

OTOMATİK KONTROL FORMLARI

Otomatik kontrol döngüsünde kontrol edici blok yerine yerleştirilecek herhangi bir kontrol cihazı set değeri etrafında çalışması gereken hassasiyette sistemi kontrol etmelidir. Prosesin gerektirdiği hassasiyetle çalışacak, hatayı gereken oranda minimuma indirecek çeşitli kontrol formları vardır. Bunlar;

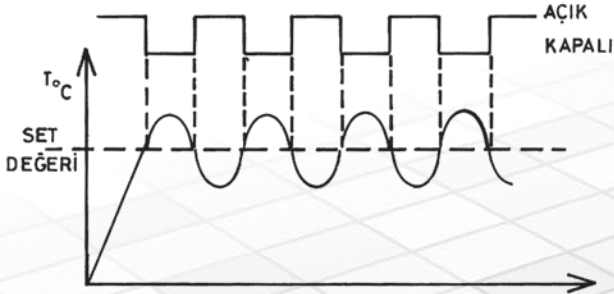
- 1) Açık-kapalı (on-off) kontrol
- 2) Oransal kontrol (P)
- 3) Oransal + Integral kontrol (P+I)
- 4) Oransal + Türevsel kontrol (P+D)
- 5) Oransal + Integral + Türevsel kontrol (P+I+D)
- 6) Zaman oransal (time proportioning) kontrol formlarıdır.

■ AÇIK-KAPALI KONTROL (ON-OFF)

Açık-kapalı kontrol cihazı set değeri üstünde veya altında ayar değişkenini açar veya kapatır. Kontrol cihazının çıkışı iki konumdadır; ya tamamen açık, ya da tamamen kapalıdır. Örneğin ayar değişkeni elektrik enerjisi olan sistemde kontrol cihazı, set değerinin altında elektrik enerjisini sisteme tamamen verir, set değerinin üstünde ise tamamen keser veya tam tersi düşünülebilir.

Açık-kapalı kontrolde kontrol altında tutulan değişken örneğinin sıcaklık, sürekli salınım halindedir. Set değerinin etrafında salınır. Bu salınım tepeden tepeye değişim ve salınım sıklığı proses karakteristiklerine bağlıdır. Şekil 1'de açık-kapalı kontrol cihazı ile kontrol edilen bir sistemin sıcaklık-zaman eğrisi görülmektedir.

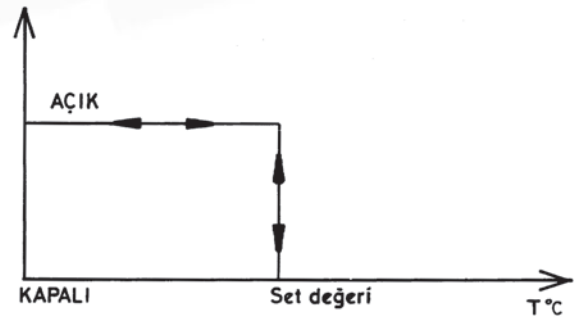
Şekil 1: Açık-kapalı kontrol (ideal)



Bu tip kontrolün ideal transfer eğrisi Şekil 2'de görülmektedir

Şekil 2: İdeal açık-kapalı kontrol transfer eğrisi

Ancak pratikte, endüstriyel sistemlerde bu tip ideal bir açık-kapalı kontrol sistemi kullanılmaz. Prosesdeki bozucu faktörler ve elektriksel gürültü nedeniyle, set değeri geçişleri bu şekilde tek noktada olacak olursa sistem osülasyona geçer ve devamlı set değeri etrafında sık aralıklı açma kapama yapar. Özellikle bu

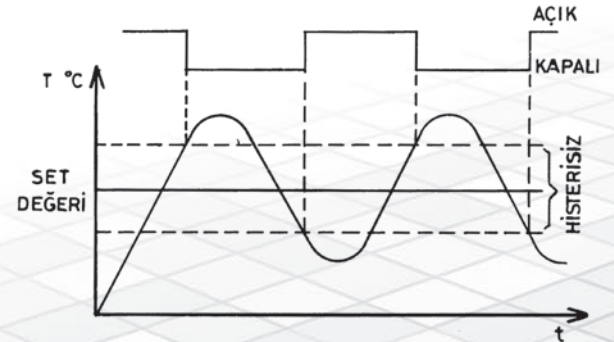


durum son kontrol elemanlarının çok kısa sürede tahrip olmasına sebep olur. Bu durumu önlemek için set değeri geçişlerinde "histerisiz" ya da sabit band oluşturulur.

