– المقطعات غير المباشرة ذات المجمعات السعوية:

CÛK Regulators

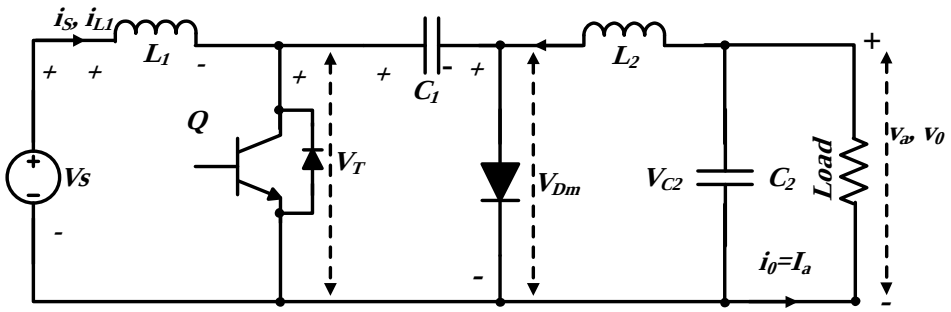
هذا المقطع (CÛK) مشابه للمقطع غير المباشر العكسي ذي التخزين بالملف أو الرافع– الخافض للتوتر، يستطيع أيضاً إعطاء توتر في الخرج قد يكون أصغر أو أكبر من توتر الدخل، مع قطبية معكوسة عن توتر الدخل. وقد أخذ هذا الاسم تبعاً للعالم الذي اخترعه.

عند تطبيق توتر الدخل، وكون الترانزستور Q1 مفصولاً. الديود D_m يكون منحازاً باتجاه أمامي وسوف يمر تيار لشحن المكثف C_1 عبر L_1 و D_m انطلاقاً من المنبع (الشكل(٧٢)).

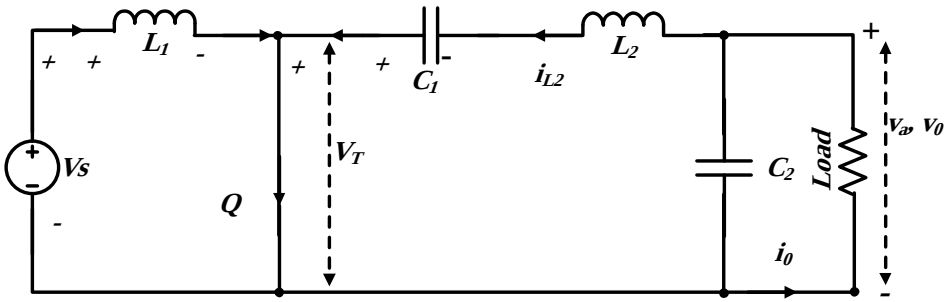
– عمل الدارة يقسم إلى مرحلتين: Mode1 يبدأ عند توصيل الترانزستور Q_1 عند الزمن t=0. التيار في المفاعلة L_1 سوف يتزايد. وتوتر المكثف C_1 سوف يحجز الديود D_m لذا سيكون مفصولاً (Off). المكثف C_1 يفرغ شحنته في الدارة المكونة من C_1 و C_2، والحمل، و L_2. هنا سيمر تيار في الترانزستور يمثل تيار قصر المنبع وتيار تفريغ المكثف C_1.

– المرحلة الثانية من التشغيل Mode2 تبدأ فور فصل الترانزستور Q_1 عند الزمن $t=t_1$. سوف يشحن المكثف C_1 من المنبع، والقدرة التي كانت مخزنة في L_1 سوف تنتقل للحمل. الديود D_m سيكون بالتأكيد موصلاً، وهو يشكل مع Q_1 دارة متزامنة أحدهما موصل والأخر حاجز.

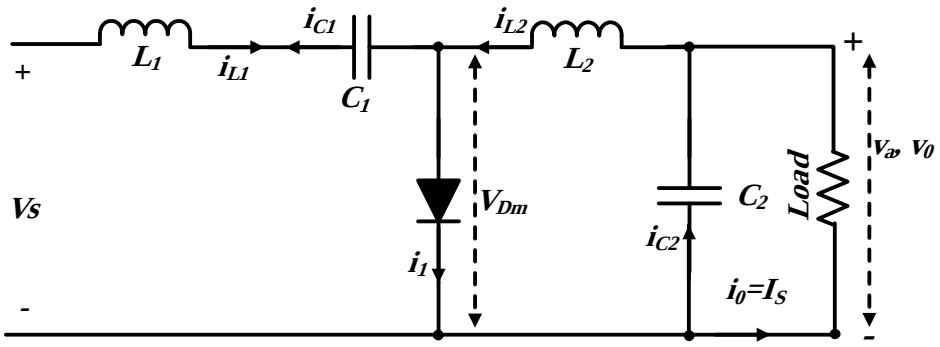
المكثف C_1 هو الوسيط لنقل القدرة من المنبع إلى الحمل. الأشكال أدناه (73) توضح الدارات المكافئة لحالات التشغيل والتوترات والتيارات المارة في كل مرحلة.



شكل (72) دارة الاستطاعة للمقطع العكسي ذي المجمع السعوي CÛK.



Mode1 -a (Q_1 موصل– D_m حاجز) – تفريغ المكثف C_1 وتخزين قدرة في L_1.



Mode2 -b الديود D_m موصل والترانزستور Q1 حاجز.

حالة شحن المكثف C_1 وتفريغ قدرة L_1.

الشكل (73) الدارات المكافئة.

– بفرض أن التيار في المفاعلة (الملف) L_1 يتزايد خطياً خلال الزمن t_1 من I_{L11} إلى I_{L12} وعليه:

$$V_S = L_1 \frac{I_{L12} - I_{L11}}{t1} = L_1 \frac{\Delta I}{t_1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

أو أن:

$$t_1 = \frac{\Delta I_1 \times L_1}{V_S} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

– خلال الزمن t_2 ونتيجة شحن المكثف C_1، تيار الملف L_1 يتناقص خطياً من I_{L12} إلى I_{L11}.

$$V_S - V_{C1} = -L_1 \frac{\Delta I_1}{t_2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

أو أن:

$$t_2 = \frac{-\Delta I_1 \times L_1}{V_S - V_{C1}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

حيث أن التوتر V_{C1} هو التوتر المتوسط للمكثف C_1 وإن

$$\Delta I_1 = I_{L12} = I_{L11}$$

من العلاقة (1) و (3) نجد:

$$\Delta I_1 = \frac{V_S . t_1}{L_1} = \frac{-(V_S - V_{C1}) t_2}{L1}$$

بالتعويض عن $t_1=DT$ وعن $t_2=(1-D)T$. فإن التوتر المتوسط للمكثف C_1 سيكون:

$$V_{C1} = \frac{V_S}{1-D} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

– بفرض أن تيار ملف المرشح L_2 تزايد بشكل خطي من I_{L21} إلى I_{L22} خلال الزمن t_1.

وعليه:

$$V_{C1} + V_a = L_2 \frac{I_{L22} - I_{L21}}{t_1} = L_2 \frac{\Delta I_2}{t_1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

ومنه فإن:

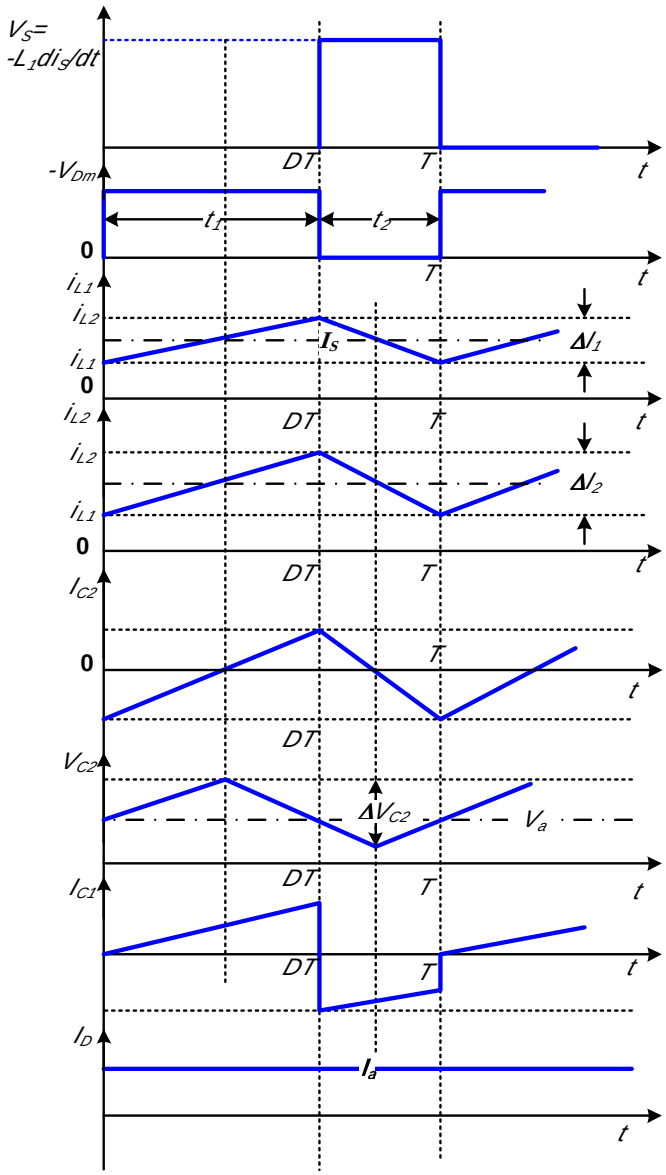
$$t_1 = \frac{\Delta I_2 \times L_2}{V_{C1} + V_a} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

