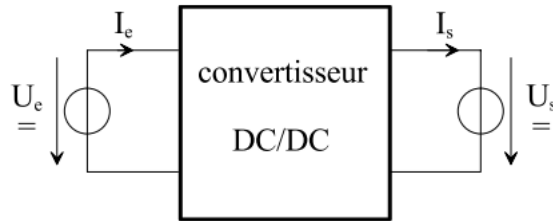


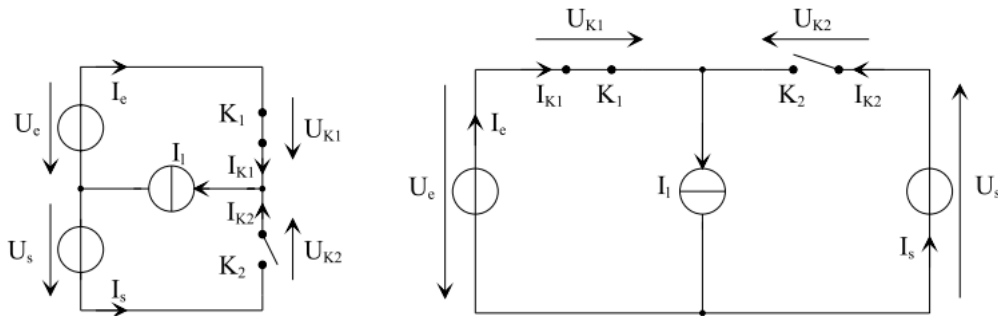
١.٣.٣ المبدل الخافض الرفع (Buck- Boost)

المبدل الثالث الذي يعمل في ربع واحد من إحدائيات التوتر والتيار هو المقطع الخافض - الرفع Buck- Boost Converter. والذي يمكنه رفع وخفض توتر الخرج تبعاً لقيم عامل الدور Duty Cycle. يبين الشكل ١.٣٥ المخطط العام لمثل هذا النوع من المقطعات.



الشكل ١.٣٥ المبدل الخافض - الرفع

- كنا في بداية هذا البحث أشرنا لطبيعة المصادر التي يمكن ربطها ببعضها البعض باستخدام المقطعات. نرى في هذا المقطع أنه تم ربط منبعي توتر لبعضهما البعض. لتحقيق ذلك لابد من تأمين أو وضع منبع تيار ضمن تركيبية المبدل ذاته .
- في هذا المبدل نسعى لتثبيت توتر الخرج المتوسط $\langle U_s \rangle$ بحيث يكون لدينا حالتين : (توتر الخرج أكبر أو أصغر من توتر الدخل). توتر الخرج في كلتا الحالتين يمكن التحكم به والانتقال من حالة تشغيل لأخرى دون انقطاع . يبين الشكل ١.٣٦ (a,b) البنية العامة لهذا المبدل .



الشكل ١.٣٦ البنية الأساسية للمبدل الخافض - الرفع

القاطعين K_1, K_2 يشكلان خلية تبديل ، وطريقة تشغيلها يجب أن تكون تكاملية ، ونرى منبعين للتوتر U_e و U_s ولا يمكن ربطهما مباشرة لذا لابد من وضع منبع تيار I_L ضمن المبدل لتحقيق نقل القدرة من المنبع الأول U_e إلى المنبع الثاني U_s .

الخواص الساكنة للقواطع المستخدمة وطريقة التبديل

كي نضع القاعدة الناظمة لطريقة التبديل للقواطع الواردة في الشكل ١.٣٦ يلزم ما يلي :

- أن تكون المنابع U_e و U_s وحيدة اتجاه التيار .
- أن يكون منبع التيار I_L متعدد اتجاه التوتر لكن غير عكسي بالتيار . أي أن التيار I_L لا يمكن أن يكون سوى موجب .
- توجد طريقتين للتشغيل تحقق هذه الشروط :

