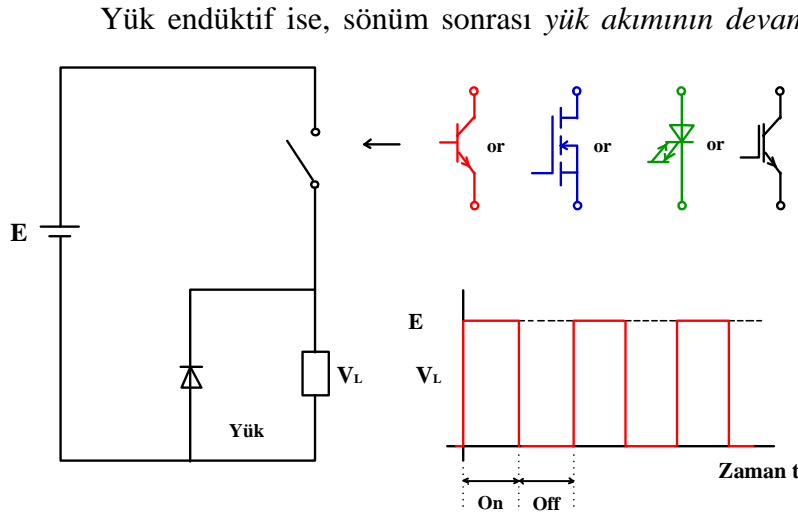


Bölüm 4 : DC HAT KOMÜTASYONU

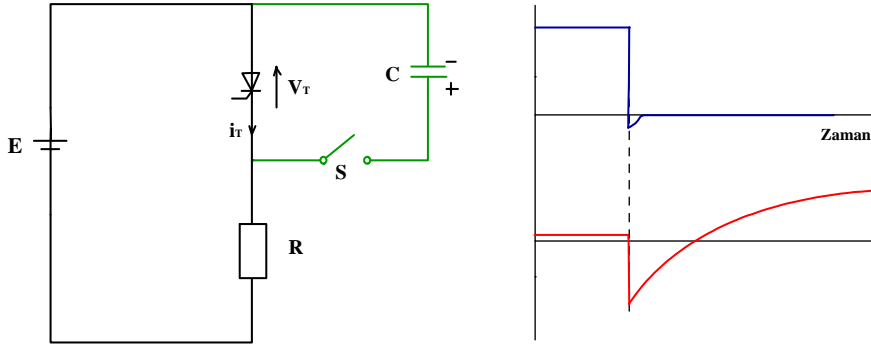
Doğrultucu elemanların bir AC beslemeyle irtibatlı olduğu önceki iki bölümde, elemanlar AC periyot içerisinde akımın sifıra düştüğü anlarda tabii olarak söniyorlardı. DC beslemeli çoğu uygulamalarda da yarı iletken elemanlar bulunabilir. DC kaynakla beslenen yüklerin *anahtarlanmasıyla* yük gücü kontrol edilebilir. Bütün devreler *DC Kıyıcı* denir. Kıyıcının temel yapısı Şekil 4.1 de görülmektedir. Gerilim ve akım anahtarlama frekansına bağlı olarak güç transistörü, güç MOSFET 'i GTO veya IGBT kullanılabilir.



Ancak bu uygulama küçük güç seviyesinde yapılabilir. Yük akımı 100A için transistör uçlarında 200V gerilim düşümü demek, transistör de 20kW güç kaybı demektir. Bu kayıp transistörün yanmasına yol açmasa bile en azından parasal kayıp demektir.

Eski temel devrelerin çoğu anahtarlama elemanı olarak tristör içeriyordu. Bu tristörlerin söndürülebilmesi için harici bir devre bulunuyordu. Bu devre anot akımını sifıra düşürerek ve tristörün bloke durumunu kazanabilmesi için yeterli bir zaman ters gerilim uygulanmasını sağlayarak tristörü söndürüyordu. Bu bölümde bu temel söndürme devrelerinin genel prensipleri anlatılacaktır. Devrelerle alakalı formüller bölüm sonunun da izah edilecektir.

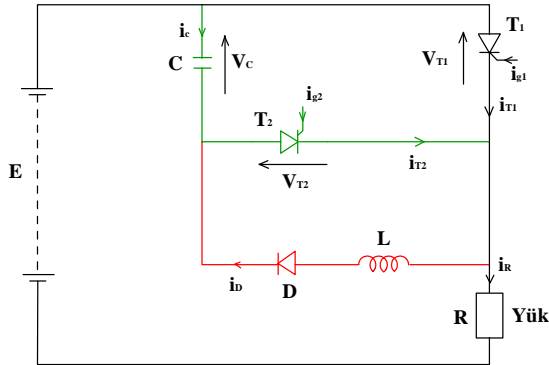
4.1 PARALEL KAPASİTANS



Şekil 4.2 Paralel Kapasitörle Sönüm

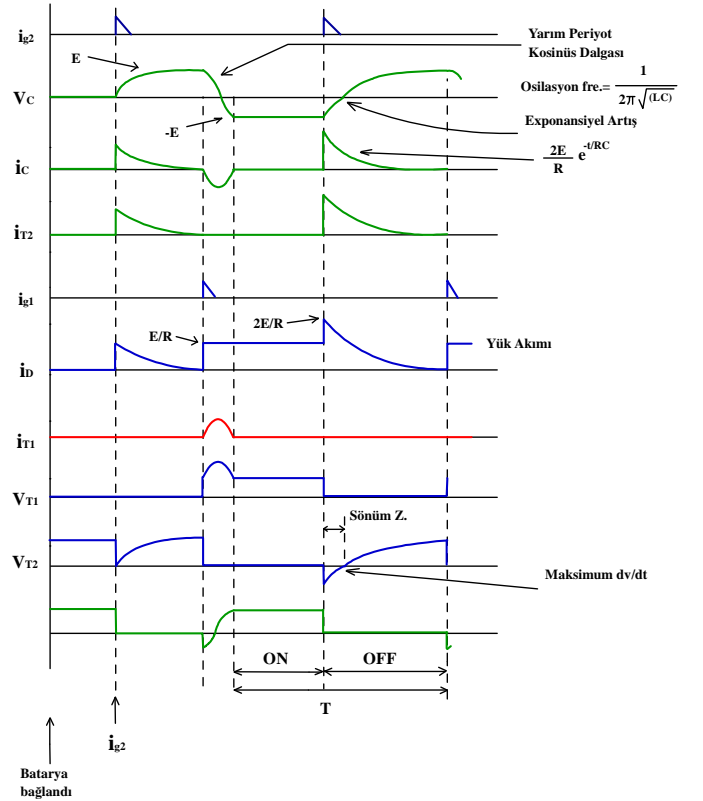
Şekil 4.2 'deki triyot iletme alınırsa akım E/R olur. Triyotü söndürmek için şekildeki doldurulmuş bir Kapasitör S anahtarı kapatılarak ters yönde gerilim

uygulanır. Böylece triyot akımı azalarak negatif bölgeye geçer ve triyot yüklerinin bloke durumu kazandıracak şekilde yerleşmelerini sağlar. Bir müddet sonra triyot uçlarındaki gerilim kapasitörün dolmasıyla pozitif olarak E seviyesine ulaşır. Bu devredeki kapasitör değeri triyotün bloke durumunu kazanmasını sağlayabilecek değerde olmalıdır. Şekil 4.2 'deki devreyi pratikte kullanabilmek için S anahtarı elektronik bir anahtarla değiştirilmeli ve devre, yeniden sönümü sağlayabilecek şekilde kapasitörü doldurabilmelidir. Böyle bir devre Şekil 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.3 (a) Paralel Kapasitans Kömütasyon Devreli Kıyıcı Devresi

