

# EEM 204 - Analog Elektronik 1

## Deney 2

### Diyot Karakteristiği

#### Amaç

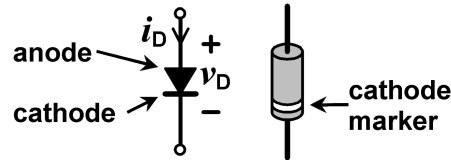
1. Doğrusal olmayan elemanların analiz yöntemlerini tanıma.
2. Diyotun akım-gerilim karakteristiğini gözlemleme.

#### Ön-bilgi

Bir önceki deneyde açıklanan devre analiz yöntemleri, tüm devre elemanlarının mükemmel doğrusal cihazlar gibi çalıştığını varsayar. Yarı iletken cihazlar (diyotlar ve transistörler gibi...) elektronik devrelerin temel elemanlarından ve hepsi doğrusal olmayan davranış gösterir. Aşağıda açıklanan modelleme teknikleri, doğrusal olmayan devre elemanlarına doğrusal analiz yöntemlerinin uygulamasını gösterir.

#### Diyotlar

Diyotlar akımı sadece bir yönde ileten yarı iletken cihazlardır. Bir diyotun şematik sembolü ve terminallerinin adlandırılması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Diyot gerilimi,  $V_D$ , pozitif olduğunda diyot **düz besleme/polarlama (forward-biased)** (veya AÇIK) durumundadır ve **anottan katoda** akım iletir. Eğer  $V_D$  negatifse, diyot **ters besleme/polarlama (reverse-biased)** (veya KAPALI) durumuna geçer ve diyot (pratikte) sıfır olarak kabul edilebilecek kadar küçük bir akım iletir. Bu davranışın bir sonucu olarak, diyotlar devrelere yerleştirildiğinde terminallerin polaritesi önemlidir. Katot terminali, gerçek diyotlar üzerinde bir şerit (cathode marker) ile tanımlanır.



Diyot düz besleme (forward bias) durumundayken, diyot akımı,  $i_D$ , ile diyot voltajı,  $V_D$ , arasında eksponensial bir ilişki vardır:

$$i_D = I_S (e^{qv_D/nkT} - 1)$$

where  $I_S$  = saturation current depending on diode current rating (typically  $1 \times 10^{-12}$  A)

$q$  = electron charge ( $1.6 \times 10^{-19}$  coul)

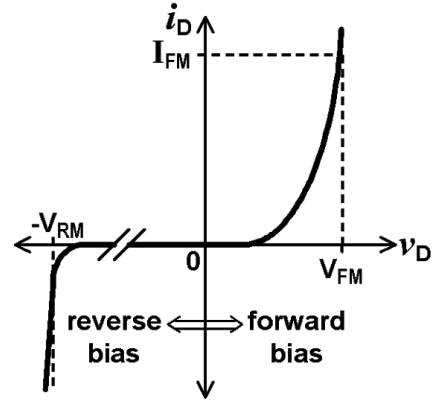
$n$  = emission coefficient (typically  $1 < n < 2$ )

$k$  = Boltzmann's constant ( $1.38 \times 10^{-23}$ )

$T$  = junction temperature in Kelvin

This expression is simplified by replacing  $V_T = kT/q$ :

$$i_D = I_S (e^{v_D/nV_T} - 1)$$



$V_T$  termal gerilimini temsil eder ve değeri  $25^\circ\text{C}$  de  $0.026$  V (26 mV) dur.

Diyotun üzerinden geçebilecek maksimum ileri akım (**maximum forward current  $I_{FM}$** ) değeri teknik dökümanlara (datasheet) yazılmıştır. İleri diyot akımı (forward diode current), diyotun üzerinden geçebilecek maksimum akımdan fazla olduğu durumda ( $i_D > I_{FM}$ ) diyotta kalıcı hasarlar oluşur. Standart silikon diyotların ileri akım (forward current) değerleri,  $v_D$  nin  $0.3$  V'u geçtiğinde önemli hale gelir ve  $v_D = V_{FM}$  (genellikle  $1.0$  V ve  $1.2$  V aralığındadır) durumunda maksimum anma akımına (maximum rated current) ulaşır. Diyot ters polarlama (reverse biased) durumundayken,  $v_D$  başka bir kritik diyot spesifikasyonu olan  **$-V_{RM}$  maksimum ters voltajına** (veya **kırılma voltajı**) (**maximum reverse voltage** (veya **breakdown voltage**)) ulaşınca kadar  $i_D$  sıfır olarak kalır. Büyük ters akım, maksimum ters voltaj değeri aşıldığında akmaya başlar. Maksimum ileri akım değeri  **$I_{FM} = 10$  mA- $30$  A** ve maksimum ters voltaj değeri  **$V_{RM} = 10$  V- $1000$  V** olacak şekilde pek çok diyot çeşidi bulunur.