بفرض أن القاطع K_1 موصل ، والقاطع K_2 حاجز عندئذ يكون لدينا :

$$(1.68) \quad I_{K1} = I_L \quad \text{و} \quad U_{K1} = 0 \quad \text{وبالمقابل يكون لدينا} \quad U_{K2} = -U_e - U_s \quad \text{و} \quad I_{K2} = 0$$

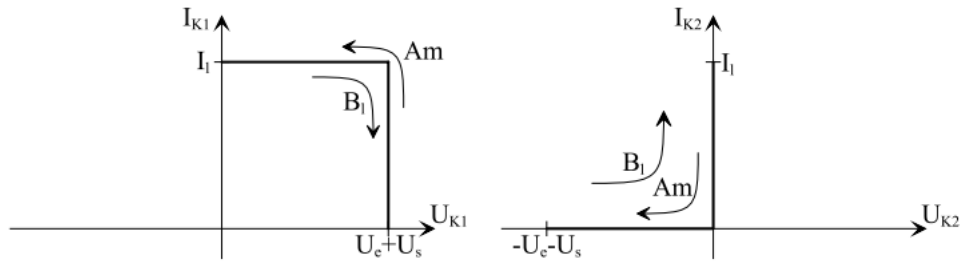
بفرض أن القاطع K_1 حاجز و القاطع K_2 موصل عندئذ يكون لدينا :

$$(1.69) \quad I_{K1} = 0 \quad \text{و} \quad U_{K1} = U_e + U_s \quad \text{وبالمقابل يكون لدينا} \quad U_{K2} = 0 \quad \text{و} \quad I_{K2} = I_L$$

هذا يعني أن حالتين للتشغيل مطلوبة من القواطع ، ويمكن أن يكونا من الترانزستور والديود كما في الشكل ١.٣٧ . والذي يبين أيضاً التوتر والتيار قبل وبعد الانتقال للتوصيل أو الفصل .

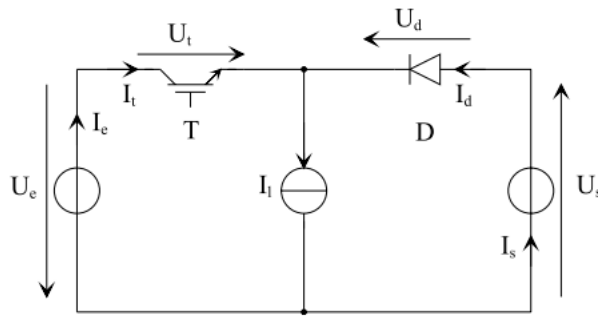
بنية المبدل

في هذا المبدل عملية نقل القاطع المقاد K_1 للتوصيل والحجز تسبب بشكل مباشر حجز وتوصيل القاطع K_2 .



الشكل ١.٣٧ الخواص الساكنة للقواطع عند التبديل

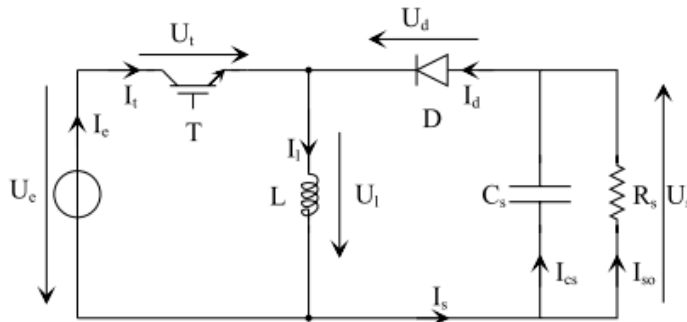
- القاطع K_1 عليه أن يتحمل توتراً موجباً يساوي $U_e + U_s$ وتمرير تيار موجب وجميع عمليات التشغيل له يجب أن تكون مقادة. وعليه يمكن أن يكون من نوع (ترانزستور ، (BIPOLAIRE Mos, IGBT, GTO, .
- القاطع K_2 عليه أن يتحمل توتر عكسي $-U_e - U_s$ ، وتمرير تيار موجب ، توصيله وفصله أي . ويمكن إذاً استخدام ديود .
- الشكل ١.٣٨ يعطي ويوضح نوعية العناصر الممكن استخدامها في هذا المبدل ، العنصر المقاد نوع (IGBT) T.



