

# SAYISAL-ANALOG DÖNÜŞTÜRÜCÜLER (DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTERS, DAC) – DENEY FÖYÜ

## 1- Giriş

Sayısal-Analog Dönüştürücüler (DAC) sayısal işaretleri analog işarete çevirmek amacıyla kullanılan elemanlardır. Bu deneyde aktif bir eleman olan işlemsel yükselteçli (OPAMP) içeren iki tip DAC devresi gerçekleştirilecek ve ayrıca bu DAC'lar yalnız pasif elemanlar ile kurulan DAC devreleri ile karşılaştırılacaktır. avantaj ve dezavantajları da ele alınacaktır.

Konunun daha kolay anlaşılması için öncelikle süperpozisyon ilkesi açıklanacak ve daha sonra işlemsel yükselteçlerin DAC'ın çalışmasındaki öneminden bahsedilecektir.

## 2- Süperpozisyon İlkesi

Süperpozisyon ilkesi, birden çok bağımsız kaynağa sahip olan doğrusal devrelerin analizinde kullanılan bir ilkedir. Bu ilke uyarınca her bir bağımsız kaynağın etkisi ayrı ayrı hesaplanır.

Süperpozisyon ilkesinin uygulanmasında bağımsız bir kaynak devrede tutulurken diğer kaynaklar devreden atılır. Örneğin ele alınan kaynak dışında kalan kaynaklar gerilim kaynağı ise inceleme esnasında 0V olarak kabul edilir. Gerilim kaynakları için süperpozisyon ilkesinin uygulama adımları sırasıyla aşağıda verilmiştir:

1. Adım: Devredeki kaynaklardan yalnız biri devrede tutulurken diğer kaynaklar atılarak çıkış hesaplanır.
2. Adım: 1. Adımdaki işlem tüm kaynaklar için uygulanır.
3. Adım: 2. Adımda elde edilen değerler (her kaynağın ayrı ayrı katkısı) toplanır ve tüm kaynaklar aynı anda varken ki çıkış bulunur.

## 3. İşlemsel Yükseltecin (OPAMP) DAC'ın Çalışmasındaki Önemi

İşlemsel yükselteç (OPAMP), gerilim kontrollü ve bir gerilim kaynağı gibi davranabilen elektronik bir gereçtir. OPAMP'lar ile çeşitli matematiksel işlemleri yapmak mümkündür. Bu deneyde OPAMP'ın sanal toprak oluşturması ve eviren yükselteç özelliğinden faydalanılmıştır.

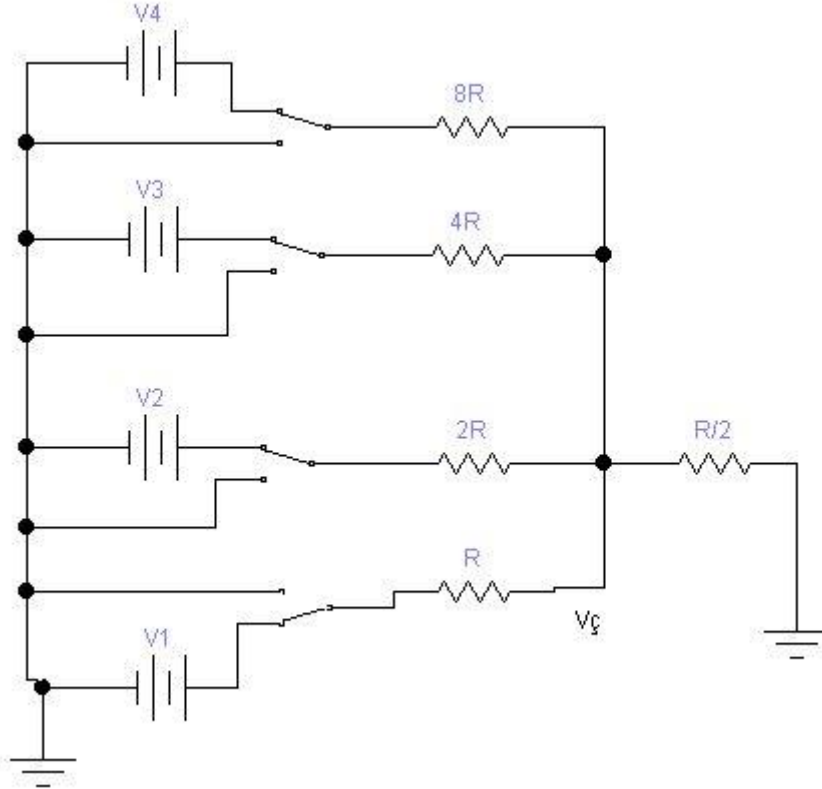
OPAMP'ın evirmeyen ucu topraklandığında, eviren ucun olduğu bölgede sanal toprak oluştuğu, dolayısıyla ilgili noktanın 0V geriliminde olduğu kabul edilir. Bu durum, süperpozisyon ilkesini uygulayarak çözüm bulmamıza olanak tanır. Ayrıca, eviren yükselteç olarak kullanıldığında çıkışta oluşan gerilimin işareti değişmiş olur.

