

SESİN SESLE ETKİN DENETİMİ ÜZERİNE BİR YAYIN TARAMASI

Arzu GÖNENÇ
Ar.Gör.

Makina Mühendisliği Bölümü,
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
ANKARA

Mehmet ÇALIŞKAN
Doç.Dr.

Makina Mühendisliği Bölümü,
Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
ANKARA

Elektronik teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle son yıllarda oldukça önem kazanan ve uygulama alanı bulan, sesin ya da gürültünün oluşturulan değişik, çoğu kez de karşıt fazlı bir ses ya da gürültü ile denetimi temel alan yaklaşımlar bu çalışmada ele alınmaktadır. Sesin sesle etkin denetimi veya sesin yokedilmesi olarak bilinen yöntemlerin tarihçesi, dayandığı kuramsal temeller ve çeşitli uygulamaları tartışılmıştır.

GİRİŞ

1957 yılında tanınmış kurgu-bilim yazarı Arthur C. Clark "SILENCE PLEASE - SESSİZLİK LÜTFEN" adlı kitabında sesinin karşıt fazını yayımlayan bir alet yüzünden şarkı söyleme yeteneğini yitiren bir opera sanatçısının öyküsünü yazmıştı. O günler için ancak bir kurgu bilim öyküsü olan sesin sesle etkin denetimi, günümüzde sayısal teknolojisinde sağlanan gelişmelerle uygulamaları gitgide yaygınlaşan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu konudaki ilk çalışmalar 1930'lu yıllarda P. Lueg tarafından yapılmıştır. Lueg'in sesin sesle etkin denetimi için çalışmalarında önerdiği yöntemler, günümüzde kullanılan yöntemlerle benzerlik göstermektedir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi özetlenebilir [1]

- 1) Tek bir frekansta denetim için mikrofon ve hoparlör arasındaki uzaklığın ayarlanması,
- 2) Açık alandaki bir kaynağın denetimi için, hoparlör ve mikrofon kaynağa eşit uzaklıkta yerleştirilerek, mikrofon çıkışının hoparlöre verilmesiyle hoparlör çevresinde yok edici sinyalin oluşturulması,
- 3) Harmonik olmayan ses dalgalarının denetimi için, gürültünün hoparlör çevresinde algılanarak karşıt fazın hoparlör çevresinde oluşturulması.

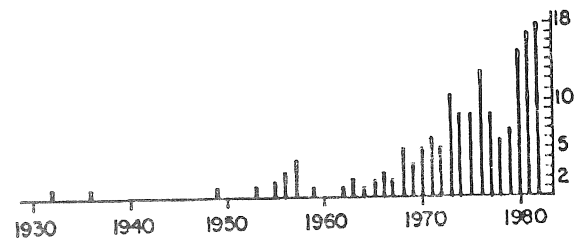
Lueg'in bu çalışmalarını 20 yıl sonra H.P. Olson'un laboratuvar sonuçlarını da verdiği çalışmaları izlemiştir. Olson bu çalışmalarının sonuçlarına dayanarak, pratikte uygulamaya yönelik gürültü azaltıcı kask ya da başlıklar, havalandırma

kanallarında gürültü azaltıcı, atölyelerde gürültü denetimi, iş makineleri ve taşıt kullananlar için gürültü azaltıcı düzenekler ve bu düzeneklerde sesin sesle etkin denetimini önermiştir [1].

Elektrik trafoları yakınındaki sesin sesle etkin denetimini ayrıntılı biçimde inceleyen W.B. Conover'in ön testleri çok başarılı olmuş, ancak uygulamada düşük kırıklığına uğrayan Conover bu konudaki çalışmalarını noktalamıştır [1].

1960'ların ortalarında sesin sesle etkin denetimi konusundaki en önemli adımlardan biri Marsilya'da N.J.M. Jessel tarafından atılmış, bu çalışmalar daha sonra Huygen ilkesini kullanan diğer çalışmalara temel oluşturmuşlardır [1].

