المبدلات الإلكترونية من التيار المستمر إلى التيار المستمر (المقطعات)

DC-DC- CONVERTERS

١.١مقدمة :Introduction

- سوف نعرض في هذا البحث ، آلية جريان القدرة من منبع توتر مستمر إلى منبع تيار مستمر أو بالعكس . تكمن ضرورة تحقيق مثل هذا النوع من المبدلات في النقاط التالية :
- المطلوب تأمين التغذية لمنبع (حمل) توتر مستمر، ولدينا منبع التغذية المستمر ، مثلاً مدخرات ، من المهم في مثل هذه الحالة تامين مبدل مباشر يربط بين المنبعين ، يسمح بجريان القدرة بينهما.
- علينا تغذية منبع مستمر، ويتوفر لدينا منبع تغذية متناوب.تبديل القدرة يمكن تحقيقه بمرحلتين :

➢ مبدل توتر متناوب – توتر مستمر باستخدام مبدل تيار .

➢ مبدل تيار مستمر – تيار مستمر ،وذلك لضبط قيم توتر الخرج المستمر.

المقطعات الكهربائية الساكنة

- يمتاز هذا النظام بالعمل عند ترددات تقطيع مرتفعة ، وبصغر الحجم وانخفاض نسبة التوافقيات وازدياد التحمل الديناميكي للنظام .
- من أجل هذا النوع من المبدلات الساكنة ، مجال الاستطاعة الممكن تداولها ومعالجتها تتراوح بين عدة وات وتصل إلى ثلاثين كيلو وات تقريباً. ومع تطور العناصر الجديدة الأكثر جودة وظهور التركيبات الحديثة متعددة السويات أمكن من زيادة الاستطاعة الممكن تبادلها بين منابع التيار المستمر، ومع ظهور المحولات ذات التردد المرتفع زادت الاستطاعة المتداولة بشكل كبير.
- يمكن تمييز نوعين من المبدلات مستمر – مستمر :
- المبدلات التي نطلق عليها "المقطعات " Hacheurs ، والتي قد تكون خافضة للتوتر ، أو رافعة ،أو خافضة –رافعة ،والتي تناسب التطبيقات المتوسطة والكبيرة الاستطاعة .
- التغذية المتقطعة ،“ Alimentation àdécoupage ".والتي تناسب التطبيقات ذات الاستطاعة الصغيرة ، وهي تشكل وحدات التغذية لجميع الوحدات الإلكترونية .

١.٣ مبدلات الربع الواحد

- سنعالج حالياً المبدلات التي تعمل في ربع واحد من إحداثيات التوتر والتيار، بحيث أن القدرة لا يمكنها من الجريان سوى باتجاه واحد .وهذا بالمقابل يجعلنا نعتبر أن منابع التوتر هي وحيدة اتجاه التيار ولا يمكن أن تغير من إشارة أو قطبية التوتر. كما أن منابع التيار هي وحيدة اتجاه التوتر، والتيار الناتج سيكون ذي اتجاه أو إشارة وحيدة .
- ضمن هذه الشروط يمكن تمييز ثلاثة نماذج من المبدلات الساكنة أو المقطعات:
- المقطع الخافض للتوتر (Buck)
- المقطع الرافع للتوتر (Boost)
- المقطع الخافض – الرافع للتوتر
- (Boost –Buck)

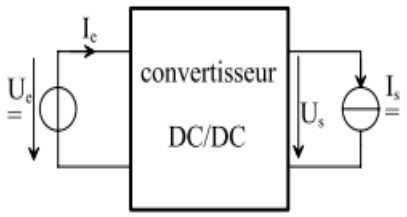


Fig. 1.5(a)
Convertisseur statique

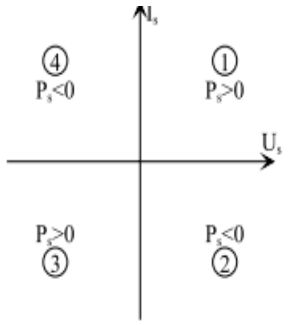
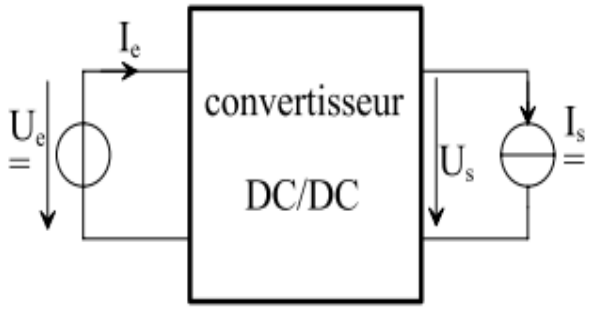


