

N Yollu süzgeçler

Y.Prof.Dr. Muhammed KOKSAL (*)

ÖZET

Bu yazıda dar-bantlı, yüksek-Q'lü bant geçiren süzgeçlerin ve tarak-tipi süzgeçlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan N-yollu süzgeç devreleri tanıtılmıştır.

SUMMARY

in this article, the N-path filters and their applications to realize narrow-band, high-Q band pass filters as well as comb-filters are introduced.

(*)Y.Prof. Dr. Muhammed KOKSAL
ODTÜ Gaziantep Kampusu, Elk. Müh. Böl.

1. GİRİŞ

Sayısal imlerin işlendiği devreler bir yana bırakılırsa, dönemli anahtarları içeren devreler üç ana bölüme toplanabilir:

1. Yüksek sıklıklarda çalışan dönemli anahtarları içeren devreler.
2. N-Yollu devreler.
3. Özsalmımlı geçiş devreleri.

Bu bölümlerden ilkinde örnek olarak dur-geç süzgeçler ve yavaşla-geç süzgeçler verilebilir. Bu süzgeçler daha önceki bir yazıda tanıtılmıştır [1]. Bu yazıda ise ikinci bölüm olan N-yollu devreler ele alınmıştır. Esas ağırlık ise böyle devrelerin dönemli anahtarlar kullanılarak gerçekleştirilmesiyle ortaya çıkan komütatörlü devrelere (commutated networks) verilmiştir, özellikle komütatörü devrelerin iki farklı uygulamasını oluşturan dar-bantlı yüksek-O'lü bant geçiren süzgeçlerle tarak-tipi süzgeçlerin tasarımına değinilmiştir.

Zaman paylaşmalı dizgelerde çok yaygın bir uygulaması olan ve kesikli zaman imleri ile sürekli zaman imlerinin birbirlerine çevrilmesinde kullanılan öz salımlı geçiş devreleri ise üçüncü bir yazıda tanıtılmaya çalışılacaktır.

2. N-YOLLU SÜZGEÇLER

N-Yollu süzgeçler ilk defa 1960 yıllarında Franks ve Sandberg tarafından bulunmuş ve bunların dar-bantlı yüksek-O'lü bant geçiren süzgeçlerin, tarak-tipi süzgeçlerin ve zaman gecikmeli devrelerin tasarımında nasıl kullanılabileceği belirtilmiştir [2]. Glaser ve Halkias tarafından bu yolla gerçekleştirilen bir dar-bantlı bant geçiren süzgecin edilgin LC öğeler veya etkin RC devreleri kullanarak gerçekleştirilen benzer süzgeçlerle karşılaştırıldığına aşağıdaki üstünlükleri olduğu görülmüştür [3]:

1. Bant genişliği ve orta sıklığının elektronik olarak ayarlanabilir olması,
2. Yüksek Q'sünün olması,
3. Oldukça kararlı olması,
4. En önemli parametrelerinin öge değerlerine bağlı olmaması.

Şekil 1'de N-yollu bir süzgecin öbek çizimi verilmiştir. Görüldüğü gibi N-yollu bir süzgeç N tane birbirinin aynı alt devreden oluşur. H(s) bu alt devrelerin geçiş işlevini gösterir. Her alt devre bir giriş bindiricisi tarafından uyarılır ve çıkışı da diğer bir bindiriciye ulaşır. Giriş bindiricileri ise bir toplayıcıya bağlandığından tek bir çıkış imi (y(t)) üretir. Tüm bindiriciler dönemleri aynı (T_0) olan işlevlerle sürülür, önemli olan nokta giriş ve çıkış bindiricilerini süren p(.) ve q(.) işlevlerinin ardışık bindiricilere T_0/N gibi bir zaman gecikmesiyle ($2\pi r/N$ kadar bir evre farkıyla) uygulanmış olmasıdır. Bu gerçek aşağıda

görülebileceği gibi N-yollu bir süzgecin çalışma esasını oluşturur.

2.1. Zamanla Değişen Dizge İşlevi

Genelde N-yollu süzgeçler, zamanla değişen doğrusal dizgelerin bir bölümüdür. Bu nedenle N-yollu bir süzgecin $u(t) = Ue^{st}$ (w gerçel sıklık ise $s = jw$) üstel girdisine olan kalıcı tepkisi

$$y_{ss}(t) = H(s, t) Ue^{st} \quad (1a)$$

denklemleriyle belirlenir [4]. Burada

$$H(s, t) = \frac{y_{ss}(t)}{u(t)} \quad \left| \quad u(t) = Ue^{st} \quad (1b)$$

olup süzgecin zamanla değişen dizge işlevidir. Dikkat edilirse zamanla değişen dizge işlevinin tanımı zamanla değişmeyen ve doğrusal devreler için kullanılan geçiş işlevinin tanımı gibidir. Tek fark dizge işlevinin daha genel olup karmaşık sıklığa (s) ek olarak zamana (t) da bağlı olmasıdır.

Zamanla T_0 dönemi ile değişen bir dizgenin dizge işlevi $H(s, t)$ de t zamanına göre T_0 dönemiyle dönemlidir [5]. Onun için böyle bir dizgenin dizge işlevinin

$$H(s, t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} H_m(s) e^{jw_0 m t} \quad ; \quad w_0 = \frac{2\pi}{T_0} \quad (2)$$

biçiminde Fourier dizisi açılımı vardır. Bu açılım zamanla dönemli olarak değişen dizgelerin geçiş özelliklerini tanımakta çok yararlıdır, örneğin, girdisi $u(t) = Ue^{jw_0 t}$ olan zamanla dönemli olarak değişen bir dizgenin çıktısı (1) ve (2) den

$$y(t) = H(jw, t) Ue^{jw_0 t} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} H_m(jw) Ue^{(w + w_0) t} \quad (3)$$

olarak bulunur. Buradan açıkça görülmektedir ki girdi bir tek sıklığı (w) içerdiği halde çıktı birçok sıklığı ($w + mw_0$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) içermektedir. Bu sıklıklardan yalnız bir tanesi girişiminin sıklığına (w) eşittir. Diğerleri ise bu sıklıktan mw_0 ($m = \pm 1, \pm 2, \dots$) uzaklıkta bulunan ve w_0 aralıklarıyla görünen görüntü sıklıklarıdır. $H_m(s)$ Fourier katsayısı da girişimi ile çıkışı iminin $w + mw_0$ sıklığındaki bileşeni arasındaki zamanla değişmeyen geçiş işlevidir.

Şekil 1'de görünen N-yollu süzgecin zamanla değişen dizge işlevini bulmak için p ve q işlevlerinin Fourier dizisi açınımlarından başlanır:

$$P(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} P_k e^{jw_0 k t} \quad (4a)$$

$$q(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Q_k e^{jw_0 k t} \quad (4b)$$

Doğrusal devre kuramı kullanılarak $u(t) = Ue^{st}$ için $y_n(t)$ bulunur. Sonra $y(t) = y_1 + y_2 + \dots + y_N$ ve (1) denklemlerinden $H(s, t)$ elde edilir. Bulunan sonuç (3) denklemiyle karşılaştırıldığında dizge işlevinin Fourier katsayılarının

$$H_m(s) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Q_{m-k} P_k H(s + jw_0 k) \quad (5)$$

$$\times \sum_{n=1}^N e^{-j \frac{n-1}{N} 2\pi m}$$

olduğu görülür. Bu denklemde ikinci toplam $m = 2N$ ($t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) için N'ye eşit olup m 'nin diğer değerleri için sıfırdır. Diğer bir deyişle

$$H_m(s) = \begin{cases} Q_{e_{N-k}} P_k H(s + jw_0 k) & k = -\infty \dots \infty \\ 0 & \text{diğer } m \text{ ler için} \end{cases} \quad (6)$$

$$; m = S \cdot N, \quad \xi = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

