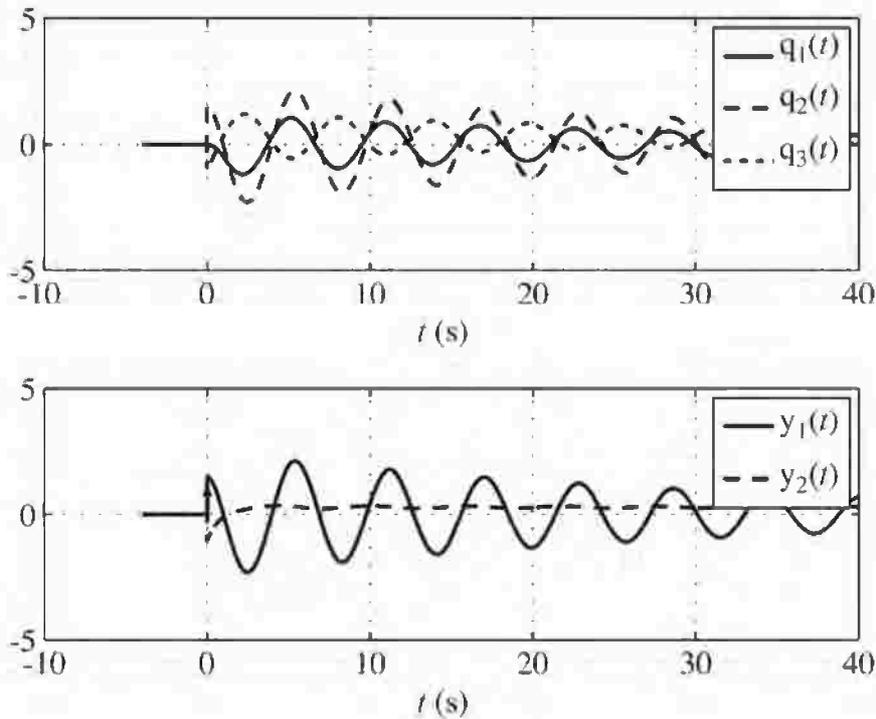
1.5. من النتائج التحليلية نحصل على:

$$q_2(0^+) = -0.76283 + 2.4843 \cos(0.42547) = 1.5$$

قيمة q_3 يجب أن تكون القيمة الابتدائية التي تساوي 1- بدون تغيير؛ لأنه حيث إنها تكون خرجاً مكافئاً والصدمة لا بد أن تنتشر خلال مكاملين لتصل إليها، والصدمة لا يمكن أن تغيرها وقتياً. لذلك فإنها لا بد أن تبقى عند القيمة 1-. من النتائج التحليلية السابقة نحصل على:

$$q_3(0+) = -0.49509 + 0.28571 + 0.98066\cos(-2.5085) = -1$$

هذا التحليل لا يثبت أن النتائج التحليلية تكون صحيحة عند أزمنة أخرى ولكنها تكون اختباراً جيداً للكشف عن الأخطاء كما في شكل (١٦.٤).

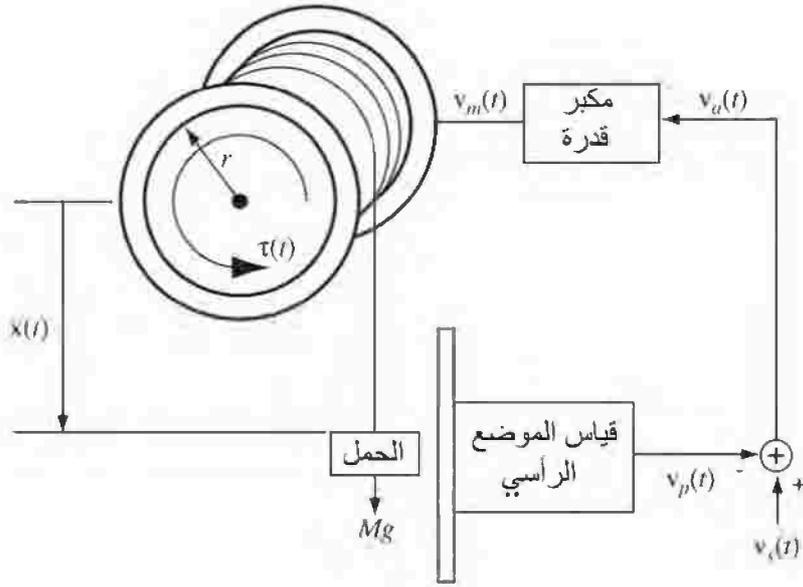


شكل رقم (١٦.٤) الحالات والاستجابات للنظام ذي الدخيلين والخرجين.

مثال ١٦.٢

تحليل فراغ الحالة لنظام ميكانيكي

من الأنواع الشهيرة للأنظمة الميكانيكية الأسطوانة الدوارة مع حبل أو كابل ملفوف حولها ونهاية الحبل أو الكابل تكون موصلة على حمل مطلوب تحريكه لأعلى أو لأسفل إلى موضع رأسي مطلوب عن طريق دوران الاسطوانة كما في شكل (١٦.٥).



شكل رقم (١٦.٥) نظام الكتروميكانيكي مع التغذية العكسية

موضع الحمل يتم التحكم فيه عن طريق نظام تغذية مرتدة يتكون من مكبر قدرة لتغذية الموتور الذي يدور الاسطوانة الدوارة، جهاز لقياس الموضع الرأسي للحمل، ونقطة تجميع لإيجاد الفرق بين إشارة الجهد من مقياس الموضع الرأسي للحمل $v_p(t)V$ والجهد الممثل للموضع المطلوب $v_s(t)V$. هذا الفرق في الجهد $v_a(t)V$ يتم تطبيقه على مكبر القدرة الذي يقوم بإدارة الاسطوانة في الاتجاه المطلوب لتقليل جهد الخطأ. مكبر القدرة يعطي الجهد $v_m(t) = k_m v_a(t)V$ إلى الموتور.

يعطي الموتور عزمًا مقداره $\tau(t) = k_m v_m(t) \text{ N.m}$. الموضع $v_m(t)$ يعطي عزمًا في عكس اتجاه عقارب الساعة على الأسطوانة. يتعلق العزم بالعجلة الزاوية وسرعة الأسطوانة وكتلة الحمل بالعلاقة التالية:

$$\tau(t) - Mgr - k_f \omega' d(t) = I_d \omega_d''(t)$$

حيث M هي كتلة الحمل بالكيلوجرام kg ، و g هي ثابت الجاذبية الأرضية $(9.80665 \text{ m.s}^{-2})$ ، و r هي نصف قطر الأسطوانة الدوارة بالمتر m ، و k_f هي ثابت تناسبي (N.m.s) الذي يأخذ في الحسبان الفقد النسبي في الطاقة، و w_d هي الموضع الزاوي للأسطوانة بالراديان (يزداد في عكس اتجاه عقارب الساعة)، و I_d هي عزم القصور الذاتي (N.m.s^2) للموتور والاسطوانة معاً.

نظام قياس الموضع الرأسي يعطي الجهد $v_p(t) = k_p x(t)V$ المتناسب مع موضع الحمل (أكثر إيجابية لأسفل تبعاً للمخطط) حيث k_p هي ثابت تناسبي بالوحدات $V.m^{-1}$. العلاقة (عندما $t > 0$) بين الموضع الزاوي للأسطوانة والموضع الرأسي للحمل هي كما يلي:

$$x(t) = -r\omega_d(t)$$

الإشارة السالبة في الجانب الأيسر تأخذ في الحسبان العلاقة بين زاوية الاسطوانة وموضع الحمل. سنفترض أن حالات النظام هي الموضع الزاوي $w_d(t)$ ، والسرعة الزاوية للأسطوانة $v_d(t)=w'_d(t)$. سنفترض أن الدخل للنظام هو جهد الموضع $v_s(t)$ وكتلة الحمل $Mu(t)$. سنفترض أن خرج النظام سيكون موضع الحمل $x(t)$. المعادلات التي ستربط إشارات النظام المختلفة ستكون:

$$v_d(t) = v_s(t) - v_p(t) \quad v_m(t) = -k_a v_a(t) \quad \tau(t) = k_m v_m(t)$$

$$\tau(t) - Mgr - k_f \omega'_d(t) = I_d \ddot{\omega}_d(t)$$

$$x(t) = -r\omega_d(t) \quad v_p(t) = k_p x(t)$$

بالربط بين بعض هذه المعادلات نحصل على:

$$\tau(t) = -k_m k_a [v_s(t) + r k_p \omega_d(t)]$$

يربط هذه النتيجة مع المعادلة التفاضلية يمكننا كتابة معادلات النظام كما يلي:

$$\begin{bmatrix} \omega'_d(t) \\ v'_d(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -rk_m k_a k_p / I_d & k_f / I_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_d(t) \\ v_d(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -k_m k_a / I_d & -gr / I_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_s(t) \\ m u(t) \end{bmatrix}$$

أو:

$$q'(t) = Aq(t) + Bx(t)$$

حيث:

$$q(t) = \begin{bmatrix} \omega_d(t) \\ v_d(t) \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -rk_m k_a k_p / I_d & -k_f / I_d \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -k_m k_a / I_d & -gr / I_d \end{bmatrix} \quad x(t) = \begin{bmatrix} v_s(t) \\ m u(t) \end{bmatrix}$$

يمكننا أيضاً كتابة معادلة الخرج كما يلي:

$$x(t) = [-r \quad 0] \begin{bmatrix} \omega_d(t) \\ v_d(t) \end{bmatrix} + [0 \quad 0] \begin{bmatrix} v_s(t) \\ m u(t) \end{bmatrix}$$

أو:

$$y(t) = Cq(t) + Dx(t)$$

حيث $y(t)=x(t)$ ، و $C=[-r \quad 0]$ ، و $D=[0 \quad 0]$.

يأجراء تحويل لابلاس لمعادلة مصفوفة النظام نحصل على:

$$sQ(s) - q(0^-) = AQ(s) + BX(s)$$

حيث:

$$q(0^-) = \begin{bmatrix} \omega_d(0^+) \\ v_d(0^+) \end{bmatrix}$$

بفرض عدم وجود تغير مفاجئ في الشروط الابتدائية عند $t=0$.

حل هذه المعادلة سيكون:

$$Q(s) = [sI - A]^{-1}[BX(s) + q(0^-)]$$

$$[sI - A]^{-1} = \frac{\begin{bmatrix} s+k_f/I_d & 1 \\ -rk_m k_a k_p/I_d & s \end{bmatrix}}{s^2 + (k_f/I_d)s + rk_m k_a k_p/I_d}$$

$$Q(s) = \frac{\begin{bmatrix} (s+k_f/I_d)\omega_d(0^+) - (rk_m k_a/I_d)V_s(s) - Mgr/sI_d + v_d(0^+) \\ (rk_m k_a k_p/I_d)\omega_d(0^+) - s(k_m k_a/I_d)V_s(s) - Mgr/I_d + sv_d(0^+) \end{bmatrix}}{s^2 + (k_f/I_d)s + rk_m k_a k_p/I_d}$$

إذا كانت نقطة الوضع ثابتاً بعد الزمن $t=0$ ، بالتالي فإن:

$$v_s(t) = v_s u(t) \Leftrightarrow v_s/s$$

وبالتالي:

$$Q(s) = \begin{bmatrix} \frac{\omega_d(0^+)s^2 + [k_f\omega_d(0^+)/I_d + v_d(0^+)]s - [(k_m k_a/I_d)V_s + Mgr/sI_d]}{s[s^2 + (k_f/I_d)s + rk_m k_a k_p/I_d]} \\ \frac{v_d(0^+)s - [(rk_m k_a k_p/I_d)\omega_d(0^+) + (k_m k_a/I_d)V_s - Mgr/I_d]}{s^2 + (k_f/I_d)s + rk_m k_a k_p/I_d} \end{bmatrix}$$

افتراض أن معاملات النظام ستكون:

$$M = 50 \text{ kg}, r = 0.4 \text{ m}, k_m = 100 \text{ N.m/V}, k_a = 10 \text{ V/V}$$

$$k_p = 1 \text{ V/m}, I_d = 20 \text{ N.m. s}^2, k_f = 250 \text{ N.m. s}$$

افتراض أن الشروط الابتدائية هي $\omega_d(0^+) = -8$ ، و $v_d(0^+) = -2$ راديان/الثانية، وافترض أن نقطة الوضعستكون $V_s = 6 \text{ V}$ ، وبالتالي:

$$Q(s) = \begin{bmatrix} \frac{-8s^2 - 102s - 310}{s[s^2 + 12.5s + 20]} \\ \frac{-2s - 150}{s^2 + 12.5s + 20} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1.389}{s+10.62} + \frac{8.888}{s+1.884} - \frac{15.5}{s} \\ \frac{14.74}{s+10.1062} - \frac{16.74}{s+1.884} \end{bmatrix}$$

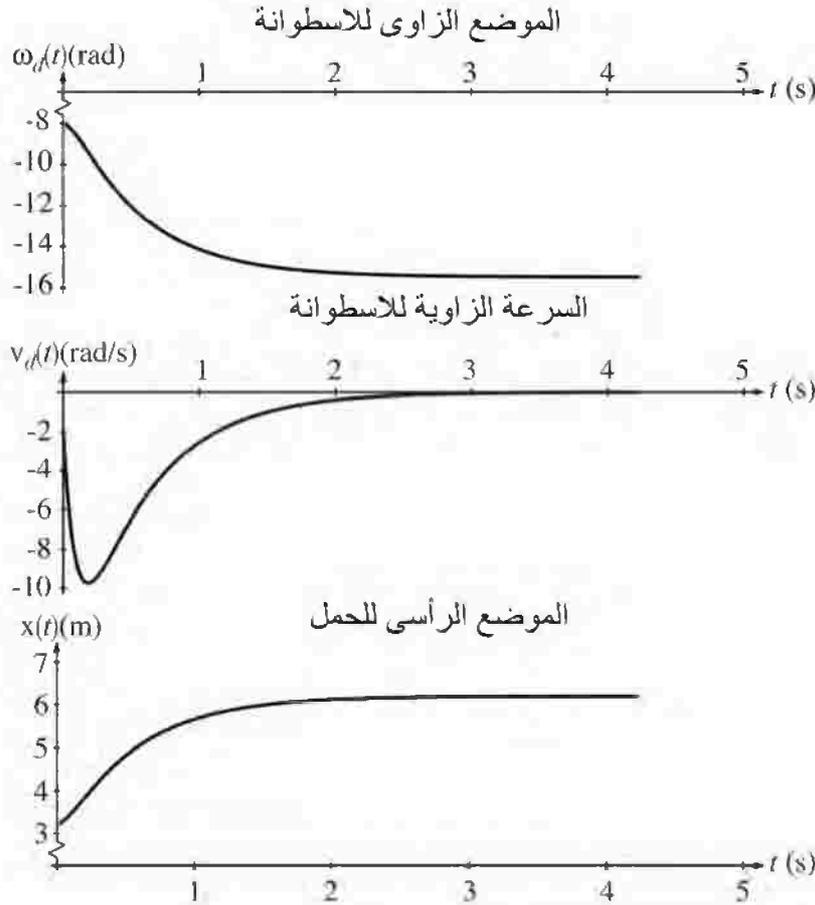
ويأجراء تحويل لابلاس العكسي:

$$q(t) = \begin{bmatrix} \omega_d(t) \\ v_d(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.389e^{-10.62t} + 8.888e^{-1.884t} - 15.5 \\ 14.74e^{-10.62t} - 16.74e^{-1.884t} \end{bmatrix} u(t)$$

الخرج $x(t)$ سيكون:

$$x(t) = \begin{bmatrix} -r & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_d(t) \\ v_d(t) \end{bmatrix} = (0.556e^{-10.62t} - 3.556e^{-1.884t} + 6.2)u(t)$$

انظر شكل (١٦.٦).



شكل رقم (١٦.٦) الموضع الزاوي للأسطوانة الدوارة، والسرعة الزاوية والموضع الرأسى للحمل

القيمة النهائية لموضع الحمل ستكون 6.2m وليست الـ 6m الموضوعة عن طريق جهد نقطة الوضع. تكبير دالة عبور الحلقة من الممكن أن يقلل هذا الخطأ. أيضاً يتضمن مكامل في الحلقة سيقلل الخطأ إلى الصفر إذا كان النظام سيظل مستقراً.

دوال العبور

يمكننا استخدام طريقة تحليل فراغ الحالة لإيجاد مصفوفة دالة عبور النظام. تذكر أن دالة العبور تحدد فقط لاستجابة الحالة صفر. سنبدأ بالمعادلة:

$$sQ(s) - q(0^-) = AQ(s) + BX(s)$$

مع طلب أن تكون الحالة الابتدائية $q(0^-)$ تساوي صفراً يمكننا الحل لإيجاد $Q(s)$ كما يلي :

$$Q(s) = [sI - A]^{-1}BX(s) = \Phi(s)BX(s)$$

بالتالي ستكون الاستجابة $Y(s)$ تساوي :

$$Y(s) = CQ(s) + DX(s) = C\Phi(s)BX(s) + DX(s) = [C\Phi(s)B + D]D(s)$$

لذلك ، حيث إن استجابة النظام تساوي حاصل ضرب دالة عبور النظام في الإثارة لهذا النظام ، فإن

مصفوفة دالة العبور ستكون :

$$H(s) = C\Phi(s)B + D$$

هذه الدالة تضع العلاقة بين الإثارات وكل استجابات النظام من خلال :

$$Y(s) = H(s) + X(s)$$

وحيث إن :

$$\Phi(s) = [sI - A]^{-1}$$

فإن :

$$H(s) = C[sI - A]^{-1}B + D$$

بفحص $[sI - A]^{-1}$ سنجد أنها معكوس $[sI - A]$ ، ولذلك فإنها تساوي دوران المصفوفة الجانبية للمعاملات للمصفوفة $[sI - A]$ ، مقسومة على محددة المصفوفة وهي $|sI - A|$. لذلك فإن كل عنصر في $[sI - A]^{-1}$ له المقام $|sI - A|$. بالضرب الأولى في C ثم الضرب المؤخر في B لا يغير من هذه الحقيقة حيث إن كلا من C و B هي مصفوفات ثوابت. إضافة المصفوفة D لا يغير من مقامات عناصر الـ $H(s)$ لأنها مصفوفة ثوابت أيضاً. لذلك فإن مقام كل عنصر في الـ $H(s)$ ستكون $|sI - A|$ (إلا إذا تم إلغاء أقطاب وأصفار). كل عناصر الـ $H(s)$ ، وبالتالي كل دوال العبور من كل الإثارات إلى كل الاستجابات ستكون لها الأقطاب نفسه ، وهذا يؤدي إلى فكرة مهمة جداً. على الرغم من تحديد دالة العبور بأنها النسبة بين استجابة الحالة صفر والإثارة ، فإن أقطاب أي دالة عبور للنظام يتم تحديدها عن طريق النظام نفسه ، وليس عن طريق الإثارات أو الاستجابات. هذه الأقطاب هي أصفار الـ $|sI - A|$ ، وأصفار الـ $|sI - A|$ هي القيم المميزة للـ A .

مثال ١٦.٣

إيجاد دالة العبور للنظام

أوجد مصفوفة دالة العبور للنظام الموجود في مثال ١٦.١ .

مصفوفة دالة العبور هي :

$$H(s) = C\Phi(s)B + D$$

من مثال ١٦.١

$$B = \begin{bmatrix} 0.5 & -2.1 \\ 0 & 1.5 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0.84 & 0 & 1 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1.2 \end{bmatrix}$$

$$\Phi(s) = \frac{\begin{bmatrix} s^2 & -1.2s-1.575 & -1.75s \\ 1.05s & s(s+1.47) & -1.8375 \\ 0.945 & 0.9s+1.323 & s^2+1.47s+1.26 \end{bmatrix}}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375}$$

ولذلك فإن :

$$H(s) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0.84 & 0 & 0 \end{bmatrix} \frac{\begin{bmatrix} s^2 & -1.2s-1.575 & -1.75s \\ 1.05s & s(s+1.47) & -1.8375 \\ 0.945 & 0.9s+1.323 & s^2+1.47s+1.26 \end{bmatrix}}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375} \begin{bmatrix} 0.5 & -2.1 \\ 0 & 1.5 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1.2 \end{bmatrix}$$

والتي يمكن تبسيطه على الصورة :

$$H(s) = \frac{\begin{bmatrix} 0.525s & 1.5s^2 \\ 0.42s^2+0.4725 & 1.2s^3-0.6345s+1.9845 \end{bmatrix}}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375}$$

يمكننا اختبار معقولة هذه الإجابة عن طريق تطبيق صدمة عند أحد المداخل وملاحظة الاستجابة.

سنفترض $x_1(t)=\delta(t)$ و $x_2(t)=0$ ، وبالتالي يمكننا كتابة :

$$Y(s) = \frac{\begin{bmatrix} 0.525s & 1.5s^2 \\ 0.42s^2+0.4725 & 1.2s^3-0.6345s+1.9845 \end{bmatrix}}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{\begin{bmatrix} 0.525s \\ 0.42s^2+0.4725 \end{bmatrix}}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375}$$

$$Y_1(s) = \frac{0.525s}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375}$$

$$y_1(t) = [0.17087e^{-1.4088t} + 0.27656e^{-0.030579t} \cos(1.083t - 2.2368)]u(t)$$

من مخطط النظام ، $y_1(0^+)=0$ (تذكر أن كل الشروط الابتدائية تكون صفراً). من هذه النتيجة التحليلية :

$$y_1(0^+) = 0.17087 + 0.27656 \cos - 2.2368 = 0$$

$$Y_2(s) = \frac{0.42s^2+0.7425}{s^3+1.47s^2+1.26s+1.65375}$$

$$y_2(t) = [0.425e^{-1.4088t} + 0.017964e^{-0.030579t} \cos(1.083t - 1.8588)]u(t)$$

من مخطط النظام ، $y_2(0^+)=0.5 \times 0.7 \times 1.2 = 0.42$ ، وبالتالي من النتيجة التحليلية يمكننا كتابة :

$$y_2(0^+) = 0.4251 + 0.017964\cos(1.8588) = 0.42$$

الآن افترض أن $x_2(t)=\delta(t)$ ، و $x_1(t)=0$ ، وبالتالي :

$$Y(s) = \frac{1.5s^2}{s^3 + 1.47s^2 + 1.26s + 1.65375}$$

$$y_1(t) = [0.969e^{-1.4088t} + 0.92752e^{-0.030579t} \cos(1.083t - 0.96214)]u(t)$$

$$y_2(t) = [1.44\delta(t) - 1.551e^{-1.4088t} + 1.6171e^{-0.030579t} \cos(1.083t - 3.0394)]u(t)$$

يمكننا أن نرى مباشرة من مخطط النظام أن $y_1(0^+)=1.5$ ، و $y_2(0^+)=1.2x(-3.5)x0.5x0.7x1.2=-1.764$ من النتائج التحليلية يمكننا كتابة :

$$y_1(0^+) = 0.969 + 0.92752\cos(0.96314) = 1.5$$

$$y_2(0^+) = -0.1551 + 1.6171\cos(-3.0394) = -1.764$$

اختيارات بديلة لمتغير الحالة

كان من الممكن حل مثال الدائرة RLC باستخدام مجموعة مختلفة من متغيرات الحالة. فمثلاً، تيار المقاومة $i_R(t)$ ، وتيار الملف $i_L(t)$ كان من الممكن اختيارهما كمتغيرات حالة. وبالتالي فإن معادلة الحالة من الممكن أن تكون :

$$\begin{bmatrix} i'_R(t) \\ i'_L(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -G/C & -G/C \\ 1/LG & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_R(t) \\ i_L(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G/C \\ 0 \end{bmatrix} i_{in}(t)$$

ومن الممكن أن تكون معادلة الخرج كما يلي :

$$\begin{bmatrix} i_{out}(t) \\ i_R(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/C & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_R(t) \\ i_L(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} i_{in}(t)$$

بالحل لإيجاد متغيرات الحالة نجد أن :

$$\Phi(s) = [sI - A]^{-1} = \begin{bmatrix} s + G/C & G/C \\ -1/LG & s \end{bmatrix}^{-1} = \frac{\begin{bmatrix} s & -G/C \\ 1/LG & s+G/C \end{bmatrix}}{s^2 + (G/C)s + 1/LC}$$

من المهم هنا أن نلاحظ أن المحدد $|sI-A|$ هي نفسها كما كانت مع المجموعة الأولى من متغيرات الحالة، ومن الممكن أن نوضح أن ذلك يكون حقيقياً على العموم. بمعنى أن المحدد $|sI-A|$ لا تعتمد على اختيار متغيرات الحالة.

