

DENEY 5

RC DEVRELERİ KONDANSATÖRÜN YÜKLENMESİ VE BOŞALMASI

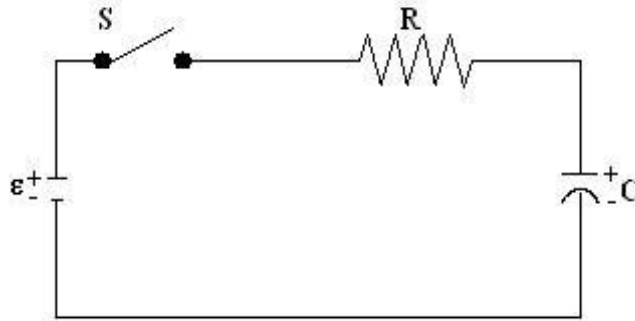
Amaç:

Deneyin amacı yüklenmekte/boşalmakta olan bir kondansatörün ne kadar hızlı (veya ne kadar yavaş) dolmasının/boşalmasının hangi fiziksel büyüklüklere bağlı olduğunu araştırıp, öğrencilerin kondansatörün “denge yükü”, yükleme ve boşalma devrelerinin zaman sabiti kavramlarını daha iyi anlamalarını sağlamaktır.

Bu bilgilere belli zaman aralıklarında kondansatörün yüklenme ve boşalma devrelerinden geçen akımları ölçüp, akımın zamana göre nasıl değiştiğinin analiz edilmesi yoluyla ulaşılabacaktır.

Genel Bilgiler:

Şekil 5-1’de R direnci, C kondansatörü, devreyi besleyen ϵ güç kaynağı ve S anahtarından oluşan bir RC devresi görülmektedir.



Şekil 5-1. RC devresi

Başlangıçta S anahtarı açık iken devreden akım geçmez ve kondansatör boştur. Kondansatörün $t=0$ anında boş olması (başlangıçta kondansatörün her bir levhası üzerindeki yük sıfırdır) koşulu matematiksel olarak;

$$q(0) = 0 \quad (5.1)$$

şeklinde ifade edilir. $t=0$ anında S anahtarı kapanırsa, devre tamamlanmış olur ve o anda bir I akımı açığa çıkar. Bu akım C kondansatörünü yüklemeye başlar. Yükleme esnasında elektrik yükleri kondansatörün bir levhasından ikinci levhasına taşınırlar. Bir levhadan diğerine yük transferi kondansatör tamamen yüklenene kadar direnç, anahtar ve güç kaynağı üzerinden sağlanır.

Kondansatörün levhaları üzerindeki yük maksimuma ulaştığında devredeki akım sıfır olur. Devredeki akımın sıfır olduğu duruma RC devresinin denge durumu denir. Böylece yükleme sürecinin sonunda levhalardan biri $-q_0$ diğeri ise $+q_0$ yüküne sahip olur.

Levhalar arasındaki potansiyel fark V_C , hemen güç kaynağının çıkışındaki ε açık devre gerilimine eşit olmaz. Kirchhoff'un gerilim yasasına göre herhangi bir t anında;

$$V_C(t) + V_R(t) = \varepsilon \quad (5.2)$$

eşitliği sağlanır. Burada $V_C(t)$ ve $V_R(t)$ herhangi bir t anında, sırasıyla kondansatörün ve direncin uçları arasındaki potansiyel farktır. Sığanın tanımından yararlanarak;

$$V_C(t) = \frac{q(t)}{C} \quad (5.3)$$

yazılabilir. Ohm kanununa göre ise;

$$V_R(t) = I(t)R \quad (5.4)$$

eşitliği vardır. Böylece;

$$\frac{q(t)}{C} + I(t)R = \varepsilon \quad (5.5)$$

olur. Başlangıç (t=0) koşulu ((5.1) de belirtilen) bu denklemde kullanılırsa, akımın t=0 anındaki I_0 değeri;