; diğer m ler için

Yukarıdaki sonuç N-yollu bir süzgecin çalışma ilkesini açıklaması bakımından çok önemlidir. $H_m(s)$, $e^{jw_0 t}$ girdisini çıktısının ($w + mw_0$) görüntü sıklığındaki bileşeniyle bağlayan geçiş işlevi olduğundan, açıkça görülmektedir ki çıktının w ile Nw_0 sıklıkları arasında beklenen bileşenleri kaybolmuştur. (2) ve (6) denklemlerinden de anlaşılacağı gibi zamanla değişen dizge işlevi $H(s, t)$, zamana göre T_0 dönemi ile değil de T_0/N dönemi ile değişmektedir. Diğer bir deyişle w sıklığında bir girişimi, çıkışta sıklıkları yalnız $w + \xi(Nw_0)$, $\xi = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, olan görüntü bileşenleri yaratır. Diğer görüntü bileşenleri, alt devrelerin birbirinin aynı ve bindiricilerin düzenli, eşit evre farklarıyla sürülmesi nedeniyle kaybolmuşlardır. Bu nedenle uygulamada evre farkları arasındaki uyum ve altdevreler arasındaki bakışım oldukça gereklidir.

Birbirine eşit ve düzenli evre farklarının gerçekleştirilebilmesi bazı tip p (\cdot) ve q (\cdot) bindirici işlevleri için daha kolay olmaktadır. Bunlara yer geldikçe değinilecektir. Alt devreler arasındaki bakışımın gerçekleştirilmesi sorunu ise sözde N-yollu süzgeçlerde (pseudo-N-path filters) çözülmüştür [6]. Yalnız yeterli yerin olmaması bu çeşit N-yollu süzgeçlerin bu yazıda tanıtılmasına olanak vermemektedir.

Yukarıdaki satırlarda anlatılmaya çalışılan N-yollu bir süzgecin geçiş özelliklerini daha iyi kavramak için Şekil 2'ye bir göz atmak gerekir. Bu şekilde, girişiminin bant-

kısıtlı beyaz bir gürültü olduğu varsayılarak çıkış iminin sıklık görüngesi çizilmiştir. Görüldüğü gibi giriş iminin görüngesi çıkışa her görüntü bileşeni için değişik biçimde yansımakta ve bu değişiklik o görüntü bileşenine karşı gelen Fourier katsayısıyla oluşmaktadır.

2.2. Geçiş İşlevi

N-yollu bir süzgeçten doğrusal ve zamanla değişmeyen bir devre olarak yararlanmak için iki değişik yaklaşım vardır:

1. Bant kısıtlı bindirici işlevleri kullanmak: Eğer $p(\cdot)$ ve $q(\cdot)$ bindirici işlevlerinin sıklık bantları $Nw_o/2$ sıklığıyla kısıtlı ise, diğer bir deyişle, $|1| > N/2$ için $P_\xi = Q_\xi = 0$ ise, (5) denkleminde belirlenmiş olan Fourier katsayıları $m \neq n$ için hep sıfırdır. Dolayısıyla çıkışta yalnız, sıklığı giriş iminin sıklığına eşit bir im görünür. (2) denkleminde de zamanla değişen dizge işlevi $H(s,t)$ 'nin zamanla değişmeyen bir geçiş işlevine, $H_o(s)$ 'ye eşit olduğu ortaya çıkar. Bunun için zamanla dönemli olarak değişen N-yollu süzgeç geçiş işlevi

$$H_o(s) = N \sum_{k=-\infty}^{\infty} Q_{-k} P_k H(s + jw_o k) \quad (7)$$

olan zamanla değişmeyen bir devreye eşdeğer olur. Bundan ötürü $H_o(s)$ N-yollu bir süzgecin geçiş işlevi olarak tanımlanır. Bant kısıtlı bindirici işlevleri olarak ilk akla gelen sinüs eğrisi biçimli işlevlerdir. Ancak bu tip işlevlerin düzenli ve eşit evre farklarıyla kaydırılması bir sorun olduğundan ya basamak tipi işlevler yeğ tutulur [3], ya da 3. bölümde anlatılacak olan komiitatörlü devreler kullanılır.

2. Bant kısıtlı giriş ve çıkış imleri kullanmak: Eğer bindirici işlevleri bant-kısıtlı değilse, zamanla değişen dizge işlevi $H(s,t)$ nin Şekil 2'de görülen Fourier katsayıları genel olarak sıfırdan farklıdır. Bu durumda farklı görüntü bileşenlerine ilişkin görüngelerin çakışmaması için giriş iminin bant genişliği olan w_o 'nin $Nw_o/2$ 'den az olması gereklidir. Bu nedenle N-yollu süzgeçler N'yi gerektiği kadar büyük seçmekle istenildiği kadar geniş bir sıklık bandında ($0 < w < Nw_o/2$) kullanılmak üzere tasarlanabilir. Tasarımı bitmiş ve gerçekleştirilmiş bir N-yollu süzgeç, eğer giriş imi sıklığı $Nw_o/2$ 'den büyük bileşenleri içeriyorsa, kesim sıklığı $Nw_o/2$ olan alçak geçiren diğer bir süzgecin ardına bağlanmalıdır. Diğer taraftan genellikle çıkış iminin yalnız giriş imi sıklığında olan bileşeni istendiğinden, diğer sıklıklarda bulunan görüntü bileşenleri de kesim sıklığı $Nw_o/2$ olan başka bir alçak geçiren süzgeçle atılır. Bu ikinci süzgeçte N-yollu süzgecin ardına bağlanır. Böylece iki alçak geçiren süzgeç arasında çalışan N-yollu süzgecin geçiş özellikleri, geçiş iş-

levi $H_o(s)$ olan ve zamanla değişmeyen bir devreninkinin aynısı olur. Bu nedenle $H_o(s)$ bu koşullar altında çalışan N-yollu bir süzgecin geçiş işlevi olarak tanımlanır.

2.3. Uygulamalar

(7) denklemi N-yollu bir süzgecin geçiş işlevi olan $H_o(s)$ 'nin, bu süzgecin alt devrelerine ilişkin $H(s)$ geçiş işlevinin $w_o k$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) sıklıklarına kaydırıp $Q_{-k} P_k$ ağırlıklarıyla çarpıldıktan sonra toplanmalarıyla bulunduğunu gösterir. $p(\cdot)$ ve $q(\cdot)$ bindirici işlevlerinin Fourier katsayılarına bağlı olarak $H_o(s)$ geçiş işlevi çeşitli özellikler gösterebilir:

$$1) Q_{-1} P_1 = Q_{-1} P_1 = 1/N \text{ ve } k = 1 \text{ için } Q_{-k} P_k = 0 \text{ ise}$$

$$H_o(s) = H(s + jw_o) + H(s - jw_o) \quad ; s = jw \quad (8)$$

Şekil 3'de $H(s)$ ve $H_o(s)$ alçak geçiren bir alt devre için gösterilmiştir. Bu şekilden veya doğrudan doğruya (8) denkleminde anlaşılacağı gibi alt devrelerinin alçak geçiren süzgeçler olmasına karşın, N-yollu devrenin kendisi bir bant geçiren süzgeçtir. Bu bant geçiren süzgecin orta sıklığı w_o olup alt devrelerin parametrelerine bağlı olmadığından oldukça karardır. Ayrıca süzgecin Q 'sü $Q = w_o/2wg$ olduğundan devre öğelerinin değerlerini değiştirmeden w_o 'ı çoğaltmakla istenildiği kadar büyük yapılabilmektedir. Böylece N-yollu devre yapısı ile yüksek Q 'lü, dar bantlı, orta sıklığı ayarlanabilir ve oldukça kararlı süzgeçlerin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Eğer $H(s)$ yüksek geçiren bir özellik gösteriyor olsaydı o zaman $H_o(s)$ 'nin bant söndüren bir özelliği olacaktı. Bu şekilde yapılan N-yollu bir devre ise çok dar bantlı bant söndüren bir süzgeci -çentik süzgeç (notch-filter)— gerçekleştirirdi.

$$2) Q_{-k} P_k = 1/N \text{ ise}$$

$$H_o(s) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} H(s + jw_o k) \quad ; s = jw \quad (9)$$

Şekil 4'de $H(s)$ ve $H_o(s)$ alçak geçiren bir alt devre için gösterilmiştir. Bu şekilden veya doğrudan doğruya (8) denkleminde anlaşılacağı gibi yine alt devrelerin alçak geçiren süzgeçler olmasına karşın N-yollu devrenin kendisi tarak-tipi bir süzgeci (comb-filter) gerçekleştirir. Tarak-tipi geçiş işlevinin varlığı ise ancak $WB \approx HW_o/2$ ise mümkündür.