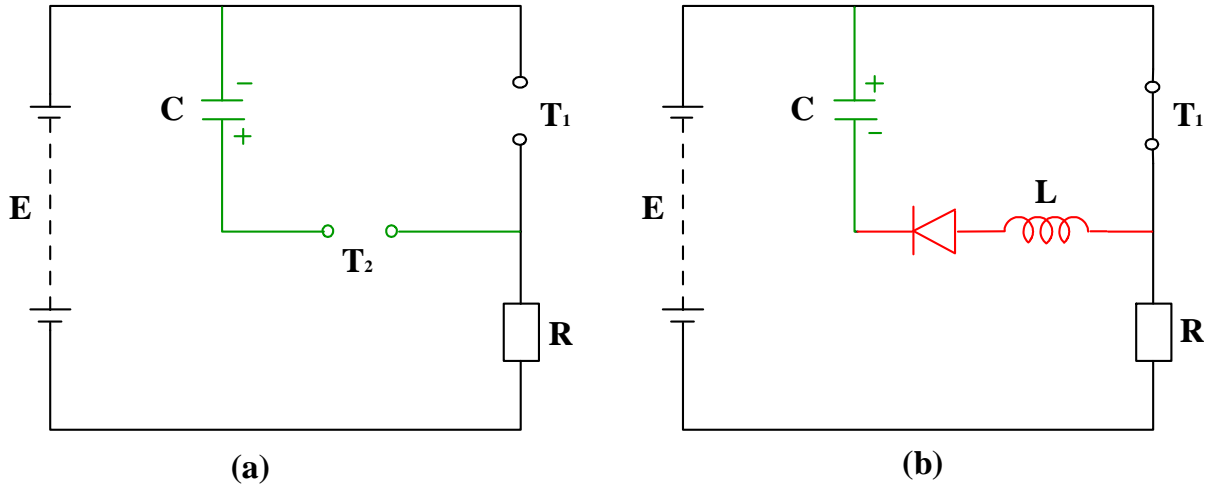
İdeal triyotler ve kayıpsız elemanlar kabulü ile dalga şekilleri (b)'de görülmektedir. T1, ana yük triyotüdür. T2 ise T1 'in sönümü için gerekli kapasitörü devreye almak için yedek triyotüdür. L endüktansı, C kapasitörü uçlarındaki polaritenin doğru yönde olmasını sağlamak içindir.



Şekil 4.3 (b) Paralel Kapasitans Kömütasyon Devreli Kıyıcı Devresi

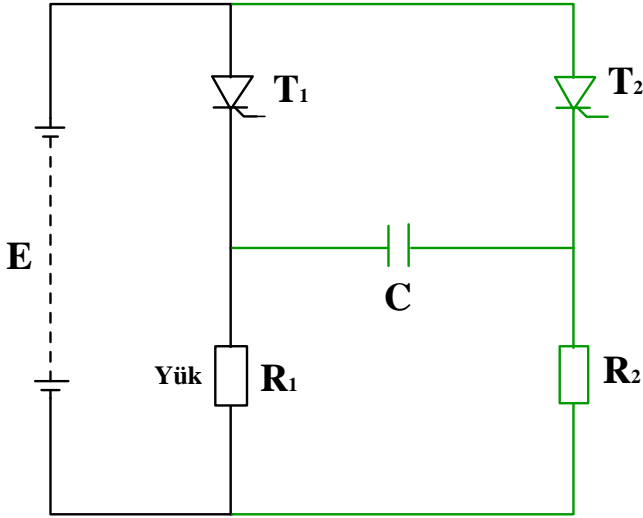
Başlangıçta tristörler sönümde oldukları için batarya bağlansa bile akım akmaz. Öncelikle T2'nin tetiklenerek C kapasitörünün dolması sağlanır. Bu durumda Şekil 4.4 (a) daki bağlantı gerçekleşmiş olur. Kapasitör, akımı eksponansiyel olarak azalan bir dalga şekliyle dolar. (Başlangıç değeri E/R dir) Bir müddet sonra kapasitör E batarya gerilim seviyesine kadar dolar. (T2'nin tutuma akımının altına inmesiyle akım söneceğinden tam E ye kadar dolamaz)

T1 tetiklenirse yük, bataryaya bağlanmış olur. (Şekil 4.4 (b)) Aynı zamanda L endüktansı ile C kapasitansı arasında yarım periyot sürecek bir osilasyon başlar. (Diyot ters yönde akım akışını engelleyeceğinden). Böylece kapasitör uçlarındaki polarite değişerek şekil 4.4(a) daki durumu alır. T2 tetiklenirse, C nin T1 üzerinden boşalmasıyla T1 söndürülür. böylece Şekil 4.4(a) da T2 tristör ve yük üzerinden geçen akımın başlangıç değeri $2E/R$ olur.



Şekil 4.4 Şekil 4.3 için eşdeğer devreler

Şekil 4.3 teki devrenin çalışmasını özetleyecek olursak: T1 tetiklenirse yük bataryaya bağlanmış olur. T2'nin tetiklenmesi T1'i söndürerek yükü bataryadan ayırır. Bu devrenin dezavantajı, kapasitörün yük aracılığıyla doldurulmasıdır. Pratikte D diyodu yerine tristör kullanılabilir. Eğer diyot kullanılırsa T2 söndükten sonra diyot ve kapasitör aracılığıyla endüktansın neden olacağı ikincil bir osilasyon söz konusu olabilir. Böylece kapasitör bir miktar boşalır. Tristör kullanımı bunu önleyecektir.

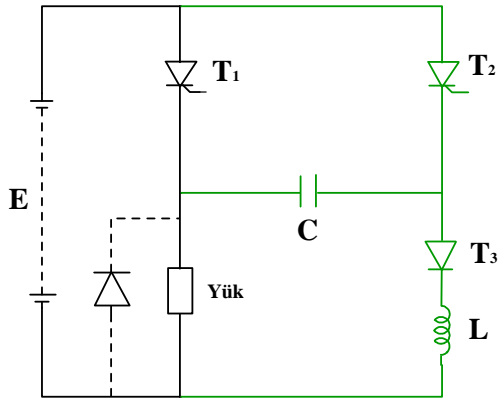


Şekil 4.5 Basit paralel kapasitörlü kıyıcı

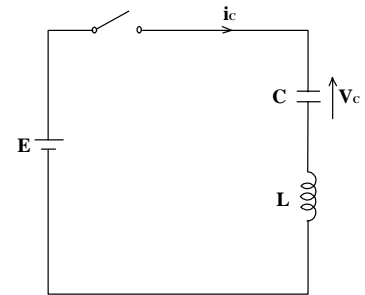
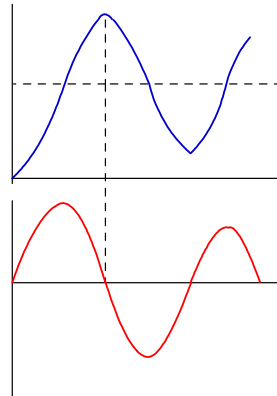
Şekil 4.5 teki devre endüktör kullanılmaya gerekliliğini ortadan kaldırır. T1'in tetiklenmesi hem yükü bataryaya bağlar, hem de C kapasitörünün R2 üzerinden kolmasına imkân verir. T2'nin tetiklenmesiyle kondansatör gerilimi T1'e uygulanmış olur ve T2 söner. T2, R2 üzerinden akım akacağından iletimde kalır ve R1 aracılığıyla C kapasitörünü ters yönde doldurur.

T1 tetiklenirse R1 yükü bataryaya bağlanmış olur, aynı zamanda C kondansatörü T2 yi

söndürür. Bu basit devrenin dezavantajı ise R2 direncinde meydana gelen kayıptır. R2 büyük seçilerek bu kayıp azaltılabilir, ancak bu kondansatörün dolma süresini artırarak yükün anahtarlama frekansını sınırlar.



Şekil 4.6 Değişik bir paralel kapasitans komütasyon devresi



Şekil 4.7 LC devresi bataryaya seri bağı

Şekil 4.6 da kapasitörün yük üzerinden doldurulmasını önleyen bir devre görülmektedir. devrede T1 in tetiklenmesi, bataryayı yüke bağlar. Aynı zamanda veya bir müddet sonra T3 tetiklenirse LC devresinde meydana gelen osilasyonla C kapasitörü 2E gerilimine kadar dolar. Bu olayı anlamak için Şekil 4.7 deki devreye bakılabilir. Devrede osilasyon frekansı kayıplar ihmal edilirse $1/2\pi\sqrt{LC}$ 'dir. Eğer kayıplar varsa C kapasitörü sönümlü bir osilasyonla sonuçta E gerilimine ulaşacaktır. T3 tristörü ters yönde akım akmasını önleyeceğinden sadece yarım periyotluk bir osilasyon olur ve kapasitör uçlarında yaklaşık 2E kadar gerilim bulunur.