## Doğrusal Olmayan Elemanların Analiz Metodları

Doğrusal olmayan elektronik elemanlar için analiz yöntemleri üç grupta sınıflandırılabilir:

**Büyük sinyal analizi:** Her bir modelin belirli bir sinyal aralığı için bileşen-eleman (component) davranışının doğrusal bir yaklaşımı olduğunu belirten, birden fazla doğrusal model kullanılarak gerçekleştirilen analiz yöntemidir.

**Küçük sinyal analizi:** Analiz, bir çalışma noktasının çevresindeki küçük bir sinyal aralığına odaklanır. İlk olarak, doğrusal model parametreleri, seçilen çalışma noktasına göre belirlenir ve daha sonra bu parametreler kullanılarak analiz yapılır.

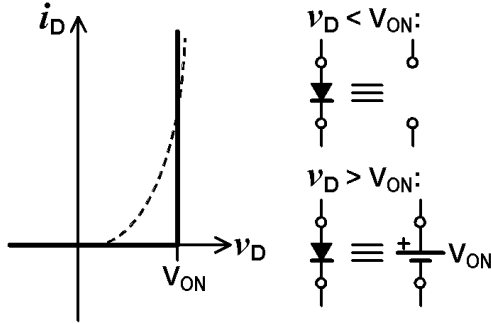
**Simülasyon:** Simülasyon araçları, bileşen-eleman (component) modellerinde rastgele matematiksel fonksiyonlara izin veren sayısal entegrasyon yöntemlerinden yararlanır. Bu fonksiyonlar ayrıca bileşenin (component) dinamik AC yanıtını/tepkisini (AC response) ve kararlı/sürekli durumlu (steady state) DC yanıtını/tepkisini simüle etmek için model parametreleri içerirler.

## Büyük Sinyal/İşaret Diyot Modeli

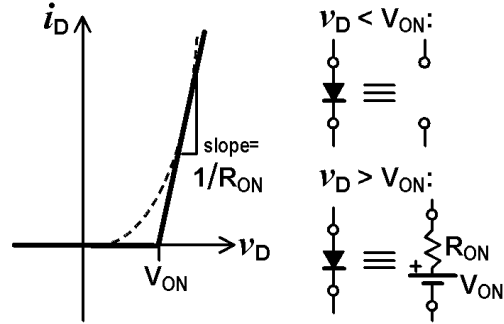
Diyot davranışını temsil etmek için kullanabileceğimiz en basit yaklaşım aşağıdaki şeklin sol tarafında (1. yaklaşımda [first approximation]) verilmiştir. Doğrusal modellemeler diyotun durumuna göre seçilir. Eğer diyot pasif/kapalı (OFF) (matematiksel olarak  $v_D < V_{ON}$ ) konumundaysa, diyot açık devre gibi davranır. Eğer diyot açık (ON) (matematiksel olarak  $v_D > V_{ON}$ ) durumundaysa; diyot, üzerindeki voltaj düşüşünü temsil etmek için sabit bir gerilim (voltaj) kaynağı gibi düşünülür. Diyotların ileri besleme voltajı (forward bias voltage  $V_{ON}$ ) yaygın kullanılan silikon diyotlar için **0.5 V - 0.7 V** aralığındadır ve **microamper (uA)** düzeyinde akım üretir.

İkinci yaklaşım, diyot açık (ON) durumundayken, modele seri bağlanmış  $R_{ON}$  iç direnci gösterir. Bu yaklaşım, diyotun üzerinden geçen akım üzerinden geçebilecek maksimum akımdan düşük olduğu durumda, daha iyi bir modelleme bilgisi sağlar.

