إلكترونيات القدرة الكهربائية 2- مسائل

محلولة في أنظمة المقطعات والمعرجات والمدرجات

لطلاب (هندسة نظم القدرة الكهربائية والطاقة المتجددة)

سنة رابعة طاقة كهربائية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

الكترونيات القدرة الكهربائية 2-مسائل محلولة في أنظمة المقطعات والمعرجات والمدرجات

الدكتور هاشم ورقوزق أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية
الدكتور جمال الناصير استاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية

جامعة دمشق
1436-1437 هـ
2017-2018 م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

محتوى الكتاب

الجزء الأول :دارت الحجز القسرية والمقطعات

1- **دارات الحجز القسرية Forced Commutation of Thyristor**

1-1 دارات الحجز القسرية للثيرستور ص 13

1-2 دراسة دارة مهتزة وديود ص 16

1-3 استخدام ديود مع الدارة المهتزة ص 20

1-4 آلية الفصل لمقطع ثيرستوري ذي حمل اومي ص 23

(سبع مسائل محلولة)

2- المقطعات التسلسلية، والتفرعية، والعكسية بالتوتر والتيار، والجسرية

2-2 المقطعات التسلسلية (خافض التوتر) Buck Regulator(5 مسائل مسألة 8 –حتى المسالة 12) ص 39

2-3 نظرية عمل المقطع التسلسلي Buck Regulators (خافض التوتر) ،تطبيق من المسألة 13 حتى المسالة 17 . ص 49

- 2-4 تخفيض سرعة محرك التيار المستمر باستخدام مقطع تسلسلي (مثال 18) ص 76
- مسألة محلولة رقم 19عن محرك جر في النقل العام ص 84

3 – **المقطع التفرعي – آلية رفع التوتر Boost Regulator ص 87**

- سبع مسائل محلولة (من المسالة 20 –حتى المسالة 27) ص(87-112)

4 – **المقطع العكسي غير المباشر ذو المجمع التحريضي ،أو المقطع الخافض الرافع** Buck-Boost Regulator;Inverting Regulator. ص 116 .

سبع مسائل محلولة من المسالة 27 ولغاية المسالة 33 ص 116-148

5 – **المقطعات غير المباشرة ذات المجمعات السعوية .CUK Regulator**

مثال 34 . ص 149

6 - تطبيق : إيجاد التيارات والتوترات في المقطع السعوي (ذي التحريض السعوي) نماذج محلولة ص 159

7- - مقطع ذو مجمع تحريضي (Inductive Accumulation Chopper)،

- مثال (35) .ص 161
- مثال (36) .ص 168

8 – **قيادة مقطع جسري يعمل في الاحداثيات الأربعة** ص 171

9 – قيادة محرك تيار مستمر بالمقطعات (مسألة 38 -40) ص 178–189

<u>الجزء الثاني : المعرجات الثيرستورية والترانزستورية</u> <u>INVERTERS</u>

ص191

يشمل هذا الجزء على 21 مسألة محلولة تغطي المعرجات نصف الجسرية – المعرجات الجسرية أحادية الطور – معرجات جسرية ثلاثية الطور بعرض نبضات 120درجة و 180درجة . معرجات التيار .

- مسائل متنوعة من المسالة رقم 1 ولغاية المسالة 12 (ص 193– 241)
- معرج التيار ص 241
- مفهوم عمل مبدلات التيار ص 245
- نظام عمل العاكس ذي التبديل عن طريق الحمل (التبديل الطبيعي) ص 251 . مسألة (14–21) ص 256 ولغاية ص 285

<u>الجزء الثالث : المدرجات الثيرستورية</u> –أو منظمات الطور الثيرستورية . Phase regulated Converters

- مسائل متنوعة من المسالة 22 ص 289 ولغاية المسألة 29 ص 326 .

- عمل المدرج الاحادي الطور عند حمل أومي وتحريضي مختلط L&R ص 326.
- تحديد العوامل المؤثرة على عمل المدرجات ص 334
- مثال (م– 29- 2) اشرح طريقة عمل المدرجات الثلاثية الطور ص 339

الجزء الرابع : مبدلات التردد الثيرستورية Cyclconverters ص 249

يشمل من المسالة 30 ص 351 ولغاية المسالة 33 ص 366 ، تشرح آلية عمل مبدلات التردد وتطبيقاتها العملية .

الجزء الخامس : مسائل عامة تطبيقية .مسألة 35 ص 369 ، ولغاية المسألة 37 ص 378 . تشرح عمل الجسور المضاعفة المقادة والمحرك التزامني، قيادة المحركات التحريضية ذات الدائر الملفوف

مقدمة Introduction:

منذ عام 1976 ولغاية العام 2018 عملنا على تدريس علم الكترونيات القدرة الكهربائية لطلبة قسم هندسة الطاقة الكهربائية في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية –جامعة دمشق .ووضعنا خلال هذه الفترة من الزمن عدة كتب نظرية ومخبرية ،أطلقنا عليها اسم الكترونيات القدرة (1) و(2) .تعرضنا فيها لبنية الثيرستور وخواصه . التقويم وتحليل عمل أنظمة التقويم لمختلف التركيبات والجسور الثيرستورية ، وأشرنا للتطبيقات العملية لأنظمة التقويم وبينا كيف تعمل في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار وكيف يمكن قيادة محركات التوتر المستمر ونقل الطاقة الكهربائية بالتوتر المستمر HVDC. بعد ظهور الترانزستور كقاطع ساكن وتطوير الخطة الدراسية في الكلية عملنا على تدريس أنظمة الحجز القسرية والدوائر المستخدمة ،ثم تحليل عمل المقطعات بكافة أشكالها والمعرجات والمدرجات ومبدلات التردد.

بعد اثنان وأربعون عاماً من تدريس هذا المقرر ،وجدنا أنه من الضروري وضع كتاب شامل وحديث لمسائل محلولة في الكترونيات القدرة الكهربائية بكافة فروعها من أجل توسيع أفق طالب المرحلة الجامعية الأولى وتوجيهه وتشجيع طالب الدراسات العليا للتمكن من الخوض في المسائل الصعبة في هذا المجال . كما حاولنا تقديم معلومات إضافية عن المنهاج المقرر حتى يتمكن الطالب من الحصول على الثقة بالنفس وتمكنه من معالجة أية مشكلة هندسية في هذا المجال. وهذا يفرض مسألة اختيار المسائل ونوعيتها ،وطريقة حلها وتسلسل الأفكار

الواجب عرضها ومحاولة إعادة الفكرة العلمية بأساليب متنوعة وبقالب مختلف حتى لا يعتمد على الحفظ .ولهذه الغاية ونظراً لكبر حجم المعلومات التي تم وضعها ،اضطررنا إلى وضع كتابين للمسائل المحلولة ،الأول " مسائل محلولة في أنظمة التبديل من التيار المتناوب إلى التيار المستمر والتحكم بالمحركات " يدرس في الفصل الأول، والثاني " مسائل محلولة في أنظمة المقطعات والمعرجات والمدرجات يدرس في الفصل الثاني.

العلاقات الرياضية والقوانين الواردة في الكتب الموضوعة وردت بشكل مفصل في الكتب النظرية لإلكترونيات القدرة الكهربائية التي ندرسها ولم نتعرض لاستخرج كل القوانين بشكل نظري ،بل عمدنا إلى شرحها من خلال مسائل تطبيقية مباشرة وكما تم أحياناً التوسع بالشرح وفي التفاصيل نظراً لأهمية العلاقة ومفهومها الفيزيائي .ايضاً في بعض المسائل عمدنا إلى اعتماد رموز أخرى حتى يعتاد الطالب على تفهم المبدأ وليس حفظ العلاقة .تم حل جميع المسائل حلاً كاملاً مع رسم أمواج التوتر في الدخل والخرج ومتابعة التيارات والتوترات العكسية وتم رسم معظم النتائج على الحاسب .ترتيب المسائل لم نراعي فيه البدء بمسائل سهلة والانتقال لمسائل أكثر صعوبة ،بل تعمدنا طرح المسائل بشكل عشوائي ،ضمن الجزء الواحد حتى نفرض على الطالب مراجعة جميع المسائل وقراءة حلها .

مسائل الكتاب هذه تمثل المفاهيم الأساسية لعلم الكترونيات القدرة الكهربائية وبدراسة هذه المسائل يتمكن الطالب أو المهندس من فهم كافة التطبيقات الهندسية لهذا العلم .حيث تم البدء بطرح الدرات الكهربائية المشكلة من نصف ناقل وحيد وصولاً لأكثر التطبيقات الهندسية دقة وحداثة .وعليه نكون قد غطينا جسور التقويم المقادة والنصف مقادة التفرعية البسيطة والمضاعفة والتسلسلية .كما وضعنا العديد من المسائل على آلية ربط المجموعات على التفرع وعلى التسلسل وصولاً للمجموعات ذات الاتجاه المزدوج للتيار وتطبيقاتها على المحركات التسلسلية

وخطوط النقل بالتيار المستمر عالي التوتر ،والقيادة الذاتية للمحركات التزامنية .في الكتاب الثاني بدءنا بالتبديل والحجز القسري ثم عرضنا مسائل شاملة على المقطعات الثيرستورية والترانزستورية .وبعدها وضعنا مسائل على معرجات التوتر والتيار وتطبيقاتها ثم وضعنا مسائل على منظمات التوتر المتناوب أو المدرجات ومبدلات التردد الثيرستورية.

بعد انتشار وتطور علوم الطاقات المتجددة كان لا بد من توسيع مدارك الطلاب في علم الكترونيات القدرة الكهربائية ،نظراً لكون مختلف مجالات الطاقة المتجددة (الشمسية والريحية وخلايا الوقود ،وتخزين القدرة) تعتمد على علم الكترونيات القدرة الكهربائية وأصبح من الضروري تفهم مرحلة الربط بين هذه المصادر (المنابع)المتنوعة والشبكة العامة أو المستثمر المباشر .كما أن تطبيقات الجر الكهربائي وتنظيم السرعة سواء للمحركات الصناعية أو المولدات الريحية يتطلب التحكم بتوتر وتردد العمل لهذه الآلات ،وعليه فإن حل مسائل على هذه التطبيقات كان ضرورياً لتحقيق التكامل بين الكترونيات القدرة الكهربائية وكافة التقنيات الصناعية المتداولة عالمياً.

قسم كل كتاب إلى فصول متعددة ،في كل فصل تم حل ما أمكن من المسائل بحيث يستوفي الموضوع حقه دون تكرار وإطالة .

المؤلف

وقل رب زدني علما
Damascus University

الجزء الأول

دارات الحجز القسرية للثيرستور والمقطعات

Forced Commutation Circuit for Thyristor and choppers

وقل رب زدني علما
Damascus University

1- دارات الحجز القسرية Forced Commutation of Thyristor

1 -1 دارات الحجز القسرية للثيرستور

مثال (1):

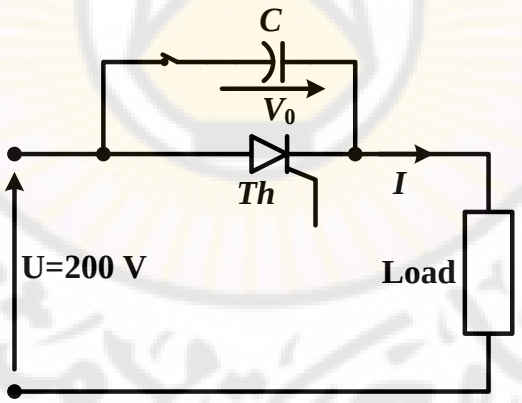
منبع توتر مستمر U=200V يعطي تياراً مستمراً I=20A للحمل. استخدم ثيرستور Th على التسلسل مع الحمل كما في الشكل(1) أدناه. زمن الفصل للثيرستور $t_0=24\mu s$. مع إهمال هبوط التوتر على الثيرستور. دارة الحجز المستخدمة مكونة من مكثف C وقاطع K، المكثف ذو توتر شحن أولي $V_0=140V$ حسب الاتجاه المشار إليه بالشكل.

احسب سعة المكثف اللازم لحجز الثيرستور في الحالتين التاليتين:

1- بقاء تيار الحمل ثابتاً.

2- اعتبار أن الحمل مقاومة صرفة قدرها 10Ω.

الحل:



شكل (1) دارة الاستطاعة

1- الفصل عند تيار حمل ثابت:

في هذه الحالة على المكثف تقديم تيار الحمل الكامل 20A وعليه فإن المكثف عليه أن يملك شحنة قدرها:

$$Q = I.t_0 = 20 \times 24 \times 10^{-6} = 480 \times 10^{-6}\ [C]$$

خلال فترة تفريغ المكثف سوف يهبط توتر المكثف من القيمة 140V إلى الصفر ولدينا دائماً Q=C.V وعليه فإن:

$$480 \times 10^{-6} = C \times 140$$

ومنه فإن القيمة الدنيا للمكثف:

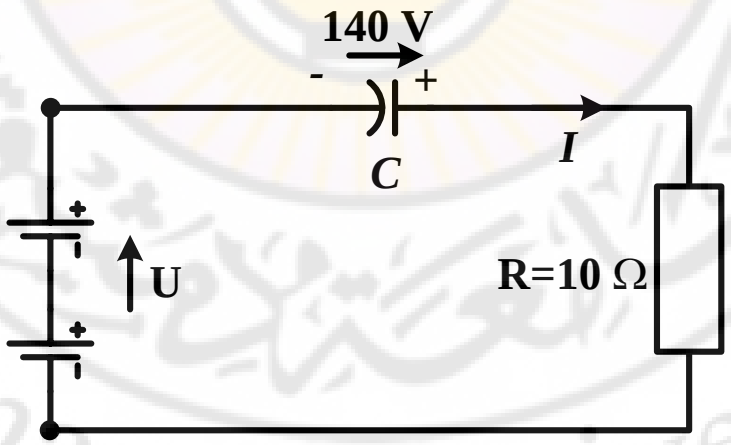
$$C = 480/140 = 3.43\ [\mu F]$$

2- دارة الحجز (الفصل) ذات مقاومة حمل أومية:

في هذه الحالة التيار المار في المكثف سوف لن يكون ثابتاً، يجب حسابه، في الدارة المبينة أدناه شكل (2)، لدى إغلاق القاطع K، نرى من الدارة المكافئة وجود مولدين على التسلسل، وهذا يفسر لنا سبب بدء التيار بقيمة كبيرة ثم تخامد التيار، ويحسب التيار الذي سيبدأ بالتفريغ من العلاقة:

$$I_{\max} = \frac{U + V_0}{R} = \frac{200 + 140}{10} = 34A.$$

والدارة كما نرى مكونة من (R و C) متخامدة والعلاقة التالية توصف الدارة:



الشكل (2) الدارة المكافئة.

$$R.C\frac{dv}{dt}+v=U$$

باعتبار $v(0)=-v_0=-140V$

$$v=V\left(1-e^{-\frac{t}{R.C}}\right)+v(0)=$$

$$v=V\left(1-e^{-\frac{t}{R.C}}\right)-140$$

بتثبيت ثابت التكامل V لأن القيمة النهائية v=U=200V

$$U=V-140\Rightarrow V=340V$$

$$v=340\left(1-e^{-\frac{t}{R.C}}\right)-140,\qquad i=34e^{-\frac{t}{R.C}}$$

الشكل (3) أدناه يوضح تغيرات I و v.

نرى أنه بدءاً من النقطة B التي يكون فيها التيار المار في المكثف 20A، وتوتره يساوي الصفر، وبعد تلك الفترة سوف يبدأ توتر المكثف بالانعكاس. يجب على الثيرستور أن ينتقل للفصل. أي أن الفترة الزمنية AB تمثل زمن الفصل ويجب أن تكون مساوية أكثر من 24μs.

من المنحني لدينا:

$$\frac{20}{34}=e^{-\frac{t}{\tau}};\qquad \frac{34}{20}=e^{+\frac{t}{\tau}}$$

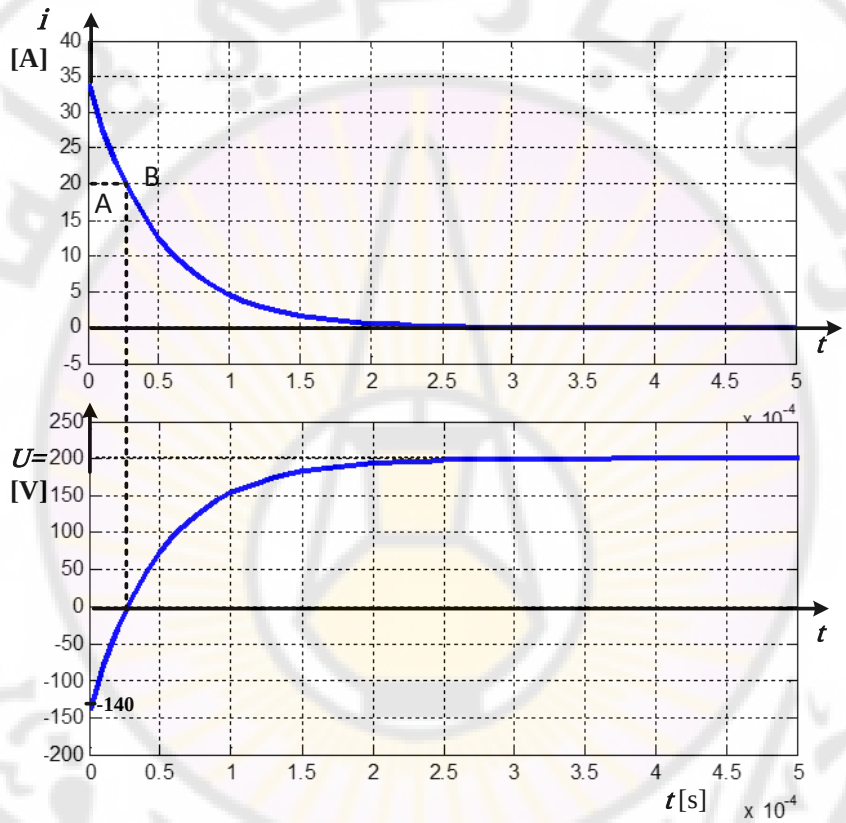
ومنه فإن:

$$t_{AB}=\tau\ln 1.7=0.53RC$$

أي أن:

$$0.53RC>24\times10^{-6}Sec$$

– نلاحظ أن قيمة المكثف C الآن أكبر من القيمة المحسوبة سابقاً (3.5μF) وذلك لأن التيار هنا ليس مستمراً، له قيمة عظمى ومتناقص.



الشكل (3) منحنيات التوتر والتيار.

مثال (2):

2-1 دراسة دارة مهتزة وديود:

في الدارة المبينة أدناه شكل (4). E توتر منبع مستمر مثالي، L حثية صرفة، C مكثف مثالي ذو توتر شحن أولي v_0. بإهمال مقاومة جميع العناصر. نفرض أن $v = V_A - V_B$

1) نغلق القاطع K عند الزمن t=0 حيث v_0=0، ما هي العلاقات الناظمة للتوتر v(t) وللتيار i(t).

2) في الحالات الأربع التالية، نفرض أن:

a) E = 100V, v_0 = +50V.
b) E = 100V, v_0 = 150V.
c) E = 100V, v_0 = 250V.
d) E = 100V, v_0 = -50V.

ارسم منحنيات تغير كل من توتر المكثف v والتيار i.

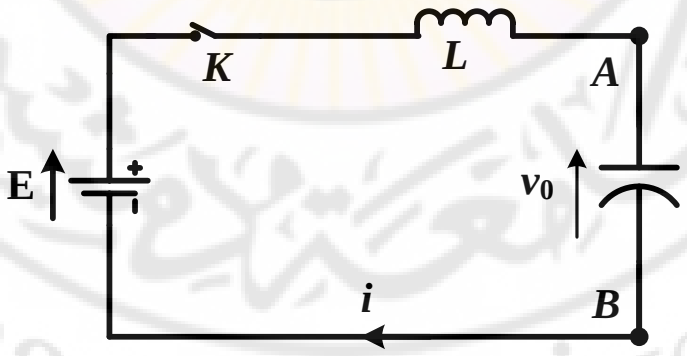
3) بإضافة ديود مثالي في الدارة السابقة، أعد رسم منحنيات v(t) و i(t) من أجل:

a) E = 100V, v_0 = 100V.
b) E = 100V, v_0 = 0.
c) E = 100V, v_0 = -100V.

حدد في كل حالة القيمة النهائية للتوتر v.

4) كما في السؤال (3) أعلاه اعتبر أن E=0 و -100V =v_0، حدد القيمة النهائية للتوتر v.

الحل:



الشكل (4): دارة مهتزة (L و C).

1- المعادلة التفاضلية للدارة المبينة أعلاه هي:

$$E = L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int i dt$$

حيث: $i = C\frac{dv}{dt}$

$$LC\frac{d^2v}{dt} + v = E.....(1)$$

الحل العام للمعادلة:

$$v = A\cos\omega t + B\sin\omega t + E.....(2)$$

حيث : $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

هنالك ثابتان A و B يجب تثبيتهما، لذا يجب إيجاد شرطين أوليين وهما:

a- $v(0)= v_0$ عند الزمن $t=0$ وعليه

$$v_0 = A + E.....(3)$$

b- $i(0)=0$ (التيار معدوم عند $t=0$ وأيضاً بعد الصفر بقليل $t=0^+$ وذلك استناداً لقانون استمرارية التيار المار في المفاعلة L .

لدينا $\frac{dE}{dt} = 0$ ولدينا:

$$\frac{i}{C} = -A\omega\sin\omega t + B\omega\cos\omega t.....(4)$$

إذاً $i(0) = C.B.\omega = 0$ B=0

والحل الخاص المناسب للمسألة هو

$$v = (v_0 - E)\cos\omega t + E.....(5)$$

$$i = C.\omega(E - v_0)\sin\omega t.....(6)$$

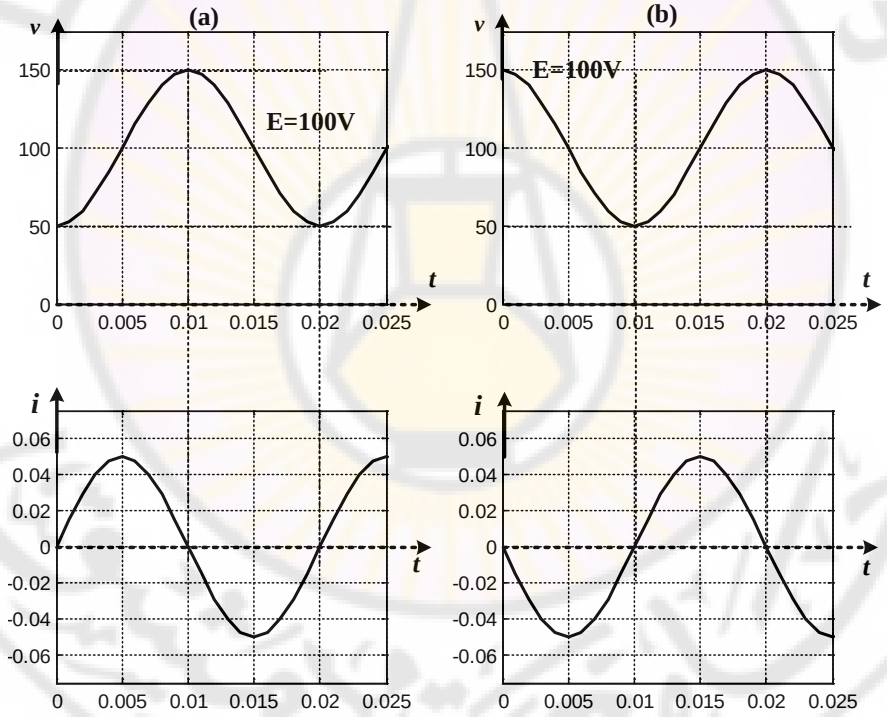
2- منحنيات التوتر والتيار:

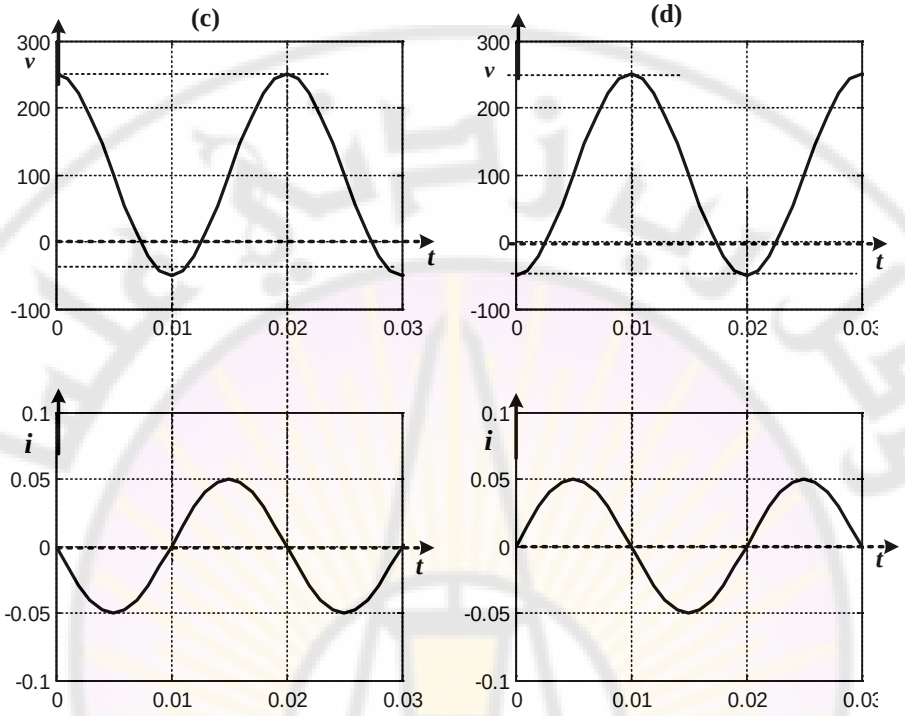
شكل الحل يمكن أن يكون مختلفاً، حسب القيم الأولية المعطاة لـ v_0. ونلاحظ أن كمون A غالباً ما يكون سالباً.

3- المعادلات الأساسية للتوتر V والتيار I تبقى كما هي، لكن خلال نصف دور، سوف يصبح التيار معدوماً، حيث يتم حجز الديود i=0. ويبقى النظام في حالة حجز في الحالة التي وصل إليها عند التبديل، وسيبقى المكثف مشحوناً عند التوتر v الذي وصل إليه.

عملياً، يكفي أن يحتفظ المكثف بهذه الشحنة لأجزاء من الثانية. وعليه:

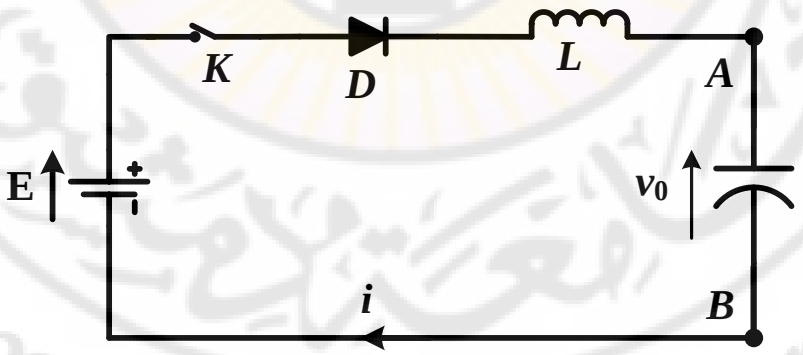
a- عندما يكون التوتر E= 100V و v_0= 100V. سوف لن يحدث شيء، لعدم إمكانية مرور التيار I في الدارة (الشكل6).





الشكل (5): منحنيات التوتر والتيار في حالات التشغيل المختلفة.

3- 1 استخدام ديود مع الدارة المهتزة:



الشكل (6) دارة الاستطاعة.

b- في هذه الحالة E = 100V و v_0=0 (أي المكثف غير مشحون)، وسوف يبدأ الشحن من القيمة صفر.

لدينا :

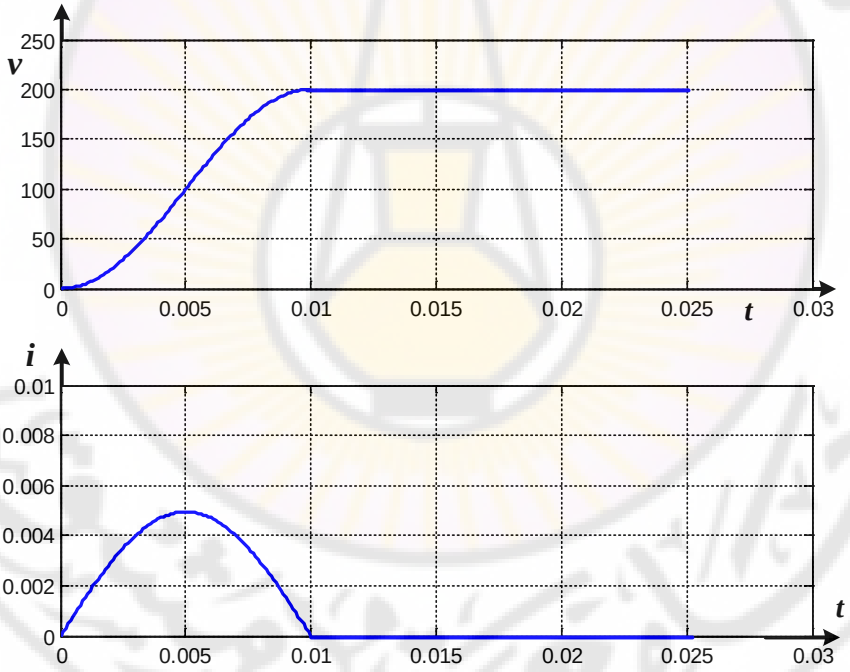
$$v = E(1-\cos\omega t)$$

وسوف يصل توتر المكثف إلى القيمة المساوية لضعف توتر المنبع E.

V=2.E

كما في الشكل أدناه (7)، والتيار سيمر حسب العلاقة:

$$i = E.C.\omega.\sin\omega t$$



الشكل (7) تغيرات التوتر والتيار عندما يكون المكثف غير مشحون.

c – في حال كون E = 100V و v_0 = -100V أي أن المكثف ذو شحنة أولية معكوسة وتساوي توتر المنبع.

العلاقة الناظمة لتوتر المكثف:

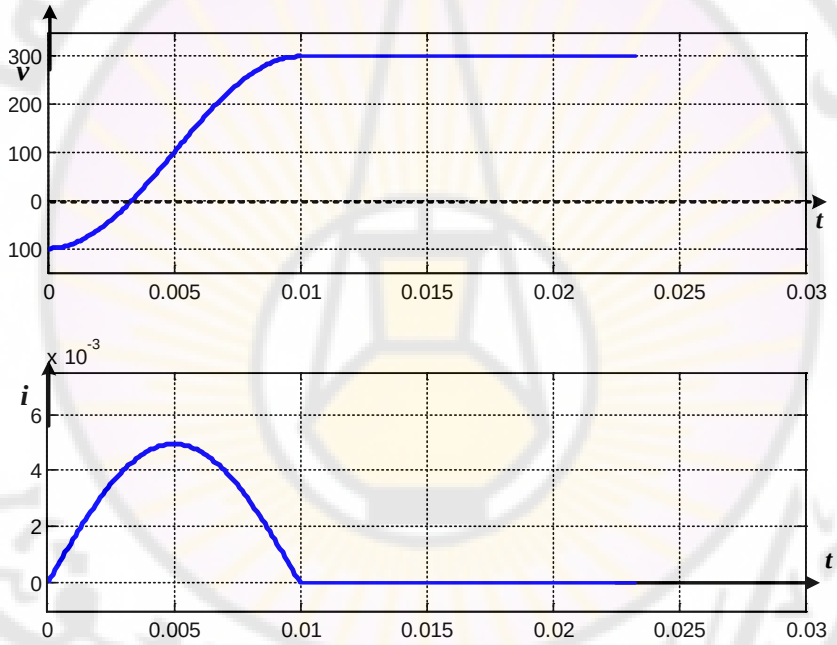
$$v = -200\cos\omega t + 100$$

وسوف يصل توتر المكثف النهائي عندئذ للقيمة v = 300V.

التيار المار في الدارة يمر حسب العلاقة:

$$i = 2E.C.\omega.\sin\omega t$$

والشكل (8) أدناه يوضح شكل التوتر والتيار.



الشكل (8):تغيرات التوتر والتيار عند وجود شحنة أولية للمكثف.

4) عندما يكون E=0 و v_0 = -100V

هذه الحالة تمثل إعادة شحن المكثف بقطبية معاكسة، علماً أنه ذو توتر شحن أولي :

v_0= -100V.

بالعودة للعلاقات الناظمة للتوتر والتيار وبوضع E= 0 وإضافة شرط إضافي

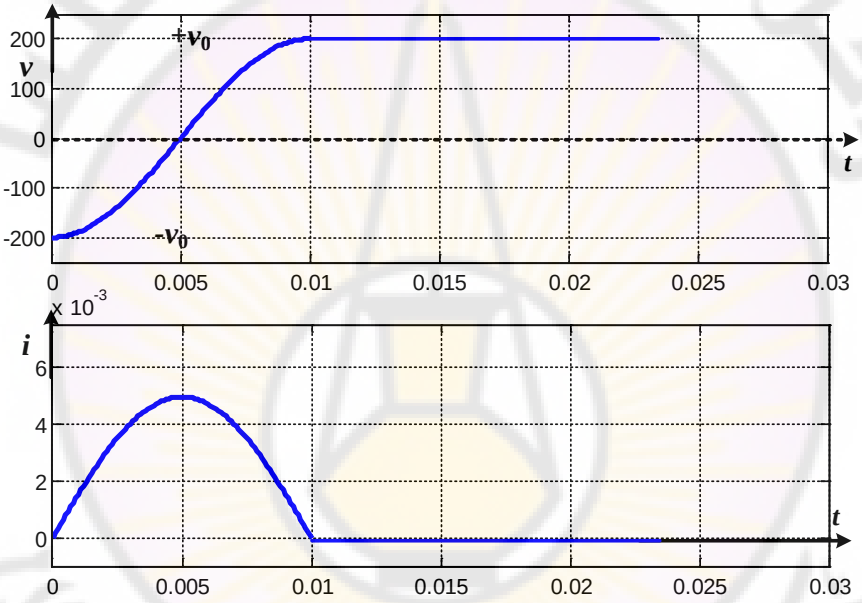
$i \geq 0$ نجد العلاقات التالية الجديدة:

$$v = v_0 \cos \omega t$$

$$i = -C.v_0.\omega.\sin \omega t$$

$$i \geq 0$$

المكثف يعكس شحنته ويمر التيار خلال عكس القطبية.



الشكل (9) إعادة شحن المكثف.

4-1- آلية الفصل لمقطع ثيرستوري ذي حمل أومي:

مثال (3):

في الدارة المبينة في الشكل (10) والتي تمثل آلية التبديل وفصل الثيرستور الرئيسي Th_1 عن طريق المكثف والثيرستور Th_2 ($C+Th_2$). كما أن الدارة المكونة من (C و L و D و Th_1) ستشكل دارة مهتزة حتى يعكس المكثف C قطبيته ويكون جاهزاً لإعادة فصل الثيرستور Th_1. الملف L يعتبر حثية مثالية

صافية. المكثف C مثالي وكذلك الديود D. Th_1 و Th_2 ثيرستوران متماثلان لهما زمن فصل يساوي 30µs. لم نعمل على إضافة دوائر القدح للثيرستورات المستخدمة.

توتر الدخل E= 300V، الحمل الأومي عبارة عن مقاومة صرفة R= 15Ω.

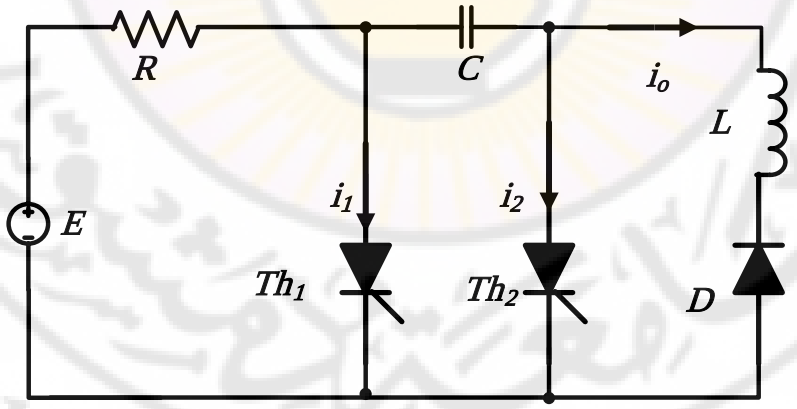
سوف يتم توضيح المسألة وحلّها بالمراحل التالية:

1- أول عملية لدى تطبيق التوتر، هي تفريغ المكثف C. يتم قدح الثيرستور Th_2 عند اللحظة t=0. احسب $i_2(t)$ وقيمة التوتر v_1 التي يأخذها المتحول v (توتر المكثف)عند اللحظة $t_1 = 2.\tau = 2R.C$.

2- يتم قدح الثيرستور Th_1 عند اللحظة $t=t_1$. احسب التوتر v(t) وكل التيارات المارة في النظام كتابع للزمن (يمكن اعتبار مبدأ إحداثيات جديد).

3- بدءاً من أي لحظة يمكن تشغيل الثيرستور Th_2.

4- احسب قيمة سعة المكثف C حتى يتمكن هذا المكثف من تحقيق عمليات التبديل.

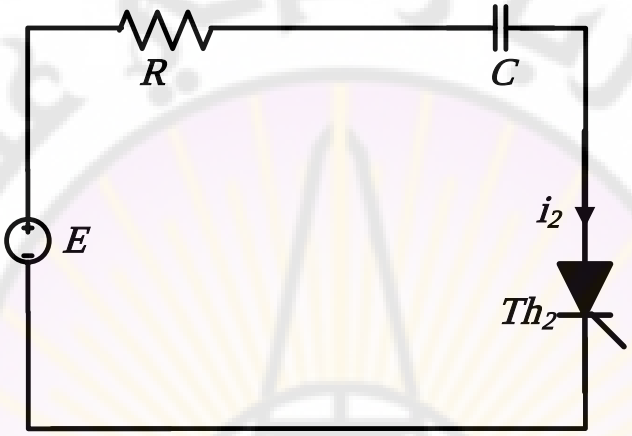


الشكل (10) دارة الاستطاعة والتبديل.

الحل:

1- تشغيل الثيرستور Th_2 وتهيئة المكثف C:

نبدأ التشغيل بقدح الثيرستور Th_2، وذلك لتهيئة توتر شحن وتفريغ المكثف C الموضوع لفصل الثيرستور Th_1 عند اللزوم.



الشكل (11): دارة المكافئة عند عمل Th_2.

– الدارة المرسومة جانباً تمثل عملية شحن المكثف C عبر المقاومة R والمعادلة الناظمة تعطى كما سبق بالشكل:

$$v = E\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

حيث $\tau = R.C$, $\frac{E}{R} = 20A$ ومنه فإن:

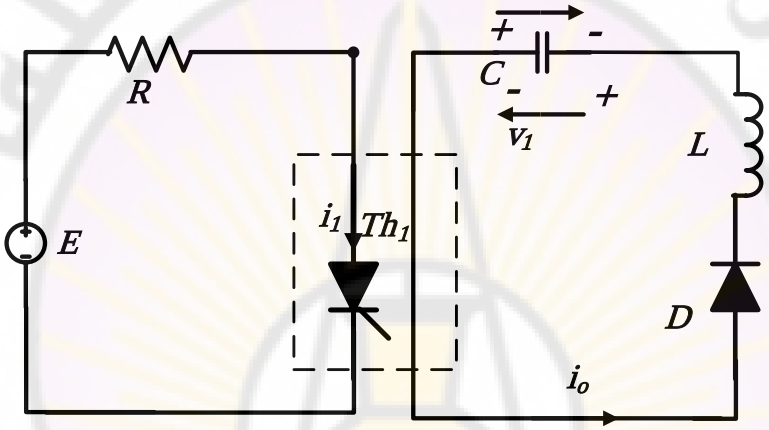
$$i = \frac{E}{R}\left(1 - \frac{1}{e^2}\right) = 0.865E$$

$$v_1 = 260V$$

وهو توتر المكثف المشحون.

2- تشغيل الثيرستور Th_1:

فور تشغيل Th_1، يبدأ التيار i_1 بالمرور في الحلقة الأولى المكونة من الحمل والمنبع E. كما أن المكثف المشحون C سوف يعمل على الاهتزاز لمدة نصف دور ضمن الحلقة (C -L -D) ويمرّر تياراً i_0 ليس له علاقة بالتيار i_1 المار في الحلقة الاولى وسوف تنعكس عندئذ قطبية المكثف C ويصبح بقطبية صالحة لعمل Th_2 وتطبيق توتر عكسي على Th_1 وفصله.



الشكل (12): الدارة المكافئة عند تشغيل Th_1.

– في الحلقة اليسارية من الدارة المكافئة لدينا:

$$i = \frac{E}{R} = 20A$$

وهو تيار ثابت.

– في الشبكة اليمينية من الدارة المكافئة لدينا العلاقة:

$$L.C\frac{d^2v}{dt} + v = 0$$

حيث v(0)=-260V

(توتر المكثف v ذو قطبية مناسبة لمرور تيار ضمن الثيرستور Th_1 و D وقبل أن ينعكس هذا التيار، يقف عن التوصيل وتنعكس القطبية).

حل المعادلة التفاضلية أعلاه، تم حسابه في المثال السابق وهو:

$$v = -160\cos\omega t$$

$$i_0 = +166\,C.\omega.\sin\omega t$$

(لدى أخذ t=0 لحظة تشغيل Th_1).

كما ذكرنا أعلاه، خلال عملية الاهتزاز للدارة، سوف تنعكس قطبية توتر المكثف ويصبح v_2=+160V. وبما أن الثيرستور Th_2 في حالة حجز. فإن الثيرستور Th_1 يمكنه الاستمرار بالتوصيل لفترة غير محددة، حسب الرغبة، (بالطبع نتحدث هنا عن أزمنة بأجزاء الثانية، وليس بالدقائق أو الساعات).

3- <u>عملية حجز الثيرستور Th_1</u>:

كي يتم حجز Th_1 يكفي تشغيل الثيرستور Th_2 عند الزمن $t > \frac{\pi}{\omega}$ وسوف ينطفئ Th_1. الثيرستور Th_2 يمرر التيار i_2 خلال تفريغ المكثف وعكس القطبية ولدى محاولة التيار عكس اتجاهه يقف Th_2 عن التوصيل.

حجزُ الثيرستور Th_1 لحظيٌّ، التوتر v_2=160V تقريباً سوف يطبق على مهبط Th_1 عبر Th_2. ويمكن إعطاء التيار i_2 بالعلاقة:

$$i_2 = \frac{E + V_2}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

هذا التيار يتخامد ذاتياً.

4) <u>حساب سعة المكثف C</u>:

حتى نتمكن من فصل Th_1 من خلال تشغيل Th_2 واعتبار المكثف مشحوناً، إذاً يجب أن يبقى التوتر v على طرفي المكثف موجباً لفترة من الزمن أكبر من زمن فصل الثيرستور Th_1 ، t_{off}=30μs.

وعليه:

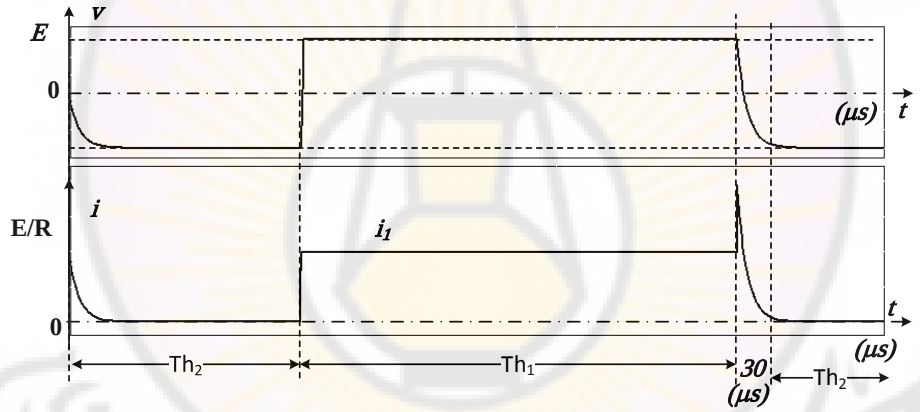
$$v = 200 - 360e^{-\frac{t}{\tau}} = 0$$

$$e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{360}{200} = 1.8$$

$$t = R.C.\ln 1.8 = 30 \times 10^{-6}\ \text{sec}$$

$$C = \frac{30 \times 10^{-6}}{15 \times 0.59} = 3.4\mu F$$

أي أن سعة المكثف C يجب أن تكون أكبر من القيمة المحسوبة لزيادة تأكيد الفصل. ويمكن رسم التغيرات التي تمت خلال التبديل بالشكل (13) أدناه:



الشكل (13) تغيرات توتر المكثف وتياره خلال مراحل العمل.

مثال (4):

حدد أبعاد العناصر غير الفعالة (Passives) ومواصفات الثيرستورات المستخدمة في المقطع التسلسلي المبين بالشكل (14) حيث. يعمل المقطع عند تردد عمل 200Hz. وحمل أومي قدره 5Ω. ومنبع تغذية 24V. افرض أن زمن الفصل للثيرستور 100μs. أهمل المفاقيد.

الحل:

يمثل الشكل (15) أشكال الأمواج .لاختيار المكثف، يمكن الملاحظة، أنه حسب شكل موجة التوتر العكسي لـ V_{T1} (الثيرستور الرئيسي)، زمن فصل T_1 يمكن الحصول عليه في منتصف الموجة الآوسية من E– حتى E+. وتبعاً للعلاقة:

$$V = E + Ae^{-\frac{t}{T}}$$

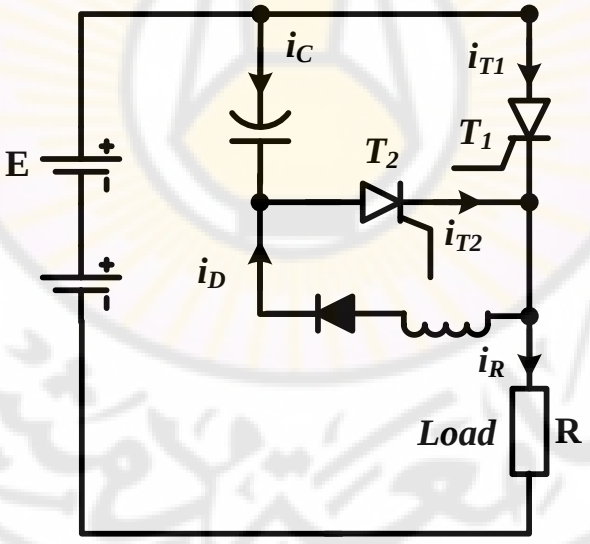
نجد عند t=0 بداية فترة فصل T_1 أن:

$$V = E - 2Ee^{-\frac{t}{T}}$$

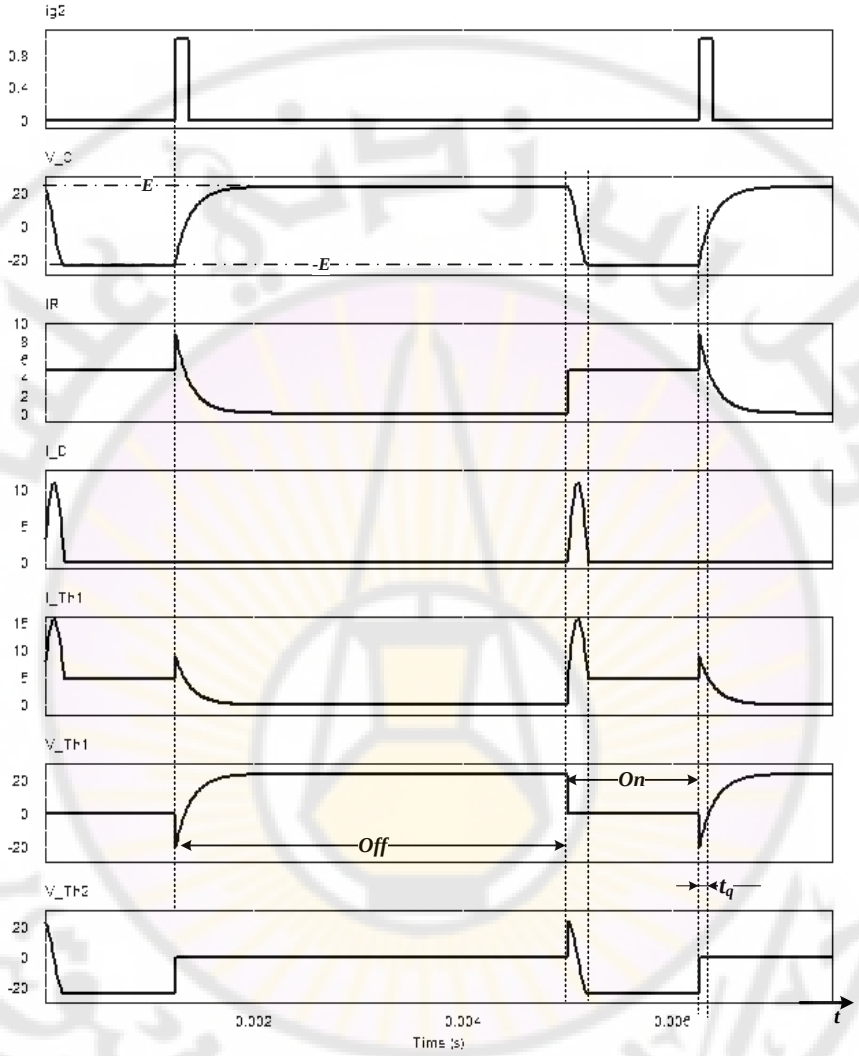
عندما يكون التوتر V=0 ← زمن الحجز t=100μs وعليه بالتعويض:

$$0 = 24 - 2(24)e^{-\frac{100\times10^{-6}}{T}}$$

حيث $T = 1.44\times10^{-4}\,s$.



الشكل (14): دارة الاستطاعة للمقطع التسلسلي مع دارة التبديل القسري.



الشكل (15): أشكال الأمواج لمختلف عناصر الدارة.

ومن العلاقة T=R.C نجد:

$$C = T / R = 1.44 \times 10^{-4} / 5 = 29 \mu F$$

– من أجل فصل الثيرستور T_2. يمكن ملاحظة شكل التوتر العكسي على T_2 وهو V_{T2}. نجد أن زمن الفصل يساوي ربع الفترة لدور الاهتزاز للدارة (LC) حيث:

$$\frac{1}{4}\times 100\times 10^{-6}=\frac{1}{2\pi}\sqrt{LC}$$

ومنه فإن الحثية اللازمة لتحقيق الاهتزاز L=0.14mH.

- المساواة بين القدرة المخزنة في المكثف والملف تعطي:

$$\frac{1}{2}C.V^2=\frac{1}{2}.L.I^2$$

وعليه فإن تيار الاهتزاز:

$$I=\left(\frac{29\times 10^{-6}\times 24^2}{0.14\times 10^{-3}}\right)^{\frac{1}{2}}=19.9A$$

- تيار الحمل الدائم يساوي:

$$i_R=\frac{U}{R}=\frac{24}{5}=4.8A$$

- خواص الثيرستور T_1:

- تيار الثيرستور في حالة التشغيل الدائم = 4.8 أمبير.

- التيار الأعظمي: 4.8 + 10.9 =15.7 أمبير.

- **خواص الثيرستور T_2 المستخدم للحجز:**

الثيرستور T_2 سوف لن يمر به سوى التيار اللازم لشحن المكثف.

$$i=\frac{2\times 24}{5}e^{-\frac{t}{T}}=1.16A$$

وكي يمكنه تحمل التيار الأعظمي يمكن اختيار ثيرستور بتيار 1.5A. وتوتر عكسي 24V.

- الديود يمكن اختيار تياره بحدود 2A وذلك من حساب المفاقيد فيه.

مثال (5):

مقطع مثالي تسلسلي، يعمل عند تردد تقطيع 500Hz، يغذي حملاً ذا مقاومة 3Ω وحثية 9mH، توتر منبع التغذية 60V. بفرض أنه تم إضافة ديود حر على طرفي الحمل. ارسم أشكال الأمواج لتيار الحمل من أجل عدة قيم لعامل الدور D.

1- D= 0.5.

2- D= 0.75 .

3- D= 0.25 .

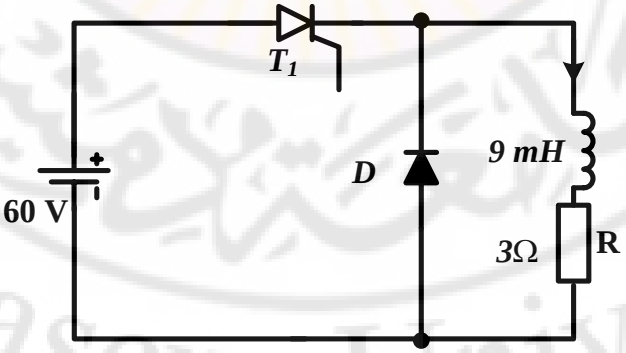
احسب التوتر المتوسط والتيار المتوسط للحمل عند كل حالة واحسب القيم الدنيا والعظمى للتيار.

<u>الحل:</u>

بفرض أن t_1 زمن توصيل القاطع T_1 و t_2 زمن الفصل. خلال زمن التوصيل t_1 لدينا:

$$i = I_1 + \left(\frac{E}{R} - I_1\right)\left(1 - e^{-\frac{t_1}{T}}\right)$$

ويساوي I_2 عند الزمن $t=t_1$.



الشكل (16): دارة الاستطاعة.

– خلال زمن الفصل:

$$i = I_2 e^{-\frac{t_2}{T}} = I_1$$

بحل المعادلتين نجد:

$$I_2 = \frac{E}{R}\frac{1-e^{-\frac{t_1}{T}}}{1-e^{-\frac{(t_1+t_2)}{T}}}$$

$$I_1 = I_2 e^{-\frac{t_2}{T}}$$

من القيم العملية الحسابية لدينا:

$$\frac{E}{R} = \frac{60}{3} = 20A$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0.009}{3} = 0.003Sec$$

وعند تردد تقطيع 500Hz نجد:

$$t_1 + t_2 = \frac{1}{500} = T$$

$$T = 0.002Sec$$

1- عند كون D = 0.5 $t_1 = t_2 = 0.001$ S إذاً، من العلاقات أعلاه:

$$I_1 = 8.35A, \qquad I_2 = 11.65A.$$

1- عند كون D = 0.75 $t_1 = 0.0016$ S، وعليه: $t_2 = 0.0004$ S

$$I_1 = 16.99A, \qquad I_2 = 14.87A.$$

1- عند كون D = 0.25 ، $\frac{t_1}{t_2}=\frac{1}{4}$ ، حيث t_1=0.0004S ،

نجد: t_2=0.0016S

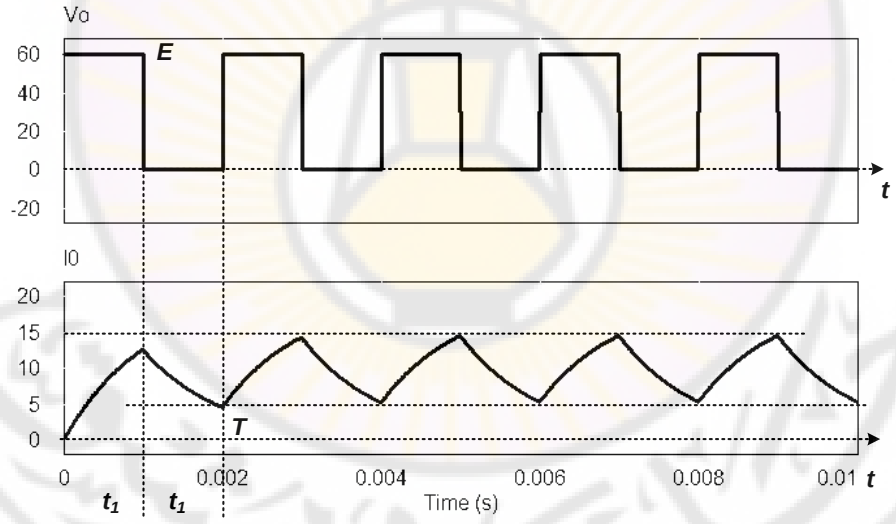
$$I_1 = 3.01A, \qquad I_2 = 5.13A.$$

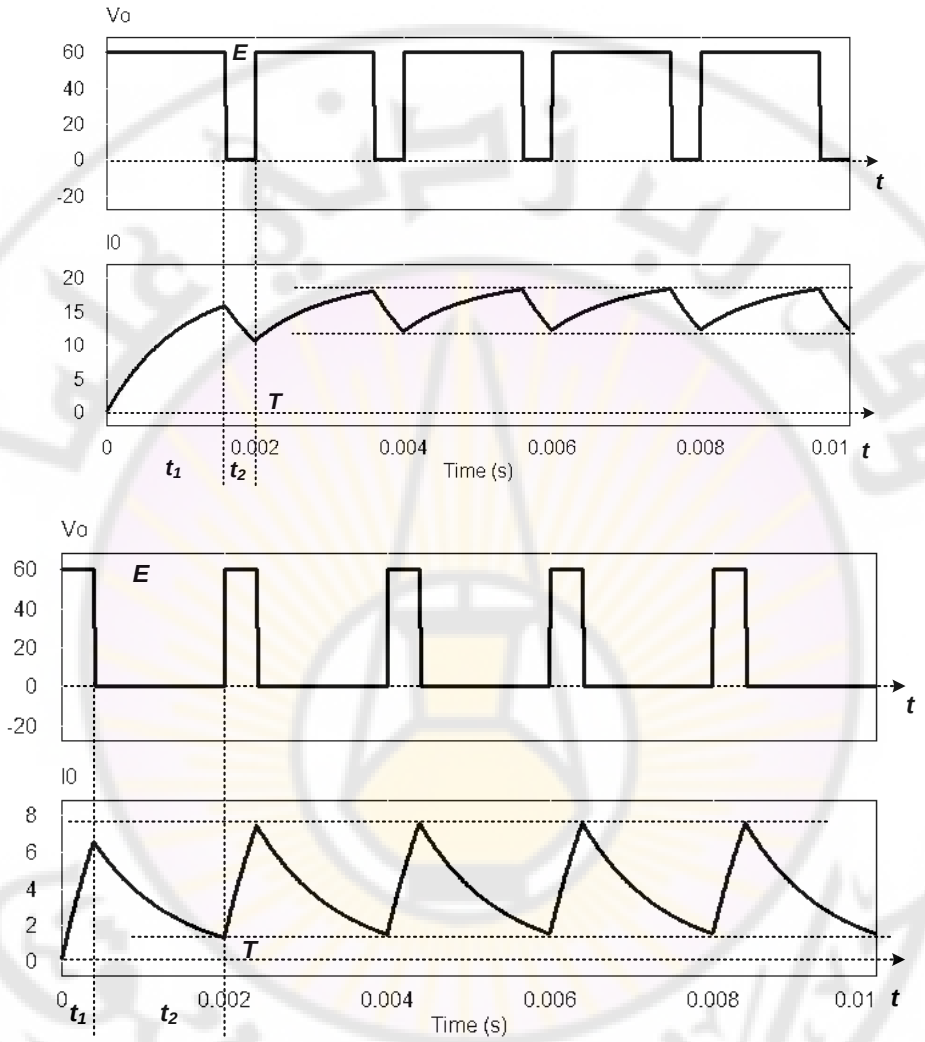
– التوترات والتيارات المتوسطة هي:

-1 $I_{av}=\frac{U_{av}}{R}=\frac{30}{3}=10A, \qquad U_{av}=60\times\frac{1}{2}=30V$

-2 $I_{av}=\frac{48}{3}=16A, \qquad U_{av}=60\times\left(\frac{4}{5}\right)=48V$

-3 $I_{av}=\frac{12}{3}=4A, \qquad U_{av}=60\times\frac{1}{5}=12V$





الشكل (17): تغيرات التوتر والتيار تبعاً لعامل الدور D.

مثال (6):

في الدارة المبينة أدناه شكل (18) بين لنا ما يلي:

1- متى يتم تشغيل الثيرستور الأول، وماذا ينجم عن تشغيله.

2- متى يتم تشغيل الثيرستور الثاني ولماذا؟ وكيف يقف عن التوصيل.

3- ما العوامل المؤثرة في اختيار سعة المكثف C وما شكل التوتر على المكثف خلال الدور وضح ذلك.

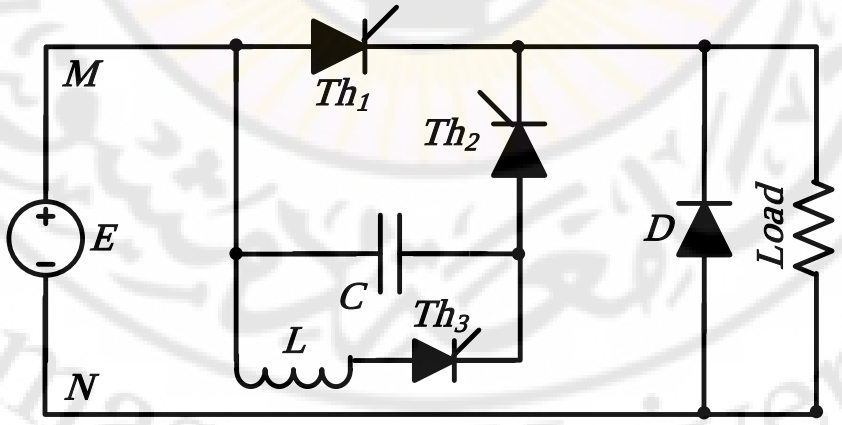
4- ما العوامل المؤثرة في اختيار حثية الملف L.

5- ما شكل التوتر والتيار في الحمل.

الحل :

1– في الدارة المبينة في الشكل (18) يمكن الإجابة على الأسئلة المطروحة كما يلي: يتم تشغيل الثيرستور الأول كل بداية دور من أدوار المقطع التسلسلي ولدى تشغيله يمر تيار مستمر من المنبع إلى الحمل خلال فترة توصيل الثيرستور الأول Th_1.

2- عند الزمن DT يتم تشغيل الثيرستور Th_2 بقصد إطفاء الثيرستور Th_1 ذلك لأن تشغيل Th_2 وكون قطبية المكثف C جهة اليمين موجبة تسمح بتطبيق توتر موجب على مهبط Th_1 وتوتر سالب على مصعده وهذا يؤمن حجز Th_1. بعد انتهاء تفريغ المكثف وبدء انعكاس قطبيته. وعدم مرور تيار من المكثف سوف يقف Th_2.



الشكل (18) دارة الاستطاعة لمقطع تسلسلي (دارة التبديل القسري).

3- العوامل المؤثرة في اختيار سعة المكثف هي:

- زمن فصل الثيرستور.
- تيار الحمل الأعظمي للثيرستور.
- التناسب العكسي مع توتر المنبع المستمر.

$$C = \frac{t_{\infty}.I_{L0}}{0.425.E}$$

4- العوامل المؤثرة في اختيار حثية الملف L هي:

- زمن فصل الثيرستور.
- توتر المنبع المستمر.
- عكساً مع تيار الحمل

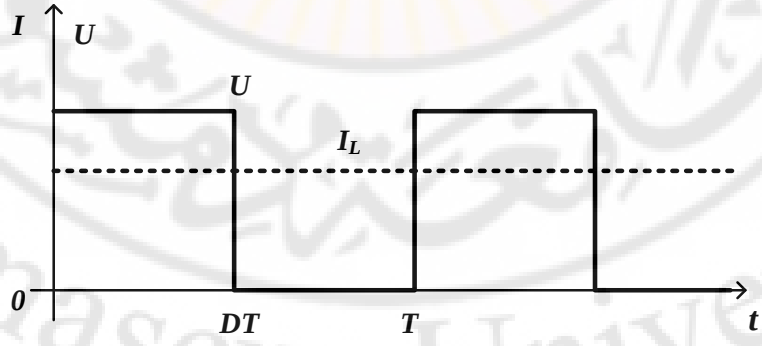
$$L = \frac{t_{\infty}.E_0}{0.425.I_{L0}}$$

t_{∞}: زمن الفصل للقاطع.

E_0: توتر المنبع.

I_{L0}: تيار الحمل.

5- شكل التوتر والتيار:

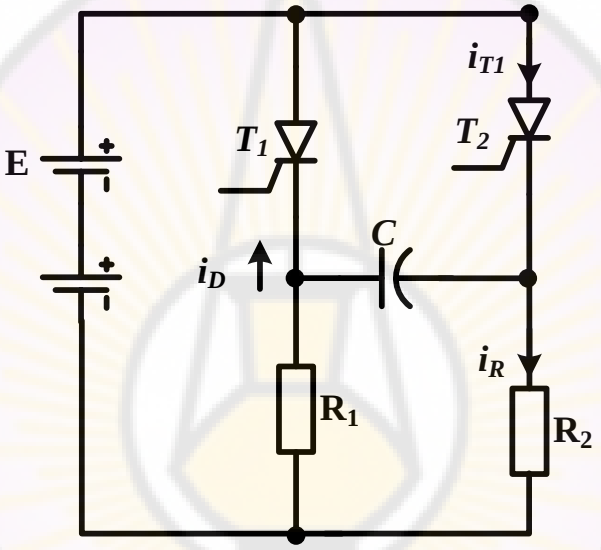


الشكل (19) توتر الخرج، وتيار الحمل.

مثال (7):

حدد سعة المكثف اللازم وضعه في المقطع البسيط ذي المكثف التفرعي المبين في الشكل أدناه (20) وذلك من أجل حمل أومي قدره 6Ω، علماً أن منبع التغذية 36V. زمن الفصل للثيرستور T_1 هو 80µs.

خذ $R_2=5R_1$، واحسب الزمن الاسمي التقريبي اللازم لفصل T_1. أهمل المفاقيد.



الشكل (20) مقطع بسيط ذي مكثف تفرعي.

الحل:

في البداية المكثف C يكون مشحوناً حتى توتر المنبع E. إذاً في حال كون الثيرستور T_2 موصلاً، فإن التوتر على طرفي المكثف C (أو الثيرستور T_1) يساوي :

$$V = E - 2Ee^{-\frac{t}{T}}$$

عند نهاية فترة الحجز، V تنعدم وذلك من أجل $\frac{t}{T}=0.693$ وبالنتيجة باعتبار $T=R_1\times C$ و $t=80\mu s$ فإن:

$$C=80\times10^{-6}\times0.693\times6=19.2\mu F$$

– عندما تكون $R_2=5R_1=30\Omega$. إذاً لدى توصيل الثيرستور T_1 سوف تتغير قيمة C، لأن

$$V=E-2Ee^{-\frac{t}{T}}$$

حيث $T=R_2\times C$ و الثيرستور T_1 يجب أن يستمر بالتوصيل حتى تصبح $V=0.8E$ وهو الذي يحدد الزمن t للإغلاق والبالغ 1.33ms. إذا تم تشغيل الثيرستور T_2 بالمكثف المشحون لغاية 0.8E، فإن C ستساوي 22.7μF وذلك كي تؤمن زمن حجز قدره 80μs.

2 – المقطعات التسلسلية، والتفرعية، والعكسية بالتوتر والتيار، والجسرية

2 2 المقطعات التسلسلية (Buck regulators) :

مثال (8):

في الشكل (21-a) القاطع التسلسلي يفتح ويغلق عند تردد 20Hz ويبقى مغلقاً لمدة 3ms في كل دور. مقياس الأمبير المستمر تم توصيله على التسلسل مع الحمل E_0 وأعطى تيار قدره 70A.

a- إذا تم وصل المقياس على التسلسل مع المنبع E_S ما قيمة التيار التي سيشير إليها عندئذ.

b- ما القيمة المتوسطة للتيار لكل نبضة (per pulse).

الحل:

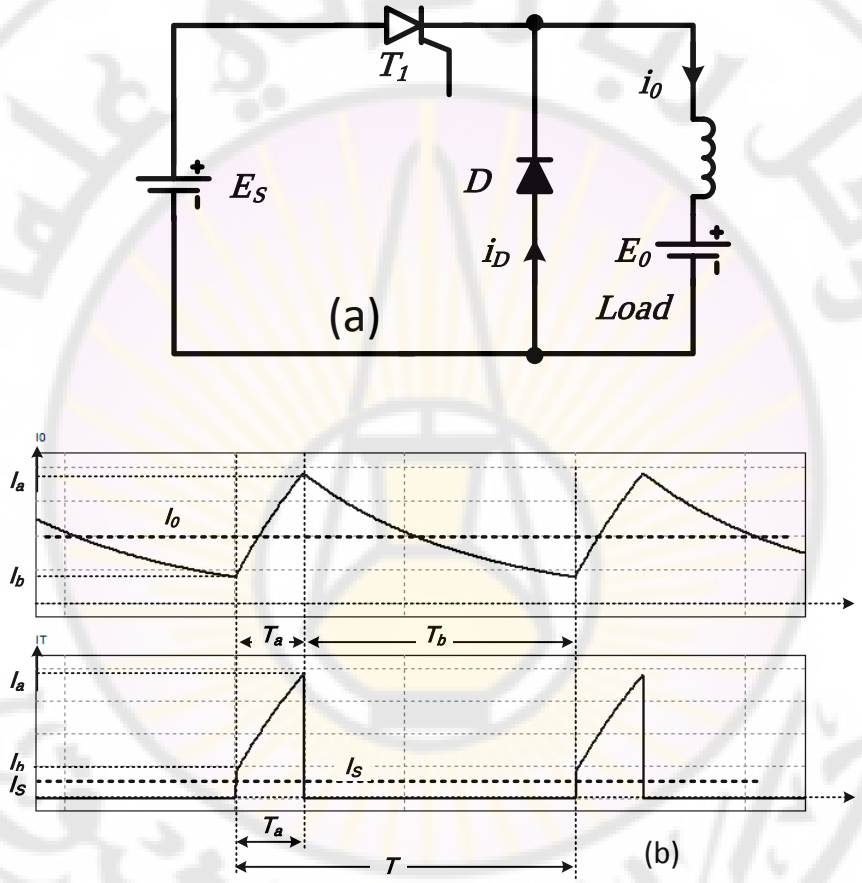
I_S: التيار المستمر المستجر من المنبع.

I_0: التيار المستمر المسحوب من الحمل.

T_a: زمن التوصيل للقاطع S.

T: الدور (S).

D: عامل الدور.



الشكل (21) a– دارة الاستطاعة b - التيارات المارة.

a- زمن الدور T هو:

$$T = \frac{1}{20} = 50ms$$

عامل الدور D هو: $D = \frac{T_a}{T} = \frac{3}{50} = 0.06$

بناءً على العلاقة a في المقطع التسلسلي

$$I_S = I_0\left(\frac{T_a}{T}\right) = I_0.D$$

ينتج تيار المنبع:

$$I_S = 70 \times 0.06 = 4.2A$$

b- القيمة المتوسطة خلال فترة النبضة (خلال الزمن T_a) هي 70 أمبير، وباعتبار أن القيمة المتوسطة لتيار المنبع هي 4.2A. فإنه يجب تصميم المنبع بشكل خاص بحيث يتمكن من تقديم التيار العالي 70A بشكل نبضة.

لذا فإنه في معظم الحالات يتم إضافة مكثف كبير على طرفي المنبع، ويمكن عندئذ لهذا المكثف من تقديم التيار النبضي الكبير في فترة تفريغه.

مثال (9):

المقطع التسلسلي (Buck regulator) يعمل عند توتر دخل 300 فولت ومقاومة حمل $R=20\Omega$، وحثية قدرها $L=12mh$، وتردد $f=5kHz$، وعامل دور $k=0.8$، بين ما يلي:

1- ما أصغر قيمة لحظية لتيار الحمل I_1.

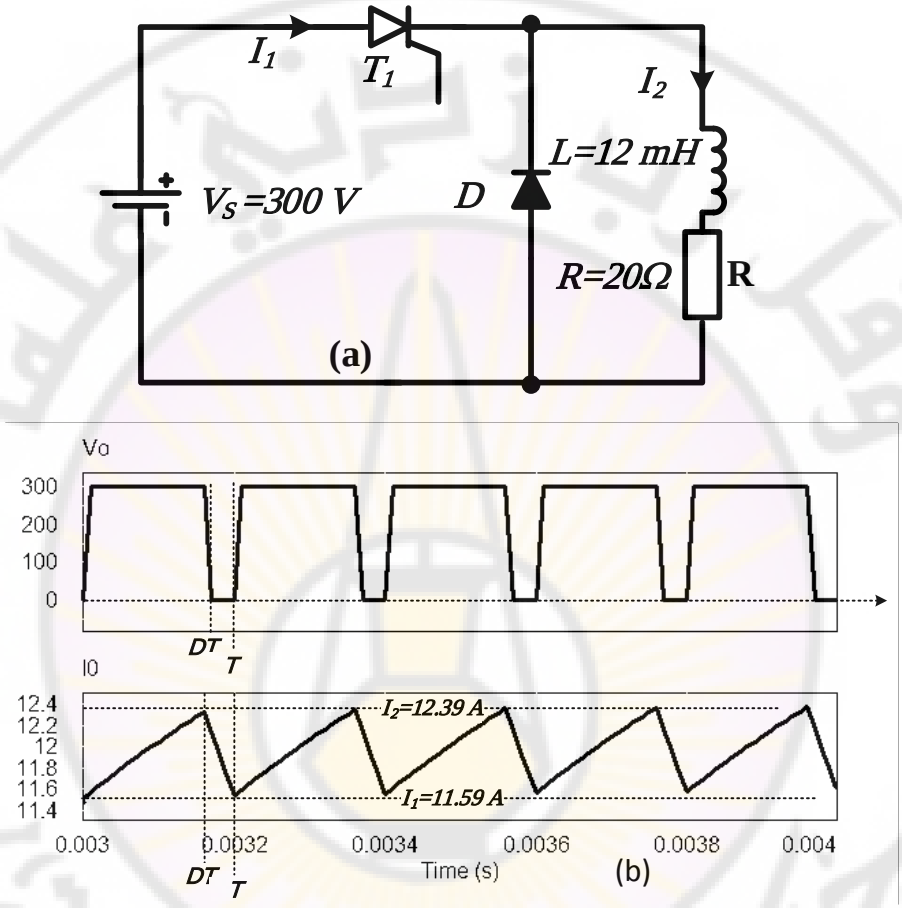
2- ما أصغر قيمة لحظية لتيار الحمل I_2.

3- ما القيمة المتوسطة لتيار الحمل I_a.

<u>الحل:</u>

1 -يعطى التيار الأصغري بالعلاقة:

$$I_1 = I_2 e^{-(1-D)T.\frac{R}{L}} - \frac{E}{R}\left(1 - e^{-(1-D)T.\frac{R}{L}}\right)$$



الشكل (22) دارة الاستطاعة – التوترات والتيارات.

كما يعطى التيار الأعظمي بالعلاقة:

$$I_2 = I_1 e^{-DT.\frac{R}{L}} + \frac{V_S - E}{R}\left(1 - e^{-DT.\frac{R}{L}}\right)$$

$$\Delta I = I_2 - I_1$$

$$T = \frac{1}{F} = \frac{1}{5\times10^3}$$

$$I_2 = I_1 e^{-0.266} + \frac{V_S}{20}\left(1 - e^{-0.266}\right)$$

$$I_2 = 0.766 I_1 + \frac{300}{20}(1 - 0.766)$$

$$I_2 = 0.766 I_1 + 3.51$$

$$I_1 = I_2 . e^{-(1-0.8)\frac{1}{5\times10^3}.\frac{20}{12\times10^{-3}}} - 0$$

$$I_1 = I_2 e^{-0.0666} = 0.9356 I_2$$

بالتعويض في I_2 أعلاه نجد:

$$I_2 = 0.766(0.9356) I_2 + 3.51$$

$$I_2 = 0.7166 I_2 + 3.51 \Rightarrow I_2 = 12.39 A$$

$$I_1 = 0.9356 \times 12.39 = 11.59 A$$

التيار المتوسط:

$$I_a = \frac{12.39 + 11.59}{2} = 11.99 A$$

مثال (10):

مقطع تسلسلي خافض للتوتر (Buck Conv.) يغذى من منبع 100V يعمل الثيرستور المستخدم عند تردد تقطيع يساوي 1000Hz. والاستطاعة العظمى المقدمة للحمل تساوي 10kW. إذا كان المقطع مثالياً، احسب قيمة حثية المفاعلة بحيث أن التيار الأصغري لها يصل إلى الصفر مرة في الدور إذا كانت استطاعة الحمل 5kW.

الحل:

يوضح الشكل (23-a) دارة الاستطاعة والتوترات والتيارات المارة بشكل عام. لكن بفرض أن التيار I سوف يصل للقيمة صفر مرة كل دور. فإنه يمكن القول أن التيار شبه متواصل وأن $I_{min}=0$. استطاعة الخرج تعطى عادة بالعلاقة:

$$P_0 = \frac{V_l^2}{R}$$

تعطى استطاعة الدخل من المنبع بالعلاقة

$$P_i = V_S . I_{av}$$

وبما أن المردود 100% فإن استطاعة الدخل تساوي استطاعة الخرج.

- تيار الملف المتوسط:

$$I_{av} = \frac{I_{\max}}{2}$$

- التوتر على طرفي الملف (المفاعلة) يساوي:

$$V_{L1} = L \frac{I_{\max}}{t_{ON}}$$

$$I_{\max} = \frac{V_{L1}}{L} t_{ON} = \frac{V_{L1}.D}{L.F} = \frac{V_S - V_l}{L} . \frac{D}{F}$$

- باعتماد العلاقة:

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

نجد أن الاستطاعة في الحمل تزداد بزيادة عامل الدور D أي عند D=1 وعندئذ توتر الحمل $V_l = V_S = 100V$ والمقاومة:

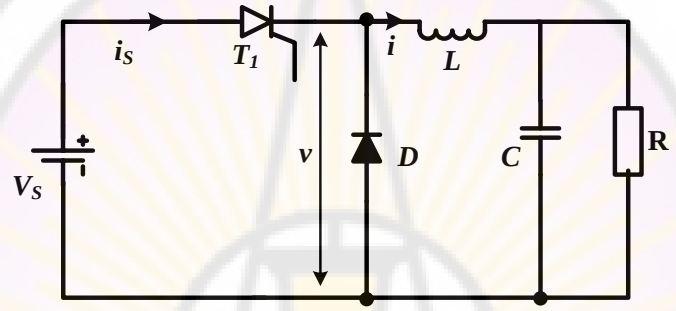
$$R = \frac{V_l^2}{P} = \frac{(100)^2}{10000} = 1\Omega$$

وعليه إذا كانت الاستطاعة المحقونة في الحمل 5kW عندئذ:

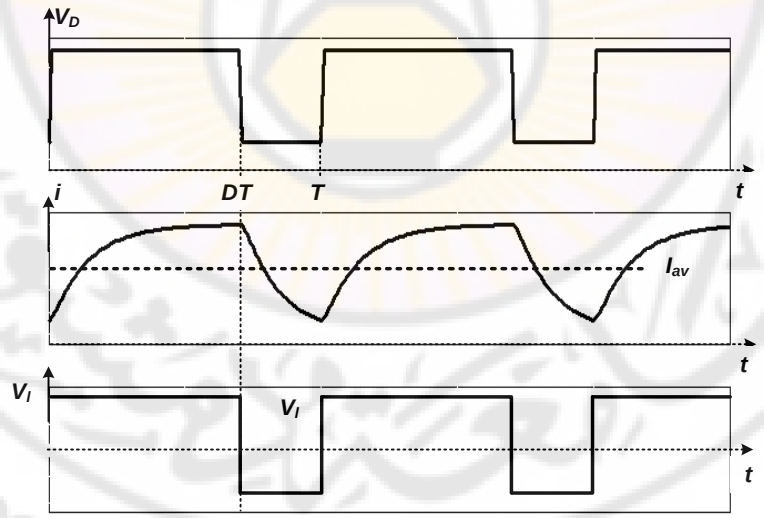
$$D = \frac{1}{V_S}\sqrt{P.R} = \frac{1}{100}\sqrt{5000} = 0.707$$

وعليه:

$$L = \frac{(1-D)R}{2.F} = \frac{1\times(1-0.707)}{2\times 1000} = 0.147mH$$



(a)



(b)

الشكل (23) مقطع تسلسلي خافض للتوتر

a- دارة الاستطاعة.b - التوترات والتيارات.

مثال (11):

نريد شحن مدخرة ذات توتر 120V من منبع ذي توتر مستمر قدره 600V باستخدام مقطع تسلسلي. متوسط تيار المدخرة يجب أن يكون 20 أمبير. مع تعرجات ripple تيار من القمة للقمة لا يتجاوز 2A. إذا كان تردد المقطع 200Hz، احسب مايلي:

a- قيمة التيار المستمر المسحوب من المنبع.

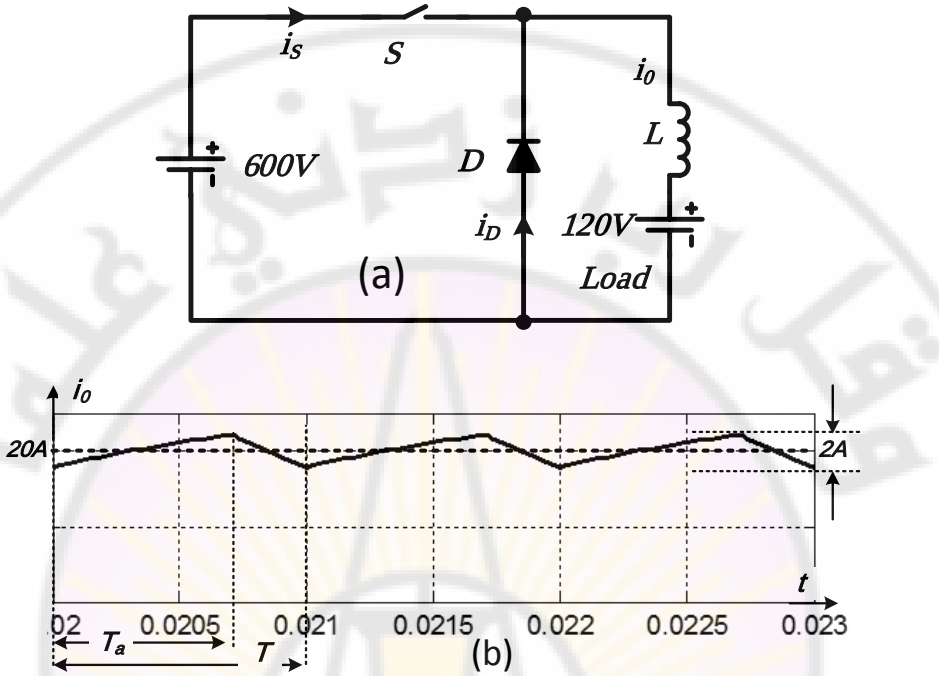
b- قيمة تيار الديود.

c- عامل الدور.

d- حثية المفاعلة المستخدمة.

الحل:

يعطي الشكل (24-a) دارة الاستطاعة، والشكل (24-b) يعطي تغيرات تيار الحمل الذي يشحن المدخرة. نرى أن التيار في الحمل يتذبذب بين القيمتين 19A و 21A، أي أن القيمة المتوسطة لتيار الحمل تبقى حسب القيمة المطلوبة 20A. مع تحقيق تموجات قمة– قمة تساوي 2A.



الشكل (24) a– دارة الاستطاعة.

b- تيار الحمل.

d- خلال فترة التوصيل للقاطع T_a التوتر المتوسط على طرفي المفاعلة (inductor) هو

$$(600-120)=480V.$$

وعليه فإن الفولت– ثانية (Volt- Seconds) المخزن من قبل المفاعلة خلال تلك الفترة هو:

$$A_{(+)}=480\times 1ms=480mV.s$$

تغير التيار خلال تلك الفترة هو 2A وعليه:

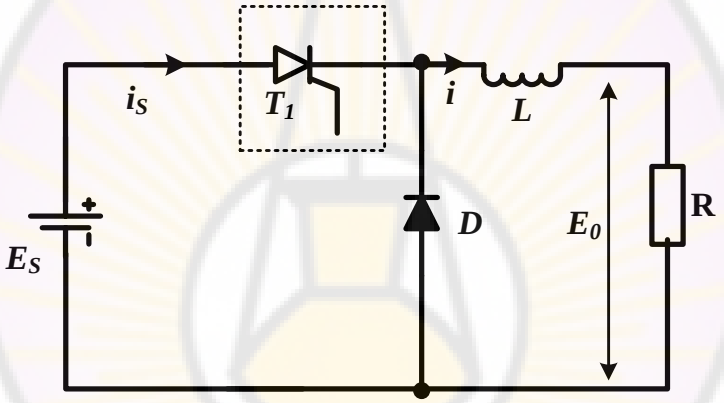
$$\Delta I=\frac{A_{(+)}}{L}\Rightarrow L=0.24Henry$$

أي أن المفاعلة يجب ان تكون ذات حثية مساوية 0.24H. وإذا استخدمنا حثية أكبر فإن تموجات التيار ستكون أصغر (هذه المفاعلة كبيرة جداً بالأساس)، لكن التوترات المستمرة والتيارات ستبقى كما هي.

مثال (12):

مقطع تسلسلي شكل (25) يعمل عند تردد 4kHz، زمن التوصيل 20μs. احسب المقاومة الظاهرية للمنبع، علماً أن مقاومة الحمل $R_0=12\Omega$.

الحل:



الشكل (25) مقطع تسلسلي.

- عامل الدور هو:

$$D=\frac{T_a}{T}=T_a f$$

$$D=20\times10^{-6}\times4000=0.08$$

- المقاومة الظاهرية للمنبع R_S تعطى بالعلاقة:

$$R_S=\frac{E_S}{I_S}=\frac{E_0/D}{I_0.D}=\frac{E_0}{I_0.D^2}$$

$$R_S=\frac{R_0}{D^2}$$

وعليه:

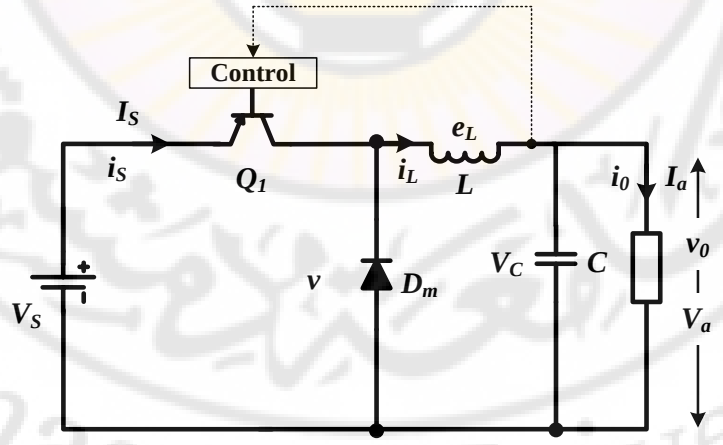
$$R_S = \frac{12}{(0.08)^2} = 1875\Omega$$

في هذا المثال نرى أن القيمة الحقيقية للمقاومة (Actual) يمكن أن تزداد كثيراً باستخدام المقطع. وعليه يمكن مقارنة المقطع بالمحول، مع وجود اختلاف كبير بينهما.

ذلك لأن المحول يسمح بجريان الاستطاعة في كلا الاتجاهين، من جهة التوتر العالي إلى جهة التوتر المنخفض وبالعكس. بينما المقطع الخافض للتوتر (Step-down) يمكنه فقط تحويل الاستطاعة من جهة التوتر العالي إلى جهة التوتر المنخفض.

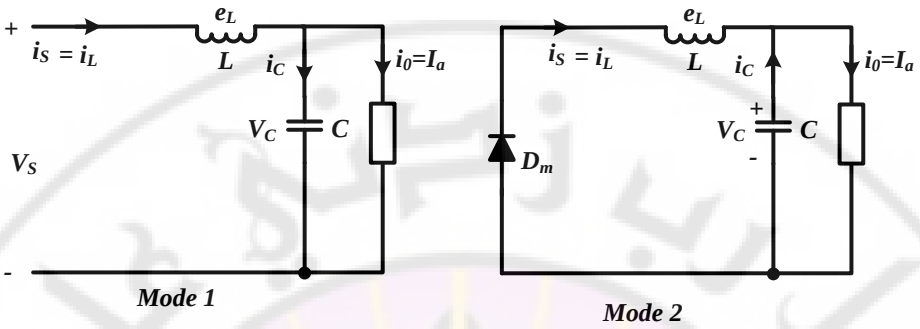
3-2 نظرية عمل المقطع التسلسلي BUCK Regulators (خافض التوتر):

في المقطع التسلسلي المبين في الشكل (26-a) توتر الخرج دائماً أقل من توتر الدخل. اشرح مرحلتي العمل، الأولى عند وصل Q_1 والثانية عند فصله. اعتبر أن التيار في الحمل مستمر.



الشكل (26-a) دارة الاستطاعة.

الحل: الدارة المكافئة في حالتي العمل الأولى والثانية مبينة أدناه:



الشكل (26-b) الدارة المكافئة في حالة العمل الأولى والثانية

– 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_1 وهو زمن توصيل القاطع Q_1، وعليه:

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

ومنه:

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

– بالمقابل لدى فصل القاطع Q_1 فإن الدارة المكافئة mod2 ستطبق والتيار الذي كان ماراً سوف يستمر المرور بـ D_m لكن سينخفض من القيمة I_2 إلى I_1 خلال الزمن t_2 وعليه يمكن القول أن:

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

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

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

$\Delta I = I_2 - I_1$ 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:

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

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

ومنه يمكن حساب تعرجات التيار العظمى:

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

أو بالشكل:

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

– 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:

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

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

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

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

– 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:

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

وهذا يسمح بمعرفة القيمة الحرجة للمفاعلة L_C حيث:

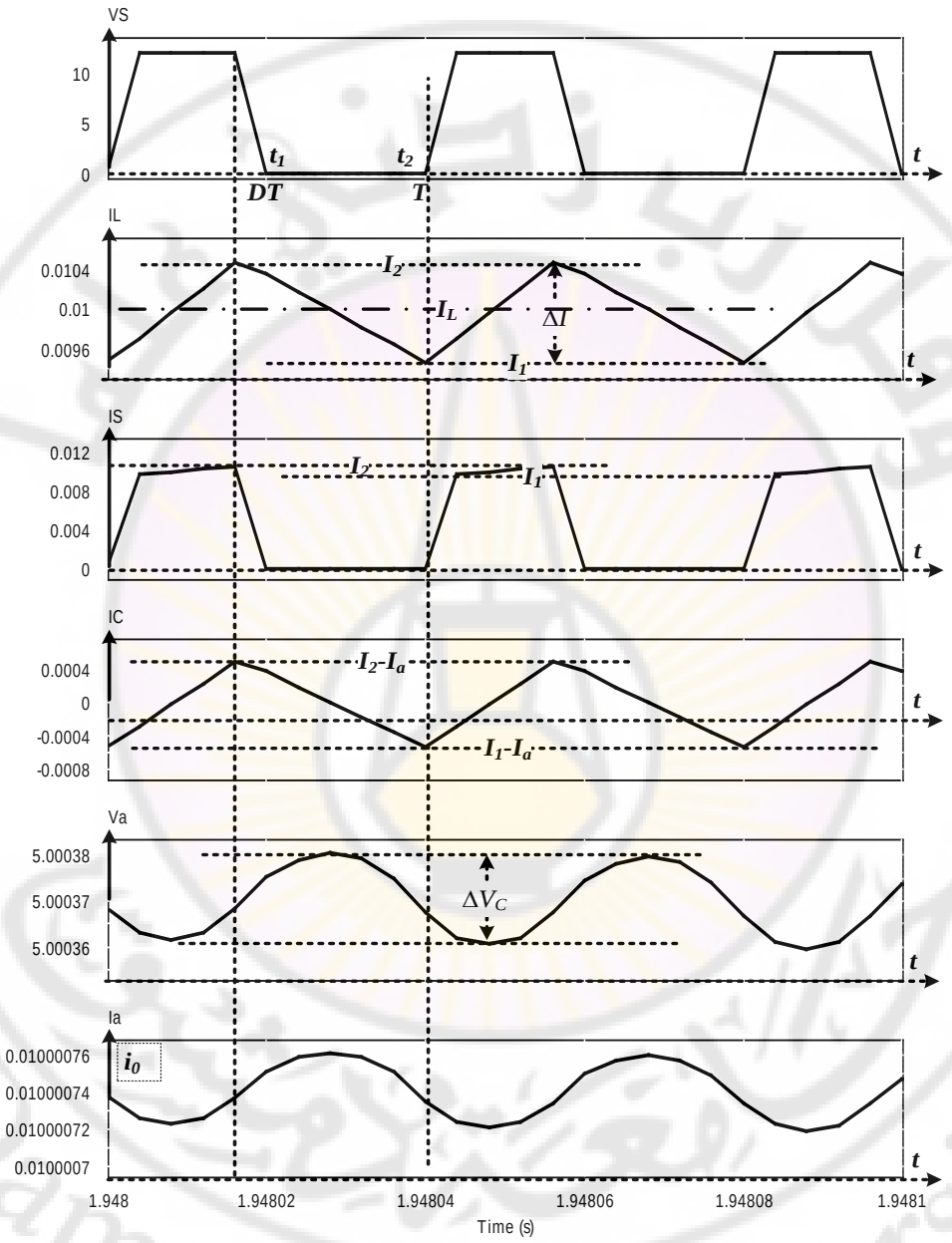
$$L_C = L = \frac{(1-D)R}{2F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

– 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:

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



الشكل (26-c) أشكال الأمواج خلال مراحل العمل للمقطع التسلسلي.