المصفوفة A تتغير ولكن المحدد $|sI-A|$ لا يتغير. لذلك فالمحدد $|sI-A|$ تقول شيئاً أساسياً عن النظام نفسه، وليس عن اختيار معين لطريقة تحليل النظام.

تحويلات متغيرات الحالة

أي مجموعة من متغيرات الحالة يمكن تحويلها إلى مجموعة أخرى من خلال تحويل خطي. افترض أننا نستخدم متجهاً من متغيرات الحالة $q_1(t)$ وقررنا أن نستخدم متجه متغيرات حالة آخر $q_2(t)$ متعلق بالمتجه $q_1(t)$ بالعلاقة:

$$\text{المعادلة رقم (١٦.٥)} \quad q_2(t) = Tq_1(t)$$

حيث T هي مصفوفة التحويل التي تحقق العلاقة بين متجهي متغيرات الحالة. وبالتالي:

$$q_2'(t) = Tq_1'(t) = T(A_1q_1(t) + B_1x(t)) = TA_1q_1(t) + TB_1x(t)$$

من المعادلة (١٦.٥) يمكننا كتابة: $q_1(t) = T^{-1}q_2(t)$ ، وبالتالي فإن:

$$q_2'(t) = TA_1T^{-1}q_2(t) + TB_1x(t) = A_2q_2(t) + B_2x(t)$$

حيث $A_2 = TA_1T^{-1}$ ، و $B_2 = TB_1$. سنحصل على ما يلي في معادلة الخرج:

$$y(t) = C_1q(t) + D_1x(t) = D_1T^{-1}q_2(t) + D_1x(t) = D_2q_2(t) + D_2x(t)$$

حيث $C_2 = C_1T^{-1}$ ، و $D_2 = D_1$. القيم المميزة لـ A_1 يتم تحديدها عن طريق النظام. عند اختيارنا لمجموعة مختلفة من متغيرات الحالة عن طريق تحويل مجموعة إلى أخرى من خلال مصفوفة التحويل T ، فإننا لا نغير النظام، إننا فقط نغير الطريقة التي نحلل بها النظام. لذلك فالقيم المميزة لـ A_1 و $A_2 = TA_1T^{-1}$ يجب أن تكون هي نفسها. يمكن إثبات ذلك كما في النقاش التالي. افترض عملية الضرب التالية:

$$\text{المعادلة رقم (١٦.٦)} \quad T[sI - A_1]T^{-1} = \underbrace{sITIT^{-1}}_I - \underbrace{TA_1T^{-1}}_{A_2} = sI - A_2$$

بإيجاد المحددة لكل من الجانبين في المعادلة (١٦.٦):

$$\text{المعادلة رقم (١٦.٧)} \quad |T[sI - A_1]T^{-1}| = |sI - A_2|$$

يمكننا الآن استخدام خاصيتين للمحددات من نظريات الجبر الخطي. المحدد لحاصل ضرب مصفوفتين هو حاصل ضرب محددتي المصفوفتين، و محدد معكوس أي مصفوفة هو مقلوب محدد هذه المصفوفة. بتطبيق النظرية الأولى على المعادلة (١٦.٧) نحصل على:

$$|T||[sI - A_1]||T^{-1}| = |sI - A_2|$$

المحددات تكون عبارة عن كميات قياسية، لذلك فإن حاصل ضرب المحددات يكون تبادلياً وترابطياً، وبالتالي يمكننا كتابة:

$$\underbrace{|T||T^{-1}|}_1 |sI - A_1| = |sI - A_2|$$

وفي النهاية نحصل على:

$$|sI - A_1| = |sI - A_2|$$

حيث أن المحددين هما نفسهما، فإن جذورهما ستكون أيضاً هي نفسها، مما يثبت أن القيم المميزة لأي نظام لا تتغير بتغير اختيار متغيرات الحالة واستجاباتها. القطرية (جعل المصفوفة قطرية)

إذا كانت القيم المميزة لأي نظام مميزة ومختلفة، فإنه من الممكن أن نختار متغيرات الحالة بطريقة تجعل مصفوفة النظام A قطرية. إذا كانت المصفوفة A قطرية، فإنها تكون على الشكل التالي:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_{22} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & a_{NN} \end{bmatrix}$$

حيث N هي درجة النظام. بالتالي فإن المحدد |sI-A| سيكون:

$$|sI - A| = (s - a_{11})(s - a_{22}) \dots (s - a_{NN})$$

حيث إن هذه الصورة هي محللة إلى عوامل كما نرى، فإن جذورها ستكون a_{11} ، و a_{22} ، و...، و a_{NN} . لذلك إذا كانت المصفوفة A قطرية، فإن عناصر القطر ستكون هي القيم المميزة للمصفوفة ويمكن التعبير عن المصفوفة على هذه الصورة:

$$A = \Lambda \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_N \end{bmatrix}$$

الآن افترض أن لدينا مصفوفة نظام A ليست على الصورة القطرية ونحن نريد إيجاد تحويل T يجعل هذه المصفوفة قطرية. بالتالي يمكننا كتابة:

$$\Lambda = TAT^{-1}$$

بضرب الطرفين من الناحية اليسرى في T :

المعادلة رقم (١٦.٨)

$$\Lambda T = TA$$

حيث إن كل من Λ و A معروفان، فإنه يمكن حل هذه المعادلة لإيجاد T. لاحظ أنه إذا كنا نريد إيجاد حل T

للمعادلة (١٦.٨) وقمنا بضرب T بالكمية القياسية K لتوليد مصفوفة تحويل أخرى $T_2 = KT$ فإنه يمكننا القول :

$$\Lambda T_2 = \Lambda KT = K\Lambda T$$

ثم باستخدام المعادلة (١٦.٨) نحصل على :

$$\Lambda T_2 = KTA = T_2A$$

أو ببساطة :

$$\Lambda T_2 = T_2A$$

والتي هي نفسها المعادلة (١٦.٨)، فيما عدا اسم مصفوفة التحويل، مما يثبت أن مصفوفة الحل T ليست فريدة.

بمجرد حصولنا على التحويل الذي يمكن أن يضع مصفوفة النظام في الصورة القطرية، فإنه يكون لدينا

نظام من المعادلات على الصورة التالية :

$$\begin{bmatrix} q_1'(t) \\ q_2'(t) \\ \vdots \\ q_N'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \\ \vdots \\ q_N(t) \end{bmatrix} + Bx(t)$$

حيث إن كلا من B و x(t) معروفان، فإن هذه المعادلة المصفوفية تكافئ مجموعة N من المعادلات التفاضلية

غير المرتبطة في عدد N من المجاهيل q_1 و q_2 و ... و q_N . يمكن حل كل معادلة دون الرجوع إلى المعادلات الأخرى.

لذلك، فإن عملية تحويل مصفوفة النظام إلى الصورة القطرية تحول حل عدد N من المعادلات التفاضلية المتزامنة من

الدرجة الأولى إلى N من الحلول المستقلة، كل منها لمعادلة تفاضلية واحدة.

مثال ١٦.٤

وضع المصفوفة A في الصورة القطرية

نظام له المصفوفة A على الصورة :

$$A_1 = \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -3 & 4 \end{bmatrix}$$

والمصفوفة B على الصورة :

$$B_1 = \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ -2 & 1 \end{bmatrix}$$

أوجد المصفوفة T التي تجعل المصفوفة A قطرية ومتغيرات الحالة الجديدة المقابلة للمصفوفة القطرية A. القيم المميزة هي حل المعادلة $|sI - A_1| = 0$ أو :

$$\begin{vmatrix} s-2 & 1 \\ 3 & s-4 \end{vmatrix} = 0 \Rightarrow \lambda_1 = 1, \lambda_2 = 5$$

وبالتالي ، فإننا نريد حل المعادلة المصفوفية التالية :

$$\Lambda T = T A_1 \Rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -3 & 4 \end{bmatrix}$$

بضرب المصفوفات نحصل على الأربع معادلات التالية في أربعة مجاهيل :

$$\begin{aligned} t_{11} &= 2t_{11} - 3t_{12}, & t_{12} &= -t_{11} + 4t_{12} \\ 5t_{21} &= 2t_{21} - 3t_{22}, & 5t_{22} &= -t_{21} + 4t_{22} \end{aligned}$$

المعادلتان اللتان في القمة :

$$t_{11} = 2t_{11} - 3t_{12} \quad \text{و} \quad t_{12} = -t_{11} + 4t_{12}$$

يمكن تبسيطهما إلى :

$$-t_{11} + 3t_{12} = 0$$

وبالتالي فإنهما غير مستقلين خطياً. نفس الشيء سيكون مع المعادلتين في الأسفل والتان يمكن تبسيطهما

إلى الصورة التالية :

$$t_{21} + t_{22} = 0$$

لذلك ، فإنه لا يوجد حل فريد للمصفوفة T. في الحقيقة هناك عدد لا نهائي من الحلول. يمكننا اختيار أي

اثنين من العناصر في المصفوفة T اختيارياً ثم نحدد العنصرين المتبقين. سنفترض $t_{11}=a$ و $t_{21}=b$ وبالتالي نحصل على :

$$\begin{aligned} t_{12} &= a/3 \\ t_{22} &= -b \end{aligned} \Rightarrow T = \begin{bmatrix} a & a/3 \\ b & -b \end{bmatrix}$$

في هذه الحالة من الممكن أن يكون الاختيار التالي اختياراً مناسباً: $t_{11}=a=3$ و $t_{21}=b=1$ ، وبالتالي:

$$T = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

الآن يمكننا أن نوجد متغيرات الحالة المقابلة للمصفوفة القطرية A.

$$q_2 = Tq_1 = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} q_1$$

ومعادلات الحالة الجديدة ستكون:

$$q_2'(t) = TA_1T^{-1}q_2(t) + TB_1x(t) = A_2q_2(t) + B_2x(t)$$

$$q_2'(t) = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ -3 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}^{-1} q_2(t) + \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ -2 & 1 \end{bmatrix} x(t)$$

$$q_2'(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix} q_2(t) + \begin{bmatrix} 10 & 1 \\ 6 & -1 \end{bmatrix} x(t)$$

يمكن استخدام ماتلاب لإيجاد المصفوفة T. يحتوي ماتلاب على الأمر eig، الذي يوجد القيم المميزة

والمتجهات المميزة. الصورة العامة لهذا الأمر هي:

$$[V, L] = \text{EIG}(A)$$

حيث L هي المصفوفة القطرية التي تكون قيمها المميزة هي القطر و V هي المصفوفة التي أعمدها هي

المتجهات المميزة المقابلة بحيث:

$$AV = VL$$

تذكر مما سبق أن المصفوفة T تحقق:

$$TA = \Lambda T \quad \text{أو} \quad \Lambda T = TA$$

ومصفوفة T هي المتجهات المميزة. لقد تم عكس ترتيب عملية الضرب على طرفي المعادلة بحيث إن V

الناجمة من ماتلاب ليست هي T التي نريدها. إذا ضربنا الطرفين من اليمين ومن اليسار في المعادلة التالية:

$$TA = \Lambda T$$

في T^{-1} سنحصل على:

$$AT^{-1} = T^{-1}\Lambda$$

وهي في الصورة نفسها مثل $AV = VL$ مع $T^{-1} = V$ أو $T = V^{-1}$. لذلك لإيجاد T، فإننا نوجد معكوس V الناتجة من

ماتلاب.

مثال ١٦.٥

جعل معادلات الحالة قطرية باستخدام ماتلاب

أعد حل مثال ١٦.٤ مستخدماً ماتلاب.

```

>> A1 = [2 -1 ; -3 4] ; B1 = [4 0 ; -2 1] ;
>> [Tinv,L] = eig(A)
Tinv =
    -0.7071  0.3162
    -0.7071 -0.9487
L =
    1.0000  0
    0  5.0000
>> T = inv(Tinv)
T =
    -1.0607 -0.3536
    0.7906 -0.7906
>> A2 = T*A1*inv(T)
A2 =
    1.0000  0.0000
    -0.0000  5.0000
>> B2 = T*B1
B2 =
    -3.5355 -0.3536
    4.7434 -0.7906

```

المصفوفة T التي تم الحصول عليها بهذه الطريقة هي :

$$\begin{bmatrix} -1.0607 & -0.3536 \\ 0.7906 & -0.7906 \end{bmatrix}$$

ليست مثل المصفوفة T التي تم الحصول عليها في المثال ١٦ - ٤ التي كانت :

$$\begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

ولكن المصفوفة T ليست فريدة والعلاقات :

$$\begin{aligned} t_{12} &= t_{11}/3 \\ t_{22} &= -t_{21} \end{aligned}$$

يمكن تحقيقها عن طريق كل من الاختيارين للمصفوفة T. وعلى ذلك، فإن أيّاً من المصفوفتين T يمكنها أن تجعل المصفوفة قطرية.

أدوات في ماتلاب لتحليل فضاء الحالة

يحتوي مفهوم ماتلاب عن هدف النظام نماذج مستمرة زمنياً لفضاء الحالة للأنظمة. الدالة الأساسية هي ss

والصورة العامة لها، هي :

$$\text{sys} = \text{ss}(A, B, C, D) ;$$

حيث A، B، و C و D هي مصفوفات تمثيل فضاء الحالة بالاسم نفسه. الدالة ssdata تستخلص

مصفوفات فراغ الحالة من وصف النظام بطريقة مكافئة لـ zpkdata و tfdata. الدالة ss2ss تحول من نموذج فراغ حالة

إلى نموذج فراغ حالة آخر. الصورة العامة هي :

$$\text{sys} = \text{ss2ss}(\text{sys}, T) ;$$

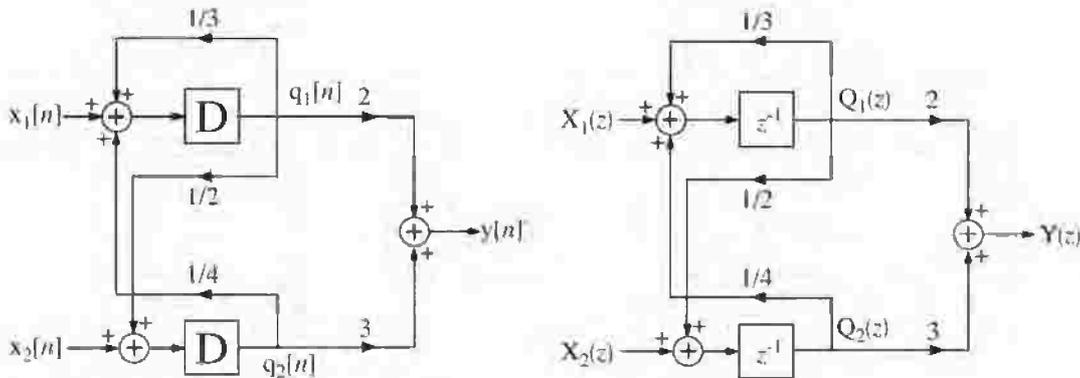
حيث T هي مصفوفة التحويل.

```
>> A1 = [2 -1 ; -3 4]; B1 = [4 0 ; -2 1];
>> C1 = [1 0 ; 0 2]; D1 = [0 0 ; 0 0];
>> sys1 = ss(A1,B1,C1,D1);
>> T = [3 1 ; 1 -1];
>> sys2 = ss2ss(sys1,T)
>> [A2,B2,C2,D2] = ssdata(sys2);
>> A2
A2 =
    1 0
    0 5
>> B2
B2 =
    10 1
    6 -1
>> C2
C2 =
    0.2500 0.2500
    0.5000 -1.5000
>> D2
D2 =
    0 0
    0 0
```

(١٦.٣) الأنظمة المتقطعة زمنياً

معادلات النظام والخرج

كما كان الأمر حقيقياً مع الأزمنة المستمرة زمنياً، فإن أفضل تحليل للأنظمة المتقطعة زمنياً الكبيرة يكون بطريقة نظامية، مثل: طريقة تحليل فراغ الحالة، كما أن تحليل فراغ الحالة للأنظمة المتقطعة زمنياً يتوازي تماماً مع تحليل فراغ الحالة للأنظمة المستمرة. سنحتاج لتحديد عدد متغيرات الحالة، الذي يساوي درجة النظام. سنبدأ بمثال للنظام الموضح في شكل (١٦.٧).



شكل رقم (١٦.٧) مثال على الأنظمة المتقطعة زمنياً

في تنفيذ فراغ الحالة في الأنظمة المستمرة زمنياً، يتم وضع تفاضلات متغيرات الحالة في صورة تجميع خطي من متغيرات الحالة والإثارات. في تنفيذ فراغ الحالة في الأنظمة المتقطعة زمنياً، تتم مساواة القيم التالية لمتغيرات الحالة مع تجميع خطي من قيم متغيرات الحالة الحالية والإثارات الحالية. معادلات النظام والخروج ستكون:

$$q[n + 1] = Aq[n] + Bx[n]$$

المعادلة رقم (١٦.٩)

$$y[n] = Cq[n] + Dx[n]$$

يتم اختيار متغيرات الحالة بأبسط الطرق، على أنها الاستجابات لبلوكات التأخير. بالتالي ستكون متغيرات الحالة والمصفوفات على الصورة:

$$q[n] = \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/4 \\ 1/2 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ and } x[n] = \begin{bmatrix} x_1[n] \\ x_2[n] \end{bmatrix}$$

$$y[n] = [y[n]], C = [2 \ 3], D = [0 \ 0]$$

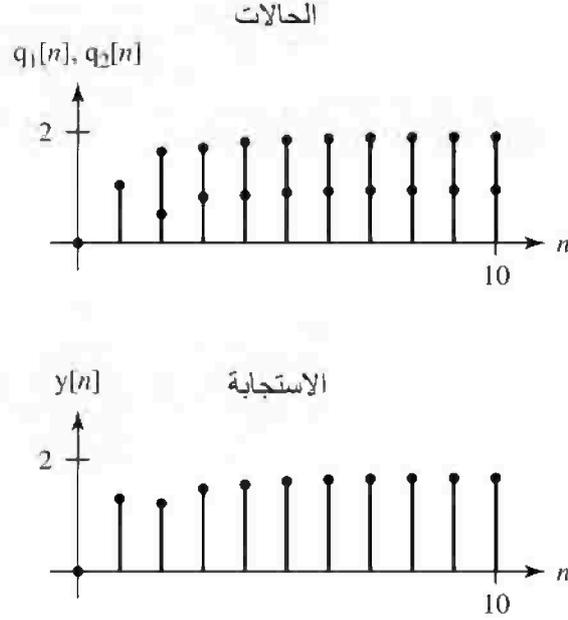
طريقة مباشرة لحل معادلات الحالة تكون عن طريق التكرار التتابعي أو الإعادة. لكي نوضح هذه العملية سنفترض متجه الإثارة على الصورة:

$$x[n] = \begin{bmatrix} u[n] \\ \delta[n] \end{bmatrix}$$

وسنفترض أن النظام سيكون مستقراً بحيث إن $q[0]=[0]$. بعد ذلك سنقوم بالتكرار التتابعي المباشر من المعادلة (١٦.٩)، حيث سنحصل على القيم الموضحة في جدول ١٦.١. الحالات والاستجابات التي تم الحصول عليها من التكرار التتابعي موضحة في شكل (١٦.٨).

جدول رقم (١٦.١). الحالات والاستجابات الناتجة من التكرار التتابعي

n	$q_1[n]$	$q_2[n]$	$y[n]$
0	0	0	0
1	1	1	5
2	1.5833	0.5	4.667
3	1.6528	0.7917	5.681
⋮	⋮	⋮	⋮



شكل رقم (١٦.٨) الحالات والاستجابات للنظام المتقطع زمنياً.

يمكننا تعميم عملية التكرار التتابعي. من المعادلة (١٦.٩) كما يلي:

$$\begin{aligned} q[1] &= Aq[0] + Bx[0] \\ q(2) &= Aq[1] + Bx[1] = A^2q[0] + ABx[0] + Bx[1] \\ q(3) &= Aq[2] + Bx[2] = A^3q[0] + A^2Bx[0] + ABx[1] + Bx[2] \\ q(n) &= A^nq[0] + A^{n-1}Bx[1] + A^{n-2}Bx[2] + \dots + A^1Bx[n-2] + A^0Bx[n-1]. \end{aligned}$$

وأيضاً:

$$\begin{aligned} y[1] &= Cq[1] + Dx[1] = CAq[0] + CBx[0] + Dx[1] \\ y(2) &= Cq[2] + Dx[2] = CA^2q[0] + CABx[0] + CBx[1] + Dx[2] \\ y(3) &= Cq[3] + Dx[3] = CA^3q[0] + CA^2Bx[0] + CABx[1] + CBx[2] + Dx[3] \\ y(n) &= CA^nq[0] + CA^{n-1}Bx[0] = CA^{n-2}Bx[1] + \dots + CA^0Bx[n-1] + Dx[n] \end{aligned}$$

يمكن كتابة ذلك على الصور التالية:

$$q[n] = A^nq[0] + \sum_{m=0}^{n-1} A^{n-m-1} Bx[m]$$

وأيضاً:

المعادلة رقم (١٦.١٠) $y[n] = CA^nq[0] + C \sum_{m=0}^{n-1} A^{n-m-1} Bx[m] + Dx[n]$

في المعادلة (١٦.١٠)، الكمية $A^nq[0]$ هي استجابة الدخل الصفري الناتج من الحالة الابتدائية للنظام $q[0]$. المصفوفة A^n تسمى مصفوفة حالة العبور وفي العادة يتم الرمز لها بالرمز $[n]$. يأتي هذا الاسم من فكرة أن العبور، أو الانتقال من حالة لأخرى يتم التحكم فيها عن طريق ديناميكية النظام الموصوفة بالمصفوفة $[n]$. الكمية

الثانية $\sum_{m=0}^{n-1} A^{n-m-1} Bx[m]$ هي استجابة الحالة صفر للنظام. هذه الكمية تكافئ المجموع الالتفافي في الزمن المتقطع، $A^{n-1}u[n-1]*Bx[n]u[n]$ أو تحت الافتراض العادي في تحليل متغيرات الحالة، أن تكون صفراً في الأزمنة المتقطعة السالبة.

$$\sum_{m=0}^{n-1} A^{n-m-1} Bx[m] = A^{n-1}u[n-1] * Bx[n]$$

وبالتالي يمكن إعادة كتابة المعادلة (١٦.٨) كما يلي :

$$\text{المعادلة رقم (١٦.١١)} \quad q[n] = \underbrace{\phi[n]q[0]}_{\text{استجابة الدخل الصغرى}} + \underbrace{\phi[n-1]u[n-1] * Bx[n]}_{\text{استجابة الحالة صفر}}$$

بطريقة مشابهة يمكننا إعادة كتابة المعادلة (١٦.١٠) كما يلي :

$$\text{المعادلة رقم (١٦.١٢)} \quad y(n) = C\phi[n]q[0] + C\phi[n-1]u[n-1] * Bx[n] + Dx[n]$$

النتيجتان الأخيرتان في المعادلتين (١٦.١١) و (١٦.١٢) هما حلول النظام المتقطع زمنياً لحالات واستجابات النظام.

يمكننا أيضاً حل معادلات الحالة عن طريق استخدام تحويل z الأحادي الجانب. بإجراء تحويل z على طرفي المعادلة (١٦.٩) نحصل على :

$$zQ(z) - zq(0) = AQ(z) + Bx(z)$$

يمكننا الحل لمتجه متغيرات الحالة كما يلي :

$$\text{المعادلة رقم (١٦.١٣)} \quad Q(z) = [zI - A]^{-1}[BX(z) + zq[0]] = \underbrace{[zI - A]^{-1}Bx(z)}_{\text{استجابة الدخل الصغرى}} + \underbrace{[zI - A]^{-1}q[0]}_{\text{استجابة الحالة صفر}}$$

بمقارنة المعادلة (١٦.١٣) مع المعادلة (١٦.١١) يتضح أن :

$$\phi[n] \overset{z}{\leftrightarrow} [zI - A]^{-1}$$

لذلك فمن المتوافق والمنطقي أن نحدد تحويل z لمصفوفة العبور كما يلي :

$$\Phi(z) = z[zI - A]^{-1}$$

لاحظ التشابه مع النتيجة المقابلة في فراغ الحالة للأزمن المستمرة زمنياً $\Phi(s)=[sI-A]^{-1}$.