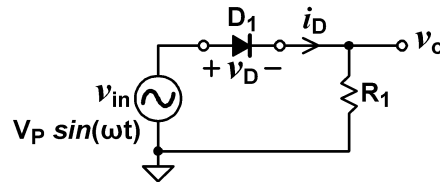
**First approximation:** Diode is replaced by an open circuit when it is OFF, and it is replaced by a DC source to represent the voltage drop on the diode when it is ON.



**Second approximation:** A series  $R_{ON}$  resistor is included in the model to obtain a better approximation of diode behavior when it is ON.

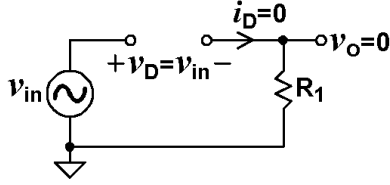


Büyük sinyal/işaret analizi örneği olarak aşağıdaki devreyi inceleyin.

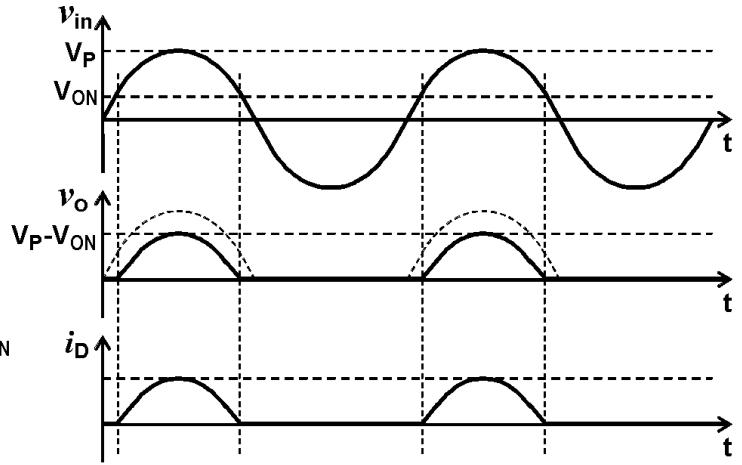
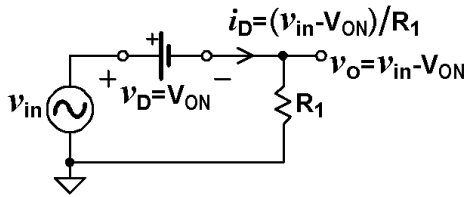


Aşağıdaki şekilde de gösterildiği gibi, büyük sinyal analizi, diyotun açık ve kapalı olduğu durumlar ele alınarak iki adımda gerçekleşir. Bu analizde diyot modelinin ilk yaklaşımı kullanılmıştır. Giriş voltajının,  $v_{in}$ , negatif olduğu durumda diyotun üzerinden geçen akım,  $i_D$ , sıfırdır ve  $i_D$  nin sıfır olması (beklenildiği üzere) çıkış voltajını,  $v_o$ , sıfır yapar. Giriş voltajı,  $v_{in}$ ,  $V_{ON}$  dan büyük olduğunda diyot aktif/açık konumuna geçer ve  $v_{in}$   $V_{ON}$  dan büyük olduğu sürece diyot üzerinde sabit bir voltaj düşüşü vardır. Çıkış voltajı  $v_o$  ve diyot akımı  $i_D$ , diyotun karşılık gelen modelle değiştirilerek hesaplanır.

Diode is **OFF** when  $v_{in} < V_{ON}$ :



Diode is **ON** when  $v_{in} > V_{ON}$ :



Yukarıda verilen devre bir yarım dalga doğrultucusudur (**half-wave rectifier**).

Çıkış voltajı,  $V_P \gg V_{ON}$  durumunda aşağıdaki gibi hesaplanabilecek ortalama veya eşdeğer bir DC değerine sahiptir:

$$V_{ODC} = V_P / \pi = 0.318 V_P$$

## Küçük Sinyal/İşaret Diyot Modeli

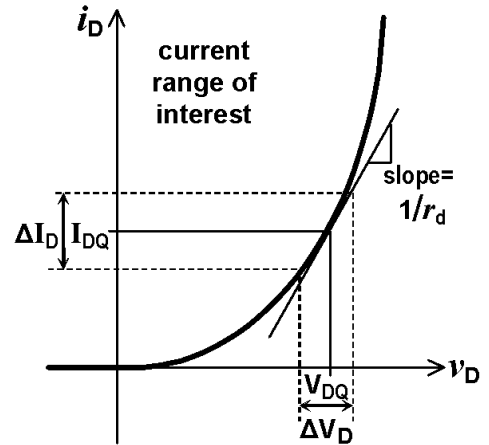
Analiz, belirli bir çalışma noktası çevresindeki küçük bir AC sinyal değişimi ile sınırlandırıldığında küçük sinyal modelleri tercih edilir. Aşağıdaki örnekte,  $\Delta I_D$  ve  $\Delta V_D$ ,  $I_{DQ}$  ve  $V_{DQ}$  ile işaretlenmiş çalışma noktası etrafındaki sinyal aralığını gösterir.

First the operation point of diode current  $I_{DQ}$  is calculated by using large signal analysis. Then the small current variations in  $\Delta I_D$  range are related to the voltage variations by using a linear model that is simply given by a resistance  $r_D$ . When  $\Delta V_D \ll V_{DQ}$ ,  $r_D$  is given by derivative of  $i_D$  as a function of  $v_D$ :

$$\frac{1}{r_D} = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_D} \right|_{v_D=V_{DQ}} = \frac{I_{DQ}}{nV_T}$$

If the emission coefficient is taken as  $n = 1$  then at **25°C** room temperature:

$$r_D = \frac{V_T}{I_{DQ}} = \frac{0.026V}{I_{DQ}}$$



## Simulasyon Diyot Modeli

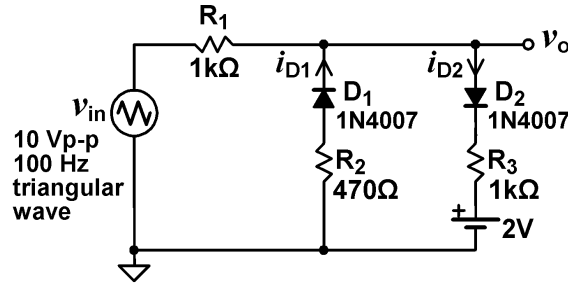
SPICE simülasyonunda kullanılan diyot modelleri, diyot akımının eksponansiyel (üstel) davranışını diyot voltajının bir fonksiyonu olarak uygular. Bu modeller aynı zamanda diyotun AC yanıtını belirten diğer parametreleri de içerir. Örneğin, SPICE simülasyonunda **1N4007** diyot modeli şu şekilde tanımlanır:

```
.model 1N4007 D(Is=7.028e-09 Rs=0.0348 N=1.808 Eg=1.05743 Xti=5 BV=1000
Ibv=5e-08 Cjo=1e-11 Vj=0.7 M=0.5 Fc=0.5 Tt=1e-07 Kf=0 Af=1)
```

Bu veriler doyma akımını (saturation current) ( $I_s=7.028e-09$ ), emisyon katsayısını (emission coefficient) ( $N=1.808$ ) ve kırılma gerilimini (breakdown voltage) ( $BV=1000$ ) belirtir. Diğer parametreler ise diyot davranışını ve tepkisini gerçek **1N4007** diyota mümkün olduğunca yakın simüle etmek için diyot akımının ve/veya voltajının bir fonksiyonu olarak tanımlanır.

