



T.C.
Gümüşhane Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü



Elektronik Laboratuvarı I
Deney 3. FET Karakteristikleri

1. GİRİŞ

Alan etkili transistörler (Field Effect Transistor, FET), gerilim kontrollü yarıiletken elemanlar olup, yüksek giriş empedansı ve düşük gürültü özellikleri nedeniyle elektronik devrelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. FET'ler, bipolar jonksiyon transistörlerden (BJT) farklı olarak, akım kontrolü yerine kapı (gate) – kaynak (source) arasına uygulanan gerilim ile çalışırlar. Bu deneyde, hem JFET (Junction FET) hem de MOSFET (Metal–Oxide–Semiconductor FET) elemanlarının karakteristikleri incelenecek, $IDSS$, IGS ve VP gibi temel parametreler ölçülecektir. Böylece öğrenciler, FET'in temel çalışma prensibini, avantaj ve sınırlılıklarını deneysel olarak gözlemlene imkânı bulacaktır.

2. TEORİK ALTYAPI

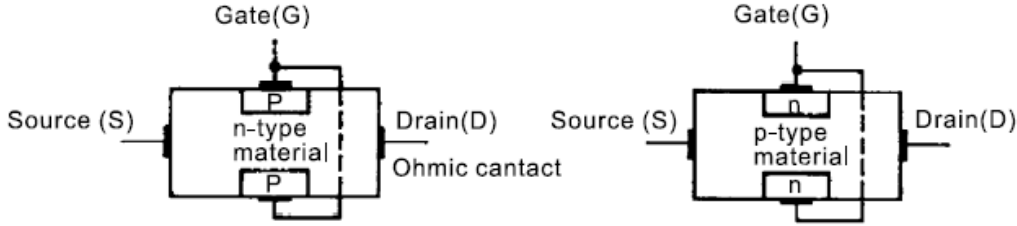
FET, tek kutuplu taşıyıcıya dayalı bir yarıiletken elemandır. n-kanallı FET'lerde iletim elektronlar aracılığıyla, p-kanallı FET'lerde ise delikler aracılığıyla gerçekleşir. FET'in temel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Çok yüksek giriş empedansına sahiptir (tipik olarak $100\text{ M}\Omega$ mertebesinde).
- Düşük gürültü seviyeleri nedeniyle hassas yükselteçlerin giriş katlarında tercih edilir.
- Isıl kararlılığı BJT'ye göre yüksektir.
- Kapı akımı (IG) ideal durumda sıfıra yakındır.

Buna karşın, FET'lerin kazanç ve bant genişliği BJT'lere göre genellikle daha düşük olup, özellikle MOSFET'ler statik elektriğe karşı daha hassastır.

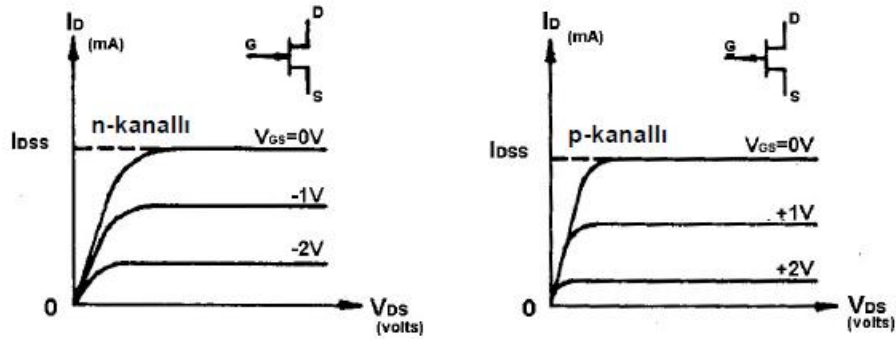
2.1. JFET

FET, kaynak (S), akaç (D) ve kapı (G) uçlarından oluşur. Şekil 1'de n-kanallı ve p-kanallı JFET'lerin iç yapısı sunulmuştur.



