

Cauer Parametrelili Band Geçiren Zig - Zag Filtreler

FIKRET YÜCEL

Elekt. Y. Müh.

PIT Araştırma Laboratuvarı

ÖZET

Laurbiut imajından görüntü parametrelili filtreler için elde edilen BG zig-zag filtrelere benzer olarak çift dereceli Cauer parametrelili BG filtreleri için de bobin sayısında ekonomi temin eden devreler bulunabilir. Bu filtrelerde kullanılan bobin sayısı filtre derecesine eşit olup klâsik BG filtreleiden $\frac{n-2}{2}$ kadar daha azdır. Bu ekonomiyi sağlamak üzere yapılması icap eden reactans dönüşümleri sonunda pasif elemanlarla gerçekleştirilebilen merdiven tipi bir devre elde edebilmek için prototip AG filtenin sonsuzda en az iki Tcathlı bir transmisyon sıfırı olmalıdır. Çift dereceli Cauer parametrelili filtrelerin b ve c diye adlandırılan tipleri bu özelliği haiz bulunmaktadır.

SUMMARY

in resemblance to BG zig-zag filters, derived by Laurent for image parameter variety of filters, it can be possible to realize circuit configurations providing a reduction in the number of coils for Cauer parameter BP filters of even degree. The number of coils used in the ladder type of filter is equal to the degree of filter and is less than those of classical BG filters by an amount of $\frac{n-2}{2}$ in order to achieve this economy and to obtain a ladder circuit realisable with passive elements through reactance transformations, the prototype LP filter must have at least a second order transmission zero at infinity. The two types of even degree Cauer parameter filters, named as types b and c, possess these properties.

1. GİRİŞ :

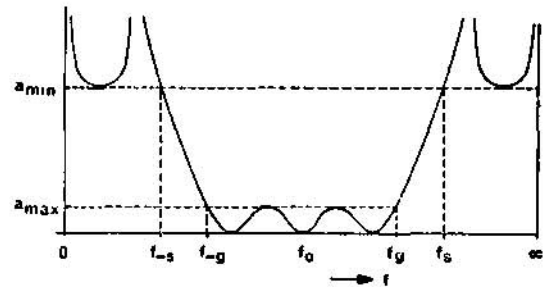
Geometrik olarak simetrik band geçiren (BG) filtreler basit bir frekans dönüşümü ile bir alt geçiren (AG) filtreye çevrilebilir. Bundan sonra sentez problemi bu AG filtre için çözülür. İstenen BG filtreye birincinin tersi bir frekans dönüşümü ile geçilir. Bu yol, sentez probleminin iki safhası olan,

a) İdeal filtreyi yaklaşık olarak temsil eden transfer fonksiyonunun elde edilmesi ve,

b) Bu transfer fonksiyonuna sahip devrenin teşkilinde büyük basitlik sağlar.

Şekil 1'de Cauer parametrelili bir BG filtenin efektif zayıflama - frekans* ([1], [2]) karakteristiği gösterilmiştir. Bilindiği üzere Cauer parametrelili filtreler eliptik filtreler adı ile de anılırlar ve gerek geçen, gerekse söndürülen bandda Chebyshev yaklaşıklıkını haizdirler. Yani, efektif zayıflama geçen bandda sıfırla a_{max} söndürülen band veya bandlarda ise sonsuz ile a_{mp} arasında değişir.

Geometrik olarak simetrik bir band geçiren filtre Şekil 2'deki gibi bir veriden itibaren hesap edilir. Burada f_s ve f_g geçen bandın, f_0



So kıl : 1

ve f_s ise söndürülen bandların sıfırdan farkü sonlu sınır frekansları olmak üzere geometrik olarak simetrik bir filtrede orta frekans,

$$f_0 = \sqrt{f_{-s} f_s} = \sqrt{f_{-g} f_g} \quad (D)$$

dir. Frekans normalizasyonu f_0 'a göre yapılır. O halde normaüze açılal frekans,

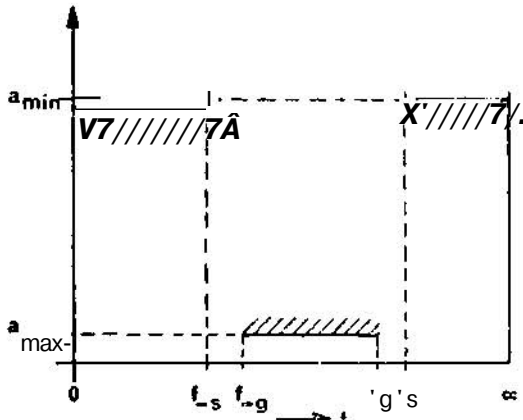
$$\Omega = \frac{f}{f_0} \quad (2)$$

olur.

BG filtreden AG filtreye geçiş.

$$\Omega' = \left(\Omega - \frac{1}{\Omega} \right) / b \quad (3)$$

frekans dönüşümü ile yapılır. Burada,



Şekil 2

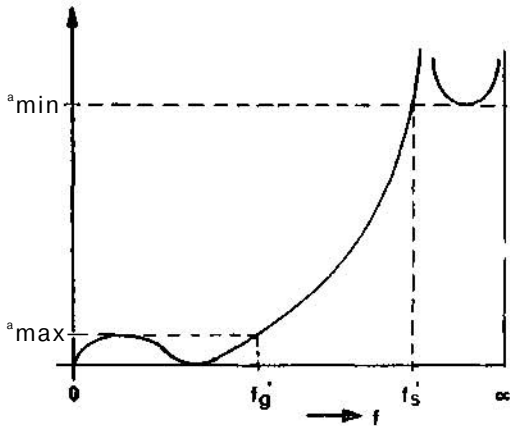
$$b = \frac{f_g - f_g}{f_o} \quad (i)$$

olup nisbi band genişliğidir.

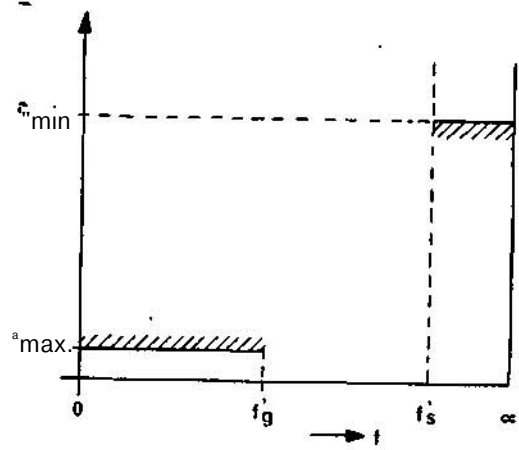
(3) dönüşümüne göre bazı f_j değerlerine tekabül eden Q açısal frekansları aşağıdaki cetvelde gösterilmiştir.

a	Ω'
0	$-\infty$
Ω_{-g}	-1
∞	0
0_g	1
∞	∞

Negatif frekansları pozitiflere eşit almak suretile bu dönüşüm sonunda BG filtre, Şekil 1 ve Şekil 2'nin f_o 'dan frekans eksenine çizilen bir dikme boyunca katlanması ile elde edilen frekans karakteristiklerini haiz bir AG'e çevrilmiş olur. Bu suretle Şekil 1, Şekil 3'e, Şekil 2 ise Şekil 4'e dönüşür.



Şekil 3



Şekil 4

BG filtre prototipi olan AG filtrenin geçen band sinini,

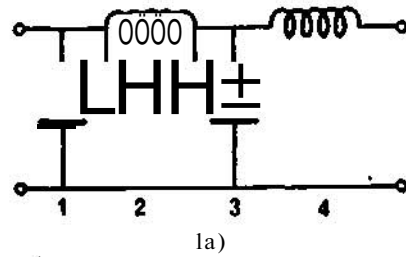
$$\ll V = 1 \quad (5)$$

söndürülen bandda a_{min} 'a ilk erişilen normalize frekans

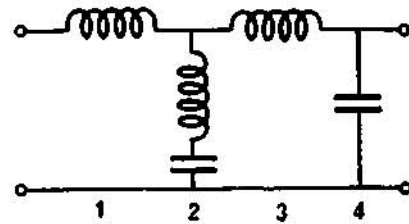
$$\Omega'_s = \frac{\Omega_s - \Omega_{-s}}{b} \quad (6)$$

dir.

AG filtre bu suretle elde edilen $\Omega'_s, \Omega'_{-s}, a_{min}$ ve a_{max} ile hesaplanır. Yukarıda alınan misale ait devre Şekil 5 a veya 5 b'deki gibi olur.



