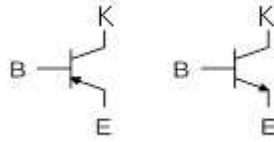


## Bölüm 1.3 Güç BJT'leri ve Güç MOSFET'leri

### GÜÇ BJT'LERİ (Bipolar Jonksiyon Transistör)

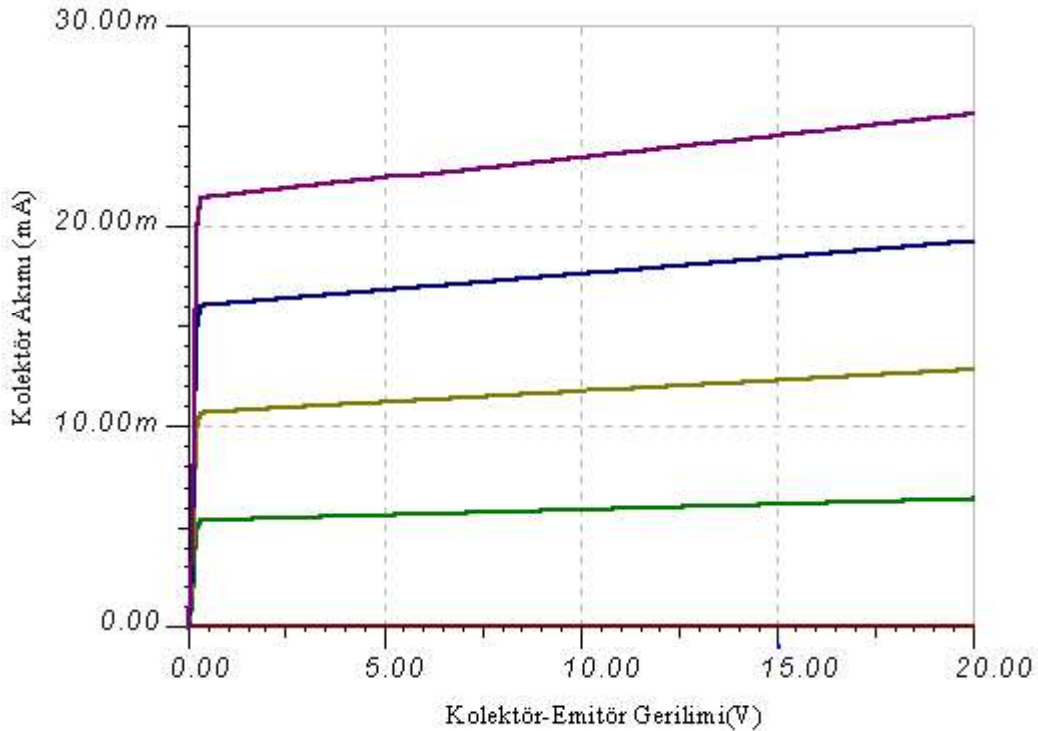
BJT'ler yapısal olarak diyoda benzeyen, iki tane p katkı katman arasına bir n katkı katman (pnp) konarak ya da iki tane n katkı katman arasına, p katkı katman (npn) konarak üretilmiş 2 tane pn jonksiyonuna sahip transistörlerdir. Elemanların sembolleri şekil 1.3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 1.3.1

BJT' nin üç terminali vardır. Bunlar beyz, emitör ve kolektör (base, emittor, collector) olarak adlandırılır. Akım kontrollü bir eleman olan BJT transistörleri, beyzine verilen akımla iletim durumuna geçerler ve bu durumda kalmaları için sürekli olarak beyz akımına ihtiyaç duyarlar. Bu durumda BJT transistörlerinin çıkış karakteristiği belirli bir beyz akımı için, kolektör-emitör gerilimine karşı kolektör akımının değişimidir.

Bu değişim şekil 1.3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 1.3.2

BJTlerin, beyz ve emitörleri arasında bir pn jonksiyonu vardır. Bu sebeple diyotlarda olduğu gibi burada da, transistör iletimdeyken 0.7V civarında bir gerilim düşümü mevcuttur ve bu gerilimin altındaki beyz gerilimlerinde transistör kesim

durumunda kalacaktır. Ayrıca iletim durumundayken, üzerlerinde olan gerilim düşümü oldukça düşüktür. Bu nedenle iletim durumundaki güç kayıpları da azdır. Ama azınlık akım taşıyıcısı özelliklerinden dolayı, açılma kapanma süreleri yüksek olabilir.

BJTler beyzine akım uygulanmadığı takdirde kesim durumunda olurlar ve bu durumda transistörün zarar görmeden taşıyabileceği maksimum kolektör-emitör gerilimi vardır. Buna kırılma gerilimi denir.

Ayrıca, azınlık akım taşıyıcılarına sahip elemanlara özgü olan negatif sıcaklık katsayısı sebebiyle BJT'lerin ikinci kırılma noktaları da vardır ki bu tip bozulmalar BJT ler de birincil kırılmalara göre daha fazla gözlemlenir.