Şekil 3'te histerisizli ya da sabit bantlı açık-kapalı kontrol eğrisi görülmektedir.

Şekil 3: Histerisizli açık-kapalı kontrol eğrisi.

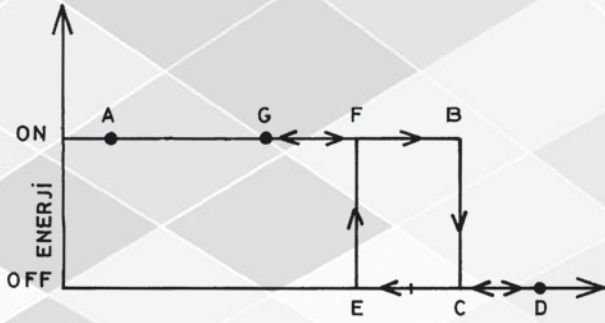
Bu eğriden de anlaşılacağı üzere sıcaklık yükselirken, set değerini geçtiği anda enerji kesilmez, belli bir değer kadar yükselir ve o sabit değerden sonra kapanır. Sıcaklık düşmeye başlar, set değerine geldiği anda enerji açılmaz, set değerinin etrafında sabit bir sıcaklık bandı vardır. Bu bandın genişliği ya da darlığı tamamen prosesin gerektirdiği kadar olmalıdır.



Şekil 4 ise histerisizli açık-kapalı kontrol formu transfer eğrisini göstermektedir.

Şekil 4: Histerisizli açık-kapalı kontrol transfer eğrisi.

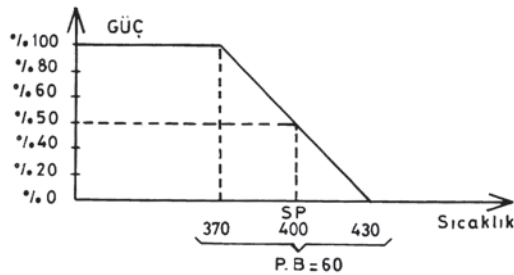
Isıtıcıya enerji verilmesine müteakip sıcaklık yükselmeye başlar. G,



F ve set değerinde herhangi bir değişiklik olmayacaktır. Sıcaklık B noktasına geldiğinde ısıtıcının enerjisi kesilecektir. C noktasından, D noktasına kadar sıcaklık kendi kendine bir miktar yükselip tekrar düşecek, C noktasında ve set değerinde ısıtıcı kapalı, ancak E noktasının altına düştüğü anda ısıtıcının enerjisi verilecektir. F noktasından G noktasına kadar sıcaklık, ısıtıcı açık olmasına rağmen kendi kendine düşüşe devam edip, G noktasından sonra tekrar bir önceki şekilde kontrol fonksiyonuna devam edecektir. Burada sabit band F ve B veya E ve C arasındaki sıcaklık fark değeridir. Hernekadar açık-kapalı kontrol formu sıcaklık değişkeni ile incelendiyse de sıcaklık değişkeni yerine basınç, seviye, debi gibi değişkenler de düşünülebilir. Sistemlerde en yaygın olarak açık-kapalı kontrol kullanılmasına rağmen bu kontrol formunun yeterli olmadığı proseslerde bir üst kontrol formu olan oransal kontrole geçilir.

ORANSAL KONTROL (PROPORTIONAL CONTROL)