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R} \quad (5.6)$$

olarak bulunur. t=0 anında potansiyel düşmesi tümüyle direncin uçları arasında oluşur. Belli bir süre sonra kondansatör maksimum q_0 değerine kadar yüklendiğinde yük akışı durur, yani devreden geçen akım sıfır olur (I=0). Bu koşul (5.5) denkleminde kullanılarak, kondansatörün herhangi bir levhası üzerindeki maksimum yük;

$$q_0 = C\varepsilon \quad (5.7)$$

olarak elde edilir. (5.5) denkleminin zamana göre türevi alınır ve

$$I(t) = \frac{dq}{dt} \quad (5.8)$$

olduğu bilgisinden yararlanarak herhangi bir t anında devreden geçen I(t) akımının;

$$\frac{dI(t)}{dt} + \frac{I(t)}{RC} = 0 \quad (5.9)$$

diferansiyel denklemini sağladığı görülür. Buradan;

$$\frac{dI(t)}{I(t)} = -\frac{dt}{RC} \quad (5.10)$$

denklemini elde edilir. R ve C sabit olduklarından $t=0$ anındaki $I=I_0$ başlangıç koşulu kullanılarak (5.10) denkleminin integrali;

$$\int_{I_0}^I \frac{dI(t)}{I(t)} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt$$

$$\Rightarrow I(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC} \quad \text{“Kondansatörün Yüklenmesi”} \quad (5.11)$$

alınır. Görüldüğü gibi kondansatörün yüklenmesi sırasında devreden geçen akım zamanla üstel olarak azalmaktadır.

Kondansatörün t anındaki yükü $q(t)$, (5.5) ve (5.8) den;

$$\frac{dq}{dt} + \frac{q}{RC} = \frac{\varepsilon}{R} \quad (5.12)$$

denklemini sağlar. Bu denklemin $q(0)=0$ koşulunu sağlayan çözümü,

$$q(t) = C\varepsilon(1 - e^{-t/RC}) \quad (5.13)$$

şeklinde dir.

(5.11) ve (5.13) ifadelerinde görülen

$$\tau = RC \quad (5.14)$$

çarpımı zaman boyutunda olup (üslü ifadede üs boyutsuz olmalıdır), RC devresinin *zaman sabiti* olarak bilinir. Bu τ sabiti, devredeki akımın ve kondansatörün yükünün değişmesi sürecinin ne kadar hızlı ya da yavaş gerçekleştiğini tanımlar. (5.11) den de görüldüğü gibi $t = \tau$ anında kondansatör devresinden geçen akım, başlangıç $I_0 = \frac{\varepsilon}{R}$ değerinin $\frac{1}{e}$ katına düşüyor. Yani $t = \tau$ anında kondansatörü yükleyen akım;

$$I(\tau_c) = I_0 e^{-1} \approx 0.37 I_0 \quad (5.15)$$

başlangıç I_0 değerinin %37 sine düşer.

