

Aktif Filtrelerin İzahı ve Gerçekleştirilmesi için Basit Bir Metod^(*)

Vazan :

P. BILDSTEIN

İng. E.S.E Docteur - Ingénieur,
S.E.F.t de Kısım Şefi

Çeviren :

S. Cengiz ŞENEL
Elektrik Müh.
ETİBANK

Elektronikğin gelişmesiyle birlikte, aktif filtrelerin tatbikatlarının da çoğaldığı görülmektedir. Filtrelerin, elemanlarının hesabı ve gerçekleştirilmesi için bir çok çalışmalar yapılmış ve bu hususun mümkün olamayacağı zannedilmiştir. S.E.F.t (Service d'Etudes et de Fabrications Industrielles) Ecole Breguet, elektronik hesap makinası yardımıyla bu problemlde halletmiştir. Bunun sonucu olarak, aktif filtrelerin hesabı ve gerçekleştirilmesi için basit bir metod ortaya çıkarılmıştır. Bu yazıda verilen tablolar yardımıyla, büyük bir hesaplama yapmadan, istenilen sınıfta filtre yapmak mümkündür.

AKTİF FİLTRELERİN TANITILMASI

Cevap eğrisi şekil 1. a'daki gibi olan, ideal bir zayıflatıcı filtreyi, gerçekleştirmek fiziki olarak imkansızdır.

Buna mukabil, eğrileri ideal filtreninkine istenilen takribiyetle yaklaşan ve rasyonel tranfer fonksiyonlu devreleri havi filtreler imal etmek mümkündür. Tabiiyle yaklaşıma büyüdükçe devredeki eleman sayısı artar. Genel olarak en çok kullanılan formüller şunlardır.

Burada :

$\omega_c = 3$ dB'de kesim pulsasyonu

$n =$ Filtrenin sınıfı

$V_s =$ Çıkış gerilimi

$V_o =$ Giriş gerilimidir.

Bu halde, fonksiyon ve birinci n türevleri $\omega_c = 0$ için sıfırdır.

Böyle bir filtre eğrisinin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz :

1 — Geçirilen frekans bandında hiç bir yükselme göstermemesi;

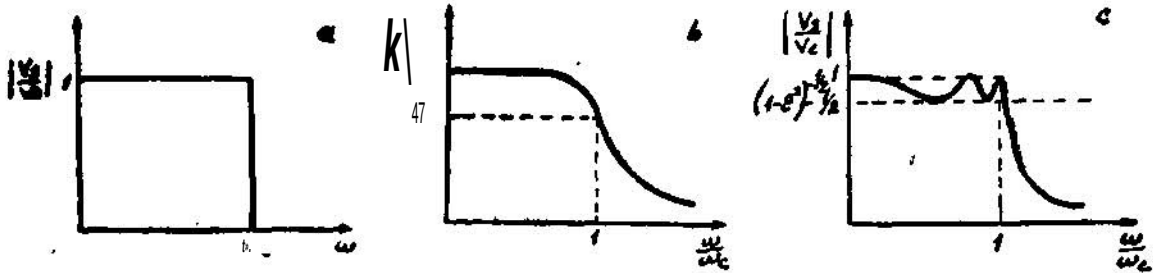
2 — t_y bir geçici cevaba haiz olması;

3 — Kesim frekansı civarında az sür'atli genlik düğümü (Şekil: 1 b)

Tchebytcheff fonksiyonları.

Formülü şudur :

$$\left| \frac{V_s}{V_o} \right|^2 = \frac{1}{1 + (\omega/\omega_c)^{2n}}$$



Şekil : 1 — (a) ideal bir filtrenin teorik eğrisi, (b) Butterworth cevabına, (c) Tchebytcheff cevabına tekabül eden cevap eğrileri

Butterworth fonksiyonları.

Butterworth fonksiyonları şu formülle ifade edilebilir:

$$\left| \frac{V_s}{V_o} \right|^2 = \frac{1}{1 + \epsilon^2 T_n^2(\omega/\omega_c)}$$

Burada :

ϵ , 1 den küçük kat sayı;

$T_n(u)$, $0 \leq u \leq 1$ için n defa 0 ve 1 değerlerinden geçme özelliğine sahip n dereceli Tchebytcheff polinomu.