## 4. Yalnız Pasif Elemanlarla Gerçekleştirilen 2<sup>n</sup>R DAC Yapısı

Şekil-2 de verilen DAC yapısında OPAMP kullanılmış ve bu sayede sanal toprak elde edilmiştir. Eğer ilgili devrede OPAMP kullanılmıyaydı (Şekil-1 deki durum), sanal toprak durumu oluşmayacaktı. Bunun sonucu olarak, kaynakların bulunduğu kollardaki akım, diğer girişlerin toprak seviyesinde olması durumunda, kısmen o kollardan çevrimi tamamlayacaktı. Bu bakımdan elde ettiğimiz değerler, istenilen değerlerden, OPAMP'lı devreye göre, daha düşük doğrulukta olurdu.

Ancak OPAMP gibi aktif elemanlar pasif elemanlardan daha yavaş çalışan elemanlardır. Bu bakımdan hızın önemli olduğu durumlarda, daha düşük doğruluğa sahip olmasına karşın, yalnız pasif elemanlarla kurulan DAC devreleri veya daha pahalı yüksek hızlı OPAMP'lı devreler kullanılmalıdır.

Yalnız pasif elemanlar (direnç) ile gerçekleştirilen DAC Devresi Şekil-1'de verilmiştir.

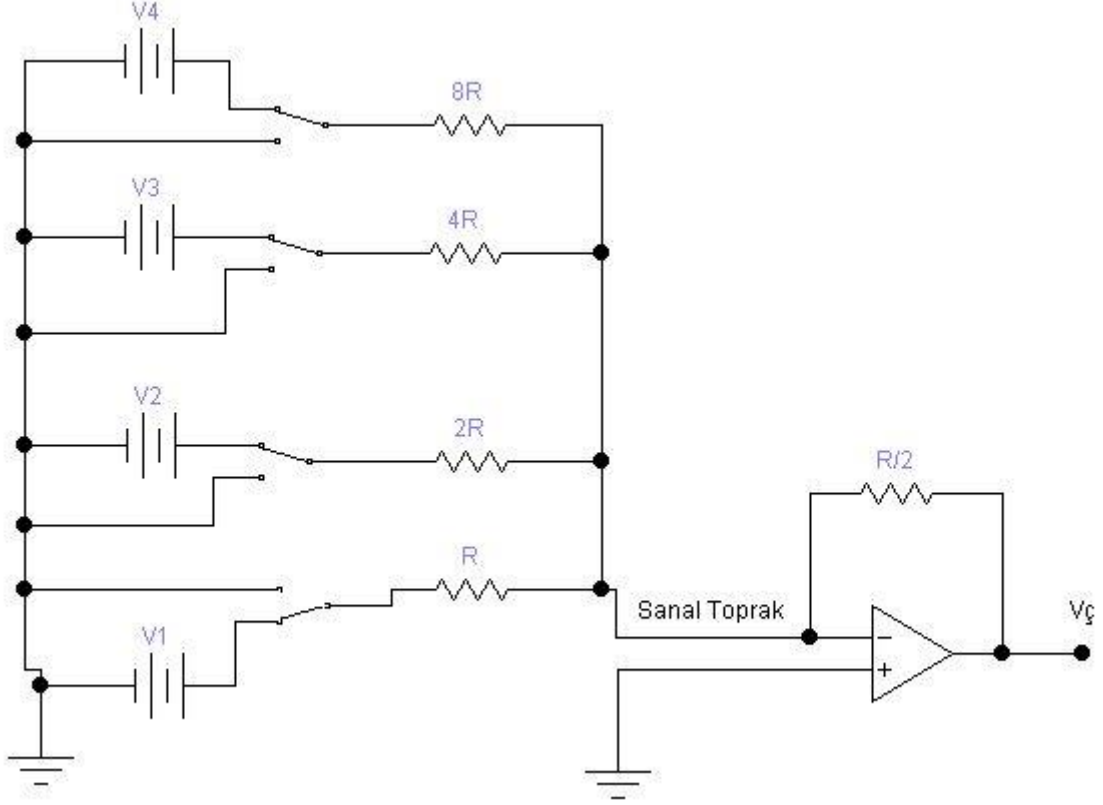


Şekil-1: Yalnız pasif elemanlar ile gerçekleştirilen DAC Devresi Örneği

## 5. $2^n R$ Dirençli Paralel DAC

$2^n R$  DAC yapısı, yaygın olarak kullanılan DAC yapılarından biridir. Bu DAC yapısında istenilen bit sayısı kadar bağımsız kaynak mevcuttur ve her kaynağa bağlı olan direncin büyüklüğü bir önceki kaynağa bağlı olan direncin iki katıdır. Bu konuyu aşağıdaki örnekle açıklayalım.