لكي نبين حلاً رقمياً، سنفترض مرة أخرى متجه الإثارة التالي :

$$x[n] = \begin{bmatrix} u[n] \\ \delta[n] \end{bmatrix}$$

وسنفترض للمرة الثانية أن النظام يكون مستقراً في البداية، بمعنى $q[0]=[0]$ ، وبالتالي :

$$Q(z) = \begin{bmatrix} z - 1/3 & -1/4 \\ -1/2 & z \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ z-1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$Q(z) = \frac{\frac{z^2+z/4-1/4}{z^3-4z^2/3+5z/24+1/8}}{\frac{z^2+5z/6-1/3}{z^3-4z^2/3+5z/24+1/8}} = \frac{\frac{z^2+z/4-1/4}{(z-1)(z-0.5575)(z+0.2242)}}{\frac{z^2+5z/6-1/3}{(z-1)(z-0.5575)(z+0.2242)}} \text{ أو:}$$

بالوضع في صورة كسور جزئية:

$$Q(z) = \left[\frac{1.846}{z-1} - \frac{0.578}{z-0.5575} - \frac{0.268}{z+0.2242} \right]$$

بإجراء تحويل z نحصل على:

$$\text{المعادلة رقم (١٦.١٤)} \quad q[n] = \left[\frac{1.846 - 0.578(0.5575)^{(n-1)} - 0.268(0.2242)^{(n-1)}}{0.923 - 0.519(0.5575)^{(n-1)} + 0.596(-0.2242)^{(n-1)}} \right] u[n-1]$$

بعد إيجاد الحل لمتجه متغيرات الحالة، يمكننا أن نوجد متجه الاستجابة فوراً كما يلي:

$$\text{المعادلة رقم (١٦.١٥)} \quad y[n] = [6.461 + 2.713(0.5575)^{(n-1)} + 1.252(-0.2242)^{(n-1)}] u[n-1]$$

بالتعويض بقيم n في المعادلة (١٦.١٤) والمعادلة (١٦.٥) نحصل على جدول ١٦.٢، الذي يتوافق تماماً مع جدول ١٦.١، مما يثبت أن طريقتي الحل باستخدام التكرار التتابعي وتحويل z يعطيان النتيجة نفسها.

جدول رقم (١٦.٢). الحالات والاستجابات المحسوبة من حلول الصورة المغلقة

n	$q_1[n]$	$q_2[n]$	$y[n]$
0	0	0	0
1	1	1	5
2	1.5833	0.5	4.667
3	1.6528	0.7917	5.681
⋮	⋮	⋮	⋮

دوال العبور وتحويلات متغيرات الحالة

من معادلات فراغ الحالة يمكننا إيجاد مصفوفة دالة العبور التي تربط كل الاستجابات مع كل الإثارات.

بالبدء مع المعادلة (١٦.٨):

$$zQ(z) - zq(0) = AQ(z) + BX(z)$$

ووضع الحالة الابتدائية تساوي صفراً (والتي ستكون لأي دالة عبور سيتم تحديدها)، يمكننا أن نحل لإيجاد

$Q(z)$ كما يلي :

$$Q(z) = [zI - A]^{-1}BX(z) = z^{-1}\Phi(z)BX(z)$$

وستكون الاستجابة $Y(z)$ كما يلي :

$$Y(z) = CQ(z) + DX(z) = z^{-1}C\Phi(z)BX(z) + DX(z)$$

وستكون دالة العبور، التي هي نسبة الاستجابة إلى الإثارة، كما يلي :

$$H(z) = z^{-1}C\Phi(z)B + D = C[zI - A]^{-1}B + D$$

كل شيء تم استنتاجه في تحليل فراغ الحالة في الأزمنة المستمرة عن التحويل من مجموعة متغيرات الحالة إلى

مجموعة أخرى يتم تطبيقه تماماً على تحليل الأنظمة المتقطعة. إذا كانت :

$$q_2[n] = Tq_1[n] \text{ and } q_1[n+1] = A_1q_1[n] + B_1x[n]$$

وبالتالي، فإن :

$$q_2[n+1] = A_2q_2[n] + B_2x[n]$$

حيث $A_2 = TA_1T^{-1}$ وأيضاً :

$$B_2 = TB_1 \text{ and } y[n] = C_2q_2[n] + D_2x[n]$$

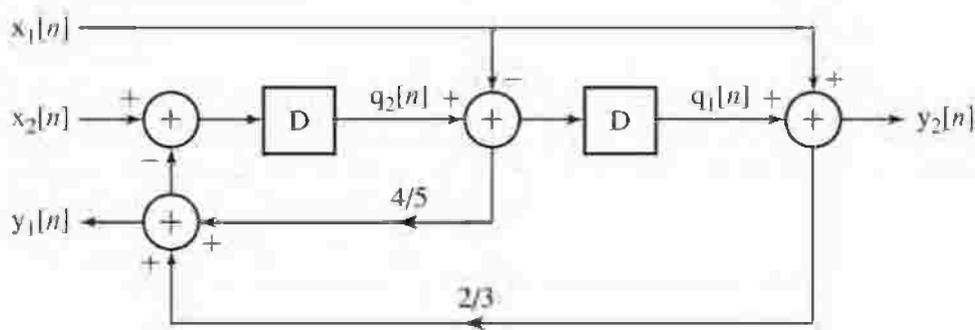
حيث $C_2 = C_1T^{-1}$ و $D_2 = D_1$.

مثال ١٦.٦

استجابة الحالة صفر لنظام متقطع زمنياً باستخدام طرق فضاء الحالة

أوجد استجابة النظام الموضح في شكل (١٦.٩)، الذي يكون مستقراً في البداية، للإشارات التالية :

$$x_2[n] = -u[n-2] \text{ و } x_1[n] = u[n]$$



شكل رقم (١٦.٩) نظام متقطع زمنياً

معادلات الحالة ستكون:

$$q_1[n+1] = q_2[n] - x_1[n]$$

$$q_2[n+1] = x_2[n] - [(4/5)(q_2[n] - x_1[n]) + (2/3)(q_1[n] - x_1[n])]$$

وستكون معادلات الخرج على الصورة:

$$y_1[n] = (4/5)(q_2[n] - x_1[n]) + (2/3)(q_1[n] - x_1[n])$$

$$y_2[n] = q_1[n] + x_1[n]$$

وفي الصورة المصفوفية القياسية:

$$q[n+1] = Aq[n] + Bx[n]$$

حيث:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2/3 & -4/5 \end{bmatrix} \text{ and } B = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 2/15 & 1 \end{bmatrix}$$

وأيضاً:

$$y[n] = Cq[n] + Dx[n]$$

حيث:

$$C = \begin{bmatrix} 2/3 & 4/5 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ and } D = \begin{bmatrix} -2/15 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

حيث إن النظام يكون مستقرًا في البداية، بالتالي يمكننا استخدام دالة العبور لإيجاد الاستجابات. مصفوفة

دالة العبور هي:

$$H(z) = C[zI - A]^{-1}B + D = \begin{bmatrix} 2/3 & 4/5 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z & -1 \\ 2/3 & z + 4/5 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 2/15 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2/15 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

أو:

$$H(z) = \frac{1}{z^2 + 4z/5 + 2/3} = \begin{bmatrix} 2/3 & 4/5 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z & -1 \\ 2/3 & z + 4/5 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 2/15 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2/15 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

أو:

$$H(z) = \frac{1}{z^2 + 4z/5 + 2/3} = \begin{bmatrix} -42z/75 + 4/45 & 2/3 + 4z/5 \\ -z - 2/3 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2/15 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

تحويل z لمتجه الإثارة سيكون:

$$X(z) = \begin{bmatrix} \frac{z}{z-1} \\ \frac{z-1}{z-1} \\ -\frac{z-1}{z-1} \end{bmatrix}$$

وبالتالي، فإن متجه الاستجابة في النطاق z سيكون:

$$Y(z) = H(z)X(z) = \left(\frac{1}{z^2 + \frac{4}{5}z + \frac{2}{3}} \begin{bmatrix} -\frac{42}{75}z + \frac{4}{45} & \frac{2}{3} + \frac{4}{5}z \\ -z - \frac{2}{3} & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{2}{15} & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \frac{z}{z-1} \\ \frac{z-1}{z-1} \\ -\frac{z-1}{z-1} \end{bmatrix}$$

أو:

$$Y(z) = \frac{1}{z^2 + \frac{4}{5}z + \frac{2}{3}} \left[\left(-\frac{42}{75}z + \frac{4}{45} \right) \frac{z}{z-1} - \left(\frac{2}{3} + \frac{4}{5}z \right) \frac{z^{-1}}{z-1} \right] + \left[-\frac{2}{15} \frac{z}{z-1} \right]$$

أو:

$$Y(z) = \frac{z^{-1}}{z^2 + \frac{4}{5}z + \frac{2}{3}} \left[-\frac{\frac{42}{75}z^3 - \frac{4}{45}z^2 + \frac{4}{5}z + \frac{2}{3}}{z-1} \right] + \left[-\frac{2}{15} \frac{z}{z-1} \right]$$

أو:

$$Y(z) = -z^{-1} \left[\frac{\frac{42}{75}z^3 - \frac{4}{45}z^2 + \frac{4}{5}z + \frac{2}{3}}{(z-1)(z^2 + \frac{4}{5}z + \frac{2}{3})} \right] + \left[-\frac{2}{15} \frac{z}{z-1} \right]$$

باستخدام الكسور الجزئية:

$$Y(z) = -z^{-1} \left[\begin{array}{l} 0.56 + \frac{0.7856}{z-1} - \frac{0.7625z+0.5163}{z^2 + \frac{4}{5}z + \frac{2}{3}} \\ 1 + \frac{1.081}{z-1} - \frac{0.2144z+0.9459}{z^2 + \frac{4}{5}z + \frac{2}{3}} \end{array} \right] + \left[-\frac{2}{15} \frac{z}{z-1} \right]$$

أو:

$$Y(z) = -z^{-1} \left[\begin{array}{l} 0.56 + \frac{0.7856}{z-1} - \frac{0.7625}{0.7188} \frac{0.7188z}{z^2 + \frac{4}{5}z + \frac{2}{3}} - z^{-1} \frac{0.5163}{0.7188} \frac{0.7188z}{z^2 + \frac{4}{5}z + \frac{2}{3}} \\ 1 + \frac{1.081}{z-1} - \frac{0.2144}{0.7188} \frac{0.7188z}{z^2 + \frac{4}{5}z + \frac{2}{3}} - z^{-1} \frac{0.9459}{0.7188} \frac{0.7188z}{z^2 + \frac{4}{5}z + \frac{2}{3}} \end{array} \right] + \left[-\frac{2}{15} \frac{z}{z-1} \right]$$

بإجراء تحويل z العكسي:

$$y[n] = - \left[\begin{array}{l} \left(\begin{array}{l} 0.56\delta[n-1] + 0.7856 u[n-2] \\ -1.071(0.8165)^{n-1} \sin(2.083(n-1))u[n-1] \\ -0.7253(0.8165)^{n-2} \sin(2.083(n-2))u[n-2] \end{array} \right) \\ \left(\begin{array}{l} \delta[n-1] + 1.08 u[n-2] \\ -0.3012(0.8165)^{n-1} \sin(2.083(n-1))u[n-1] \\ -1.329(0.8165)^{n-2} \sin(2.083(n-2))u[n-2] \end{array} \right) \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} -(2/15)u[n] \\ u[n] \end{array} \right]$$

أدوات ماتلاب لتحليل فراغ الحالة

يحتوي هدف النظام في ماتلاب على نماذج لفراغ الحالة في الأزمنة المتقطعة مثلما كان الوضع مع الأزمنة

المستمرة. الدالة الأساسية هي ss والصورة العامة لها هي:

$$\text{sys} = \text{ss}(A, B, C, D, Ts) ;$$

حيث A و B و C و D هي مصفوفات تمثيل فراغ الحالة بالاسم نفس و T_s هي الزمن بين العينات. الدالة $ssdata$ تستخلص مصفوفات فراغ الحالة من وصف النظام بطريقة مشابهة لـ $zpkdata$ و $tfddata$. الدالة $ss2ss$ تحول نموذج فراغ حالة لنموذج فراغ حالة آخر. الصورة العامة هي :

$$sys=ss2ss(sys, T) ;$$

حيث T هي مصفوفة التحويل.

(١٦.٤) ملخص النقاط المهمة

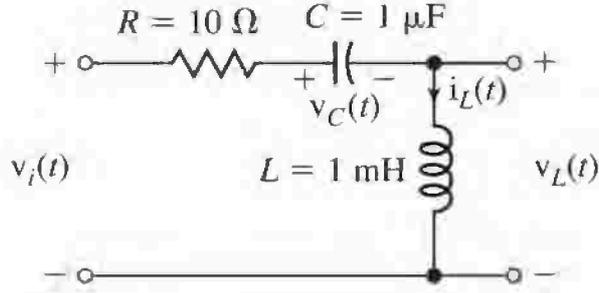
- ١- درجة النظام هي مجموع درجات المعادلات التفاضلية المستقلة المطلوبة لوصف النظام.
- ٢- أي نظام LTI يمكن وصفه بمعادلة نظام مصفوفية ومعادلة خرج مصفوفية تحتوي أربع مصفوفات هي A و B و C و D .
- ٣- الكمية $[sI-A]^{-1}$ هي تحويل لابلاس لمصفوفة انتقال الحالة وتحتوي معلومات عن السلوك الديناميكي واستقرار النظام.
- ٤- دوال العبور من العديد من المداخل إلى العديد من المخارج يمكن استنتاجها من المصفوفات A و B و C و D .
- ٥- مجموعة متغيرات الحالة التي تصف أي نظام ليست فريدة أو وحيدة.
- ٦- يمكن تحويل مجموعة من متغيرات الحالة إلى مجموعة أخرى من خلال مصفوفة التحويل T . القيم المميزة للنظام تبقى كما هي.
- ٧- إذا كان أي نظام لا يحتوي قيماً مميزة متكررة، فإن متغيرات الحالة يمكن جعلها قطرية، وفصلها بفاعلية، مما يسمح بحلهم واحد بعد الآخر.
- ٨- كل الطرق المستخدمة في تحليل الأنظمة المستمرة زمنياً لها نظير مباشر في تحليل أنظمة الزمن المتقطع.

تمارين مع إجاباتها

(في كل تمرين تكون الإجابات مرتبة بطريقة عشوائية)

معادلات الحالة المستمرة زمنياً

- ١- أكتب معادلات النظام للدائرة الموضحة في شكل (ت- ١) حيث تيار الملف $i_L(t)$ وجهد المكثف $v_C(t)$ هي متغيرات الحالة والجهد عند الدخل $v_i(t)$ هو الإثارة والجهد عند الخرج $v_L(t)$ هو الاستجابة :

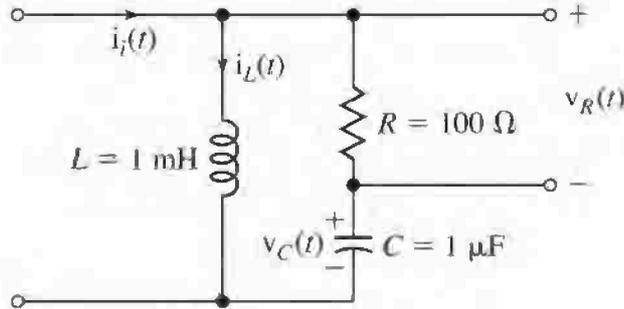


شكل رقم (ت-١)

الإجابة:

$$\begin{bmatrix} i_L'(t) \\ v_C'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1/C \\ -1/L & -R/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_C(t) \\ i_L(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/L \end{bmatrix} v_i(t)$$

$$v_L(t) = [-1 - R] \begin{bmatrix} v_C(t) \\ i_L(t) \end{bmatrix} + v_i(t)$$

٢- اكتب معادلات الحالة للدائرة الموجودة في شكل (ت-٢) حيث تيار الملف $i_L(t)$ ، وجهد المكثف $v_C(t)$ هما متغيرات الحالة والتيار عند الدخل $i_i(t)$ هو الإثارة والجهد عند الخرج $v_R(t)$ هو الاستجابة؟

شكل رقم (ت-٢)

الإجابة:

$$\begin{bmatrix} v_C'(t) \\ i_L'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1/C \\ 1/L & -R/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_C(t) \\ i_L(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ R/L \end{bmatrix} i_i(t)$$

$$v_R(t) = [0 \quad R] \begin{bmatrix} v_C(t) \\ i_L(t) \end{bmatrix} + R i_i(t)$$

٣- من دالة عبور النظام التالية:

$$H(s) = \frac{s(s+3)}{s^2+2s+9}$$

اكتب مجموعة من معادلات الحالة لهذا النظام.

الإجابة:

$$\begin{bmatrix} q_1'(t) \\ q_2'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -7 & -4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} x(t)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \end{bmatrix}$$

استجابة الأنظمة المستمرة زمنياً

٧- نظام موصوف بمعادلات الحالة التالية:

$$\begin{bmatrix} q_1'(t) \\ q_2'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 & 1 \\ 3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ -2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix}$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \end{bmatrix}$$

وأيضاً:

$$\begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 5 \\ -2 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \end{bmatrix}$$

حيث الإثارة هي:

$$\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\delta(t) \\ u(t) \end{bmatrix}$$

والحالات الابتدائية التالية:

$$\begin{bmatrix} q_1(0^+) \\ q_2(0^+) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \end{bmatrix}$$

أوجد متجه استجابة النظام؟

$$\begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix}$$

الإجابة:

$$\begin{bmatrix} 5e^{-3t} + 27e^t - 10 \\ 15e^{-3t} + 15e^t - 8 \end{bmatrix} u(t)$$

القطرية (جعل المصفوفة قطرية)

٨- نظام موصوف بمتجه معادلات الحالة التالية:

$$q'(t) = Aq(t) + Bx(t)$$

وأيضاً:

$$y(t) = Cq(t) + Dx(t)$$

حيث:

$$A = \begin{bmatrix} -1 & -3 \\ 2 & 7 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 2 & -3 \\ 0 & 4 \end{bmatrix} \text{ و } D = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

حدّد حالتين جديدتين، بدلالة الحالات القديمة، التي لها المصفوفة A تكون قطرية وأعد كتابة معادلات

الحالة؟

الإجابة:

$$q_2(t) = \begin{bmatrix} 0.8446 & -0.5354 \\ -0.3893 & 0.9211 \end{bmatrix} q_1(t)$$

$$q_2'(t) = \begin{bmatrix} -2.2679 & 0 \\ 0 & -5.7321 \end{bmatrix} q_2(t) + \begin{bmatrix} 0.8446 & -0.5354 \\ -0.3893 & 0.9211 \end{bmatrix} x(t)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1.184 & -2.5688 \\ 2.7342 & 5.9319 \end{bmatrix} q_2(t) + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} x(t)$$

الوصف بالمعادلات التفاضلية

٩- بالنسبة لمعادلات الحالة الأصلية في تمرين ٨ اكتب وصفاً للنظام بالمعادلات التفاضلية؟

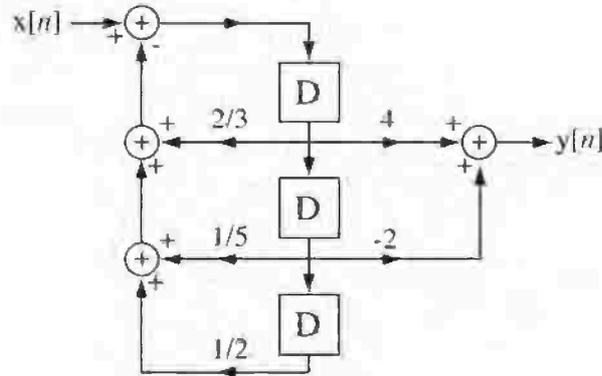
الإجابة:

$$y_1'(t) = -4y_1(t) + (3/4)y_2(t) + 6x_1(t) - 3x_2(t) + x_1'(t)$$

$$y_2'(t) = 4y_1(t) - 4y_2(t) - 4x_1(t) + 4x_2(t)$$

معادلات الحالة المتقطعة زمنياً

١٠- بالنسبة للنظام الموجود في شكل (ت-١٠) اكتب معادلات الحالة؟



شكل رقم (ت-١٠)

الإجابة:

$$\begin{bmatrix} q_1[n+1] \\ q_2[n+1] \\ q_3[n+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1/2 & -1/5 & -2/3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \\ q_3[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} x[n]$$

$$y[n] = [0 \quad -2 \quad 4] \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \\ q_3[n] \end{bmatrix}$$

١١ - اكتب مجموعة من معادلات الحالة المقابلة لدوال العبور التالية:

$$\left(\text{أ} \right) H(z) = \frac{0.9z}{z^2 - 1.65z + 0.9} \quad \left(\text{ب} \right) H(z) = \frac{4(z-1)}{(z-0.9)(z-0.7)}$$

الإجابة:

$$\begin{bmatrix} q_1[n+1] \\ q_2[n+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.63 & 1.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} x[n]$$

$$y[n] = [-4 \quad 4] \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} q_1[n+1] \\ q_2[n+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.9 & 1.65 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} x[n]$$

$$y[n] = [0 \quad 0.9] \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \end{bmatrix} + [0]x[n]$$

١٢ - حول المعادلة الفرقية التالية:

$$10y[n] + 4y[n-1] + y[n-2] + 2y[n-3] = x[n]$$

إلى مجموعة من معادلات الحالة؟

الإجابة:

$$\begin{bmatrix} q_1[n+1] \\ q_2[n+1] \\ q_3[n+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -0.2 & -0.1 & 0.4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \\ q_3[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} x[n]$$

$$y[n] = [-0.02 \quad -0.01 \quad -0.04] \begin{bmatrix} q_1(t) \\ q_2(t) \\ q_3(t) \end{bmatrix} + [0.1]x[n]$$

الوصف بالمعادلات الفرقية

١٣ - حَوِّلْ معادلات الحالة الآتية :

$$\begin{bmatrix} q_1[n+1] \\ q_2[n+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 & -5 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} x[n]$$

$$y[n] = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \end{bmatrix} + [0]x[n]$$

إلى معادلة فرقية واحدة؟

الإجابة :

$$y[n] + 2y[n-1] + 5y[n-2] = x[n]$$

استجابة الأنظمة المتقطعة زمنياً

١٤ - أوجد استجابات النظام الموصوف بهذه المجموعة من معادلات الحالة. (افتراض النظام مستقرًا في

البداية) ؟

$$\begin{bmatrix} q_1[n+1] \\ q_2[n+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 0 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4 \\ 3 \end{bmatrix} u[n]$$

$$\begin{bmatrix} y_1[n+1] \\ y_2[n+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \end{bmatrix}$$

الإجابة :

$$y[n] = \begin{bmatrix} 2.3(3)^n + 1.2(-2)^n - 3.5 \\ 4.6(3)^n + 0.4(-2)^n - 5 \end{bmatrix} u[n]$$

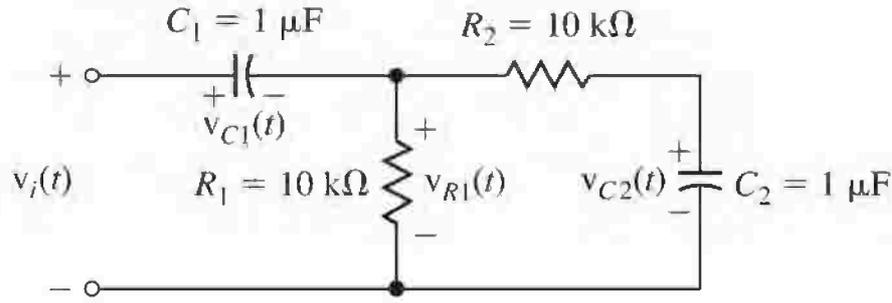
تمارين بدون إجابات

معادلات الحالة المستمرة زمنياً

١٥ - اكتب معادلات الحالة للدائرة الموضحة في شكل (ت - ١٥) إن حيث جهدي المكثفين $v_{c1}(t)$ و $v_{c2}(t)$

هما متغيرات الحالة، والجهد عند الدخل $v_i(t)$ هو الإثارة، والجهد $v_{R1}(t)$ هو الاستجابة. بعد ذلك بفرض

أن المكثفات ليست مشحونة في البداية، أوجد استجابة وحدة الخطوة لهذه الدائرة؟

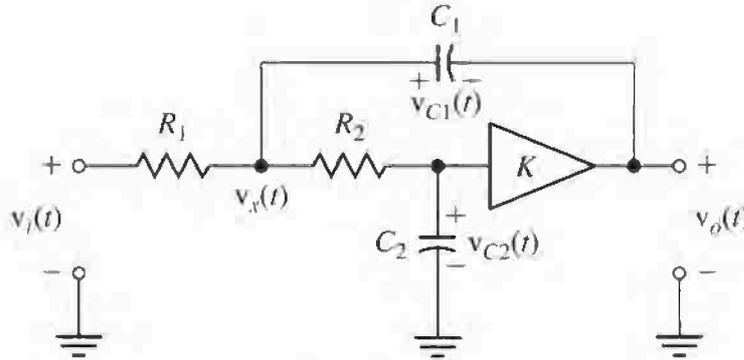


شكل رقم (ت-١٥)

استجابة الأنظمة المستمرة زمنياً

- ١٦- اكتب معادلات الحالة للدائرة الموضحة في شكل (ت- ١٦) حيث إن جهدي المكثفين $v_{c1}(t)$ و $v_{c2}(t)$ هما متغيرات الحالة، والجهد عند الدخل $v_i(t)$ هو الإثارة، والجهد عند الخرج $v_o(t)$ هو الاستجابة. بعد ذلك بفرض أوجد وارسم جهد الاستجابة لإثارة وحدة الخطوة مع فرض الشروط الابتدائية التالية؟

$$\begin{bmatrix} v_{c1}(0) \\ v_{c2}(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ -1 \end{bmatrix}$$



$$R_1 = 6.8 \text{ k}\Omega, R_2 = 12 \text{ k}\Omega, C_1 = 6.8 \text{ nF}, C_2 = 6.8 \text{ nF}, K = 3$$

شكل رقم (ت-١٦)

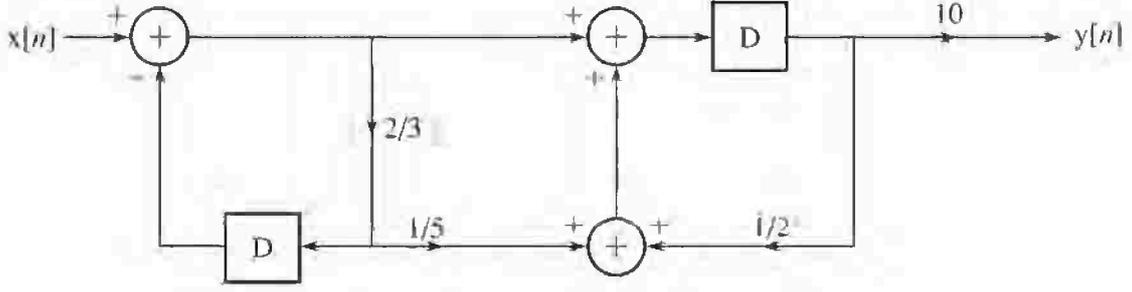
معادلات الحالة المتقطعة زمنياً

- ١٧- اكتب مجموعة من معادلات الحالة المقابلة لدوال العبور التالية (والتي هي مرشحات بتروث متقطعة زمنياً)؟

$$(أ) H(z) = \frac{0.0674z^2 + 0.1349z + 0.06746}{z^2 - 1.143z + 0.4128}$$

$$(ب) H(z) = \frac{0.0201z^4 + 0.0402z^2 + 0.0201}{z^4 - 2.5494z^3 + 3.2024z^2 - 2.0359z + 0.6414}$$

- ١٨- اكتب معادلات الحالة للنظام الموجود في شكل (ت- ١٨).