Yukarıda açıklamalardan sonra anlaşılıyor ki tarak-tipi dönemli süzgeç özelliği yalnız zaman gecikmeli öğelerin veya sayısal süzgeçlerin kullanılması ile değil N-yollu süz-

geçerlerin kullanılması ile değil N-yollu süzgeçlerle elde edilebilir. Üstelik N-yollu devrelerin kullanılması çoğu zaman kararlılık ve boyut açısından daha uygun olur.

Bu yazıda değinilen uygulamalarına ek olarak, N-yollu devreler, tarak-tipi çentik süzgeçlerin, zaman geciktiren elemanların, sıklık bindiricileri ve daha birçok elektronik dizgelerin gerçekleştirilmesinde de kullanılır [7, 8, 9]. Ancak yer darlığı nedeniyle bunların hepsini aktarmak olanak dışıdır.

3. KOMÜTATÖRLÜ DEVRELER

Şekil 1'de görülen N-yollu bir süzgecin gerçekleştirilebilmesi için gerçek bir çarpma işlemi yapabilen bindiricilere gereksinim vardır. Günümüz elektroniğinde böyle bindiricilerin monolitik tümleşik ömeksal çarpıcılar kullanılarak yapımı mümkün olmaktadır [10]. Ancak bu çarpıcılar kullanıldığında, $p(\cdot)$ ve $q(\cdot)$ işlevlerinin gereken geçiş özelliklerini elde edecek biçimde üretilmesi, bindiricilere düzenli evre farklarıyla iletilmesi ve çoğu zaman bindiricilerin kendileri parasal sorunlar doğurmaktadır. Diğer taraftan bindiriciler yerine dönemli olarak çalışan anahtarlar kullanılabilir. Anahtarların FET'ler kullanılarak kolayca gerçekleştirilmesi [11, 12, 13] ve özen gerektirmeyen kare dalgalarla bile normal çalışabilmeleri N-yollu süzgeçlerin çarpıcılar yerine dönemli anahtarlar kullanılarak yapımını daha yaygın kılar.

Şekil 5'de bindiriciler yerine anahtarlar kullanılarak yapılmış N-yollu bir süzgecin öbek çizimi gösterilmiştir. $S(t)$ işlevi birinci yolda bulunan anahtarların çalışma durumunu gösterir; $S(t) = 0$, ise anahtarlar açık, $S(t) = 1$ ise anahtarlar kapalı demektir. Dikkat edilirse ikinci yolda bulunan anahtarların durumu birinci yolda bulunanları T_0/N gibi bir zaman gecikmesiyle ($2\pi/N$ evre farkıyla) kovalar. Aynı bağıntı diğer yollara ilişkin anahtarlar arasında da vardır. Diğer taraftan $S(t)$ öyle bir işlevdir ki herhangi bir anda en çok yalnız bir alt devre giriş ve çıkış arasında yalnız bir alt devre giriş ve çıkış arasında bağlı kalabilir, örneğin t_j anında giriş ve çıkış arasında yalnız birinci alt devre bulunuyorsa, $t_j + T_0/N$ anında yalnız ikincisi, $t_j + 2T_0/N$ anında yalnız üçüncü, ..., $t_j + (N-1)T_0/N$ anında da sonuncusu bulunur. Böylece her alt devreye giriş ve çıkış arasında sırayla bağlanır. Bu yüzden böyle devrelere komütatörlü devreler denir. Yalnız burada kullanılan ve elektronik olarak gerçekleştirilen komütatörler elektrik makinalarında çok yaygın olan mekanik komütatörlerle karıştırılmamalıdır.

Aslında komütatörlü devreler Şekil 5'de görülenden çok daha geneldir. Bunların en genelden en özele doğru güzel bir sıralaması [14] de yapılmıştır. Şekil 5'de görülenden daha genel bir komütatörlü devreye örnek olarak şu devreler verilebilir:

1. Çıkış anahtarlarını kontrol eden işlev $S'(t)$, giriş anahtarlarını kontrol eden $S(t)$ 'den farklıdır. Bu durumda her ait devre dört durumda bulunabilir: Yalnız giriş anahtarı kapalı, yalnız çıkış anahtarı kapalı, heñ iki anahtar kapalı, her iki anahtar açık.
2. Geçiş işlevleri $H(s)$ ile belirtilen tek girişli ve tek çıkışlı (çift-kapılı) alt devreler çok girişli ve çok çıkışlı (çok-kapılı) dır. Bu durumda giriş ve çıkış anahtarlarının da çok kapılı olması gerekir.
3. Alt devrelerin kendileri de zamanla dönemli olarak değişir. Bu durumda $H(s)$ geçiş işlevi $H(s,t)$ zamanla değişen dizge işlevine çevrilir.

Yukarıda gösterilen genel durumların hiçbirinde de değişik yollarda bulunan alt devreler arasında etkileşim yoktur. Bu ise $S(t)$ ve $S'(t)$ işlevlerini belirli bir şekilde seçmekle sağlanır.

Komütatörlü devreler, dönemli olarak çalışan anahtarları içeren doğrusal devrelerin özel bir bölümü olduğundan, böyle devreler için geliştirilmiş yöntemlerle çözümlenebilir [15, 16]. Ancak yalnız komütatörlü devreler için geliştirilmiş çözümlenme yöntemleri de vardır [17]. Bu yazıda bütün bu yöntemleri derinlemesine ele almak olanak dışıdır. Ancak şu önemli noktaları sıralamakta fayda var: Komütatörlü bir devre olarak gerçekleştirilmiş N-yollu bir süzgecin çalışma ilkesi bindiriciler kullanarak gerçekleştirilen N-yollu bir süzgecininkiyle aynıdır. Zamanla değişen dizge işlevleri aynı özellikleri gösterir ve geçiş işlevi $H_0(s)$ aynı şekilde tanımlanır. Aradaki tek fark komütatörlü süzgeçte zamana bağlı olmayan geçiş işlevi $H_0(s)$ 'nin Bölüm 2.2'de belirtilen yöntemlerden yalnız ikincisi ile elde edilebilir olmasıdır; komütatörler kesikli çalıştıklarından bant kısıtlı bindirci işlevlerinin görevini yüklenemezler.

Bu bölümün bundan sonraki kısmında komütatörlü devrelerin en yaygın uygulaması N-yollu dur-geç süzgeçler ele alınmıştır. Bu süzgeçlerin genel yapısı Şekil 5'dekinin aynıdır. Yalnız $H(s)$ geçiş işlevi ile gösterilen alt devrelerin herbiri bir dur-geç süzgeçtir [1]. Bu alt devreler giriş ile çıkış arasında bağlandıklarında GEÇ durumunda, diğer zamanlarda ise DUR durumunda kalırlar. Bundan dolayı $H(s)$ yerine $H(s/d)$ alınır; d anahtarlarının çalışma çarpanı (duty cycle) olup geç zamanının T_0 dönemine oranıdır [1].

