

**T.C.  
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

# **ELEKTRİK-ELEKTRONİK TEKNOLOJİSİ**

**ADC-DAC DEVRELERİ  
522EE0253**

**Ankara, 2012**

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- PARA İLE SATILMAZ.

# İÇİNDEKİLER

<b>AÇIKLAMALAR.....</b>	<b>ii</b>
<b>GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....</b>	<b>2</b>
<b>1. ANALOG-DİJİTAL DÖNÜŞTÜRÜCÜLER .....</b>	<b>2</b>
1.1. ADC ESASLARI .....	2
1.2. ÇEŞİTLERİ.....	5
1.2.1. Paralel Karşılaştırıcı (Flash) A/D Dönüştürücü.....	6
1.2.2. Sayısal Eğimli (Basamak Rampalı) A/D Dönüştürücü.....	8
1.2.3. Girişi İzleyen A/D Dönüştürücü.....	9
1.2.4. Tek Eğimli A/D Dönüştürücü.....	9
1.2.5. Çift Eğimli A/D Dönüştürücü.....	10
1.2.6. Ardışık Yaklaşımlı A/D Dönüştürücü .....	11
1.2.7. Şarj Dengeleme Sistemli A/D Dönüştürücü .....	12
1.2.8. Gerilim/Frekans Dönüştürücülü ADC .....	12
1.2.9. Delta-Sigma ( $\Delta\Sigma$ ) A/D Dönüştürücü .....	13
1.2.10. Boru Hattı Tipi (Pipeline) A/D Dönüştürücü .....	13
1.2.11. Ayrık Zamanlı ADC (Time-Interleaved, TI-ADC ) .....	15
1.3. A/D ENTEGRE DEVRELER .....	15
UYGULAMA FAALİYETİ.....	17
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	25
<b>ÖĞRENME FAALİYETİ-2.....</b>	<b>27</b>
<b>2. DİJİTAL- ANALOG DÖNÜŞTÜRÜCÜLER.....</b>	<b>27</b>
2.1. DAC ESASLARI .....	27
2.2. ÇEŞİTLERİ.....	30
2.2.1. Ağırlık Dirençli (Paralel Girişli) D/A Dönüştürücü .....	30
2.2.2. R-2R Merdiven Tipi D/A Dönüştürücü .....	32
2.3. ENTEGRE TİPİ D/A DÖNÜŞTÜRÜCÜLER .....	33
UYGULAMA FAALİYETİ.....	34
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	41
<b>MODÜL DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>43</b>
<b>CEVAP ANAHTARLARI.....</b>	<b>44</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>45</b>

# ÖĞRENME FAALİYETİ-2

## AMAÇ

D/A dönüştürücü devrelerini kurup, dijital sinyalleri analog sinyallere dönüştürebileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- İkilik sayı sistemini araştırarak daha önceden öğrendiklerinizi hatırlayınız.
- İkilik sayı ile gösterilen bir değer nasıl gerilim değerine dönüştürülür, araştırınız.

## 2. DİJİTAL- ANALOG DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Analog değerler dijitalle dönüştürüldükten sonra işlem görür, saklanır, uzak mesafelere iletilir, çeşitli ekranlarda gösterilir. Bazı durumlarda dijital değerleri yeniden analog değerlere dönüştürmek gerekir. Örneğin bilgisayarımızda bir müzik parçasını dijital olarak kayıtlı bulunmaktadır. Dinlemek istediğimizde bu dijital değerler hoparlör için anlamlı ve kullanılabilir değerler değildir. Yeniden analog değere dönüştürülerek hoparlöre verilmelidir.

Dijital değerleri analog değerlere dönüştüren devrelere DAC (Digital Analog Converter, D/A dönüştürücü ) denilir. Bu öğrenme faaliyetinde DAC devrelerinin temel esaslarını, çeşitlerini ve sık kullanılan entegreleri öğrenerek çeşitli uygulamalar yapacaksınız. Böylece dijital devrelerden analog devrelere nasıl bilgi aktarıldığını öğreneceksiniz.

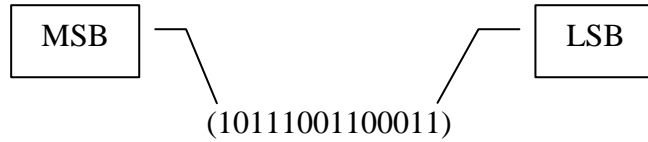
### 2.1. DAC Esasları

Dijital/analog dönüştürücüler (DAC), girişindeki sayısal değerlere karşılık olarak çıkışlarında analog bir gerilim veya akım üretmektedir. Analog mantıkla çalışan cihazların mikroişlemci ile kontrolünde DAC'lar kullanılır. DAC'ları kullanmak ADC'leri kullanmaya göre daha kolaydır. Birçok DAC'da, ADC'lerde olduğu gibi çevrime başlama, çevrimin bitmesini bekleme gibi kontrol işlemleri yoktur. ADC'lere göre çevrim süreleri çok daha kısa ve hızları yüksektir. Şekil 2.1'de DAC genel sembolü verilmiştir. DAC'ların yapısına ve çeşitlerine geçmeden önce D/A dönüştürücüler için kullanılan temel kavramları bilmekte fayda var.



Şekil 2.1: DAC genel sembolü

MSB ve LSB: Dijital değerler ikilik sayı sistemi ile gösterilen değerlerdir. İkilik sayı sisteminde en sağdaki rakamdan itibaren basamaklar (... ,27,26,25,24,23,22,21,20) ikinin katları şeklinde (... ,128,64,62,16,8,4,2,1) sola doğru artarak devam eder. Her basamağın ağırlığı farklıdır. Örneğin 3. basamağın 1 ya da 0 olması sayıyı  $\pm 4$  etkilerken, 8. basamağın 1 ya da 0 olması sayıyı  $\pm 128$  etkiler. Dijital değerlerde ağırlığı en yüksek basamağa En Anlamlı Bit, (Most Significant Bit, MSB), ağırlığı en düşük basamağa ise En Az Anlamlı Bit (Least Significant Bit, LSB) denir.