## Ön Çalışma

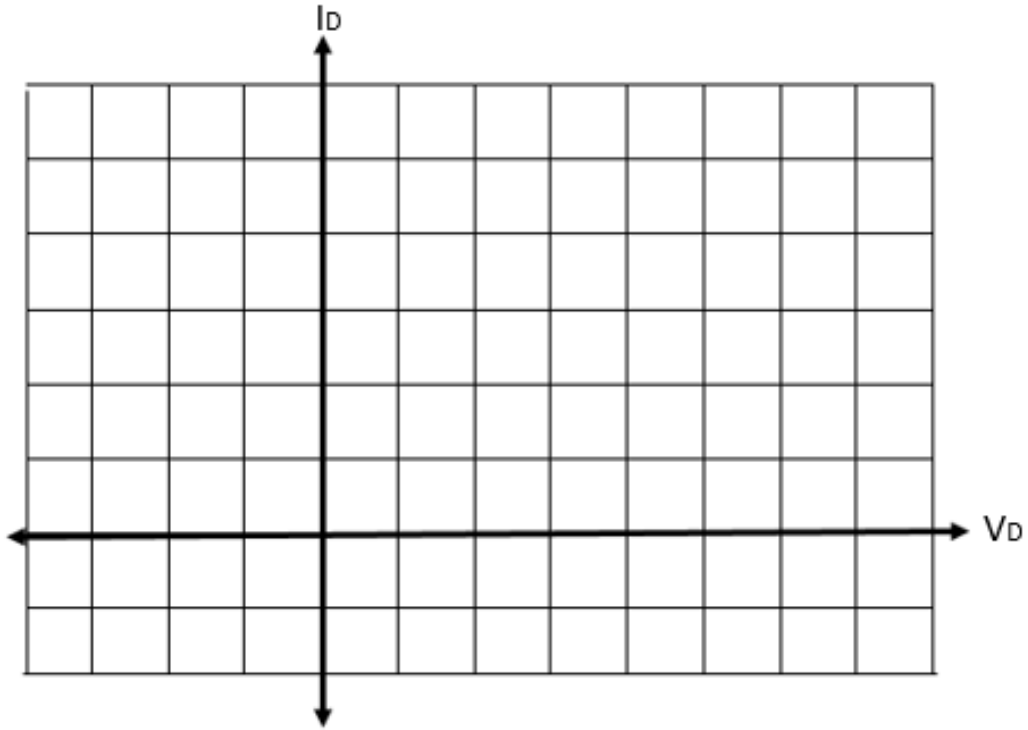
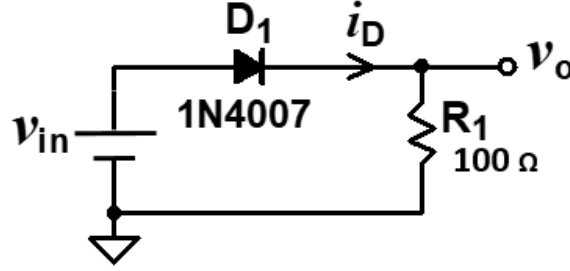
**1.a)**  $V_{ON} = 0.6 \text{ V}$  olan temel diyot modelini kullanarak aşağıda verilen devre için çıkış dalga biçimini (waveform) çizin. Giriş voltajını,  $v_{in}$ , frekansı **100 Hz**, tepeden tepeye gerilimi **10 V (10 V p-p)** olan üçgen dalga (triangular wave) biçiminde ayarlayın. Bu devrede **D1** in polaritesinin tersine çevrildiğine dikkat edin. Çıkış sinyalinin tepe voltajını ve 1 periyotluk giriş sinyali için her iki diyotun açık/kapalı sürelerini hesaplayın.



**1.b)** Devreyi LTspice da simüle edip hesaplarınızı kontrol edin. LTspice'daki voltaj kaynağının (voltage source) darbe fonksiyonunu (Pulse function) üçgen dalga üretecek şekilde ayarlayın. 100 Hz'lik üçgen dalga elde etmek için zaman parametrelerini şu şekilde  $T_{rise} = 5\text{m}$ ,  $T_{fall} = 5\text{m}$ ,  $T_{on} = 0$ , and  $T_{period} = 10\text{m}$  seçin.