BJT lerin çalışması 3 ayrı bölgede incelenebilir. Kesim bölgesinde, sıfır ya da yetersiz beyz akımından dolayı transistör açılmaz ve kolektör akımı akmaz. Doğrusal bölge ise genelde yükselteçlerde kullanılan bölgedir ve gerilim-akım ilişkisi doğrusaldır. Son bölge ise doyum bölgesidir. Bu noktada belirli bir beyz akımı için transistörün üzerinden geçebilecek maksimum akım geçmektedir ve kolektör-emitör geriliminin artması kolektör akımını çok fazla değiştirmeyecektir.

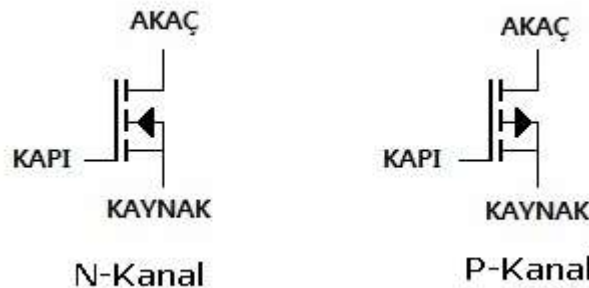
Yukarıda da söylediğimiz gibi, genel olarak BJTlerin doğrusal bölgesi yükselteç, kesim ve doyum bölgeleri ise anahtarlama uygulamalarında kullanılır.

### **GÜÇ MOSFET'LERİ (Metal-Oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistör)**

Güç MOSFETleri, ortaya çıkmalarıyla birlikte pek çok uygulamada BJT' lere göre tercih edilir olmuşlardır. BJT' lere göre daha yüksek, gerilim düşümüne sahip olmalarına rağmen azınlık taşıyıcıları olmadığı için daha yüksek anahtarlama frekanslarında kullanılabilirler ve toplamda daha düşük kayıplara sahiptirler.

MOSFETler kapı, akaç ve kaynak olmak üzere 3 terminale sahiptirler. Kapı terminali anahtarın diğer kısımlarından silikon dioksit bir tabakayla yalıtılmıştır. Bu sebeple kapı terminalinden MOSFET'e azınlık taşıyıcısı akımı olmaz. Bu da MOSFET lerde, BJTlerde olan ikincil kırılma geriliminin olmaması demektir. Ayrıca azınlık taşıyıcılarının da kanaldan dışarı atılmasını gerektiren kesim dönüşümü de bu sebepten dolayı yoktur ve bu da MOSFETlerin açılma-kapanma sürelerine yansır. MOSFETlerin daha hızlı uygulamalarda kullanılabilmelerinin sebebi budur.

Aşağıdaki şekilde n-kanallı ve p-kanallı MOSFETlerin sembolleri gösterilmiştir.



Şekil 1.3.3

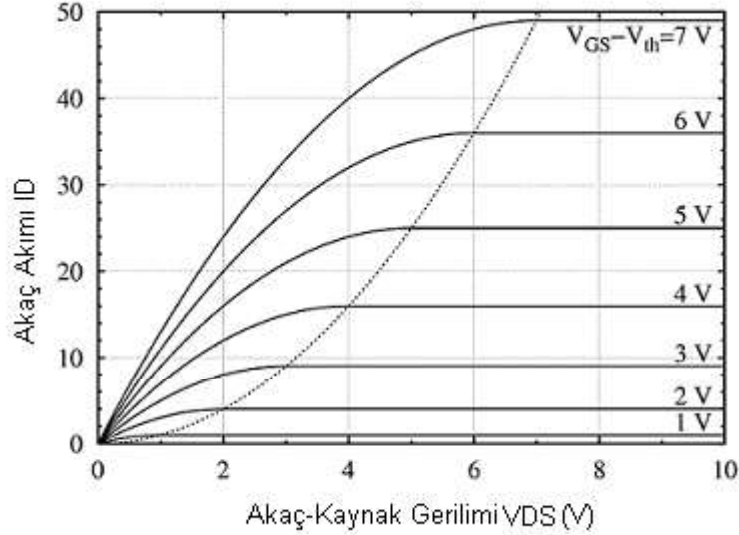
Gerilim kontrollü bir anahtarlama elemanı olan MOSFET, kanal ayarlamalı ve kanal oluşturmali olarak iki çeşittir. Genel olarak kanal oluşturmali (Enhancement type) MOSFET tipi yaygın olarak kullanılır. MOSFET'i iletme sokmak için kapı-kaynak

arasına gerilim uygulamak gerekir. Bu gerilim, eğer MOSFET n-kanallı ise pozitif, p-kanallı ise negatif olacaktır.

Bu gerilim uygulandığı takdirde, akça-kaynak arasında, voltaj uygulandığında üzerinden akım geçebilecek bir kanal oluşur. Kapı-kaynak gerilimi ne kadar büyükse MOSFET'in üzerinden o kadar büyük bir akım geçebilir.

Bu durumda MOSFET'in çıkış karakteristiği belirli bir kapı-kaynak voltajı için, akça akımının, akça-kaynak gerilimine göre değişimidir.