Şekil 1. JFET'lerin iç yapısı (n-kanallı JFET solda, p-kanallı JFET sağda)

Şekilde görüldüğü gibi n-kanallı JFET p-tipi bölgelerle sınırlandırılmış n-tipi yarı iletken bir yapıdır. Burada ana elektron akışı D-S uçları arasında gerçekleşmektedir. G-S arasına uygulanan ters öngerilim, kanalın iletim genişliğini kontrol ederek akaç akımını (I_D) düzenler. Şekil 2'de JFET'lerin farklı V_{GS} gerilimleri için I_D akım karakteristiği verilmiştir.



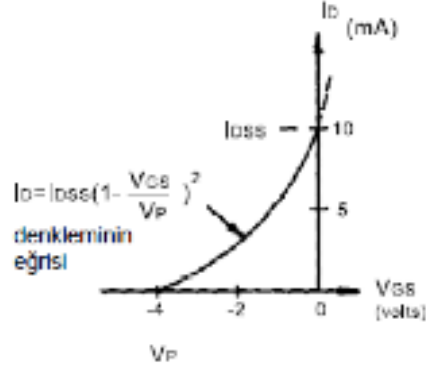
Şekil 2. JFET'in Akaç-Kaynak karakteristik eğrisi

Şekilden görüldüğü gibi, V_{DS} artırıldığında I_D akımı önce artmakta, daha sonra sabit bir değere ulaşarak doyum bölgesine girmektedir. V_{GS} değerinin negatif yapılması, akımın azalmasına ve kanalın kapanmasına yol açmaktadır. JFET'lerin I_D akımı ve V_{GS} gerilimi arasındaki ilişki (1)'de verildiği gibi ifade edilmektedir.

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \quad (1)$$

Burada I_{DSS} sıfır kapı geriliminde akan maksimum akımı, V_P ise akımın sıfırlandığı kısma gerilimini göstermektedir. Bağıntıya göre $V_{GS} = 0$ iken, akaç akımı I_{DSS} değerine ulaşır. V_{GS} 'nin negatif yönde artırılması ise akımı azaltır ve belirli bir V_{GS} değerinde akım tamamen kesilir. Bu

gerilim, kısma gerilimi (V_P) olarak adlandırılır. Şekil 3'te n-kanallı JFET'lerin transfer karakteristiği (I_D-V_{GS}) sunulmuştur.



Şekil 3. JFET'lerin transfer karakteristiği

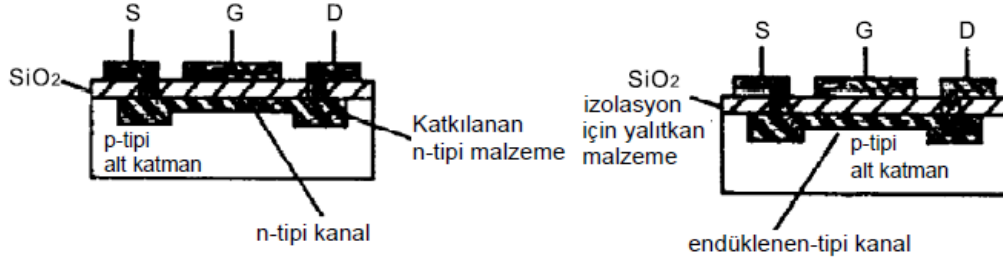
Şekilden görüldüğü gibi, I_D akımı V_{GS} 'nin negatif değerlere kaymasıyla azalmakta ve V_P noktasında sıfırlanmaktadır. Bu eğri üzerinde I_{DSS} ve V_P parametreleri net şekilde gözlemlenmektedir.

2.2. MOSFET

MOSFET'ler, kapı elektrodu ile kanal arasında ince bir yalıtkan oksit tabakası bulunan FET türüdür. MOSFET'ler iki grupta sınıflandırılabilirler.

- **Kanal ayarlamalı MOSFET (Depletion Type):** Kanal hazır durumdadır ve $V_{GS} = 0$ iken ilettime başlar. Negatif V_{GS} ile kanal daraltılabilir, pozitif V_{GS} ile iletkenlik artırılabilir.
- **Kanal oluşturmali MOSFET (Enhancement Type):** Başlangıçta kanal yoktur. V_{GS} eşik değeri (V_T) aşıldığında kanal oluşur ve akım akmaya başlar. Bu tür MOSFET'ler büyük ölçekli tümdevrelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekil 4'te MOSFET türlerinin yapısı sunulmuştur.