Fig. 1.5(b)
Transit de puissance

١.٣.١المقطع الخافض للتوتر (Buck)

١.٣.١.١ مبدأ العمل

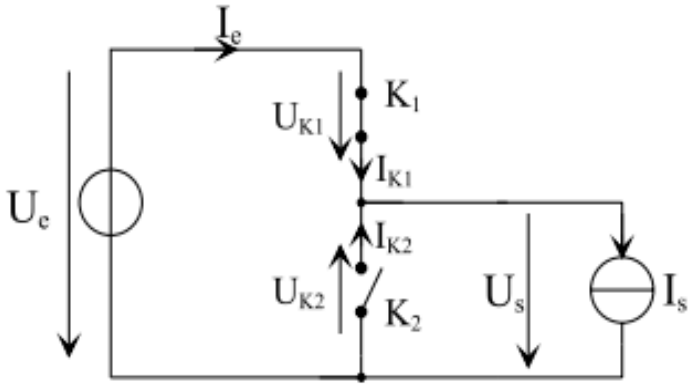
- مبدأ عمل هذا المقطع هو تأمين جريان القدرة من منبع توتر مستمر لإلى منبع تيار مستمر (الحمل) والشكل يمثل الشكل العام لهذا المقطع. نبحث في هذا المقطع عن تحقيق تثبيت التوتر المتوسط <Us> على طرفي المنبع Is ويحقق الشرط التالي : Ue >> Us >> 0.



المقطع الخافض للتوتر Buck converter

١.٣.١.٢ بنية المقطع:

- يتكون المقطع الخافض للتوتر من خلية تبديل واحدة ، فيها عنصرين الكترونيين K_2, K_1 ،
- K_1: قاطع ساكن متحكم به (ترانزستور في الاستطاعات الصغيرة والمتوسطة وقد يستخدم الثايرستور مع دارة حجز قسري في الاستطاعات الكبيرة)
- K_2: قاطع ساكن غير متحكم به (ديود)
- كما هو مبين في الشكل. القاطعان لا يعملان سوية ولهما وضعيتين للتشغيل .K_1 في حالة التشغيل أو التوصيل ON ، في المقابل يكون العنصر K_2 في حالة الفصل أو الحجز ، عدم التشغيل ، كما يوضحه الشكل ١.٨ .شروط ووضعية العمل هي كالتالي :



الشكل ١.٧ بنية المقطع الخافض للتوتر

مبدأ العمل

- العنصر K_1 أو(القاطع) موصل On،و العنصر K_2 محجوز Block، شروط التشغيل تكون كالتالي :

✓ توتر الحمل يساوي توتر المنبع $Us = Ue$

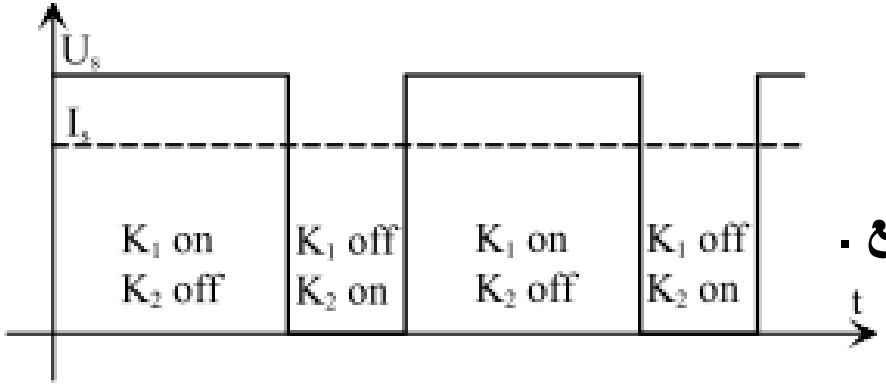
✓ وعليه فإن $U_{k2} = -Ue$

✓ $Ie = Is$ وعليه فإن $I_{k1} = Is$

- العنصر K_1 في حالة حجز ، والعنصر K_2 في حالة توصيل ، شروط التشغيل تكون كالتالي :

✓ $Us = 0$ وعليه فإن $U_{k1} = Ue$

✓ $Ie = 0$ وعليه فإن $I_{k2} = Is$



a. شكل توتر الخرج ووضعية القواطع .