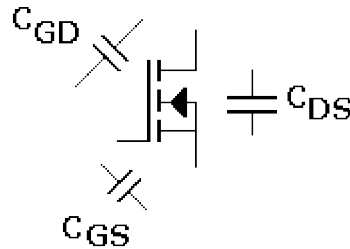
Bu değişim şekil 1.3.4' te grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.3.4

Kapı-kaynak arasına uygulanan gerilimle iletme geçen MOSFETlerde bu gerilimin belli bir değerine kadar iletim olmaz. Yani MOSFET belirli bir kapı-kaynak gerilim değerine kadar açılmaz. Bu değere MOSFET'in eşik gerilim değeri denir ve üretici bilgi sayfalarında  $V_{th}$  olarak gösterilir.

MOSFETteki en önemli özelliklerden biri, MOSFET'in fiziksel yapısından kaynaklanan, terminalleri arasındaki kapasitörleridir. MOSFET aslında şekil 1.3.5' deki gösterimiyle modellenir.



Şekil 1.3.5

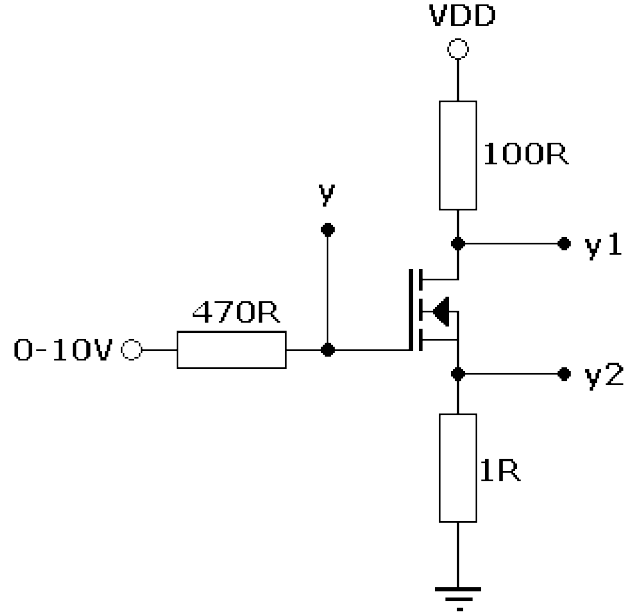
Bu kapasitörler, MOSFET'in anahtarlama karakteristiği için oldukça büyük önem taşır. Çünkü transistörün açılma, kapanma süreleri bu kapasitörlerle ilişkilidir ve dolayısıyla yüksek anahtarlama frekanslarındaki kayıplar da doğrudan buna bağlanmaktadır. Bu kapasitör etkilerinden en önemlisi, kapı-akça arasında gözlemlenen ve "Miller" kapasitansı olarak adlandırılan etkidir. Miller kapasitansı, giriş ile çıkış arasında olduğu için, transistörün yükselteç kazancıyla da katlanır ve etkisi diğerlerine göre daha belirgindir.



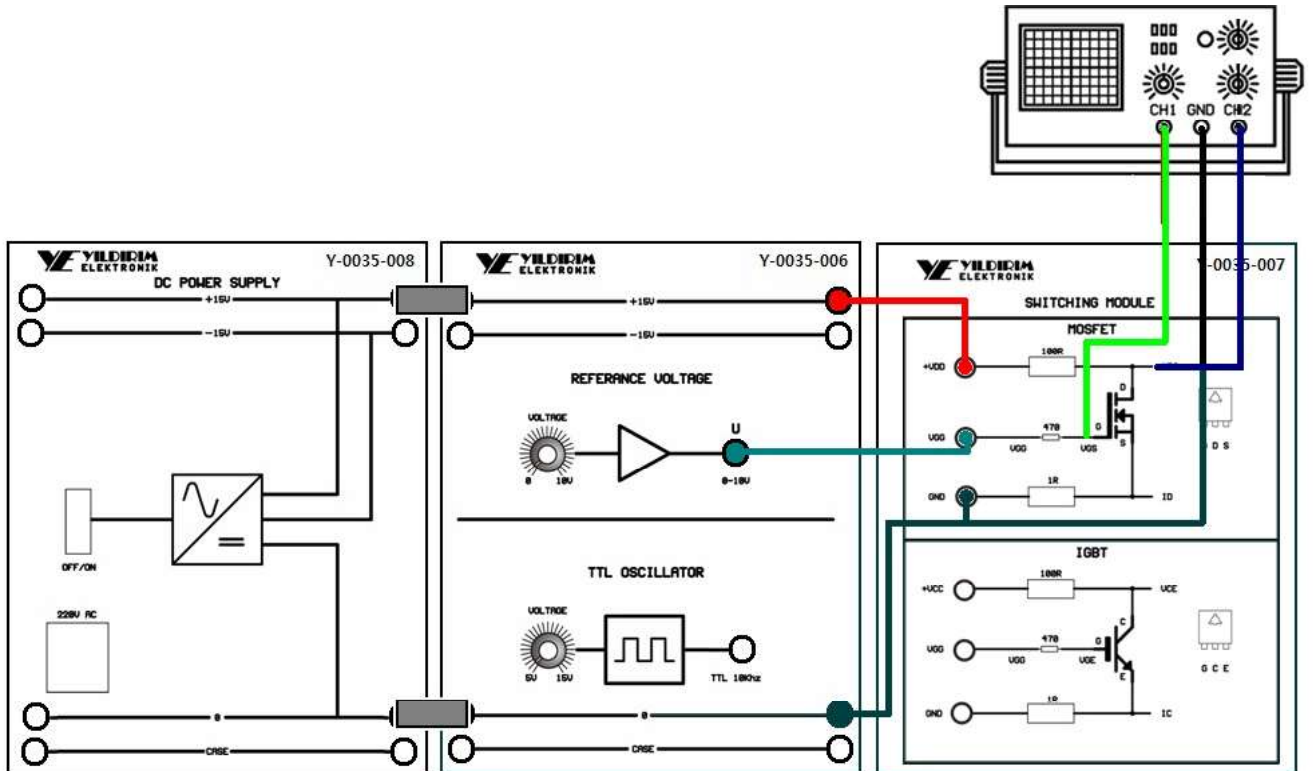
## DENEY NO 1.3.1 DENEY ADI: MOSFET DENEYLERİ