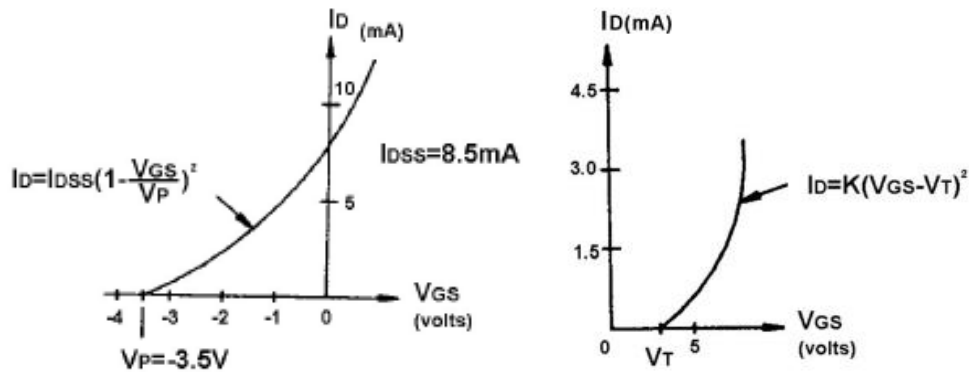


Şekil 4. Kanal ayarlamalı MOSFET yapısı (solda), kanal oluşturmali MOSFET yapısı (sağda)

Şekilden görüldüğü gibi, kanal ayarlamalı MOSFET'te iletim kanalı başlangıçta mevcuttur ve kapı gerilimi ile daraltılıp genişletilebilir. Buna karşılık, kanal oluşturmali MOSFET'te ise kanal yoktur; V_{GS} eşik değerini geçtiğinde yeni bir kanal indüklenir ve akım akmaya başlar. Kanal ayarlamalı MOSFET'in transfer karakteristiği (1) numaralı bağıntı ile ifade edilebilmektedir. Ancak, kanal oluşturmali MOSFET'in transfer karakteristiği farklı olarak (2)'de verildiği temsil edilir.

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \quad (2)$$

Burada V_T eşik gerilimini, K ise elemanın yapısına bağlı bir sabiti ifade eder. Şekil 5'te MOSFET'lerin transfer karakteristikleri sunulmuştur.



Şekil 5. MOSFET'lerin transfer karakteristikleri (kanal ayarlamalı solda, kanal oluşturmali sağda)

Şekilden görüldüğü gibi, kanal ayarlamalı MOSFET hem negatif hem de pozitif V_{GS} değerlerinde çalışabilirken, kanal oluşturmali MOSFET yalnızca V_{GS} eşik değerini aştığında akım iletmeye başlamaktadır.

3. DENEYLER

Bu bölümde FET'lerin karakteristik parametrelerinin incelenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmalar anlatılmıştır. Deneylerde kullanılacak elemanlar aşağıda verildiği gibidir.

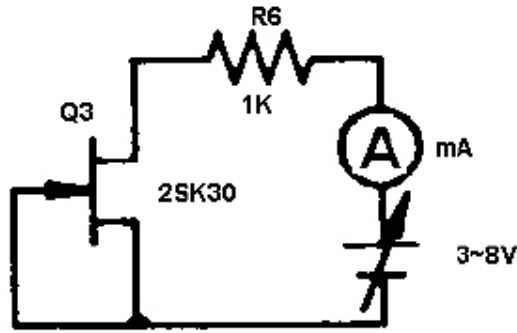
- KL-200 Lineer devre deney düzeneği
- KL-23004 Deney modülü
- Osiloskop, multimetre ve işaret üretici
- Bağlantı elemanları (kablo, kısa-devre klipsleri, vb.)

3.1. JFET Karakteristik Parametrelerinin İncelenmesi

Bu bölümde sırasıyla JFET'lerin I_{DSS} , I_{GS} ve V_P karakteristiklerinin incelenmesi için gerçekleştirilecek deneysel çalışmalar açıklanmıştır.