**Örnek-1:** 4-bitlik, OPAMPLI,  $2^n R$  değerli dirençlerden oluşan yapısındaki Şekil-2 de verilen DAC devresinin çıkış gerilimini giriş bitleri cinsinden hesaplayınız.



Şekil-2: 4 bitlik, OPAMPLI,  $2^n R$  değerli dirençlerden oluşan DAC devresi

**Çözüm:** Her bir gerilim kaynağının bulunduğu koldaki akım, o gerilim kaynağının adı ile indirlensin. (Örneğin  $V_1$  kaynağının bulunduğu koldaki akım  $I_1$  olsun.) Eviren yükselteç kullanımında OPAMPın evirmeyen girişinin toprağa bağlı olmasından ötürü eviren uçta sanal toprağın oluştuğu bilinmektedir. İlgili noktanın gerilimi 0V olarak alınırsa

1. Koldaki akım için:  $I_1 = (V_1 - 0V) / R = V_1 / R$  olarak bulunur.
2. Koldaki akım için:  $I_2 = (V_2 - 0V) / 2R = V_2 / 2R$  olarak bulunur.
3. Koldaki akım için:  $I_3 = (V_3 - 0V) / 4R = V_3 / 4R$  olarak bulunur.
4. Koldaki akım için:  $I_4 = (V_4 - 0V) / 8R = V_4 / 8R$  olarak bulunur.

4 koldan gelen akım değerleri toplanarak toplam akım elde edilir.

$$I_{\text{toplam}} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

İdeal bir OPAMPın giriş direnci sonsuz büyük olduğundan OPAMPın üzerinden akım akmadığı varsayılır. Bu yüzden  $I_{\text{toplam}}$  akımı tamamen  $R/2$  direnci üzerinden geçmiş olur.