الشكل ١.٣٨ بنية المبدل الخافض -الرافع للتوتر

١.٣.٣.٣ العلاقات الناظمة للمبدل

لشرح العلاقات الناظمة لعمل هذا المبدل سنعود للشكل ١.٣٩ أدناه :



الشكل ١.٣٩ المبدل الخافض الرافع وطبيعة الحمل المطبق

هذا الشكل لا يختلف كثيراً عن الشكل السابق ١.٣٨ سوى في توصيف الحمل المعتبر منبع توتر والمكون من مقاومة R_S مع مكثف C_S ، وتوصيف منبع التيار الذي عبرنا عنه بالحثية L ، والذي

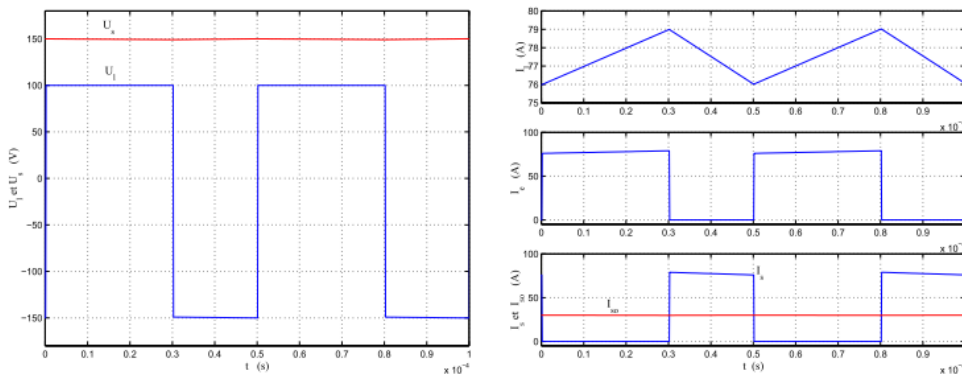
يقدم التيار I_L . وما زالت غاية المبدل نقل القدرة من منبع توتر إلى منبع توتر. شكل توتر وتيار المبدل تم تمثيلها في الشكل ١.٤٠.

- تيار الملف I_L له قيمة متوسطة وتعرجات حول تلك القيمة، ونعتبر أن المبدل يعمل عند تيار حمل مستمر.
- تيار الترانزستور T هو نفس تيار المنبع U_e عندما يكون موصلاً يكون لدينا :
- $I_t = I_e = I_L$ ، خلال هذا الطور من التشغيل يكون تيار الملف L في حالة تزايد .
- تيار الديود D ، $I_d = I_s = I_L$ ، وهو نفسه التيار المستقر من منبع التوتر U_s ، وفي هذه المرحلة من العمل يتناقص التيار في الملف L .
- تيار الحمل المار في المقاومة R_s له قيمة متوسطة وبعض التعرجات التي يمكن اعتبارها مهملة أمام المركبة المستمرة للتيار، ولذا يتم أيضاً رفع قيمة المكثف C_s لتحقيق ذلك .
- الشروط العامة للتشغيل مشابه للشروط التي وردت لباقي المقطعات من ناحية أن دور التقطيع T للقواطع أصغر بكثير من ثابت الزمن للدارة R_s, C_s عندما يكون الترانزستور موصلاً. نعتبر أن تعرجات التيار في مقاومة الحمل \tilde{I}_{SO} مهملة أمام القيمة المتوسطة $\langle I_{cs} \rangle$. في حالة العمل المستقر الدائم نعتبر أن القيمة المتوسطة لتيار المكثف $\langle I_{cs} \rangle$ معدومة ، وعليه فإن استناداً لذلك يكون لدينا :

$$\langle I_{cs} \rangle = \tilde{I}_s \quad \text{و} \quad \langle I_s \rangle = I_{SO}$$

