

İlkti! Elemanlı RC Filtreleri

Ersin TULUNAY
Y. Müh.-İ.T.Ü.

1. ÖZET:

Aktif Elemanlı RC Filtreleri konusu 1960-1961 yaz yarıyılında, Elektrik Y. Mühendisi Ersin TULUNAY tarafından, İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Fakültesi Telekomünikasyon Kürsüsünden Prof. Dr. Tarık ÖZKER'in yönetiminde diploma çalışması olarak yapılmıştır.

rilmesinden meydana gelir. Pasif devreler filtrenin kritik frekanslarını temin etmektedir. Bu pasif devreleri bağlayan negatif empedans çeviricisi ise, bütün devrenin transfer fonksiyonunun, RLC devresi transfer fonksiyonu ile aynı genellikte olmasını sağlar.

Bu duruma göre devrenin blok diyagramı şekil 1 de gösterilmiştir.



(Şekil : 1)

Aktif RC filtresinin genel biçimi

2. GİRİŞ:

Bobinsiz devreler bilhassa alçak frekanslarda çok arzu edilir ve kullanılır. Bunun sebebi şudur : Bobin, teorik hesaplarda, sadece şelf tesiri olan bir eleman olarak göz önüne alınmaktadır. Pratikte ise, bobinlerin direnci ve bobinler arası istenmeyen magnetik kuplajları vardır. Bu bakımlardan teoredeki hesaplar pratiğe uymaz. Ayrıca alçak frekanslarda gerekli şelf değerini verecek bobin, büyük ölçüde olur. Bobin direncini küçük tutmak için de bobin iletkeni kalın kesitli, dolayısıyla bobin büyük ve hantal olur. Bobinlerin büyük olması ise bilhassa taşınabilir askerî tesislerde, çok mahzurludur. Bu hususlar, bobinleri alçak frekansta istenmeyen eleman haline getirir.

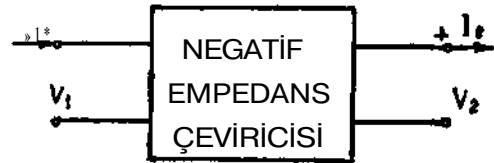
RC filtreleri bu bakımlardan faydalar sağlar.

Bir RC filtresinde bir dört uçlu RLC devresi genelliği yoktur. Kutup ve sıfırların yeri üzerinde, tahditler vardır. Bu, devrenin transfer v.s. gibi herhangi bir karakteristiğinin, verilen bir karakteristiğe uyması konusunda zorluk çıkarır. Bu durumu ortadan kaldırmak için RC devrelerine aktif elemanlar ilâve edilir. Böyle aktif elemanlar negatif empedans çeviricileri elde edilmesinde kullanılır. Böylece aktif eleman ilâvesi ile bobin kullanmadan RLC devresi genelliği sağlanır. Böyle filtrelerin kayıpları azalır ve ilgili frekans bandı içinde sabit kalır. Böyle devrelerin hesap metodu zorluk göstermez.

3. AKTİF ELEMANLI RC FİLTRELERİNİN GENEL BİÇİMİ :

Aktif bir RC filtresi, iki pasif RC tipi dört uçlunun bir negatif empedans çeviricisi ile birleşti-

teride görüleceği gibi RC devresi ile, RLC devresi genelliğinin sağlanabilmesi için, negatif empedans bulunması gerekir. Devrede negatif empedans meydana getirilmesi için, negatif empedans çeviricisi kullanmak gerekir. Aktif elemanlar negatif empedans meydana getirmekte kullanılır. Bunun için aktif elemanlarla teşkil edilen bu dört uçluya negatif empedans çeviricisi denir.



(Şekil: 2)

Negatif empedans çeviricisi.