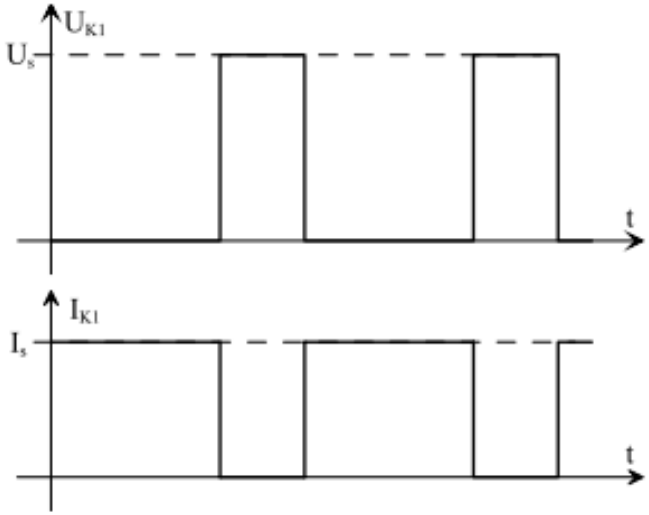


Fig. 1.8(b) *Interrupteur* K_1

b - وضعية وتوتر القاطع K1 ،

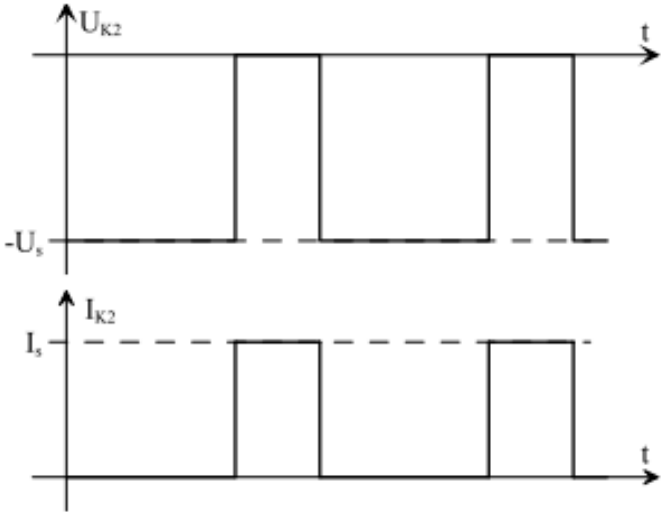


Fig. 1.8(c) *Interrupteur* K_2

c - وضعية وتوتر القاطع K2

الخواص الساكنة للقواطع والتبديل

- سوف نعتبر أن منابع التوتر والتيار وحيدة الاتجاه بالتوتر والتيار (Unidirectionnelle)، وبالنظر للشكل ١.٧ يمكن القول :

$$U_{k1} - U_{k2} = Ue$$

$$I_{k1} + I_{k2} = Is$$

- تبعاً للحالات المتتابعة للقواطع ، وعندما يكون القاطع K_1 موصلاً والقاطع K_2 حاجزاً، يمكن كتابة :