تطبيق (13):

في الدارة المبينة سابقاً (26-a) إذا كان $V_S=12V$ ، $R=500\Omega$، وإذا كانت تعرجات توتر الخرج (قمة– قمة) تساوي 20mV. وتردد التقطيع 25KHz. وتعرجات تيار الملف (قمة– قمة) تساوي 0.8A. بين ما يلي:

a- عامل الدور المستخدم D.

b- حثية المرشح L.

c- سعة مكثف المرشح C.

d- القيم الحرجة للحثية L والسعة C.

الحل:

a- من العلاقة (8) نجد أن عامل الدور يعطى:

$$V_a = D.V_S$$

نجد أن:

$$D = \frac{V_a}{V_S} = \frac{5}{12} = 0.4167.$$

b- من العلاقة (11) نحسب حثية الملف L:

$$\Delta I = \frac{V_a(V_S - V_a)}{F.L.V_S} = 1.9549$$

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

$$L = \frac{5(12-5)}{0.8 \times 25000 \times 12} = 145.83\mu H$$

c- سعة المكثف تحسب من العلاقة:

$$\Delta V_C = \frac{\Delta I}{8.F.C}$$

$$C = \frac{\Delta I}{8 \times F \times \Delta V_C} = \frac{0.8}{8 \times 20 \times 10^{-3} \times 25000}$$

$$C = 200\mu F$$

d- من العلاقة (16) نحسب القيمة الحرجة لحثية الملف L وهي:

$$L_C = \frac{(1-D)R}{2F} = \frac{(1-0.4167) \times 500}{2 \times 25 \times 10^3} = 5.83mH$$

كما تحسب السعة الحرجة من العلاقة:

$$C_C = \frac{1-D}{16.L.F^2}$$

$$C_C = \frac{1-0.4167}{16 \times 5.83 \times 10^2 \left(25 \times 10^3\right)^2} = 0.4\mu F$$

مثال (14):

مقطع ترانزستوري تفرعي غذي من مدخرة ذات توتر 24V وحمل بمقاومة قدرها 50Ω. يعمل عند تردد تقطيع قدره 25KHz. بفرض أن معدل تغير التيار والتوتر بالنسبة للزمن ثابت. احسب ما يلي:

1- ارسم دارة الاستطاعة الممكن استخدامها واشرح آلية العمل للنظام.

2- أوجد العلاقة الناظمة بين توتر الخرج والدخل. واحسب توتر الخرج عند عامل دور يساوي 0.6.

3- أوجد التيار الأعظمي والأصغري المار في المفاعلة المستخدمة في الدارة، اعتبر أن التيار في الحمل غير متقطع.

الحل:

1- دارة الاستطاعة:

– عندما يعطى القاطع S نبضة القدح خلال الزمن αT تكون الدارة المكافئة هي المبينة بالشكل (27-a) ويكون التوتر الهابط على المفاعلة مساوياً لتوتر المنبع:

$$V_L = V_S$$

– عندما يكون القاطع في حالة حجز خلال الفترة (1-α)T تكون الدارة المكافئة حسب الشكل أعلاه، والتوتر الهابط على المفاعلة:

$$V_L = V_S - V_0$$

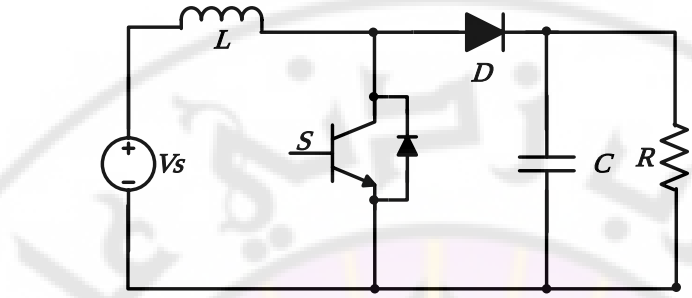
2 – بالنسبة للتوتر والتيار في المفاعلة لهما نفس التغيرات المبينة في الشكل (28).

$$\frac{di}{dt} = ct,\ \frac{dV}{dt} = c$$

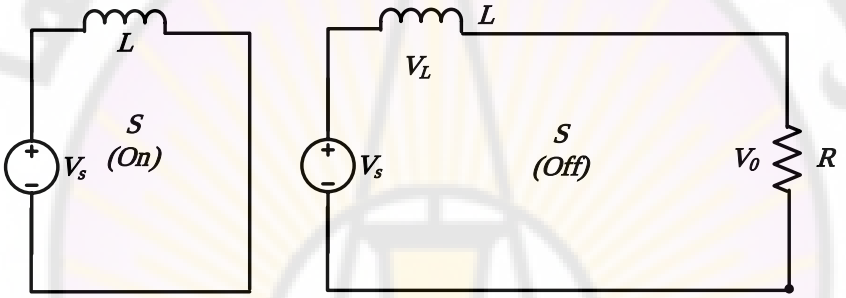
ومنه

$$\int_0^T V_C.dt = 0$$

$$\int_0^{\alpha T} V_S dt + \int_0^{(1-\alpha)T} (V_S - V_0) dt = 0$$



(a)



(b)

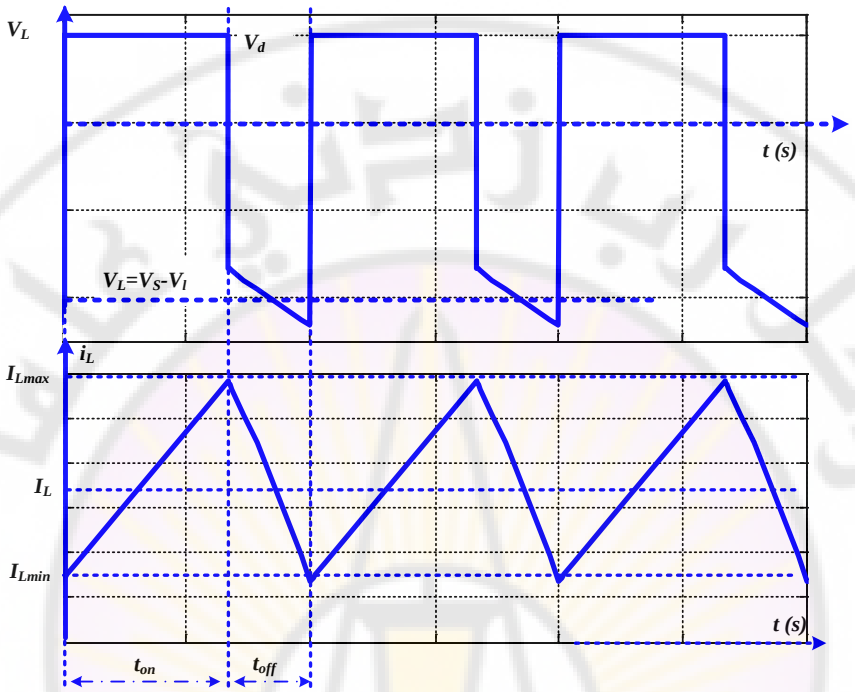
الشكل (27-a) دارة الاستطاعة, الشكل (27-b) الدارة المكافئة في حالات التشغيل.

ومنه:

$$V_S \alpha T = (V_S - V_0)(1-\alpha)T = 0$$

$$\Rightarrow V_0 = \frac{V_S}{1-\alpha} \Rightarrow P_0 = P_S \Rightarrow I_S = I_L = \frac{V_0}{R(1-\alpha)}$$

$$V_0 = \frac{24}{1-0.6} = 60V$$



الشكل (28) تيار الملف وتوتره

3- لدينا

$$I_{L\max} = I_L + \frac{1}{2}\Delta i_L$$

$$I_{L\min} = I_L - \frac{1}{2}\Delta i_L$$

$$\Delta i_L = \frac{1}{L}\int V_L dt = \frac{1}{L} V_S \alpha T = \frac{V_S - V_0}{L}(1-\alpha)T$$

ومنه

$$I_{L\max} = \frac{V_0}{R(1-\alpha)} + \frac{1}{2}\frac{1}{L}V_S\alpha T$$

$$I_{L\min} = \frac{V_0}{R(1-\alpha)} - \frac{1}{2}\frac{1}{L}V_S\alpha T$$

نحسب L_{min} بجعل $I_{Lmin}=0$ نجد:

$$\frac{V_0}{R(1-\alpha)} = \frac{1}{2L}V_0(1-\alpha)\alpha T$$

ومنه

$$L_{\min} = \frac{R(1-\alpha)^2\alpha}{2f} = \frac{0.6\times(0.4)^2\times 50}{2.25\times 10^3}$$

$$L_{\min} = 96 \Rightarrow L_{\min} = 96\mu H$$

نختار:

$$L = 130\mu H$$

$$I_L = \frac{V_0}{R(1-\alpha)} = 1.5A;$$

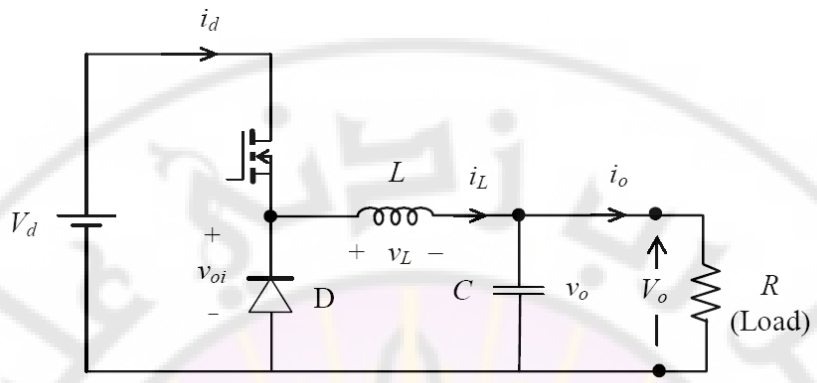
$$\Delta i_L = \frac{V_S\alpha T}{2L} = 2.4A.$$

$$I_{L\max} = 1.5 + \frac{1}{2}2.4 = 2.7A.$$

$$I_{L\min} = 1.5 - \frac{1}{2}2.4 = 0.3A.$$

مثال (15):

لدينا دارة المقطع التسلسلي (Buck Converter):

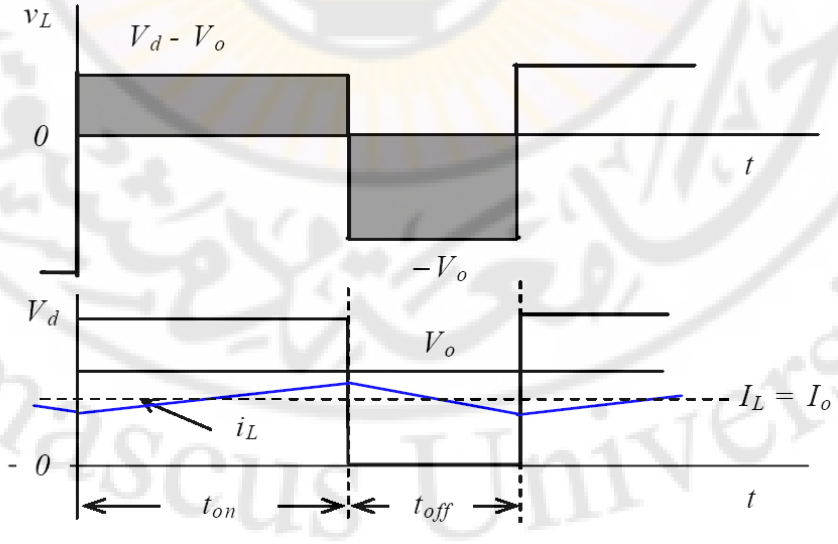


الشكل (29) a– دارة الاستطاعة،

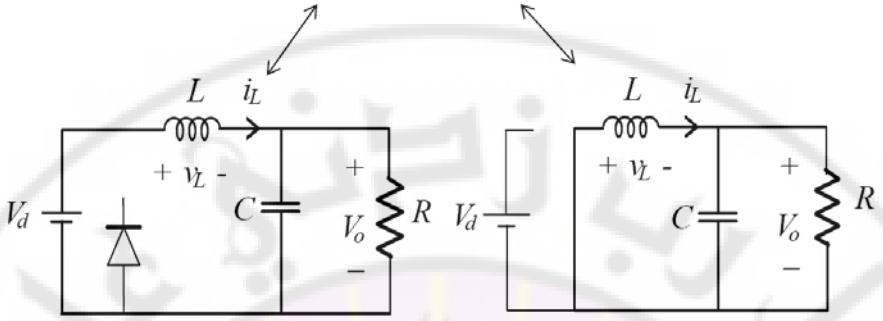
باعتبار أن:

$$di/dt = c; \quad dv/dt = \quad c.$$

إذا علمت أن فترة توصيل القاطع هي $T_{ON}=D.T$، وفترة الحجز هي : $T_{OFF}=(1-D)T$، المطلوب كتابة معادلات التيار المارة في الملف وحساب تعريج التيار والتوتر.



(b)



(c)

b- توتر الملف وتياره. c– الدارة المكافئة.

الحل:

لدينا خلال دور كامل ، هبوط التوتر الوسطي على المفاعلة يساوي الصفر أي خلال الزمن T:

$$\int_0^{T_S} v_L dt = L\int_{i(0)}^{i(T_S)} v_L = 0$$

$$\int_0^{T_{on}} (V_d - V_0)dt + \int_{t_{on}}^{T_S} -V_0 dt = 0$$

$$(V_d - V)t_{on} = V_0(T_S - t_{on})$$

$$\frac{V_0}{V_d} = \frac{t_{on}}{T_S} = D \Rightarrow V_0 = DV_d$$

$$V_d.I_d = V_0.I_0$$

$$\Rightarrow I_d = D.I_0$$

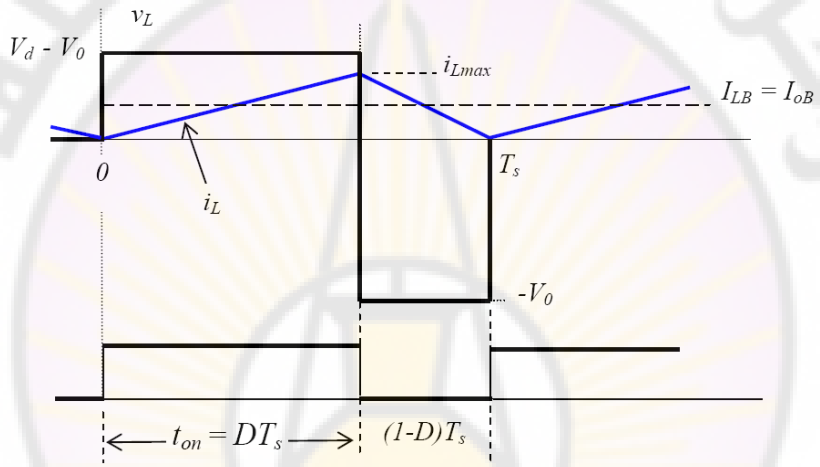
في هذا المقطع لدينا الشروط الحدية للعمل عند تيار غير متقطع:

يبين الشكل (30) حالة العمل عند تيار مستمر بدون تقطيع وعليه فإن تيار المفاعلة الحدي هو:

$$I_{LB} = \frac{1}{2} i_{L\max} = \frac{V_d - V_0}{2L} DT_S = I_{0B}$$

$$I_{LB} = \frac{DT_S}{2L}(V_d - V_0) = \frac{DT_S}{2L}(V_d - DV_d)$$

$$I_{LB} = \frac{V_d T_S}{2L}(1-D)D$$



الشكل(30) عمل المقطع التسلسلي بدون انقطاع في التيار

تنتج القيم العظمى الحدية لتيار الحمل وتيار المفاعلة عندما $D = 0.5$ وعليه:

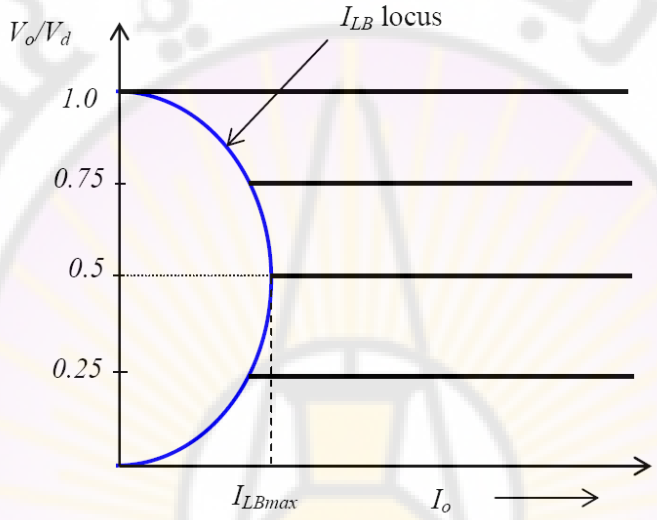
$$I_{LB\max} = \frac{T_S V_0}{8L}$$

$$I_{LB} = 4I_{LB\max}(1-D)D$$

يبين الشكل (31) كيف تتغير قيمة تيار المفاعلة وتيار الحمل الحدي كتابع لفترة التوصيل. ولدينا:

$$\int_0^{T_S} \frac{v_L}{L} dt = L \int_{i(0)}^{i(T_S)} di = 0$$

$$\frac{(V_d - V_0)}{L} D.T_S - \frac{V_0}{L}(1-D)T_S = 0$$



الشكل (31) تغير تيار المفاعلة حسب عامل الدور.

والقيمة العظمى والصغرى لتيار المفاعلة هي:

$$i_{L\max} = \frac{V_0}{R} + \frac{1}{2}\Delta i_L = \frac{V_0}{R} + \frac{V_0}{2L}(1-D)T_S$$

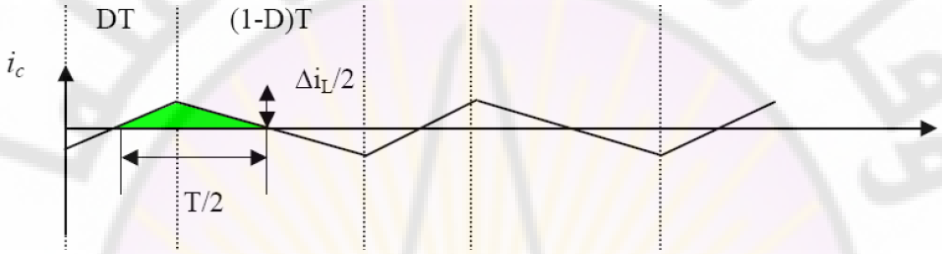
$$i_{L\min} = \frac{V_0}{R} - \frac{1}{2}\Delta i_L = \frac{V_0}{R} - \frac{V_0}{2L}(1-D)T_S$$

نجعل تيار المفاعلة الأصغري مساوياً للصفر لحساب قيمة المفاعلة الأصغرية التي تجعل التيار المار غير متقطع وعليه:

$$i_{L\min} = 0 \Rightarrow \frac{V_0}{R} - \frac{V_0}{2L}(1-D)T_S = 0$$

$$Lf_{S\min} \geq \frac{R(1-D)}{2}$$

لحساب تعريج توتر الخرج، يبين الشكل التالي تغير تيار شحن المكثف:



الشكل (32) تغيرات تيار شحن المكثف.

أي أن التيار الوسطي المار في السعة مساوٍ للصفر وعليه:

$$\Delta v_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C}\frac{1}{2}\frac{\Delta I_L}{2}\frac{T_S}{2} = \frac{\Delta I_L T_S}{8C}$$

$$\Delta I_L = \frac{V_0}{L}(1-D)T_S$$

$$\Delta v_0 = \frac{T_S}{8C}\frac{V_0}{L}(1-D)T_S$$

إن تعريج التيار يحسب كما يلي:

$$\Rightarrow \frac{\Delta v_0}{V_0}\% = \frac{(1-D)}{8C}\frac{T_S^2}{LC}\%$$

$$CR\% = \frac{\Delta i_L}{I_L}$$

$$I_L = \frac{V_0}{R} = \frac{V_d}{DR}$$

$$\Delta i_L = \frac{V_d}{L}(1-D)T_S$$

$$\Rightarrow CR\% = \frac{\frac{V_d}{L}(1-D)T_S}{\frac{V_d}{DR}}$$

$$\Rightarrow CR\% = \frac{D(1-D)R}{Lf_S}\%$$

مثال (16):

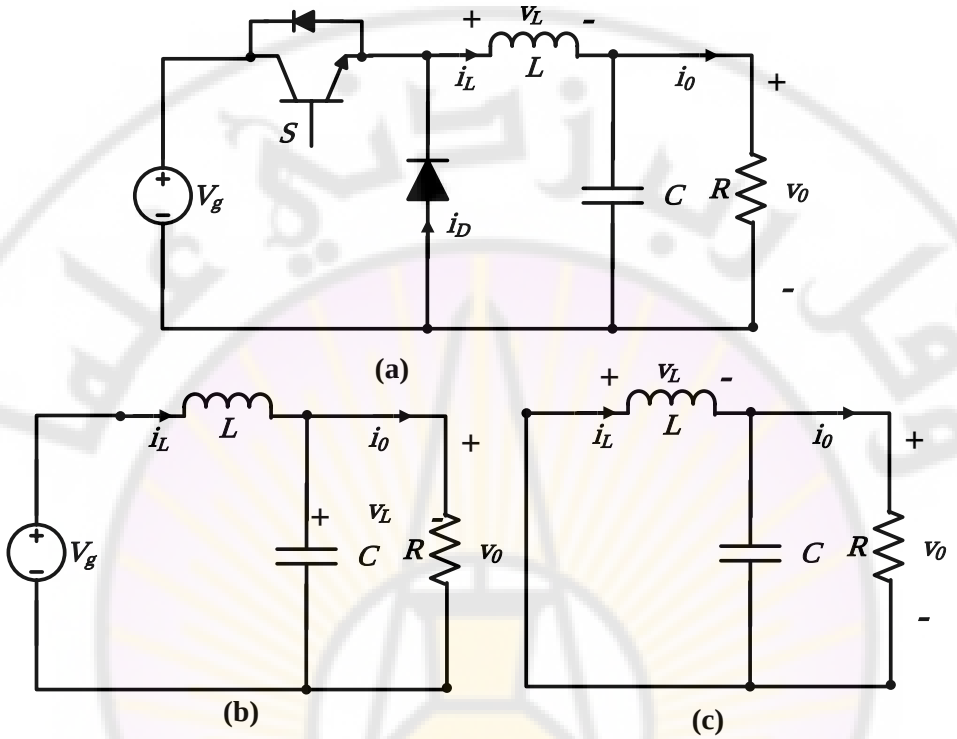
لدينا دارة المقطع التسلسلي (Buck converter)، باعتبار أن:

$di/dt = c,\ dv/dt = c$.

إذا علمت أن فترة توصيل القاطع هي T_{ON}=D.T، وفترة الحجز هي: T_{OFF}=(1-D)T، المطلوب كتابة معادلات التيار المارة في المفاعلة وتعريج التيار وتيار الديود، قيمة المفاعلة الأصغرية، حساب عامل التعريج، حساب قيمة السعة اللازمة للحصول على عامل تعريج محدد الجهد.

الحل:

لدينا خلال دور كامل هبوط التوتر الوسطي على المفاعلة يساوي الصفر أي خلال الزمن T.



الشكل(33) حالات عمل المقطع التسلسلي: (a) دارة المقطع، (b): حالة توصيل القاطع، (c):حالة القاطع مفتوح

$$v_L = \int_0^{DT} v_L dt = \int_0^{t_{on}} v_L dt + \int_0^{t_{off}} v_L dt = 0$$

$$(V_g - V_0)DT + (-V_0)(1-DT) = 0$$

$$V_0 = DV_g$$

$$V_g I_g = V_0 I_0 = DV_g I_0$$

$$\Rightarrow I_g = DI_0$$

في هذا المقطع لدينا:

$$I_L = I_0$$

تغير التيار المار بالمفاعلة يعطى بالمعادلة :

$$\Delta i_L = \frac{1}{L}\int_0^{DT} v_L\, dt$$

أي تساوي المساحة المحصورة تحت موجة التوتر الهابط على المفاعلة مقسوماً على قيمة المفاعلة L أي:

$$\Delta i_L = \frac{1}{L}(V_g - V_0)DT = \frac{1}{L}V_0(1-D)T$$

وعليه:

$$I_{L,\max} = I_L + \frac{1}{2}\Delta i_L$$

$$I_{L,\min} = I_L + \frac{1}{2}\Delta i_L$$

يمكن حساب قيمة تيار المفاعلة الوسطي من العلاقة:

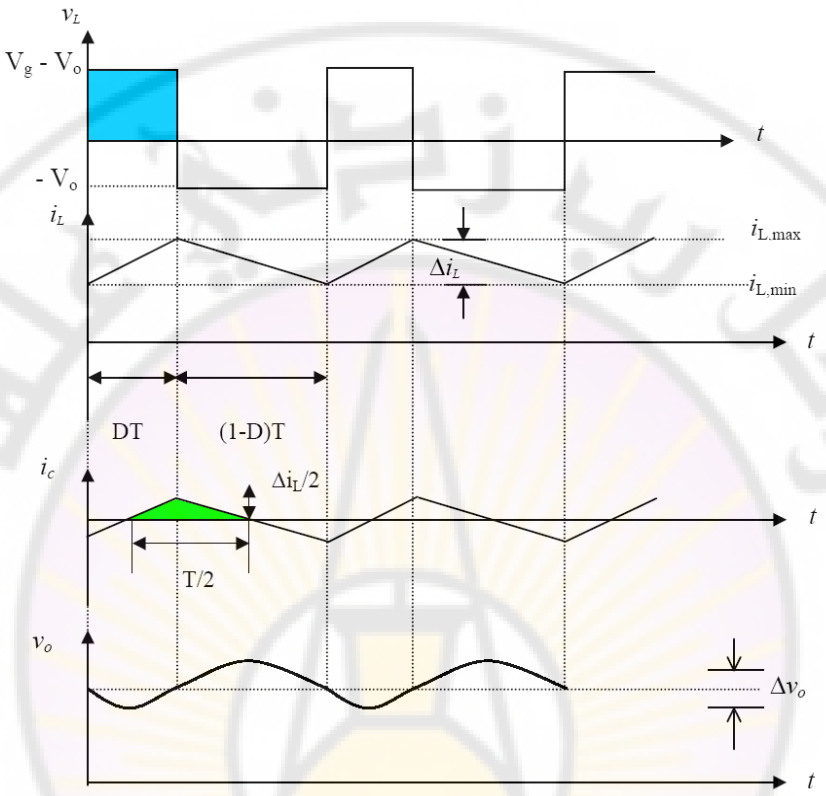
$$I_D = I_0 = (1-D)I_L \Rightarrow$$

$$I_L = I_0 = \frac{V_0}{R}$$

التوتر الهابط على المكثفة يتغير أي أن هبوط التوتر Δv_0 يمكن الحصول عليها من خلال التيار المار في السعة i_C حيث:

$$\Delta v_0 = \Delta v_C = \frac{1}{C}\int i_C dt$$

يمثل التكامل المساحة المحصورة بين تيار السعة ومحور الزمن (أي مساحة المثلث).



الشكل (33):d- التوترات والتيارات في مختلف أجزاء الدارة

$$\Delta v_0 = \frac{1}{C}\frac{1}{2}\frac{T}{2}\frac{\Delta i_L}{2}$$

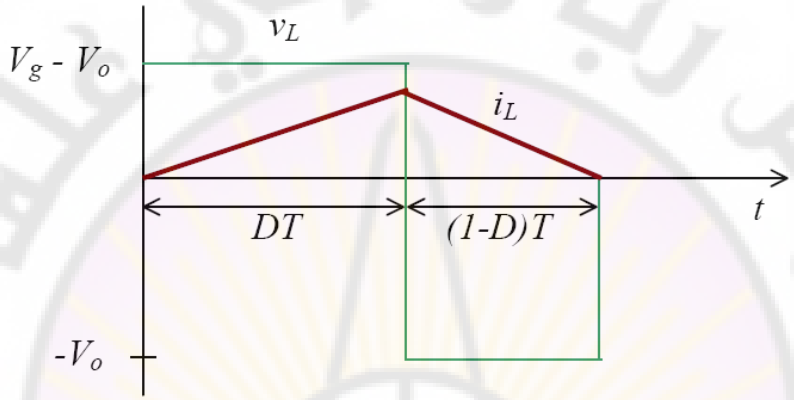
$$\Delta v_0 = \frac{\Delta i_L}{8fC}$$

$$\Delta i_L = \frac{V_0}{L}(1-D)T$$

$$\Rightarrow \Delta v_0 = \frac{V_0(1-D)T}{8fCL}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta v_0}{V_0}\% = \frac{(1-D)}{8CLf^2}\%$$

الحد الفاصل بين شروط استمرار التيار بالمرور وحدوث انقطاع في التيار يمكن تحديده وذلك عندما تصبح قيمة تيار المفاعلة مساوية للصفر في نهاية الدور ، أي أن التيار المار في المفاعلة يتغير كما هو مبين في الشكل (34).



الشكل (34): القيمة الحدية لتيار الملف.

أي:

$$I_L = \frac{1}{2}\Delta i_L$$

في هذا المقطع لدينا:

$$I_0 = I_L = \frac{V_0}{R} \Rightarrow$$

$$\Delta i_L = \frac{1}{L}(V_g - V_0)DT = \frac{1}{L}V_0(1-D)T$$

يمكن من خلال المعادلة السابقة تحديد القيم الحدية الصغرى لتيار الحمل ولمقاومة الحمل والمفاعلة وتردد عمل المقطع كما يلي:

$$I_L = I_0 = \frac{1}{2}\Delta i_L$$

$$\Rightarrow I_{0,\min} = \frac{1}{2L}V_0(1-D)T$$

$$I_L = \frac{1}{2}\Delta i_L$$

$$\frac{V_0}{R} = \frac{1}{2L}V_0(1-D)T$$

$$\Rightarrow L_{\min} = \frac{(1-D)T \times R}{2} = \frac{(1-D)R}{2f}$$

$$\Rightarrow f_{\min} = \frac{(1-D)R}{2L}$$

$$\Rightarrow R_{\min} = \frac{2Lf}{(1-D)}$$

علماً أن حساب أي من القيم السابقة يتم عندما يكون هناك مجهول واحد في المعادلة. إن تعريج التيار يحسب كما يلي:

$$CR\% = \frac{\Delta i_L}{I_L}$$

$$\frac{V_0}{R} = \frac{1}{L}V_0(1-D)T$$

$$\Rightarrow CR\% = \frac{R}{Lf}(1-D)\%$$

مثال (17):

لدينا في الشكل (35)، مقطع تسلسلي مع مرشح LC في دارة الحمل، توتر الدخل 480V وتوتر الخرج 120V. التردد 20KHz. استطاعة الحمل 1KW، والمطلوب:

1- معادلة توتر الخرج V_0 بدلالة توتر الدخل V_S.

2- احسب التيار الوسطي المار في المفاعلة.

3- احسب التيار المار في الديود D.

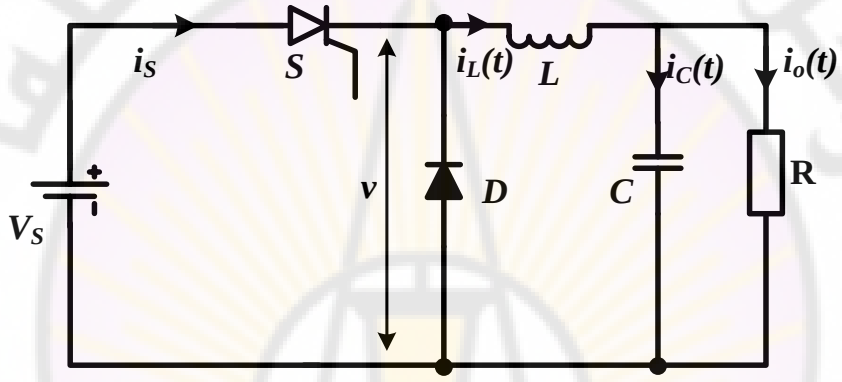
4- احسب القيمة الحدية للمفاعلة والتي تعطي أصغر تيار تعريج.

الحل:

1- خلال فترة توصيل القاطع $0 \le t \le T_{ON} = DT$

تكون معادلة التيار المار في المفاعلة L

$$i_L(t) = \frac{V_S - V_0}{L} t + I_{L\min} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$



الشكل (35) دارة الاستطاعة.

عند نهاية هذه المرحلة تكون قيمة التيار عظمى أي عندما t=DT.

$$I_{L\max} = \frac{V_S - V_0}{L} DT + I_{L\min} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

من المعادلتين (1) و (2) نجد أن

$$\Delta I_L = I_{L\max} - I_{L\min} = \frac{V_S - V_0}{L} DT \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

خلال فترة حجز القاطع $0 \le t \le T_{OFF}$ تكون معادلة التيار

$$L \frac{di_L(t)}{dt} = -V_0$$

ومنه

$$i_L(t) = \frac{-V_0}{L} t + I_{L\max} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

على اعتبار أن القيمة الابتدائية للتيار لهذه المرحلة هي القيمة النهائية للمرحلة السابقة أي I_{Lmax} وعند نهاية هذه المرحلة أي عند $T_{Off} = (1-D)T$ تكون قيمة التيار أصغرية I_{Lmin} أي:

$$I_{L\min} = -\frac{V_0}{L}(1-D)T + I_{L\max}$$

ومنه

$$\Delta I_L = I_{L\max} - I_{L\min} = \frac{V_0}{L}(1-D)T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

بمساواة المعادلتين (3) و (5) نجد

$$\frac{V_S - V_0}{L} DT = \frac{V_0}{L}(1-D)T \Rightarrow V_0 = DV_S \qquad (6)$$

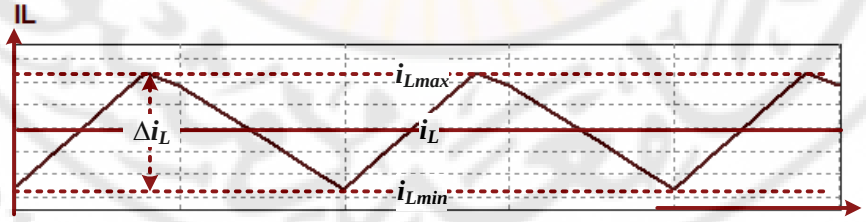
2- التيار الوسطي المار في المفاعلة يساوي التيار I_0

$$I_{Lavg} = I_0 = \frac{V_0}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

ومنه

$$I_{L\max} = I_{Lavg} + \frac{1}{2}\Delta I_L = \frac{V_0}{R} + \frac{V_0}{2L}(1-D)T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

$$I_{L\min} = I_{Lavg} - \frac{1}{2}\Delta I_L = \frac{V_0}{R} - \frac{V_0}{2L}(1-D)T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$



الشكل (36) تغيرات تيار الملف.

وباعتماد مبدأ مصونيه الطاقة أي :

$$V_S.I_S = V_0.I_0 = DV_S.I_0 \Rightarrow$$
$$I_S = DI_0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

3- التيار المار في الديود خلال فترة حجز القاطع

$$I_D = (1-D)I_0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

4- لحساب قيمة المفاعلة التي تعطي قيمة محددة لتعريج التيار I_{Lmin} مساوياً للصفر أي:

$$\frac{V_0}{R} = \frac{V_0}{2L_{\min}}(1-D)T = 0 \Rightarrow$$

$$L_{\min} = \frac{1-D}{2}RT = \frac{1-D}{2f}R \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

$$CR\% = \frac{\Delta I_L}{I_{Lavg}} = \frac{100(1-D)}{Lf}R$$

التطبيق العددي:

من المعادلة(6) نجد أن:

$$\Rightarrow D = \frac{120}{480} = 0.25$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{20\times 10^3} = 50\mu\text{sec}.$$

$$T_{ON} = DT = 0.25\times 50\times 10^{-6} = 12.5\mu\text{sec}.$$

$$T_{OFF} = (1-D)T = 37.5\mu\text{sec}.$$

$$R = \frac{V_0^2}{P} = \frac{120^2}{1000} = 14.4\Omega$$

نحسب قيمة L_{min} وفق المعادلة (12) فإذا كانت تحقق التعريج المطلوب تكون صحيحة وإلا نحسب قيمة L للحصول على التعريج المطلوب ونبدلها للحصول على قيم التيارات

$$I_{L\min} = \frac{1-D}{2f} R = \frac{1-0.25}{2\times 20\times 10^3} \times 14.4 = 0.27mH$$

وبأخذ عامل أمان 0.25% ←

$$\alpha = 1.25 L_{\min} = 0.3375mH.$$

$$CR\% = \frac{(1-D)R}{Lf}.100 = \frac{(1-0.2)\times 14.4}{0.3375\times 20\times 10^3}.100 = 160\%$$

وهي قيمة كبيرة وذلك لأننا اعتبرنا أن $\frac{di}{dt}$ ثابتة.

نحسب L للحصول على تعريج 10%

$$CR\% = 10\% = \frac{(1-D)R}{L.f}.100 = 10\% \Rightarrow$$

$$L = \frac{(1-D)R}{0.1f} = \frac{(1-0.25)14.4}{0.1\times 20\times 10^3} = 0.0054 = 5.4mH$$

نحسب التيار الوسطي

$$I_0 = I_{Lavg} = \frac{V_0}{R} = \frac{120}{14.4} = 8.33A$$

نحسب ΔI_L

$$\Delta I_L = \frac{V_0}{L}(1-D)T = \frac{120}{5.4\times 10^{-3}}(1-0.25)(50\times 10^{-6})$$

$$\Delta I_L = 0.833A$$

ومنه

$$I_{L\max} = I_{Lavg} + \frac{1}{2}\Delta I_L = 8.33 + \frac{1}{2}\frac{0.88}{2} = 9.25[A]$$

$$I_{L\min} = I_{Lavg} - \frac{1}{2}\Delta I_L = 7.914[A]$$

مثال (18):

2-4 تخفيض سرعة محرك تيار مستمر باستخدام مقطع تسلسلي:

في التركيب المبين الشكل(38)، لدينا مقطع تسلسلي مزود بدارة حجز نوع H، في هذه الدارة ، كما نعلم لا يسمح بمرور التيار I_H سوى في اتجاه واحد، ويمكنه أن يوصل ويفصل بشكل لحظي. يوصل لفترة T_1 ويتم فصله لفترة أخرى T_2 وهو عمل دوري بحيث $T=T_1+T_2$.

– D ديود مثالي، مقاومته معدومة عند التوصيل ولا نهائية عند الفصل.

مولدا القوة المحركة الكهربائية E'، التي ليس لهما مقاومة داخلية. وكذلك لدينا الحثية L، والمقاومة R ذات القيمة الثابتة.

I- في حالة العمل الدائم التيار المار في الحثية L، يتغير من القيمة I_1 إلى القيمة I_2 . عبر عن القيم I_1 و I_2 كتابع لعناصر التركيب المستخدم والزمن T_1 و T.

II- باعتبار أن الحثية L لانهائية، وبفرض أن: $T_1 = \alpha T$ و $E = R.I_0$ و $E' = \alpha E$ عبر كتابع لـ α, I_0 عن القيم التالية:

a- التيار I المار في الملف L.

b- التيار المتوسط المار في المولد ذي القوة المحركة الكهربائية E' .

c- التوتر المتوسط على طرفي الديود D.

d- التوتر على طرفي الملف L، وارسم شكل التوتر.

III- الدارة R, L, E' تمثل تيار محرك مستمر ذا تحريض مستقل بقوة محركة كهربائية عكسية E' على التسلسل بحثية كبيرة جداً (لانهائية). R مقاومة الدارة. تيار التحريض تم تثبيته وبإهمال رد فعل المتحرض. وبفرض أن Ω سرعة دوران المحرك مقدرة Rad/sec. من أجل Ω=200 Rad/s كانت $E' = 100V$. ولدينا E=200V و R=5Ω.

1) عبر عن العزم الكهرومغناطيسي Γ كتابع لـ α و Ω.

2) باعتبار أن لمفاقيد الميكانيكية والحديدية مهملة بين:

a-من أجل α معطاة ما هي الاستطاعة الميكانيكية العظمى التي يمكن أن يقدمها المحرك.

b- ما هو العزم الكهرومغناطيسي والمردود للنظام بإهمال المفاقيد في المتحرض.

III- المقطع نوع H حسب الشكل (37) حيث لدينا :

Th_1: الثيرستور الرئيس. G_1 بوابته.

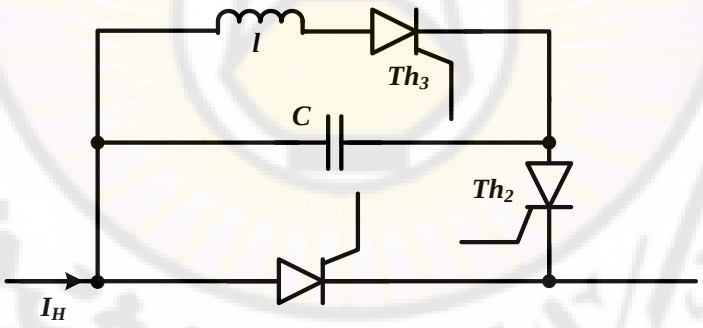
Th_2 و Th_3: ثيرستورات إضافية.

C: مكثف التبديل.

l: حثية صغيرة القيمة. في هذه الحالة:

a- اذكر الشروط الضرورية لتحقيق حجز الثيرستور Th_1.

b- عبر عن ذلك رياضياً مستعيناً بدارة المقطع المرسومة في الشكل (38).



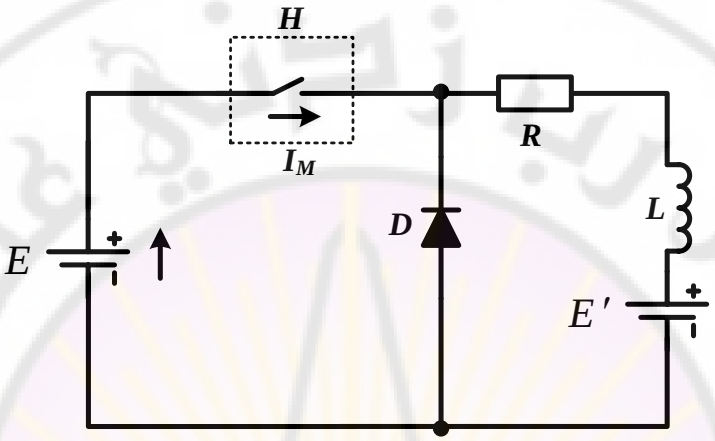
الشكل(37) دارة التبديل للثيرستور Th_1 الذي يعمل كمقطع.

الحل:

1- عندما يكون المقطع موصلاً: العلاقة الناظمة للتوترات والتيارات هي:

$$E = E' + R.i + L\frac{di}{dt}$$

$$\frac{E-E'}{R}=i+\tau\frac{di}{dt}$$



الشكل (38) دارة الاستطاعة

الحل العام لهذه المعادلة أعلاه:

$$i=8e^{-\frac{t}{\tau}}+\frac{E-E'}{R}$$

بفرض أن I_1 هو التيار في بداية الفترة (القيمة الدنيا للتيار) وعليه فإن:

$$I_1=8+\frac{E-E'}{R}$$

ومنه فإن التيار i:

$$i=\left(I_1-\frac{E-E'}{R}\right)e^{-\frac{t}{\tau}}+\frac{E-E'}{R}$$

وفي نهاية الفترة يصل التيار للقيمة:

$$I_2=\left(I_1-\frac{E-E'}{R}\right)e^{-\frac{T_1}{\tau}}+\frac{E-E'}{R}$$

- عندما يقف المقطع عن التوصيل:

الديود D على طرفي الحمل يستمر في توصيل تيار الحمل، ويطبق حالة قصر.
ولمعرفة التيار يكفي أن نجعل E=0 في العلاقة السابقة:

$$i = \left(I_2 + \frac{E'}{R} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{E'}{R}$$

(وبأخذ مبدأً جديداً للإحداثيات نجد أنه عند نهاية الدور، سيكون التيار المار عندئذ مساوياً للتيار الذي مر في بداية الدور وعليه

$$I_1 = \left(I_2 + \frac{E'}{R} \right) e^{-\frac{T_2}{\tau}} - \frac{E'}{R}.$$

II- باستخدام تقريب خطي، ونظراً لأن العلاقات معقدة سوف نعطي العلاقة مباشرةً للاستفادة منها في باقي فقرات المسألة حيث:

a- تيار الملف

$$I = (\alpha - a) I_0$$

$$a = \frac{E'}{E}$$

b- التيار المتوسط في المنبع ذي القوة المحركة الكهربائية 'E: وهو التيار المار خلال الفترة T_1 من الدور وعليه:

$$I_g = \frac{T_1}{T_1 + T_2} . I = \frac{T_1}{T} (\alpha - a) I_0$$

$$I_g = \alpha (\alpha - a) I_0$$

c- التوتر المتوسط على طرفي الديود D: هذا التوتر هو إما أن يكون توتراً عكسياً أو معدوماً. لذا فإن هذا التوتر يساوي (α.E).

d- التوتر على طرفي الملف L:

بفرض أن L تساوي الانهائية. نجد من علاقة أوم أن:

خلال الزمن T_1 $\Rightarrow$ $R.i + L\frac{di}{dt} + E' = E$

خلال الزمن $T2$ $\Rightarrow$ $=0$

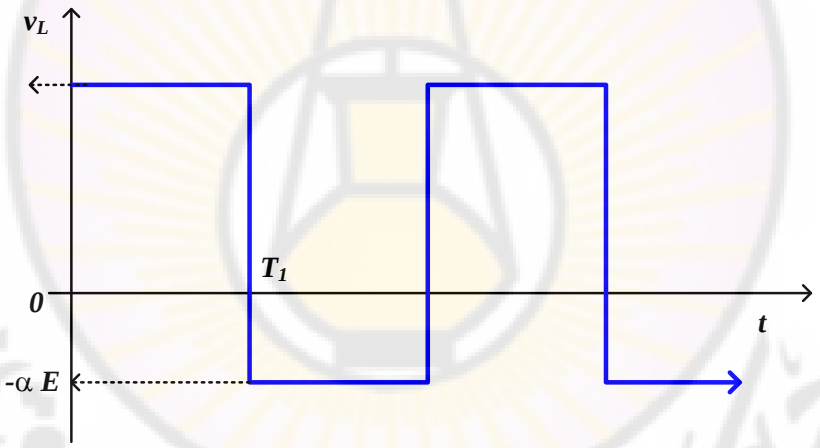
وعليه:

$$L\frac{di}{dt}=\begin{Bmatrix}E\\0\end{Bmatrix}-E'-R.i$$

$$L\frac{di}{dt}=\left[\begin{Bmatrix}1\\0\end{Bmatrix}-a-R(\alpha-a)\frac{I_0}{E}\right].E$$

$$L\frac{di}{dt}=E\left[\begin{Bmatrix}1\\0\end{Bmatrix}-\alpha\right]$$

والشكل (39) يوضح شكل التوتر، والقيمة المتوسطة لهذا التوتر تساوي الصفر.



الشكل (39) تغيرات توتر الملف تبعاً لعامل الدور.

III- حالة كون محرك تيار مستمر يعمل عند تحريض ثابت:

$$K=0.5Wb/rad\,;\qquad E'=K.\Omega$$

1) العزم إذاً:

$$\Gamma=K.I=0.5(\alpha-a)I_0$$

حيث:

$$a = \frac{E'}{E} \Rightarrow a = \frac{0.5}{200}\Omega$$

$$I_0 = \frac{E}{R} = \frac{200}{5} = 40A$$

ومنه:

$$\Gamma = 20\alpha - 0.05\Omega.$$

2) الاستطاعة العظمى:

a- $P = \Gamma.\Omega = (20\alpha - 0.05\Omega)\Omega$

نحصل على القيمة العظمى بأخذ المشتق $\Omega = 200\alpha$ و $a = 0.5\alpha$ وبحذف هذا المشتق.

b- لدينا إذاً:

$$\Gamma = 20\alpha - 10\alpha = 10\alpha$$

$$P_{\max} = \Gamma_{\max} \times \Omega_{\max} = 10\alpha \times 200\alpha = 2000\alpha^2$$

الاستطاعة المقدمة هي:

$$P_f = E \times I_{moy} = E \times \alpha(\alpha - a)I_0$$

$$\alpha - a = \frac{1}{2}\alpha \quad \Rightarrow \quad P_f = \frac{E}{R} \times \alpha \times \frac{1}{2}\alpha$$

– المردود:

$$\eta = \frac{2000\alpha^2}{8000 \times 0.5\alpha^2} = 0.5 = 50\%$$

III- تشغيل المقطع:

a- يمكن نقل الثيرستور لحالة الحجز عن طريق تفريغ مكثف وذلك بشرط أن يبقى الثيرستور تحت توتر عكسي لفترة من الزمن أطول من زمن الفصل للثيرستور t_q كما نعلم هنالك شرط تمرير تيار الحمل وسحبه من الثيرستور، وحجز نبضات القدح.

B – العمل كمقطع:

1 -في الدارة المبينة أدناه، في البداية يجب تشغيل الثيرستور Th_2 حتى يفرغ المكثف نفسه ويشحن بقطبية معاكسة، ويجب أن لا نعمل على تشغيل Th_1 في البداية لأنه لا يمكن حجزه بعدئذ.

إن تشغيل Th_2 يمرر تيار خفيف في الحمل ويشحن المكثف للقيمة V=+E.

2- بعدئذ يلزم قدح الثيرستور Th_3، حتى نحصل على اهتزاز خلال نصف دور وتنعكس قطبية توتر المكثف. وعندئذ لدينا:

$$L.C.V''+V=0 \Rightarrow V=E\cos\omega t$$

أي أن المكثف عكس قطبيته وتوقف التيار المار وبالتالي تم حجز الثيرستور Th_3.

3- بعد تلك التحضيرات يمكن تشغيل Th_1. وهذا يسبب مرور تيار الحمل الثابت.

4- لفصل Th1 يكفي أن نشغل الثيرستور Th_2. مما يسمح بتطبيق توتر عكسي على Th_1، وسوف يمر بالثيرستور Th_2 تيار لحظي بقيمة 2E/R، لأن التوترات تم جمعها على التسلسل. لكن هذا التيار يتخامد بسرعة نحو الصفر.

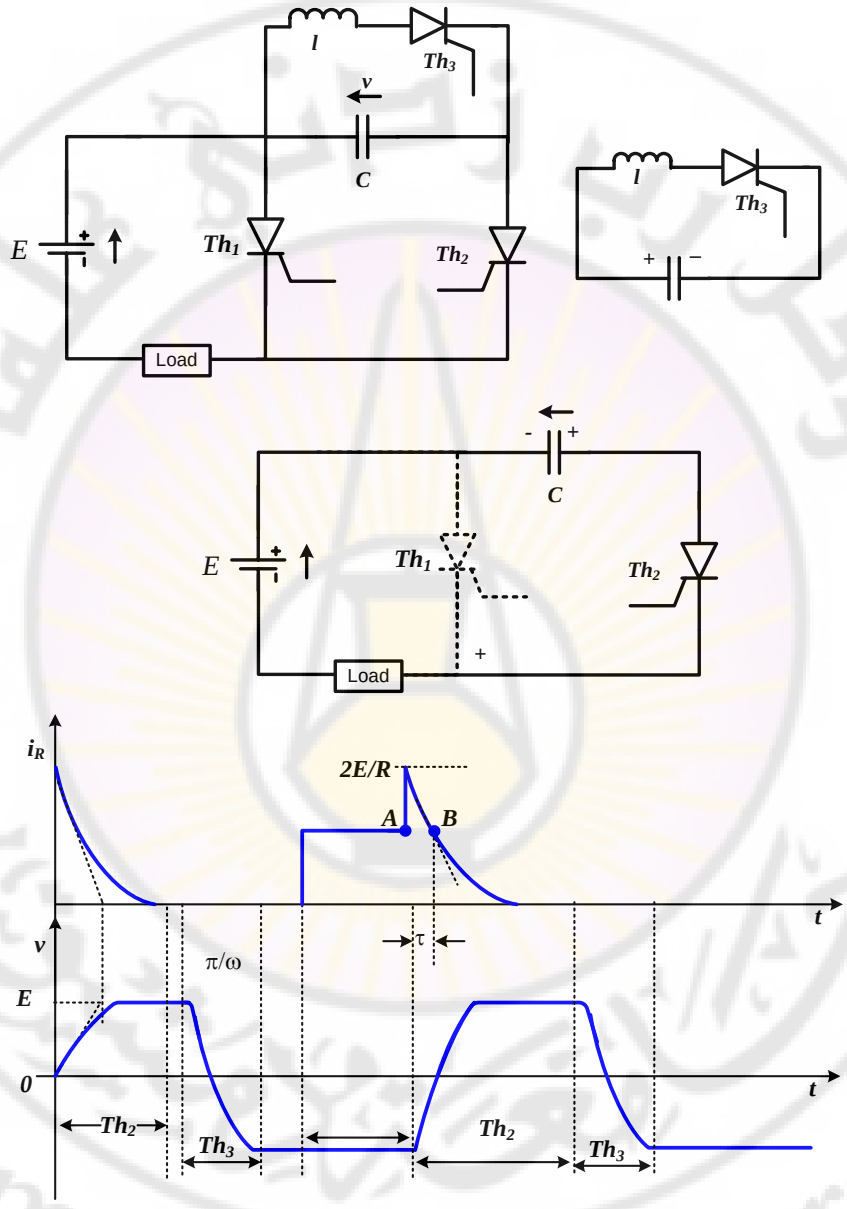
إن شرط الحجز هو إذاً أن يتم تطبيق توتر عكسي بين النقاط A و B ويجب أن يستمر تطبيق هذا التوتر لفترة أكبر من زمن الفصل t_q.

$$t_q < AB = \frac{\tau}{2} = \frac{1}{2}R.C$$

أي أن

$$R.C > 2t_q$$

والشكل (40) يوضح الدارات المكافئة للحالات التي تم تشغيل الثيرستورات ومراحل العمل للتوتر والتيار.



الشكل (40) الدارات المكافئة لحالات التشغيل المختلفة.

مثال (19):

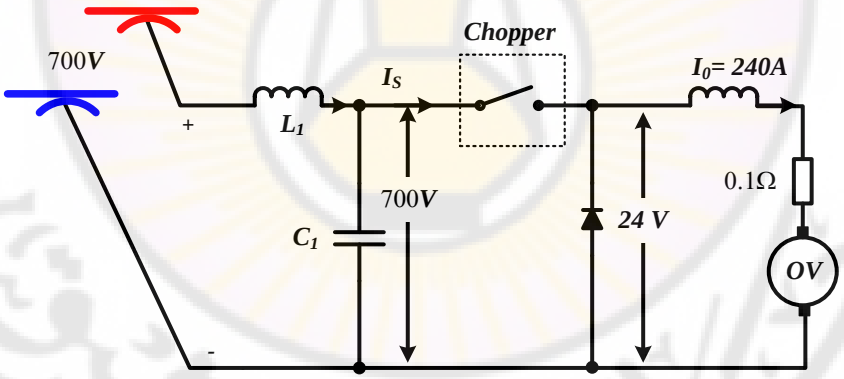
باص نقل كهربائي (Trolley- bus) يتم جره بمحرك تيار مستمر تسلسلي 600V, 1500r/min, /50Hp. تيار الحمل الاسمي يساوي 200A. مقاومة المتحرض وملف التحريض 0.1Ω. تغذى السكة من خط توتر مستمر 700V فوق مسار خط النقل.

لدينا مقطع للتحكم بالعزم والسرعة، تردد عمل المقطع يتغير من 50Hz حتى 1600Hz لكن زمن التوصيل للقاطع ثابت عند 600µs.

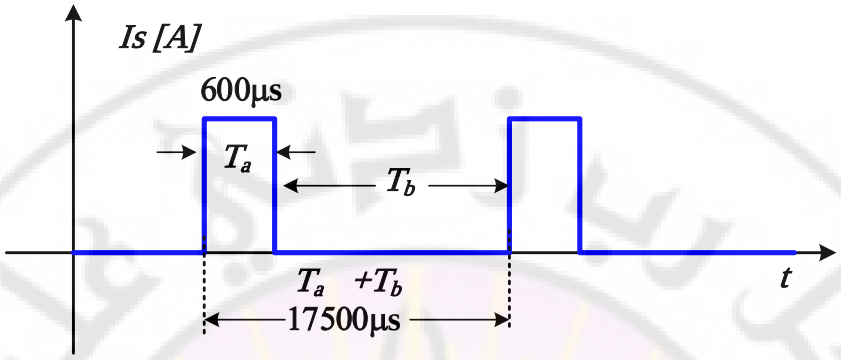
a- احسب تردد عمل المقطع والتيار المسحوب من الخط العام عندما يكون المحرك ساكناً. (Standstill) وعندما يسحب المحرك تياراً قدره 240A.

b- احسب تردد عمل المقطع عندما يقدم المحرك استطاعته الاسمية.

الحل:



الشكل (41-a) دارة الاستطاعة.



الشكل (41-b) نبضات التيار I_S المستجرة من قبل المقطع من المنبع 700V عند كون المحرك ساكناً Stalled.

a- بالعودة للشكل (41-a) هبوط التوتر في المتحرض I.R يساوي $240 \times 0.1\Omega = 24V$. وبما أن المحرك ساكن فإن $C.E_e.f = 0$ وعليه فإن $E_0 = 24V$ و $E_S = 700V$ ويمكن تحديد تردد عمل المقطع من العلاقة:

$$E_0 = E_S.F.T_a$$

$$24 = 700 \times F \times 600 \times 10^{-6}$$

$$F = 57.14Hz.$$

لدينا:

$$T_a + T_b = \frac{1}{F} = \frac{1}{57.14}$$
$$= 17500\mu s = 17.5ms.$$

- التيار المستمر المسحوب من السليسلة (Catenary) هو:

$$I = I_S = \frac{P}{E_S} = \frac{24 \times 240}{700}$$

$$I = 8.23A.$$

هذا التيار ذو قيمة متوسطة 8.23A لكن هو نبضي له قمة تساوي 240A، بينما تيار المحرك مستمر بقيمة 240A.

b- عند استطاعة الخرج الاسمية، سيكون توتر مرابط المحرك 600V

(شكل 42-b)، تردد التقطيع يعطى من العلاقة:

$$E_0 = E_S.F.T_a$$

$$600 = 700 \times F \times 600 \times 10^{-6}$$

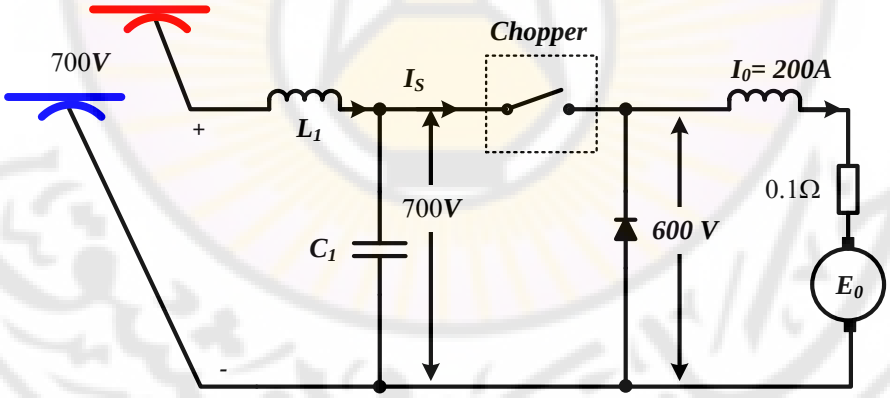
$$F = 1429Hz.$$

$$T_a + T_b = \frac{1}{F} = \frac{1}{1429} = 700\mu s.$$

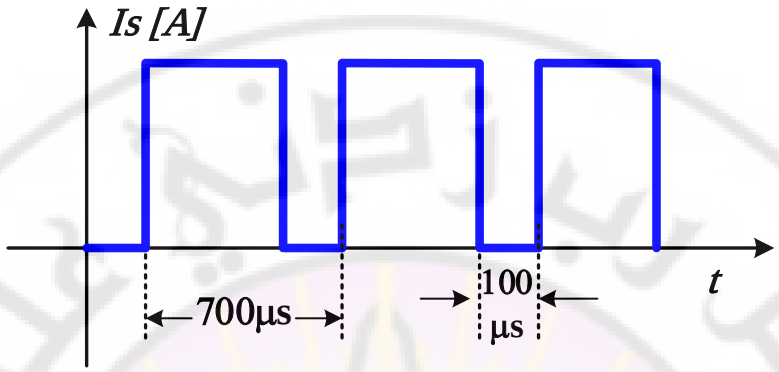
تيار الخط:

$$I = I_S = \frac{P}{E_S}$$

$$I = \frac{600 \times 200}{700} = 171A$$



الشكل (42-b) شروط العمل عند العزم الاسمي والسرعة الاسمية.

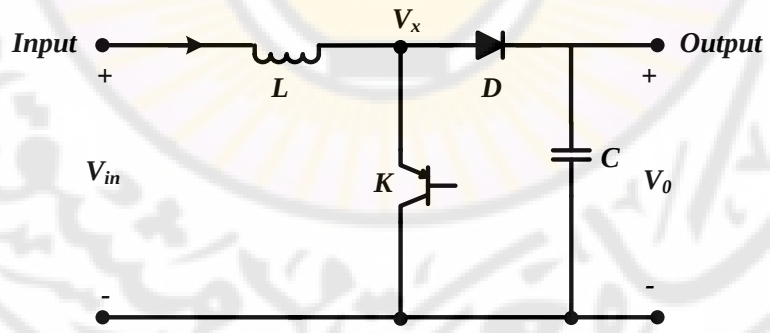


الشكل التيار I_S ودوره.

3 – المقطع التفرعيBoost Converter – آلية رفع التوتر

مثال (20):

في الشكل المبين أدناه (43)، لدينا مقطع تفرعي أساسي بسيط، نستخدم عادةً هذه الدارة للحصول على توتر خرج أكبر من توتر الدخل المتوفر أو المطبق المراد رفع قيمته. بين آلية رفع التوتر.



الشكل (43): دارة مقطع رافع للتوتر.

الحل:

الدارة المبينة أعلاه، تحتوي قاطعاً الكترونياً قد يكون من نوع MOSFET أو IGBT، ومن ملف خانق (مفاعلة) Inductor، وديود D ومكثف C.

العلاقة بين توتر الخرج V_0 وتوتر الدخل V_{in} يتم تحديدها بدلالة تردد عمل القاطع الالكتروني وبدلالة عامل دور التشغيل D (Duty cycle ratio).

– خواص وآلية عمل الدارة يمكن تحليلها بحالتين، الأولى خلال فترة وصل القاطع K والثانية خلال فترة كون القاطع مفصولاً. ومن أجل هذا المقطع لمعرفة العلاقة بين توتر الدخل وتوتر الخرج يمكن البدء بحالة وصل القاطع، وسوف نرمز للتوتر على طرفي القاطع بـ V_X. وعليه:

$$V_{in} = L\frac{di}{dt} + V_X$$

$$L\frac{di}{dt} = V_{in} - V_X$$

$$L\frac{di}{dt} = (V_{in} - V_X)_{On} + (V_{in} - V_X)_{Off} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

من أجل دور كامل $\frac{di}{dt} = 0$، عندما يكون الترانزستور موصلاً (ON) فإن $V_X=0$ وعندما يكون القاطع (OFF)، تيار الملف سوف يتابع مروره عبر الديود D جاعلاً التوتر $V_X=V_0$. (نعتبر هنا أن تيار الملف مستمر، غير متقطع (Continuous Conduction).

– التوتر عبر الملف مبين في الشكل (44) أدناه ومتوسط هذا التوتر يجب أن يساوي الصفر حتى يكون التيار المتوسط في حالة مستقرة Steady State. هذا الشرط يعبر عنه بالعلاقة (2):

$$V_{in}.t_{On} + (V_{in} - V_0)t_{Off} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

ويمكن تنظيم العلاقة بالشكل:

$$\frac{V_0}{V_{in}} = \frac{T}{t_{Off}}$$

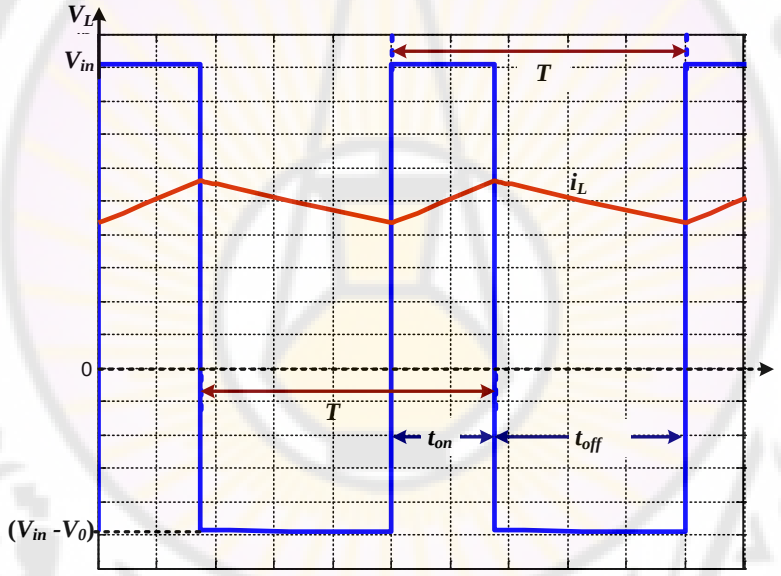
وبفرض $t_{Off} = T - t_{On}$.

$$\frac{V_0}{V_{in}} = \frac{T}{T - t_{On}} = \frac{1}{1 - \frac{t_{On}}{T}} = \frac{1}{1 - D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

ومن أجل دارة بدون مفاقيد يمكن القول أن:

$$\frac{I_0}{I_{in}} = (1 - D) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

بما أن D ذات قيمة تتراوح بين الصفر والواحد، فإن توتر الخرج سيكون دائماً أكبر من توتر الدخل بالقيمة.



الشكل (44) التوتر عبر الملف وتغيرات تيار الملف.

مثال (21):

بين كيف يصبح توتر خرج المقطع التفرعي أكبر من توتر الدخل. الشكل (45-a) يوضح دارة الاستطاعة للمقطع باستخدام ترانزستور MOSFET. يعمل المقطع بمرحلتين Mode1 و Mode2. اشرح آلية العمل والمعادلات الناظمة عندئذ.

الحل:

يتم توصيل القاطع Q_1 عند الزمن $t=0$، حيث يبدأ تيار الملف بالتزايد، وعند الزمن t_1 يفتح القاطع وسوف يستمر التيار بالمرور عبر الملف والديود والمكثف والحمل.

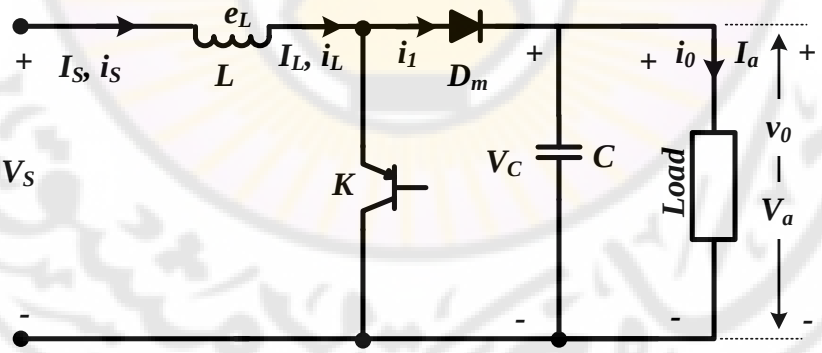
وسوف يتناقص تيار الملف حتى نبدأ دور جديد. الأشكال المكافئة (b) توضح حالتي التشغيل Mode1 و Mode2.

- بفرض أن تيار الملف يتزايد خطياً من I_1 حتى I_2 خلال الزمن t_1 (فترة توصيل Q_1):

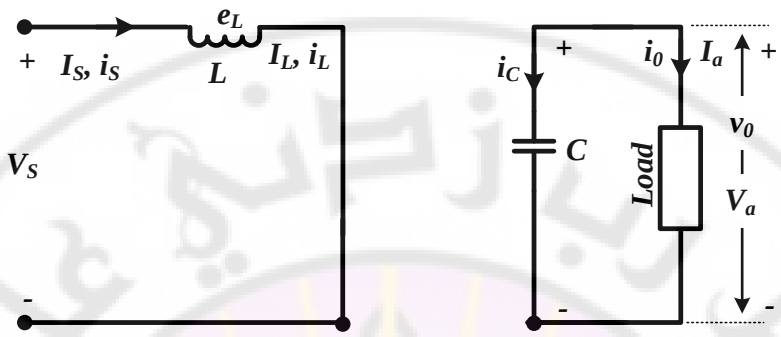
$$V_S = L\frac{I_2 - I_1}{t_1} = L\frac{\Delta I}{t_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

أو أن:

$$t_1 = \frac{\Delta I \times L}{V_S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$



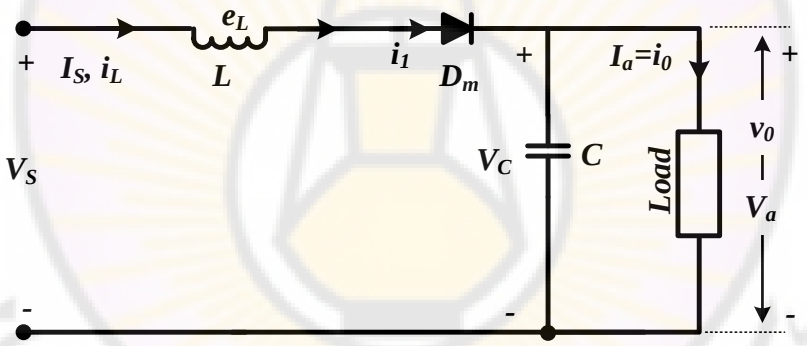
-a- دارة الاستطاعة للمقطع التفرعي.



-b- تشغيل المقطع التفرعي بتيار مستمر.

حالة التشغيل الأولى Mode1.

حالة التشغيل الثانية Mode2.



-c- أشكال التوترات والتيارات.

– خلال الزمن من t_1 حتى t_2 فترة فتح القاطع Q، تيار الملف سوف يتناقص من I_2 إلى I_1:

$$V_S - V_a = -L\frac{\Delta I}{t_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

أو أن:

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

$\Delta I = I_2 - I_1$ (تغيرات التيار من القمة للقمة) للملف التسلسلي L. ومن العلاقات (1) و (3) نجد:

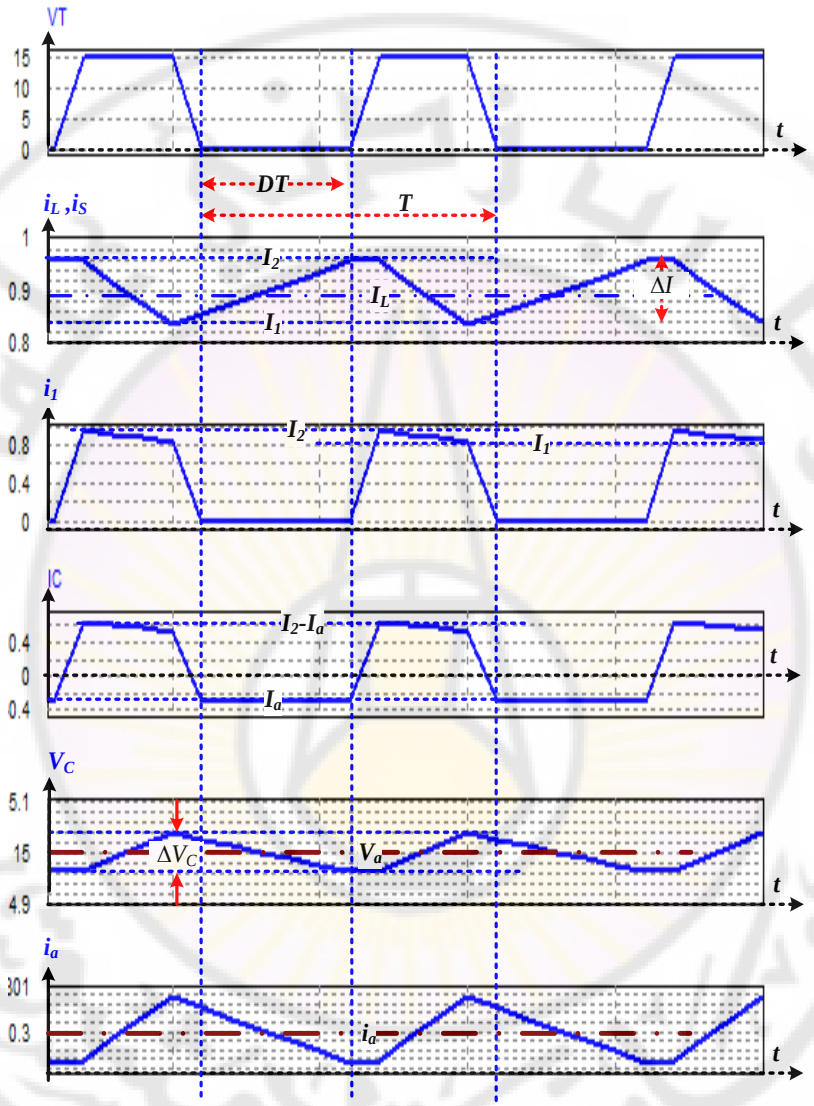
$$\Delta I = \frac{V_S t_1}{L} = \frac{(V_a - V_S)t_2}{L}$$

وبفرض أن $t_1 = DT$ و $t_2 = (1-D)T$ فإن التوتر المتوسط في الخرج سيكون:

$$V_a = V_S \frac{T}{t_2} = \frac{V_S}{1-D} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

في العلاقة أعلاه إذا عوضنا عن $D = \frac{t_1}{T}$ بالقيمة $D = t_1.F$ نجد:

$$t_1 = \frac{V_a - V_S}{V_a.F} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$



الشكل (45) -c- تغيرات التوترات والتيارات مع الزمن.

– بفرض عدم وجود مفاقيد في الدارة يمكن كتابة:

$$V_S.I_S = V_a.I_a = \frac{V_S.I_a}{(1-D)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

وعليه فإن تيار الدخل المتوسط سيعطى بالشكل:

$$I_S = \frac{I_a}{1-D} \quad \text{.....(8)}$$

– دور التقطيع T يمكن إيجاده من العلاقة:

$$T = \frac{1}{F} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I.L}{V_S} + \frac{\Delta I.L}{V_a - V_S} = \frac{\Delta I.L.V_a}{V_S(V_a - V_S)} \quad \text{.....(9)}$$

ومن هنا يمكن حساب تعرجات التيار العظمى ΔI:

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

أو:

$$\Delta I = \frac{V_S D}{F.L} \quad \text{.....(11)}$$

– عندما يكون الترانزستور موصلاً، يقدم المكثف التيار للحمل خلال الزمن $t=t_1$. ومتوسط تيار المكثف خلال الزمن t_1 هو $I_c=I_a$، والقيم العظمى لتغيرات توتر المكثف تحسب بالعلاقة:

$$\Delta V_C = V_C - V_C(t=0) = \frac{1}{C}\int_0^{t_1} I_C dt = \frac{1}{C}\int_0^{t_1} I_a dt$$

$$\Delta V_C = \frac{I_a t_1}{C} \quad \text{.....(12)}$$

بالتعويض أعلاه عن t_1 بقيمتها من العلاقة (6) نجد:

$$\Delta V_C = \frac{I_a(V_a - V_S)}{V_a.F.C} \quad \text{.....(13)}$$

أو أن:

$$\Delta V_C = \frac{I_a.D}{F.C} \quad \text{.....(14)}$$

– في حال كون تيار الملف مستمراً غير متقطع، وكذلك توتر المكثف، بما أن I_L هو التيار المتوسط للملف، فإن تعرجات التيار عندئذ تساوي

$$\Delta I = 2I_L$$

بالاعتماد على العلاقات (5) و (11) نحصل على:

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

ومنها نحسب القيمة الحرجة للحثية L:

$$L_C = L = \frac{D(1-D)R}{2.F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

– إذا كان V_C التوتر المتوسط للمكثف، تعرجات التوتر

$$\Delta V_C = 2V_a$$

بالاعتماد على العلاقة (14) نحصل على:

$$\frac{I_a.D}{C.F} = 2V_a = 2I_a.R$$

ومنها نحسب القيمة الحرجة لسعة المكثف:

$$C_C = C = \frac{D}{2.F.R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

مسألة 22 : تطبيق على المقطع التفرعي (الرافع للتوتر):

بالعودة للمقطع التفرعي الوارد في الشكل (45-a) إذا كان توتر الدخل 5V. والتوتر المتوسط في الخرج V_a=15V. ومتوسط تيار الحمل I_a=0.5A، وتردد التقطيع 25KHz. L=150µH، C=220µF. بين ما يلي:

a- عامل الدور D.

b- تغيرات تيار الملف ΔI.

c- التيار الأعظمي للملف I_2.

d- تعرجات التوتر لمكثف الترشيح ΔV_C.

e- القيم الحدية الحرجة (Critical) للملف L والمكثف C.

الحل:

a- من العلاقة:

$$V_a = \frac{V_S}{1-D}$$

لدينا:

$$15 = \frac{5}{1-D} \Rightarrow D = \frac{2}{3} = 0.6667$$

b- من العلاقة:

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

بالتعويض لدينا:

$$I_S = \frac{0.5}{(1-0.6667)} = 1.5A$$

والقيمة العظمى لتيار الملف تساوي:

$$I_2 = I_S + \frac{\Delta I}{2} = 1.5 + \frac{0.89}{2} = 1.945A$$

d- من العلاقة:

$$\Delta V_C = \frac{I_a.D}{F.C}$$

بالتعويض نجد:

$$\Delta V_C = \frac{0.5 \times 0.667}{25000 \times 220 \times 10^{-6}} = 60.61mV$$

e- لحساب القيم الحرجة الحدية لحثية الملف والمكثف ، نحسب مقاومة الحمل R:

$$R = \frac{V_a}{I_a} = \frac{15}{0.5} = 30\Omega$$

من العلاقة:

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

$$L_C = \frac{0.6667(1-0.6667)\times 30}{2\times 25000} = 133\mu H$$

من العلاقة:

$$C_C = \frac{D}{2.F.R} = \frac{0.6667}{2\times 25000\times 30} = 0.44\mu F$$

مثال (23)

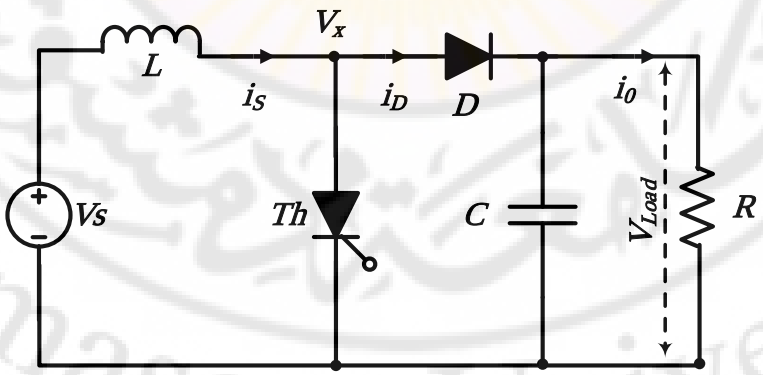
مقطع تفرعي مثالي مبين في الشكل (46) ينقل الاستطاعة من منبع ذي توتر 100V مستمر إلى حمل بمقاومة 3Ω. إذا كان التيار المتوسط الاسمي للديود 100A. وتردد التقطيع 1KHz. حدد ما يلي:

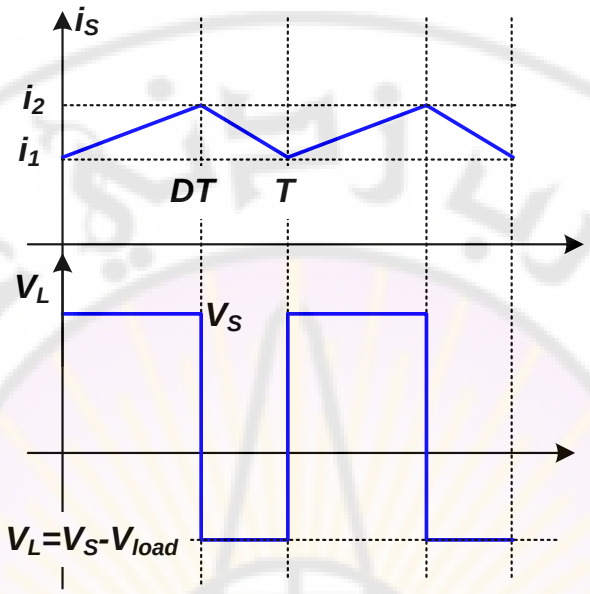
a- ما هي الاستطاعة المتوسطة العظمى المستهلكة في الحمل.

b- ما هو عامل الدور D للثيرستور Th.

c- ما هو معدل التيار المتوسط للثيرستور المستخدم.

الحل:





الشكل (46) دارة الاستطاعة– التوترات والتيارات.

a- عند التشغيل المستمر تيار المكثف يمكن اعتباره مساوياً للصفر.

لذا فإن التيار المتوسط I_1 في الحمل هو نفس التيار القادم من الديود D. أي أن $I_1=100A$. وبما أن المكثف يحافظ نظرياً على V_1 ثابتاً فإن الاستطاعة المتوسطة P المستهلكة في الحمل تحسب بالشكل:

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T V_l.i_p dt=\frac{V_l}{T}\int_0^T i_l dt=V_l.I_l=I_l^2.R$$

$$P=(100)^2\times 3=30\times 10^3 Watt.$$

b- التوتر المتوسط على الحمل V_1 يمكن إذاً حسابه من العلاقة:

$$V_l=\frac{P}{I_l}=\frac{30\times 10^3}{100}=300V$$

ونحن نعلم أن:

$$V_l=\frac{V_S}{1-D}$$

وعليه فإن:

$$D = 1 - \frac{V_S}{V_l} = 1 - \frac{100}{300}$$

$$D = 0.6667$$

c-- بما أن المقطع مثالي $\eta=100\%$. فإن استطاعة الدخل تساوي استطاعة الخرج. أي أن استطاعة الدخل $V_S.I_S$ تساوي 30×10^3 وات.

$$I_S = \frac{P}{V_S} = \frac{30\times10^3}{100} = 300A$$

ومنه فإن التيار اللحظي للثيرستور i_{Th} يمكن حسابه بتطبيق كيرشوف في العقدة x حيث:

$$i_{Th} = i_S - i_D$$

وحسب القيم المتوسطة للتيارات:

$$I_{Th} = I_S - I_D = I_S - I_l$$

$$I_{Th} = 300 - 100 = 200A$$

هذا ويجب أن يكون تيار الثيرستور الفعلي أكبر من هذه القيمة لتأمين كامل الاستطاعة للحمل مع عامل أمان للحالات العابرة، وحالة تغير أو انخفاض لمقاومة الحمل المتغير.

وإن اختيار ثيرستور يستطيع تحمل تيار المنبع سيكون هو الخيار المثالي.

مثال (24):

لدينا دارة المقطع التفرعي (Boost Converter) باعتبار أن $dv/dt = ct,\ \ di/dt = ct$. إذا علمت أن فترة توصيل القاطع هي $T_{ON}=D.T$. وفترة الحجز هي $T_{OFF}=(1-D)T$، المطلوب كتابة معادلات التيار المارة في المفاعلة وتيار التعريج والديود، قيمة المفاعلة الأصغرية، حساب قيمة السعة اللازمة للحصول على عامل تعريج محدد للجهد.

الحل:

لدينا خلال دور كامل هبوط التوتر الوسطي على المفاعلة يساوي الصفر أي خلال الزمن T:

$$\int_0^{DT} v_L dt = \int_0^{t_{on}} v_L dt + \int_0^{t_{off}} v_L dt = 0$$

$$V_g \times DT + (V_g - V_0)(1 - DT) = 0$$

$$V_0 = \frac{1}{1-D} V_g$$

$$V_g . I_g = V_0 . I_0$$

$$\Rightarrow I_g = \frac{I_0}{1-D}$$

في هذا المقطع لدينا

$$I_g = I_L$$

تغير التيار المار في المفاعلة يعطى بالمعادلة:

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} \int_0^{DT} v_L dt$$

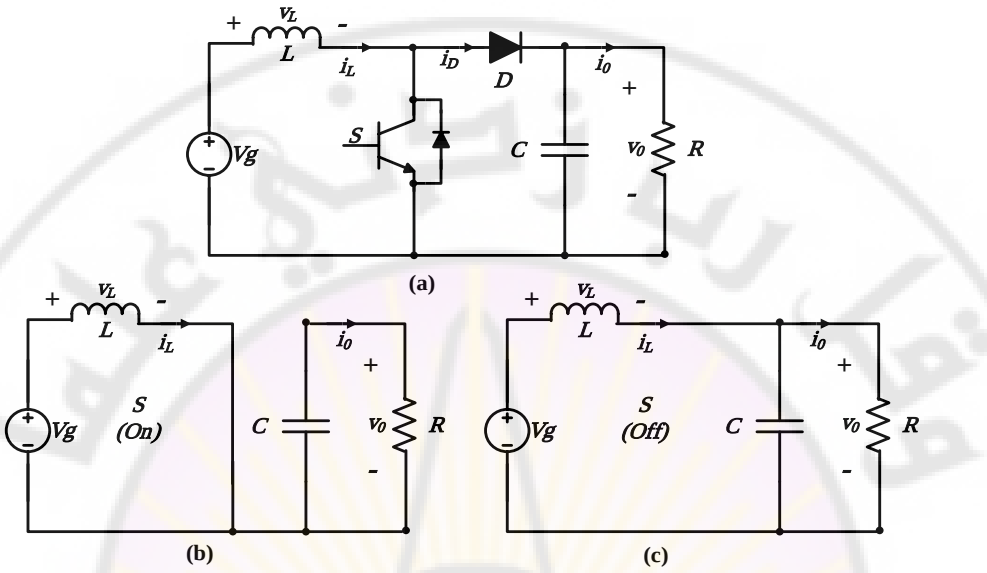
أي المساحة المحصورة تحت موجة التوتر الهابط على المفاعلة مقسوماً على قيمة المفاعلة، وعليه :

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} V_g \times DT$$

$$I_{L,\max} = I_L + \frac{1}{2} \Delta i_L$$

:

$$I_{L,\min} = I_L - \frac{1}{2} \Delta i_L$$

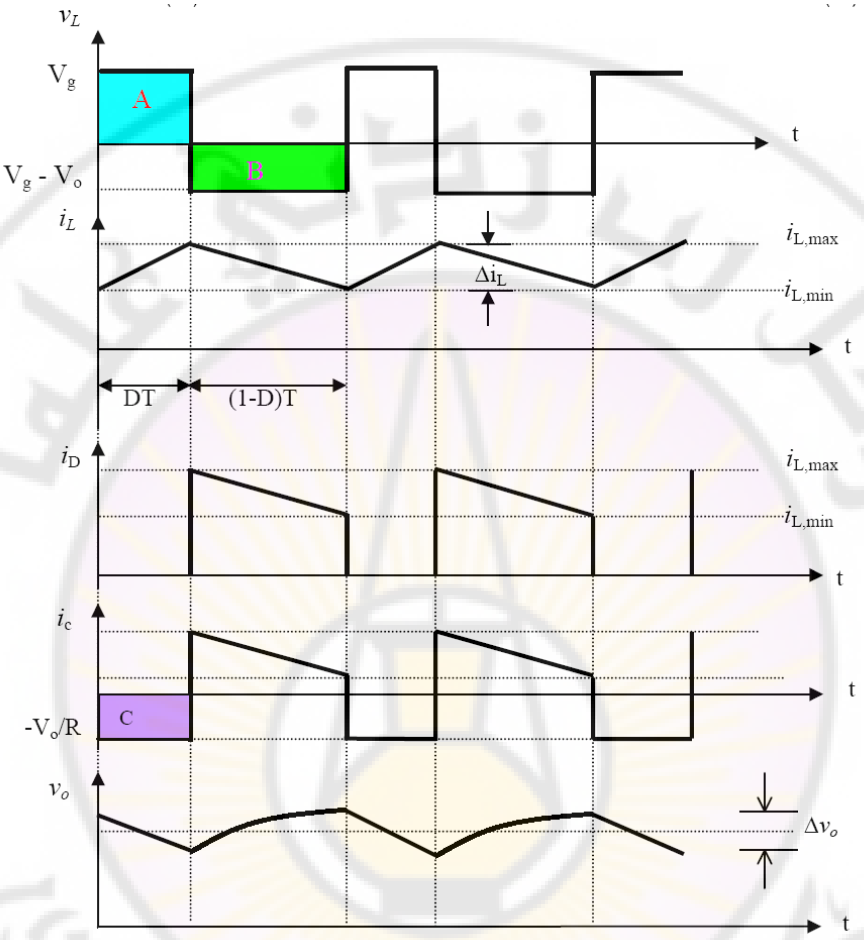


يمكن حساب قيمة تيار المفاعلة الوسطي من العلاقة

$$I_D = I_0 = (1-D)I_L \Rightarrow$$

$$I_L = \frac{I_0}{(1-D)} = \frac{V_0}{(1-D)R}$$

إن التوتر الهابط على المكثفة يتغير أي أن هبوط التوتر Δv_0 يمكن الحصول عليها من خلال التيار المار في السعة i_C، حيث أن المساحة المحصورة تحت موجة $\Delta v_0 = \Delta v_C = \frac{1}{C}\int i_C dt$ تمثل تيار السعة على المفاعلة مقسوماً على قيمة المفاعلة L أي:



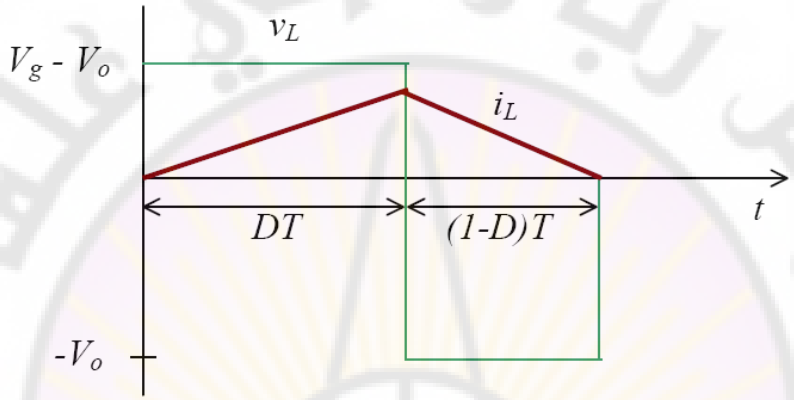
(d)

الشكل (47) a– دارة الاستطاعة. (b,c) الدارات المكافئة.d- التوترات والتيارات.

$$\Delta v_0 = \frac{1}{C} \times \frac{V_0}{R} DT$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta v_0}{V_0}\% = \frac{D}{CRf}\%$$

الحد الفاصل بين شروط استمرار التيار بالمرور وحدوث انقطاع في التيار يمكن تحديده وذلك عندما تصبح قيمة تيار المفاعلة مساوية للصفر في نهاية الدور أي أن التيار المار في المفاعلة يتغير كما هو مبين في الشكل التالي:



الشكل (48) الحالة الحدية لاستمرار تيار الملف.