1930-1970 yılları arasında az sayıda araştırma yapılan sesin sesle etkin denetimi konusunda sayısal elektronik teknolojisinin de ilerlemesiyle, özellikle 1980'li yıllarda hızlı bir artış gözlenmiştir (Şekil 1) [2].



Şekil 1. Sesin Sesle Etkin Denetimi Konusundaki Yıllık Yayın Sayısının Yıllara Göre Değişimi [2].

Konunun bu kadar çok ilgi çekmesinin en önemli nedenlerinden biri, denetimi alışılmış yöntemlerle çok güç olan düşük frekanslı gürültüde başarılı bir biçimde kullanılabilmesidir. Sesin sesle

etkin denetimi büyük, pahalı, hantal ve birçok durumda yetersiz olan pasif düzeneklerin yerini kolaylıkla alabilmekte, havalandırma kanallarının işlevlerini tam olarak yapmalarını engelleyen karşı basınca neden olmaksızın gürültü azaltımı sağlayabilmektedir. Ses yutucu malzemeye gereksinim duymaması da yöntemin bir diğer üstünlüğüdür. Ayrıca, bu sistemler yüksek frekanslarda kolayca tasarlanabilen pasif sistemlere kolayca uyum sağlayabilmekte ve tüm frekanslarda bir denetim olanağı elde edilmektedir [3].

Sesin sesle etkin denetimi düzenekleri basit olarak mikrofon, hoparlör ve elektronik denetleyiciden oluşmaktadır. Böylece her birim matematiksel olarak anlatımı güç olan, karmaşık birer sistem olarak ortaya çıkmaktadır. Akustik sistemi de içeren tüm sistemin karmaşıklığını indirgemek amacıyla sistem birbirinden bağımsız, ancak birbirine paralel üç ana öge şeklinde ele alınmaktadır [3].

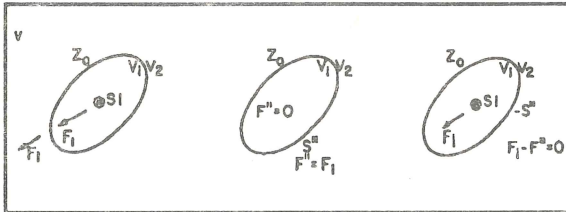
- 1) Fiziksel geometrik yapı;
- 2) Elektronik denetleyici;
- 3) Elektronik denetleyici ve fiziksel geometrik yapının birbiriyle olan uyumu.

Ögelerin birleştirilmesinde aynı düşünüş biçimi kullanılmakta, her öge bağımsız olarak ele alınıp eniyenilmektedir.

Sesin sesle etkin denetiminin pratikteki uygulamalarının ve bu denetim yönteminin daha anlaşılabilmesi için temelindeki ilke ve kuramların bilinmesinde yarar vardır.

KURAMSAL TEMELLER

Birçok etkin denetim yöntemi Huygen İlkesi'nin bir uygulaması biçimindedir. Huygen İlkesine göre [4] [5];



Şekil 2. Birincil, İkincil Kaynaklar ve Girişimleri

Birincil kaynak S1 ve bu kaynaktan V ortamına yayılan ses alanı F1 ve S1'i çevreleyen ortam V'yi iç

V1 ve dış V2 şeklinde ayıran yüzey Z0 verildiğinde, Z0'da düzenli olarak dağılan ve V1'de sıfır, V2'de F1 alanına eşit olan ikincil kaynak SH elde edilir.

SH'nin fazını değiştirerek elde edilen S" = SH doğrusal olacak ve dış ortam V2'de -F1 alanına eşit alan F" = -FH'i yayımlayacaktır. Eğer S ve S" kaynakları etkileştirilirse elde edilen alan,

$$F_c = F_1 + FH$$

sınırlandırılmış bir alan olacak ve V1'de,

$$F_1 + 0,$$

$$V_2'de$$

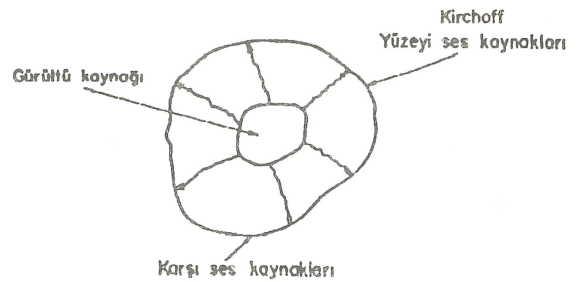
$$F_1 + (-F_1) = 0,$$

olacaktır.