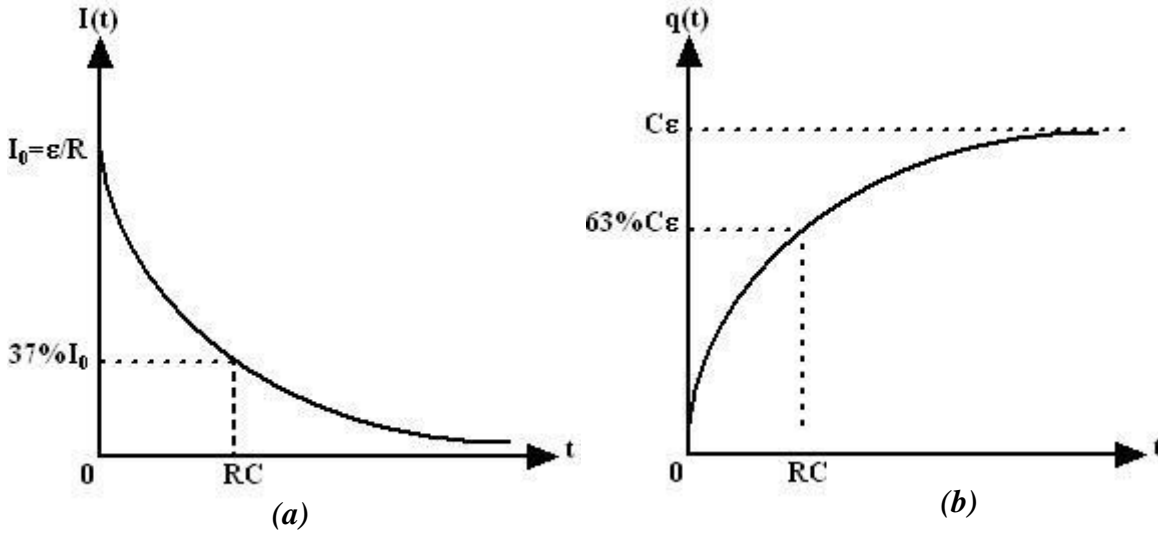
Benzer şekilde başlangıçta boş olan kondansatör, yüklenmeye başladıktan $t = \tau$ saniye sonra her bir levhası üzerinde;

$$q(\tau_c) = C\varepsilon(1 - e^{-1}) \approx 0.63 C\varepsilon \quad (5.16)$$

kadar bir yük depolar. Bu yük kondansatörün denge durumunda sahip olduğu yükün %63 ü kadardır.

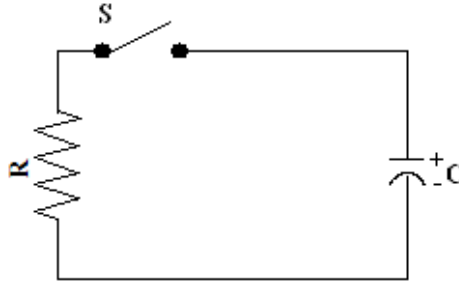
Şayet Şekil 5-1 deki R direnci sıfır olsaydı, S anahtarı kapanır kapanmaz kondansatördeki q yükü hemen $C\varepsilon$ değerini alırdı. R direnci kondansatörün aniden yüklenmesini engellemektedir.

Kondansatörün yüklenmesi esnasında devreden geçen akım ve kondansatörün levhası üzerindeki yükün zamana göre değişimi, Şekil 5-2 (a) ve (b) de görülmektedir.



Şekil 5-2. “Yüklenme süreci”nde RC devresindeki **a)** akımın zamanla değişimi, **b)** yükün zamanla değişimi.

Şekil 5-3’te R direnci, C kondansatörü ve S anahtarından oluşan bir RC boşalma devresi görülmektedir.



Şekil 5-3. RC Boşalma devresi

Anahtar açıkken q_0 yüküne sahip kondansatörün uçları arasında $\frac{q_0}{C}$ kadarlık bir potansiyel fark vardır ve $I=0$ olduğundan direncin uçlarındaki potansiyel fark sıfırdır. $t=0$ anında anahtar kapatılırsa kondansatör direnç üzerinden boşalmaya başlar. Herhangi bir anda devredeki akım $I(t)$ ve kondansatör üzerindeki yük $q(t)$ dir. Kirchhoff’un ikinci kuralından direncin ve kondansatörün uçlarındaki potansiyel farkların toplamı;

$$V_C(t) + V_R(t) = 0 \quad (5.17)$$

olmalıdır. Kondansatörün yüklenmesi durumunda izlenen benzer işlem adımları yapılırsa kondansatörün yükü