Böylece, geçirilen bandın 1 ve $1/\sqrt{1+p^2}$ değerleri arasında n defa salınım yapan cevap eğrisi elde edilir.

Burada, kesim frekansı civarında, düşüm aynı n değeri için çok daha fazladır.

ZAYIFLATICI FİLTREJJEKNİ TASARLANMASI.

Butterworth veya Tchebycheff cevaplarına haiz RLC devrelerinin imalindeki metodda, bunların sınıfı bellidir [1], [2] ve [3].

Bu şekilde netice alabilmek için en az n/2 sayıda bobin ve n/2 sayıda kapasiteye ihtiyaç vardır, (Şekil: 2 a) fakat çoğunlukla, sadece direnç ve kapasitelerden müteşkil aktif elemanlı devrelerle aynı cevap eğrilerini elde etmek mümkündür. Böylece çok alçak frekanslar civarında dahi kesim frekansı elde edilebilir.

Son senelerde işlem amplifikatörlerini haiz az veya çok kompleks devrelerle bir çok tatbikatlar ortaya çıkarılmıştır. Buna rağmen aynı sonuçları çok basit bir şekilde de elde etmek mümkündür.

Şöyleki ; Butterworth veya Tchebycheff filtrelerinin transfer fonksiyonlarının paydaları $P = \prod (1 + a_n p^2)$ şeklinde, n dereceli polinomlardır.

$$F(p) = \frac{1}{1 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots + a_n p^n}$$

Bu ifade aşağıdaki sekile getirilebilir :

Eğer n çift ise :

$$F(p) = \frac{1}{(1 + a_1 p + a_2 p^2) \dots (1 + a_{n/2} p^2)}$$

..... $(1 + a_{n-1} p + a_n p^2)$

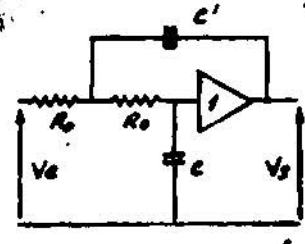
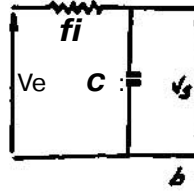
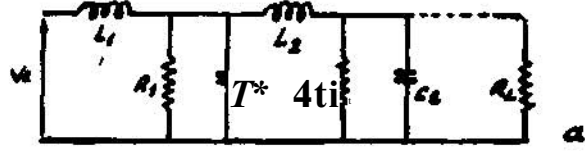
Eğer -n tek ise :

$$F(p) = \frac{1}{(1 + a_1 p) (1 + a_2 p^2) \dots (1 + a_{n/2} p^2)}$$

..... $(1 + a_{n-1} p + a_n p^2)$ dir.

Şayet transfer fonksiyonları $1/(1+a_1 p)$ veya $1/(1+pRC)$ olan devreler yapıp kaskad bağlanırsa aranan filtre elde edilir. Hakikatte basit bir RC devresi (Şekil : 2b) $p(p) = 1/(1+pRC)$ şeklinde transfer fonksiyonuna sahiptir ve diğer bir çok devreler $p(p) = 1/(1+p^2 RC^2)$ transfer fonksiyonunu elde edilmesine imkân sağlar. Bunlardan en basiti muhakkak ki şekil : 2 c dekidir. Böyle bir devre için :

$$F(p) = \frac{1}{1 + 2 R_0 C p + R_0 C^2 p^2} \text{ olur.}$$



Şekil : Z - (a) RLC devreli filtrenin prensibi (b) RC devresinin kullanışı, (c) bir amplifikatörün montajı.

Formülleri filtrenin seçilen kesim frekansından bağımsız hale getirebilmek için R, C ve n nümerik değerlerini irca edilmiş değerler olarak ifade etmek alışkanlığı vardır. Yani pülsasyonu n c kesim pülsasyonu olarak, direnci, farazi bir R0 değeri olarak ve nihayet kapasiteyi de $C_c = 1/R_0 C_0$ bağıntısını sağlayacak bir C0 değeri olarak kabul etmek mümkündür. Buna göre ifademizin alacağı şekil:

$$F(p) = \frac{1}{1 + 2 C p + C^2 p^2} \text{ dir.}$$

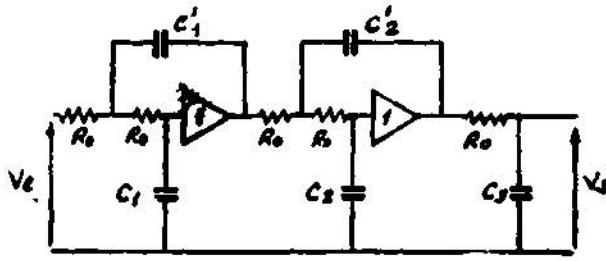
Böyle bir devrenin bir çok avantajı vardır.