وتيار الملف L_2 يتناقص خطياً من I_{L22} إلى I_{L21} خلال الزمن t_2 وعليه:

$$V_a = -L_2 \frac{\Delta I_2}{t_2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

أو أن:

$$t_2 = \frac{\Delta I_2 \times L_2}{V_a} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$



الشكل (74) تغيرات التوترات والتيارات في الزمن.

حيث أن:

$$\Delta I_2 = I_{L22} - I_{L21}$$

ومن العلاقات (6) و (8)

$$\Delta I_2 = \frac{(V_{C1} + V_a)t_1}{L_2} = \frac{V_a.t_2}{L_2}$$

بالتعويض عن t_1 و t_2 فإن القيمة المتوسطة لتوتر المكثف C_1 هو:

$$V_{C1} = \frac{V_a}{D} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

بمساواة العلاقات (5) و (10) نجد القيمة المتوسطة لتوتر الخرج حيث:

$$\frac{V_S}{1-D} = \frac{V_a}{D} \Rightarrow V_a = \frac{DV_S}{1-D} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

ومنه

$$D = \frac{V_a}{V_a - V_S} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

و

$$1 - D = \frac{V_S}{V_S - V_a} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

– بفرض عدم وجود مفاقيد في الدارة، يمكن القول أن:

$$V_S.I_S = -V_a.I_a = \frac{V_S.I_a.D}{1-D}$$

ومنه فإن متوسط تيار الدخل:

$$I_S = \frac{D.I_a}{1-D} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

– دور التقطيع T يمكن إيجاده من العلاقات (2) و (4):

$$T = \frac{1}{F} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I_1 \times L_1}{V_S} - \frac{\Delta I_1 \times L_1}{V_S - V_{C1}} = \frac{-\Delta I_1.L_1.V_{C1}}{V_S(V_S - V_{C1})} \ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

من هذه العلاقة نحدد التعرجات العظمى لتيار المفاعلة L_1 بالشكل:

$$\Delta I_1 = \frac{-V_S(V_S - V_{C1})}{F.L_1.V_{C1}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(16)$$

أو:

$$\Delta I_1 = \frac{V_S.D}{F.L_1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(17)$$

– دور التقطيع T يمكن أيضاً إيجاده من العلاقة (7) و (9):

$$T = \frac{1}{F} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I_2 \times L_2}{V_{C1} + V_a} - \frac{\Delta I_2 \times L_2}{V_a} = \frac{-\Delta I_2 \times L_2 \times V_{C1}}{V_a(V_{C1} + V_a)} \ldots\ldots(18)$$

هذا يعطي تعرجات تيار الملف L_2 حيث:

$$\Delta I_2 = \frac{-V_a(V_{C1} + V_a)}{F \times L_2 \times V_{C1}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(19)$$

أو:

$$\Delta I_2 = \frac{-V_a(1-D)}{F.L_2} = \frac{D.V_S}{F.L_2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(20)$$

عند فصل Q_1، مكثف التخزين وتحويل القدرة C_1، سوف يشحن بتيار الدخل خلال الزمن $t=t_1$.

متوسط تيار الشحن للمكثف C_1 هو $I_{C1}=I_S$، والقيمة العظمى لتعرجات توتر المكثف C_1 تعطى بالعلاقة:

$$\Delta V_{C1} = \frac{1}{C_1}\int_0^{t_2} I_{C1}dt = \frac{1}{C_1}\int_0^{t_2} I_S.dt = \frac{I_S.t_2}{C_1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(21)$$

العلاقات (13) تعطي:

$$t_2 = \frac{V_S}{(V_S - V_a)F}$$

وعليه فالعلاقة (21) تصبح:

$$\Delta V_{C1} = \frac{I_S . V_S}{(V_S - V_a) F . C_1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (22)$$

أو:

$$\Delta V_{C1} = \frac{I_S (1 - D)}{F . C_1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (23)$$

– إذا فرضنا أن تعرجات تيار الحمل Δi_0 مهملة، فإن

$$\Delta i_{L2} = \Delta i_{C2}$$

تيار الشحن المتوسط للمكثف C_2، والذي يمر خلال $\frac{T}{2}$ هو $I_{C2} = \frac{\Delta I_2}{4}$

وأن أقصى تعرجات لتوتر المكثف C_2 هو:

$$\Delta V_{C2} = \frac{1}{C_2} \int_0^{T/2} I_{C2} dt = \frac{1}{C_2} \int_0^{T/2} \frac{\Delta I_2}{4} dt = \frac{\Delta I_2}{8F . C_2} \ldots\ldots\ldots\ldots (24)$$

أو

$$\Delta V_{C2} = \frac{V_a (1 - D)}{8 . C_2 . L_2 . F^2}$$

$$\Delta V_{C2} = \frac{D V_S}{8 . C_2 . L_2 . F^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (24)$$

<u>– شروط استمرارية تيار الملف وتوتر المكثف</u>:

إذا كان التيار I_{L1} هو متوسط تيار الملف L_1، فإن تعرجات تيار الملف $\Delta I_1 = 2 I_{L1}$. باعتماد العلاقة (14) و (17) نجد أن:

$$\frac{V_S}{F . L_1} = 2 I_{L1} = 2 I_S = \frac{2 D I_a}{1 - D} = 2 \left(\frac{D}{1 - D} \right)^2 \frac{V_S}{R}$$

وهذا يعطي القيمة الحرجة، الحدية للحثية L_{C1} وهي:

$$L_{C1} = L_1 = \frac{(1-D)^2.R}{2.D.F} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (26)$$

– إذا كان I_{L2} هو متوسط التيار للمفاعلة L_2، فإن تعرجات المفاعلة $\Delta I_1 = 2I_{L2}$ وباعتماد العلاقات (11) و (20) نحصل على:

$$\frac{D.V_S}{F.L_2} = 2I_{L2} = 2I_a = \frac{2V_a}{R} = \frac{2D.V_S}{(1-D)R}$$

مما يعطينا القيمة الحرجة الحثية L_{C2} وهي:

$$L_{C2} = L_2 = \frac{(1-D).R}{2.F} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (27)$$

إذا كان V_{C1} هو التوتر المتوسط للمكثف، فإن تعرجات التوتر $\Delta V_{C1} = 2V_a$

باعتماد العلاقات $\Delta V_{C1} = 2V_a$ وتعويضها في العلاقة (22) نحصل على:

$$\frac{I_S(1-D)}{F.C_1} = 2.V_a = 2I_a.R$$

وبعد التعويض عن I_S نحصل على القيمة الحدية للمكثف C_{C1} وهي:

$$C_{C1} = C_1 = \frac{D}{2.F.R} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (28)$$

إذا كانت V_{C2} القيمة المتوسطة لتوتر المكثف، فإن تعرجات التوتر:

$\Delta V_{C2} = 2V_a$ وباعتماد العلاقات (11) و (25) نحصل على:

$$\frac{D.V_S}{8C_2L_2.F^2} = 2.V_a = \frac{2D.V_S}{1-D}$$

والتي بعد التعويض عن L_2 من العلاقة (27) نحصل على السعة الحدية للمكثف C_{C2} وهي:

$$C_{C2} = C_2 = \frac{1}{8.F.R} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (29)$$

– المقطع CÛK، يعتمد على القدرة المحولة من المكثف. وعليه فإن تيار الدخل مستمر. عند وصل القاطع Q_1، عليه أن يحمل تيار الملف L_1 و L_2، وهذا يسبب مرور تيار كبير في الترانزستور Q_1.

بما أن المكثف هو الذي يحول القدرة، فإن تعرجات تيار المكثف C_1 ستكون كبيرة. مثل هذه الدارة تحتاج إلى مكثف وملف إضافيين.