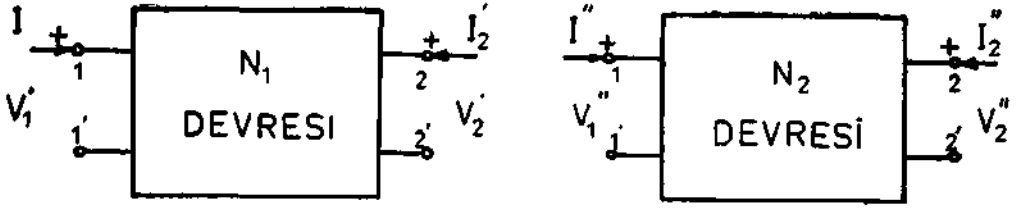
Negatif empedans çeviricisi elektron tüpleri veya tranzistorlarla yapılabilir. Negatif empedans çeviricisinde dış büyüklükler arasında tarif icabı aşağıdaki bağıntı vardır.

$$I_a = I_2 \quad (1a)$$

$$\bullet V = -V_2 \quad (1b)$$

4. AKTİF ELEMANLI RC FİLTRELERİNİN TRANSFER EMPEDANS FONKSİYONLARI :

Şekil 1 de aktif RC filtresinin genel biçimi görülmektedir.



(Şekil. 3)
N₁ ve N₂ devreleri.

Z₁₁ N₁ Z₂₂ N₁ N₁ devresinin açık devre parametreleridir.
Z₁₁ N₂, Z₂₂ N₂ N₂ devresinin açık devre parametreleridir.
Z₁₂ N₁ N₂ devresinin açık devre transfer empedansdır.
Z₂₁ N₂ N₁ devresinin açık devre transfer empedansdır.

Şekil 1 deki kaskad bağlı üç tane dört uçlunun A,B,C,D parametrelerini gözönüne alarak filtrenin açık devre transfer empedansı.

$$Z_{21} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} \right|_{I_2=0} = \frac{Z_{12} N_1 Z_{11} N_2}{Z_{11} N_1 + Z_{12} N_2} \quad (2)$$

bulunur.

(2) fonksiyonunun kutupları:

$$Z_{11} N_1 - Z_{12} N_2 = 0 \quad (3)$$

olan noktalarda meydana gelmektedir. Fonksiyonun sıfırları ise:

$$\begin{aligned} Z_{12} N_1 &= 0 \\ Z_{11} N_2 &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

olan noktalarda meydana gelmektedir.

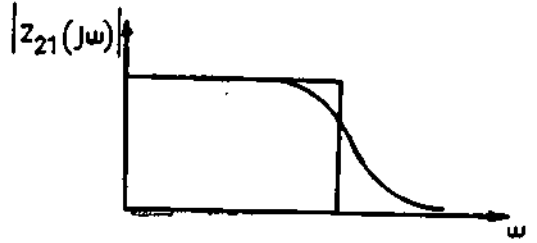
Bilindiği gibi, toplu elemanlı pasif RC dört uçlu devresinde transmisyon sıfırları $S = a - fjz$ düzleminde, $-|a|$ ekseninde, kutuplar ise $-n$ eksenindedir.

(2) fonksiyonunun kutupları ise $-\langle j$ ekseninde olmağa mecbur değildir. Sol yarı S düzleminde her yerde olabilir. Buna göre (2) fonksiyonu pasif RC devresi fonksiyonundan daha genel bir fonksiyondur.

Bir devrenin filtre özelliğini, o devrenin açık devre transfer empedansı Z_{21} gösterebilir. Buradaki filtre hesabında Z_{21} fonksiyonu göz önüne alınmıştır.

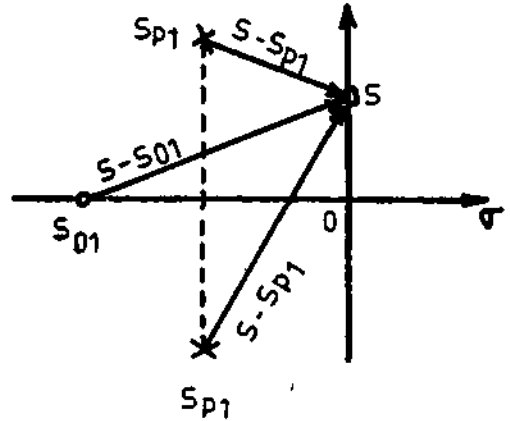
5. KARAKTERİSTİKLERİN GERÇEKLEŞTİRME İMKÂNLARI :

İstenen bir karakteristik tam olarak elde edilemez, ancak belli bir yaklaşıklıkla elde edilebilir. Örnek olarak alçak geçiren bir filtreyi ele alalım.



