

# DAR BANTLI KUARTZ KRİSTALLİ BİR SÜZGEÇ

FIKRET YÜCEL

UDK: 621.372.543.2 : 537.228

## ÖZET

Çeşitli haberleşme sistemlerinde telemetre ve telekontrol amacı ile kullanılan pilot frekanslarını, yalnız bunları, seçmek için dar bantlı ve kararlı süzgeçlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu makalede kuartz kristalli olarak gerçekleştirilen bu süzgeçlerin hesap yolu gösterilmekte ve bunun bir örneğe uygulanması verilmektedir.

## 1. GİRİŞ

Bundan önce yayınlanan bir makalede [1] frekans bandını paylaştırma yöntemi ile çalışan mültipleks sistemlerinde (FDM) haberler arası boşluktan uzaktan kumanda ve uzaktan ölçme (telemetre) amacı ile gönderilen pilot frekanslarının aynı frekansa sahip taşıyıcı sızmalarından etkilenmesi için kullanılan basit bant söndüren (BS) süzgeçlerden bahsedilmişti. Bu defa sözü edilen pilot frekanslarının bilgiye ayrılan bant içinden seçilip alınmasını sağlayan bir süzgeç tipi açıklanacaktır. Ölçü ve/veya kumandanın yapılmasını sağlayan ve bilgi demetleri içinden gönderilen bu frekansların seviyelerinin bilgi demetleri tarafından etkilenmemesi çok önemlidir. Bilgiler arası boşluklar genellikle çok dardır, örneğin telefon kanalları arasında, işaretleşme frekansı da gözönünde bulundurulmak şartı ile, 475 Rz'lik bir boşluk bulunmaktadır. Bu boşlukta bulunan bir pilot frekansını seçecek süzgecin bireysel bilgi bantları kenar frekansları için yeteri kadar bir zayıflamaya sahip olması gereklidir. Kanal süzgeçlerinin ideal olmadığı da gözönünde tutularak rahatsız edici frekansların pilot frekansına daha yakın olabileceği tahmin edilebilir. GCITT tavsiyesine göre (Yeşil Kitap, G.232) pilot frekanslarının seviyesi -20 dBm0 olmalıdır. Hesaplanacak süzgeçte bu noktanın da gözönünde bulundurulması lazımdır. Buna göre süzgecin gayet dar olan geçen bantı yanında söndürülecek bantlarda da yüksek efektif zayıflama (50-60 dB) sahip olması gerekmektedir. Pilot frekansı seviyesinin kararlılığını sağlamak üzere süzgecin kuartz kristallerle gerçekleştirilmesi gerekir.

## 2. LATİS SÜZGEÇ

Şekil 1'deki bakışlımlı (simetrik) latis devre için

$$T_r \frac{\Gamma}{2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} \quad (D)$$

$$Z_I = Z_{II} = \sqrt{Z_1 Z_2} \quad (2)$$

olduğu bilinmektedir [1]. Burada  $T$  görüntü transfer katsayısı,  $Z_j$  ve  $Z_{ix}$  ise iki tarafa ait görüntü empedanslarıdır.

$Z_1$  ve  $Z_2$ 'nin saf reaktif olduğunu varsayarak

Fikret yücel, PTT Arastama Laboratuvarı

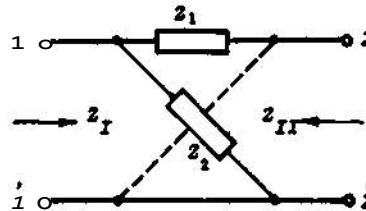
## SUMMARY

Narrow band and stable filters are needed in various communication systems for selecting pilot frequencies and pilot frequencies only, used with the purpose of telemetering and remote control. In this article, a method of calculation is shown for these filters realised with quartz crystals and a sample application is given.

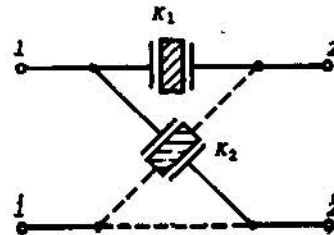
bakışlımlı latis devrenin süzgeç özelliklerini özetleyelim.

(1) denklemden görüleceği üzere  $Z_1$  ve  $Z_2$ 'nin aynı işaretli olduğu frekans bölgeleri zayıflayan, ters işaretli olduğu bölgeler ise geçen banda aittir. Buna göre empedanslardan birisinin işaret değiştirdiği noktalar kesim frekanslarına tekabül eder. Yani  $Z_j=0$  ve  $Z_2$ -sonlu ve tersi ile  $Z_j \rightarrow \infty$  ve  $Z_1$ -sonlu ve tersini sağlayan frekanslar kesim frekanslarıdır.  $Z_1 \ll Z_2$  eşitliğini sağlayan frekanslar transmisyon sınırlarını (zayıflama kutupları) meydana getirirler. Kol empedanslarından birinin sıfır değerinin sonsuz olduğu frekans ise iki katlı geçen bant noktasını vermektedir.