١.٥المبدلات ذات الأرباع الأربعة ، (المبدلات الجسرية)

١.٥.١ مقدمة

كي ننهي بحث المقطعات بكافة أشكالها ، لا بد من التعرض للمقطع الجسري الذي يعمل في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار، أي المبدل القادر على عكس قطبية التيار والتوتر. وهو بهذه الحالة يشابه عمل المبدل المضاعف ذي الجسرين المتعاكسين DUAL CONVERTER .

استناداً للإشارات المعتمدة في الشكل ١.٦٤ والذي يوصف بنية تسمح العمل في الإحداثيات الأربعة الموضحة في الشكل b . في هذا النظام سنكون قادرين بتوجيه جريان القدرة من وإلى كلا لمنبعين ويمكن اتباع أسلوبين لتحقيق ذلك :

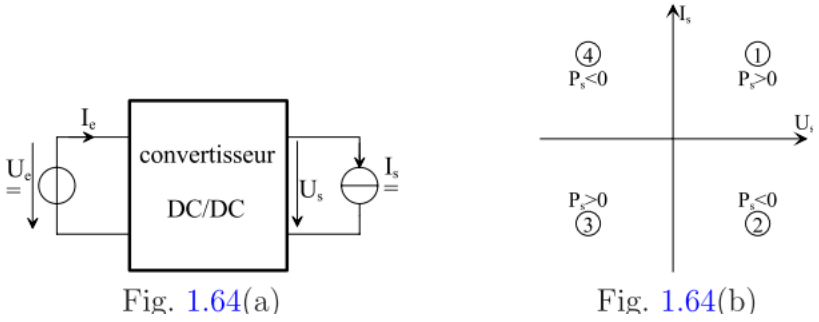


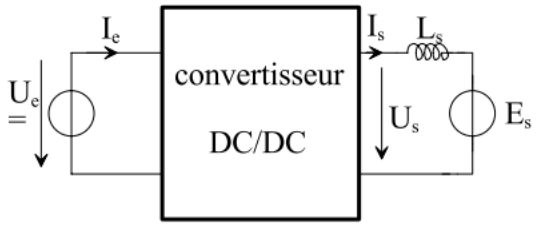
Fig. 1.64(a) Fig. 1.64(b)

الشكل ١.٦٤ المبدل الساكن والإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار

- حالة كون التوتر والتيار في الحمل Is ,Us لهما إشارة واحدة (موجبة أو سالبة)، في هذه الحالة، جريان القدرة يتم من منبع التوتر Ue باتجاه منبع التيار Is. والمبدل سيعمل عندئذ في الربعين الأول والثالث .
- حالة كون التوتر والتيار في الحمل Is ,Us لهما إشارة متعاكسة (جداؤهما سالب)، في هذه الحالة، جريان القدرة يتم من منبع التيار Is إلى منبع التوتر Ue والمبدل سيعمل عندئذ في الربعين الثاني والرابع.

١.٥.٢ تمثيل المنابع

يتكون المبدل من منبع توتر Us وسوف نعتبره مثالي، ومن منبع تيار Is ، قادر على استجرار وتقديم التيار لتحقيق العكسية بالتيار ويمكن تمثيله بحثية وقوة محركة كهربائية. كلا المنبعين يجب أن يمتازا بإمكانية عكس قطبية التوتر أيضاً. والشكل ١.٦٥ يوضح تمثيل هذه المنابع :



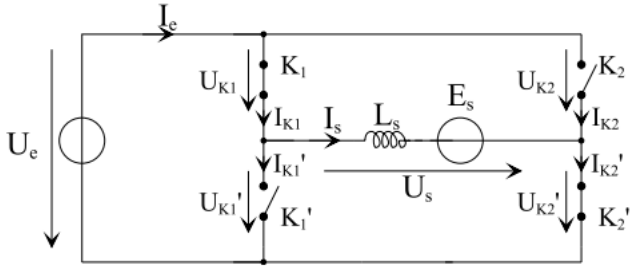
الشكل ١.٦٥ طبيعة المنابع للمبدل الجسري

منبع التيار Is عبر عنه بحثية وقوة محركة كهربائية، وهذا التمثيل ينطبق بشكل جيد على محرك التيار المستمر عندما ننظر إليه من جهة المتحرض. القوة المحركة الكهربائية تتبع سرعة دوران الآلة، والحثية المكافئة تساوي مجموع حثية التنعيم وحثية متحرض آلة التيار المستمر. إشارة أو اتجاه العزم للآلة سوف يرمز لحالة التسارع والتباطؤ الفرملة للآلة. كما أن إشارة القوة المحركة الكهربائية تشير إلى طبيعة عمل الآلة واتجاه الدوران. وعملية التحكم بالمبدل تعمل على تشغيل المحرك في الإحداثيات الأربعة (محرك أو مولد يدور باتجاه موجب أو سالب).

١.٥.٣ بنية المبدل

١.٥.٣.١ الخواص الساكنة وعناصر التبديل

نقطة البداية لتوصيف المبدل العكسي بالتيار والتوتر، هي معرفة بنية وخواص منبع التغذية Ue في مدخل المبدل. منبع التوتر هذا يمكن أن يكون غير عكسي بالتوتر، أي بقطبية واحدة موجبة، كما هو معتمد في الشكل ١.٦٥ . وأن يكون عكسي بالتيار أي يعطي ويستجر التيار Ie. منبع التيار يمكن أن يكون ذي قطبية موجبة وسالبة، وحيث أن قطبية توتر الدخل دائماً ثابتة يمكن اعتماد البنية المبينة بالشكل ١.٦٦.



الشكل ١.٦٦بنية المبدل بخليتين تبديل

قطبية توتر الخرج :

في الشكل ١.٦٦ خلية التبديل الأولى مكونة من القواطع K_1 , K_1’ ، وخلية التبديل الثانية مكون من القواطع K_2, K_2’ .بناءً عليه هنالك عدة احتمالات للتبديل وهي :

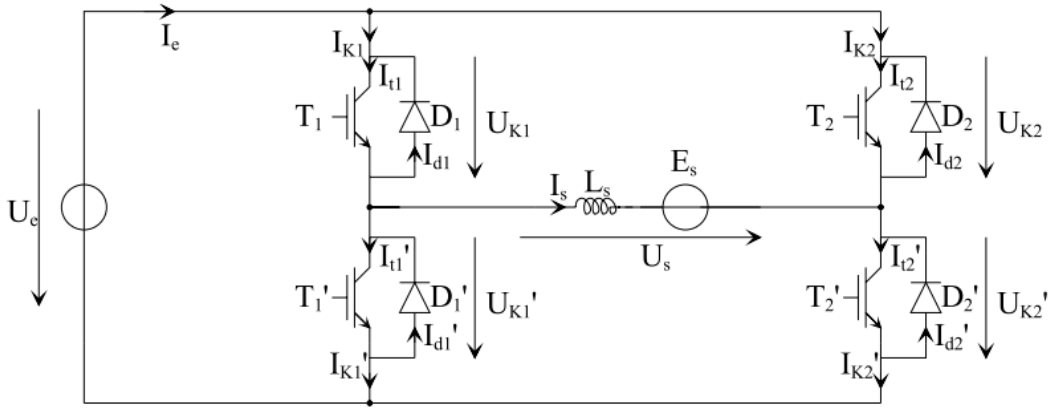
- K_1 و K_2’ في حالة التوصيل. في هذه الحالة توتر الخرج يساوي توتر الدخل Us = Ue، وتوتر الخرج موجب .
- K_2 و K_1’ في حالة توصيل وتوتر الخرج يعاكس بالإشارة لتوتر الدخل Us = -Ue ، توتر الخرج إذاً سالب .
- K_1 و K_2 موصلة، وكذلك قد يكون K_1’ و K_2’ موصلة ، في هذه الحالة توتر الخرج يكون مساوي للصفر .

عكس اتجاه التيار :

عكس اتجاه التيار، لا يعتمد على عدد خلايا التبديل المستخدمة، بل يعتمد على الخواص الساكنة للقواطع المستخدمة المكونة للخلايا. عندما يكون أحد القواطع لأحدى خلايا التبديل في حالة حجز، على هذا القاطع تحمل توتر عكسي Uki =Ue . توتر المنبع موجب دائماً، بناءً عليه، القاطع الواجب استخدامه يمكن أن يكون وحيد الاتجاه في التوتر Unidirectionnel en tension .