- Sabit kazançlı yalnız bir amplifikatör kullanılması;
- Uygulayıcı (adaptör) kat kullanmadan değişik katları kaskad bağlama imkanı;
- Asgari sayıda eleman;
- Aynı filtre için bütün dirençler eşit olduğundan ayarın sadece iki kapasite ile yapılması.

Mesela : Şekil 3 de görülen 5 sınıfı filtre, kazancı 1 olan iki amplifikatör, beş adet eg direnç ve ayarlanması ile Butterworth veya Tchebycheff fonksiyonlarına uygun cevap veren, verilmiş ε dalgalanmasını (ondülasyon) sağlayan beş kapasiteden müteşekkildir.

PRATİK GERÇEKLEŞTİRME :

C ve C kapasitelerinin değeri uzun ve karışık hesaplar sonucu elde edilir. Bu bakımdan ve-



Şekil 3 : 3 - 5 sınıfı bir fiHrenin yapımına ait misal

rilen tablodan yararlanmak çok daha basittir. Bu tablolar, okulun araştırma ve endüstri imatları (Service d'etudes et de Fabriatcions Industrielles) kısmındaki IBM 1130 hesap makinası ile yapılan çalışmalar sonunda çıkarılmıştır.

Buttervorth veya Tchëbycheff fonksiyonlarının cevabını haiz, uygun dalgalanma 2 - 7 sınıflarındaki filtreleri çok çabukça gerçekleştirmek mümkündür.

Gerçekleştirme hatalarının tashihi.

Hesaplar amplifikatörlerin kazançlarının binme, çıkış empedanslarının sıfır ve giriş empedanslarının da yüksek olduğu farz edilerek yapılmıştır. Tabiatıyla bu şartlar sağlanamaz, aynı şekilde R, C elemanlarını mükemmel bir hassasiyetle ayarlamak imkansızdır. Bu gibi çeşitli sebeplerden meydana gelen hatalar, filtrenin karakteristiklerine tesir etmekte ve bu da devrenin Q faktörü yükseldikçe artmaktadır

Teori Q'nun aşağıdaki ifade ile verildiğini göstermektedir.

$$Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C'}{C}}$$

Bütün $Q \ll \sqrt{2}/2$ değerleri için cevap eğrisi bir maksimumdan geçer. (Şekil 4 a)

$$(V_s)_{\text{mak}} = Q \frac{V_e}{\sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}}$$

Bu ifade $Q \gg 3$ olunda $(V_s/V_e)_{\text{mak}} \approx Q$ olur.

Bu maksimum ^ pulsasyonu için meydana gelir, şöyleki :

$$\omega_m = \sqrt{\frac{C' - 2C}{CC^2}}$$

ω_m , C ve C' irca edilmiş değerler olarak ifade edilmiştir.

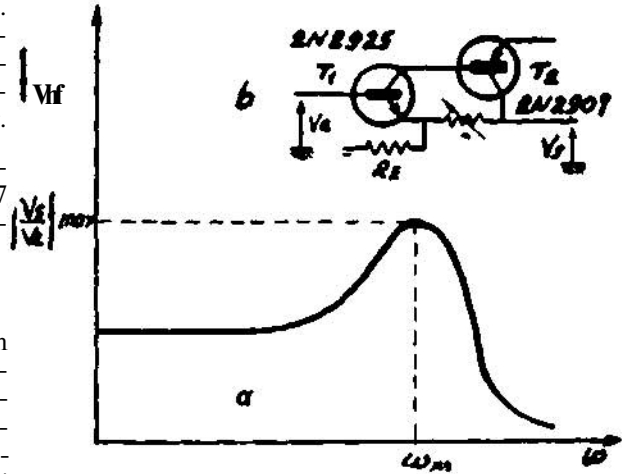
• Bu takdirde, yardımcı devreler ayrı ayrı ayar edilip, hata yaklaşık olarak ortadan kaldırılabilir.