أي

$$I_L = \frac{1}{2}\Delta i_L$$

في هذا المقطع لدينا

$$I_D = I_0 = \frac{V_0}{R} \Rightarrow$$

$$\Delta i_L = \frac{1}{L}V_g DT = \frac{1}{L}(V_g - V_0)(1-D)T$$

يمكن من خلال المعادلة السابقة تحديد القيمة الحدية الصغرى لتيار الحمل ولمقاومة الحمل والمفاعلة وتردد عمل المقطع كما يلي:

$$I_L = \frac{1}{2}\Delta i_L = \frac{1}{2L}V_g DT$$

$$I_0 = (1-D)I_L \Rightarrow$$

$$\frac{I_0}{1-D} = \frac{1}{2}\Delta i_L = \frac{1}{2L}V_g DT$$

$$\Rightarrow I_{0.\min} = \frac{1}{2L}V_g (1-D)DT$$

$$\Rightarrow I_{0.\min} = \frac{1}{2L}V_0 D(1-D)^2 T$$

$$I_L = \frac{1}{2}\Delta i_L$$

$$\frac{V_0}{R(1-D)} = \frac{1}{2L}V_g .DT = \frac{1}{2L}V_0 (1-D)DT$$

$$\Rightarrow L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 \times DT \times R}{2} = \frac{D(1-D)^2 \times R}{2f}$$

$$\Rightarrow f_{\min} = \frac{D(1-D)^2 \times R}{2L}$$

$$\Rightarrow R_{\min} = \frac{2Lf}{D(1-D)^2}$$

علماً أن حساب أي من القيم السابقة يتم عندما يكون هناك قيمة مجهولة فقط.

إن تعريج التيار يحسب كما يلي

$$CR\% = \frac{\Delta i_L}{I_L}$$

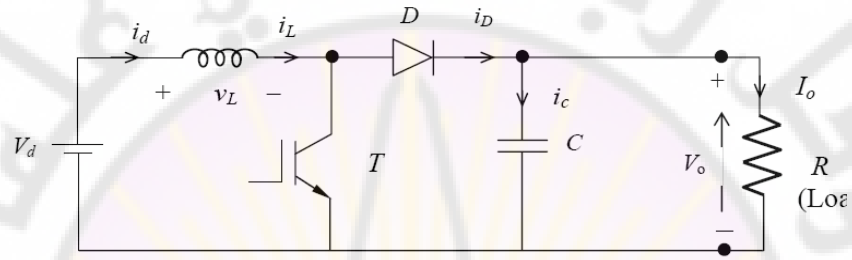
$$\frac{V_0}{(1-D)R} = \frac{1}{L}V_0 (1-D)DT$$

$$\Rightarrow CR\% = \frac{R}{Lf}D(1-D)^2\%$$

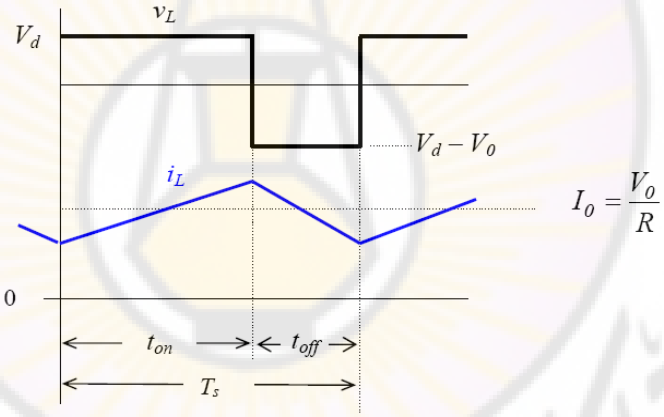
مثال (25)

لدينا دارة المقطع التفرعي Boost converter

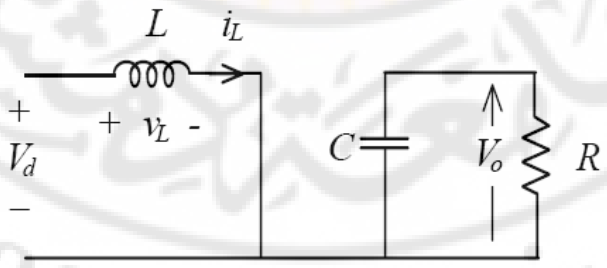
$$D = \frac{t_{on}}{T_S}, t_{off} = (1-D)T_S$$



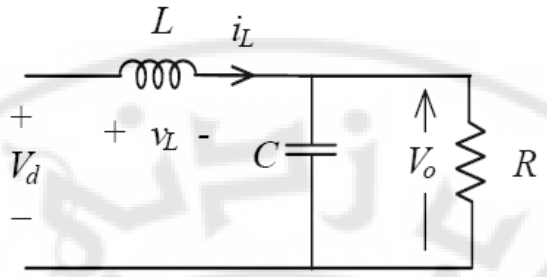
(a)



(b)



(c) Circuit during t_{on}



(d) Circuit during t_{off}

الشكل (49): a- دارة الاستطاعة،b- التوترات والتيارات، d- الدارة المكافئة عند الوصل ، d – الدارة المكافئة عند الفصل

باعتبار أن : di/dt = cosnt . ، dv/dt = cosnt

إذا علمت أن فترة توصيل القاطع هي T_{ON}=D.T، وفترة الحجز هي T_{OFF}=(1-D)T، المطلوب كتابة معادلات التيار المار في المفاعلة وتعريج التيار التعريج وتيار الديود، قيمة المفاعلة الأصغرية، حساب قيمة السعة اللازمة للحصول على عامل تعريج محدد للجهد.

الحل:

خلال دور كامل يساوي هبوط التوتر الوسطي على المفاعلة الصفر أي خلال الزمن T.

$$\int_0^{T_S} v_L dt = L \int_{i(0)}^{i(T_S)} v_L = 0$$

$$V_d \times DT_S + (V_d - V_0)(1-D)T_S = 0$$

$$V_0 = \frac{1}{1-D} V_d$$

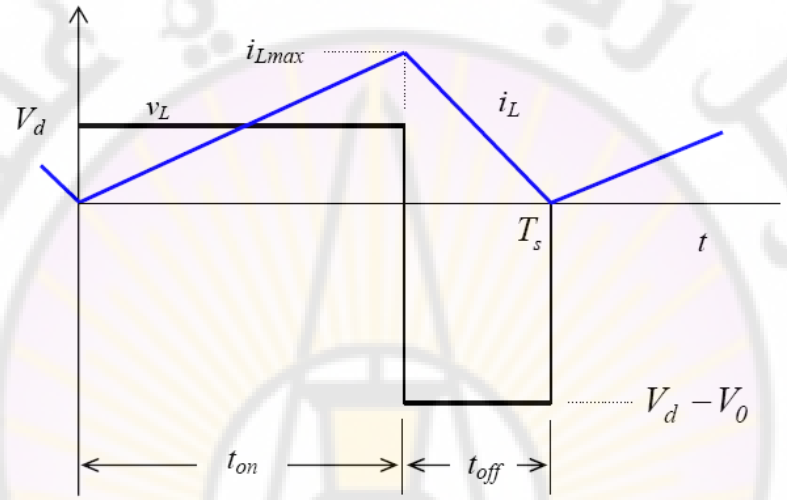
$$V_d I_d = V_0 I_0$$

$$\Rightarrow I_d = \frac{I_0}{1-D}$$

في هذا المقطع لدينا:

$$I_L = I_d = \frac{I_0}{1-D} = \frac{V_0}{R(1-D)} = \frac{V_d}{R(1-D)^2}$$

الشروط الحدية للعمل عند تيار غير متقطع:



الشكل (50): التيار الحدي تبعاً لعامل الدور

يبين الشكل حالة العمل عند تيار مستمر بدون تقطيع وعليه فإن تيار المفاعلة الحدي هو:

$$I_{LB} = \frac{1}{2} i_{L\max} = \frac{1}{2}\frac{V_d}{L} D T_S = \frac{1}{2}\frac{V_0}{L} D(1-D) T_S$$

يبين الشكل التالي كيف تتغير قيمة تيار المفاعلة وتيار الحمل الحدي كتابع لفترة التوصيل:

إن تيار الحمل الحدي يعطى بالعلاقة:

$$I_{0B} = \frac{1}{2}\frac{V_0}{L} D(1-D)^2 T_S$$

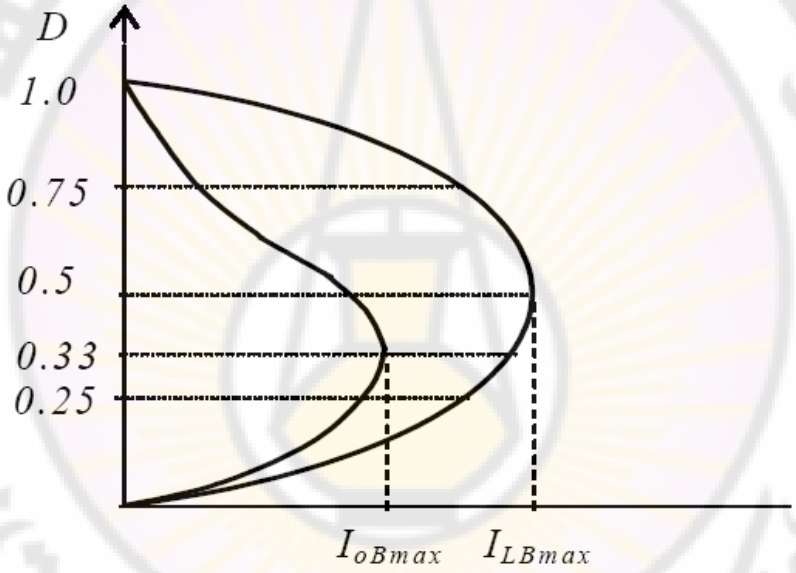
يمكن من خلال الشكل ملاحظة أن القيمة العظمى لتيار الحمل الحدي هي عند D=1/3

ولتيار المفاعلة الحدي هي عند القيمة D=1/2

وعليه:

$$I_{LB} = \frac{T_S V_0}{8L}$$

$$I_{0B} = \frac{2}{27}\frac{T_S V_0}{L}$$



الشكل (51): عامل الدور كتابع لتيار الملف

والقيمة العظمى والصغرى لتيار المفاعلة هي:

$$i_{L\max} = I_L + \frac{1}{2}\Delta i_L = \frac{V_d}{R(1-D)^2} + \frac{V_d}{2L}DT_S$$

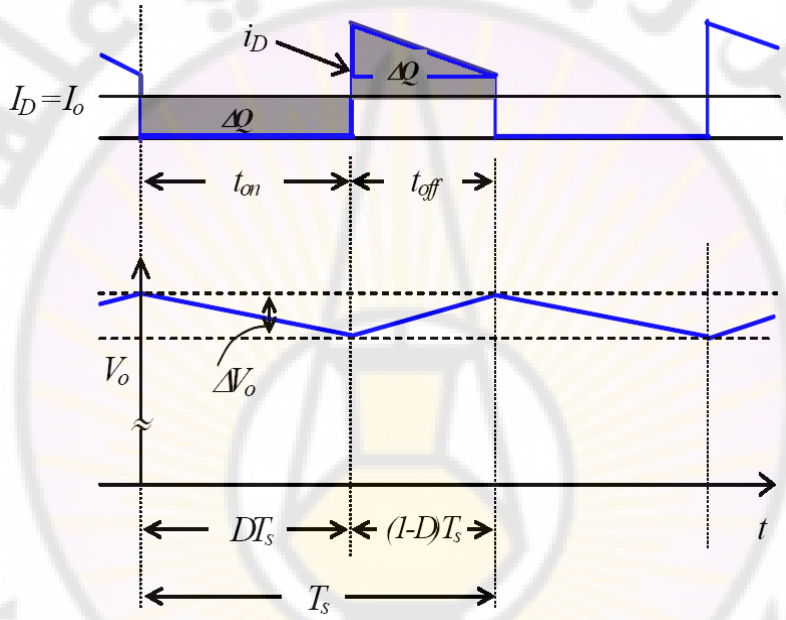
$$i_{L\min} = I_L - \frac{1}{2}\Delta i_L = \frac{V_d}{R(1-D)^2} - \frac{V_d}{2L}DT_S$$

نجعل تيار المفاعلة الأصغري مساوياً للصفر لحساب قيمة المفاعلة الأصغرية التي تجعل التيار المار غير متقطع وعليه:

$$i_{L\min} = 0 \Rightarrow \frac{V_d}{R(1-D)^2} = \frac{V_d}{2L} DT_S = \frac{V_d}{2Lf_S} D$$

$$Lf_S \geq \frac{1}{2} R(1-D)^2 D$$

لحساب تعريج توتر الخرج، يبين الشكل(52) تغير توتر الخرج كما يلي:



الشكل (52): متغيرات توتر الخرج

$$\Delta v_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_0 DT_S}{C} = \frac{V_0 DT_S}{RC} \Rightarrow \frac{\Delta v_0}{V_0}\% = \frac{DT_S}{RC}\%$$

إن تعريج التيار يحسب كما يلي:

$$CR\% = \frac{\Delta i_L}{I_L}\%$$

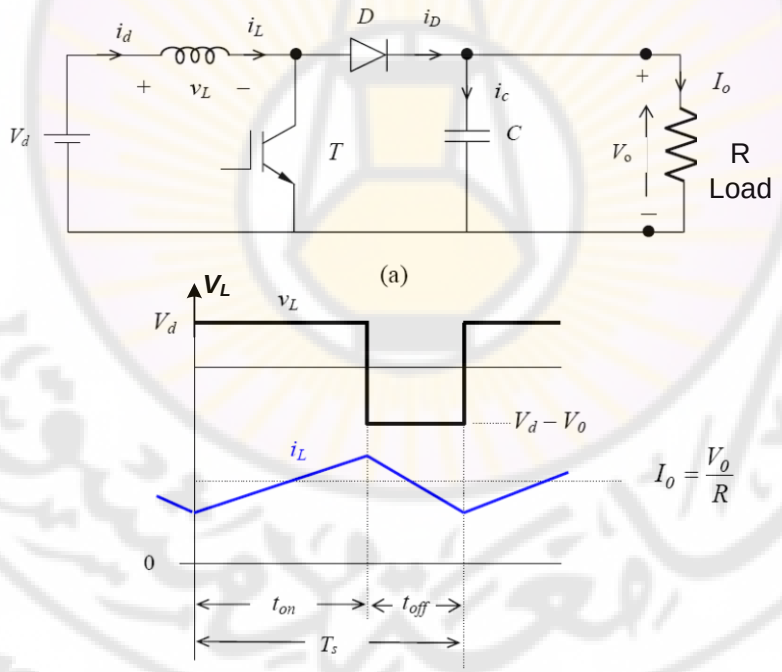
$$I_L = \frac{V_d}{R(1-D)^2}$$

$$\Delta i_L = \frac{V_d}{L} D T_S$$

$$\Rightarrow CR\% = \frac{R}{L f_S} D(1-D)^2\%$$

مثال (26):

لدينا دارة المقطع التفرعي:



الشكل (53): دارة الاستطاعة– التوتر والتيار في الملف

$$D = \frac{t_{on}}{T_S}, t_{off} = (1-D)T_S$$

باعتبار أن dv/dt=c ،di/dt=c

إذا علمت أن:

$$V_d = 12V, V_0 = 30V, R = 50\Omega, f_S = 25kHz$$

احسب ما يلي:

$$L, \Delta i_L, C \qquad for \quad \Delta V_0 / V_0 < 10\%$$

الحل:

عند شروط عمل بدون تيار متقطع

$$\frac{V_0}{V_d} = \frac{1}{1-D} \Rightarrow D = 0.6$$

$$Lf_{S\min} = \frac{1}{2} R(1-D)^2 D$$

$$L_{\min} = 96\mu H$$

نختار قيمة أكبر للمفاعلة للتأكيد على استمرارية التيار ولتكن:

$$L_{\min} = 120\mu H$$

نحسب تيار المفاعلة

$$I_L = \frac{V_d}{R(1-D)^2} = \frac{12}{50(1-0.6)^2} = 1.5A$$

$$I_{L\max} = 1.5 + \frac{V_d D T_S}{2L} = 2.7A$$

$$\Rightarrow I_{L\min} = 0.3A$$

$$\Rightarrow \Delta i_L = 2.7 - 0.3 = 2.4A$$

حساب السعة

$$C \geq \frac{DT_S}{R\left(\frac{\Delta v_0}{V_0}\right)} = \frac{DT_S}{Rf_S\left(\frac{\Delta v_0}{V_0}\right)} = \frac{0.6}{25\times10^3\times50\times0.01}$$

$$C \geq 48\mu F$$

مثال (27):

في مقطع رافع للتوتر (Step- Up) تم تعيير عامل الدور لتنظيم توتر الخرج V_0 عند القيمة 48V. توتر الدخل يتغير ضمن مجال واسع من 12 فولت حتى 36 فولت. استطاعة الخرج العظمى 120W. من أجل الاستقرار، من الضروري تشغيل المبدل في حالة عدم الاستمرار (تيار حمل متقطع)، تردد التبديل 50KHz.

بفرض عناصر أو مكونات مثالية وأن قيمة C كبيرة جداً، احسب القيمة العظمى لـ L الممكن استخدامها.

الحل:

في هذا المبدل :

V_0=48V و T_S=20μs و $I_{0,max} = \frac{120W}{48V} = 2.5A$.

لا يجاد القيمة العظمى لـ L والتي تحافظ على تيار حمل متقطع، سوف نفرض العمل عند الحالة الحدية القصوى، وأن تيار الحثية هو عند الحد الأخير من حالة استمرار التوصيل.

- من أجل المجال المعطى حيث V_0 تتراوح بين (12 – 30) فولت، فإن D ستكون ضمن المجال (0.25 – 0.75) (والتي توافق أن التيار يكون على الحد الاخير للاستمرار). من أجل هذا المجال لـ D ومن الشكل (54-b)، التيار I_{0B} سيكون له القيمة الدنيا D=0.75.

$$\frac{V_0}{V_d}=\frac{1}{1-D}$$

$$\frac{48}{36}=\frac{1}{1-D}\Rightarrow 48-48D=36$$

$$48D=12\Rightarrow D=\frac{12}{48}=\frac{1}{4}=0.25$$

أو حالة

$$\frac{48}{12}=\frac{1}{1-D}\Rightarrow 48-48D=12$$

$$48D=36\Rightarrow D=0.75$$

- التيار I_{0B} سيأخذ أصغر قيمة عند D=0.75.

بتعويض D=0.75 بالعلاقة المبينة أدناه، من أجل I_{0B} ، وحل المعادلة عند القيمة العظمى 2.5A

$$I_{0B}=\frac{T_S.V_0}{2L}D(1-D)^2$$

$$L=\frac{20\times10^6\times48}{2\times2.5}\times0.75(1-0.75)^2=9\mu H$$

$$V_d=12V,\quad P=120W$$

$$V_d t_{on}+(V_d-V_0)t_{off}=0$$

بتقسيم كلا الطرفين على T_S وترتيب المعادلة:

$$\frac{V_0}{V_d}=\frac{T_S}{t_{off}}=\frac{1}{1-D}$$

بفرض $P_d = P_0$ ولا يوجد مفاقيد:

$$V_d.I_d=V_0.I_0$$

$$\frac{I_0}{I_d}=1-D$$

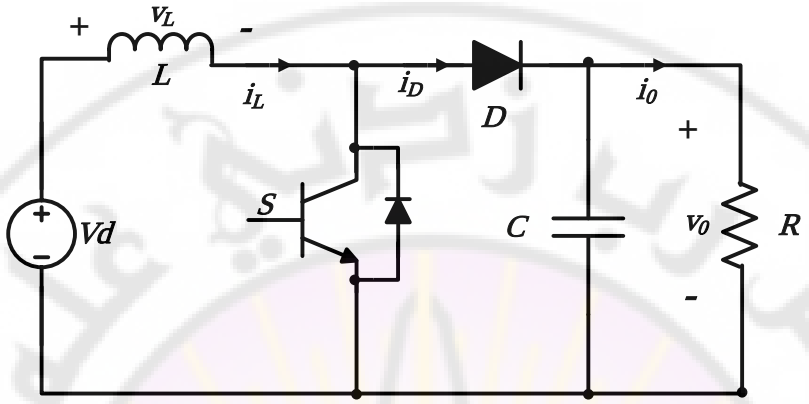
– بفرض أن التيار i_L يذهب للصفر عند نهاية كل دور، القيمة المتوسطة لتيار الحثية inductor سيكون في الحدود:

$$I_{LB} = \frac{1}{2} i_{L,peak}$$
$$= \frac{1}{2} \frac{V_d}{L} t_{on}$$
$$= \frac{T_S . V_0}{2L} D(1-D)$$

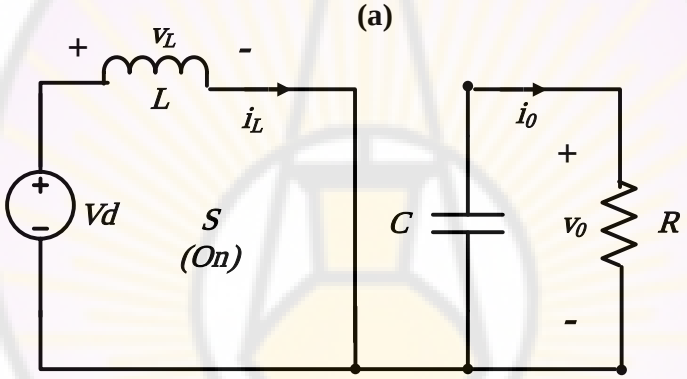
وبالتعويض وبفرض أن $i_d = i_L$ في المقطع الرافع للتوتر. نجد

$$I_{0B} = \frac{T_S . V_0}{2L} D(1-D)^2$$

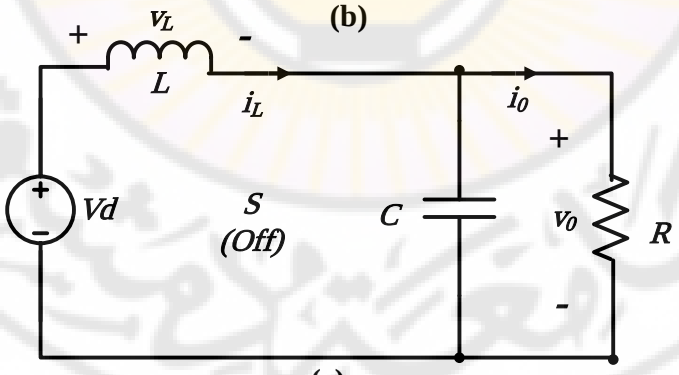
$I_{LB,\ maximum}$ at D=0.5.


+
v_L
-
L
i_L
i_D
D
i_0
+
S
C
v_0
R
-
Vd

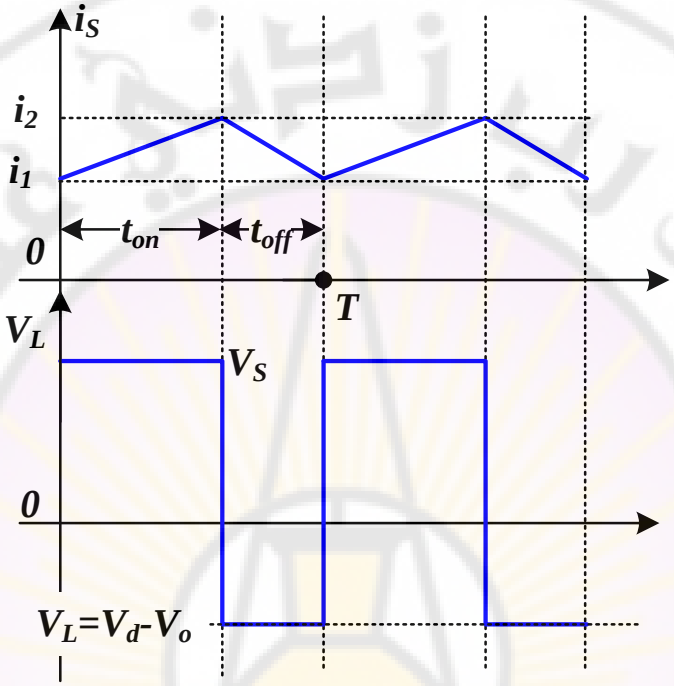
(a)


+
v_L
-
L
i_L
i_0
+
Vd
S
(On)
C
v_0
R
-

(b)


+
v_L
-
L
i_L
i_0
+
Vd
S
(Off)
C
v_0
R
-

(c)



(c)

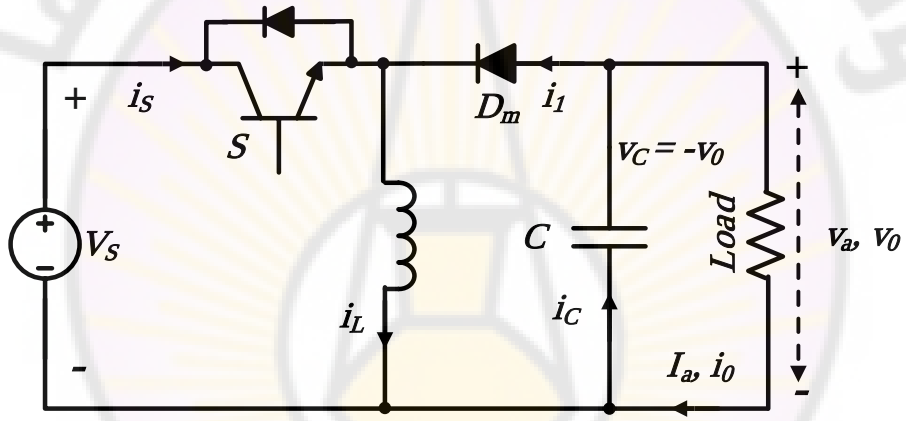
الشكل(54) a- دارة الاستطاعة, b - الدارات المكافئة، c- التوترات والتيارات.

4 -المقطع العكسي غير المباشر ذو المجمع التحريضي (Inverting regulator) أو المقطع الخافض الرافع (Buck- Boost Regulator):

مثال (27):

هذا المقطع يمكنه أن يقدم توتر خرج أصغر أو أكبر من توتر الدخل. قطبية توتر الخرج معاكسة لقطبية توتر الدخل. الشكل (55-a) يوضح دارة الاستطاعة. والأشكال (b) و (c) توضح الدارة المكافئة خلال مرحلتي العمل Mode1 و Mode2 وكذلك أشكال التوترات والتيارات في مختلف عناصر المقطع.

– خلال فترة تشغيل القاطع Q_1، الديود D_m يكون في حالة حجز قسري. تيار الدخل يتزايد عبر الممانعة L و Q_1. وهي المرحلة الأولى. خلال المرحلة الثانية تعمل على حجز Q_1 لكن التيار الذي كان ماراً في الحثية L سوف لن يتوقف، لذا سوف يتابع المرور عبر (L و C و D_m والحمل). القدرة التي تم تخزينها في الملف L سوف تحول وتنتقل للحمل لذا سوف يتناقص تيار الملف حتى نعود ونعمل على تشغيل القاطع Q_1 بدور جديد.



الشكل (a-55) دارة الاستطاعة للمقطع العكسي.

– بفرض أن تيار الملف يتزايد بشكل خطي من القيمة I_1 حتى I_2 خلال الزمن t_1:

$$V_S = L\frac{I_2 - I_1}{t_1} = L\frac{\Delta I}{t_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

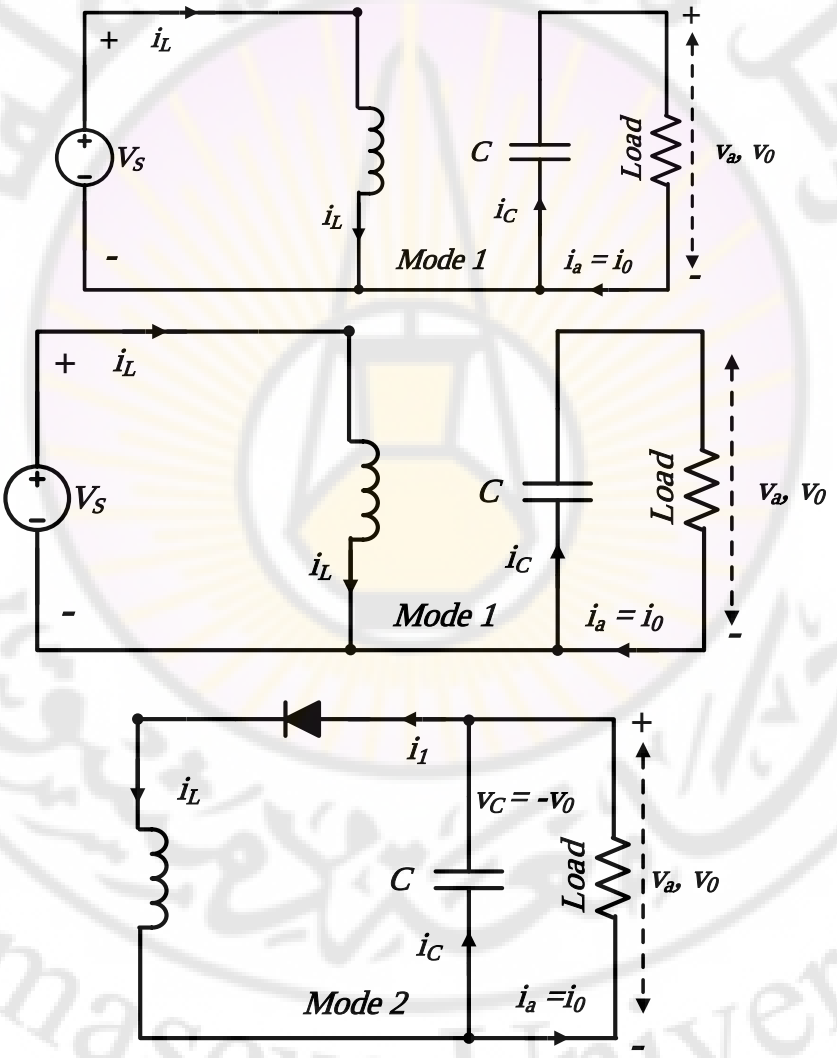
$$t_1 = \frac{\Delta I \times L}{V_S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

لدى فتح القاطع Q_1. تيار الملف يتناقص من I_2 إلى I_1 خلال الزمن t_2:

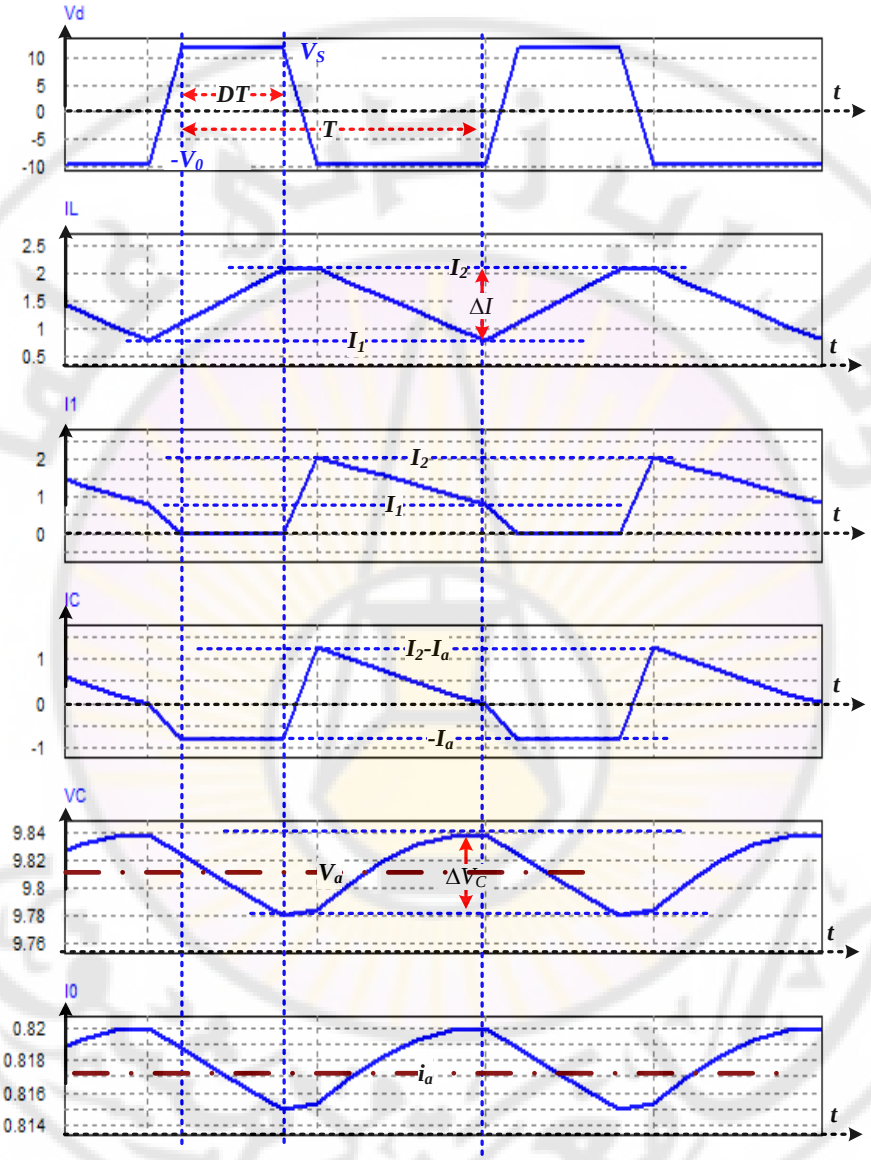
$$V_a = -L\frac{\Delta I}{t_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

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

$$\Delta I = I_2 - I_1$$



الشكل (55-b) الدارات المكافئة خلال كلا فترتي التشغيل.



الشكل (55-c) أمواج التوتر والتيار لعناصر المقطع العكسي.

من العلاقة (1) و (3) لدينا:

$$\Delta I = \frac{V_S.t_1}{L} = \frac{-V_a.t_2}{L}$$

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

$$V_a = \frac{-V_S.D}{1-D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

ومنه

$$\frac{V_a}{V_S} = \frac{D}{1-D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

بالتعويض عن $t_1=DT$ و $t_2=(1-D)T$ بالعلاقة (6) نجد:

$$\frac{V_a}{V_S} = \frac{t_1/T}{\left(1-\frac{t_1}{T}\right)} = \frac{t_1}{T+t_1} = \frac{t_1}{\frac{1}{F}+t_1}$$

$$V_a\left(\frac{1}{F}+t_1\right) = V_S.t_1$$

$$\frac{V_a}{F} + V_a t_1 = V_S t_1$$

$$\frac{V_a}{F} = t_1(V_S - V_a)$$

$$t_1 = \frac{V_a}{(V_S - V_a)F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

– بفرض عدم وجود مفاقيد في الدارة، لذا فإن:

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

القيمة المتوسطة لتيار الدخل I_S مرتبطة بالقيمة المتوسطة لتيار الخرج I_a بالعلاقة:

$$I_S = \frac{I_a.D}{1-D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

– يمكن تحديد دور التقطيع T من العلاقة التالية:

$$T = \frac{1}{F} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I.L}{V_S} + \frac{\Delta I.L}{V_a} = \frac{\Delta I.L(V_a - V_S)}{V_S.V_a} \quad \text{.....(8)}$$

من العلاقة أعلاه نحدد التعرجات العظمى للتيار:

$$\Delta I = \frac{V_S.V_a}{F.L.(V_a - V_S)} \quad \text{.....(9)}$$

أو أن:

$$\Delta I = \frac{V_S.D}{F.L} \quad \text{.....(10)}$$

عندما يوصل الترانزستور Q_1، يقوم مكثف المرشح بتقديم تيار الحمل خلال الفترة $t=t_1$. متوسط تيار التفريغ للمكثف هو $I_C=I_a$ وتعرجات التوتر العظمى للمكثف تحسب بالشكل:

$$\Delta V_C = \frac{1}{C}\int_0^{t_1} I_C dt = \frac{1}{C}\int_0^{t_1} I_a.dt = \frac{I_a.t_1}{C} \quad \text{.....(11)}$$

بالتعويض عن $t_1 = \frac{V_a}{(V_a - V_S).F}$ أعلاه نجد:

$$\Delta V_C = \frac{I_a.V_a}{(V_a - V_S)F.C} \quad \text{.....(12)}$$

$$\Delta V_C = \frac{I_a.D}{F.C} \quad \text{.....(13)}$$

– شروط العمل عند تيار مستمر في المفاعلة (inductor) وتوتر المكثف:

إذا كان I_L التيار المتوسط للمفاعلة، فإن تعرجات تيار الممانعة $\Delta I = 2I_L$

وبالاعتماد على العلاقة $\left(V_a = \frac{V_S.D}{1-D}\right)$ والعلاقة $\Delta I = \frac{V_S.D}{F.L}$ نجد:

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

ومنه نجد قيمة الحثية الحرجة للملف:

$$L_C = L = \frac{(1-D)R}{2.F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

إذا كانت V_C هي القيمة المتوسطة لتوتر المكثف، فإن تعرجات توتر المكثف $\Delta V_C = 2V_a$. باعتماد العلاقات (13)، نجد:

$$\frac{I_a.D}{F.C} = 2V_a = 2I_a.R$$

ومنه فإن السعة الحرجة:

$$C_C = C = \frac{D}{2.F.R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

تطبيق (28):

المطلوب إيجاد التيارات والتوتر في المقطع العكسي:

إذا كان دخل المقطع العكسي في الشكل (55-a) V_S=12V، عامل الدور K=0.25 وتردد التقطيع 25KHz. المفاعلة ذات حثية L=150μH. وسعة مكثف المرشح C=220μF. وتيار الحمل المتوسط I_a=1.25A. حدد ما يلي:

a- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج.

b- تعرجات التوتر العظمى (قمة- قمة) للمكثف أو للخرج ΔV_C.

c- تعرجات التيار العظمى (قمة- قمة) للملف (مفاعلة) ΔI.

d- التيار الأعظمي المار في الترانزستور I_p.

e- القيم الحرجة الحدية للملف L وللمكثف C.

<u>الحل:</u>

a- باعتماد العلاقة رقم (5)

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

نجد:

$$V_a = \frac{12 \times 0.25}{(1 - 0.25)} = -4V$$

b- باعتماد العلاقة رقم (13)

$$\Delta V_C = \frac{I_a . D}{F . C}$$

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

c- باعتماد العلاقة رقم (10)

$$\Delta I = \frac{V_S . D}{F . L}$$

نجد تعرجات التيار العظمى للملف:

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

d- من العلاقة (7):

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

نجد أن:

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

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

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

e- يمكن حساب مقاومة الحمل بالعلاقة:

$$R = \frac{V_a}{I_a} = \frac{4}{1.25} = 3.2\Omega$$

– من العلاقة (14)

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

نجد

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

- من العلاقة (15)

$$C_C = \frac{D}{2.F.R}$$

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

مثال (29):

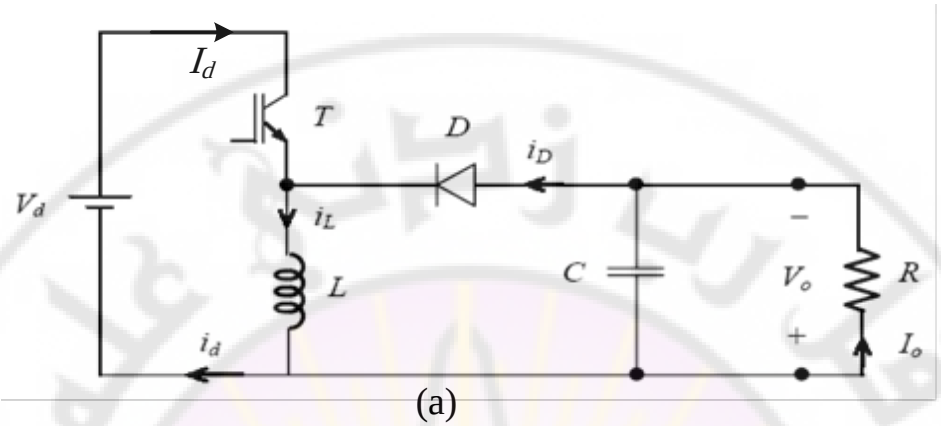
لدينا دارة المقطع التسلسلي التفرعي Buck- Boost Converter، باعتبار أن :

$dv/dt = ct, di/dt = ct$.

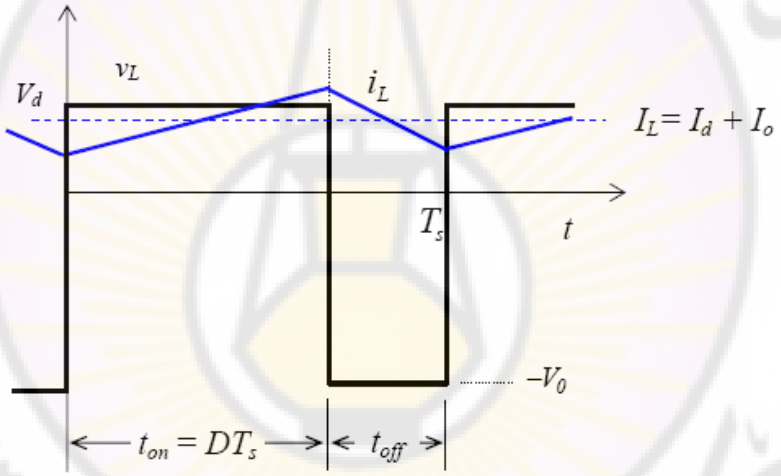
إذا علمت أن فترة توصيل القاطع هي T_{ON}=D.T، وفترة حجز هي T_{OFF}=(1-D)T، المطلوب كتابة معادلات التيار المارة في الملف وحساب تعريج التيار والتوتر.

الحل:

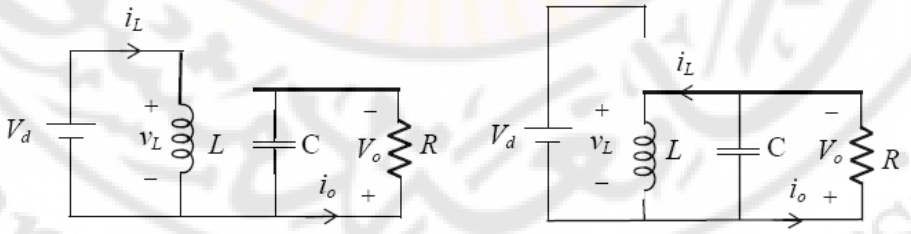
لدينا خلال دور كامل هبوط التوتر الوسطي على المفاعلة يساوي الصفر أي خلال الزمن T لدينا :



(a)



(b)



(c)

الشكل (56) – دارة الاستطاعة – توتر الملف والتيار – الدارات المكافئة.

$$\int_0^{T_S} v_L dt = L\int_{i(0)}^{i(T_S)} v_L = 0$$

$$V_d \times DT_S - V_0(1-DT_S) = 0$$

$$V_0 = \frac{D}{1-D}V_d$$

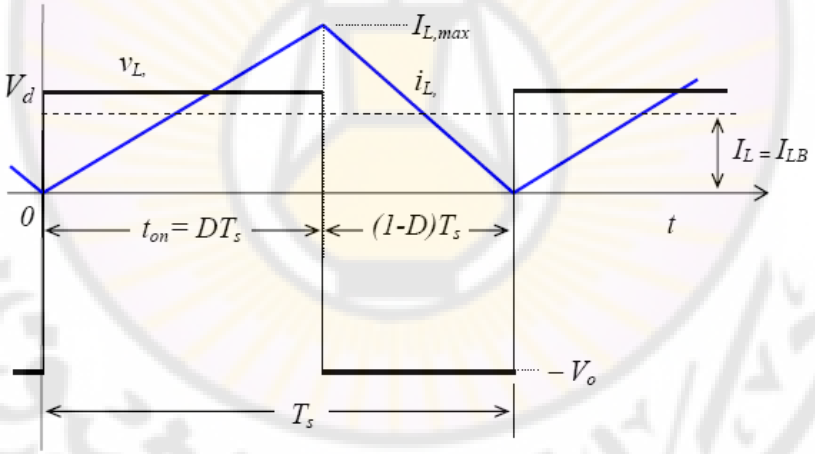
$$V_d I_d = V_0 I_0$$

$$\Rightarrow I_d = \frac{D}{1-D}I_0$$

في هذا المقطع لدينا

$$I_L = I_d = \frac{I_0}{1-D} = \frac{V_0}{R(1-D)} = \frac{V_d}{R(1-D)^2}$$

الشروط الحدية للعمل عند تيار غير متقطع:



الشكل (57) العمل الحدي عند تيار مستمر دائم.

يبين الشكل (57) حالة العمل عند تيار مستمر بدون تقطيع فإن تيار المفاعلة الحدي هو:

$$I_{LB} = \frac{1}{2}i_{L\max} = \frac{V_d}{2L}DT_S$$

علماً أن تيار السعة الوسطي مساوٍ للصفر فإن

$$I_0 = I_L - I_d$$

وعليه

$$I_{LB} = \frac{V_0}{2L}(1-D)T_S$$

$$I_{0B} = \frac{V_0}{2L}T_S(1-D)^2$$

إن القيم العظمى الحدية لتيار الحمل وتيار المفاعلة تحدث عندما :

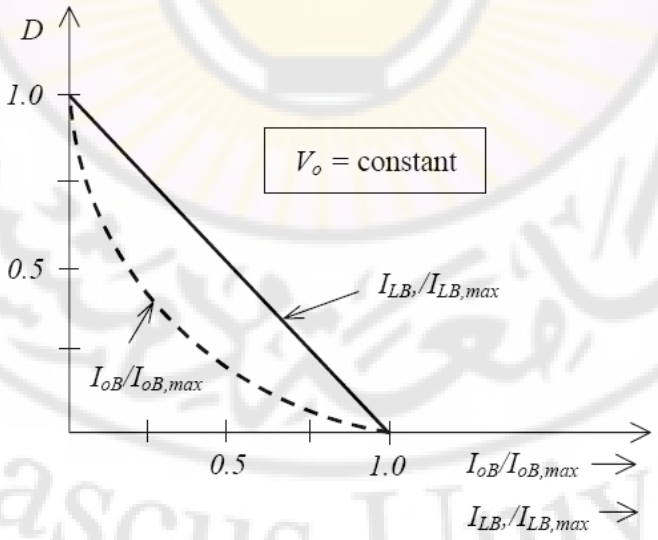
$$D = 0$$

وعليه

$$I_{LB\max} = \frac{T_S V_0}{2L}$$

$$I_{0B\max} = \frac{T_S V_0}{2L}$$

يبين الشكل التالي كيف تتغير قيمة تيار المفاعلة وتيار الحمل الحدي كتابع لفترة التوصيل:



الشكل (58) – عامل الدور كتابه لتيار الملف كتابع.

ولدينا:

$$I_{LB} = I_{LB\max}(1-D)$$

$$I_{0B\max} = I_{0B\max}(1-D)^2$$

إن تيار المنبع يعطى بالمعادلة:

$$I_d = \frac{D}{1-D} I_0$$

$$I_L = I_0 + I_d = \frac{1-D}{D} I_d + I_d = \frac{I_d}{D}$$

وكذلك

$$\frac{V_0^2}{R} = V_d I_d = V_d D I_L$$

$$\Rightarrow I_L = \frac{V_0^2}{V_d DR} = \frac{DV_d}{R(1-D)^2}$$

والقيمة العظمى والصغرى لتيار المفاعلة هي:

$$I_{L\max} = I_L + \frac{1}{2}\Delta i_L = \frac{V_d D}{R(1-D)^2} + \frac{V_d}{2L} DT_S$$

$$I_{L\min} = I_L - \frac{1}{2}\Delta i_L = \frac{V_d D}{R(1-D)^2} - \frac{V_d}{2L} DT_S$$

نجعل تيار المفاعلة الأصغري مساوياً للصفر لحساب قيمة المفاعلة الأصغرية التي تجعل التيار المار غير متقطع وعليه:

$$i_{L\min} = 0 \Rightarrow \frac{V_d D}{R(1-D)^2} = \frac{V_d}{2L} DT_S = \frac{V_d}{2Lf_S} D$$

$$Lf_{S\min} \geq \frac{1}{2} R(1-D)^2$$

لحساب تعريج توتر الخرج، يبين الشكل(59) تغير توتر الخرج كما يلي:

$$\Delta v_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_0 D T_S}{C} = \frac{V_0 D T_S}{RC}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta v_0}{V_0}\% = \frac{DT_S}{RC}\%$$

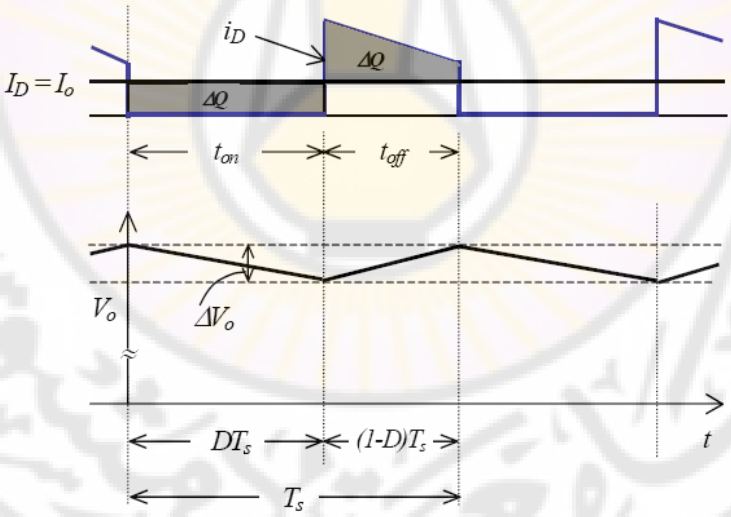
إن تعريج التيار يحسب كما يلي:

$$CR\% = \frac{\Delta i_L}{I_L}\%$$

$$I_L = \frac{V_d}{R(1-D)^2}$$

$$\Delta i_L = \frac{V_d}{L} DT_S$$

$$\Rightarrow CR\% = \frac{R}{Lf_S} D(1-D)^2\%$$



الشكل (59) تغيرات توتر الخرج.

<u>مثال (30)</u>

لدينا دارة المقطع التسلسلي التفرعي Buck- Boost Converter

باعتبار أن: $dv/dt = c,\ di/dt = c$

إذا علمت أن فترة توصيل القاطع هي $T_{ON}=D.T$، وفترة الحجز هي $T_{OFF}=(1-D)T$، المطلوب كتابة معادلات التيار التي تمر في المفاعلة وتعريج التيار وتيار الديود، قيمة المفاعلة الأصغرية، حساب قيمة السعة اللازمة للحصول على عامل تعريج محدد للجهد.

الحل:

لدينا خلال دور كامل فإن هبوط التوتر الوسطي على المفاعلة يساوي الصفر أي خلال الزمن T

$$v_L = \int_0^{DT} v_L dt = \int_0^{t_{on}} v_L dt + \int_0^{t_{off}} v_L dt = 0$$

$$V_g DT + (-V_0)(1-DT) = 0$$

$$V_0 = \frac{D}{1-D} V_g$$

$$V_g I_g = V_0 I_0 = \frac{DV_g}{1-D} I_0$$

$$\Rightarrow I_g = \frac{D}{1-D} I_0$$

في هذا المقطع لدينا

$$I_L = I_g + I_0$$

تعطى تغيرات التيار المار في المفاعلة بالمعادلة:

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} V_g \times DT$$

وعليه

$$I_{L,\max} = I_L + \frac{1}{2}\Delta i_L$$

$$I_{L,\min} = I_L - \frac{1}{2}\Delta i_L$$

يمكن حساب قيمة تيار المفاعلة الوسطي من العلاقة:

$$I_D = I_0 = (1-D)I_L \Rightarrow I_L = \frac{I_0}{1-D} = \frac{V_0}{(1-D)R}$$

إن التوتر الهابط على المكثفة يتغير أي أن هبوط التوتر Δv_0 يمكن الحصول عليها من خلال التيار المار في السعة i_C حيث

$$\Delta v_0 = \Delta v_C = \frac{1}{C}\int i_C dt$$

أي المساحة المحصورة تحت موجة تيار السعة على المفاعلة مقسوماً على قيمة المفاعلة L أي

$$\Delta v_0 = \frac{1}{C} \times \frac{V_0}{R} \times DT \qquad \Rightarrow \frac{\Delta v_0}{V_0}\% = \frac{1}{CR} DT\% = \frac{D}{CRf}\%$$

الحد الفاصل بين شروط استمرار التيار بالمرور وحدوث انقطاع في التيار يمكن تحديده وذلك عندما تصبح قيمة تيار المفاعلة مساوية للصفر نهاية الدور أي أن التيار المار في المفاعلة يتغير كما هو مبين في الشكل(60).

أي

$$I_L = \frac{1}{2}\Delta i_L$$

في هذا المقطع لدينا

$$I_D = I_0(1-D)I_L = \frac{V_0}{R} \Rightarrow$$

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} V_g DT = \frac{1}{L} V_0 (1-D)T$$

يمكن من خلال المعادلة السابقة تحديد القيم الحدية الصغرى لتيار الحمل والمفاعلة وتردد عمل المقطع كما يلي:

$$I_L = \frac{1}{2}\Delta i_L$$

$$I_0 = (1-D)I_L \Rightarrow$$

$$I_L = \frac{I_0}{(1-D)}$$

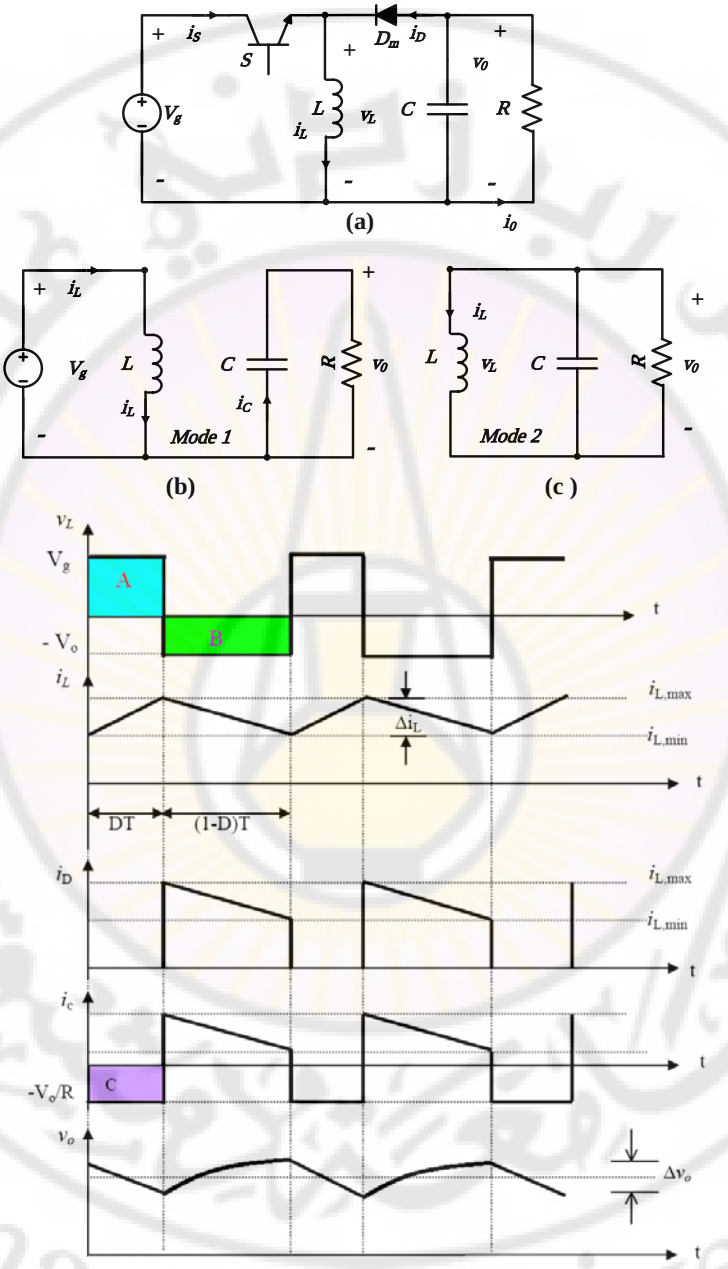
$$\frac{I_0}{(1-D)} = \frac{1}{2L}V_0(1-D)T$$

$$\Rightarrow I_{0,\min} = \frac{1}{2L}V_0(1-D)^2 T$$

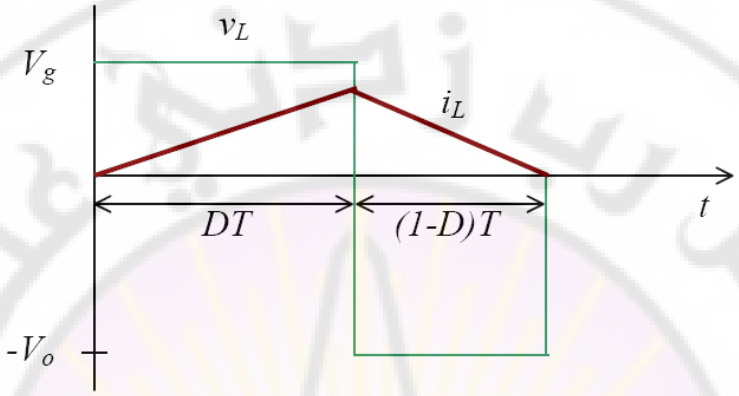
$$I_L = \frac{1}{2}\Delta i_L$$

$$\frac{V_0}{(1-D)R} = \frac{1}{2L}V_0(1-D)T$$

وقل رب زدني علما
Damascus University



الشكل (60) – دارة الاستطاعة. – الدارات المكافئة. – التوترات والتيارات



الشكل (61) التيار الحدي كتابع لعامل الدور.

$$\Rightarrow L_{\min} = \frac{(1-d)^2 T \times R}{2} = \frac{(1-D)^2 R}{2f}$$

$$\Rightarrow f_{\min} = \frac{(1-D)^2 \times R}{2L}$$

$$\Rightarrow R_{\min} = \frac{2Lf}{(1-D)^2}$$

علماً أن حساب أي من القيم السابقة يتم عندما يكون هناك قيمة مجهولة فقط.

إن تعريج التيار يحسب كما يلي:

$$CR\% = \frac{\Delta i_L}{I_L}$$

$$\frac{V_0}{(1-D)R} = \frac{1}{L} V_0 (1-D)T$$

$$\Rightarrow CR\% = \frac{R}{Lf}(1-D)^2$$

مثال (31):

لدينا مبدل خافض/ رافع (Buck/ Boost) Converter كما في الشكل (62) حيث أن: توتر الدخل $E_H=100V$ و $E_0=30V$ و $R=2\Omega$ و $L=10mH$.

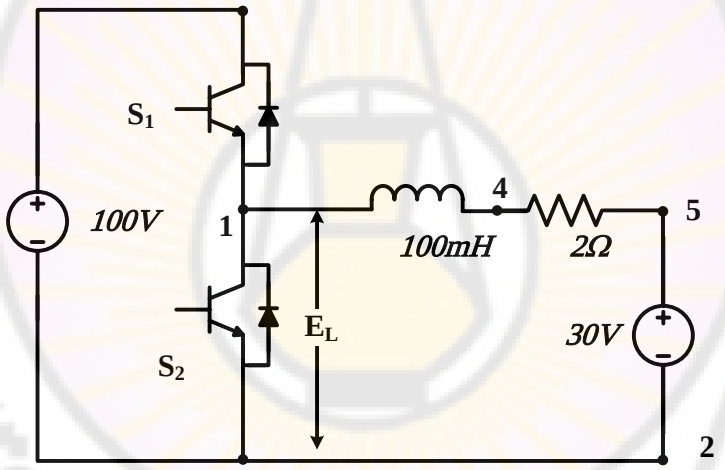
تردد التقطيع 20KHz. عامل الدور $D=0.2$ للقاطع S_1.

احسب وحدد ما يلي:

a- حدد قيمة واتجاه التيار المستمر I_L.

b- تعرجات التوتر (قمة- قمة) المتراكبة على التيار المستمر.

الحل:



الشكل (62) دارة المقطع العكسي الرافع/ الخافض.

a- في الشكل أعلاه لدينا:

$$E_L = DE_H$$

$$E_L = 0.2 \times 100V = 20V$$

بما أن توتر المدخرة أكبر من التوتر E_L فإن التيار سيأتي من المدخرة (القطب الموجب) 5 إلى الطرف 1 من المقطع. وقيمته المتوسطة هي:

$$I_L = (30V - 20V)/2(\Omega) = 5A$$

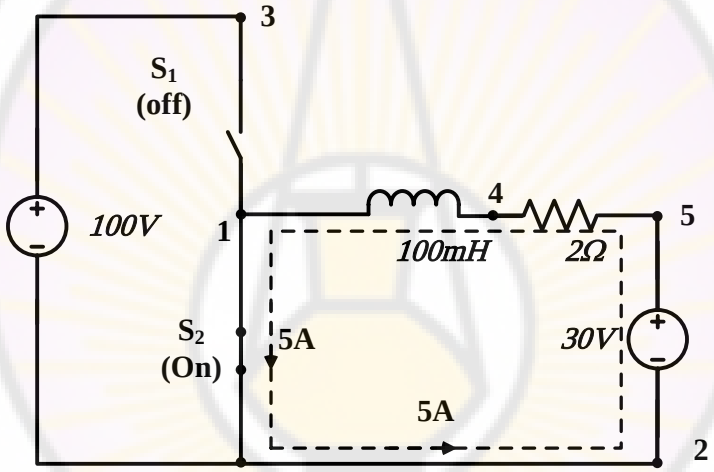
فترة استمرار الدور هي:

$$T = \frac{1}{F} = \frac{1}{20000} = 50\mu s$$

لذا فإن القاطع S_1 سيكون مغلقاً خلال الزمن $T_a = 0.2 \times 50\mu s$.

$T_a = 10\mu s$ وسيتم إغلاق القاطع S_2 خلال الفترة المساوية 40µs.

b- لتحديد التعرجات (قمة– قمة)، لنتفحص فترة إغلاق القاطع S_2 كما في الشكل (63) أدناه.



الشكل (63) فترة إغلاق القاطع S_2.

– بفرض أن التيار I يساوي وبشكل لحظي قيمة التيار المستمر 5A.

التوتر بين النقطتين E_{41} (على طرفي الملف) سيكون مساوياً لتوتر المدخرة مطروحاً منه هبوط التوتر IR في المقاومة، ويساوي:

$$30V - 5A \times 2\Omega = 20V$$

بمعرفة أن التيار I_L يمر من المربط 4 ذي القطبية الموجبة بالنسبة للمربط 1. وسوف يبدأ بالتزايد، الملف سوف يخزن القدرة (فولت–أمبير– ثانية) وخلال 40µs التي يكون فيها القاطع S_2 مغلق، فإن الشحنة المغناطيسية الكلية ستكون:

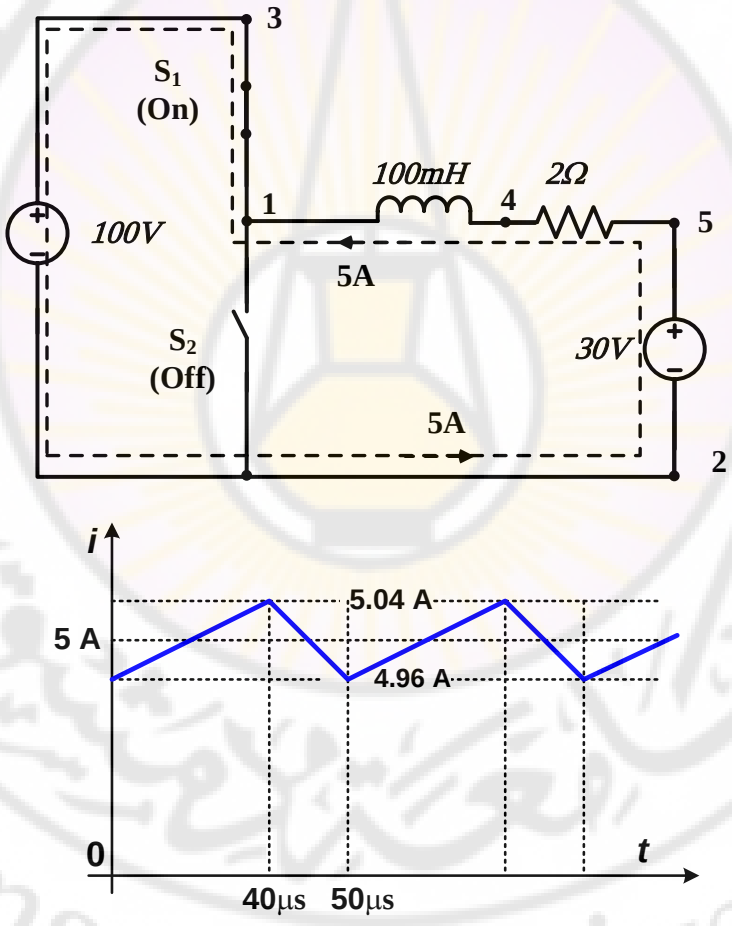
$$20V \times 40\mu s = 800V.\mu s.$$

لذا فإن التيار سيزداد بمقدار:

$$\Delta I = \frac{800(V.\mu s)}{10mH} = 0.08A$$

لنرى الآن ماذا يحدث عند إغلاق S_1، والقيمة اللحظية للتيار I مازالت 5A.

حسب الشكل (64) أدناه:



الشكل (64) تغيرات تيار الملف

– التوتر عبر المفاعلة سوف يساوي في هذه الفترة:

$$100V - (30 - 10)V = 80V$$

لكن قطبية النقطة 4 الآن سالبة بالنسبة للنقطة 1. والتيار I في هذه الحالة يتناقص. القدرة المخزنة (V-S) تفرغ خلال الزمن 10μs. هذه القدرة هي:

$$80V \times 10\mu s = 800V.\mu s$$

معدل تغير التيار سيكون مساوياً:

$$\Delta I = \frac{800(V.\mu s)}{10mH} = 0.08A$$

إذاً معدل التعرجات (قمة- قمة) سيكون بين تيار مساوٍ (5.04 و 4.96) أمبير.

- نلاحظ خلال فترة من فترات التشغيل كيف أمكن تمرير التيار من المنبع ذي التوتر المنخفض إلى المنبع ذي التوتر المرتفع. وإذا تم تغيير D إلى 0.45 مثلاً فإن E_L=45V والتيار الممكن مروره سوف ينعكس ويكون مساوياً:

$$(45 - 30)/2 = 7.5A$$

وعندئذ نكون في حالة شحن للمدخرة والمبدل يعمل في حالة (Buck). وعليه يمكن الانتقال من Buck إلى Boost بتغيير قيمة العامل D.

مثال (32)

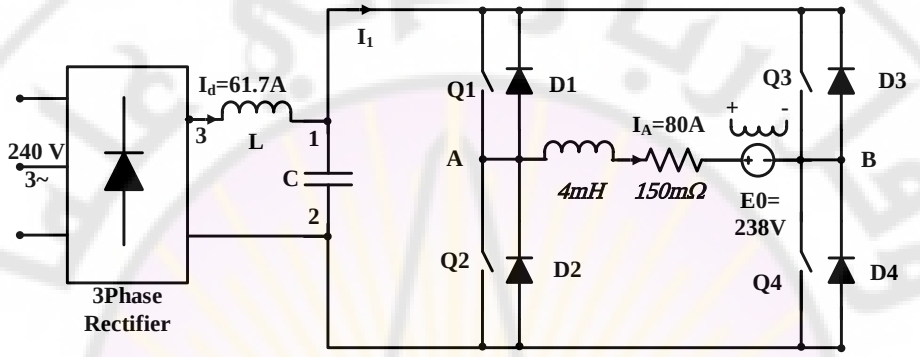
محرك تيار مستمر باستطاعة 25HP، 250V، 900rpm وصل إلى خرج مبدل DC-DC يعمل عند تردد تقطيع 2KHz. غذي المبدل من مقوم جسري ثلاثي الطور (6- Pulse rectifier). موصل إلى منبع ثلاثي الطور توتر الخط 240V، تردد 60Hz، حسب الشكل (65). المكثف ذو السعة 500μF والملف L_d يعملان كمرشح. مقاومة المتحرض وممانعته تساوي بالتتابع 150mΩ و 4mH، تيار المتحرض الاسمي 80A. يراد معرفة مايلي:

a- ما هو عامل الدور (Duty Cycle) اللازم حتى يقدم المحرك عزمه الاسمي عند السرعة الاسمية.

b- شكل أمواج التيارات I_1 و I_2 و I_a.

c- شكل أمواج التوترات E_{12} و E_{AB}.

الحل:



الشكل (65) دارة الاستطاعة والقيادة لمحرك التيار المستمر مع مقطع جسري.

– المقوم الثلاثي يولد توتراً مستمراً E_d يعطى بالعلاقة:

$$E_d = \frac{2.q}{\pi}.V_m Sin\frac{\pi}{q}$$

وبما أن الجسر ثلاثي الطور مضاعف، ويأخذ $V_m = \frac{240}{\sqrt{3}}.\sqrt{2}$ و $q = 3$ نجد

$$E_d = \frac{2.3}{\pi}\left(\frac{240}{\sqrt{3}}.\sqrt{2}\right)\frac{\sqrt{3}}{2} = 324V$$

هذا التوتر المستمر يظهر بين المربطين (1 و 2) من الشكل.

– حتى نتمكن من توليد التوتر الاسمي للمحرك البالغ 250V يلزم تعيير عامل الدور D وذلك تبعاً للعلاقة الناظمة:

Output Voltage = input Voltage (2D-1)

$$E_{LL} = E_H(2D-1)$$

$$250 = 324(2D-1)$$

$$D = 0.886$$

– وعليه تم تطبيق التوتر 250 فولت على المرابط (A-B)، وبما أن المحرك يقدم عزمه الاسمي فإن المتحرض سوف يسحب تياره الاسمي البالغ 80A، وهبوط التوتر في مقاومة المتحرض ستكون مساوية:

$$80A \times 0.15\Omega = 12V$$

وعليه فإن القوة المحركة الكهربائية العكسية c.e.m.f المتولدة عند السرعة 900r/min ستكون

$$E_0 = 250 - 12 = 238V$$

والاستطاعة المستمرة المقدمة في دخل المحرك هي:

$$P = 250V \times 80A = 20000Watt$$

بإهمال المفاقيد في المقوم، وباعتبار أن توتر خرج المقوم 324V، فإن التيار القادم من المقوم I_d سيكون مساوياً:

$$324 \times I_d = 20000$$

$$I_d = 61.7A$$

– تردد تقطيع المبدل 2KHz، وعليه فإن الدور:

$$T = \frac{1}{F} = \frac{1}{20000} = 500\mu s$$

زمن الوصل (ON) وزمن الفصل (OFF) للقواطع Q_1 و Q_4 هي:

$$T_a = DT = 0.886 \times 500 = 443\mu s$$

$$T_b = 500 - 443 = 57\mu s$$

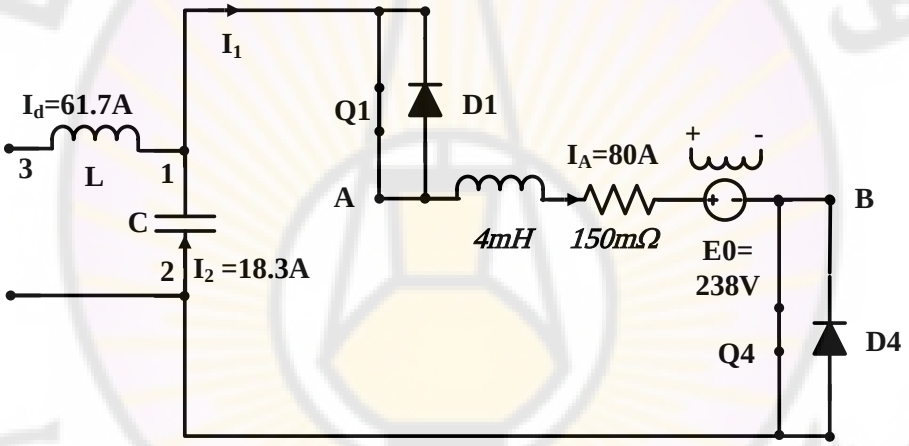
ومن هذا يمكن تحديد زمن وصل وفصل القواطع Q_2 و (Q_3) وهي تساوي 57µs و 443µs.

– القواطع Q_1 و Q_4 تعمل سويةً بشكل لحظي، يتبعها بالعمل القواطع (Q_2 و Q_3) وهي أيضاً تغلق بشكل لحظي. عندما يعمل Q_1 و Q_4، مسار تيار المتحرض مبين بالشكل

(66) وهذا ينتهي بعد 443µs حيث يكون التيار المار I_1=80A، ويمر في الاتجاه الموجب. لاحظ مع ذلك أن المقوم لن يقدم سوى 61.7A في حين أن تيار المتحرض المار 80A. هذا يعني أن الفرق والبالغ 80-61.7=18.3A سوف يأتي من المكثف C في الداخل.

تفريغ المكثف، سوف يسبب هبوط التوتر على طرفيه والذي يمكن تقديره بـ ΔE حيث أنه يحسب بالشكل :

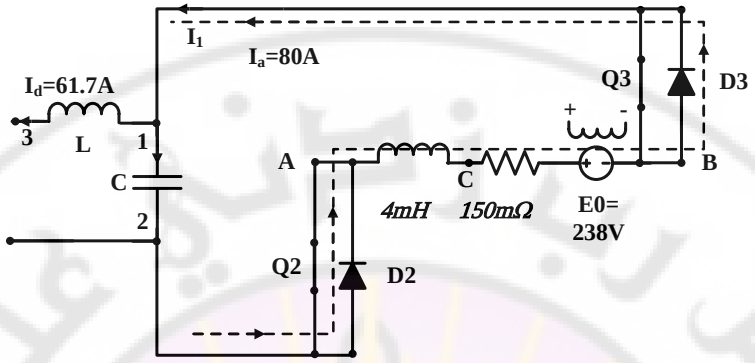
$$\Delta E = \frac{Q}{C} = \frac{18.3A \times 443\mu s}{500\mu F} = 16V$$



الشكل (66) مسار التيار عند توصيل القواطع Q_1 و Q_4، خلال 443µs.

$$E_{AC} = 324 - 250 = 74V \quad \text{و} \quad E_{CB} = +250V$$

– عندما تكون (Q_1 و Q_4) مفتوحة (غير موصلة) وذلك خلال الفترة 57µs. خلال تلك الفترة يكون (Q_2 و Q_3) موصلة (ON) كما في الشكل (67) لكن هذه القواطع لا يمكنها تمرير تيار المتحرض لأنه يمر باتجاه معاكس لاتجاه التوصيل النظامي، وسوف يمر التيار بالديود الحر الموصل على طرفي كل قاطع وهي القواطع D_2 و D_3 المرتبطة مع Q_2 و Q_3 كما في الشكل(67):



$$E_{AC} = -574V \quad E_{CB} = +250V$$

الشكل (67) مسار التيار I_a المتناقص خلال الزمن 57µs حيث D_2 و D_3 تمرر التيار العائد للمنبع.

– في الشكل (67) يتجه التيار (I_1=80A) عائداً نحو المنبع عبر المربط 1 وهو معاكس بالاتجاه للتيار في الحالة (66). مع ذلك نرى أن التيار القادم من جسر التقويم I_d مازال موجوداً ولم يتغير بسبب كبر الحثية L_d وكنتيجةً لذلك، وحسب كيرشوف في (1) فإن التيار يجب إذاً أن يمر بالمكثف وعندئذ التيار I_2 المار بالمكثف سيكون مساوياً:

$$I_2 = 80 + 61.7 = 141.7A$$

وهذا مما يؤكد ويوضح (high light) ضرورة وجود المكثف C في مدخل المقطع ومخرج جسر التقويم. **<u>وبدون المكثف سوف لن نجد مساراً للتيار</u>** وهذا سوف يستمر لفترة 57µs. لذا فإن عملية إعادة شحن المكثف خلال تلك الفترة سوف تسبب في ارتفاع توتره بـ ΔE التي تحسب من العلاقة:

$$\Delta E = \frac{Q}{C} = \frac{141.7(A) \times 57\mu s}{500\mu F}$$

$$\Delta E = 16V$$

نلاحظ أن ارتفاع التوتر خلال الفترة $57\mu s$ تعادل قيمة انخفاض التوتر التي حدثت خلال الفترة $443\mu s$. وعليه فإن التوتر بين المربطين (1 و 2) سوف يتأرجح (fluctuate) بين القيمة 332V=8+324 والقيمة 316V=8-324.
نسبة التأرجح في التوتر البالغة 2.5% سوف لن تؤثر على عمل المحرك.

– لننظر الآن بدقة أكثر إلى تيار المتحرض، وخاصة من جهة التعرجات (ripple) في الشكل(66) يمكن تحديد التوتر عبر ممانعة المتحرض بتطبيق العلاقة للدارة المغلقة:

$$E_{AC} + E_{CB} + E_{B2} + E_{21} + E_{1A} = 0$$
$$E_{AC} + 250 + 0 + (-324) + 0 = 0$$

وعليه فإن التوتر على ممانعة المتحرض تساوي:

$$E_{AC} = 74V$$

كما أن القدرة المخزنة في ممانعة المتحرض يمكن حسابها وهي تساوي

$$\Delta I_a = \frac{32782 \times 10^{-6}}{0.004} = 8A$$

– تبعاً للشكل (67) التوتر على طرفي ممانعة المتحرض يمكن من جديد حسابه تبعاً لمجموع التوترات في الحلقة:

$$E_{AC} + E_{CB} + E_{B1} + E_{12} + E_{2A} = 0$$
$$E_{AC} + 250 + 0 + 324 + 0 = 0$$

وعليه:

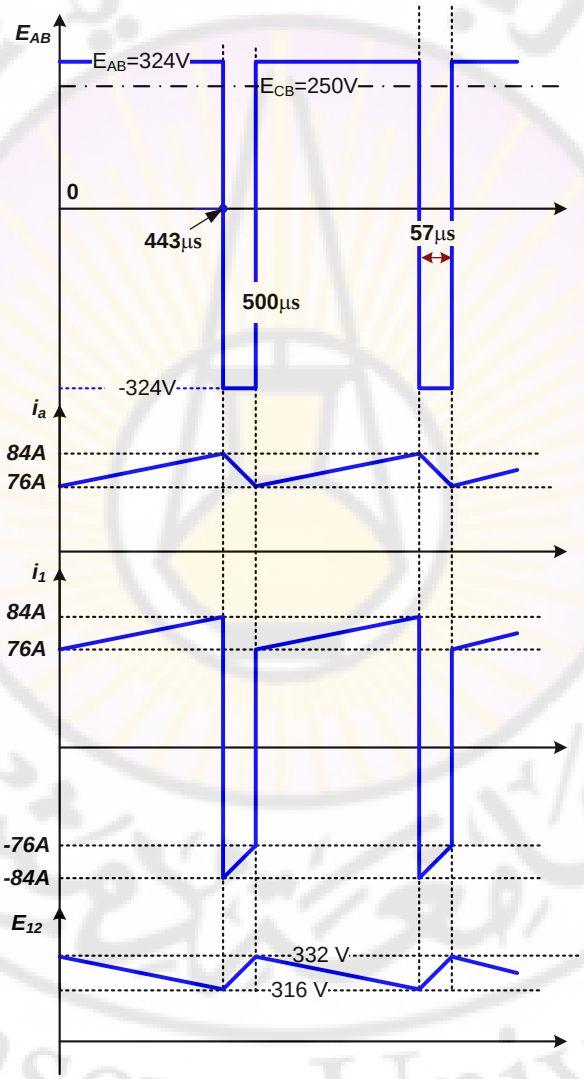
$$E_{AC} = -574V$$

التوتر السالب الناتج يؤدي وبسرعة كبيرة لتناقص تيار المتحرض. وقيمة التناقص خلال $57\mu s$ يعطى بالعلاقة:

$$\Delta I_a = \frac{574 \times 57 \times 10^{-6}}{0.004} = 8A$$

تناقص التيار بمقدار 8 أمبير خلال 57µs مساو لتزايد التيار الذي حصل خلال 443µs فترة التشغيل الأولى. وتعرجات التيار (قمة– قمة) تساوي 8A هذا يعني أن تيار المتحرض يتراوح بين القيمة 84A =(80+4) والقيمة 76A =(80-4).

الشكل (68) يبين مختلف تغيرات التوترات والتيارات.



الشكل (68) تغيرات التوترات والتيارات في الزمن.

مثال (33):

ليكن هناك محرك تيار مستمر 25HP، 250V، 900r/min. مقاومة المتحرض 150mΩ ممانعة المتحرض 4mH. تيار متحرض اسمي 80A.

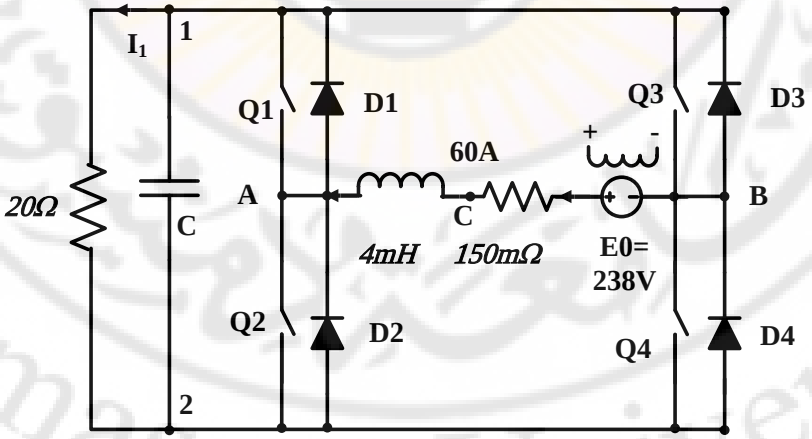
نفرض أن المحرك يدور عند سرعة 900 r.p.m.، عند هذا العزم تم تطبيق الفرملة (breaking). بفرض أن عطالة المحرك كبيرة. وكنتيجة لذلك فإن سرعة الدوران سوف لن تتغير بشكل مفاجئ. وبفرض أن الوصلة بين جسر التقويم المغذي للمقطع والمنبع قد تم فصلها والاستعاضة عنها بمقاومة فرملة قدرها 20Ω وذلك بين المربطين (1-2) مع استمرار وجود المكثف 500μF شكل (69).

بفرض أن عزم الفرملة بمقدار 75% من العزم الاسمي كان كافياً. ونتيجةً لذلك فإن تيار المتحرض اللازم سوف يكون 0.75×80A=60A. مع بقاء تردد التقطيع عند القيمة 2KHz، نرغب بمعرفة وبيان ما يلي:

a- التوتر الهابط على المقاومة الخاصة بالمتحرض.

b- عامل الدور للمقطع.

c- سلوك الفرملة الذي سيتبعه النظام.



الشكل (69) تشغيل المحرك في الحالة الديناميكية.

الحل:

a- بما أن المحرك يدور عند السرعة 900 r.p.m. حيث تم تطبيق الفرملة، فإن التوتر E_0 المتولد في المتحرض سوف يبقى عند القيمة 238V. المحرك على كل حال سوف يعامل كمولد ويعطي تيار 60A خارجاً من المربط الموجب كما في الشكل(69).

– هبوط التوتر على مقاومة المتحرض هي:

$$0.15\Omega \times 60A = 9V$$

التوتر بين المربطين A و B يساوي:

$$(238 - 9) = 229V$$

هذا التوتر هو التوتر المتوسط المطلوب من المقوم و (E_{LL}). ولحساب توتر الدخل E_H بين المربطين (1 و 2) للمقوم نعمل ما يلي:

بسبب العطالة الكبيرة للمحرك، سوف تبقى السرعة مبدئياً ثابتة عند القيمة 900 r.p.m. وليكن لمدة تعادل 10 أدوار من تردد عمل المقوم. القدرة الخارجة من المولد خلال 10 أدوار هذه تساوي إلى القدرة المستهلكة في مقاومة الفرملة 20Ω. لذا:

$$229V \times 60A = (E_H)^2 / 20\Omega$$

$$E_H = E_{12} = 524V$$

هذا التوتر يبدو أكبر من توتر التشغيل السابق 324V. ولارتفاع التوتر هذا ميزة أساسية ذلك أنه سوف يعمل على حجز جسر التقويم من الاستمرار بالعمل ويجبره على التوقف عن العمل خلال فترة الفرملة حتى ولم يتم فصله كما ذكرنا سابقاً.

من ناحية أخرى هذا التوتر يجب أيضاً أن لا يزداد لقيم أكبر بكثير من هذه القيمة حتى لا تنهار عناصر القطع الترانزستورية أو الثيرستورية في الجسر المستخدم.

– متوسط التيار في المقاومة

$$\frac{524V}{20\Omega} = 26A$$

b- لدى معرفة توترات الدخل والخرج للمبدل المستخدم يمكن معرفة عامل الدور D.

$$E_{LL} = E_H(2D-1)$$
$$229 = 524(2D-1)$$
$$D = 0.72$$

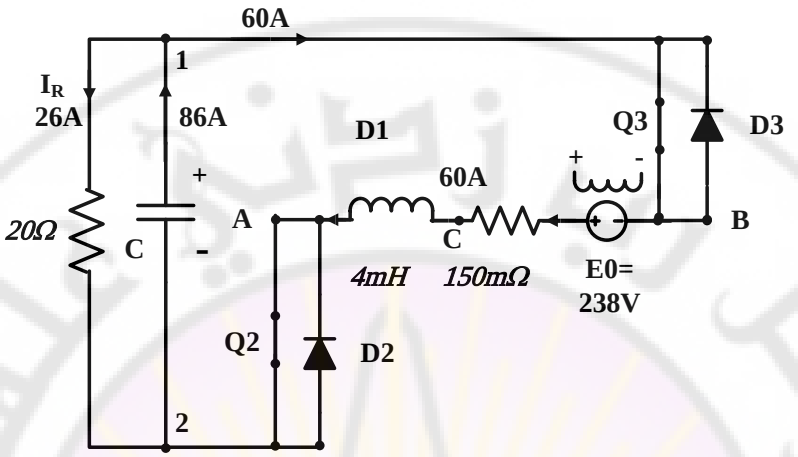
زمن توصيل وفصل القواطع (Q_1 و Q_4) هي:

$$T_a = DT = 0.72 \times 500 = 360\mu s$$
$$T_b = 500 - 360 = 140\mu s$$

وبناءً عليه زمن وصل وفصل القواطع Q_2 و Q_3 هو 140µs و 360µs.

لدى توصيل Q_2 و Q_3، تيار المتحرض سوف يأخذ المسار المبين بالشكل (70). مرور التيار هذا ينتهي بعد 140µs وخلال ذلك يكون I_1=60A ويخرج التيار من المربط 1. هذا وإن تيار المقاومة يبقى 26A، وعليه فإن المكثف سوف يقدم تيار قدره 86A =26+60. وسوف يفرغ المكثف نفسه مما يسبب إلى هبوط التوتر على المكثف ويحسب هذا الهبوط بالشكل:

$$\Delta E = \frac{Q}{C} = \frac{86A \times 140\mu s}{500\mu F} = 24V$$



الشكل (70) التيارات خلال فترة عمل Q_2 و Q_3 خلال الزمن 140µs.

لدى عمل القواطع Q_1 و Q_4 وفصل القواطع Q_2 و Q_3، التيار عليه أن يمر عبر الديودات D_1 و D_4 حسب الشكل (71) لأن تيار المحرك لا يمكنه أن ينعدم بسرعة.

بتطبيق كيرشوف نجد في هذه الحالة أن المكثف سوف يشحن بتيار يساوي 60-26=34A وذلك خلال الفترة 360µs. وهذا يسبب ارتفاع توتر المكثف ويحسب بالشكل:

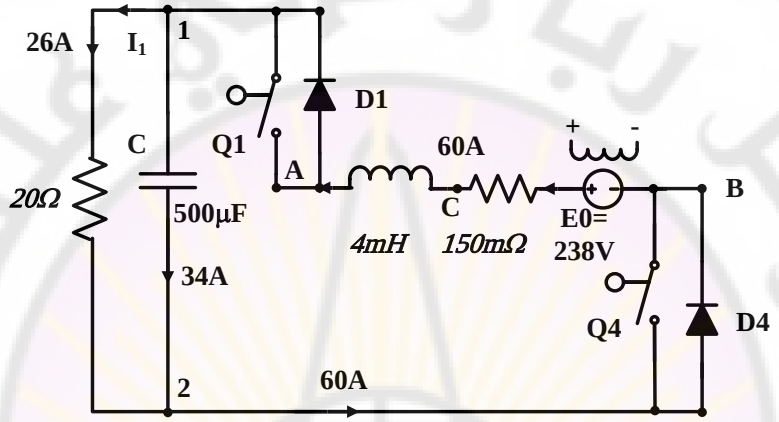
$$\Delta E = \frac{Q}{C} = \frac{34A \times 360\mu s}{500\mu F} = 24V$$

– لذا فإن الزيادة في توتر المكثف خلال فترة الشحن 360µs تساوي بالضبط الهبوط في التوتر الذي نجم نتيجة تقديم المكثف التيار خلال فترة التفريغ.

وعليه فإن التوتر على طرفي المقاومة 20Ω سوف يتأرجح بين القيمتين: 524+12=536V والقيمة 524-12=512V.

– هذا يعني أن المقطع الجسري خلال فترة الفرملة يحول القدرة من محرك التيار المستمر باتجاه المنبع وسوف تنخفض سرعة المحرك ، والتوتر بين A و B

سوف يتناقص. مع استمرار معايرة عامل الدور والمحافظة على التيار عند القيمة 60A (تيار الفرملة) حتى يتوقف المحرك عن الدوران. عملية التعيير لـ D تتم عادةً بشكل آلي باستخدام دارات تحكم الكترونية.



الشكل (71) التيارات المارة خلال فترة فتح القواطع Q_1 و Q_4 ومرور التيار عبر D_1 و D_4.

5- المقطعات غير المباشرة ذات المجمعات السعوية:

CÛK Regulators

مثال (34):

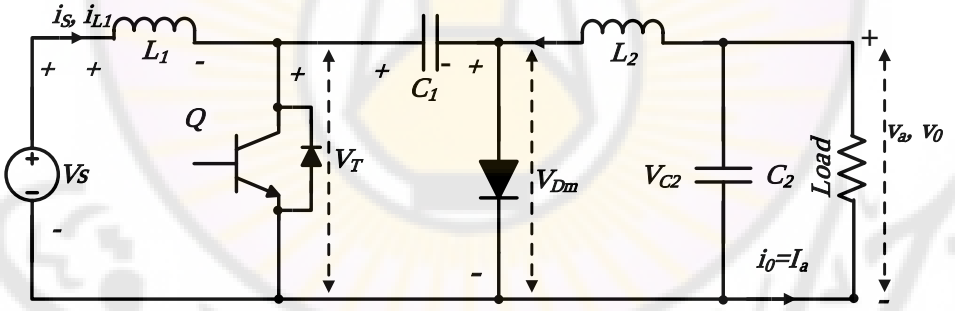
هذا المقطع (CÛK) مشابه للمقطع غير المباشر العكسي ذي التخزين بالملف أو الرافع- الخافض للتوتر، يستطيع أيضاً إعطاء توتر في الخرج قد يكون أصغر أو أكبر من توتر الدخل، مع قطبية معكوسة عن توتر الدخل. وقد أخذ هذا الاسم تبعاً للعالم الذي اخترعه.

عند تطبيق توتر الدخل، وكون الترانزستور Q_1 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(72)).