عندما يكون أحد القواطع في أي خلية تبديل في حالة توصيل، على هذا القاطع توفير إمكانية مرور التيار الموجب والسالب (تيار حمل موجب أو سالب). ازدواجية إشارة تيار الحمل تستدعي استخدام قاطع متعدد اتجاه مرور التيار. وكما أوردنا سابقاً على هذا القاطع أن يمتلك إمكانية العمل في ثلاثة أرباع من الإحداثيات، ويمكن تحقيق ذلك بربط ديود باتجاه معاكس لتيار القاطع المقاد المستخدم سواء كان من الترانزستور او من الثيرستور .

بناءً عليه سيكون تركيب الجسر الممكن استخدامه لهذا المبدل حسب الشكل ١.٦٦



الشكل ١.٦٦ المبدل الجسري العكسي بالتيار والتوتر (المقطع الجسري)

١.٥.٣.٢ آلية التبديل للمبدل العكسي بالتيار والتوتر

هذا التركيب يحتفظ بطريقة تبديل معقدة بعض الشيء وذلك لمتابعة التغيرات المتتابعة لاتجاه التيار والتوتر للمبدل. وكبداية لعرض طريقة عمل هذا المبدل العكسي بالتيار والتوتر، لا بد من أن نتذكر النقاط التالية :

- طريقة تشغيل خلايا التبديل متكاملة خلال الدور الواحد .
- عمل كل خلية مستقل عن الخلية الثانية .

في كل ذراع من الأذرع يجب أن لا يعمل كلا القاطعين بآن واحد ، سوية (T_1 موصل ، ينقل T_1' لحالة الحجز وبالعكس) كما أن الذراع الثاني يتصرف بنفس الأسلوب يجب عدم تشغيل القاطعين بآن واحد وتشغيل أحدهما علية أن يفصل القاطع الثاني.(لذا عملية التحكم بتشغيل هذه القواطع يجب أن تقدم هذه الميزة سواء كانت القواطع ترانزستوريه أو ثيرستورية) . وهذا يضمن عدم قصر منبع التغذية وتحقيق التشغيل السليم للنظام. في الشكل ١.٧٠ , a و b يعرض وضعية القواطع خلال التبديل، في فترة تشغيل القاطع T_1 وفصل القاطع T_1' على القاطع T_2' أن يبقى في حالة توصيل ، وعلى القاطع T_2 أن يكون في حالة حجز. يمر بعدئذ التيار من T_1 وT_2' إلى الحمل ويمر تيار موجب . إذا كان التيار سالباً يمكن أن يمر عبر الديودات العكسية الموصلة على التفرع العكسي مع هذه القواطع .

إذا أردنا عكس قطبية توتر الحمل ، يكفي ان نعمل على حجز القاطع T_1. وإقلاع القاطع T_1' في الذراع الأول. كما يجب إجراء نفس التبديل لقواطع الذراع الثاني بحيث يتم تشغيل القاطع T_2 وفصل القاطع T_2' . التيار دائماً يستطيع العبور إذا كان باتجاه مخالف لتيار القواطع الرئيسية بالديودات الحرة التفرعية المضافة .

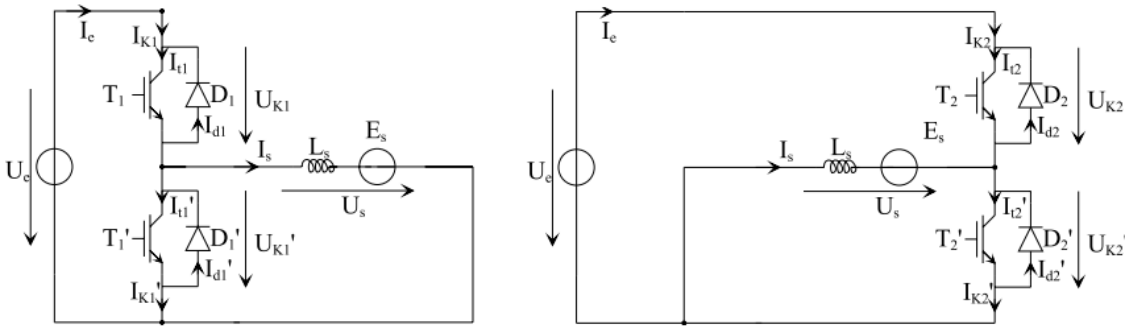


Fig. 1.75(a) $<U_s>> 0$ *et* I_s *réversible*

Fig. 1.75(b) $<U_s><0$ *et* I_s *réversible*

الشكل ١.٧٠ مسار التيار الموجب والسالب الأمامي والعكسي

خلال أطوار التشغيل يمكن ملاحظة ما يلي :

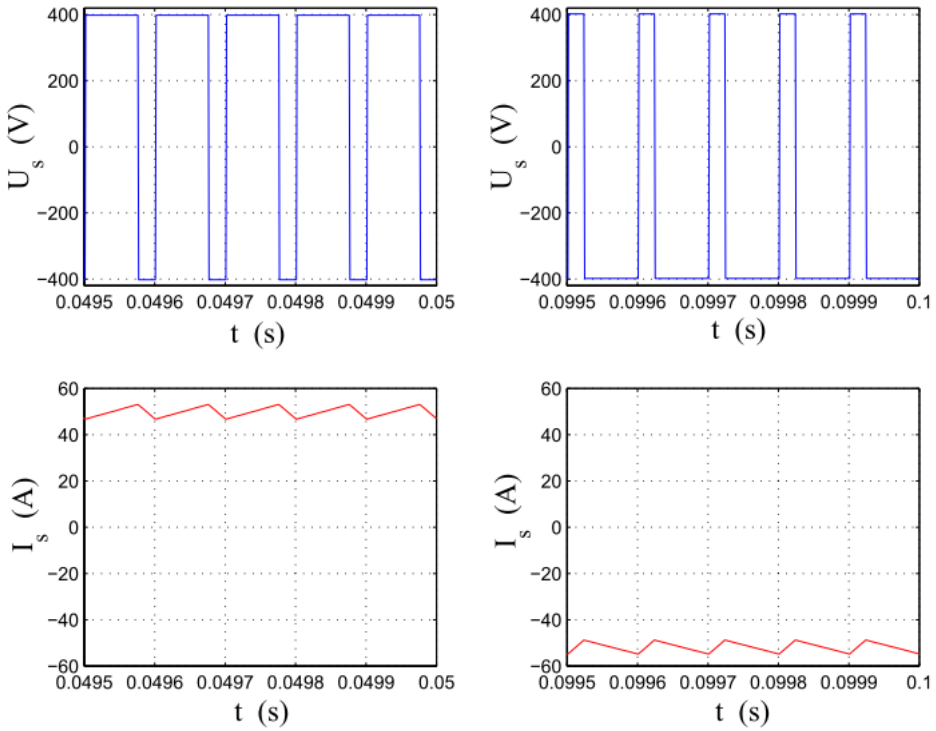
- في حال كون القواطع (T_1 وD_1) و (T_2' و D_2') موصلة لدينا عندئذ :

$$Us = Ue \quad et \quad Ie = Is \qquad (١.١١٠)$$

- في حال كون القواطع (T_2 وD_2) و (T_1’ و D_1’) موصلة لدينا عندئذ :

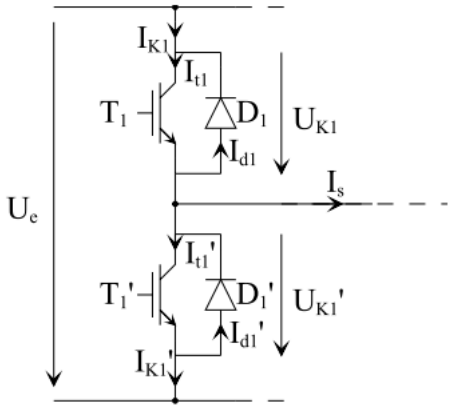
$$Us = - Ue \quad et \quad Ie = - Is \qquad (١.١١١)$$

توتر الخرج Us مركب من أمواج مستطيلة الشكل حادة ، ذات مطال يساوي 2Ue ضعف توتر الدخل. ولدى تغيير عامل الدور لتشغيل القواطع يمكن التحكم بالقيمة المتوسطة <Us> لتوتر الخرج Us. كما أننا نستطيع تغيير القيمة المتوسطة <Is> لتيار الخرج Is . سواء كان الحمل أومي أو تحريضي .هذا يعني أننا بهذا المبدل قادرين على التحكم بالقيمة المطلقة لتوتر الخرج حسب الرغبة وأن يكون توتر الخرج موجباً أو سالباً. لذا من الضروري تحليل نظام التبديل لهذا المبدل المكون من الخلايا (T_1,D_1) و (T_2,D_2) والتي تم تمثيلها في الشكل ١.٧٢.