Şekil 2.2: MSB ve LSB

**Çözünürlük:** Bir D/A dönüştürücünün çıkışında oluşabilecek en küçük analog değer en büyük analog değere oranına çözünürlük denilir. Çözünürlük oran olarak  $(1/2^n)$  gösterildiği gibi direk giriş bit sayısı olarak da ( $n$  bitlik DAC gibi) ifade edilir. DAC'ın giriş bit sayısının artması çözünürlüğü artırır. Örneğin 8 bitlik bir DAC girişinde maksimum  $2^8=256$  adet farklı dijital değer olabilir. Bu DAC'ın çözünürlüğü  $1/256$ 'dır. Oranın sayısal olarak değerinin küçülmesinin çözünürlüğün artması anlamına geldiğine dikkat ediniz.

**Tam Skala (Full Scala):** Dijital-Analog çeviricilerde giriş olarak kullanılan *bit*lerin hepsinin 1 olması durumuna tam skala (Full Scala ya da FS) denir. Giriş olarak verilen tüm *bit*ler anlamlandırıldığı için çıkış voltajı veya akımı maksimum değerde olacaktır.

**Doğruluk:** D/A dönüştürücü çıkışında olması beklenen analog değer ile gerçekleşen değer arasındaki ilişkiye doğruluk denir. Bir DAC'ın bütün dijital girişleri düşük değerlikli "0" olduğunda analog çıkışın sıfır olması beklenilir. Bu durumda çıkışta sıfırdan farklı oluşan değer hatadır. Kullanılan OP-AMP'ların ve dirençlerin tolerans değerlerinden kaynaklanan hatalar ortaya çıkar. Özellikle bu elemanların değerlerinde sıcaklıkla meydana gelen değişiklikler hataları artırır. DAC devrelerinde tam skala durumunda  $\pm 1/2\text{LSB}$  kadar hata kaçınılmazdır ve kabul edilebilir sınırdır.

**Giriş-Çıkış İlişkisi:** Giriş bitlerindeki değişime karşılık çıkış akım veya geriliminde gözlenen değişimdir. LSB'den MSB'ye doğru bitlerdeki ağırlık değeri artacağından çıkış voltajı üzerindeki etkisi de artacaktır. Birim artış çözünürlük gerilimine eşittir. Şekil 2.3'te  $V_{\max} = 10$  Volt olan 4 bitlik DAC devresinin giriş-çıkış ilişkisi gösterilmiştir.

$$\text{DAC çözünürlüğü} = 1/2^n = 1/2^4 = \frac{1}{16}$$

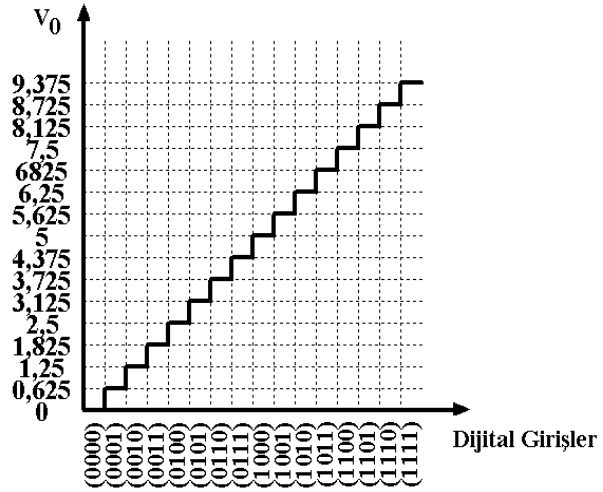
$$\text{DAC çözünürlük gerilimi} = V_{\max} \times 1/2^8 = 10 \times \frac{1}{16} = 0,625 \text{ Volt}$$

Girişte LSB *bit*inin değişmesi çıkışı çözünürlük gerilimi kadar yani  $\pm 0,625\text{V}$  etkiler.

Çıkış analog değeri  $V_0 = V_{\max} \times \frac{\text{Giriş}}{2^n}$  Formülü ile her giriş için ayrı ayrı hesaplanabilir.

Şekil 2.2'deki tablo oluşturulur.

DAC Girişleri				Analog Çıkış
D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>	V <sub>0</sub>
0	0	0	0	0 V
0	0	0	1	0,625 V
0	0	1	0	1,25 V
0	0	1	1	1,875 V
0	1	0	0	2,5 V
0	1	0	1	3,125 V
0	1	1	0	3,75 V
0	1	1	1	4,375 V
1	0	0	0	5 V
1	0	0	1	5,625 V
1	0	1	0	6,25 V
1	0	1	1	6,875 V
1	1	0	0	7,5 V
1	1	0	1	8,125 V
1	1	1	0	8,75 V
1	1	1	1	9,375 V



Şekil 2.3: 4 Bit DAC giriş çıkış ilişkisi

+Vref ve -Vref değerleri D/A dönüştürücünün Vmax çıkışını ayarlamak için kullanılır. Bazı DAC entegrelerinde referans ucu bulunmamakta, entegre içinde sabit referans değeri bulunmaktadır. Bir DAC girişindeki bütün bitler yüksek seviyede “1” olursa çıkış maksimum analog değer de (Vmax) olmalıdır. Girişteki bütün bitler düşük seviyede “0” olursa, çıkış minimum değerde (Vmin) olmalıdır.