(Şekil : 4)
Alçak geçiren bir filtre karakteristiği.

$$Z_{21}(j\omega) = K \frac{S - S_{01}}{(S - S_{p1})(S - S_{p2})} \quad (5)$$



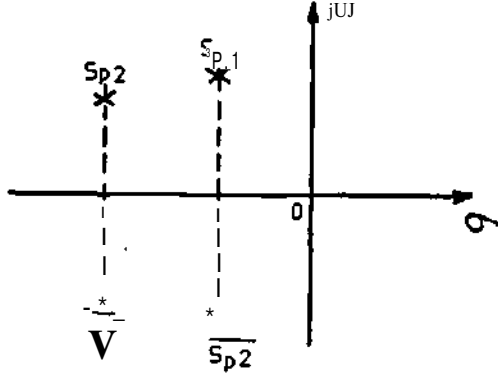
(Şekil . 5)
Alçak geçiren filtre için kutup ve sıfırlar.

olsun. Şekil 3 deki karakteristiğe Şekil 4 deki durumun tekabül ettiği kolayca görülür. Genelliği bozmamasından ötürü, incelemeler, alçak geçiren filtre üzerinde yapılabilir. Frekans transformasyonları ile diğer tiplere geçilir.

Şekil 4 deki durum pasif bir RC devresi ile gerçekleştirilemez. Çünkü kutuplar $-f$ ekseninde değildir. Aktif RC devresinde ise kutuplar sol yarı S düzleminde her yerde olabildiğinden Şekil 4 deki durum aktif RC devresi ile sağlanabilir. Karakteristiğin dikliği kutup sayısına bağlıdır.

6. VERİLEN ŞARTLARA GÖRE BİR RC AKTİF FİLTRESİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ:

Verilen filtre karakteristiğine göre $Z_{21}(S)$ fonksiyonunun kutuplarının yerleri belirtilmiş olsun. $(S_{p1}, \bar{S}_{p1}, S_{p2}, \bar{S}_{p2})$ kutupların ve sıfırların sayısı dört olarak alınmıştır. Bu genelliği bozamaz.



(Şekil • 6)

S düzleminde kutuplar ve sıfırlar

$$Z_{11}(S) = \frac{-Z_{22}Z_{11N_2}}{Z_{22N_1} - Z_{11N_2}} = \frac{N(S)}{(S - S_{p1})(S - \bar{S}_{p1})(S - S_{p2})(S - \bar{S}_{p2})} \quad (6)$$

Kutuplar $Z = Z_{22N_1} - Z_{11N_2} = 0$ da meydana gelir Z rasyonel bir fonksiyon olduğundan :

$$Z = Z_{22N_1} - Z_{11N_2} = K \frac{(S - S_{p1})(S - \bar{S}_{p1})(S - S_{p2})(S - \bar{S}_{p2})}{(S - z_1)(S - z_2)(S - z_3)(S - z_4)} \quad (7)$$

K reel ve pozitif bir sabit

$\langle S_{p1}, \bar{S}_{p1}, S_{p2}, \bar{S}_{p2} \rangle$ ile çakışmamak ve RC tipi devre fonksiyonlarının kutuplarının, sağlanması gereken özellikleri sağlayacak şekilde keyfi olarak seçilebilir

Yaptığım çalışma sonucunda:

1) RC devresi giriş empedans olan Z^{Nj} ile Z_{11N_2} den hareketle yukarıdaki $Z = Z_{22} * N_a - Z_{11N_2}$ fonksiyonuna varılabildiğini (GEREK ŞART).