İkincil kaynakları hesaplayabilmek için birincil kaynak ve ayırıcı yüzey bilinmelidir. F1 alanı ise hesaplanarak veya uygun bir mikrofon ağıyla doğrudan ölçümlerle bulunabilmektedir.

Uygulamada V1 iç ortamında veya V2 dış ortamında ikincil kaynaklar yardımıyla sessizlik oluşturulabilir. Huygen İlkesinin bir uygulaması olarak nitelendirilebilecek Kirchoff Kuramı kapalı sınırlı bir ortamdaki kaynakların bütün etkilerinin bu ortamda daha önceden tanımlanan kaynaklarla iki katına çıkarılabileceğini; birincil kaynağın benzeri elde edilip birleştirileceği yerde, tersi yapılırsa oluşturulan karşıt fazlı gürültü yardımıyla sessiz bir dış alan oluşturulabileceğini öngörmektedir.

Benzer şekilde kapalı bir ortamda iç birincil kaynak oluşturmada da Kirchoff Kuramı kullanılabilir (Şekil 3). Kaynakların işaretini değiştirilirse iç alan mutlak bir sessizlik durumuna gelecektir.



Şekil 3. Sessiz Bir Alan Oluşturmada Kirchoff Kuramı

Günümüzde kullanılan bir diğer kuram "Yeniden Biçimlendirilmiş Alan Kuramı"dır. Kuram he-

rhangi bir fiziksel biçimde, herhangi bir yeğinlikte, kısacası herhangi bir kaynaktan denetimi sağlamak üzere kullanılabilir. Temelde üç ana öge sözü edilen kuramı oluşturmaktadır [6] [7].

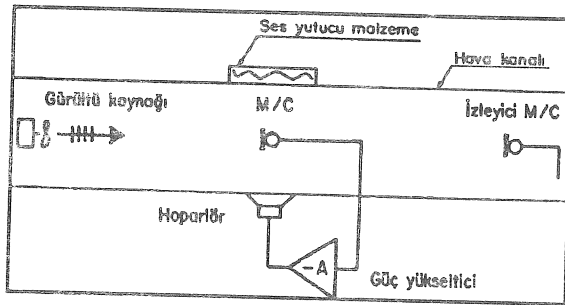
- 1) Alan F,
- 2) Fiziksel operatorler, OP,
- 3) Yeniden biçimlendirici, M,

Yeniden Biçimlendirilmiş Alan Kuramı, Huygen İlkesine göre uygulamaya daha yönelik olduğundan tasarımcılar için daha yararlı bir araç şeklinde nitelenebilir. Kuramdan elde edilen sonuçların daha geliştirilmesi gerekmektedir beraber viskoz olmayan akışkanlarda başarılı bir denetim yöntemi olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür.

Huygen İlkesi ve Yeniden Biçimlendirilmiş Alan Kuramı sonuç olarak ortamdaki bütün sesin yutulmasını ya da azaltılmasını öngörmektedir. Ancak son yıllardaki çalışmalarda seçilmiş seslerin etkin denetimi üzerinde durulmakta ve bu konuda çalışmalar yapılmaktadır.