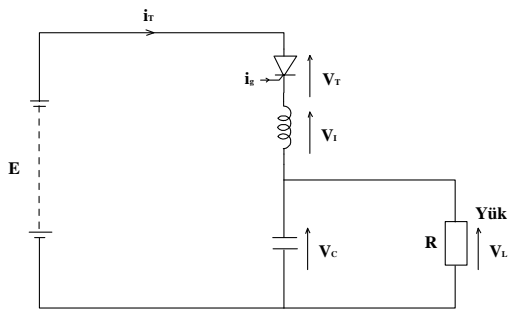
Şekil 4.6 da kapasitör doluyken T2 tetiklenirse bu, T1'i söndürür. sönüm esnasında C kondansatörü T2 aracılığıyla yük üzerinden ters polariteli olarak E kadar dolar. Bir sonraki T1 ve T3 ün tetiklenmesiyle de kondansatör osilasyonla diğer yönde $2E$ 'nin de üzerinde dolmuş olur. Bu devrenin avantajı, kondansatörün batarya geriliminden daha büyük bir değerle komütasyonu gerçekleştirmesidir. Dezavantajı ise T2 ve T3 yanlılıkla birlikte tetiklenirse batarya uçları kısa devre edilmiş olur.

Şimdiye kadar anlatılan bu devreleri seçerken Kriter: yükün tipi, anahtarlama frekansı, elemanların büyüklükleri , kayıplar ve maliyet göz önüne alınmalıdır.

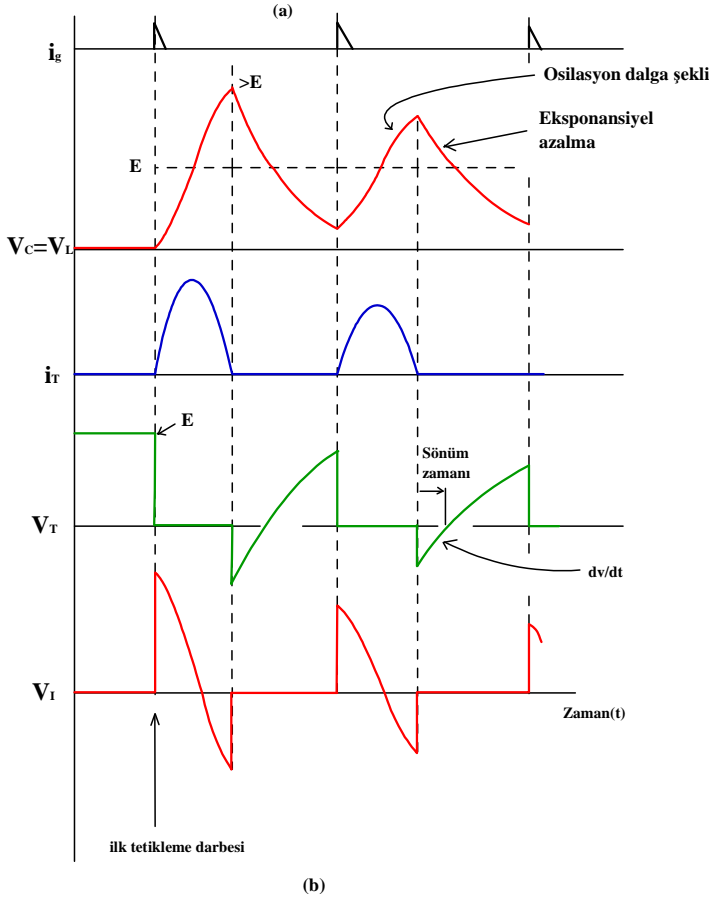
4.2 REZONANSLA SÖNÜM

Kondansatör-Bobin kombinasyonu kendinden osilasyona girme özelliği, yedek veya ikinci bir tristör gerektirmeden, iletme girdikten belli bir zaman sonra yük tristörünü söndürmede kullanılabilir.

Şekil 4.8 (a) da görülen seri rezonans devresi, tristör akımının ters yönde çevrilmesini ve sönmünün gerçekleşebilmesini sağlamak için eksik sönmümlü tasarlanmalıdır. Şekil 4.8 (b) de dalga şekilleri görülmektedir.



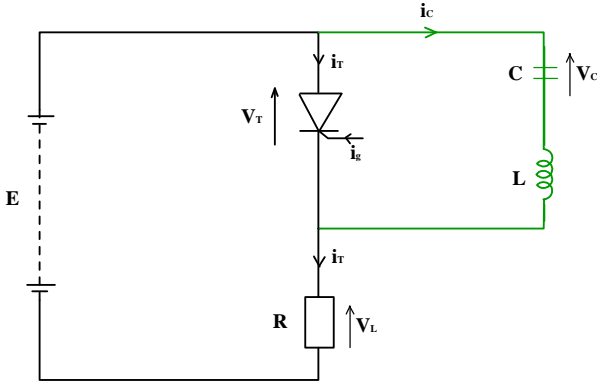
Batarya bağlandıktan sonra ilk tetikleme darbesi uygulanınca LC osilasyonu başlar. Tristör akım yönü ters dönemeyeceği için osilasyon yarım periyot devam eder ve tristör söner. Osilasyon sonunda kapasitör uçlarında yaklaşık $2E$ kadar gerilim bulunduğu için tristöre ters kutuplanmayla E kadar gerilim uygulanmış olur. Bu andan itibaren



kondansatör yük üzerinden boşalmaya başlar. Gerilimi E 'nin altına düşünce tristör uçlarında yeniden pozitif kutuplama olur. Devrede tristör iletimde kalma süresi osilasyon frekansı belirler. Kesim süresi ise yüke bağlıdır. Ancak kondansatörün gerilim değeri, E 'nin altına düşecek kadar bir süre için kesimde kalmalıdır. Aksi takdirde bir sonraki tristör tetiklemesinde osilasyon yapılamayabilir. Tristörden geçen akım incelenecek olursa ikinci tetiklenmede geçen akımın birincisinden az olduğu görülür. Bunun nedeni kondansatörün uçlarında zaten belirli bir gerilim seviyesi

bulunmuş olmasıdır.

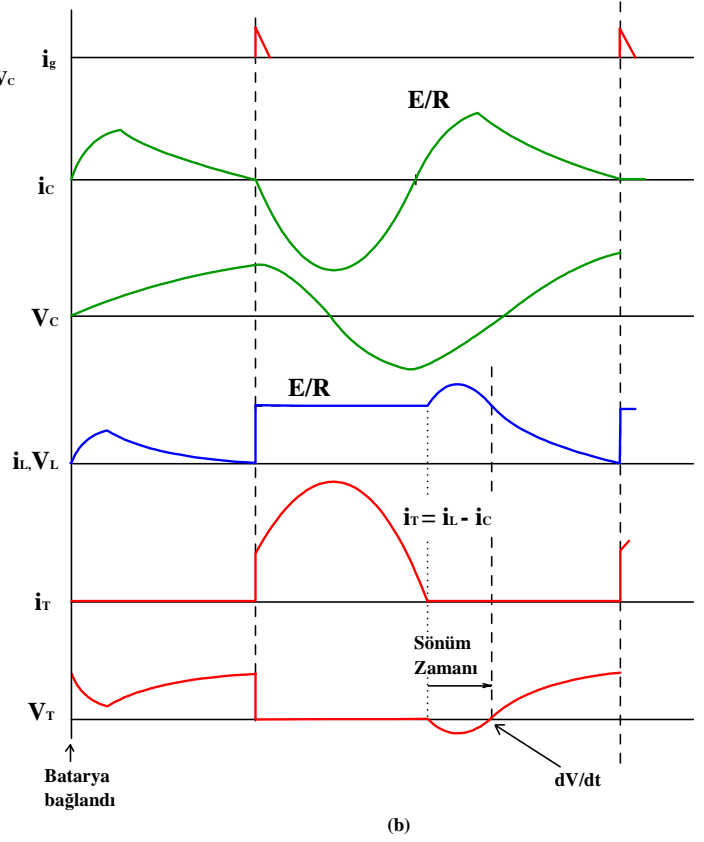
Şekil 4.9 da ise paralel rezonansla sönüm sağlayan devre görülmektedir.