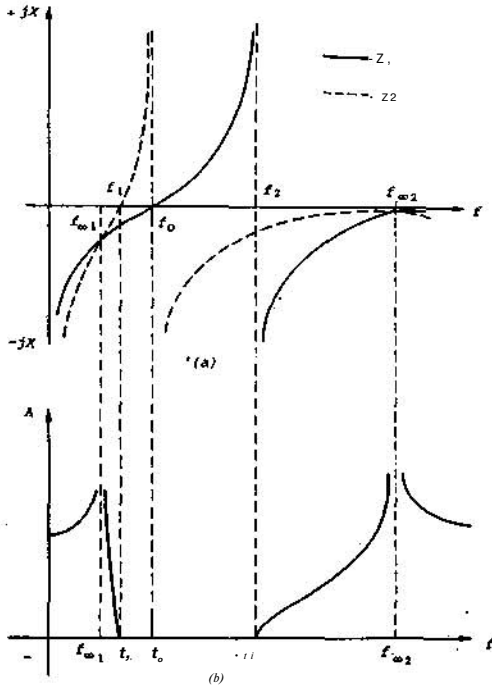
Şekil 2'de kol empedansları birer kuartz kristal ile teşkil edilen bir bakışlımlı latis devre gösterilmiştir. Bu kristallerden birisinin seri rezonans frekansı diğerinin paralel rezonans frekansına eşit olarak seçilmiş olduğu hale ait reaktans değişimleri Şekil 3a'dadır. Şekil 3b'de ise yukarıda verilen esaslara göre elde edilen zayıflama değişimi görülmektedir. Buradan izleneceği üzere bu suretle elde edilen süzgeç her iki zayıflayan bantta birer transmisyon sınırlarına sahip olan bir bant geçiren süzgeçtir. Şekil 3'de kristallere ait seri ve paralel rezonans frekansları arasındaki fark abartılmıştır. Bilindiği üzere pratikte bir kristalin paralel ve seri rezonans frekansları birbirine çok yakın olup en çok seri rezonans frekansının yaklaşık  $Z_0,4$ 'ü kadar olabilir.



Şekil 1. Bakışlımlı latis devre



Şekil 2. Kuartz kristalli latis devre



Şekil 3. Kuartz kristalli latis devreye ait kol empedansları ve zayıflamanın değişimi

### 3. HESAP YOLU

Simetrik latis süzgeçte,  $Z_1$  ve  $Z_2$ , kuartz kristal eşdeğer devresinde empedanslar olup Şekil 4a ve b'de gösterilmişlerdir.

Şekil 3a'ya göre

$$Z_1 = k_1 \frac{s^2 + \omega_0^2}{s(s^2 + \omega_2^2)} \quad (3)$$

$$Z_2 = k_2 \frac{2}{s(s^2 + \omega_1^2)} \quad (4)$$

yazılabilir. Burada  $s = j\omega$ ,  $k_1$  ve  $k_2$  ise pozitif gerçel katsayılarıdır. Yukarıda işaret edildiği üzere transmisyon sıfırları  $Z_1$ - $Z_2$ 'yi gerçekleyen frekanslarda meydana gelir. Bu özelliğe göre (3) ve (4)'den

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{(\omega_1^2 - \omega_0^2)(\omega_2^2 - \omega_0^2)}{\omega_0^2 - \omega_1^2} \quad (5)$$

bulunur. Diğer taraftan  $UIQ$  açılmal frekansında latis hücre görüntü empedansının 1 olarak alınan gerçel nominal değere eşit olması şartı kullanılarak (2), (3) ve (4)'den

$$k_1 k_2 = \frac{\omega_0^2 (\omega_2^2 - \omega_1^2)}{\omega_0^2 - \omega_1^2} \quad (6)$$

elde edilir. Buna göre  $\omega_1$ ,  $\omega_0$ ,  $\omega_2$ ,  $U_0$  ve  $U_2$  açılmal frekansları seçilmişse (5) ve (6)'dan  $k_1$  ve  $k_2$  pozitif gerçel katsayıları bulunur. (3) ve (4) denklemleri ve Şekil 4'e Foster teoremini uygulayarak, eleman değerleri için

$$C_{01} = \frac{1}{k_1} \quad C_{02} = \frac{1}{k_2} \quad (7)$$

$$L_1 = \frac{k_1}{\omega_2^2 - \omega_0^2} \quad L_2 = \frac{k_2}{\omega_0^2 - \omega_1^2} \quad (8)$$

$$C_1 = \frac{1}{L_1 \omega_0^2} \quad C_2 = \frac{1}{L_2 \omega_1^2} \quad (9)$$

bağıntıları bulunur.