BAZI TEMEL UYGULAMALAR

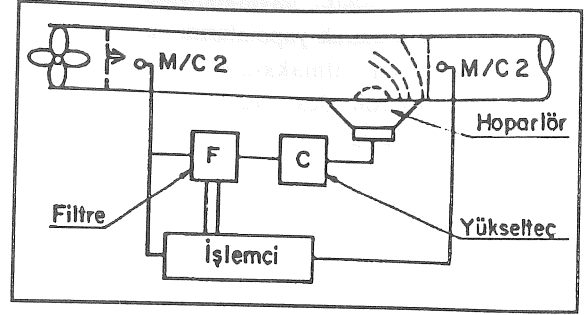
Sesin sesle etkin denetiminin en önemli uygulama alanlarından biri havalandırma kanallarıdır. Bu amaçla kullanılan en basit sistem bir mikrofon, bir hoparlör ve bir yükselticiden oluşan "Sıkı Bağlaşık Tekucay" düzeneğidir. Sistemde, mikrofon tarafından alınan birincil gürültü uygun bir şekilde yükseltilmekte ve güç yükselticisi tarafından dalganın ayna görüntüsü elde edilecek şekilde çevrilmektedir. Ayna görüntüsü sinyali, mikrofon-hoparlör arasında önemsiz bir zaman gecikmesiyle hoparlör tarafından üretilmektedir. (Şekil 4) [8].



Şekil 4. Sıkı Bağlaşık Tekucay Düzeneği

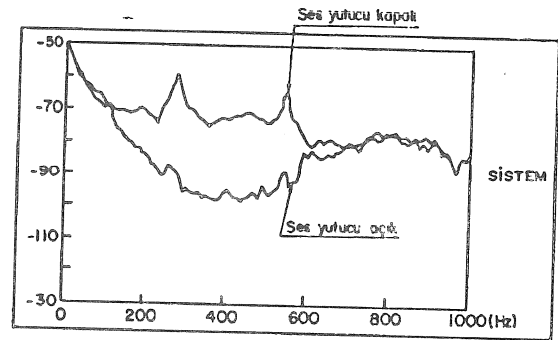
V.Martin ve A.Roure "Sıkı Bağlaşık Tekucay" sistemine benzeyen, elektroakustik kaynağın geriliminin ve bu kaynaktan bir kanal boyunca yayılan

basıncın iletim fonksiyonunu elde edip geliştirmeyi hedefleyen bir çalışma yapmışlardır. [9]



Şekil 5. Roure ve Martin Tarafından Hazırlanan Denetim Düzeneği [9]

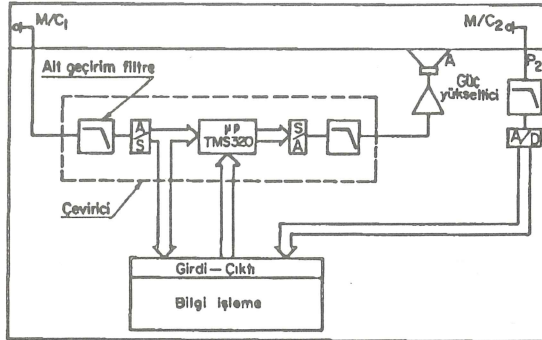
Sözü edilen sistemde çok amaçlı bir hoparlör kaynak olarak kullanılmıştır. Sistem rezonans halinde olduğundan veri sinyalinin etkilendiği görülmüş ve denetimin etkin bir biçimde sağlanabilmesi için sisteme geri beslemeli bir kapalı çevrim halkası eklenmiştir. Kanal boyunca ortaya çıkan basınç, kaynağın kanal duvarı boyunca hızıyla orantılı olduğundan kaynağın hızı sistemin çıkışı olarak alınmış ve girdi sinyaliyle karşılaştırılarak, sistemdeki hata en aza indirgenmiştir. Sistemin kararlılığından dolayı bu hata sıfırlanamamışsa da, sisteme eklenen elektronik bir devreyle sinyalin denetime uygun hale getirilmesi sağlanmıştır. Sonuç olarak 80-2000 Hz arasındaki frekanslarda 15-30 dB arası bir azaltım sağlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Roure ve Martin Tarafından Hazırlanan Düzeneğe Sistemin Yanıtı [9]

A. Roure ve B. Nayroles, boyutları 300x400x0.8 mm olan bir kanalda, havayı 10 m/s bir hızla hareket ettiren bir fanın neden olduğu gürültüyü denetlemek için iki mikrofon ve bir

süzücünün (filtre) zaman birleştiricisi ile birlikte kullanıldığı bir düzenden (Şekil 7) yararlanmışlar ve 200-1000Hz arasındaki frekanslarda yaklaşık 20 dB'lik bir azaltım sağlamışlardır [10].