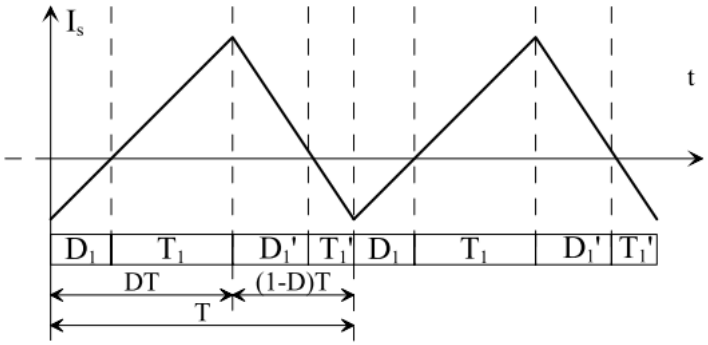
الشكل ١.٧١ شكل أمواج الخرج للمبدل

- قواطع التبديل لهذه الخلية يتم قيادتهما تبعاً لطبيعة تيار الحمل Is واتجاهه أو إشارته. في الواقع خلية التبديل هذه تشبه ما تم معالجته في المقطع العكسي بالتيار سابقاً، والذي يرتكز على النقاط التالية :
- إذا كان التيار Is>0 ، أي أن التبديل في هذه الخلية يماثل حالة تشغيل المقطع الخافض للتوتر Buck ، القواطع T_1 ,D_1’ هي المسؤولة عن تمرير التيار الموجب Is .
- إذا كان التيار Is<0 ، أي أن التبديل في هذه الخلية يماثل حالة تشغيل المقطع الرافع للتوتر Boost ، القواطع D_1 ,T_1’ هي المسؤولة عن تمرير التيار السالب Is .



الشكل ١.٧٢ خلية التبديل الأولى

- يوجد بالمقابل أيضاً حالات تشغيل يتغير فيها اتجاه التيار في الحمل ويغير من إشارته خلال نفس الدور كما هو موضح في الشكل ١.٧٣ .



الشكل ١.٧٣ انعكاس تيار الحمل خلال دور التشغيل

في مثل هذه الحالة من التشغيل، يتم التعامل مع جميع القواطع وذلك كما في حالة المقطع العكسي بالتيار، وقد نواجه طريقة تشغيل معقدة للقواطع :

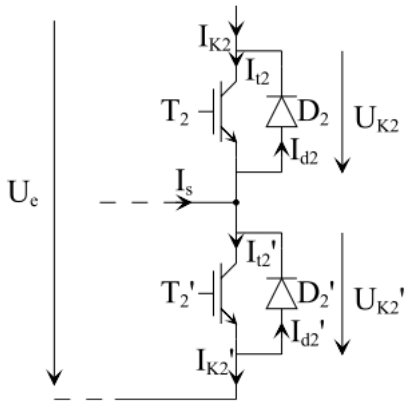
– يتم قيادة القاطع T_1 فقط طالما أن التيار I_s موجب .

– يتم قيادة القاطع T_1' فقط طالما أن التيار Is سالب .

– يتم إجراء قيادة تكاملية للقواطع T_1 و T_1'عندما يغير التيار Is من إشارته خلال دور التبديل .

بشكل عام، نعتمد على القيادة التكاملية للقواطع T_1 و T_1' ، وذلك مهما كانت إشارة التيار Is. هذا يعني أنه عندما يكون أحد القواطع موصلاً للتيار عن طريق الديود التابع له، علينا أن نقدح فوراً الترانزستور التابع له. وهنا نستفيد من خاصية الاتجاه الواحد لمرور التيار في الترانزستور، والذي يعني أنه مع أننا عملنا على قدح أو تشغيل الترانزستور فإن التيار العكسي الذي يعبر المجموعة ترانزستور /ديود لن يمر سوى عبر الديود، ولن يمر بالترانزستور الذي نقلناه للتوصيل .

آلية التشغيل للخلية الثانية يماثل ما تم في الخلية الأولى .والشكل ١.٧٤ يبين خلية التبديل الثانية .



الشكل ١.٧٤ خلية التبديل الثانية

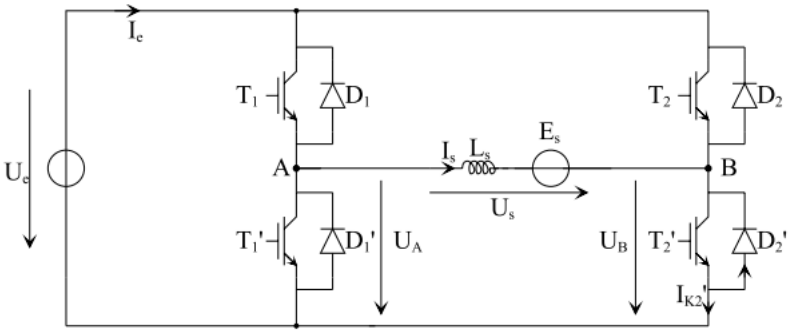
- إذا كان تيار الحمل Is>0 ، فإن تشغيل هذه الخلية مماثل لحالة تشغيل المقطع الرافع للتوتر Boost . القواطع T_2’ و D_2 سيكونان مسؤولين عن تمرير تيار الحمل Is .
- إذا كان تيار الحمل Is<0 ، فإن تشغيل هذه الخلية مماثل لحالة تشغيل المقطع الخافض للتوتر Buck .القواطع T_2 وD_2’ سيكونان مسؤولين عن تمرير تيار الحمل Is .
- إذا غير تيار الحمل Is من إشارته خلال دور التقطيع، فإن جميع القواطع ستشارك في العملية تبعاً لعملية قريبة من الشكل المبين في الشكل ١.٧٣ .

كما تم بالنسبة للخلية الأولى ، قيادة القواطع تتم بطريقة تكاملية. وعليه فإن كل ترانزستورين T_2 و T_2’ سيتم توصيلهما سوية بآن واحد. ومهما كانت إشارة التيار المتوقع مروره سيمر سواء عبر الديود أو الترانزستور .

- إذا كان الترانزستور K موصلاً فإن التيار I_k يجب أن يكون موجباً ويمر عبره .
- إذا كان الترانزستور K موصلاً وكان التيار I_k سالباً ، فإن التيار عندئذ سيمر عبر الديود الموصل باتجاه معاكس للترانزستور .

١.٥.٣.٣ عمل الخليتين بشكل متكامل

المطلوب من الخليتين العمل بشكل مشترك متتابع للحصول على شكل الأمواج الواردة في الشكل ١.٧١ .في الشكل ١.٧٥ نعرض الشكل الكامل للمبدل العكسي بالتيار والتوتر (المقطع الجسري)



الشكل ١.٧٥ المقطع الجسري بكامل عناصره

- في الشكل اعلاه علينا أن نعرف التوتر U_A والتوتر U_B ، حيث أن A,B هما نقطتين أو مأخذين متوضعين في منتصف كل خلية ، والقيمة U_A أو U_B ترمزان لتطور كمون هاتين النقطتين خلال التشغيل . ويمكن القول أن توتر الحمل الموصول بين هاتين النقطتين يساوي : $Us = U_A - U_B$ ، والشكل ١.٧٦ يبين تغيرات كمون هاتين النقطتين تبعاً لعمليات توصيل وفصل القواطع .
- الرسمين الأوليين يبينان نبضات التحكم والقيادة C_1, C_1', C_2, C_2' بالتتابع المطبقة على القواطع T_1, T_1', T_2, T_2' . هذه القواطع مقادة خلال دور قدره T .

القواطع(الترانزستورية ،أو الثيرستورية) T_1و T_2' تتلقى نبضات القدح أو التشغيل بآن واحد وتعمل خلال الفترة الزمنية DT ، حيث D عامل الدور Duty Cycle والذي يتغير بين القيمة صفر والواحد الصحيح. بعدئذ تقاد هذه القواطع للفصل أو الحجز وذلك خلال الفترة T(1-D). بناءً على ذلك يصبح التوتر U_A مساوياً توتر المنبع Ue وذلك خلال فترة التوصيل، وينتقل التوتر U_A للصفر باقي الدور T(1-D).

القواطع T_2 و T_1' يعملان بالتزامن مع بعضهما البعض وبطريقة تكاملية مع القواطع T_1و T_2'. خلال الفترة DT من الدور يكون القاطعين في حالة حجز، وخلال الفترة T(1-D) يتم تشغيل هذين القاطعين. بناءً عليه يصبح توتر النقطة U_B بداية مساوي للصفر ثم يساوي توتر المنبع Ue .