شكل رقم (ت-١٨)

١٩- نظام متقطع زمنياً تمت إثارته بتتابع الوحدة وكانت استجابته كالتالي :

$$y[n] = (8 + 2(1/2)^{n-1} - 9(3/4)^{n-1})u[n-1]$$

اكتب معادلات الحالة لهذا النظام.

استجابة الأنظمة المتقطعة زمنياً

٢٠- أوجد استجابة النظام الموضح في شكل (ت- ١٨) للإشارة $x[n]=u[n]$. (افتراض أن النظام مستقر في

البداية)؟

٢١- أوجد استجابة النظام الموصوف بهذه المجموعة من معادلات الحالة. (افتراض أن النظام مستقر في

البداية)؟

$$\begin{bmatrix} q_1[n+1] \\ q_2[n+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/2 & -1/5 \\ 0 & 7/10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2 & -3 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u[n] \\ (3/4)^n u[n] \end{bmatrix}$$

$$y[n] = \begin{bmatrix} 4 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u[n] \\ (3/4)^n u[n] \end{bmatrix}$$

القطرية (جعل المصفوفة قطرية)

٢٢- حدّد حالات جديدة تحول هذه المجموعة من معادلات الحالة إلى مجموعة من معادلات الحالة القطرية

واكتب معادلات الحالة الجديدة؟

$$\begin{bmatrix} q_1[n+1] \\ q_2[n+1] \\ q_3[n+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.4 & -0.1 & -0.2 \\ 0.3 & 0 & -0.2 \\ 1 & -0.1 & -0.3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \\ q_3[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2 & -0.5 \\ 1 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.1 \cos(2\pi n/16) u[n] \\ (3/4)^n u[n] \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_1[n+1] \\ y_2[n+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0.3 & 0.7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1[n] \\ q_2[n] \\ q_3[n] \end{bmatrix}$$

الملاحق

ملحق (أ) علاقات رياضية مفيدة

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} + \dots$$

$$\sin(x) = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots$$

$$\cos(x) = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots$$

$$\cos(x) = \cos(-x) \text{ and } \sin(x) = -\sin(-x)$$

$$e^{ix} = \cos(x) + j \sin(x)$$

$$\sin^2(x) + \cos^2(x) = 1$$

$$\cos(x) \cos(y) = \frac{1}{2} [\cos(x - y) + \cos(x + y)]$$

$$\sin(x) \sin(y) = \frac{1}{2} [\cos(x - y) - \cos(x + y)]$$

$$\sin(x) \cos(y) = \frac{1}{2} [\sin(x - y) + \sin(x + y)]$$

$$\cos(x + y) = \cos(x) \cos(y) - \sin(x) \sin(y)$$

$$\sin(x + y) = \sin(x) \cos(y) + \cos(x) \sin(y)$$

$$A \cos(x) + B \sin(x) = \sqrt{A^2 + B^2} \cos(x - \tan^{-1}(B/A))$$

$$\frac{d}{dx} [\tan^{-1}(x)] = \frac{1}{1+x^2}$$

$$\int u \, dv = uv - \int v \, du$$

$$\int x^n \sin(x) \, dx = -x^n \cos(x) + n \int x^{n-1} \cos(x) \, dx$$

$$\int x^n \cos(x) \, dx = x^n \sin(x) - n \int x^{n-1} \sin(x) \, dx$$

$$\int x^n e^{ax} \, dx = \frac{e^{ax}}{a^{n+1}} [(ax)^n - n(ax)^{n-1} + n(n-1)(ax)^{n-2} + \dots + (-1)^{n-1} n! (ax) + (-1)^n n!], n \geq 0$$

$$\int e^{ax} \sin(bx) \, dx = \frac{e^{ax}}{a^2 + b^2} [a \sin(bx) - b \cos(bx)]$$

$$\int e^{ax} \cos(bx) \, dx = \frac{e^{ax}}{a^2 + b^2} [a \cos(bx) + b \sin(bx)]$$

$$\int \frac{dx}{a^2 + (bx)^2} = \frac{1}{ab} \tan^{-1} \left(\frac{bx}{a} \right)$$

$$\int \frac{dx}{(x^2 \pm a^2)^{\frac{1}{2}}} = \ln \left| x + (x^2 \pm a^2)^{\frac{1}{2}} \right|$$

$$\int_0^{\infty} \frac{\sin(mx)}{x} \, dx = \begin{cases} \pi/2 & m > 0 \\ 0, & m = 0 \\ -\pi/2 & m < 0 \end{cases} = \frac{\pi}{2} \operatorname{sgn}(m)$$

$$|Z|^2 = Z Z^*$$

$$\sum_{n=0}^{N-1} r^n = \begin{cases} \frac{1-r^N}{1-r}, & r \neq 1 \\ N, & r = 1 \end{cases}$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} r^n = \frac{1}{1-r}, \quad |r| < 1$$

$$\sum_{n=k}^{\infty} r^n = \frac{r^k}{1-r}, |r| < 1$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} nr^n = \frac{r}{(1-r)^2}, |r| < 1$$

$$\frac{e^{j\pi n}}{e^{j\pi n/N_0}} \text{drcl}\left(\frac{n}{N_0}, N_0\right) = \delta_{N_0}[n], n \text{ and } N_0 \text{ integers}$$

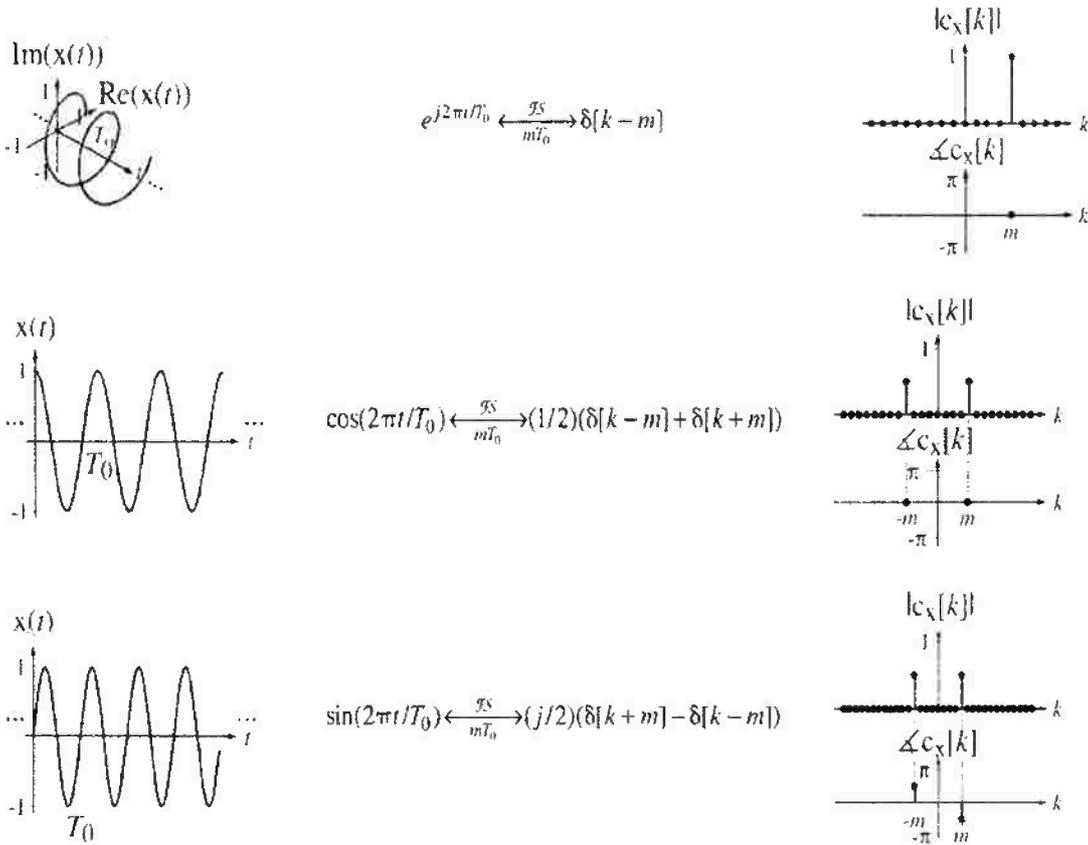
$$\text{drcl}\left(\frac{n}{2m+1}, 2m+1\right) = \delta_{2m+1}[n], n \text{ and } m \text{ integers}$$

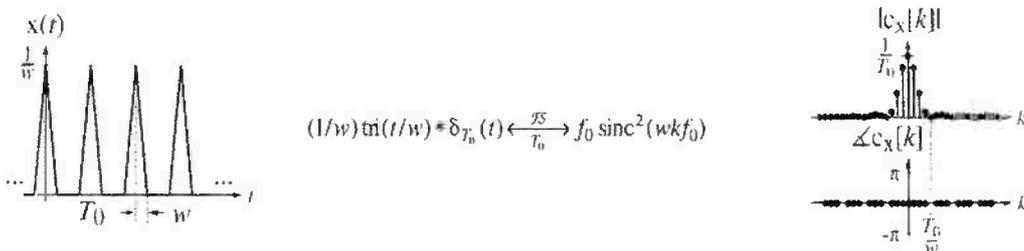
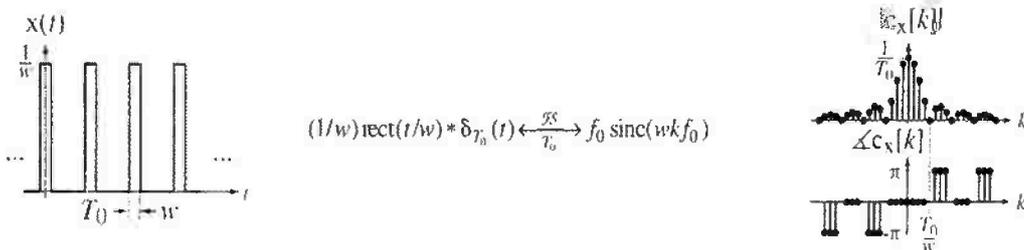
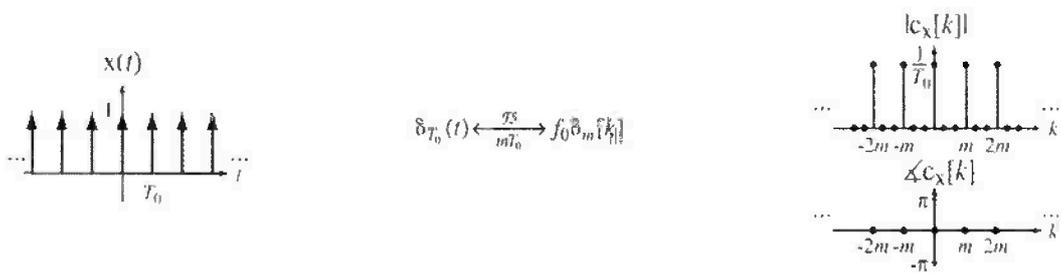
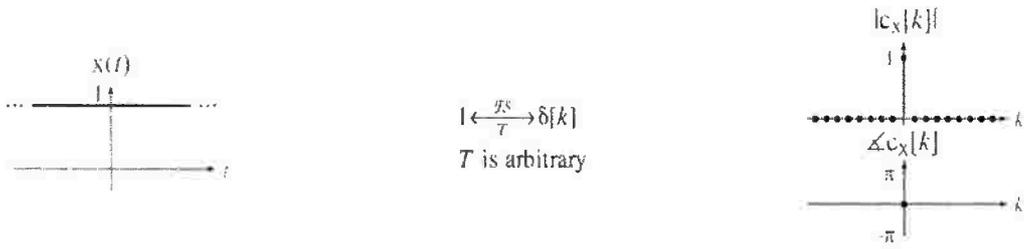
ملحق (ب) متوالية فروير للزمن المستمر

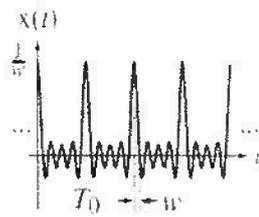
Continuous-time Fourier series (CTFS) for a periodic function with fundamental period $T_0 = 1/f_0 = 2\pi/\omega_0$ represented over the period T .

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_x[k] e^{j2\pi k t/T} \xleftrightarrow{\frac{f_s}{T}} c_x[k] = \frac{1}{T} \int_T x(t) e^{-j2\pi k t/T} dt$$

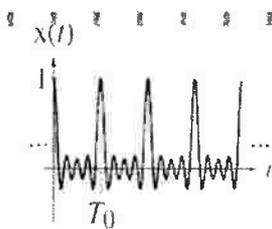
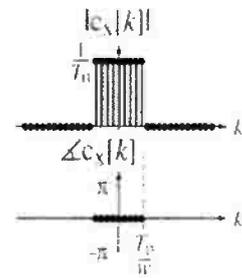
In these pairs k, n and m are integers.





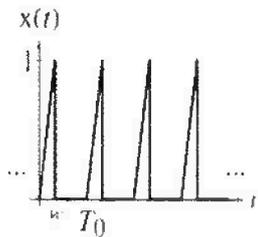
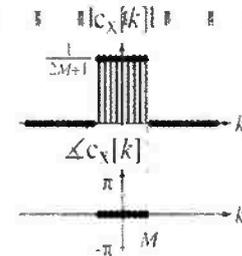


$$(1/w) \text{sinc}(t/w) * \delta_{T_0}(t) \xrightarrow{\frac{\pi S}{T_0}} f_0 \text{rect}(wkf_0)$$

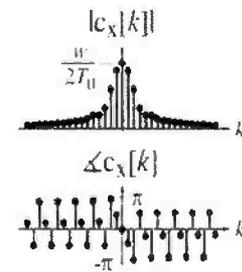


$$\text{dtri}(f_0 t, 2M+1) \xrightarrow{\frac{\pi S}{T_0}} \frac{u[n+M] - u[n-M-1]}{2M+1}$$

M an integer



$$\frac{t}{w} [u(t) - u(t-w)] * \delta_{T_0}(t) \xrightarrow{\frac{\pi S}{T_0}} \frac{1 - [j(2\pi kw)/T_0 + 1]e^{-j(2\pi kw/T_0)} - 1}{(2\pi k/T_0)^2}$$

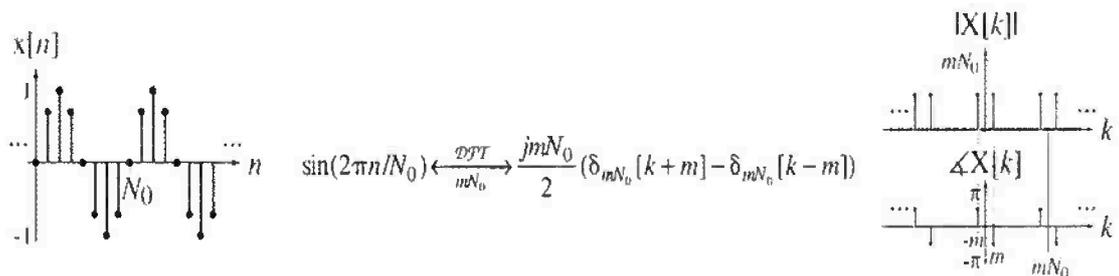
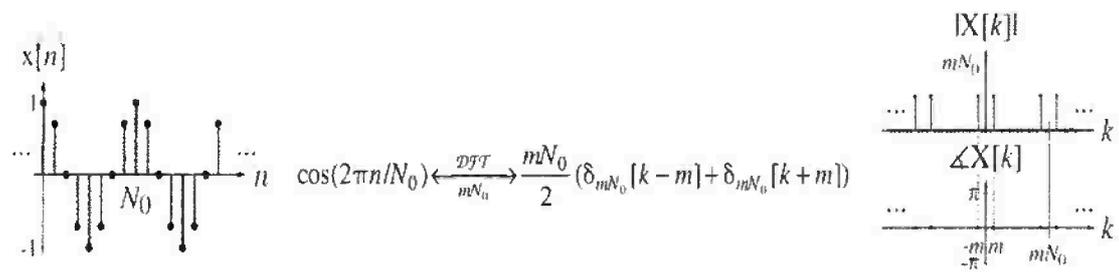
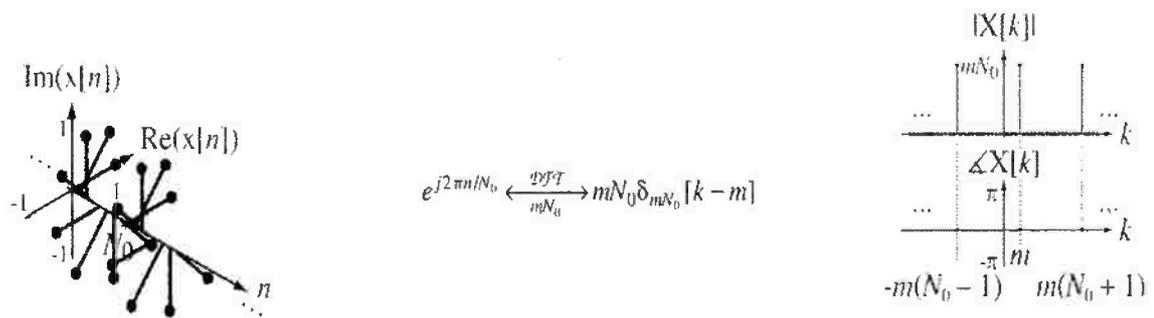


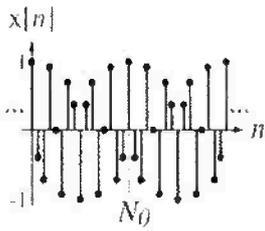
ملحق (ج) متوالية فروير للزمن المتقطع

Discrete Fourier transform (DFT) for a periodic discrete-time function with fundamental period N_0 represented over the period N .

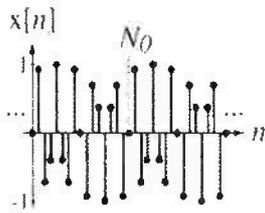
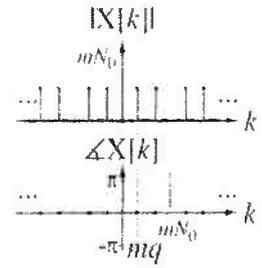
$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=\langle N \rangle} X[k] e^{j2\pi kn/N} \xleftrightarrow{\frac{DFT}{N}} X[k] = \sum_{n=\langle N \rangle} x[n] e^{-j2\pi kn/N}$$

In all these pairs $k, n, m, q, N_u, N_0, N, n_0$ and n_1 are integers.