1a)



(b)

Şekil . S

Bu suretle elde edilen prototip alt geçiren filtreden BG filtre frekanslarını elde etmek için (3) deki dönüşüm tersi tatbik edilir. AG filtrenin bir normalize frekansına BG filterde geometrik olarak simetrik iki frekans tekabül eder:

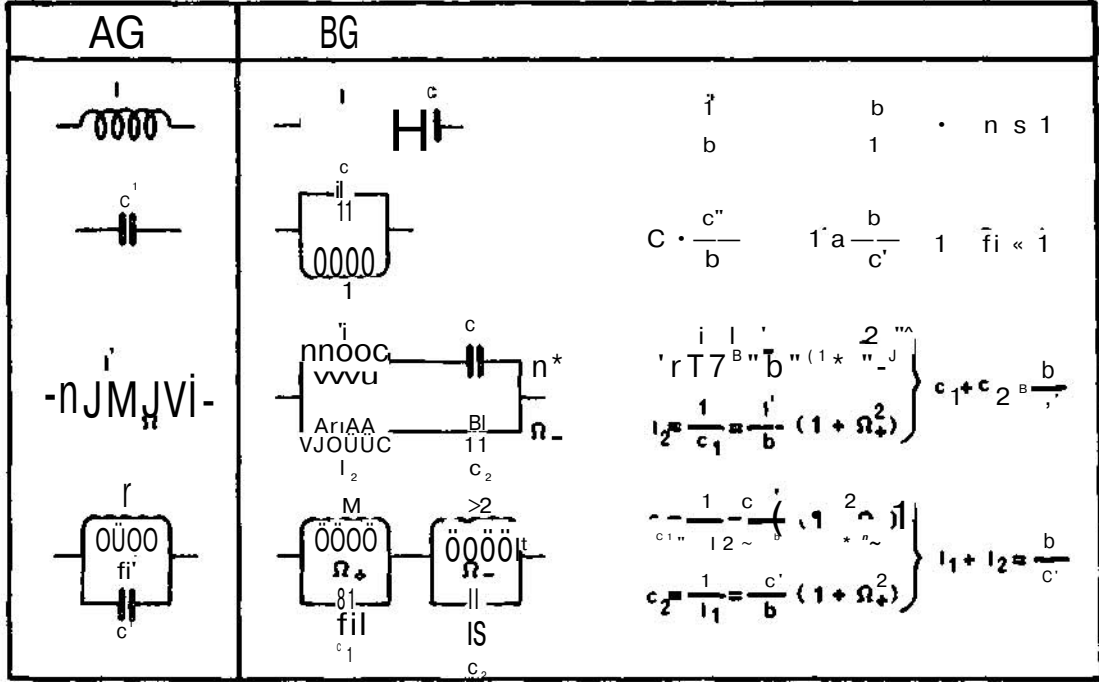
$$\Omega_{\pm} = \sqrt{\left(\frac{\Omega'_b}{2}\right)^2 + 1} \pm \frac{\Omega'_b}{2} \quad (7)$$

(7) denklemi kullanılarak UG filtrenin zayıflama Sıfır ve kutupları prototip AG filtrenin zayıflama sıfır ve kutuplarından elde edilir.

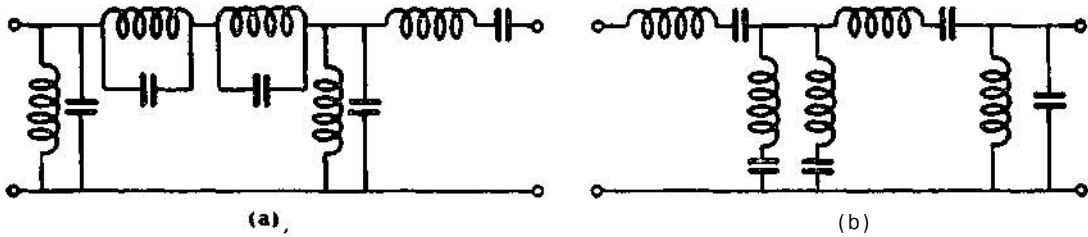
Reaktans dönüğü (3) denklemine uygun olarak yapılır. Bu suretle elde edilen devre elemanları değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

bara alınmaz. Bu gün IX3 filtrelerinde kullanılan bir bobinin fiyah gene aynı filtrelerde kullanılan bir film kondansatörün (polistren) fiyatının 2-3 katıdır. Bu sebeple en az bobinle gerçekleştirilen devre şekilleri kullanmaya gayret edilir.

Bu husustaki en önemli İlk adım hiç şüphesiz band geçiren zig - zag filtrelerin Torbern Laurent tarafından bulunması ile atılmıştır [3]. Laurent görüntü parametreleri ile hesaplanan



Şekil : 6



Şekil . 7

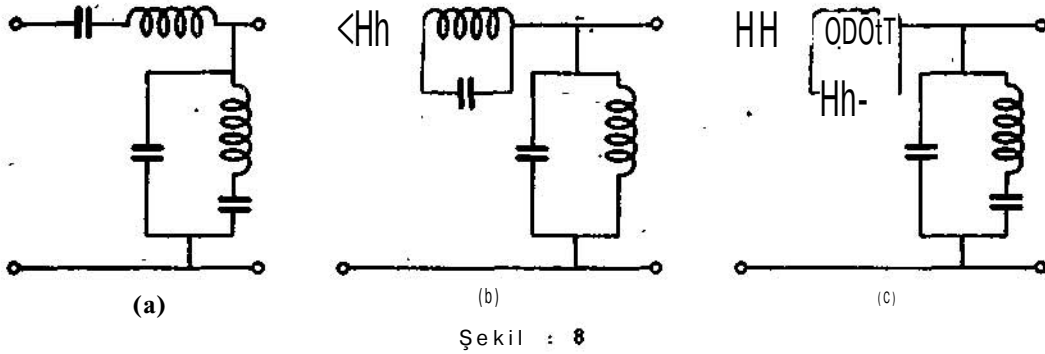
Şekil 6'daki reaktans dönüşümleri sonucunda Şekil 5 a ve 5 b devrelerinden elde edilen BG filtreler Şekil 7 a ve 7 b'deki gibi olurlar.

2. BAND GEÇİREN ZİG - ZAG FİLTRELER :

Tukardaki şekilde elde edilen klâsik tip filtrelerde bobin ve kondansatörlerin sayısı; birbirine eşittir. Bir filtrede to' bobin Ue bir kondansatör ekonomik bakımdan eşit olarak nazarı iti-

filtre hücrelerine özel frekans ve reaktans dönüşümleri tatbik etmek suretiyle band geçiren zlg - zag hücreleri elde etmiştir. Şekil 8 a, b ve c de zig - zag filtre hücreleri görülmektedir.

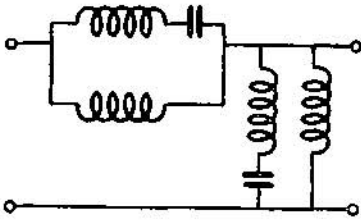
Şekil 8-adaki hücrenin zayıflama kutuplarından biri geçen bandın altında ve sıfırdan farklı, diğeri sonsuzdadır. Şekil 8 b'deki hücrenin ise zayıflama kutuplarından biri sıfırda, diğeri geçen bandın üstünde ve sonludur. Şekil 8 c'deki hücre ise biri geçen bandın altında, diğeri üstünde sıfırdan farklı sonlu iki zayıflama kutubunu haizdir.



Şekil : 8

Şekil 8 ö deki gibi hücreler aralarında yanışmaya sebep olmayacak şekilde bağlanarak bir filtre zinciri teşkil edilir. Şekil 8 a ve b deki hücreler genellikle bu zincirin uçlandırma hücrelerini teşkil ederler.

Şekil 9 da Şekil 8 c'deki hücrenin düali gösterilmiştir.



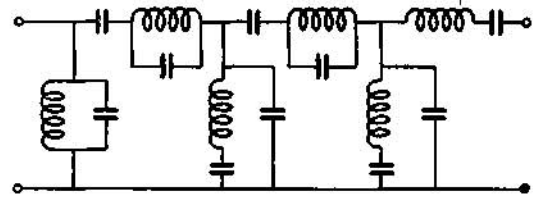
Şekil 9

Şekil 10 a ve b'öe ise biri geçen bandın altında, diğeri üstünde *sonlu* ve sıfırdan farklı iki zayıflama kutbunu haiz klasik BG filtre hücreleri görülmektedir.

Görülüyor ki, zig-zag filtreler ite klâsik BG filtrelerde kullanılan toplam eleman sayısı eşit, fakat bobin ve kondansatör sayıları farklıdır. Şekil 8 c'deki hücrenin seçilmesi ile filterde her hücre için 1 bobin azalır.

Şekil 11'de Şekil 8 a, b ve c'deki hücrelerin kullanılması ile kurulan bir zig-zag filtre gös-

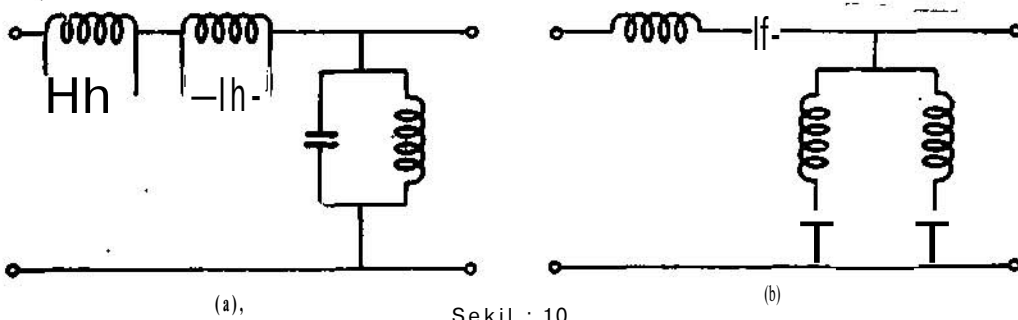
terilmiştir. Düal hücrelerle teşkil edilen filtre devre şemaları da çizilebilir.