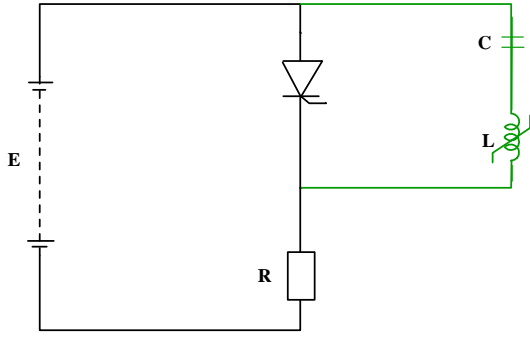


Şekil 4.9 Paralel rezonansla sönüm

Batarya bağlandığı zaman devredeki kondansatör E seviyesine kadar dolar. bu andan itibaren tristörün tetiklenmesiyle yüke gerilim uygulanmış olur, aynı zamanda LC devresinde osilasyon başlar. Osilasyon akımının yük akımından (E/R)

büyük olması durumunda tristör akımı ters dönmeye çalışacaktır ve sonuçta sönecektir. Osilasyon ilk yarı periyodunda tristör akımı artarken sonra azalmaya başlayacak ve ikinci yarısının başlarında da sıfıra düşecektir. Şekil 4.9 (b) deki dalga şekilleri LCR seri devresinin kritik sönümlü olduğu ($R^2 = 4L/C$) durumu için geçerlidir. Eğer R düşürülürse yük akımı osilasyon akımından (LC) daha büyük olabilir. R arttırılırsa, bu da kapasitörün dolma süresini arttırır. (Yani minimum sönüm süresi). Bu nedenle, bir devre sabit dirençli yükler için kullanılabilir.

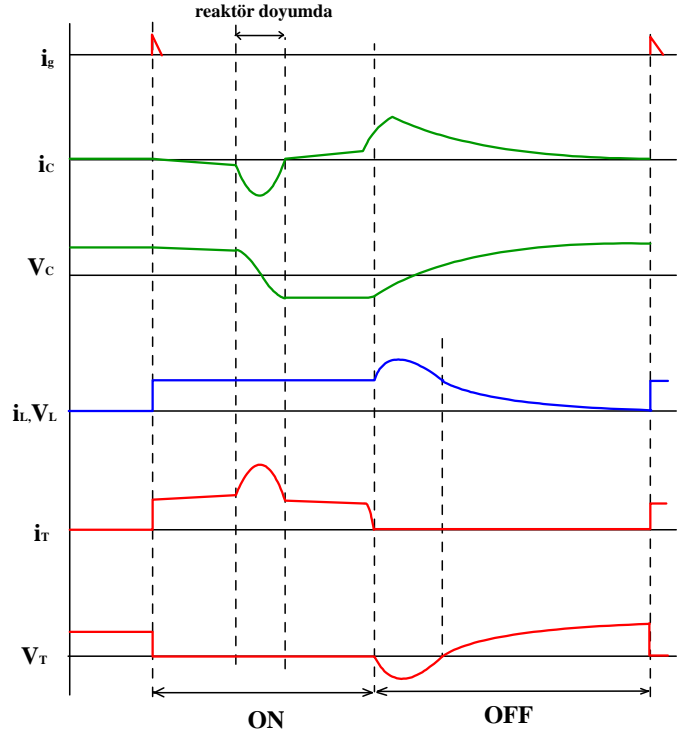




Şekil 4.10 Doyumlu reaktörlü paralel sönüm devresi

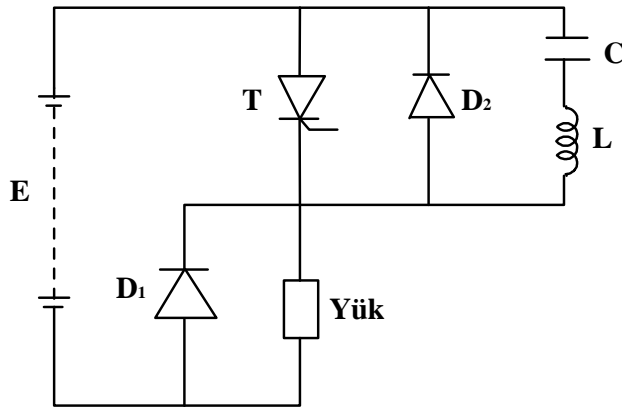
Rezonans devresi, doymaya ulaşabilen bir reaktör kullanımıyla Şekil 4.10 daki gibi geliştirilebilir. Bu reaktör demir nüveli yüksek endüktanslı bir reaktördür. Ancak doyma bölgesinde endüktansı düşüktür. Şekil 4.10 daki devrede tristör tetiklenirse

L büyük olduğu için doyma bölgesine geçene kadar yavaş bir osilasyon olur. Doyma bölgesinde L azalacağından akım birden artar ve yarım periyot devam eder. Bu akım yük akımıyla aynı yönde tristör den akar. osilasyon akımı doyma bölgesinden çıkınca yine az bir akımla devam eder ve ters yönde akmaya başlar. Bu akım yine doyma bölgesine ulaşabilirse tristörü söndürür. Bu devre ile yükün iletimde kalma süresi arttırılmış olur.

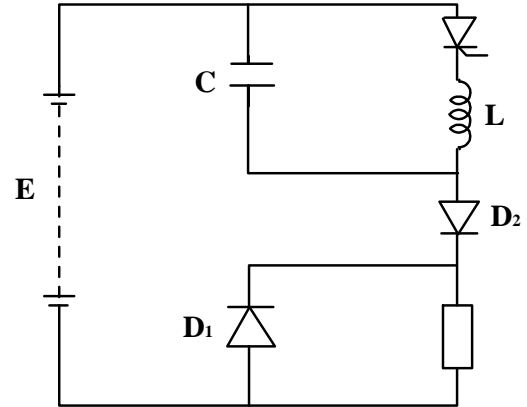


Şekil 4.11 Doyumlu reaktörlü paralel sönüm devresi şekilleri

Eğer yük endüktifse yük uçlarına Şekil 4.12 de görüldüğü gibi diyot bağlanmalıdır. Ayrıca LC osilasyon devresinin akımına yük üzerinden akmasını önlemek için LC uçlarına diyot bağlanabilir.



Şekil 4.12 Paralel rezonanslı sönüm devresi (diyotlar eklenmiş)

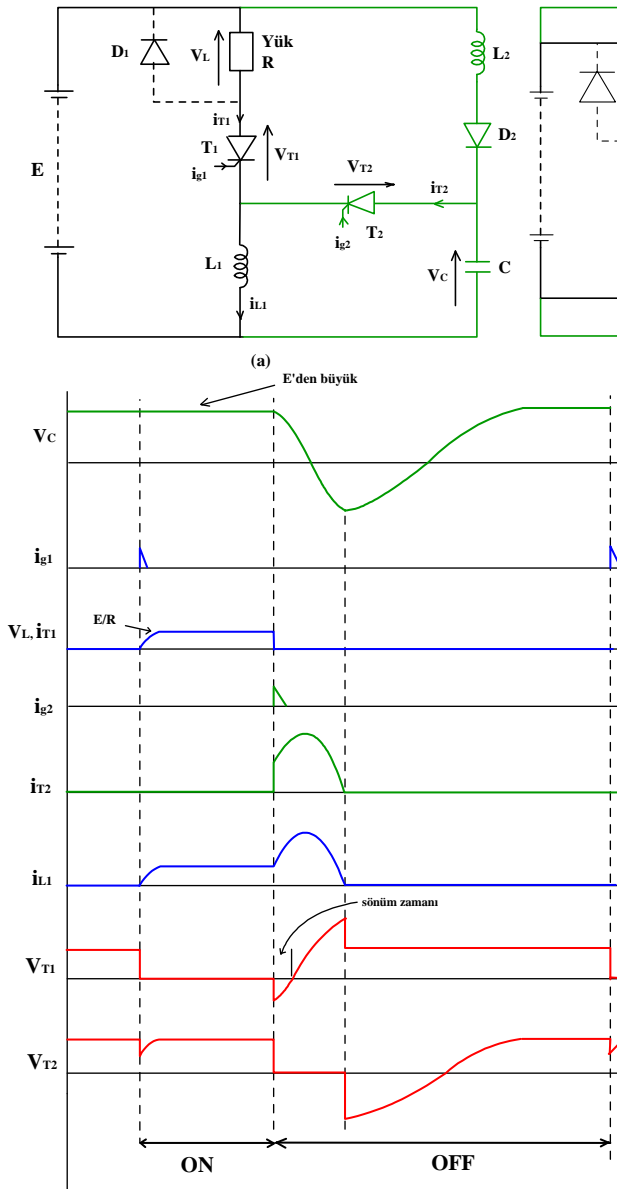


Şekil 4.13 Yüksek endüktanslı yükler için rezonans devresi

Yükün endüktans değeri Şekil 4.13 deki rezonans endüktansından çok daha büyükse, Şekil 4.13 devresini kullanmak diğer devreleri kullanmaktan daha avantajlıdır. Avantajı: L endüktansının, tristörün akım artış hızını sınırlayabilmesidir. Ayrıca tristör sönmeye giderken akımı yavaş yavaş azalacaktır, böylece tristörde ters yönde yük birikmesi az olacaktır. Devredeki D2 diyodu yük (motor) sebebiyle kapasitörün dolusunda problem oluşmasını önlemektedir. kapasitörün yük aracılığıyla dolması ise besleme kaynağından aşırı gerilim düşümü olmasını önleyecektir.