$$U_{k2} = - Ue$$

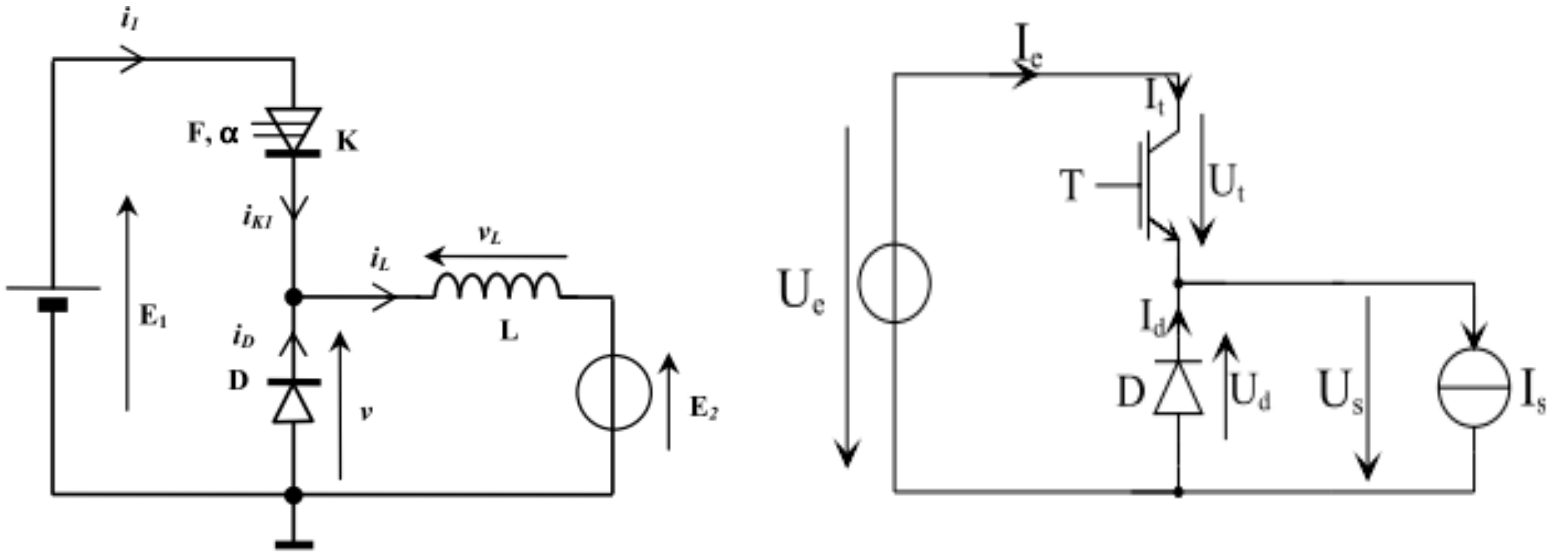
$$I_{k1} = Is$$

- بالمقابل عندما يكون القاطع K_1 حاجزاً ، والقاطع K_2 موصلاً نكتب أن :

$$U_{k1} = Ue \qquad I_{k2} = Is$$

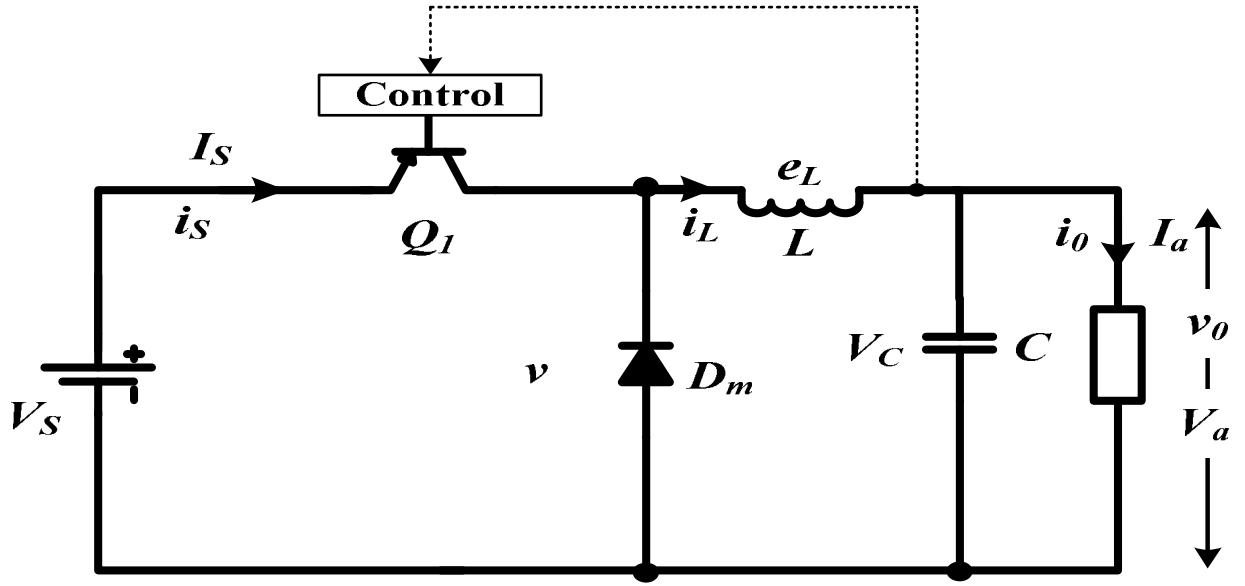
- نرى أن هنالك حالتين فقط تتغير فيهما وضعية القواطع K_1 وK_2