### 1.3.1.1 MOSFET Açılma Testi

Devreyi şekil 1.3.7'deki gibi kurunuz.



Şekil 1.3.7



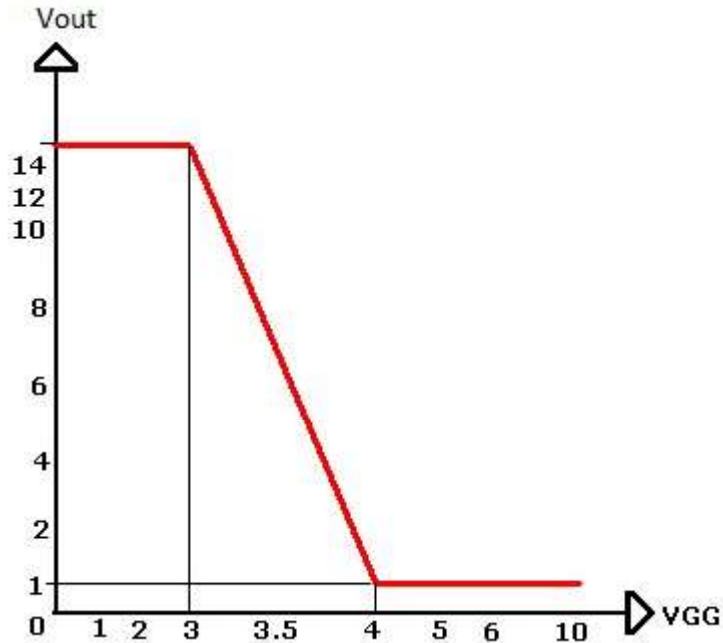
Şekil 1.3.8

## DENEYİN YAPILIŞI:

- 1- Gerekli bağlantıları yaptıktan sonra devreye gerilim veriniz.
- 2- Gate gerilimine yavaş yavaş artırarak osiloskoptan çıkış gerilimini izleyiniz. Bu anda çıkış gerilimi besleme gerilimi olan 15V civarında olmalıdır.
- 3- Gate gerilimi 3V civarına gelince çıkış gerilimi yavaşça azalmaya başlayacaktır. Bu andaki gate gerilimini kaydediniz. (Mosfet iletime geçmeye başlamıştır.)
- 4- Gate gerilimini artırmaya devam ediniz. Çıkış gerilimi kısa bir süre sonra en az seviyesine inecek ve artık düşmeyecektir. (Mosfet iletimdedir.) Bu voltaj değeri 4.3V civarındadır.
- 5- Gate gerilimine göre çıkış grafiğini çiziniz.

VGG	V <sub>çıkış</sub>
0V	15V
1V	15V
2V	15V
3V	15V
<b>3.3V</b>	<b>14V</b>
<b>3.6V</b>	<b>12V</b>
<b>3.8V</b>	<b>10V</b>
<b>4V</b>	<b>5V</b>
<b>4.1V</b>	<b>2V</b>
4.2V	1V
4.3V	1V
5V	1V
8V	1V
10V	1V