N-yollu dur-geç süzgeçler en güzel şekilde Fetweis tarafından incelenmiştir [18]. Fetweis'in sonuçları diğer araştırmacılarınkinden hem oldukça farklı hem de tasarım yönünden o derece daha yararlıdır. Fakat bu sonuçlar bir dönem boyunca her alt devresi yalnız bir kere giriş ile çıkış arasına bağlanan bir N-yollu dur-geç süzgeç

için geçerlidir. Böyle bir durumda S(t) anahtarları işlevi Şekil 6 b'de olduğu gibidir.

Fetweis'in sonuçlarına göre yukarıda adı geçen bir süzgeç için (6) denklemi

$$H(s) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} S_{\ell N, k} H\left(\frac{s + j\omega_0 k}{d}\right) \quad (10a)$$

; m = ℓN, ℓ = 0, ±1, ±2, ...
; diğer m ler için

şeklini alır. Burada Sg ^ , k > ℓ N - k **k^{ver f ne} geçmekte olup

$$S_{\ell N, k} = \frac{\sinh\left[\frac{(1-d)T_0}{2} (s + jk\pi)\right]}{\left[\frac{(1-d)T_0}{2} (s + jk\pi)\right]} \cdot \frac{\sinh\left[\frac{(1-d)T_0}{2} (s - j\ell N\omega_0 \frac{d}{1-d}) + jk\pi\right]}{e^{-j\ell Nd} \left[\frac{(1-d)T_0}{2} (s - j\ell N\omega_0 \frac{d}{1-d}) + jk\pi\right]} \quad (10b)$$

biçiminde yazılabilir, özel olarak m = 0 için, yukarıda Hm(s) için yazılmış olan denklem

$$H_0(s) = N \sum_{k=-\infty}^{\infty} d \left[\frac{\sin\left[(1-d)\frac{n\omega}{\omega_0} + k\pi\right]}{\left[(1-d)\frac{\pi\omega}{\omega_0} + k\pi\right]} \right]^2 H\left(\frac{s + jk\omega_0}{d}\right) \quad (11)$$

denkleminde dönüşür (11) denkleminde bulunmuş olan H₀(s) Fetweis'in incelediği ve yukarıda tanıtmış N-yollu dur-geç süzgecin geçiş işlevidir. Açıkça görülmektedir ki bu geçiş işlevi (7) denkleminde görülen ve Şekil 1'deki N-yollu süzgeç için bulunmuş geçiş işlevine çok benzemektedir. Yalnız yukarıda da değinildiği gibi dur-geç süzgeçlerin özelliğinden dolayı H(s) yerine H(s/d) alınmıştır.

(11) denklemi d parametresine bağlı olduğundan N-yollu dur-geç süzgeçler [1] de anlatılmış olan dur-geç süzgeçler gibi, d parametresi ile ayarlanabilir geçiş işlevlerini yaratırlar. Ancak ayarlama alanı dur-geç süzgeçlerde olduğu kadar geniş değildir. Çünkü d'nin alabileceği en yüksek değer, her anahtarın kapalı kalma zamanı en fazla T₀/N olabileceğinden, 1/N olup yol sayısı ile kısıtlanmıştır.

Eğer N-yollu süzgeci oluşturan alt devrelerin her biri kesim sıklığı Nω₀/2'den küçük alçak geçiren süzgeç ise, (11) denklemi tarak tipi bir süzgeç özelliği verir. (Bu özelliğin, N-yollu bir süzgecin geçiş işlevinin tanımındaki gerçeklerden dolayı, yalnız (Kw < Nω₀/2 bantı için geçerli olduğu hatırlanmalıdır). Böyle bir süzgece örnek olarak Şekil 6a'da gösterilen dur-geç süzgeç verilebilir. Bu örnekte her alt devre geçiş işlevi

$$H(s) = \frac{1}{s + 1/RC} \quad (12)$$

olan yalın bir RC alçak geçiren süzgeç olarak seçilmiştir, özenle incelendiğinde Şekil 5'de gösterilen her yola ilişkin bir çift anahtarın (giriş ve çıkış anahtarları) görevini tek bir anahtarın yaptığı görülür. Ayrıca bu anahtar RC alt devresini bir dur-geç süzgeç olarak çalıştırma görevini de yüklenmiştir. Diğer taraftan R direnci her alt devrede zaman paylaşmalı olarak kullanılmıştır. S₀ anahtarın da çıkış imini alt devrelerden hiçbiri çıkışa bağlı değilse sıfırlamak için konmuştur.

Yukarıdaki açıklamaların ışığında Şekil 6a'da görülen N-yollu dur-geç süzgeçte bazı öğelerin çok yönlü görevler yüklediği görülmektedir. Bu ise her alt devrenin yalın bir RC süzgeç olmasından ileri gelmektedir. Bundan dolayı her ne kadar bu süzgeç Şekil 5'te gösterilen anahtarlı N-yollu bir süzgecin (komütatörlü süzgeç) genel yapısından epeyce farklı görünmektaysa da, ilke olarak bu yapının tüm özelliklerini göstermektedir.

Şekil 6a'daki N-yollu dur-geç süzgecin kazancı H₀(s) geçiş işlevinin büyüklüğü olarak (|H₀(jw)|) Şekil 6c'de çizilmiştir. Bu özellik, daha önce değinildiği ve Şekil 6a'da gösterildiği gibi, N-yollu süzgeç, kesim sıklıktan Nf₀/2 olan iki alçak geçiren süzgecin arasına yerleştirildiğinde geçerlidir. Elbette süzgecin sıklık eksenindeki çalışma alanı N'yi istenildiği kadar büyütmeyle genişletilebilir. Şekil 6c'deki özellikte her tepe kf₀ sıklığında, k=0,+1,+2,...,+N/2 (eğer N tek sayı ise (N-1)/2), yerleşmiş olup şekil olarak H(s)'nin özelliğini andırmaktadır. Yalnız sıklık d ile kazanç da (11) denkleminde görülen Sinx/x işleviyle ölçeklenmiştir. Her ne kadar bu işlev sıklığa bağlıysa da tepelerin yerleştiği sıklıklarda oldukça düz olduğundan her tepenin şekil ve bant genişliği H(jw/d)'ninkiyle aynıdır.

Şekil 6c'deki özellikte tepelerin yükseklikleri sıklık büyüdükçe azalmakta ise de N yeterince büyük alındığında böyle bir süzgeç geniş bir sıklık bantında tarak tipi ve

dönemli bir özellik verir. Bu tip özelliği olan süzgeçler beyaz bir görüntüyle karışmış dönemli imleri sezme için kullanılır. N-yollu süzgeçlerin genel ilkesini benimseyen böyle bir süzgeç de Wupper tarafından tasarlanmıştır [19]. Kova-takımı (BUCKED-BRIGATE) denilen bir çift-kapılı öge kullanılarak gerçekleştirilen bu yapıda alt devreler arasında tam bir bakışım sağlandığından daha önce sözü edilen ve istenmeyen görüntü bileşenlerini gerçekten yok etmek olanağı doğmuştur. Ayrıca düşünsel olmayan anahtarların kullanımından doğan alt devreler arasındaki girişim sorunu çözülmüştür. Bütün bunlardan dolayı deneysel sonuçlar kuramsal olanlarla hemen hemen aynıdır. Bu özellikleri taşıyan süzgeçler daha önce de belirtildiği gibi "Sözde N-yollu Süzgeçler" olup bunlar hakkında daha geniş bilgi [6] ve [19]'a ek olarak [10]'dan elde edilebilir.