نعتبر أيضاً أن تعرجات التوتر U_s مهملة أمام القيمة المتوسطة لهذا التوتر وعليه نعتبر : $U_s =$

$$\langle U_s \rangle = U_{so} \quad \text{وعليه}$$

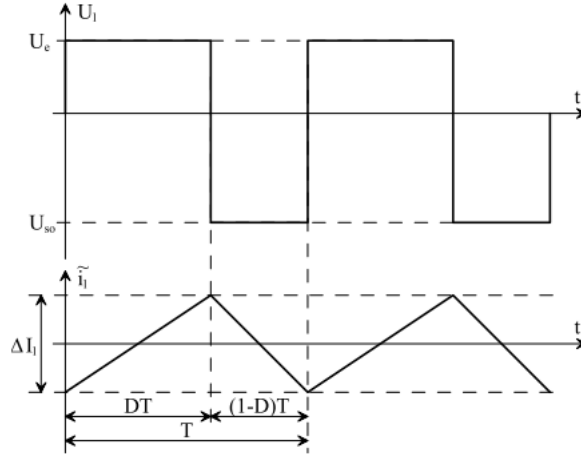


الشكل ١.٤٠ توتر وتيار الخرج للمبدل الخافض -الرافع (a- التوترات ،b- التيارات)

القيمة المتوسطة U_{so} للتوتر U_s

يمكن النظر للشكل ١.٤١ لحساب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج للمقطع الرفع. قمنا أيضاً بتمثيل التوتر على طرفي الملف U_L وكذلك تغيرات التيار I_L المار فيه. باعتبار D عامل الدور الذي يمثل هنا النسبة بين فترة التوصيل للترانزستور T ودور التبديل للترانزستور، فإن التوتر على الملف سوف يعتمد على طور التوصيل للقاطع T وعليه لدينا : خلال فترة التوصيل DT : $U_L = U_e$ ، وخلال الفترة $(1-D)T$: يكون لدينا

$$. U_L = - U_{so}$$



الشكل ١.٤١ توتر الملف U_L المتواجد على طرفي الملف L

كما يمكن حساب القيمة المتوسطة $\langle U_L \rangle$ للتوتر U_L .

$$\langle U_L \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T U_L(t) dt$$

$$\langle U_L \rangle = \frac{1}{T} \int_0^{DT} U_e dt + \frac{1}{T} \int_{DT}^T -U_{so} dt$$

$$\langle U_L \rangle = U_e D - U_{so} (1 - D)$$

في حالة العمل المستقر الدائم ، التوتر المتوسط على طرفي الملف يكون معدوماً . وعليه :

$$\langle U_L \rangle = 0 \Rightarrow U_{so} = U_e \frac{D}{1 - D}$$

توضح هذه العلاقة مفهوم المبدل الخافض-الرفع المعتبر . عامل الدور يتغير من القيمة (0-1).

وبالتالي التوتر U_{so} في الخرج يمكن أن يتغير من الصفر حتى اللانهاية (وذلك بشكل نظري) .

تغيرات تيار الخرج Iso

- عندما يكون الترانزستور T موصلاً خلال الفترة DT ، والديود حاجزاً ، التيار في الحمل Is يكون معدوماً . والتيار $I_e = I_L$.
- عندما يكون الترانزستور T حاجزاً، خلال الفترة (1-D)T ينتقل الديود D للتوصيل كي يؤمن استمرار مرور تيار الملف L. وعليه فإن $I_L = I_s$ و تيار المنبع $I_e = 0$.