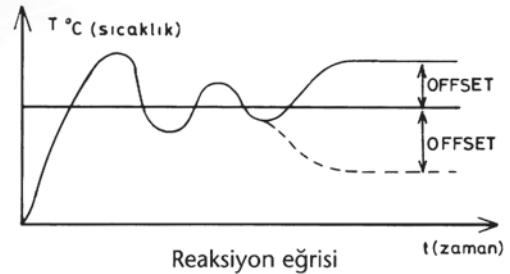
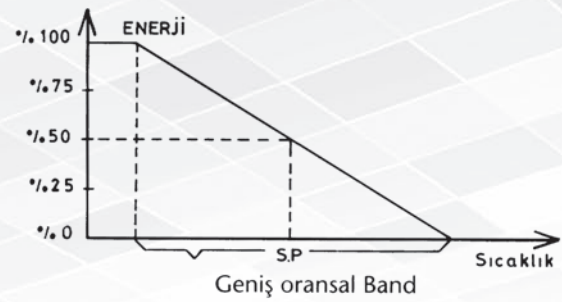
Oransal kontrol cihazı prosesin talep ettiği enerjiyi sürekli olarak ayar değişkenini ayarlayarak verir. Gerekse ihtiyaç duyulan enerji ile sunulan enerji arasında bir denge vardır. Elektrik enerjisi kullanılarak ısıtma yapılan bir süreçte, oransal kontrol cihazı ısıtıcının elektrik enerjisini prosesin sıcaklığını set edilen değerde tutabilecek kadar, prosesin gereksinim duyduğu kadar verir. Enerjinin %0'dan %100'e kadar ayarlanabildiği, oransal kontrol yapılabilen sıcaklık aralığına ORANSAL BAND denir. Genel olarak oransal band, cihazın tam skala (span) değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanır ve set değeri etrafında eşit olarak yayılır. Örneğin 1200°C'lik skalası olan bir cihazda %5'lik bir oransal band demek $0.05 \times 1200^\circ\text{C} = 60^\circ\text{C}$ 'lik bir sıcaklık aralığı demektir. Bu 60°C'lik aralığın 30°C'si set değerinin üzerinde 30°C'si set değerinin altında



Şekil 5: Oransal kontrol cihazı transfer eğrisi

yer alır ve kontrol cihazı 60°C'lik aralıktaki oransal kontrol yapar. Oransal kontrol cihazı transfer eğrisi Şekil 5'te görülmektedir. Set değeri 400°C'ye ayarlanan, %5 oransal band verilen bir oransal kontrol cihazında 370°C ve 430°C'ler bandın uç noktalarıdır. Kontrol cihazı düşük sıcaklıklardan başlamak üzere 370°C'ye gelinceye kadar ısıtıcılara %100 enerji verilir, yani enerji tamamen açıktır. 370°C'den itibaren set değeri olan 400°C'ye kadar sıcaklık yükselirken ısıtıcıya verilen enerji yavaş yavaş kısılır. Set değerinde sisteme %50 enerji verilir. Eğer sıcaklık set değerini geçip yükselmeye devam edecek olursa 430°C'ye kadar

enerji giderek kısılır ve 430°C'nin üzerine geçtiği takdirde artık enerji tamamen kapatılır. Yani sisteme %0 enerji verilir. Sıcaklık düşüşünde anlatılanların tam tersi olacaktır. Oransal band örneğin %2'ye düşürüldüğü takdirde; $0.02 \times 1200^\circ\text{C} = 24^\circ\text{C}$ 'nin yarısı olan 12°C üstte ve 12°C altta olmak üzere köşe noktaları 412°C ve 388°C olacaktır. Değişik proseslerde ve değişik şartlarda duruma en uygun oransal band seçilerek oransal kontrol yapılır. Aynı sistemde geniş ve dar, iki farklı oransal banda örnek alalım. Şekil 6'da geniş oransal band seçilmiştir. Bu seçilen banda göreceli olarak reaksiyon eğrisi verilmiştir.



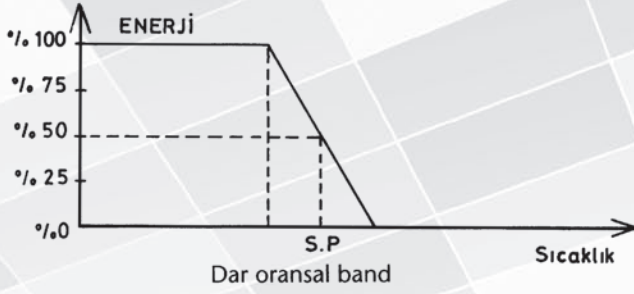
Şekil 6: Geniş oransal band ve reaksiyon eğrisi.