Şekil 6a'da görülen N-yollu süzgeçte, alt devreler, RC alçak geçiren süzgeç yerine birer RC yüksek geçiren süzgeç seçilirse bir tarak-tipi çentik süzgeç (comb-notch filter) oluşur. Böylece oluşan N-yollu bir süzgeç belirli bir sıklık bantında değişmez, ancak f_0 sıklığında ve bu sıklığın katlarında çentikleri bulunan bir özellik gösterir. Dönemli olmayan imler dönemli bir gürültüyle karıştığında, uygun bir tarak tipi çentik süzgeç kullanılarak im üzerinde önemli olmayan bir bozulma karşılığında bu im gürültüden arındırılabilir, ancak çentiklerin çok dar olması gerekmektedir. Tarak-tipi çentik süzgeçlerle ilgili daha fazla bilgi [7] ve [21]'den edinilebilir.

Şimdi N-yollu dur-geç süzgeçlerin en yaygın uygulamalarından birisi olan dar bantlı bant geçiren süzgeç olarak kullanımını incelemenin tam sırasındadır. Bu olanak Şekil 6a'da görülen süzgecin çıkışındaki alçak geçiren süzgeci geçirme bandı $f_0/2 < f < 3f_0/2$ olan bant geçiren bir süzgeçle değiştirmekle doğar. Bu şekilden de görüleceği gibi böylece oluşan süzgeç $Nf_0/2$ sıklığıyla bant kısıtlı olan her çeşit giriş imi için bant geçiren bir süzgeç ödevi görür. Bu süzgecin tepe sıklığı anahtarlar sıklığı olan f_0 'a eşit olup bant genişliği de herbiri alçak geçiren bir süzgeç olan alt devrelerin kesim sıklığı ve anahtarların çalışma çarpanı d'ye bağlıdır. Onun için hem tepe sıklığı hem de bant genişliği sırayla anahtarlar sıklığı f_0 ve anahtarlar çarpanı d ile ayarlanabilmektedir. Yalnız tepe sıklığının ayarlama alanı çıkış süzgecinin kesim sıklığıyla kısıtlanmıştır; eğer bant genişliği yeterince dar ise tepe sıklığı en fazla 12 oranında değiştirilebilir.

Yukarıda tanıtilen bant geçiren süzgecin en önemli özelliği bu süzgecin Q'sünün çok yüksek olmasıdır. Gerçekten de alt devreler olarak Şekil 6a'daki gibi yalın RC alçak geçiren süzgeçlerin kullanıldığı varsayımla

$$Q = \frac{RC\omega}{d} \geq RC Nf_0 \quad (13)$$

bulunur. Onun için yüksek bir Q çeşitli şekillerde kolayca elde edilebilir [22].

Dar bantlı (yüksek Q'lü), kararlı, ayarlanabilir, valin öğelerle gerçekleştirilebilir olmasına karşın, bir N-yollu dur-geç devresinin bant geçiren bir süzgeç olarak kullanıldığına iki sakıncası vardır: Birisi çıkışta geçirme bantı $f_0/2 < f < 3f_0/2$ olan yardımcı bir bant geçiren süzgeç kullanılması, ikincisi de bunun bir sonucu olarak tepe sıklığının ayarlama alanındaki kısıtlanmadır (yukarıda da belirtildiği gibi tepe sıklığı en fazla 12 oranında değiştirilebilir). Yukarıda sakıncaları önleyecek yöntemler de geliştirilmiştir. [14, 16 ve 23] de gösterilmiştir ki Şekil 6b'deki özellikte görülen ve $0, 2f_0, 3f_0, \dots, Jf_0$ ($J < N/2$) sıklıklarında yerleşmiş bulunan tepeleri hepten yok etmek veya belirli bir yüksekliğin altına düşürmek olasılığı vardır. Bu ise N-yollu süzgecin her alt devresini bir dönem boyunca birden fazla defa çalıştırmak (giriş ile çıkış arasına bağlamak) ve kapı-tersleyen-anahtar (change, över switches) kullanmakla olur. Sonuçta çıkışta kullanılan yardımcı bant geçiren süzgeç kesim sıklığı $J'f_0$ bağlı olan alçak geçiren bir süzgeçle değiştirilebilir. Böylece ve eğer $J=N/2$ alınırsa (N tek sayı ise $J=(N-1)/2$) ayarlama alanı geçirme bantının yeterince dar olduğu durumlarda 1:2 den 1:N/2'ye çıkarılabilir. Böyle bir süzgece örnek dönemli anahtarların çalışma durumunu ve süzgeç özelliğini belirleyen işlevlerle birlikte Şekil 7'de gösterilmiştir, özenle bakılırsa bu şekilde giriş ve çıkışta kullanılan bant kısıtlayıcı süzgeçler (ikinsinin de kesim sıklığı $(Nf_0/2)=4.5$ kHz dir.) gösterilmemiştir. Bu şekilde gösterilen süzgecin tepe sıklığı kHz ile yaklaşık $(Nf_0/2)=4.5$ kHz arasında değiştirilebilir. Bunun için tepe sıklığının ayarlama alanı 1:4.5 dir.

4. SONUÇ

Bu yazıda zamanla dönemli olarak değişen dizgelerin bir bölümü olan N-yollu süzgeçler tanıtilmiş ve bu süzgeçler yardımıyla zamanla değişmeyen geçiş işlevlerinin nasıl gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Ayrıca N-yollu devrelerin dönemli çalışan anahtarlar kullanılarak yapımı ele alınmış, bunlarla ilgili uygulamalar belirtilmiştir. Uygulamaların sonucunda N-yollu süzgeçlerin aynı nitelikte özellikleri veren edilgin LC öğeler veya etkin RC devreleri kullanarak gerçekleştirilenlere göre daha kararlı ve ucuz, boyutlarının ise (özellikle zaman geciktiren devre olarak kullanıldığında) küçük olduğu görülmüştür.

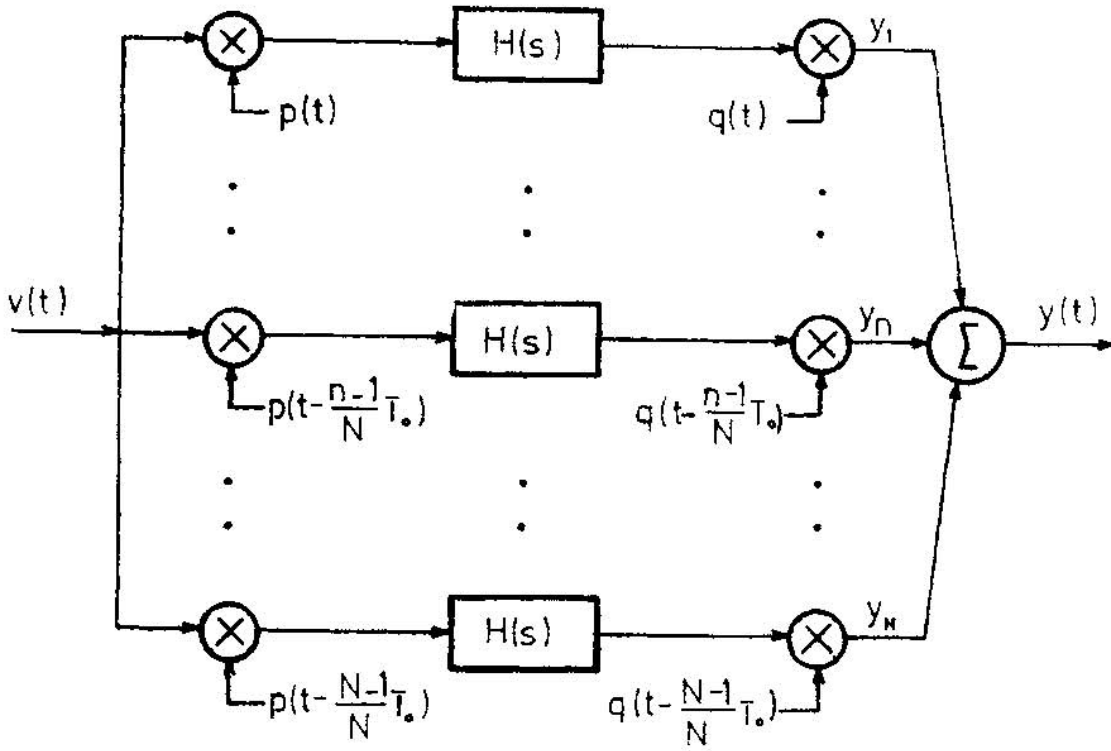
Ancak buraya dek sözü edilen iyi yanlarına karşın şunları da belirtmekte yarar var: Bu tip süzgeçlerin yapımı bindiriciler veya anahtarlar gibi değişik öğelerin kullanımını gerektirmektedir, bu öğeler tümleşik devre olarak yapılabildiğinden bu bir sorun değildir; fakat bu öğeleri kontrol edecek bindirici veya anahtarlar işlevlerini üretmek için ek devrelere gereksinime duyulur. Ayrıca

dar bantlı bant geçiren süzgeç olarak uygulamada tepe sıklığı için geniş bir ayarlama alanı isteniyorsa bu işlevler ve ek devreler daha karmaşık biçimler alırlar.