2) (7) fonksiyonundan hareketle $Z_{22N_1} - Z_{11N_2}$ giriş empedans fonksiyonlarını gerçekleyen RC elemanlarından meydana gelmiş N_1 ve N_2 devrelerine varılabileceğini (YETER ŞART). göstermiş bulunuyorum.

$$Z = Z_{22N_1} - Z_{11N_2} = \frac{K}{S + \sigma_1} + \frac{k_3}{S + \sigma_3} + K_2 \frac{k_2}{S + \sigma_2} - \frac{k_4}{S + \sigma_4} K_1 \quad (8)$$

yazılabilir.

$$Z_{22N_1} = \frac{k_1}{S + \sigma_1} + \frac{k_3}{S + \sigma_3} + K, \quad (9)$$

$$Z_{11N_2} = \frac{k_3}{S + \sigma_2} + \frac{k_4}{S + \sigma_4} + K_1 \quad (10)$$

olur.

K_2, K , reel ve pozitifdir.

$k_1, k_3; k_2, K_1$ reel ve pozitifdir.

Bu duruma göre, istenen filtre karakteristiğine göre Şekil 1 deki N_1 ve N_2 devreleri bulunmuş olur. Filtrenin geçirme durumuna göre (Alçak geçiren, yüksek geçiren, Band geçiren, Band söndüren) uygun bir gerçekleştirme metodu seçilip N_1, N_2 bulunur. Z_0 in sıfırları bu N_1, N_2 nin transmisyon sıfırları ile aynı noktaldır

Alçak geçiren, yüksek geçiren, Band geçiren, Band söndüren filtrelerin birinden diğerine N_1, N_2 yi gerçekleştirirken uygun metotlar seçerek geçilebilir Buna göre $Z^{M} \cdot Z_{UN_2}$ nin $S = \infty$ daki bileşimlerini çekerek alçak geçiren, $S = 0$ daki bileşimlerini çekerek yüksek geçiren ve $Z_{22N_1} - Z_{11N_2}$ yi genel basamaklı tipten bir devre olarak gerçekleştirerek band geçiren filtre elde edilir. Filtre tiplerinden birbirine geçiş frekans transformasyonları ile de yapılabilir.

7. ALÇAK GEÇİREN BİR AKTİF RC TİPİ FİLTRENİN HESABINA AİT SAYISAL ÖRNEK:

Örnek olarak aşağıda $a = 18 \frac{db}{Oktov}$ eğimli

$f_0 = 1000$ HZ de kesim frekansı bulunan, alçak geçiren bir aktif RC filtresi hesaplanmıştır.

Çözüm :

$Z_{21}(S)$ açık devre transfer empedansı esas alınmış ve Buttenworth karakteristiği kullanılmıştır.

Kutupların sayısı:

$$n = \frac{\alpha}{6} = \frac{18}{6} = 3 \text{ tür.}$$

Kutupların yeri:

Kutuplar sol yarı S düzleminde :

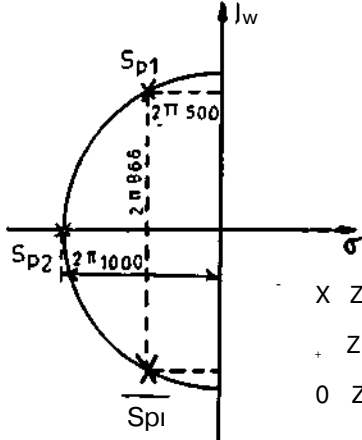
$$2 T_{fo} = 2 TC 100$$

yarıçaplı bir daire üzerinde bulunurlar.

Aralarında

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{3} \text{ raydan}$$

açısal aralık vardır.

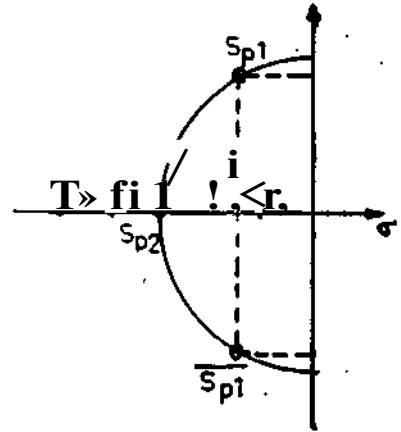


n tek olduğundan reel eksen üzerinde de kutup bulunur.

Bu kutuplar:

$Z = Z_{2N1} - Z_{1N2}$ fonksiyonunun sıfırları olur.