بإهمال تعرجات التيار في الملف L أمام قيم التيارات I_e و I_s يمكن كتابة :

$$I_{s0} = \langle I_s \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T I_s(t) dt$$

$$I_{s0} = \frac{1}{T} \int_{DT}^T \langle I_L \rangle dt$$

$$I_{s0} = (1-D) \langle I_L \rangle$$

يمكن بنفس الاسلوب كتابة علاقات التيار I_e في الدخل :

$$\langle I_e \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T I_e(t) dt$$

$$\langle I_e \rangle = \frac{1}{T} \int_{DT}^T \langle I_e \rangle dt$$

$$\langle I_e \rangle = D \langle I_L \rangle$$

من العلاقات السابقة يمكن استنتاج الرابط بين القيم المتوسطة لتيار الدخل وتيار الخرج :

$$\frac{I_{s0}}{\langle I_e \rangle} = \frac{1-D}{D}$$

نلاحظ أن العلاقة بين تيارات الدخل والخرج تعاكس العلاقة بين التوترات. هذا يعني أن هذا المبدل خافض رافع للتوتر ورافع خافض للتيار. مقارنة بالعمل كمحول تيار مستمر نسبة التحويل تكون : $K = \frac{1-D}{D}$. كما أن استطاعة الخرج $I_{s0} * U_{s0}$ تساوي استطاعة الدخل $\langle I_e \rangle * U_e$.

تعرجات توتر الخرج Us

تبعاً للفرضيات الموضوعية ، تعرجات توتر الخرج مهمة أمام القيمة المتوسطة لتوتر الخرج، لكن كي نبرر ذلك لا بد من دراسة هذه التعرجات وتحديد سعة مكثف الخرج باعتبار مكونات النظام وطريقة تشغيله. كي نوصف التعرجات \tilde{u}_s لتوتر الخرج U_s سوف نعود للنظر بالشكل ١.٤٣.

اعتماداً على فرضيات العمل المعتمدة، يمكن فرض أن التيار I_s مركب من مركبتين، مركبة متوسطة $\langle I_s \rangle = I_{s0}$ ، ومن مركبة متناوبة \tilde{i}_s بحيث يكون لدينا :

$$I_s = I_{s0} + \tilde{i}_s \quad \text{مع اعتبار أن} \quad \tilde{i}_s = I_{cs} \quad (1.75)$$

هذه الخواص مبينة في الشكل ١.٣٠. التيار I_{cs} في المكثف عبارة عن قيم مستطيلة الشكل تأخذ القيمة I_{s0} - خلال الفترة الأولى من العمل DT والقيمة $I_L - I_{s0}$ خلال الفترة $(1-D)T$.
تغيرات التوتر \tilde{u}_s في الخرج تعرف بالعلاقة :

$$(1.76) \quad I_{cs} = C_s \frac{d\tilde{u}_s}{dt}$$

التوتر في المكثف C_s يتغير بشكل خطي ، مما يسمح لنا خلال الفترة DT بكتابة :

$$-\tilde{U}_s = \frac{1}{C_s} \int_0^{DT} -I_{s0} dt$$

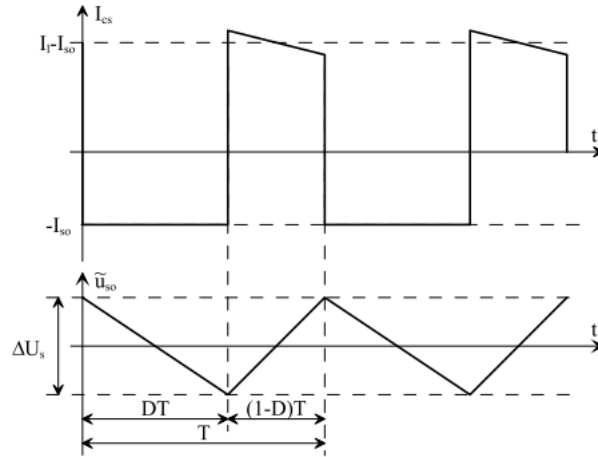
$$\Delta U_s = \frac{1}{C_s} [I_{s0}]_{DT}$$