Bu durumda  $V_{\text{çıkış}}$  gerilimi;

$$0V - I_{\text{toplam}} * (R/2) = V_{\text{çıkış}}$$

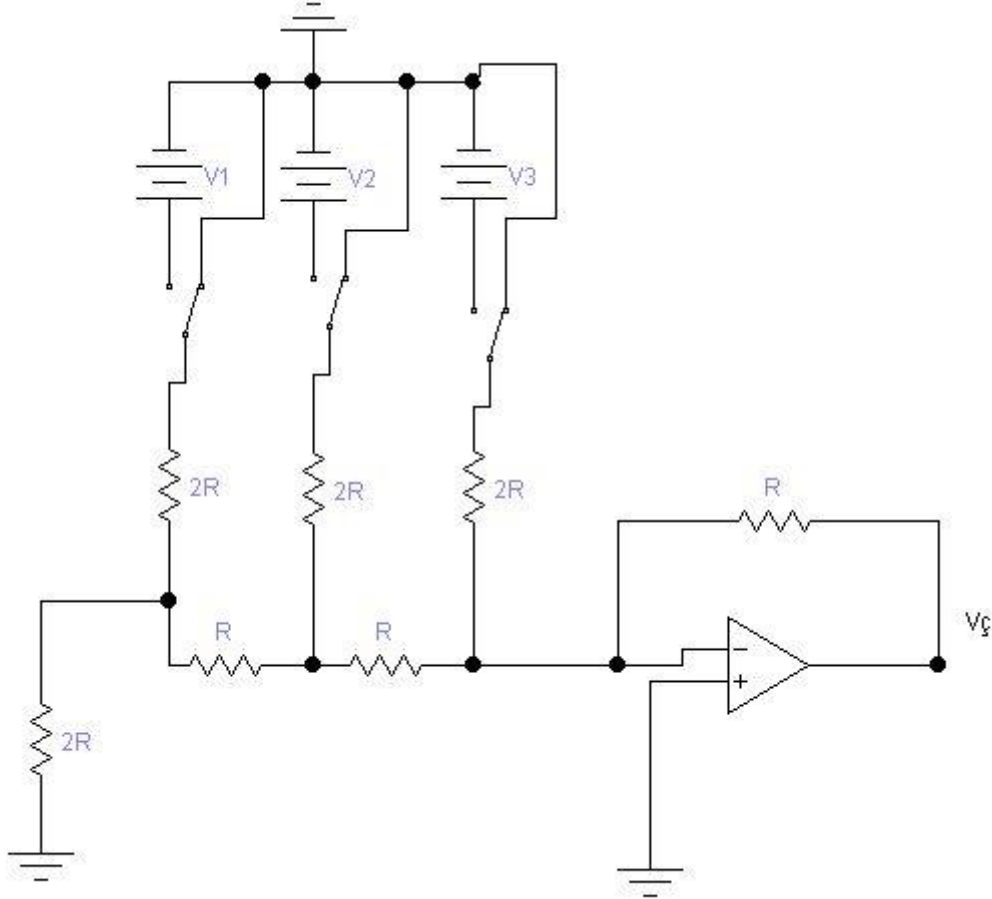
$$V_{\text{çıkış}} = -(V_1/R + V_2/2R + V_3/4R + V_4/8R) * (R/2)$$

$$V_{\text{çıkış}} = -(V_1/2 + V_2/4 + V_3/8 + V_4/16) \text{ olarak hesaplanır.}$$

## 6. R & 2R Merdiven Tipli DAC Yapısı

Bir önceki maddede incelenen  $2^N R$  DAC, hesaplama kolaylığı barındıran bir DAC yapısına sahipti. Ancak çok farklı değerlerde dirençlere sahip olması gerçekleştirme zorluğu taşımaktadır. Bu yüzden yalnız R & 2R dirençleri gerektiren R & 2R merdiven tipli DAC, gerçekleştirme kolaylığı sağladığı için pratikte daha çok tercih edilmektedir.

**Örnek-2:** Şekil-3'te verilen 3-bitlik, R & 2R merdiven tipli DAC devresinin çıkış gerilimini giriş gerilimleri cinsinden ifade ediniz.

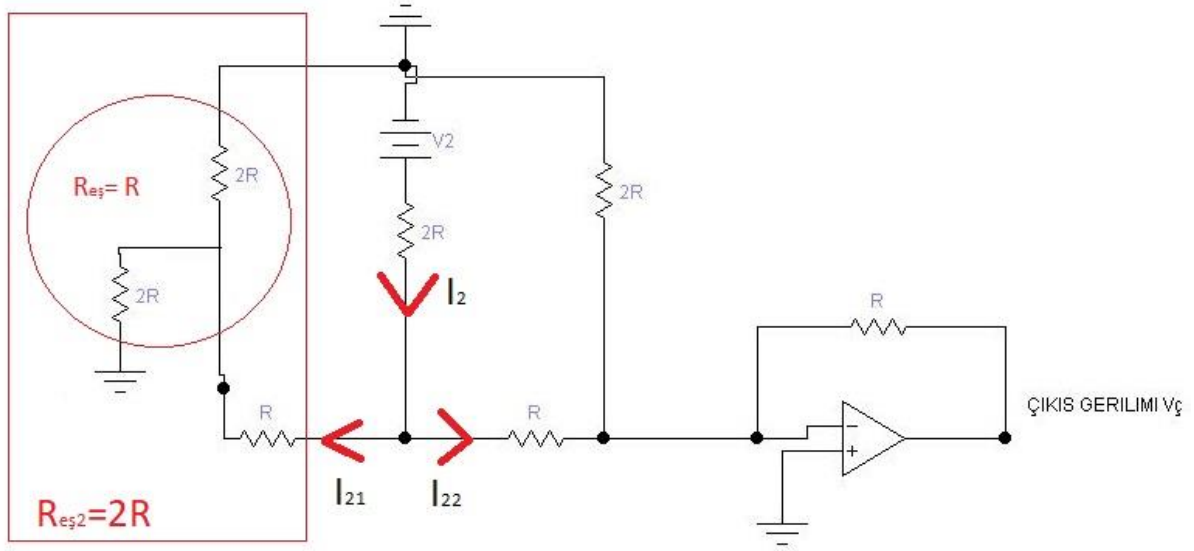


Şekil-3: 3 bitlik, OPAMPLI, R & 2R Merdiven yapısındaki DAC devresi

**Çözüm:** Süperpozisyon ilkesinden yararlanmak için her bir kaynak ayrı ayrı incelenir.

Öncelikle  $V_3$  kaynağını ele alıp diğer kaynakları toprak seviyesine çekelim.  $V_3$  kaynağının bulunduğu koldaki akım ilgili kolu tamamladıktan sonra sanal toprağa eriştiğinden diğer kaynaklar yönüne ilerlemeyecektir. Dolayısıyla ilgili koldaki akım,  $I_3 = V_3/2R$  olarak bulunur.

Şimdi  $V_2$  kaynağını inceleyip diğer kaynakları toprak seviyesine çekelim. Bu durumda inceleyeceğimiz devre Şekil-4 de gösterilen duruma bürünür.



Şekil-4: Süperpozisyon ilkesi uygulandığında, yalnız  $V_2$  kaynağı devrede iken oluşan eşdeğer devre

Burada  $I_{21}$  akımının geçtiği eşdeğer direnç  $2R$  ile  $I_{22}$  akımının geçtiği  $R$  direnci paralel durumdadır. Burada eşdeğer direnç  $2R/3$  olarak bulunur.  $V_2$  kaynağının bulunduğu koldaki  $2R$  lik direnç de bu eşdeğer dirence seri olduğundan toplam eşdeğer direnç  $R_{eş-toplam}=2R/3+2R=8R/3$  olarak bulunur.  $I_2$  akımı ise,

$$I_2 = V_2 / (8R/3) = V_2 \cdot 3 / (8R) \text{ olarak hesaplanır.}$$

$$I_{22} \text{ akımı da bu durumda } I_{22} = I_2 \cdot (2/3) = V_2 \cdot (3/8R) \cdot (2/3) = V_2 / (4R) \text{ olarak hesaplanır.}$$

Benzer şekilde  $V_1$  kaynağı da ele alınırsa  $I_{12}$  akımı

$$I_{12} = V_1 / (8R) \text{ olarak hesaplanır.}$$

Süperpozisyon ilkesi gereği her kaynağın oluşturduğu akımlar toplanırsa;

$$I_{top} = V_1 / (2R) + V_2 / (4R) + V_3 / (8R) \text{ olarak hesaplanır.}$$

OPAMP'ın iç direnci sonsuz büyük kabul edildiğinden çıkış gerilimi  $V_{çıkış}$

$$V_{çıkış} = - (I_{top} \cdot R) = - (V_1/2 + V_2/4 + V_3/8) \text{ olarak hesaplanır.}$$

## 7. DENEYİN YAPILIŞI

- 1- Şekil-2 de verilen devreyi Breadbord üzerinde kurunuz. ( $R=10 \text{ kOhm}$  alınmalıdır.)
- 2- SW0-SW3 anahtarlarını kullanarak Tablo-1'deki girişler için devrenin ürettiği analog değerleri multimetre ile ölçüp kaydediniz. (Lojik-1 5V, Lojik-0 0V alınacaktır.)
- 3- Tablo-1 de verilen giriş değerlerine karşılık çıkış değerlerini hesaplayınız. Ölçüm ve hesaplama sonucu bulduğunuz değerleri karşılaştırınız.
- 4- Şekil-3 de verilen devreyi 4 bit için kurunuz. SW0-SW3 anahtarlarını kullanarak Tablo-2'deki girişler için devrenin ürettiği analog değerleri multimetre ile ölçüp kaydediniz. ( $R=1 \text{ kOhm}$  alınmalıdır.)
- 5- Tablo-1 ve Tablo-2 de elde ettiğiniz sonuçları karşılaştırınız.

Girişler					Ölçülen Çıkış	Hesaplanan Çıkış
Desimal	A	B	C	D	Vout	Vout
0	0	0	0	0		
1	0	0	0	1		
2	0	0	1	0		
3	0	0	1	1		
4	0	1	0	0		
5	0	1	0	1		
6	0	1	1	0		
7	0	1	1	1		
8	1	0	0	0		
9	1	0	0	1		
10	1	0	1	0		
11	1	0	1	1		
12	1	1	0	0		
13	1	1	0	1		
14	1	1	1	0		
15	1	1	1	1		

Tablo-1: Lojik Girişlere karşılık ölçülen çıkış gerilimleri (R/2<sup>n</sup>R DAC)

Girişler					Ölçülen Çıkış	Hesaplanan Çıkış
Desimal	A	B	C	D	Vout	Vout
0	0	0	0	0		
1	0	0	0	1		
2	0	0	1	0		
3	0	0	1	1		
4	0	1	0	0		
5	0	1	0	1		
6	0	1	1	0		
7	0	1	1	1		
8	1	0	0	0		
9	1	0	0	1		
10	1	0	1	0		
11	1	0	1	1		
12	1	1	0	0		
13	1	1	0	1		
14	1	1	1	0		
15	1	1	1	1		

Tablo-2: Lojik Girişlere karşılık ölçülen çıkış gerilimleri (R & 2R DAC)

### DAC DENEYİ-ÖDEV

- 1- Yukarıda verilen tabloya uygun şekilde sırasıyla giriş işaretlerinin değiştiği durumda, desimal-7 değerinden desimal-8 değerine geçişte ne gibi bir olumsuz durum gözlemlenir. Araştırınız. Bu sorunun çözülmesi için neler yapılması gerektiğini inceleyiniz.
- 2- Şekil-2 de verilen devreye Tablo-1 de verilen giriş değerlerinin 2 MHz frekansında uygulandığı durumda gerilim seviyesindeki nasıl bir değişim olurdu?
- 3- Şekil-2 de verilen devrenin yüksek frekansa sahip girişler uygulandığında da düzgün çıkış vermesi için R değerleri nasıl seçilmelidir? Araştırınız.
- 4- Şekil-2 de verilen DAC Devresi 20 bitlik bir DAC Devresi için pratik midir?
- 5- DAC Devrelerinin günlük yaşamdaki uygulama alanlarına örnek veriniz.

Ödev, grupça yapılacaktır. Ödev teslimi sırasında tüm grup üyelerine sorular sorulacaktır. Bu bakımdan ödev teslimine tüm grup üyeleri katılmalıdır. Ödev teslim takvimi dersin ağ sayfasından duyurulacaktır.