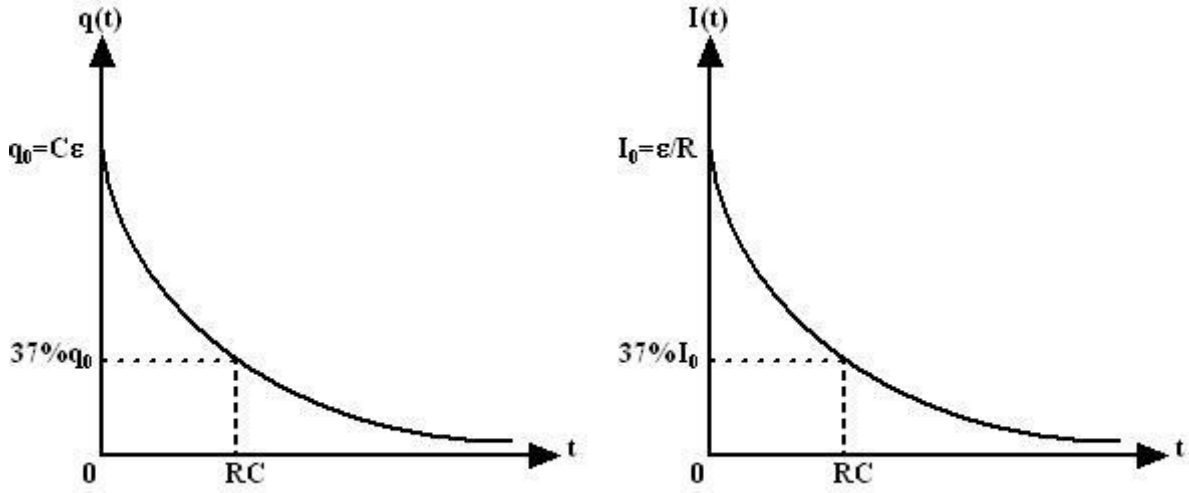
$$q(t) = q_0 e^{-t/RC} \quad \text{“Kondansatörün Boşalması”} \quad (5.18)$$

şeklinde elde edilir. Yükün zamana göre türevi ise

$$I(t) = \frac{dq}{dt} = -\frac{q_0}{RC} e^{-t/RC} = -I_0 e^{-t/RC} \quad (5.19)$$

zamanın fonksiyonu olarak akımı verir. Burada $I_0 = \frac{q_0}{RC}$ akımın $t=0$ anındaki değeridir ve eksi işareti $I(t)$ 'nin yönünün, kondansatörün yüklenmesi sürecinde (5.11) ifadesi ile verilen yöne ters olduğunu gösterir. Çoğu zaman bu eksi işareti açık olarak yazılmaz.

Kondansatörün boşalması sırasında devreden geçen akımın ve kondansatörün levhaları üzerindeki yükün zamana göre değişimi grafiksel olarak Şekil 5-4 (a) ve (b) de gösterilmiştir.



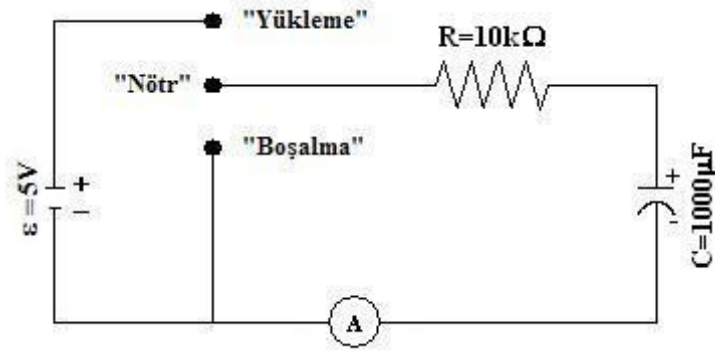
Şekil 5-4. Kondansatörün boşalması sırasındaki *a*) yükün, *b*) akımın zamana bağlı olarak değişimi.

Kondansatör üzerindeki yük ve akımın $\tau_c = RC$ zaman sabiti ile belirtilen bir hızla üstel olarak azaldığını görüyoruz.