4.3 KUPLAJLI DEVRE

Yük akımını taşıyan tristör, kendisine seri bir endüktörle söndürülebilir. Bu endüktör üzerinde DC besleme gerilimine ters ve ondan daha büyük değerli bir gerilim oluşturulmalıdır. Bu gerilim tristör uçlarında ters kutuplanma meydana getirir ve yeterince uzun olursa tristör söner.

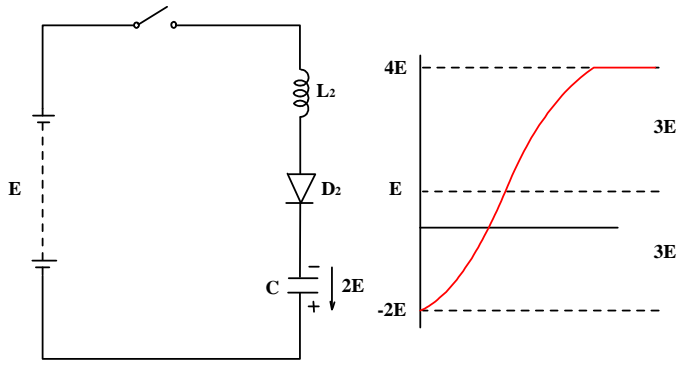


Şekil 4.14 Harici darbeye komütasyon
a) Doğrudan bağlantı b) Karşılıklı kuplajlı
c) Dalga Şekilleri

Şekil 4.14 (a) ve (b) de dolu kondansatör geriliminin endüktör aracılığıyla tristörü söndürmesine ait devreler görülmektedir. Şekil 4.14 (a) da kaynak devreye bağlanınca C kondansatörü, L2 ve D2 üzerinden

yaklaşık $2E$ kadar dolar. T1 tetiklenirse; L1 aracılığıyla yük, kaynağa bağlanmış olur. T2 tetiklenince kondansatör gerilim L1 üzerinde T1 tristörünü söndürür. L1, C rezonans devresi kondansatörü ters yönde doldurarak T2 tristörünü söndürür. Bundan sonra kondansatör, L2 ve D2 aracılığıyla yeniden T1 tristörünü söndürecek şekilde doldurulur. Bu devrede, L2 C devresinin rezonans frekansı, L1 C devresinden çok daha düşüktür. Dolayısıyla C'nin L1 üzerinden boşalması, L2 den bağımsızdır. L2, L1 den daha büyük seçilmelidir. Eğer D2 yerine, T2 söndükten sonra iletim giren bir tristör bağlanırsa L2 daha küçük seçilebilir ve "OFF" süresi azaltılabilir. Şekil 4.14 (c)

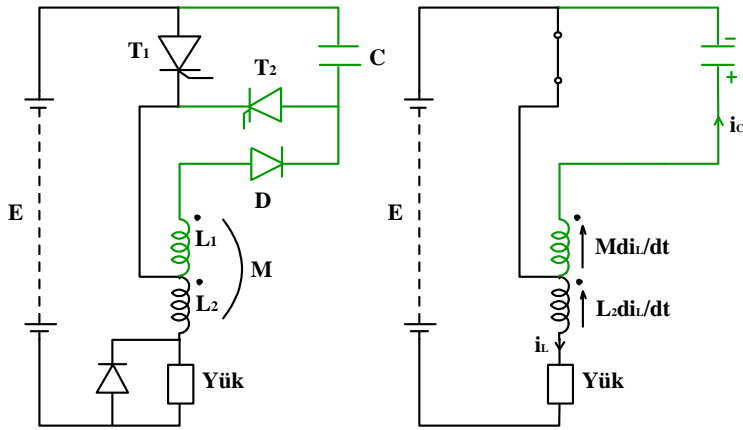
dalga şekilleri görülmektedir. Yük akımı kare dalga biçimindedir. Şekil 4.14(a) daki devrede kullanılan elemanların kayıpsız olduğu kabul edilirse her anahtarlama bir kondansatör uçlarındaki gerilim $2E$ kadar büyüyecektir. Bu durum Şekil 4.15 de görülmektedir.



Şekil 4.15 - Şekil 4.14 (a)'da T_1 'in ilk sönmüşü sonrası şartlar

L_2 , C devresindeki osilasyon $-3E, +3E$ şeklinde olacak ve sonuçta $4E$ değerine ulaşacaktır. Aslında kayıplar bu değere kadar çıkılmasını önler. T_2 uçlarına ters bağlanacak bir diyot ile bir periyotluk bir salınım sağlanarak da kapasitör gerilimi $2E$ ile sınırlandırılabilir.

Şekil 4.16'da ise kuplajlı darbe devresi görülmektedir. Bu devrede yük kaynağa bağlandığı



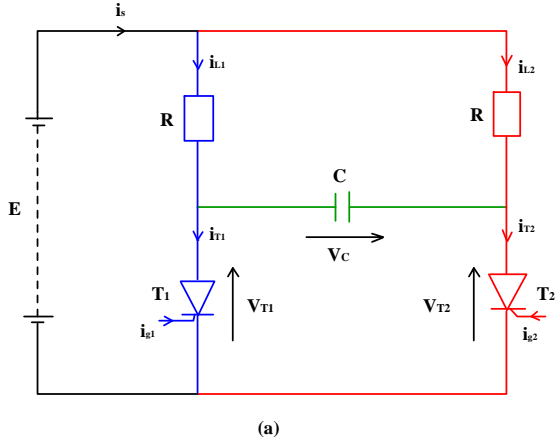
Şekil 4.16 Kuplajlı darbe devresiyle komütasyon

anda kondansatör sönm için gerekli yönde dolar. T_1 'in tetiklenmesiyle, yük akımının artışı L_2 de gerilim endükleyecek bu da karşılıklı endüktansla L_1 'de gerilim indükleyecektir. Bu gerilim, kondansatör üzerinden iç akımı geçirerek onu dolduracaktır. D diyodu da kondansatörün deşarj olmasını önler. T_2 tetiklendiğinde kondansatör, T_1 'i söndürür ve ters yönde dolar. T_1 'in bir sonraki tetiklenişiyse L_1 , C ve D üzerinde meydana gelen osilasyon kondansatörü dolduracak, bu gerilime Şekil 4.16 (b) de görüldüğü gibi $m \cdot di_L/dt$ gerilimi de katkıda bulunacaktır.