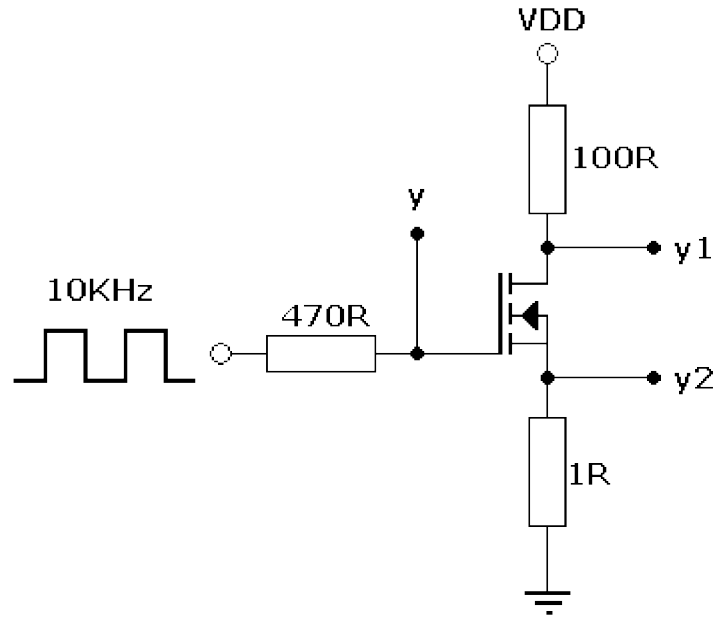
Şekil 1.3.9



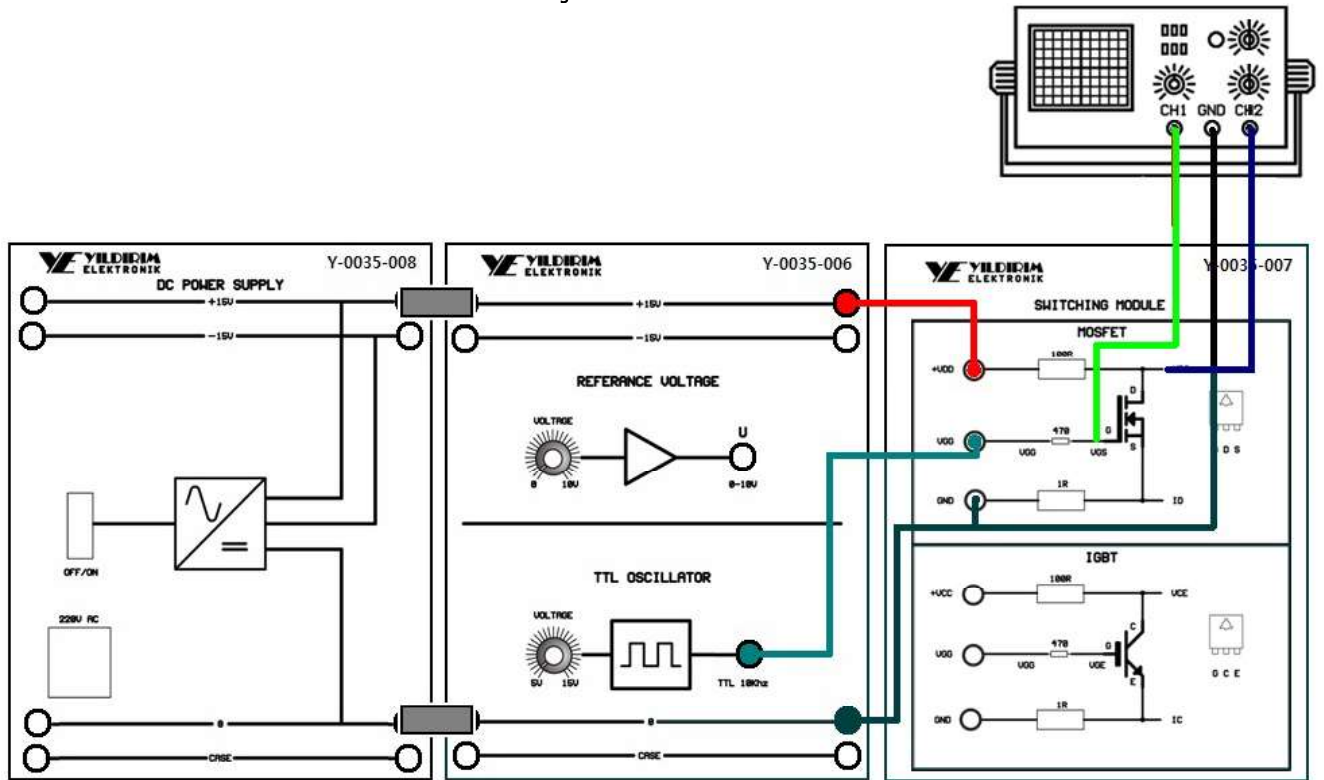
Şekil 1.3.10

### 1.3.1.2 MOSFET Anahtarlama Testi

Devreyi şekil 1.3.11'deki gibi kurunuz.



Şekil 1.3.11



Şekil 1.3.12

## DENEYİN YAPILIŞI:

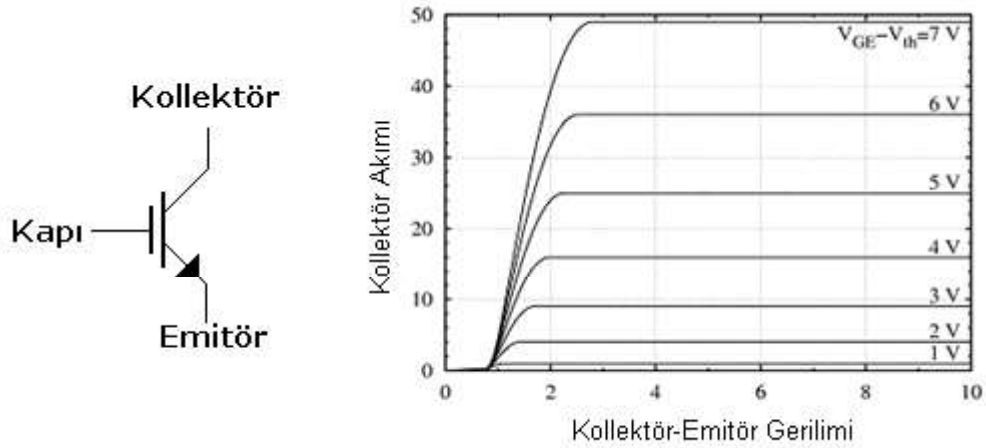
- 1- GiriŐe 10V tepe değerine sahip, 10kHz'lik kare dalga uygulayarak,  $V_{GS}$  kapı kaynak gerilimini(Y1), ve  $V_{DS}$  akaç-kaynak gerilimini(Y2) osiloskopta gözlemleyerek çiziniz. Y2 kanalından gördüğünüz akaç-kaynak gerilimi gerçek akaç-kaynak gerilimi midir? Osiloskobun ölçüm problemlerinden birini Y ile gösterilen noktaya takarak, akaç akımını gözlemleyiniz ve çiziniz. Uyguladığınız kare dalganın tepe değerini 10V'den yavaş yavaş düşürerek, bir önceki aşamada ölçüm aldığınız dalga şekillerini gözlemleyiniz. Ne gibi değişiklikler gözlemliyorsunuz? Gerilimi düşürmeye devam ediniz ve MOSFET'in açılması için gerekli olan eşik gerilimi( $V_{th}$ ) değerini tespit ederek, not alınız.