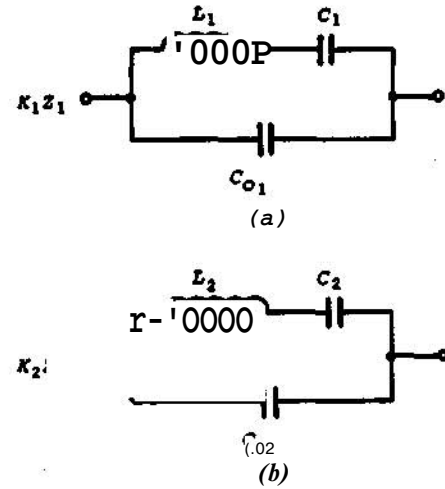
Burada  $\omega_1, \omega_2, \omega_0, \omega_1, \omega_2, \omega_0, \omega_1, \omega_2$  açılmal frekanslarının birbirinden bağımsız olmadığını belirtelim. Gerçekten,  $\omega_1 > \omega_2$  de de bir transmisyon sıfırı bulunduğu gözönünde tutularak (3) ve (4) denklemlerinden

$$\frac{(\omega_1^2 - \omega_0^2)(\omega_2^2 - \omega_0^2)}{\omega_0^2 - \omega_1^2} = \frac{(\omega_1^2 - \omega_0^2)(\omega_2^2 - \omega_0^2)}{\omega_0^2 - \omega_2^2} \quad (10)$$

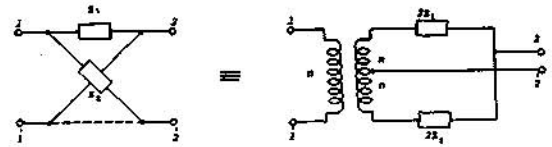
bağıntısı elde edilir. Uygun şekilde seçilen dört açılmal frekanstan (10) denklemleri yardımı ile beşincisi bulunur.

Şekil 1'deki latis devrenin admıtans matrisini iki matrisin toplamı şeklinde ifade etmek suretiyle bu devreye ait Jaumann eşdeğeri elde edilebilir [3]. Bu devre Şekil 5'de gösterilmiştir.

Görülüyor ki, devreye bir transformatör ilave etmek suretiyle iki kuartz kristalden tasarruf etmek imkanı vardır.



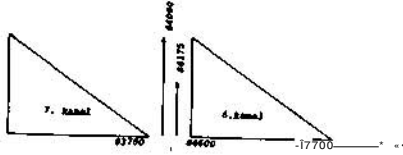
Şekil 4. Kuartz kristallerin eşdeğer devreleri



Şekil 5. Latis devrenin Jaumann eşdeğeri

#### 4. ÖRNEK

Örnek olarak FDM sistemlerinde grup pilotu olarak kullanılan 84080 Hz frekansının grup düzenine (regülatörüne) kumanda etmek üzere 60-108 kHz'lik B ana grubu içinden seçilip alınmasında kullanılan kuartz kristalli süzgecin hesabı verilecektir. Şekil 6'da gösterildiği gibi bu frekans ana gruba yerleştirilen 12 telefon kanalının 6. ve 7. kanalları arasındaki boşlukta bulunmaktadır. 84175 Hz, 6. kanaldan zaman zaman gönderilen 3825 Hz'lik bant dışı işaretleme frekansına tekabül etmektedir.



Şekil 6. Grup pilotunun B ana grubundaki yeri

Süzgecin 84080±5 Hz frekans bandındaki genlik bozulmasının (distorsiyonunun) 0,5 dB'i geçmesi, haber bantlarına ait frekans bantlarındaki zayıflamasının ise 55 dB'den büyük olması isteniyor.