D/A dönüştürücüler çıkışları sadece pozitif veya hem pozitif hem negatif analog değer verecek şekilde tasarlanır. Pozitif çıkışlı olanlarda çıkış değeri 0 ile +Vmax arasında değişir. Negatif çıkış verenler de ise çıkış değeri “0” ile -Vmax arasında değişir. Simetrik çıkışlı dönüştürücülerde en anlamlı bit olan MSB, değerinin pozitif veya negatif olduğunu gösterecek şekilde devre tasarlanır. MSB “1” diğer girişler “0” olduğunda analog çıkış “0” volt olacak şekilde referans değerleri ayarlanır. Geri kalan girişlerin değerine göre çıkış genliği oluşur. Örneğin LTC1450 entegresi 12 bitlik pozitif çıkışlı bir D/A dönüştürücü iken, DAC0800 entegresi 8 bitlik simetrik çıkışlı D/A Dönüştürücüdür.

Girişteki her dijital değer için bir analog karşılığı çıkışta üretilmektedir. Giriş değerine karşılık olan çıkıştaki analog değer şöyle hesaplanır:

$$\text{Çıkış analog değeri } V_0 = V_{\max} \times \frac{\text{giriş}}{2^n}$$

Örnek: 8 bit girişi olan bir DAC entegresi  $V_{\max} = 5$  volt olacak şekilde bağlanmıştır. Girişine (01110011) değeri uygulanırsa çıkışından kaç volt analog sinyal alınır?

$$\text{DAC çözünürlüğü} = 1/2^n = 1/2^8 = \frac{1}{256}$$

$$\text{Dac çözünürlük gerilimi} = V_{\max} \times 1/2^8 = 5 \times \frac{1}{256} = 0,01953 \text{ Volt} = 19,53 \text{ mV}$$

Girişte LSB bitinin değişmesi çıkışı çözünürlük gerilimi kadar yani  $\pm 19,53 \text{ mV}$  etkiler.

$$\text{Giriş değeri} = (01110011)_2 = (0 \times 128 + 1 \times 64 + 1 \times 32 + 1 \times 16 + 0 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 1) = 115$$

$$\text{Çıkış analog değeri } V_0 = V_{\max} \times \frac{\text{giriş}}{2^n} = 5 \times \frac{115}{256} = 2,246 \text{ Volt}$$

## 2.2. Çeşitleri

D/A dönüştürücü devrelerin temelini OP-AMP'lar (İşlemsel yükselteç) oluşturmaktadır. Bilindiği üzere Op-Amp'lar elektrik sinyalleri üzerinde değişik işlemleri gerçekleştiren aynı zamanda yükselten yüksek kazançlı amplifikatör devreleridir. Op-Amp'lar için Endüstriyel Kontrol ve Arıza Analizi dersi İşlemsel Yükselteçler modülüne bakabilirsiniz. DAC devrelerinde Op-Amp'lar toplayıcı olarak kullanılmaktadır.

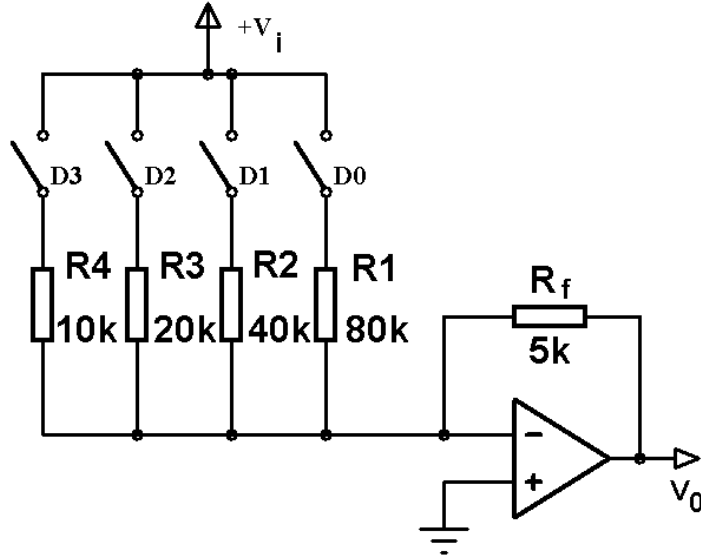
Dijital sinyalleri, analog sinyallere dönüştürmek için iki temel yaklaşım vardır.

- Ağırlık dirençli (paralel girişli) D/A dönüştürücü
- R-2R merdiven tipi D/A dönüştürücü

D/A dönüştürücü olarak bu iki yöntemin dışında darbe genişlik modülasyonunu da (PWM) saymamız gerekir. PWM sinyali dijital çıkış olsa bile, düşük frekanslı analog sinyal ortalama değeri gibi etki gösterir. PWM kullanılarak gerilim ve akımın ortalama değeri değiştirilerek motor hız kontrolü, lamba ışık şiddeti ayarı, led sürücü devreleri vb. yapılmaktadır.

### 2.2.1. Ağırlık Dirençli (Paralel Girişli) D/A Dönüştürücü

Bu yöntemde OP-AMP toplayıcı ve eviren yükselteç olarak kullanılmıştır. Giriş dirençleri ikinin ağırlıklarına göre giriş bit sayısı kadar belirlenir. Bu tip DAC'nin devresi Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Giriş direncinin değeri bu girişin temsil ettiği bitin ağırlığına bakılarak belirlenir. Çıkış gerilimine etkisinin fazla olması için ağırlığı yüksek olan girişin direnci küçük seçilir. Ağırlık düştükçe aynı oranda direnç değeri artar.