Geniş seçilmiş bandda, küçük oranda enerji artışı büyük sıcaklık artışına sebep olur veya, küçük oranda enerji düşüşüne sebep olur. Şekil 7'de seçilen dar oransal bandda ise küçük bir sıcaklık artışı veya düşüşü sağlamak için büyük oranda enerji düşüşü yapmak gerekir. Bu bandı giderek daraltıp sıfırlayacak olursak, bu takdirde oransal kontrol cihazı açık kapalı kontrol cihazı gibi çalışacaktır. "Oransal band" birçok süreçte tam skala değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanıp yaygın olarak kullanılıyorsa da yine bazı süreçlerde "kazanç" tanımı kullanılmaktadır.

Oransal band ve kontrol cihazı kazancı arasındaki bağlantı aşağıdaki gibidir.

$$\text{Kazanç} = \frac{\% 100}{\% \text{ Oransal Band}}$$

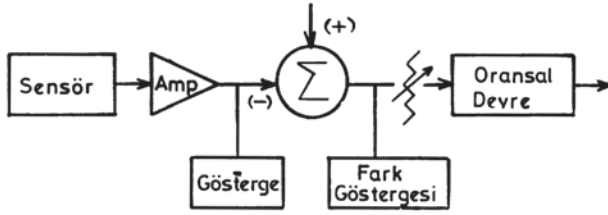
Böylece görüldüğü gibi oransal band daraldıkça kazanç artmaktadır.



Reaksiyon eğrisi

Şekil 7: Dar oransal band ve reaksiyon eğrisi.

Oransal kontrolü blok şemalar ile açıklayacak olursak,



Şekil 8: Oransal kontrol blok şeması

Şekil 8'de görüldüğü üzere, sensör yardımıyla algılanan sıcaklık sinyali ortam sıcaklık kompensasyonu yapıldıktan sonra yükseltici bir devreden geçerek set değeri ile karşılaştırılır. İkisi arasındaki fark alınarak hata değeri veya fark değeri bulunur. Eğer bu değer pozitif ise proses, set değerinin altındadır. Negatif ise proses set değerinin üzerindedir. Fark sıfır ise proses set değerindedir.

Fark değeri oransal kontrol devrelerinden geçerek uygun çıkış formuna gelir. Fark değeri sıfır olduğu anda oransal çıkış %50'dir. Yani set değerinde çalışıyor demektir. %50'lik çıkışı koruyup prosesi tam set değerinde tutmak zordur. Denge durumuna gelinceye kadar sıcaklık değişimi olması, hatta sıcaklık değeri ile set değeri arasında belli bir fark kalması oransal kontrolün en belirgin özelliğidir.

Set değeri ile sistemin oturduğu ve sabit kaldığı sıcaklık arasındaki farka off-set denir. Off-set'i azaltmak için oransal band küçültülebilir. Ancak, daha önce de belirttiği gibi oransal band küçüldükçe, açık-kapalı kontrollerle yaklaşıldığı için set değeri etrafında salınımlar artabilir. Geniş oransal bandda off-set'in büyük olacağı düşünüldükçe prosese en uygun oransal bandın seçilmesi gerekir. Şekil 6 ve Şekil 7, geniş ve dar oransal bandın göreceli karşılaştırılmasıdır.

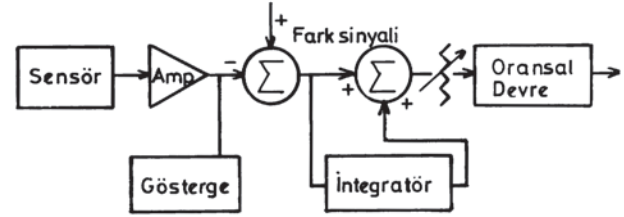
Sıcaklık yükselir, bir kaç kere set değeri etrafında salınım yaptıktan sonra set değerinin üzerinde veya altında sabit bir sıcaklık farkı ile gelip oturur. Off-set artı veya eksi olabilir. Bir proseste tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra örneğin artı oluşan

off-set değeri proseste birkaç küçük değişiklik olması ile eksi değere gidebilir veya artı olarak yükselebilir.