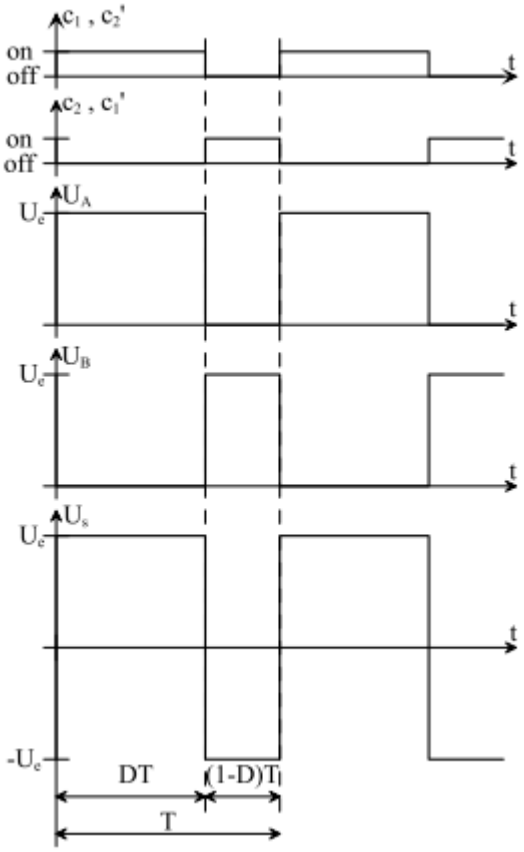
توتر الحمل Us يساوي فرق الكمون للتوترين U_Aو U_B:

$$Us = U_A - U_B$$

خلال الفترةDT : $Us = Ue$

وخلال الفترة T (1-D) : $Us = - Ue$ (١.١١٢)

أي أن توتر الخرج يتكون من مستطيلات توتر بمطال 2Ue من القمة إلى القمة. أي أن توتر الخرج سيكون له قيم لحظية موجبة وسالبة.



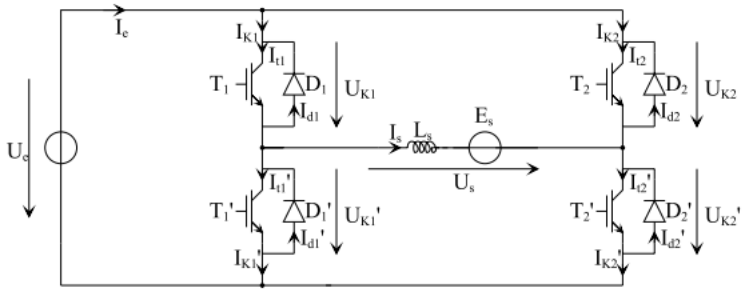
الشكل ١.٧٦ آلية عمل خلايا التبديل

١.٥.٤ العلاقات الأساسية الناظمة

في هذا المبدل ليس لدينا نظام التشغيل الحرج أو بتيار متقطع لذا يكفي توصيف ما يلي :

- العلاقة بين توتر الدخل والقيمة المتوسطة لتوتر الخرج .
- العلاقة بين تيار خرج المبدل والتيار المتوسط الذي يستجره المبدل من المنبع .
- تعرجات تيار خرج المبدل .

سوف نعتمد على طريقة العمل المبينة بالشكل ١.٧٧



الشكل ١.٧٧ المبدل العكسي بالتيار والتوتر (المبدل الجسري)

١.٥.٤.١ التوتر المتوسط في خرج المبدل

لإيجاد العلاقة بين توتر الدخل Ue والقيمة المتوسطة لتوتر الخرج <Us> المتواجد على طرفي منبع التيار Ls/Es سوف نتابع الشكل ١.٧٨ الذي يعطي تغيرات التوتر Us، تبعاً للقيمة الموضوعة لعامل الدور D .

حيث ان عامل الدور يمثل فترة توصيل القاطع K_1 (المكون من العنصرين T_1 و D_1)، هذا وإن فترة توصيل القاطع K_1 تماثل فترة توصيل القاطع K_2' (المكون من T_2' و D_2') وعليه :

$$D = \frac{t\,(Uk1=0)}{T} = \frac{t\,(Uk2\prime=0)}{T} \qquad (١.١١٣)$$

التوتر المتوسط <Us> المطبق على منبع التيار Ls/Es يعرف بالعلاقة التالية :

$$< Us >= \frac{1}{T}\int_0^T U_S(t)dt$$

$$< U_S >= \frac{1}{T}\left[\int_0^{DT} U_e dt + \int_{DT}^{T} -U_e dt\right]$$

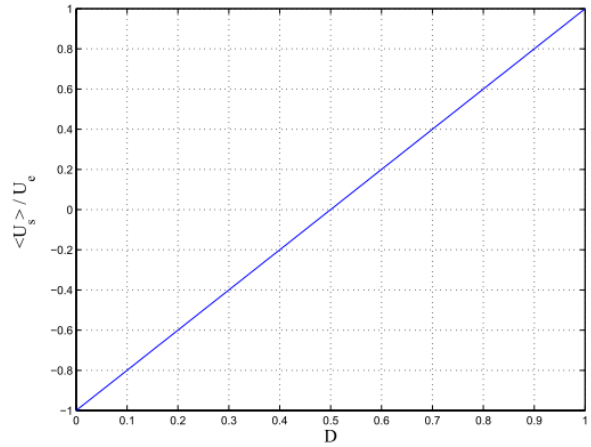
$$< U_S >= \frac{1}{T}\{[U_e t]_0^{DT} + [-U_e t]_{DT}^{T}$$

$$\frac{< U_S >}{U_e} = 2D - 1 \qquad (1-116)$$

من ناحية أخرى، يجب ملاحظة أن خلال فترة التشغيل المستقر، التوتر المتوسط على طرفي الحثية Ls يكون معدوماً . وبالنتيجة وتبعاً للشكل ١.٧٧ يكون لدينا :

$$\frac{<Us>}{Ue} = \frac{Es}{Ue} = 2D - 1 \qquad \text{حيث أن } <Us> = Es \qquad (١.١١٧)$$

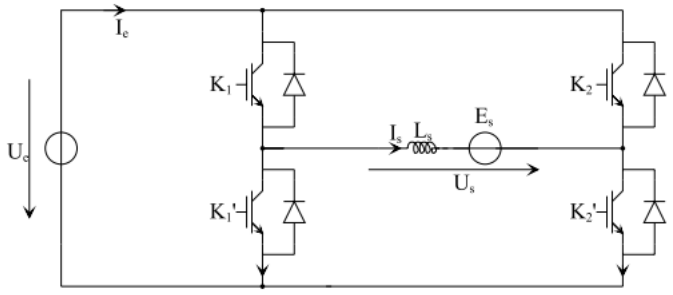
في الشكل ١.٧٩ شكل تغيرات النسبة $\frac{<Us>}{Ue}$ كتابع للعمل D. ونرى كيف يتغير توتر الخرج بين القيمتين Ue – و Ue + . يمكننا أيضاً أن نحصل في خرج المبدل الجسري على قيمة مطلقة تتغير بين القيمتين 0 و 1. كما يمكن تغيير إشارة توتر الخرج باتجاه الموجب والسالب. كما أن تيار الخرج قد يكون موجباً وسالباً.



الشكل ١.٧٩تغيرات توتر الخرج المتوسطة بالنسبة لتوتر الدخل كتابع لعامل الدور D

١.٥.٤.٢ تيار الدخل المتوسط للمبدل العكسي بالتيار والتوتر

يمكن لإيجاد العلاقة الناظمة بين القيمة المتوسطة لتيار الدخل Ie وتيار الخرج Is . سوف نسمي القاطع المكون من ترانزستور Ti و ديود عكسي Di باسم Ki كما في الشكل ١.١٨٠ .



الشكل ١.١٨٠ مبدل تيار مستمر – مستمر عكسي بالتيار والتوتر

في الشكل ١١٨١ a تيار الخرج ذي إشارة ثابته ضمن مجال تردد التبديل للمبدل. وتم اعتبار المبدل الساكن عكسي بالتيار. أي يمكن لهذا التيار أن يصبح موجباً أو سالباً، في الشكل المعطى هو موجب. بالنسبة لتيار الدخل Ie، يعاني حالات انقطاع قاسية وقوية تابعة لفترات التبديل للقواطع :

- خلال الفترة الزمنية DT القواطع K_1 و K_2’ تكون في حالة توصيل ويكون لدينا العلاقة التالية :

$$Ie = Is \qquad (١.١١٨)$$

التيار Is والتيار Ie موجبان. وهذه الفترة توافق حالة تزايد للتيار Is، كما أن تيار الدخل يتزايد بنفس الطريقة .

- خلال الفترة الباقية من الدور (1-D)T القواطع K_2 و K_2’ تكون موصلة، وسيكون لدينا:

$$Ie = - Is \qquad (١.١١٩)$$

التيار Is موجب، التيار Ie له إشارة معاكسة ، مما يفسر عدم استمرارية التيار خلال فترة التبديل. من ناحية أخرى، هذا الطور من التشغيل يوافق حالة تناقص خطي للتيار Is، كون التيار Ie له إشارة معاكسة فإن هذا التيار سيتزايد بنفس النسبة.