Şekil 11

Bu şekilde teşkil edilen zig-zag filtrelerin karakteristiği, geçen bandın bir tarafındaki (üstündeki) bütün zayıflama kutuplarının seri kollarındaki paralel rezonans devreleriyle diğere tarafındaki (altındaki) zayıflama kutuplarının ise şönt kollarındaki seri rezonans devreleriyle meydana getirilmeleridir. Bu suretle ard arda bağlanan hücrelerle teşkil edilen zig-zag BG filterde, merdiven tipi devre boyunca, geçen bandın bir tarafındaki zayıflama kutbunu diğere tarafındaki ibir kutup takip eder. Laurent'in bu filterlere *zig-zag* adını vermesi nedeni budur.

Halbuki gerek Şekil 7 a ve b'de, gerekse Şekil 10 a ve b'deki klâsik BG filtrelerde bandın iki tarafındaki zayıflama kutupları ya seri koldaki iki paralel rezonans devresi veya şönt koldaki iki seri rezonans devresi ile teşkil edilmektedir.



Şekil : 10

Zig-zag filtrelerde bobin ve kondansatör sayısının eş olmaması kondansatörlerin bobinlerden daha ucuz olduğu bazı özel hallerde de daha ekonomik filtre devrelerinin elde edilmesine imkân vermektedir. (Şekil 9).

3. CAJTEK PARAMETRELİ ZİG-ZAG FİLTRELER

Geometrik olarak simetrik band geçiren filtreler sentezinde bir prototip AG filtre bularak BG filtreye bir reaktans dönüşümü ile geçmenin büyük hesap kolaylığı sağladığına 1. GİRİŞ paragrafında işaret etmiştik.

Bilhassa elde normalize AG filtreler ait kataloglar bulunuyorsa bu hesaplar çok basitleşir. Bu katalogları ihtiva eden belli başlı eserler bibliyografyada [4], [5], [6], [7], [8] ile numaralanmışlardır. Bunlardan bilhassa [4], [5] ve [6] nın filtre tasarlayıp hesaplayanların elinde bulunması tavsiye edilir.

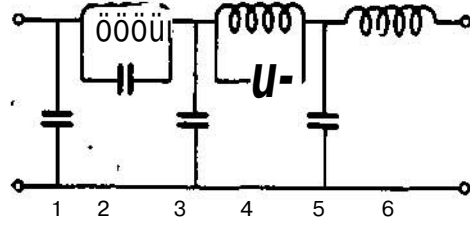
Prototip AG filtreden BG filtreye geçerken reaktans dönüşümü olarak (3) ün kullanılmasının elemanlar arasında Şekil 6'da gösterilen dönüşümü sağladığını biliyoruz. Bu suretle elde edilen devrelerde AG filtrenin bir kutbuna tekabül edip geçen bandın iki tarafında bulunan iki zayıflama kutbu aynı koldaki elemanlarla teşkil edilir ve bobin sayısı ile kondansatör sayısı eşittir.

Bobin sayısını minimum kılmak için AG filtreye özel reaktans dönüşümleri uygulamak gerekir. Merdiven tipi devreler elde etmek üzere tatbik edilen reaktans dönüşümleri sonunda görüldü parametrelili filtrelerdeki benzer BG zig-zag filtre devreleri elde olunur. Bu reaktans dönüşümünün sonunda karşıt endüktans ve negatif devre elemanı ihtiva etmeyen bir devre elde etmek için prototip AG filtrenin en az iki katlı transmisyon sıfırına (zayıflama kutbu) sahip olması gerekir. Bu ise çift dereceli Cauer parametrelili filtreleri b ve c hallerinin ifadesidir.

Cauer parametrelili filtrelerin çift dereceden olanları karşıt endüktans ihtiva etmeyen merdiven tipi devrelerle gerçekleştirilemez. Bunu mümkün kılmak için yapılan toir frekans dönüşümü sonunda filtre sonsuzda iki katlı bir zayıflama kutbuna sahip olur. Bu suretle merdiven tipi bir devre ile gerçekleştirilebilen filtre sıfırda bir zayıflama sıfırına sahip değildir. Böyle filtreleri Cauer b harfi ile belirtmektedir. [9], [1], [4].

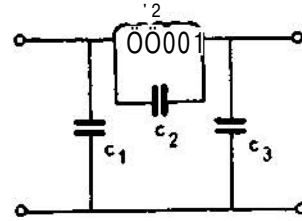
Filtreyi simetrik kılmak için ideal transformator, kullanılmaktan kaçınmak üzere çift dereceden filtreye bir başka frekans dönüşümü tatbik etmek suretile sonsuzda iki katlı zayıflama kutbunu haiz bir filtre elde edilir. Sıfırda zayıflama sıfırına sahip bu filtreyi Cauer c harfi ile ifade etmektedir. [9], [1], [4].

Şekil 12'de derecesi n=6 olan b ve c tipi Cauer parametrelili AG bir filtreye ait devre şeması görülmektedir. Bu devrenin düalinin de aynı filtreler için olduğu işaret edilmiştir.



Şekil 12

Şimdi prototip olarak alınan böyle AG filtrelerden BG zig-zag filtreler reaktans transformasyonu ile nasıl geçildiği göreceğiz.

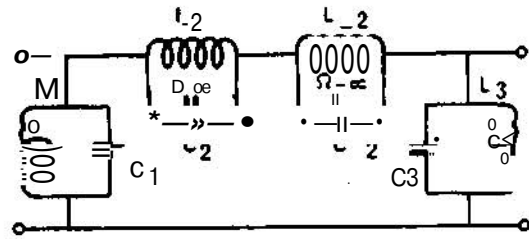


Şekil 13

Şekil 13'deki dörtüçlüde

$$c_1 = \frac{-c_2 \cdot c_3}{c_2 + c_3}; \quad c_2 > 0, c_3 > 0$$

bağlantısı varsa buna tam hücre adını veriyoruz. (3) reaktans dönüşümünü bu hücreye tatbik ile Şekil 14'deki devre elde edilir.



$$C_1 = c_1 \quad C_2 = c_2 (1 + \Omega_{\infty}^2)$$

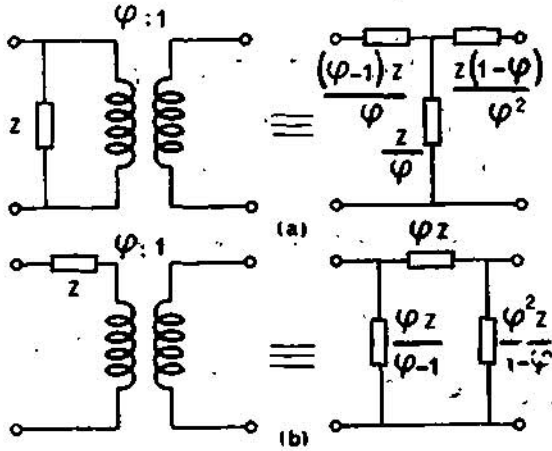
$$M = \frac{1}{c_1} \quad L_2 = \frac{1}{\Omega_{\infty}^2 c_2}$$

$$C_3 = c_3 \quad L_3 = c_2 (1 + n^2)$$

$$L_3 = \frac{1}{c_3} \quad t_2 = \frac{1}{\Omega_{\infty}^2 c_2}$$

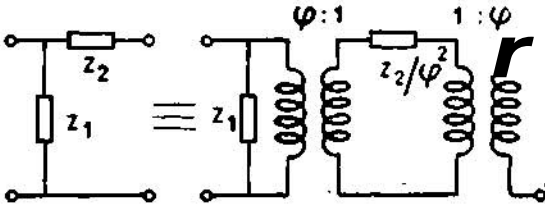
Şekil 14

İşkil 16'da Norton empedans dönüşümleri gösterilmiştir.

