

Elektronik Filtreler

Günlük hayatımızda filtre kelimesi bazı maddelerin diğerlerinden ayrıştırılmasında kullanılan araçlara verilen isimdir. Elektronik filtrelerse, belirli sinyallerin diğerlerinden ayrıştırılmasında kullanılmaktadır. Elektrik sinyallerinin filtrelerden geçirilmesiyle sinyalin içindeki değişik frekanslardaki bileşenlerin ayrıştırılması mümkün olmaktadır. Frekansın belirleyici olduğu bu seçme işlemini çeşitli elektrik elemanlarından oluşturulan devreler sağlamaktadır.

Frekans

Sinyallerin birbirlerinden ayırılarak edilmesindeki kriter frekans olduğundan, bu kavram üzerinde durulması gerekmektedir. Her şeyden önce bir sinyalin frekansından bahsedilebilmesi için, o sinyalin periyodik olması gerekir. Periyodik bir sinyal belirli zaman aralığı içinde kendini tekrarlayan sinyaldir. Biraz daha açacak olursak, zaman içinde değişen bir sinyalin herhangi bir anda aldığı değerle, sabit bir zaman geçtikten sonra aldığı değer eşitse o sinyal periyodik bir sinyaldir. Bu sinyalin periyoduysa aynı değeri aldığı iki an arasında geçen süredir. Frekans ise, bir sinyalin bir saniye içinde kendisini kaç kez tekrarladığının göstergesidir. Yani sinyalin bir saniye süresince kaç kez aynı değeri aldığıdır. Buradan da çıkartılabileceği gibi periyot, frekansın çarpımına göre tersidir. Birçoğumuz tarafından bilinen ve pozitif bilimlerde kullanılan en yaygın periyodik sinyaller sinüs ve kosinüsdür. Bu sinyallerin ifade edilmesi için frekans ve zaman değerleri kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar sabit bir frekans değerine sahiptir ve zaman değişkeniyle ifade edilmektedir. Ancak elektronik filtrelerin sinyalleri frekanslarına göre ayırdığı düşünüldüğünde, sinyallerin frekans değişkenine göre ifade edilmesinin daha uygun olduğu görülür. Bu noktada, yapılmak istenen temel şey, iki değişkene sahip bir fonksiyonun belli bir değişkene göre ifade edilmesi olduğundan, gerekli olan matematiksel bir dönüşümün gerçekleştirilmesidir. Bu dönüşüm ilk olarak Fransız fizikçisi ve matematikçisi Jean Baptiste Joseph Fourier tarafından gerçekleştirilmiştir. Fourier bu dönüşümleri ilk olarak iç ve dış ısı geçişinin ayrıtılmasında kullanmıştır. Ancak daha sonraki yıllarda, birçok bilim dalında bu dö-

nüşümlerden yararlanmıştır. Fourier gerçekleştirdiği matematiksel dönüşümler, bir sinyalin farklı frekanslara sahip sinyallerin toplamı olarak ifade edilmesi olarak özetlenebilir.

Sinyallerin frekanslarına göre ifade edilmesi bir filtrenin çalışma prensibinin anlaşılmasında önemli bir noktadır. Bundan sonraki diğer bir adımısa filtre devresinin özelliğinin belirlenmesidir. Diğer bir deyişle devrenin hangi frekanstan sinyalleri geçireceğinin ve hangi frekansdaki sinyallerin geçişine izin veremeyeceğinin belirlenmesidir. Bu amaçla gerçekleştirilen, elektrik devrelerine uygulanan kanunlar yardımıyla devrenin çözümlenmesidir. Temel olarak yapılan şey bir devrenin giriş sinyaliyle çıkış sinyali arasında bir bağıntı bulunmasıdır. Bunun bu bağıntının frekansa göre tanımlanmasıyla da filtre devresinin özellikleri rahatça belirlenebilir. Oluşturulan bağıntıya göre, dolayısıyla geçirdikleri sinyallerin frekanslarına göre filtreler dört ana grupta toplanabilir. Bunlardan ilki düşük frekansdaki sinyallerin iletilmesine, ikincisi yüksek frekansdaki sinyallerin geçmesine izin verirler. Üçüncü tip filtreler, belirli bir frekans aralığındaki sinyalleri çıkışlarına iletirler. Son tip filtrelerse, yüksek ve düşük frekansdaki sinyalleri geçirirler, yani belirli bir frekans aralığındaki sinyalleri durdururlar. Gerçekleştirilecek uygulamaya göre, bu filtrelerden herhangi biri seçilebilir. Ancak hangi filtre seçilirse seçilsin yapılan temel şey, istenmeyen sinyallerin frekanslarına göre elenmesi ve çıkışa yansıtılmamasıdır.

Devre Elemanları

Filtreler, elektronik devreler olduklarından belirli fiziksel elemanlardan oluşmuş sistemlerdir. Sonuçta sinyaller belirli bir sistemden geçtiklerine göre, devrenin farklı frekansdaki sinyallere farklı şekillerde davranmasının sebebi nedir? Bu özelliğin temelinde devre elemanlarının özelliklerinin frekansla değişmesi yatmaktadır. Bu elemanlarda en önemlileri kondansatörler ve indüktörlerdir. Kondansatörler transistörlerin modellenmesinde de kullanıldığından, üzerlerinde daha çok durmakta yarar vardır.

Bir kondansatör, iki iletken levhanın arasında yalıtkan bir maddenin yerleştirilmesiyle oluşur. İki levha arasında sabit bir potansiyel farkı

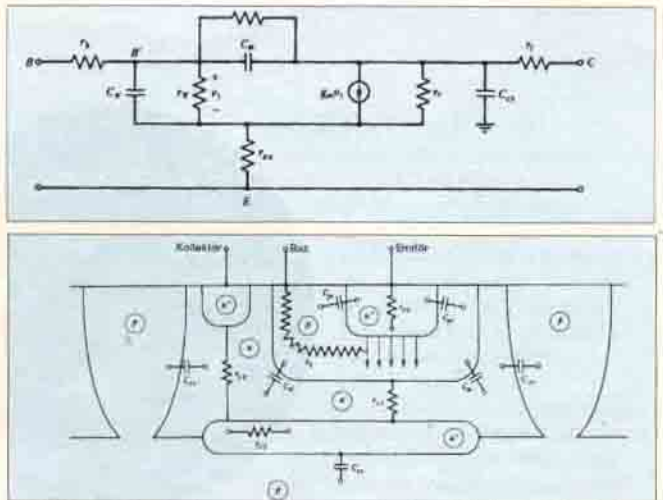
uygulandığında levhalar üzerinde belirli bir yük birikmesi oluşur. İki levha arasındaki potansiyel farkı değiştiğindeyse, kondansatörün bağlı olduğu devreden belirli bir akım geçer. Elektrikğin temel yasası olan ohm kanuna göre, sabit bir değerdeki direnç üzerinden herhangi bir akım geçirildiğinde, üzerinde dirençle orantılı bir potansiyel farkı oluşur. Bir başka deyişle, direnç, üzerindeki potansiyel farkıyla, üzerinden geçen akımın oranına eşittir. Kondansatör üzerine değişen bir potansiyel farkı uygulandığında devreden geçen akımla benzer bir ilişki kurulabilir. Yani bir kondansatörün üzerinden geçen voltajla akım oranlandığında direnç değerinin bulunabileceği düşünülebilir; fakat elde edilen sonuç bir direnç için elde edilen sonuçla aynı değildir. Kondansatör üzerindeki voltajın akıma oranı dirençteki gibi sabit olmayıp, sinyalin frekansıyla ters orantılıdır. Bir anlamda sinyalin frekansı arttıkça kondansatörün direnci artmakta, akım azaldıkça azalmaktadır. Bunun yanı sıra kondansatör üzerindeki voltajla akım arasında bir faz farkı oluşmaktadır. Voltajla akım aynı anda gözlemlendiğinde ikisi arasında zaman farkı olduğu, yani kondansatörün iki sinyal arasında bir gecikmeye neden olduğu görülür. Kondansatör sinyal frekansıyla değişen bir direnç gibi görünse de, bu özelliği nedeniyle üzerindeki voltajın akıma oranı empedans olarak adlandırılır. Aynı terim alternatif akım devrelerinde kullanılan indüktans için de geçerlidir. Kondansatörün bu özelliği incelendiğinde frekansın sıfır ol-

duğu durumda, yani doğru akım devrelerinde açık devre gibi davranıldığı görülür. Çok yüksek frekans değerlerinde ise, kondansatörün bir açık devre olarak düşünülmesi yanlış olmaz.

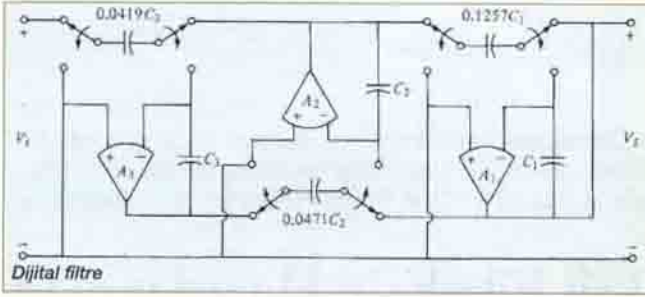
Kondansatörlere benzer şekilde indüktörler de sinyal frekansıyla değişen empedans değerine sahiptir. Fakat kondansatörlerin tersine indüktörlerin empedansı frekansla doğru orantılı olarak değişmektedir.

Transistörler

İlk geliştirilen filtreler RLC filtreleri olarak anılmaktaydı. Bu filtreler direnç (R), indüktör (L) ve kondansatörlerin (C) kullanıldığı devrelerdi. Temel olarak bu filtreler indüktörlerin ve kondansatörlerin frekansla gösterdiği değişim kullanılarak geliştirilmişti. Bu üç tip devre elemanın çeşitli şekillerde, paralel ve seri bağlantıların çeşitli kombinasyonlarıyla oluşturulmuştu. Bu tip filtrelere pasif filtreler adı verilmekte ve günümüzde de yaygın olarak kullanılmakta. Ancak yarı iletken teknolojisinin gelişmesiyle beraber elektronik diğer alanlarında olduğu gibi filtre dizaynında da değişiklikler oldu. Transistörlerin ve buna bağlı olarak op-amp'in geliştirilmesiyle aktif filtreler geliştirildi. Bu tip filtreler, yarı iletken yapılmış devre elemanlarıyla kondansatör ve direnç gibi diğer elemanların birlikte kullanılmasıyla oluşturulmaktadır. Aktif filtrelerde kullanılan kondansatörlerin yanı sıra, yarı iletken parçaların özellikleri nedeniyle içlerinde görülen kondansatörler de etkin rol oynadı.



Bir BJT transistörünün devre modeli ve elemanların transistör üzerindeki yerleri



Yarı iletkenlerin yapısında görülen kondansatörler, direkt olarak içlitme belirli bir kondansatör yerleştirilmesiyle elde edilmemektedir. Bu kondansatörler, yarı iletken parçaları yapıldığı p ve n tipi maddeler arasında oluşan fiziksel özellikler sonucu belirli bir kapasitansın oluşmasının sonucudur. P ve n tipi iki yarı iletken yan yana getirilerek birleştirildiğinde iki bölüm arasında elektronlar ve deliklerin hareketi nedeniyle bir ara katman oluşur. Bu katmanın iki ucu arasında uygulanan voltaja bağlı olarak yük birikmesi oluşur. İki yüzey üzerinde yük birikmesi, bu yüzeyler arasında belirli bir kapasitansın oluşmasıyla sonuçlanır. Bir transistörün imali sırasında birden fazla sayıda p ve n tipi madde birleştirildiğinde yan iletken elaman içinde birden fazla yerde kapasitans olduğu gözlenir. Devrelerin analizindeyse bu kapasitanslar, transistörün üç bacağı arasında bağlanmış kondansatörlerle modellenir. Böylece devredeki bütün yarı iletkenlerin modellenmesiyle devrenin analizi yapılır ve ne tip bir filtre görevi göreceği anlaşılabilir.

Mühendisliğin birçok dalında olduğu gibi elektronik mühendisliğinde de yapılanlar analiz ve sentez olarak iki bölümde incelenebilir. Analiz aşamasında, bir sistemin modellenerek özelliklerini tesbit edilmesine çalışılır. Daha sonraki

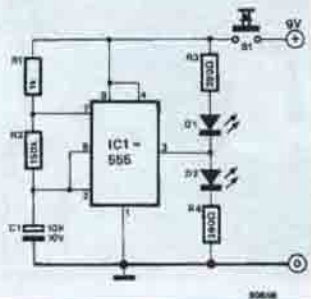
sentez aşamasındaysa, belirtilen özelliklere göre belirli bir sistemin geliştirilmesine çalışılır. Sentez sırasında, analiz edilen sistemlerden yararlanılacağı için yapılan modellemenin tatminkâr sonuçlar vermesi gerekmektedir. Aneak birçok sistem karmaşık yapısı nedeniyle sistemin modellenmesi sırasında sonuçta önemli değişikliklere neden olmayacak etkiler ihmal edilebilir. Bir devrede transistör modelinin yerleştirilmesiyle beraber oldukça karmaşık bir yapı oluşur. Bu yapının incelenmesi sırasında çeşitli varsayımlarda bulunulması devre analizini kolaylaştırmakta ve gerçekçe oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Bu varsayım üç değişik frekans aralığında gerçekleştirilmektedir. Düşük frekanslarda devredeki kondansatörlerin normal olarak çalıştığı, ancak transistörün modellenmesinden gelen kondansatörlerin açık devre olduğu düşünülebilir. Orta değerlerdeki frekanslar içinse, transistörün iç kondansatörlerini kısa devre olduğu varsayılır. Üçüncü ve son bölgede, yani yüksek frekanslar için, devredeki kondansatörlerin kısa devre olduğu devre modellenmeden gelen iç kondansatörlerinse normal çalıştığı öngörülebilir. Bu teknikler, transistörlerin modellenmesiyle oluşan karmaşık devrenin özelliklerini gerçekçe yakın olarak hesaplanmasını sağlamaktadır.

555 Zamanlayıcısının Test Edilmesi

IC 555 entegre devresi, birçok devrenin zaman ayarlayıcısı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Hiç kuşkusuz IC 555'in bu kadar popüler olmasının temel nedeni çok kullanışlı ve güvenilir olmasıdır. Ancak çok nadir de olsa bu zamanlayıcının yanlış çalıştığı da görülmektedir. Burdaki test devresinde S1 anahtar kapatıldığında, C1 kondansatörü, R1 ve R2 direnci üzerinden dolmaya başlar. C1 üstündeki voltaj zamanlayıcının diğer kararlı seviyesine geçmesini sağlayacak voltaj değerine ulaştığında, entegre devre içindeki flip-flop konum değiştirir ve 7. bacakta voltaj düşük değerine çekilir. Böylece C1 boşalmaya başlar. C1 üzerindeki voltaj diğer sınır değerine ulaştığında 7. bacakta yüksek voltaj seviyesi oluşur ve kondansatör dolmaya başlar.

Entegre devrenin 3. bacağına bir çift diyod bağlanmıştır. Çıkış voltajı

yüksek olduğunda D2 diyodu, düşük olduğunda D1 diyodu yanmaya başlayacaktır. Eğer IC 555 doğru olarak çalışıyorsa diyotlar sırayla yanıp sönecektir. Eğer kullanılan IC 555 zamanlayıcısının frekansını değiştirmek istiyorsa R1, R2 dirençleriyle C1 kondansatörünün değiştirilirdir. Zamanlayıcının frekansı $f = \frac{1}{1.1(R1+2R2)C1}$ 'dır. Ancak şekildeki gibi R2 değeri R1 değerinden çok büyükse frekans $f = \frac{1}{1.1R1C1}$ olarak alınabilir. Şekildeki devre elemanlarının değerine göre frekans 0.5 Hz'dir.

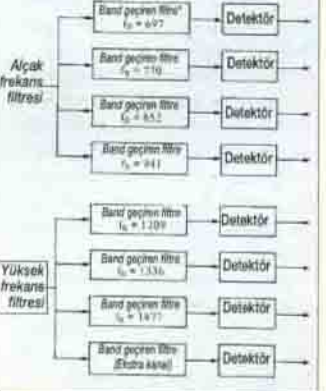
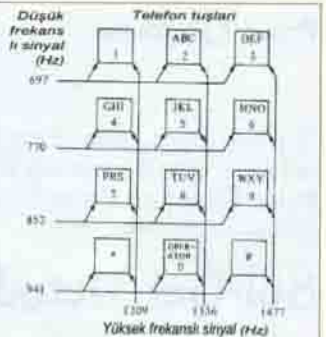


Bir Filtre Uygulaması

Şeklin birinci bölümünde tuşlu telefonun tuşları, ikinci bölümünde telefon santralinde hangi tuşa basıldığının nasıl ayırt edildiği görülmektedir. Tuşlardan herhangi birine basıldığında iki ayrı frekanslı sinyal tek hat üzerinden santrale gönderilir. Bu sinyallerden düşük frekanslı olanı tuşun satırını, yüksek frekanslı olanıysa sütununu belirlemekte kullanılır.

Sinyal santrale ulaştığında düşük frekans ve yüksek frekans filtrelerinden geçirilir. Böylece düşük ve yüksek frekanslı sinyaller ayrılmış olur. Bir başka deyişle tuşların oluşturduğu matrisin satır ve sütunları ayrılmış olur. Daha bir birinden ayrılan iki sinyal, belirli bir frekans aralığındaki sinyalleri geçiren filtrelerden geçirilir. Eğer sinyal filtreleri geçirdiği aralıktaysa filtrelerin uçundaki detektör tarafından tespit edilir. Böylece satır ve sütun ayırt edildikten sonra, tuşun satır ve sütun numaraları bulunur. Sistemin çalışması için telefonun uygun sinyalleri üretmesi gerekir. Bu köşgün sağlanabilmesi için tuşlu telefonun "tone modunda" olması gerekir. Günümüzde bu santral tipi genelde dahili santrallerde kullanılmaktadır. Telefonlu bankacılık uygulamalarında da bu tip santraliler kullanılmaktadır.

* Belli bir frekans aralığını geçiren filtreler



Dijital Filtreler

Yaşadığımız yüzyıl içerisinde gelişen bilgisayar teknolojisi nedeniyle dijital sinyaller, analog sinyallerden daha önemli bir yer edinmeye başladı. Buna bağlı olarak, dijital filtrelerin geliştirilmesi de önem kazandı. Bir dijital sinyal, analog bir sinyalden belirli zaman aralıkları sonunda örnekler alınması olarak ifade edilebilir. Yani bir analog sinyalin bütün değerlerinin takip edilmesi yerine, belirli aralardaki değerleri gözlenmektedir. Bu işlemi modellemeye çalışacak olursak, bir sinyalden belli bir hızda açılıp kapanan anahtar sayesinde örnekler alındığını düşünebiliriz. Hiç kuşkusuz bu anahtarlar elle kumanda edilen bir anahtar değildir. Bu anahtarın açma-kapama işlemi bir transistörün kapalı durumdan doymuş duruma geçmesinden başka bir şey değildir.

Dijital filtrelerde de analog sinyallerden dijital sinyallerin elde edilmesinde kullanılan prensipten yararlanılmaktadır. Bir kondansatör bir anahtar yardımıyla iki voltaj kaynağına sırayla bağlandığında, yani anahtarın bir konumunda bir voltaj kaynağına, diğer konumunda başka bir voltaj kaynağına bağlandığında, kondansatör bir direnç görevini üstlenmektedir. Böylece aktif bir filtrede, dirençlerin yerine böyle bir modelin konulması ile dijital filtreler oluşturulmaktadır. Ancak bu tip filtrelerde elemanların değerlerindeki oynamalar önemli etkiler neden olacağından daha hassas parçaların kullanılması gerekmektedir. Anahtarın fonksiyon ise, bir BJT transistör ikilisinin bazlarına ya da MOS transistör

ikilisinin kapılarına bir kare dalga uygulanmasıyla sağlanmaktadır. Bu sinyalin frekansı analog sinyalden bir saniye içinde kaç örnek alınacağını belirlemektedir.

Filtrelerin Kullanımı

Daha önce de değindirmiş gibi, elektronik filtreler sinyallerin frekanslarına göre ayırt edilmesinde kullanılmaktadır. Elektronik filtreler belirli frekanstaki sinyallerin genliğini büyütürken diğerlerinin genliğinin küçültülmesine neden olmaktadır. Genliği büyütülen sinyaller daha etkin bir konuma geldiğinden, genliği küçültülen sinyaller önemli bir etki göstermemektedir. Yani istenilen frekanstaki sinyaller diğer sinyallere göre kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. İdeal filtrelerde istenmeyen sinyallerin tamamen saf dışı bırakıldığı varsayılmaktadır.

Filtreler, genellikle ortam şartlarından kaynaklanan gürültünün elektrik sinyallerine etkisini azaltmakta kullanılmaktadır. Burada gürültü ile kastedilen istenilmeyen elektrik sinyalleridir. Bu özellikleri nedeniyle filtreler birçok alanda kullanılsa da en yaygın kullanım alanı iletişimdir. Hemen hemen her gün radyolarımızı ve televizyonlarımızı ayarlamamız, elektronik filtrelerin hangi frekanstaki sinyali geçireceğini belirlemekten başka bir şey değildir.

Kaynaklar
Hochman L.P., Allen P. E. *Introduction to Theory and Design of Active Filters*, McGraw-Hill 1980
Gray R.P., Meyer G. R. *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits*, John Wiley Sons, 1983