ORANSAL+İNTEGRAL KONTROL (PROPORTIONAL+INTEGRAL)

Oransal kontrolde oluşan off-set, manuel veya otomatik olarak kaldırılabilir. Otomatik resetleme için kontrol cihazı, elektronik integratör devresi kullanılır. Ölçülen değer ile set edilen değer arasında fark sinyalinin zamana göre integrali alınır. Bu integral değeri, fark değeri ile toplanır ve oransal band kaydırılmış olur. Bu şekilde sisteme verilen enerji otomatik olarak artırılır veya azaltılır ve proses sıcaklığı set değerine oturtulur. İntegratör devresi gerekli enerji değişikliğine set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark kalmayınca kadar devam eder. Fark sinyali sıfır olduğu anda artık integratör devresinin integralini alacağı bir sinyal söz konusu değildir. Herhangi bir şekilde bazı değişiklikler olup, sıcaklık değerinden uzaklaşacak olursa tekrar fark sinyali oluşur ve integratör devresi düzeltici etkiyi gösterir. Şekil 9'da oransal+integral kontrol formu blok şema halinde verilmektedir. Ayrıca off-seti kalkmış reaksiyon eğrisi de verilmektedir.

Oransal+İntegral kontrolün en belirgin özelliği sistemin sıcaklığı ilk başlatmada set değerini geçer, önemli bir miktar yükselme yapar (overshoot). Set değeri etrafında bir-iki salınım yaptıktan sonra set değerine oturur.



Şekil 9: Oransal+İntegral kontrol blok şeması



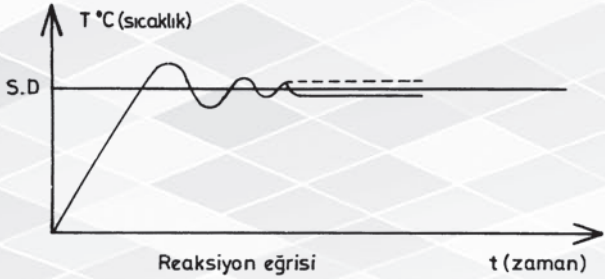
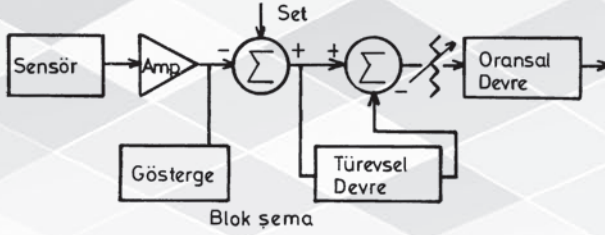
ORANSAL+TÜREVSEL KONTROL (PROPORTIONAL+DERIVATIVE)

Oransal kontrolde oluşan off-set oransal + türevsel kontrol ile de kaldırılmaya çalışılabilir. Ancak türevsel etkinin asıl fonksiyonu overshoot-undershoot'ları azaltmaktır. Overshoot ve undershootlar azalırken bir miktar off-set kalabilir. Oransal+Türevsel kontrolde set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark sinyali, elektronik türev devresine gider.

Türevi alınan fark sinyali tekrar fark sinyali ile toplanır ve oransal devreden geçer. Bu şekilde düzeltme yapılmış olur.

Şekil 10, blok şema haline oransal + türevsel kontrolü göstermektedir. Ayrıca Şekil 9'da göreceli olarak reaksiyon eğrisi verilmektedir. Görüldüğü gibi overshoot ve undershootlar daha azdır.

Türevsel etki düzeltici etkisini hızlı bir şekilde gösterir. Banyo tipi proseslerde yani daldır-çıkart gibi uygulamalarda hızlı değişimlere ayak uydurmak üzere PD seçilebilir. Sürekli tip uzun süreli fırın ya da proseslerde ve off-set arzu edilmeyen hallerde PI tip seçilebilir. Uygulayıcı birçok faktörü göz önüne almalıdır.

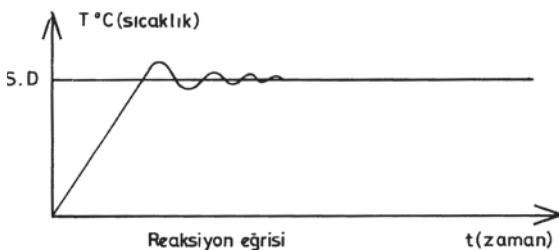


Şekil 10: Oransal+Türevsel kontrol blok şema ve reaksiyon eğrisi

ORANSAL+INTEGRAL+TÜREVSEL KONTROL (PROPORTIONAL+INTEGRAL+DERIVATIVE)