- باختصار نحتاج هنا إلى قاطع K_1 مقاد عند الوصل وعند الفصل ، تشغيل هذا القاطع يعمل على تشغيل القاطع K2 بشكل معاكس أو تكاملي .أي أن القاطع K_1 قد يكون من الثيرستور أو الترانزستور (نوع Mos أو bipolair , GTO, IGBT) .والقاطع K_2 قد يكون من الديود Diode .بناءً عليه فإن المقطع الخافض للتوتر سيأخذ البنية التالية المبينة في الشكل ١.١٠

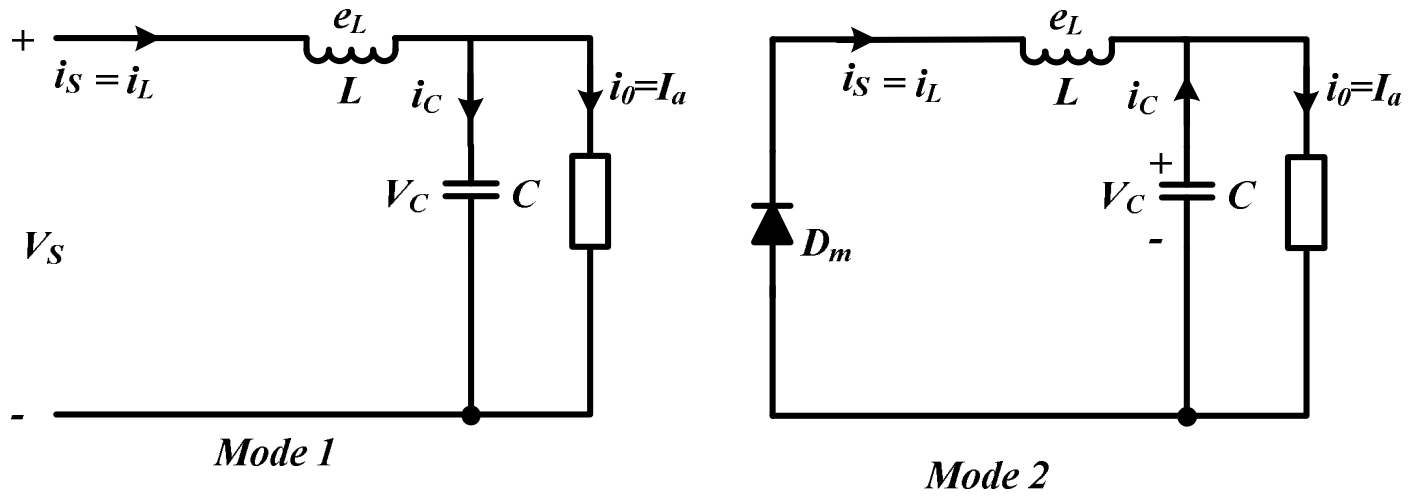


٢-٣ نظرية عمل المقطع التسلسلي BUCK Regulators (خافض التوتر):

- في المقطع التسلسلي المبين في الشكل (26-a) توتر الخرج دائماً أقل من توتر الدخل. اشرح مرحلتي العمل، الأولى عند وصل Q1 والثانية عند فصله. اعتبر أن التيار في الحمل مستمر.



- الدارة المكافئة في حالتي العمل الأولى والثانية مبينة أدناه:



- التوتر عبر الممانعة L يعطى بشكل عام بالعلاقة: (هذه هي ممانعة المرشح في الخرج)

$$e_L = L\frac{di}{dt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

- بفرض أن تيار الممانعة يرتفع من I_1 إلى I_2 خلال الزمن t_1وهو زمن توصيل القاطع Q_1، وعليه:

$$V_S - V_a = L\frac{I_2 - I_1}{t_1} = L\frac{\Delta I}{t_1} \quad \text{.....(2)}$$

