

Osilatörlerde Gürültü

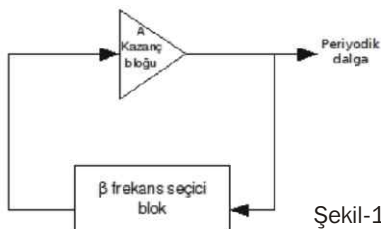
Elk. Elo. Müh. Şebnem Seçkin
Elektronik Meslek Dalı Komisyonu
sebnem.seckin@emo.org.tr

Osilatör Nedir?

Osilatör (elektriksel osilatör) DC gücü AC dalga şekline çeviren bir doğrusal olmayan devredir. Çıktıdaki AC dalga şekli sinüs, kare veya üçgen gibi çeşitli dalga şekillerinde olabilir. Geri beslemeyle çalışan osilatörler, hiçbir giriş almadan çıkışlarında periyodik dalgalar üretir. Osilatörler FM ve AM alıcı ve vericilerde, radyo, telsiz ve televizyon gibi iletişim araçlarında, radar ve kontrol sistemleri gibi bir çok alanda kullanılırlar. Zamanlama, senkronizasyon işlemlerindeki temel bileşendir.

Osilatörlerin Çalışma Prensibi

Osilatörlerin blok şeması Şekil 1'de görüldüğü üzere iki önemli bloktan oluşmaktadır: Kazancı A olarak verilmiş kazanç bloğu ve geri besleme üzerindeki frekans seçici blok. Frekans seçici blok "rezonatör" devresi olarak da adlandırılır. Şekilden de görüldüğü üzere sisteme herhangi bir giriş olmaksızın, çıkışın sisteme pozitif geri beslemesi ile osilasyon elde edilir.



Şekil-1

Şekil 1'deki sistemin transfer fonksiyonu

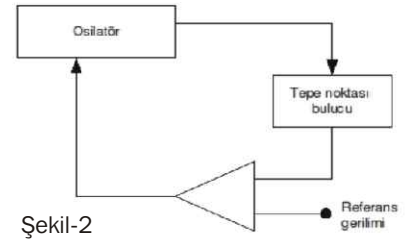
$$A_f = \frac{A(j\omega)}{1 - A(j\omega)\beta(j\omega)}$$

olarak ifade edersek, açık çevrim kazancı ifadesi de olur. Eğer açık çevrim kazancını, yani transfer fonksiyonunun paydasını bir şekilde sıfıra götürebilsek, girişe bir şey uygulamadan çıkış elde edilebilir. Bu durumda osilasyon gerçekleşebilmesi için iki kriterin sağlanması gerekir.

1. Açık çevrim kazancı 1
2. Açık çevrim fazı 0° veya 2π 'nin katı olmalıdır.

Bu kriterler **Barkhausen kriterleri**[1] olarak da adlandırılır. Bu noktada osilasyonun başlaması için de küçük genlikli bir gürültü yeterli olacaktır.

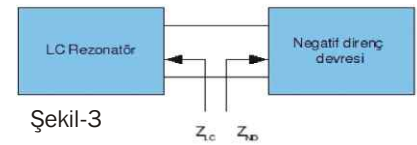
Transfer fonksiyonunun, açık çevrim kazancınının 1 olması durumunda sonsuza gittiği görülmektedir. Bu noktada çıkışın sonsuz genlikte olamayacağı aşikardır. Bu da doğal olarak her osilatörün kendiliğinden genlik limitleme mekanizmasının olduğu sonucunu doğurur. Bunun dışında osilasyonu tasarımcının istediği genlikte tutabilmek için genlik limitleyici mekanizmalar dizayn edilebilir. Şekil 2'de bir karşılaştırıcı ile en temel düzeyde genlik sınırlayıcı mekanizma görülebilir.



Şekil-2

Negatif Direnç Osilatörü

Geri beslemeli osilatörlere alternatif olarak negatif direnç osilatörleri gösterilebilir. Bilindiği üzere en temel osilatör tipi endüktans ve kondansatörden oluşan LC tipi seri veya paralel bağlantılı osilatörlerdir. Bu mekanizma elbette kayıpsız değildir; endüktans ve kondansatörün iç direncinden ötürü osilasyonun sönümlenmesi veya osilasyonun hiç gerçekleşmemesi söz konusu olabilir.



Şekil-3

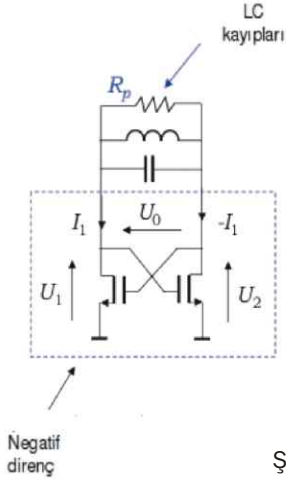
Şekil 3'de negatif direnç osilatörünün blok şeması görülmektedir. Rezonatör ve negatif direnç bloğunun empedansları Z_{LC} ve Z_{ND} olarak verilmiştir.

$$Z_{LC} = R_{LC} + jX_{LC}$$

$$Z_{ND} = R_{ND} + jX_{ND}$$

$R_{ND} = -R_{LC}$ ve $X_{LC} + X_{ND} = 0$ şartları sağlandığında osilasyon gerçekleşir.