Ek Bilgi: Eşdeğer Sığa'nın Hesaplanması

Paralel bağlı iki kondansatör için eşdeğer sığa: $C_{EŞ} = C_1 + C_2$

Seri bağlı iki kondansatör için eşdeğer sığa: $\frac{1}{C_{EŞ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$



Şekil 5-5. RC devresi

- 1) Şekil 5-5 de gösterilen devreyi kurunuz. Eğer kullandığınız kondansatör kutuplu bir kondansatör ise, pozitif ucun güç kaynağının pozitif ucuna ve negatif ucun ise güç kaynağının negatif ucuna bağlanması gerektiğine dikkat ediniz. S anahtarını “nötr” durumda tutarak güç kaynağının çıkışındaki gerilimi 5 Volt olacak şekilde ayarlayınız.
- 2) Kondansatörün yükünün sıfır olduğundan emin olduktan sonra S anahtarını “Yükleme” konumuna getiriniz. Aynı anda kronometreyi başlatarak her 2 saniyede bir ampermetreden okuduğunuz akımı ve aşağıdaki çizelgeye yazınız.

Çizelge 5-1. Kondansatörün yüklenmesi sırasında ölçülen akım verileri

t(s)	I	t(s)	I	t(s)	I	t(s)	I
0		42		70		102	
2		44		72		104	
4		46		78		110	
6		48		80		112	
8		50		82		114	
10		52		84		116	
12		54		86		118	
14		56		88		120	
16		58		90		122	
18		60		92		124	
20		62		94		126	
22		50		82		114	
24		52		84		116	
26		54		86		118	
28		56		88		120	
30		58		90		122	
32		60		92		124	
34		62		94		126	
36		64		96		128	
38		66		98		130	
40		68		100		132	

- 3) Yükleme devresinin verilerini aldıktan ve devreden akım geçmeyene kadar kondansatör yüklendikten sonra, S anahtarını “Boşalma” konumuna getiriniz. Aynı anda kronometreyi başlatarak her 2 saniyede bir ampermetreden okuduğunuz akım verilerini Çizelge 5-2 ye yazınız.

Çizelge 5-2. Kondansatörün boşalması sırasında ölçülen akım verileri

t(s)	I	t(s)	I	t(s)	I	t(s)	I
0		42		70		102	
2		44		72		104	
4		46		78		110	
6		48		80		112	
8		50		82		114	
10		52		84		116	
12		54		86		118	
14		56		88		120	
16		58		90		122	
18		60		92		124	
20		62		94		126	
22		50		82		114	
24		52		84		116	
26		54		86		118	
28		56		88		120	
30		58		90		122	
32		60		92		124	
34		62		94		126	
36		64		96		128	
38		66		98		130	
40		68		100		132	

- 4) Çizelge 5-1 ve 5-2 yi kullanarak “Yükleme” ve “Boşalma” akımının zamana göre grafiğini çiziniz.
- 5) Elde ettiğiniz grafiklerden yararlanarak akımın başlangıç değerinin %37 sine kadar azalması için geçen süreyi (RC devresinin zaman sabiti τ) grafiklerden yararlanarak belirleyiniz ve grafik üzerinde gösteriniz. $\tau = RC$ değerini kuramsal olarak hesaplayınız ve grafikleri kullanarak bulduğunuz değerlerle karşılaştırınız.

$\tau = \dots\dots\dots$ (“Yükleme” verilerinden elde edilen deneysel sonuç)

$\tau = \dots\dots\dots$ (“Boşalma” verilerinden elde edilen deneysel sonuç)

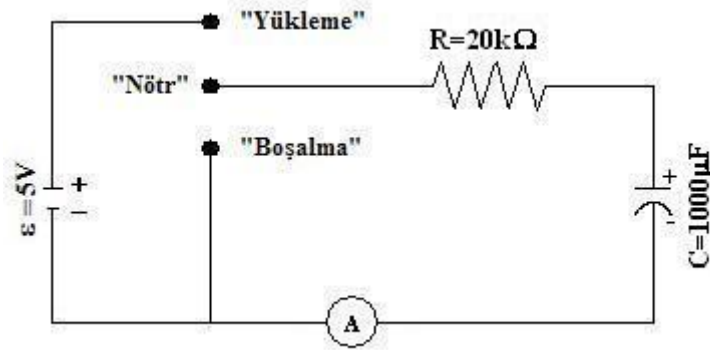
$\tau = \dots\dots\dots$ (Kuramsal sonuç)