Şekil 7. Roure ve Nayroles Tarafından Hazırlanan Dene-tim Düzeneği [10]

W.G. Richarz tarafından geliştirilen düzenek "Dalgalandan Duvar" kavramının sesin sesle etkin denetimi için benzetişimidir. İnce bir plakadaki yapısal eğilme dalgaları plakayı çevreleyen akışkanda basınç ve hız alanları oluştururlar. Yapısal eğilme dalgalarının hızları sesin o konumdaki hızından daha az ise sistemi etkileyen rahatsızlık üssel olarak azalmaktadır. Bu dalgaların hızları sesin o konumdaki yayılma hızına eşit veya daha fazla ise sistemdeki rahatsızlık artacaktır. Akış yönünde, ancak akışla ters fazda olan bir yapısal eğilme dalgası "sessizlik" oluşturacaktır. Bu özelliklere sahip bir basınç alanı uygun bir şekilde fazlandırılmış ses alanlarıyla elde edilebilir [11].

Yukarıda açıklanan "Dalgalandan Duvar" kavramını kullanan Richarz'ın sistemi, bir mikrofon ve mikrofonun aldığı sinyali bir periyotluk bir zaman gecikmesiyle üreten bir hoparlörden ve bunları denetleyen bir denetleyiciden oluşmuştur.

Sistemin üstünlüğü, sistemi oluşturan öğelerin bozukluklarının sistemin performansında çok fazla etkili olmaması ve yaklaşık 12 dB'lik bir azaltımın sağlanmasından kaynaklanmaktadır.

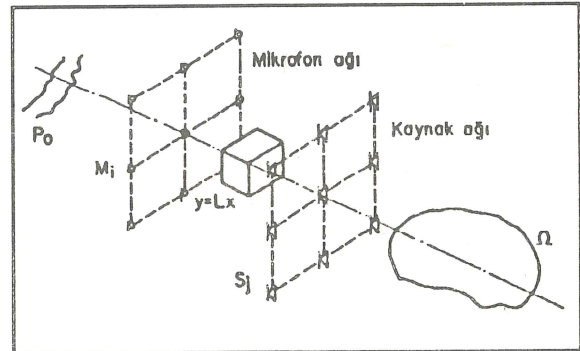
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümünde 50-200 Hz frekanslarında bir azaltım sağlamak amacıyla yukarıda anlatılan düzeneklere benzer bir düzenek kurulmuş, zaman gecikmeleri, elde edilen faz farkları, mikrofonla olan uzaklıklar göz önüne alınmadan ölçümler yapılmış,

bu durumda bile yaklaşık 5 dB'lik bir azaltım sağlandığı görülmüştür. Bu da denetim yönteminin birçok durumda başarıyla uygulanabileceğini göstermektedir [12].

ÜÇ BOYUTLU UZAYDA UYGULAMALAR

Üç boyutta sesin sesle etkin denetimi iki boyutta gerçekleştirilen uygulamalara oranla matematiksel olarak anlatımı zor olduğu ve karmaşık düzenekleri gerektirdiği için daha güç olmaktadır. Ancak, sayısal elektronik teknolojisinin ilerlemesi ve bilgisayar kullanımının yaygınlaşması bu konudaki güçlükleri gün geçtikçe azaltmaktadır.

Fransa'da J. Piraux ve B. Nayroles üç boyutlu uzayın W akustik basıncını, S_j ($j=1,2,3...$) kaynaklarınca oluşturulan basınç alanlarıyla azaltmaya yönelmişlerdir. W üzerindeki karesel ortalama karekökü (rms) akustik basıncının olabildiğince düşük olması ve S_j kaynaklarınca oluşturulan M_i mikrofon ağıyla ölçülen alanlarla bağlantılı olması gerekmektedir. Çalışmalarda harmonik alan $P_o(w)$ kullanılmış ve ses kaynaklarının küresel dalga yaydıkları varsayılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. 3-Boyutlu Uzayda Etkin Denetim Düzeneği [13]

Çalışmalarının sonucunda 4 ila 40 sayıda kaynak kullanıldığında geniş hacimlerde en az 30 dB'lik bir azaltım elde etmişler, ek olarak akustik gölge bulunan bölgeleri bile varlığını saptamayı başarmışlardır. [13].

S. Mazzanti ve J. Piraux üç boyutlu uzayda, sesin sesle etkin denetimi için bir düzenek hazırlamışlardır. Düzeneklerinde, P_S , P_o 'yu oluşturan birincil kaynak; M_i ($i=1...I$), mikrofon ağı; S_j ($j=1...J$) ikincil kaynaklar ağı ve V , etkin denetimin yapılacağı hacim olarak tanımlanmıştır [14]. Burada sözü edilen çalışmada kullanılan

düzenek kuramsal bir modele göre hazırlanmıştır. Kuramdan uygulamaya geçildiğinde aşağıdaki sorunlarla karşılaşmıştır:

- a) Birincil alan Po'nun ölçülmesi ve matematiksel modelinin çıkarılması;
- b) İkincil kaynaklarca oluşturulan akustik alanın tam anlamıyla modellenmesi;
- c) V hacmindeki akustik basıncı en aza indireyecek algoritmanın hazırlanması.

Çalışmalar yansız bir odada 250-350 Hz'lik ses yayan bir gürültü kaynağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerden önce bütün benzetimler ve hesaplar için bir bilgisayar program paketi hazırlanmıştır. Sonuçta 12-15 dB'lik bir azaltım elde edilmiştir [14].

DİĞER UYGULAMALAR

Motor gürültüsü, özellikle motorun ateşleme frekanslarındaki patlamalar, yüksek hızlarda taşıt içindeki gürültünün birincil nedenleridir. Bu gürültünün alışılmış pasif yöntemlerle denetimi, gürültüye neden olan motorun gövde plakalarını nasıl uyardığı ve doğan titreşimlerin nasıl bir ses alanı oluşturduğunun hesaplanmasının zorluğu, ses alanı özelliklerinin bir taşıttan diğerine ve aynı taşıtta da zamanla değişmesi nedeniyle çok güçtür. Patlama sorunu daha hafif gövdeli, ancak daha güçlü motorlara olan eğilimin artmasıyla daha çok önem kazanmıştır [15].

Bu şekilde oluşan motor kaynaklı patlamaların denetiminde, sesin sesle etkin denetimi alternatif bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemin uygulanışı iki gerekçeye dayandırılmaktadır:

- a) Uyarı frekansları, motorun doğrudan gözlenmesi sonucu bulunabilir ya da ölçülebilir,
- b) Söz konusu frekanslar genellikle düşük frekanslardır.

Ancak motordan kaynaklanan uyarıların arabanın gövde plakalarına kadar izlediği yol ve arabanın içinde oluşan ses alanı özellikleri çok çeşitli olduğundan, burada uygulanacak düzenek bu farklı alanlarda gürültüyü azaltacak şekilde kendini bu alanlara uyarlayabilmektedir.

Arabanın içinde oluşan gürültüyü denetlemek üzere hazırlanan sistemlerden birinde, arabanın müzik sisteminde kullanılan iki hoparlörden yararlanmıştır. Etkin denetim sisteminin çıkışı arabanın müzik sisteminin çıkışıyla birleştirildiğinden hoparlör çift

amaçlı olarak kullanılabilir. Bu düzenek en büyük özelliği ses alanındaki değişmelere kendini 0.1 saniyelik bir zaman gecikmesiyle uyarlayabilmesidir. Hazırlanan prototip ile motor patlamalarının etkin olduğu frekanslarda, yüksek hızlarda, araba kabini içinde 10-15 dB'lik bir azaltım elde edilmiş ve bu değerler deneme pistlerinin dışında da değişmemiştir [15].

Uçak gürültüsünden söz edildiği zaman çoğu kez uçağın dışarıya yaydığı gürültü akla gelmektedir. Ancak sivil amaçlı uçaklarda, özellikle pilot kabini içinde 76- 86 dBA düzeyinde önemli bir gürültü sorunu vardır. Hava trafik ve haberleşme sinyallerinin daha rahat algılanabilmesi için kulaklıktaki sesin ortamdaki sesten 10-15 dB daha yüksek olması gerekmektedir. Sonuçta kabindeki uçuş personeli geçici bile olsa işitme duyusuna zarar verebilen bir gürültü düzeyinde çalışmak zorunda kalmaktadır. Ancak uçuş personeli hareketi kısıtlayan veya güvenli bir uçuş için gerekli olan kabin içi seslerin duyulmasını engelleyen kulak tıkacı ve manşon türü kişisel koruyucuları yeğlemektedir.

Alışılmış kulaklıkların (manşonların) yerine sesin sesle etkin denetiminin yapıldığı özel kulaklıklar geliştirilmektedir. Bu kulaklıklarda gürültüyü dengeleyecek özel elektronik bir devre, boom-mikrofon ve sisteme özgü kulaklıklar bulunmaktadır. Kulaklıkların dışında bulunan iki küçük elektretmikrofon pilotların kulakları yakınındaki gürültüyü algılamakta ve iki kanallı elektronik bir aygıt yardımıyla bu gürültü sinyalleri karşıt fazda geri yollanmaktadır. Bu yöntemle hemen kulak yakınında 20 dB'lik bir azaltım sağlanmakta; haberleşme ve karşılıklı konuşmalarda büyük ölçüde rahatlık elde edilmektedir [16].

Etkin denetim yöntemi, değişken yansıma ya da ses yutma özelliğine sahip yüzeyler elde etmede de kullanılmaktadır. Etkin ses yutumu adı da verilen yöntemin bu uygulamalarında, pasif ses yutma düzeneklerinin yetersiz olduğu düşük frekanslarda istenilen ölçüde ses yutma gerçekleştirilebilmektedir. Oda akustikini geliştirmeye yönelik bu tür girişimler, konser ve tiyatro salonlarının yankılanım (çınlama) sürelerinin istendiği şekilde ayarlanabilmesini de sağlamaktadırlar [17], [18], [19].

SONUÇ

Bu çalışmada sesin sesle etkin denetimi, teme-

linde yer alan kavramlar ve bazı uygulama örnekleriyle tanıtılmaya çalışılmıştır. Denetim yöntemi birçok alanda uygulanabilme özelliğine sahiptir. Birbirinden çok farklı alanlarda bu konuda yapılan çalışmaların örneklenmesi çok güç olduğundan, seçilen örnekler denetim yönteminin en yaygın şekilde, laboratuvar koşulları dışında da, ticari amaçlı olarak kullanıldığı uygulamalardır. Yapılan çalışmalar ve yöntemin uygulanış biçiminin çeşitlilik gösterdiği verilen örneklerden de görülmektedir. Yöntemin bu denli farklı uygulanışı araştırmacıları belirli kalıplara bağlı olmaktan kurtarmakta ve elde bulunan sistemin özelliklerine göre düzeneklerin hazırlanması olanağını vermektedir.

Etkin denetim yöntemi yalnızca gürültü denetiminde kullanılmamaktadır. Titreşim denetimi için de gürültü denetiminde olduğu kadar başarılı sonuçlar vermektedir. Özellikle gemilerde oluşan titreşimin denetimi ile rotor-disk sistemlerinin titreşimlerinin manyetik yataklar ile denetimi, etkin denetim yönteminin yaygın olarak kullanıldığı uygulamalardır. Titreşim etkin denetiminde yapılan çalışmaların çokluğu ve kapsamının genişliği bu alandaki çalışmaları ayrı bir derlemenin konusu yapmaktadır.

Burada kısaca tanıtılmaya çalışılan ve bazı uygulama örnekleri verilen sesin sesle etkin denetimi dünyada her geçen gün daha fazla üzerinde çalışılan ve elektronik alanında ortaya çıkan ilerlemelere paralel olarak gelişip daha iyi sonuçlar vermesi beklenen bir gürültü denetim yöntemidir. Bu konuda ülkemizde ön çalışmalar yapılmaya başlanmış olup, yapısal sistemler ile bağlaşıklık iç akustik alanların denetimi üzerine araştırmaların yönlendirilmesi öngörülmektedir.