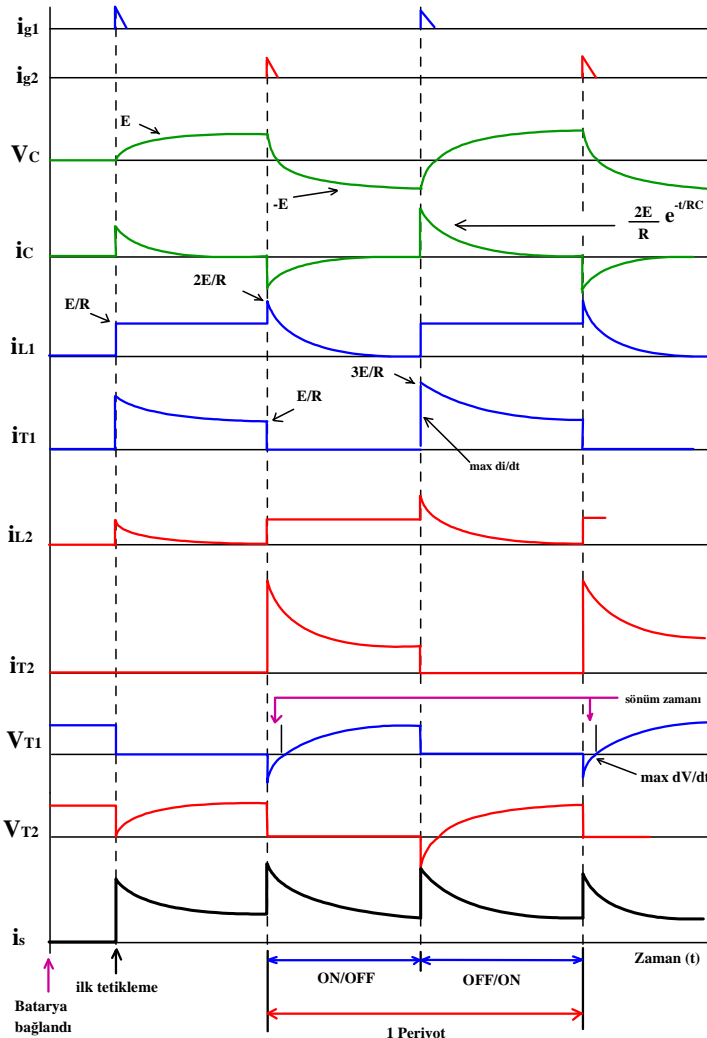
Şekil 4.16 daki kuplajlı darbe devresinin diğer iki devreye üstünlüğü yük üzerinden kapasitörün dolması ve böylece sönm için gerekli şartların garantilenmiş olmasıdır. Ayrıca yük akımı ne kadar çok olursa kapasitörün dolumu da o kadar çok olacağından, tristör sönmü için o kadar çok süre, kondansatör tarafından sağlanabilecektir.

4.4 BİR BAŞKA YÜKÜ BESLEYEN TRİSTÖR ARACILIĞIYLA KOMÜTASYON

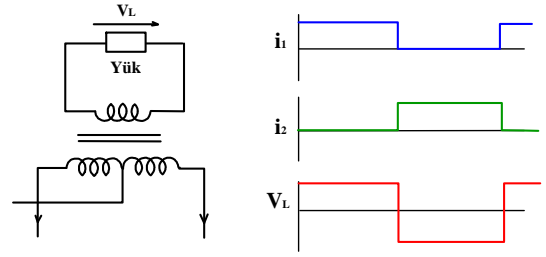
Özellikle inverterlerde bulunan çoğu devreler, yük akımını, söndürülecek tristörden uzaklaştırarak diğer yük akımı taşıyan tristör ya da diyoda transfer eden komütasyon tekniği kullanırlar. İki eşit yük arasında akımı transfer eden böyle bir devre Şekil 4.17’de görülmektedir.



T1 tetiklendiğinde bir yük kaynağa bağlanırken aynı zamanda C kondansatör diğer yük ve T1 aracılığıyla dolar. T2 tetiklendiğinde ise C kondansatör T1 ‘i söndürür ve ters yönde dolar. Bu anda T2 üzerinden diğer yük kaynağa bağlanmış olur. Bu devreden yola çıkılarak Şekil 4.18 deki basit inverter devreyi oluşturabilir.

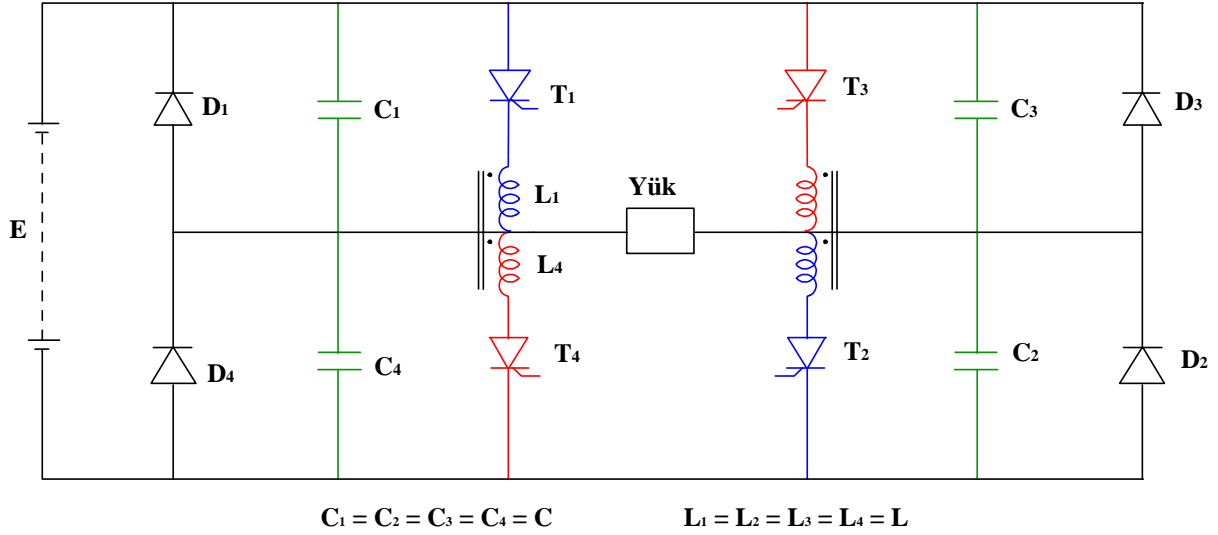


Şekil 4.17 Eşit iki yük arasında komütasyon



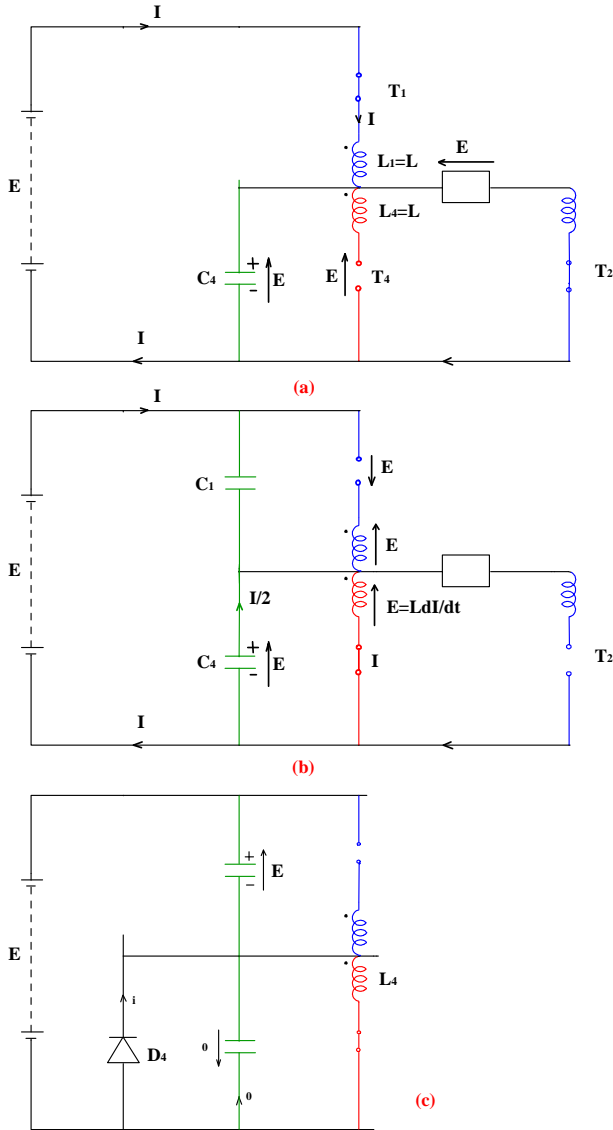
Şekil 4.18 - Şekil 4.17 (a)'nın invertere dönüştürülmesi

Bu devrede eşit zaman aralıklarıyla iki tristörün tetiklenmesi yük uçlarında AC gerilim oluşturur. Tamamlayıcı bir devre olan “McMurray-Bedford darbe komütasyonlu köprü devresi” Şekil 4.19 da görülmektedir. eğer T1 ve T2 iletimde ise yük kaynağa bağlı demektir veya T3 ve T4 iletimdeyse yük ters yönde akımgeçecek şekilde kaynağa bağlı demektir. Böylece yük uçlarında AC gerilim elde edilebilir.