$$\Delta U_s = \frac{1}{C_s} [I_{s0}] DT$$

$$\Delta U_s = \frac{1}{R_s \cdot C_s \cdot f} [U_{s0}] D \quad (1-77)$$

$$\Delta U_s = \frac{U_e}{R_s C_s f} \frac{D^2}{1-D}$$

من العلاقة أعلاه نستنتج أنه لدى تثبيت القيم $R_s C_s f U_e$ فإن مطال تعرجات التوتر U_s سوف تزداد مع كبر عامل الدور D . مع ذلك فإن تعرجات التوتر لهذا المبدل أقل من تعرجات المقطع الراجع للتوتر. وكلما ارتفعت قيمة تردد التقطيع كلما نقصت سعة المكثف اللازمة لهذا المبدل .



الشكل ١.٤٣ تعرجات توتر الخرج للمقطع الرافع - الخافض

تعرجات التيار

تم عرض الشكل ١.٤٥ الذي يمثل توتر الملف U_L وتغيرات التيار \tilde{I}_L حول القيمة المتوسطة للتيار I_L . اعتماداً على الفرضيات الموضوعة يمكن القول :

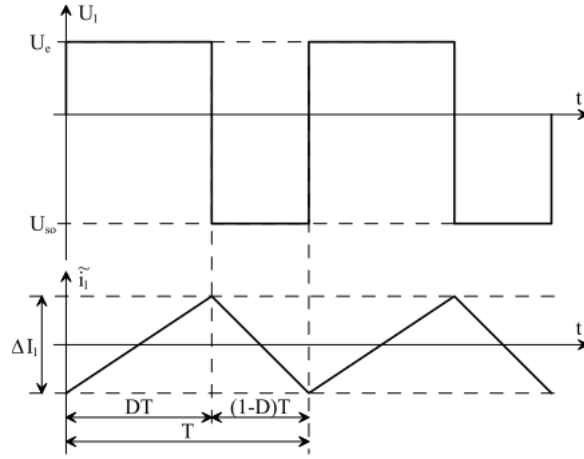
- خلال الفترة DT التي يعمل فيها القاطع المقاد T يكون التوتر على الملف مساوي لتوتر المنبع U_e ، وخلال هذا الطور يتزايد التيار في الحثية (الملف) .
- خلال الفترة $(1-D)T$ يحجز القاطع ويعمل الديود D . ينعكس توتر الملف ويصبح مساوي إلى $-U_{s0}$ ، توتر الملف سالب مما يعمل على تناقص تيار الملف .

خلال الفترة التي يكون توتر الملف موجباً يمكن كتابة :

$$U_L = U_e = L \frac{\Delta I_L}{DT} \quad (1-78)$$

$$\Delta I_L = \frac{U_e}{L_f} D \quad (1-79)$$

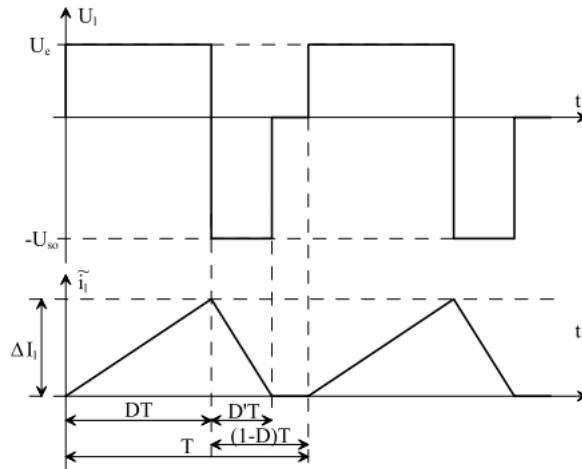
تعرجات تيار الملف تتناسب مباشرة مع عامل الدور D ، لتحديد قيمة الملف (الحثية) علينا معرفة القيمة العظمى للعامل D وبحيث قيم تزايد التيار ΔI_L لا تتجاوز القيمة المحددة مسبقاً 20% من التيار الاسمي أو أقل .