LITERATURE SURVEY ON ACTIVE CONTROL OF SOUND

This study aims to outline the state-of-art approaches to control the sound by active means which have become quite popular lately due to advances in electronic technology. The approaches based on the control of sound by electronically formed counterpart with different, mostly opposite phase characteristics are studied. The historical development of techniques known as active sound control or sound cancellation, theoretical foundations and several applications are discussed briefly.

KAYNAKÇA

- 1 Leventhall, H.G., Active Attenuators: Historical Review And Some Recent Developments, Inter-Noise 80, Miami, 679-682, 1980.
- 2 Jessel, M.J.M., Active Noise Reduction as an Experimental Application of the General System Theory, Inter -Noise 83, Edinburgh, 411-414, 1983
- 3 Warnaka, G.E., Tichy, J., Acoustic Mixing in Active Attenuators, Inter-Noise 80, Miami, 683-686, 1980.
- 4 Ffowcs Williams, J.E., Review Lecture: Anti-Sound, Royal Society, London, A 395, 63-88, 1984
- 5 Jessel, M.J.M., Active Acoustic Attenuation of a Complex Noise Source, Inter-Noise 80, Miami 689-694, 1980.
- 6 Jessel, M.J.M., 25 Years With Active Noise Control / a Survey and Comments With Reference to Guicking's Bibliography and Field Reshaping Theory, Inter-Noise 88, Avignon, 953-958, 1988.
- 7 Illenyi, A., Jessel, M.J.M., Decoding-Recoding the Source Information from/into Sound Fields: Another Way of Understanding Active Noise Control, Inter-Noise 88, Avignon, 963-966, 1988.
- 8 Eghtesadi, Kh., Hong, W.K.W, Leventhall, H.G., Economics of Active Attenuation in Ducts, Inter-Noise 84, Honolulu, 447-451, 1984.
- 9 Martin, V., Roure, A., Control of Sources for Active Sound Propagation in Ducts, Inter-Noise 83, Edinburgh, 431-434, 1983.
- 10 Roure, A., Nayroles, B., Adaptive Broadband Active Absorbition in Ducts by the Means of Transversal Filtering, Inter-Noise 84, Honolulu, 493-496, 1984.
- 11 Richarz, W.G. The Wavy Wall Concept and Active Noise Control in Ducts, Inter-Noise 84, Honolulu, 489-492, 1984.
- 12 Bekhrad, G., Active Noise Control in a Duct, Proje Raporu, O.D.T.Ü Makina Bölümü, 1988.

- 13 Piraux, J., Nayrofes, B., A Theoretical Model for Active Noise Attenuation in 3-Dimensional Space, Inter-Noise 80, Miami, 703-706, 1980.
- 14 Mazzanti, S., Piraux, J., An Experiment of Active Noise Attenuation in 3-Dimensional Space, Inter-Noise 83, Edinburgh, 427-430, 1983.
- 15 Elliot, S.J., Stothers, J.M., Nelson, P.A., McDonald, A.M., Quin, D.C., Sounders, T., The Active Control of Engine Noise Inside Cars, Inter-Noise 88, Avignon, 987-990, 1988.
- 16 Veit, I., A Lightweight Headset With an Active Noise Compansation, Inter-Noise 88, Avignon, 1087-1090, 1988.
- 17 Mangiante, G.A., Active Sound Absorbtion, J. Acoust. Soc. Am, Vol.61, No 6., Haziran 1977.
- 18 Guicking, D., Karcher, K, Rollwage, M., Active Control of the Acoustic Reflection Coefficient at Low Frequencies, Inter-Noise 83, Edinburgh, 419-422, 1983.
- 19 Guicking, D., Rollwage, M., Active System in Room Acoustics Solved and Unsolved Problems, Inter-Noise 84, Honolulu, 457-462, 1984.