- 6) Kondansatörün tümüyle dolu olduğu durumdaki (denge durumu) toplam yükünü bulunuz. Bunun için kuramsal $q(t) = C\varepsilon(1 - e^{-t/RC})$ ifadesinden yararlanınız. Hesaplamalarda t için "Yükleme" çizelgesindeki en son zamanı kullanınız. Sonucu $t \rightarrow \infty$ da kondansatör üzerinde depolanan yük $q(t \rightarrow \infty) = C\varepsilon$ ile karşılaştırınız.

$$q(t) = \dots\dots\dots$$

$$q(t \rightarrow \infty) = \dots\dots\dots$$

- 7) 1-6 adımlarını Şekil 5-6 ve 5-7 deki devreler için tekrarlayınız ve verileri not ediniz.



Şekil 5-6. Farklı dirençli RC devresi

Çizelge 5-3. Kondansatörün yüklenmesi sırasında ölçülen akım verileri

t(s)	I	t(s)	I	t(s)	I	t(s)	I
0		42		70		102	
2		44		72		104	
4		46		78		110	
6		48		80		112	
8		50		82		114	
10		52		84		116	
12		54		86		118	
14		56		88		120	
16		58		90		122	
18		60		92		124	
20		62		94		126	
22		50		82		114	
24		52		84		116	
26		54		86		118	
28		56		88		120	
30		58		90		122	
32		60		92		124	
34		62		94		126	
36		64		96		128	
38		66		98		130	
40		68		100		132	

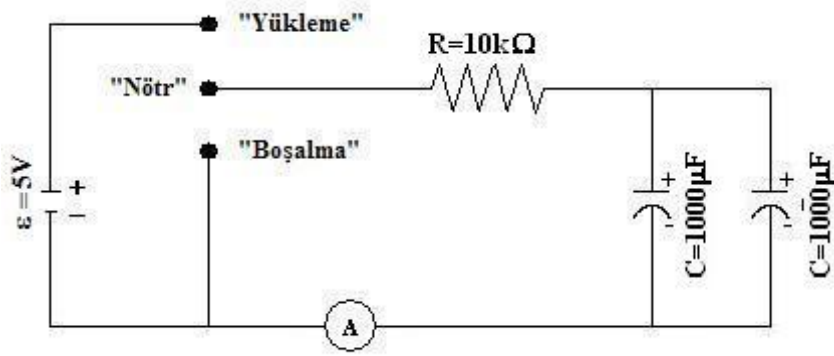
8) Yükleme verilerinden yararlanarak aşağıdaki hesaplamaları yapınız ve sonuçları not ediniz.

$\tau = \dots\dots\dots$ ("Yükleme" verilerinden elde edilen deneysel sonuç)

$\tau = \dots\dots\dots$ (Kuramsal sonuç)

$q(t) = \dots\dots\dots$

$q(t \rightarrow \infty) = \dots\dots\dots$



Şekil 5-7. Paralel bağlı iki kondansatörlü RC devresi

Çizelge 5-4. Kondansatörün boşalması sırasında ölçülen akım verileri

t(s)	I	t(s)	I	t(s)	I	t(s)	I
0		42		70		102	
2		44		72		104	
4		46		78		110	
6		48		80		112	
8		50		82		114	
10		52		84		116	
12		54		86		118	
14		56		88		120	
16		58		90		122	
18		60		92		124	
20		62		94		126	
22		50		82		114	
24		52		84		116	
26		54		86		118	
28		56		88		120	
30		58		90		122	
32		60		92		124	
34		62		94		126	
36		64		96		128	
38		66		98		130	
40		68		100		132	

$\tau = \dots\dots\dots$ ("Boşalma" verilerinden elde edilen deneysel sonuç)

$\tau = \dots\dots\dots$ (Kuramsal sonuç)