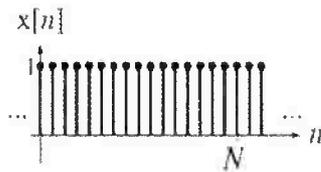
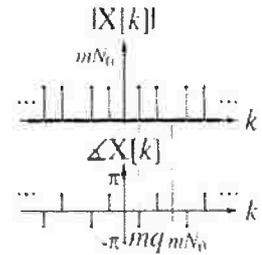




$$\cos(2\pi qn/N_0) \xrightarrow{\frac{DFT}{mN_0}} \frac{mN_0}{2} (\delta_{mN_0}[k - mq] + \delta_{mN_0}[k + mq])$$

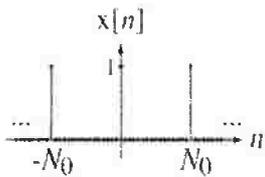
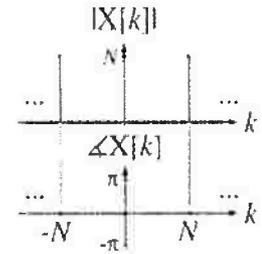


$$\sin(2\pi qn/N_0) \xrightarrow{\frac{DFT}{mN_0}} \frac{jmN_0}{2} (\delta_{mN_0}[k + mq] - \delta_{mN_0}[k - mq])$$

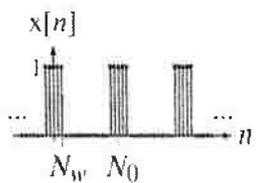
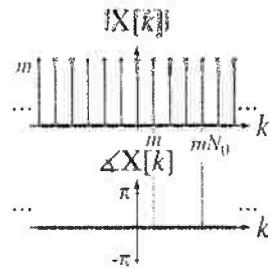


$$1 \xrightarrow{\frac{DFT}{N}} N\delta_N[k]$$

N is arbitrary

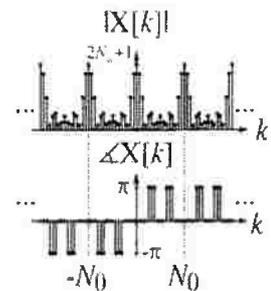


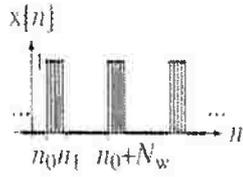
$$\delta_{N_0}[n] \xrightarrow{\frac{DFT}{mN_0}} m\delta_{mN_0}[k]$$



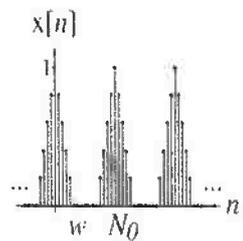
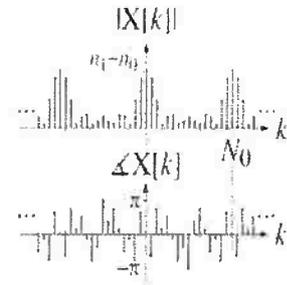
$$(u[n + N_w] - u[n - N_w - 1]) * \delta_{N_0}[n] \xrightarrow{\frac{DFT}{N_0}} (2N_w + 1) \text{sinc}(k/N_0, 2N_w + 1)$$

N_w an integer

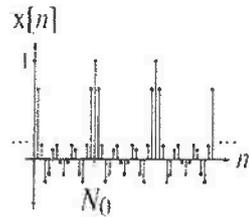
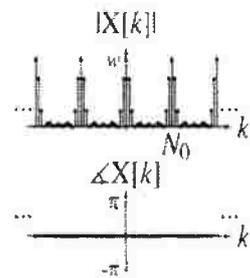




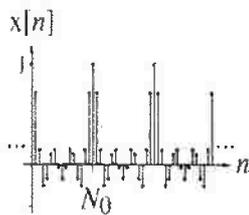
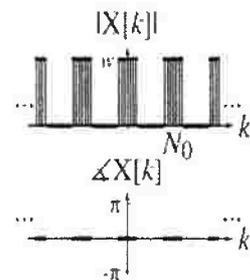
$$\begin{aligned}
 (u[n-n_0] - u[n-n_1]) * \delta_{N_0}[n] &\xleftrightarrow{\frac{DFT}{N_0}} \\
 \frac{e^{-j\pi k(n_1+n_0)/N_0}}{e^{-j\pi k n_0/N_0}} (n_1 - n_0) \text{drcI}(k/N_0, n_1 - n_0)
 \end{aligned}$$



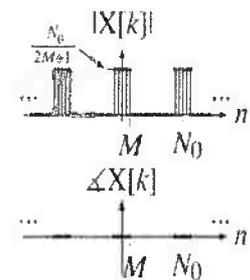
$$\begin{aligned}
 \text{tri}(n/w) * \delta_{N_0}[n] &\xleftrightarrow{\frac{DFT}{N_0}} w \text{sinc}^2(wk/N_0) * \delta_{N_0}[k] \\
 \text{tri}(n/N_w) * \delta_{N_0}[n] &\xleftrightarrow{\frac{DFT}{N_0}} N_w \text{drcI}^2(k/N_0, N_w) \\
 N_w \text{ an integer}
 \end{aligned}$$



$$\text{sinc}(n/w) * \delta_{N_0}[n] \xleftrightarrow{\frac{DFT}{N_0}} w \text{rect}(wk/N_0) * \delta_{N_0}[k]$$



$$\begin{aligned}
 \text{drcI}(n/N_0, 2M+1) &\xleftrightarrow{\frac{DFT}{N_0}} \\
 \frac{u[n+M] - u[n-M-\frac{1}{2}]}{2M+1} * N_0 \delta_{N_0}[k] \\
 M \text{ an integer}
 \end{aligned}$$

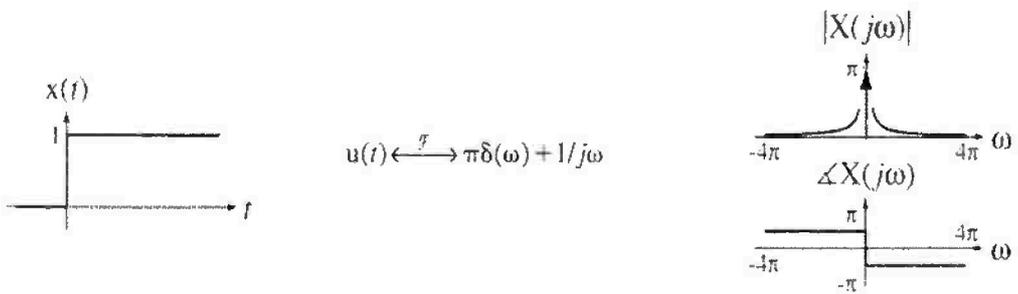
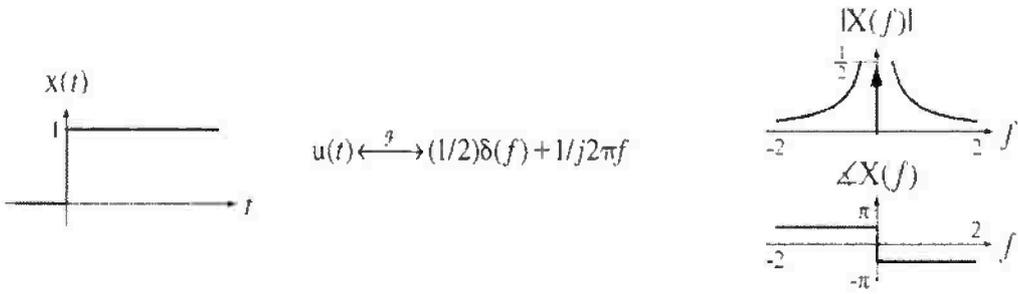


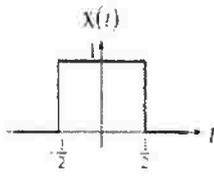
ملحق (د) تحويل فروير للزمن المستمر

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{+j2\pi ft} df \xleftrightarrow{f} X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(j\omega)e^{+j\omega t} d\omega \xleftrightarrow{\omega} X(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt$$

For all the periodic time functions, the fundamental period is $T_0 = 1/f_0 = 2\pi/\omega_0$.

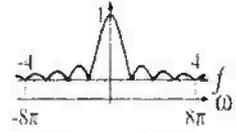




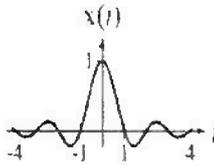
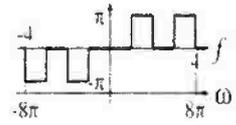
$$\text{rect}(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \text{sinc}(f)$$

$$\text{rect}(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \text{sinc}(\omega/2\pi)$$

$|X(f)|$ and $|X(j\omega)|$



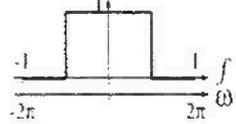
$\angle X(f)$ and $\angle X(j\omega)$



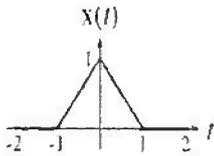
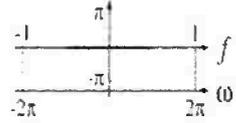
$$\text{sinc}(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \text{rect}(f)$$

$$\text{sinc}(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \text{rect}(\omega/2\pi)$$

$|X(f)|$ and $|X(j\omega)|$



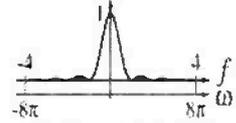
$\angle X(f)$ and $\angle X(j\omega)$



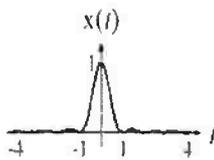
$$\text{tri}(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \text{sinc}^2(f)$$

$$\text{tri}(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \text{sinc}^2(\omega/2\pi)$$

$|X(f)|$ and $|X(j\omega)|$



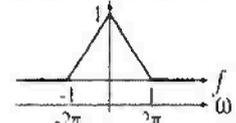
$\angle X(f)$ and $\angle X(j\omega)$



$$\text{sinc}^2(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \text{tri}(f)$$

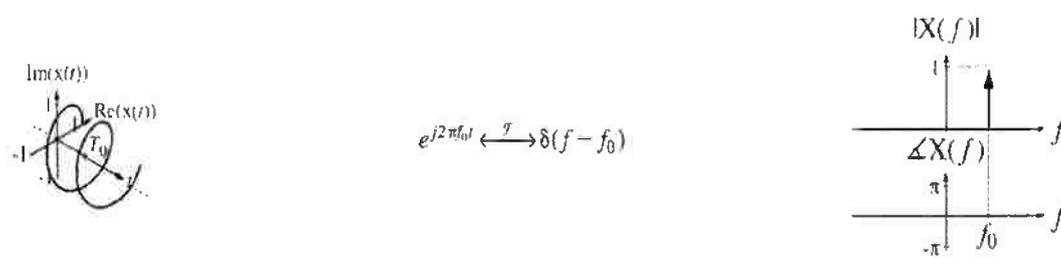
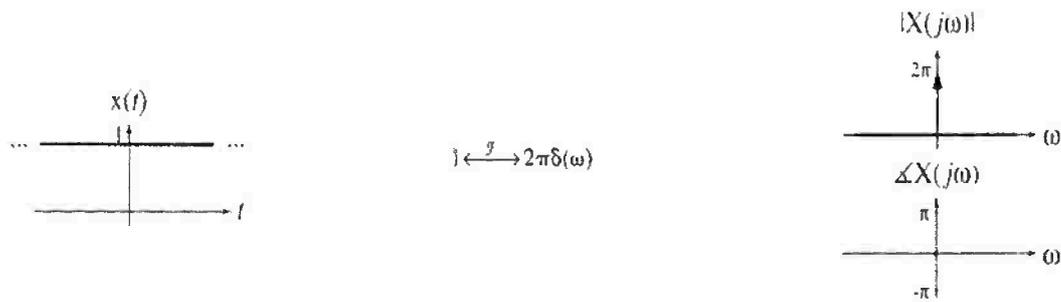
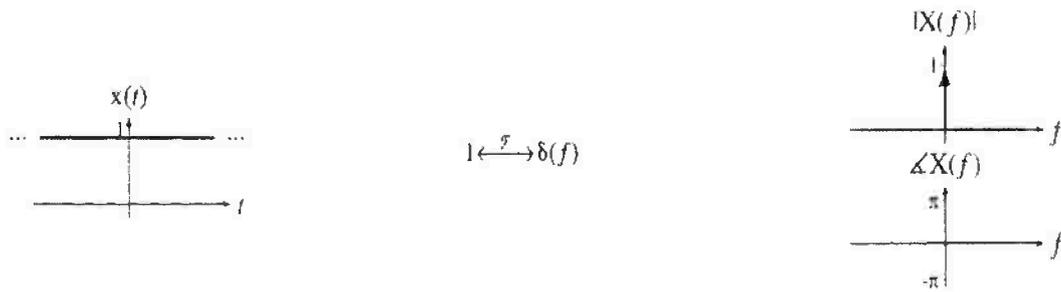
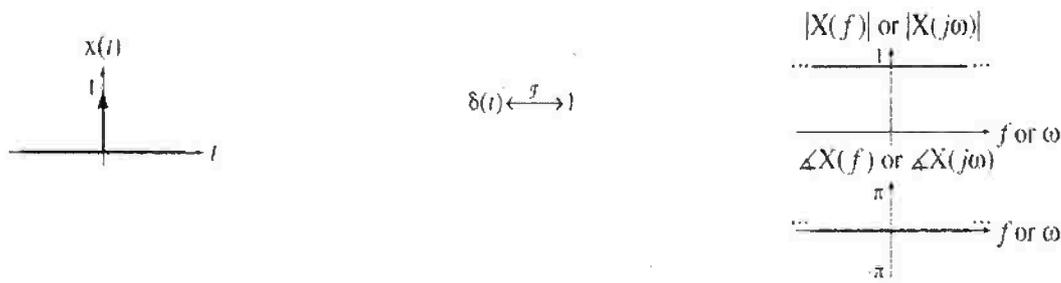
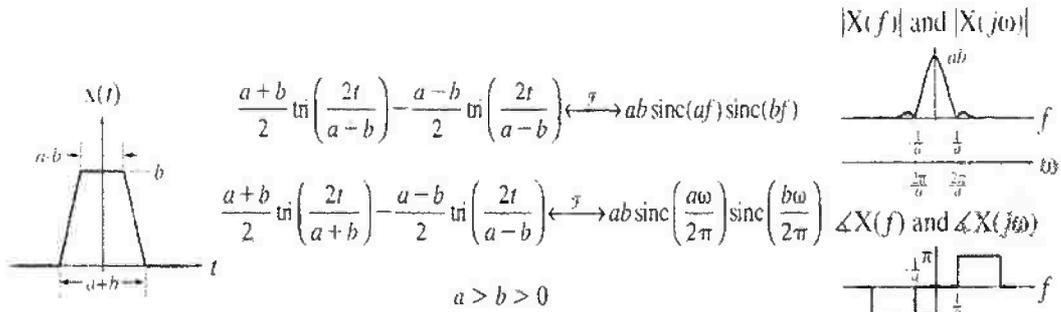
$$\text{sinc}^2(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \text{tri}(\omega/2\pi)$$

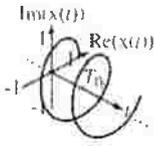
$|X(f)|$ and $|X(j\omega)|$



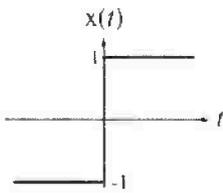
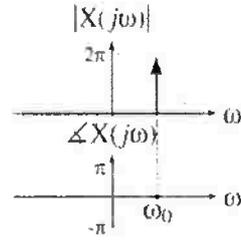
$X(f)$ and $\angle X(j\omega)$



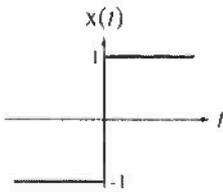
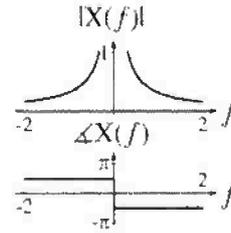




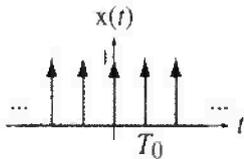
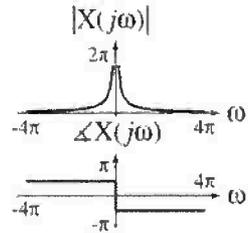
$$e^{j\omega_0 t} \xleftrightarrow{\mathcal{F}} 2\pi\delta(\omega - \omega_0)$$



$$\text{sgn}(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} 1/j\pi f$$

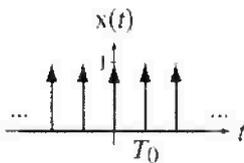
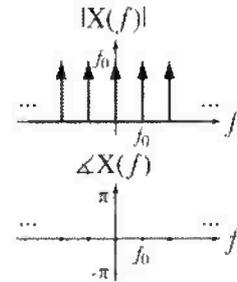


$$\text{sgn}(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} 2/j\omega$$



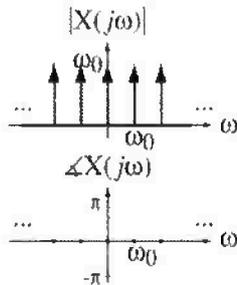
$$\delta_{T_0}(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} f_0 \delta_{f_0}(f)$$

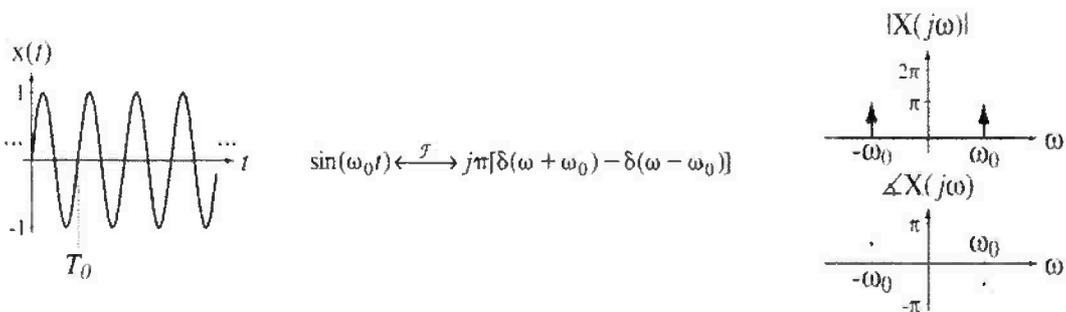
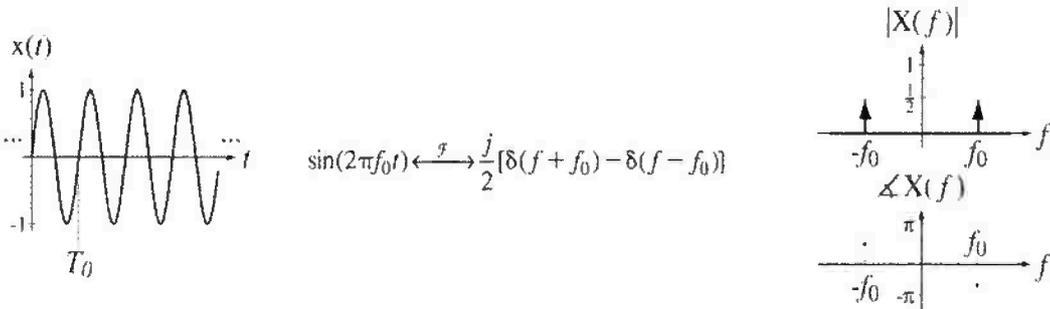
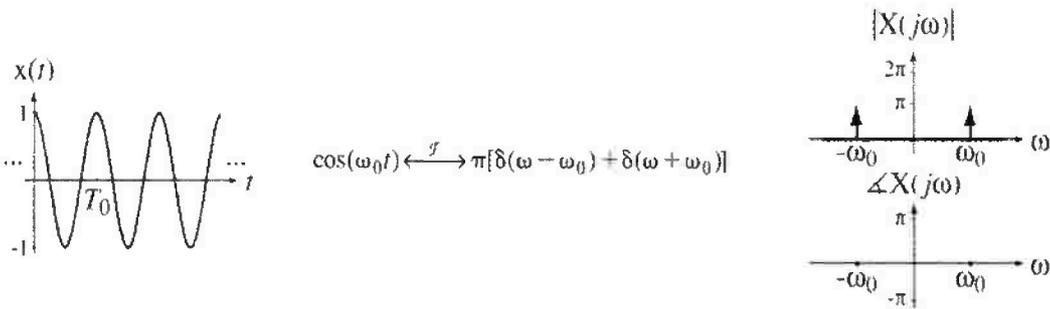
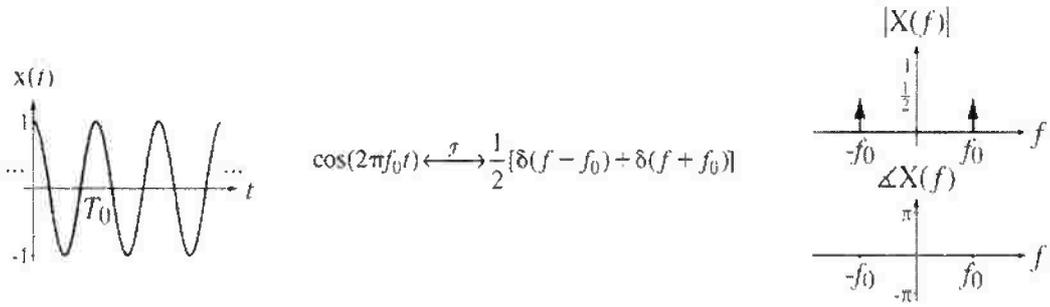
$$f_0 = 1/T_0$$

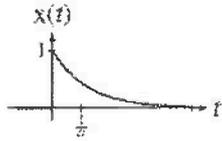


$$\delta_{T_0}(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \omega_0 \delta_{\omega_0}(\omega)$$

$$\omega_0 = 2\pi/T_0$$



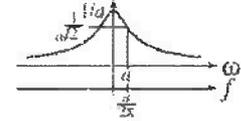




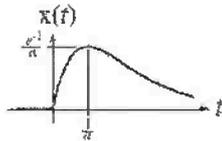
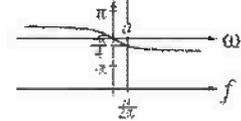
$$e^{-at} u(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{j\omega + a}, \text{Re}(a) > 0$$

$$e^{-at} u(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{j2\pi f + a}, \text{Re}(a) > 0$$

$|X(j\omega)|$ and $|X(f)|$



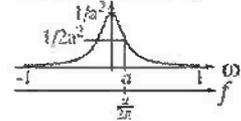
$\angle X(j\omega)$ and $\angle X(f)$



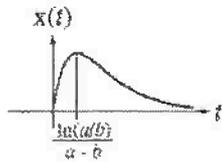
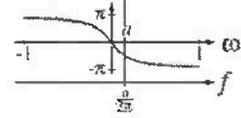
$$te^{-at} u(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{(j\omega + a)^2}, \text{Re}(a) > 0$$

$$te^{-at} u(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{(j2\pi f + a)^2}, \text{Re}(a) > 0$$

$|X(j\omega)|$ and $|X(f)|$



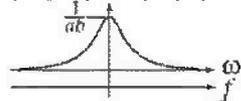
$\angle X(j\omega)$ and $\angle X(f)$



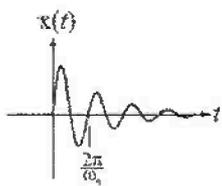
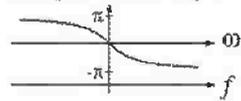
$$\frac{e^{-at} - e^{-bt}}{b-a} u(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{(j\omega + a)(j\omega + b)}, \text{Re}(a) > 0, \text{Re}(b) > 0, a \neq b$$

$$\frac{e^{-at} - e^{-bt}}{b-a} u(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{(j2\pi f + a)(j2\pi f + b)}, \text{Re}(a) > 0, \text{Re}(b) > 0, a \neq b$$

$|X(j\omega)|$ and $|X(f)|$



$\angle X(j\omega)$ and $\angle X(f)$

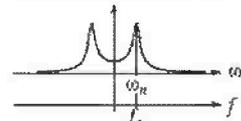


$$e^{-\alpha t} \sin(\omega_c t) u(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{\omega_c}{(j\omega + \alpha)^2 + \omega_c^2}$$

$$e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t) u(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{\omega_c}{(j\omega)^2 + j\omega(2\zeta\omega_n) + \omega_n^2}$$

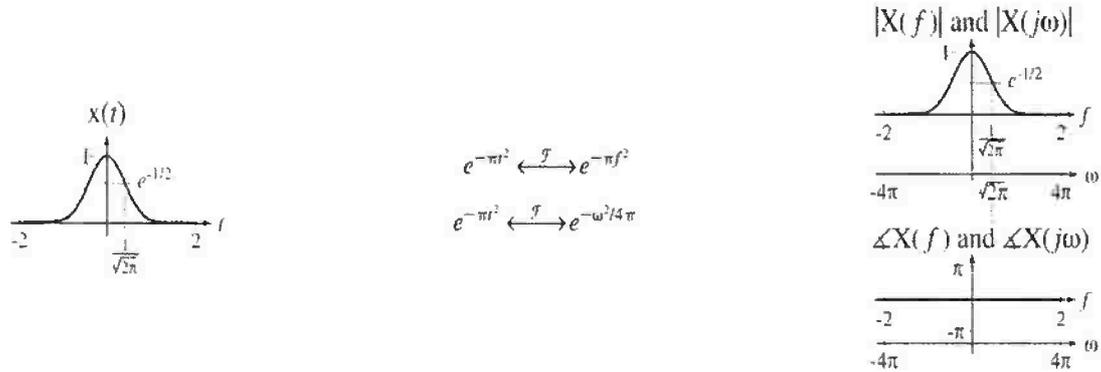
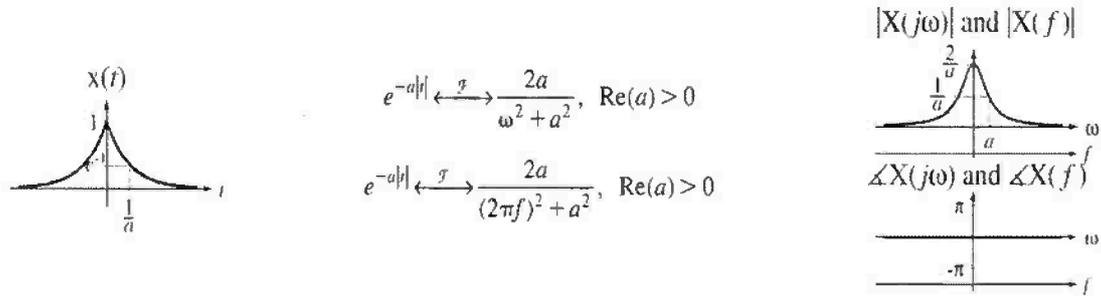
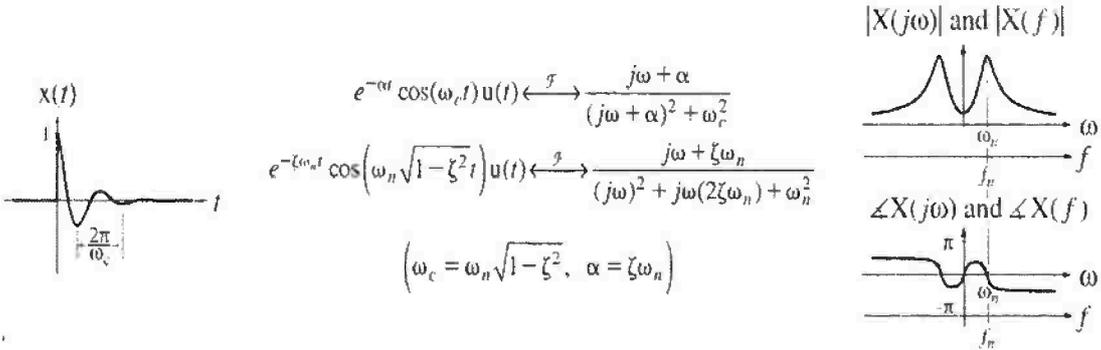
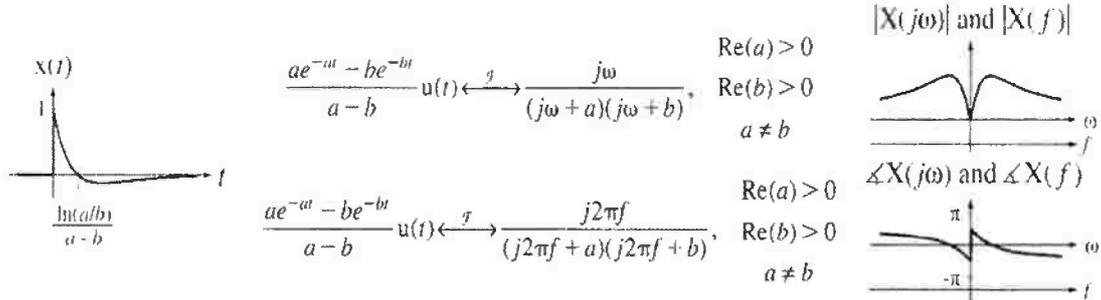
$$\left(\omega_c = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}, \alpha = \zeta\omega_n \right)$$