Şekil 4.19 Tamamlayıcı darbe komütasyonlu köprü devresi (Mc-Murray - Bedford)

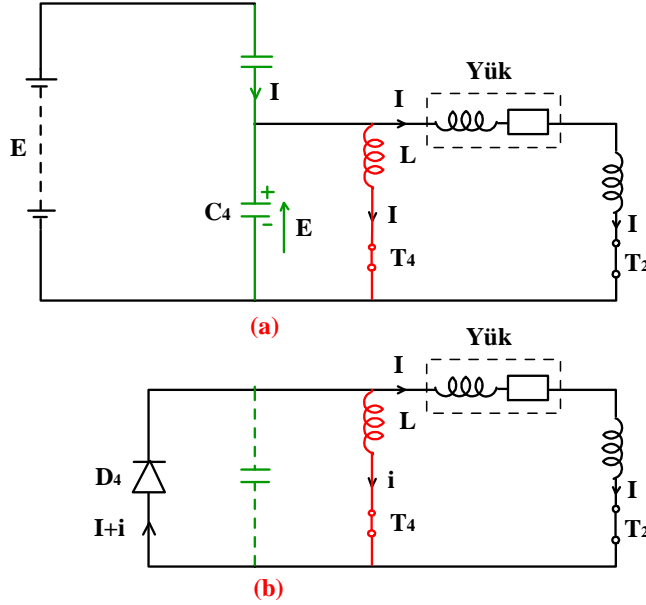
Şekil 4.19 daki komütasyonu incelersek: T1 (ve T2) iletimde ve yük akımını taşırlarken T4 tetiklenirse yük akımı T4'e transfer olarak T1 'i söndürecek. Diğer iki tristörde (T2 ve T3) bir değişiklik olmaksızın T1'in söndürülmesi, yükün kaynağtan ayrılmasına neden olur. T4'le aynı anda T3 tetiklenirse T1 ve T2 aynı anda söner ve yük ters yönde kaynağa bağlanmış olur. Şekil 4.20'de komütasyon esnasındaki olaylar görülmektedir.



Şekil 4.20 Omik yük için sönmüş şartları
a) T4 tetiklenmeden önce b) T4 tetiklendikten hemen sonra
c) Kondansatör gerilimi ters olmaya başladıktan sonra

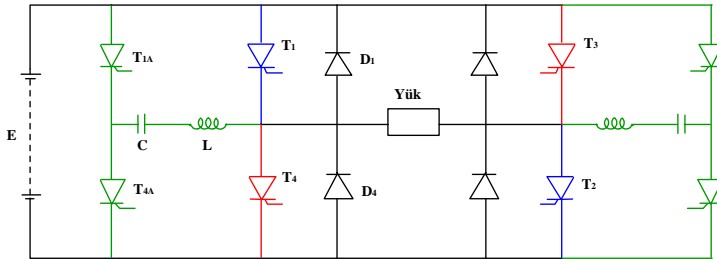
Şekil 4.20(a) da T4'ün tetiklenmesi önce şartlar bulunmaktadır. C4, E ile doludur. Endüktörde depolanan enerji $1/2LI^2$ dir. T4 tetiklenince Şekil 4.20 (b) deki şartlar gerçekleşir. C4'ün gerilimi L4 uçlarına uygulanır ve bu da L1 üzerinde E gerilimi endükler. Bu sebeple T1 ters kutuplanarak söner. Şekil 4.20 (b) deki akım dağılışı T4'ün tetiklenmesinden sonra L1, L4 teki depolanan enerjinin değişmemesi sebebiyledir. L1 den akmakta olan I akımı L4 e transfer olur, böylece $1/2LI^2$ enerji

seviyesi korunmuş olur. Omik bir yük varsayımı ile yük akımı sıfıra düşerken, I akımı eşit oranda C1 ve C4 üzerinden çekilir. C1 ve C4, L4 ile osilasyona girer. ($f=1/2\pi\sqrt{2LC}$) C4'ün gerilimi (1/2)E ye düşünce T1 pozitif kutuplanır, bu zamana kadar da T1 bloke olmuş olur. Devrede diyotlar olmasaydı, osilasyon sebebiyle C1 uçlarındaki gerilim 2E nin üzerine çıkacak ve sonuçta E seviyesine inecekti. D4 sebebiyle C4 uçlarındaki gerilim ters dönemez,



Şekil 4.21 Endüktif yük için sönüm şartları

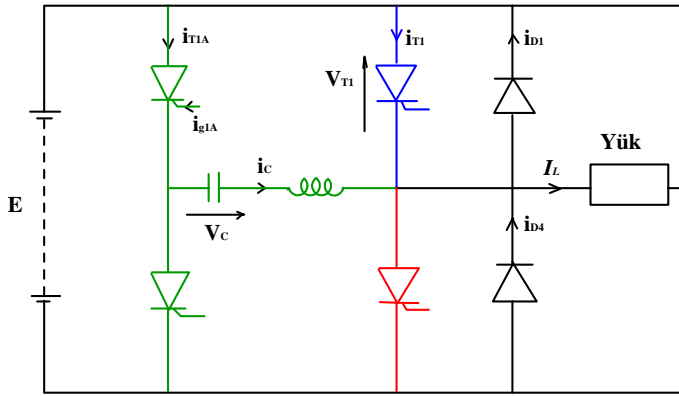
a) T4 tetiklendikten hemen sonra b) D4 diyodu iletimdeyken



Şekil 4.22 Yedek tristörlerle darbe komütasyonu

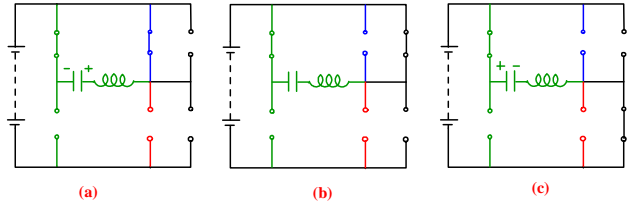
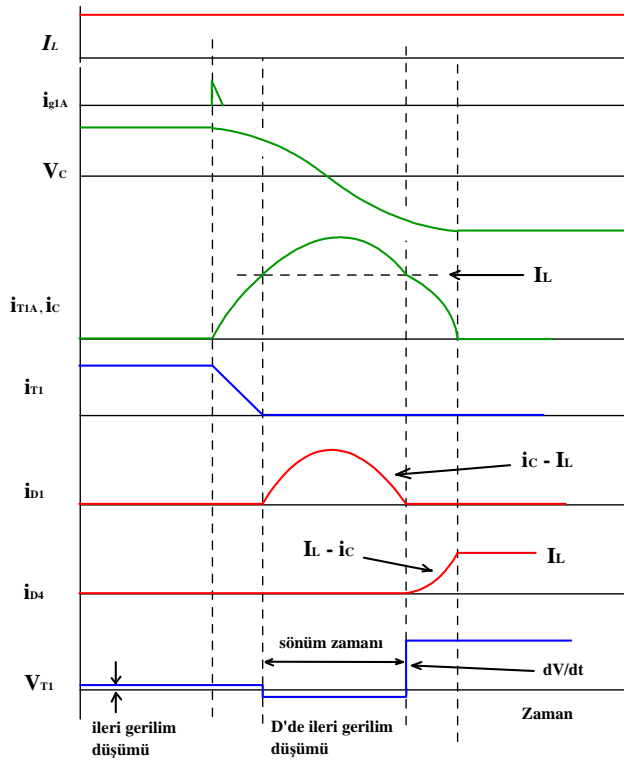
C4'ün deşarj akımı iki kat artmıştır. çünkü kondansatör hem yükün hem de T4'ün akımını sağlamaktadır. Komütasyon periyodunca yük akımının değişmediğini kabul edersek, D4 iletme geçince T4'ün akımı azalır, yük akımı da T2 ve D4 üzerinden akar, ancak yük uçlarındaki gerilim sıfırdır. (Şekil 4.21 (b))

Yukarıdaki şekilde ise LC seri devresi ve yedek tristörlerde sönümü ve akım transferi gerçekleştirilen devre görülüyor. T1 ile T2 veya T3 ile T4 iletime alınarak yük kaynağa bağlanabilir.



Devrede T1 tristör söndürebilmek için $T1_A$ 'nın tetiklenmesi gerekir. Komütasyon süresince dalga şekilleri Şekil 4.23 de görülmektedir.

Devrede komütasyon üç aşamada gerçekleşmektedir ve komütasyon süresince yük akımı sabit kalmaktadır. $T1_A$ tetiklenirse, Şekil 4.24 (a) da görüldüğü gibi CL devresi T1 ile seri olur ve kondansatör T1 üzerinden boşalır. t1 anında kondansatör akımı I_L ye eşit olur ve T1 söner

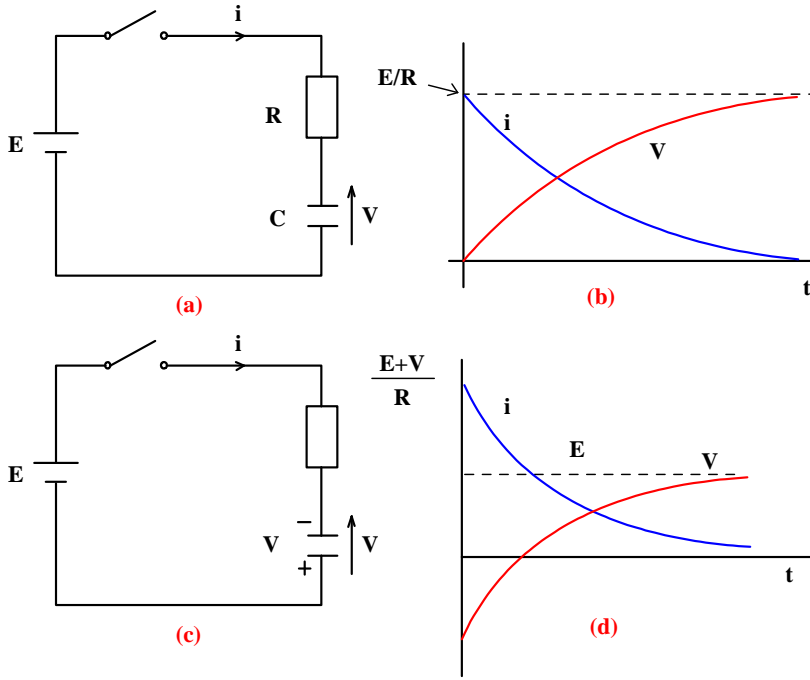


Kondansatör akımı artmaya devam eder. I_L den fazlası D1 diyodundan geçer (Şekil 4.24(b)) kondansatör gerilimi ters çevrilince, akımı yük akımının altına düşer. D1'in akımı azalır ve D4 iletme geçer. Böylece Şekil 4.24 (c) de olduğu gibi LC kaynak uçlarına bağlanmış olur.

Kondansatör, basit bir LC devresinden daha fazla bir gerilime ulaşır. Kondansatör akımı ters dönmek isteyince $T1_A$ tristörü t3 anında söner, D4 diyodu yük akımını üzerine alır.

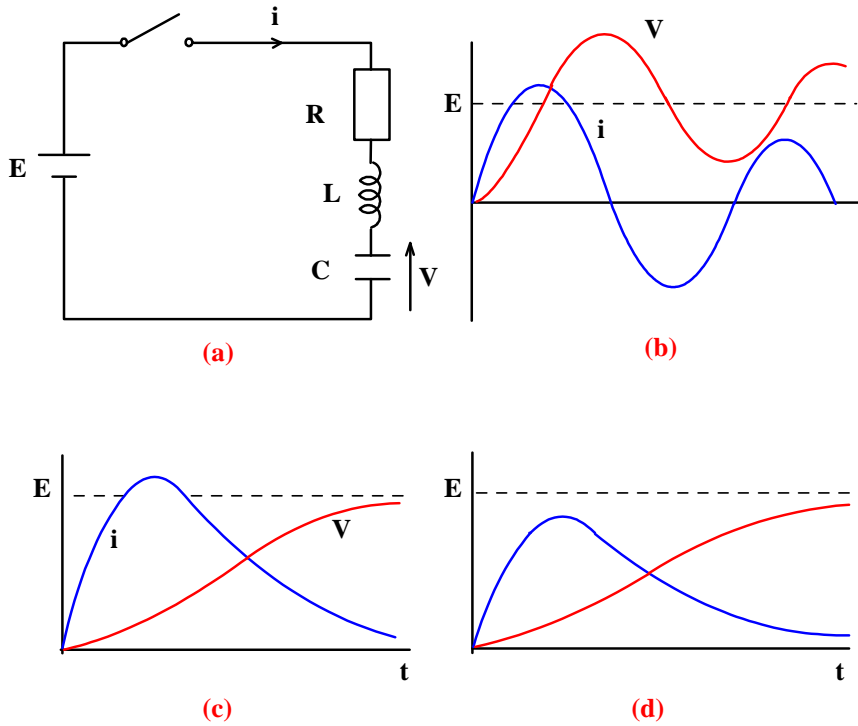
Şekil 4.23 teki şartları özetlersek I_C akımı I_L den daha büyük bir pik değere sahip olmalıdır. T1 tristörünün sönmü zamanı, D1 diyodunun iletimde kalma süresi kadardır. Bu anda tristöre uygulanan ters kuplajlama gerilimi, D1 üzerindeki gerilim düşümü kadardır. T1 uçlarındaki gerilimin değişim hızı yüksek olduğu için pratikte bu artışı D4 diyodunun daha erken akımı üzerine alması demektir, bu da C kondansatörünün daha fazla gerilimle dolması anlamına gelir. Böylece bir sonraki komütasyon daha kolay yapılabilir.

4.5 FORMÜLLERLE ÖZET



Şekil 4.25 RC devresinde dolum koşulları

Bu bölümde DC kaynağa bağlı tristörlerin sönümü ile ilgili devreler anlatılmıştır. Yükün tipine göre devre uygulamaları yer almamıştır. Devrelere R-C veya L-C kombinasyonları içerdiğinden devre davranışına uygun formüller verilecektir. R-C devresinde akım ve gerilim zamana göre değişimleri Şekil 4.25 teki gibidir. $i=Be^{-t/T}$ $v=E+ Ae^{-t/T}$ ve zaman sabiti $T=R.C$ dir



Şekil 4.26 - RLC seri devresi (ilk şartlar sıfır)
a) Devre b) az sönümlü c) kritik d) aşırı sönümlü

$t=0$ ise A ve B belirlenebilir. Şekil 4.26 da görülen RLC seri devresinin ise üç cevabı sözkonusu olabilir. Çoğu sönüm devreleri az sönümlü devrelerdir. Şekil 4.26 için eşitlikler:

$$\text{Az sönümlü } R^2 < 4L < C1 \text{ ise } i = Ae^{-\alpha t} \sin(\omega t + \delta)$$

$$d_i/d_t = A [e^{-\alpha t} \cos(\omega t + \delta) - \alpha e^{-\alpha t} \sin(\omega t + \delta)]$$

$$v = E + B e^{-\alpha t} \sin(\omega t + \delta)$$

$$d_v/d_t = A [e^{-\alpha t} \omega \cos(\omega t + K) - \alpha e^{-\alpha t} \sin(\omega t + K)]$$

$$\alpha = R/2L$$

$$\omega = [(1/LC) - (R/2L)^2]^{1/2}$$

Formüllerdeki A, B, δ ve K sabitleri $t=0$ ilk şartında belirlenebilir + ihmal edilebiliyorsa $R=0$ ve sönümsüz devre sözkonusudur.

$$i = A \sin(\omega_n t + \delta)$$

$$v = E + B \sin(\omega_n t + K)$$

$$\omega_n = (1/LC)^{1/2}$$

sönümsüz tabii frekans. Aşırı sönüm durumunda

$$R^2 > 4L/C \text{ olup}$$

$$i = Ae^{-at} + Be^{-bt}$$

$$a = (R/2L) - [(R/2L)^2 - (1/LC)]^{1/2}$$

$$b = (R/2L) + [(R/2L)^2 - (1/LC)]^{1/2} \text{ dir.}$$

A, B, C, D sabitleri yine $t=0$ şartından belirlenebilir. Kritik sönümlü durum için

$$R^2 = 4L/C1 \text{ ise}$$

$$i = e^{-\alpha t}(At + B)$$

$$v = E + e^{-\alpha t}(Ct + D)$$

$\alpha = R/2L$ olup $t = 0$ dan A,B,C ve D belirlenebilir.