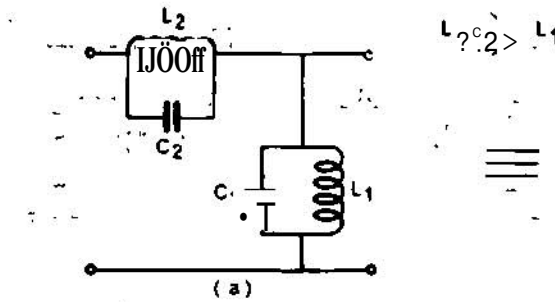


Şekil : 15

Şekil 16'daki eşdeğer devrelerden sağ tarafa takine evvelâ Şekil 15 a'yi sonra da elde edilen $(Z_1 + Z_2 - yZ_j)^{\wedge}$ empedansına Şekil 15 b'deki dönüşümü tatbik ederek Şekil 17 elde olunur. Z_1 ve Z_2 'nin birer paralel rezonans devresi olması halinde



Şekil - 16



$$L_a = L_1 + L_2$$

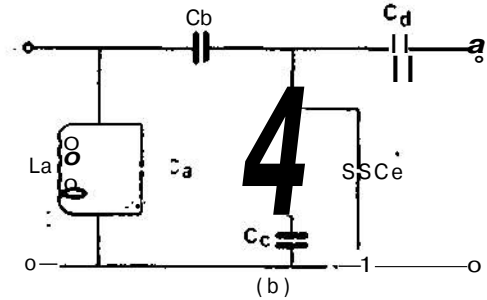
$$C_a = \frac{L_1 C_1}{L_1 + L_2}$$

$$L_a C_a = L_1 C_1$$

$$C_b = \frac{L_2 C_2 - L_1 C_1}{L_1 + L_2}$$

$$C_d = \frac{L_2 C_2 - L_1 C_1}{L_1}$$

$$C_c = \frac{C_1 (L_2 C_2 - L_1 C_1)}{C_2 (L_1 \cdot L_2)}$$

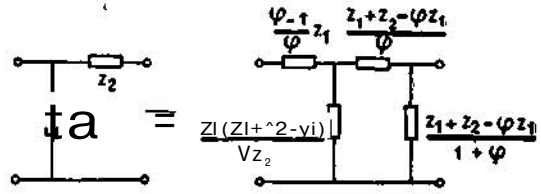


$$C_c = \frac{(L_2 C_2 - L_1 C_1)^2}{C_2 L_1 (L_1 \cdot L_2)}$$

$$L_c = \frac{L_1 L_2 (L_1 \cdot L_2)^2}{(L_2 C_2 - L_1 C_1)^2}$$

$$L_c C_c = L_2 C_2$$

Şekil 18



Şekil - 17

$$Z_1 = \frac{L_1 s}{1 + L_1 C_1 s^2}$$

$$Z_2 = \frac{L_2 s}{1 + L_2 C_2 s^2}$$

dur. ($s = j\omega$).

Evvelâ $L_2 C_2 > L_1 C_1$ farzedelim ve Şekil 17'de $(y - l/p)Z_2$ ve $(Z_1 + Z_2 - \phi Z_1)^{\wedge}$ iki uçlarının birer kondansatör olması şartını arayalım. Bu sağlandığı takdirde $Z_2/p/n$ de bir kapasite olmasa İcap edeceğine göre bu İM kapasite reaktansı oranı olan $(\phi - 1) Z_1/Z_2$ 'nin s'den bağımsız olacağı açıktır.

$$\phi = \frac{(L_2 C_2 - L_1 C_1) s^2}{1 + L_2 C_2 s^2}$$

seçerek bunun sağlanabileceği görülür, ϕ 'yi böyle segmek suretille Şekil 18'deM devreler arasında eşdeğerlik olduğu gösterilebilir [10].

Şekil 18'deki İfadelerden C_d 'nin negatif olduğu görülüyor.

Eğer $L_2 C_2 < L_1 C_1$ ise Şekil 17'nin sağ tarafındaki dört uçlunun $\frac{Z_1(Z_1 + Z_2 - \phi Z_1)}{\phi Z_2}$ ve $\frac{\phi - 1}{\phi} Z_1$

İki uçlarının birer kondansatör olmasını temin için,

$$\varphi = \frac{(L_1 C_1 - L_2 C_2) s^*}{L_2/L_1 + s^* (L_1 C_1 + L_2 (\hat{1} - \hat{1} C_1))}$$

seçilir. Bunun sonucunda Şekil 19'daki eşdeğer devre elde olunur.

Şekil 19'daki ifadelerden C_h nin negatif olduğu görülmektedir.

Şimdi Şekil 14'deki dörtüçlüye dönelim. Bu dörtüçlünün negatif elemanlardan kurulu L_j, C_j kolu dışında kalan kısmana evvelâ Şekil 18, sonra da Şekil 19'daki dönüşüm tatbik edilerek Şekil 20 c'deki devre bulunur.

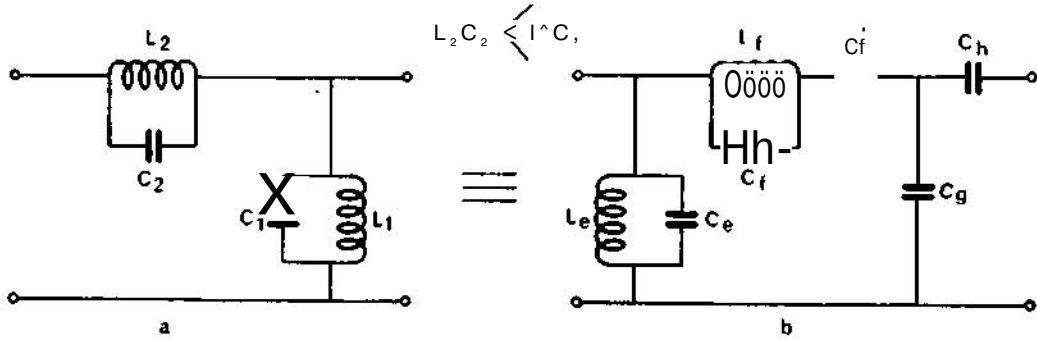
Şekil 20 c'deki $C^$ ve C_b kondansatörleri tek bir kondansatörle temsil edildikten sonra Şekil

15 a'daki Norton dönüşümünü tatbik edebilmek için,

$$\frac{V C^ + C_j}{\varphi} = \frac{C_b C_h}{\varphi}$$

denklemini sağlayacak şekilde seçilir. Bundan sonra C_f bir parçası $[(\hat{1} - 1)/\hat{1}] Z$ yi teşkil edecek şekilde ikiye ayırılır. Daha sonra da Şekil 15 a'daki Norton dönüşümü tatbik edilir ve Şekil 20 c'deki devre Şekil 21 haline gelir. Gösterilebilir ki :

$$\varphi = \frac{(L_2 + L_{-2} + L_3) (L_2 C_1 - L_3 C_3)}{(L_2 + L_3) (L_2 C_2 - L_{-2} C_{-2})}$$



$$-L_0 a = L_1 + L_2$$

$$C_f = \frac{L_1 C_1 C_1 - L_2 C_2}{L_2 C_1 \cdot L_2}$$

$$C_g = -\frac{C_2 L_1}{L_1 \cdot L_2}$$

$$C_e = \frac{L_2 C_2}{L_1 + L_2}$$

$$C_q = \frac{L_1 C_1 - L_2 C_2}{1 - L_2}$$

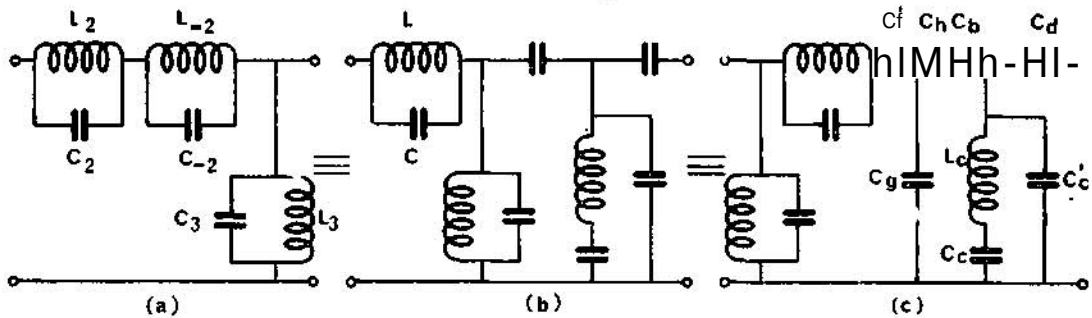
$$L_f = \frac{L_2 (L_1 \cdot L_2)}{L_1}$$

$$L_e C_e = L_2 C_2$$

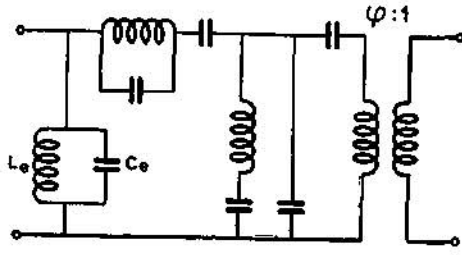
$$C_{f,1} = -\frac{L_1 C_1 - L_2 C_2}{L_2}$$

$$L_1 C_f = L_2 C_2$$

Şekil: 19

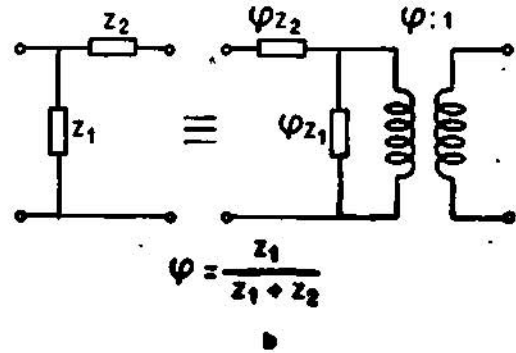
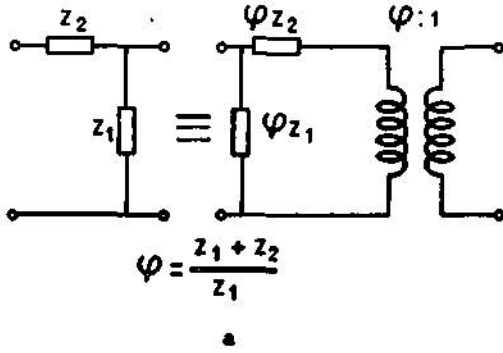