Şekil 2.4: Ağırlık dirençli 4 Bit D/A dönüştürücü

Op-Amp'lı eviren yükselteç devresinde sinyalin eviren girişe ( $-in$ ) uygulandığını, evirmeyen girişin ( $+in$ ) şaseye bağlandığını, yükselteç kazancının  $A = \frac{-R_f}{R_1}$  olduğunu ve çıkış geriliminin ise  $V_0 = V_i \times A$  denklemi ile hesaplandığını hatırlayınız. Şekil 2.4'teki devrede tek giriş yerine dirençler ile bit sayısı kadar giriş yapıldığı görülmektedir. Toplayıcı devreleri hatırladığınızda bu devrenin kazancının  $A = -R_f \times \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right)$  olacağını ve çıkış geriliminin  $V_0 = -V_i \times \left( \frac{R_f}{R_1} + \frac{R_f}{R_2} + \frac{R_f}{R_3} + \frac{R_f}{R_4} \right)$  formülü ile hesaplanması gerektiğini göreceksiniz.

$R_1, R_2, R_3, R_4$  direnç değerleri giriş bit ağırlığı dikkate alınarak (1,2,4,8) katsayılarında, giriş bit değerleri için D0, D1, D2, D3 ve  $R_f = R/2$  seçilirse çıkış gerilimi Şekil 2.3'teki devre için aşağıdaki formülle hesaplanabilir. Maksimum çıkış geriliminin referans değerine eşit olması için  $R_f = R/2$  olarak alınmıştır.

$$V_0 = -V_i \times \left( D_0 \frac{R}{16R} + D_1 \frac{R}{8R} + D_2 \frac{R}{4R} + D_3 \frac{R}{2R} \right)$$

$$V_0 = -V_i \times \left( D_0 \frac{1}{16} + D_1 \frac{1}{8} + D_2 \frac{1}{4} + D_3 \frac{1}{2} \right)$$



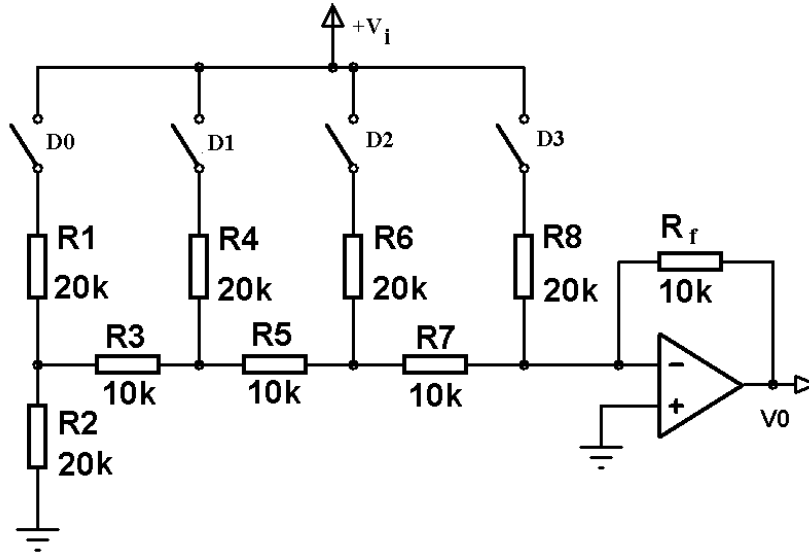
$V_i = V_{ref}$  yazıp paydaları eşitleyip formülü aşağıdaki son duruma getirebiliriz. D0, D1, D2, D3 yerlerine dijital giriş değerlerini (1 veya 0) yazdığımızda çıkış gerilimini hesaplamış oluruz.

$$\text{DAC çıkış gerilimi } V_0 = - \frac{V_{ref}}{16} (D_0 + 2D_1 + 4D_2 + 8D_3)$$

Şekildeki devre için çıkış geriliminin negatif olduğuna dikkat ediniz. Çünkü işlemsel yükseltecin eviren girişi kullanılmıştır.

### 2.2.2. R-2R Merdiven Tipi D/A Dönüştürücü

Ağırlık dirençli D/A dönüştürücüde her giriş için farklı değerde direnç kullanmak gerekir. Bu durum özellikle çözünürlüğü yüksek olan DAC'lerde (24 bit giriş v.b) zorluk oluşturur. Dirençler şekil 2.5'te olduğu gibi bağlanırsa devreyi oluşturmak için iki farklı değerde direnç olması yeterlidir.



Şekil 2.5: R-2R merdiven tipi 4 bit D/A dönüştürücü

Bu devrede direnç değerlerinin R-2R olarak sıralanması ve çıkış dalga şeklinin merdiven basamağı şeklinde artması sebebiyle bu tip dönüştürücülere R-2R merdiven tipi D/A dönüştürücü denilir. Şekil 2.5'te verilen R-2R merdiven tip DAC devresinde D0, D1, D2, D3 ile gösterilmiş dijital girişlerin op-amp eviren girişine etkileri farklıdır. Önünde büyük direnç değeri olan dijital giriş op-amp girişine daha az akım ulaştıracaktır ve bunun sonucu olarak da çıkıştaki etkisi daha az olacaktır. D0 en ağırlıksız bit (LSB) olup devrenin çözünürlüğünü belirler. Tam skala değerinin (maksimum çıkışın) 1/16'sı kadar çıkışı etkiler. D3 ise en değerlikli bit (MSB) olup çıkışa tam skala değerinin yarısı olarak etki eder. Devrenin çözümünü uzun uzun anlatmak yerine çıkış gerilimini veren formülün yine aynı

olacağını belirterek sonuca gidelim. İstenilirse her giriş için “1” değerlerinin sıfır olduğunu varsayarak çıkış gerilim değeri dört defa hesaplanır, devrenin çıkış gerilim değeri bu dört farklı sonucun toplamıdır.

$$\text{DAC Çıkış gerilimi } V_0 = - \frac{V_{ref}}{16} (D_0 + 2D_1 + 4D_2 + 8D_3)$$