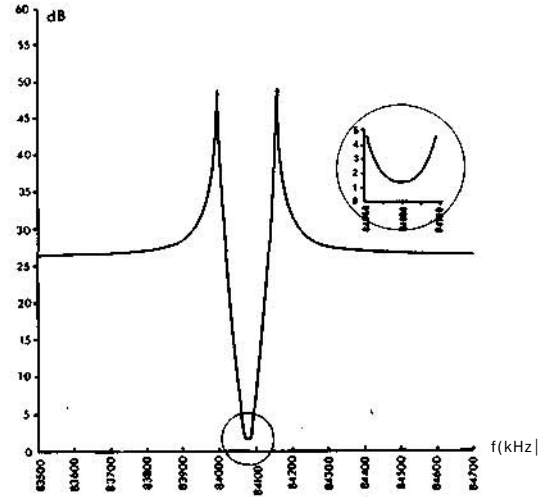
84080±5 Hz bandındaki genlik bozulmasının küçük kalmasını sağlamak üzere  $f_1=84055$  Hz ve  $f_2=84105$  Hz seçelim. 84080 Hz frekansını iki katlı geçen frekans noktasına getirmek uygundur. Demek ki,  $f_0=84080$  Hz olacaktır. 6. kanaldaki işaretleme frekansına yakın olarak  $f^*z = 84162$  Hz seçilirse (10) bağıntısından faydalanarak  $f_{c1}=83998$  Hz bulunur. Bu değerler 5,6,7,8 ve 9 denklemlerinde yerleştirilirse, latis süzgecin iki kolunu teşkil eden Şekil 4'deki  $Z_1$  ve  $Z_2$  empedanslarının eleman değerleri

$$\begin{aligned} L^3 &= 0,31555995 \text{ mH} & L_2 &= 3,343211133 \text{ mH} \\ C_1 &= 1,181923215 \text{ nF} & C_2 &= 1,0723816 \text{ nF} \\ C_{o1} &= 98722666 \text{ pF} & C_{o2} &= 1,80251266 \text{ pF} \end{aligned}$$

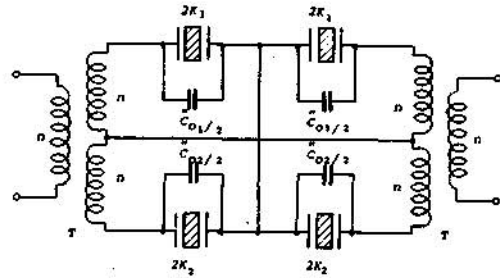
bulunur. Bu değerlerin 1 fl'luk hücreye ait olduğuna işaret edelim. Bir kuartz kristalin eşdeğer elektrik devresinde pratikte elde edilebilecek değerlere varmak üzere süzgeç emp.edansı  $f_0$  frekansında 6000 Q alınarak

$$\begin{aligned} L_1 &= 18,18933597 \text{ H} & L_2 &= 20,05926680 \text{ H} \\ d &= 0,1969872025 \text{ pF} & d &= 0,1787302667 \text{ pF} \\ C_{o1} &= 331,2044434 \text{ pF} & C_{o2} &= 300,4187766 \text{ pF} \end{aligned}$$

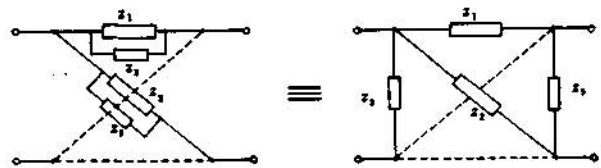
olur.



Şekil 7. Kristalli latis süzgecin efektif zayıflaması



Şekil 8. İki hücreli latis devreye eşdeğer Jaumann devresi

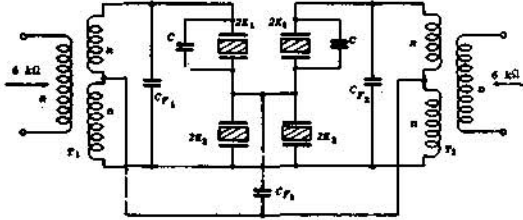


Şekil 9. Latis devre kollarındaki ortak empedansların ayrılması

Eşdeğer devredeki eleman değerleri yukardaki gibi olan dört kristalle gerçekleştirilen bir latis devrede  $Q \ll 20\ 000$  alınarak elde olunan efektif veya araya girme zayıflama karakteristiği Şekil 7'de gösterilmiştir. Buradan da görüleceği (işere durdurulmak istenen frekans bantlarına ait 55 dB'lik zayıflama şartını sağlamak üzere iki hücreyi ardarda (kaskat) bağlamak gerekmektedir. Şekil 5'deki Jaumann eşdeğerini kullanmak suretiyle elde olunan süzgeç devresi Şekil 8'deki gibi olur. Bu suretle 8 kristal yerine 4 kristal kullanılmaktadır. Bir kuartz kristalin paralel sığası (kapasitesi) ( $f_{c1}$  ve  $t_{o2}$ ) yukarda hesaplanan  $C_{o2}$  ve  $C_{o1}$  değerleri yanında küçüktür. Kristal sığalarını bu değerlere tamamlamak üzere paralel olarak  $C_{o1}$  ve  $C_{o2}$  sığaçları (kondansatörleri) eklenir. Şekil 8'deki  $C_{o1/2}$  ve  $^{02/2}$  sığaların Jaumann eşdeğerine dönüşümündeki değerlerine tekabül etmektedir.