الشكل ١.٤٣ تعرجات تيار الملف

طرق التوصيل للمبدل الخافض -الرافع للتوتر

كما في المقطعات السابقة ، هذا المبدل أيضاً يعمل في ثلاثة طرق أصبحت معروفة : التوصيل المستمر والتوصيل غير المستمر ، والتوصيل الحرج .والشكل ١.٤٦ حالة التوصيل غير المستمر ، ودراستنا السابقة أعلاه كانت للتوصيل المستمر .



الشكل ١.٤٦ التوصيل غير المستمر للمبدل الخافض - الرافع

	Buck	Boost	Buck-boost
Conduction continue	$y = D$	$y = \frac{1}{1-D}$	$y = \frac{D}{1-D}$
Conduction critique	$x_{lim} = \frac{1}{2}y(1-y)$	$x_{lim} = \frac{1}{2}\frac{y-1}{y^2}$	$x_{lim} = \frac{1}{2}\frac{y}{(1+y)^2}$
Conduction discontinue	$y = \frac{1}{1+\frac{2x}{D^2}}$	$y = 1 + \frac{D^2}{2x}$	$y = \frac{D^2}{2x}$

تطبيق (1):

إذا كان دخل المقطع العكسي في الشكل $VS=12V$ ، عامل الدور $D=0.25$ وتردد التقطيع $25KHz$. المفاعلة ذات حثية $L=150\mu H$. وسعة مكثف المرشح $C=220\mu F$. وتيار الحمل المتوسط $I_a=1.25A$. حدد مايلي:

- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج.
 - تعرجات التوتر العظمى (قمة-قمة) للمكثف أو للخرج ΔV_C .
 - تعرجات التيار العظمى (قمة-قمة) للملف (مفاعلة) ΔI .
 - التيار الأعظمي المار في الترانزستور I_p .
 - القيم الحرجة الحدية للملف L وللمكثف C .
- الحل:

a- باعتماد العلاقة :

$$U_{s0} = U_e \frac{D}{1-D} = \frac{12 \times 0.25}{1-0.25} = -4V$$

b- باعتماد العلاقة :

$$\Delta V_C = \frac{I_s \cdot D}{f \cdot C}$$

$$\Delta V_C = \frac{1.25 \times 0.25}{25000 \times 220 \times 10^{-6}} = 56.8mV$$

c- باعتماد العلاقة نجد تعرجات التيار العظمى للملف:

$$\Delta I = \frac{V_s \cdot D}{f \cdot L}$$

$$\Delta I = \frac{12 \times 0.25}{25000 \times 150 \times 10^{-6}} = 0.8A$$

-d من العلاقة:

$$I_e = \frac{I_s \cdot D}{1 - D}$$

$$I_e = \frac{1.25 \times 0.25}{(1 - 0.25)} = 0.4167A$$

بما أن I_e هو متوسط التيار لفترة DT، فإن التيار الأعظمي للترانزستور سيكون:

$$I_p = \frac{I_e}{D} + \frac{\Delta I}{2} = \frac{0.4167}{0.25} + \frac{0.8}{2} = 2.067A$$

-e يمكن حساب مقاومة الحمل بالعلاقة:

$$R = \frac{U_s}{I_s} = \frac{4}{1.25} = 3.2\Omega$$

- من العلاقة :

$$L_c = \frac{(1 - D)R}{2 \cdot f}$$

نجد

$$L_c = \frac{(1 - 0.25) \times 3.2}{2 \times 25000} = 450\mu H$$

- من العلاقة :

$$C_c = \frac{D}{2 \cdot f \cdot R}$$

$$C_c = \frac{0.25}{2 \times 25000 \times 3.2} = 1.56\mu F$$