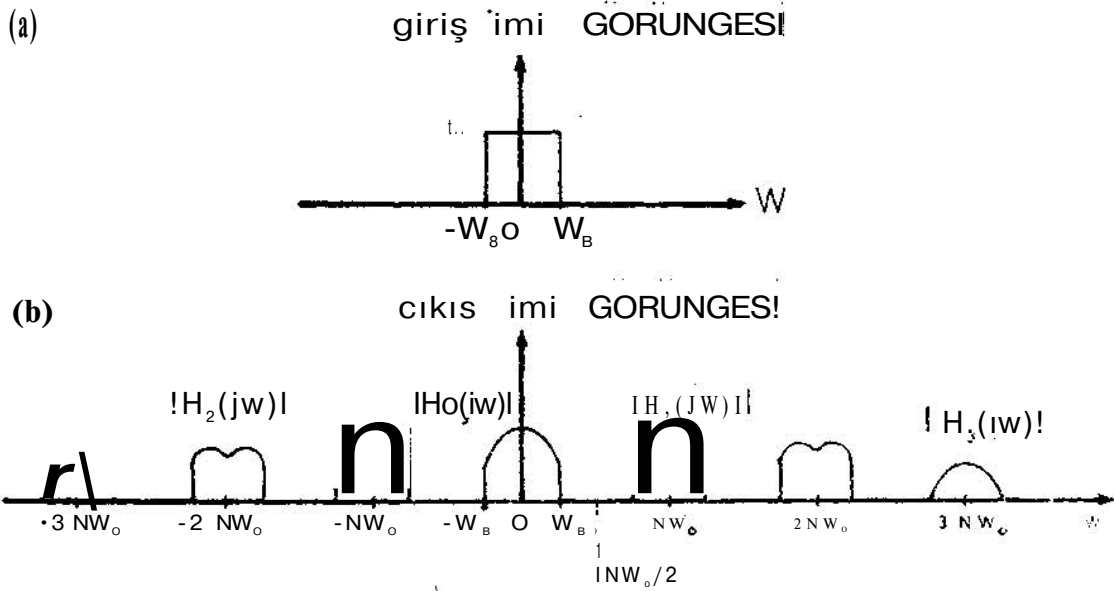
Daha önceki bir yazıda [1] da belirtildiği gibi, bu yazıda dönemli olarak çalışan anahtarların o vazıdakinden farklı bir uygulaması daha verilmiştir. Sayısal imlerin işlendiği devreler bir yana bırakılırsa böyle anahtarların üçüncü bir uygulama alanı kalmaktadır. Dönemli anahtarların bu alandaki uygulamaları ise zaman-paylaşmalı dizgeler için çok önemli olan özsalınımlı geçiş devreleri olarak bir başka yazıda verilecektir.

KAYNAKLAR

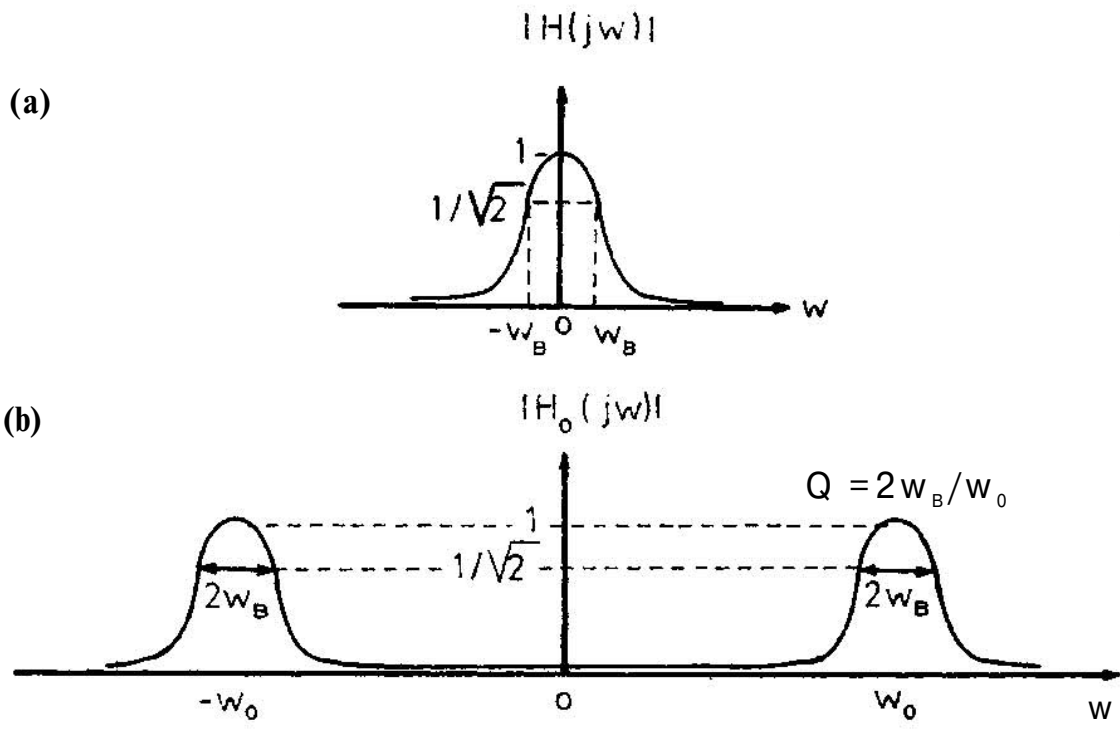
- [1] Koksall, M., Dur-Geç Süzgeçler, Elektrik Mühendisliği, Sayı 237, s. 463-466, Eylül 1976.
- [2] Franks, L.E. ve L.W. Sandberg, An Alternative Approach to the Realization of Network Transfer Functions: the N-Path Filter, Bell Syst. Tech. J., Cilt 39, No 5, s. 1321-1350, Eylül 1960.
- [3] Glaser, A.B. ve C.C. Halkias, A Tunable, Bant Width-Adjustable Solide-State Filter, I.Franklin Inst., Cilt 288, No 2, s. 83-98, Ağustos 1969.
- [4] Zadeh, L.A., Frequency Analysis of Variable Networks, Proc. IRE, Cilt 38, s. 291-299, Mart 1950.
- [5] Darlington, S., In Introduction to Time Variable Networks, Proc. of the Midwest Symp. on Circuit Analysis, Illinois Üniversitesi, Illinois, s. 5.1-5.25, 1955.
- [6] Fetweis, A. ve H. Wupper, A Solution to the Balancing Problem in N-Path Filters, IEEE Trans. Circuit Theory, Cilt CT-18, No 3, s. 403-405, Mayıs 1971.
- [7] Franks, L.E., N-Path Filters, Modern Filter Theory and Desing, Temes, G.C. ve S.K. Mitra, New York: Wiley-Interscience, s. 465-503, 1973.
- [8] Franks L.E. ve L.D. Dann, Implementation of N-Path Filters Using Polarity-Reversal Modulation, 1970 Canadian Symp. on Comm., Montreal, Canada, Kasım 1970.
- [9] Chang, S., N. Declaris, ve R.W. Newcomb, Synthesis of Modulation Insensitive N-Path Filters, Network, John Wiley and Sons, Cilt 3, No 1, s. 33-53, 1973.
- [10] Bilotti, A., Applications of a Monolithic Analog Multiplier IEEE Journal of Solid-State Circuits, Cilt SC4, No 4, Aralık 1968.
- [11] Gulbenk, J. ve T.F. Prosser, How Modulus Make Complex Desing Simple, Electronics, Cilt 37, s. 50-54, Aralık 28, 1964.
- [12] Shipley, Sr. M., Analog Switching Circuits Use Field-Effect Devices, Electronics, Cilt 37, s. 45-51, Aralık 28, 1964.
- [13] Orfei, R. ve G.V. Pallottino, State-Space Analysis of Networks Containing Periodically Operated Switches, Laboratorio di Ricerca e Technologia per le Studio del Plasma Nello Spazio, Consiglio Nazionale delle Ricerche, ROMA LPS-72-22, Temmuz 1972.
- [14] Koksall, M.; Analysis and Applications of Linear Circuits Containing Periodically Operated Switches, Doktora Tezi, ODTÜ Elektrik Müh. Böl., Ankara, Mayıs 1975.
- [15] Koksall, M. ve Y. Tokad, State-Space Formulation of Linear Circuits Containing Periodically Operated Switches, Circuit Theory and Applications, Cilt 5, s. 155.170, 1977.
- [16] Koksall, M. ve Y. Tokad, On the Solution of Linear Circuits Containing Periodically Operated Switches, Proc. of the 1976 European Conf. on Circuit Theory and Design, Cilt 1, s. 77-82, Genova, İtalya, 7-10 Eylül, 1976.
- [17] Sun, Y. ve I.T.Frisch, A General Theory of Commutated Networks, IEEE Trans. Circuit Theory, Cilt CT-16, No 4, s. 502-508, Aralık 1969.
- [18] Fetweis, A. ; "Theory of Stop-Go N-Path Filters" AEÜ, Cilt 25, No 4, s. 173-180, Nisan 1971.
- [19] Wupper, H. Low Frequency Filter Containing a Novel Integrated Device, NI/72, Institut Für Informationstechnik Ruhr-Universität Bochum, D-463 Bochum, F.R. Germany, 1972.
- [20] Wupper, H., A Modified N-Path Filter Suited for Practical Realization, IEEE Trans. Circuits and Systems, Cilt CAS-21, No 3, Mayıs 1974.
- [21] Acompara, A., The Generalized Transfer Function and the Pole Zero Migrations in Switched RCA Rev, Cilt 27, s. 245-262, Haziran 1966.
- [22] Ryken, J.R.M., Unusual Filter Concept Promises High-O, LowFrequency IC Device, Electronic Desing, Cilt 21, No 17, s. 21-24, Ağustos 1970.
- [23] Koksall, M., Use of Periodically Operated Switches in Electrical Networks, TBTAk Marmara Arş. Enst., Elektrik Ünitesi, Ünite İçi Rapor No: UI-75/07, Gebze-Kocaeli, Mart 1975.