Şekil 8'deki  $T_1$  ve  $T_2$  büyük empedanslar arasında çalıştığından sarım sayıları yüksek, dolayısıyla dağılma sığaları oldukça büyük transformatörlerdir. Bu dağılma sığaları Şekil 9'daki eşdeğerlik dolayısıyla Jaumann eşdeğer devresindeki kristallerin paralel rezonans frekanslarını etkiler. Buna engel olmak üzere Şekil 8'deki devre Şekil 10'daki hale getirilir.

Burada  $C_{p1}$  ve  $C_{j*}$  sığaçları  $T_1$  ve  $T_2$  transformatörleri dağılma sığasını  $f_{i1} \approx 0,2$  kabulüne göre  $\frac{C_{o2} - f_{o1}}{2}$  değerine tamamlar.



Şekil 10. Kullanılacak süzgeç devresi

$$C = \frac{C_{o2} - f_{o1}}{2}, \quad C_{p1} = C_{o2} - C_{o1}$$

dir.

Şekil 10'daki Jaumann eşdeğer devresinde kullanılacak kristallerin endüktanslarının  $2L_1$  ve  $2L_2$  olduğuna, seri rezonans frekanslarının ise latis devresinin aynı, yani sırasıyla 84080 Hz ve 84055 Hz, kaldığına işaret edelim.

Uygulamada kuartz kristal eleman değerlerinin yukardaki hesapta bulunduğu şekilde on haneli olarak elde edilmesi mümkün değildir. Genellikle eleman değerlerinde  $\pm X 10^1$ luk bir tolerans kabul edilebilir ve elde edilmesi mümkün bir değerdir. Bu sebepten Jaumann eşdeğer devresin-

deki kuartz kristallerin endüktans değerlerini 36,4 H ve 40,1 H olarak tespit etmek yeterlidir. Ancak seri rezonans frekanslarında kabul edilebilir sınırlar çok daha sıkı olup süzgecin çalışacağı sıcaklıkta  $\pm 30.10^{-6}$  olarak saptanabilir. Bu, elde olunan süzgeç için yeterli bir değer olmakla beraber pratikte de sağlanabilir.

$f_{o1}$  ve  $C_{o2}$  kristal paralel sığaları ise yukardaki gibi kristaller için 5-10 pF mertebesinde olurlar.

## 5. BİTİRİRKEN

Yukarda verilen örneğe benzer çeşitli pilot frekanslarının seçimi uygulanması FDM sistemlerinde çok yaygındır. PTT Araştırma Laboratuvarında gösterilen hesap metodu ile hesaplanan çok sayı ve cinsten filtre, geliştirilen ve imal edilen sistemlerde geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bitirmeden önce verilen hesap metodunu programlayarak örneği hesaplayan meslekdaşım Müh. Hamdi Akçetin'e teşekkür ederim.

EK :

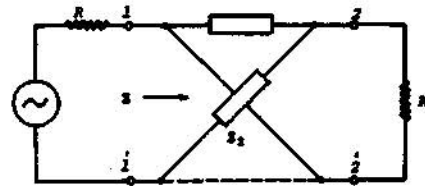
Şekil 11'deki gibi bir latis devrenin giriş empedansı

$$Z = \frac{(Z_1 + Z_2)(R + Z_1)(R + Z_2)}{(2R + Z_1 + Z_2)(R + Z_1 + Z_2)} = \frac{R + Z_1 + Z_2}{R + Z_1 + Z_2} \quad (11)$$

ve efektif araya girme zayıflaması ise

$$A = 20 \log \left| \frac{(R + Z_1)(R + Z_2)}{R(Z_1 - Z_2)} \right| \quad (12)$$

ifadeleri ile hesap edilir.



Şekil 11. tki uçtan sonlandırılan latis devre

## KAYNAKLAR

- [1] Yücel F., Kuartz Kristalli Basit Bir Bant Söndüren Süzgeç. Elektrik Mühendisliği, Sayı 209, Mayıs 1974, s.283-290
- [2] Scoven F., Electric Wave Filters, Chapman and Hall Ltd., 1950
- [3] Feldkeller R., Einführung in die Vierpoltheorie, S. Hirzei Verlag Leipzig, 1950. (Türkçesi: F.Yücel, Dörtuçlular Teorisi, TÜ Yayınları, 1953)