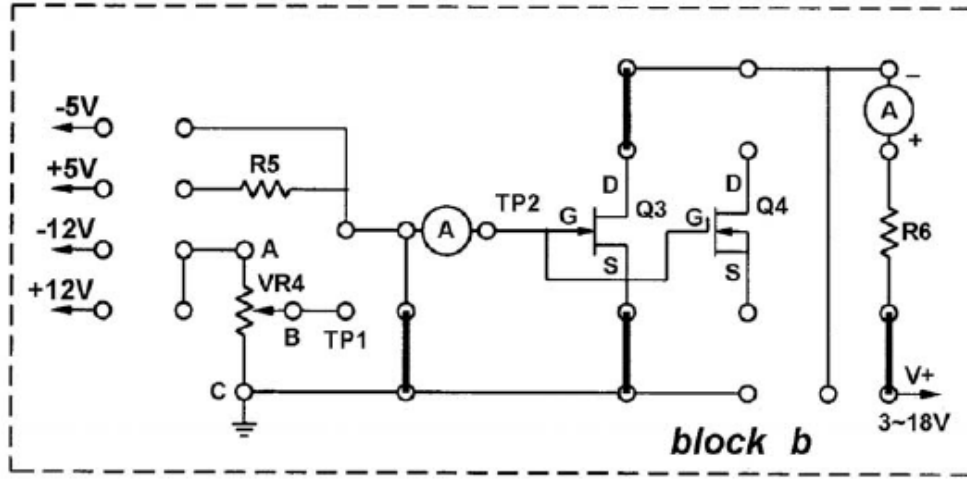
3.1.1. JFET I_{DSS} Ölçümü

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi I_{DSS} akımı V_{GS} geriliminin 0 V olduğu durumda I_D akımına eşit olmaktadır. Buna göre I_{DSS} akımının ölçülmesi için kullanılacak devre Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. JFET I_{DSS} ölçüm devresi

Burada görüldüğü gibi V_{GS} gerilimi toprak potansiyelindedir. V_{DD} gerilimi 3-18 V aralığında değiştirilerek I_{DSS} ölçümü ampermetre yardımıyla gerçekleştirilecektir. Bunun için kullanılacak deney bölümündeki bağlantı diyagramı Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. JFET I_{DSS} ölçüm deneyi bağlantı diyagramı

I_{DSS} ölçüm deneyi adımları aşağıda verildiği gibidir.

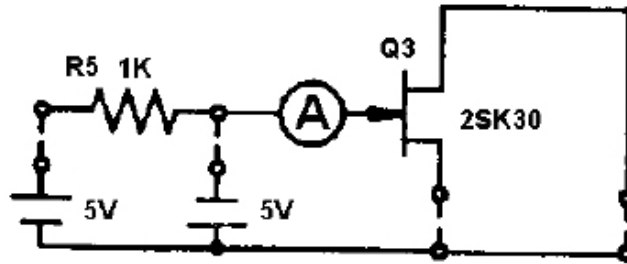
- 1) KL-23004 modülünü, KL-200 lineer devre deney düzeneğine yerleştiriniz.
- 2) Şekil 7’de gösterilen bağlantı diyagramı yardımıyla kısa-devre klipslerini yerleştiriniz.
- 3) I_D akımını ölçmek için uygun Şekil 7’de gösterilen yere ampermetre bağlayınız.
- 4) V_{DD} gerilimini 3-18 V aralığında değiştirerek, ampermetre ile ölçülen I_D değerini I_{DSS} olarak Tablo 1’e kaydediniz.