Kontrolü güç, karmaşık sistemlerde oransal kontrol, Oransal+Türevsel, Oransal+İntegral kontrolün yeterli olmadığı proseslerde Oransal+İntegral+Türevsel kontrol tercih edilmelidir. Kısaca bu kontrolü tanımlayacak olursak; oransal kontrolde oluşan off-set oransal+integral kontrol ile giderilir. Ancak, meydana gelen overshoot'lar bu kontrola türevsel etkinin de eklenmesi ile minimum seviyeye indirilir veya tamamen kaldırılır. Şekil 11'de Oransal-İntegral-Türevsel kontrolün diğer şekillerde verilen reaksiyon eğrilerine göreceli olarak reaksiyon eğrisi verilmektedir. Dikkat edilecek olursa diğerlerine nazaran hemen hemen yok denecek kadar az overshoot ve undershoot ve off-set kaldırılmış durumdadır.

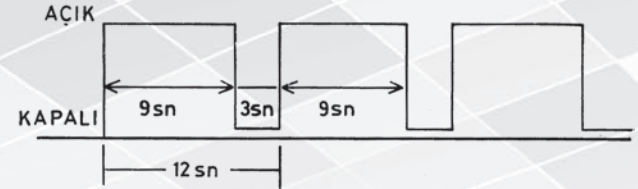
P, I, D parametrelerinin iyi ayarlanıp ayarlanmamasına bağlı olarak elde edilen kontrol eğrisi değişebilir.



Şekil 11: Oransal+İntegral+Türevsel kontrol reaksiyon eğrisi.

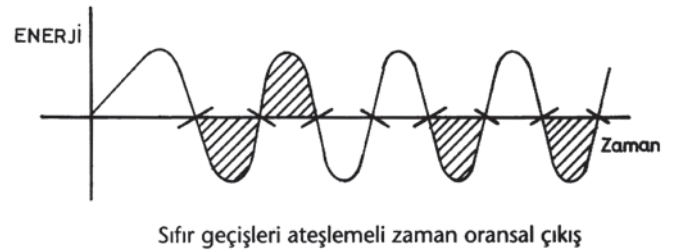
ZAMAN ORANSAL KONTROL (TIME PROPORTIONING CONTROL)

Oransal kontrol formları içinde özellikle elektrik enerjisi ile çalışan sistemlerde en yaygın kullanılan kontrol formlarından olan zaman oransal kontrolde enerji yüke belli bir periyodun yüzdesi olarak verilir. Şekil 12'de görüldüğü gibi 12 saniyelik bir periyotta sisteme 9 saniye enerji veriliyor, 3 saniye kesiliyor. Bunun anlamı sisteme 12 saniyelik periyodun %75'inde enerji veriliyor, %25'inde kesiliyor demektir.



Şekil 12: Zaman oransal kontrol

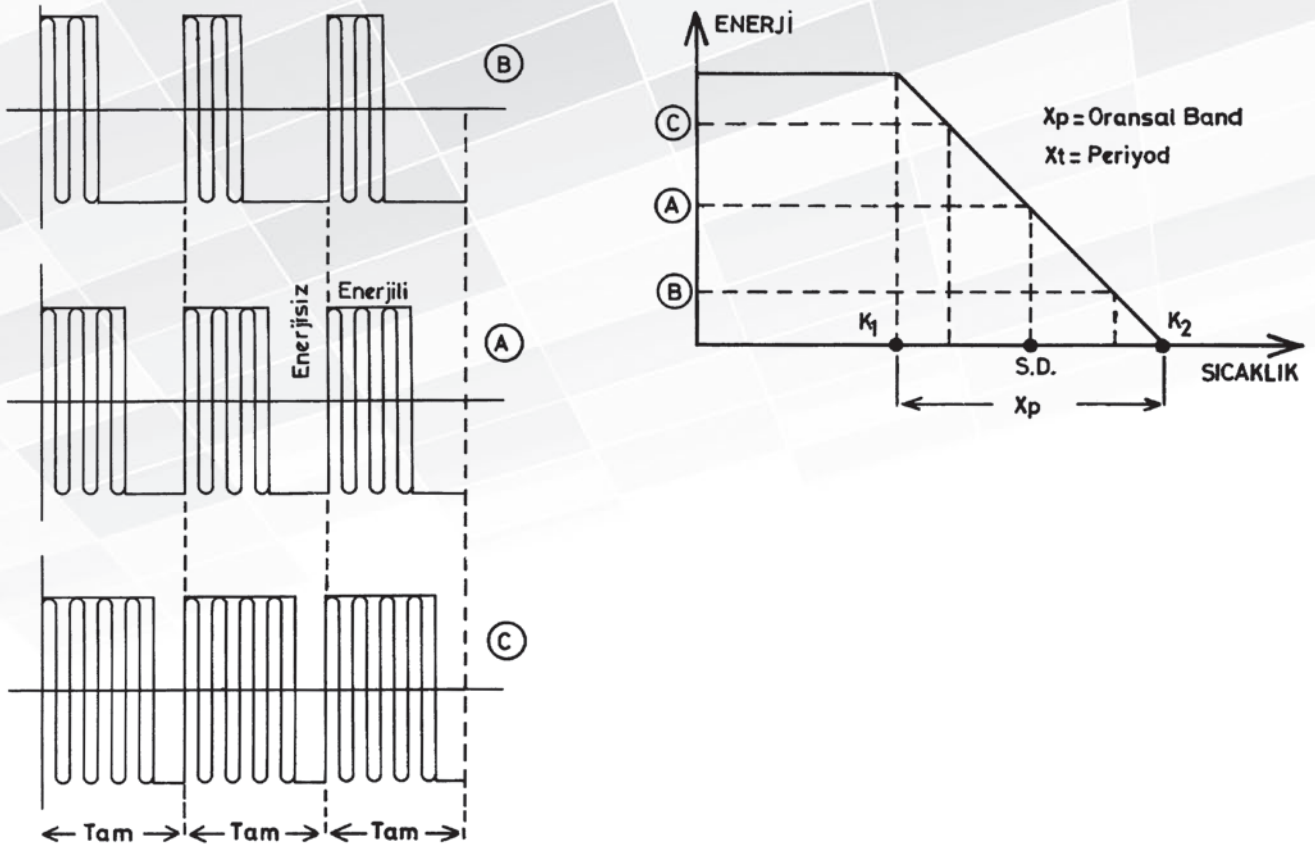
Bu tip çıkış en uygun biçimde, son kontrol elemanı kontaktör veya triak, tristör olan proseslerde görülür. Triak, tristör son kontrol elemanı olarak kullanıldığı zaman enerji kesilip verme süreleri çok küçük aralıklara kadar indirilebilir. Bu süre 50 Hz'lik şehir gerilimi periyodu altında düşecek olursa rastgele bir ateşleme, güç problemleri doğuracaktır. Bu yüzden, ateşleme sıfır geçişlerinde yapılır. Şekil 13 "sıfır geçişi ateşleme" prensibine uyulmadan kesilen sinüzoidal dalgayı göstermektedir.



Şekil 13: Zaman oransalda iki tür ateşleme

Şekil 14'te zaman oransal kontrol formu anlatılmaktadır. Şöyle ki: zaman oransalda X_p parametresi olarak bir oransal band saptanır. Ayrıca X_t parametresi olarak bir periyod saptanır. Kontrol cihazı set edilen değere geldiğinde seçilen X_p oransal band içinde yine seçilen X_t periyodunun %50'sinde sisteme enerji verir, diğer %50'sinde enerjiyi keser. Yani tüm set değerlerinde enerji %50 olarak yüke sürülür. Şekil 14'te A noktası. Sistemde set değerinin üzerine doğru yüksetilecek olur ise enerjinin gidilerek kısılması başlar yani sisteme daha az enerji verilir. Aynı X_p oransal bandda ayarlanan X_t periyodunun küçük bir aralığında enerji yüklenir. B noktası örnek gösterilebilir. Sistem set değerinin altına düşecek olur ise bu takdirde daha çok süreli enerji verilmelidir. Bu işlem yine aynı X_p ve X_t parametreleri için de otomatik olarak yapılır. Örneğin C noktasında ayarlanan X_t periyodunun daha uzun süresinde sisteme enerji verilir.

K_1 ve K_2 noktaları alt ve üst limitlerdir. Bu limitler arası seçilen X_p oransal banddır. K_1 'in altında sisteme enerji %100 verilir, K_2 'nin üstünde enerji komple kesilir. Arzu edilen bir kontrol sağlanabilmesi için X_p ve X_t ayarları iyi yapılmalıdır.



Şekil 14: Zaman oransal kontrol formu