Z fonksiyonunun kutupları, S düzleminde $-a$ ekseninde olacak ve Z_{21} in kutupları ile çakıştıracak şekilde serbestçe seçilir.



(Şekil: 7)

S düzleminde sıfır ve kutupların, yeri

Bu duruma göre:

$$Z = Z_{2N1} - Z_{1N2} = K \frac{(S + 2T:500 - j2TC866)(S + 2TC500 + j2TC866)(S + 2T:1000)}{(S + 2TC300)(S + 2T:1050)(S + 2TC1500)}$$

Kutuplardaki rezidüleri hesaplayarak:

$$Z_{2N1} = K \left(1 + \frac{3850,7}{S + 2TC300} + \frac{972,2}{S + 2TC1050} \right) = \frac{KS^2 + 13291KS + 39863131K}{S^2 + 84785S + 17600000} \quad (12)$$

$$Z_{1N2} = K \frac{10175,7}{S + 2TC1500} \quad (13)$$

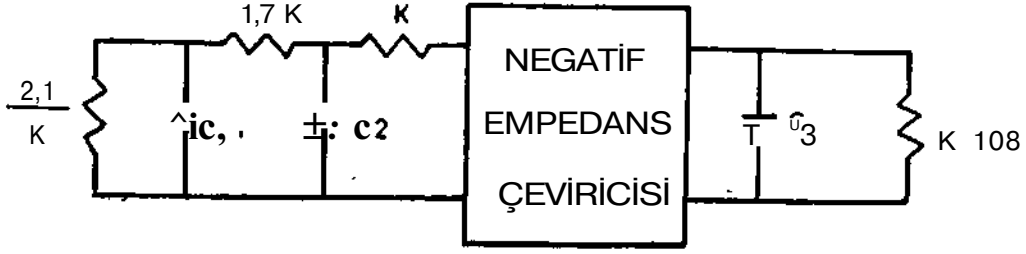
Sürekli kesirlere açılarak:

$$Z_{1N1} = N + \frac{1}{\frac{1}{4813K}S + \frac{1}{1,7K + \frac{1}{\frac{0,000486}{K}S + \frac{2,1}{K}}}} \quad (14)$$

olur.

$$Z_{1N2} = \frac{1}{\frac{S}{K10175} + \frac{9420}{K10175,7}} \quad (15)$$

olur.



(Şekil : 8)

Alçak geçiren bir RC tipi filtre ,

$$c_1 = \frac{0,000486}{K}$$

$$c_2 = \frac{0,004}{K}$$

$$c_3 = \frac{0,0000097}{K}$$

Yukarıda bulunan devre şekli ve eleman değerlerine göre:

Şekil 8 deki devre bulunur.

Devrenin alçak frekanslardaki durumunu ve eleman değerlerini v.s. düşünerek K için uygun değerler seçilir.

8. SONUÇ:

Bu çalışmada aktif RC filtrelerinin özellikleri incelenmiş ve neticede RC aktif filtrelerinin fayda ve mahzurları belirmiştir.

Faydaları:

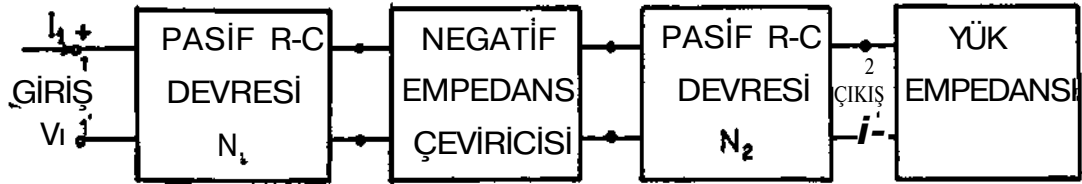
- 1 — Böyle devrelerde bobin kullanmadan RLC devrelerinin genelliği sağlanır.

- 6 — Transfer fonksiyonu ile hesap yapılmasına rağmen hesap metodu basittir ve pratiğe kolay uygulanır.

- 7 — Hesap sırasında bazı büyüklükler serbest olarak seçilmektedir. Buna göre aynı özellikleri sağlayan birden fazla devre bulunabilir, seçme imkânı vardır.