### 2.3. Entegre Tipi D/A Dönüştürücüler

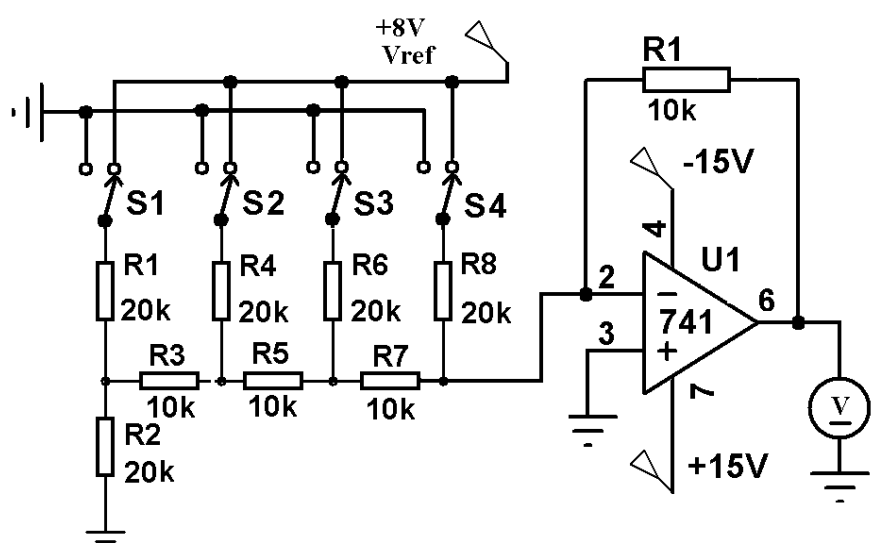
ADC devrelerinde olduğu gibi D/A dönüştürücü devreleri de hazır entegre olarak üretilmiştir. Çeşitli dijital devrelere direk bağlanabilecek şekilde paralel girişli DAC entegreleri üretildiği gibi mikro denetleyicilerle birlikte kullanıma uygun paralel veya seri girişli değişik çözünürlüklerde entegreler mevcuttur. Ayrıca üretici firmalar özel uygulamalara yönelik olarak besleme gerilimi, çıkış polaritesi, akım veya gerilim çıkışlı, maksimum çıkış değeri gibi özellikleri değiştirerek entegre çeşitliliğini artırmıştır. Tablo 2.1’de çeşitli DAC entegreleri ve özellikleri verilmiştir.

DAC	Çözünürlük	DAC Kanal Sayısı	Giriş Haberleşme Tipi	Çevrim Süresi	Çıkış Tipi Gerilim Sınırı	Kullanım Alanı
AD558	8 Bit	1	Paralel	1 µs	0-2,56V veya 0-10V	Genel
DAC0800	8 Bit	1	Paralel	100 ns	±20V veya Akım Çıkışlı	Genel
MC1408	8 Bit	1	Paralel	70 ns	Akım Çıkışlı	Genel Hızlı DAC
ZN425E	8 Bit	1	Paralel	2 µs	0-2,5V	Genel
AD5320	12 Bit	1	Seri	12 µs	0-5V	Mikrokontrolör
LTC1450	12 Bit	1	Paralel	14 µs	0-5V	Endüstriyel
MAX5316	16 Bit	1	SPI	3 µs	Programlanabilir Gerilim, Akım	Haberleşme Medikal Cihazlar Oto. Test Sistemleri
MAX5879	14 Bit	1	Direkt RF Sinyal	2,3Gsp/s	Akım Çıkışlı	Dijital Video Uyg. Kablosuz Altyapı Uyg.

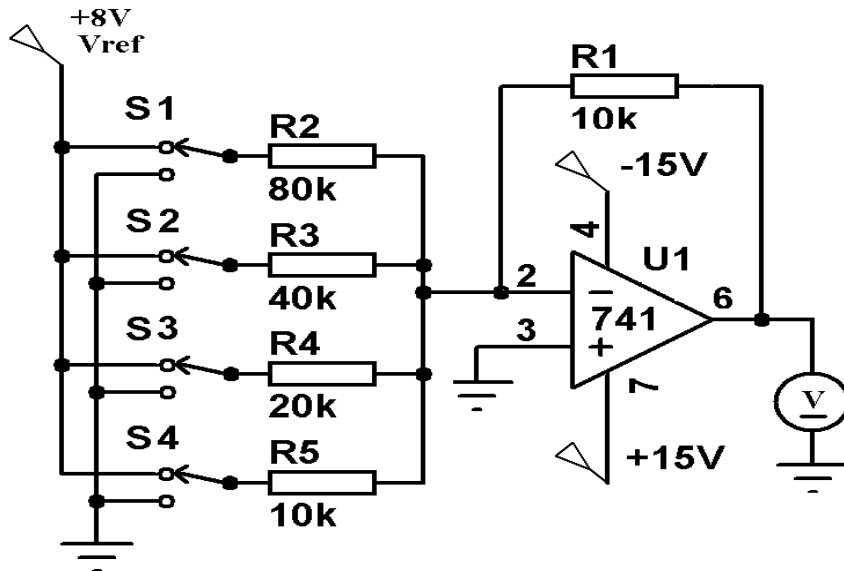
**Tablo 2.1: Çeşitli DAC entegreleri ve özellikleri**

## UYGULAMA FAALİYETİ

Bu öğrenme faaliyeti kapsamında edindiğiniz bilgi ve becerileri geliştirmek için aşağıdaki uygulamayı yapmalısınız.