Bunun için kazanç amplifikatörleri ayar ihtiva ederler. Q ve ω_m değerleri tabloda verilmiştir.

Birim kazanç amplifikatörü

Kullanılan birim kazanç amplifikatörü şekil 4 b de gösterilmiştir,

htiyaç göstermekte ve mükemmel bir stabilityeye haiz bulunmaktadır. Kazanç ifadesi aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.



Şekil : 4 - (a) Teorik cevap eğrisi ve (b) filtrenin birim kazanç amplifikatörü

$$G = 1 - \frac{h_{11}}{\beta_1 \beta_2 R_E} + \frac{r}{R_E}$$

r direnci, $r = \frac{h_{11}}{\beta_1 \beta_2}$ olacak şekilde ayarlandı-

ğı takdirde birime tamamiyle eşit kazanç elde edilir. Bu takdirde giriş empedansı çok yüksek :

z, «I P1 Pz RE ve C^{ki}3 empedansı çok zayıf :

$$Z_i \approx \frac{r_2}{02} + \frac{R_{s1} + h_{11}}{P1 \beta_2} \text{ olur.}$$

Yüksek sınıflı bir filtrenin gerçekleştirilmesine ait bir misal

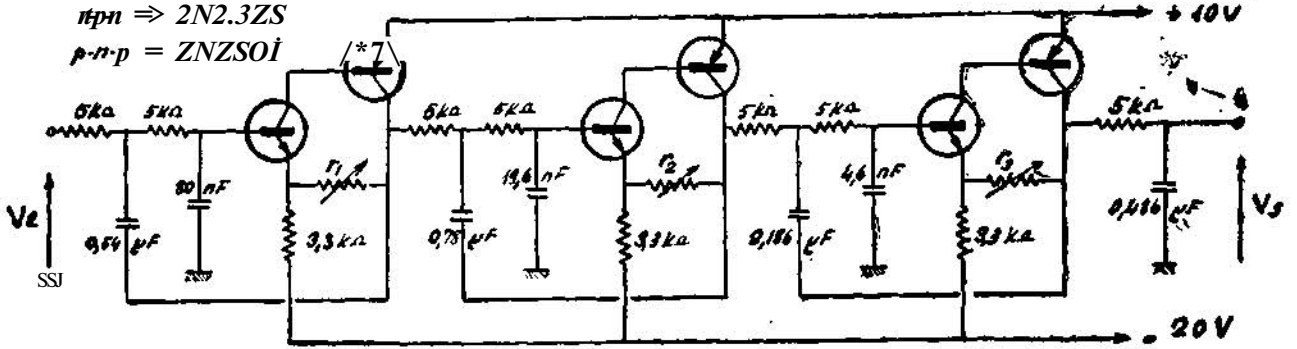
Bu metodun basitliği aşağıdaki misalde daha iyi anlaşılacaktır. Tchëbycheff cevabına haiz, geçirilen bandda 1 dB dalgalanmalı, 7 sınıfı bir filtre yapılacağını farz edelim.

Ro ve Co'i bulunabilen değerlerden seçelim, şöyleki: Ro = 5 Kn ve Co = 0,1 ^P. ^ = I/ROCO bağıntısı ile verilmiş olan kesim frekansı bu halde f_c = 318 Hz olur. Verilen tablo, 7 sınıfı filtrenin sonucusu RC devresi olan dört devreden müteşekkil olması gerektiğini belirtmektedir (Şekil 5).

Trttnsiorio/':

n-p-n ⇒ 2N2.3ZS

p-n-p = ZN2SOİ



Şekil 5 — Teh6t>ycheff cevabına haiz 7 sınıfı filtrenin pratik şeması

İlk üç devrenin faktörleri doymayı önlemek için, sırasıyla; $Q_1=1,30$; $Q_2=3,15$ ve $Q_3=10,89$ 'dur. R_o ve C_o elemanlarının toleransları 2 ve 3 üncü devreler için % 1, diğerleri için % 0,5 dir. Aynı şekilde 2 ve 3 devrelerin Q faktörü yüksek olduğundan;

$$2 \text{ devresi için; } \left| \frac{V_o}{V_s} \right|_{\text{maks}} = Q \frac{1}{4Q^2} = 3,19$$