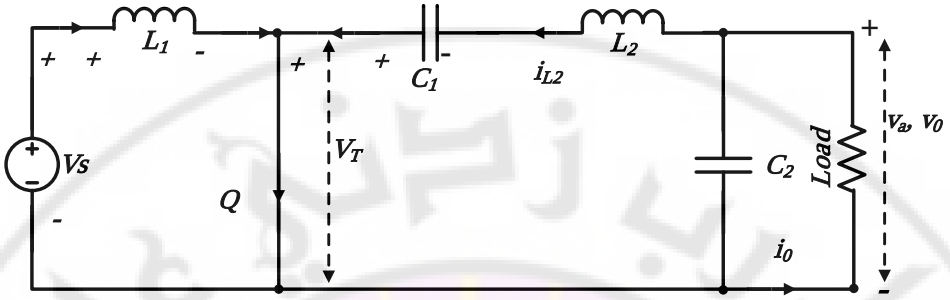
– عمل الدارة يقسم إلى مرحلتين: Mode1 يبدأ عند توصيل الترانزستور Q_1 عند الزمن $t=0$. التيار في المفاعلة L_1 سوف يتزايد. وتوتر المكثف C_1 سوف يحجز الديود D_m لذا سيكون مفصولاً (Off). المكثف C_1 يفرغ شحنته في الدارة المكونة من C_1 و C_2، والحمل، و L_2. هنا سيمر تيار في الترانزستور يمثل تيار قصر المنبع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

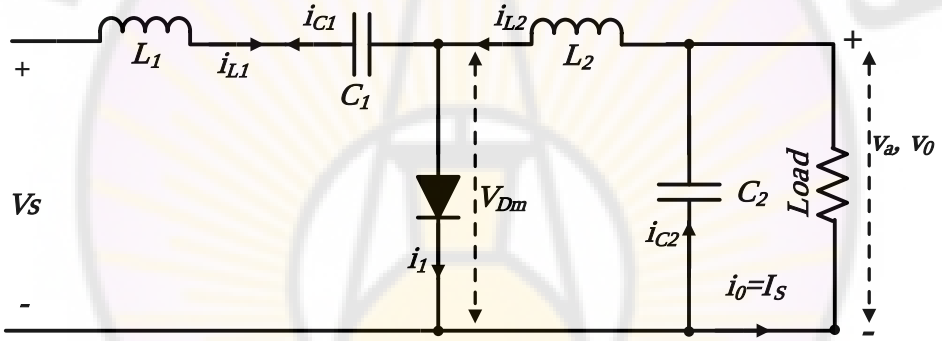
المكثف C_1 هو الوسيط لنقل القدرة من المنبع إلى الحمل. الأشكال أدناه (73) توضح الدارات المكافئة لحالات التشغيل والتوترات والتيارات المارة في كل مرحلة.



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 تفريغ D_m لدارة المكثف المخزنة في $Q1$ 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:

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

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:

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

ومنه فإن:

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

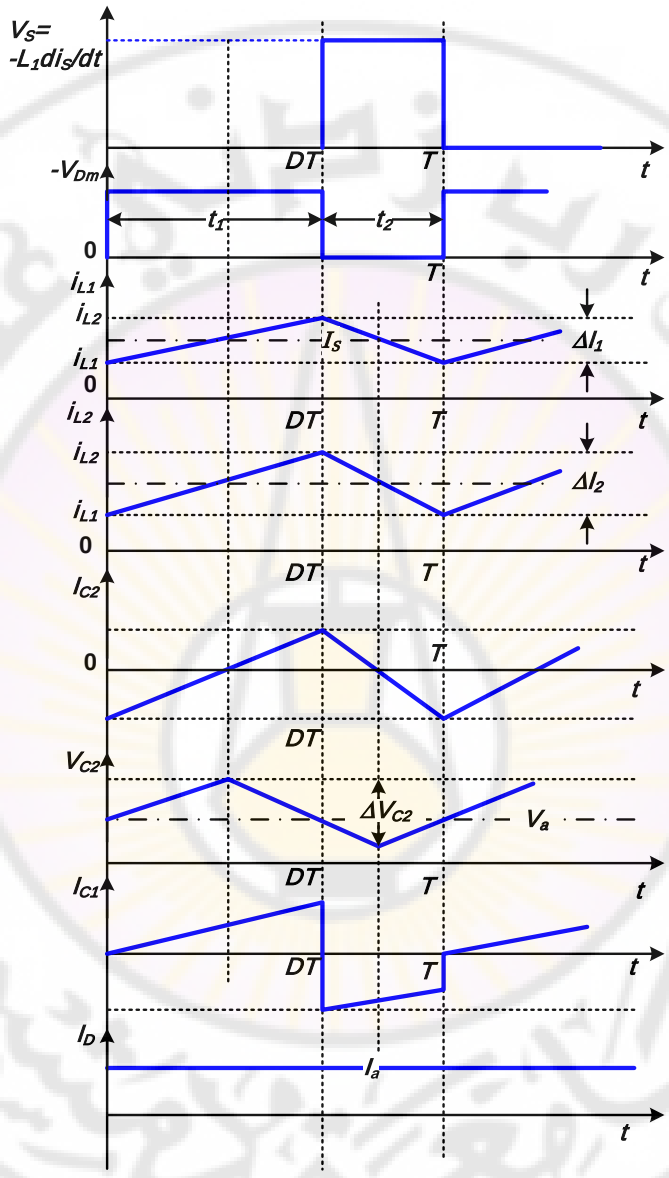
وتيار الملف L_2 يتناقص خطياً من I_{L22} إلى I_{L21} خلال الزمن t_2 وعليه:

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

أو أن:

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

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University



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:

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

أو:

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

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

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

هذا يعطي تعرجات تيار الملف L_2 حيث:

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

أو:

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

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:

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

العلاقات (13) تعطي:

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

وعليه فالعلاقة (21) تصبح:

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

أو:

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

- إذا فرضنا أن تعرجات تيار الحمل Δi_0 مهمة، 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:

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

أو

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

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

- شروط استمرارية تيار الملف وتوتر المكثف:

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

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

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

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

– 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:

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

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:

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

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:

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

– 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.

6- تطبيق: إيجاد التيارات والتوترات في المقطع السعوي (ذي التحريض السعوي):

في دارة الاستطاعة المبينة بالشكل (72) إذا كان $V_S=12V$. عامل الدور $D=0.25$ تردد التقطيع 25KHz. حثية المرشح $L_2=150\mu H$، والسعة $C=220\mu F$.

مكثف تحويل القدرة $C_1=200\mu F$ والحثية $L_1=180\mu H$. تيار الحمل المتوسط $I_a=1.25A$ حدد ما يلي:

a- توتر الخرج المتوسط V_a.

b- تيار الدخل المتوسط I_S.

c- تعرجات التيار ΔI_1 العظمى للملف L_1.

d- تعرجات التوتر ΔV_{C1} العظمى للمكثف C_1.

e- تعرجات التيار ΔI_2 العظمى للملف L_2.

f- تعرجات التوتر ΔV_{C2} العظمى للمكثف C_2.

g- التيار الأعظمي للترانزستور I_P.

الحل:

a- من العلاقة:

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

نجد:

$$V_a = \frac{-0.25\times 12}{1-0.25} = -4V$$

b- من العلاقة:

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

نجد:

$$I_S = \frac{0.25 \times 1.25}{1-0.25} = 0.42A$$

c- من العلاقة:

$$\Delta I_1 = \frac{V_S.D}{F.L_1}$$

نجد:

$$\Delta I_1 = \frac{12 \times 0.25}{25000 \times 180 \times 10^{-6}} = 0.67A$$

d- من العلاقة:

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

نجد:

$$\Delta V_{C1} = \frac{0.42(1-0.25)}{25000 \times 200 \times 10^{-6}} = 63mV$$

e- من العلاقة:

$$\Delta I_2 = \frac{D.V_S}{F.L_2}$$

نجد:

$$\Delta I_2 = \frac{0.25 \times 12}{25000 \times 150 \times 10^{-6}} = 0.8A$$

f- من العلاقة:

$$\Delta V_{C2} = \frac{\Delta I_2}{8F.C_2}$$

نجد:

$$\Delta V_{C2} = \frac{0.8}{8 \times 25000 \times 220 \times 10^{-6}} = 19.18mV$$

g- التوتر المتوسط على طرفي الديود يمكن حسابه من العلاقة:

$$V_{dm} = -D.V_{C1} = -V_a.D\frac{1}{1-D} = V_a$$

من أجل دارة بدون مفاقيد:

$$I_{L2}.V_{dm} = V_a.I_a$$

والتيار المتوسط في الملف L_2 هو:

$$I_{L2} = \frac{I_a.V_a}{V_{dm}} = I_a = 1.25A$$

فإن تيار الترانزستور الأعظمي:

$$I_P = I_S + \frac{\Delta I_1}{2} + I_{L2} + \frac{\Delta I_2}{2} = 0.42 + \frac{0.67}{2} + 1.25 + \frac{0.8}{2}$$

$$I_P = 2.405A.$$

7- مقطع ذو مجمع تحريضي

(Inductive Accumulation Chopper)

مثال (35):

يراد بناء مقطع يربط بين منبع توتر مثالي E (مدخرة) وحمل يمكن تمثيله بثنائي قطب (dipole) R//C حيث RC>>T.

a- <u>بنية دارة الاستطاعة</u>:

1- أعطي شكل المقطع المطلوب تحقيقه.

2- حدد العناصر الواجب توصيلها حسب طبيعة التشغيل المطلوبة.

b - <u>حالة تشغيل عند تيار حمل دائم:</u>

وبفرض وجود مرشح مثالي لتوتر الخرج، أي أن U(t)=cte=U على كامل الدور T. في هذه الحالة بين:

1- ارسم بيانياً، من أجل عامل دور α، التيارات K, J, I والتوتر على طرفي الملف V_L. وبرهن رياضياً شكل هذه التيارات.

2- برهن أنه توجد علاقة بين E و U و α. واحسب القيم المتوسطة للتيارات K, J, I. وارسم بيانياً $\frac{V}{E}$ كتابع لـ α.

احسب الاستطاعة المقدمة من المنبع والمستلمة من قبل الحمل. وعلق على النتائج.

3- بفرض أن E=24V و α=0.8، f=20000Hz، R=10Ω، L=50mH.

احسب U، القيمة المتوسطة i، والاستطاعة المبددة قي R.

تأكد من أن التشغيل بتيار مستمر متواصل.

c- <u>حالة تشغيل عند تيار متقطع:</u>

بفرض دائماً وجود المرشح المثالي لتوتر الخرج. وأن K(t) تنعدم قبل نهاية الدور.

1- ارسم بيانياً K, J, I ومن أجل عامل دور α، برهن أنه لا يمكن التوصل أن يكون متقطعاً (تيار الحمل) ما لم يكن [U>Eα(1-α)].

2- احسب القيمة المتوسطة لـ i، الاستطاعة المبددة في الحمل. استنتج وجود علاقة بين U و α و R و T و L و E.

3- بأخذ القيم الرقمية الواردة أعلاه (ماعدا L) برهن أنه حتى يكون التوصيل غير متقطع، يجب أن تكون L أكبر من قيمة L_0 يمكن حسابها.

d- ترشيح توتر الخرج:

في الحقيقة، الترشيح الذي يتم عبر RC ليس مثالياً. مع ذلك نفرض أن $RC>>T$. في هذه الحالة نفرض أن $K(t)$ ثابت ويساوي القيمة المتوسطة مع اعتبار $L=50mH$. ارسم منحنيات $U(t)$، احسب C من أجل $\Delta U\leq 1V$.

الحل:

a- بنية دارة الاستطاعة:

1- دارة المقطع مبينة أدانه:

U: توتر الحمل.

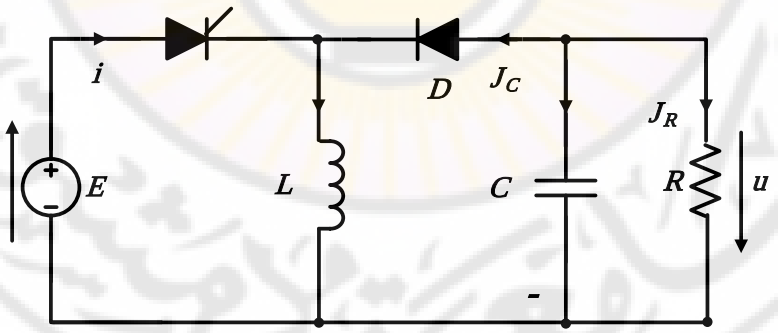
i: تيار المدخرة (المنبع).

J_C: تيار المكثف.

J_r: تيار المقاومة.

J: تيار الديود.

K: التيار المار في عنصر التخزين L.

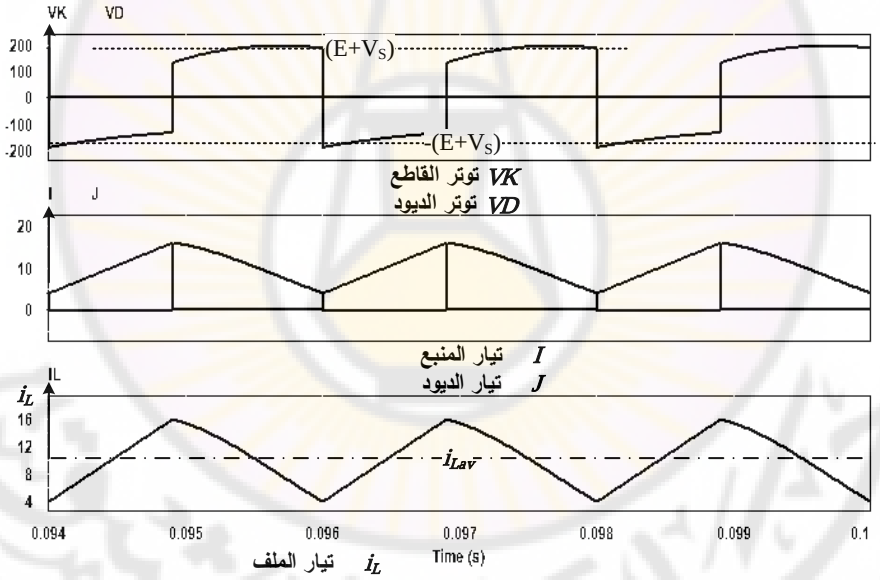


الشكل (75) دارة الاستطاعة الممكن استخدامها في حالة التوصيل الدائم.

2- خلال الفترة $0< t < \alpha t$ يتم توصيل القاطع K وعندئذ شحن الملف وتخزين القدرة. ويمر تيار I متزايد. وخلال باقي الدور $\alpha T < t < T$ يتم فصل K وتوصيل D ليحقن القدرة المخزنة في الملف في دارة الحمل.

b- <u>حالة تشغيل عند تيار حمل دائم:</u>

1- باعتبار التشغيل عند تيار حمل دائم، وباعتبار عامل الدور α. يمكن رسم المنحنيات التالية لمختلف التوترات والتيارات في النظام، وهذا النظام هو الذي نطلق عليه تخزين بمجمع تحريضي، أو مقطع غير مباشر، وهو عادةً يربط بين منبع توتر وحمل توتر، وتستخدم الحثية كعنصر تخزين.



الشكل (76) التوترات والتيارات.

2- إن التوتر المتوسط على طرفي الملف خلال الدور يساوي الصفر.

$$V_{L,av} = 0$$

$$\alpha E = (1-\alpha)U$$

ومنه:

$$U = \frac{\alpha}{1-\alpha} E$$

ومن أجل $\alpha=0.8$ نجد حسب القيم المعطاة:

$$U = \frac{0.8}{1-0.8} \times E = 96V$$

– الاستطاعة المقدمة من المنبع تساوي الاستطاعة المقدمة للحمل:

$$P = E.i_{av} = U.J_r = \frac{U^2}{R} = 921.6W$$

3- <u>التطبيق العددي</u>:

$$\frac{96(V)}{10(\Omega)} = 9.6A = J_{av} = J_{r,av}, \quad J_{C,av} = 0$$

استطاعة الدخل:

$$P = E.i_{av}$$

$$i_{av} = 34.4A$$

$$K_{av} = I_{av} = J_{av} = \frac{U}{R(1-\alpha)} = 48A$$

وللتحقق من أن تيار الملف دائم يجب دائماً أن يكون التيار $K>0$

$$K_{\min} = K_{av} - \frac{\Delta K}{2} > 0$$

لدينا

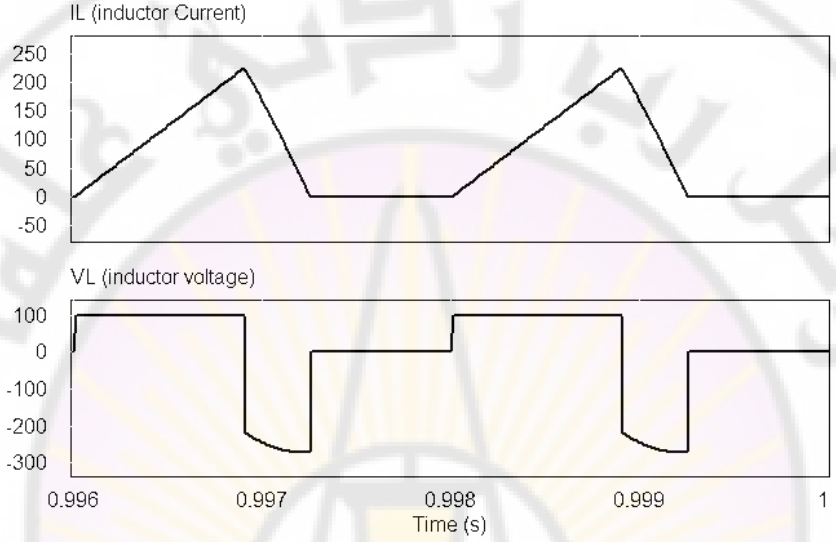
$$\Delta K = \frac{E}{L} \alpha T \Rightarrow \Delta K = 19.2A$$

$$K_{av} = 48A > \frac{\Delta K}{2}(19.2A)$$

وهذا يؤكد أن التشغيل يتم عند تيار دائم.

c- <u>حالة التشغيل عند تيار متقطع:</u>

1- منحنيات التشغيل عند تيار متقطع



الشكل (77) تيار الملف وتوتره عند تشغيل بتيار متقطع.

– في حالة التشغيل عند تيار متقطع لدينا:

$$V_{Lav} = 0 \Rightarrow \alpha E = (\theta - \alpha)U$$

حيث: $\theta = \frac{\alpha(E+U)}{U} < 1$ وعليه:

$$U > \frac{\alpha}{1-\alpha} E$$

2- تيار المنبع المتوسط:

$$i_{av} = \frac{E}{L} \alpha . T . \frac{\alpha}{2}$$

الاستطاعة المتوسطة أو الدخل:

$$P = E . i_{av} = \frac{V^2}{R} = \frac{E^2 . \alpha^2 . T}{2 . L}$$

ولدينا:

$$\frac{U}{E}=\alpha\sqrt{\frac{R.T}{2.L}}$$

3- عند القيم الحدية بين التشغيل عند تيار متواصل، أو عند التشغيل عند تيار غير متواصل وكلا العلاقتين متساويتين وعليه:

$$\alpha\sqrt{\frac{R.T}{2.L_0}}=\frac{\alpha}{1-\alpha}$$

$$L_0=\frac{R.T}{2}(1-\alpha)^2$$

$$L_0=10\mu H$$

d- <u>ترشيح توتر الخرج</u>:

لدينا:

$$J_r+J_r=J$$

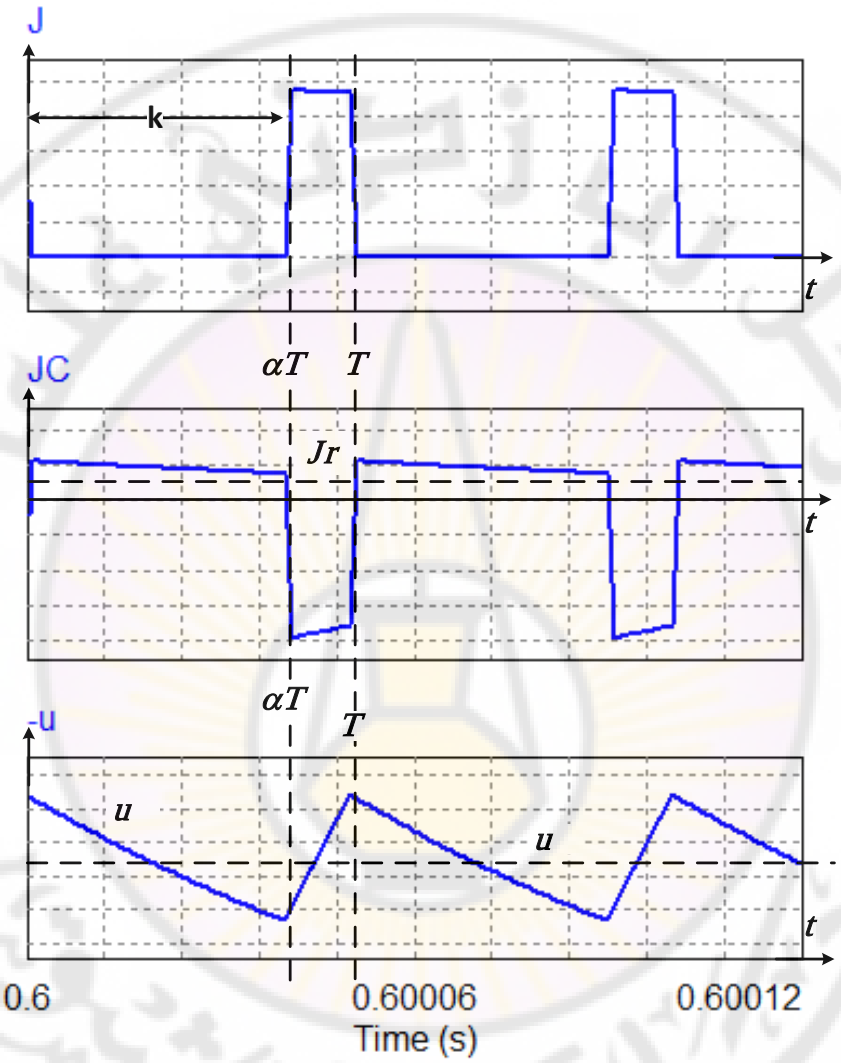
$$J_r=\frac{U}{R}=J_{av}$$

$$u=\frac{1}{C}\int J_C dt$$

ومنه نحصل على:

$$\Delta U=\frac{J_r}{C}.\alpha.T$$

$$\Delta U<1\Rightarrow C>7.68m.F$$



الشكل (77) تغيرات تيارات وتوترات الخرج في الزمن.

مثال (36):

بين ما يلي :

– متى نستخدم المقطعات المباشرة ذات المجمعات التحريضية: Hacheur a' accumulation inductive

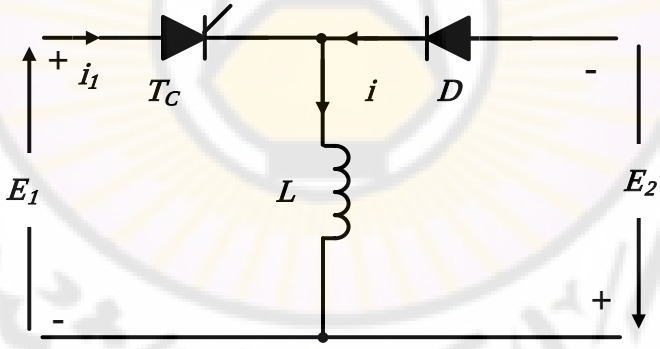
– **متى نستخدم المقطعات ذات المجمعات السعوية** (CÛK): Hacheur a' accumulation capacitive

الحل:

1- تستخدم المقطعات ذات المجمعات التحريضية عندما يكون لدينا منبع توتر ويراد ربطه بحمل توتر، وتستخدم الحثية عندئذ لتخزين القدرة وإعادة حقنها والدارة المبينة في الشكل(78) تعطي الشكل العام لهذا المقطع والعلاقة الناظمة بين توتر الدخل والخرج هي من الشكل:

$$\frac{E_2}{E_1}=\frac{D}{1-D}$$

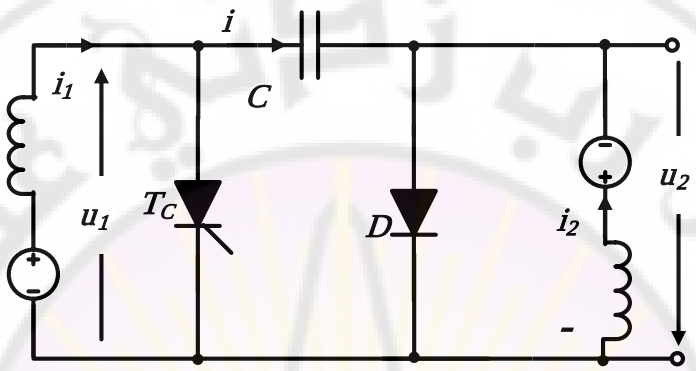
عندما تتغير D من الصفر إلى الواحد، فإن $\frac{E_2}{E_1}$ نظرياً تتغير من الصفر إلى اللانهائية.



الشكل (78): دارة الاستطاعة للمقطع ذي المجمع التحريضي.

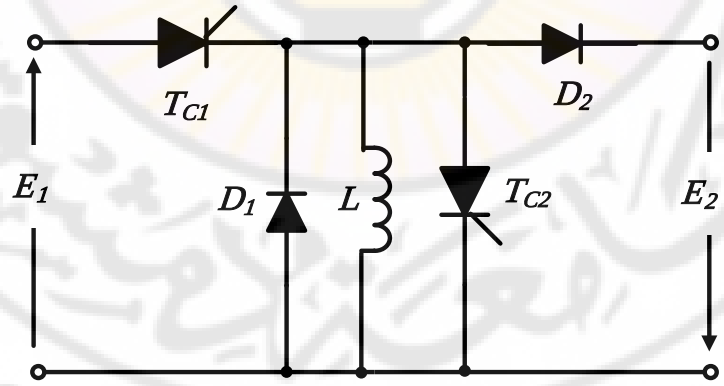
2- تستخدم المقطعات غير المباشرة ذات المجمعات السعوية كما في الشكل(79)، عندما يكون لدينا منبع تيار وحمل تيار، وتستخدم السعة كعنصر تجميع. العلاقة الناظمة بين تيار الدخل وتيار الخرج يعطى بالعلاقة:

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{D}{1-D}$$



الشكل (79): دارة الاستطاعة لتخزين القدرة في المكثف.

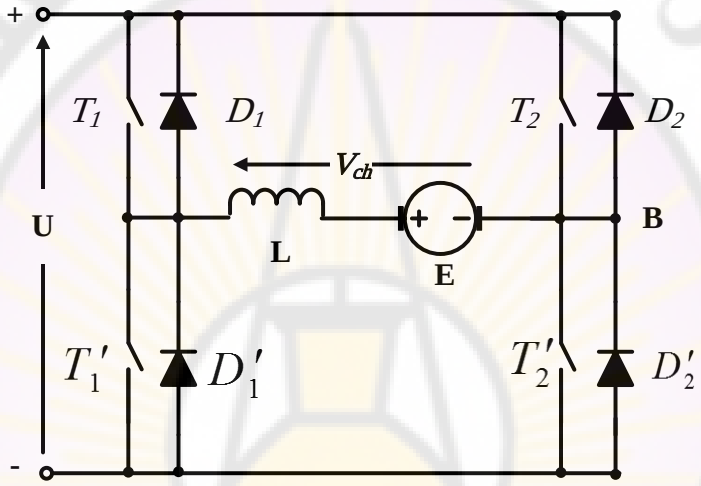
– هذا ويمكن أيضاً تحويل القدرة بين منبع وحمل من نفس الطبيعة، والشكل(80) يوضح آلية ربط منبع التوتر E_1 الذي يغذي مقطع تسلسلي D_1,T_{C1}، والحثية L تلعب دور حمل لهذا المقطع. أيضاً تلعب L دور منبع تيار بالنسبة للمقطع التفرعي D_2,T_{C2}، الذي يغذي الحمل ذي التوتر E_2.



الشكل (80): وصل تسلسلي لمقطعين تسلسلي وتفرعي وربط حملين من نفس الطبيعة.

8 - قيادة مقطع جسري في الإحداثيات الأربعة:

مثال (37): سوف نعتبر أن المقطع الجسري الذي يعمل في الإحداثيات الأربعة للتوتر والتيار يغذي محرك تيار مستمر، تم تمثيله بقوة محركة كهربائية عكسية تتناسب مع سرعة الدوران وعلى التسلسل حثية L. المحرك يجر حمل ذي عزم مقاوم متناسب مع السرعة. عزم المحرك يتناسب مع التيار i_{Ch} المتوسط.



الشكل (81) دارة المقطع الجسري والحمل.

A- <u>القيادة البسيطة للقواطع:</u> (Simple modulation).

في هذه الحالة يتم توصيل القواطع T_1 و T'_2 خلال الفترة الزمنية (0-αT)، كما يتم توصيل القواطع (T'_1 و T_2) خلال باقي الدور (T، αT). حيث T دور التقطيع.

1- ارسم أشكال التيارات في محرك التيار المستمر والتوتر على طرفي المحرك + الحثية وذلك في حالة مرور تيار موجب (مستمر) خلال دور كامل.

2- احسب تموجات التيار المارة في المحرك. حدد عامل الدور الأعظمي للحصول على التعرجات العظمى، واعتبر أن U=120V و L=4mH و T=0.5ms.

3- بين أن المحرك عندئذ سيكون متوقفاً (ساكن). بين أن المفاقيد في المحرك والمقطع غير معدومة. احسب التيار الفعال في المحرك، وحدد فترات التوصيل للقواطع.

B- القيادة المضاعفة: (Double modulation):

في هذا الحالة قيادة القواطع T_1 و T'_2 ليس متماثلاً، قيادة (T'_2) للفصل يتم تأخيرها بمعدل $\frac{T}{2}$ بالنسبة للقاطع (T_1). بالمقابل قيادة القاطع T_2 للفصل متأخر $\frac{T}{2}$ بالنسبة لـ T'_1.

1- ارسم أشكال الأمواج للتيار في المحرك والتوتر على طرفيه وفي الملف في حال كون $0 \le \alpha \le \frac{1}{2}$ وفي حال $\frac{1}{2} \le \alpha \le 1$ نفرض أن التيار المار مستمر وموجب خلال كامل الدور.

2- ما العلاقة الموجودة بين تردد التوتر على طرفي الحمل وتردد القيادة للقواطع.

3- احسب تموجات تيار المحرك MCC. حدد عامل الدور الذي تكون عنده هذه التموجات أعظمية، واحسب قيمة هذه التموجات. قارن مع حالة القيادة البسيطة.

4- هل هنالك مفاقيد في المحرك والمقطع عندما لا يدور المحرك.

الحل:

A- حالة القيادة البسيطة:

1- يوضح الشكل أدناه تغيرات التوتر على طرفي المحرك وتغيرات التيار المار.

الشكل (82) القيادة البسيطة لمحرك التيار المستمر والعمل كمقطع تسلسلي.

في هذه الحالة، يعمل الجسر كمقطع تسلسلي لذا خلال المرحلة (T – 0) يعمل T_1 و T'_2 ويبدأ التيار بالتزايد، وعند αT تتوقف الثيرستورات أو القواطع، ويعمل D'_1 و D_2 لاستمرار مرور التيار بالاتجاه الموجب الذي كان يمر التيار به.

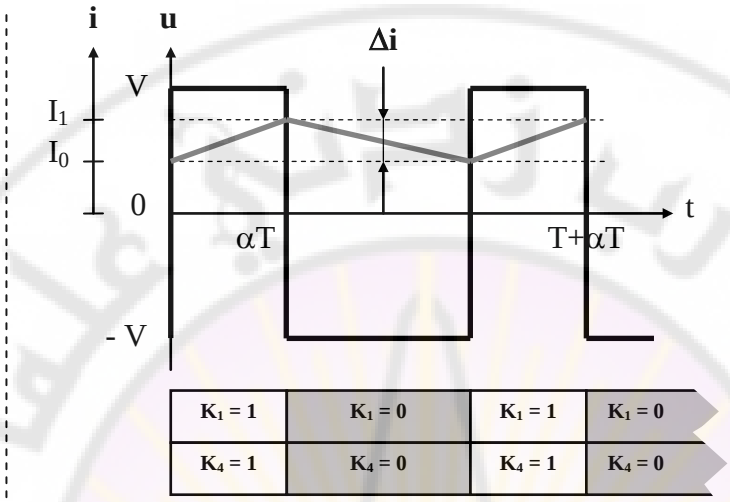
2- تموجات التيار العظمى تعطى بالعلاقة: $\Delta i_{Ch} = \frac{2.U}{L.F}.\alpha(1-\alpha)$

Δi_{Ch} يأخذ أقصى قيمة من أجل $\alpha=0.5$ وعندئذ سيكون لدينا:

$$\Delta i_{Ch} = \frac{U}{2.L.F}$$

حيث $F = \frac{1}{T}$ ، وبالتعويض:

$$\Delta i_{Ch} = \frac{120}{2\times 4\times 10^{-3}\times \frac{1}{0.5\times 10^{-3}}} \qquad \Delta i_{Ch} = \frac{120}{\frac{2\times 4}{0.5}} = 5.5A$$



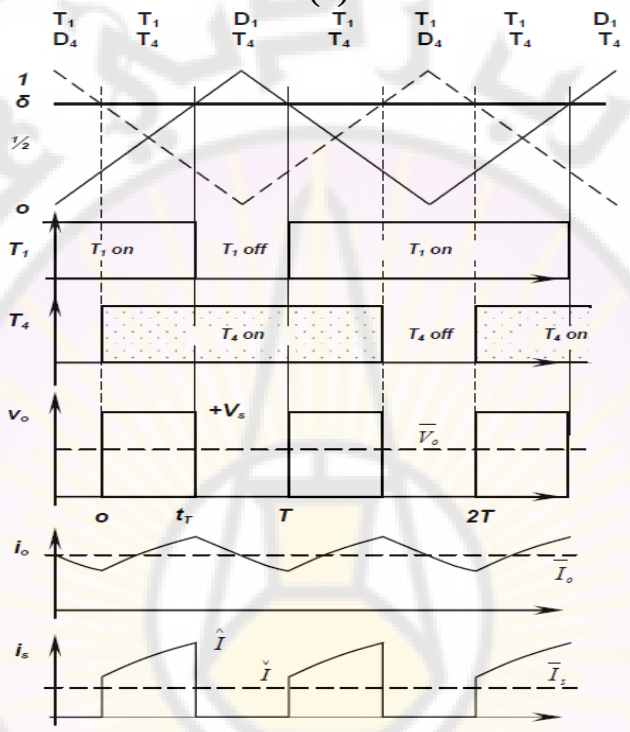
يكون المحرك ساكناً عند $\alpha=0.5$، والتوتر اللحظي على الحمل سيكون مساوياً U+ ، U-، والتيار اللحظي غير معدوم. حتى ولو كانت قيمته المتوسطة خلال الدور T معدومة.

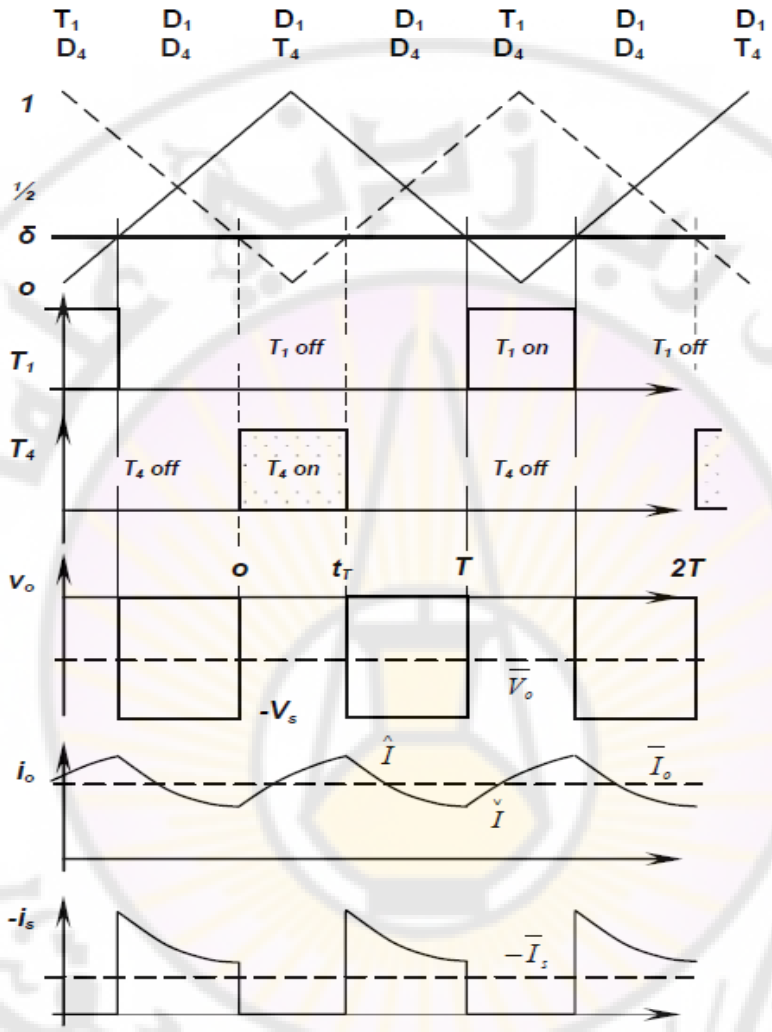
الاستطاعة اللحظية في المحرك غير معدومة، وهذا ينطبق على قواطع المقطع المستخدمة والتي تكون موصلة.

B- القيادة المضاعفة:

-1

(a)





(b)

الشكل (86) التوترات والتيارات a– من أجل $\alpha < \frac{1}{2}$ b- من أجل $\alpha > \frac{1}{2}$

2- العلاقة بين تردد التوتر على طرفي الحمل وتردد القيادة للقواطع هو أن تردد التيار في المحرك والتوتر على طرفي الحمل يساوي ضعف تردد التقطيع أو القيادة للقواطع.

3- القيمة المتوسطة لتوتر الحمل يساوي:

من أجل $0 \le \alpha \le 1./2$

$$V_{Ch} = U(2\alpha - 1)$$

وتموجات التيار العظمى تعطى بالعلاقة:

$$\Delta i_{Ch}(\alpha) = \frac{U}{L.F}.\alpha.(1-\alpha)$$

وتأخذ هذه التموجات القيمة العظمى من أجل $\alpha = 1/4$.

وعليه:

$$\Delta i_{Ch}\left(\frac{1}{4}\right) = \frac{1}{8}\frac{U}{L.F}$$

- من أجل $\frac{1}{2} \le \alpha \le 1$ لدينا:

$$\Delta i_{Ch}(\alpha) = \frac{U}{L.F}(2\alpha - 1)(1-\alpha)$$

وبأخذ القيمة العظمى من أجل $\alpha = 3/4$ وعندئذ

$$\Delta i_{Ch}\left(\frac{3}{4}\right) = \frac{1}{8}.\frac{U}{L.F}$$

بإعطاء التردد F و L نجد أن التعرجات العظمى لتيار المحرك (المقطع) عند القيادة المضاعفة (Double modulation) تساوي ربع التعرجات الموافقة لنفس المحرك عند القيادة البسيطة (Simple modulation).

4- من أجل $\alpha=0.5$ تبين أن $i_{Ch}(t) = 0$ وكذلك $V_{Ch}(t)$ مما يعني أن الاستطاعة اللحظية في المحرك معدومة وكذلك في القواطع.

لذا فإن استخدام القيادة المضاعفة أكثر استخداماً وفائدة من القيادة البسيطة.

9 – قيادة محرك التيار المستمر بالمقطعات

مثال (38):

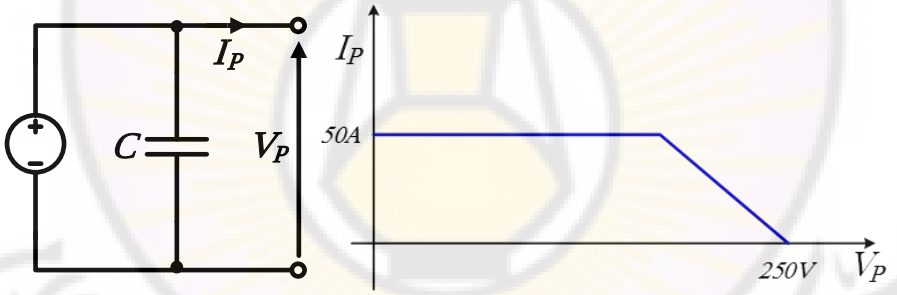
لدينا مضخة كهربائية /مضخة هيدروليكية/ ذات مردود 70%. سرعة الدوران العظمى r.p.m $N_{max}=1000$. قانون العزم– السرعة للمضخة هو:

$\Gamma_U=0.525\Omega$ حيث Ω السرعة Rad/sec. المحرك من نوع ذي التيار المستمر.

تم تمثيله بقوة محركة كهربائية E.M.F تساوي E_m على التسلسل مع حثية $L=5mH$. المقاومة مهملة. ويتميز المحرك بالخواص التالية:

$\Gamma=1.2I_{av}$ و $E_m=1.2\Omega$، حيث Γ العزم الكهرومغناطيسي و I تيار المحرك.

مجموعة المحرك– مضخة يتم تغذيتها من شبكة خلايا شمسية ممثلة بمولد V_P و I_P وسعة C_P ذات قيمة كبيرة. كما في الشكل أدناه.

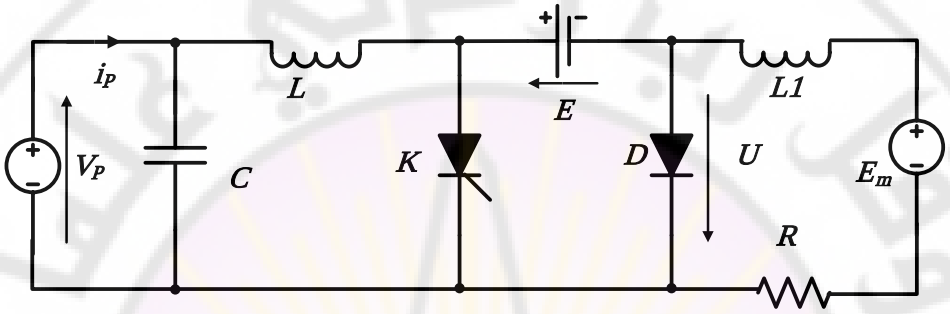


الشكل (87) الميزات المبسطة للخلايا الشمسية.

A- إذا تم ربط المحرك مباشرة إلى المدخرات. احسب سرعة الدوران، الاستطاعة المتبادلة وكمية الماء الممكن ضخها مع العلم أن ارتفاع منسوب الضخ h= 50m.

B- تم استخدام مقطع تسلسلي بين المدخرات الشمسية والمحرك. هل يلزم عناصر ترشيح إضافية؟ بين وجود تحكم بعامل الدور α يسمح باستخدام أعظمي للمجموعات. احسب استطاعة الضخ. كيف يتم تعديل هذه النتيجة إذا أخذنا بالاعتبار أن مردود المقطع 95%.

C- لدينا مدخرة شمسية ذات قوة محركة كهربائية E=360V وتم تركيب النموذج المبين بالشكل(88). بين قيمة α الممكن من خلالها استخدام الاستطاعة العظمى الناتجة عن الطاقة الشمسية. ضع مخطط الاستطاعة لكافة الاستطاعات.



الشكل (88) التركيب ذي المنابع الثلاث. E_m و E و V_P، L– حثية المرشح.

الحل:

A- نفرض أنه يمكن العمل عند الاستطاعة العظمى وعليه:

من منحي تشغيل الخلايا الشمسية نجد أن التوتر المقدم عند تيار حمل $I_{max}=50A$ هو 240 فولت.

وعليه فإن التيار الأعظمي $I=I_P=50A$. والعزم يساوي:

$$\Gamma_U = 1.2 \times 50 = 60 Nm$$

وبما أن المردود للنظام $\eta=70\%$ فإن العزم المفيد الممكن توليده سيكون:

$$\Gamma_U = 60 \times 0.7 = 42 Nm$$

والسرعة عندئذ:

$$42(Nm) = 0.525\Omega$$

$$\Omega = 80 rad/s$$

– القوة المحركة الكهربائية المتولدة عند هذه السرعة:

$$E_m = 1.2\Omega \Rightarrow 1.2 \times 80 = 96.0 Volts$$

ونرى أن E_m أصغر بكثير من توتر المدخرات الشمسية. ويساوي هنا التوتر V_P لعدم وجود مقاومة متحرض.

- بناءً على ما سبق نجد أن الاستطاعة المتبادلة:

$$P_P = V_P . I_P = 96 \times 50 = 4800W$$

- الاستطاعة المفيدة P_u تساوي:

$$P_u = \Gamma_u . \Omega = 42(N.m) \times 80(rad/s) = 3360$$

$$P_u = 3360Watt$$

- القدرة المصروفة خلال ساعات تساوي:

$$W = 3360 \times 3600 \times 8 = 96768KJ$$

لحساب كمية الماء الممكن ضخها من عمق 50m نجد أن:

$$W = m \times g \times h$$

m: الكتلة للماء المراد ضخه.

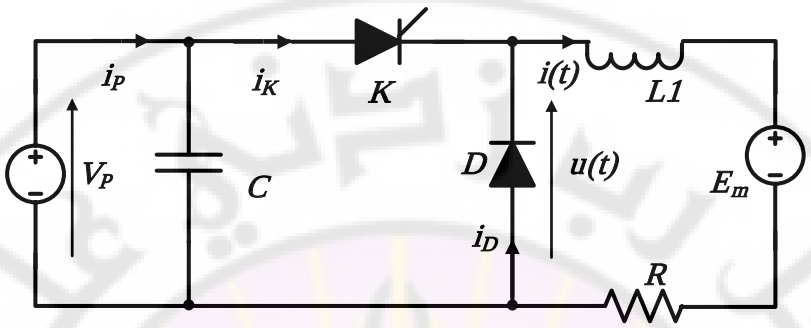
g: الجاذبية الأرضية $10 \approx 9.81$.

h: الساقط، عمق الماء (50m) وعليه

$$W = m \times 10 \times 50 = 500m = 96768KJ$$

$$m = 193.5Ton = 193m^3 \text{ (ء/م)}$$

B – في حال استخدام مقطع تسلسلي يمكن تحقيق الدارة المبينة أدناه وبما أننا نستخدم ألواح شمسية ذات توتر مستمر بدون تعرجات (ripple) فإننا نحتاج إلى مرشحات.



الشكل (89) الدارة المكافئة للخلايا الشمسية والمقطع التسلسلي مع المحرك.

- حدود السرعة العظمى المسموحة:

$$\frac{1000}{60}\times 2\pi \Rightarrow \Omega_{\max}=104.6rad/s$$

- والتوتر القادم من المدخرات الأعظمي $V_{P\max}=240V$
- العزم المولد من أجل $\Omega_{\max}$ هو:

$$\Gamma_U=0.525\Omega$$

$$\Gamma_U=0.525\times 104.6=55N.m$$

- العزم الأعظمي:

$$\Gamma_{\max}=\frac{\Gamma_U}{\eta}=\frac{55N.m}{0.7}$$

$$\Gamma_{\max}=78.5N.m$$

- بما أن

$$\Gamma=1.2I_{av}$$

$$I_{av}=\frac{\Gamma}{1.2}=\frac{78.5}{1.2}=65.42A$$

- القوة المحركة الكهربائية العكسية

$E_m = 1.2\Omega$

$E_m = 1.2 \times 104.6(rad/s) = 125.5Volts$

– باعتبار أن المقطع مثالي η'=100%. وعليه فإن توتر خرج المقطع التسلسلي يعطى بالشكل:

$U_{av} = E_m = \alpha.V_P$

$I_P = \alpha.I_{av}$

إذا كان توتر الدخل القادم من الخلايا الشمسية I_P=50A و V_P<240V وعليه

$125.5 = \alpha.240$

$$\alpha = \frac{125.5}{240} = 0.5229$$

وعليه:

$P_{ele} = V_P.I_P = 125.5 \times 50 = 6275W$

– المفاقيد في المقطع تترجم كهبوط توتر، وعليه فإن التوتر بدون مفاقيد:

$$V_P = \frac{125.5}{0.95} = 132.1Volts$$

والاستطاعة نتيجة ذلك

$P_{ele} = 132.1 \times 50 = 6605W$

وقدرة السحب للمياه تساوي:

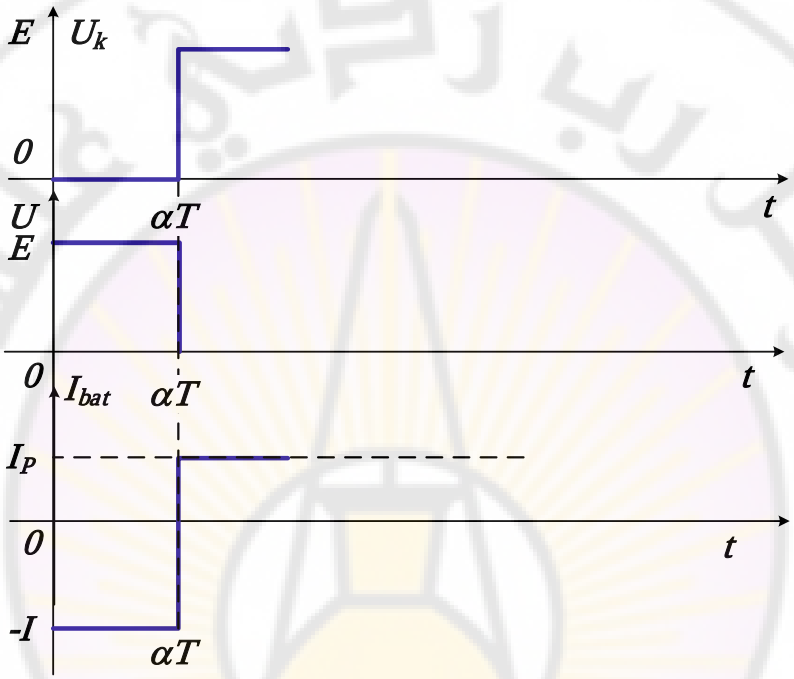
$6605 \times 3600 \times 8 = 190200KJ$

$190200 = m.g.h = 500m$

$m = 380.4m^3$

C- التركيب المبين في الشكل (89) يسمح بتخزين مؤقت للقدرة في المدخرات. وسوف تعمل مبدئياً بوجود مدخرة E ومقطع الكتروني (K) وسنرى أشكال التوترات والتيارات في هذه الحالة. على أن الخلايا الشمسية تعتبر مفتوحة.

– خلال الفترة الزمنية $0 < t < \alpha T$ ، D ينتقل للتوصيل (تيار مستمر) $V_K=E$ و $U=0$ والشكل أدناه يوضح التوترات والتيارات.



الشكل (90) التوترات والتيارات لدى عمل المقطع.

وعليه فإن: توتر الخلايا V_P = التوتر العكسي على القاطع K V_{Kav} ويساوي

$$V_{Kav} = V_P = (1-\alpha)E$$

$$U_{av} = \alpha E = E_m$$

– كي نجمع ونخزن كل القدرة القادمة من الخلايا الشمسية يجب أن يكون:

$$V_P = V_{P\max} = 240V$$

لدينا الخلايا الشمسية والمدخرة E والقاطع K تعمل كمقطع تفرعي يمكن منه حساب α:

$$E = \frac{V_P}{1-\alpha} = \frac{240}{1-\alpha} = 360$$

$$240 = 360 - 360\alpha$$

$$\alpha = \frac{120}{360} = \frac{1}{3}$$

- بما أن $\alpha = \frac{1}{3}$ فإن

$$E_m = \alpha.E = \frac{1}{3} \times 360 = 120V$$

- وسرعة الدوران تحسب من العلاقة

$$E_m = 1.2\Omega$$

$$\Omega = \frac{E_m}{1.2} = \frac{120}{1.2} = 100Rad/s$$

أي أن المحرك يدور عند سرعة أخفض من السرعة العظمى

Ω_{max}=104.6Rad/s

- العزم يعطى عندئذ

$$\Gamma = 0.525 \times \Omega$$

$$\Gamma = 0.525 \times 100 = 52.5N.m$$

العزم الأعظمي باحتساب المردود

$$\Gamma_{\max} = \frac{\Gamma}{\eta} = \frac{52.5}{0.7} = 75N.m$$

$$\Gamma = 1.2I_{av} = 1.2 \times I_{av} = 75N.m$$

$$I_{av} = 62.5A$$

- في المدخرة E تيار المدخرة من الشكل أعلاه (90) يحسب بالشكل:

$$I_{bat} = (1-\alpha)I_P - \alpha.I_{av}$$

$$= (1-0.333)50 - 0.333 \times 62.5$$

$$= 50 - 16.65 - 20.81 = 12.5A$$

- الاستطاعة الكهربائية:

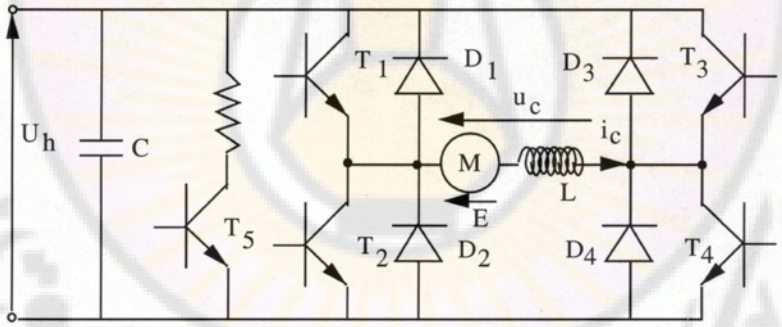
$$P_{ele} = 240 \times 50 = 12000W$$
$$P_{bat} = 360 \times 12.5 = 4500W$$
$$P_{VAdor} = 120 \times I_{av} = 120 \times 62.5 = 7500W$$

مثال (39)

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:

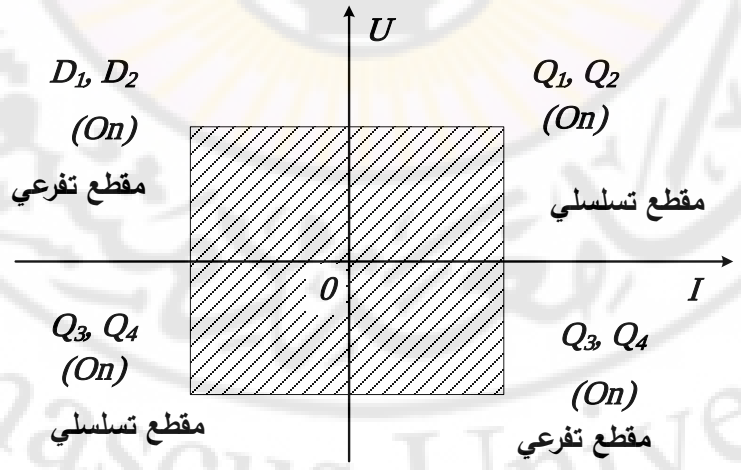
1- العمل في الربع الأول (توتر موجب- تيار موجب):

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 Q_2، 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

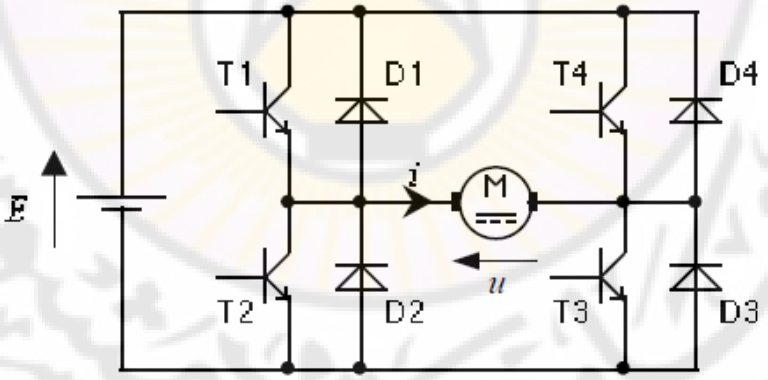
مثال (40):

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.

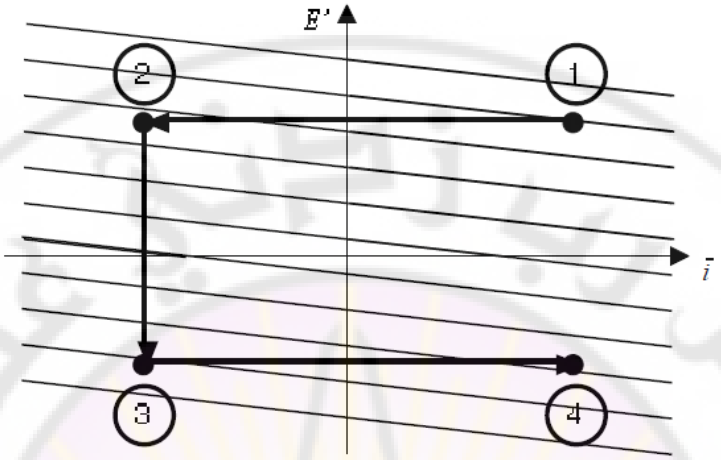
الحل:

– 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 لا يمنع 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.

وقل رب زدني علما
Damascus University

الجزء الثاني

2- المعرجات الثيرستورية والترانزستورية

(معرجات التوتر ومعرجات التيار):

INVERTERS : CURRENT SOURCE INVERTER&VOLTAGE SOURCE INVERTERS

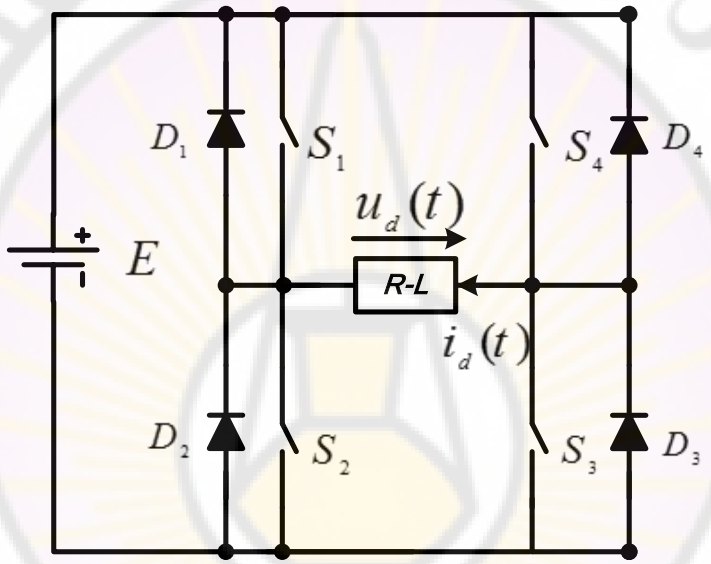
Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

مثال (1):

– لدينا معرج جسري أحادي الطور حسب الشكل المبين أدناه (2-1) باعتبار أن الحمل أومي، بين شكل التوتر خلال دور التشغيل. وفي حالة حمل مختلط أومي وتحريضي بين معادلات التوتر والتيار للحمل.

الحل:



شكل (1-2) جسر تعريج أحادي الطور.

1- بما أن الحمل مقاومة أومية صرفة:

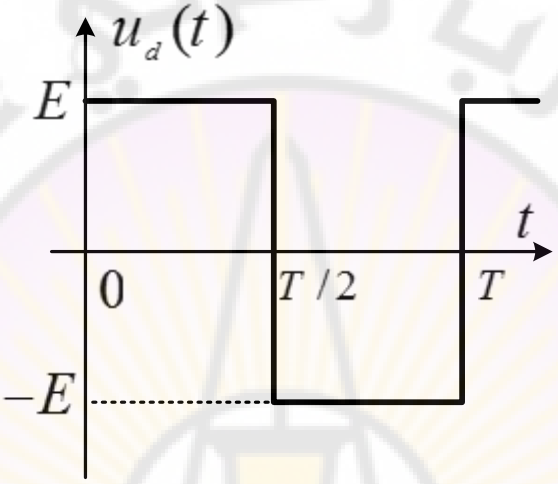
لدينا في كل لحظة العلاقة:

$$U_d(t) = R.i_a(t)$$

من أجل $0 < t < \frac{T}{2}$ القواطع (1 و3) موصلة (ON)، والقواطع (2 و4) مفتوحة (Off)، التوتر $U_d(t) = +E$.

من أجل $\frac{T}{2} < t < T$ القواطع (1 و 3) مفتوحة (Off)، والقواطع (2 و4) مغلقة (ON).

- التوتر $U_d(t) = -E$.
- **التيار** $i_d(t) = \dfrac{U(t)}{R}$



شكل (ب–1–2)

2- <u>حالة تطبيق حمل مختلط أومي تحريضي على المعرج</u>:

كتابع لعامل الجودة في كل لحظة يعطى توتر الحمل حسب العلاقة:

$$U_d(t) = R.i_d(t) + L\frac{di_d}{dt}$$

هنا أيضاً من أجل $0 < t < \dfrac{T}{2}$ القواطع (1 و 3) موصلة (ON)، ومن أجل $\dfrac{T}{2} < t < T$ القواطع (2 و 4) سوف يتم توصيلها.

- نعتبر الحالة الأولية $i_d(t) = 0$.
- خلال الفترة الزمنية $0 < t < \dfrac{T}{2}$ وكون (1+3) موصلة و (2 و 4) مفصولة off لدينا:

$$U_{d1}(t) = R.i_{d1}(t) + L\frac{di_{d1}}{dt} = E$$

الرمز (1) يشير للعمل خلال نصف الدور الأول من موجة التوتر المتناوب.

حل المعادلة التفاضلية أعلاه هو عبارة عن مجموع التيار في الحالة الدائمة والحالة العابرة ويكتب بالشكل:

$$i_{d1}(t) = K.e^{-t/\tau} + \frac{E}{R}$$

- عند t=0 لدينا:

$$i_{d10}(t) = K + \frac{E}{R}$$

ومنه:

$$K = i_{d10} - \frac{E}{R}$$

وبالتعويض في معادلة $i_{d1}(t)$ نجد:

$$i_{d1}(t) = \left(i_{d10} - \frac{E}{R}\right).e^{-t/\tau} + \frac{E}{R}$$

حيث $i_{d10}(t)$ هو التيار المار بالحمل عند t=0، التيار $i_{d1}(t)$ يتزايد باتجاه القيمة النهائية $\frac{E}{R}$ وذلك بشكل أسي (من الرتبة الأولى). وخلال نصف الدور الأول، اعتبرنا الحالة الأولية معدومة أي $i_{d10} = i_{d1}(0) = 0$ أي أن:

$$i_{d1}(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-t/\tau}\right).....(1)$$

- عند الزمن $t = \frac{T}{2}$، القواطع (2 و 4) موصلة (ON). لا يمكن لهذه القواطع أن تمرر التيار لأن اتجاه التيار موجب عند الزمن $t = \frac{T}{2}$ ومعادلة التيار كما رأينا أعلاه في (1) ستكون مساوية:

$$i_{d1}(t)=\frac{E}{R}\left(1-e^{-T/2\tau}\right)$$

هذا التيار موجب لذا فإنه سوف يمر في D_1 و D_3 التي تصبح موصلة. القواطع (T_1 و T_3) ستكون مفتوحة (off) .

– طالما أن التيار في الحمل موجب، لدينا خلال نصف الدور الثاني توتر الحمل بالشكل:

$$U_{d2}(t)=R.i_{d2}(t)+L\frac{di_{d2}}{dt}=-E$$

كما سبق حل هذه العلاقة يكتب بالشكل:

$$i_{d2}(t)=\left(i_{d20}+\frac{E}{R}\right).e^{-\left(t-\frac{T}{2}\right)/\tau}-\frac{E}{R}$$

حيث i_{d20} هو التيار عند الزمن $t=\frac{T}{2}$، أي أن

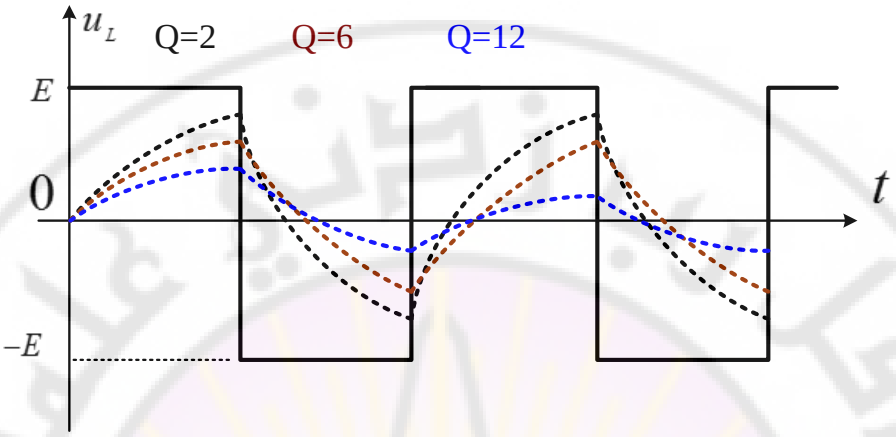
$$i_{d20}=i_{d1}\left(\frac{T}{2}\right)=\frac{E}{R}\left(1-e^{-T/2\tau}\right)$$

التيار $i_{d2}(t)$ يتجه نحو القيمة النهائية المحددة بالقيمة $-\frac{E}{R}$ وبشكل أسي.

وسوف ينتهي عند الزمن $t_{10}<T$ بحيث أن $i_{d20}>0$.

من أجل $t_{10}<T$، القواطع (2 و 4) ستنتقل للتوصيل وتحجز الديودات D_1 و D_3.

– هذا وتبعاً لعامل الجودة Q للحمل، كلما زادت Q كلما استلزم أو وجب زمن أطول للوصول لحالة الاستقرار أو التيار الدائم ومن أجل دور تشغيل قدره T ثابت الزمن $\tau=\frac{L}{R}$ سيزداد. والشكل يوضح ثلاث حالات للتشغيل عند Q=2.5 أو 6 أو Q=12.

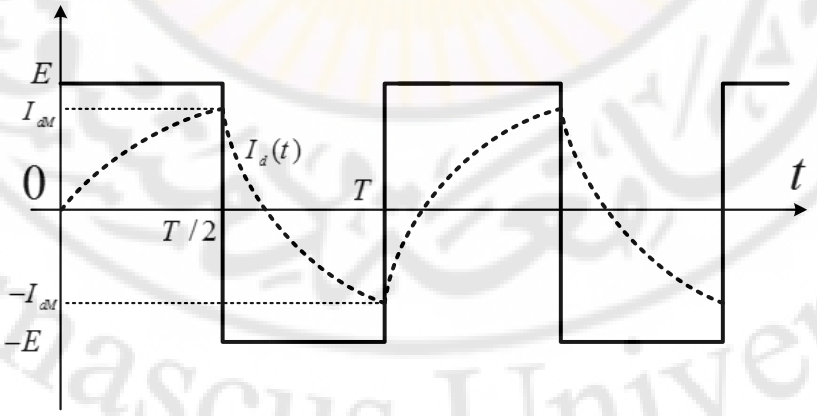


شكل (س−1−2) تغيرات تيار الحمل للحمل أو τ.

− حالة التشغيل الدائم Regime Permanent

انطلاقاً من شروط التشغيل الأولية وذلك باعتبار أن المعرج بدء من تيار يساوي الصفر نرى كيف يستقر التيار خلال عدة أدوار، وتعتمد قيمة التيار وشكله على عامل الجودة Q (quality Factor) $Q = \frac{L\omega}{R}$.

في حالة العمل الدائم التيار يهتز بين القيمة I_{dM} و $-I_{dM}$ كما في الشكل (س-2-1أدناه. والآن سوف نحسب خواص التيار المستقر في هذه الحالة.



شكل(س −1−2) التيار عند حمل تحريضي.

ملاحظة أساسية:

في حالة التشغيل الدائم $i_d(t)$ هو تيار دوري بدور T لأن العلاقة التفاضلية للتوتر $\left(U_d(t)=R.i_d(t)+L\frac{di_d}{dt}\right)$ هي خطية (قيم R و L) لا تعتمد على التيار $i_d(t)$. وبما أن الحمل تحريضي التيار $i_d(t)$ سيكون متأخراً عن التوتر $U_d(t)$ هذا التأخير بالطور يتراوح من t=0 (عند حمل أومي صرف) إلى $t=\frac{T}{4}$ (عند حمل تحريضي صرف). أي أنه في حالة التشغيل الدائم المستقر، يمر التيار $i_d(t)$ من قيمة سالبة إلى قيمة موجبة عند t=t_1 حيث $0<t_1<\frac{T}{4}$.

هذا التيار متناظر، لذا سيمر من قيمة موجبة إلى قيمة سالبة عند $t=\frac{T}{2}+t_1$

وفي كلتا الحالتين، يتبع التيار شكل التوتر $U_d(t)$ مع تأخير زمني t_1.

معادلات التيار $i_d(t)$ والتوتر $U_d(t)$:

خلال دور التشغيل، يمكن تمييز أربعة مراحل تشغيل.

1- من أجل $0<t<t_1$:

القواطع (3+1) ON و (4+2) OFF، التيار $i_d(t)$ كان سالباً عند t=0 ويساوي $-I_{dM}$، لذا لا يمكن لهذه القواطع (3+1) تمرير التيار السالب، الديودات D_2 و D_4 تمرر التيار $i_d(t)$ ولدينا:

$$U_d(t)=E=R.i_d(t)+L\frac{di_d}{dt}$$

وعليه:

$$i_d(t)=\frac{E}{R}+\left(-I_{dM}-\frac{E}{R}\right)e^{-t/\tau}$$

حيث $\tau=\frac{L}{R}$.

– عند الزمن $t=t_1$ التيار $i_d(t)=0$.

2- من أجل $t_1 < t < \frac{T}{2}$:

هنا ستبدأ القواطع (3+1) بتمرير التيار ويتم حجز D_1 و D_3، ومعادلات التيار والتوتر تبقى كما في السابق.

3- من أجل $\frac{T}{2} < t < t_1 + \frac{T}{2}$:

يتم نقل القواطع (4+2) للوصل (On) ونقل (3+1) للفصل (0ff). التيار $i_d(t)$ ذي قيمة موجبة عند $t = \frac{T}{2}$ ويساوي I_{dM}+، وهنا القواطع (4+2)) لا يمكنها تمرير التيار، الديودات (الثنائيات) D_2 و D_4 تمرر التيار الموجب ولدينا:

$$U_d(t) = -E = R.i_d(t) + L\frac{di_d}{dt}$$

$$i_d(t) = -\frac{E}{R} + \left(I_{dM} + \frac{E}{R}\right)e^{\left(-\frac{t-T/2}{\tau}\right)}$$

عند الزمن $t = \frac{T}{2} + t_1$ ينعدم التيار $i_d(t)$.

4- من أجل $\frac{T}{2} + t_1 < t < T$:

القواطع (4+2) تمرر التيار السالب ، الديودات D_1 و D_3 تحجز. معادلات التوتر والتيار تبقى كما هي سابقاً.

– حساب قيمة I_{dM}:

- من أجل $0 < t < \frac{T}{2}$ المعادلة التفاضلية تسمح برسم شكل التيار $i_d(t)$ وتكتب بالشكل:

$$E = R.i_{d1}(t) + L\frac{di_{d1}}{dt} \Rightarrow i_{d1}(t) = \frac{E}{R} + \left(-I_{dM} - \frac{E}{R}\right)e^{-t/\tau}$$

الرمز (1) يدل هنا للفترة الزمنية $0 < t < \frac{T}{2}$.

- من أجل $\frac{T}{2} < t < T$ لدينا:

$$-E = R.i_{d2}(t) + L\frac{di_{d2}}{dt} \Rightarrow i_{d2}(t) = -\frac{E}{R} + \left(I_{dM} + \frac{E}{R}\right)e^{-T/2\tau}$$

في حالة التشغيل الدائم، التيار $i_d(t)$ هو تيار دوري بدور T ونكتب:

$$i_{d1}(0) = -I_{dM} = i_{d2}(T) = -\frac{E}{R} + \left(I_{dM} + \frac{E}{R}\right)e^{-T/2\tau} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

$$i_{d1}\left(\frac{T}{2}\right) = I_{dM} = i_{d2}\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{E}{R} + \left(-I_{dM} - \frac{E}{R}\right)e^{-T/2\tau} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

كلتا المعادلتين تسمح بإعطاء التيار I_{dM}.

لنأخذ العلاقة (1) :

$$-I_{dM} = \frac{E}{R}\left(-1 + e^{-\frac{T}{2\tau}}\right) + I_{dM}e^{-T/2\tau}$$

$$I_{dM}\left(1 + e^{-\frac{T}{2\tau}}\right) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{T}{2\tau}}\right)$$

وليكن:

$$i_{d1}(0) = -I_{dM} = i_{d2}(T) = -\frac{E}{R} + \left(I_{dM} + \frac{E}{R}\right)e^{-T/2\tau} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

$$I_{dM} = \frac{E}{R}\frac{1 - e^{-\frac{T}{2\tau}}}{1 + e^{-\frac{T}{2\tau}}} = \frac{E}{R}\ln\left(\frac{T}{4\tau}\right)$$

- حساب t_1:

عند $t=t_1$، $i_{d1}(t)=0$ وليكن:

$$0 = \frac{E}{R} + \left(-I_{dM} - \frac{E}{R}\right)e^{-t/\tau}$$

ومنه:

$$t_1 = -\tau \ln \frac{\frac{E}{R}}{I_{dM} + \frac{E}{R}} = -\tau \ln \frac{1}{1 + th\left(\frac{T}{4\tau}\right)}$$

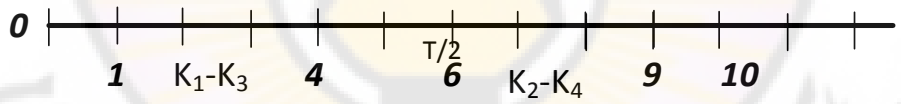
$$t_1 = \tau \ln\left(1 + th\left(\frac{T}{4\tau}\right)\right)$$

مثال (2):

معرج مستقلINVERTER (Onduleur autonnome) أحادي الطور، مكون من أربعة قواطع K_1 $-K_2$ $-K_3$ $-K_4$. يغذى من منبع توتر مستمر ذي قوة محركة كهربائية E=24V. إذا كان الحمل مقاومة أومية R=100Ω.

تم تلخيص تشغيل القواطع بالمخطط المبين أدناه، وباعتبار القواطع مثالية بين ما يلي:

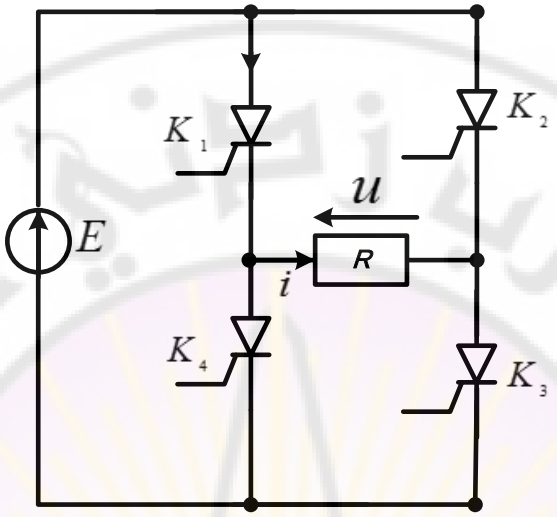
مخطط أزمنة التشغيل :



1- تبعاً للمخطط ارسم شكل التوتر (U) على طرفي الحمل، وتغيرات التيارات التالية i و i_{K1} و i_G.

2- احسب القيم الفعالة للتوتر U. واستنتج القيمة الفعالة للتيار I والاستطاعة الواصلة للحمل.

3- احسب القيمة المتوسطة للتيار المقدم من المنبع، واستنتج الاستطاعة المقدمة من المولد ومردود المعرج.



شكل (أ–2–2) دارة الاستطاعة.

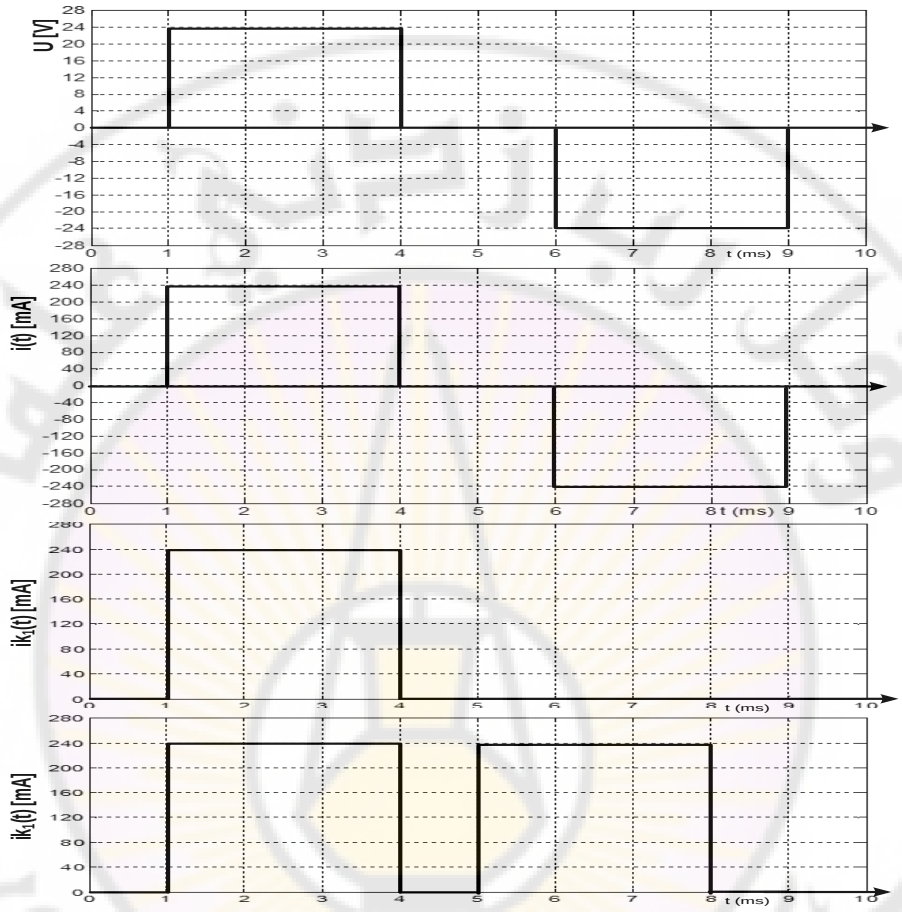
الحل:

1- رسم شكل التوتر حسب فصل ووصل القواطع المستخدمة و الشكل أدناه يوضح ذلك:

شكل التيارات i و i_{K1} و i_G.

2 – القيمة الفعالة للتوتر U يعطى بالعلاقة:

$$U = E\sqrt{1-\frac{\tau}{T/2}} = 24\sqrt{1-\frac{2}{5}} = 18.6V$$



شكل (س-2-2) تيار الخرج وتيارات القواطع.

- القيمة الفعالة للتيار i تساوي:

$$i = \frac{U}{R} = \frac{18.6}{100} = 186mA$$

- الاستطاعة المقدمة للحمل:

$$P = R.I^2 = 100 \times (186)^2 = 3.46W$$

3- تيار المنبع المتوسط يحسب بالشكل:

$$i_G = 240 \times \frac{3}{5} = 144mA$$

– الاستطاعة المقدمة من المنبع:

$$E \times i_G = 3.46W$$

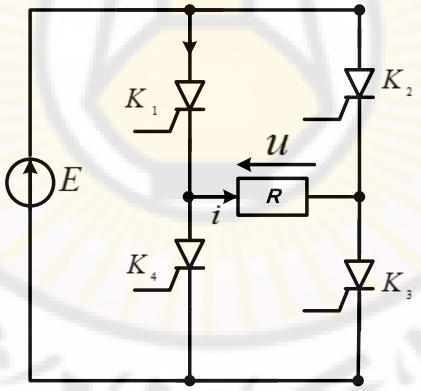
أي أن المردود 100% وهذا عملياً غير صحيح.

مثال (3):

في المعرج الأحادي الطور، ذو القواطع الأربعة (K_1 إلى K_4) باعتبارها مثالية، E توتر المنبع المستمر ذو القيمة 200V. الحمل مقاومة أومية R=100Ω.

الجدول المبين أدناه يبين حالة القواطع الموصلة وغير الموصلة.

	$0<t<\alpha\frac{T}{2}$	$\alpha\frac{T}{2}<t<\frac{T}{2}$	$\frac{T}{2}<t<(1+\alpha)\frac{T}{2}$	$(1+\alpha)\frac{T}{2}<t<T$
K_1	ON	ON	OFF	OFF
K_2	OFF	ON	ON	OFF
K_3	ON	OFF	OFF	ON
K_4	OFF	OFF	ON	ON



شكل (3-2) دارة الاستطاعة.

بين ما يلي:

1- ما هو نوع التبديل أو التحويل في الاستطاعة الذي يقوم به المعرج. اذكر مثالاً عملياً لمثل هذا المبدل.

2- مثل كتابع للزمن التوتر (U) على طرفي الحمل، والتيار (i) المار بالحمل باعتبار أن $\alpha = \frac{1}{3}$.

3- عبر عن القيمة المتوسطة والفعالة للتيار (i) كتابع لـ (E و R و α). قم بالتطبيق العملي عند $\alpha = \frac{1}{3}$.

4- استنتج القيمة المتوسطة للاستطاعة المقدمة للحمل.

5- ارسم شكل (Chronogramme) التيارات i_{K1} و i_{K2} و i_{KG}.

6- عبر عن القيمة المتوسطة للتيارات i_{K1} و i_{K2} و i_{KG} كتابع لـ (E و R و α). وأعطِ قيماً عددية.

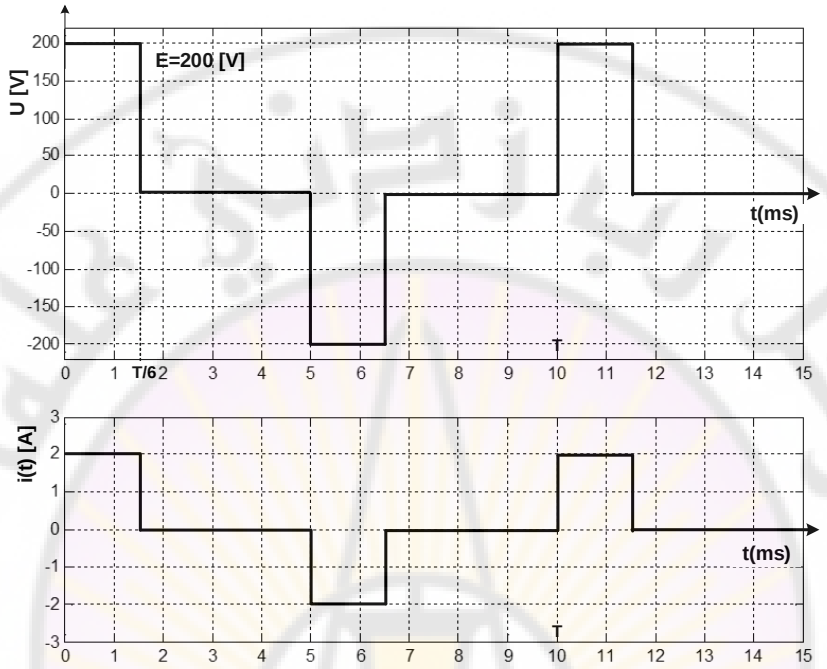
7- احسب القيمة المتوسطة للاستطاعة المقدمة من المنبع E. علق على ذلك.

8- ما هي نوعية القواطع الممكن استخدامها لتحقيق هذا المعرج

الحل :

1- تعمل المعرجات على تبديل الاستطاعة المستمرة إلى متناوبة: Converter DC → AC، والتطبيقات المعروفة للمعرجات عديدة، تستخدم في أنظمة عدم انقطاع القدرة وفي قيادة المحركات التحريضية وتنظيم سرعتها وفي تطبيقات هندسية أخرى متعددة .

2- الشكل أدناه يوضح تغيرات التوتر U على طرفي الحمل والتيار المار i.



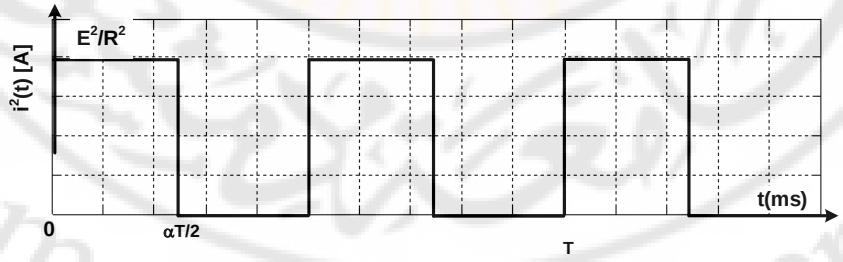
شكل (ب–3–2) توتر الحمل وتيار الحمل.

3- القيمة المتوسطة للتيارات I كتابع لـ (E و R و α)

$$I_{av} = 0$$

– القيمة الفعالة للتيار I حسب التعريف تساوي:

$$I_{eff} = \sqrt{i_{av}^2}$$



شكل (س–3–2) تيار المنبع.

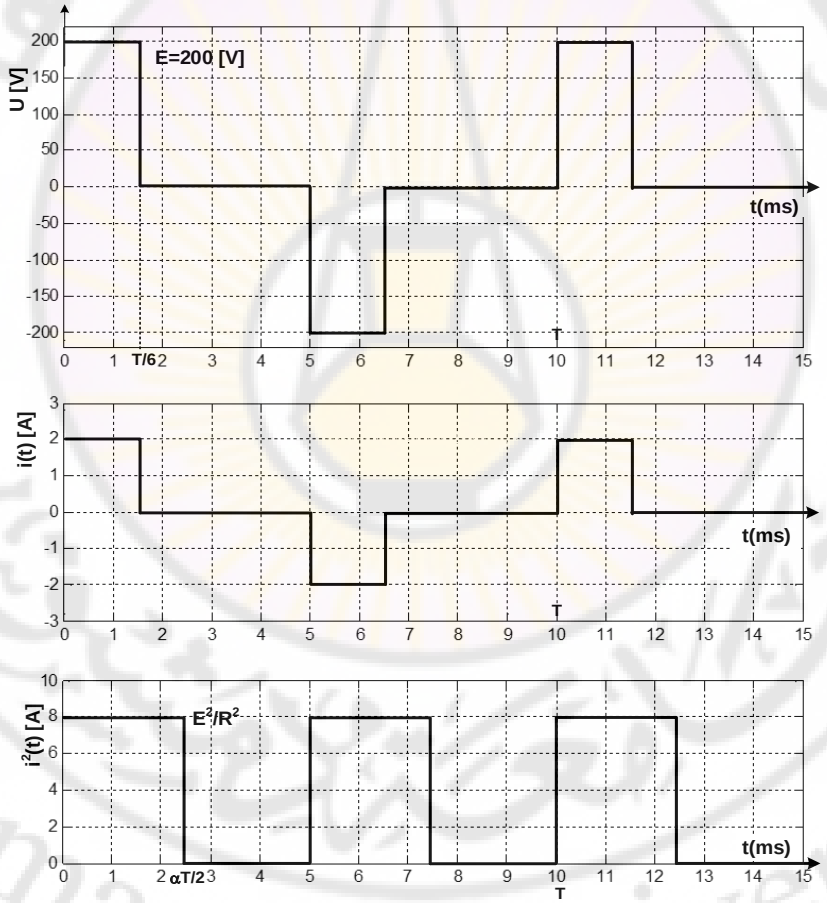
$$i_{av}^2 = \alpha\left(\frac{E}{R}\right)^2$$

$$I_{eff} = \sqrt{\alpha}\,\frac{E}{R} = 1.155A$$

4- القيمة المتوسطة للاستطاعة المقدمة للحمل:

$$< U.i >=< R.i^2 >= R.I_{eff}^2$$

$$= 133Watts$$



شكل (د–3–2) تيار القواطع وتيار المنبع.

5 أشكال التيارات i_{K1} و i_{K2} و i_{KG}.

6- القيم المتوسطة للتيارات:

$$< i_{K1} >=< i_{K2} >= \frac{\alpha.E}{2R} = 0.33A$$

$$< i_G >=< i_{K1} > + < i_{K2} >= \frac{\alpha.E}{R} = 0.67A$$

– الاستطاعة المتوسطة المقدمة من المنبع:

$$< E.i_G >= E < i_G >= 133W$$

نرى أن الاستطاعة الواصلة للحمل تساوي الاستطاعة المقدمة من المنبع، أي أن المردود 100% وهذا يعني عدم وجود مفاقيد في القواطع الالكترونية، وهذا مجرد افتراض نظري.

– نوعية القواطع الممكن استخدامها:

القواطع الواجب استخدامها يجب أن تكون مقادة عند الوصل وعند الفصل وعادة تستخدم ترانزستور متعدد القطبية Bipolar. أو ثيرستور GTO أو ترانزستور MOSFET أو IGBT.

مثال (4):

معرج نصف جسري كما في الشكل (أ– 4–2) أدناه. حيث مقاومة الحمل $R=24\Omega$ وتوتر الدخل $V_S=48V$. حدد ما يلي:

a- القيمة الفعالة r m s لتوتر الخرج عند التوتر الأساسي V01 (المركبة التوافقية الأولى).

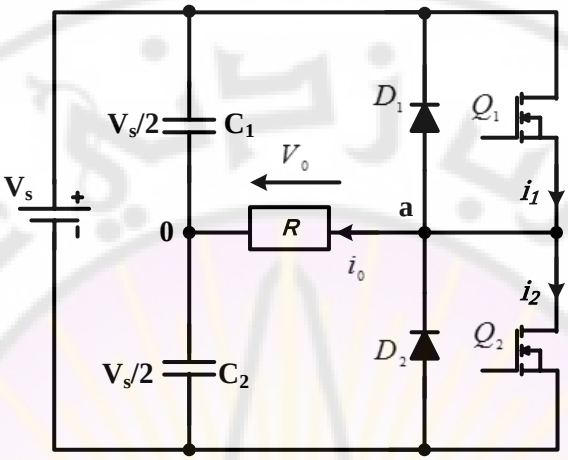
b- استطاعة الخرج P_0.

c- التوتر العكسي الأعظمي (Peak reverse blocking Voltage) $V_{\beta R}$ لكل ترانزستور.

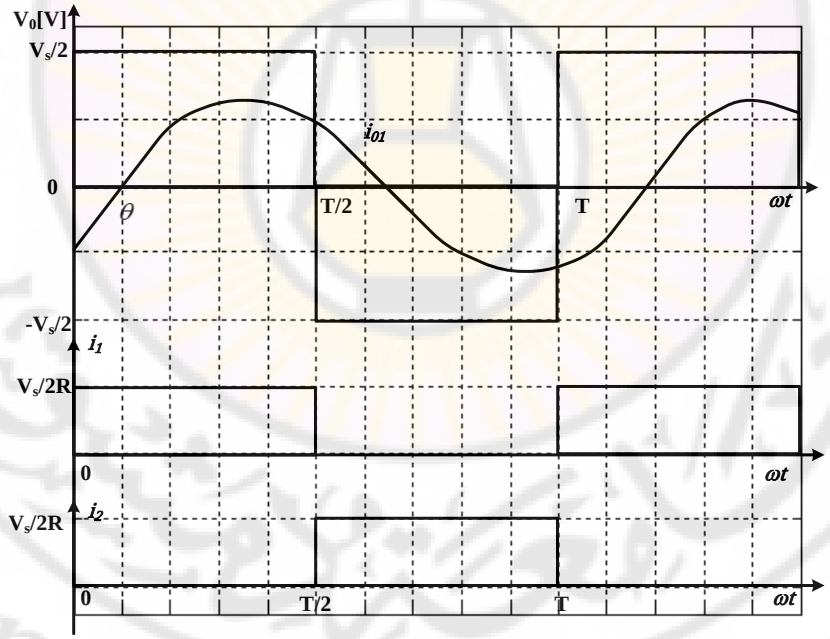
e- THD (Total Harmonic Distortion). عامل التشوه الكلي.

f- عامل التشوه DF.

الحل :



a- دارة الاستطاعة.