Zararları:

- 1) Karakteristiği gerçekleştirmede yaklaşık problem mevcuttur.
- 2) Filtredeki negatif empedans çevircisinin özellikleri dış tesirlerle değişebilir.



(Şekil: 9)

Yük empedansı ile birlikte Aktif RC filtresi.

- 2 — Bobin kullanılmaması böyle devrelerin alçak frekansta tercih edilmesine sebep olur.
- 3 — Devrede aktif «teman bulunduğu için güç kaybı azdır ve ilgili band içinde sabittir.
- 4 — RC devresinde kritik frekanslar Jw ekseninde olamaz. Aktif RC filtresinde ise çapraz v.s. gibi devreler kullanarak Jw eksenine üzerine sıfır rastlatılıp bir frekans değerlerinden daha fazla söndürülebilir.
- 5 — Aktif filtrelerin hesap metodunda Z_{21} transfer fonksiyonu esas alınır. Bu fonksiyon, devrenin filtre özelliğini doğrudan doğruya gösterdiğinden faydalıdır.

- 3) Filtre hesaplanırken Z_{21} açık devre transfer empedansına göre hesap yapılmıştır. Şuhalde devre istenen özellikleri, ancak ikinci uçları açık iken sağlar. Pratikte ise ikinci uca bir empedans bağlanacaktır. Hesap sonuçlarının bozulmaması için, filtrenin sonuna bağlanacak empedans, filtrenin ikinci uçlarından görünen empedansa göre çok büyük olmalıdır. Bu da filtrenin çalışma alanını sınırlar.

9. GELİŞTİRME :

Zararlar kısmının 3. maddesinde açıklandığı gibi $Z_{21}(S)$ açık devre empedansı ile hesap yapılması, filtrenin hesabında göz önüne alınan hu-

susların pratikte tam olarak yerine gelememesine sebep olmaktadır. Ayrıca filtrenin çalışma alanı büyük ölçüde sınırlanmaktadır.

Filtrenin sonuna yanı ikinci uçlarına bağlanacak empedansı da göz önüne alarak geliştirilecek bir metod aktif RC filtrelerinin geniş ölçüde imalini ve kullanılmasını sağlayacaktır. Geliştirilecek metod bakımından filtrenin blok diyagramı Şekil 9 deki gibidir.

REFERANS :

- 1 LINVILL J G, «A new RC Pilter employng active elemente » Proceedings of the National Electronics Conference. 1953, Vol. 9, sahlfa 342 - 352.
- 2 GÜİLLEMIN E A, Synthesis of Passlve Networks, John Wley and Sons, Inc., New York 1957
- 3 GÜİLLEMIN E A, «Ladder Development of RC Networks.» Proc. İRE. Vol 40 sahlfa 492 - 485 April, 1952
- 4 GÜİLLEMIN E A, Communication. NetworKs, Vol II, John Wiley. Sons, New York, 1935.
5. GÜİLLEMIN E A , The mathematics of Circuit Analysis John Wiley and Sons, Inc , New York, 1949
6. BALABANIAN N , Betwork Synthesis, Prentice - Hail, Inc Englewood Cliffs, N. J 1958
- 7 ÖZKER T Devre Analizi, Devre Sentezi ders notları İTÜ , İstanbul, 1960
- 8 VALKENBURG V M. E, Network Analysis, Prentice - Hail, Inc , Englewood Cliffs N. J 1955.
9. İTÜ ELEKTRİK PAK, Dört - uçlu devre, parametre cedvelleri t.TÜ. El. Pak Telekomünikasyon küreisü. 1960
- 10 MERRILL J L «Theory of the Negative Impedance Converter,» Bell System Tech J , Vol 30, Sahlfa 88 -109 January, 1951
- 11 REED, Eectrlc Network Synthesis, Prentice - Hail, Inc Englewood, Cliffs NJ. 1955.
- 12 TULUNAY E Aktif Elemanlı RC Filtreleri M.S. B Araştırma ve Geliştirme Başkanlığı Yayınlar No 15 Gnkur Basımevi, Ankara 1962.