$|X(j\omega)|$ and $|X(f)|$



$\angle X(j\omega)$ and $\angle X(f)$



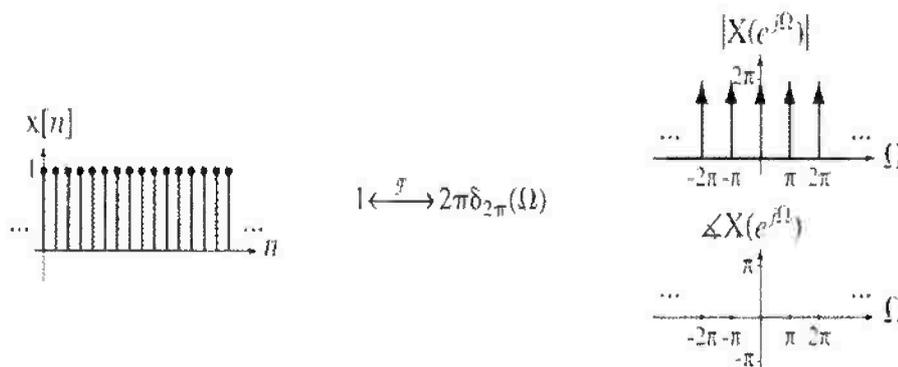
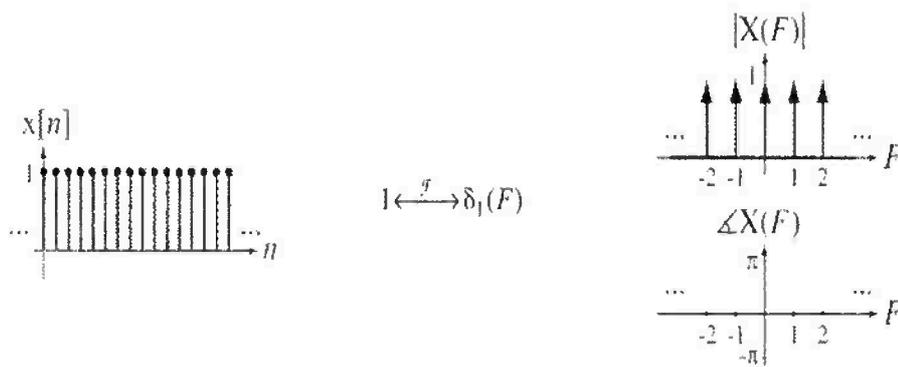


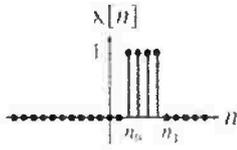
ملحق (هـ) تحويل فروير للزمن المتقطع

$$x[n] = \int_{-\infty}^{\infty} X(F) e^{j2\pi F n} dF \xleftrightarrow{\mathcal{F}} X(F) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j2\pi F n}$$

$$x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(e^{j\Omega}) e^{j\Omega n} d\Omega \xleftrightarrow{\mathcal{F}} X(e^{j\Omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j\Omega n}$$

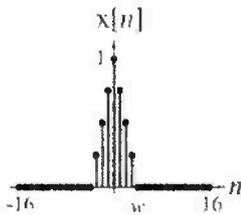
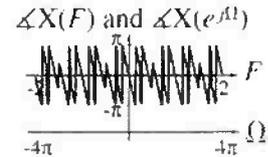
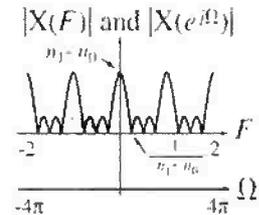
For all the periodic time functions, the fundamental period is $N_0 = 1/F_0 = 2\pi/\Omega_0$. In all these pairs, n, N_w, N_0, n_0 and n_1 are integers.





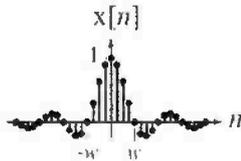
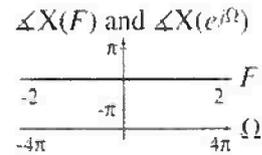
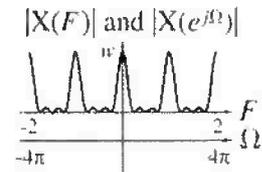
$$u[n - n_0] - u[n - n_1] \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{e^{-j\pi F(n_1 + n_0)}}{e^{-j\pi F n_1}} (n_1 - n_0) \text{sinc}(F, n_1 - n_0)$$

$$u[n - n_0] - u[n - n_1] \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{e^{-j\Omega(n_1 + n_0)/2}}{e^{-j\Omega n_1/2}} (n_1 - n_0) \text{sinc}\left(\frac{\Omega}{2\pi}, n_1 - n_0\right)$$



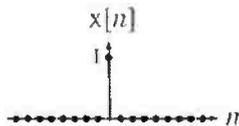
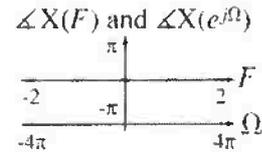
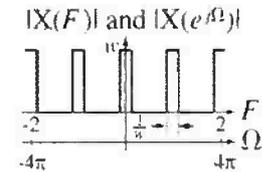
$$\text{tri}(n/w) \xrightarrow{\mathcal{F}} w \text{sinc}^2(F, w)$$

$$\text{tri}(n/w) \xrightarrow{\mathcal{F}} w \text{sinc}^2(\Omega/2\pi, w)$$

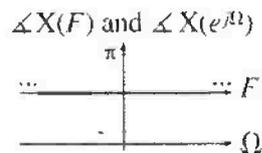
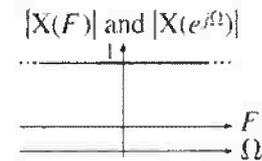


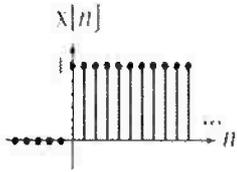
$$\text{sinc}(n/w) \xrightarrow{\mathcal{F}} w \text{rect}(wF) * \delta_1(F)$$

$$\text{sinc}(n/w) \xrightarrow{\mathcal{F}} w \text{rect}(w\Omega/2\pi) * \delta_{2\pi}(\Omega)$$

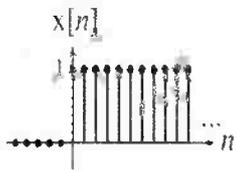
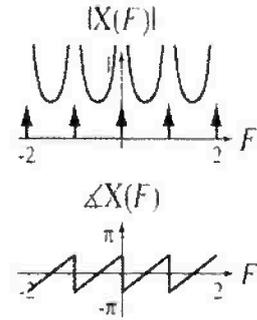


$$\delta[n] \xrightarrow{\mathcal{F}} 1$$

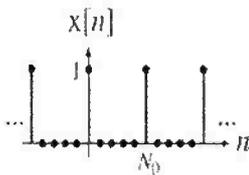
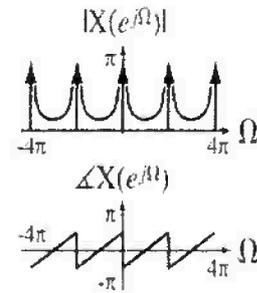




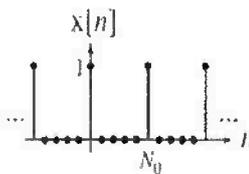
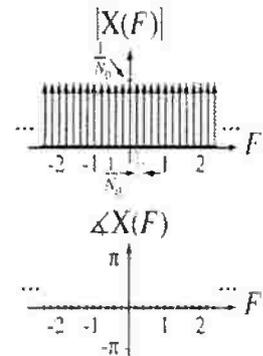
$$u[n] \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{1 - e^{-j2\pi F}} + \frac{1}{2} \delta_1(F)$$



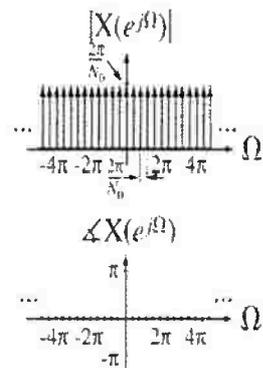
$$u[n] \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{1 - e^{-j\Omega}} + \pi \delta_{2\pi}(\Omega)$$

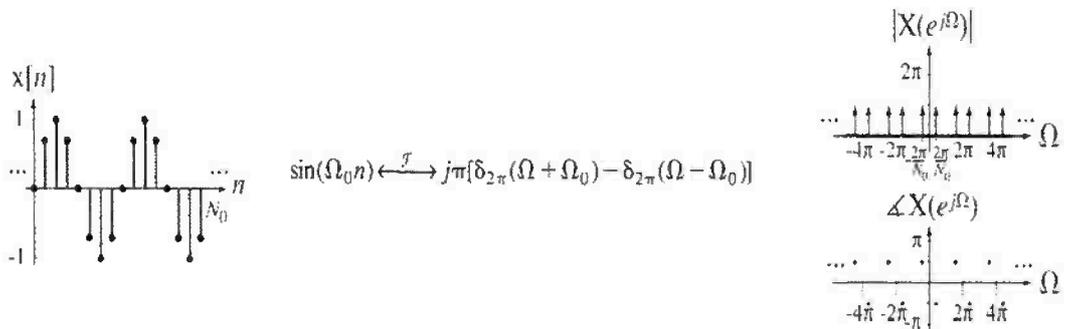
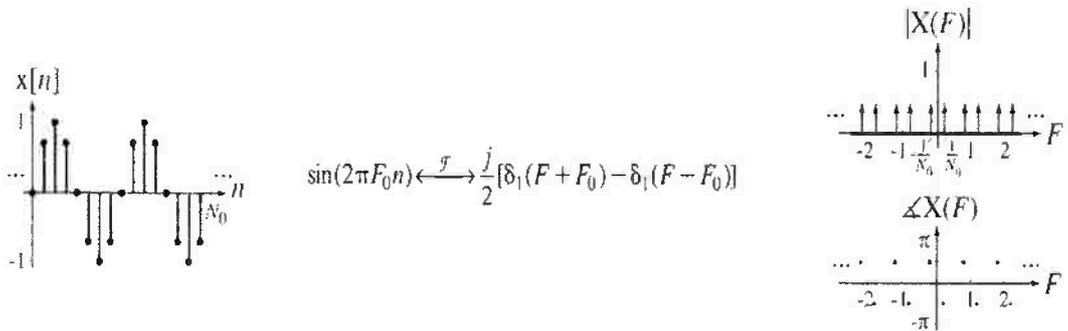
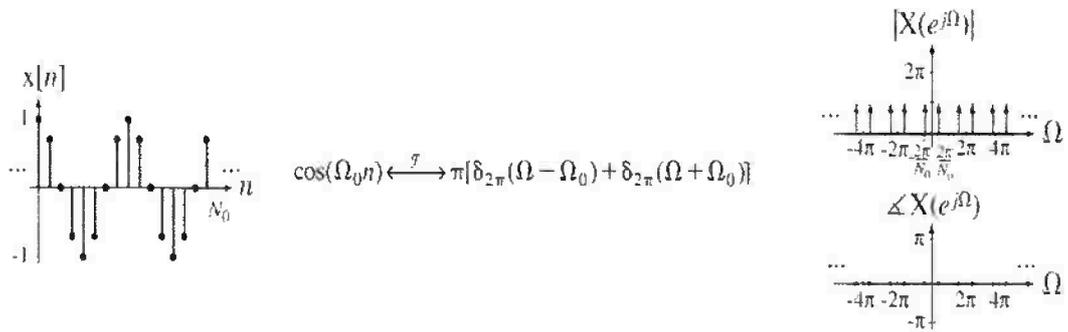
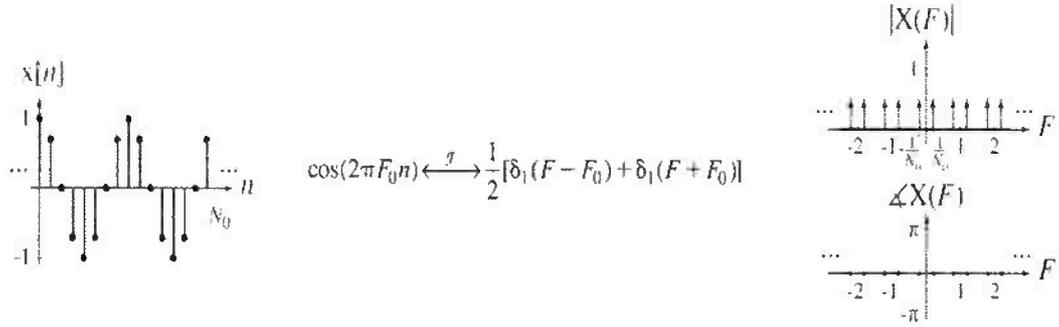


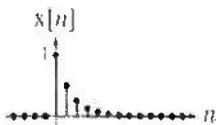
$$\delta_{N_0}[n] \xleftrightarrow{\mathcal{F}} (1/N_0) \delta_{1/N_0}(F) = F_0 \delta_{F_0}(F)$$



$$\delta_{N_0}[n] \xleftrightarrow{\mathcal{F}} (2\pi/N_0) \delta_{2\pi/N_0}(\Omega) = \Omega_0 \delta_{\Omega_0}(\Omega)$$

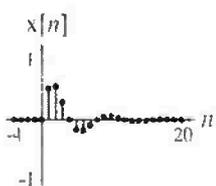
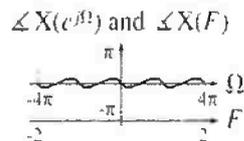
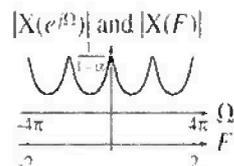






$$\alpha^n u[n] \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{1 - \alpha e^{-j\Omega}}, \quad |\alpha| < 1$$

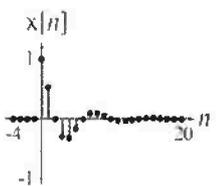
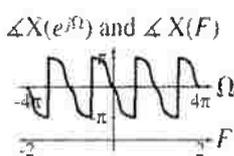
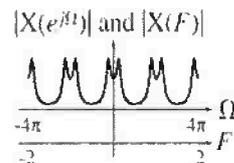
$$\alpha^n u[n] \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{1 - \alpha e^{-j2\pi F}}$$



$$\alpha^n \sin(\Omega_n n) u[n] \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{\alpha \sin(\Omega_n) e^{-j\Omega}}{1 - 2\alpha \cos(\Omega_n) e^{-j\Omega} + \alpha^2 e^{-j2\Omega}}$$

$$\alpha^n \sin(2\pi F_n n) u[n] \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{\alpha \sin(2\pi F_n) e^{-j2\pi F}}{1 - 2\alpha \cos(2\pi F_n) e^{-j2\pi F} + \alpha^2 e^{-j4\pi F}}$$

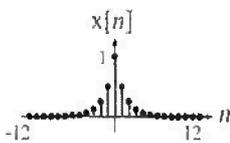
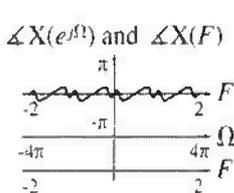
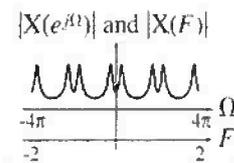
$|\alpha| < 1$



$$\alpha^n \cos(\Omega_n n) u[n] \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1 - \alpha \cos(\Omega_n) e^{-j\Omega}}{1 - 2\alpha \cos(\Omega_n) e^{-j\Omega} + \alpha^2 e^{-j2\Omega}}$$

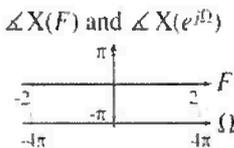
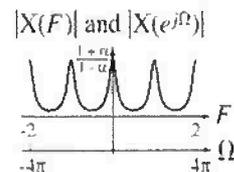
$$\alpha^n \cos(2\pi F_n n) u[n] \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1 - \alpha \cos(2\pi F_n) e^{-j2\pi F}}{1 - 2\alpha \cos(2\pi F_n) e^{-j2\pi F} + \alpha^2 e^{-j4\pi F}}$$

$|\alpha| < 1$



$$\alpha^{|n|} \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1 - \alpha^2}{1 - 2\alpha \cos(2\pi F) + \alpha^2}, \quad |\alpha| < 1$$

$$\alpha^{|n|} \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1 - \alpha^2}{1 - 2\alpha \cos(\Omega) + \alpha^2}$$



ملحق (و) جداول تحويل لابلاس

$$\delta(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} 1, \quad \text{All } s$$

$$u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{1}{s}, \quad \text{Re}(s) > 0$$

$$u_{-n}(t) = \underbrace{u(t) * \dots * u(t)}_{(n-1) \text{ convolutions}} \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{1}{s^n}, \quad \text{Re}(s) > 0$$

$$t u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{1}{s^2}, \quad \text{Re}(s) > 0$$

$$e^{-\alpha t} u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{1}{s+\alpha}, \quad \text{Re}(s) > -\alpha$$

$$t^n u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{n!}{s^{n+1}}, \quad \text{Re}(s) > 0$$

$$t e^{-\alpha t} u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{1}{(s+\alpha)^2}, \quad \text{Re}(s) > -\alpha$$

$$t^n e^{-\alpha t} u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{n!}{(s+\alpha)^{n+1}}, \quad \text{Re}(s) > -\alpha$$

$$\sin(\omega_0 t) u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{\omega_0}{s^2 + \omega_0^2}, \quad \text{Re}(s) > 0$$

$$\cos(\omega_0 t) u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{s}{s^2 + \omega_0^2}, \quad \text{Re}(s) > 0$$

$$e^{-\alpha t} \sin(\omega_c t) u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{\omega_c}{(s+\alpha)^2 + \omega_c^2}, \quad \text{Re}(s) > -\alpha$$

$$e^{-\alpha t} \cos(\omega_c t) u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{s+\alpha}{(s+\alpha)^2 + \omega_c^2}, \quad \text{Re}(s) > -\alpha$$

$$e^{-\alpha t} \left[A \cos(\omega_c t) + \left(\frac{B-A\alpha}{\beta} \right) \sin(\omega_c t) \right] u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{As+B}{(s+\alpha)^2 + \omega_c^2}$$

$$e^{-\alpha t} \left[\sqrt{A^2 + \left(\frac{B-A\alpha}{\omega_c} \right)^2} \cos \left(\omega_c t - \tan^{-1} \left(\frac{B-A\alpha}{A\omega_c} \right) \right) \right] u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{As+B}{(s+\alpha)^2 + \omega_c^2}$$

$$e^{-\frac{c}{2}t} \left[A \cos \sqrt{D - \left(\frac{c}{2} \right)^2} t + \frac{2B-AC}{\sqrt{4D-C^2}} \sin \left(\sqrt{D - \left(\frac{c}{2} \right)^2} t \right) \right] u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{As+B}{s^2 + Cs + D}$$

$$e^{-\frac{c}{2}t} \left[\sqrt{A^2 + \left(\frac{2B-AC}{\sqrt{4D-C^2}} \right)^2} \cos \left(\sqrt{D - \left(\frac{c}{2} \right)^2} t - \tan^{-1} \left(\frac{2B-AC}{A\sqrt{4D-C^2}} \right) \right) \right] u(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{As+B}{s^2 + Cs + D}$$

$$-u(-t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{1}{s}, \quad \text{Re}(s) < 0$$

$$-e^{\alpha t} u(-t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{1}{s+\alpha}, \quad \text{Re}(s) < -\alpha$$

$$-t^n u(-t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{n!}{s^{n+1}}, \quad \text{Re}(s) < 0$$

$$e^{-\alpha|t|} \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{1}{s+\alpha} - \frac{1}{s-\alpha}, \quad -\alpha < \text{Re}(s) < \alpha$$

$$\text{rect}(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \frac{e^{-s/2} - e^{s/2}}{s}, \quad \text{All } s$$

$$\text{tri}(t) \stackrel{\mathcal{L}}{\leftrightarrow} \left(\frac{e^{s/2} - e^{-s/2}}{s} \right)^2, \quad \text{All } s$$

ملحق (ذ) تحويل أزواج زد

$$\delta[n] \stackrel{z}{\leftrightarrow} 1, \text{ All } z$$

$$u[n] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z}{z-1} = \frac{1}{1-z^{-1}}, |z| > 1$$

$$\alpha^n u[n] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z}{z-\alpha} = \frac{1}{1-\alpha z^{-1}}, |z| > |\alpha|$$

$$nu[n] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z}{(z-1)^2} = \frac{z^{-1}}{(1-z^{-1})^2}, |z| > 1$$

$$n^2 u[n] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z(z+1)}{(z-1)^3} = \frac{1+z^{-1}}{z(1-z^{-1})}, |z| > 1$$

$$n\alpha^n u[n] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z\alpha}{(z-\alpha)^2} = \frac{\alpha z^{-1}}{(1-\alpha z^{-1})^2}, |z| > |\alpha|$$

$$n^m \alpha^n u[n] \stackrel{z}{\leftrightarrow} -z^m \frac{d^m}{dz^m} \left(\frac{z}{z-\alpha} \right), |z| > |\alpha|$$

$$\frac{n(n-1)(n-2)\dots(n-m+1)}{m!} \alpha^{n-m} u[n] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z}{(z-\alpha)^{m+1}}, |z| > |\alpha|$$

$$\sin(\Omega_0 n) u[n] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z \sin(\Omega_0)}{z^2 - 2z \cos(\Omega_0) + 1} = \frac{\sin(\Omega_0) z^{-1}}{1 - 2 \cos(\Omega_0) z^{-1} + z^{-2}}, |z| > 1$$

$$\cos(\Omega_0 n) u[n] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z [z - \cos(\Omega_0)]}{z^2 - 2z \cos(\Omega_0) + 1} = \frac{1 - \cos(\Omega_0) z^{-1}}{1 - 2 \cos(\Omega_0) z^{-1} + z^{-2}}, |z| > 1$$

$$\alpha^n \sin(\Omega_0 n) u[n] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z\alpha \sin(\Omega_0)}{z^2 - 2\alpha z \cos(\Omega_0) + \alpha^2} = \frac{\alpha \sin(\Omega_0) z^{-1}}{1 - 2\alpha \cos(\Omega_0) z^{-1} + \alpha^2 z^{-2}}, |z| > |\alpha|$$

$$\alpha^n \cos(\Omega_0 n) u[n] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z [z - \alpha \cos(\Omega_0)]}{z^2 - 2\alpha z \cos(\Omega_0) + \alpha^2} = \frac{1 - \alpha \cos(\Omega_0) z^{-1}}{1 - 2\alpha \cos(\Omega_0) z^{-1} + \alpha^2 z^{-2}}, |z| > |\alpha|$$

$$-u[-n-1] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z}{z-1}, |z| < 1$$

$$-\alpha^n u[-n-1] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z}{z-\alpha}, |z| < |\alpha|$$

$$-n\alpha^n u[-n-1] \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{\alpha z}{(z-\alpha)^2}, |z| < |\alpha|$$

$$\alpha^{|n|} \stackrel{z}{\leftrightarrow} \frac{z}{z-\alpha} - \frac{z}{z-1/\alpha}, |\alpha| < |z| < |1/\alpha|$$