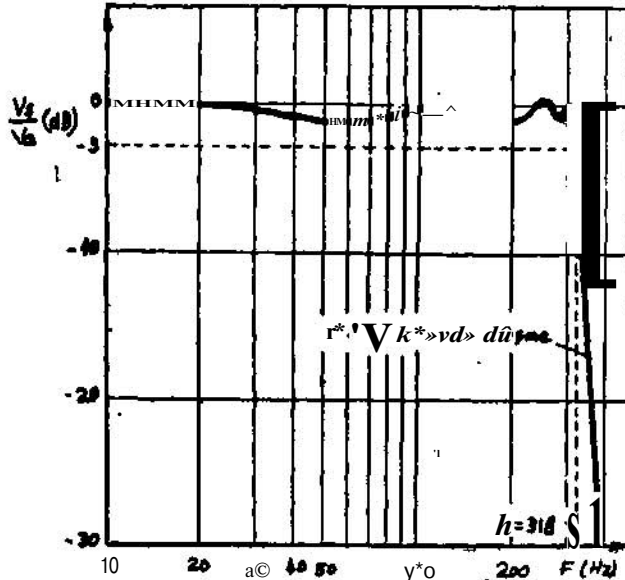
3 devresi içinde; $\left| \frac{V_o}{V_s} \right|_{\text{maki}} = 10,89$ olabilmesi için r direncinin ayarlanmasına ihtiyaç vardır.

Bu gartlarda 20 Q civarındaki bir potansiyometre ile $r = r = h, // \wedge p_2$ elde edilir.

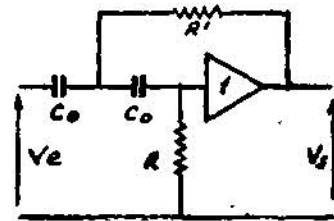
Artık nihai cevap eğrisi çizilir, geçirilen banddaki dalgalanmayı eşitlemek için lüzum görülürse r_1 , r_2 ve r_3 değerlerinden birinde ufak bir tashiht yapılır. Nihai cevap eğrisi şekil 6 da verilmiştir. Bu eğri teorik eğriye 0,1 dB den daha az yaklaşmakta ve sınır frekanslarda düğme 70dB/octav civarında olmaktadır.

TRAJVSPOZİSYON :

Yukarıda bahsedilen alçak - geçit filtresiyle aynı ω_c kesim frekansım haiz yüksek-geçit filterlerine geçilebilir. Bunun için geldi 7 deki gibi R ve C elemanlarının yerlerini değiştirmek kâfidir. (Şekil 7) irca • edilmiş R'' ye R değerleri (yani R'/R_o ve R/R_o) tabloda verilmiş C ve C değerleri gibi aynıdır.



Şekil 8 — Şekil 5 de görülen filtrenin cevap eğrisi -
Elektrik Mühendisliği 162



Şekil 7 — Alçak-geçit filtresine imkân veren transpozisyonun prensibi

Nihayet kaskad bağlanan bir yüksek-geçit ve bir alçak-g-çit filtresiyle band geçirici veya band kesici filtreler elde edilebilir.

Şimdiye kadar bahsedilen bu metodla, basit ve sür'atlı bir şekilde kullanıcının ihtiyacına uygun, yüksek vasıflı filtreler yapmak mümkündür.

Mahdut sayıda eleman, işlem amplifikatörleri yerine basit uygulayıcılar (adaptör) kullanılması parazit osilasyonlanndan azade sür'atlı ayar sağlarlar. Kullanılacak elemanların maksimum sayısı sınırlıdır. Böylece, maliyeti çok az, yüksek vasıflı filtreler gerçekleştirilebilir.