## IGBT'LER

IGBT'ler, güç MOSFETleri ve BJT'lerinin bazı avantajlarını üzerinde toplayan bir anahtarlama elemanıdır. MOSFET'e benzer olarak, yüksek bir kapı empedansı vardır ve bu da anahtarlama kolaylığı sağlar. IGBTlerin, BJTler gibi, iletim gerilim düşümleri oldukça küçük, ileri kırılma gerilimleri de oldukça büyüktür. Kapıdan kanal içerisine azınlık taşıyıcıları injeksiyonu olmadığından BJT'ler gibi ikincil kırılma gerilimi problemleri de yoktur. BJTlerden daha yüksek anahtarlama frekansları vardır ama MOSFET kadar yüksek hızlara ulaşamazlar. Yine de anahtarlama karakteristikleri hemen hemen MOSFETle aynıdır.

IGBT'lerin 3 adet terminali vardır ve bunlar kapı, emitör ve kolektör olarak adlandırılır. Çıkış karakteristiği ise belirli bir kapı-emitör gerilimi için, kolektör akımının kolektör-emitör gerilimine göre değişimidir. IGBT'nin sembolü ve çıkış karakteristiği şekil 1.3.13'te gösterilmiştir.

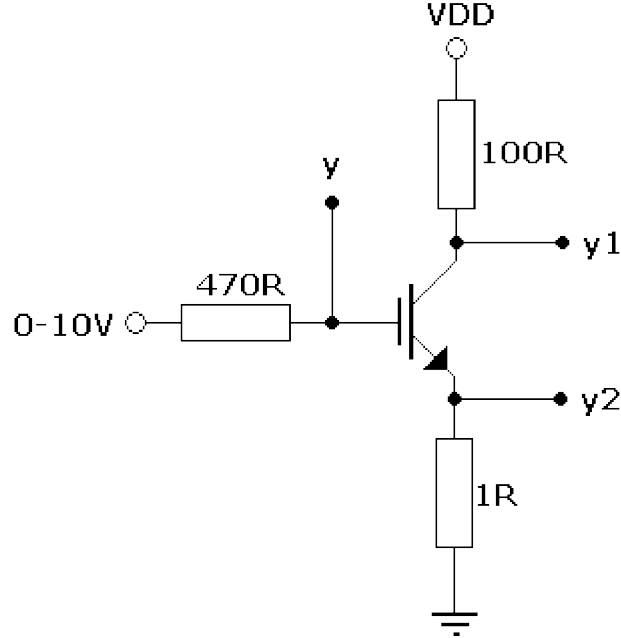


Şekil 1.3.13

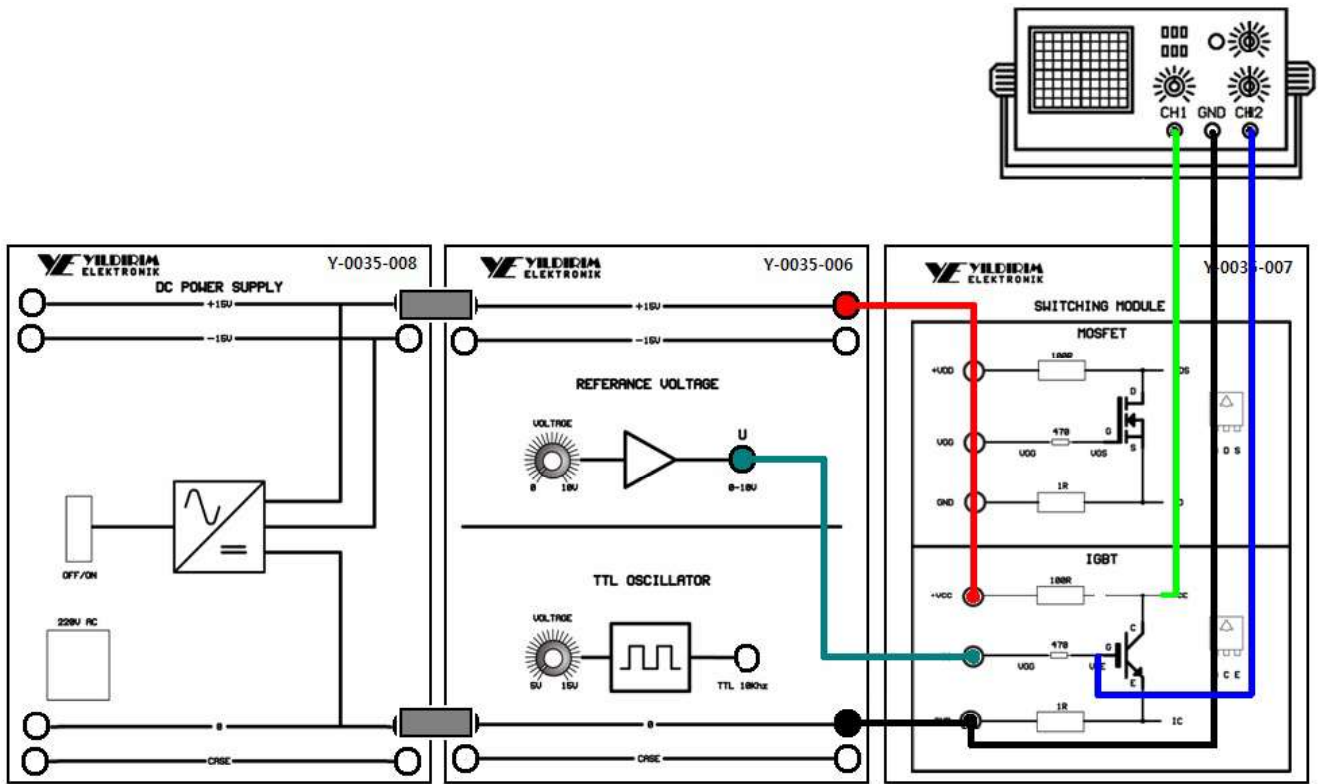
**DENEY NO: 1.3.2**  
**DENEY ADI: IGBT DENEYLERİ**

**1.3.2.1 IGBT Açılma Testi:**

Şekil 1.3.14' deki devreyi kurunuz



Şekil 1.3.14



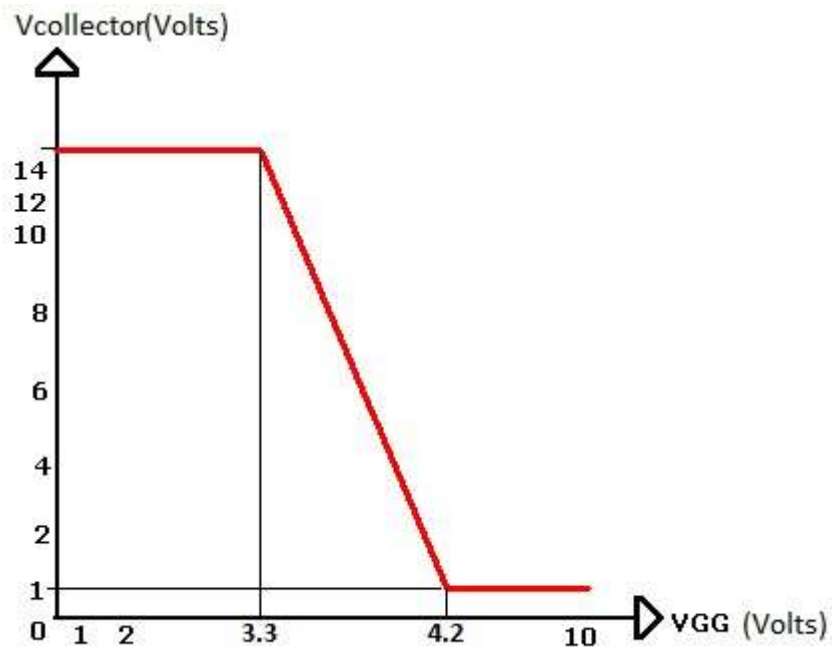
Şekil 1.3.15

## DENEYİN YAPILIŞI:

- 1- Gerekli bağlantıları yaptıktan sonra devreye gerilim veriniz.
- 2- Gate gerilimine yavaş yavaş artırarak osiloskoptan çıkış gerilimini izleyiniz. Bu anda çıkış gerilimi besleme gerilimi olan 15V civarında olmalıdır.
- 3- Gate gerilimi 5V civarına gelince çıkış gerilimi yavaşça azalmaya başlayacaktır. Bu andaki gate gerilimini kaydediniz. (IGBT iletme geçmeye başlamıştır.)
- 4- Gate gerilimini artırmaya devam ediniz. Çıkış gerilimi kısa bir süre sonra en az seviyesine inecek ve artık düşmeyecektir. (IGBT iletimdedir.)  
Bu voltaj değeri 7V civarındadır.
- 5- Gate gerilimine göre çıkış grafiğini çiziniz.