- ومنه:

$$t_1 = \frac{\Delta I \times L}{V_S - V_a} \quad \text{.....(3)}$$

- بالمقابل لدى فصل القاطع Q1 فإن الدارة المكافئة mod2 ستطبق والتيار الذي كان ماراً سوف يستمر المرور بـ Dm لكن سينخفض من القيمة I2 إلى I1 خلال الزمن t2 وعليه يمكن القول أن:

$$-V_a = -L\frac{\Delta I}{t_2} \quad \text{.....(4)}$$

- (لأن توتر المكثف مساوٍ لـ Va وهو توتر الحمل قبل فصل القاطع).

$$t_2 = \frac{\Delta I \times L}{V_a} \quad \text{.....(5)}$$

$\Delta I = I_2 - I_1$ تمثل تغيرات تيار الملف من القمة للقمة (Peak- to- Peak ripple) بالمساواة بين العلاقات (4) و (2) نجد:

$$\Delta I = \frac{(V_S - V_a)t_1}{L} = \frac{V_a.t_2}{L} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

بالتعويض عن $t_1=D.T$ و $t_2=(1-D)T$ يمكن حساب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج حسب العلاقة:

$$V_a = V_S \frac{t_1}{T} = DV_S \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

وبإهمال المفاقيد في الدارة يمكن أن نكتب:

$$V_S.I_S = V_a.I_a = DV_S.I_a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

وعليه فإن:

$$I_S = D.I_a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

- دور التقطيع T يمكن أيضاً التعبير عنه بالشكل:

$$T = \frac{1}{F} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I.L}{V_S - V_a} + \frac{\Delta I.L}{V_a}$$

$$T = \frac{\Delta I.L.V_S}{V_a(V_S - V_a)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

ومنه يمكن حساب تعرجات التيار العظمى:

$$\Delta I = \frac{V_a(V_S - V_a)}{F.L.V_S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

أو بالشكل:

$$\Delta I = \frac{V_S D(1-D)}{F.L} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

- باستخدام قانون كيرشوف، خلال عملية فصل القاطع Q_1، يمكن أن نكتب تيار الملف i_L بالشكل:

$$i_L = i_C + i_0$$

إذا فرضنا أن تغيرات تيار الحمل Δi_0 مهملة فإن $\Delta i_L = \Delta i_C$. وعليه فإن التيار المتوسط للمكثف والذي يمر خلال الفترات:

$$\frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{2} = \frac{T}{2}$$

هو:

$$I_C = \frac{\Delta I}{4}$$

– وتوتر المكثف يمكن التعبير عنه بالعلاقة:

$$V_C = \frac{1}{C}\int i_C dt + V_C(t=0)$$

تعرجات توتر المكثف تعطى بالشكل:

$$\Delta V_C = V_C - V_C(t=0) = \frac{1}{C}\int_0^{T/2} \frac{\Delta I}{4}\, dt$$

$$\Delta V_C = \frac{\Delta I.T}{8C} = \frac{\Delta I}{8.F.C} \quad \text{.....(13)}$$

بالتعويض عن قيم ΔI السابقة (11) أو (12) نجد:

$$\Delta V_C = \frac{V_a(V_S - V_a)}{8.L.C.F^2.V_S} = \frac{V_S D(1-D)}{8.L.C.F^2} \quad \text{.....(14)}$$

– في حالة كون تيار الملف غير متقطع، دائم مستمر، إذا كان I_L هو متوسط تيار الملف، فإن تعرجات تيار الملف $\Delta I=2I_L$.

باستخدام العلاقات (8) و (12) نجد:

$$\frac{V_S(1-D)D}{F.L} = 2I_L = 2I_a = \frac{2D.V_S}{R} \quad \text{.....(15)}$$

وهذا يسمح بمعرفة القيمة الحرجة للمفاعلة L_C حيث:

$$L_C = L = \frac{(1-D)R}{2F} \quad \text{.....(16)}$$

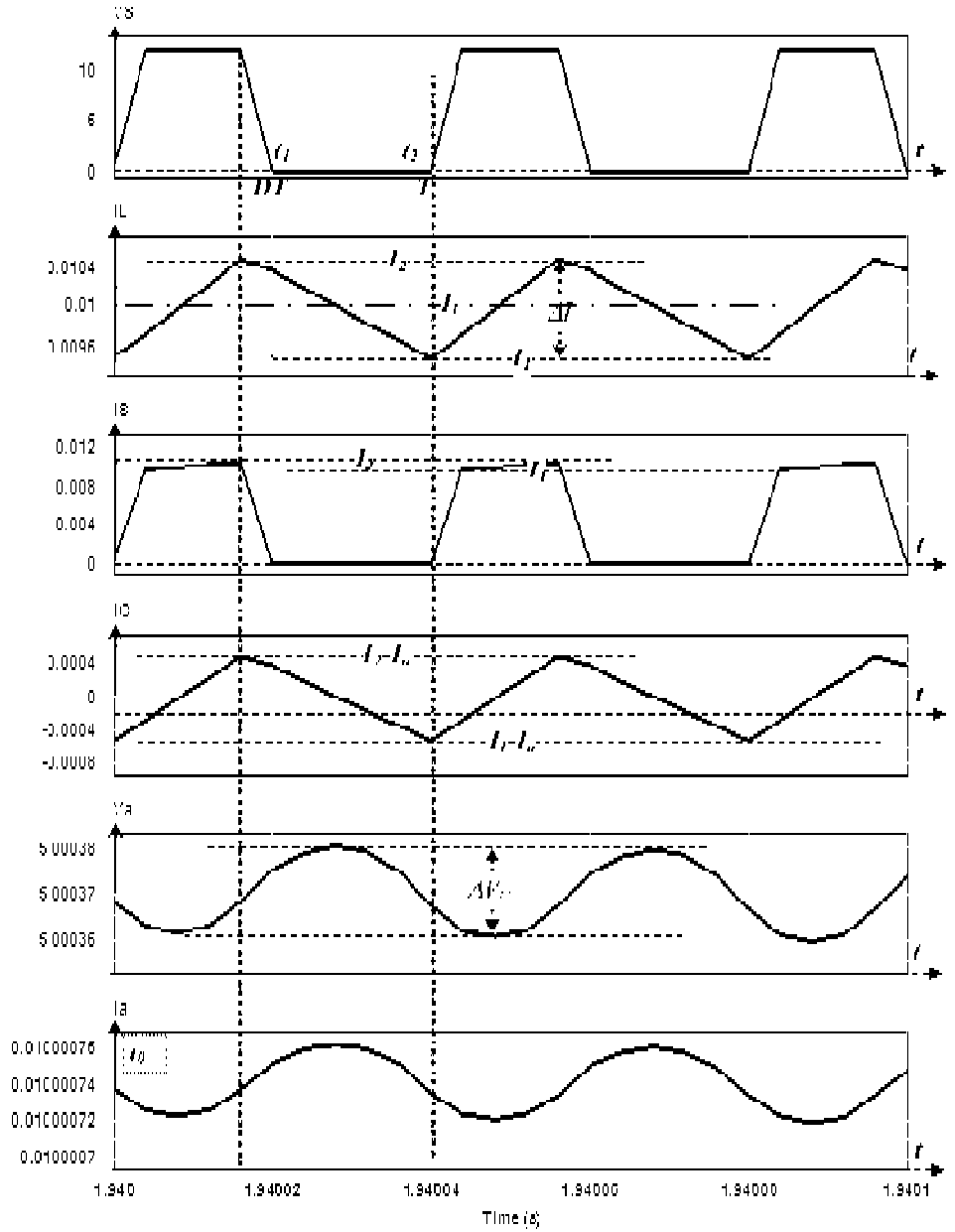
– إذا كان V_C هو التوتر المتوسط للمكثف، تعرجات توتر المكثف $\Delta V_C=2V_a$ بالاعتماد على العلاقات (8) و (14) نجد:

– إذا كان V_C هو التوتر المتوسط للمكثف، تعرجات توتر المكثف $\Delta V_C=2V_a$ بالاعتماد على العلاقات (8) و (14) نجد:

$$\frac{V_S(1-D)D}{8.L.C.F^2}=2V_a=2DV_S$$

فإن القيمة الحرجة لسعة المكثف C ستكون مساوية:

$$C_C=C=\frac{1-D}{16LF^2}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(17)$$



أشكال الأمواج خلال مراحل العمل
للمقطع التسلسلي

- المطلوب دراسة وفهم آلية عمل المقطع التسلسلي
- المسائل ١-٢-٣-٤-٥-٦ في ملف المسائل العملية
- تصميم مقطع تسلسلي وفق المعادلات الواردة في العرض لاستطاعة وتوتر دخل وتوتر خرج يحددها الطالب
- نمذجة هذا المقطع بأحد برامج النمذجة المتوفرة (MATLAB- PSIM- ETAP.....)