Tablo 1. JFET I_{DSS} ölçüm sonuçları

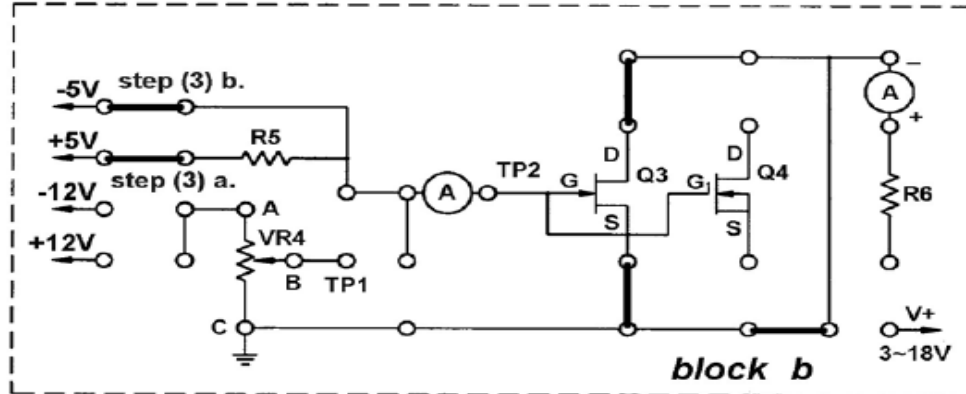
V_{DD} (V)	3	4	5	7	9	12	15	18
I_{DSS} (mA)								

3.1.2. JFET I_{GS} Ölçümü

Bu deneyde JFET’lerin farklı V_{GS} gerilimleri altında I_G akımlarının değişimi incelenecektir. Bu deney için kullanılacak ölçüm devresi Şekil 8’de, bağlantı diyagramı ise Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 8. JFET I_G akımı ölçüm devresi



Şekil 9. JFET I_G ölçüm deneyi bağlantı diyagramı

I_G deneyi ölçüm adımları aşağıda verilmiştir.

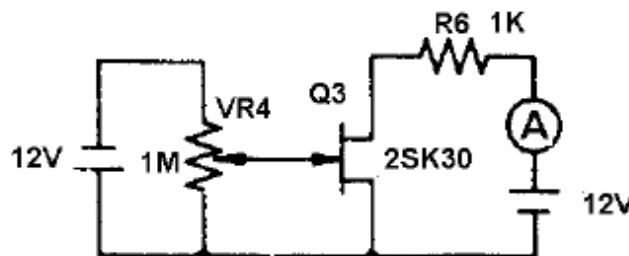
- 1) KL-23004 modülünü, KL-200 lineer devre deney düzeneğine yerleştiriniz.
- 2) Şekil 9’de gösterilen bağlantı diyagramı yardımıyla kısa-devre klipslerini yerleştiriniz.
- 3) V_G gerilimini +5 V olarak ayarlayınız ve I_G akımını ölçünüz.
- 4) V_G gerilimini -5 V olarak ayarlayınız ve I_G akımını ölçünüz. Sonuçları Tablo 2’ye kaydediniz.

Tablo 2. JFET I_G akımı ölçüm sonuçları

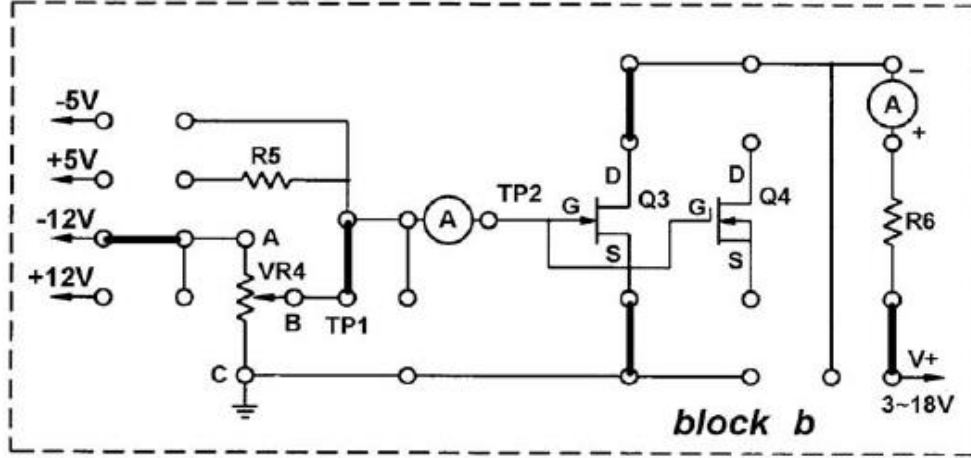
V_{GS}	I_G
+5 V	
-5 V	

3.1.3. JFET V_p Ölçümü

Bu deneyde JFET’lerin V_P parametresi ölçülecektir. Denklem (1) görüldüğü gibi V_{GS} gerilimi V_P değerine ulaştığında I_D akımı sıfırlanmaktadır. Buna göre ölçüm için oluşturulan devre Şekil 10’da bağlantı diyagramı ise Şekil 11’de sunulmuştur.