تيار الدخل Ie في مدخل المبدل نرى أنه يتكون من مستطيلات بمطال Is+ و Is –. عرض هذه المستطيلات يتبع فترة التوصيل أو قيمة عامل الدور D .

في الشكل ١.١٨١ b تيار خرج المبدل غير من إشارته خلال فترة تردد التقطيع المعتمدة. هذه الحالة توافق حالة كون تيار الحمل المتوسط <Is> ذي قيم ضعيفة صغيرة. تقطع أو عدم استمرارية تيار المنبع أضحت أقل في هذه الحالة.

مهما كانت إشارة تيار الخرج Is، وحيث أن تغيرات هذا التيار تحث حول القيمة المتوسطة له، يمكن توصيف القيمة المتوسطة لتيار الدخل <Ie> بالعلاقة التالية:

$$< I_e >= \frac{1}{T}[< I_S > DT - < I_S > (1-D)T]$$

$$< I_e >=< I_S > (2D-1) \qquad (1-120)$$

ومنه نحصل على : $\frac{<Ie>}{<Is>} = 2D - 1$ (١.١٢١)

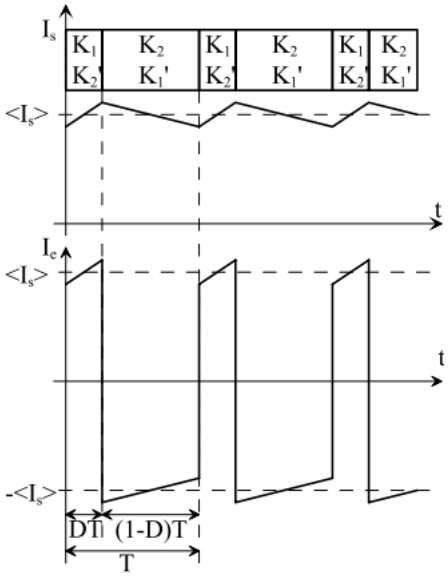


Fig. 1.81(a)
Courant I_s de signe fixe

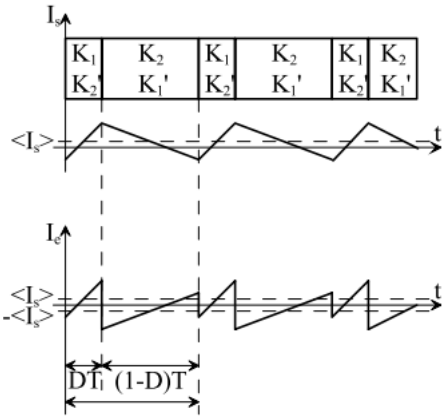


Fig. 1.81(b)
Courant I_s de signe variable

الشكل ١.١٨١ تيار الدخل والخرج للمبدل العكسي بالتيار والتوتر

يمكن التعليق على العلاقة الأخيرة، كما في جميع المقطعات مستمر – مستمر، نرى كيف أن نسبة التحويل تابعة لعامل الدور D. وهي مشابه للعلاقة بين التوترات $\frac{<Us>}{Ue}$.

من ناحية أخرى، كون المقطع الجسري الذي نعمل عليه يجب أن يعمل في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار. فإن الاستطاعة المتبادلة سوف تغير من اتجاهها وإشارتها بالتالي، علينا دائماً الانتباه للشروط التالية :

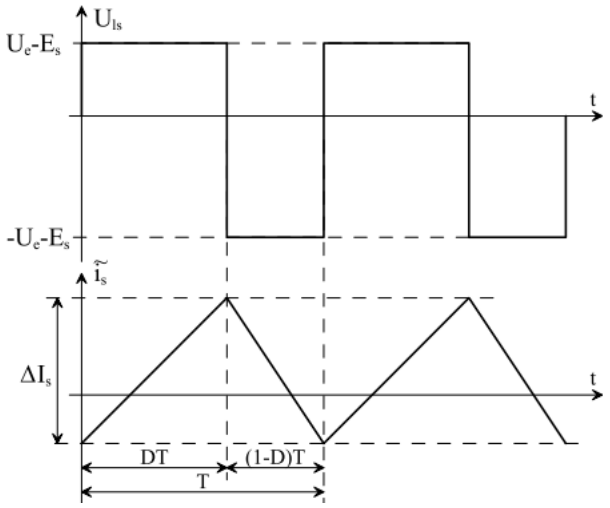
- Ue منبع توتر، ويمثل مصدر التغذية للحمل، إذا كان جداء تيار المنبع بتوتر المنبع موجباً هذا يعني أن الاستطاعة قادمة من المنبع باتجاه الحمل وهي موجبة 0 <Ie. Ue .
- Is يمثل تيار الحمل، منبع التيار، إذا كان جداء القيمة المتوسطة لتيار الحمل بتوتر الحمل المتوسط موجباً فالحمل يستجر الاستطاعة من المنبع $Us.Is > 0$.

في هذه الحالة يوجد عدة حالات تشغيل ممكن إجراؤها وذلك تبعاً لقيمة عامل الدور :

– في حالة كون D< ½ : التوتر المتوسط $< Us >$ في الخرج سالب :

- إذا كان Is<0 فإن Ie>0 . الاستطاعة عندئذ مقدمة من منبع التوتر، ومستجرة إلى منبع التيار وكلاهما موجب . يتم نقل القدرة من منبع التوتر نحو منبع التيار .

- إذا كان Is> 0 فإن التيار Ie< 0 . الاستطاعة المقدمة من منبع التوتر والمستجرة إلى منبع التيار ستكون سالبة. يتم نقل القدرة من منبع التيار باتجاه منبع التوتر .
- في حالة كون D> ½ : التوتر المتوسط $< Us >$ في الخرج موجب :
- إذا كان Is> 0 فإن التيار Ie> 0 . الاستطاعة المقدمة من منبع التوتر والمستجرة إلى منبع التيار ستكون موجبة، .يتم نقل القدرة من منبع التوتر باتجاه منبع التيار.
- إذا كان Is<0 فإن Ie<0 . الاستطاعة عندئذ مقدمة من منبع التوتر، ومستجرة إلى منبع التيار وكلاهما سالبة. يتم نقل القدرة من منبع التيار نحو منبع التوتر.



الشكل ١.٨٢ تعرجات تيار الخرج للمقطع العكسي بالتيار والتوتر

$$\Delta \text{Is} = \frac{(\text{Ue} - \text{Es})}{Lsf}\text{D} \qquad (١.١٢٥)$$

بالعودة للعلاقة(١.١١٧) يمكن إعادة التعبير عنه بالشكل :

$$\Delta Is = \frac{(\text{Ue})}{Ls\,f}\ 2\text{D}\ (1\text{-D}) \qquad (١.١٢٦)$$

تصل التعرجات العظمى لتيار الحمل عند عامل دور D = ½ .أي عندما يكون توتر الخرج مساوي للصفر. وهذا يوافق الحالة الحرجة العظمى المطلوب حساب الحثية عندها . ومهما تزايد عامل الدور فلن تتغير تعرجات التيار .

ملاحظات :

المبدل العكسي بالتيار والتوتر للتيار المستمر، يتكون من خلايا تبديل تجمع خلية تبديل نوع Buck مع خلية تبديل نوع Boost .هذا الوصل يسبب انعكاس التيار. وعملية تشكيل وربط خليتين أخريتين من هذا النوع لتحقيق جسر على شكل الجسور الأحادية الطور (التي سوف نراها في المعرجات لا حقاً) تؤدي لتحقيق انعكاس التوتر .

في هذا المبدل العكسي بالتيار والتوتر تخلصنا من حالات التشغيل عند تيار متقطع أو حرج. وذلك بالرغم من تعقيد قيادة القواطع .

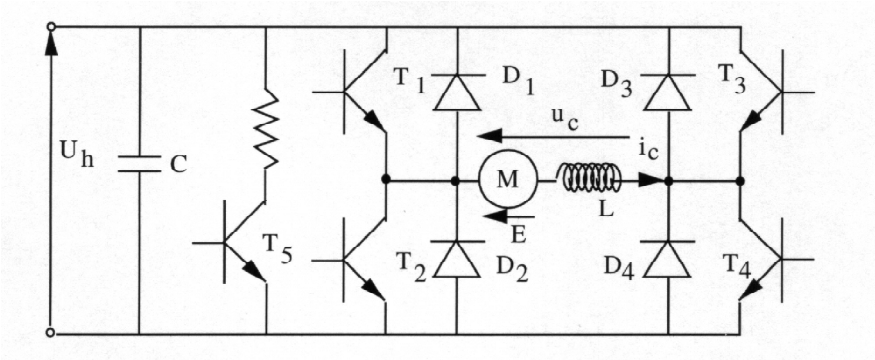
في هذا المبدل تمكنا من تبادل القدرة باتجاهين بين منبع توتر ومنبع تيار.

مثال (1)

بين تتابع القدح للعناصر (القواطع الترانزستورية) المستخدمة في مقطع جسري ترانزستوري كامل يعمل في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار.

الحل:

يوضح الشكل أدناه (91) مقطع جسري كامل، يعمل في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار. عناصر القطع ترانزستوريه بعرض نبضات يساوي نصف الدور أو خلال كامل فترة العمل المطلوبة من القاطع.



الشكل (91) دارة الاستطاعة للمقطع الجسري الكامل.

– بما أن العمل سيكون في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار، سنوضح العناصر التي تكون في حالة توصيل، والعناصر التي تكون في حالة فصل. وهي كالتالي:

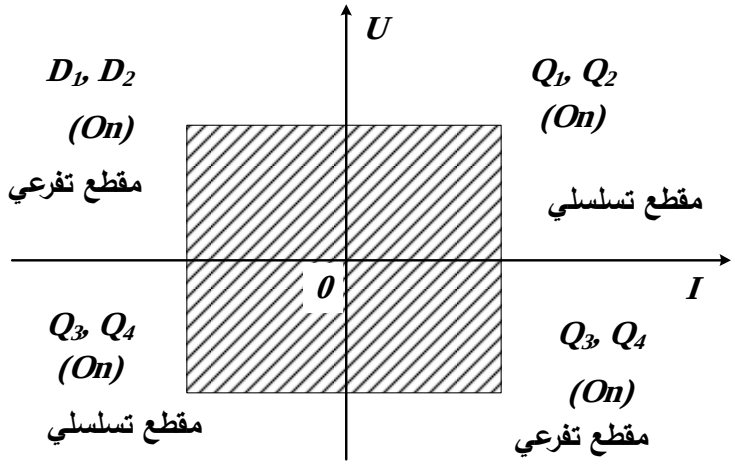
1- العمل في الربع الأول (توتر موجب– تيار موجب):

Q_1 و Q_2 في حالة توصيل (ON). والعمل كمقطع تسلسلي خافض للتوتر بعد فترة من التوصيل تساوي عامل الدور Duty Cycle(D)، يتم فتح القاطع Q_1 عند (DT)، وإبقاء Q_2 موصلاً، تيار الحمل الموجب يستمر بالمرور في الحمل ويسلك المسار Q_2 -D_4 والحمل. هذه الحالة تمثل حالة قصر للحمل، أو حالة العمل كمقطع تفرعي، لدى فتح القاطع Q2، يستمر التيار في الحمل ويحقن بالمنبع عبر الديود D_4 و D_3 وهي فترة استعادة القدرة من الحمل وحقنه بالشبكة. وبما أن التيار مازال موجباً ويعيد القدرة للمنبع فإننا نكون في الربع الرابع وهي فترة الفرملة أو استعادة القدرة.

– العمل في الربع الثالث (توتر سالب– تيار سالب):

يتم قدح القواطع (Q_3 و Q_4) يبدأ التيار بالمرور في الحمل باتجاه معاكس للاتجاه الأول، وسنعتبره سالباً. كما أنه تم قلب قطبية التوتر على طرفي الحمل نتيجة ذلك. بعد الزمن DT، يتم فصل القاطع

Q_3 وإبقاء القاطع Q_4 موصلاً. تيار الحمل السالب سوف يستمر بالمرور عبر Q_4 و D_2 والحمل. وهذه الفترة وكأن القاطع Q_4 يعمل كمقطع تفرعي، وتعمل على قصر الحمل. لدى فتح القاطع Q_4، تيار الحمل سوف يحقن بالمنبع عبر D_2 و D_1 وهذه فترة استعادة القدرة من الحمل للمنبع (العمل في الربع الثاني).



الشكل (92) الإحداثيات الأربعة

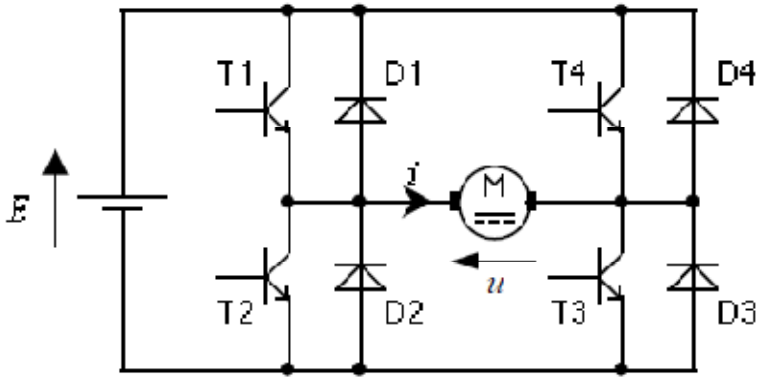
<u>مثال (2):</u>

المقطع الجسري الكامل يمكن استخدامه لقيادة محركات التيار المستمر في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار، بين لنا مكونات هذا الجسر واشرح آلية عمله، وارسم واشرح عمل العناصر في كل ربع من الأرباع الأربعة لإحداثيات التوتر والتيار.

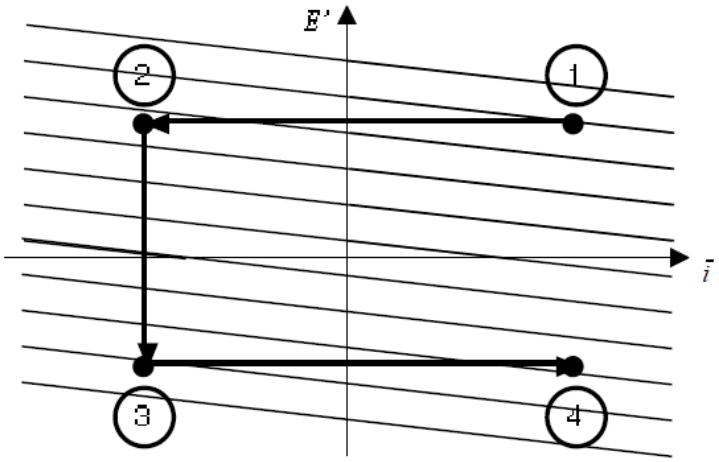
<u>الحل:</u>

– لقيادة محركات التيار المستمر في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار باستخدام المقطعات يمكن استخدام المقطعات العكسية بالتيار والتوتر أو المقطع الجسري المبين بالشكل أدناه.

– عندما يكون الجداء $E.i>0$ يعمل المقطع لتشغيل الآلة كمولد. وعندما يكون الجداء $E.i<0$ تعمل الألة كمولد ويعمل المقطع عندئذ على استرداد القدرة من الحمل.



الشكل (93) دارة الاستطاعة.



الشكل (93) علاقة التوتر بالتيار (E α i) أو السرعة العزم.

1- الربع الأول:

$Q_1 - Q_2$ موصلة Q_3 و Q_4 فاصلة. الآلة تعمل كمحرك باتجاه دوران موجب عند فصل Q_4 يبقى لفترة Q_2 موصلاً ليستجر التيار عبر Q_2 و Q_4 (حالة عمل كديود حر) كما أن فصل جميع القواطع لايمنع من استمرار مرور التيار عبر D_3 و D_4.

2- الربع الثاني:

العمل في الربع الثاني، يعني حالة العمل كمقطع عكسي بالتيار (مقطع تفرعي). وعليه فإن العناصر (Q_1 و Q_2 و Q_3) محجوزة، والعنصر Q_4 موصل. وسيمر تيار العنصر عبر Q_4 و D_2 لدى حجز Q_4 يستمر التيار بالمرور عبر العناصر D_1 و D_2 ويحقن التيار بالمنبع.

3- الربع الثالث:

الآلة تعمل كمحرك عكس اتجاه الدوران، تعمل القواطع Q_3 و Q_4 عند فصل Q_3 يستمر التيار بالمرور عبر Q_4 و D_2 (فترة عمل الديود الحر). عند فصل Q_4 يستمر التيار بالمرور عبر D_1 و D_2.

4- الربع الرابع:

الآلة تعمل كمولد (فرملة). القواطع Q_1 و Q_2 و Q_3 مفصولة والقاطع Q_4 موصل. سيمر التيار عبر Q_4 و D_2. عند فصل Q_4 يستمر التيار عبر D_1 و D_2 ويحقن بالمنبع.