شكل (2-4) a– دارة الاستطاعة. b– التوترات والتيارات.

a- من العلاقة:

$$V_{01} = \frac{2V_S}{\sqrt{2}\pi} = 0.45V_S$$

$$V_{01} = 0.45 \times 48 = 21.6V$$

b- من العلاقة

$$V_0 = \frac{V_S}{2} = \frac{48}{2} = 24V$$

وعليه فإن

$$P_0 = \frac{V_0^2}{R}$$

$$P_0 = \frac{(24)^2}{2.4} = 240W$$

c- تيار الترانزستور الأعظمي:

$$I_P = \frac{24}{2.4} = 10A$$

وبما أن كل ترانزستور سيعمل فقط خلال نصف الدور فإن التيار المتوسط = .5A

d- التوتر العكسي الأعظمي:

$$V_{\beta R} = 2 \times 24 = 48V$$

e- عامل تشوه التوافقيات الكلي: (THD (Total Harmonic Distortion يعطى بالعلاقة:

$$THD = \frac{1}{V_{01}} \left(\sum_{n=2,3...}^{\infty} (V_{0n})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sum_{n=2,3...}^{\infty} (V_{0n})^2 = V_h = \left(V_0^2 - V_{01}^2\right)^{\frac{1}{2}} = 0.2176V_S$$

ومنه فإن

$$THD = \frac{0.2176V_S}{0.45V_S}$$

$$THD = 48.34\%$$

f- عامل التشوه Déformation Factor يعطى بالعلاقة:

$$DF = \frac{1}{V_{01}}\left[\sum_{n=2,3..}^{\infty}\left(\frac{V_{0n}}{n^2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} = \frac{V_{0n}}{V_{01}\times n^2}$$

$$\left[\sum_{n=2,3}^{\infty}\left(\frac{V_{0n}}{n^2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\left(\frac{V_{03}}{3^2}\right)^2 + \left(\frac{V_{05}}{5^2}\right)^2 + \left(\frac{V_{07}}{7^2}\right)^2 + ...\right]^{\frac{1}{2}} = 0.024V_S$$

وعليه فإن

$$DF = \frac{0.024V_S}{0.45V_S} = 5.382\%$$

مثال (5):

في المعرج التسلسلي نصف الجسري الثيرستوري بين لنا ما يلي:

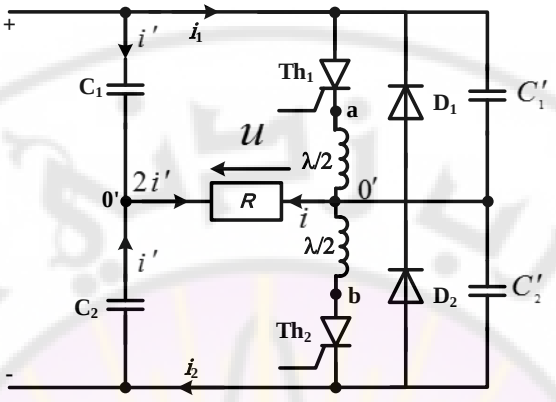
1- كيف تعمل هذه الدارة ولماذا تستخدم؟

2- ما العلاقات الناظمة بين تيار الحمل، تيار شحن وتفريغ المكثف، تيار المنبع، وتيار الثيرستور.

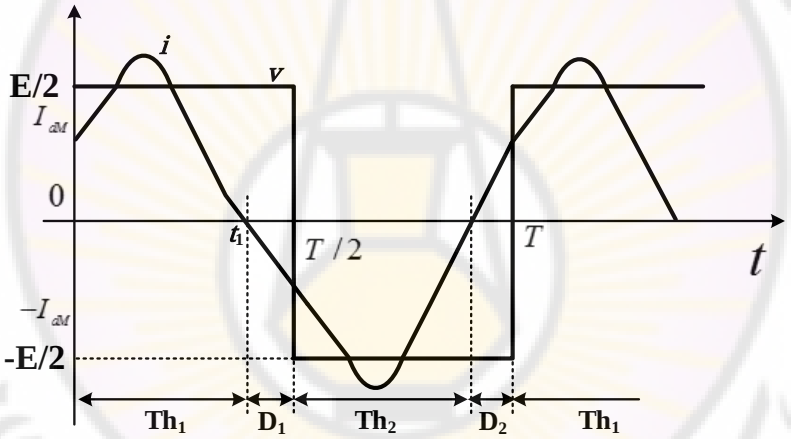
3- ما شكل التيار والتوتر على طرفي الحمل إذا كان الحمل سعوياً، وكيف عندئذ يتم وصل وفصل كل عنصر قطع في الدارة؟

الحل:

الشكل أدناه يوضح دارة الاستطاعة لمعرج نصف جسري ثيرستوري تسلسلي، تشغيل الثيرستور Th_1 يعمل على فصل الثيرستور Th_2 وبالعكس. دارة الحجز هي المكثف والملف $\lambda/2$. هذا الملف يشكل توتر على المصعد معاكس لتوتر الثيرستور ويسبب حجز الثيرستور.



a- دارة المعرج نصف الجسري التسلسلي.



شكل (2-5-b) التيار والتوتر على طرفي الحمل السعوي.

في حالة الحمل السعوي ، يتم توصيل Th_1 عن طريق نبضات القدح الواجب تطبيقها كل نصف دور ويتم فصل Th_1 تلقائياً عند $T/2$.عن طريق نبضات القدح يوصل أيضاً Th_2 ويفصل تلقائياً قبل نهاية نصف الدور الثاني.

في حالة الحمل التحريضي ،عملياً كي يمكن تحقيق عملية الحجز القسري للثيرستور Th_1 أو Th_2، يجب أن نزود هذه الدارة بمكثفات حجز C_1' و C_2'، وأن نزوده بملفين ملفوفين مع بعضهما البعض لفة بلفة، لدى تشغيل Th_1 يمر

التيار من المنبع النقطة M إلى الحمل، وتصبح قطبية النقطة ' 0 موجبة ، وتصبح قطبية النقطة 0 سالبة.

لحظة توصيل Th_1 يتزايد التيار i وبالتالي فإن القوة المحركة الكهربائية المتولدة في الملف (0'a) ، تنشأ قوة محركة كهربائية عكسية في الملف (0'b) بحيث تطبق توتر سالب على مصعد Th_2 وتسعى لنقله للحجز. خلال تشغيل Th_1 التوتر على C_1' يساوي الصفر، والتوتر على C_2' يعادل توتر المنبع، وبالعكس، فإن تشغيل Th_1 يفصل Th_2 وتشغيل Th_2 يفصل Th_1 والمكثفات C_1' و C_2' تقدم توترات الحجز.

2- العلاقات الناظمة بين التيار والتوتر تعطى بالشكل:

$$U_{C1} + U_{C2} = E$$

$$\frac{dU_{C1}}{dt} + \frac{dU_{C2}}{dt} = 0$$

$$C\frac{dU_{C1}}{dt} = -C\frac{dU_{C2}}{dt}$$

تيار الشحن أو التفريغ i' للمكثف C_1 يساوي تيار الشحن والتفريغ للمكثف C_2 التيار i_C تيار المنبع، i' تيار الشحن أو التفريغ. i تيار الحمل

لدينا:

$$i_C = i_1 + i'$$

أو:

$$i_1 = i = -2i' \Rightarrow i' = \frac{-i_1}{2}$$

$$i_C = i_1 - \frac{i_1}{2} = \frac{i_1}{2}$$

$$i_1 = 2i_C$$

مثال (6):

لدينا معرج نصف جسري حمل بحمل مختلط المقاومة الأومية للحمل كانت 3 أوم والممانعة للحمل كانت 12 أوم. توتر الدخل للمنبع المستمر 64 فولت. بين ما يلي:

1- ارسم دارة الاستطاعة لهذا الجسر وبين شروط ومتطلبات قدح عناصر القطع الترانزستورية المقترحة.

2- ما القيمة الفعالة لتوتر الخرج عند التردد 50 هرتز؟

3- ما الاستطاعة المطبقة على الحمل؟

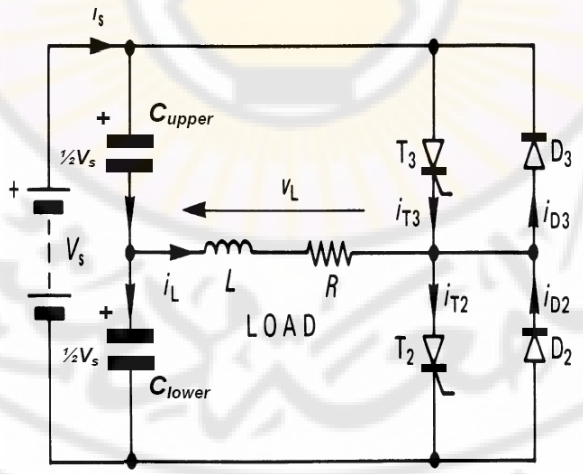
4- بين القيمة العظمى والدنيا لتيار كل ترانزستور.

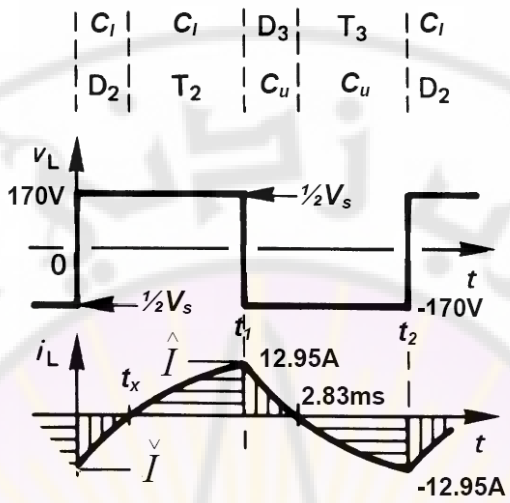
5- ما القيمة العظمى للتوتر العكسي المطبق على كل ترانزستور؟.

6- ما التوتر الاسمي والتيار الاسمي للديودات الحرة المستخدمة في الجسر؟.

الحل:

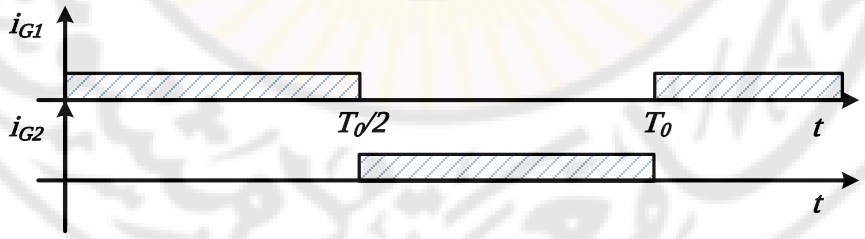
دارة الاستطاعة لمعرج نصف جسري ترانزستوري.





شكل (6-2) a– دارة الاستطاعة. b– توتر الحمل وتيار الحمل.

– يعمل القاطع Q_1 خلال نصف الدور $\frac{T_0}{2}$ ويعمل القاطع Q_2 خلال باقي نصف الدور. عندما يعمل Q_1 فإن توتر الحمل $V_0 = \frac{V_S}{2}$، وعند عمل Q_2 يصبح مساوياً $V_0 = -\frac{V_S}{2}$ تطبق نبضات القدح على كل من Q_1 و Q_2 كما يلي:



شكل (س–6–2) نبضات القدح للقواطع.

التطبيق العددي:

1- القيمة الفعالة لتوتر الخرج عند التردد 50Hz تساوي قيمة التوتر المستمر المطبق أي أن:

$$V_0 = \frac{V_S}{2}$$

$$V_0 = \frac{64}{2} = 32V$$

– لحساب الاستطاعة المطبقة على الحمل: نحسب التيار المار ونحسب قيمة الثابت الزمني τ.

$$X_{:L} = 12 \Rightarrow L = \frac{12}{2 \times 50 \times \pi} = 0.0382H$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0.0382}{3} = 0.0127 = 12.7m\sec$$

نحسب القيمة العظمى للتيار:

$$\hat{I} = \frac{1}{2}\frac{V_S}{R}\frac{1-e^{-t_1/\tau}}{1+e^{-t_1/\tau}} \qquad :t_1 = \frac{T}{2} = 10$$

$$\hat{I} = \frac{1}{2}\frac{64}{3}\frac{1-e^{-10/12.7}}{1+e^{-10/12.7}} = 3.76A$$

– نحسب معادلة التيار مع الزمن :

$$i_L(t) = \frac{V_S}{2R} - \left(\frac{V_S}{2R} + \hat{I}\right)e^{-t/\tau}$$

$$= 10.667 - 14.43e^{-78.7t}$$

$$P_L = \frac{1}{t_1}\int_0^{t_1}\frac{V_S}{2}i_L(t)dt = \frac{1}{10ms}\int_0^{10ms} 32\left(10.667 - 14.43e^{-78.7t}\right)dt$$

$$P_L = 21.4W$$

– القيمة العظمى والدنيا لتيار الترانزستور هي ±3.76A

– القيمة العظمى للتوتر العكسي المطبق على كل ترانزستور هي توتر المنبع 64V.

– التوتر الاسمي للديود هو 64V.

التيار الاسمي للديود يساوي تيار الحمل ويساوي 3.76A.

مثال (7):

معرج جسري أحادي الطور كما في الشكل (7-2) أدناه. مقاومة الحمل $R=2,4\Omega$ وتوتر الدخل $V_S=48V$ حدد ما يلي:

a - القيمة الفعالة r. m .s لتوتر الخرج عند التوتر الاساسي V_{01}.

b - استطاعة الخرج P_0.

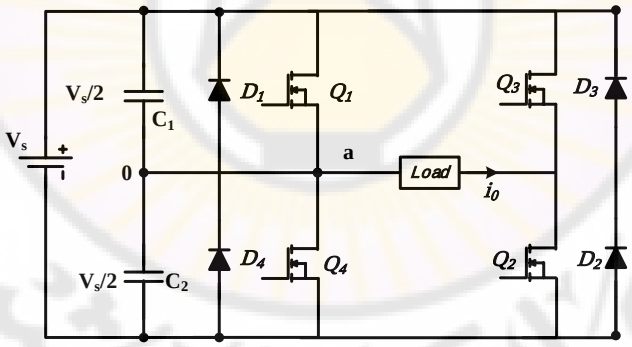
c - التيار المتوسط والأعظمي لكل ترانزستور.

d - التوتر العكسي الأعظمي $V_{\beta R}$ لكل ترانزستور.

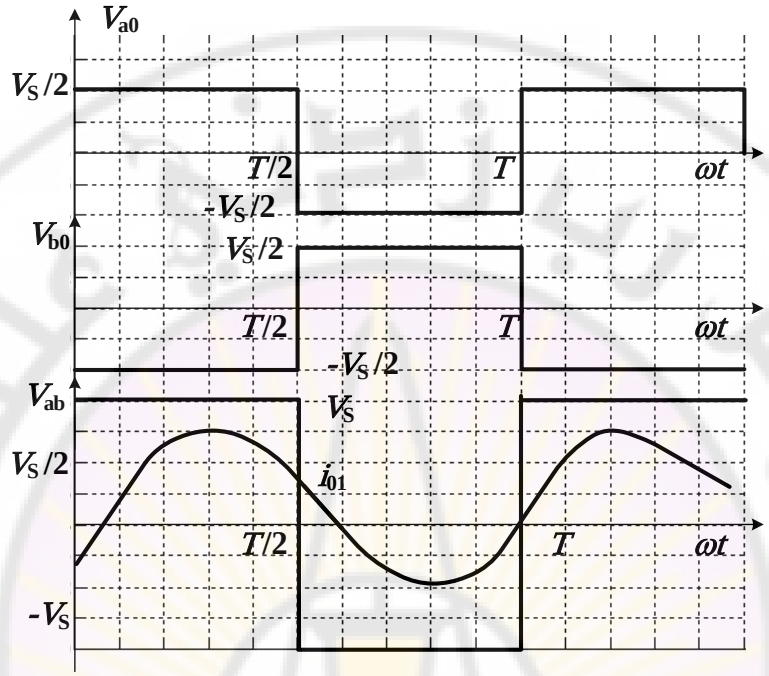
e - THD%.

f - عامل التشوه DF.

الحل:



a- دارة الاستطاعة.



شكل (2-7) a– دارة الاستطاعة لمعرج جسري أحادي الطور.

b - التوترات والتيارات.

a- من العلاقة:

$$V_1 = \frac{4V_S}{\sqrt{2}\pi} = 0.9V_S$$

لدينا:

$$V_1 = 0.9 \times 48 = 43.2 Volts$$

b- من العلاقة:

$$P_O = \frac{V_S^2}{R} = \frac{(48)^2}{2.4}$$

$$P_0 = 960W$$

c- تيار الترانزستور الأعظمي

$$I_P = \frac{48}{2.4} = 20A$$

وبما أن الترانزستور الواحد لا يوصل سوى نصف دور، فإن القيمة المتوسطة لتيار الترانزستور I_Q=10A.

d- التوتر العكسي الأعظمي

$$V_{\beta R} = 48V$$

e- لدينا V_1=0.9V_S والقيمة الفعالة r.m.s لتوتر التوافقيات

$$V_h = \left(\sum_{n=2,3...}^{\infty} V_{0n}^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \left(V_0^2 - V_{01}^2 \right)^{\frac{1}{2}} = 0.4352V_S$$

وعليه

$$THD = \frac{0.4352V_S}{0.9V_S} = 48.34\%$$

f- عامل التشوه DF:

$$\left[\sum_{n=2,3..}^{\infty} \left(\frac{V_{0n}}{n^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0.048V_S$$

وعليه :

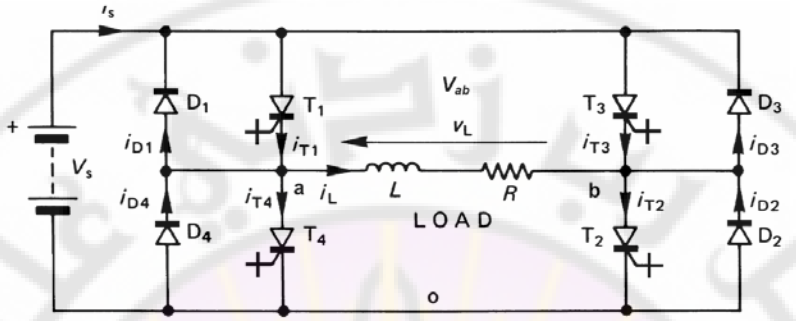
$$DF = \frac{0.048V_S}{0.9V_S} = 5.382\%$$

مثال (8):

لدينا دارة المعرج الجسري التالي Full Bridge Inverter، الذي يغذي حملاً تحريضياً R=10Ω, L=50mH من منبع توتر مستمر V_S=340V ويعمل عند تردد f=50Hz حدد ما يلي:

1- حدد تيار المنبع الوسطي والقيمة الفعالة لتيار الحمل وتوتره.

2- ارسم أمواج التيار للحالة المستقرة عندما يعمل الجسر بموجة مربعة.



شكل (2-8) a– دارة الاستطاعة.

الحل:

لدينا الثابت الزمني وأزمنة العمل كما هي مبينة في الشكل السابق:

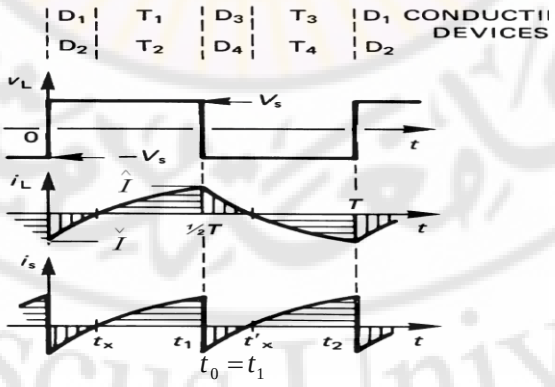
$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{50}{10} = 5ms$$

$$t_1 = 10ms, \quad t_2 = 20ms$$

$$t_0 = t_1$$

قيم التيار الأعظمي المار في الحمل تحسب وفق العلاقة:

$$\hat{I} = -\check{I} = \frac{V_S}{R}\frac{1-e^{-t_0/\tau}}{1+e^{-t_1/\tau}} = \frac{340}{10}\frac{1-e^{-2}}{1+e^{-2}} = 25.9A$$



b– توتر الحمل وتيار الحمل وتيار المنبع.

إن توتر الحمل هو $V_L = 340V$

– لدينا المعادلة الزمنية للتيار هي:

$$i_L(t) = \frac{V_S}{R} - \left(\frac{V_S}{R} + \breve{I}\right)e^{-t_1/\tau}$$

$$i_L(t) = \frac{340}{10} - \left(\frac{340}{10} + 25.9\right)e^{-200t}$$

$$= 34 - 59.9e^{-200t}$$

$$for \quad 0 \le t \le t_1 = 10ms = \frac{1}{2}T$$

عندما يكون التوتر

$$V_L = -340V$$

$$i_L(t) = -\frac{V_S}{R} + \left(\frac{V_S}{R} + \hat{I}\right)e^{-t_1/\tau}$$

$$= -\frac{340}{10} + \left(\frac{340}{10} + 25.9\right)e^{-200t}$$

$$= -34 + 50.9e^{-200t}$$

$$for \quad 0 \le t \le t_2 - t_1 = 10ms = \frac{1}{2}T$$

علماً أن نقطة التقاطع مع المحور تحسب وفق المعادلة:

$$t_x = \tau \ln\left(1 + \frac{\hat{I} \times R}{V_S}\right) = 2.83ms$$

الاستطاعة المقدمة للحمل هي:

$$P_L = \frac{1}{t_1}\int_0^{t_1} V_S \times i_L(t)dt$$

$$P_L = \frac{1}{10ms}\int_0^{10ms} (340)\times\left(34 - 50.9e^{-200t}\right)dt = 2755W$$

$$P = i^2 \times R$$

$$i_{rms} = \sqrt{\frac{P_L}{R}} = \sqrt{\frac{2755}{10}}$$

$$\bar{I}_S = \frac{P_L}{V_S} = \frac{2755}{340} = 8.1A$$

مثال (9):

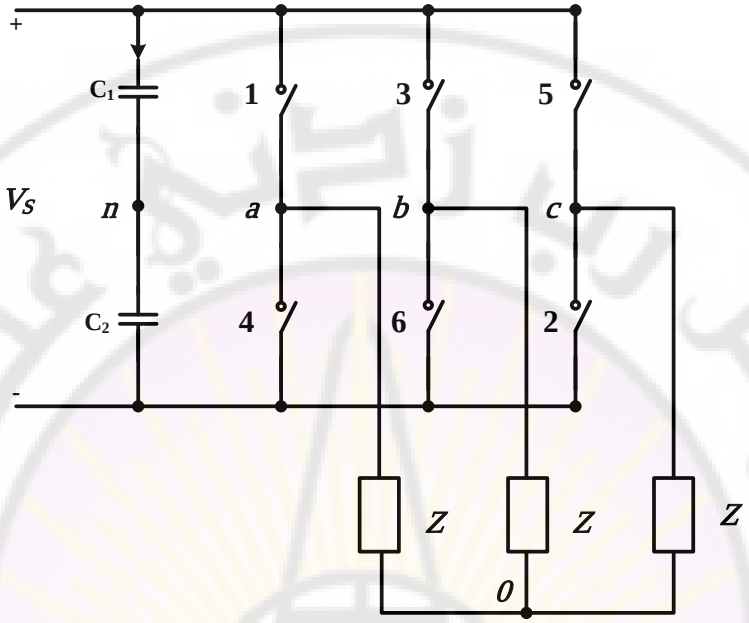
لدينا معرج توتر ثلاثي الطور (Voltage Source Inverter(VSI . يتم توصيل القواطع المستخدمة في الجسر لمدة 180^o درجة (نصف الدور)، حيث أن القواطع (T_1 و T_4) للذراع الأول و (T_3 و T_6) للذراع الثاني و (T_5 و T_2) للذراع الثالث، توصيل T_4 يفصل T_1 وبالعكس.

1-1- ارسم شكل التوترات الناتجة للأطوار وللخطوط. عند عرض نبضات قدح أو فترة توصيل 180^o درجة.

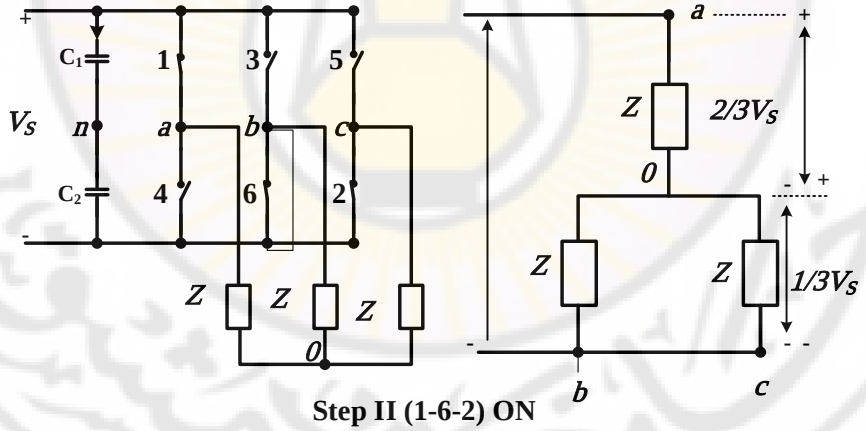
2-1- ارسم نفس الأشكال للتوترات الناشئة على الأطوار والخطوط عند عرض نبضات قدرها 120 درجة و 150^o درجة.

الحل:

دارة الاستطاعة مبينة بالشكل أدناه.



شكل (أ-9-2) دارة الاستطاعة لمعرج ثلاثي الطور VSI.



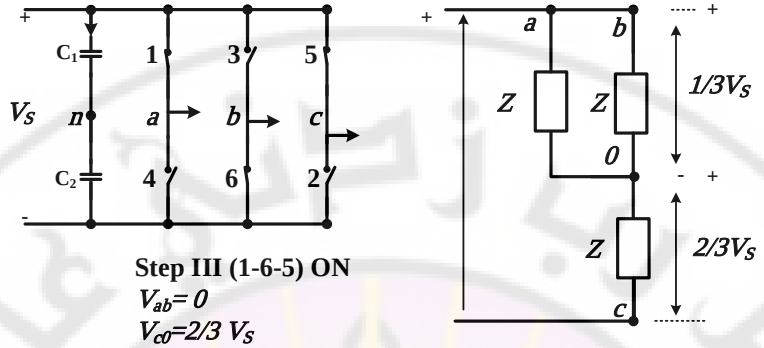
Step II (1-6-2) ON

$V_{ab}= V_S$

$V_{a0}=2/3\ V_S$

$V_{b0}=V_{c0}=-1/3\ V_S$

- الزمن من (120^o حتى 180^o)



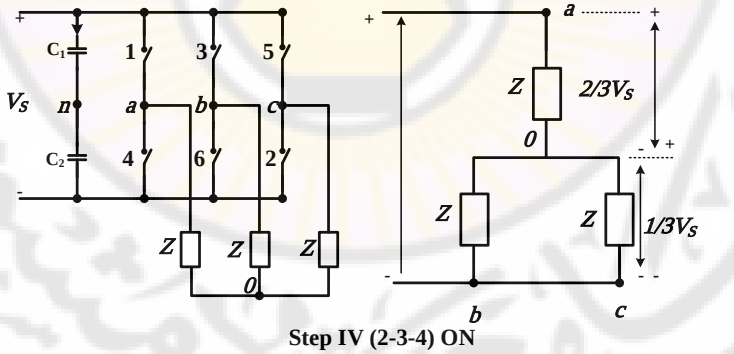
Step III (1-6-5) ON

$V_{ab}= 0$

$V_{c0}=2/3\ V_S$

$V_{a0}=V_{b0}=-1/3\ V_S$

– الأشكال التالية توضح نبضات القدح للثيرستورات أو الترانزستورات المستخدمة في الجسر، القواطع T_1 و T_3 و T_5 تقدح بالتتابع كل قاطع بعد 120 درجة من الآخر. والقواطع (T_2 –T_6 –T_4) تقدح أيضاً بالتتابع، كل قاطع بعد 120 درجة من الآخر، لكن T_4 يقدح بعد 180 درجة من T_1 وكذلك T_6 بعد 180 درجة من T_3. T_2 يقدح بعد 180 درجة من T_5. وإن تسلسل القدح يكون من T_1 إلى T_2 ثم T_3 – T_4 – T_5 – T_6. كل 60 درجة يتم قدح أحد القواطع.



Step IV (2-3-4) ON

$V_{ab}= V_S$

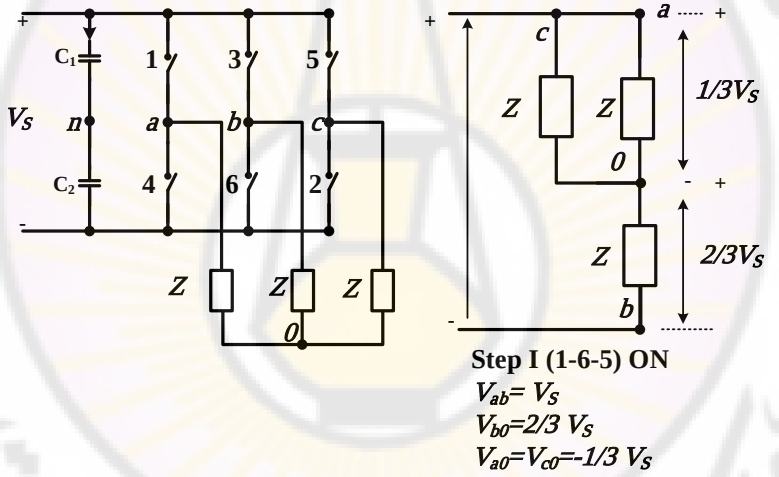
$V_{a0}=2/3\ V_S$

$V_{b0}=V_{c0}=-1/3\ V_S$

شكل (ب–9–2) مراحل التوصيل المختلفة، التيارات والتوترات، الدارات المكافئة عند عرض نبضات 180^o.

– نلاحظ أنه خلال 60^o يوجد قاطع موجب في حالة توصيل وقاطعين من القواطع السفلية في حالة توصيل، أي خلال المرحلة الأولى Step 1 لدينا القواطع (1، 6، 5) موصلة، وعندما يستمر القاطع الأول بالتوصيل لـ 60 درجة ثانية ،تكون القواطع (6، 2) في حالة توصيل (الجهة السفلية). وهكذا تتابع القواطع بالوصل والفصل.

والأشكال التالية توضح المراحل الأربعة للتشغيل، وسوف تساعد هذه الأشكال في معرفة مسار التيار وقيمته بدلالة التوتر وعدد الأطوار، الزمن من (0) حتى (60^O)



شكل (س–9–2)الدارات المكافأة خلال فترة العمل

– خلال المرحلة الأولى Step I حيث $0 \le \omega t < \frac{\pi}{3}$ الثيرستورات الموصلة 5,6,1 التيار القادم من المنبع I يحسب بالشكل:

$$i_1 = \frac{V_S}{Z + \frac{Z}{2}} = \frac{2}{3}\frac{V_S}{Z}$$

التوتر للطور الواحد يساوي:

$$V_{a0} = V_{c0} = i_1 \frac{Z}{2} = \frac{V_S}{3}$$

$$V_{b0} = i_1.Z = \frac{2}{3}V_S \Rightarrow V_{b0} = -\frac{2}{3}V_S$$

- خلال المرحلة الثانية Step II، حيث $\frac{\pi}{3} \le \omega t < \frac{2\pi}{3}$ الثيرستورات الموصلة 6,1,2 والتيار المار من المنبع:

$$i_2 = \frac{2}{3}\frac{V_S}{Z}$$

وعليه فإن توترات الأطوار تعطى بالشكل:

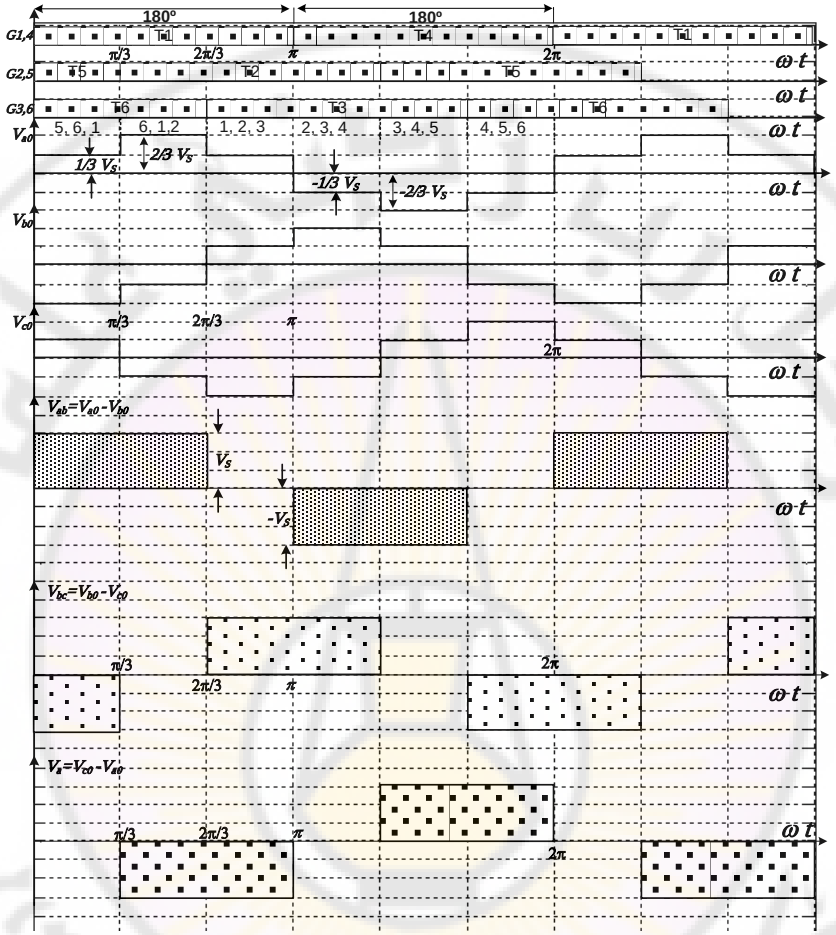
$$V_{a0} = i_2.Z = \frac{2}{3}V_S ; \qquad V_{b0} = V_{c0} = i_2.\frac{Z}{2} = \frac{V_S}{3}$$

وعليه:

$$V_{a0} = \frac{2}{3}V_S ; \qquad V_{b0} = V_{c0} = -\frac{V_S}{3}$$

- الشكل (د- 9-2) سوف يوضح الرسم البياني لتوترات الأطوار والخطوط المستنتجة حسب المراحل السابقة، ونرى أنه من أجل كل دور لتوتر الخرج للطور أو الخط يلزم استخدام ست مراحل كل مرحلة بعرض 60 درجة.

Damascus University



الشكل (د–9–2) توترات الأطوار والخطوط عند عرض نبضات 180 درجة.

مثال (10):

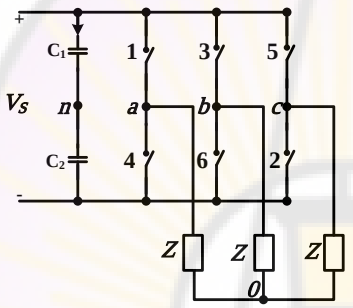
2- تشغيل المعرجات الثلاثية الطور بعرض نبضات 120^o.

الشكل (أ–10–2) يشرح بالرسم نبضات القدح ذات العرض 120^o درجة المطبقة على القواطع، ونرى تسلسل عمل هذه القواطع وبالتالي استنتاج توترات الأطوار وتوترات الخطوط. ونرى من الشكل (أ– 10–2) أن توتر الطور (Phase Voltage) ذو نبضة توتر موجبة ونبضة توتر سالبة عرض كل منها 120^o

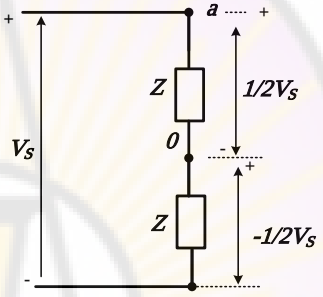
درجة، وذلك خلال الدور الواحد. توتر الخط ذو ست مراحل في الدور ويحسب بنفس الطريقة السابقة حيث أن توترات الخطوط تحسب من العلاقات:

$$V_{ab} = V_{a0} - V_{b0}$$
$$V_{bc} = V_{b0} - V_{c0}$$
$$V_{ca} = V_{c0} - V_{a0}$$

– سنورد فيما يلي تحليل القواطع الموصلة وغير الموصلة والدارة المكافئة المبسطة لكل 60 درجة من الدور. الفترة من (0 حتى 60^o). القواطع المغلقة 1+6

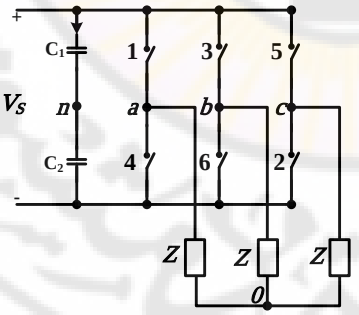


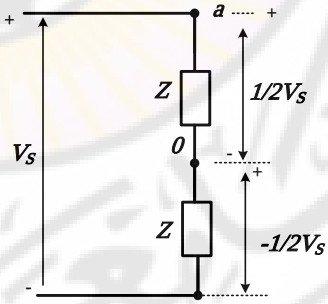
Step I(1, 6) ON



$V_{a0}=1/2V_S$
$V_{b0}= -1/2V_S$
$V_{ab}= V_S$

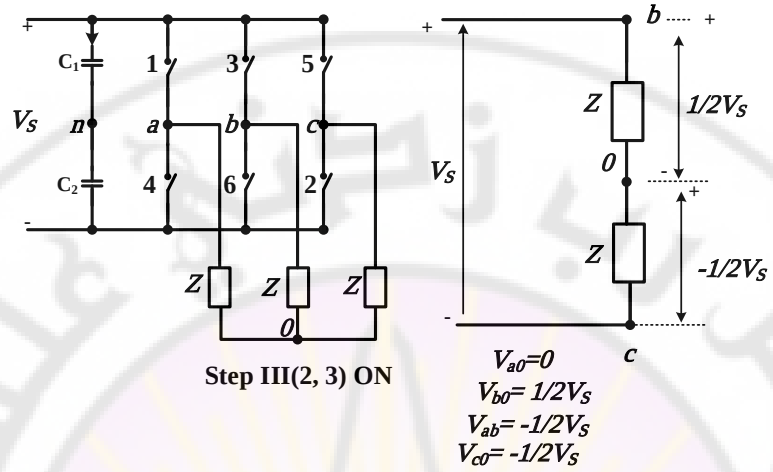
– Step II – الفترة من (60 حتى 120^o) (2+3) ON



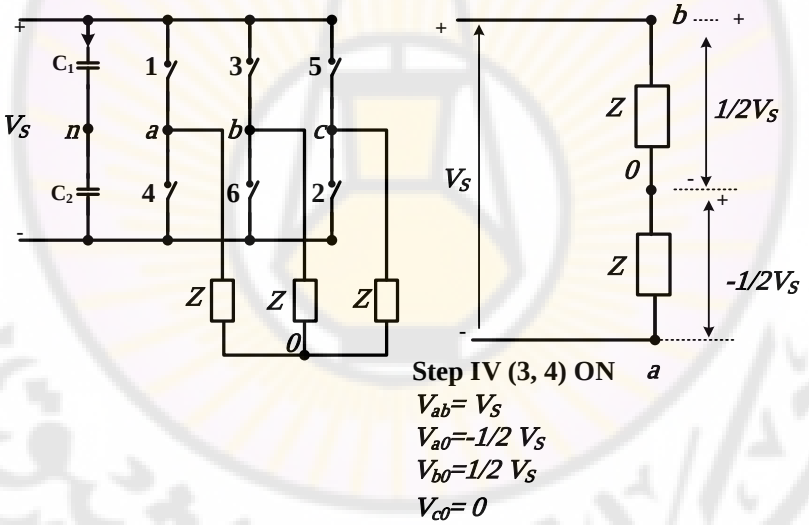


Step II (1, 2) ON
$V_{ab}= ½ V_S$
$V_{a0}=1/2 V_S$
$V_{c0}=-1/2 V_S$

Step III الفترة من (120 حتى 180^o) (2+3) ON



Step IV– ، الفترة من (180 حتى 240^o)، (3+4) ON



شكل (أ–10–2) الدارات المكافئة لمعرج جسري أحادي الطور يعمل بعرض نبضات 120^o درجة. الحمل موصل بشكل نجمي.

ميزات عمل المعرج عند عرض نبضات قدح 120^o بالمقارنة بطريقة العمل عند عرض نبضات 180^o درجة يمكن تلخيصها بما يلي:

1- في نظام 180 درجة للمعرج، نبضة القدح للثيرستور T_1 أو الترانزستور تنتهي عند $\omega t=180^o$ حيث تبدأ نبضة القدح للقاطع T_4 مباشرة. ويجب على T_4 أن ينتقل للتوصيل وللعلم فإن (T_1 و T_4) هما على نفس الذراع. وبما أن فصل العنصر T_1 لا يتم لحظياً، فإن احتمال عمل T_1 و T_4 سويةً قد يحدث إذا لم يترك زمن كافٍ بينهما وهذا يسبب قصر توتر المنبع المستمر.

هذه المشكلة تم حلها بشكل جيد باستخدام عرض نبضات 120^o. بما يوفر زمناً يعادل 60 درجة لفصل T_1 ثم تشغيل T_4.

2- في نظام العمل عند عرض نبضات 120^o، يتم استنتاج التوترات للأطوار من مربطين فقط، بينما لاحظنا في حالة 180^o درجة أن أحد الأطوار الموجبة يعمل لفترة 180 درجة يقابله في العمل طورين في الجزء السالب أو الثيرستورات الجهة السفلية (ذات الاتجاه السالب). وفي هذه الحالة اعتمدنا كون الحمل Z=R أومي. وعندئذ ينتهي التيار مباشرةً مع انتهاء فترة التوصيل. هذا ولو كان الحمل حثياً، لاستمر التيار لفترة أطول وأصبح استنتاج أشكال التوترات والتيارات أكثر تعقيداً وصعوبة.

– تحليل فورييه لتوترات الأطوار V_{a0} و V_{b0} و V_{c0} الناتجة في الشكل (د–10–2) يعطى بالعلاقة:

$$V_{a0}=\sum_{n=1,3,5..}^{\infty}\frac{2V_S}{n\pi}Cos\frac{n\pi}{6}Sinn\left(\omega t+\frac{\pi}{6}\right)$$

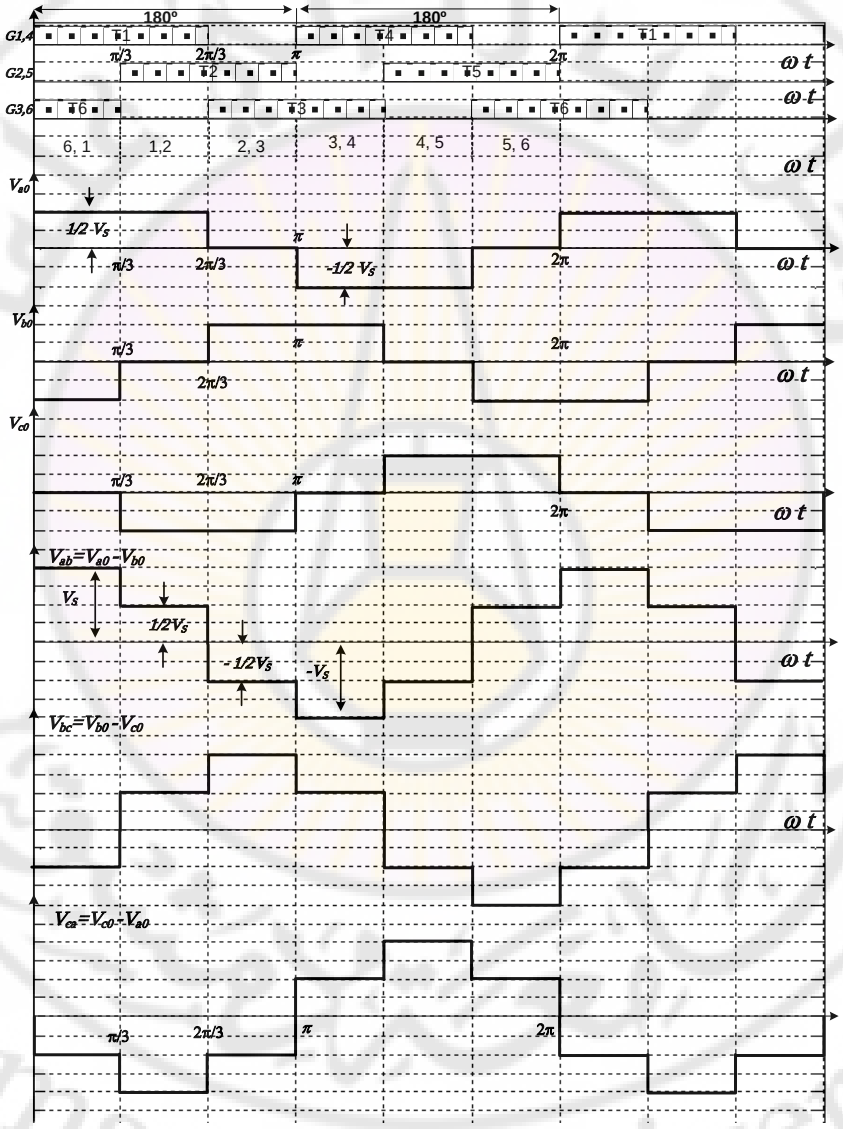
$$V_{b0}=\sum_{n=1,3,5..}^{\infty}\frac{2V_S}{n\pi}Cos\frac{n\pi}{6}Sinn\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)$$

$$V_{c0}=\sum_{n=1,3,5..}^{\infty}\frac{2V_S}{n\pi}Cos\frac{n\pi}{6}Sinn\left(\omega t+\frac{5\pi}{6}\right)$$

توتر الخط يعطى بالشكل:

$$V_{ab} = \sum_{n=6K\pm1}^{\infty} \frac{3V_S}{n\pi} Sinn\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right)$$

$$K = 1,2,3.....$$



شكل (د–10–2) نبضات قدح عرض 120 درجة– توترات الأطوار والخطوط عند حمل أومي صرف.

– القيمة الفعالة للمركبة الأساسية لتوتر الطور يحسب بالشكل:

$$V_{Ph1} = \frac{2V_S}{\sqrt{2}.\pi} Cos\frac{\pi}{6} = 0.389V_S$$

– القيمة الفعالة لتوتر الطور عموماً هي من العلاقة:

$$V_{Ph} = \left[\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi/3}\left(\frac{V_S}{2}\right)^2 d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_{Ph} = \sqrt{\frac{2}{3}}.\frac{V_S}{2} = \frac{V_S}{\sqrt{6}} = 0.4082V_S$$

– القيمة الفعالة لتوتر الخط للمركبة الأساسية تعطى بالعلاقة:

$$V_{L:1} = \frac{3V_S}{\sqrt{2}\pi} = 0.6752V_S = \sqrt{3}V_{Ph}$$

مثال (11):

معرج ثلاثي الطور، وصل إلى منبع توتر مستمر ثابت. بفرض أن تيار الحمل ذو شكل جيبي. ارسم شكل تيارات الثيرستورات والديودات (الثنائيات) عندما يكون الحمل في الحالات الثلاث:

1 – تيار الحمل منطبق مع التوتر.

2 – تيار الحمل متأخر 30^o عن التوتر.

3 – تيار الحمل متقدم 30^o عن التوتر.

– افرض أن عرض نبضات القدح 180^o درجة.

ارسم شكل توترات الأطوار وتوتر الخطوط V_{ab} و V_a وحدد تيار الثيرستور الأول والديود الأول في كل حالة من الحالات السابقة وتيار المنبع.

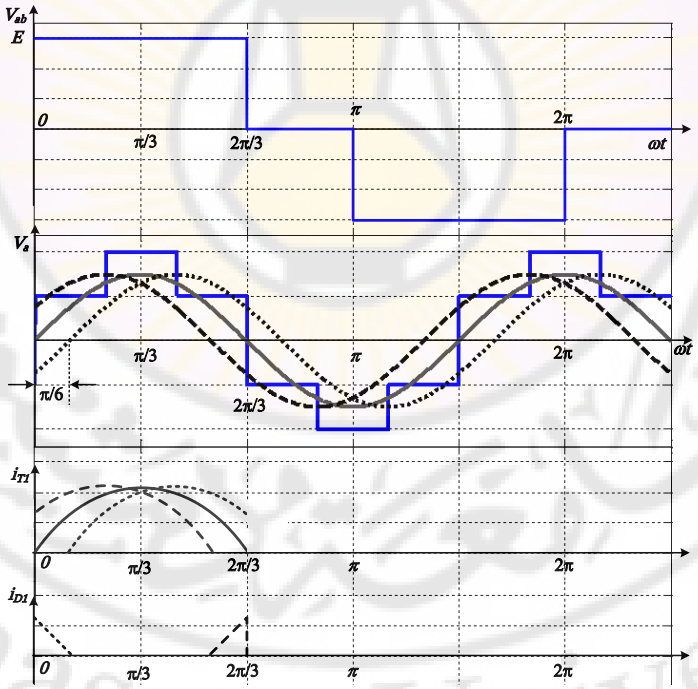
الحل:

في المسائل السابقة قمنا برسم شكل توتر الخط V_{ab} وتوتر الطور V_a عند نبضات قدح عرضها 180^o درجة. لذا يمكن اعتمادها مباشرة.

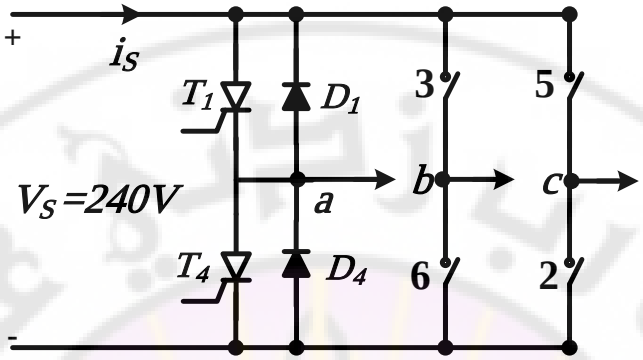
1 –في حال عدم وجود إزاحة في تيار الحمل، الثيرستور T_1 يوصل بمفرده ولا يوجد تيار للديود D_1 خلال نصف الدور الأول.

2 - في حال كون تيار الحمل متأخراً 30^o، الديود D_1 يبدأ بالتوصيل عند الزمن $t=0$ حتى يبدأ توصيل T_1 عند الزاوية 30^o.

3 - في حال كون تيار الحمل متقدماً 30^o، في البداية عند $t=0$ يبدأ T_1 مباشرةً بالتوصيل، وينعدم تيار T_1 قبل نهاية نصف الدور لذا سوف يبدأ الديود D_1 بتوصيل التيار حتى نهاية نصف الدور.



شكل (أ–11–2) توتر الخط وتوترات الأطوار– تيار الثيرستور والديود D_1.



شكل (ب–11–2) دارة الاستطاعة – توتر الطور والتيار– تيار الثيرستور T_1 والديود D_1 والمنبع.

مثال (12):

في المعرج الجسري الثلاثي الطور المبين شكله أدناه (أ– 12–2) ربط إلى حمل أومي مقاومته $R=5\Omega$ وصل بشكل نجمي. ذي حثية $L=23mH$. تردد المعرج $f_0=60Hz$، توتر المنبع 220 فولت.

a -عبر عن معادلة توتر الخط اللحظية $V_{ab}(t)$ وعن تيار الخط $i_a(t)$ حسب سلسلة فوريه.

b- القيمة الفعالة لتوتر الخط V_L.

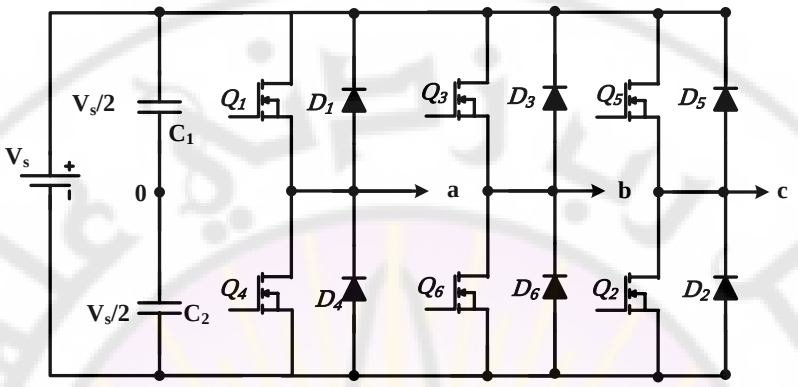
c- القيمة الفعالة لتوتر الطور V_P.

d- القيمة الفعالة لتوتر الخط عند المركبة الأساسية والتردد الأساسي.

e- القيمة الفعالة لتوتر الطور عند المركبة الأساسية والتردد الأساسي.

f– حمل معرج التوتر بمحرك تحريضي ، ارسم طريقة تحصيل توترات الخطوط وتوترات الأطوار ،علماً أن عرض نبضات القدح 180 درجة كهربائية.

الحل:



شكل (أ-12-2) دارة الاستطاعة لمعرج جسري ثلاثي الطور.

a- عند كون نبضات القدح ذات عرض 180 درجة. يمكن التعبير عن توتر الخط بالعلاقة:

$$V_{ab} = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{4V_S}{n\pi} Sin\frac{n\pi}{3} Sinn\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$V_{bc} = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{4V_S}{n\pi} Sin\frac{n\pi}{3} Sinn\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$V_{ca} = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{4V_S}{n\pi} Sin\frac{n\pi}{3} Sinn\left(\omega t - \frac{7\pi}{6}\right)$$

وعليه يمكن حسب فوريه كتابة توتر الخط كتابع للزمن بالشكل:

$$V_{ab}(t) = 242.58Sin(377t + 30°) - 48.52Sin5(377t + 30°) - 34.66Sin7(377t + 30°)$$

$$Z_L = \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2} \angle \tan^{-1}\frac{n\omega L}{R} = \sqrt{5^2 + (8.67n)^2} \angle \tan^{-1}\frac{8.67n}{5}$$

- التيار الخطي يعطى عندئذ حسب الشكل:

$$i_a(t) = 14Sin(377t - 60°) - 0.64Sin(5 \times 377t - 83.4°) + ...$$

b- من العلاقة:

$$V_L = \left[\frac{2}{2\pi}\int_0^{2\pi/3} V_S^2\, d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{2}{3}}.V_S$$

توتر الخط الفعال

$$V_L = 0.8165 V_S = 0.8165 \times 220 = 179.63V$$

c- من العلاقة:

توتر الطور الفعال

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2}V_S}{3} = 0.471 V_S$$

وعليه

$$V_P = 0.471 \times 220 = 103.7V$$

d- من العلاقة التي تعطي المركبة الأساسية لتوتر الخط نجد:

$$V_{L1} = \frac{4V_S Sin60°}{\sqrt{2}.\pi} = 0.7797 V_S$$

$$V_{L1} = 0.7797 \times 220 = 171.53 Volts$$

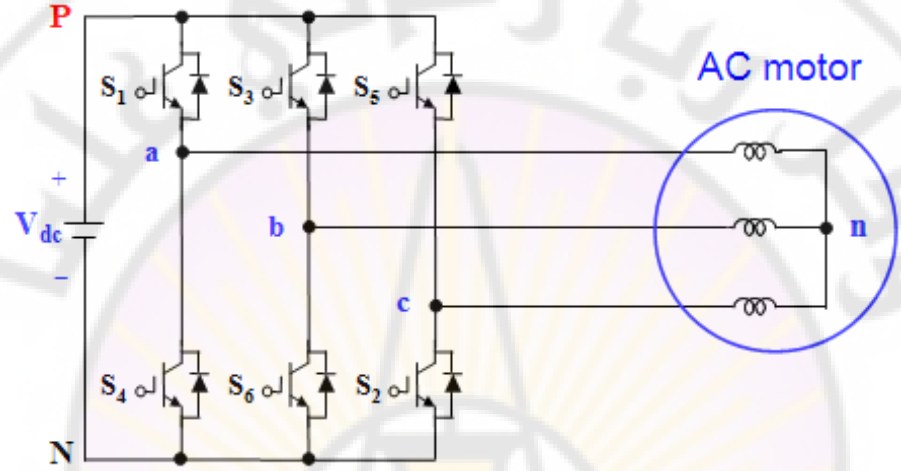
e- توتر الطور الفعال للمركبة الأساسية:

$$V_{P1} = \frac{V_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{171.53}{\sqrt{3}} = 99.03V$$

F– يمكن معالجة مثل هذه المسائل بطريقة بيانية أخرى أو ما يطلق عليه قيادة التوتر بست مراحل ، Six–Step ،في هذه الطريقة سيتم حذف التوافقيات من الرتبة الثالثة ومضاعفاتها ،وستحذف هذه التوافقيات من موجة توتر الخط –خط ومن موجة توتر خط –حيادي.

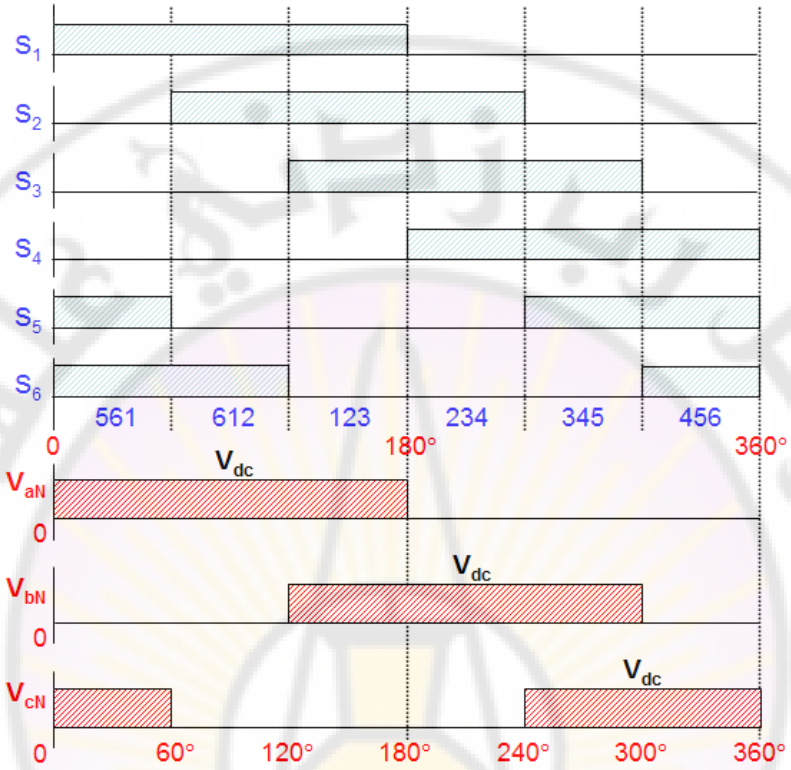
مطال موجة توتر الخرج يمكن التحكم بمطالها عن طريق تغيير سوية التوتر المستمر في حلقة التوتر المستمر DC-Link .هذا التوتر يمكن الحصول عليه من جسر تقويم أو من مدخرات أو من خلايا شمسية وغيره .خرج الجسر يمكن أن

يطبق على ملفات الثابت لمحرك تحريضي نقطة الحيادي n هي نقطة النجمة لملفاته والرمز N هو للقطبية السالبة للمنبع المستمر والرمز P هو للقطبية الموجبة للمنبع المستمر.



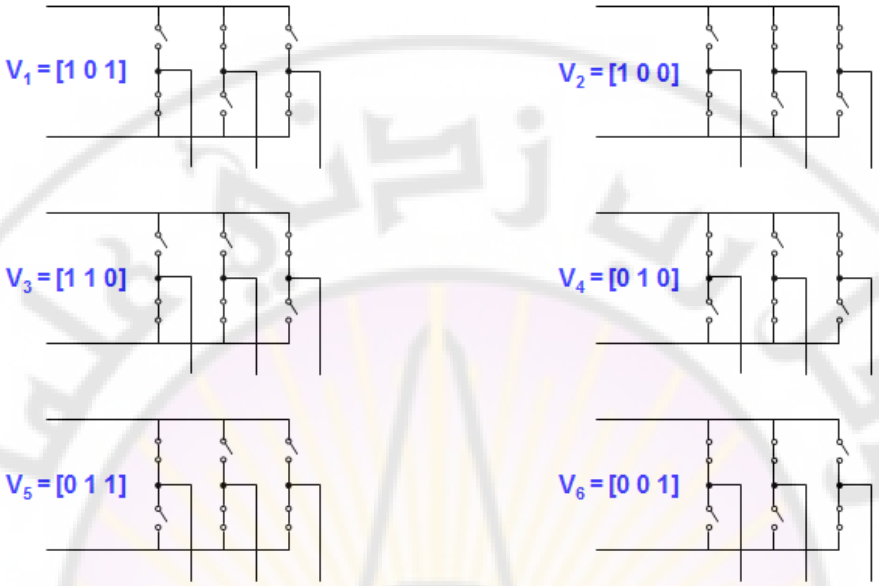
الشكل (ب–12–2) قواطع الجسر المستخدم وتحديد نقطة الحيادي للحمل ونقطة السالب للمنبع

القواطع الستة اطلق عليها بالشكل (ب– 12 –2) S_6 ..... S_1 . S_2 عرض نبضات القدح المطبقة على القواطع 180 درجة كهربائية .يمكن بسهولة استنتاج التوترات الواقعة بين المخارج a ,b, c والقطبية السالبة للمنبع كما في الشكل (س–12–2) مطال هذا التوتر هو مطال المنبع المستمر ،وفترة استمرار هذا التوتر تعتمد على فترة استمرار نبضة القدح المطبقة على القواطع الستة ،والموضحة في أعلى الشكل



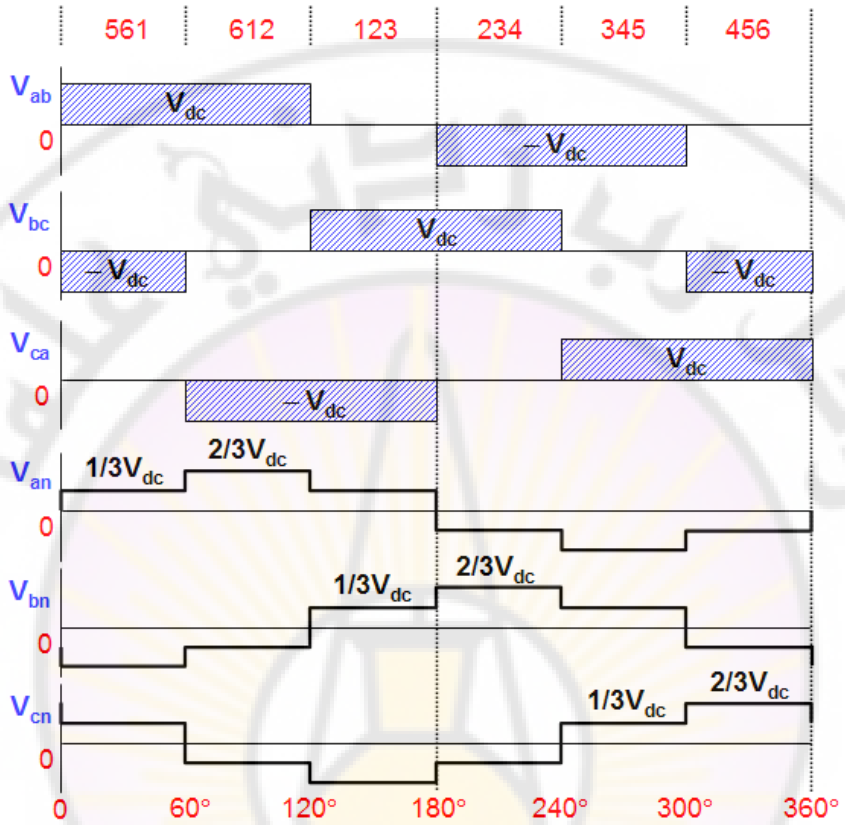
الشكل(س–12–2) تتابع نبضات القدح ،والتوتر بين مرابط الخرج a;b;c وN الطرف السالب للمنبع

يتم تحديد وضعية القاطع بالرمز (1-0) . الرمز 1 يعني أن القاطع موصل وعليه نبضة القدح ،والرمز 0 يعني أن القاطع مفتوح ولا توجد نبضة قدح عليه .في هذه الطريقة سيتم اختيار ست وضعيات كل وضعية تعطي توتراً ما. سميت التوترات تبعاً للوضعيات ،مثلاً الوضعية الأولى هي : $561V_1$ والوضعية الثانية هي $612V_2$ ،والوضعية الثالثة $123V_3$ ،إلى أن نعود للوضع الأول .وهذا سيعطي ست توترات وتتابع القواطع بالفتح والتوصيل حسب الشكل المبين أدناه (هـ–12–2) .من تتابع التوصيل يمكن استنتاج توترات الخطوط وتوترات الأطوار كما سنرى لاحقاً .



الشكل(د – 12 –2) تتابع التوصيل والفصل للقواطع (القاطع المقابل لكل قاطع يعمل بشكل معاكس له تبعاً للرموز المذكورة)612 → 561 (V_1)

(V_2) → 123 (V_3) → 234 (V_4) → 345 (V_5) → 456 (V_6) → 561 (V_1)



شكل (هـ– 12 –2) طريقة استنتاج توترات الخطوط وتوترات طور حيادي .

تعطى توترات الخطوط بالعلاقات التالية :

$$\Rightarrow \quad V_{ab} = V_{aN} - V_{bN}$$

$$\Rightarrow \quad V_{bc} = V_{bN} - V_{cN}$$

$$\Rightarrow \quad V_{ca} = V_{cN} - V_{aN}$$

كما تعطى توترات الأطوار بالعلاقات التالية :

$$V_{an} = 2/3V_{aN} - 1/3V_{bN} - 1/3V_{Cn}$$

$$Vbn=-1/3VaN+2/3VbN-1/3VcN$$

V_{cn}=-1/3V_{aN}-1/3V_{bN}+2/3V_{cN}

بناءً عليه يحسب التوتر الفعال بالعلاقة:

$$(V_{ab})_1(rms) = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}\frac{4}{\pi}\frac{V_{dc}}{2} = \frac{\sqrt{6}}{\pi}V_{dc} \approx 0.78V_{dc}$$

كما تعطى القيمة الفعالة لمطال التوافقيات في موجة توتر الخط بالعلاقة المبينة ادناه ونلاحظ انخفاض مطال التوافقية كلما ارتفعت رتبة هذه التوافقية .

$$(V_{ab})_h(rms) = \frac{0.78}{h}V_{dc}$$

where, $h = 6n \pm 1 \quad (n = 1, 2, 3,.....)$

مثال (13):

معرج تيار أحادي الطور، يغذي حملاً أومياً بمقاومة 12Ω. توتر دخل المنبع المستمر 120V. وتردد العمل 20Hz. احسب قيمة ممانعة المنبع وسعة مكثف التبديل (الحجز) المستخدم. اعتبر أن زمن فصل الثيرستور 50µs.

1 –إذا تم إضافة حثية L=0.06H إلى الحمل، حلّل أثر ذلك على توتر المكثف وسعته.

2 –اشرح بالتفصيل آلية عمل المبدلات ذات التبديل عن طريق الحمل ،وحاول الربط بينها وبين معرجات التيار ذات التبديل القسري .

الحل:

الشكل (13-2) أدناه يوضح دارة الاستطاعة لمعرج التيار الأحادي الطور.

إن اختيار حثية الملف (L) تعتمد على ثابت الزمن لتيار المنبع، لدى حدوث تغيرات في تيار الحمل. تيار الحمل الدائم يساوي:

$$\frac{120}{12} = 10A$$

بفرض حدوث زيادة في تيار الحمل وازداد التيار بمعدل (1) أمبير لكل دور.

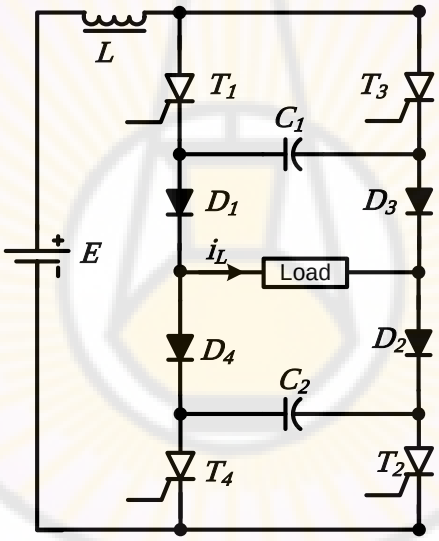
عندئذ:

$$\frac{di}{dt}=1\times 20$$

وعليه فإن

$$L\frac{di}{dt}=120Volts.$$

$$L=\frac{120}{20}=6H.$$



شكل (A – 13-2) دارة الاستطاعة لمعرج التيار.

– تنتقل الديودات للتوصيل مباشرةً بعد حجز الثيرستورات T_1 و T_3 شكل (2-13)، وبما أن تيار المكثفات C_1 و C_2 متماثل، فإن فرق التوتر بين المنبع والحمل سوف يتواجد على طرفي L، مما يولد تغيرات سريعة للتيار. هذه التغيرات صغيرة مما يسمح لنا بالقول أن تيار المنبع يحافظ على قيمته 10A.

– معادلات الدارة هي:

$$2i_C + i_L = 10A$$

$$12.i_L = \frac{1}{C}\int i_C.dt$$

بما أن C تكون عادة مشحونة بشحنة أولية تساوي توتر المنبع -120V فإن تحويل لابلاس للعلاقات السابقة يصبح :

$$2i_C + i_L = \frac{10}{S}$$

$$12i_L = \frac{i_C}{S.C} - \frac{120}{S}$$

حل هذه المعادلات يعطي:

$$i_L(t) = 10 - 20e^{-t/24C} \quad A$$

$$i_C(t) = 10e^{-t/24C} \quad A$$

– التوتر على طرفي الثيرستور T_1 أو (T_2) ينحاز ويصبح التوتر عكسياً عندما ينعدم توتر الحمل أو تيار الملف i_L، زمن الحجز $t_Q=50\mu s$ بالعلاقة أعلاه يعطي سعة المكثف اللازم استخدامه وهي $C=3\mu F$.

2- إضافة حثية للحمل يعني تعديل المعادلات التفاضلية التي استخدمت أعلاه وسوف تصبح الآن بالشكل:

$$2i_C + i_L = \frac{10}{S}$$

$$12i_L + 0.06\left(Si_L + 10\right) = \frac{i_C}{S.C} + \frac{V_0}{S}$$

– بأخذ $C=3\mu F$، وتوتر الشحن الأولي V_0= -120V، حل المعادلات أعلاه يعطى بالشكل:

$$i_L = 10 - e^{-100t}\left(20Cos1664t + 0.6Sin1664t\right) \quad A$$

$$i_C = e^{-100t}\left(10Cos1664t + 0.6Sin1664t\right) \quad A$$

$$V_C = 120 + e^{-100t}\left(1990Sin1664t - 240Cos1664t\right) \quad V$$

– حسب العلاقات أعلاه، تيار المكثف سوف ينعدم خلال 980µs ، وذلك عند حجز D_1 و D_3. بالمحافظة على تيار الحمل منعكس كلياً عند القيمة 10A وتوتر حمل 120V. خلال الفترة 980µs المكثف سوف يشحن ويصل توتر الشحن إلى 1933V. وهو توتر كبير (excessive) قادر على تحطيم المكثف وكذلك تحطيم الثيرستور المحجوز. هذا يعني أن فرضية شحن المكثف بشكل أولي للتوتر 120V ليست جيدة.

كي نخفض من التوتر المطبق على الثيرستور، يجب رفع سعة المكثفات. إذا كانت مثلاً C=20µF. وعند توتر شحن أولي للمكثف يساوي -110V فإن العلاقات السابقة تصبح:

$$i_L = 10 - e^{-100t}\left(20Cos638t + 28.75Sin638t\right) \quad A$$

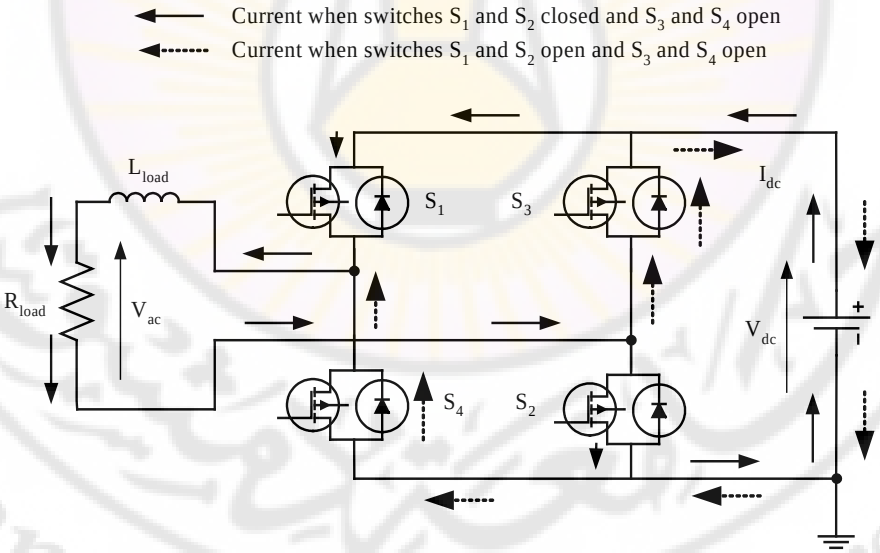
$$i_C = e^{-100t}\left(10Cos638t + 14.37Sin638t\right) \quad A$$

$$V_C = 120 + e^{-100t}\left(593Sin638t - 1220Cos638t\right) \quad V$$

حسب هذه العلاقات الجديدة، تيار المكثف i_C سوف ينعدم بعد 4ms. مما يسمح برفع توتر المكثف فقط حتى القيمة 1000V. زمن الحجز الموفر للثيرستورات هو الزمن المحسوب عند جعل التوتر $V_C=0$ أي 1.59ms هذا الزمن واضح أنه أكبر بكثير من زمن الفصل اللازم للثيرستور 50µs. أي أن سعة المكثف وتوتر المعرج مترابطين.

ثانياً : F- مفهوم عمل مبدلات التيار ذات التبديل عن طريق الحمل وعكس اتجاه الاستطاعة

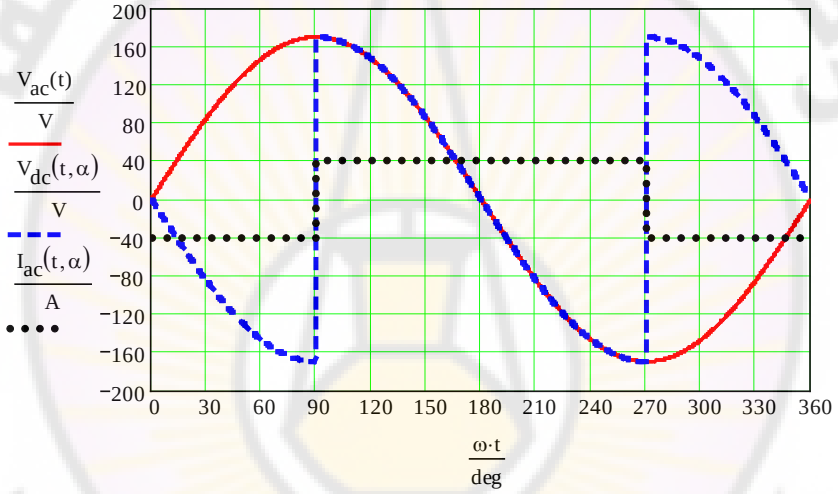
2- المعرجات أو المبدلات ذات التبديل عن طريق الحمل Line Commutated Invertir(LCC) ،هي كما نعلم مبدلات الكترونية مكونة من جسور ثيرستورية أحادية الطور أو ثلاثية الطور مقادة ،لا يمكنها أن تكون نصف مقادة كونها يجب ان تعمل في ربعين من إحداثيات التوتر والتيار . يمكنها العمل كمقوم يحول التوتر المتناوب إلى توتر مستمر إذا كانت زوايا القدح أصغر من 90 درجة كهربائية ،ويمكنها عكس اتجاه الاستطاعة والعمل كعاكس وحقن الاستطاعة من الجانب المستمر إلى الجانب المتناوب وذلك لدى تطبيق زوايا إزاحة بالطور أكبر من 90 درجة كهربائية .ويمكن عندئذ ان نطلق عليها مبدل أو معرج ذي تبديل عن طريق الحمل LCC.



شكل(ب –13-2) دارة الاستطاعة لمعرج بشكل عام ،الخط المستمر للدلالة على التيار عندما يكون القواطع $S_1 . S_2$ مغلقة .والخط المقطع عندما تكون $S_1 . S_2$ مفتوحة .

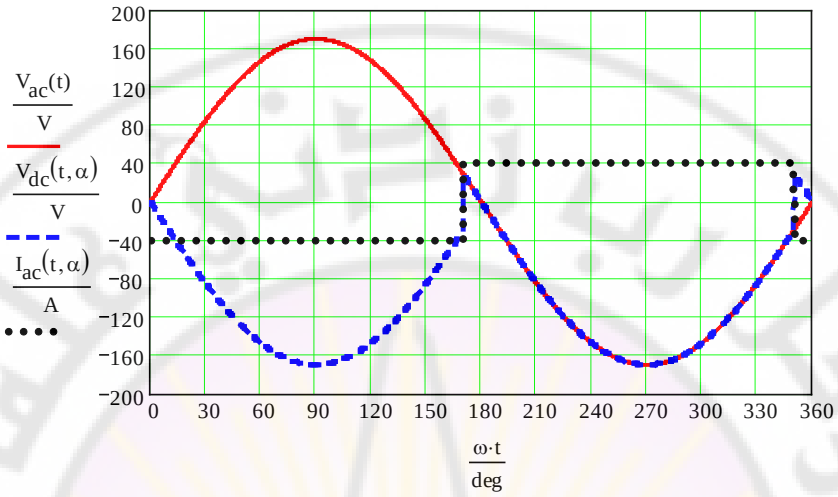
تحتاج هذه المبدلات إلى منبعين ،منبع توتر متناوب ومنبع توتر مستمر .كما تحتاج لحثية كبيرة Inductance تربط على خرج منبع التوتر المستمر للحفا ظ على تيار مستمر دائم .تشغيل النظام كمعرج أو عاكس يتطلب تطبيق زوايا إزاحة بالطور بين القيمة 180 – 90 درجة .

الشكل التالي يوضح موجة التوتر المتناوب V_{ac} والموجة المقومة V_{dc} وتيار الحمل I_{dc} والذي مثل على شكل مستطيل .



شكل (ج –13-2) التوتر المقوم عند إزاحة 90 درجة وشكل التيار المار وتوتر المنبع

- لدى العمل عند إزاحة قدرها 170 سيكون متوسط التوتر المقوم كما نعلم سالب مع بقاء تيار الحمل موجب ،وهذا يؤكد سريان الاستطاعة من جهة التوتر المستمر باتجاه التوتر المتناوب بعكس حالة التشغيل كمقوم .والشكل أدناه يوضح ذلك .

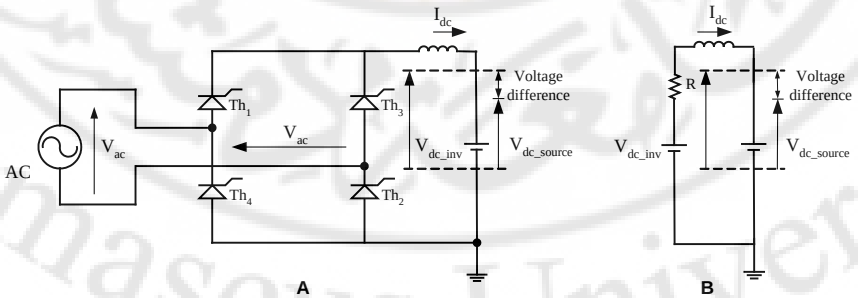


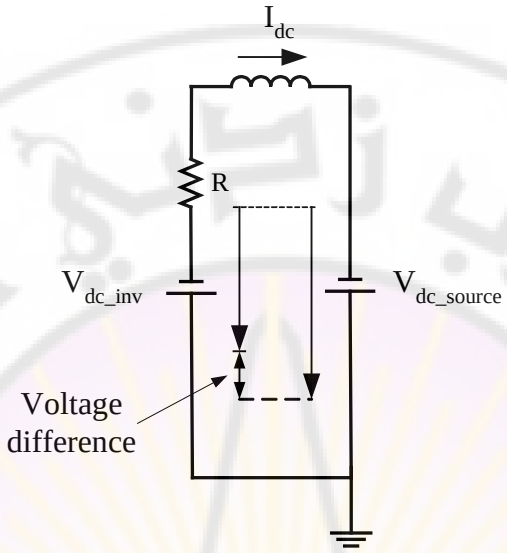
شكل (ء –13-2) العمل عند إزاحة 170 التوتر المقوم سالب والتيار موجب والعمل كعاكس

- التطبيقات العملية لنظام التبديل عن طريق الحمل يستلزم أو يتطلب تنظيم التوتر المستمر للحفاظ على تيار مستمر ثابت . الشكل أدناه يوضح الجسر الذي يولد التيارات في دارة الحمل والذي تم استبداله بدارة Thévenin المكافئة ،والمكونة من منبع تيار مستمر وممانعة .

- التيار المتوسط المار في هذه الدارة يحسب بالشكل :

$$I_{dc} = \frac{V_{dc_inv} - V_{dc_source}}{R}$$





شكل (و –13-2) الدرة المكافئة للمنبعين وإظهار فرق الكمون بينهما

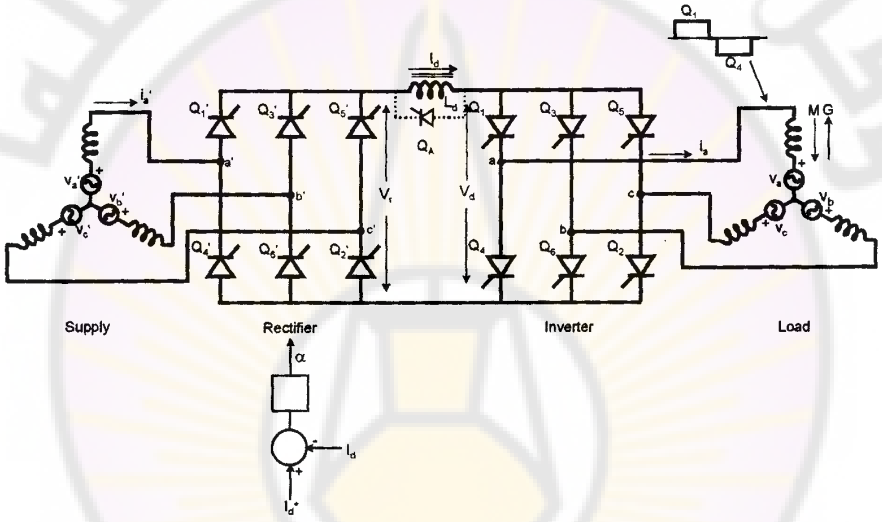
يمكن الحفاظ على تيار ثابت بالمحافظة على فرق توتر ثابت .وذلك بالتحكم بتوتر المنبع وزاوية التأخير بالطور .إذا زادت زاوية التأخير عن 90 درجة توتر خرج المعرج سيكون سالباً وهذا يتطلب عكس قطبية منبع التوتر المستمر ويتم عندئذ جريان الاستطاعة من المنبع المستمر إلى المنبع المتناوب .التيار والتوتر للمنبع المستمر لهما نفس القطبية وهو يعمل كمنبع مولد ،وبالمقابل التيار والتوتر في المعرج لهما اتجاه مختلف وهو يعمل كحمل .

B – المعرجات ذات التبديل بالتيار Curent Fed Invertir أو المعرجات ذات التبديل عن طريق الحمل (CSI) Current Source Invertir هي فصيل من المعرجات التي تحتاج إلى منبع تيار ثابت Stiff .لتحقيق هذه الغاية نستخدم حثية كبيرة وذلك لتحويل توتر الدخل المتغير إلى تيار دخل متغير وثابت .

يستخدم في جسور التعريج التبديل عناصر الكترونية من نوع

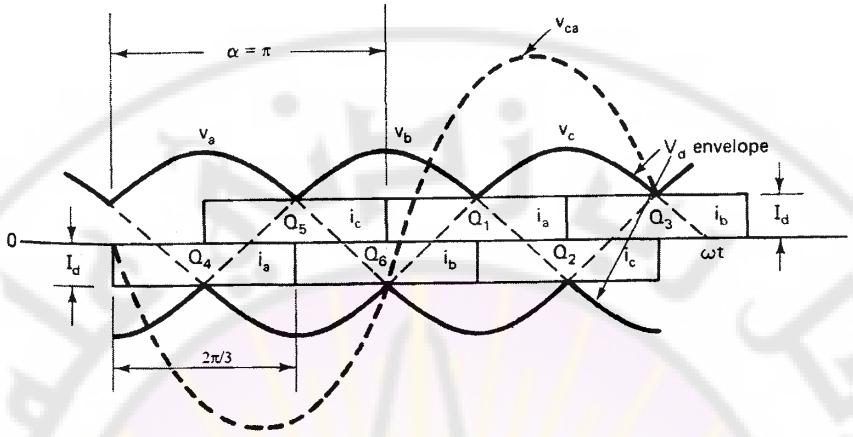
MOSFET.BJT.IGBT.MCT.GTO. THYRISTOR.

تستخدم عادة معرجات التيار CSI في التطبيقات الصناعية ذات الاستطاعات الكبيرة .الشكل أدناه (ك –13-2) يوضح المبدأ العام لعمل معرج ثيرستوري ذي ست خطوات .المنبع قد يكون مولد او محول ثلاثي الطور يغذي جسر مقاد ثيرستوري ،ويطبق تيار الخرج على الحمل الثلاثي الطور ،والذي قد يكون محرك تزامني أو تحريضي .



شكل (ك –13-2) دارة الاستطاعة للمعرج الجسري ذي التبديل عن طريق الحمل

- إذا كان الحمل مولد أو محرك تحريضي يمكن تمثيله بقوة محركة كهربائية عكسية Back emf وممانعة تسريبية Leakage Inductance وذلك لكل طور من ملفات المحرك .تيار الحمل الثابت I_d يتم نقله أو تبديله من ثيرستور إلى آخر لتشكيل تيار حمل ثلاثي الطور وذلك بست خطوات متناظرة ،ويمكن من الشكل أدناه رؤية أمواج تيار الخط .



شكل (ل –2-13) توترات الأطوار والتيارات المارة ونرى مقدار الإزاحة الكبير α بين التوتر والتيار

تيار الحمل أو تيار الخط يمكن التعبير عنه بعلاقة فوريه التالية :

$$i_a = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left[\cos\omega t - \frac{1}{5}\cos 5\omega t + \frac{1}{7}\cos 7\omega t - \ldots \right]$$

لهذا التيار مركبة اساسية تساوي : $2\sqrt{3}I_d / \pi$ ،وكل ثيرستور يستمر بالتوصيل لثلث الدور أو $\frac{2\pi}{q}$ راديان .في كل لحظة هناك عملية توصيل لثيرستور من الجهة الموجبة وثيرستور آخر من الجهة السالبة .توتر الحلقة المستمرة يعتبر خال من التوافقيات ،وظاهرة التطابق بين الثيرستورات مهملة .عند حالة الاستقرار توتر خرج المقوم يساوي توتر دخل المعرج .عند سرعات متغيرة للمحرك ،يمكن تشغيل المعرج عند تردد متغير وتوتر مستمر متغير وكذلك عند تيار مستمر متغير .

–إذا كانمت زاوية التأخير بالطور $0 < \alpha < 90$ يعمل الجسر كمقوم .

– إذا كانمت زاوية التأخير بالطور $90 < \alpha < 180$ يعمل الجسر كمعرج أو عاكس .

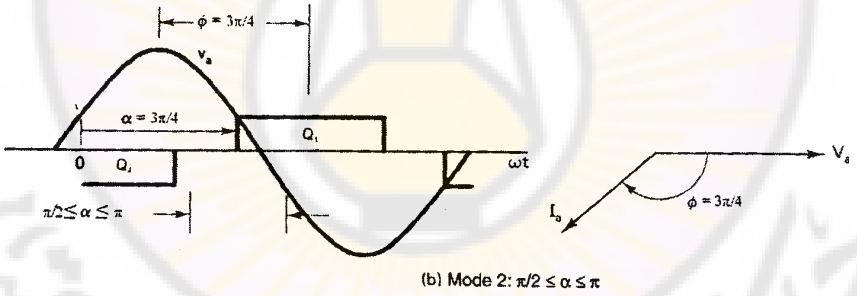
أكبر استطاعة منقولة كعاكس تكون عند $\alpha=\pi$.لذا يوجد نظامين لعمل هذا النوع من الجسور كعاكس ،وكل منهما يعتمد على قيمة زاوية الإزاحة بالطور .

1. **العمل كمعرج جسري ذي تبديل عن طريق الحمل LCI $90 < \alpha<180$**
2. **العمل كمعرج ذي تبديل قسري Forced Commutation وعندئذ لدينا $\pi < \alpha<3\pi/2$**

<u>نظام عمل العاكس ذي التبديل عن طريق الحمل</u> (التبديل الطبيعي):

بفرض أن α تساوي $3\pi/4$ أي زاوية إزاحة بمقدار 135 درجة في هذه الحالة التوتر $V_{ca}<0$ وسيتم تبديل التيار في القاطع الخامس Q_5 بواسطة الحمل .هذا يتطلب من الحمل أن يعمل عند عامل استطاعة متقدم ،أي أن تعمل الألة التزامنية كمحرك فوق التحريض Over Excitation . α

$$V_d = - V_{do} \text{ Cos}$$



شكل (ع –2-13) موجة توتر الطور الأول وتيار الطور المزاح بزاوية 135 درجة والتبديل طبيعي

<u>التبديل القسري :</u>

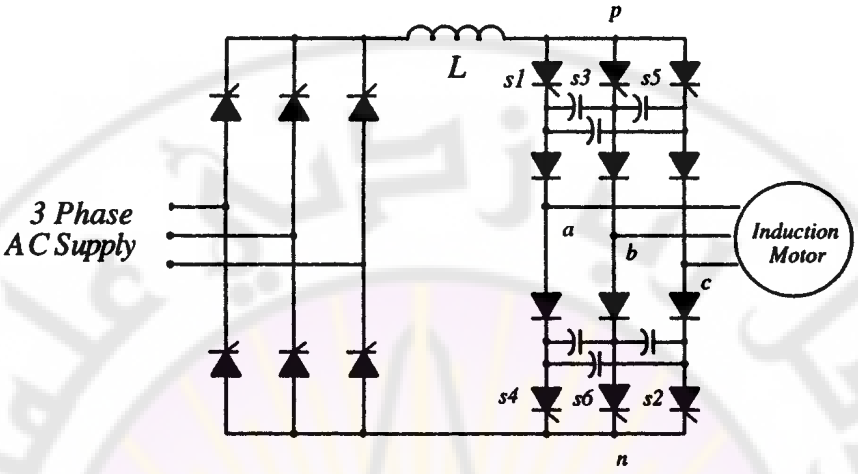
- باعتبار أن $\alpha<5\pi/4$ في هذه الحالة $V_{ca}>0$ والثيرستور Q_5 لا يتم تبديله عن طريق الحمل ،وعملية التبديل تحتاج لدوائر تبديل قسرية ،عندئذ سوف نستهلك استطاعة ردية متأخرة من قبل الحمل Lagging VAR ،وهذا يمثل عمل محرك تحجريضي :

$V_d = - V_{do} \cos\alpha$

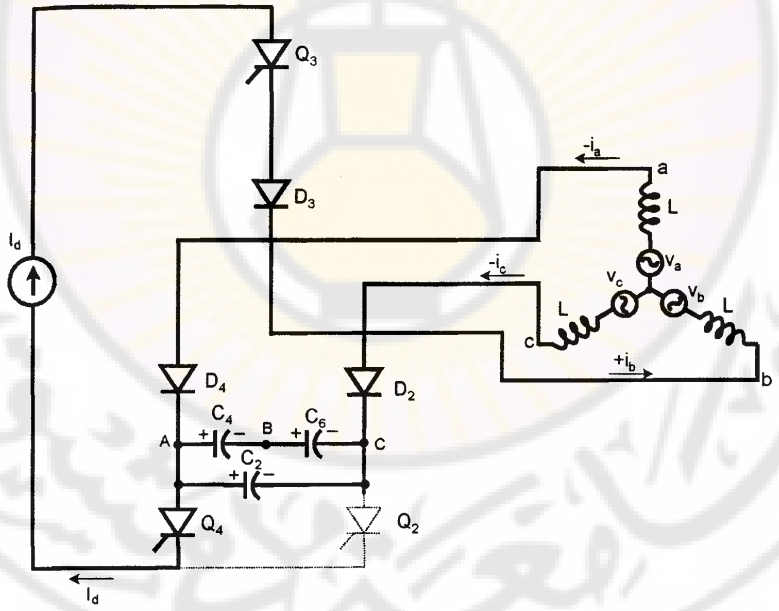
ولقيادة المحرك التحريضي يجب استخدام معرج ذي تبديل قسري بسبب خواص التأخير في الطور للمحرك التحريضي .والنظام الواجب استخدامه للمعرج الجسري الثلاثي الطور ذي التتابع الذاتي Outo-Sequeuntial method للتبديل مبين في الشكل اللاحق .