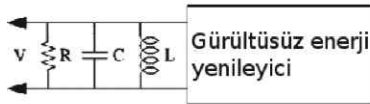
Negatif direnç bloğu transistörler gibi aktif elemanlarla gerçekleştirilir. Şekil 4'de örnek bir CMOS negatif direnç osilatörü görülmektedir.



Şekil-4

Osilatörlerde Gürültü

Bir osilatör devresinin osilasyona girebilmesi için gürültünün gerekli bir durum olabileceğini osilatörlerin çalışma prensiplerine değindik. Burada bahsedilen gürültü **Toplamsal Beyaz Gauss** gürültüsüdür. Ancak osilasyonun başlaması için gerekli olan gürültünün genliği oldukça düşük olmalıdır. Çünkü gürültü aynı zamanda her elektronik devrede olduğu gibi osilatörlerin de çalışmalarını etkileyen bir parametredir.



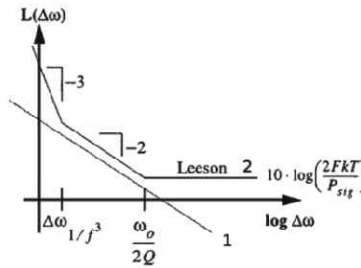
Şekil-5

Şekil 5'te tamamen verimli bir RLC osilatörü görülmektedir. "Tamamen verimli" tanımı sistemin kayıplarını temsil eden R direncinden kaynaklı kayıpları gideren bir gürültüsüz enerji yenileyicinin sistemde varolmasını göstermektedir. Bu sistem elbette fiziksel olarak gerçekleştirilebilir bir sistem değildir. Sadece gürültünün osilatör sistemlerindeki etkilerini incelemek

amacıyla matematiksel olarak tanımlanmıştır.

Enerji yenileyicinin gürültüsüz olarak tanımlanmasıyla sistemin tek gürültü kaynaklarının direnç, endüktans ve kondansatör olduğunu söyleyebiliriz.

Şekil 5'deki sistem üzerinden gürültünün spektral güç yoğunluğu (PSD: power spectrum density) literatürde birçok farklı yöntemle incelenmiştir. Bu yöntemlerden en sık rastlanana sistemin doğrusal, zamanla değişmeyen bir sistem olarak kabul edilmesidir. Bu durumda spektral güç yoğunluğu Şekil 6'daki gibidir.



Şekil-6

Şekil 6'da logaritmik frekans eksenine karşılık gürültünün güç yoğunluğu çizilmiştir. (1) ile gösterilen, Şekil 5'de tanımlanan sistemin matematiksel olarak hesaplanan güç yoğunluğudur. (2) de ise pratikte gözlemlenen ve Leeson tarafından formülize edilen gürültü güç yoğunluğu görülmektedir. Bu formülasyon

$$L\{\Delta\omega\} = 10 \log \left[\frac{2FkT}{P_{sig}} \left(1 + \left(\frac{W_0}{2Q\Delta\omega} \right)^2 \right) \left(1 + \frac{\Delta\omega_1 / f^3}{|\Delta\omega|} \right) \right]$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Formülasyon incelendiğinde, gürültünün güç yoğunluğunun azalması için gerekli şartlar şu şekilde sıralanabilir:

- Osilatörün kalite faktörünü (Q) artırmak
 - Sinyalin gücünü artırmak
 - F faktörünü azaltmak
- Bu noktada problem "F"

faktörünün deneysel bir parametre olması ve bir denkleminin olmaması olarak ortaya çıkmaktadır. Deneysel çalışmalarda osilatörün elemanlarına bağlı olarak değişen kalite faktörünü artırmak bir süre sonra F faktörünün de artmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla bu parametreler için bir optimizasyon yapılmasının gerekliliği söz konusudur.

Osilatörlerde Gürültünün Etkileri

Osilatörlerde görülen gürültü hem osilasyonun fazını hem de genliğini etkileyen bir faktördür. Bu etkileri özetle şöyle sıralayabiliriz:

- Jitter etkisi: Dijital modülasyonlarda osilatörün faz kaymasından dolayı oluşabilecek gecikme etkisi olarak tanımlanır.
 - PSK (phase shift keying) modülasyonlarda Bit Hata Oranı (BER: Bit error rate) daha yüksek olur
 - Spektrada istenmeyen harmonikler oluşur
 - Alıcıların dinamik menziline kısıtlar
 - Taşıyıcı sinyalin civarında yüksek gürültü bileşenleri oluşabilir
- Bu tip gürültü etkileri:
- Uygun rezonatör seçimi
 - Filtreleme
 - Geri besleme
- gibi tasarım yöntemleriyle optimum düzeyde elimine edilebilir.

Kaynaklar

- Kuei-Ann Wen, Lecture Notes, National Chiao Tung University
- Thomas H. Lee, Ali Hajimiri, "Oscillator Phase Noise: A Tutorial"
- A. Hajimiri, S. Limotyrakis, and T. H. Lee, Jitter and phase noise in ring oscillators,
- Andrei Grebennikov, "Noise Reduction in Transistor Oscillators"