VGG	V <sub>ÇIKIŞ</sub>
0V	15V
1V	15V
2V	15V
3V	15V
<b>3.3V</b>	<b>14V</b>
<b>3.6V</b>	<b>12V</b>
<b>3.8V</b>	<b>10V</b>
<b>4V</b>	<b>5V</b>
<b>4.1V</b>	<b>2V</b>
4.2V	1V
4.3V	1V
5V	1V
8V	1V
10V	1V

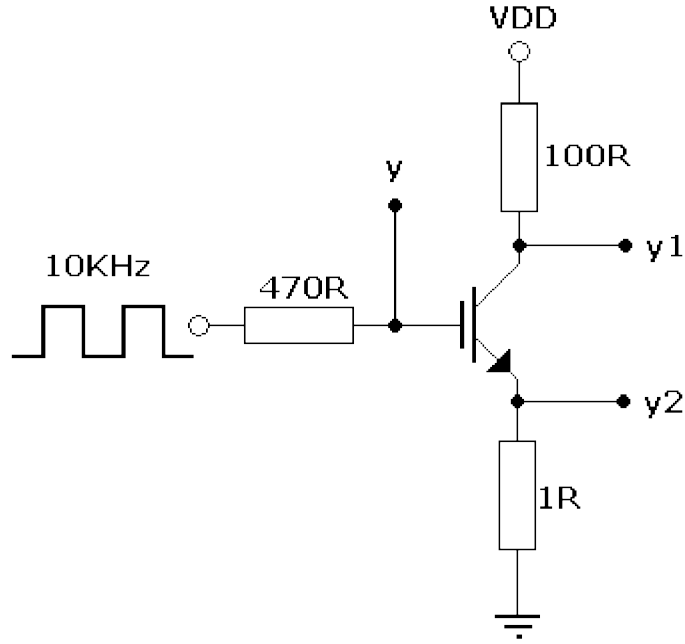
Şekil 1.3.16



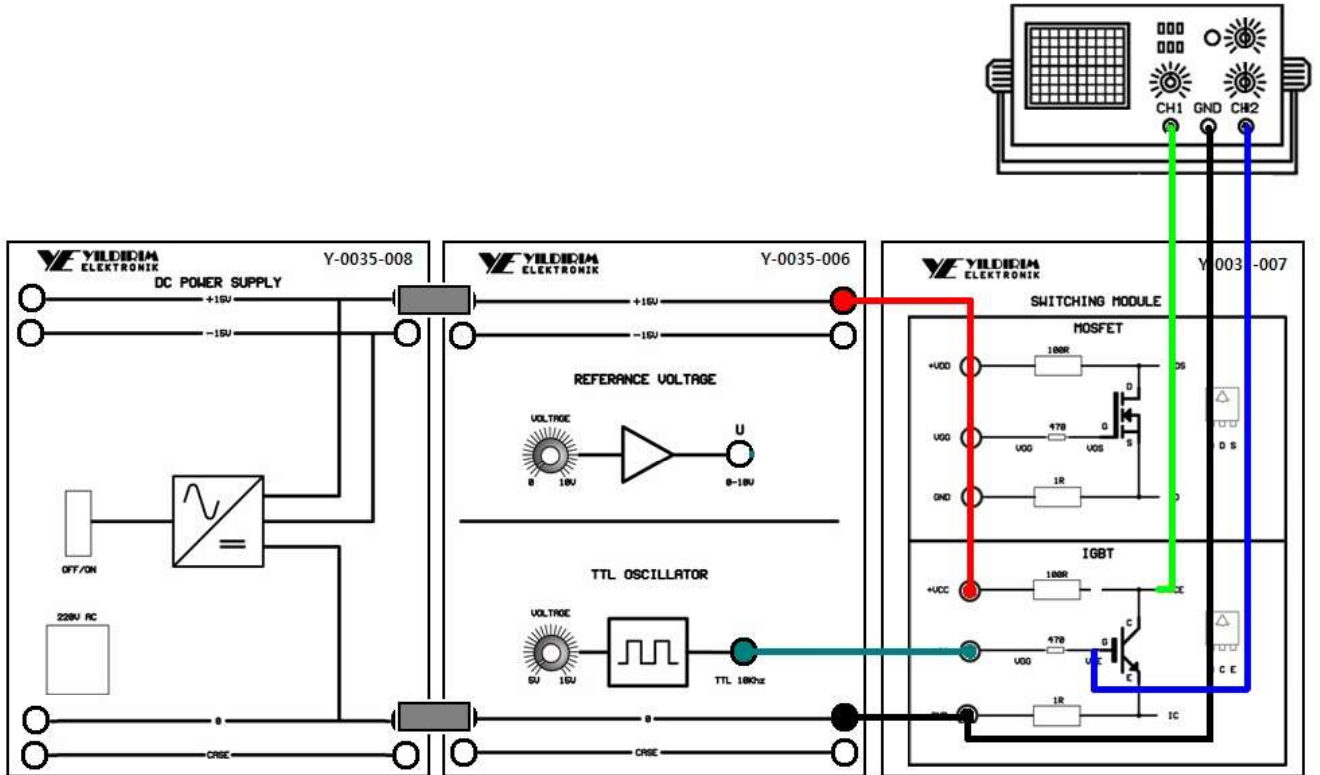
Şekil 1.3.17

### 1.3.2.2 IGBT Anahtarlama Testi

Şekildeki devreyi kurunuz.



Şekil 1.3.18



Şekil 1.3.19

Aynı şekilde  $V_{GE}$  kapı-emitör,  $V_{CE}$  kolektör-emitör gerilimlerinin ve  $I_C$  kolektör akımının dalga şekillerini gözlemleyerek çiziniz. IGBT'nin iletim eşik değerini de bir önceki deneydeki gibi tespit ediniz.