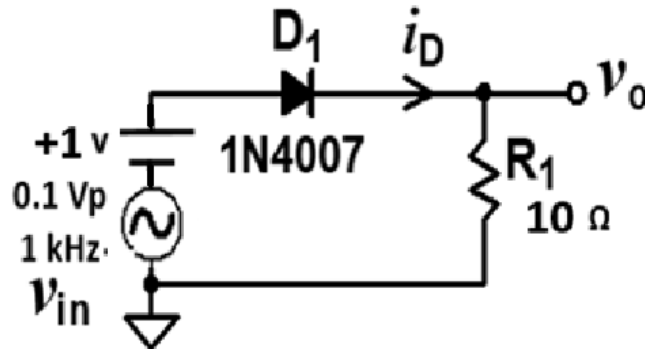
## Prosedür

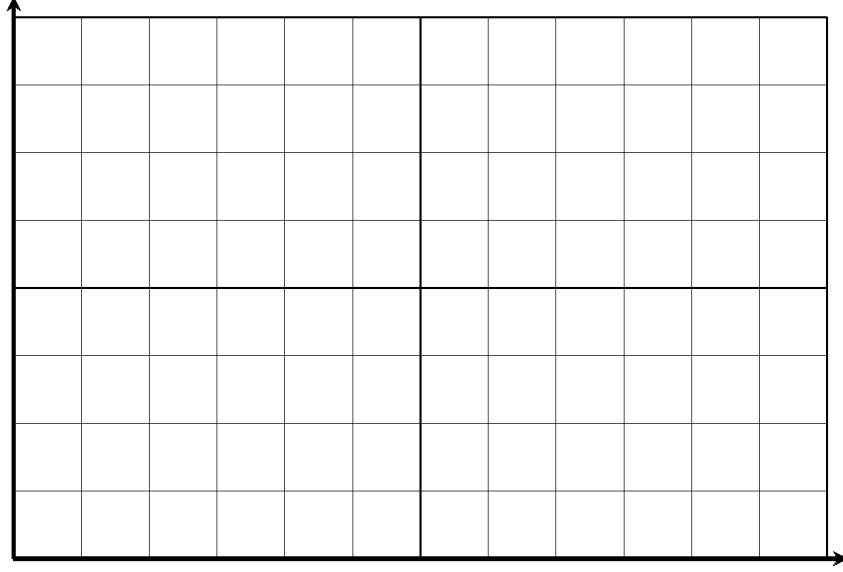
1. Aşağıda verilen devreyi kurun, giriş voltaj değerini  $-6\text{ V}$  a ayarlayın ve kademeli olarak arttırarak  $+6\text{ V}$  a kadar yükseltin. Diyodun gerilim-akım karakteristiğini çizin.



2. Aşağıda verilen devreyi kurun, sinyal jeneratörünü (signal generator) tepe voltajı  $0.1\text{ V}$  ( $0.1\text{ V}_p$ ), frekansı  $1\text{ kHz}$  olan sinüs dalgası elde edecek şekilde ayarlayın ve DC güç kaynağını devreye seri bağlayın.

2.1. AC çıkış gerilimini çizin.

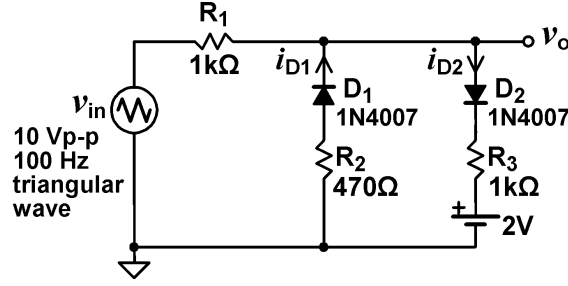




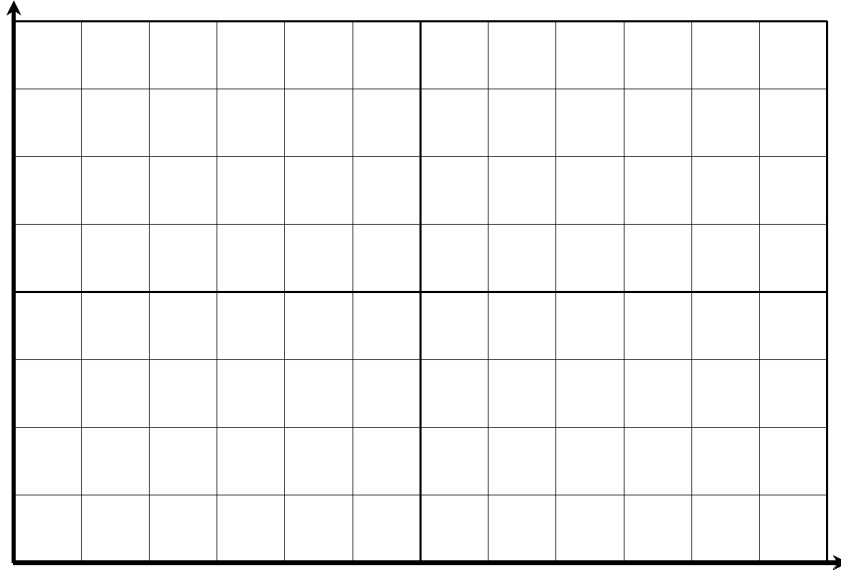
**2.2.** Diyodun ortalama AC direnç ( $R_{on}$ ) değerini bulun.