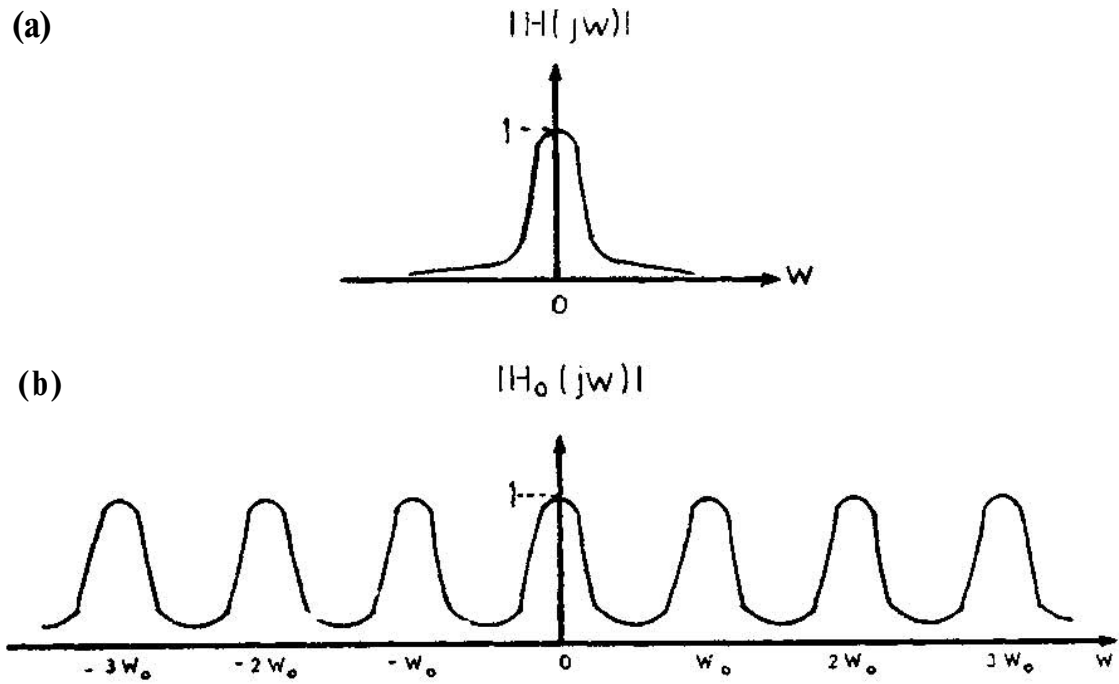
ŞEKİL 1. N-YOLLU BİR SÜZGEÇİN ÖBEK ÇİZİMİ



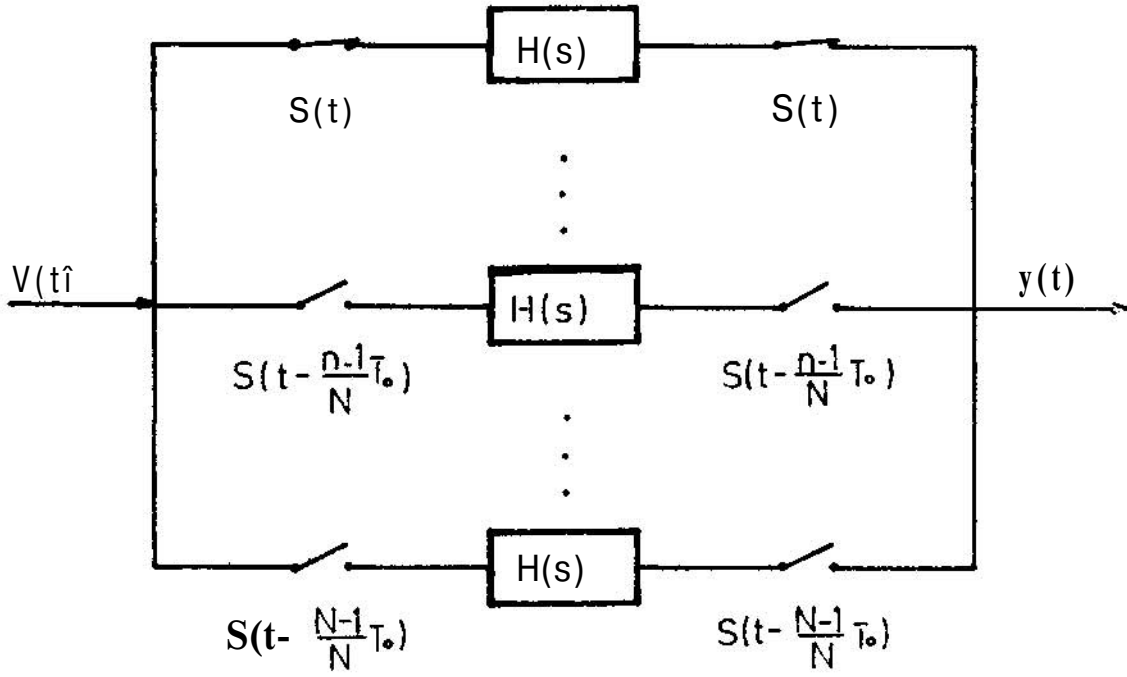
ŞEKİL 2. N-YOLLU BİR SÜZGEÇİN ÇUÇIS. ÖZELLİKLERİ: (a) GİRİŞ VE (b) ÇIKIŞ İMLERİNİN SIKLIĞI: $\omega_0 = \frac{2\pi}{NT_s}$