BUTTERWORTH VEYA TOHÉBYTCEFF QEVABLI 2 ILÁ 7 SINIFLI FİLTRELER **

S. 2	Devre 1			Simf 7	Devre 1			Devre 2			Devre 3			4		
	Q	C'	Q		Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q			
1	0,707	1,111	0,707	10,901	1,109	0,554	1	0,623	1,603	0,802	0,472	0,222	4,493	2,246	0,951	1,323
1	0,707	0,840	0,707	0,896	1,469	0,639	-	10,398	2,123	1,154	0,859	0,110	5,95	3,668	1,21	2,653
1	0,497	1,80	0,707	1,028	2,945	0,85	0,13	0,71	4,256	1,84	0,1	0,3	1,120	6,23	1,038	4,864
1	0,455	1,1	0,77	0,803	5,40	1,30	0,402	0,196	7,802	1,15	0,787	10,3	21,86	10,89	0,994	

S. 3	Devre 1			Simf 6	Devre 1			Devre 2			Devre 3					
	Q	C'	Q		Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q			
18	0,1	0,986	1,34	0,986	1,140	0,538	1	0,707	1,414	0,414	0,414	0,1	0,1	0,1	0,1	0,930
1	0,1	0,986	1,34	0,986	1,140	0,538	1	0,484	1,140	0,484	0,484	0,1	0,1	0,1	0,1	0,280
1	0,1	0,986	1,34	0,986	1,140	0,538	1	0,449	1,140	0,449	0,449	0,1	0,1	0,1	0,1	1,105
1	0,1	0,986	1,34	0,986	1,140	0,538	1	0,304	1,140	0,304	0,304	0,1	0,1	0,1	0,1	0,991

S. 4	Devre 1			Simf 5	Devre 1			Devre 2			8	
	Q	C'	Q		Q	Q	Q	Q	Q	Q		
0,4	0,707	1,082	0,707	0,707	1,082	0,707	0,707	0,707	1,082	0,707	0,707	0,707
0,3	0,707	1,007	0,707	0,707	1,007	0,707	0,707	0,707	1,007	0,707	0,707	0,707
0,3	0,707	0,044	0,707	0,707	0,044	0,707	0,707	0,707	0,044	0,707	0,707	0,707
1	0,707	1,858	1,7	0,707	1,858	1,7	0,707	0,707	1,858	1,7	0,707	0,707

Referanslar :

- (1) A. DAUPHIN : «Théorie des réseaux électriques linéaires» Cours de l'E.S.E. 1966.
- (2) L. WEINBERG : «Network design by use of modern synthesis techniques and tables» Hughes Technical Memorandum n° 427, 1954.
- (3) I.T.T. : «Reference data for radio engineers».

GHAUSI : «Principles and design of linear active circuits» Mac Graw Hill, 1965.

HERRERO and WILLONER : «Synthesis of filters» - Prentice Hall. 1966.

* «Electronique Industrielle» Nisan 1968 Sayı. 112.

** Tabloda C , C ve C_{in} irca edilmiş değerlerdir, yani C_0 , R_0 ve $C_{in} = 1/(R_0 C_0)$ birim olarak alınmıştır.

SAYIN SANAYİCİLER

Memleket dahilinde imâl edilen sanayii mamullerinden kalitesi teknik şartlara ve standartlara uygun olanlara bir belge vermek suretiyle, evsafının uygunluğunu müstehlike tanıtmak gayesiyle ODAMIZCA hazırlanmış olan KALİTE BELGESİ TALİMATNAMESİ esasları dahilinde

KALİTE BELGESİ verilmektedir.

Gerek resmî ve hususî sektörde, gerek halk arasında kaliteli mamule verilen değer bu gün her zamankinden fazladır. Bazı resmî müesseselerce ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASINDAN KALİTE BELGESİ almış olmak, ihaleye iştirak için şart olarak belirtilmektedir.

Siz de Odamızdan alacağınız

KALİTE BELGESİ "

Mamulünüzün üstünlüğünü ispat edebilirsiniz. Uzmanlar tarafından çeşitli laboratuvar denemelerine istinaden tetkik edilerek verilmekte olan belgenin alınabilmesi için gerekli bilgiyi Odamızdan isteyiniz.

Adres : Elektrik Mühendisleri Odası

Merkez: İhlamur Sok. 10/1 Yenişehir - ANKARA Tel : 12 76 60

Şube : İstiklâl Cad. Emgen Ap. No: 65/5 Beyoğlu - İstanbul Tel : 49 10 49

Şube : 1375 Sok. Muzaffer Ap. 18/5 Alsancak - İZMİR

DUYURU

KASIM - 1967 de yapılan Odamız 3 üncü Teknik Kongresine verilen tebliğleri kapsayan tebliğler kitabı 10.— TL. ücret mukabili temin edilebilir. İsteyenlerin Odaya müracaatları rica olunur.

YÖNETİM KURULU