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي - إنكليزي

أ

excitations	إثارة
complex exponential excitation	إثارة أسية مركبة
periodic excitation	الإثارة الدورية
sampling	أخذ العينات (العيننة)
signal transmission	إرسال الإشارة
binary numbers	الأرقام الثنائية
shifting	إزاحة
frequency shifting	إزاحة التردد
space shifting	إزاحة في الفراغ
Thermocouples	ازدواج حراري
multiplication-convolution duality	ازدواجية الضرب والالتفاف
responses	استجابات
human ear, response to sounds	استجابة الأذن البشرية للأصوات
frequency response	استجابة التردد
harmonic response	استجابة التوافق
voltage response	استجابة جهدية
step response	استجابة الخطوة

zero-input response	استجابة الدخل الصفري
impulse response	الاستجابة النبضية
natural response	الاستجابة الطبيعية
total system response	الاستجابة الكلية للنظام
parallel response	الاستجابة المتوازية
ADC response	استجابة المحول التماثلي الرقمي
truncated ideal impulse response	استجابة النبضة المثالية المقطوعة
system response	استجابة النظام
discrete-time system response	استجابة النظام لأنظمة الإشارات المتقطعة
transient response	الاستجابة الانتقالية
unbounded response	الاستجابة غير المحدودة
unit-step response	استجابة وحدة الخطوة
stability	الاستقرار
BIBO stability	استقرار البيبو، استقرار الدخل المحدود والخرج المحدود
system stability	استقرار النظام
marginal stability	الاستقرار الهامشي
exponentials	الأسس
quantizing signals	إشارات التكمية
input signals	إشارات الدخل
periodic signals	الإشارات الدورية
energy signals	إشارات الطاقة
random signals	الإشارات العشوائية
standard signals	الإشارات القياسية
deterministic signal	الإشارات المحدودة
time limited signals	الإشارات المحدودة زمنياً
continuous signals	الإشارات المستمرة

continuous-time signals	الإشارات المستمرة زمنياً
left-sided signal	الإشارات اليسارية
aperiodic signals	الإشارات غير الدورية
bandlimited signals	الإشارات محدودة المجال
error signal	إشارة الخطأ
clipped signal	الإشارة المقصوفة
log-amplified signal	الإشارة المكبرة لوغاريتمياً
undersampled signal	إشارة تحت معدل العينة
signal reconstruction	إعادة تشكيل الإشارة
minimum sampling rate	أقل معدل لأخذ العينات (العينة)
Convolution	الالتفاف
periodic convolution	الالتفاف الدوري
numerical convolution	الالتفاف الرقمي
continuous-time numerical convolution	الالتفاف العددي المستمر زمنياً
aperiodic convolution	الالتفاف غير الدوري
zero padding	إلحاق الأصفار
electromagnetic energy propagation	انتشار الطاقة الكهرومغناطيسية
real systems	الأنظمة الحقيقية
distortionless system	الأنظمة الخالية من التشويه
nonlinear systems	الأنظمة الخطية
LTI systems	الأنظمة الخطية الثابتة زمنياً
first-order systems	أنظمة الدرجة الأولى
second-order systems	أنظمة الدرجة الثانية
physical systems	الأنظمة الطبيعية
mechanical systems	الأنظمة الميكانيكية
invertibility	الانعكاسية

ب

stop bits	بتات الوقف
pixels	البكسلات
system realization	تحقيق النظام
realization	التحقيق (البناء)
pendulum	البندول

ن

unit sequence	تتابع الوحدة
Fourier series	تتابع فوريير
compact trigonometric Fourier series	تتابع فوريير الثلاثي المدمج
complex CTFS	تتابع فوريير المركب المستمر زمنياً
homogeneity	التجانس
Superposition	التجميع
acquisition of signals	تجميع الإشارات
Scaling	التحجيم
frequency scaling	التحجيم الترددي
amplitude scaling	التحجيم المقداري
circuit analysis	تحليل الدوائر
partial-fraction expansion	تحليل الكسور الجزئية
communication system analysis	تحليل نظام الاتصالات
transformation	التحويل
bilinear transformation	التحويل ثنائي الخطية
z transform	تحويل زد
inverse z transform	تحويل زد العكسي
matched-z transform	تحويل زد المتوافق
bilinear z transform	تحويل زد ثنائي الخطية

Fourier transform	تحويل فوريير
forward and inverse discrete-time Fourier transforms	تحويل فوريير الأزمنة المتقطعة الأمامي والعكسي
fast Fourier transform (FFT)	تحويل فوريير السريع
generalized Fourier transform	تحويل فوريير العام
DFT (discrete Fourier transform),	تحويل فوريير المتقطع
inverse DFT	تحويل فوريير المتقطع العكسي
continuous-time Fourier transform	تحويل فوريير المستمر زمنياً
inverse DTFT	تحويل فوريير للأزمنة المتقطعة العكسي
Laplace transform	تحويل لابلاس
unilateral Laplace transform	تحويل لابلاس أحادي الجانب
bilateral Laplace transform	تحويل لابلاس ثنائي الاتجاه
two-sided Laplace transform,	تحويل لابلاس ثنائي الجانب
filter transformations	تحويلات المرشحات
forward and inverse z transforms	تحويلات زد الأمامية والعكسية
forward and inverse Laplace transforms	تحويلات لابلاس الأمامية والعكسية
over modulation	تخطي التعديل
sampling Down	تخفيض عملية أخذ العينات
noise removal	التخلص من الضوضاء
interference	التداخل
logarithmic scale	التدرج اللوغاريتمي
asynchronous transmission	التراسل غير المتزامن
accumulation	التراكم
frequency	التردد
radio frequency	تردد الراديو
fundamental cyclic frequency	التردد الدوري الأساسي
corner frequency	التردد الركني

resonant frequency	التردد الرنيني
radian frequency	التردد الزاوي
fundamental radian frequency	التردد الزاوي الأساسي
natural radian frequency	التردد الزاوي الطبيعي
instantaneous frequency	التردد اللحظي
Nyquist frequency	تردد نيكويست
light oscillation	الترددات الضوئية
interpolation	الترميم (الإستيفاء)
ideal interpolation	الإستيفاء المثالي
aliasing	التزوير
leakage	التسريب
encoding	الترميز (التشفير)
distortion	التشويه
total harmonic distortion	التشويه التوافقي الكلي
multipath distortion	تشويه تعدد المسارات
optimal FIR filter design	تصميم المرشح FIR المثالي
finite difference design	التصميم بالفروق المحددة
filter classifications	تصنيفات المرشحات
Orthogonality	التعامد
time multiplexing	التعدد الزمني
modulation	التعديل
FM (frequency modulation)	التعديل الترددي
narrowband FM	التعديل الترددي الضيق المجال
amplitude modulation	التعديل المقداري
double –sideband suppressed carrier	التعديل ثنائية الجانب مع قمع الموجة الحاملة
analog modulation and demodulation	التعديل والكشف التماثلي

frequency multiplexing	التعدد الترددي
feedback	التغذية العكسية
negative feedback	التغذية العكسية السالبة
air pressure variations	تغيرات الضغط الجوي
differentiation	التفاضل
derivatives	التفاضلات
divergence	التقارب
central difference approximation	تقريب الفروق المركزية
decimation	التقسيم
cumulative integral	التكامل التراكمي
numerical integration	التكامل الرقمي
symbolic integration	التكامل الرمزي
definite integral	التكامل المحدود
indefinite integral	التكامل غير المحدود
integrals	التكاملات
voltage gain	تكبير الجهد
quantization	التكميم
time expansion	التمدد الزمني
existence of z transform	تواجد محول زد
cascade connection	التوصيل المتوالي
system connections	توصيلات الأنظمة
parallel connections	التوصيلات المتوازية
inductor current	تيار الملف
	ث
time constant	ثابت الزمن
time invariance	الثبات الزمني

impulse invariance

الثبات الصدمي

ج

quadrature part

الجزء التريعي

human body as a system

الجسم البشري كنظام

causal cosine

جيب التمام السببي

Direct Form II

الحالة المباشرة II

ح

underdamped case

حالة تحت الإخماد (الكبح)

overdamped case

حالة تخطي الكبح

numerical computation

الحساب الرقمي

sensor

الحساس أو المستشعر

خ

time shifting property

خاصية الإزاحة الزمنية

time-scaling property

خاصية التحجيم الزمني

time reversal property

خاصية العكس الزمني

steady-state error

خطأ الحالة المستقرة

asymptotes

خطوط التقارب

z-transform properties

خواص تحويل زد

د

dirict function

دالة دايراك

signum function

دالة الإشارة

harmonic function

الدالة التوافقية

ramp function

الدالة الخطية التصاعدية

forcing function

دالة الدفع

sinc function

دالة سنك

transfer function	دالة العبور
biquadratic transfer function	دالة العبور ثنائية التعبير
rational function	الدالة الكسرية
eigenfunction	الدالة المميزة
window function	دالة النافذة
unit function	دالة الوحدة
point spread function	دالة انتشار النقطة
Bessel function	دالة بيسيل
Kronecker delta function	دالة دلتا لكرونوكر
loop transfer function	دالة عبور الحلقة
bandpass-filter transfer function	دالة عبور المرشح المنفذ لمجال ترددي
Bartlett window function	دالة نافذة بارتليت
Blackman window function	دالة نافذة بلاكمان
Kaiser window function	دالة نافذة كيزر
Hamming window function	دالة نافذة هامنج
hanning (von Hann) window function	دالة نافذة هاننج
<i>RLC</i> circuit	دائرة RLC
numerical integration functions	دوال التكامل العددي
CTFS harmonic function	الدوال التوافقية لتتابع فوريير المستمر زمنياً
periodic functions	الدوال الدورية
graphing function	دوال الرسم
discrete-time functions	دوال الزمن المتقطع
even and odd functions	الدوال الزوجية والفردية
causal functions	الدوال السببية
odd functions	الدوال الفردية
discontinuous function	الدوال غير المتصلة

decibel

الديسبل

ر

Upsampling

رفع معدل أخذ العينة (العينة)

undamped resonance

الرنين غير المخمد

ز

discrete time

الزمن المتقطع

CTFT pairs

زوج تحويل فورير المستمر زمنياً

ش

strength, of an impulse

شدة الصدمة

code

الشفرة

decaying exponential shape

الشكل الأسي المتناقص

Chebyshev

شيبشيف

ص

sound

الصوت

voiced sound

الصوت المنطوق

ض

frequency compression

ضغط التردد

time compression

ضغط الزمن

noise

الضوضاء

ط

signal energy

طاقة الإشارة

causal energy signal

طاقة الإشارة السببية

acoustic energy

الطاقة الصوتية

infinite energy

الطاقة غير المحدودة

time-domain methods

طرق النطاق الزمني

image-processing techniques

طرق معالجة الصور

phase

الطور

Wavelength

الطول الموجي

wideband FM spectrum

طيف التعديل الترددي عريض المجال

ظ

Gibbs phenomenon

ظاهرة جيبس

ع

instability

عدم الاستقرار

bandwidth

عرض المجال

null bandwidth

عرض المجال الصفري

absolute bandwidth

عرض المجال المطلق

half-power bandwidth

عرض مجال نصف القدرة

mathematical voltage-current relations

علاقات الجهد والتيار الحسابية

z-transform-Laplace-transform relationships

العلاقة بين تحويل زد وتحويل لابلاس

CTFT-DFT relationship

العلاقة بين تحويل فورير للإشارات المتقطعة زمنياً

وتحويل فورير المتقطع زمنياً

convolution operator

معامل الالتفاف

Recursion

العودية أو التكرار

sample-and-hold

مسك العينة

uniform sampling

العينة المنتظمة

ف

forward difference

الفروق الأمامية

backward difference

الفروق العكسية

side lobes

الفصوص الجانبية

ق

voltage divider	القاسم الجهدي
greatest common divisor	القاسم المشترك الأكبر (الأعظم)
Ohm's law	قانون أوم
signal power	قدرة الإشارة
Cramer's rule	قانون كرامير
Kirchhoff's voltage law,	قانون كيرتشفول للجهد
L'Hôpital's rule	قانون لويبتال
audio compact disk	القرص السمعي المدمج
impulse train	قطار نبضات
one-finite-pole	القطب الوحيد المحدد
diagonalization	القطرية
difference equation	القطرية
channels	القنوات
value	القيمة

ك

attenuation	الاضمحلال
critical damping	الكبح الحرج
energy spectral density	كثافة طيف الطاقة
power spectral density	كثافة طيف القدرة
gain	الكسب
demodulation	فك التعديل
envelope detector	الكشف الغلافي
synchronous demodulation	الكشف المتزامن
phase detector	الكشف عن الطور
American Standard Code for Information Interchange (ASCII)	الكود الأمريكي القياسي لتبادل المعلومات

م

uncertainty principle	مبدأ عدم التيقن
residues vector	متجه المتبقي
orthogonal basis vectors	متجهات القاعدة المتعامدة
independent variable	المتغير المستقل
spatial variables	المتغيرات المكانية
continuous independent variables	المتغيرات المستقلة المستمرة
domain of a function	مجال الدالة
passband,	مجال المرور
Stopbands	مجال الوقف
baseband	مجال القاعدة
digital simulation	المحاكاة الرقمية
root locus	المحل الجذري
complementary root locus	المحل الهندسي المتمم
spectrum analyzer	المحلل الطيفي
analog-to-digital converter	المحول التماثلي الرقمي
digital-to-analog converter (DAC),	المحول الرقمي التماثلي
pole-zero diagrams,	مخطط الأقطاب والأصفار
Bode plot	مخطط بود
phase Bode diagram	مخطط بود الطوري
logarithmic graphs	المخططات اللوغاريتمية
magnitude Bode diagrams	مخططات بود للمقدار
range, of a function	مدى الدالة
local oscillator	المذبذب الموضعي
Transmitter	المرسل
RC filter	المرشح RC

Butterworth filters	مرشحات بتروث
Elliptic filter	المرشح البيضاوي
analog filters	المرشح التماثلي
smoothing filter	مرشح التنعيم
digital filters	المرشح الرقمي
unstable digital filter	المرشح الرقمي غير المستقر
moving-average digital filter	مرشح المتوسط المتحرك الرقمي
ideal bandpass filter	المرشح المثالي المنفذ لمجال من الترددات
anti-aliasing filter	المرشح المضاد للتزوير
multiple bandstop filter	المرشح المعوق للعديد من المجالات
bandstop filter	المرشح المعوق لمجال ترددي
constant-K bandpass filter	المرشح المنفذ لمجال ترددي ثابت الـ k
Butterworth filters	مرشح بتروث
maximally flat Butterworth filter	مرشح بتروث الأعظم استواء
lowpass Butterworth filter	مرشح بتروث المنفذ للترددات المنخفضة
bandpass Butterworth analog filter	مرشح تماثلي بتروث منفذ لمجال ترددي
bandpass Butterworth digital filter	مرشح رقمي بتروث منفذ لمجال ترددي
type-one Chebyshev filter	مرشح شيبشيف من النوع واحد
noncausal filter	المرشح غير السببي
noninverting amplifier	المرشح غير العاكس
bandpass discrete-time filter	مرشح متقطع زمنياً منفذ لمجال ترددي
filters	المرشحات
FIR filters	مرشحات استجابة النبضة المحددة
IIR filters	مرشحات استجابة النبضة غير المحدودة
digital filters	المرشحات الرقمية
practical filters	المرشحات العملية

active filters	المرشحات الفعالة
highpass active filters	المرشحات الفعالة المنفذة للترددات العالية
active highpass filter	المرشحات الفعالة المنفذة للترددات المرتفعة
ideal filters	المرشحات المثالية
continuous-time filters	المرشحات المستمرة زمنياً
continuous-time Butterworth filters	مرشحات بترورث المستمرة زمنياً
passive filters	المرشحات غير الفعالة
trajectory	المسار
feed forward paths	مسارات التغذية الأمامية
receiver	المستقبل
water level	مستوي الماء
matrix transfer function	مصفوفة دالة العبور
plant	المصنع
analog multiplier	المضاعف التماثلي
differential equations	المعادلات التفاضلية
graphic equalizer	معادل الرسم أو الشكل
system equations	معادلات النظام
equation of motion	معادلة الحركة
differencing and accumulation	الفرقية والتراكم
digital signal processing	المعالجة الرقمية للإشارات
digital image processing	المعالجة الرقمية للصور
damping factor	معامل الإضمحلال
impedance	المعاوقة
sampling rate	معدل أخذ العينات
high-spatial-frequency information	المعلومات المساحية العالية التردد
qualitative concepts	المفاهيم النوعية

magnitude spectrum	مقدار الطيف
pulse amplitude modulation	مقدار تعديل النبضة
active integrator	المكامل الفعال
amplifier	المكبر
audio amplifier	المكبر السمعي
inverting amplifier	مكبر العكس
ideal operational amplifier	مكبر العمليات المثالي
operational amplifiers	مكبرات العمليات
capacitors	المكثفات
region of convergence	منطقة التقارب
carrier	الموجة الحاملة
suppressed carrier	الموجة الحاملة المخمدة
square wave	الموجة المربعة
full-wave rectifier	موحد الموجة الكاملة

ن

clock	ساعة
triangular pulses	النبضات المثلثة
rectangular pulses	النبضات المربعة
unit-area rectangular pulse	النبضة المستطيلة أحادية المساحة
signal-to-noise ratio	نسبة الإشارة للضوضاء
right half-plane	النصف الأيمن من المستوي
s-domain	نطاق S
frequency domain	نطاق التردد
satellite communication system	نظام الاتصالات بالأقمار الصناعية
ear-brain system	نظام الأذن - المخ
instrumentation system	نظام التجهيز

home-entertainment audio system	نظام التسلية السمعي المنزلي
equalization system	نظام التعادل
unity-gain feedback systems	نظام التغذية العكسية أحادي الكسب
electromechanical feedback system,	نظام التغذية العكسية الكهروميكانيكي
closed-loop system	نظام الحلقة المغلقة
open loop system	نظام الحلقة المفتوحة
linear system	النظام الخطي
linear time-invariant system	النظام الخطي الثابت زمنياً
single-input single-output system	نظام الدخل الأحادي والخرج الأحادي
two-input two-output system	نظام الدخيلين والخرجين
dynamic system	النظام الديناميكي
static system	النظام الساكن
public address system	نظام العنوان العام
invertible system	النظام القابل للعكس
one-pole system	نظام القطب الواحد
two-pole system	نظام القطبين
two-finite pole system	نظام القطبين المحددين
homogeneous system	النظام المتجانس
bounded-input-bounded-output (BIBO) stable system	النظام المستقر محدود الدخل ومحدود الخرج
fluid-mechanical system	نظام الموائع الميكانيكية
type 0 system	نظام النوع الصفري
underdamped system	نظام تحت الكبح
automobile suspension system	نظام تعليق السيارة
inhomogeneous system	النظام غير المتجانس
oscillator feedback system	نظام مذبذبات التغذية العكسية
linear algebra theory	نظرية الجبر الخطي

initial value theorem

نظرية القيمة الابتدائية

final value theorem

نظرية القيمة النهائية

Parseval's theorem

نظرية بارسيفال

summing junction

وصلة التجميع

mathematical model

النموذج الحسابي

checkerboard pattern

نموذج لوحة الشطرنج

windowing

النوفذة

و

Unit ramp

وحدة الانحدار

Unit impulse

وحدة النبضة

ثانياً: إنكليزي - عربي

A

absolute bandwidth	عرض المجال المطلق
accumulation	التراكم
acoustic energy	الطاقة الصوتية
acquisition of signals	تجميع أو قراءة الإشارات
active filters	المرشحات الفعالة
active highpass filter	المرشحات الفعالة المنفذة للترددات المرتفعة
active integrator	المكامل الفعال
ADC response	استجابة المحول التماثلي الرقمي
air pressure variations	تغيرات الضغط الجوي
aliasing	التزوير (الصور المستعارة)
American Standard Code for Information Interchange (ASCII)	الكود الأمريكي القياسي لتبادل المعلومات
amplifier	المكبر
amplitude modulation	التعديل المقداري
amplitude scaling	التحجيم المقداري
analog filters	المرشح التماثلي
analog modulation and demodulation	التعديل والكشف التماثلي
analog multiplier	المضاعف التماثلي
analog-to-digital converter	المحول التماثلي إلى الرقمي
anti-aliasing filter	المرشح المضاد للتزوير
aperiodic convolution	الالتفاف غير الدوري
aperiodic signals	الإشارات غير الدورية
asymptotes	خطوط التقارب
asynchronous transmission	التراسل غير المتزامن
attenuation	الاضمحلال

audio amplifier	المكبر السمعي
audio compact disk	القرص السمعي المدمج
automobile suspension system	نظام تعليق السيارة

B

backward difference	الفروق العكسية
bandlimited signals	الإشارات محدودة المجال
bandpass Butterworth analog filter	مرشح تماثلي بترورث منفذ لمجال ترددي
bandpass Butterworth digital filter	مرشح رقمي بترورث منفذ لمجال ترددي
bandpass discrete-time filter	مرشح متقطع زمنياً منفذ لمجال ترددي
bandpass-filter transfer function	دالة عبور المرشح المنفذ لمجال ترددي
bandstop filter	المرشح المعوق لمجال ترددي
bandwidth	عرض المجال
baseband	مجال القاعدة
Bartlett window function	دالة نافذة بارتليت
Bessel function	دالة بيسيل
BIBO stability	استقرار البيبو ، استقرار الدخل المحدود والخرج المحدود
bilateral Laplace transform	تحويل لابلاس ثنائي الاتجاه
bilinear transformation	التحويل ثنائي الخطية
bilinear z transform	تحويل زد ثنائي الخطية
binary numbers	الأرقام الثنائية
biquadratic transfer function,	دالة العبور ثنائية التعبير
Blackman window function	دالة نافذة بلاكمان
Bode plot	مخطط بود
bounded-input-bounded-output (BIBO) stable system	النظام المستقر محدود الدخل ومحدود الخرج
Butterworth filters	مرشحات بترورث

C

capacitors	المكثفات
------------	----------

carrier	الموجة الحاملة
cascade connection	التوصيل المتوالي
causal cosine	جيب التمام السببي
causal energy signal	طاقة الإشارة السببية
causal functions	الدوال السببية
causality	السببية
central difference approximation	تقريب الفروق المركزية
channels	القنوات
Chebyshev	شيبشيف
checkerboard pattern	نموذج لوحة الشطرنج
circuit analysis	تحليل الدوائر
clipped signal	الإشارة المقصوفة
clock	الساعة
closed-loop system	نظام الحلقة المغلقة
code	الكود
communication system analysis	تحليل نظام الاتصالات
compact trigonometric Fourier series	تتابع فوريير الثلاثي المدمج
complementary root locus	المحل الهندسي المتمم
complex CTFS	تتابع فوريير المركب المستمر زمنياً
complex exponential excitation	الإثارة الأسية المركبة
constant-K bandpass filter	المرشح المنفذ لمجال ترددي ثابت الـ k
continuous independent variables	المتغيرات المستقلة المستمرة
continuous signals	الإشارات المستمرة
continuous-time Butterworth filters	مرشحات بترورث المستمرة زمنياً
continuous-time filters	المرشحات المستمرة زمنياً
continuous-time Fourier transform	تحويل فوريير المستمر زمنياً

continuous-time numerical convolution	الالتفاف العددي المستمر زمنياً
continuous-time signals	الإشارات المستمرة زمنياً
Convergence	التقارب
Convolution	الالتفاف
convolution operator	عملية الالتفاف
corner frequency	التردد الركني
Cramer's rule	قانون كرامير
critical damping	الكبح الحرج
CTFS harmonic function	الدوال التوافقية لتتابع فوريير المستمر زمنياً
CTFT pairs	زوج تحويل فوريير المستمر زمنياً
CTFT-DFT relationship	العلاقة بين تحويل فوريير للإشارات المتقطعة زمنياً وتحويل فوريير المتقطع زمنياً
cumulative integral	التكامل التراكمي

D

damping factor	معامل الكبح
decaying exponential shape	الشكل الأسي المتناقص
decibel	الديسبل
decimation	التقسيم
definite integral	التكامل المحدود
demodulation	الكشف ، أو فك التعديل
derivatives	التفاضلات
deterministic signal	الإشارات المحددة
DFT (discrete Fourier transform)	تحويل فوريير المتقطع
diagonalization	القطرية
difference equation	المعادلات التفاضلية
differencing and accumulation	المعادلة الفرقية

differential equations	الفرق والتراكم
Differentiation	التفاضل
digital filters	المرشح الرقمي
digital image processing	المعالجة الرقمية للصور
digital signal processing	المعالجة الرقمية للإشارات
digital simulation	المحاكاة الرقمية
digital filters	المرشحات الرقمية
digital-to-analog converter (DAC)	المحول الرقمي إلى التماثلي
Direct Form II	الحالة المباشرة II
diric function	دالة دايراك
discontinuous function	الدوال غير المتصلة
discrete time	الزمن المتقطع
discrete-time functions	دوال الزمن المتقطع
discrete-time system response	استجابة النظام لأنظمة الإشارات المتقطعة
distortion	التشويه
distortionless system	الأنظمة الخالية من التشويه
domain, of a function	مجال الدالة
double –sideband suppressed carrier	التعديل ثنائية الجانب مع قمع الموجة الحاملة
downsampling	تخفيض عملية أخذ العينات
dynamic system	النظام الديناميكي
E	
ear-brain system	نظام الأذن – المخ
eigenfunction	الدالة المميزة
electromagnetic energy propagation	انتشار الطاقة الكهرومغناطيسية
electromechanical feedback system,	نظام التغذية العكسية الكهروميكانيكي
Elliptic filter	المرشح البيضاوي

encoding	التشفير
energy signals	إشارات الطاقة
energy spectral density	كثافة طيف الطاقة
envelope detector	الكشف الغلافي
equalization system	نظام التعادل
equation of motion	معادلة الحركة
error signal	إشارة الخطأ
even and odd functions	الدوال الزوجية والفردية
excitations	الإثارة
existence of ztransform	تواجد محول زد
exponentials	الأسس

F

fast Fourier transform (FFT)	تحويل فورير السريع
feedback	التغذية العكسية
feed forward paths	مسارات التغذية الأمامية
filter classifications	تصنيفات المرشحات
filter transformations	تحويلات المرشحات
filters	المرشحات
final value theorem	نظرية القيمة النهائية
finite difference design	التصميم بالفروق المحددة
FIR filters	مرشحات استجابة النبضة المحددة
first-order systems	أنظمة الدرجة الأولى
fluid-mechanical system	نظام الموائع الميكانيكية
FM (frequency modulation)	التعديل الترددي
forcing function	دالة الدفع
forward and inverse discrete-time Fourier transforms	تحويل فورير الأزمنة المتقطعة الأمامي والعكسي

forward and inverse Laplace transforms

تحويلات لابلاس الأمامية والعكسية

forward and inverse z transforms

تحويلات زد الأمامية والعكسية

forward difference

الفروق الأمامية

Fourier series

تتابع فوريير

Fourier transform

تحويل فوريير

frequency

التردد

frequency compression

الضغط الترددي

frequency domain,

النطاق الترددي

frequency multiplexing

التعدد الترددي

frequency response

الاستجابة الترددية

frequency scaling

التحجيم الترددي

frequency shifting

الإزاحة الترددية

full-wave rectifier

موحد الموجة الكاملة

fundamental cyclic frequency

التردد الدوري الأساسي

fundamental radian frequency

التردد الزاوي الأساسي

G

gain

الكسب ، أو التكبير

generalized Fourier transform

تحويل فوريير العام

Gibbs phenomenon

ظاهرة جيبس

graphic equalizer

معادل الرسم أو الشكل

graphing function

دوال الرسم

greatest common divisor

القاسم العام الأعظم

H

half-power bandwidth,

عرض مجال نصف القدرة

Hamming window function

دالة نافذة هامنج

hanning (von Hann) window function

دالة نافذة هاننج

harmonic function	الدالة التوافقية
harmonic response	الاستجابة التوافقية
highpass active filters	المرشحات الفعالة المنفذة للترددات العالية
high-spatial-frequency information	المعلومات المساحية العالية التردد
home-entertainment audio system	نظام التسلية السمعي المنزلي
homogeneity	التجانس
homogeneous system	النظام المتجانس
human body, as a system	الجسم البشري كنظام
human ear, response to sounds	استجابة الأذن البشرية للأصوات

I

ideal bandpass filter	المرشح المثالي المنفذ لمجال من الترددات
ideal filters	المرشحات المثالية
ideal interpolation	الترميم المثالي
ideal operational amplifier	مكبر العمليات المثالي
IIR filters	مرشحات استجابة النبضة غير المحدودة
image-processing techniques	طرق معالجة الصور
impedance	المعاوقة
impulse invariance	الثبات الصدمي
impulse response	الاستجابة الصدمية
impulse train	قطار الصدمات
indefinite integral	التكامل غير المحدود
independent variable	المتغير المستقل
inductor current	تيار الملف
infinite energy	الطاقة غير المحدودة
inhomogeneous system,	النظام غير المتجانس
initial value theorem	نظرية القيمة الابتدائية

input signals	إشارات الدخل
Instability	عدم الاستقرار
instantaneous frequency	التردد اللحظي
instrumentation system	نظام التجهيز
integrals	التكاملات
interference	التداخل
interpolation	الإستيفاء
inverse DFT	تحويل فورير المتقطع العكسي
inverse DTFT	تحويل فورير للأزمنة المتقطعة العكسي
inverse z transform	تحويل زد العكسي
invertibility	الانعكاسية
invertible system,	النظام القابل للعكس
inverting amplifier	مكبر العكس

K

Kaiser window function	دالة نافذة كيزر
Kirchhoff's voltage law	قانون كيرتشفوف للجهد
Kronecker delta function	دالة دلتا لكرونوكر

L

Laplace transform	تحويل لابلاس
laser	الليزر
leakage	التسريب
left-sided signal	الإشارات اليسارية
L'Hôpital's rule	قانون لوبيتال
light oscillation	الترددات الضوئية
linear, time-invariant system	النظام الخطي الثابت زمنياً
linear algebra theory	نظرية الجبر الخطي

linear system	النظام الخطي
local oscillator	المذبذب الموضوعي
log-amplified signal	الإشارة المكبرة لوغاريتمياً
logarithmic graphs	المخططات اللوغاريتمية
logarithmic scale	التدرج اللوغاريتمي
loop transfer function	دالة عبور الحلقة
lowpass Butterworth filter	مرشح بتروورث المنفذ للترددات المنخفضة
LTI systems	الأنظمة الخطية الثابتة زمنياً

M

magnitude Bode diagrams	مخططات بود للمقدار
magnitude spectrum	مقدار الطيف
marginal stability	الاستقرار الهامشي
matched-z transform	تحويل زد المتوافق
mathematical model	النموذج الحسابي
mathematical voltage-current relations	علاقات الجهد والتيار الحسابية
matrix transfer function	مصفوفة دالة العبور
maximally flat Butterworth filter	مرشح بتروورث الأعظم استواء
mechanical systems	الأنظمة الميكانيكية
memory	الذاكرة
minimum sampling rate	أقل معدل لأخذ العينات
modulation	التعديل
moving-average digital filter	مرشح المتوسط المتحرك الرقمي
multipath distortion	تشويه تعدد المسارات
multiple bandstop filter	المرشح المعوق للعديد من المجالات
multiplication-convolution duality	ازدواجية الضرب والالتفاف

N

narrowband FM	التعديل الترددي الضيق المجال
---------------	------------------------------

natural radian frequency	التردد الزاوي الطبيعي
natural response	الاستجابة الطبيعية
negative feedback	التغذية العكسية السالبة
noise	الضوضاء
noise removal	التخلص من الضوضاء
noncausal filter	المرشح غير السببي
noninverting amplifier	المرشح غير العاكس
nonlinear systems	الأنظمة الخطية
null bandwidth	عرض المجال الصفري
numerical computation	الحساب الرقمي
numerical convolution	الالتفاف الرقمي
numerical integration	التكامل الرقمي
Numerical integration functions	دوال التكامل العددي
Nyquist frequency	تردد نيكويست
O	
odd functions	الدوال الفردية
Ohm's law	قانون أوم
one-finite-pole	القطب الوحيد المحدد
one-pole system	نظام القطب الواحد
open loop system	نظام الحلقة المفتوحة
operational amplifiers	مكبرات العمليات
optimal FIR filter design	تصميم المرشح FIR المثالي
orthogonal basis vectors	متجهات القاعدة المتعامدة
Orthogonality	التعامد
oscillator feedback system	نظام مذبذبات التغذية العكسية
overdamped case	حالة تخطي الكبح

Overmodulation

تخطي التعديل

P

parallel connections

التوصيلات المتوازية

parallel response

الاستجابة المتوازية

Parseval's theorem

نظرية بارسيفال

partial-fraction expansion

مفكوك الكسور الجزئية

passband

مجال المرور

passive filters

المرشحات غير الفعالة

pendulum

البندول

periodic convolution

الالتفاف الدوري

periodic excitation

الإثارة الدورية

periodic functions

الدوال الدورية

periodic signals

الإشارات الدورية

phase

الطور أو الزاوية

phase Bode diagram

مخطط بود الطوري

phase detector

الكشف عن الطور

physical systems

الأنظمة الطبيعية

pixels

البكسلات

plant

المصنع

point spread function

دالة انتشار النقطة

pole-zero diagrams

مخطط الأقطاب والأصفار

power of signals

قدرة الإشارات

power spectral density

كثافة طيف القدرة

practical filters

المرشحات العملية

public address system

نظام العنوان العام

pulse amplitude modulation

مقدار تعديل النبضة

Q

quadrature part	الجزء التريعي
qualitative concepts	المفاهيم النوعية
quantization	التكميم
quantizing signals	إشارات التكميم

R

radian frequency	التردد الزاوي
radio frequency	تردد الراديو
ramp function	الدالة الخطية التصاعدية
random signals	الإشارات العشوائية
range, of a function	مدي الدالة
rational function	الدالة الكسرية
<i>RC</i> filter	المرشح <i>RC</i>
real systems	الأنظمة الحقيقية
realization	البناء أو التحقيق
receiver	المستقبل
rectangular pulses	النبضات المربعة
Recursion	العودية أو التكرار
region of convergence	منطقة التقارب
residues vector	متجه المتبقي
resonant frequency	التردد الرنيني
responses	الاستجابات
right half-plane	النصف الأيمن من المستوى
<i>RLC</i> circuit	دائرة <i>RLC</i>
root locus	المحل الجذري

S

sample-and-hold	العينة والمسك
sampling,	أخذ العينات (العينة)
sampling rate	معدل أخذ العينات (العينة)
satellite communication system	نظام الاتصالات بالأقمار الصناعية
Scaling	التحجيم
s-domain	النطاق S
second-order systems	أنظمة الدرجة الثانية
sensor	الحساس أو المستشعر
shifting	الإزاحة
side lobes	الفصوص الجانبية
signal energy	طاقة الإشارة
signal reconstruction	إعادة تشكيل الإشارة
signal transmission	إرسال الإشارة
signal-to-noise ratio	نسبة الإشارة للضوضاء
signum function	دالة الإشارة
sinc function	دالة السنك
single-input, single-output system	نظام الدخل الأحادي والخرج الأحادي
smoothing filter	مرشح التنعيم
sound	الصوت
space shifting	الإزاحة في الفراغ
spatial variables	المتغيرات المساحية
spectrum analyzer	المحلل الطيفي
square wave	الموجة المربعة
stability	الاستقرار
standard signals	الإشارات القياسية

static system	النظام الساكن
steady-state error	خطأ الحالة المستقرة
step response	استجابة الخطوة
stop bits	بتات الوقف
Stopbands	مجال الوقف
strength, of an impulse	شدة الصدمة
summing junction	نقطة التجميع
Superposition	التجميع
suppressed carrier	الموجة الحاملة المخمدة
symbolic integration	التكامل الرمزي
synchronous demodulation	الكشف المتزامن
system connections	توصيلات الأنظمة
system equations	معادلات النظام
system realization	بناء النظام
system response	استجابة النظام
system stability	استقرار النظام

T

Thermocouples	الازدواج الحراري
time compression	الضغط الزمني
time constant	الثابت الزمني
time expansion	التمدد الزمني
time invariance	الثبات الزمني
time limited signals	الإشارات المحدودة زمنياً
time multiplexing	التعدد الزمني
time reversal property	خاصية العكس الزمني

time shifting property	خاصية الإزاحة الزمنية
time-domain methods	طرق النطاق الزمني
time-scaling property	خاصية التحجيم الزمني
total harmonic distortion	التشويه التوافقي الكلي
total system response	الاستجابة الكلية للنظام
Trajectory	المسار
transfer function	دالة العبور
transformation,	التحويل
transient response	الاستجابة الوقتية
transmitter	المرسل
triangular pulses	النبضات المثلثة
truncated ideal impulse response	استجابة النبضة المثالية المقطوعة
two-finite pole system	نظام القطبين المحددين
two-input two-output system	نظام الدخيلين والخارجين
two-pole system	نظام القطبين
two-sided Laplace transform,	تحويل لابلاس ثنائي الجنب
type 0 system	نظام النوع الصفري
type-one Chebyshev filter	مرشح شيبشيف من النوع واحد

U

unbounded response	الاستجابة غير المحدودة
uncertainty principle	أساسيات عدم التيقن
undamped resonance	الرنين غير المخمد
underdamped case	حالة تحت الإخماد أو الكبح
underdamped system	نظام تحت الكبح
undersampled signal	إشارة تحت معدل العينة
uniform sampling	العينة المنتظمة

unilateral Laplace transform	تحويل لابلاس أحادي الجانب
unit function	دالة الوحدة
unit sequence	تتابع الوحدة
unit-area rectangular pulse	النبضة المستطيلة أحادية المساحة
unit-step response	استجابة وحدة الخطوة
unity-gain feedback systems	نظام التغذية العكسية أحادي الكسب
unstable digital filter	المرشح الرقمي غير المستقر
Upsampling	رفع معدل العينة
Unit ramp	وحدة الانحدار
Unit impulse	وحدة النبضة

V

value	القيمة
voiced sound	الصوت المنطوق
voltage divider	القاسم الجهدي
voltage gain	تكبير الجهد
voltage response	الاستجابة الجهدية

W

water level	مستوى الماء
Wavelength	الطول الموجي
weight	الوزن
wideband FM spectrum	طيف التعديل الترددي عريض المجال
window function	دالة النافذة
windowing	النوافذة

Z

z transform

تحويل زد

zero padding

إلحاق الأصفار

zero-input response

استجابة الدخل الصفري

z-transform properties

خواص تحويل زد

z-transform-Laplace-transform relationships

العلاقة بين تحويل زد وتحويل لابلاس

كشاف الموضوعات

الأنظمة ١، ١١، ١٨٩، ١٥٤، ٢٣٥، ٣٤١،

٤٨١، ٥٢٣، ٧٧١

الانعكاسية ١٨٥

ب

بتات ٧

البكسلات ٦٧٧، ٦٨٠

تحقيق النظام ٤٧٨

البندول ١٧٩

ن

تتابع الوحدة ١٩٨، ٦٨٣، ٦٩٠، ٨٤٢

تتابع فورير ٢٨٤، ٢٩٣، ٢٩٥، ٢٩٨، ٣٠١،

٣٠٣، ٣٠٥، ٣٢٧، ٣٦٢، ٣٧٣

التجانس ١٧٠، ١٧١

التجميع ١٦٣، ١٧٤، ٢٢٣، ٢٦٣

أ

إثارة ١٩٣، ٢٠٠

أخذ العينات (العينة) ٥٣٦، ٥٤٠، ٥٨٣، ٦١٣

الإشارة ٣٤، ٧٨، ١٠٢، ١١٩، ١٣٤، ٣٢٣،

٤٩٦٥٦٥، ٤٠٣

إزاحة ٦٠، ٤٦٠، ٥٠٣

استجابة الخطوة ٢٣٥، ٨٠١، ٨٣٣

الاستقرار ٢٣٦، ٢٥٧، ٢٦٩، ٢٧٧، ٢٨٢،

٨١٧، ٨٠٢

الأسس ٣٠، ١٠٩

الإشارات ٢٩، ٧٠، ٧٣، ٨٢، ٨٩، ١٣٠،

٢٩٥، ٣٣٦، ٤٣٢

الالتفاف ٢١٩، ٢٢٥، ٢٣١، ٢٤٨، ٢٦٥،

٥٨٠، ٥٨١

إلحاق الأصفار ٤٦٤، ٤٦٨، ٤٨٧، ٥٠٩، ٦٥٠،

٨٤٣

التقارب ٢٩٥ ، ٤٣٣ ، ٤٩٦	التحجيم ٤٤ ، ٥٠ ، ٥٥ ، ٥٩ ، ٩٦ ، ١١٩ ،
تقريب ٢٨٥ ، ٣٣٧ ، ٥٧٩	٥٠٦ ، ١٢٤
التكاملات ٨٨ ، ١٠١ ، ٢٣٦	تحليل ٢٢٥ ، ٣٤١ ، ٣٤٤ ، ٥٠٨ ، ٥٩٤ ،
تكبير ٦٤٤ ، ٧٦١ ، ٧٧٧ ، ٧٩٩ ، ٨٧٥	٨٠٣ ، ٨٣٩ ، ٩٤٩ ، ٩٧٠ ،
التكميم ٢٦	تحويل زد ٤٩٤ ، ٤٩٧ ، ٥٠٦ ، ٥٠٦ ، ٥٠٩ ،
التمدد الزمني ٢٣٠	٥٣٠ ، ٨٤١ ، ٨٤٣ ،
تيار ١٧٠ ، ١٨٣	تحويل لابلاس ٤٢٤ ، ٤٣١ ، ٤٣٤ ، ٤٥٣ ،
ث	٤٥٦ ، ٤٦٠ ، ٤٨١ ، ٤٨٤ ، ٨٤٩ ،
ثابت ١٦٩ ، ١٧٢ ، ٣٧٥	التخلص من الضوضاء ٦٥٣
الثبات الزمني ١٧٢	التراكم ١٢٦ ، ١٤٢ ، ٥٠٨ ،
الثبات ٨٥٠	الترددية ٢٤٠ ، ٢٤١ ، ٢٦٤ ، ٩٢٣ ،
ج	التزوير ٥٤٦ ، ٥٩٩ ، ٦٠٢ ،
الجزء الزوجي ٧٠	الترميز (التشفير) ٦ ، ٤٦ ،
جيب التمام السببي ١١٩ ، ١٣٠ ، ٥٦٠ ، ٨٤٥	التشويه ٣١٢ ، ٦٢٦ ، ٦٧٠ ،
ح	التعامد ٣٤٧ ، ٣٦٦ ، ٤١٣ ،
الحالة صفر ١٧٢ ، ١٩٧ ، ٨١٢ ، ٩٦٨	التغذية العكسية ١٥ ، ٧٧١ ، ٧٨٤ ، ٧٩٩ ، ٨٢٢ ،
حالة تحت الإخماد (الكبح) ٤٧٣ ، ٤٧٤	٨٧٥ ،
الحالة المستمرة زمنياً ٩٧١	تغيرات ٢٤ ، ٩٥٧ ،
	التفاضل ٦٣ ، ٧٣ ، ٣٣٣ ، ٤٥٥ ، ٥٠٧ ،
	التفاضلات ٤١ ، ٨٨ ، ١٠١ ،

- و**
- الحساب العددي ٣٠٥، ٣٣٦، ٤٠٤
- رفع معدل أخذ العينة (العينة) ٤٤، ١٠٦، ٥٤٠،
٥٨٣، ٥٤١
- ز**
- الخطأ ٧، ٢٩٨، ٩٣١
- الخطوط التقاربية ٦٤٧
- الزمن المتقطع ٤، ١٨٩، ٢٤٤، ٢٧٠، ٣٧٣،
٤٠٤
- خواص تحويل زد ٥٠٠، ٥٠١، ٥٢٧
- زوج من الدوال ٨٥، ١٤٠
- الخطوط المستقيمة ٥٥٥
- ش**
- دالة الإشارة ٣٤، ٦١، ١١٧
- شدة الأضواء ٦٧٧، ٦٧٨، ٦٨٠
- الدالة التوافقية ٣٠٦، ٣١٥، ٣١٧، ٣٢٧، ٤٩٢
- شيبشيف ٨٧٨، ٨٧٩، ٨٨١
- دالة حسابية ٩
- ص**
- دالة النبضة ٢٥٧
- الصوت ٧، ٢٠، ٧٨٣، ٧٨٢
- ض**
- دالة وحدة الخطوة ٣٤، ٣٥
- الضوضاء ٥، ٢٣، ٦٣٥
- الضغط التردد ٢٣٠
- الضغط الزمن ١٢٣
- الدوال الفردية ٣٧
- دالة متقطعة زمنياً ٥٦٥
- الديسبل ٦٣٦
- ط**
- دالة إحدار الوحدة ٣٧
- طاقة الإشارة ٧٨، ٨٨، ١٠٣، ١٣٤، ٤٠٣

ك

الكبح ٤٧٣ ، ٤٧٤

كثافة طيف القدرة ٢١

الكشف عن الغلاف ٧٣٨

م

المتغيرات المستقلة ٢٤

المجال ٥٦٣ ، ٦١٣ ، ٦٥٥

المحاكاة الرقمية ٨٨٨ ، ٩٠٨ ، ٩٠٩

المحول التماثلي الرقمي ٥٤٨

مخطط الأقطاب ٨١٠

مخطط صندوقي ٧٦٦ ، ٧٦٨

مخطط بود ٦٣٦ ، ٦٤٢ ، ٦٦٠

المدى السماعي ٦٢٥

المدى الزمني ٣٣٧

المرشح المثالي ٦٢٩

المرشحات العملية ٦٥٠

المرشحات غير الفعالة ٦٥٠

المرشحات الفعالة ٦٥٧

مكبر العمليات ٦٥٧

الطور ٧٤٥ ، ٨٩٨

طيف القدرة ٢١ ، ٦٣٤

ظ

ظاهرة جيبس ٢٩٨

ع

عدم الاستقرار ٧٦٩ ، ٧٧٨ ، ٨٠٢

عرض المجال ٦٣٠ ، ٧٦١

معامل التكبير ٧٦١ ، ٧٧٧

العودية أو التكرار ٥٧٥ ، ٩٦٤

مسك العينة من الدرجة الأولى ٥٥٤

العينة ١٠٨ ، ٥٤٠ ، ٥٧٥ ، ٥٨٣

ف

الفروق الأمامية المحددة ٨٩٦ ، ٨٩٧ ، ٩٣٠

ق

قدرة الإشارة ٧٩ ، ٨٠ ، ٩٤ ، ١٣٤ ، ١٥١

القطرية ٩٥٨ ، ٩٦٠ ، ٩٧٤ ، ٩٧٩

القيمة ٤ ، ٣٣١ ، ٨٥٧

ن

النبضات ١١٨ ، ٥٤١
 نطاق ٣٦٦ ، ٣٧٠ ، ٣٧١ ، ٤٥٤ ، ٥٥٠
 نطاق التردد ٣٦٩ ، ٣٧٠ ، ٣٧١ ، ٥٧٨ ، ٥٨٦ ،
 ٦٦٥
 النطاق الزمني ٥٦٦ ، ٥٨٦ ، ٦٦٥
 نظام ٦٧١ ، ٧٦٣ ، ٧٦٨
 نظام صوتي ٧٨١ ، ٧٨٣
 نظرية أخذ العينات ٥٤٠ ، ٥٤١
 النموذج ٦٣١
 النوفذة ٩١٤

و

وحدة الانحدار ٣٨
 وحدة النبضة ٣٩ ، ٤٥ ، ١١٤ ، ٢٢١
 وحدة الخطوة ٤١

المسارات ٧٦١ ، ٨٠٢

المستقبل ٧٣٣

المعادلات التفاضلية ١٥٦ ، ٤٦٠ ، ٤٨٢ ، ٤٨٦

معامل التكبير ٧٦١ ، ٧٩٧

المعاوقة ٦٥٢

مقدار الطيف ٥٥٧

المكامل ١٦٣ ، ٦٥٨

المكبر ٧٦١

المكثفات ٦٥١ ، ٦٦٢

منطقة التقارب ٤٥٨ ، ٤٩٦

الموجة الحاملة ٧٣١ ، ٧٣٥ ، ٧٣٩ ، ٧٤٩