Şekil: 20



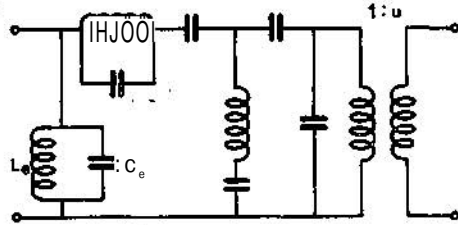
Şekil: 21

olarak seçilmelidir. Şekil 22 a ve b'de diğer Norton dönüşümleri gösterilmiştir.



» • kil: İ t

Şekil 21'deki devrenin sağ tarafındaki iki kondansatöre Şekil 22 b'deki dönüşüm tatbik edilirse devre Şekil 23'deki durumu alır.



Şekil 23

Şekil 23'deki L_0 endüktansı

$$L_0 = L_2 + L_{-1} + L_3$$

dür. Şekil 14'deki ifadelerden ve,

$$\Omega_{\infty} \Omega_{-\infty} = 1$$

bağıntısından istifade ile

$$L_0 = \frac{c_2 + c_3}{c_2 c_3}$$

olduğu gösterilebilir. Buna göre Şekil 14'deki BG filtreye eşdeğer devre Şekil 24'deki gibi elde edilir. Şekil 24'deki 1 endislerli i hücreyi ifade etmektedir.

Yukarda verilen eşdeğer devreler ve dönüşüm ifadeleri yardımı ile prototip İAG filtre hücreleri elemanları cinsinden BG filtre elemanları için Şekil 24 de verilen ifadeler elde edilir.

Burada; prototip AG filtrede O_j , kapasitesinin negatif olduğunu kabul ediyoruz.' Şekil 24'deki denklemlere göre BG filtre eşdeğer şemasında da C'^{\wedge} , ve C'_{sij} kapasiteleri negatif olur. Böyle bir dörtüçlü ise pasif elemanlarla gerçekleştirilemez. Şekil 25 a arka arkaya bağla böyle iki dört uçlunun bağlama noktalarındaki durumunu göstermektedir.

$C_{1,i+1}$ ve $C_{2,i+1}$ kondansatörleri transformatorün diğer tarafına geçirirken ϕ_i^* ile çarpılırlar ve Şekil 25 b meydana gelir:

$C'_{s,i}$ ve $C''_{a,i}$ kondansatörlerine Şekil 22 a'daki Norton dönüşümü tatbik edilirse Şekil 25 c'deki eşdeğer devre elde olunur.

Bu dönüşümler sonunda i. hücrenin negatif $C_{s,i}$ kapasitesi ile $(i+1)$. Hücrenin negatif $C_{1,i+1}$ kapasitesi ortadan kalkar.

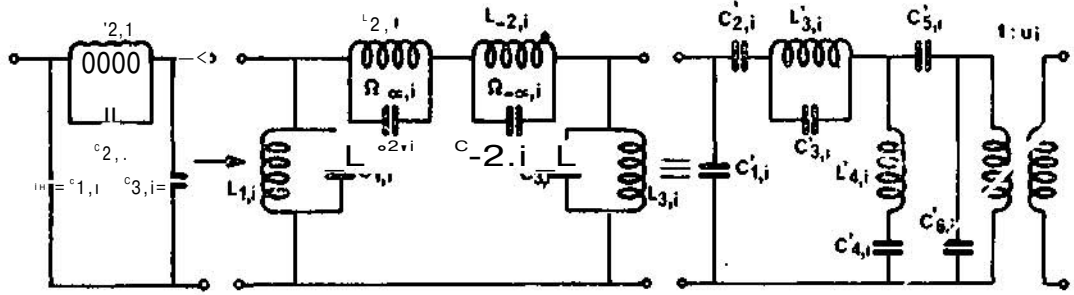
Benzer hücrelerin ard arda bağlanması ile eme edilen zincirde 1 hücrenin C'_w kapasitesi

$$n-2$$

ve sonuncu ($m = \frac{n-2}{2}$) hücrenin $C_{s,m}$ kapa-

sitesi negatif olarak kalır. Bu negatif elemanların da ortadan kalkması ve BG filtrenin pasif elemanlarla gerçekleştirilebilmesi için AG filtrenin sonsuzda n az iki katlı bir zayıflama kutbu bulunmalı ve bu kutuplardan biri devrenin başında diğeri sonunda teşkil edilmelidir. Evvelce de işaret edildiği gibi bu özellik çift dereceli ve karşıt endüktans kullanmadan gerçekleştirilebilen Cauey parametrelili AG filtrelerle sağlanır.

Aşağıda geometrik olarak simetrik bir BG filtreye prototip olarak seçilen çift dereceden



$$C'_{1,i} = c_{1,i} u_i$$

$$C'_{6,i} = c_{3,i} u_i u_i$$

$$C'_{3,i} = c_{2,i} p_i \Omega_{\infty,i}^2$$

$$L'_{3,i} = \frac{1}{\Omega_{\infty,i}^2 C'_{3,i}}$$

$$m_i = c_{1,i} / c_{2,i}$$

$$u_i = 1 - \Omega_{\infty,i}^2$$

$$p_j \leq 1 \cdot m_i \cdot \Omega_{\infty,i}^2$$

$$u_j \leq 1 \cdot m_j \Omega_{\infty,i}^2$$

$$C'_{2,i} = -c_{1,i} u_i p_i$$

$$C'_{4,i} = -c_{3,i} m_i u_i^2 p_i$$

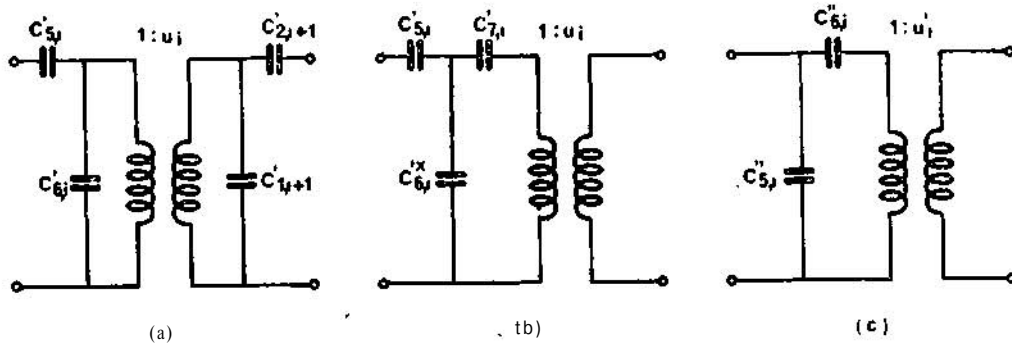
$$L'_{4,i} = \frac{1}{\Omega_{\infty,i}^2 C'_{4,i}}$$

$$C'_{5,i} = -c_{3,i} u_i u_i p_i$$

$$C'_{1,i} = -\frac{c_{2,i} c_{3,i}}{c_{3,i}}$$

$$\Omega_{\pm \infty,i} = \sqrt{\left(\frac{\Omega_i b}{2}\right)^2 + 1} \pm \frac{\Omega_i b}{2}$$

Şekil : 24



$$c'_{6,i} = c'_{6,i} \cdot u_i^2 \cdot c'_{6,i+1}$$

$$c'_{7,i} = c'_{2,i+1}$$

$$\varphi_i = c'_{5,i} / (c'_{5,i} + c'_{6,i})$$

$$U_i \leq |j U|$$

$$C'_{6,i} = c'_{5,i} \cdot (1 - \varphi_i)$$

$$C'_{6,i} = \varphi_i^2 \frac{(c'_{5,i} + c'_{6,i}) c'_{7,i}}{c'_{5,i} + c'_{6,i} + c'_{7,i}}$$

Şekil : 25

bir Caueer parametrelili filtreden hareketle EG filtre devresini elde etmek için takip edilecek hesap yolunu gösteriyoruz:

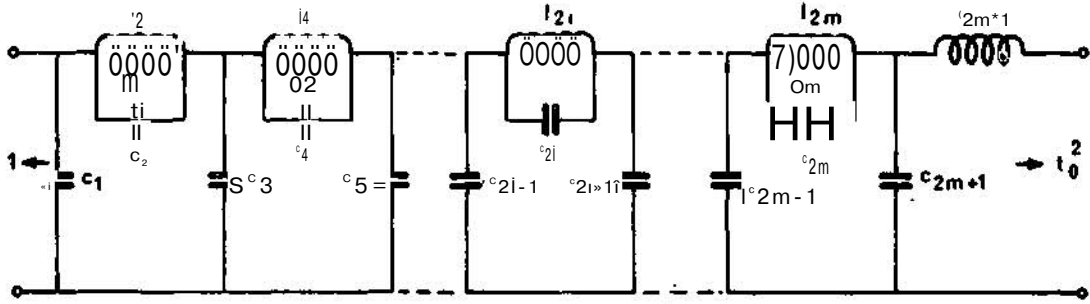
a) Prototip olarak seçilen AG filtre Şekil 26'da gösterilmiştir.

Filtrenin derecesi n olsun. AG filtreye geçen frekans normalizasyonu b nisbi band genişliğine göre yapıldığından prototip norma-

lize AG filtrenin elemanları evvelâ 1/b ile çarpılır.

b) Sonra, sondan başayıp başa doğru $c_{5m-1} \dots c_{2m-3}$ kondansatörleri ikiye ayrılarak

1 1 1
 filtre ———— 1 ———— i ———— = O denklemini sağ-
 $c_{1,i} \quad c_{2,i} \quad c_{3,i}$



Şekil: 26

Uyacak tam hücrelere aynıdır. Bu hücrelerin sayısı $m = \frac{n-2}{2}$ dir.

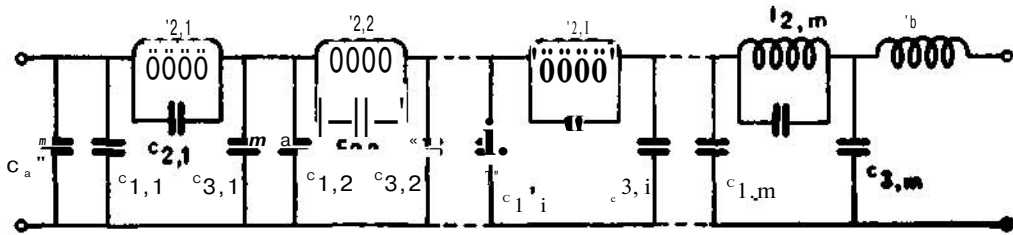
Mesela son hücre için,

$$C_{2,m} = C_{2m}, C_{3,m} = C_{2m+1}, C_{1,m} = \frac{C_{2m} C_{2m+1}}{C_{2m} + C_{2m+1}}$$

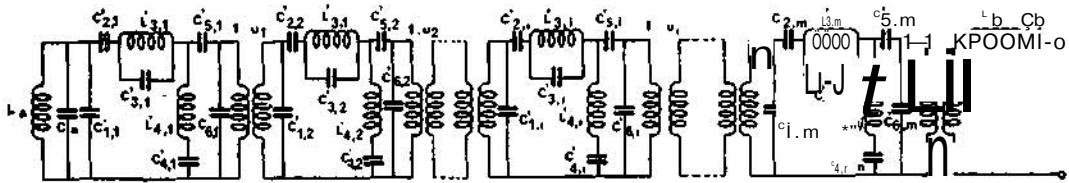
(m-1). hücre için,

$$C_{1,m-1} = \frac{C_{3,m-1} C_{2m-2}}{C_{3,m-1} + C_{2m-2}}$$

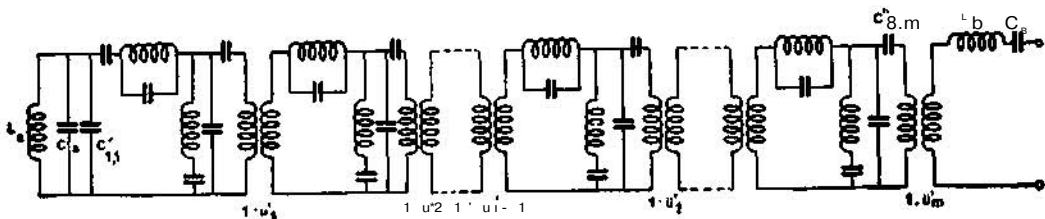
olur. Bu şekilde devam edilerek 1. üttreye kadar gelinir. Elde olunan devre şekil 27 dedir.



Şekil 27



Şekil 28



Şekil 29

$$\text{Burada } L_b = \frac{L_{2n+1}}{b}, c_a = c_1 - c_{1,1} \text{ dir.}$$

c) Bundan sonra her hücreye Şekil 24'deki iönüşüm tatbik edilir. Bu suretle meydana gelen devre Şekil 28'dedir.

Eleman değerleri Şekil 24'deki denklemlerle verilmiştir. AG - BG dönüşümü ω_a ve ω_b ye de tatbik edilmektedir. Buna göre,

$$C_a = c_a, L_a = \frac{1}{C_a}, L_b = L_b, C_b = \frac{1}{L_b}$$

dir.

d) Daha sonra Şekil 25'deki dönüşümün tatbiki ile negatif değeri haiz C'_s ve C'_p kapasiteleri yok edilir. Son hücreye bu dönüşüm tatbik edilirken $C'_{2m+1} = \infty$ ve $C'_{2m+2} = 0$ olduğu gözönünde tutulur. Dolayısıyla,

$$C'_{2m+1} = C'_{2m+2} = CO$$

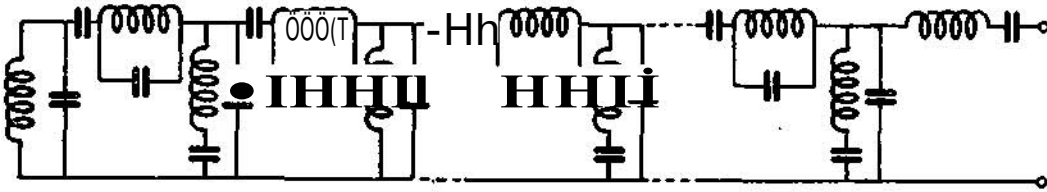
$$C''_{6,m} = \omega_m^2 (C'_{5,m} C'_{6,m})$$

olur. Bunun sonucu olarak devre şekil 29'daki hali alır. Bu devrede negatif değerli eleman olarak sadece $C'_{3,7}$ ve $C''_{6,1n}$ kalmıştır.

e) Şekil 29'daki devrede bulunan ideal transformatörler sondan başlayarak başa doğru her trafonun sağında kalan elemanlardan endüktans-

ler—kapasiteler ise t_i^3 ile çarpılmak suretiyle,

retile kaldırılır. $C_b U'_{1,1} e^{-\omega t}$ nin seri ve C_a ile $C'_{3,7}$ nin paralel kombinasyonu pozitif değerler verir. Neticede tamamen pozitif elemanlardan meydana gelen devre Şekil 30'daki gibi olur.



Şekil . 30

Saal ve Ulbrich [1]'deki makalelerinde bu hesap yoluna ait toplu ifadeleri vermişlerdir.

4. ÖRNEK

Şekil 31'deki gibi bir filtre hesap edilmek isteniyor. Kaynak empedansı $R = 150 \Omega$ olup,

$$f = 72 \text{ kHz}$$

$$f_1 = 84 \text{ kHz}$$

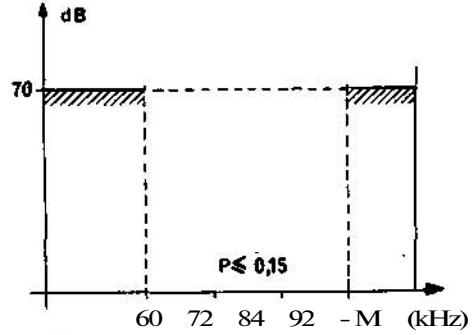
$$f_0 = 77,7688884 \text{ kHz}$$

dir. $f_s = 96 \text{ kHz}$ alalım. Buna göre

$$f_s = \frac{f_0^2}{f_1} = 63 \text{ kHz} > 60 \text{ kHz}$$

bulunur.

Şekil 31'deki p , yansıma katsayısı göstermektedir. Nonmalizasyon frekansları hesaplayalım :



Şekil : 31

$$\omega = \frac{f_g}{f_0} = 1.0801243449$$

$$\Omega_{-a} = \frac{f_{-a}}{f_0} = 0.9258200997$$

$$\Omega_s = \frac{f_s}{f_0} = 1.234426799$$

$$\Omega_{-s} = \frac{f_{-s}}{f_0} = 0.810092872$$

Model alt geçiren filtrenin söndürdüğü band sınırı,

$$n' = \frac{\Omega_s - \Omega_{-s}}{\Omega_s - \Omega_{-a}} = 2.750000007$$

dır. Katalogdan [4] $Q'_1 = 2.001642$ olan C 0615 c-32 filtresi seçilir. Aradaki fark emniyet payı olarak söndürülen band şuuruları muhafaza edile-

rek geçen bandın genişletilmesine kullanılır. Yeni geçen band

$$(\Omega_p - \Omega_{-p}) f_c = (\Omega_s - \Omega_{-s}) f_c / \Omega'_s$$

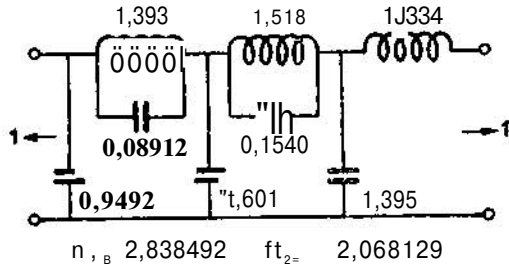
$$= 16.48646 \text{ kHz}$$

olup yaklaşık olarak 4.49 kHz genişlemiştir. Seçilen filtreye ait b ve $\frac{1}{b}$ nln değerler aşağıdadır:

$$b = \frac{0.424334218}{2.001642} = 0.2119930595$$

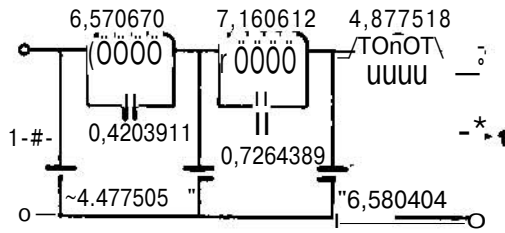
$$1/b = 4.717135560$$

a) Katalogdan [4] prototip olarak alınan filtre Şekil 32'de gösterilmiştir.



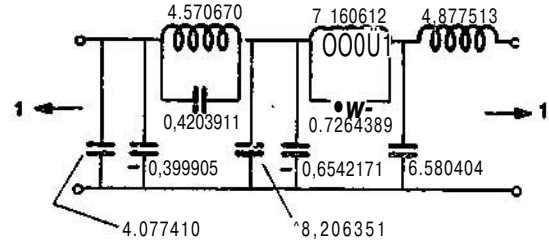
Şekil 32

Elemanların 1/b ile çarpılmasından sonraki durum Şekil 33'dedir.



Şekil 33

b). Filtreyi tajn hücrelere ayırtm (Şekil 34).



Şekil 34

c) Her tam hücreye Şekil 24'deki dönüşümü tatbik ederek devre Şekil 35'deki durumu alır.

Şekil 35'deki eleman değerleri aşağıdaki gibi hesap edilir:

$$\Omega_{2\omega,1} = \sqrt{\left[\frac{1}{b}\right]^2 + 1} \pm \frac{\Omega_2}{b}$$

$$\Omega_{2\omega,1} = \sqrt{(0,3008705018)^2 + 1} = 0,3008703018$$

$$\gg 1,0442810630,3008703018$$

$$n^{\wedge} = 1,345151364, A_1 = 1,809432192$$

$$A_2 = 0,7434107611, \hat{A}_2 = 0,5526595597/$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$"1" i - f - m., \circ 0,447304402$$

$$\begin{aligned}
l_{12} &\approx 1 * m_{12} \approx 0,4170806851 \\
C'_{1,2} &= c_{1,2} \approx 0,2^{10} 7618340 \\
C'_{1,2} &= c_{1,2} \approx 0,9680377537 \\
C'_{3,2} &= c_{2,2} p_2 \Omega_{2,2}^2 = 0,7751859224 \\
C'_{3,2} &= 1 / (\Omega_{2,2}^2 C'_{3,1}) \approx 0,8371469672 \\
C'_{2,2} &= -c_{1,2} u_2 p_2 \approx -0,945753534 \\
C'_{4,2} &= -m_{12} c_{1,2} \text{ uf } p_2 = 1,212435761 \\
1 / C'_{4,2} &= 1 / (n \cdot C'_{4,2}) = 1,274252857 \\
C'_{5,2} &= c_{3,2} u_2 \text{ VI} = -1,59 \cdot 10^{-19} 4 \\
C_o &= c_a = 4,877410 \\
L_a &= 1 / C_a = 0,2050268482 \\
L_b &= l_b = 4,877518 \\
O_D &= 1 / L_D = 0,2050223034
\end{aligned}$$

d) İmdi ^etel 25'deki dönüümü tatbik edelim.

$$\begin{aligned}
O'_{1,1} &= C'_{6,1} * 2^{10} C'_{1,2} = 1,689162258 \\
C'_{7,2} &= u' c'_{2,2} = 0,06535291835 \\
\hat{C}'_{7,2} &= 0'_{3,1} i / f c'_{7,2} + O'_{1,1} = 2,092582540 \\
u'_{1,1} \hat{A} &= 0,9924535604 \\
C'_{3,1} \hat{C}'_{5,1} (1 - 1) &= 3,534711447 \\
C'_{6,1} &= \langle P \rangle \hat{s} \cdot 10^{10} \cdot 10^6 \cdot 10^7 \cdot 10^7 \\
&= 0,3955913344 \\
C'_{6,1} &= O \text{ olduğundan } C'_{1,2} = o_{j_e} = 0,9680877537 \\
C'_{7,2} &= \hat{C}'_{5,2} \cdot C'_{5,2} \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^6 = 2,554789269 \\
O'_{5,1} &= (1 - 1) C'_{5,1} \approx 2,475058455 \\
\hat{C}'_{6,2} &= \hat{f} \cdot C'_{6,2} \approx -4,071545800 \\
\hat{C}'_{1,2} &= f_1 \cdot 2 \cdot 1,065553258
\end{aligned}$$

Bu noktada varılan devre şekil 36'da gösterilmiştir.

e) tdeal transformatörleri kaldırarak Şekli 37'deki devre elde olunur.

NormaMze büyüklüklerden fiziki büyüklüklere geçmek için şelfler,

$$\frac{R}{2\pi f_o} = 3,069768 \cdot 10^{-4}$$

kondansatörler ise

$$\frac{1}{2\pi R f_o} = 1,36434116 \cdot 10^{-5}$$

ile çarpılır. Bu suretle elde olunan filtre devresi Şekil 38'de gösterilmiştir.

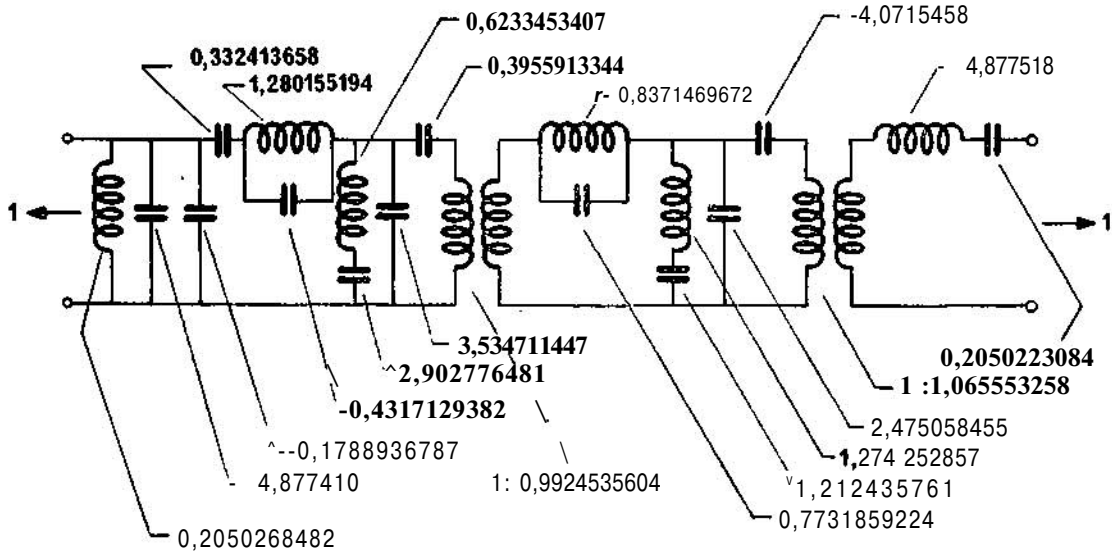
6. BİTİRİRKEN

Görülüyor M_z zlg - zag filtrelerle klasik AG-BG frekans dönüşümü sonucu elde edilen devrelere nazaran bobin sayısında tam hücre sayısı,