**2.3**  $R_{on}$  değerini yukarda elde ettiğiniz akım-gerilim (I-V) grafiğinden yararlanarak bulun. Sonucunuzu 2.2 de hesapladığınız değer ile karşılaştırın.

3. Aşağıda verilen devreyi kurun, sinyal jeneratörünü (signal generator) tepeden tepeye voltajı 10 V (10 V<sub>p</sub>), frekansı 100 Hz olan üçgen dalga elde edecek şekilde ayarlayın. DC kaynağını 2 V öteleme (offset) voltajı verecek şekilde kullanın.



3.1 Giriş,  $v_{in}$ , ve çıkış,  $v_o$ , voltajlarını osiloskopta gözlemleyin ve dalga formunu çizin. Çıkış voltajının tepe değerini ve diyotların açık/kapalı sürelerini grafiğimize ekleyin.



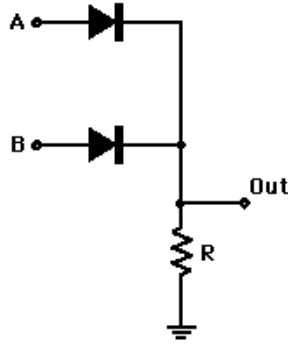
3.2 Ölüştüğünüz değerleri ön çalışmada hesapladığınız değerlerle karşılaştırın.

4. Aşağıda verilen devreyi kurun, A ve B girişleri için tabloda verilen giriş değerlerini ayarlayın, çıkış voltajını multimetre ile ölçün. Devrenin işleyişini belirleyin.

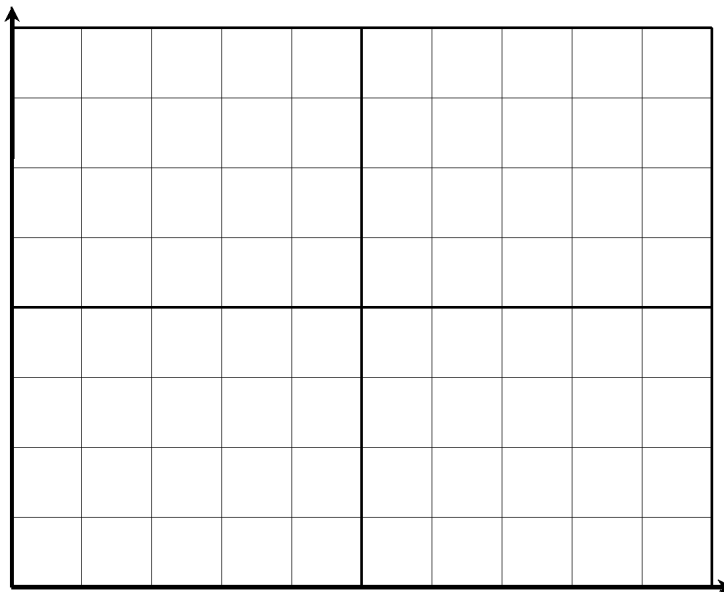
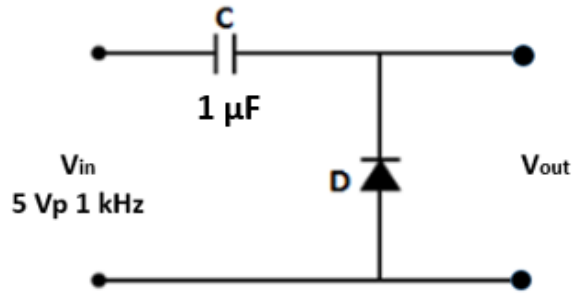
$V_A$	$V_B$	Out
-------	-------	-----



0 V	0 V	
0 V	5 V	
5 V	0 V	
5 V	5 V	



5. Aşağıda verilen devreyi kurun, sinyal jeneratörünü **1 kHz 5 Vp sinüs dalgası** verecek şekilde ayarlayın, hem giriş hem de çıkış voltajını çizin.



5.1. Devrenin işlevi nedir?