يتم قطع التيار بالتتابع ضمن أطوار المحرك وذلك بالتحكم بالقواطع العليا من الجسر .يعاد التيار لحلقة التوتر المستمر عبر القواطع السفلى من الجسر بعد مروره بأطوار المحرك الأخرى .ولدى إجراء التبديل كل ثلث الدور فإن المراحل الست سوف يمر بها التيار عبر ملفات المحرك .

الديودات التسلسلية والمكثفات الموصلة بشكل دلتا هي التي تحقق التبديل القسري (ارجع إلى كتاب الإلكترونيات الثاني) تختزن المكثفات القدرة بالقطبية المناسبة لتحقيق التبديل وتعمل الديودات على عزل المكثفات من الحمل . بما أن التيار ثابت ،هبوط التوتر عبر الملفات يساوي الصفر ،وهبوط التوتر على مقاومة الملفات ثابت .لذا يحدد توتر المرابط حسب خواص المحرك وليس من قبل المعرج .وبما أن المحرك ملفوف بشك جيبي موزع بانتظام ،فإن التوترات على مرابط المحرك ستكون تقريباً جيبية .



شكل (غ –13-2) معرج التيار الجسري الثلاثي الطور



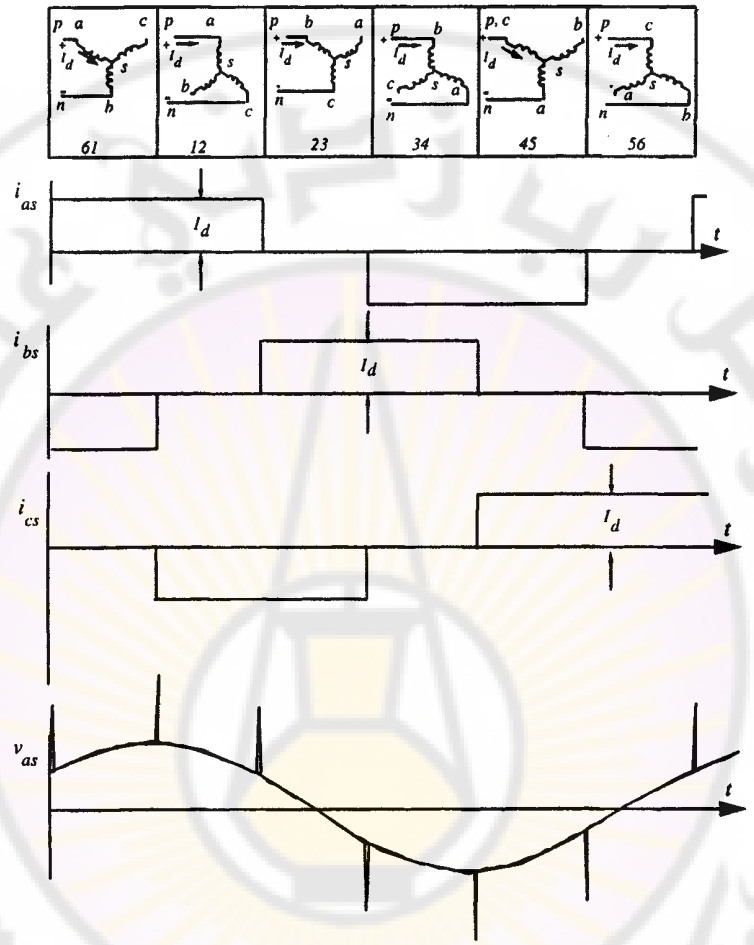
شكل (ق –13-2) الدارة المكافئة لمعرج التيار خلال فترة التبديل والعناصر الداخلة في التبديل

- يمر التيار في الملفات بست مراحل ،هذا التيار لا يمكنه أن يتغير بشكل لحظي نظراً لوجود الملفات ،لذا فإن التبديل للتيار سيكون ناعماً ودقيقاً ،وسينتقل التيار من ثيرستور إلى آخر بفضل توتر المكثفات الستة والشكل (ق –13-2) اعلاه يظهر العناصر الداخلة في عملية التبديل بين العناصر Q_2وQ_4 .

لدى قدح Q_4 يطبق توتر عكسي على Q_2 قادم من المكثفات لذا سوف ينتقلQ_2 للحجز .التيار I_d سوف يستمر بالمرور عبر Q_3 وD_3 الطور b و C و D_2 وبلوك المكثفات وQ_4 .

يشحن بلوك المكثفات خطياً بالتيار I_d .خلال تلك الفترة الديود D_4 يكون منحاز باتجاه عكسي .عندما يساوي توتر بلوك المكثفات توتر الخط ،الديود D_4 ينتقل للتوصيل والتيار I_d يمر عبر D_4 وتنتهي عملية التبديل .

يمكن حذف قفزات التوتر الحادة المتولدة في موجة التوتر عن طريق حسن تصميم ملفات المحرك وجعلها ذات ممانعة تسريب صغيرة ،أو استخدام جسر من الديود على طرفي المحرك مع ديود زنر كحمل .الشكل (ث –13-2) أدناه يوضح المراحل الستة لمرور التيار في ملفات المحرك وقفزات التوتر الناشئة ،



شكل (ث –13-2) تيار الخط للمحرك وتوتر الطور خلال مراحل التوصيل الستة في ملفات محرك تحريضي لدى تغذيته بمعرج تيار .

بمقارنة خصائص معرجات التيار ومعرجات التوتر يمكن تمييز البنود التالية :

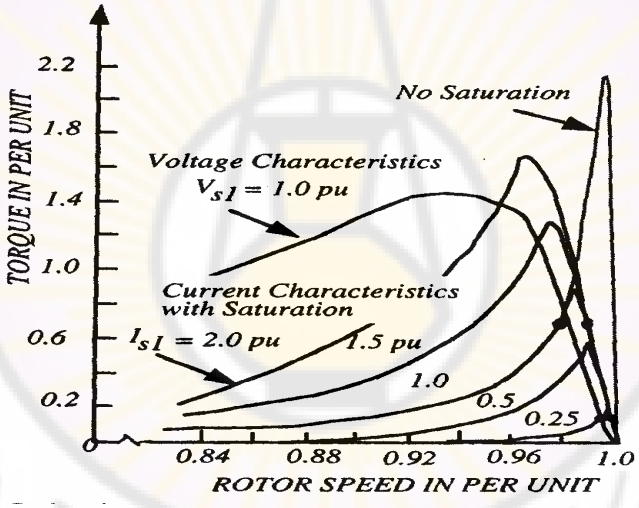
1.معرجات التيار قادرة على تجاوز فشل التبديل والعودة للعمل بشكل طبيعي بينما هذا غير ممكن في معرجات التوتر .

2.معرجات التيار قادرة على العمل مع استعادة للقدرة (أخذ القدرة من الحمل وحقنها بالمنبع) ،وذلك بعكس قطبية جسر التقويم ،وهذا يتحقق عند عمل المحرك

التحريضي بانزلاق سالب .بينما في معرجات التوتر مرور التيار يجب ان ينعكس اتجاهه وهذا أمر صعب ز

3.معرجات التيار لا يمكنها العمل عند اللاحمل كما هو الحال في معرجات التوتر

4.منحنيات الخواص للعزم والسرعة للمحرك التحريضي تتغير تبعاً لنوع المعرج المستخدم وتبعاً لحالة التشبع وعدمه وميل منحنيات العزم السرعة بعد العزم الأعظمي تختلف كثيراً بين الجسرين .والشكل (ص –13-2) أدناه يوضح هذه الظاهرة .



شكل (ص –13-2) علاقة العزم السرعة للمرك التحريضي مع إظهار الفرق في الخواص تبعاً للمعرج المستخدم .

مثال (14):

– ارسم دارة الاستطاعة لمعرج تيار أحادي الطور، ومعرج توتر أحادي الطور. بيّن الفرق بينهما.

الحل:

الأشكال التالية توضح دارة معرج التيار الثيرستوري أحادي الطور ومعرج التوتر الأحادي الطور

1–معرج التيار يحتاج لمنبع تيار، بينما معرج التوتر يحتاج لمنبع توتر.

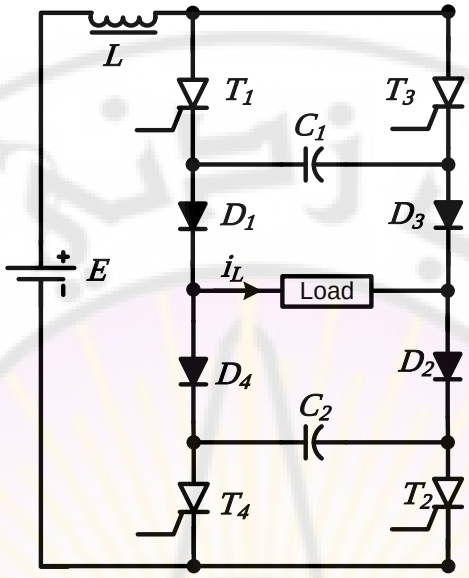
2– معرج التيار لا يتأثر بتغيير توتر المنبع، بينما معرج التوتر يحتاج لمنبع توتر.

3- الديودات في معرجات التيار وضعت على التسلسل مع الثيرستور، بينما في معرج التوتر وضعت على التفرع معه.

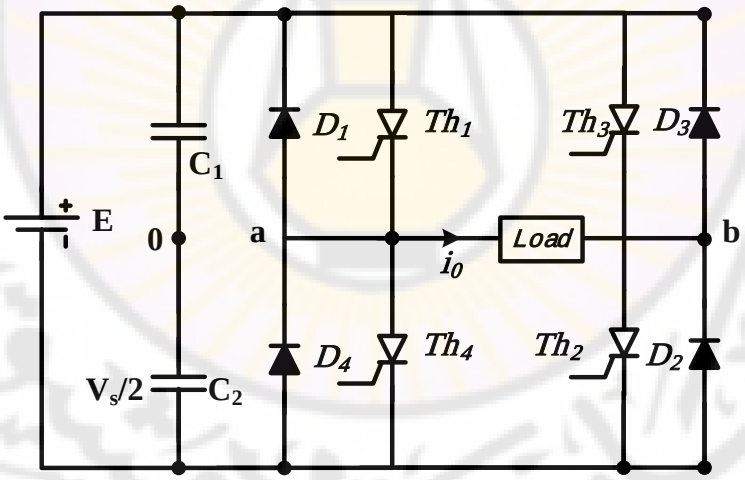
4- مهمة الديودات في معرج التيار عدم انعكاس التيار على المكثف من الحمل وعدم تطبيق توتر الحمل على الثيرستورات. بينما مهمة الديودات في معرج التوتر تمرير التيار السالب في حال عدم إمكانية مروره في الثيرستور وخاصةً في الأحمال التحريضية.

5- في معرج التيار لا يمكن استعادة القدرة من الحمل بينما يتم ذلك في معرج التوتر.

6- يتم في معرج التيار تبديل التيار ،بينما في معرج التوتر يتم التبديل في اتجاه توتر الخرج .



شكل (-14-2) a– معرج تيار



b- معرج توتر أحادي الطور جسري ثيرستوري وديودات العودة

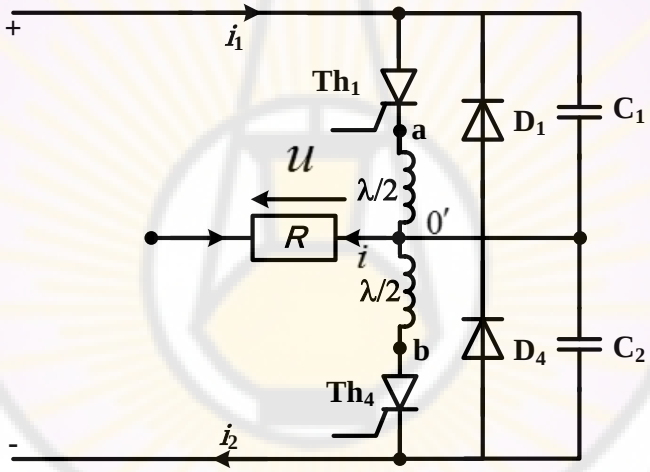
7- المكثفات C_1 و C_2 في معرج التيار كافية لفصل الثيرستورات، لكن في معرج التوتر الثيرستوري، نضيف ملفات مترابطة على التسلسل مع الثيرستور ، لتوليد توتر عكسي على الثيرستورات إضافةً للمكثفات C_1 و C_4. لدى عمل Th_4 مثلاً وكون Th_1 موصلاً يقوم المكثف C_4 بالتفريغ في الثيرستور Th_4 عبر الملف

(ob) وهذا يولد توتراً معاكساً عبر الملف (oa) المترابط معه. التوتر الموجب المطبق على مهبط Th_1 يعمل على نقله لحالة الحجز. بعد حجز Th_1 التيار الذي كان يمر في الحمل باتجاه موجب، يستمر بالمرور بمساعدة الديود الحر D_4.

8- يعطى التوتر المتناوب الناتج عن المعرج الجسري الأحادي الطور بالعلاقة:

$$V = E\sqrt{1-\frac{\beta}{\pi}}$$

حيث β زاوية التأخير في التشغيل لقواطع الجسر.



شكل (2-14-C) دارة نصف الجسر الأحادي الطور.

مثال (15):

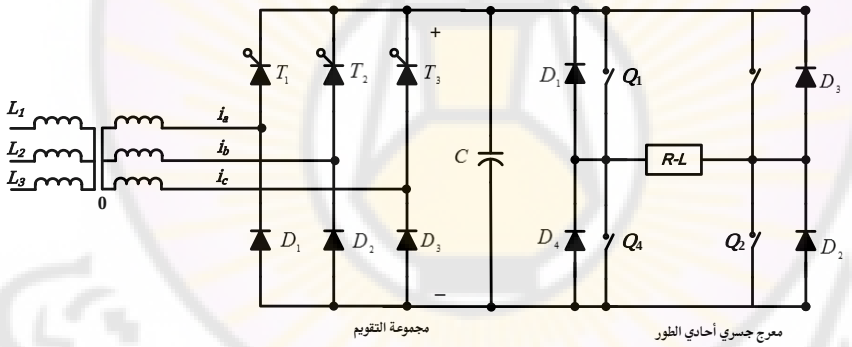
احسب القيمة الفعالة لتوتر الخرج الناتج عن معرج جسري أحادي الطور، غذي من جسر تقويم ثلاثي الطور مقاد يعمل عند زاوية إزاحة بالطور قدرها 30 درجة كهربائية. علماً أن توتر الخط في ثانوي المحول 410 فولت توتر خط. مقاومة الحمل 40 أوم وحثية الحمل 12 ميلي هنري. مقاومة ثانوي المحول والابتدائي والشبكة منسوبة للشبكة تساوي 1 أوم وحثية الشبكة 3 ميلي هنري. ارسم مخطط

الدارة المقترحة، وارسم الشكل والقيمة الفعالة لتيار الحمل وتوتر الخرج، وبين زاوية التأخير الناشئة عندئذ. سعة المكثف على خرج جسر التقويم كانت 8000 ميكرو فاراد بقصد تحقيق توتر مستمر جيد على خرج جسر التقويم.

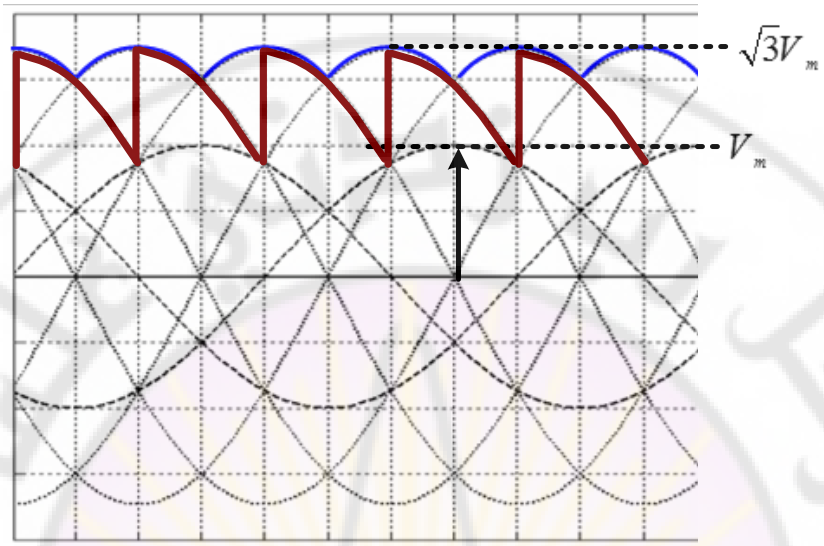
الحل:

دارة الاستطاعة موضحة بالشكل (2-15-a) أدناه. كما أن الشكل (2-15-b) يوضح شكل التوتر المقوم الناتج عن جسر التقويم ثلاثي الطور المقاد عند $\psi=30^o$.

– يمكن للمكثف (C) المربوط على التفرع مع الجسر أن يأخذ القيمة المتوسطة لتوتر خرج الجسر لدى تحميل المعرج، كما أنه يمكن أن يأخذ التوتر المساوي لقمة التوتر المقوم الناتج، وخاصةً عند اللاحمل.



شكل (2-15-a) دارة الاستطاعة للجسر المقترح



شكل (2-15-b) شكل توتر الخرج الناتج عن جسر التقويم.

لدى تشغيل الجسر الثيرستوري عند $\psi=30^o$ نجد أن قمة التوتر الناتج تبدأ من قمة التوتر الذي قيمته $\sqrt{3}.V_m$ وبما أن المكثف ذو سعة كبيرة فإن التوتر المستمر الأعظمي سيكون مساوياً $\sqrt{3}.V_m$ للتوتر الثانوي (وسوف نعتمد هذه القيمة).

$$V_m = \frac{410}{\sqrt{3}}.\sqrt{2}$$

ومنه فإن قمة التوتر ستكون

$$\sqrt{3}V_m = 410\sqrt{2} = 579.827 Volts$$

– القيمة الفعالة لتوتر الخرج تعطى بالعلاقة:

$$V = E\sqrt{1-\frac{\beta}{\pi}}$$

أو

$$V_1 = \frac{4V_S}{\sqrt{2}\pi} = 0.9V_S$$

$$V_0 = \sum_{n=1,3,5}^{\alpha} \frac{4V_S}{n\pi} Sinn\omega t$$

$$i_0 = \frac{4V_S}{n\pi\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} Sin(n\omega t - \varphi)$$

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{n\omega L}{R}$$

بأخذ n=1:

$$i_0 = \frac{4V_S}{\pi\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} Sin(\omega t - \theta_n)$$

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{2\pi \times 50 \times 12 \times 10^{-3}}{40}$$

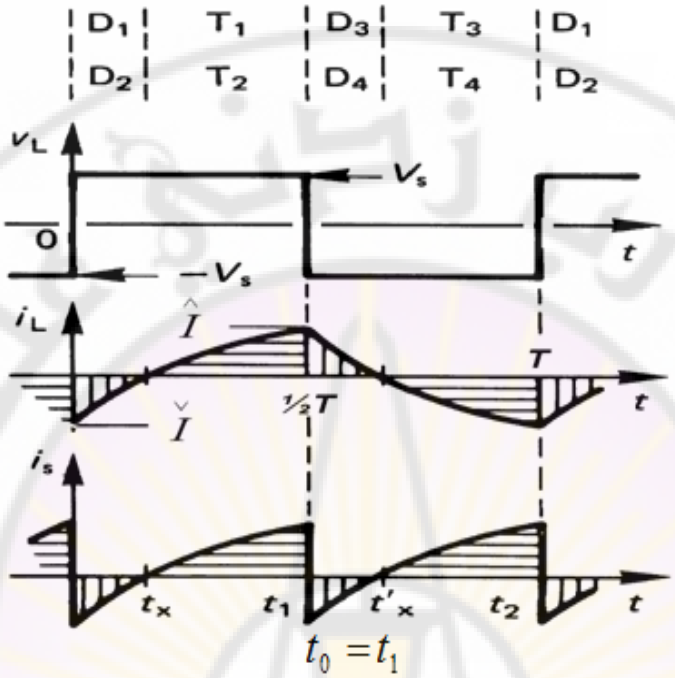
$$\varphi = \tan^{-1}\frac{3.778}{40} = \tan^{-1} 0.0942$$

$$\varphi = 5.4°$$

– الشكل أدناه يوضح شكل التوتر المتناوب الناتج عن المعرج، والتيار المار في الحمل عند عامل استطاعة تم حسابه من مقاومة الحمل وحثية الحمل. حيث $\varphi = 5.4°$.

$$i_0 = \frac{4 \times 579.8}{3.14\sqrt{(40)^2 + 14}} = \frac{2319.2}{126.14} = 18.386A$$

$$i_0 = 18.386Sin(\omega t - 5.4)$$



شكل (س–15–2) توتر الخرج وتيار الحمل.

مثال (16):

احسب القيمة الفعالة لتوتر الخرج الناتج عن معرج جسري أحادي الطور، غذي من جسر تقويم ثلاثي الطور توتر ثانوي المحول فيه 380 فولت توتر خط. مقاومة الحمل 4 أوم وحثية الحمل 8 ميلي هنري. مقاومة ثانوي المحول والشبكة 1 أوم وحثية الشبكة 3 ميلي هنري. ارسم شكل تيار الحمل وتوتر الخرج، وبين زاوية التأخير بالطور الناشئة عندئذ. سعة المكثف على خرج جسر التقويم كانت 6000 ميكرو فاراد بقصد تحقيق توتر مستمر جيد على خرج جسر التقويم. ارسم مخطط هذه الدارة.

الحل:

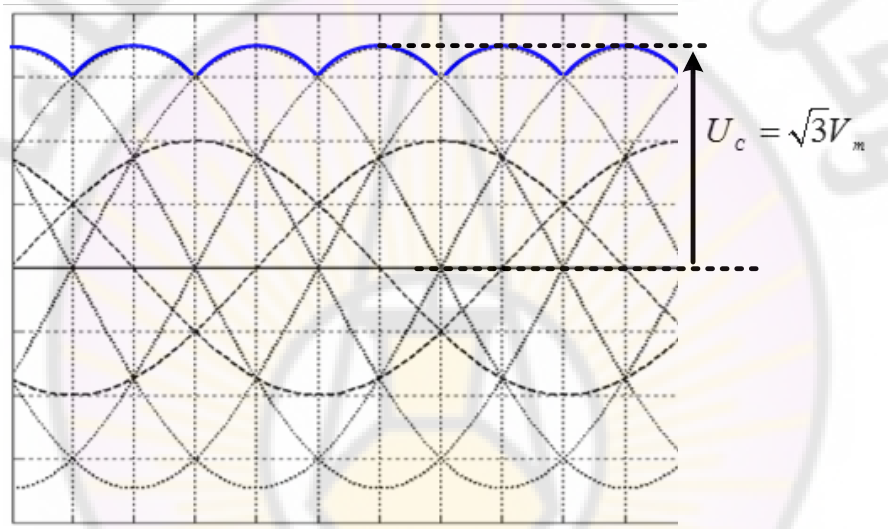
1- حتى نتمكن من حساب القيمة الفعالة لتوتر الخرج الناتج عن جسر تعريج أحادي الطور، يلزم معرفة توتر الدخل المستمر المطبق.

جسر التقويم الثلاثي الطور، يمكن اعتباره غير مقاد، توتر خرجه طبق على مكثف ذي سعة كبيرة، لذا فإن التوتر المستمر هو التوتر المطبق على المكثف.

وهنا ستكون قيمته مساوية لقمة التوتر المستمر الناتج عن المقوم وتساوي

$$U_C = \sqrt{3}.V_m$$

والشكل أدناه يوضح ذلك.



شكل (أ-16-2) خرج جسر التقويم.

- بتطبيق القيم المعطاة:

$$U_C = \sqrt{3}.V_m = \sqrt{3}\frac{380}{\sqrt{3}}.\sqrt{2} = 537.4Volts.$$

- القيمة الفعالة للتوتر المتناوب الناتج عن المعرج تعطى بالعلاقة: (مركبة أساسية)

$$V_1 = 0.9V_S = \frac{4V_S}{\pi.\sqrt{2}}$$

$$U_C = V_S = 537.4$$

$$V_1 = 0.9 \times 537.4 = 483.66Volts.$$

زاوية التأخير لتيار الحمل تعطى بالعلاقة:

$$\theta = \tan^{-1}\frac{2\pi\times 50\times 8\times 10^{-3}}{4} = \tan^{-1}\frac{2.512}{4} = \tan^{-1} 0.625$$

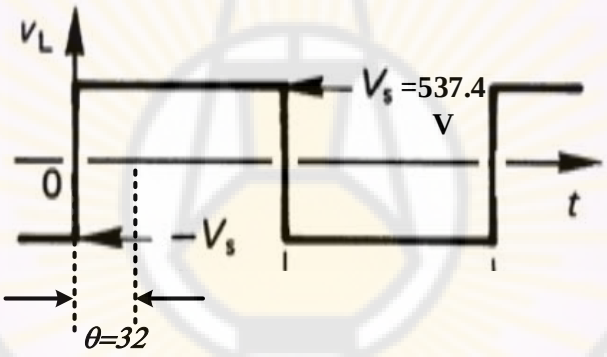
$\theta = 32°$ درجة كهربائية.

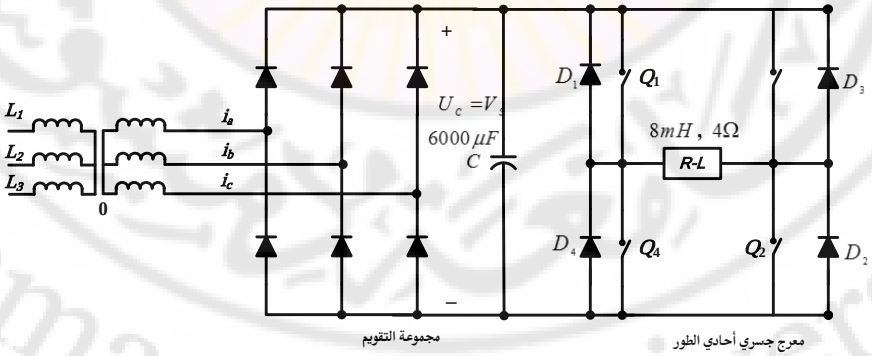
- قيمة تيار الحمل المار

$$i = \frac{V_1}{Z}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{(4)^2 + (2.512)^2} = 4.723\Omega$$

$$i = \frac{483.66}{4.727} = 102.32 Amper$$





شكل (ب–16–2) الدارة المستخدمة – علاقة التوتر والتيار.

مثال (17):

نقترح دراسة تغذية فرن تحريضي باستخدام معرج أحادي الطور ذي تردد متوسط. سوف نعتبر أنه يمكن تمثيل الفرن التحريضي بملف ذي حثية L على التسلسل مع مقاومة R.

1- لدى تشغيل الفرن عند توتر وتيار جيبي ذي تردد 600Hz استهلك الفرن: P=1600KW و I=9100A و V=2000V احسب R و L.

2- تم تنفيذ الفرن بأربعة قواطع وأربعة ديودات، مغذى من منبع توتر مستمر E، قيادة القواطع تتم عند عرض نبضات 180 درجة.

2-1- ارسم مخطط دارة الاستطاعة.

2-2- إذا تم إضافة مكثف C على التسلسل مع الفرن بحيث يصبح تيار الفرن متقدم على التوتر. بين عندئذ ما يلي:

- التوتر على أطراف الحمل.
- تيار الحمل (اعتبر أن التيار جيبي وبقيمة فعالة I).
- التيارات في أحد الديودات وأحد القواطع.
- التوتر على طرفي القاطع.
- التيار القادم من المنبع E.

3- بين أن التركيب يمكنه العمل باستخدام أربعة قواطع ثيرستورية. برّر استخدام المكثف واحسب الإزاحة بالطور بين التيار والمركبة الأساسية للتوتر علماً أن القيمة الفعالة للتيار في الحمل I=9100A احسب التيار المتوسط للمدخرة.

4- احسب التيار المتوسط في الثيرستور وفي ديود. حدد الاجهادات بالتوتر على العناصر عند تيار (I=9100A).

5- احسب السعة C التي تمكننا من العمل عند شروط اسمية. قارن تردد العمل بتردد الطنين. ما التوتر على طرفي المكثف من أجل هذين الترددين؟.

الحل:

1- الاستطاعة $P = R.I^2$ ومنه

$$1600 = R.(9100)^2 \Rightarrow R = 1.3m\Omega$$

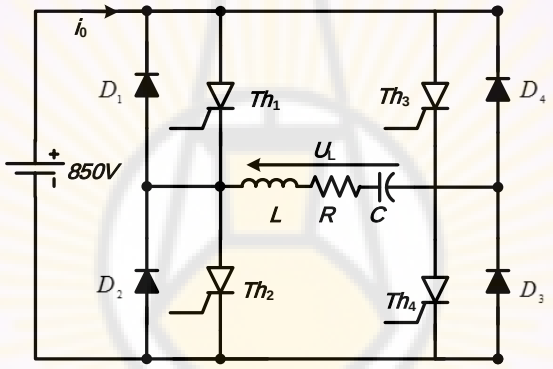
توتر الحمل V=2000V ويساوي:

$$V^2 = \left(R^2 + L^2\omega^2\right).I^2$$

$$(2000)^2 = \left(\left(1.3\times10^{-3}\right)^2 + L^2 \times (2\pi \times 600)^2\right).100^2$$

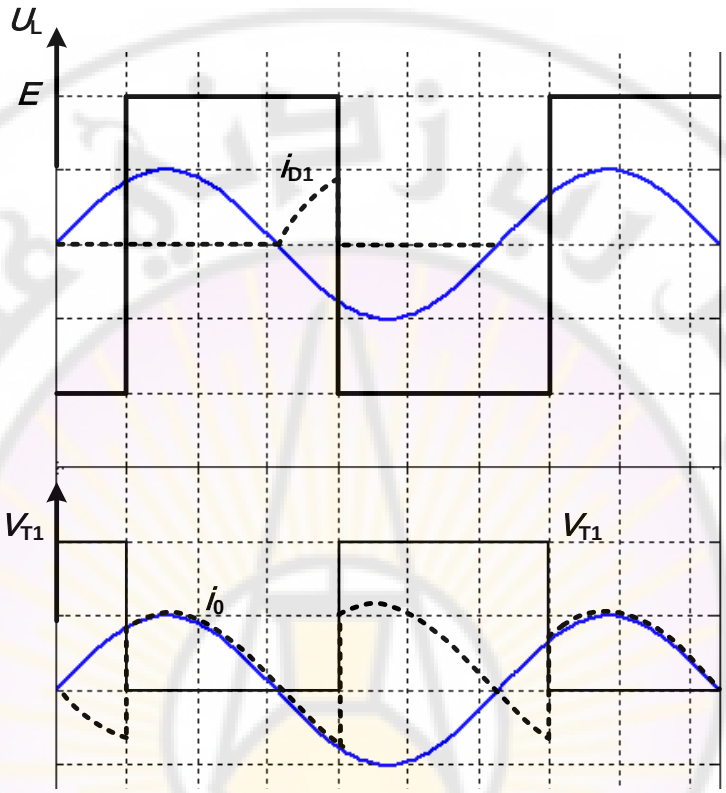
$$L = 58.1\mu H$$

2- التركيب مبين بالشكل أدناه:



شكل (أ–17–2) دارة الاستطاعة للفرن التحريضي.

2-2- منحنيات التشغيل:



شكل (ب–17–2) توتر الحمل وتياره. التوتر العكسي على T_1 وتيار المنبع.

I_0: تيار المدخرة.

3- التوتر على طرفي T_1 سالب طالما أن الديود D_1 موصل. القيمة السالبة للتوتر تستمر لفترة $\Delta t = \frac{\varphi}{w}$. إذا كانت هذه الفترة أكبر من زمن الفصل t_q فإن الثيرستور سيفصل بشكل جيد وتشغيل الجسر سيكون آمناً.

– من أجل I=9100A لدينا الاستطاعة المستجرة

$$P = R.I^2 = 1600KW$$

أو أنّ

$$P = V_{fond}.I.Cos\varphi$$

$$1600\times10^{3} = \frac{4\times500}{\pi\sqrt{2}}\times(9100)^{2}Cos\varphi$$

حيث $V_{fond} = \frac{4E}{\pi.\sqrt{2}}$ وبالتعويض نجد:

$$Cos\varphi = 0.23 \Rightarrow \varphi = 73.7°(Lead)$$

– التيار المتوسط القادم من المدخرة E يعطى من العلاقة:

$$I_{av} = \frac{P}{E} = \frac{1600}{850.2} = 1882A$$

$$V_{fond} = \frac{4E}{\pi.\sqrt{2}}$$

$$E = \frac{V.\pi.\sqrt{2}}{4} = 850V$$

للجسر الأحادي الطور

$$V = 0.9E$$

$$V_{fond} = 765V$$

4- التيار المتوسط للثيرستور يحسب من العلاقة:

$$i_{Tav} = \frac{1}{2\pi}\int_{0}^{\pi-\varphi} I.\sqrt{2}Sin(\theta+\varphi)d\theta$$

$$i_{Tav} = \frac{I.\sqrt{2}}{2\pi}(1+Cos\varphi)$$

$$i_{Dav} = \frac{9100\times\sqrt{2}}{2\times3.14}\times1.23 = 2519A$$

$$i_{Tav} = \frac{1}{2\pi}\int_{-\varphi}^{0} I.\sqrt{2}Sin(\theta+\varphi)d\theta$$

$$i_{Dav} = \frac{I.\sqrt{2}}{2\pi}(1 - Cos\varphi)$$

$$i_{Dav} = \frac{9100 \times \sqrt{2}}{2 \times 3.14} \times 0.77 = 1577A$$

يمكن التأكد من أن تيار المنبع المتوسط يساوي:

$$I_{0av} = \frac{(i_{Tav} + i_{Dav})}{2} = 2048A$$

وهي قريبة من التيار 1882A.

- التوتر العكسي على الثيرستور يساوي هبوط التوتر على الديود وهو ذو قيمة صغيرة.
- التوتر الأمامي المباشر الواجب أن يتحمله الثيرستور

$$V_T = E = 850V$$

- التوتر العكسي على الديود الواجب تحمله يساوي

$$V_{Dinv} = E = 850V$$

5- حساب سعة المكثف:

تعطى ممانعة الحمل من العلاقة:

$$Z = \frac{V_{fond}}{I} = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

حيث

$$V_{fond} = \frac{4E}{\sqrt{2}.\pi} = \left(\frac{4 \times 850}{\sqrt{2} \times 3.14}\right)^{\sqrt{2}} = 1083V$$

$$Z = \frac{1083}{9100} = 0.119\Omega$$

ومنه

$C = 0.88mF$

- تردد الطنين:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

حيث

$$LC\omega_0^2 = 1$$

$$58.1\times10^{-6}\times0.88\times10^{-3}\times(2\pi f_0)^2 = 1$$

$$f_0 = 703Hz.$$

- نلاحظ أن $f < f_0$ مما يوافق القول أن $\frac{1}{C\omega} > L\omega$ هذا يعني أن النظام يعمل عند حالة سعوية مسيطرة والتيار متقدم على التوتر.

- عند تردد العمل لدينا توتر المكثف الأعظمي:

$$V_{C\max} = \frac{I.\sqrt{2}}{C.\omega} = 3879V$$

- عند تردد الطنين لدينا:

$$V_{C0} = \frac{1}{C\omega_0} = V_C\frac{f}{f_0}$$

هذا يعني أن هنالك ارتفاع في توتر المكثف إذا كان تردد العمل أكبر من تردد الطنين.

مثال (18):

معرج توتر ثلاثي الطور يغذي محرك تحريضي باستطاعة P=22KW، عند تردد f=36Hz. بمعرفة أن ملفات المحرك موصلة بشكل نجمي ويمر بها تيار جيبي ذو قيمة فعالة I=80A، عند عامل استطاعة Cos φ = 0.8. احسب القيمة الفعالة للمركبة الأساسية للتوتر (طور– حيادي). يقاد الجسر بنبضات عرض

180^o. حدد تردد القيادة f_H للقواطع. واحسب E_0. واحسب التيار المتوسط I_0 القادم من المنبع. وارسم دارة الاستطاعة للنظام.

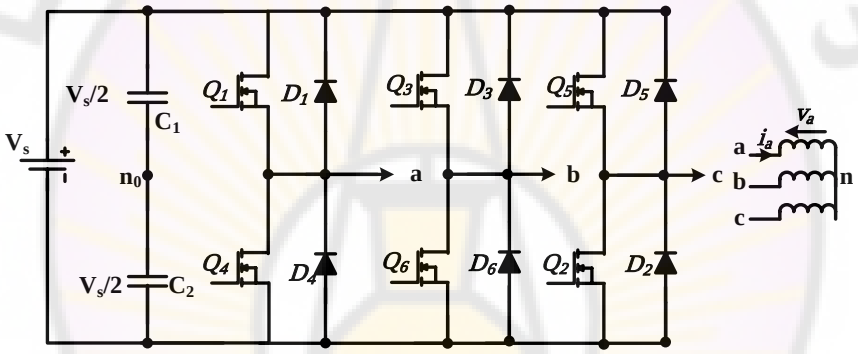
الحل:

- الاستطاعة المستجرة من المحرك هي 22KW وعليه:

$$P = 22 \times 10^3 = 3V_{fond}.I.Cos\varphi$$

$$22 \times 10^3 = 3.V_{fond} \times 80 \times 0.8$$

$$V_{fond} = 114.6V.$$



شكل (18-2) دارة المعرج الثلاثي الطور.

- لحساب توتر المدخرة لدينا العلاقة:

$$V_{fond} = \frac{E_0.\sqrt{2}}{\pi}$$

$$E_0 = \frac{\pi \times 114.6}{\sqrt{2}} = 255.5V.$$

- التيار المتوسط بما أن الاستطاعة قادمة كلها من المدخرة (المنبع) لدينا:

$$P = E_0.I_{av}$$

$$I_{av} = \frac{22 \times 10^3}{255.5} = 86.11A$$

مثال (19):

يستخدم المعرج الجسري الثلاثي الطور لقيادة المحركات التحريضية. بين لنا كيف يمكن قيادة عناصر هذا الجسر (دوائر توليد النبضات وتتابع عمليات القدح)، وارسم شكل التوتر المتناوب الناتج من هذا الجسر، إذا كانت زاوية عامل الاستطاعة $\text{Cos } \varphi=30^{o}$ ارسم شكل التيار المار في أحد أطوار المحرك.

– كيف يمكن تغيير تردد هذا الجسر.

– كيف يمكن تغيير توتر خرج هذا الجسر.

ما مبدأ نظام تعديل عرض النبضة Pulse Width Modulation وكيف يمكن قيادة المعرجات والتحكم بالتوتر والتردد الناتج.

الحل:

– مبدأ نظام تعديل عرض النبضة يعتمد على مقارنة توترين، الأول توتر مرجعي عبارة عن موجة توتر متناوب جيبية ذات مطال أعظمي يساوي القيمة العظمى للتوتر المثلثي ذي التردد العالي المراد استخدامه لتعديل عرض النبضة. و التوتر الثاني هو الموجة المثلثية الشكل ذات التردد العالي (1-10KHz). عندما تكون القيمة اللحظية للتوتر المرجعي أكبر من الموجة المثلثية نقدح القاطع الأول (فرضاً) ولدى كون الموجة المرجعية أصغر نفصل هذا القاطع، لذا فإن فترات التوصيل للقاطع خلال الدور سوف لن تكون متساوية (تعديل عرض النبضات) وسوف ترسم هذه النبضات أقرب شكل للموجة الجيبية حتى تنخفض نسبة التوافقيات في موجة الخرج.

– يتم عن طريق تغيير تردد التوتر المرجعي تغيير تردد الخرج للمعرج المستخدم كما يتم عن طريق تغيير مطال التوتر المرجعي تغيير القيمة الفعالة لتوتر خرج المعرج.

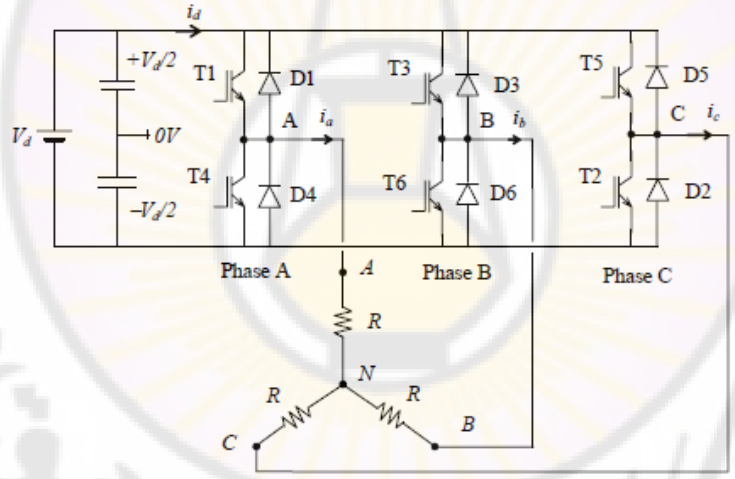
$$m = \frac{V_r}{V_C} < 1$$

– يمكن التحكم بالتردد لهذا الجسر بتغيير دور نبضات القدح.

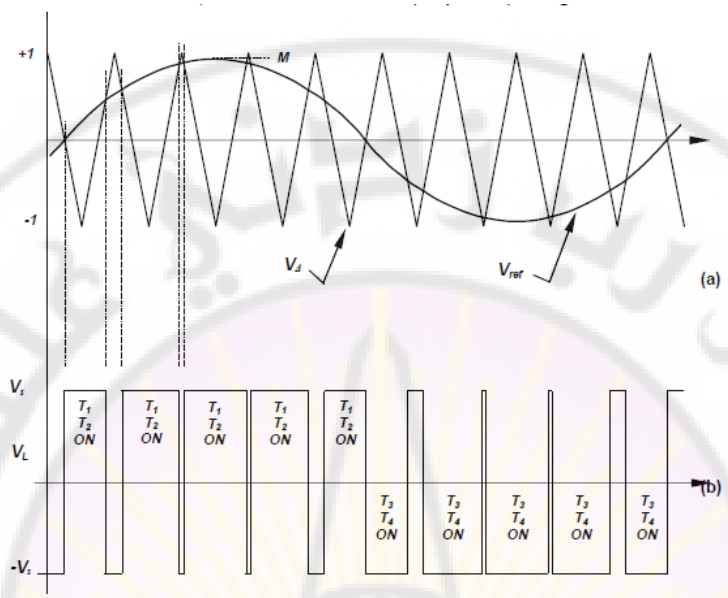
– ويمكن التحكم بالتوتر الناتج المتناوب عن طريق تغيير توتر الدخل المستمر على المعرج أو في نظام تعديل عرض النبضة بتغيير العامل (m) وهو نسبة التوتر المرجعي إلى توتر الأساس. حيث هذا التغيير يسبب نقصان فترة التوصيل أو زيادته لقواطع المعرج.

– **المعرج الجسري الثلاثي الطور:**

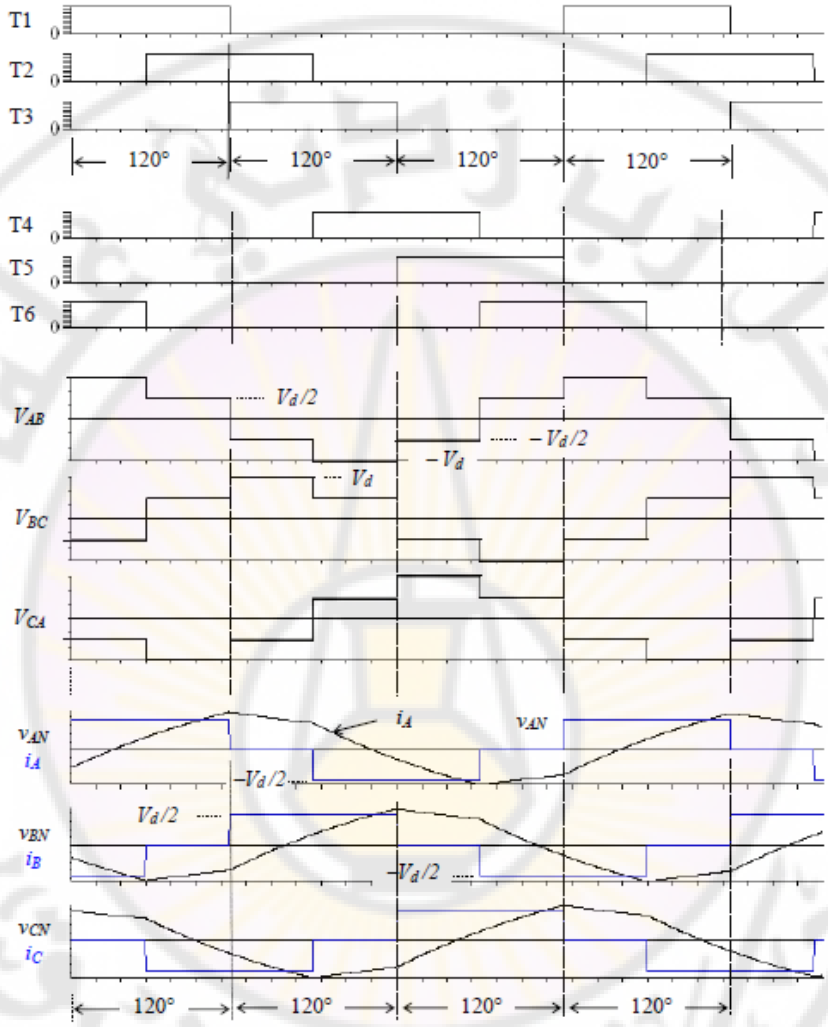
دارة الاستطاعة للمعرج :



الشكل أدناه يوضح مبدأ نظام تعديل عرض النبضة



شكل (أ–19–2) التوتر المرجعي والحامل المثلثي عال التردد – نبضات القدح.

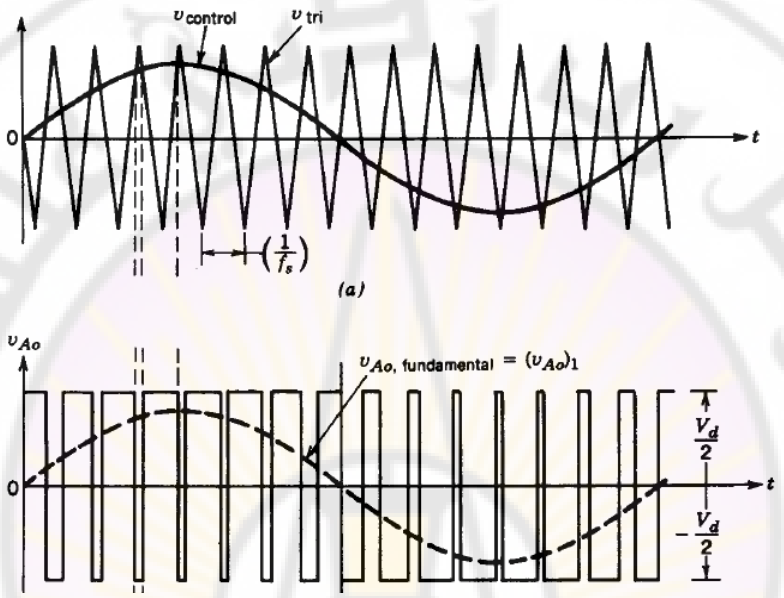


شكل (ب–19–2) دارة الاستطاعة – نبضات القدح – توتر الأطوار الثلاث.

– عن طريق تغيير تردد التوتر المرجعي يمكن التحكم بتردد التوتر المتناوب الناتج عن المعرج.

– عن طريق تغيير مطال التوتر المرجعي يمكن التحكم بقيمة التوتر المتناوب الناتج والشكل أدناه يوضح موجة التوتر المرجعي وموجة التردد العالي ونبضات

القدح الناتجة ،يلاحظ أن النبضة تنشأ عندما يكون التوتر المرجعي أكبر من الموجة المثلثية .



شكل (س–19–2) نبضات القدح لنظام P,W.M.

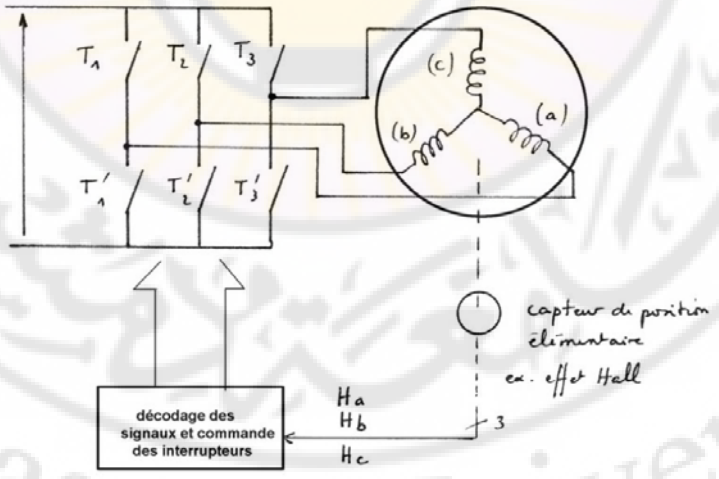
مثال (20):

في المحرك التزامني ذاتي القيادة Self Controlled Synchro nous Motors بفرض وجود قطب واحد في الدائر (N&S) وثلاثة ملفات في الثابت. باستخدام جسر ثيرستوري مقاد ذي ست عناصر من الثيرستور بين لنا خلال دورة واحدة من دورات الدائر، شعاع الحقل المحصل لتوترات الثابت في الثغرة الهوائية، وحدّد عناصر القطع العاملة، علماً أن الجسر يغذى بتوتر مستمر وكل عنصر يعمل 120 درجة كهربائية. وضح المراحل مستنداً إلى التيارات التي تمر في ملفات الآلة.

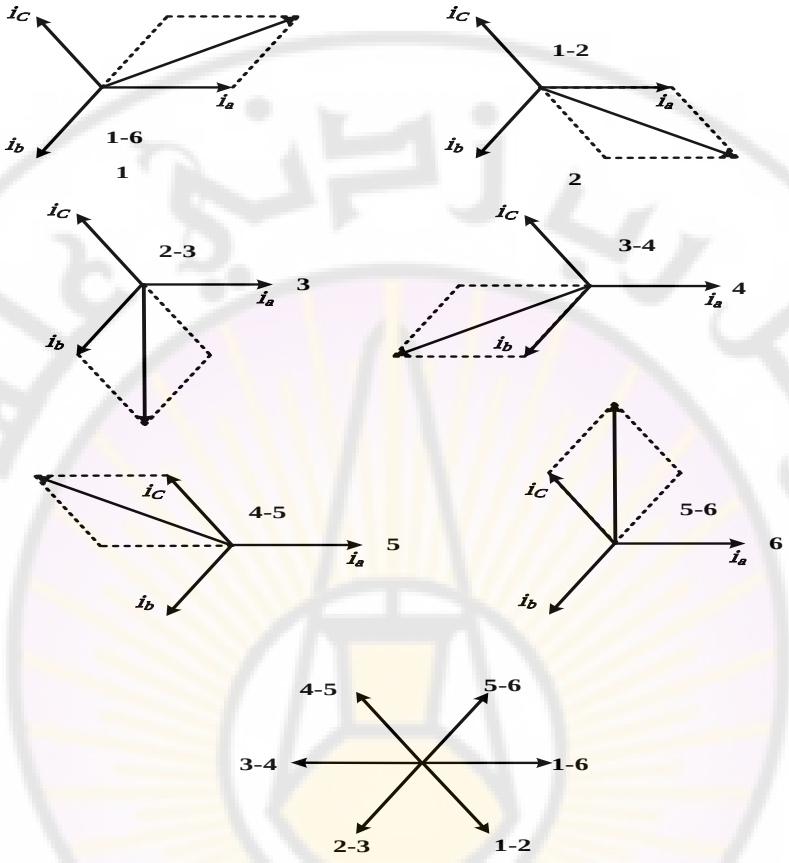
الحل:

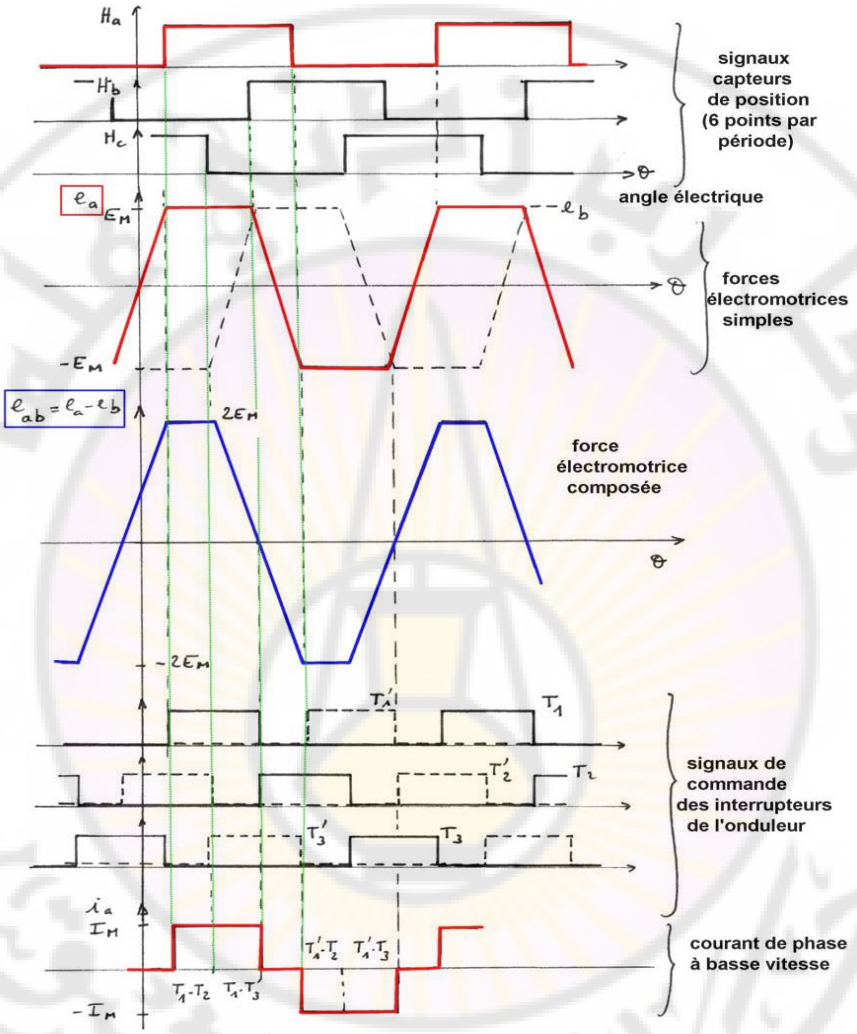
تتابع عمل العناصر هو كما في المعرجات الثلاثية أو جسور التقويم الثلاثية كل 60 درجة يعمل عنصر ،وعليه إذا بدأ بالعنصر الأول الموجب في الطور الأول ،بتمرير التيار الموجب إلى الحمل ،سيعود التيار بالعنصر السادس التابع للطور الثاني السالب ،ويستمر مرور التيار السالب في العنصر الثاني السالب للطور الثالث ،أي خلال فترة عمل العنصر الأول يمر التيار في عنصرين من الجهة السالبة .بعد 120 درجة يبدأ عنصر موجب من الطور الثاني بالتوصيل وهكذا تتابع العناصر .

بتعبير آخر ،عندما يعمل القاطع (1) لفترة (120) درجة يشاركه بالعمل خلال ال (60) درجة الأولى القاطع (6) ثم القاطع (2). وهكذا عندما يعمل القاطع (3) يشاركه بالعمل (2) ثم (4). وعندما يعمل القاطع (5) يشاركه العمل (4) ثم (6). وبناءً عليه يمكن رسم أشعة التوتر في ملفات الثابت ومتابعة مراحل العمل خلال دورة واحدة. بأخذ تتابع عمل باتجاه عقارب الساعة مثلاً. نجد المراحل التالية:



شكل (20-2) أ– دارة الاستطاعة.

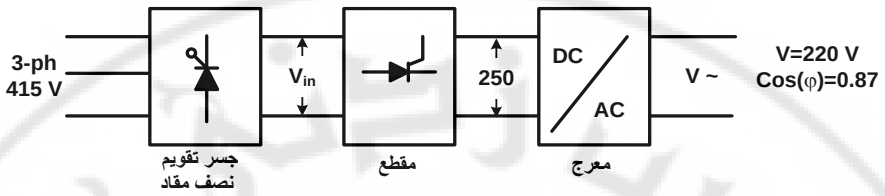

i_C
i_a
i_b
1-6
1
1-2
2
2-3
3
3-4
4
4-5
5
5-6
6
4-5
5-6
3-4
1-6
2-3
1-2



ب- المخططات الشعاعية تبعاً لتسلسل عمل القواطع وشكل تيارات الأطوار ونبضات القدح ،وإشارات موضع الدائر للتحكم بالقدح .

مثال (21):

لدينا النظام التالي المكون من جسر تقويم نصف مقاد + مقطع تسلسلي + معرج أحادي الطور ثيرستوري. حسب التوترات المبينة على الشكل (س-21-2)



شكل(س-21-2) دارة الاستطاعة المقترحة.

المطلوب:

1- ارسم مكونات النظام بالتفصيل.

2- احسب قيمة توتر الخرج وارسم العلاقة بين التوتر والتيار.

3- احسب عامل الدور للمقطع المستخدم.

4- ما خرج مجموعة التقويم إذا كان توتر الدخل للخط مساوٍ 415V.

5- ارسم شكل توتر خرج المقطع المستخدم.

6- ما عامل استطاعة التيار في مدخل جسر التقويم.

7- ما آلية التحكم بتوتر خرج المعرج الجسري الأحادي الطور.

الحل:

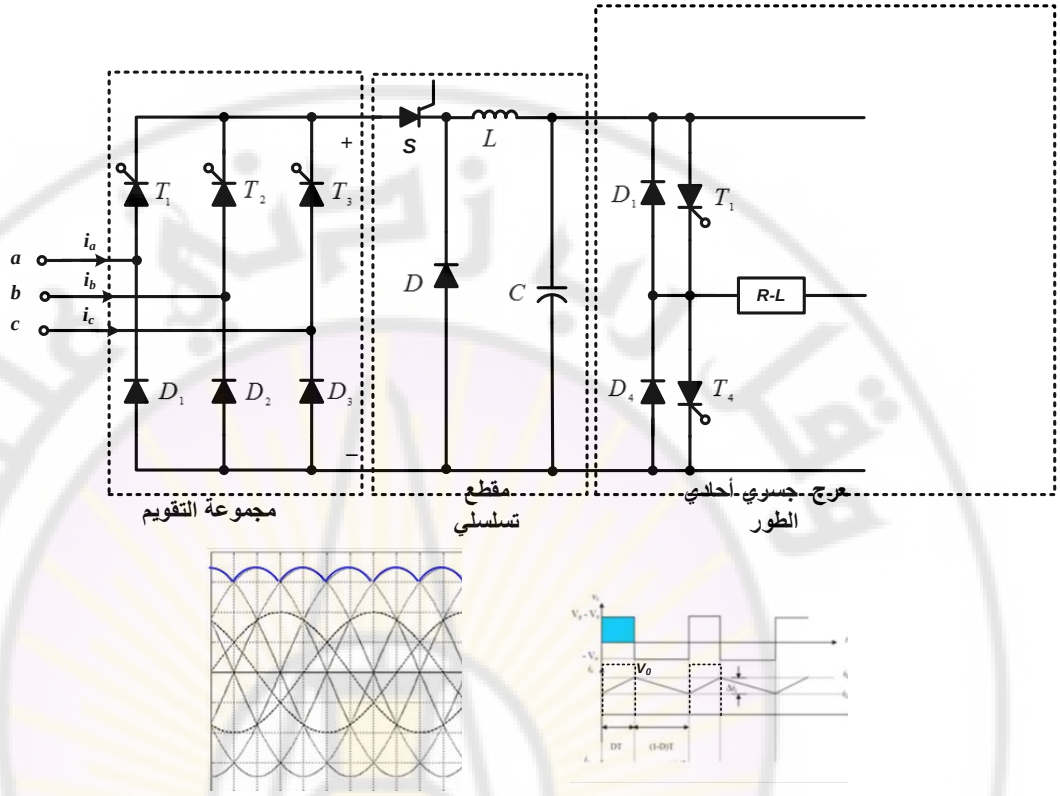
1- يبين الشكل المرفق الدارة التفصيلية للنظام.

2 – توتر خرج المعرج

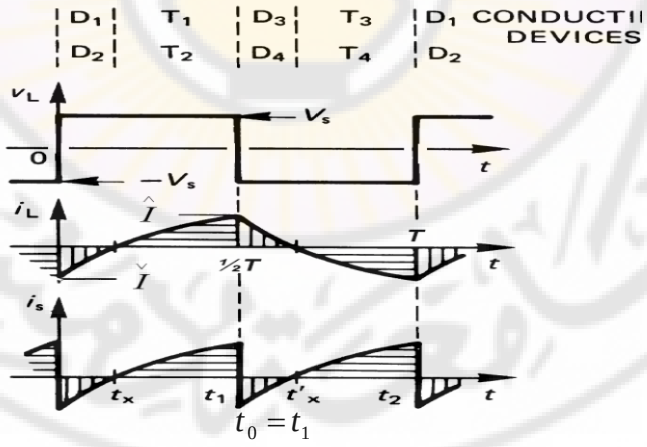
$$220 = 250\sqrt{1-\frac{\beta}{\pi}}$$

$$\Rightarrow \beta = 0.7084(Rad/s)$$

β: زاوية الإزاحة بالطور للجسر الثيرستوري المقترح (راديان/ ثانية).



شكل (ب–21–2) تفاصيل دارة الاستطاعة – وعمل كل جزء من الدارة.



شكل (س–21–2) توتر الحمل وتياره – تيار المنبع

3- حساب عامل الدور: نحسب قيمة توتر خرج المقوم ثم نحسب عامل الدور للمقطع التسلسلي الذي تم اختياره للحصول على توتر 250 فولت على دخل المعرج.

$$U_{C0} = \frac{2q}{\pi} V_m Sin\left(\frac{\pi}{q}\right)\frac{1+Cos(\varphi)}{2}$$

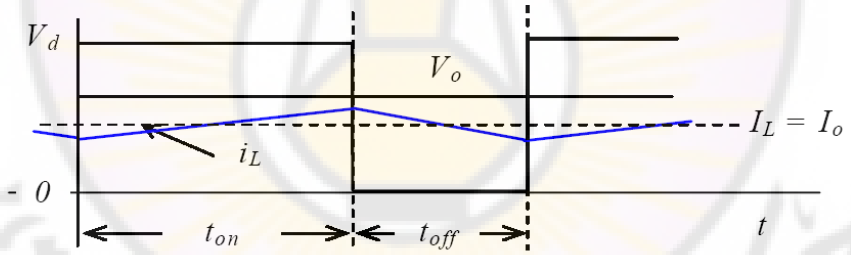
$$U_{C0} = \frac{2\times 3}{\pi} 415 \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} Sin(60)\left(\frac{1+1}{2}\right) = 560.73$$

وذلك بدون وجود زاوية إزاحة.

$$V_{out-ch} = 560.73 \times D = 250 \Rightarrow D = \frac{250}{560.73} = 44.6\%$$

4- توتر خرج مجموعة التقويم تم حسابه.

5- شكل توتر خرج المقطع:



شكل (د-21-2) توتر خرج المقطع وتيار الملف.

6- عامل الاستطاعة في مدخل جسر التقويم:

في هذه الحالة لم نطبق إزاحة بالطور على جسر التقويم واعتمدنا على المقطع لتخفيض التوتر وتنظيم القيمة المراد تطبيقها على المعرج. لذا فإن الزاوية التي يتم تشغيل القواطع فيها هي $\alpha = \frac{T}{4} - \frac{T}{2q} = 30°$ درجة في الثانوي.

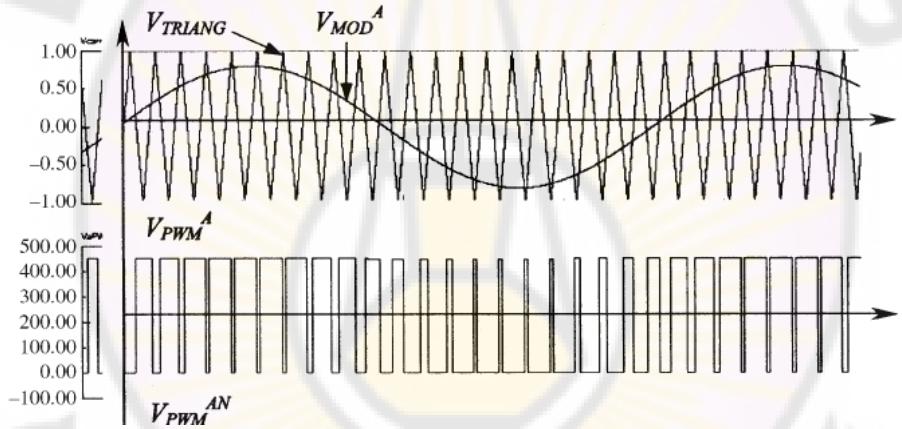
- وفي حال كون الابتدائي موصل بشكل نجمي تكون الزاوية بين التوتر والتيار 30^o درجة. لكن في حال كون الابتدائي لمحول التغذية لجسر التقويم موصل

بشكل مثلثي فإنه لا يوجد فرق طور بين التيار والتوتر، والزاوية يمكن تعويضها بطريقة ربط الملفات (Δ-Y).

– يتم التحكم بتوتر الخرج إما بتحقيق زاوية تأخير في عملية القدح للجسر المعرج الأحادي الطور .

$$V_{out} = V_{in}\sqrt{1-\beta/\pi}$$

أو عن طريق مبدأ تعديل عرض النبضة حيث يتم قيادة المعرج بنبضات ذات عرض مختلف.



شكل (هـ–21–2) توليد النبضات بـ P.W.M.

يكون لدينا إشارة جيبية مرجعية يراد الحصول عليها، تتم عملية مقارنتها مع موجة سن منشار تسمى الموجة الحاملة وبناءَ على تقاطع الموجتين يكون القاطع إما في حالة توصيل أو في حالة فصل كما يلي.

معرج جسري

$$V_{Sin} > V_{Saw} \Rightarrow T_{1,2}(on)\,\&\,T_{3,4}(Off)$$
$$V_{Sin} < V_{Saw} \Rightarrow T_{3,4}(on)\,\&\,T_{1,2}(Off)$$
$$V_{out} = V_{in}$$

معرج نصف جسري

$$V_{Sin} > V_{Saw} \Rightarrow T_1(on) \,\&\, T_2(Off)$$
$$V_{Sin} < V_{Saw} \Rightarrow T_2(on) \,\&\, T_1(Off)$$
$$V_{out} = \frac{1}{2} V_{in}$$

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

ثالثاً - المدرجات الثيرستورية

(Gradateurs)Phase Regulators , AC-AC-Converters

وقل رب زدني علما
Damascus University

مثال (22):

مدرج أحادي الطور، توتر الدخل المتناوب الجيبي ذو قيمة فعالة V=240V عند تردد 50Hz، إذا كانت ممانعة الحمل $Z=(7.1+j7.1)\Omega$. احسب تيار الحمل المار عند الزاوية ϕ، وما القيمة الفعالة لتوتر الخرج، وتيار الخرج الفعال ؟، وذلك عندما تكون زاوية التأخير للمدرج $\alpha=\frac{\pi}{6}$. وما عامل الاستطاعة للدخل؟.

الحل:

كما نعلم لدينا في المدرج (Phase Regulator) نتحكم بتشغيل الثيرستور في النصف الموجب والثيرستور المربوط باتجاه معاكس في النصف السالب من موجة توتر الدخل المتناوب. وهنالك حدود ومجال لتغيير الزاوية (α)، زاوية الإزاحة تبعاً لزاوية عامل الاستطاعة في الحمل φ. ويمكن في الجزء النظري تفهم حالات التشغيل الثلاث.

في حالة الحمل الأومي الصرف لدينا تيار الحمل يعطى بالشكل:

$$i_0(t)=\frac{V_0}{R}=\sqrt{2}V_m Sin\frac{\omega t}{R}$$

التوتر الناتج V_0 يمكن حسابه من التكامل:

$$V_0=\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi}\sqrt{2}.V.Sin\omega t.dt$$

$$V_0=\frac{\sqrt{2}V}{\pi}(1+Cos\alpha)$$

وعليه فإن التيار المار في الحمل:

$$I_0=\frac{V_0}{R}=\frac{\sqrt{2}V(1+Cos\alpha)}{R.\pi}$$

- زاوية عامل الاستطاعة للحمل:

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{\omega L}{R} = \frac{\pi}{4}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{(7.1)^2 + (7.1)^2} = 10\Omega$$

بما أن

$$\alpha < \varphi \Rightarrow \frac{\pi}{6} < \frac{\pi}{4}$$

فإن تيار الحمل متواصل وعليه فإن استطاعة الحمل:

$$P_0 = I_{r.m.s}^2 . R$$

$$= \frac{V^2}{Z} . Cos\varphi = \frac{(240)^2}{10} Cos\frac{\pi}{4}$$

$$P_0 = 4.07KW$$

- التيار الفعال:

$$I_{r.m.s} = \sqrt{\frac{P_0}{R}} = \sqrt{\frac{4.07}{7.1}}$$

$$I_{r.m.s} = 23.8A$$

- عامل الاستطاعة:

$$P.F = \frac{P_0}{S}$$

$$P.F = \frac{4.07 \times 10^3}{240 \times 23.8} = 0.7$$

مثال (23):

اشرح آلية عمل المدرج الأحادي الطور عند حالة حمل أومي، وتحريضي، وباعتماد أي زاوية تأخير، احسب العلاقة الناظمة لحساب القيمة الفعالة لتيار الحمل وبين كيف يتم تنظيم التوتر.

الحل:

- الشكل (2-23-a) أدناه يوضح دارة الاستطاعة للمدرج الأحادي الطور مع حمل أومي، باعتبار الحثية معدومة ، يتم هنا التحكم بزاوية الإزاحة بالطور للثير ستورين T_1 و T_2، ولدى تغيير الزاوية ψ من الصفر حتى π يمكن تغيير قيمة توتر الخرج والتحكم بتيار الحمل.

- تيار الحمل يعطى بالعلاقة: $i = \frac{V_m}{R} Sin\omega t$

- يعطى التيار من العلاقة:

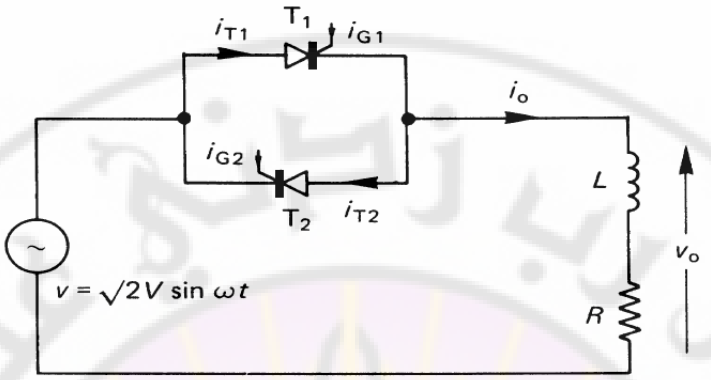
$$I^2 = \frac{1}{\pi}\int_{\psi}^{\pi} \frac{V_m^2}{R^2} Sin^2 Sin\omega t dwt$$

$$= \frac{V_m^2}{R^2}\left[\frac{\omega t}{2\pi} - \frac{Sin2\omega t}{4\pi}\right]_{\psi}^{\pi}$$

$$I^2 = \frac{V_m^2}{R^2}\left[\frac{1}{2} - \frac{\psi}{2\pi} + \frac{Sin2\psi}{4\pi}\right]$$

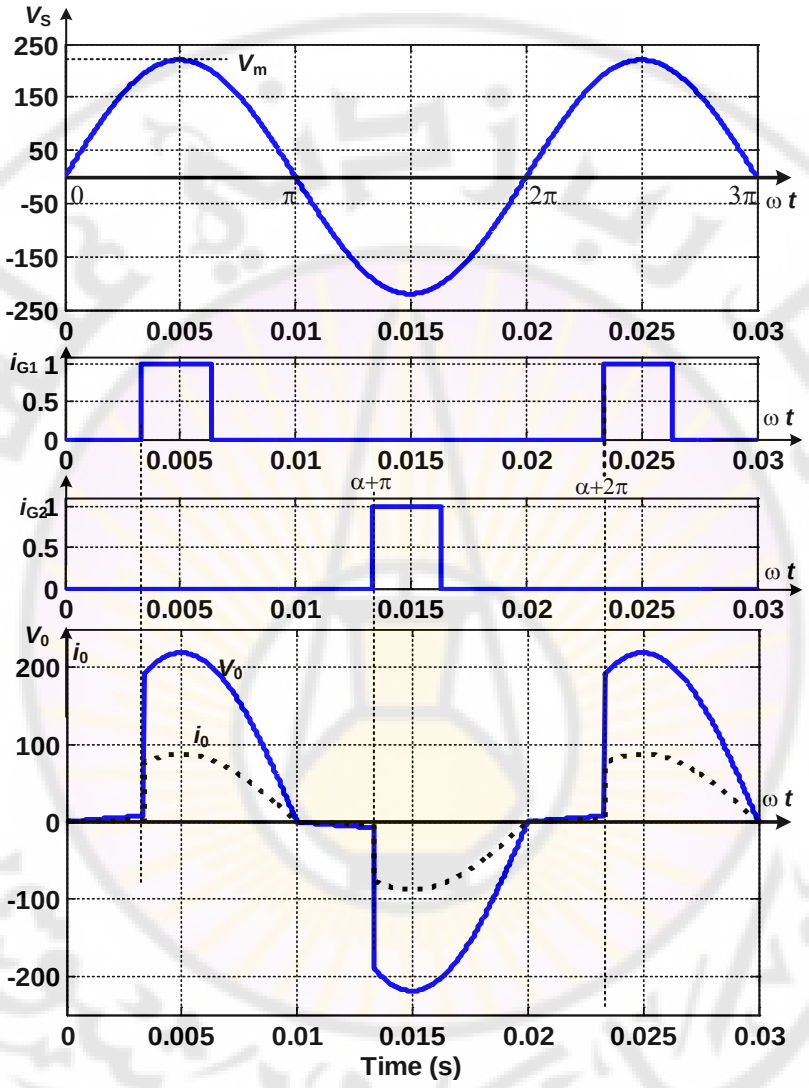
$$I = \frac{V_m}{R}\sqrt{1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{Sin2\psi}{2\pi}}$$

Ψ تتغير من الصفر حتى π، I تتغير من القيمة العظمى $\frac{V}{R}$ حتى الصفر.

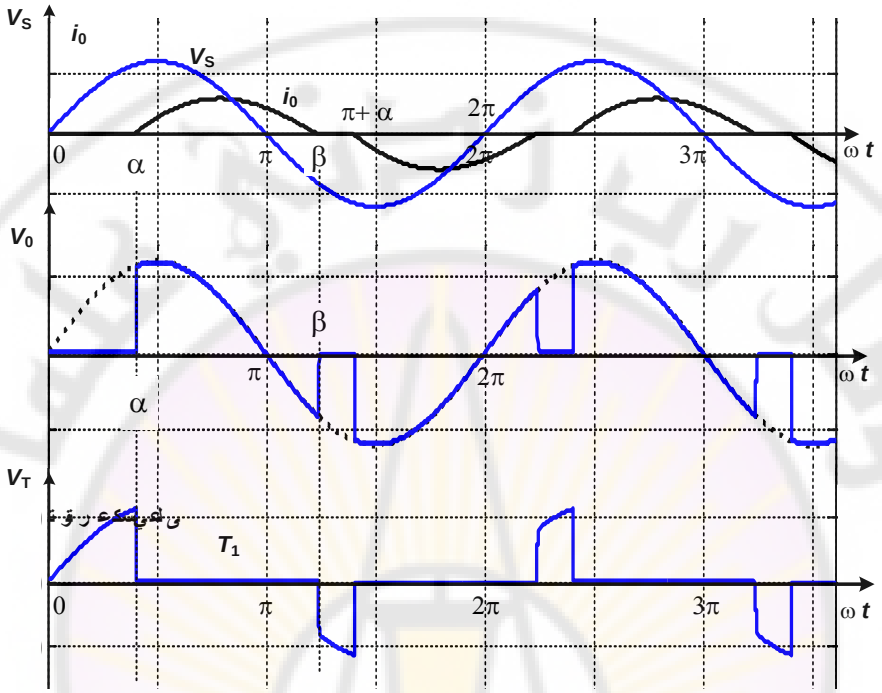


شكل (أ–23–2) دارة الاستطاعة للمدرج الأحادي الطور.

من الأشكال المرسومة أدناه ،نجد أن موجة التوتر تنقطع عند الحمل الأومي لدى مرورها بمحور الزمن ،كما يتوقف مرور التيار ،بينما في حالة الحمل التحريضي لا ينقطع تيار الحمل عند مرور موجة التوتر بالصفر ولدى انعدام القدرة المخزنة في الحثية ينقطع التيار ويعود التوتر للصفر .التوتر العكسي يظهر في منطقة عدم التوصيل للثيرستور .



شكل (ب–23–2) شكل التوتر ونبضات القدح والتوتر العكسي على T_1 عند حمل أومي



شكل (ج–23–2) شكل التوتر ونبضات القدح والتوتر العكسي على T_1 عند حمل تحريضي .

مثال (24):

منظم توتر متناوب أحادي الطور مبينة دارته بالشكل (أ– 24–2) حُمل بمقاومة أومية $R=10\Omega$. توتر الدخل $V_S=120V$ و $60Hz$. زاوية التأخير للثيرستور T_1،

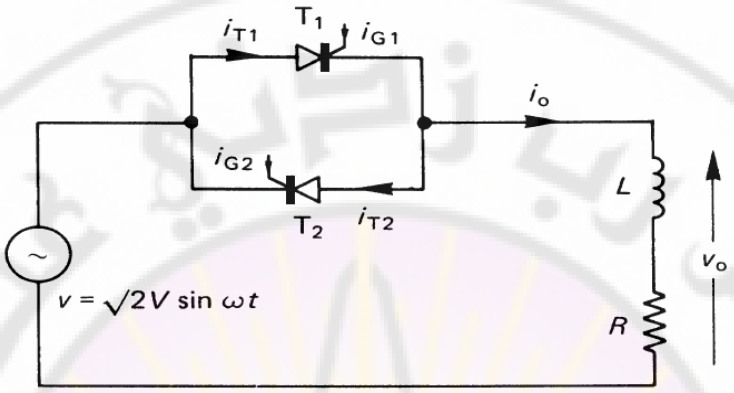
$\alpha=\frac{\pi}{2}$. بيّن ما يلي:

a- القيمة الفعالة لتوتر الخرج V_0.

b- عامل استطاعة الدخل PF.

c- تيار الدخل المتوسط.

الحل:



شكل (أ-24-2) a- دارة الاستطاعة.

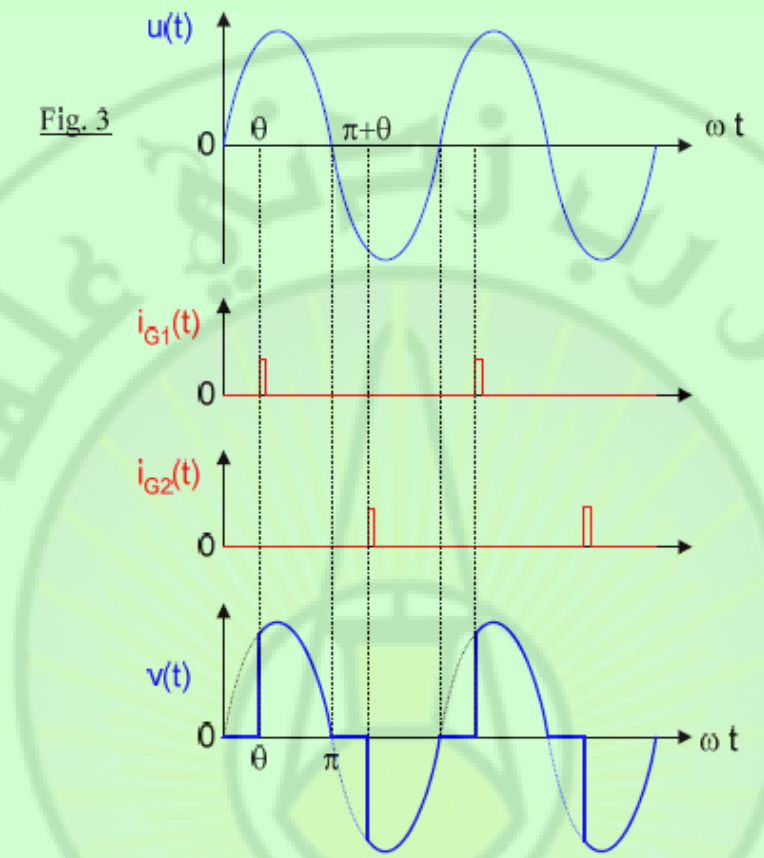
$$V_0 = \left\{ \frac{1}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} 2V_S Sin^2 \omega t.d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} 2V_S Sin^2 \omega t.d(\omega t) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$V_0 = \left\{ \frac{2V_S^2}{4\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} (1 - Cos2\omega t) d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} (1 - Cos2\omega t) d(\omega t) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$V_0 = \left[\frac{1}{2\pi} \left(2\pi - \alpha + \frac{Sin2\alpha}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} .....(1)$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} V_S Sin^2 \omega t.d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} \sqrt{2} V_S Sin^2 \omega t.d(\omega t) \right]$$

$$V_{dc} = \frac{\sqrt{2}V_S}{2\pi} (Cos\alpha - 1) .....(2)$$



شكل (ب –24–2) موجة توتر وتيار الخرج ونبضات القدح لـ T_1،T_2 .

A – من العلاقة الواردة أدناه نحسب القيمة الفعالة لتوتر الخرج.

– القيمة المتوسطة لتوتر الخرج:

بأخذ القيم الرقمية:

$$V_0 = 120\sqrt{\frac{3}{4}} = 103.92V$$

b- القيمة الفعالة لتيار الخط:

$$I_0 = \frac{V_0}{R} = \frac{103.92}{10} = 10.392A$$

استطاعة الحمل

$$P_0 = I_0^2.R = (10.392)^2 \times 10 = 1079.94W$$

بما أن تيار الدخل هو نفس تيار الحمل، فإن استطاعة الدخل بـ VA هي:

$$V.A = V_S.I_S = V_S.I_0 = 120 \times 10.392 = 1247.04V.A$$

عامل الاستطاعة للدخل:

$$PF = \frac{P_0}{V.A} = \frac{1079.94}{1247.04} = 0.866(Lagging)$$

$$PF = \frac{P_0}{V.A} = \frac{V_0}{V_S} = \left[\frac{1}{2\pi}\left(2\pi - \alpha + \frac{Sin2\alpha}{2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$PF = \sqrt{\frac{3}{4}}$$

c- القيمة المتوسطة لتوتر الدخل:

$$V_{dc} = -120\frac{\sqrt{2}}{2\pi} = -27V$$

وتيار الدخل المتوسط:

$$I_D = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{-27}{10} = -2.7A$$

مثال (25):

مدرج توتر أحادي الطور AC regulator، 240V، 50Hz، يغذي حملاً مختلطاً يساوي Z=7.1+j7.1

احسب:

1- أصغر زاوية إزاحة ممكنة.

2- القيمة الفعالة لجهد وتيار الخرج.

3- الاستطاعة العظمى للخرج وعامل الاستطاعة وأكبر قيمة لزيادة التيار $\left(\frac{di}{dt}\right)_{\max}$

4- تيار وتوتر الثيرستور.

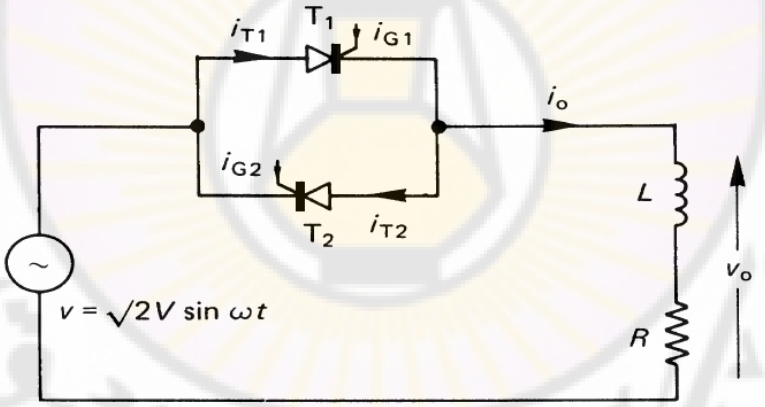
الحل:

نحسب زاوية الحمل كما يلي:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right) = \frac{\pi}{4}$$

وهذا يعني أن زاوية الإزاحة تقع ضمن المجال:

$$\frac{\pi}{4} \le \alpha \le \pi$$



شكل (2-25) دارة الاستطاعة لمدرج التوتر.

وأصغر زاوية إزاحة متحكم بها تحدث عندما تكون زاوية الإزاحة:

$$\alpha = \phi = \frac{\pi}{4}$$

وعندها تكون معادلة كل من الجهد والتيار:

$$V = \sqrt{2} \times 240 Sin(\omega t)$$

$$i(\omega t) = \frac{\sqrt{2} \times 240}{Z} Sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4} \right)$$

$$Z = 10\Omega$$

وتكون القيمة الفعالة لتيار الحمل هي:

$$I_{r.m.s} = \frac{V}{Z} = \frac{240}{10} = 24[A]$$

الاستطاعة المستهلكة في الحمل هي:

$$P = I_{rms}^2 \times R = (24)^2 \times 7.1 = 4090[W]$$

يحسب عامل الاستطاعة وفق المعادلة التالية:

$$PF = \frac{Output \quad Power}{Appaerent \quad Output \quad Power} = \frac{I_{rms}^2 \times R}{V \times I_{rms}} = \frac{(24)^2 \times 7.1}{240 \times 24} = 0.71$$

لكل ثيرستور يعمل لنصف دور كما يلي:

$$T_1 : \frac{\pi}{4} \rightarrow \pi + \frac{\pi}{4}$$

$$T_2 : \pi + \frac{\pi}{4} \rightarrow 2\pi + \frac{\pi}{4}$$

تعطى القيمة المتوسطة لتيار الثيرستور من المعادلة:

$$\overline{I} = \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/4}^{\pi/4+\pi} \frac{\sqrt{2}V}{Z} Sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4} \right) d(\omega t)$$

$$= \frac{\sqrt{2}V}{\pi \times Z} = \frac{\sqrt{2} \times 240}{\pi \times 10} = 10.8[A]$$

تعطى القيمة الفعالة لتيار الثيرستور وفق المعادلة:

$$\bar{I}=\sqrt{\frac{1}{2\pi}\left[\int_{\pi/4}^{\pi/4+\pi}\frac{\sqrt{2}V}{Z}Sin\left(\omega t-\frac{\pi}{4}\right)d(\omega t)\right]^2}$$

$$=\frac{\sqrt{2}V}{2\times Z}=\frac{\sqrt{2}\times 240}{2\times 10}=17[A]$$

لحساب أعظم نسبة تغير للتيار المار في الثيرستور نشتق معادلة التيار فنجد:

$$\left(\frac{di(\omega t)}{dt}\right)_{\max}=\frac{d}{dt}\left[\frac{\sqrt{2}\times 240}{Z}Sin\left(\omega t-\frac{\pi}{4}\right)\right]$$

$$=\frac{\sqrt{2}V\omega}{Z}Cos\left(\omega t-\frac{\pi}{4}\right)$$

وتكون قيمة التغير في التيار عظمى عندما:

$$Cos\left(\omega t-\frac{\pi}{4}\right)=1$$

$$\omega t=\alpha=\phi=\frac{\pi}{4}$$

بالتبديل نجد أن القيمة العظمى لتغير التيار هي:

$$\frac{di(\omega t)}{dt}=\frac{\sqrt{2}V\omega}{Z}=\frac{\sqrt{2}\times 240\times 2\times\pi\times 50}{10}=10.7A/ms$$

أكبر جهد يتعرض له الثيرستور هو:

$$V_{in}=\sqrt{2}V=\sqrt{2}\times 240=340V.$$

مثال (26):

مبدل طور (مدرج توتر) أحادي الطور Mono Phase Regulator، يغذى من منبع توتر متناوب عند توتر 220 فولت. حمل بحمل تحريضي ذي عامل استطاعة قدره 0.7. مقاومة الحمل 4 أوم، تردد العمل 50 هرتز. طبق على

الثيرستورات زاوية إزاحة قدرها 25 درجة كهربائية. ارسم شكل التوتر والتيار المار والممكن تطبيقه على الحمل في الحالتين التاليتين:

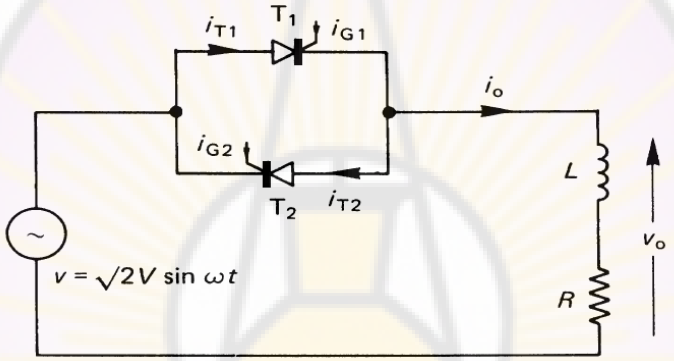
1- حالة كون عرض نبضة القدح ضيقة لا تتجاوز 3 درجات كهربائية.

2- حالة كون عرض نبضات القدح عريضة وتتجاوز 60 درجة كهربائية.

افرض أية قيمة تحتاجها أو احسبها بدلالة باقي القيم.

الحل:

مبدل الطور الأحادي هو من الشكل التالي:

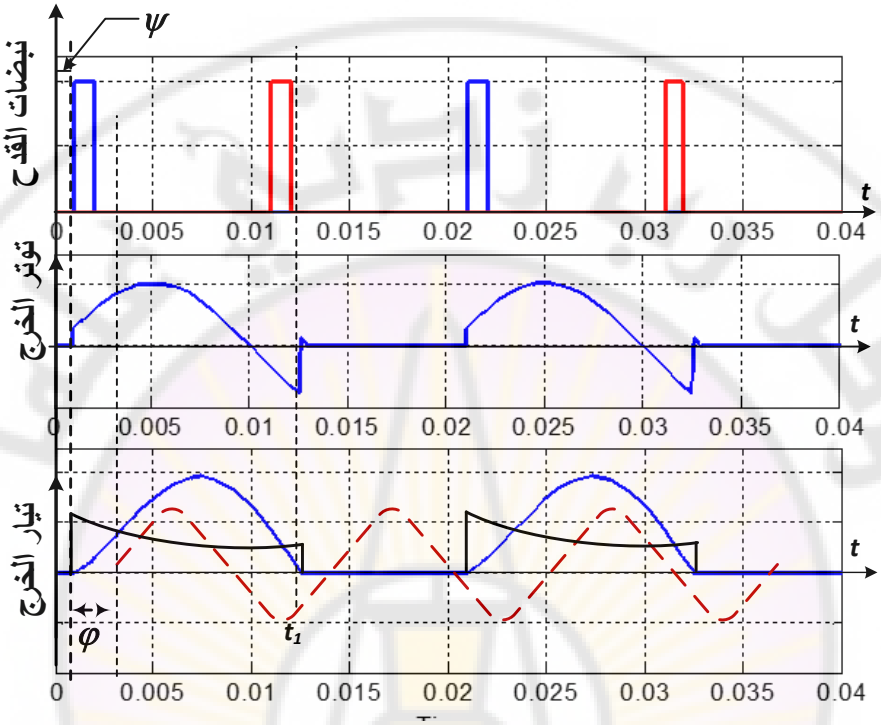


شكل (أ-26-2) دارة الاستطاعة.