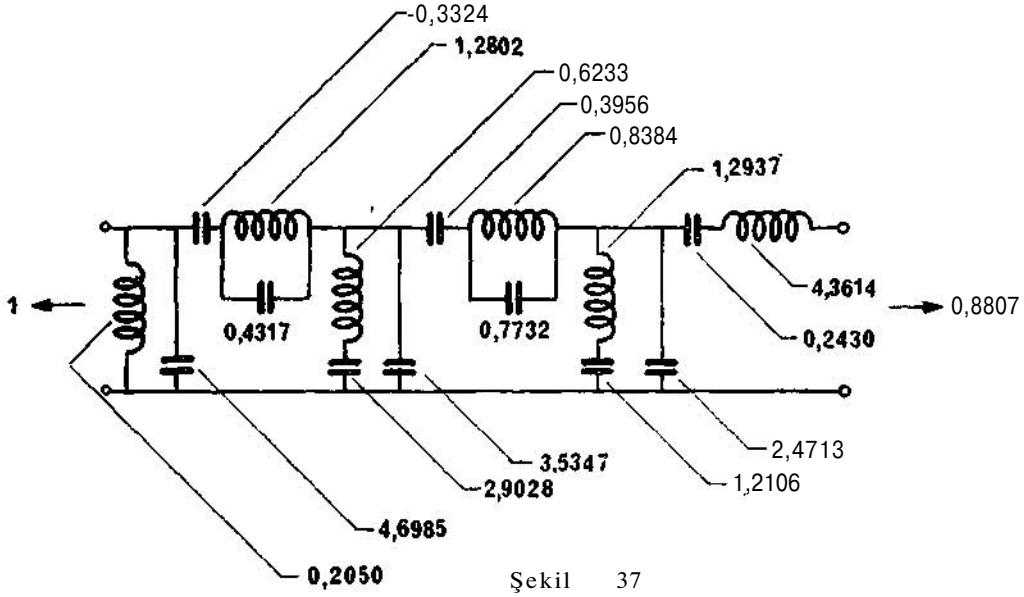
yani $m = \frac{n-2}{2}$, kadar azaltma yapmak mümkün olmaktadır.

[12] de verilen makalesinde Ahadç yukarıdaki kilerden başka karşıt endüktans ihtiva eden BG filtrele alt dönüşüm denklemlerini ve eşdeğer devreleri vermektedir.

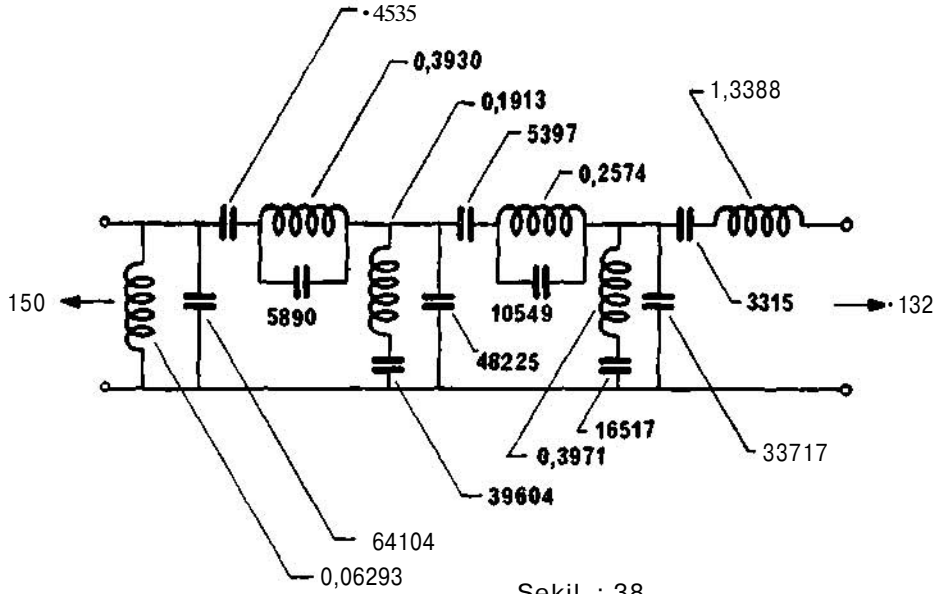
[13] de ise Kurth, elemanlardaki kayıpları da gözönünde tutarak BG zig - zag filtrelerin hesabını göstermektedir.



Şekil : 36



Şekil 37



Şekil : 38

Buraya kadar anlattıklarımızdan görülüyor ki, zlg - zag filtrelerde kullanılan bobin sayısı $\frac{n}{2}$ dir. Geometrik olarak simetrik olmak zorunlu değildir. Geometrik olarak simetrik olmayan genel parametreli filtrelerde de bobinler aynı sayıda tutulabilir. Geometrik olarak simetrik filtrelerin de genel parametreli filtreler gibi hesaplanarak yukarıdaki dönüşümlere lüzum kalmaksızın yine $\frac{n}{2}$ bobini olarak elde edilmeleri mümkündür. Fakat evvelce de işaret edildiği gibi elde normaliz» alt

geçiren filtreler için kataloglar mevcut iken bu şekildeki filtrelerin prototip AG filtreden hesaplanması büyük kolaylık sağlamaktadır.

Ayrıca gerek yukarıda verilen hesap yolu, gerekse Uibrich ve Saal tarafından verilen toplu formüller ([1]) kolaylıkla programlanmaya ve dönüşümlerin elektronik hesap makinaları ile yapılmasına çok elverişlidir. PTT Araştırma Laboratuvarında icap ettikçe bu maksatla I.T.Ü. Hesap Merkezinden istifade edilmekte ve prototip AG filtreye ait değerlerin verilmesi ile bir

kaç dakika içinde BĞ filtre devresine ait bütün devre elemanları elde edilebilmektedir.

T. Laurent zig - zag filtreleri geliştirerek araya girme parametreleri ile hesaplanan genel parametrelili filtrelerin mukabili olarak görüntü parametreleri ile hesaplanan zag - zag ve zig-zag hücreleri geliştirmiştir [16], [17], [18], [19].

Filtrelerde toobtn azaltma hususundaki çalışmalar daha sonra da devam etmiştir. Bu çalışmalar

sonunda $\frac{n}{2} \rightarrow 1$ ve $\frac{n}{2} \rightarrow 2$ bobin ile teşkil

edilebilen ve gerçekleştirilebilmeleri için bazı özel şartların sağlanması gereken parametrik BG filtreler elde edilmiştir [11], [14], [15].

BİGLİYOGRAFYA

1. R. Saal, E. Ulbrich, On the Design of Filters by Synthesis, IRE Transactions on Circuit Theory, CT-5, 1968.
2. F. Yüceli Görüntü ve Araya girme parametreleri, PTT Araştırma Laboratuvarı iç yayınları, 1967.
3. T. Laurent, Le filtre zig - zag, un nouveau filtre passe - bande trouvé a l'alde des transformations fréquentielles, Ericsson Technics, No 1, 1936.
4. R. Saal, Der Entwurf von Filtern mit Hilfe des Kataloges normierter Tiepaesse, Telefunken GMBH, Backnang 1966.
5. A. I. Zverev, Handbook of filter Synthesis, John Wiley and Sons, Inc., 1967.
6. E. Christian-E. Eisenmann, Filter Design Tables and Graphs, John Wiley and Sons, Inc., 1966.
7. P. R. Geffe, Simplified Modern Filter Design, Iliffe Books Ltd. 1964.
8. L. Weinberg, Network Analysis and Synthesis, McGraw-Hill Book Company Inc., 1962.
9. W. Cauer, Theorie der linearen Wechsellstromschaltungen, Akademie-Verlag, 1964. İngilizcesi : Synthesis of Linear Communication Networks, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1958.
10. J. E. Colin, De Quelques Transformations de Quadripoles, Cables et Transmission, Kasım 1956.
11. J. E. Cotin, Un Nouveau Fil/tre Symetrique de Synthèse en échelle le filtre passe bande paramétrique, Cables et Transmission, Cilt 16, Sahife 31-40, Ocak 1962.
12. A. Ahacic, Über die Reaktanztransformation von Tiefpass-in Bandpass-Kettenschaltungen, Archiv der Elektrischen Übertragung, Cilt 12, Sayı 5, Sahife 203-208, Mayıs 1958.
13. C. Kurth, Übersicht über die Berechnung von Filtern mit Verlusten nach der Betriebsparametertheorie, unter besonderer Berücksichtigung von Bandpaessen in Zick-Zack-Schaltung, Frequenz, Cilt 10, Sayı 12, Sahife 391-398, 1956 Ve Cilt 11, Sayı 2, Sahife 43-53, 1957.
14. H. Watanabe, Synthesis of Band-pass Ladder Network, IRE Trans. on Circuit Theory, Cilt CT-5, Sahife 256-264, Aralık 1958.
15. H. Watanabe, Approximation Theory for Filter-Networks, IRE Trans. on Circuit Theory, Cilt CT-8, Sahife 341-356, Eylül 1961.
16. T. Laurent, The Design of Zig - Zag filters, Ericsson Technics, Sayı 1, Sahife 83-108, 1953.
17. T. Laurent, New Types of Sections of Zig-Zag Filters, Ericsson Technics, Sayı 2, Sahife 147-164, 1956.
18. T. Laurent, Zig - Zag Filters, Transaction of The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sayı 133, 1959.
19. T. Laurent, Frequency Filter Methods, John Wiley and Sons, New York, 1964.