Şekil 10. JFET V_p gerilimi ölçüm devresi



Şekil 11. JFET V_p ölçüm devresi bağlantı diyagramı

I_G deneyi ölçüm adımları aşağıda verilmiştir.

- 1) KL-23004 modülünü, KL-200 lineer devre deney düzeneğine yerleştiriniz.
- 2) Şekil 11’de gösterilen bağlantı diyagramı yardımıyla kısa-devre klipslerini yerleştiriniz.
- 3) I_D akımını ölçmek için ampermetreyi ilgili yere bağlayınız. Daha sonra $I_D = 0$ A olacak şekilde VR4 (1 M Ω) potansiyometresini ayarlayınız.
- 4) $I_D = 0$ A durumunda V_{GS} gerilimini ölçünüz ve aşağıya V_p olarak kaydediniz.

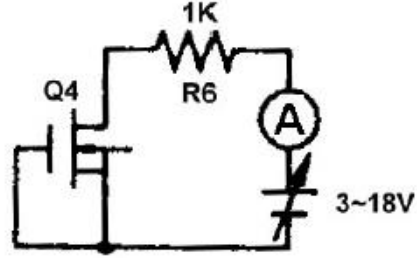
$$V_p =$$

3.2. MOSFET Karakteristik Parametrelerinin İncelenmesi

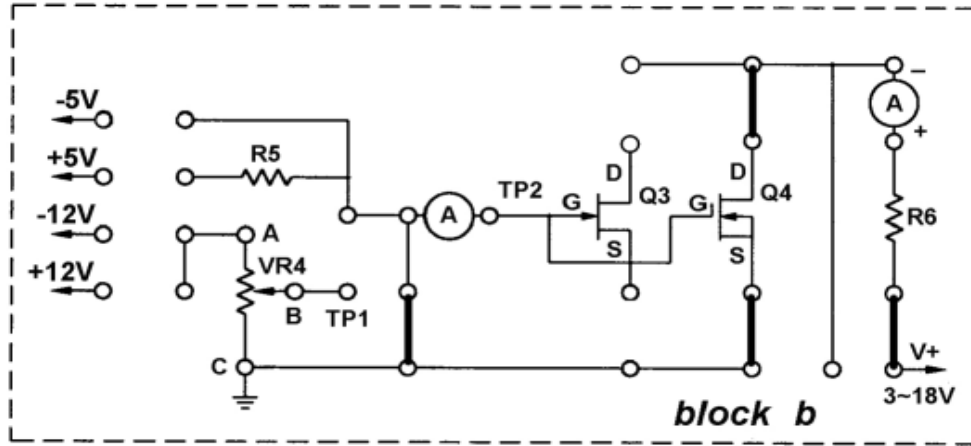
Bu bölümde sırasıyla MOSFET’lerin I_{DSS} ve V_p karakteristiklerinin incelenmesi için gerçekleştirilecek deneysel çalışmalar açıklanmıştır.

3.2.1. MOSFET I_{DSS} Ölçümü

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi I_{DSS} akımı V_{GS} geriliminin 0 V olduğu durumda I_D akımına eşit olmaktadır. Buna göre I_{DSS} akımının ölçülmesi için kullanılacak devre Şekil 12’de bu deneyin bağlantı diyagramı ise Şekil 13’te verilmiştir.



Şekil 12. MOSFET I_{DSS} ölçüm devresi



Şekil 13. MOSFET I_{DSS} ölçüm deneyi bağlantı diyagramı

I_{DSS} ölçüm deneyi adımları aşağıda verildiği gibidir.

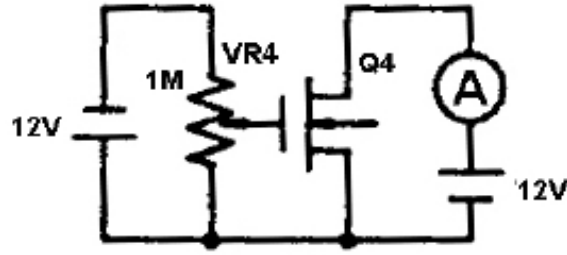
- 1) KL-23004 modülünü, KL-200 lineer devre deney düzeneğine yerleştiriniz.
- 2) Şekil 13'te gösterilen bağlantı diyagramı yardımıyla kısa-devre klipslerini yerleştiriniz.
- 3) I_D akımını ölçmek için uygun Şekil 7'de gösterilen yere ampermetre bağlayınız.
- 4) V_{DD} gerilimini 3-18 V aralığında değiştirerek, ampermetre ile ölçülen I_D değerini I_{DSS} olarak Tablo 3'e kaydediniz.

Tablo 3. MOSFET I_{DSS} ölçüm sonuçları

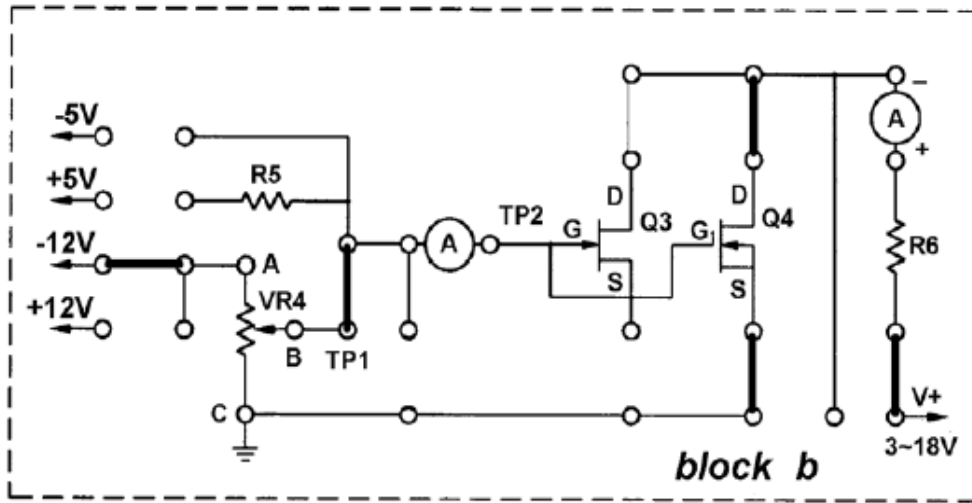
V_{DD} (V)	3	4	5	7	9	12	15	18
I_{DSS} (mA)								

3.2.2. MOSFET V_P Ölçümü

Bu deneyde MOSFET'lerin V_P parametresi ölçülecektir. Kanal ayarlamalı MOSFET'ler için Denklem (1) görüldüğü gibi V_{GS} gerilimi V_P değerine ulaştığında I_D akımı sıfırlanmaktadır. Buna göre ölçüm için oluşturulan devre Şekil 14'te bağlantı diyagramı ise Şekil 15'te sunulmuştur.



Şekil 14. MOSFET V_p gerilimi ölçüm devresi



Şekil 15. MOSFET V_p ölçüm devresi bağlantı diyagramı

I_G deneyi ölçüm adımları aşağıda verilmiştir.

- 1) KL-23004 modülünü, KL-200 lineer devre deney düzeneğine yerleştiriniz.
- 2) Şekil 15'de gösterilen bağlantı diyagramı yardımıyla kısa-devre klipslerini yerleştiriniz.
- 3) I_D akımını ölçmek için ampermetreyi ilgili yere bağlayınız. Daha sonra $I_D = 0$ A olacak şekilde VR4 (1 M Ω) potansiyometresini ayarlayınız.
- 4) $I_D = 0$ A durumunda V_{GS} gerilimini ölçünüz ve aşağıya V_p olarak kaydediniz.

$$V_p =$$