Cos φ = 0.7 أي ما يعادل 45^o. بما أن زاوية الإزاحة بالطور المطبقة على النظام 25 درجة، هذا يعني أن مبدل الطور يعمل عند المجال $0< \psi < \varphi$، لرسم شكل التوتر والتيار في الحالتين المطلوبتين لدينا ما يلي:

الحالة الأولى: عرض النبضة لا تتجاوز (3) درجات:

$$i = i_f + i_l = \frac{V_m}{Z} Sin(\omega t - \varphi) - \frac{V_m}{Z} Sin(\psi - \varphi) e^{-\frac{R}{L}(t-)}$$



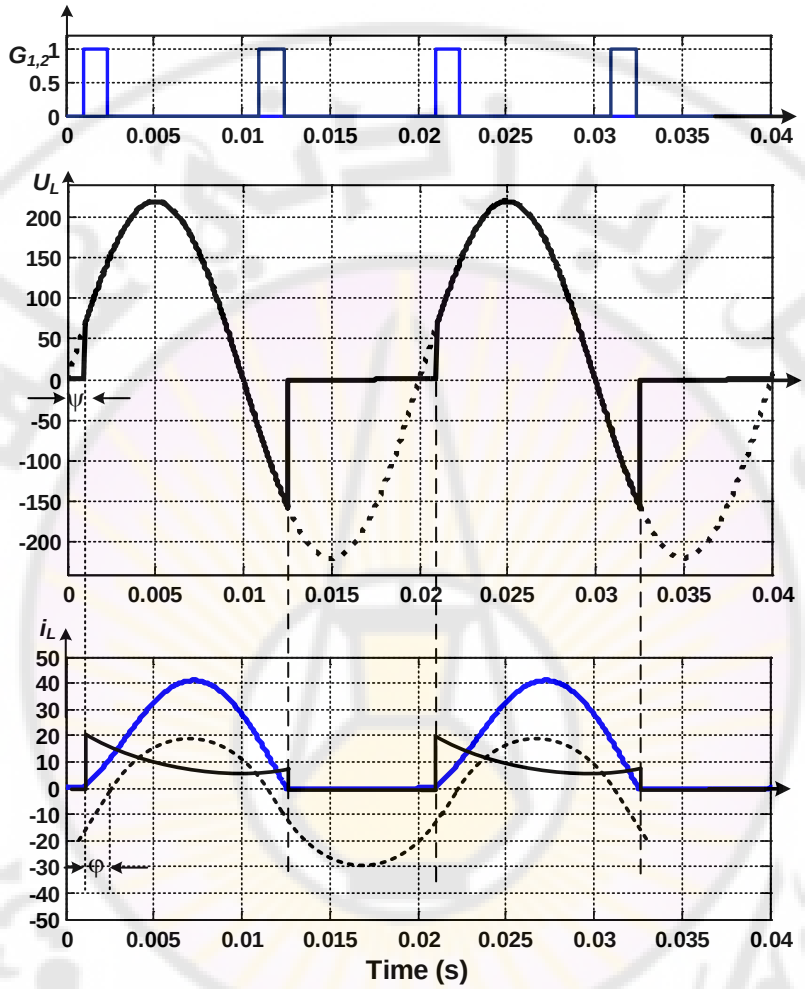
شكل (ب–26–2) نبضات القدح – توتر الخرج وتيار الخرج ومكوناته.

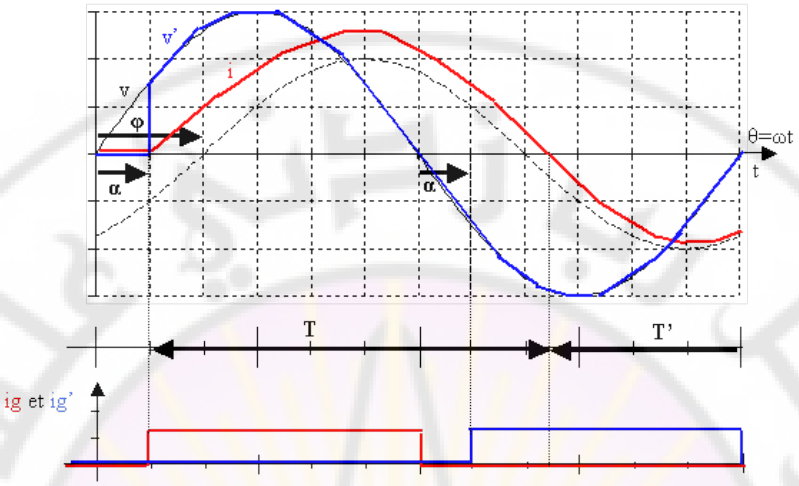
لدى تطبيق النبضة على الثيرستور الأول، ينتقل هذا الثيرستور للتوصيل وسيعطى التيار حسب العلاقة السابقة. هنا i_f و i_1 من نفس الإشارة وسينعدم التيار عند الزمن $\omega t_1 > \pi+\varphi$ وهو بالتأكيد أكبر من $\pi+\psi$ وبما أن عرض النبضة 3 درجات عندئذ ستكون النبضة قد انتهت قبل السماح للثيرستور الثاني بالتوصيل، لذا لا يمكن أن ينتقل لحالة التوصيل.

في الدور الثاني يعود الثيرستور الأول أيضاً للعمل. وهكذا إذاً في هذه الحالة لا يعمل مبدل الطور خلال نصفي الدور، وهو يعمل كمقوم أحادي (ثيرستور وحيد). إذاً لا يمكن الاستمرار بالعمل في هذه الحالة كمبدل طور.

– بفرض أننا طبقنا النبضة على الثيرستور الأول. نجد أن هذا الثيرستور سيبدأ بالتوصيل ويستمر التيار حتى الزمن t_1. عند هذا الزمن يكون الثيرستور الثاني Th_2 واقعاً تحت توتر موجب، وعليه نبضة موجبة مطبقة من الزمن ($t=\pi+\psi$) وبما أن النبضة عرضها 60 درجة. فإن Th_2 سوف ينتقل للتوصيل وهكذا يستمر تيار الحمل حتى الزمن t_2، حيث يعاد تطبيق النبضة على Th_1 والذي سوف ينتقل للتوصيل لأن النبضة مازالت مطبقة وهكذا يستمر التوصيل.

– التيار الفعال $I=\frac{V}{Z}$ والمدرج يعمل عندئذ كقاطع مغلق.


$G_{1,2}$
1
0.5
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
0.035
0.04
U_L
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
ψ
i_L
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
φ
Time (s)



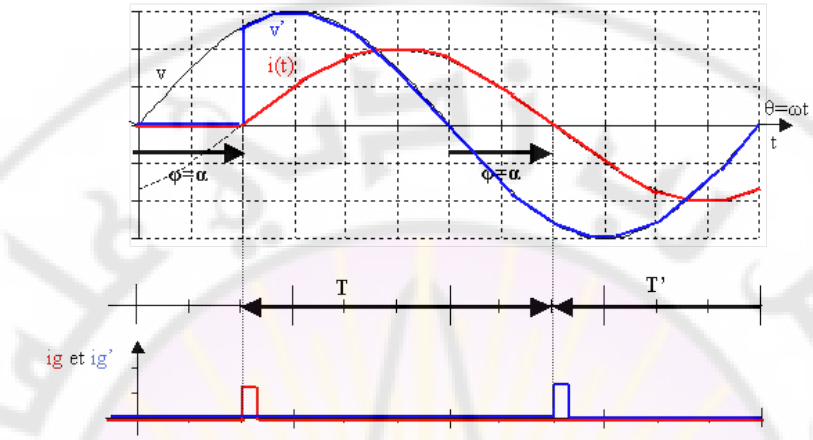
شكل (س-26-2) نبضات قدح عريضة- توتر الخرج وتيار الحمل.

ملاحظة :

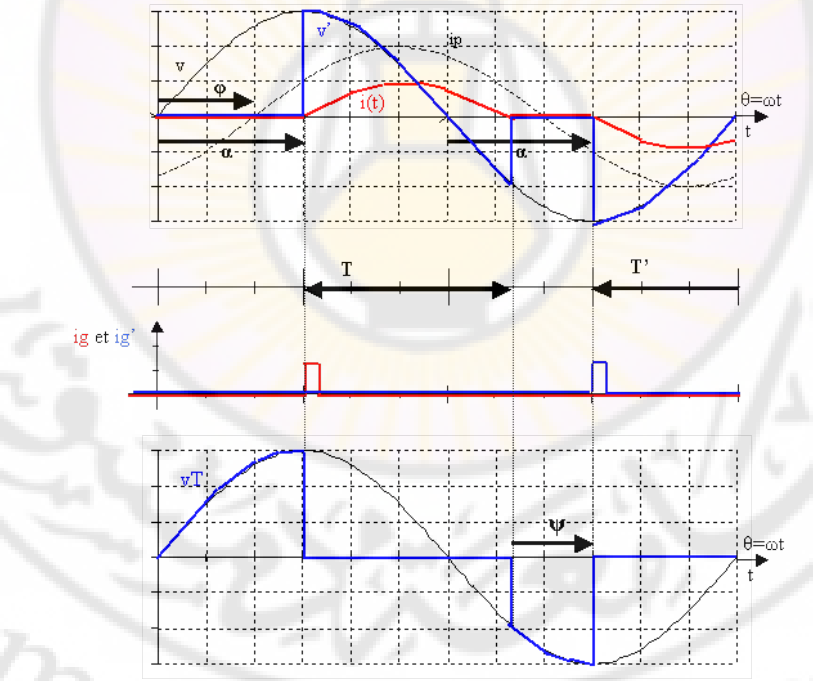
نصادف حالات تشغيل أخرى نكون فيها زواية الإزاحة بالطور مساوية لزاوية عامل الاستطاعة ،كما نصادف حالات تكون فيها زاوية الإزاحة بالطور أكبر من زاوية عامل الاستطاعة ،والأشكال التالية توضح هذه الحالات ونرى كيف أنه عندما تكون $\alpha=\varphi$ ، ونبضة القدح كافية العرض فإن المدرج سيعمل كقاطع الكتروني ويمرر موجة تيار متناوب

وعندما تكون $\alpha>\varphi$ ، ونبضة القدح ذات عرض كاف سوف يعمل القاطع الأول ويستمر العمل في النصف السالب ويقف عن العمل قبل تطبيق نبضة القدح على الثيرستور الثاني لذا فور تطبيق النبضة على الثيرستور الثاني سوف يبدأ بالعمل ويستمر بالعمل في النصف الموجب ويتوقف عن العمل قبل لحظة تشغيل القاطع الأول مرة ثانية .

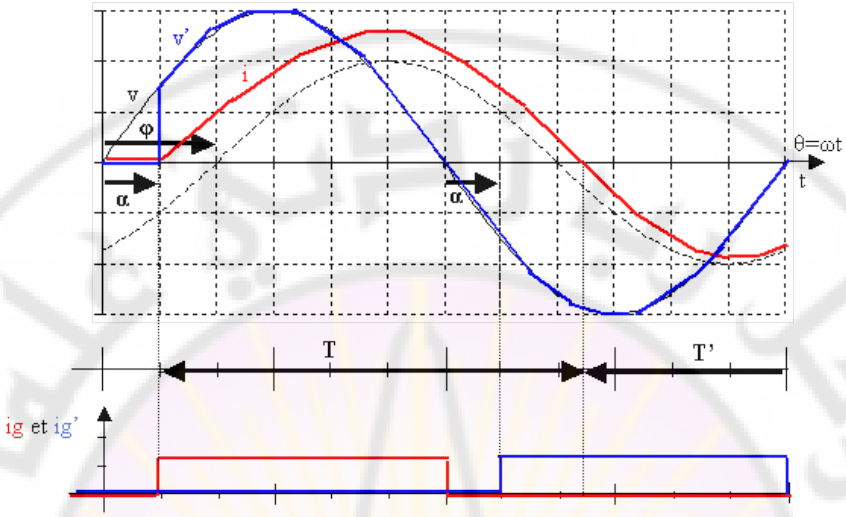
التوتر العكسي على كل ثيرستور ينشأ في الفترة التي لا يعمل بها ويساوي توتر الطور خلال تلك الفترة .



شكل (ج–26–2) شكل التوتر عند $\alpha>\varphi$ ،وفترات التوصيل لكل عنصر



شكل (د–26–2) منظم توتر يعمل عند زاوية إزاحة بالطور أكبر من زاوية عامل الاستطاعة للحمل ، $\alpha > \varphi$



شكل (ك–26–2) لمنظم توتر يعمل عند زاوية إزاحة بالطور أصغر من زاوية عامل الاستطاعة للحمل . $\alpha<\varphi$

مثال (27):

لدينا مدرج ثيرستوري أحادي الطور Single- Phase Full-Wave Controller ، يغذى من منبع توتر متناوب جيبي وحمل بحمل أومي. حسب الشكل (أ–27–2) أدناه. V_S=220V, 50Hz بين لنا ما يلي:

1- آلية العمل وتنظيم التوتر.

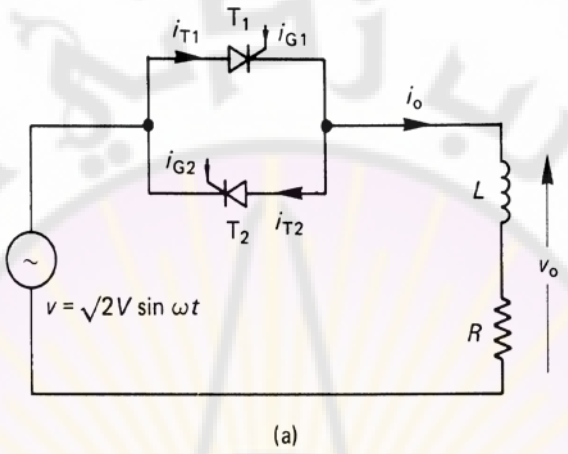
2- شكل توتر الخرج والتيار المار بالحمل الأومي.

3- ارسم شكل التوتر V_0 (الخرج) كتابع لزاوية التأخير بالقدح.

الحل:

1= خلال نصف الدور الموجب لتوتر الدخل V_S، يتم التحكم بجريان الاستطاعة عن طريق تغيير زاوية التأخير بالطور (delay angle) للثيرستور T_1 و T_2 للنصف الثاني من الدور. زاوية التأخير يمكن تغييرها من صفر حتى 180 درجة.

الشكل (ب– 27–2) أدناه يوضح شكل التوتر المتناوب المعدل الناتج وتيار الحمل.



شكل (أ–27–2) دارة الاستطاعة.

2-1- إذا كانت $V_S = V_m \, Sin(\omega t)$ معادلة توتر الدخل، باعتبار $\alpha_1=\alpha_2=\alpha$ زاوية التأخير المطبقة على الثيرستورات T_1 و T_2. فإن القيمة الفعالة V_0 لتوتر الخرج يمكن حسابها من العلاقة:

$$V_{0,rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi}\left[V_m Sin\omega t\right]^2 d(\omega t)}$$

$$V_{0,rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{Sin2\alpha}{2\pi}}$$

$$V_{0,rms} = V_{S,rms}\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{Sin2\alpha}{2\pi}}$$

لدى تغيير α من (0 حتى π)، $V_{0,rms}$ يمكن أن تتغير من $V_{S,rms}$ حتى 0 والشكل (ب–27–2) يوضح ذلك. (الزاوية α يجب أخذها بالراديان لدى التعويض في العلاقات الموضحة أعلاه).

تطبيق:

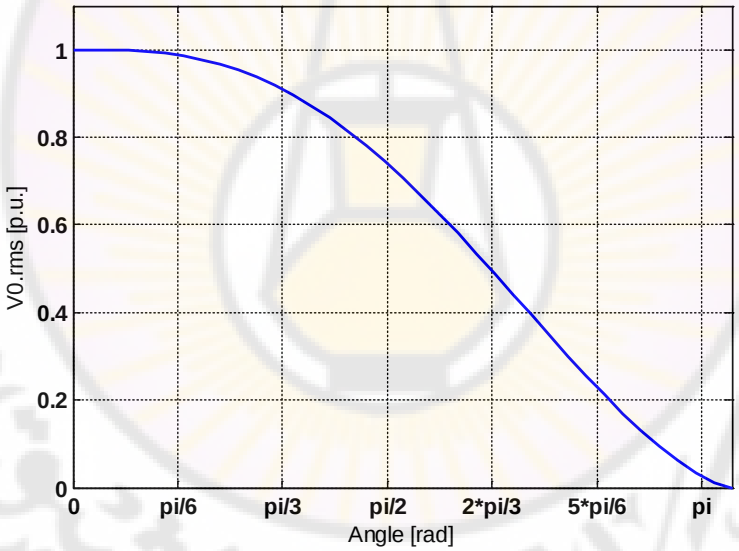
باعتبار $V_S=240V$، $\alpha=30^o$، $R=100\Omega$ احسب $V_{0,rms}$، وتيار الحمل i_0.

$$V_{0,rms} = 240\sqrt{1-\frac{0.5233}{\pi}+\frac{Sin2\times 30}{2\pi}}$$

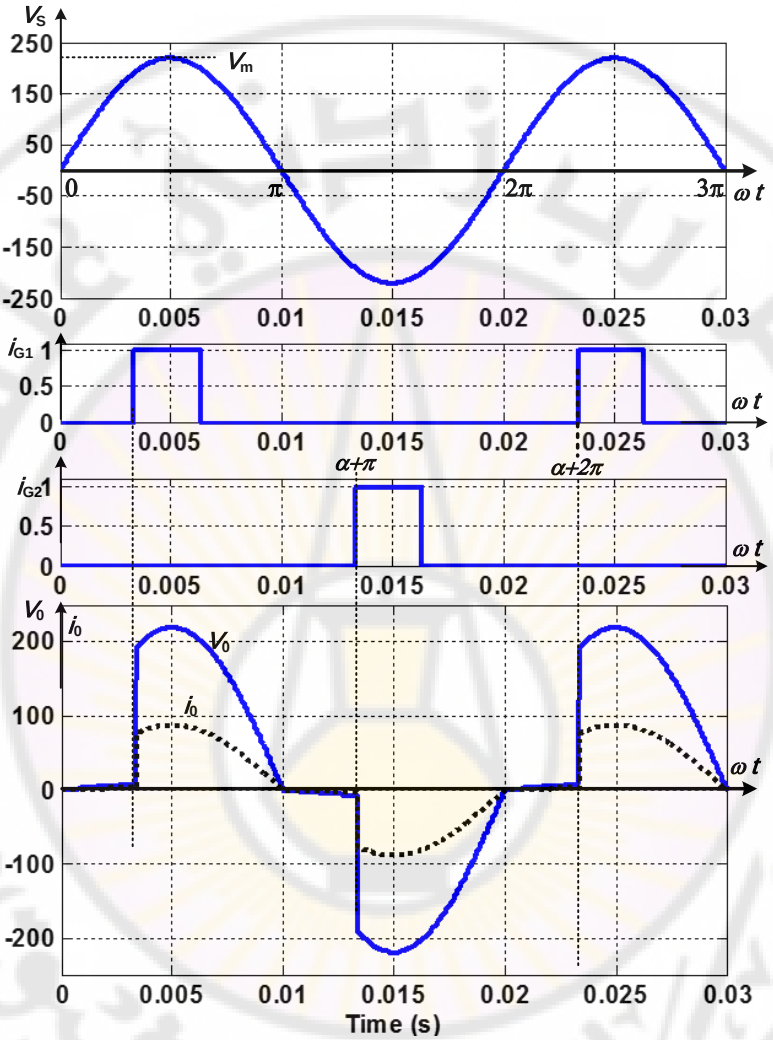
$$= 240\sqrt{1-0.1667+0.147} = 240\sqrt{0.6963}$$

$$V_{0,rms} = 200.3Volts.$$

$$I_0 = \frac{V_{0,rms}}{R} = \frac{200.3}{100} = 2.003A.$$



شكل (س-27-2) علاقة توتر الخرج الفعال مع زوايا التأخير بالطور.



شكل (ب–2–27) موجة توتر الدخل V_S، وتوتر الخرج V_0، وتيار الخرج i_0 ونبضات القدح للثيرستور T_1 و T_2.

مثال (28):

مدرج أحادي الطور حسب الشكل (أ–2–28) ثيرستوري. مقاومة الحمل $R=10\Omega$ وتوتر الدخل $V_S=120V(rms)$. تردد 60Hz. زاوية التأخير المطبقة على الثيرستورين T_1 و T_2 متساوية وتساوي $\alpha_1=\alpha_2=\alpha=\pi/4$. حدد ما يلي:

a- القيمة الفعالة لتوتر الخرج V_0.

b- عامل استطاعة الدخل PF.

c- تيار الثيرستور المتوسط I_A. والتيار الفعال $I_{R,rms}$.

الحل:

a– من العلاقة الناظمة للتوتر نجد:

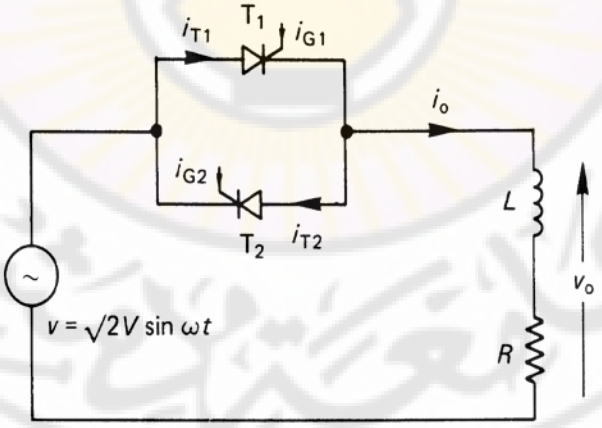
$$V_0 = V_S\left[\frac{1}{\pi}\left(\pi - \alpha + \frac{Sin2\alpha}{2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_0 = \frac{120}{\sqrt{2}} = 84.85V$$

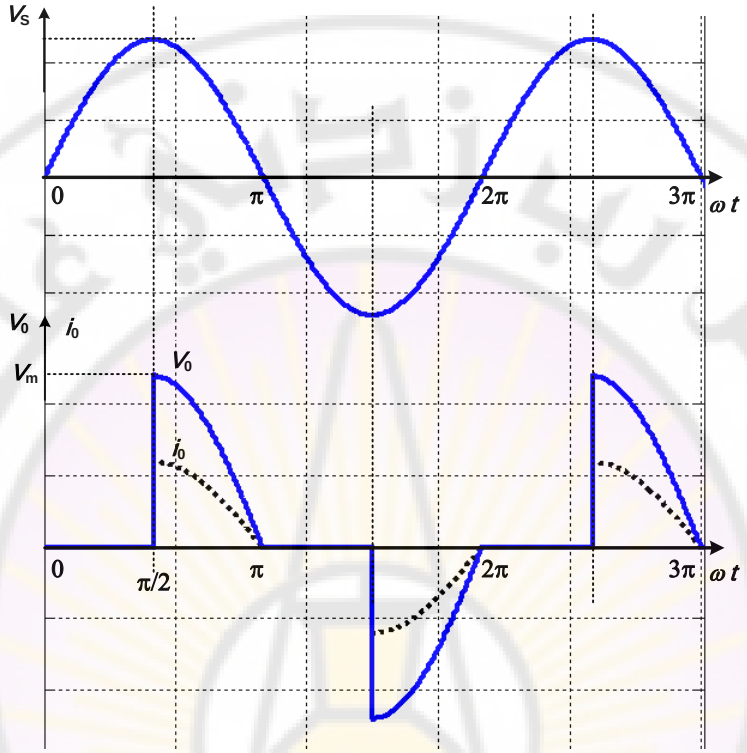
b- القيمة الفعالة لتيار الحمل:

$$I_0 = \frac{V_0}{R}$$

$$I_0 = \frac{84.85}{10} = 8.485A$$



(a)



شكل (أ-28-2) – a- دارة الاستطاعة. B – توتر الدخل والخرج.

– استطاعة الحمل هي:

$$P_0 = I_0^2.R = (8.485)^2 \times 10 = 719.95W$$

بما أن تيار الدخل هو نفس تيار الحمل فإن استطاعة الدخل V.A هي:

$$V.A = V_S.I_S = V_S.I_0 = 120 \times 8.485 = 1018.2W$$

عامل الاستطاعة للدخل:

$$PF = \frac{P_0}{V.A} = \frac{V_0}{V_S} = \left[\frac{1}{\pi}\left(\pi - \alpha + \frac{Sin2\alpha}{2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$PF = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{719.95}{1018.2} = 0.707(Lagg)$$

- تيار الثيرستور المتوسط:

$$I_A = \frac{1}{2\pi R}\int_{\alpha}^{\pi}\sqrt{2}.V_S.Sin\omega t.d(\omega t)$$

$$= \frac{\sqrt{2}.V_S}{2\pi R}(Cos\alpha + 1)$$

$$= \sqrt{2}\times\frac{120}{2\pi\times 10} = 2.7A$$

- تيار الثيرستور الفعال:

$$I_R = \left[\frac{1}{2\pi R^2}\int_{\alpha}^{\pi}2.V_S^2.Sin^2\omega t.d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[\frac{2.V_S^2}{2\pi R^2}\int_{\alpha}^{\pi}(1-Cos2\omega t).d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{V_S}{\sqrt{2}.R}\left[\frac{1}{\pi}\left(\pi-\alpha+\frac{Sin2\alpha}{2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$I_R = \frac{120}{2\times 10} = 6A$$

مثال (29):

مدرج أحادي الطور مقاد (Single- Phase Full- Wave Controller) كما في

الشكل (أ–29–2) أدناه، يغذي حمل تحريضي. توتر الدخل الفعال V_S=120V، 60H. حثية الحمل L=6.5mH و R=2.5Ω. زاوية التأخير بالطور $\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{\pi}{2}$ حدد ما يلي:

a- فترة توصيل الثيرستور T_1 (δ).

b- القيمة الفعالة لتوتر الخرج V_0.

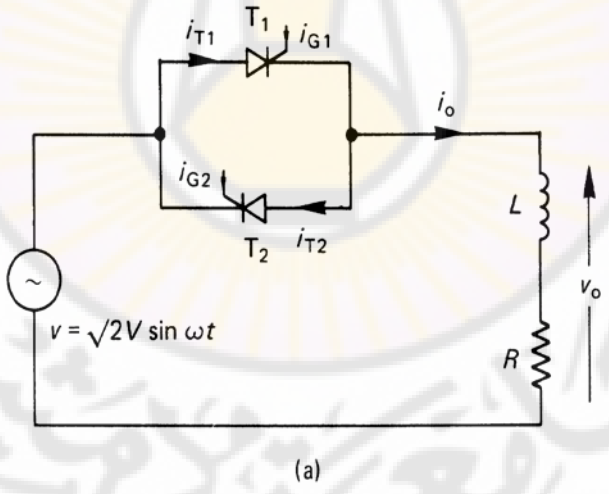
c- تيار الثيرستور الفعال.

d- تيار الخرج الفعال I_0. والمتوسط للثيرستور I_A وعامل استطاعة الدخل.

F – حلل عمل المدرجات الأحادية الطور عند حمل أومي وحمل تحريضي وارسم أشكال التوتر والتيار والتوتر العكسي وبين فترات التوصيل والعمل في كل حالة .

G– حلل عمل المدرجات الثلاثية الطور عند حمل أومي وحمل تحريضي وارسم أشكال التوتر والتيار والتوتر العكسي وبين فترات التوصيل والعمل في كل حالة .اذكر طرق التوصيل المختلفة للمدرجات الثلاثية الطور ،

الحل:



(a)

شكل (أ–29–2) a– دارة الاستطاعة. b – زاويا الوصل والفصل.

إذا كانت $v_S = \sqrt{2}V_S Sin\omega t$ توتر الدخل الحظي، α_1 زاوية التأخير للثيرستور T_1 و i_1 تياره، فإنه لدى القدح ستكن لدينا العلاقة:

$$L\frac{di}{dt} + R.i_1 = \sqrt{2}V_S Sin\omega t.....(1)$$

حل العلاقة أعلاه سيكون من الشكل:

$$i_1 = \frac{\sqrt{2}V_S}{Z} Sin(\omega t - \theta) + A_1 e^{-(R/L)t} .....(2)$$

ممانعة الحمل:

$$Z = \left(R^2 + (\omega L)^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

وزاوية الحمل

$$\theta = \tan^{-1}\frac{\omega L}{R}$$

الثابت A_1 يمكن تحديده من الشروط الأولية حيث أنه عند:

$$\omega t = \alpha \Rightarrow i_1 = 0$$

وبالتعويض أعلاه (2) نجد:

$$A_1 = -\frac{\sqrt{2}V_S}{Z} Sin(\alpha - \theta) e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)} .....(3)$$

بالتعويض عن A_1 من العلاقة أعلاه في العلاقة الأساسية (2) نجد:

$$i_1 = \frac{\sqrt{2}V_S}{Z}\left[Sin(\omega t - \theta) - Sin(\alpha - \theta) e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega - t}\right)} \right].....(4)$$

، ويمكن تحديدها من T_1 هي التي ينعدم عندها تيار الثيرستور β- الزاوية

الشروط بحيث:

$$i_1(\omega t = \beta) = 0$$

وبالتعويض في العلاقة أعلاه:

$$Sin(\beta-\theta)=Sin(\alpha-\theta)e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha-\beta}{\omega}\right)}.....(5)$$

الزاوية β المعروفة بزاوية الإطفاء (extinction angel) يمكن تحديدها من هذه العلاقة ونحتاج لحلها لاستخدام حل تكراري (iterative solution). لدى معرفة β زاوية التوصيل (أو فترة التوصيل) ،الزاوية δ للثيرستور T_1 يمكن إيجادها من العلاقة:

$$\delta=\beta-\alpha.....(6)$$

– القيمة الفعالة لتوتر الخرج تعطى بالعلاقة:

$$V_0=\left[\frac{2}{2\pi}\int_\alpha^\beta V_S^2 Sin^2\omega t.d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}$$

– القيمة الفعالة لتيار الثيرستور يمكن إيجادها من العلاقة (4) حيث:

$$I_R=\left[\frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\beta i_1^2.d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$=\left[\frac{4V_S^2}{4\pi}\int_\alpha^\beta(1-Cos2\omega t)d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$=V_S\left[\frac{1}{\pi}\left(\beta-\alpha+\frac{Sin2\alpha}{2}-\frac{Sin2\beta}{2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}.....(7)$$

$$I_R=\frac{V_S}{Z}\left[\frac{1}{\pi}\int_\alpha^\beta\left\{Sin(\omega t-\theta)-Sin(\alpha-\theta)e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega-t}\right)}\right\}^2 d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}.....(9)$$

– تيار الحمل الفعال يمكن تحديده من التيارات الفعالة للثيرستورات:

$$I_0 = \left(I_R^2 + I_R^2\right)^{\frac{1}{2}} = \sqrt{2} I_R \ldots\ldots(9)$$

- التيار المتوسط للثيرستور:

$$I_A = \frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\beta i_1 . d(\omega t)$$

$$I_A = \frac{\sqrt{2}V_S}{2\pi Z}\int_\alpha^\beta \left[Sin(\omega t - \theta) - Sin(\alpha - \theta) e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega - t}\right)} \right] d(\omega t) \ldots\ldots(10)$$

العلاقة (4) تشير إلى أن توتر الحمل (أو التيار) يمكن أن يكون جيبياً إذا كانت زاوية التأخير بالقدح α أقل من زاوية الحمل θ.

إذا كانت α أكبر من θ سيكون تيار الحمل متقطعاً وغير جيبي.

<u>ملاحظات</u>:

1- إذا كانت $\alpha = \theta$ من العلاقة (5) نجد:

$$Sin(\beta - \theta) = Sin(\beta - \alpha) = 0 \ldots\ldots(11)$$

$$\beta - \alpha = \delta = \pi \ldots\ldots(12)$$

2- بما أن فترة التوصيل (زاوية التوصيل) δ لا يمكنها أن تتجاوز القيمة π وأن تيار الحمل يجب أن يمر بالقيمة صفر، فإن زاوية التأخير α يجب أن لا تقل عن θ وعندئذ مجال التحكم بتوتر الخرج سيكون ضمن مجال تغيير α بحيث:

$$\theta \le \alpha \le \pi \ldots\ldots(13)$$

3 - إذا كانت $\alpha \le \theta$ وكانت نبضات القدح للثيرستورات عريضة وكافية فإن تيار الحمل لن يتغير تبعاً لـ α، وكلا الثيرستورين سيوصلان لفترة π. الثيرستور T_1 سيتم وصله عند الزمن $\omega t = \theta$، والثيرستور المعاكس T_2 سيتم وصله عند $\therefore \omega t = \pi + \theta$

التطبيق العملي:

$\omega = 2\pi f; \quad f = 60Hz; \quad L = 6.5mH \quad R = 2.5\Omega;$

$\theta = \tan^{-1}\frac{\omega L}{R} = 44.43°; \quad \alpha = 90°; \quad V_S = 120V; \quad \omega = 377rad/s.$

a- زاوية الفصل للثيرستور β يمكن تحديدها من العلاقة (5) والحل التكراري يعطي $\beta=220.35^{o}$. وعليه فإن زاوية التوصيل:

$$\delta = \beta - \alpha = 220.43 - 90 = 130.43°$$

b- من العلاقة (7) القيمة الفعالة rms لتوتر الخرج هو:

$$V_0 = 68.09V$$

c- التكامل العددي للعلاقة (8) ضمن الحدود $\omega t = \alpha \to \beta$ تعطي القيمة الفعالة لتيار الثيرستور

$$I_R = 15.07A$$

d- من العلاقة (9) نجد:

$$I_0 = \sqrt{2} \times 15.07 = 21.3A$$

e- الحل العددي للمعادلة (10) تعطي القيمة المتوسطة لتيار الثيرستور:

$$I_A = 8.23A$$

- استطاعة الخرج:

$$P_0 = (21.3)^2 \times 2.5 = 1134.2W$$

- استطاعة الدخل V.A يعطى بالشكل:

$$V.A = 120 \times 21.3 = 2556W$$

- عامل الاستطاعة للدخل:

$$P.F = \frac{P_0}{V.A} = \frac{1134.200}{2556} = 0.444(Lagg.)$$

أولاً : آلية عمل المدرج الأحادي الطور عند حمل أومي :

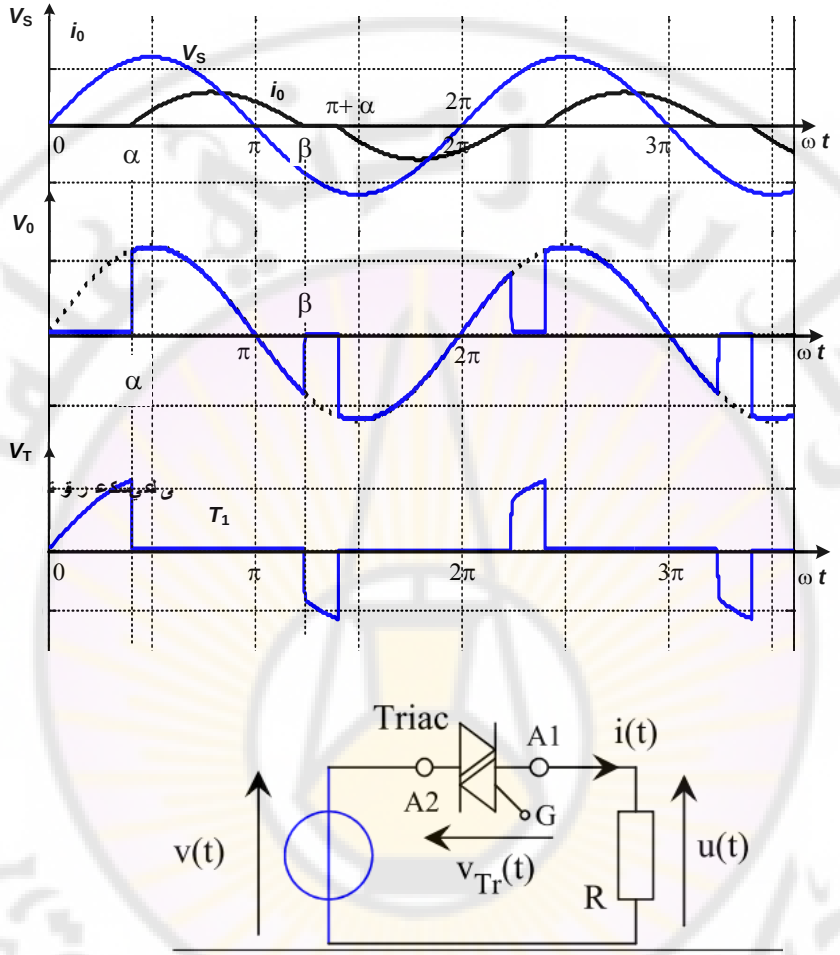
الشكل أدناه (د– 29- 2) يعطي دارة الاستطاعة للمدرج الأحادي الطور المحمل بحمل أومي ، والذي يمكن تمثيله ايضاً بترياك .معادلة التوتر في الدخل تعطى بالشكل .

$$v(t) = V\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$$

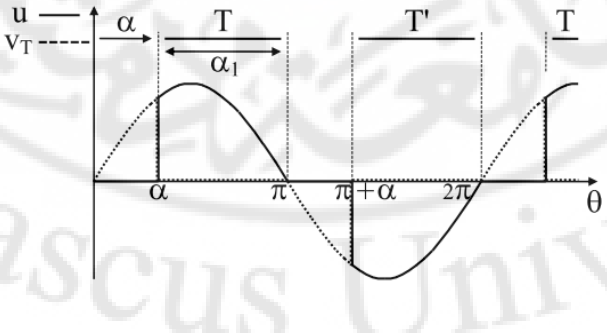
$$\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$$

- إذا كانت زاوية الإزاحة بالطور المطبقة على الثيرستورات (أو الترياك)هي ψ فإنه بالإمكان رسم شكل التوتر على الحمل الأومي بحذف كل الجزء من موجة التوتر الواقع قبل بدء التشغيل والإزاحة ،والشكل (هـ– 29- 2) يوضح

- ذلك .لدى مرور موجة التوتر بالصفر يتوقف التيار المار بالثيرستور او الترياك وينعدم توتر الخرج .ويأخذ التيار شكل توتر الدخل تقريباً. كما تم رسم التوتر العكسي V_{Tr} على الثيرستور الموصل. نتأكد هنا أن التوتر العكسي عليه يساوي الصفر طالما هو في حالة التوصيل ،ويساوي القيمة العظمى لتوتر المنبع خلال فترة الحجز .



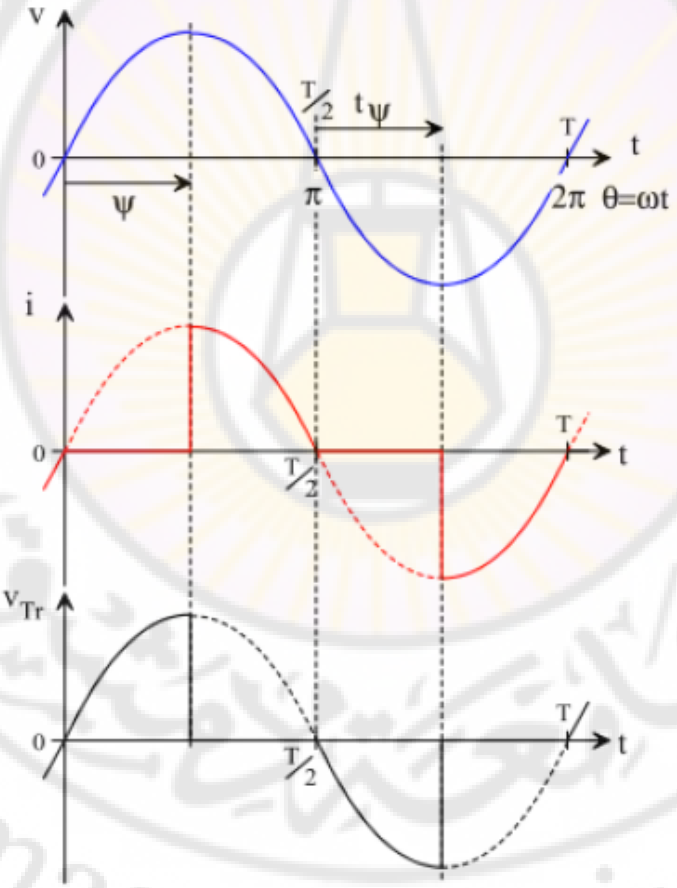
شكل (د– 29- 2) دارة الاستطاعة لمدرج احادي الطور أو ترياك



- تعطى القيمة الفعالة لتوتر الخرج للمدرج الأحادي الطور بالعلاقة التالية (وهي العلاقة الواردة في كتاب الكترونيات قدرة 2) وهي تابع لزاوية التأخير بالطور ψ .

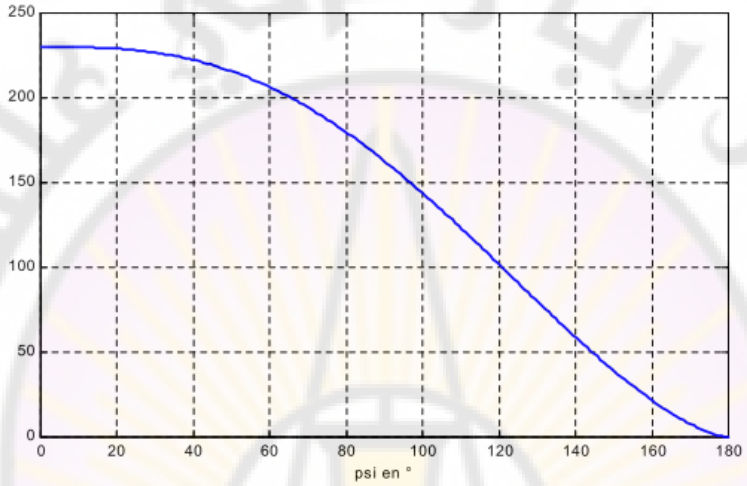
$$U_{\text{eff}} = V_{eff} \cdot \sqrt{1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{\sin(2\psi)}{2\pi}}$$

هذا ويمكن رسم العلاقة بين التوتر الفعال في الخرج وزاوية التأخير بالطور ψ كما في الشكل (ع- 29- 2).



شكل (هـ- 29- 2) موجة توتر الخرج للمدرج الحادي الطور وبيان فترة التوصيل α_1

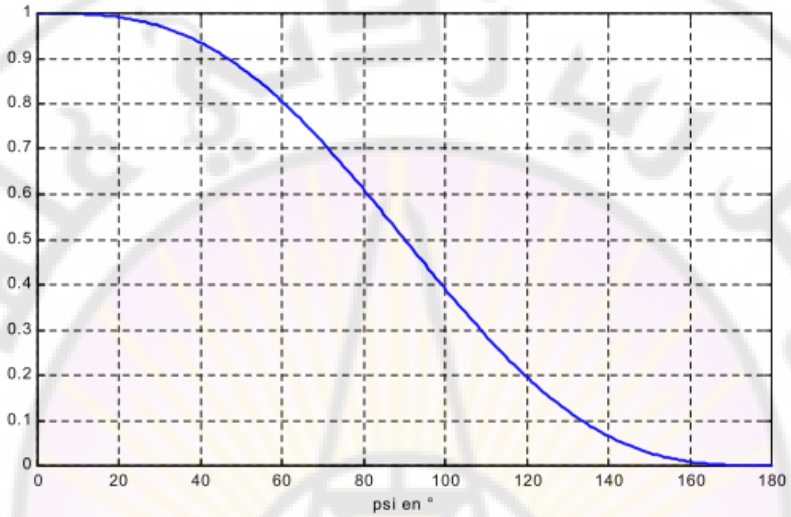
(ع- 29- 2) .ونلاحظ أن التوتر يبدأ من قيمة عظمى تساوي توتر المنبع وتنتهي بقيمة قريبة من الصفر عند زاوية تأخير بالطور كبيرة او تساوي 180 درجة كهربائية .



شكل (ع- 29- 2) تغير توتر الحمل بدلالة زاوية التأخير بالطور ψ

- لدى حساب الاستطاعة بالخرج ونسبها للاستطاعة العظمى يمكن استنتاج العلاقة الناظمة لتغير الاستطاعة بالخرج ،والشكل (غ- 29- 2) يوضح منحني تغير هذه الاستطاعة بالقيم الواحدية .

$$\frac{P_{charge}}{P_{max}} = 1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{\sin(2\psi)}{2\pi} \text{ en fonction de } \psi \text{ en } ^\circ :$$



شكل (غ– 29- 2) تغير استطاعة الحمل منسوبة للاستطاعة العظمى بدلالة زاوية التأخير بالطور ψ

- تحسب القيم الفعالة للمركبة الأساسية للتيار المار في الحمل بالشكل التالي :

تعطى العلاقة العامة للتيار المار بالحمل بشكل عام بمركبتين :

$$i_1(t) = A_1 \cdot \cos(\omega t) + B_1 \cdot \sin(\omega t) \text{ avec } \omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$$

$$B_1 = \frac{2}{T}\int_0^T i(t) \cdot \sin(\omega t) \cdot dt = \frac{4}{2\pi}\int_\psi^\pi i(\theta) \cdot \sin(\theta) \cdot d\theta \text{ avec } \theta = \omega t$$

$$A_1 = \frac{4}{2\pi}\int_\psi^\pi i(\theta) \cdot \cos(\theta) \cdot d\theta$$

$$\text{on pose } i(\theta) = \frac{v_S(\theta)}{R} = \frac{V\sqrt{2}}{R} \cdot \sin(\theta) \text{ pour } \theta \in [\psi ; \pi]$$

$$A_1 = \frac{V\sqrt{2}}{R}\cdot\left[\frac{\cos(2\psi)}{2\pi} - \frac{1}{2\pi}\right] \text{ et } B_1 = \frac{V\sqrt{2}}{R}\cdot\left[1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{\sin(2\psi)}{2\pi}\right]$$

Valeur efficace : $$\frac{I_1}{I_0} = \sqrt{\left(\frac{\cos(2\psi)}{2\pi} - \frac{1}{2\pi}\right)^2 + \left(1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{\sin(2\psi)}{2\pi}\right)^2}$$

Argument du courant : $$\varphi_1 = \operatorname{Arc}\tan\left(\frac{A_1}{B_1}\right)$$

Puissance réactive : $$Q_1 = V \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_1)$$

العلاقات أعلاه تعطي القيمة الفعالة للتيار بدلالة التيار الأعظمي I_o .ونظراً لوجود مركبات توافقية ناشئة عن عمليات الفصل والوصل للقواطع ،فإن الاستطاعة المستجرة من المنبع سوف تتشوه ويمكن بالتالي حساب الاستطاعة الكلية مع القيم الناتجة عن التشوه ،في العلاقات أدناه تم وضع العلاقة الناظمة لعامل الاستطاعة للحمل وذلك بدلالة الاستطاعة الحقيقية والاستطاعة الظاهرية الكلية ،ونتيجة الاختصار نرى أنها تساوي القيمة الفعالة لتيار المنبع مقسوماً على التيار الأعظمي المستجر من المنبع :

Puissance déformante : $$S = \sqrt{\left(P_1^2 + Q_1^2 + D^2\right)} = \sqrt{\left(S_1^2 + D^2\right)}$$

$$\frac{D}{V \cdot I_O} = \sqrt{\left(\frac{I_{C\,eff}}{I_0}\right)^2 - \left(\frac{I_{1\,eff}}{I_0}\right)^2}$$

Facteur de puissance : $$Fp = \frac{P}{S} = \frac{R \cdot I_{C\,eff}^{\,2}}{V_{S\,eff} \cdot I_{C\,eff}} = \frac{I_{C\,eff}}{I_O}$$

- بناءً عليه يمكن التعبير عن الاستطاعة الظاهرية الكلية الفعالة بدلالة توتر المنبع الفعال وتيار المنبع الفعال ،كما يمكن التعبير عن المركبة الأساسية للاستطاعة الظاهرية للمنبع بدلالة توتر المنبع الفعال والمركبة الأساسية لتيار المنبع .

Puissance apparente : $S = V_{S\,eff} \cdot I_{C\,eff}$ $S_1 = V_{S\,eff} \cdot I_{1\,eff}$

- المركبات التوافقية(المدروجات) في تيار المنبع يمكن التعبير عنها حسب العلاقة الواردة أدناه وهي تشمل المركبة الأساسية والمركبات للمدروجات الأخرى ،كما يمكن رسم تغيرات المركبات الثلاث الأولى للمركبات التوافقية كتابع لزوايا التأخير بالطور ،كما في الشكل (ف– 29- 2) أدناه وهي منسوبة للتيار الأعظمي.

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n \cdot \omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n \cdot \omega t)$$

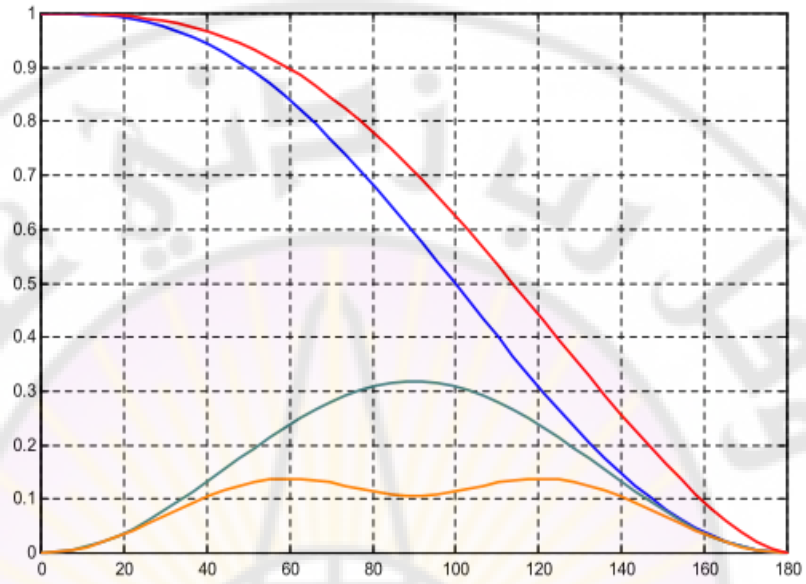
$$A_1 = \frac{V\sqrt{2}}{R}\left[\frac{\cos(2\psi)}{2\pi} - \frac{1}{2\pi}\right] \quad \text{et} \quad A_{2k+1} = \frac{V\sqrt{2}}{R}\left[\frac{\cos(2(k+1)\psi)-1}{2(k+1)\pi} - \frac{\cos(2k\psi)-1}{2k\pi}\right]$$

$$B_1 = \frac{V\sqrt{2}}{R}\left[1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{\sin(2\psi)}{2\pi}\right] \quad \text{et} \quad B_{2k+1} = \frac{V\sqrt{2}}{R}\left[\frac{\sin(2(k+1)\psi)}{2(k+1)\pi} + \frac{\sin(2k\psi)}{2k\pi}\right]$$

Variation des trois premiers harmoniques

et du courant efficace en fonction de ψ en degrés :

$$x_{2k+1} = \frac{I_{2k+1}}{I_0} = \frac{\sqrt{\left(\frac{A_{2k+1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{B_{2k+1}}{\sqrt{2}}\right)^2}}{V/R}$$

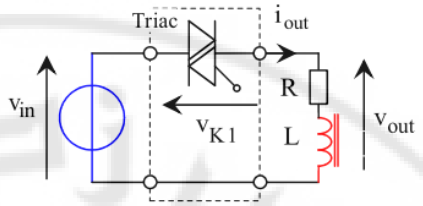


شكل (ف– 29- 2) المركبات التوافقية الثلاث الأولى كتابع لزوايا التأخير بالطور ومنسوبة للتيار الأعظمي

- <u>عمل المدرج الأحادي الطور عند حمل أومي وتحريضي مختلط L &R</u>

الدراسة التي تم وضعها أعلاه كانت لحمل أومي بحت ،غالباُ ما تكون أحمال إنارة متوهجة ،لكن قد نجد دائماً في جهة الحمل حثية معينة ،ناتجة عن عملية اللف ،او لملف خانق أو لمحرك قد يكون أحادي الطور أو ثلاثي الطور .في هذه الحالة معادلة توتر الدخل وتردد الدخل يبقى كما هو .الشكل (ق– 29- 2) يوضح دارة الاستطاعة حيث تم إضافة الحثية .

$$v_S(t) = V\sqrt{2}\cdot\sin(\omega t)$$
$$\omega = 2\pi\cdot f = \frac{2\pi}{T}$$
$$R = 10\,\Omega$$
$$L = 50\,mH$$



شكل (ق– 29- 2) دارة الاستطاعة للمدرج مع حمل مختلط

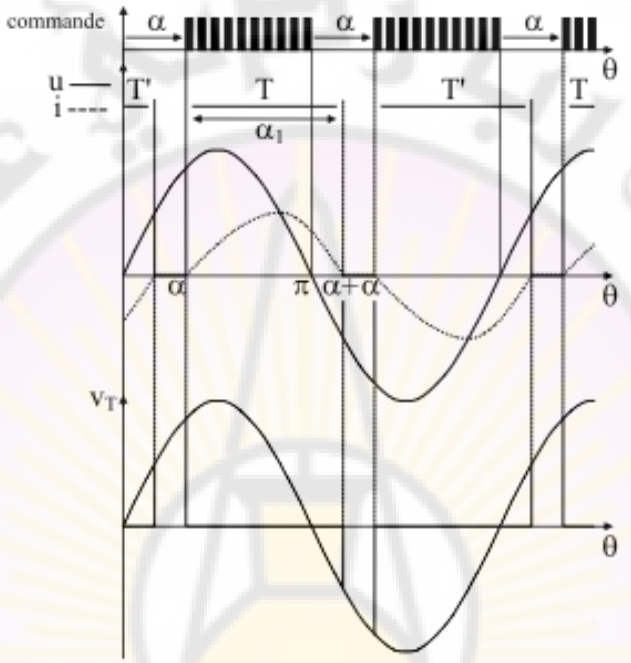
عامل الجودة للحمل وزاوية الطور للحمل تعطى بالعلاقات الواردة أدناه وزاوية الإزاحة بالطور كانت 72 درجة كهربائية . الأشكال التالية توضح شكل توتر الحمل الناتج عند زاوية تأخير بالطور رمز لها ب α أو ψ ونرى كيف ان الثيرستور الموصل في النصف الاول من الموجة الجيبية لم يتوقف عند نهاية الدور للتوتر المطبق وذلك بسبب التحريضية الموجودة في الحمل ،وفي حال كون الحمل تحريضي بحت فإن استمرار التيار في النصف الثاني من الدور سيكون مساوياً زاوية التاخير بالطور ،وإذا كانت حثية الحمل غير كافية سوف لن يتحقق ذلك .

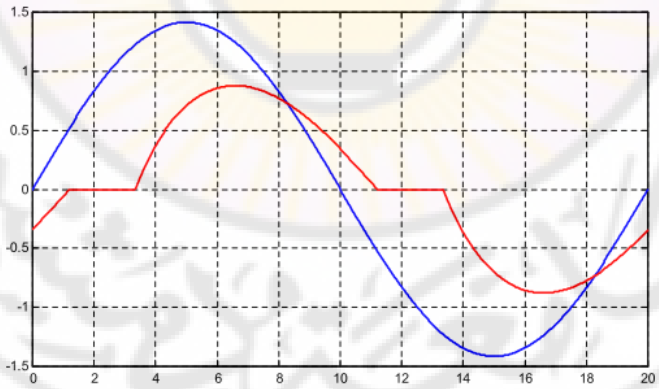
نبضات القدح المطبقة على البوابة يجب أن تكون عريضة وكافية لاستمرار القدح لكلا الثيرستورين ،وخاصة عند الحمل التحريضي ،لأنه إذا كانت نبضة القدح غير عريضة واستمر التيار بالمرور في النصف الثاني قد تنتهي النبضة قبل انتهاء فترة استمرار التيار(تم معالجة ذلك في الكتاب النظري)وغالباً تكون النبضات مهشرة لتخفيف الضغط على البوابة .

التوتر العكسي على الثيرستور يساوي الصفر طوال زمن التوصيل α1 .وسوف يصبح مساوياً توتر المنبع خلال فترة عدم التوصيل ،يمكن متابعة التوتر العكسي في الأشكال (ث– 29- 2) الواردة أدناه .

$$Q = \frac{L\omega}{R} = 1{,}57\,;\varphi = \arctan\left(\frac{L\omega}{R}\right) = 57^\circ\,;\psi = 72^\circ$$

$$x(\theta)_{\theta>\psi} = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2}} \cdot \left(\sin(\theta-\varphi) - \sin(\psi-\varphi) \cdot e^{-\frac{(\theta-\psi)}{Q}} \right)$$

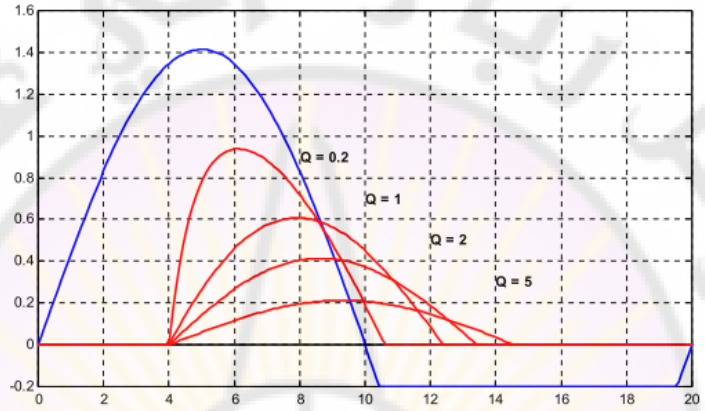




شكل (ث – 29- 2) عمل المدرج الأحادي عند حمل مختلط أومي تحريضي ،نرى توتر المنبع والحمل والتيار المار ،والتوتر العكسي ،ونبضات القدح المطبقة .

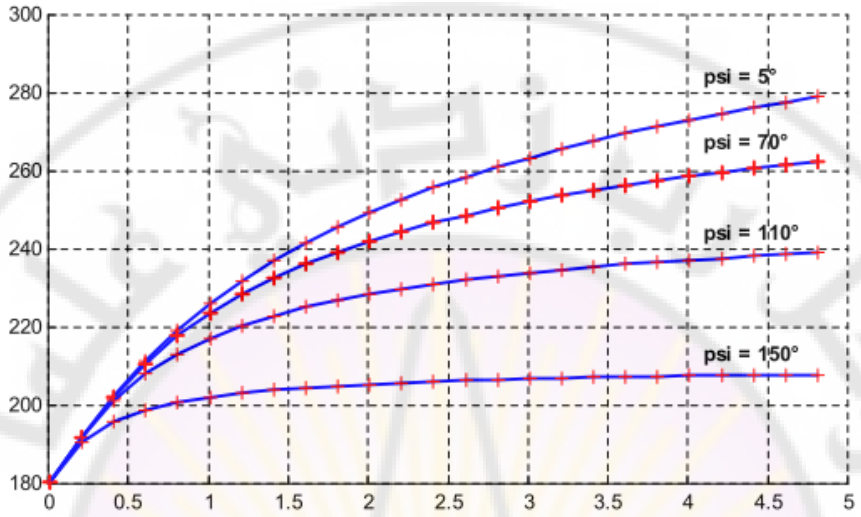
إذا تغيرت مواصفات الحمل Q فإن ذلك يؤثر على فترة التوصيل في النصف الثاني من الدور للثيرستور الأول ،كلما تحسنت جودة الحمل زادت فترة التوصيل .

Instant d'annulation du courant pour Q = [0.5 ; 1 ; 2 ; 5] et ψ = 72° :



شكل (ص- 29- 2) زيادة فترة توصيل الثيرستور مع تحسن عامل الجودة للحمل

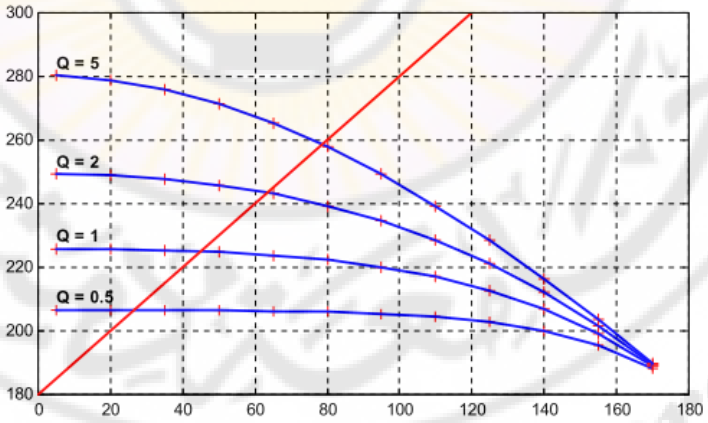
يمكن أيضاً حساب زمن عودة تيار القاطع للصفر بدلالة عامل الجودة والشكل (ض- 29- 2) أدناه يوضح مدى زيادة هذا الزمن مع تغير عامل الجودة وذلك عند زوايا إزاحة بالطور مختلفة .هذه النتائج صحيحة طالما أن زاوي ة الإزاحة بالطور أكبر من wt_1.



شكل (ض– 29- 2) تحديد الزمن t_1 كتابع ل Q وذلك من أجل $\psi < wt_1$

يمكن أيضاً استنتاج زمن انعدام تيار الحمل كتابع لزوايا الإزاحة بالطور من أجل عدة قيم لعامل الجودة ،الشكل (ط– 29- 2) أدناه يوضح ذلك .

pour Q = [0.5 ; 1 ; 2 ; 5] :

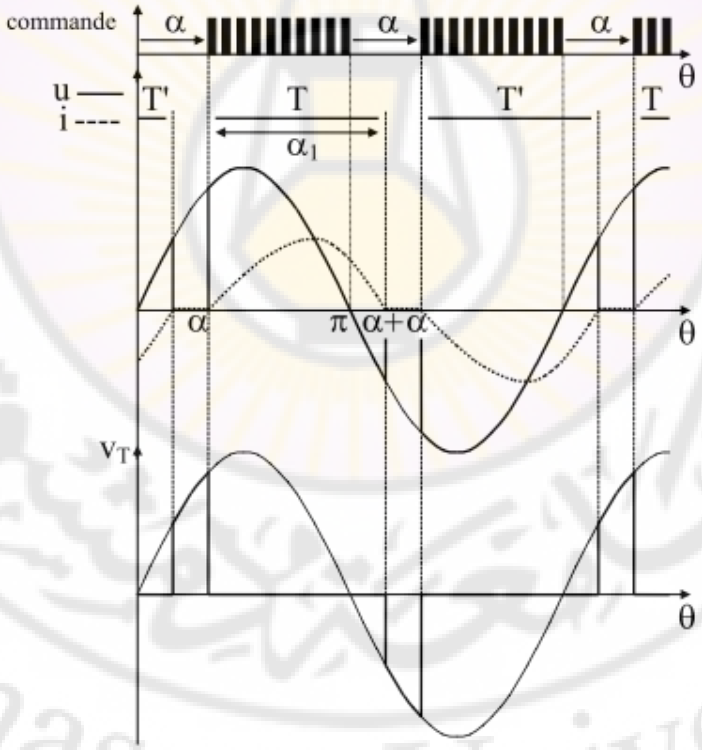


شكل (ط– 29- 2)زمن انعدام تيار الحمل كتابع لزوايا الإزاحة بالطور من أجل عدة قيم لعامل الجودة

- ملاحظة 1:

رأينا في المعالجة اعلاه لحالة الحمل التحريضي أن فترة التوصيل للثيرستور $\alpha 1$ تزداد مع زيادة زاوية الطور φ، لكن لن تتجاوز نصف الدور π لذا نميز الحالات التالية :

A – عند $\alpha > \varphi$ فترة التوصيل هنا $\alpha 1 < \pi$ والشكل (ؤ – 29- 2) يوضح ذلك .حيث أن أي ثيرستور سوف ينتقل للتوصيل فور تطبيق نبضة القدح ،وهنا لسنا بحاجة لنبضات قدح عريضة .كما نلمس تقطع في التوتر العكسي مما يسبب في نشوء توترات عابرة تستلزم إضافة مصايد من مقاومة ومكثف لحذف الحالات العابرة وعدم السماح لها بالمرور عبر الثيرستور .

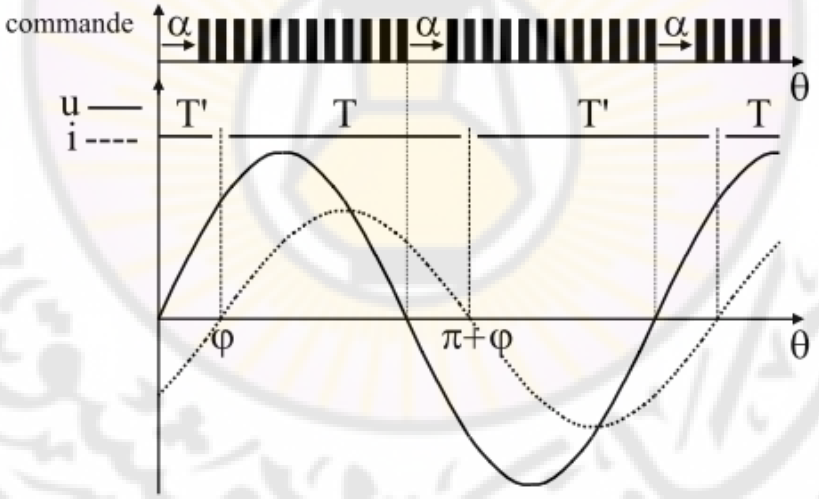


شكل (ؤ– 29- 2) العمل عند $\alpha > \varphi$

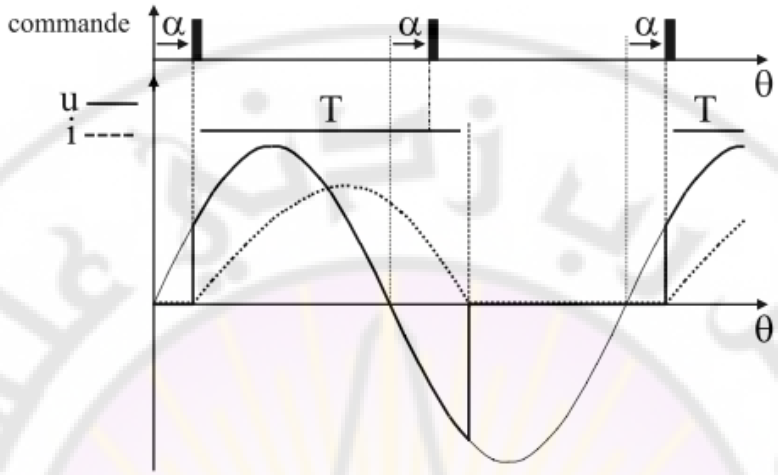
B – عند $\alpha < \varphi$ في حالة التشغيل المنتظم ، $\alpha 1 = \pi$ وذلك مهما كانت زاوية الإزاحة α ،وعليه نرى أن توتر الحمل وتيار الحمل يصبحان بشكل جيبي ،والثيرستور سوف ينتقل للتوصيل بعد كل لحظة مرور بالصفر ،مع وجود نبضات قدح عريضة ،نرى أن النظام لم يعد يعمل كمدرج متحكم به ويخرج عن السيطرة .

C – في حالة الحمل التحريضي وبفرض ان النبضات ضيقة ، فأن زمن استمرار النبضة قد ينتهي قبل انتقال الثيرستور الثاني للتوصيل .نرى أنه في هذه الحالة لم يعد لدينا مدرج نتيجة عدم إمكانية توصيل الثيرستور الثاني وأن المدرج أصبح مقوماً .

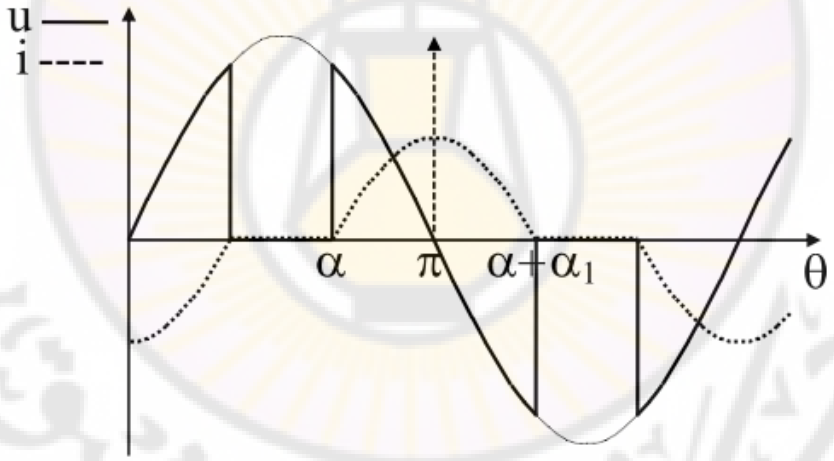
الأشكال التالية (ظ– 29- 2) توضح أثر عرض النبضة ولحظة تطبيقها على موجة التوتر والتيار.



- حالة $\alpha < \varphi$ وكون نبضات القدح عريضة



- حالة $\varphi > \alpha$ وكون نبضات القدح ضيقة



شكل (ظ– 29- 2) أثر عرض النبضات على عمل النظام عند حمل تحريضي وتحديد فترة التوصيل للثيرستور

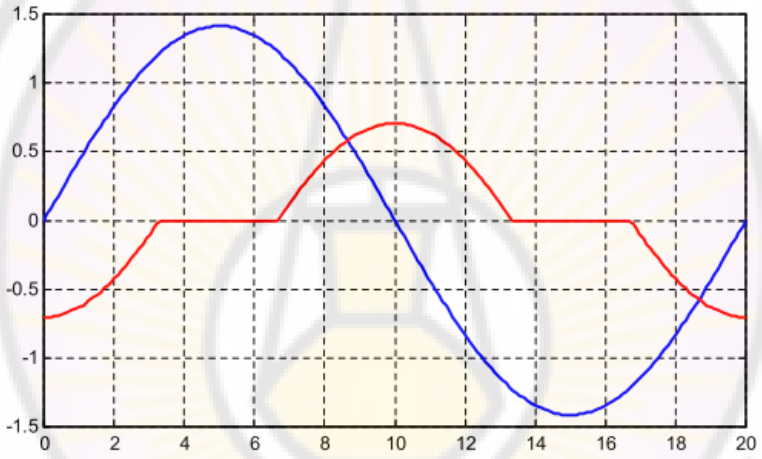
- ملاحظة 2:

نتيجة التأخير بالطور بين تيار الطور وتوتره يلاحظ أن عامل الاستطاعة سيصبح سيئاً ولهذا يجب إضافة مكثفات لتحسين عامل الاستطاعة والشكل أدناه (ك– 29- 2) يوضع شكل تيار الطور وتوتره عند زاوية إزاحة كبيرة 120 .كما يمكن

الاطلاع على العلاقة الناظمة بين تيار الحمل التحريضي الفعال ، والتيار الأعظمي الفعال بالعلاقة التالية :

$$\frac{I_{L\,eff}}{I_{eff\,max}} = \sqrt{\left(\frac{2}{\pi}\left[(\pi-\psi)\left(2\cos^2(\psi)+1\right)-\frac{1}{2}\sin(2\psi)+4\cos(\psi)\sin(\psi)\right]\right)}$$

$$\frac{i_{ch}(t)}{I_{max}} = \cos(\psi)-\cos(\omega\cdot t)\ \text{pour}\ \psi = 120°$$



شكل (ك– 29- 2) توتر المنبع وتيار الحمل المار

- <u>تحديد العوامل المؤثرة على عمل المدرجات</u>

<u>Détermination des grandeurs caractéristiques</u>

حساب زاوية التوصيل α_1 : يتم تحديد قيمة هذه الزاوية بدراسة تطور عمل النظام وشكل تيار الحمل خلال فترة توصيل الثيرستور والشكل (ؤ– 29- 2) يوضح التوتر وتيار الحمل ،والتوتر العكسي على أحد العناصر. من أجل $\alpha+\alpha_1 < \theta$ $\alpha <$ يمكن وضع العلاقات التالية :

$$u = E\sqrt{2}\sin\theta = Ri + L\omega_0 \frac{di}{d\theta}$$

الحل الرياضي Littérale لهذه العلاقة ،بشرط أن يكون $i(\alpha + \alpha_1) = 0$ ،والذي يناسب نهاية فترة التوصيل للثيرستور T ،لا يمكن استخدامه إلا بالحل العددي. سوف نستمر بعرض النتائج العامة بشكل منحنيات وعدم إجراء الحسابات إلا في الحدود النهائية للزاوية φعند ال 0 وعند $\pi/2$.

- عند تطبيق حمل أومي وجد أن : $\alpha_1 = \pi - \alpha$
- عند تطبيق حمل تحريضي العلاقة يعبر عنها بالشكل :

$$L\omega_0 \frac{di}{d\theta} = E\sqrt{2}\sin\theta$$

وبإجراء التكامل يمكن التعبير عن التيار بالعلاقة :

$$i(\theta) = -\frac{E\sqrt{2}}{L\omega_0}\cos\theta + A.$$

الثابت A يمكن تحديده بوضع : $i(\alpha) = 0$، وعندئذ يكون الثابت A مساوياً :

$$A = \frac{E\sqrt{2}}{L\omega_0}\cos\alpha$$

وتصبح علاقة التيار النهائية بالشكل :

$$i(\theta) = \frac{E\sqrt{2}}{L\omega_0}(\cos\alpha - \cos\theta)$$

وبما أن $\cos(\pi - \theta) = \cos(\pi + \theta)$ ، فإن التابع $I(\Theta)$ يمثل محور تناظر عمودي يمر من الزاوية π ،وينتج عن ذلك أن فترة التوصيل تكون مركزة

حول π ومنه نستنتج ان :

أي أن $\alpha_1 = 2(\pi - \alpha)$ ، ويمكن رسم $\alpha_1/2 = (\pi - \alpha)$

العلاقة بين α1 و α بدلالة

$$\alpha_1 = f(\theta)$$

.نلاحظ أن $\alpha_1 = \pi$ عند $\alpha = \varphi$. ،من ناحية اخرى الزاوية α1 تبقى ثابتة ومساوية ل π .من أجل كل قيم α الأصغر من φ .

- القيم الاساسية للتوتر والتيار :

- بأخذ مبدأ الزمن لحظة مرور توتر المنبع E بالصفر ،عندئذ المركبة الأساسية للتوتر u_1 في الخرج يمكن وضعها بالشكل العام :

$$u_1 = A_1 \sin\theta - B_1 \cos\theta$$

حيث أن :

$$A_1 = \frac{E\sqrt{2}}{\pi}\left\{\alpha_1 + \frac{\sin(2\alpha) - \sin\left[2(\alpha + \alpha_1)\right]}{2}\right\}$$

و أن :

$$\text{et} \quad B_1 = \frac{E\sqrt{2}}{2\pi}\left\{\cos\left[2(\alpha + \alpha_1)\right] - \cos(2\alpha)\right\}$$

بجمع قيم الجيب والتجيب لتحديد القيم النهائية للعامل u_1 نجد :

$$u_1 = U_1\sqrt{2}\sin(\theta - \psi_1) \quad \text{avec} \quad U_1 = \sqrt{\frac{A_1^2 + B_1^2}{2}} \quad \text{et} \quad \psi_1 = \text{Arc}\tan\left(\frac{B_1}{A_1}\right)$$

$$\varphi = \text{Arc}\tan\left(\frac{L\omega_0}{R}\right)$$

وانطلاقاً من ذلك يمكن تحديد معادلة مركبة التيار الأساسي I_1 للتيار i المار بالحمل

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{R + jL\omega_0}$$

$$I_1 = \frac{U_1}{\sqrt{R^2 + (L\omega_0)^2}} \qquad \varphi_1 = \left[\vec{I}_1, \vec{E}\right] = \left[\vec{I}_1, \vec{U}_1\right] + \left[\vec{U}_1, \vec{E}\right] = \varphi + \psi_1$$

- الاستطاعة الفعالة والاستطاعة الردية :

بما أن توتر التغذية جيبي فإن العلاقات التي تم الحصول عليها للتيار الأساسي I_1 وللزاوية $\varphi 1$ تسمح بحساب الاستطاعات الفعلية والردية تبعاً للعلاقات الناظمة لها والمعروفة :

$$P = E \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 \text{ et } Q = E \cdot I_1 \cdot \sin\varphi_1$$

- عامل الاستطاعة :

نعلم أن عامل الاستطاعة يعطى دائماً بالشكل $f=P/S$

حيث :

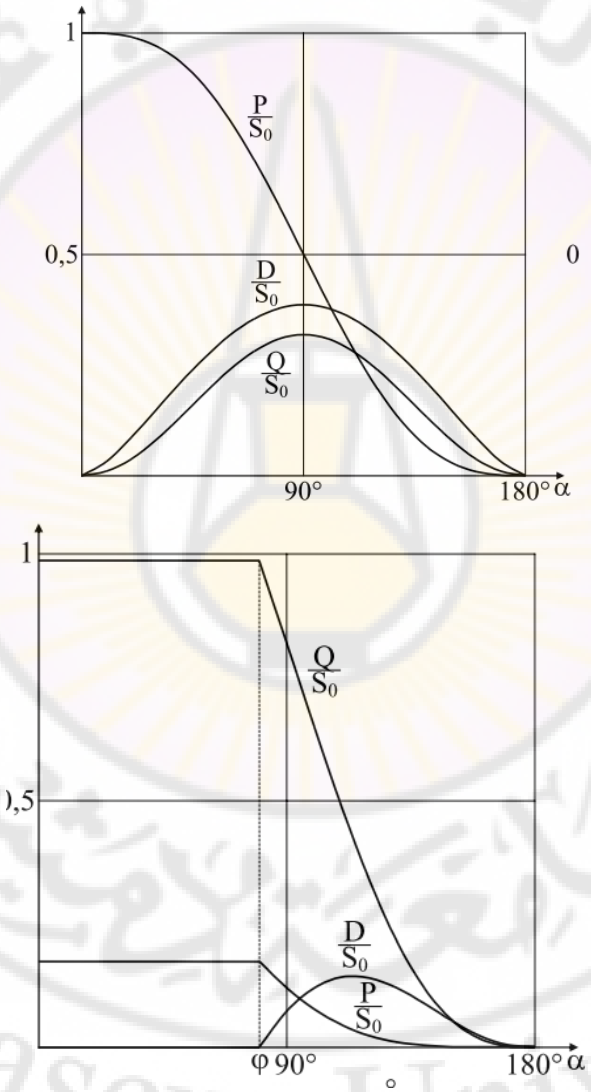
S : الاستطاعة الظاهرية وتساوي $E*I$ و P : الاستطاعة الفعالة والتي يمكن حسابها من $R \cdot I^2$ أو من العلاقة $E \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$. الموديل الأول للتعبير عن الاستطاعة الفعالة المناسب للأحمال الأومية والثاني الموديل المناسب للأحمال التحريضية .وعليه فإن عامل الاستطاعة يكافئ في الحالة الأولى $f = R \cdot I/E.$ ، وبما أن التيار يتناقص مع كبر زاوية التأخير بالطور ،فإن عامل الاستطاعة سوف يزداد سوءاً .

-عامل الاستطاعة بطريقة الحساب الثانية يحسب من العلاقة :

$$f = \frac{I_1}{I}\cos\varphi_1$$

وهنا نعتمد على مركبات التيار الأساسية (الأولى) ويزداد عامل الاستطاعة كلما زادت الاستطاعة التحريضية المطلوبة والتي تزداد مع φ_1 .هذا ويمكن وضع

منحني تغير الاستطاعة الفعلية منسوباً للاستطاعة الظاهرية بدلالة زاوية التأخير بالطور α ،وكذلك رسم الاستطاعة الردية المطلوبة بالقيم الواحدية والاستطاعة الناتجة عن تشوه التوتر والذي لم نعالجه هنا .والأشكال التالية (م- 29- 2) توضح ذلك .



مثال (م– 29- 2) اشرح طريقة عمل المدرجات الثلاثية الطور :

تستخدم ،كما نعلم ،المدرجات الثلاثية الطور لقيادة المحركات التحريضية ذات القفص السنجابي وهي قادرة على تغيير السرعة من 1000 TO 15000 R.P.M علماً انها تسبب ظهور مدروجات عديدة في موجة توتر الخرج وفي منبع التغذية . يوجد عدة طر ق لتوصيل المدرج الثلاثي الطور بالحمل وخاصة إذا كان متوازناً وله ست نهايات .كما يمكن في بعض الحالات استبدال أحد الثيرستورات بديود ويصبح المدرج نصف مقاد .وهذا يزيد من التركيبات الممكن تشكيلها .و هنا سوف نعالج المدرجات المقادة فقط .

التركيب المبين في الشكل (ن– 29- 2) يتكون من قواطع موصلة على التسلسل مع كل طور من أطوار الحمل والحمل موصل بشكل نجمي .هذا التركيب يتم قدح عناصره كما تم قدح عناصر الجسور الثلاثية الطور أو المعرجات كل عنصر يعمل سدس الدور وبتتابع قدح معروف و $T1.T'_3$. $T_2.T'_1.T_3.T'_2$

نظراً لبنية المدرج لا يمكن تشغيل أي عنصر بشكل معزول عن البقية وهنالك فقط ثلاث احتمالات للتشغيل .

A – جميع القواطع مفصولة وفي هذه الحالة يكون لدينا $V_1=V=V_3=0$ وتقع تحت توتر المنبع .

B – كل قاطعين يعملان سوية : بما أن الممانعة للأطوار متساوية فإن التوتر المركب الناشئ سوف يتوزع بشكل ومتساوي على كلا العنصرين العاملين مثلاً إذا كان T1 و T'_1 . وكل من T_2 و T'_2 موصلة فإن التوتر $V_1= V_2= e_1-e_2/2$

بالمقابل فإن التوتر العكسي على الثيرستورات غير الموصلة لن يكون توتر الطور البسيط كما سبق ،وهنا بالنسبة للعناصر . T_3 و T'_3 يمكن حساب التوتر المتشكل عليهما من الدارة المكافئة وهو :

$$e_3 - v_{T3} - v_3 + v_2 - e_2 = 0.$$

وبما أن

$$v_3 = 0 \text{ et } v_2 = (e_2 - e_1)/2$$

يمكن استنتاج أن :

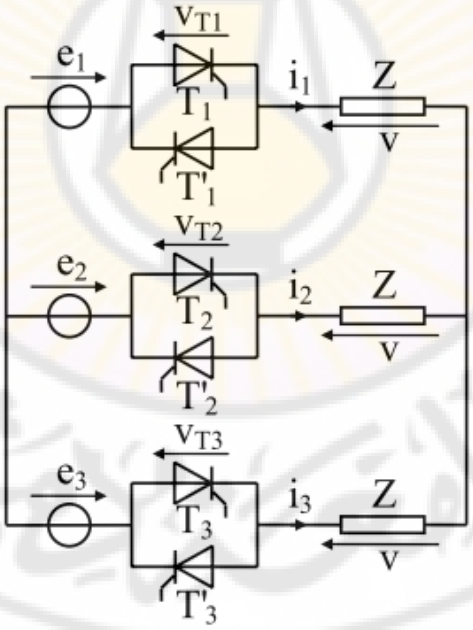
$$V_{T3} = \frac{3}{2} e_3$$

وعليه فإن التوتر العكسي يساوي :

$1.5E\sqrt{2}$

C – توصيل ثلاث عناصر بآن واحد :

يعود النظام مرة ثانية لحالة التوازن،والتوتر على أطراف الحمل هو نفس توترات التغذية .



شكل (ن– 29- 2) مكونات ودارة الاستطاعة لمدرج ثلاثي

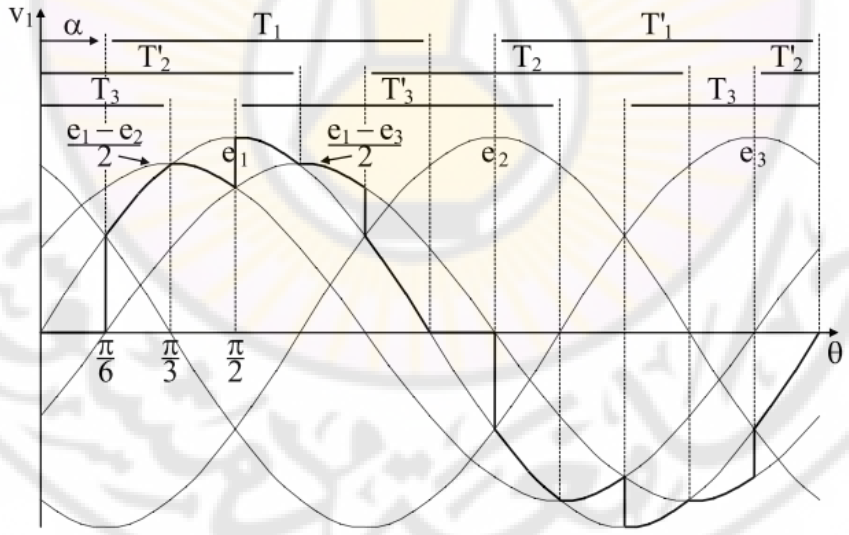
- العمل عند حمل أومي :

يوجد ثلاثة أنظمة للتشغيل في حالة الحمل الأومي وذلك تبعاً لقيمة زاوية الإزاحة بالطور المطبقة .

أولاً : : $0 \le \alpha \le \pi/3$

من أجل زاوية توصيل α_1 لكل ثيرستور بحيث تساوي

$\alpha_1 = \pi - \alpha$ يمكن توصيل آني لعنصرين أو ثلاث عناصر .الشكل (ز – 29 - 2) يمثل شكل التوتر V_1 من أجل $\alpha = \Pi/6$ ، وكمثال من أجل $\Pi/6 < \theta < \pi l3$ القواطع $T_1 . T'_2 . T3$ تكون موصلة مما يعطي : $V_1 = E_1$ ومن أجل $\Pi/3 < \theta < \pi l2$ ،القواطع $T_1 . T'_2$ ، تكون موصلة V_1 تساوي $V_1 = E_1 - E$

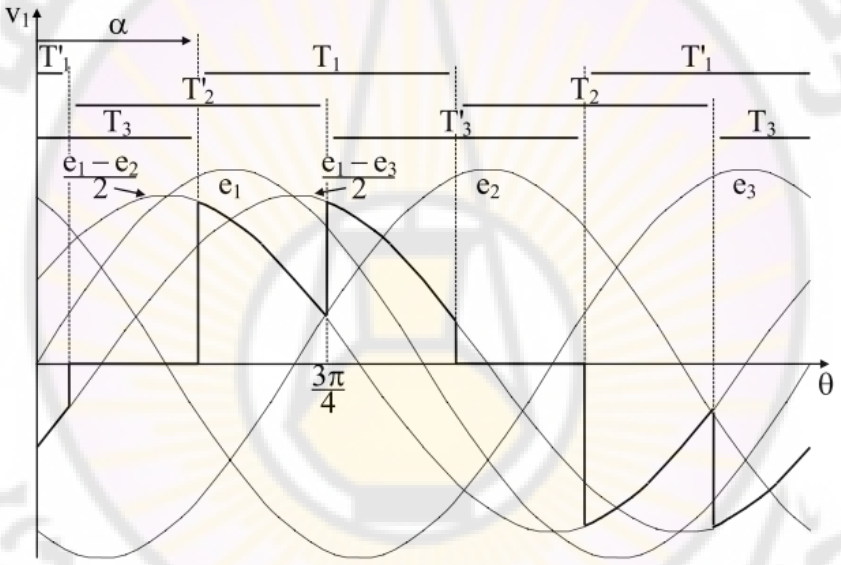


شكل (ز – 29- 2) العمل عند $0 < \alpha < 2\pi/3$: $\pi/3 \le \alpha \le \pi/2$

ثانياً :

في هذه الحالة فترة التوصيل α 1=2 $\pi/3$ مهما كانت زاوية التأخير α مما يجعل التوصيل الأني لثلاث قواطع مستحيلاً ،الشكل (و- 29- 2) يمثل العمل عند:

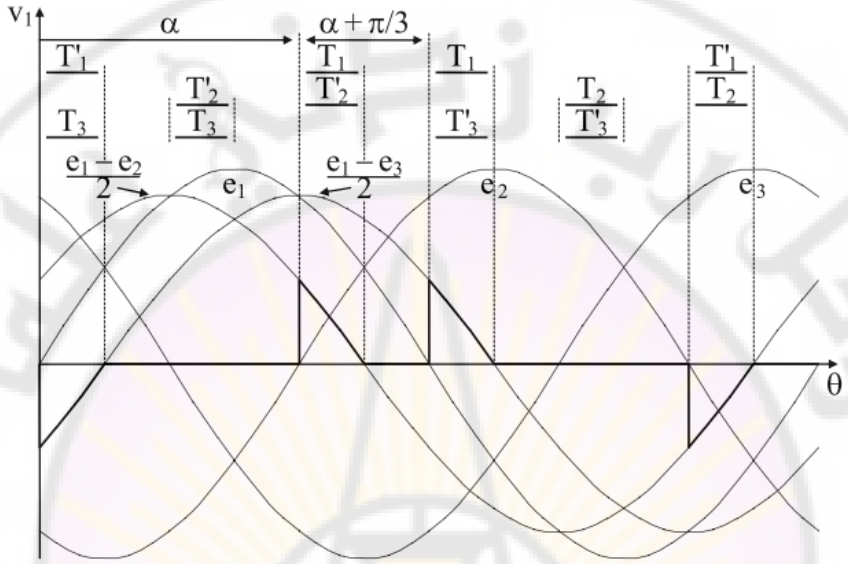
$\alpha = 5\ \pi/12$ نرى أن هذا النظام والذي يطبق او يفرض تحويل لحظي للتيار من طور إلى آخر (مثلاً من الطور 2 إلى الطور 3 من أجل $\theta = 3\ \pi/4$) لا يمكن أن يكون لولا أن الحمل أومي صرف .



شكل (و- 29- 2) العمل عند $\pi/3 \le \alpha \le \pi/2$:

ثالثاً : $\pi/2 < \alpha < \pi$

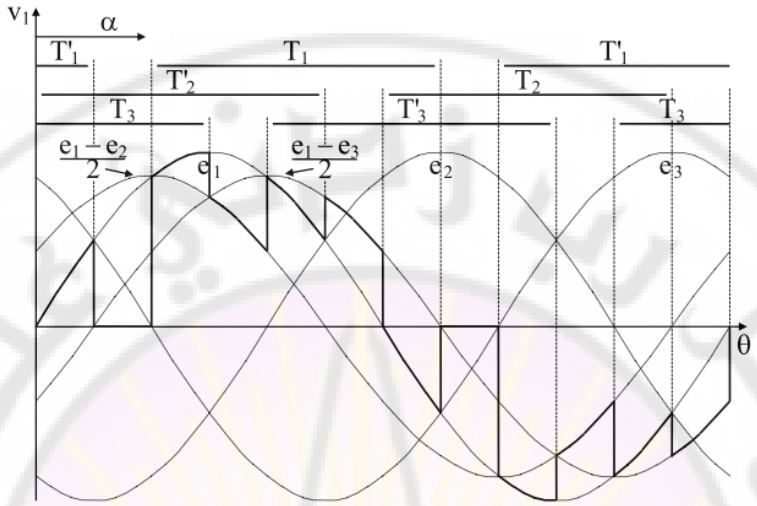
هذه الحالة تماثل الحالة الثانية أعلاه ، والتوترات المركبة لم تعد قادرة على الاحتفاظ بإشارة ثابتة طوال الفترة $\pi/3$ 2 وهي فترة توصيل القاطع ،وحذف التيار أو انعدام التيار ضمن تلك الفترة يؤدي إلى إنقاص زاوية التوصيل .هذا وإن إعادة التوصيل عند $\alpha + \pi/3$ يحتاج لنبضات قدح لتأكيد التوصيل ،والقواطع لا يمكنها التوصيل طالما أن $\alpha < 5\ \pi/6$



شكل (ر– 29- 2) العمل عند $\pi > \alpha > \pi/2$

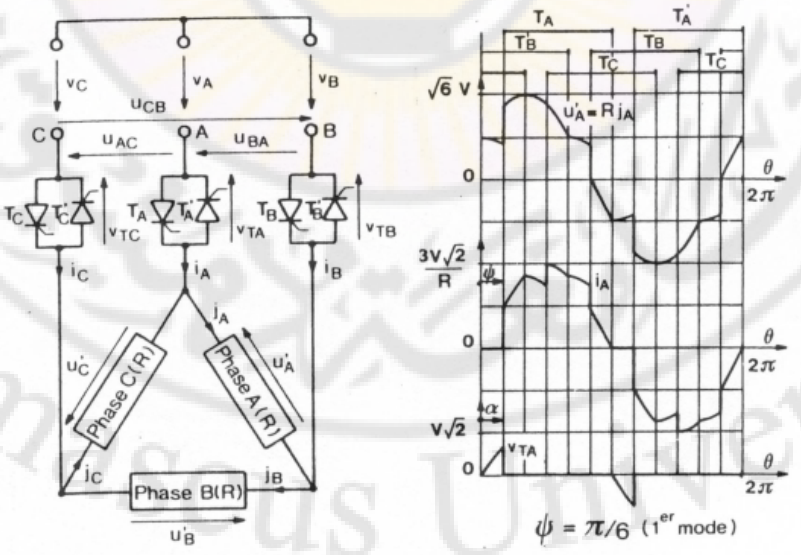
– العمل عند حمل تحريضي :

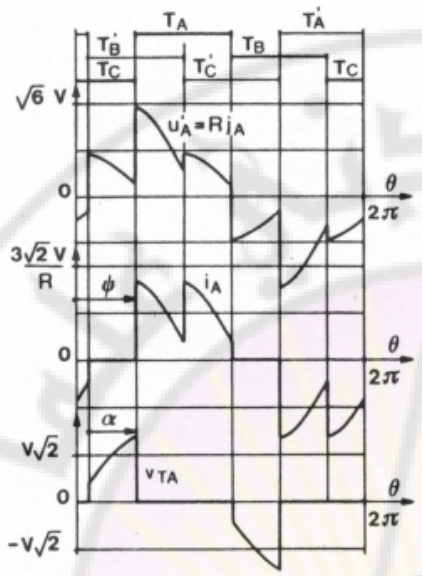
كما وضحنا سابقاً ، نظام العمل الثاني لا يمكنه الحدوث عند هذا النوع من الأحمال ،وسوف لن يدوم سوى النظام الأول والذي تم الحصول عليه من اجل αl $> \alpha >$ φ ، النظام الثالث سوف يعمل عند زاوية إزاحة α محصورة بين αl و $5\ \pi/6$. نرى في هذه الحالة أن الحمل التحريضي يحاول إطالة فترات التوصيل بالنسبة للحمل الأومي .والشكل (ى– 29- 2) يوضح التوتر v1 من أجل التشغيل حسب النظام الأول .