UYGULAMA ADI	R-2R dirençli merdiven tipi d/a dönüştürücü yapmak	UYGULAMA NO	1
<p><b>Açıklama:</b> Bu uygulamayı dijital elektronik deney setinizde, bir elektronik devre çizim ve simülasyon programı üzerinde (örn. ISIS) veya deneme bordu üzerine devreyi kurarak yapabilirsiniz.</p>  <p>Şekil 1: R-2R dirençli merdiven tipi DAC devresi</p> <p><b>Malzeme Listesi</b> 741 Op-Amp entegresi, 4 adet 10k ve 5 adet 20k direnç, orta uçlu (üç uçlu) anahtar, ±15 volt DC güç kaynağı, DC voltmetre</p>			

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Malzeme listesindeki elemanları çalışma masanızın üzerine hazırlayınız.</li> <li>➤ Şekil 1’deki devreyi dikkatlice kurunuz. Güç kaynağını bağlamayınız.</li> <li>➤ Devre bağlantılarını yeniden kontrol ettikten sonra DC güç kaynağı uçlarını bağlayınız.</li> <li>➤ Devreye enerji veriniz, bütün anahtarları “0” şase duruma alınız. Voltmetrede okunan gerilim değerini aşağıdaki tablonun ilk satırına yazınız.</li> <li>➤ Sıra ile anahtar durumlarını ayarlayınız. Anahtarların durumuna karşılık gelen dijital giriş değerini ve ölçtüğünüz gerilim değerlerini tabloya yazınız.</li> <li>➤ Şekil 2’deki devreyi dikkatlice kurarak 3.4. ve 5. işlem basamaklarını tekrarlayınız.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Devre bağlantılarını kontrol etmeden enerji vermeyiniz.</li> <li>➤ Devrede bir değişiklik yapmadan önce enerjiyi kesiniz.</li> <li>➤ Anahtarların tamamı “0” durumunda olduğu halde voltmetre sıfırdan farklı bir değer gösteriyor olabilir. Op-Amp entegresinin sıfır kalibrasyonunu (ofset ayarı) bir potansiyometre kullanarak yapabilirsiniz. Ya da bu hata deney boyunca devam edeceği için yok sayıp devam edebilirsiniz.</li> <li>➤ Elektronik devre çizim ve simülasyon programı (örneğin ISIS) kurulu bilgisayarınız varsa bu uygulamayı orada tekrarlayınız.</li> <li>➤ Anahtarların yerine dört bitlik sayıcı devresi kurup bağlayabilirsiniz. Sayıcı yukarı yönde saydıkça çıkışın merdiven şeklinde arttığını osiloskop ile gözlemleyebilirsiniz.</li> </ul>



Şekil 2: Ağırlık dirençli DAC devresi

S1	S2	S3	S4	Dijital Giriş Değeri	Çıkış Gerilimi (volt)
0	0	0	0		
0	0	0	1		
0	0	1	0		
0	0	1	1		
0	1	0	0		
0	1	0	1		
0	1	1	0		
0	1	1	1		
1	0	0	0		
1	0	0	1		
1	0	1	0		
1	0	1	1		
1	1	0	0		
1	1	0	1		
1	1	1	0		
1	1	1	1		

ÖĞRENCİNİN	DEĞERLENDİRME				TOPLAM	
Adı:						
Soyadı:					Rakam	Yazı
Sınıf:						
No:	Öğretmen			Tarih:.././....	İmza	

## UYGULAMA FAALİYETİ

UYGULAMA ADI	DAC0800 entegresi ile d/a dönüştürücü yapmak	UYGULAMA NO	2
<p><b>Açıklama:</b> Bu uygulamayı dijital elektronik deney setinizde, bir elektronik devre çizim ve simülasyon programı üzerinde (örneğin ISIS) veya deneme bordu üzerine devreyi kurarak yapabilirsiniz.</p> <p>DAC0800 entegresi 8 <i>bit</i>, iki referans ucu bulunan, simetrik çıkışlı bir D/A dönüştürücü entegresidir. <math>+V_{ref}</math> ve <math>-V_{ref}</math> uçları ile uygun referans gerilimleri uygulanarak çıkışın maksimum değeri ve polaritesi belirlenebilir. Aşağıda verilen şemada <math>-V_{ref}</math> şaseye bağlanmış <math>+V_{ref}</math> ise potansiyometre ile ayarlı yapılmıştır. Bu durumda çıkış analog değeri 0 ile <math>-V_{max}</math> (<math>-V_{max} = 2 \times V_{ref}</math>) arasında değişir. Dijital girişlerin hepsi “1” yapılır, çıkışın maksimum değeri potansiyometre ile ayarlanır. Dijital girişlere anahtarlar açık iken dirençler üzerinden “1”, anahtarlar kapalı iken “0” uygulanmış olur. Entegrenin B1 (MSB) en yüksek değerli girişidir. B8 ise (LSB) en az değerli girişidir.</p> <p><b>Malzeme Listesi:</b> DAC0800 entegresi, 9 adet 10k direnç, 2 adet 5k direnç, 2 adet 100 nF kondansatör, 10 nF kondansatör, 10k potansiyometre, 8 adet anahtar, DC voltmetre, <math>\pm 12V</math> DC güç kaynağı, deneme bordu ve el takımları.</p>			

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	Dijital Giriş Değeri	IOU T volt	$\overline{IOU}$ T volt
0	0	0	0	0	0	0	0			
1	1	1	1	1	1	1	1			

$V_{max}$  :

$V_{ref}$  :

$V_{max}/V_{ref} =$

ÖĞRENCİNİN	DEĞERLENDİRME				TOPLAM	
Adı:					Rakam	Yazı
Soyadı:						
Sınıf:						

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Malzeme listesindeki elemanları çalışma masanızın üzerine hazırlayınız.</li> <li>➤ Yukarıdaki devreyi dikkatli bir şekilde kurunuz. Güç kaynağını bağlamayınız.</li> <li>➤ Potansiyometreyi göz kararı orta konuma ayarlayınız.</li> <li>➤ Devre bağlantılarını yeniden kontrol ettikten sonra DC güç kaynağı uçlarını bağlayınız.</li> <li>➤ Devreye enerji veriniz, bütün anahtarları açık duruma (bütün girişler “1”) alınız. Voltmetrede okunan gerilim değerini potansiyometre ile -8V olarak ayarlayınız.</li> <li>➤ Bütün anahtarları kapatınız. Çıkış gerilimi voltmetrede “0” olarak okunmalıdır.</li> <li>➤ Anahtarlar ile dijital girişlerden farklı değerler girerek çıkış gerilimini ölçünüz. Bu işlemi 10 defa tekrarlayıp aşağıdaki tabloya yazınız.</li> <li>➤ Tam skala durumunda çıkışta ölçülen <math>V_{max}</math> değerini ölçünüz. Voltmetre ile entegrenin 14 numaralı ayağına gelen <math>+V_{ref}</math> gerilimini ölçünüz. <math>V_{max}</math> ile <math>V_{ref}</math> arasındaki oranı inceleyiniz.</li> <li>➤ IOUT Çıkışına bağlı RL direnci ve voltmetreyi entegrenin 2 numaralı <math>I_{OUT}</math> çıkışına bağlayınız. 7. işlem basamağındaki dijital girişleri yeniden uygulayınız.</li> <li>➤ Bu DAC devresinde çıkışın 0 ile <math>+V_{max}</math> arasında değişmesi için nasıl bir bağlantı yapmamız gerekir? Araştırınız. Devreye bir op-amp bağlayıp çıkışın tersini almamız çözüm olur mu inceleyiniz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Devre bağlantılarını kontrol etmeden enerji vermeyiniz.</li> <li>➤ Devrede bir değişiklik yapmadan önce enerjiyi kesiniz.</li> <li>➤ Elektronik devre çizim ve simülasyon programı (örneğin ISIS) kurulu bilgisayarınız varsa bu uygulamayı orada tekrarlayınız</li> </ul>



## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız becerileri Evet, kazanamadığınız becerileri Hayır kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1	Kurulacak D / A devresinin entegresini katalogdan seçtiniz mi?		
2	Uygulama devresinin şemasını çizdiniz mi?		
3	Entegreyi borda taktınız mı?		
4	Yardımcı elemanları (buton, direnç, kondansatör, led, diyot) borda taktınız mı?		
5	Devre şemasına göre kablo bağlantılarını yaptınız mı?		
6	Bağlantıları kontrol ettiniz mi?		
7	Devreye enerji verdiniz mi?		
8	Devrenin çalışmasını kontrol ettiniz mi?		

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Sesimizi bilgisayarda kayıt edip dinlediğimizde hangi seçenekte ki olay kesinlikle **gerçekleşmemiştir**.  
A) Mikrofonla ses analog elektrik sinyaline dönüştürülmüştür.  
B) Bir ADC ile dijitale çevrilmiştir.  
C) Bir DAC ile analoga çevrilmiştir.  
D) Hoparlöre dijital kayıtlı dosya gönderilmiştir.
2. Mikroişlemci ile analog mantıkla çalışan çeşitli cihazlar kontrol edilirken hangi devrelere **kesinlikle** ihtiyaç vardır.  
A) DAC devreleri  
B) Filtre devreleri  
C) Dijital göstergeler  
D) Gerilim / frekans çeviriciler
3. Dijital değerlerde ağırlığı en düşük *bite* ne ad verilir.  
A) Önemsiz *bit*      B) LSB      C) EDB      D) MSB
4. Dört bit girişi bulunan bir DAC'ın çözünürlüğü hangi seçenekte doğru olarak verilmiştir.  
A) 1/2      B) 1/4      C) 1/8      D) 1/16
5. Hangisi bir D/A dönüştürücü çeşidi **kesinlikle değildir**.  
A) Ağırlık dirençli D/A dönüştürücü  
B) PWM çıkışı  
C) Ayırık zamanlı dönüştürücü  
D) R-2R dirençli D/A dönüştürücü
6. DAC devresi için yazılanlardan hangisi **yanlıştır**.  
A) Dijital değerleri analog değerlere dönüştürür.  
B) DAC devreleri bir analog devrenin çıkışında kullanılır.  
C) Bazı A/D dönüştürücü devrelerin de DAC kullanılır.  
D) R-2R dirençli DAC devresinde iki farklı direnç kullanılmıştır.
7. Hangi seçenek D/A dönüştürücü çıkışında olması beklenen analog değer ile gerçekleşen değer arasındaki ilişkidir.  
A) Doğruluk      B) Çözünürlük      C) Bit sayısı      D) Tam skala
8. DAC entegrelerinin çıkış polaritesi hakkında hangisi **söylenemez**.  
A) Negatif çıkışlı olanları vardır.  
B) Pozitif çıkışlı olanları vardır.  
C) Besleme uçları ile çıkış polaritesi ayarlanır.  
D) Referans uçları ile çıkış polaritesi ayarlanır.

**Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.**

1. ( ) Dijital değerlerde ağırlığı en yüksek basamağa en anlamlı bit (MSB) denir.
2. ( ) DAC'ın giriş bit sayısının artması çözünürlüğü artırır.
3. ( ) DAC devrelerinde yüksek toleranslı dirençler kullanılır.
4. ( ) Bir DAC'ın bütün girişlerinin "1" olması durumuna Full basma denir.
5. ( ) DAC'lar ADC devrelerine göre daha hızlıdır.
6. ( ) DAC girişindeki her bit çıkıştaki analog değeri aynı oranda etkiler.
7. ( ) Ağırlık dirençli DAC devresinde girişte bulunan dirençlerin değerleri farklıdır.
8. ( ) PWM dijital bir çıkış olmasına rağmen ortalama değeri bakımından analog sinyal gibi etki gösterir.

### **DEĞERLENDİRME**

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise "Modül Değerlendirme" ye geçiniz.

# MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Maksimum ve minimum sınırları arasında farklı değerler alarak değişen elektriksel büyüklüklere *analog bilgi* ya da *analog değer* denir.
2. ( ) Dijital değerler “1” ve “0” ile gösterilebilen değerlerdir.
3. ( ) ADC girişindeki her analog değere karşılık farklı bir dijital değer üretir.
4. ( ) ADC’lerde çevrim zamanı uzun olmalıdır.
5. ( ) Örnekleme frekansı en az analog sinyal frekansı kadar olmalıdır.
6. ( ) Gerçekleşen bir sonucun, beklenen teorik değerden farkına hata denir.
7. ( ) Paralel karşılaştırmalı tipte yüksek çözünürlüklü ADC’ler yapılır.
8. ( ) Yüksek frekanslı analog sinyalleri dijital değerlere dönüştürmek için boru hattı tipi ADC’ler kullanılır.
9. ( ) Ayrık zamanlı ADC tipinde birden fazla sayıda ADC paralel çalışır.
10. ( ) Paralel karşılaştırmalı ADC’ler çok hızlıdır ancak yüksek çözünürlük için çok sayıda karşılaştırmalı gerekir. Pahalı olduğu için tercih edilmez.
11. ( ) Alt kapsamlı karşılaştırmalı ADC’ler de karşılaştırmalı sayısı daha azdır.
12. ( ) Girişin ortalamasını alan (integral alıcı devreleri bulunan) ADC’ler giriş analog sinyalinde bulunan gürültülerden az etkilenir.
13. ( ) Dijital ölçü aletlerinde çift eğimli ADC’ler kullanılmaz.
14. ( ) Delta-sigma ADC, çıkışında kullanılan dijital filtreler ve sayıcı saat frekansı değiştirilerek analog sinyalin türüne göre ADC özellikleri programlanabilir.
15. ( ) Delta-sigma ADC’ler çok hassas A/D dönüştürmeleri yapılabilir.
16. ( ) Delta-sigma ADC’ler çok hızlıdır.
17. ( ) Boru hattı tipi (Pipeline) A/D dönüştürücü birbirinin tekrarı olan bit sayısı kadar aşamadan meydana gelmiştir.
18. ( ) Çıkışında direk gösterge sürebilen ADC entegreleri, ölçü aleti devrelerinde tercih edilir.
19. ( ) Bir ADC entegresinin mikroişlemci ile haberleşmesi paralel I<sup>2</sup>C, SPI gibi yöntemlerle olur.
20. ( ) Dijital değerler analog sinyallere dönüştürülemez.
21. ( ) LSB en ağırlıklı *bit* demektir.
22. ( ) DAC devrelerinde  $\pm 1/2\text{LSB}$  kadar hata kaçınılmazdır.
23. ( ) DAC devrelerinde op-amp fark alıcı olarak kullanılır.
24. ( ) R-2R merdiven tipi D/A dönüştürücü de çıkış dalga şekli merdiven basamağı gibi artar.
25. ( ) Ağırlık dirençli DAC çeşidinde bütün direnç değerleri aynıdır.
26. ( ) PWM analog çıkıştır.

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

# CEVAP ANAHTARLARI

## ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

SORU	CEVAP	SORU	CEVAP
1	A	11	DOĞRU
2	C	12	YANLIŞ
3	B	13	DOĞRU
4	B	14	DOĞRU
5	D	15	ADC
6	D	16	Çevrim Zamanı
7	C	17	Paralel Karşılaştırmalı
8	A	18	V/F Çeviricili
9	YANLIŞ	19	Ölçü Aleti
10	DOĞRU		

## ÖĞRENME FAALİYETİ-2'İN CEVAP ANAHTARI

SORU	CEVAP	SORU	CEVAP
1	D	9	DOĞRU
2	A	10	DOĞRU
3	B	11	YANLIŞ
4	D	12	YANLIŞ
5	C	13	DOĞRU
6	B	14	YANLIŞ
7	A	15	DOĞRU
8	C	16	DOĞRU

## MODÜL DEĞERLENDİRME CEVAP ANAHTARI

SORU	CEVAP	SORU	CEVAP	SORU	CEVAP
1	DOĞRU	10	DOĞRU	19	DOĞRU
2	DOĞRU	11	DOĞRU	20	YANLIŞ
3	YANLIŞ	12	DOĞRU	21	YANLIŞ
4	YANLIŞ	13	YANLIŞ	22	DOĞRU
5	YANLIŞ	14	DOĞRU	23	YANLIŞ
6	DOĞRU	15	DOĞRU	24	DOĞRU
7	YANLIŞ	16	YANLIŞ	25	YANLIŞ
8	DOĞRU	17	DOĞRU	26	YANLIŞ
9	DOĞRU	18	DOĞRU		

## KAYNAKÇA

- KURTULDU Şaban, Mehmet Ali GÜLER, İleri Elektronik Dijital, Yüksel Matbaası, Ankara, 1996.
- BAYRAM Harun, Dijital Elektronik, Özkan Matbaacılık, Bursa, 1998.
- YÜCESAN Adem, Dijital Elektronik, Meb Yayınları, Ankara, 2008.
- [http://www.emo.org.tr/ekler/c2bcf2ee48c0241\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/c2bcf2ee48c0241_ek.pdf) (27.01.2012)
- <http://ee.istanbul.edu.tr/uploads/dersnotlari/4750-DENEY-4-1.pdf> (02.03.2012)
- <http://web.itu.edu.tr/~aksind/Thesis/sigmadelta.html> (02.03.2012)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Delta-sigma\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Delta-sigma_modulation) (03.03.2012)
- <http://sorubank.ege.edu.tr/~dengin/digital/DAC&ADC.pdf> (04.03.2012)
- <http://www.antrak.org.tr/gazete/112006/tolga-tastan.html> "ADC0831 uygulama" (04.03.2012)