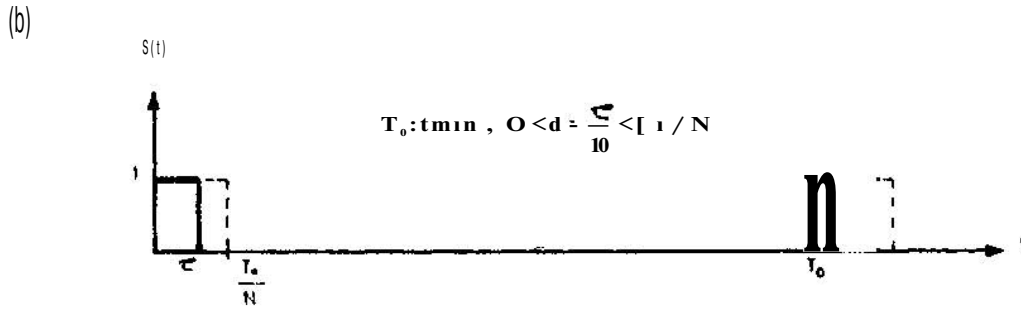
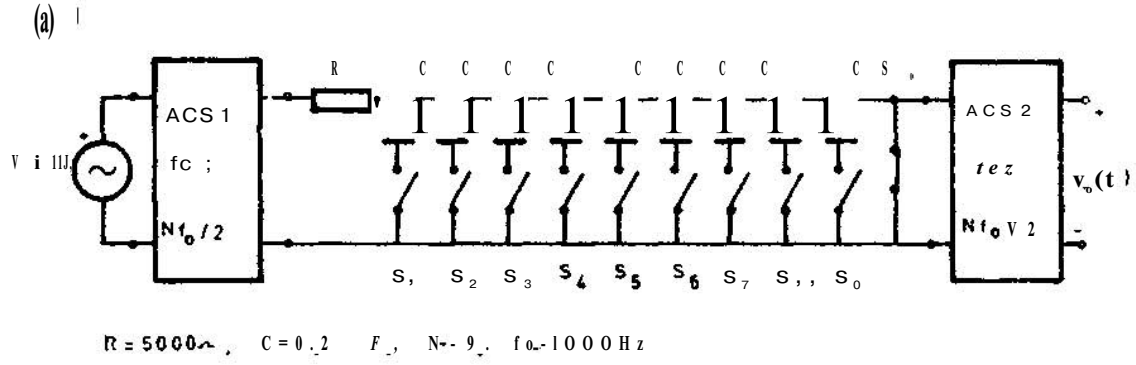
ŞEKİL 3. W-YOLLU DAK BANTLI YÜKSEK Q'LÜ BANT OEÇİREN BİR SÜZGECİN GEÇİŞ İŞLEVİ



ŞEKİL 4. N-YOLLU TARAK TİPİ BİR SÜZGECİN OEÇİŞ İŞLEVİ



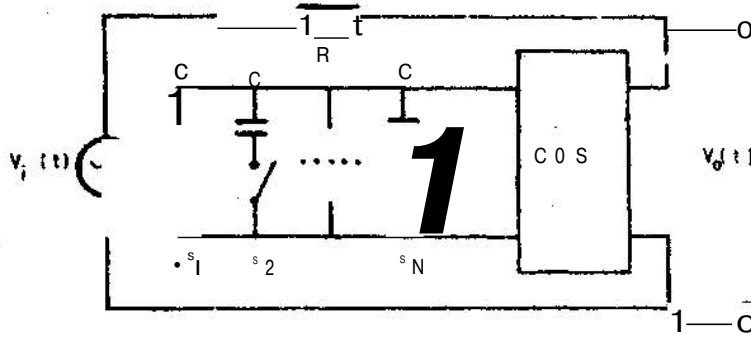
ŞEKİ't.5. ANAHTARLARLA ÖRÇ EKLEŞTİRİLMİŞ N-YOLLU BİR SÜZGEÇİN ÖBEK ÇİZİMİ.



Sf.:<li. >. SaI İL KEL BİR N - VCLLU DUH-GEC SÜ25tÇ.

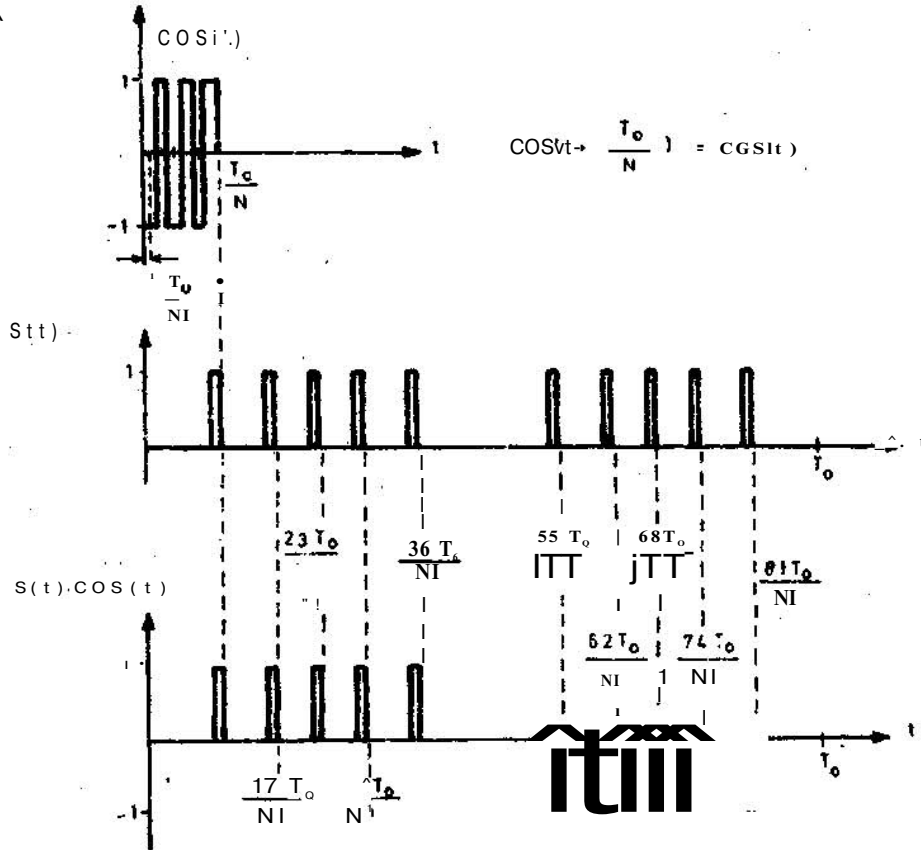
i b) AMAHTARLAMA İSLE VI.

(a)



$f = 5000^*$
 $\epsilon : 0,2 O' F$
 $f = 1, C O u H i$
 $0,5 \mu S e c$
 $I = 10$

(b)



SEKİL 7. (a) GELİŞTİRİLMİŞ BİR N-VOLLU SİZGEÇ
 (b) ANAHIARLAMA İŞLEVLERİ.