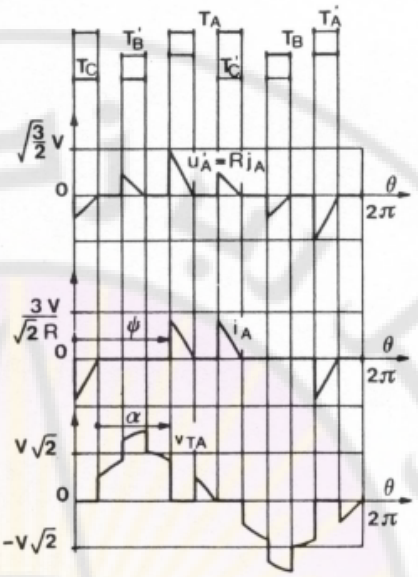
الشكل (ى– 29- 2) التوتر V1 عند حمل تحريضي ونظام تشغيل حسب النظام الأول

نورد فيما يلي بعض التركيبات الممكن تشكيلها وعرض لأشكال توتر الخرج عند زوايا إزاحة مختلفة وحسب نظام العمل المقترح والمحسوب عنده هذا التوتر .بنية المدرجات من الثيرستور المقاد، والأحمال موصلة بشكل مثلثي .

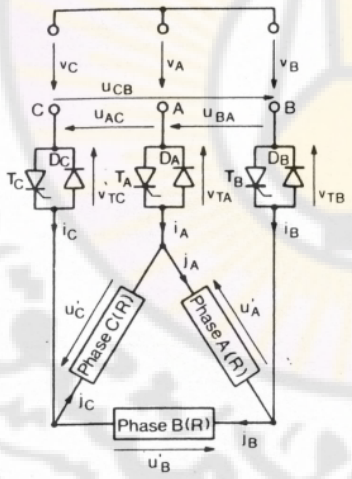


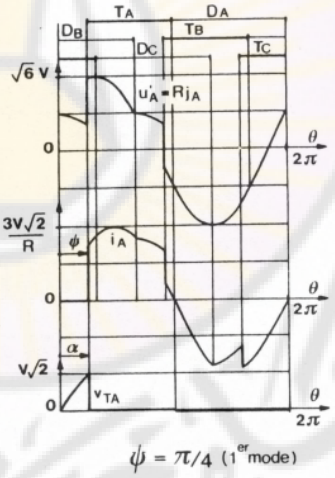


$\psi = 5\pi/12$ (2^e mode)

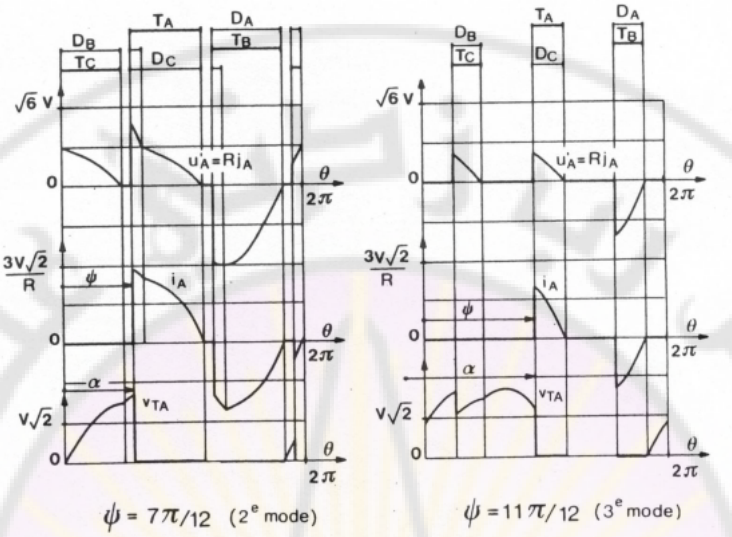


$\psi = 2\pi/3$ (3^e mode)



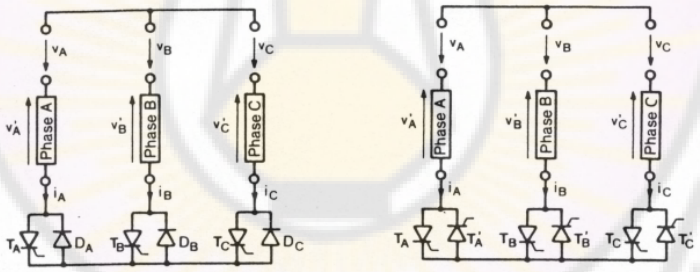


$\psi = \pi/4$ (1^{er} mode)



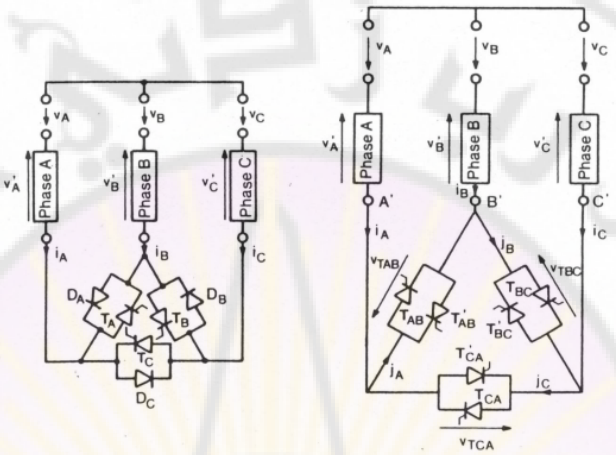
- الربط النجمي للمبدل :

Couplage étoile :



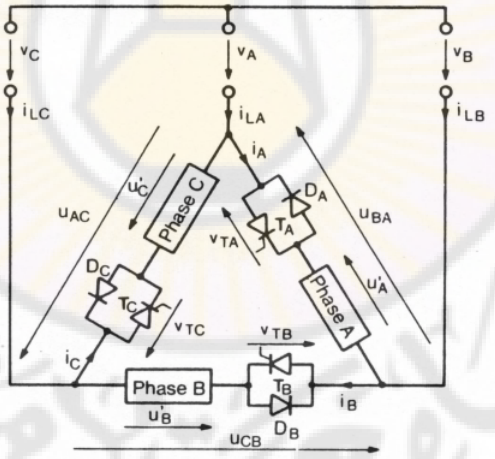
- الربط المثلثي للأحمال :

Couplage triangle :



الربط المثلثي للمبدل والحمل / الحمل على التسلسل مع المدرج في كل طور

Groupement triangle :



Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

4 : مبدلات التردد الثيرستورية

CYCLOCONVERTER.AC-AC CONVERTER

وقل رب زدني علما
Damascus University

1 –مبدلات التردد الثيرستورية

CYCLOCONVERTER.AC-AC CONVERTER

مثال (30):

يراد توليد توتر ثلاثي الطور 3-Phase، 245V، 60Hz. باستخدام مبدل الكتروني حسب الدارة (أ–30–2) أدناه. التوتر المستمر في الدخل E_H=500V، التردد الحامل f_C=540Hz. حدد ما يلي:

a- القيمة العظمى (Peak Value) لمركبة التوتر الأساسية بين النهايتين L_1 و N (الحيادي الطافي) (Floating Neutral)، للحمل.

b- الدور T للموجة المثلثية (triangular wave)، والفترة الزاوية الموافقة (Angular interval).

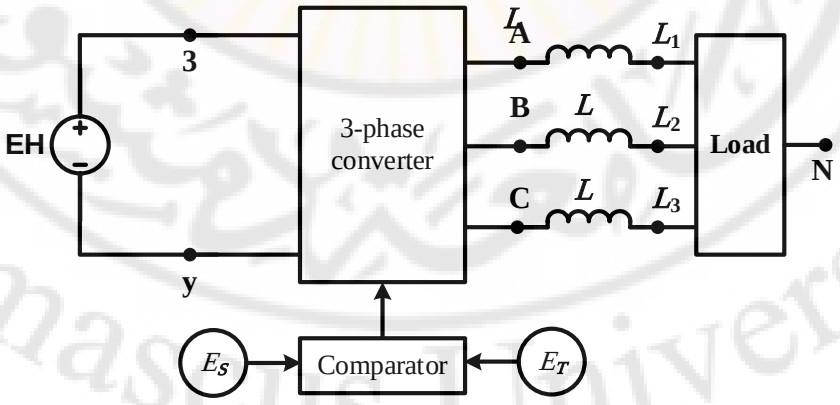
c- البرنامج PWM.

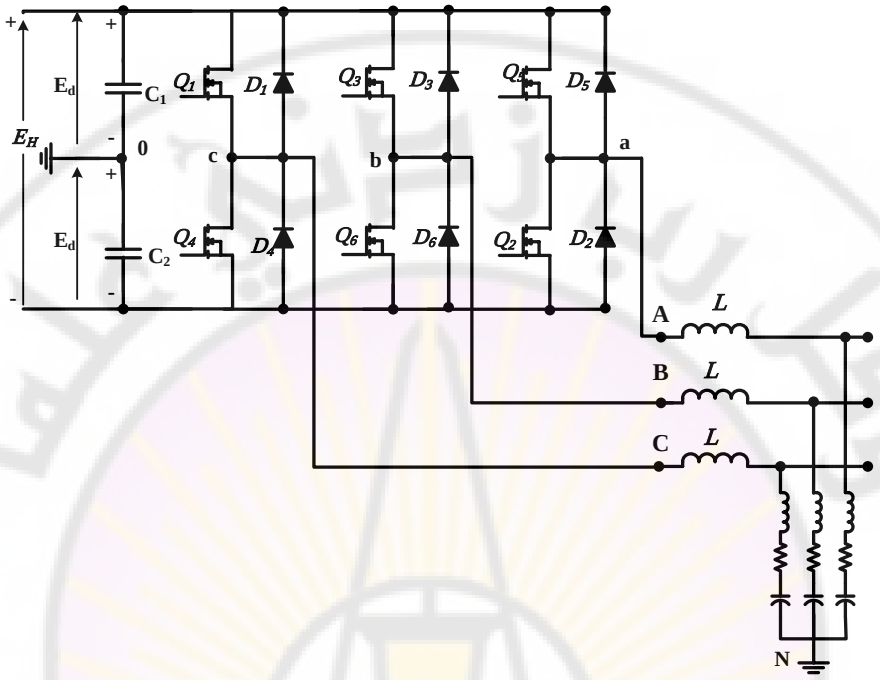
d- شكل موجة توتر PWM بين النقاط A و Y خلال دور.

e- شكل أمواج التوتر PWM بين A-Y و B-Y و C-Y.

f- شكل أمواج التوتر PWM بين A-B و B-C و C-A.

الحل:





شكل (أ–30–2) a– دارة الاستطاعة بشكل عام، b- الدارة المفصلة لدارة الاستطاعة.

a- القيمة الفعالة لتوتر الطور (خط– حيادي):

$$E_{LN} = \frac{245}{\sqrt{3}} = 141.4V$$

القيمة العظمى لهذا التوتر:

$$E_m = E_{LN}\sqrt{2} = 141.4 \times \sqrt{2}$$

$$E_m = 200V$$

b- بما أن تردد التوتر الحامل (Carrier frequency) هو 540Hz، فإن دور التوتر المثلثي هو:

$$T_C = \frac{1}{540} = 18.52\mu s$$

وإن الفترة الزاوية (Angular interval) للدور T بالمقارنة مع التردد الأساسي هو:

$$\frac{360° \times 60Hz}{540Hz} = 40°$$

c- مخطط نظام PWM مبين بالشكل (30-2) وهو يحتوي المعلومات التالية:

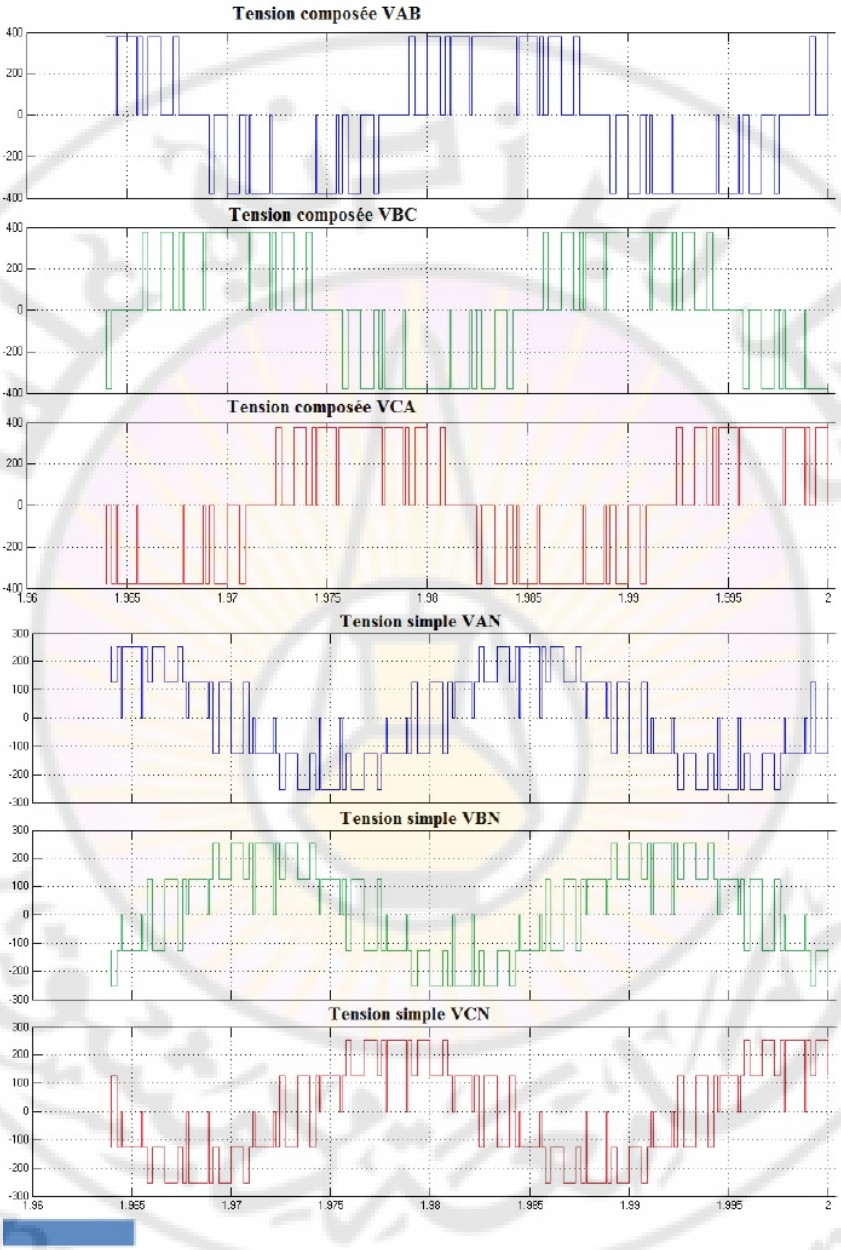
i- التوتر المستمر (المنبع) والذي يساوي 500V.

ii- القيمة الوسطى (median) لتوتر المنبع $\frac{500}{2} = 250V$.

iii- توتر الطور الأعظمي ذو قيمة 200V، وهو يهتز حول القيمة الوسطى لتوتر المنبع المستمر 250V. بدور يساوي 360^o للدور الواحد.

iv- القيمة (قمة– قمة) للتوتر المثلثي مساوٍ للتوتر المستمر للمنبع وهو 500V.

d- نقوم بمقارنة التوتر المتناوب المرجعي E_{AY} الجيبي (شكل (21.95)) مع التوتر المثلثي ذي القمة 500V. وعندما تكون الموجة الجيبية E_{AY} أكبر من الموجة المثلثية (Lies above) فإن القاطع Q_1 سينتقل للوصل (إغلاق) والتوتر E_{AY} الناتج من نظام PWM سيكون مساوياً 500V+. وفي حالة كونه أصغر من الموجة المثلثية فإن التوتر E_{AY}=0. الشكل (30-2). وعليه فإن توتر الخرج للنظام PWM بين المربطين A-Y سيكون مقطعاً حسب الشكل (د–30–2).



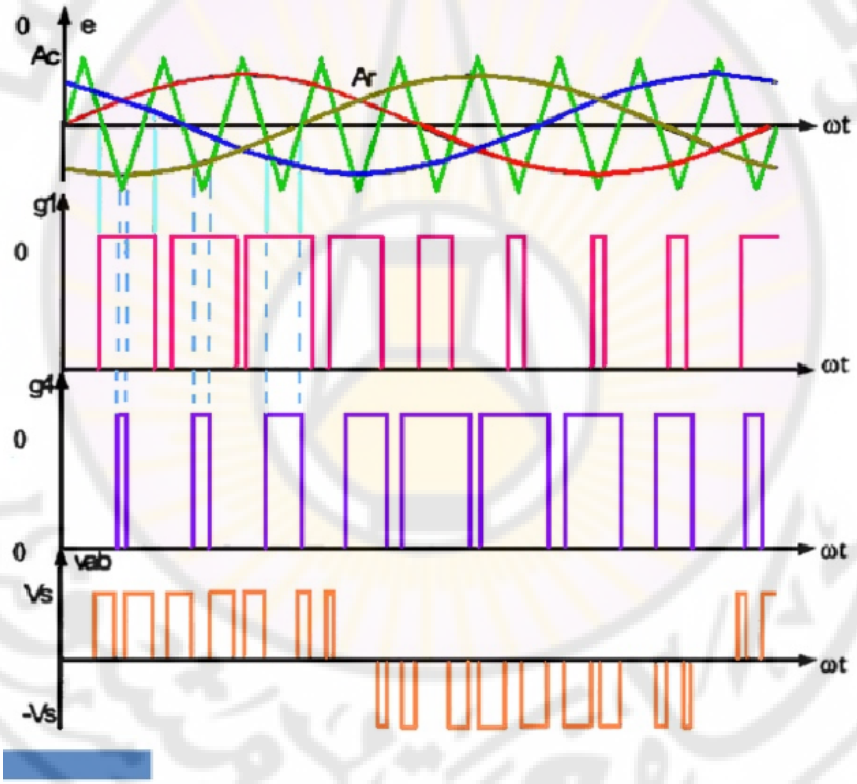
شكل (ب–30–2) شكل (س–30–2) شكل (د–30–2)

c- في الشكل (هـ–30–2) الأشكال الثلاثة الأولى ترسم توتر خرج نظام PWM بين المرابط (A-Y) و (B-Y) و (C-Y).

f- الأشكال الثلاثة التالية في الشكل (هـ-30-2) تبين توترات خرج نظام PWM بين الخطوط (A-B) و (B-C) و (C-A). توترات الخطوط هذه تم الحصول عليها من عملية الطرح بين توترات الأطوار اللحظية، وعليه فإن

$E_{AB} = E_{AY} - E_{BY}$.

هذا وفي حال وجود مرشح بين المرابط L_1, L_2, L_3، فإن توتر الخرج الثلاثي الطور سيكون مساوياً 245V وذو شكل جيبي.



شكل (هـ-30-2) توترات خرج النظام بين الخطوط ،نبضات قدح الثيرستور الأول ونظيره الرابع

مثال (31):

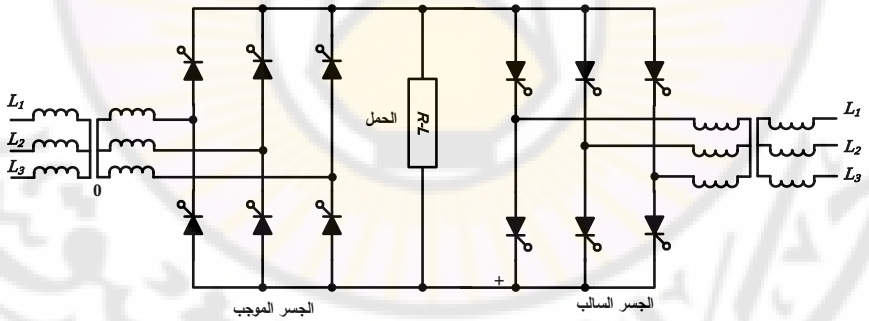
اشرح مبدأ عمل مبدل التردد Cycloconverter وارسم الدارة المكافئة للمبدل باعتبار أن جسر التقويم المستخدم كان جسر كريتز الثلاثي الطور. حدد مكونات الجسور المستخدمة بحيث يمكن تغذية حمل أحادي الطور مكون من مقاومة 10 أوم وحثية 30 ميلي هنري. تردد العمل 40 هرتز. ارسم ووضح عمل كل جسر من الجسور المستخدمة وكيف يتصرف خلال دور أو أكثر.

الحل:

يتكون مبدل التردد من جسرين ثيرستورين مقادين، كل منهما يغذى من ملفات محول خاص ثلاثي الطور، أو من المحول نفسه ، لكن بملفات ثانوية مستقلة.

يشكل الجسران جسراً مضاعفاً ثنائي اتجاه التيار في الحمل (Dual Converter). والشكل (2-31-a) يوضح دارة الاستطاعة.

الدارة المكافئة:

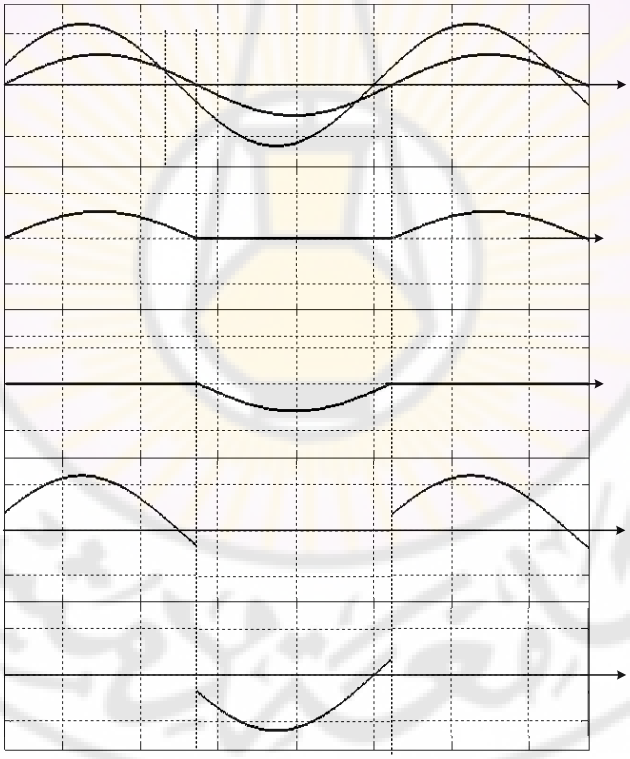


شكل (2-31-a) دارة الاستطاعة.

- بما أن الحمل أومي وتحريضي إذاً التيار متأخر عن التوتر وزاوية عامل الاستطاعة هي: (37) درجة كهربائية. $R=10\Omega$، $jX_L=7.536\Omega$، عند تردد 40 هرتز.

– يتم التحكم بتشغيل الجسرين، بحيث أن الجسر الموجب يقدم تيار الحمل الموجب، الجسر السالب يقدم تيار الحمل السالب. وبالطبع التيار يكون متأخر عن التوتر بزاوية φ

تم حسابها من خواص الحمل عند تردد العمل (40) هرتز. عندما يكون جداء التوتر بالتيار موجباً يكون الجسر في حالة حقن قدرة في الحمل ويعمل كمقوم. وعندما يكون الجداء سالباً يكون في حالة عمل كعاكس ويسترد القدرة من الحمل ويحقنها في المنبع. والتيار يمر في كلا الاتجاهين دون أية مشكلة لأن كلا الجسرين مهيئين لتمرير هذا التيار.



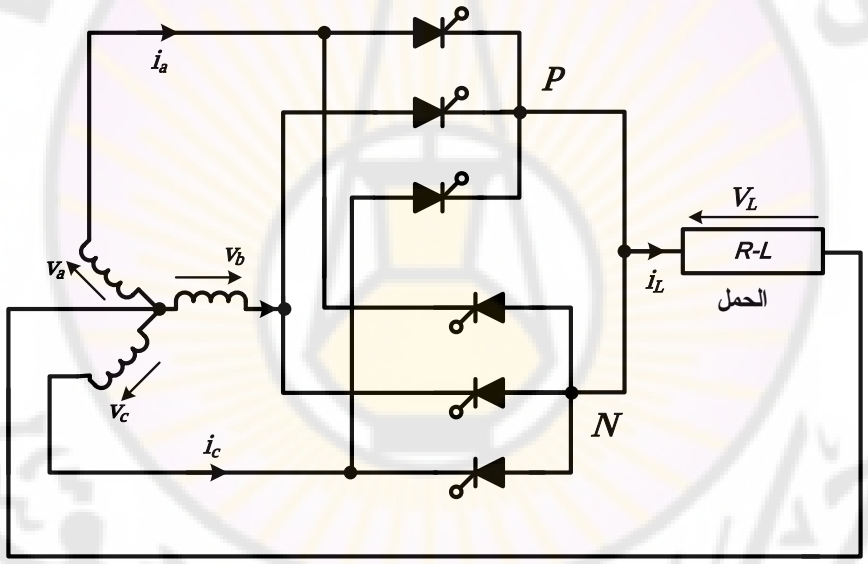
شكل (2-31) a– دارة الاستطاعة. b (توتر الحمل وتياره – تيار كل جسر وتوتره.

مثال (32):

مبدل تردد Cyclo Converter ذو ثلاث نبضات، يغذي حملاً أحادي الطور بتوتر 200V وتيار 50A عند تردد 50Hz. عامل استطاعة متأخر 0.8، حدد توتر التغذية اللازم لهذا المبدل. وخواص الثيرستورات المستخدمة. وعامل استطاعة الدخل.

الحل:

الشكل (32-2) أدناه يوضح دارة الاستطاعة لمبدل التردد.



شكل (32-2) دارة الاستطاعة لمبدل تردد ثلاثي الطور بسيط، يغذي حمل أحادي الطور.

– التوتر الأعظمي في الخرج لمبدل التردد ذو عدد نبضات (أطوار) (indice de Pulsation) P يعطى بالعلاقة (عدد النبضات في الجسر التفرعي البسيط الثلاثي الطور يساوي عدد الأطوار p=q لكن في الجسر الثلاثي الطور المضاعف عدد النبضات يساوي ضعف عدد الأطوار):

$$V_{0(\max)} = \frac{P}{\pi} V_m Sin\frac{\pi}{q}$$

V_m: القيمة العظمى لتوتر الدخل.

$$V_{0,(\max)} = \frac{3}{\pi}\sqrt{2}.V_S Sin\frac{\pi}{3} = 200V$$

ومنه توتر الطور:

$$V_S = 242V$$

– لتحديد خواص العناصر الثيرستورية، نأخذ الحالة الأكثر صعوبة على العناصر وهي حالة العمل عند تردد ضعيف، ويبدو المبدل وكأنه يغذي حمل تيار مستمر لفترة طويلة من الزمن، وعند تيار حمل أعظمي.

تيار الحمل الأعظمي لمبدل التردد يساوي $50\sqrt{2}$ أمبير.

وعليه فإن تيار الثيرستور الفعال سيكون مساوياً:

$$I_S = \frac{50\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 41A$$

– التوتر العكسي الأعظمي:

$$V_{i,\max} = \sqrt{3}V_m$$

$$V_{i,\max} = \sqrt{3} \times 242 \times \sqrt{2} = 593V$$

– الاستطاعة الفعالة لكل ملف تساوي:

$$\frac{1}{3}\times \text{ استطاعة الحمل } = \frac{1}{3} \times 200 \times 50 \times 0.8 = 2667W$$

– عامل الاستطاعة: الاستطاعة المستجرة / الاستطاعة الظاهرية

$$Cos\varphi = \frac{2667}{V_{eff}.I_{eff}}$$

– التيار الفعال في ملف المحول والذي يمر فيه خلال ثلث الدور فقط يمكن حسابه بالشكل:

$$I = \sqrt{\frac{50^2}{3}} = 28.9A$$

وبالتعويض أعلاه:

$$Cos\varphi = \frac{2667}{200 \times 28.9} = 0.38$$

– إذا طبقنا إزاحة بالطور للتحكم بتوتر خرج مبدل التردد، فإن عامل الاستطاعة للحمل وللمنبع سوف ينخفضان.

مثال (33):

توتر الدخل لمبدل التردد الأحادي الطور المبين في الشكل(33-2) 120 فولت قيمة فعالة، 60Hz، مقاومة الحمل $R=5\Omega$، وحثيته $L=40mH$. تردد توتر الخرج 20Hz، إذا تم تشغيل المبدل عند زاوية إزاحة ثابتة $\alpha = \frac{2\pi}{3}$ حدد ما يلي:

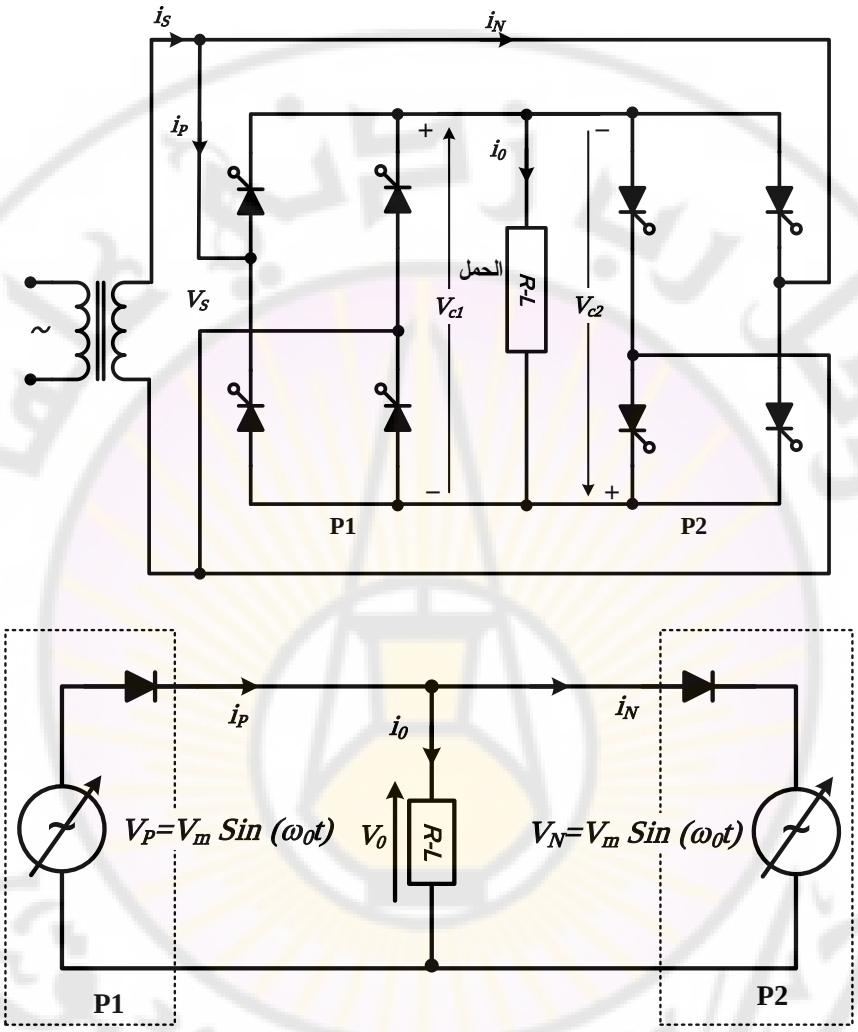
a- القيمة الفعالة لتوتر الخرج وارسم شكل التوتر V_0.

b- التيار الفعال المار في كل ثيرستور I_R.

c- عامل استطاعة الدخل.

<u>الحل:</u>

الشكل (33-2) يبين دارة المبدل الأحادي الطور المستخدم والدارة المكافئة كما أن الشكل يظهر توتر المنبع وتوتر الحمل باعتبار أن زاوية الإزاحة بالطور ثابتة.



شكل (2-33) a– دارة الاستطاعة.

b- الدارة المكافئة لمبدل التردد.

a – من أجل $0 \le \alpha \le \pi$ العلاقة التالية تعطي القيمة الفعالة لتوتر الخرج:

$$V_0 = V_S \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{Sin2\alpha}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_0 = 53V$$

-b

$$Z = \left[R^2 + (\omega_0 L)^2\right]^{\frac{1}{2}} = 7.09\Omega$$

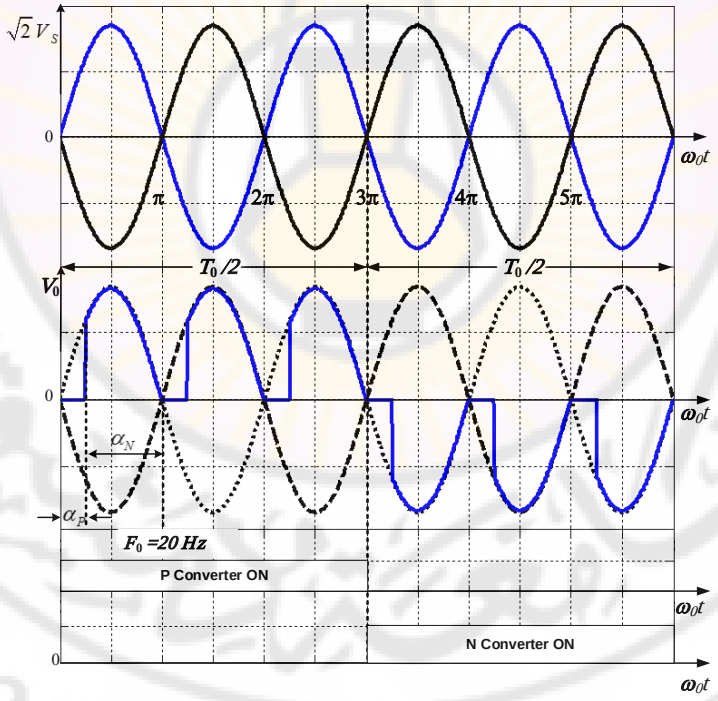
$$\theta = \tan^{-1}\frac{\omega_0 L}{R} = 45.2°$$

القيمة الفعالة لتيار الحمل يساوي:

$$I_0 = \frac{V_0}{Z} = \frac{53}{7.09} = 7.48A$$

التيار الفعال المار في كل مبدل هو:

$$I_P = I_N = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 5.29A$$



c – توتر الخرج للمبدل وفترة عمل كل جسر.

والتيار الفعال في أي ثيرستور من عناصر الجسور المستخدمة يساوي:

$$I_R = \frac{I_P}{\sqrt{2}} = 3.74A$$

c- القيمة الفعالة لتيار الدخل

$$I_S = I_0 = 7.48A$$

استطاعة الدخل V.A تساوي:

$$V.A = V_S.I_S = 897.6V.A$$

واستطاعة الخرج

$$P_0 = V_0.I_0 Cos\theta = 53 \times 7.48 \times Cos45.2$$
$$P_0 = 279.35W$$

- عامل الاستطاعة:

$$P.F = \frac{P_0}{V_S.I_S} = \frac{V_0.Cos\theta}{V_S}$$

$$P.F = Cos\theta\left[\frac{1}{\pi}\left(\pi - \alpha + \frac{Sin2\alpha}{2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$P.F = \frac{279.35}{897.6} = 0.311(Lagg.)$$

مثال (34):

بإعادة حل المثال السابق (33-2) لكن باعتبار أن زوايا التأخير في الطور سيتم توليدها عن طريق مقارنة توتر مرجعي جيبي بتوترات أساسية تساوي تجيب Cos موجة توتر المصعد (توتر المحول). وأعد حل المثال.

الحل:

لدينا المعلومات التالية:

$$f_0 = 20Hz; \quad f_S = 60Hz; \quad V_S = 120V$$

$$\omega_0 = 2\pi \times 20 = 125.66rad/s; \quad \alpha_P = \frac{2}{3}\pi; \quad L = 40mH; \quad R = 5\Omega$$

$$X_L = \omega_0 L = 5.027\Omega.$$

a- من العلاقة التي تم استخلاصها لجسور التقويم الأحادية الطور عند حمل تحريضي والتي تنص على أن:

$$V_{dc} = \frac{2.V_m}{\pi} Cos\alpha .....(1)$$

وعند كون α=0 فإن القيمة العظمى لمتوسط التوتر سيكون مساوياً للقيمة العظمى لتوتر الخرج.

$$V_P = \frac{2\sqrt{2}V_S}{\pi} = \sqrt{2}V_0 .....(2)$$

وعليه فإن القيمة الفعالة لتوتر الخرج:

$$V_0 = \frac{2V_S}{\pi} = \frac{2V_P}{\pi} .....(3)$$

وعليه:

$$V_0 = 0.6366 \times 120 = 76.39V$$

-b

$$Z = \left[R^2 + (\omega_0 L)^2\right]^{\frac{1}{2}} = 7.09\Omega$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{\omega_0 L}{R} = 45.2°$$

القيمة الفعالة لتيار الحمل إذاً:

$$I_0 = \frac{V_0}{Z} = \frac{76.39}{7.09} = 10.77A$$

– القيمة الفعالة لتيار المبدل:

$$I_P = I_N = \frac{I_L}{\sqrt{2}} = 7.62A$$

والتيار الفعال لكل ثيرستور

$$I_R = \frac{I_P}{\sqrt{2}} = 5.39A$$

c- التيار الفعال لتيار الدخل:

$$I_S = I_0 = 10.77A$$

استطاعة الدخل:

$$V.A = V_S.I_S = 1292.4V.A$$

واستطاعة الخرج:

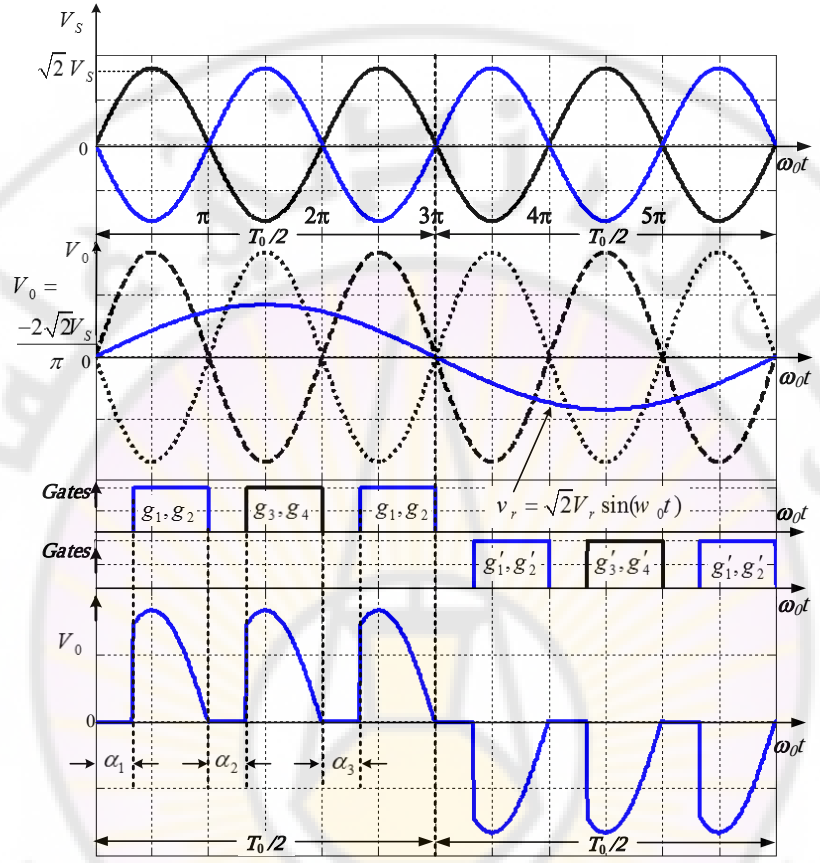
$$P_0 = V_0.I_0 Cos\theta$$
$$P_0 = 0.6366V_S.I_0.Cos\theta = 579.73W$$

- عامل استطاعة الدخل PF هو:

$$P.F = 0.6366Cos\theta$$
$$= \frac{579.73}{1292.4} = 0.499(Lagg.)$$

- الأشكال التالية توضح عمل المبدل:

Damascus University



شكل (2-34) آلية عمل مبدل التردد – نبضات القدح وتوتر الخرج.

5- مسائل عامة تطبيقية . عمل الجسور المضاعفة المقادة والمحرك التزامني، قيادة المحركات التحريضية ذات الدائر الملفوف .

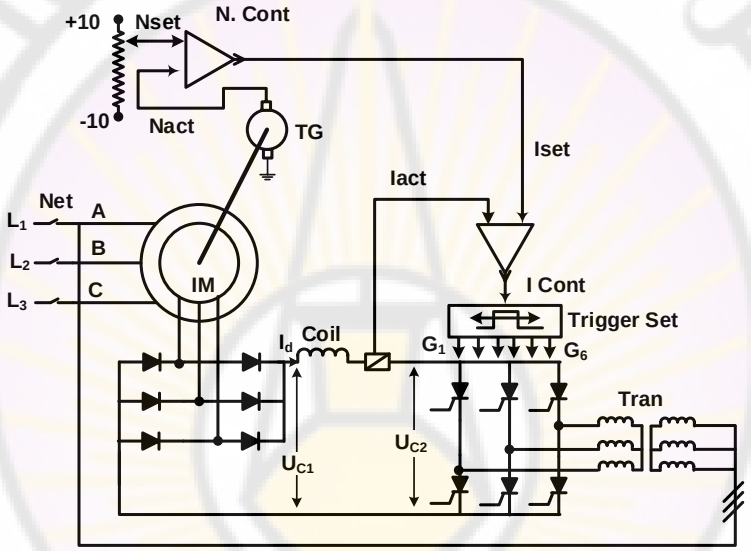
وقل رب زدني علما
Damascus University

مثال (35)

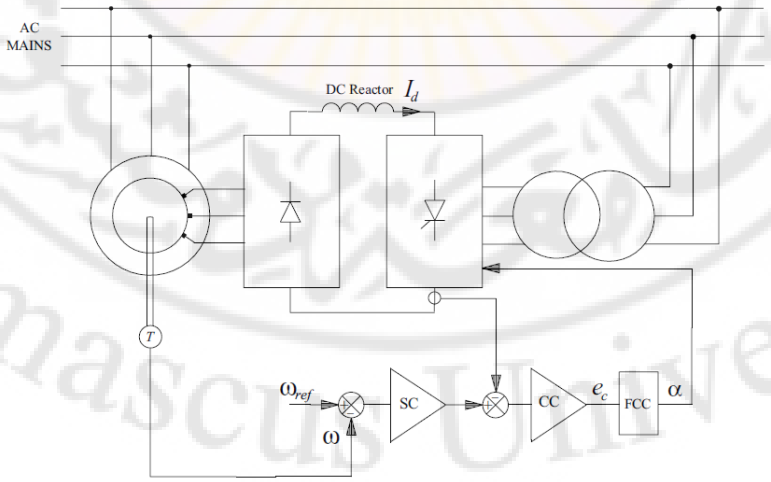
بين آلية استرداد القدرة من المحرك التحريضي ذي الدائر الملفوف، ارسم النظام الواجب استخدامه، وبين كيف يتم تنظيم السرعة واسترداد القدرة.

الحل:

دارة استرداد القدرة من المحرك التحريضي ذي الدائر الملفوف



شكل (35-2) دارة الاستطاعة لنظام استرداد القدرة لمحرك تحريضي.



يبين الشكل السابق نظام استرداد القدرة المستخدم في المحرك التحريضي الثلاثي الطور ذي الدائر الملفوف.

يتألف النظام من جسر تقويم غير مقاد وجسر تقويم مقاد يعمل كعاكس. ثابت المحرك موصول إلى الشبكة، أما التوتر على أطراف الدائر فيؤخذ إلى جسر التقويم غير المقاد ليغذي الجسر العاكس المقاد الذي يعمل على إعادة القدرة إلى الشبكة عن طريق المحولة وذلك عند زاوية إزاحة بالطور أكبر من $\frac{\pi}{2}$.

تنظيم سرعة المحرك واسترداد القدرة تتم كما يلي :

لدى تطبيق توتر الشبكة على ثابت المحرك التحريضي ذي الدائر الملفوف ،كما في الدارة المبينة بالشكل (35-2) ،لا يدور الدائر مباشرة كما في المحرك التحريضي ذي القفص السنجابي ذلك لأننا نتحكم بتيار الدائر .التوتر المتناوب الذي ينشأ في ملفات الدائر (القوة المحركة الكهربائية المحرضة في ملفات الدائر ،تعتمد على نسبة التحويل بين الثابت والدائر ،وتعتمد على الانزلاق وبالتالي سرعة الدوران) يطبق مباشرة على جسر التقويم غير المقاد المكون من عناصر غير مقادة من الديود ،ويعطي الجسر التوتر المقوم ،المحول المطبق على الجسر الثاني المقاد والمربوط باتجاه معاكس للجسر الأول ،سوف يولد توتراً مستمراً يتناسب مع نسبة التحويل للمحول ،وزاوية الإزاحة بالطور المطبقة على الجسر .كي يكون المحرك في حالة السكون ،سرعة دوران تساوي الصفر ،يجب أن يتساوى توتر الجسرين وأن يكونا من نفس القطبية ،أي أن يعمل الجسر غير المقاد كمقوم ، والجسر المقاد كعاكس عند زاوية إزاحة بالطور أكبر من 90 درجة كهربائية وأصغر من 180 ،وبما أن المحرك سيكون متوقفاً في البداية فإن توتر الجسر الأول سيكون أعظمياً .لذا على الجسر الثاني أن يولد توتراً مساوياً لتوتر الجسر الأول ومعاكساً له حتى لا يمر أي تيار بين الجسرين وبالتالي لا يمر تيار

في ملفات الدائر ويبقى المحرك ساكناً .لتنظيم سرعة الدوران والإقلاع من السرعة صفر يمكن عندئذ تغيير زاوية الإزاحة بالطور للجسر المقاد ،حيث أنها في حالة السكون كانت قريبة من الزاوية 180 درجة ،والأن نعمل على تصغير هذه الزاوية وخلق فرق توتر بين الجسرين حتى يمر تيار مستمر وبالتالي يمر تيار في الدائر .منظم السرعة يتحسس لسرعة الدوران وبمقارنته مع السرعة المرجعية يعطي توتر خرج يتناسب مع السرعة ،هذا التوتر يطبق على منظم التيار الذي يتحسس للتيار الدائر بين الجسرين ،وهناك علاقة معروفة بين قيمة هذا التيار وتيار ملف الدائر للمحرك . تيار الدائر يحدد عزم الدوران وسوف يتم تحديد السرعة تبعاً لذلك.

U_{C1}: خرج الجسر غير المقاد:

$$U_{C1}=\frac{2q}{\pi}V_m Sin\frac{\pi}{q}.S$$

$$=\frac{2\times 3}{\pi}\sqrt{2}.K_1\frac{U_1}{\sqrt{3}}.\frac{\sqrt{3}}{2}.1=1.351K_1U_1S$$

علماً أن: K_1 نسبة التحويل بين الثابت والدائر للمحرك. U_1 توتر الخط في الشبكة، q=3 عدد الأطوار ، S الانزلاق.

حتى تعمل الدارة يجب أن يولد الجسر العاكس توتراً مساوياً لـ U_{C1} ومعاكساً له بالقطبية .

وعليه في بداية الإقلاع عندما تكون $\psi=180^o$ يكون التوتر على خرج العاكس أقصى ما يمكن .عند السكون ،والمحرك غير قادر على الدوران يجب أن يكون توتر الجسر المقوم يساوي ويعاكس توتر الجسر الذي يعمل كعاكس :

$$U_{C1}=U_{C2}$$

$$U_{C2}=\frac{2q}{\pi}V_m Sin\frac{\pi}{q}.Cos\psi.K_2$$

لدينا: K_2 نسبة التحويل لمحول التزامن ، وهو المحول المربوط بين الجسر العاكس والشبكة العامة ، ψ: زاوية الإزاحة بالطور للعاكس، q=3 عدد الأطوار .

$$V_m = K_2\sqrt{2}\frac{U_1}{\sqrt{3}} \Rightarrow$$

$$U_{C2} = \frac{2\times 3}{\pi}K_2\sqrt{2}\frac{U_1}{\sqrt{3}}\frac{\sqrt{3}}{2}.Cos\psi$$

$$U_{C2} = 1.351K_2U_1Cos\psi$$

عند السكون:

$$U_{C1} = U_{C2}$$

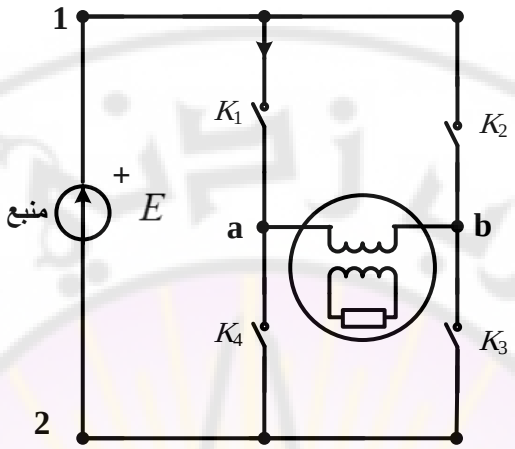
$$\Rightarrow S = \frac{K_2}{K_1}Cos\psi = S_0$$

S_0: الانزلاق عند اللاحمل.

الانزلاق S تابع لزاوية الإزاحة ψ، بتغيير هذه الزاوية $\pi \to \frac{\pi}{2}$ يمكن تنظيم سرعة المحرك من الصفر وحتى السرعة الاسمية.

مثال (36):

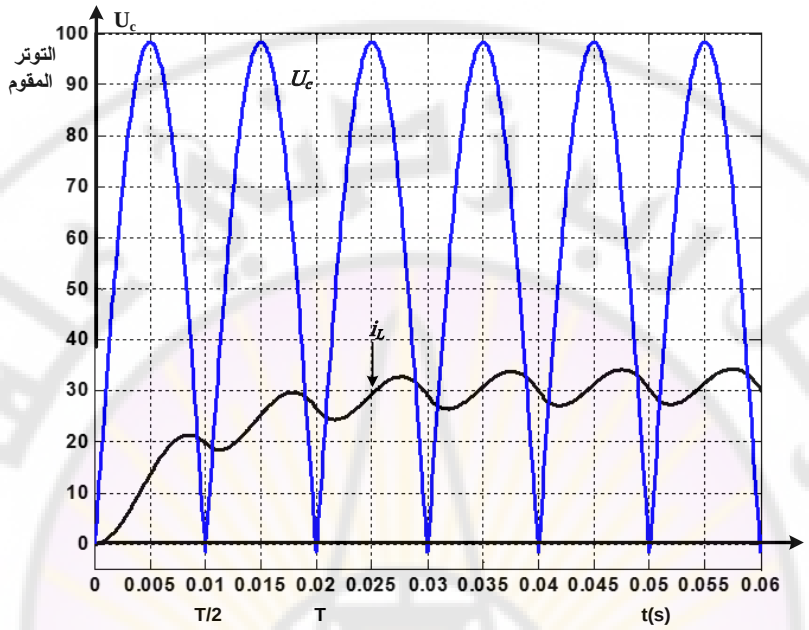
في التركيب الجسري المبين بالشكل أدناه المكون من أربعة قواطع الكترونية. يمكن استخدامه في ثلاثة أعمال مختلفة (مقطع، معرج، مقوم). بين آليات العمل الثلاث وحدد الفرق في البنية بين الحالات الثلاث.



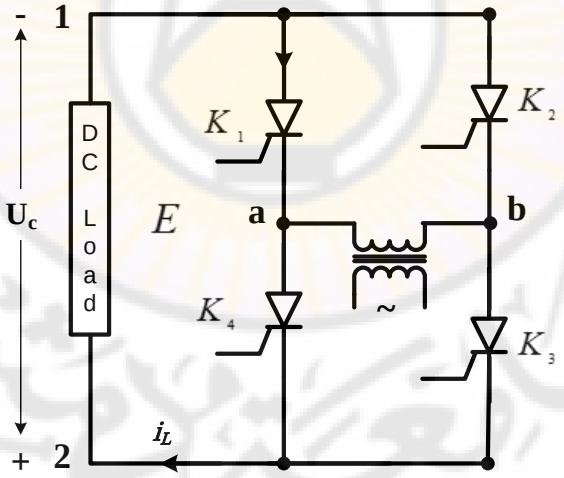
a- دارة الاستطاعة بشكل عام.

1- الدارة مكونة من منبع (توتر أو تيار) ومن حمل (توتر أو تيار) وأربعة قواطع الكترونية قد تكون من الثيرستور وقد تكون من الترانزستور لدى عمل الجسر كمقوم يكون لدينا:

a- العمل كمقوم : القواطع ثيرستورية مقادة بدارة توليد نبضات تعمل على قدح القواطع K_1 ، K_3 خلال نصف الطور الموجب لموجة توتر الدخل، و k_2 K_4 خلال النصف السالب لموجة توتر الدخل. هنا يجب الانتباه أن الحمل في الشكل أعلاه سيكون هو منبع التوتر المتناوب. وبالمقابل المنبع المرسوم سيصبح الحمل (الذي قد يكون حمل أومي، أو مختلط، أو محرك تيار مستمر). والشكل النهائي للجسر هو كما هو مبين أدناه:

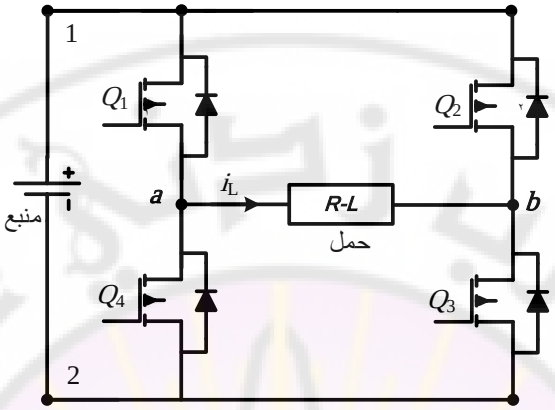


b – شكل توتر الخرج وتيار الحمل المار.

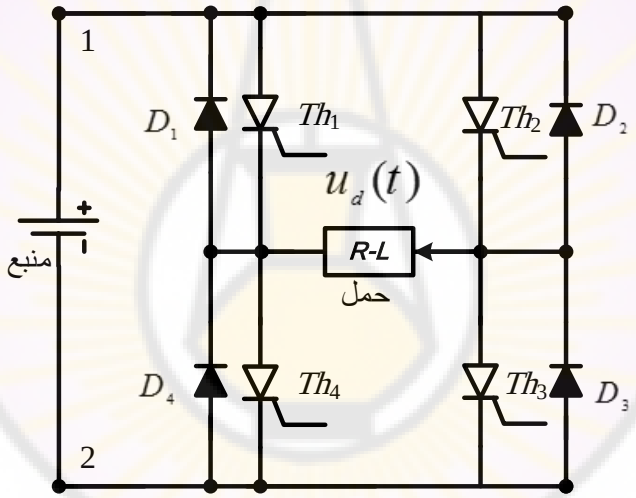


شكل (2-36) طرق تشغيل الجسر.C – العمل كجسر تقويم أحادي الطور مقاد.

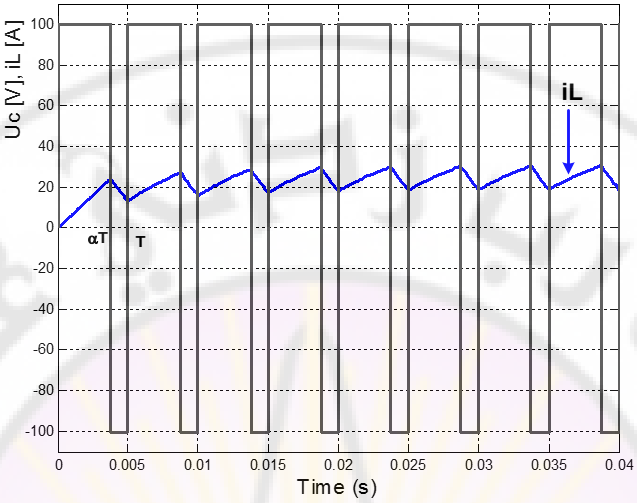
b - العمل كمقطع: دارة الاستطاعة المستخدمة تصبح من الشكل:



أ- دارة مقطع جسري ترانزستوري.

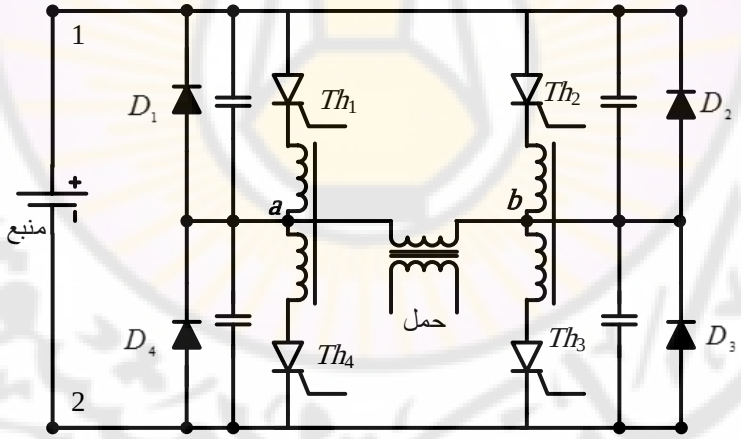


ب- دارة مقطع جسري ثيرستوري (بدون إظهار دوائر الحجز القسري للثيرستورات).

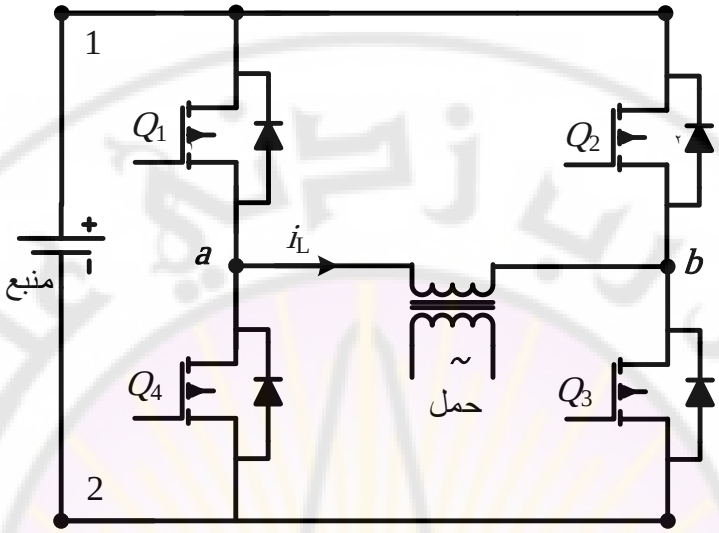


شكل (2-37) عمل الجسر كمقطع. جـ- شكل توتر وتيار الحمل للمقطع الجسري.

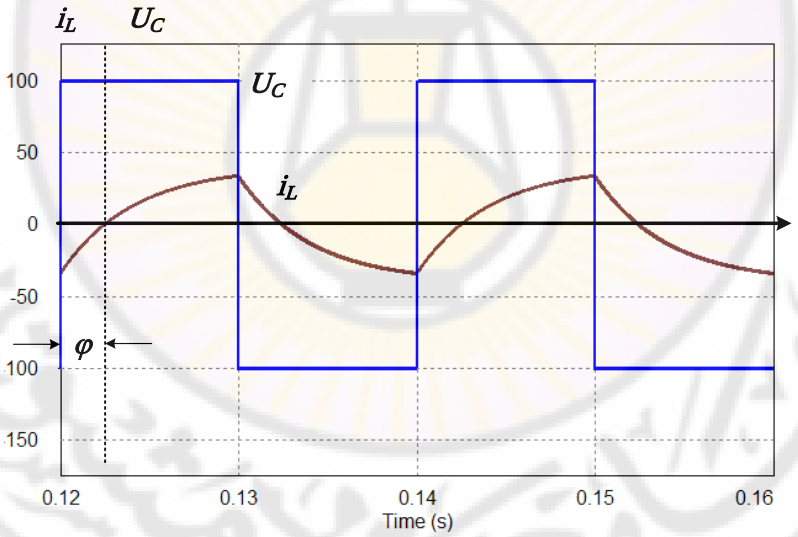
C = العمل كمعرج: دارة الاستطاعة المستخدمة تصبح من الشكل (معرج توتر):



معرج جسري أحادي الطور ثيرستوري نبضي.



دارة الاستطاعة للمعرج الجسري الأحادي الطور الترانزستوري.



شكل (2-38) عمل الجسر كمعرج جسري أحادي الطور.

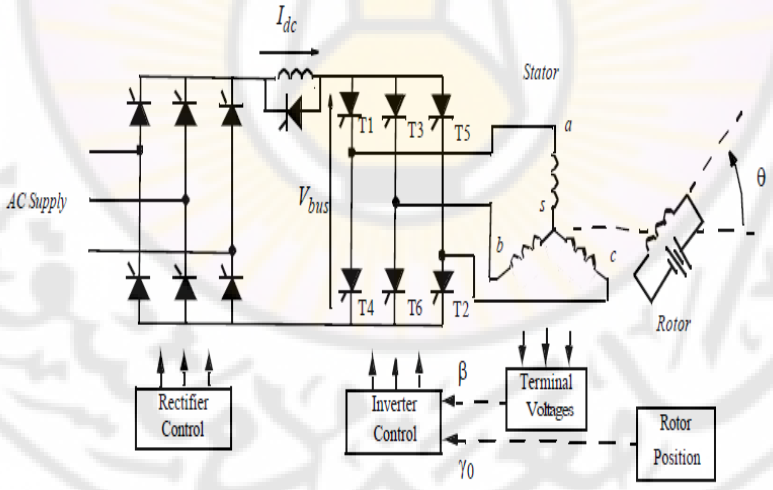
شكل توتر الخرج المتناوب – التيار متأخر عن التوتر.

مثال (37):

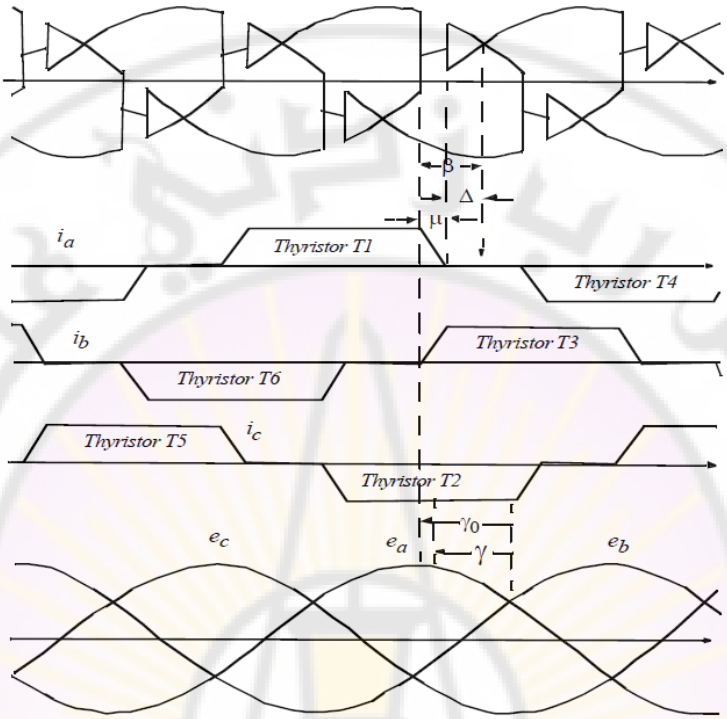
يراد قيادة محرك تزامني قيادة ذاتية Self control synchronous motor باستخدام مبدل ثيرستوري عن طريق الحمل (معرج ثيرستوري غير مستقل) يغذى من منبع تيار، ويتم فصله عن طريق الحمل (Load Commutation L.C.I Inverter). اشرح آلية عمل هذا النظام وارسم توترات الخطوط وتيارات الخطوط (المغذية للمحرك) وكيف يتم فصل العناصر الثيرستورية في الجسر العامل كعاكس، تحدث عن العزم المحصل بين الدائر والثابت .

الحل:

يقاد المحرك التزامني ذاتياً باستخدام نظام مقوم –معرج غير مستقل أو عاكس ، بحيث يتم تبديل الثيرستورات دون دوائر حجز قسرية إضافية ، ولهذه الغاية يمكن استخدام نظام الاستطاعة المبين بالشكل (39-2).

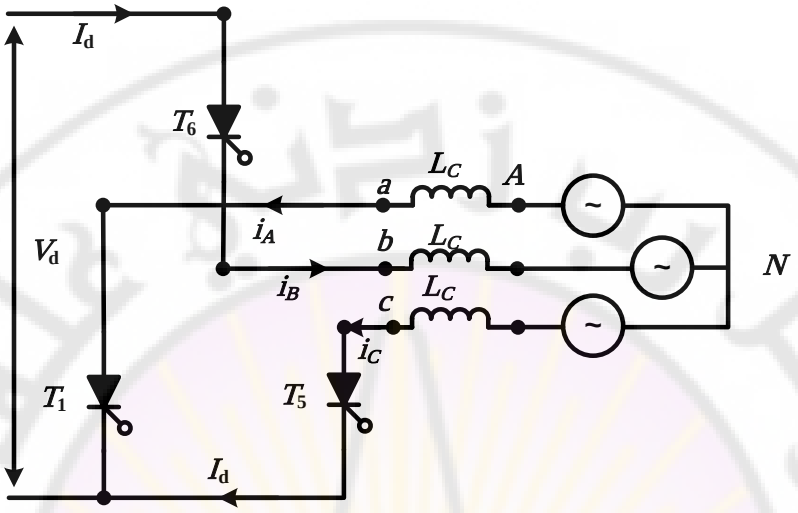


شكل (39-2) دارة الاستطاعة.



b- توترات الخطوط وتيارات الأطوار، زوايا التطابق والأمان والتقدم.

– في الشكل (2-39) دارة الاستطاعة تمثل محرك تزامني يتم تغذيته من معرج تيار (Current- Source Inverter). يتم تبديل العناصر الثيرستور للجسر المعرج عن طريق توترات الحمل V_{AN1}، V_{BN1}، C_{CN1} وهذه التوترات هي توترات تتولد في الحمل وتمثل القوى المحركة الكهربائية العكسية للمحرك التزامني. وهي تتولد لأن المحرك يعمل عند عامل استطاعة متقدم. ومثل هذا التطبيق يستخدم بكثرة في الاستطاعات الكبيرة. ممانعة التبديل L_C لكل طور، يمكن اعتبارها الممانعة فوق العابرة للمحرك التزامني نظراً لصغر فترة التبديل من ثيرستور لآخر، وهذه يعني انتقال التيار من طور لآخر.



c- الدارة المكافئة خلال فترة التبديل من T_5 إلى T_1 مع استمرار T_6 بالتوصيل.

– الشكل (2-39-b) يبين توترات الخطوط V_{AB} و V_{BC} و V_{CA} والتوترات المناظرة لها. نلاحظ أن التيار ينتقل من الثيرستور T_5 إلى الثيرستور T_1 عندما يكون توتر الخط V_{AC} ذي توتر موجب. زاوية الإزاحة بالطور α للثيرستور الأول T_1 تقاس من لحظة مرور التوتر V_{AC} بالصفر ويبدأ بالتزايد.

– فترة استمرار نبضة القدح للثيرستورات أخذت مساوية 120 درجة. ويتم قدح الثيرستورات بالتتابع حسب تسلسل أرقامها وكل 60^o يتم قدح أحد هذه الثيرستورات.

– من أجل زاوية تأخير بالطور $\alpha>90^o$ (العمل كعاكس)، يكون لدينا الثيرستورات T_5 و T_6 موصلة (تيار I_B و I_C) وتوتر الحلقة المستمر $V_d=V_{CB}$، الشكل (c -) يعطي الدارة المكافئة لمرحلة التبديل. وكيف أنه يتطابق T_1 و T_5 وينتهي T_5 للفصل و T_1 لاستمرار التوصيل واستمرار مرور التيار الثابت I_d في (T_1 و T_6).

هنا نلاحظ أن توتر الخط V_{AC} الموجب يساعد في إنقاص تيار الثيرستور i_{T5} ويصل للصفر مع تزايد التيار i_{T1} ليصل إلى I_d خلال فترة العمل المشترك (u) التي سميت سابقاً بالتطابق. (Commutation- Overlap Angle). الآن يصبح T_1 و T_6 في حالة توصيل ويمر تيار I_d في ملفات المحرك عند توتر منبع $V_{AB}= V_d$.

هنا لدينا توتر متوسط V_d سالب وتيار I_d موجب، أي أن الاستطاعة تأتي من الحلقة المستمرة (DC- Link) إلى الآلة التي تعمل كمحرك.

– القوة المحركة الكهربائية المتولدة في المحرك التزامني، يجب مراقبتها بحساس لوضعية الدائر عند استخدام نظام القيادة الذاتية للمحرك (Self- Control mode) ذلك لأن تردد المعرج (العاكس) هو من نفس تردد القوى المحركة المتولدة في المحرك ويجب إجراء تزامن بين نبضات القدح للجسر العاكس بالتزامن مع التوترات المتولدة في المحرك التزامني.

في نهاية المسألة تم رسم مراحل التبديل لثيرستورات العاكس مع بيان اتجاه دوران الدائر ،وذلك لعدة حالات ونرى كيف أن العزم الناشىء يعمل على تدوير الدائر .

– من الدارة المكافئة (c) لدينا:

$$i_{T1} + i_{T5} = I_d \quad \text{.....(1)}$$

$$L_C \frac{di_{T1}}{dt} - V_{AC} - L_C \frac{di_{T5}}{dt} = 0 \quad \text{.....(2)}$$

بما أن I_d ثابت فإن العلاقة (1) تعطي:

$$\frac{di_{T5}}{dt} = -\frac{di_{T1}}{dt} \quad \text{.....(3)}$$

بالتعويض من (3) في (2) نجد:

$$\frac{di_{T1}}{dt} = \frac{V_{AC}}{2L_C} \quad \text{.....(4)}$$

بأخذ التوترات الفعالة واعتبار (V) التوتر الفعال للطور نجد:

$$V_{AB} = \sqrt{3}\left(\sqrt{2}V\right)Sin\omega t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

$$V_{AC} = \sqrt{3}\left(\sqrt{2}V\right)Sin(\omega t - 60°) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

وعليه فإن توتر الحلقة المستمرة يساوي:

$$V_d = -L_C\frac{di_{T1}}{dt} + V_{AB} = V_{AB} - 0.5V_{AC} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

- عند الزمن:

$$\omega t = \alpha + u \Rightarrow i_{T5} = 0 \quad \& \quad i_{T1} = I_d$$

ولدى انتهاء فترة التطابق من العلاقة (4) نجد:

$$I_d = \frac{1}{2\omega L_C}\int_{\alpha+(\pi/3)}^{\alpha+(\pi/3)+u} V_{AC}\,d(\omega t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

باستخدام المعادلة (6) والتعويض عن U_{AC} نجد:

$$Cos\alpha - Cos(\alpha + u) = \frac{2\omega L_C I_d}{\sqrt{6}V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

(هذه العلاقة تحدد زاوية التطابق u بدلالة ثوابت النظام) وكنا قد درسناها في مجموعات التقويم العادية مع وجود إزاحة بالطور.

- إن الزاوية β (Commutation Lead angle) زاوية التقدم، التي تمثل زاوية متقدمة بالنسبة للتوتر V_{AC} قبل أن ينتهي من أن يكون موجباً ويصبح سالباً. وتساوي:

$$\beta = 180 - \alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

وعادةً تستخدم للإزاحة بالطور للثيرستور الأول T_1 بدلاً من α.

وبالتعويض من (10) في (9) نجد:

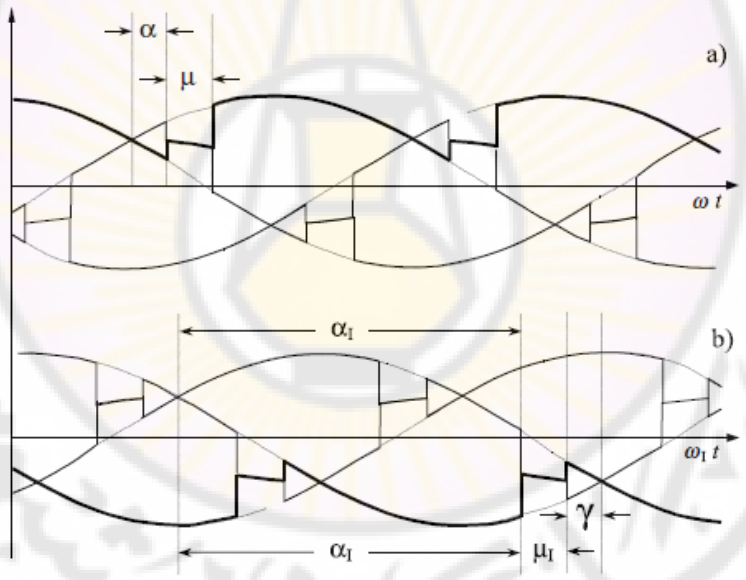
$$Cos(\beta - u) = Cos\beta = \frac{2\omega L_C I_d}{\sqrt{6}V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

– ومن معالجة الزوايا والنظر للشكل (b) نجد أن

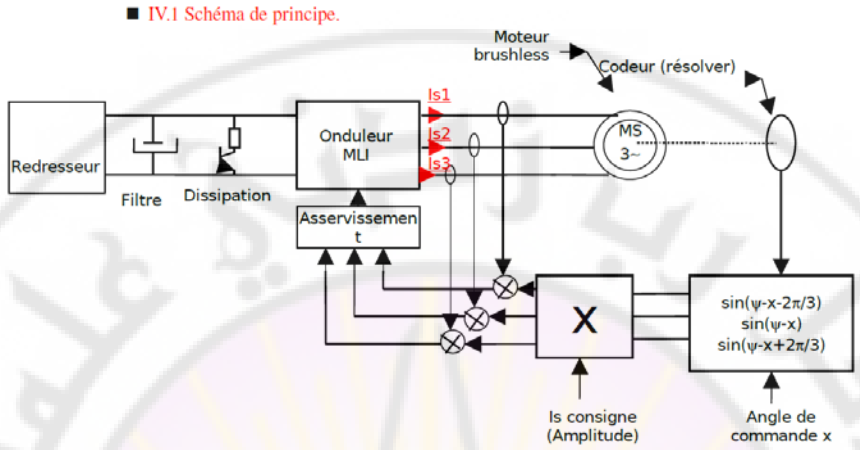
$$\gamma = \beta - u \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

γ هي زاوية الأمان وهي تمثل الفترة الزمنية التي يبقى فيها T_5 تحت توتر عكسي بعد الفصل حتى يصبح V_{AC} مساوياً الصفر.

– الشكل (2-40) أدناه يوضح التوتر والتيار على مرابط المحرك وذلك لمحرك بعامل استطاعة ϕ متقدم $\phi = \beta - 0.54$. الآلة تعمل دائماً عند عامل استطاعة متقدم. ولبيان الفرق ذكرنا ظاهرة التطابق عند العمل عند زاوية إزاحة أقل من 90 درجة كهربائية .



شكل (2-40) توتر المحرك وتيار المحرك المار عند عامل استطاعة ϕ.

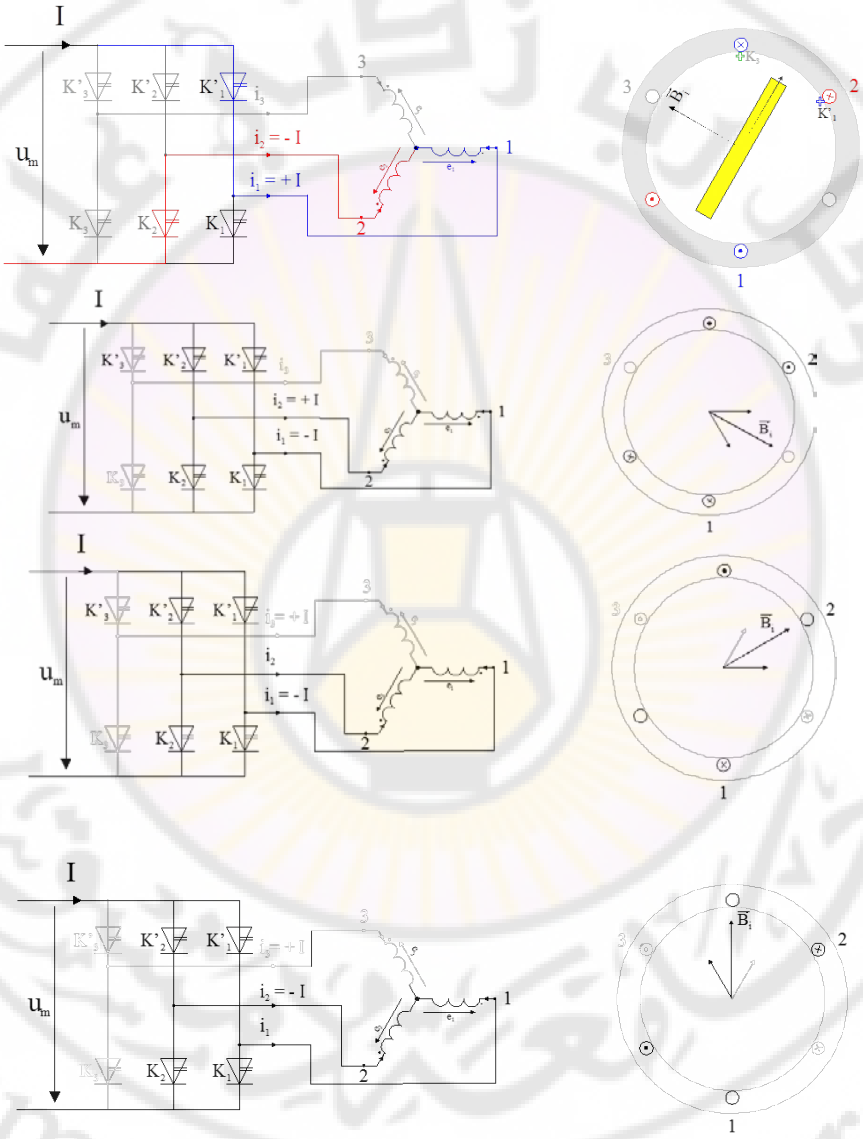


شكل (41-2) الدارة العملية لقيادة النظام

في الدارة العملية أعلاه شكل (41-2) ، يتم التحسس لوضع الدائر لتحديد زاوية القيادة . وسنتحدث عن ذلك بعد قليل . تقارن إشارة خرج وضع الدائر بعد تحديد مطالها مع إشارات تيارات الأطوار القادمة من مبدلات التيار المار في المحرك والتي تشير للتيار الفعلي المار في طور من أطوار المحرك ،نتيجة المقارنة هذه تطبق على دارة القيادة لنظام تعديل عرض النبضة المستخدم عادة في تشغيل مثل هذه الأنظمة .

الأشكال التوضيحية الواردة أدناه ،تبين ملفات الأطوار الثلاث في الثابت وحسب الرموز المعروفة لدخول التيار وخروجه من هذه الملفات يمكن معرفة هل التيار موجب أم سالب. الحقل الكهرومغناطيسي المحصل الناتج من ملفات الثابت ينزاح كل 60 درجة كهربائية ويحدد اتجاه الفيض المحصل وبالتالي يتفاعل فيض الدائر الناتج من ملف التحريض وفيض الثابت ليولد العزم المحصل وهذا العزم المحصل سيدور باتجاه عقارب الساعة حسب تتابع قدح العناصر الثيرستورية وكنتيجة تتابع مرور التيار في ملفات الآلة التزامنية يتم التحكم بالسرعة. وللإيضاح نورد

مخططات شعاعية للحقول الكهرومغناطيسية وبيان مسار تيارات الأطوار في كل فترة من فترات قدح عناصر المبدل الإلكتروني .

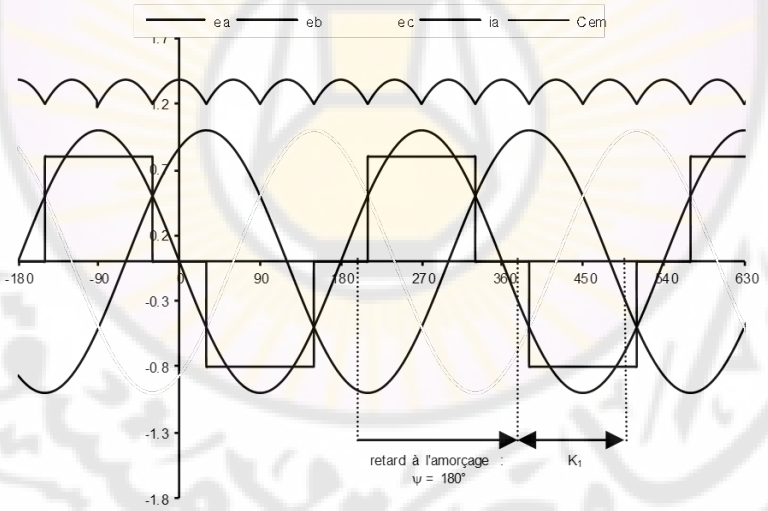


ملاحظة :

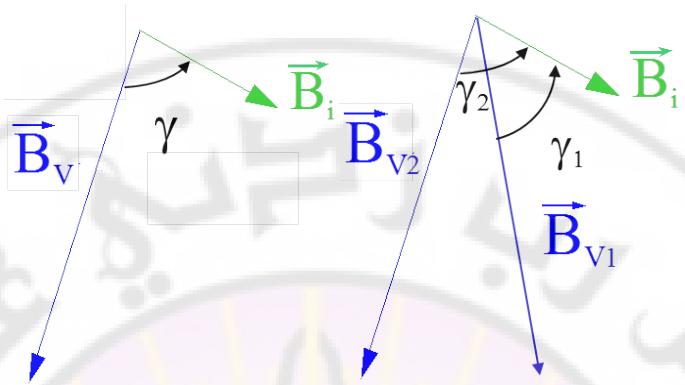
توضيح للعزم والحقل المغناطيسي للمحرك التزامني ذاتي القيادة :

يدور المحرك التزامني كما نعلم عند السرعة التزامنية استناداً للعلاقة المعروفة :

$\Omega = w / P$ أي أن سرعة الدوران تعتمد على تردد تغذية الثابت وعدد أزواج الأقطاب للدائر .الحقل المغناطيسي للثابت B_i يدور عند السرعة المفروضة عليه من قبل منبع التغذية .في نظام التشغيل العادي دون قيادة ،حقل الدائر B_v الناتج من ملف التحريض أو من الأقطاب المغناطيسية الدائمة ،يكون ملتصقاً أو معشقاً Accroché بحقل الثابت .كلما زاد العزم المطبق على محور المحرك الدائر ،كلما تباعد هذان الحقلان وزادت زاوية الإزاحة بينهما . كما في الشكل أدناه :



الشكل يوضح توترات الأطوار وقمم توترات الخطوط وشكل تيار الطور ذي اللون الأزرق(الطور الأول مثلاً) هذا التيار مزاح 180 درجة لأن الجسر يعمل كعاكس.



في الحالة الديناميكية للتشغيل ،نظراً لوجود العطالة للأجسام الدوارة ،فإنه عند حدوث تغيير مفاجئ ل w هناك احتمال حدوث انزياح كبير بين الحقلين وقد يتسبب في فشل دوران الآلة .لذا من الضروري دائماً متابعة مكان وموضع حقل الدائر B_v بالنسبة لحقل الثابت .هذا ما يطلق عليه قيادة ذاتية SELF CONTROL .Auto Piloté وبالتالي فرض وجود انزياح زاوي بين حقلي الدائر والثابت بمقدار الزاوية γ كما في الشكل التوضيحي أعلاه .

الغاية من القيادة الحفاظ على زاوية ثابتة بين الحقل المغناطيسي للثابت والحقل المغناطيسي للدائر الزاوية بين هذين الحقلين تعطى بالعلاقة :

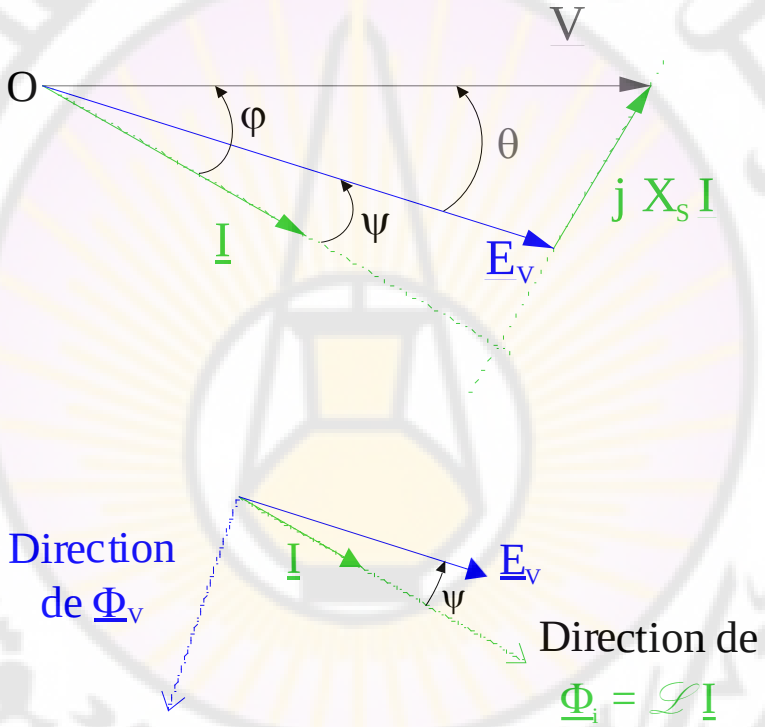
$$= 90 - \psi\gamma$$

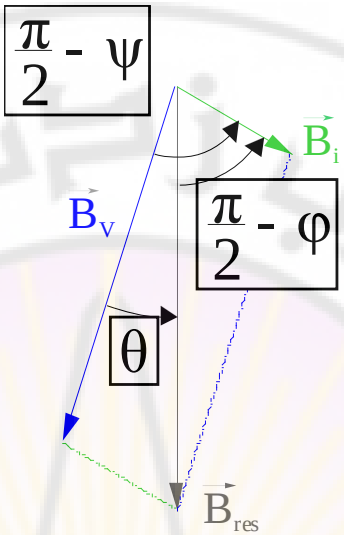
زاوية القيادة الذاتية هي إذاً ψ وهي الزاوية بين FEM والمركبة الأساسية لتيار الثابت تبعاً للطور الذي نعمل عليه .مثلاً لآلة وحيدة القطب ثلاثية الطور ،عند الزمن T=0 إذا كان الدائر منطبقاً على محور الملف الأول للثابت A فإن التيار القادم من المنبع سيكون ثابتاً والزاوية ψ=0 .

إذا تم وصل كل من القواطع K_1 و K_2 ' (في المبدل الإلكتروني المبين في الأشكال التوضيحية السابقة) سيمر تيار في الأطوار 2و 1 مولداً الحقول B_2و B_1 حسب محاور هذه الأطوار ،محصلة هذين الحقلين هي الحقل الثابت B_i في تلك الفترة من عمل الجسر العاكس .لدى توصيل القواطع K_1 و K_3 ' يمر

60 التيار في الأطوار 3و1 والحقل المحصل لهذين الملفين سيكون مزاحاً ب درجة عن الحقل السابق .وعليه بتتابع تبديل القواطع يدور حقل الثابت ويتبعه الدائر ويتم تنظيم سرعة الدوران تبعاً لتردد حقل الثابت .

الأشكال أدناه توضح المخطط الشعاعي للآلة التزامنية النظامية دون قيادة ذاتية ،والشكل الثاني مع قيادة ذاتية ونرى آلية تحصيل الحقول والزوايا بينها .





– انتهى بعون الله تعالى –

المراجع

1- Ramshaw,Power Electronics.Smei-Swiches,University of Watrloo-Canada.Chapman&mall

2- -MOHAN&UNDELAND, Power Electronics converter applications, and design,2nd New York Wily-1995.

3- Theadore wildi ELECTRICAL Machines.

4- R.VISINTINI ELECTRA SYNCHROTRON LIGHT LABORATORY,TRIEST,ITALY

5- George G.Karady &KeithHolbert- ch9. Introduction to Motor Control and Power Electronics 1/22/2015

6- ALI Keyhani OHIO STATE ,Lecture25 ,Department of Electrical Engineering ,The Ohio Stat University

7- D. Hart, Introduction to power electronics, pub prentice- Hall 1997.ISBN 0023511826,Lecture 19 :INVERTERS

8- D.BAREILLE ,Lycee SANT –CRICQ,Elaboration de la Commend de la machine synchrone autopilote alimantee par un onduleur de courant.

9- - Mc –ET3 IUT de Tours,Departement GE11- 2ieme annee,Gradateurs monophases et triphases.

10- Juan Dixon,Santiago CHILE, Chapter 12 ,Three-phase controlled rectifiers

11- BurakOZPINECI,Leon M Tolbert. University of Tennessee Knoxiville,TN37996-2100 Cycloconverters.

12- Michel Bornand ,Problemes d'electronique avec leur solutions-EYROLLES-1990

13- Robert PARRET,MARCEL IVANCS ,Elements de Genie electrique-HERMES-1994

14- R. Champrade ,Electronique de Puissance-Commande des Motors a'courant continu-EYROLLES-1981
15- CYRIL W LANDER .Electronique de Puissance – EDISCIENCE 1994
16- G.SEQAIER ,L'electronique de Puissance-DUNOD-1979
17- ROBERT CHAUPRADE ,&Francis Milsant,Electronique de Puissance.2- Commande des Motors a'courant alternatif-EYROLLES-1981,
18- Philippe BARRADE , Electronique de Puissance.Methodologie et covertisseurs elementaires – Presses polytechnique et universitaires ROMANDES 2006
19- Chapter 3 ,Les Redresseurs Commande`s -2011,Electronique de puissance ,Ecole National d`Inginieurs de souisse ENISO
20- - ECE 8830- Electric Drives. Topic 9 ,Current Fed Inverters ,Spring 2004

المدقق العلمي :

1- الأستاذ الدكتور سميح الجابي

2- الأستاذ الدكتور مصطفى الحزوري

3- الأستاذ المساعد عبد الله ساميز

المدقق اللغوي :

الأستاذ الدكتورة لميس داود

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية