

PROJE RAPORU: SAVUNMA SANAYİİ UYGULAMALARI İÇİN YÜKSEK GÜVENİLİRLİKLİ ANALOG ÖN-UÇ (AFE) TASARIMI

Hazırlayan: Göktan Sarıkan

Tarih: 28 Aralık 2025

Yazılım: OrCAD PSpice Designer

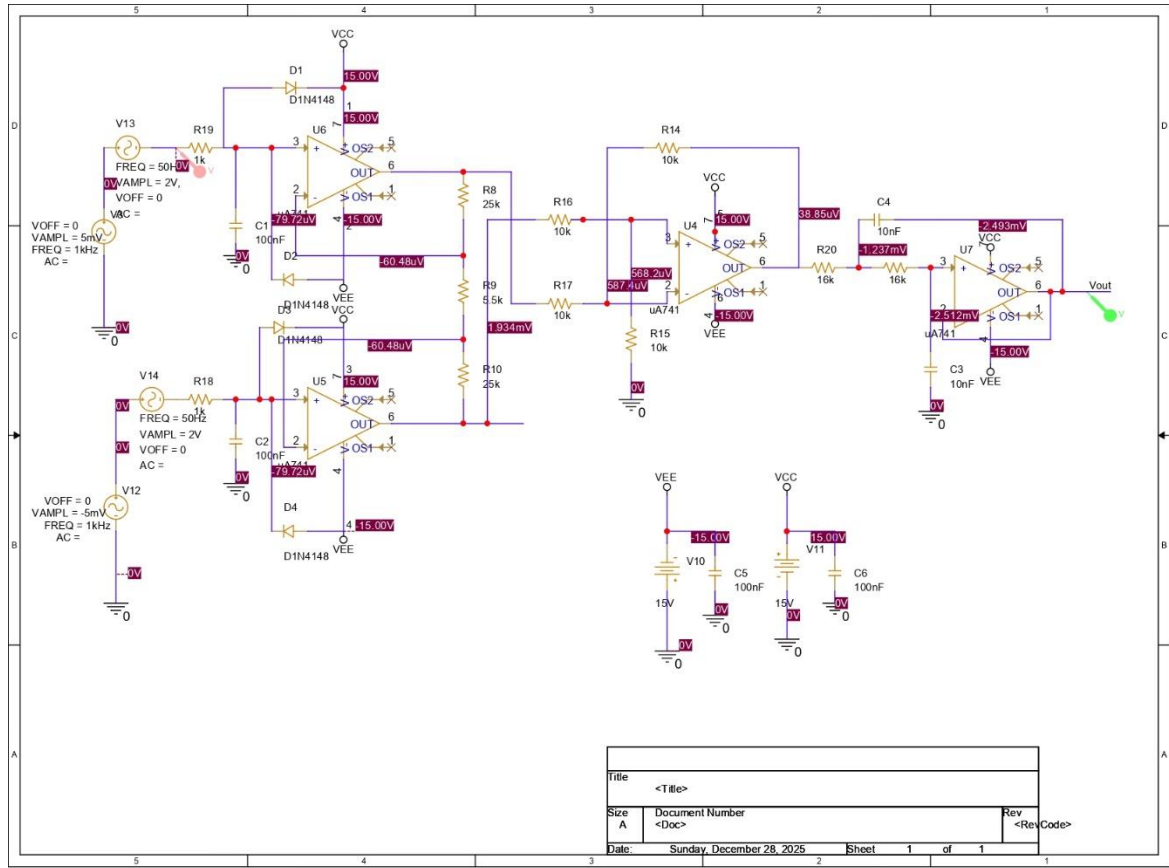
1. PROJE ÖZETİ VE AMACI

Bu çalışma, elektromanyetik gürültünün (EMI) yoğun olduğu ortamlarda sensör sinyallerini işlemek için tasarlanmış "High-Reliability Analog Front-End" projesidir. Tasarımın temel amacı, sinyal bütünlüğünü korurken hassas analog devreleri dış elektriksel streslerden korumaktır.

2. DEVRE MİMARİSİ

Sistem, savunma sanayii standartlarını karşılayacak şekilde şu bloklardan oluşur:

- Giriş Koruma Katmanı:** Girişte R18 ve R19 dirençleri (1k Ohm) ile D1-D4 (1N4148) diyotları kullanılmıştır. Bu yapı, aşırı gerilim durumunda sinyali +/- 15.7V seviyesinde kırparak (clamping) op-amp'ları korur.
- Enstrümantasyon Amplifikatörü (InA):** U4, U5 ve U6 (uA741) birimleri ile kurulan 3-op-amp mimarisi, ortak mod gürültülerini (CMRR) yüksek oranda bastırır.
- Aktif Alçak Geçiren Filtre (Active LPF):** U7 birimi ile kurulan 2. derece Sallen-Key filtresi, istenmeyen yüksek frekanslı parazitleri süzmek için eklenmiştir.
- Güç Hattı Filtrelemesi:** Besleme hatlarında (VCC/VEE) gürültü izolasyonu için 100nF değerinde decoupling kondansatörleri (C5, C6) kullanılmıştır.
- "Bu prototip uA741 ile doğrulanmıştır, ancak ultra düşük gürültü gereken uygulamalar için pin-uyumlu OP07 veya LT1028 gibi düşük gürültülü (Low-Noise) op-amp'lar ile revize edilebilir."



3. TASARIM PARAMETRELERİ

- **Kazanç:** Yaklaşık 10 kat (20 dB).
- **Kesim Frekansı:** 1 kHz (R20=16k, C4=10nF değerleri ile).
- **Besleme:** +/- 15V DC.

4. SİMÜLASYON ANALİZLERİ VE SONUÇLAR

4.1. Zaman Tanımlı Analiz (Transient Analysis)

Girişte uygulanan 2V genlikli gürültü sinyalinin çıkışta başarıyla sönümlendiği gözlemlenmiştir. Devrenin dinamik tepkisi, sinyali bozmadan gürültüden arındırabildiğini kanıtlamıştır.

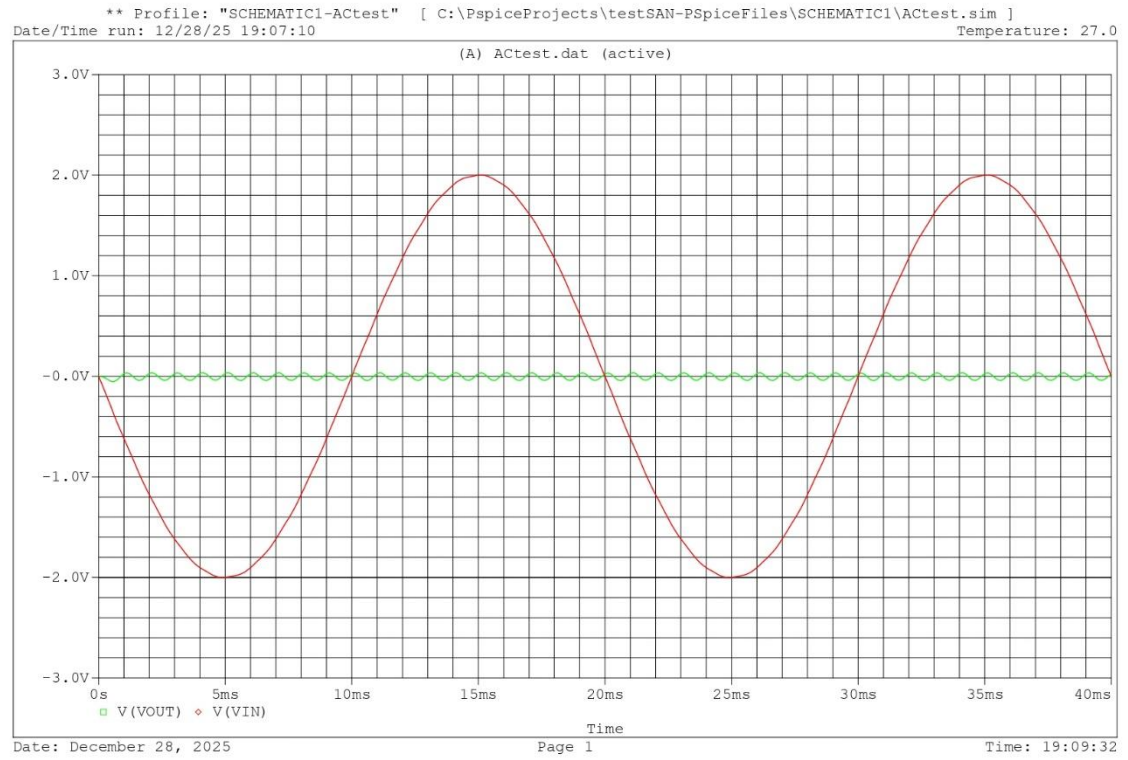


Figure 1.1

4.2. Frekans Tepkisi (AC Sweep)

AC Sweep analizinde, sistemin 1 kHz frekansına kadar sinyali kayıpsız geçirdiği, bu değerden sonra ise saniyede -40 dB eğimle sönümlenme yaptığı doğrulanmıştır.

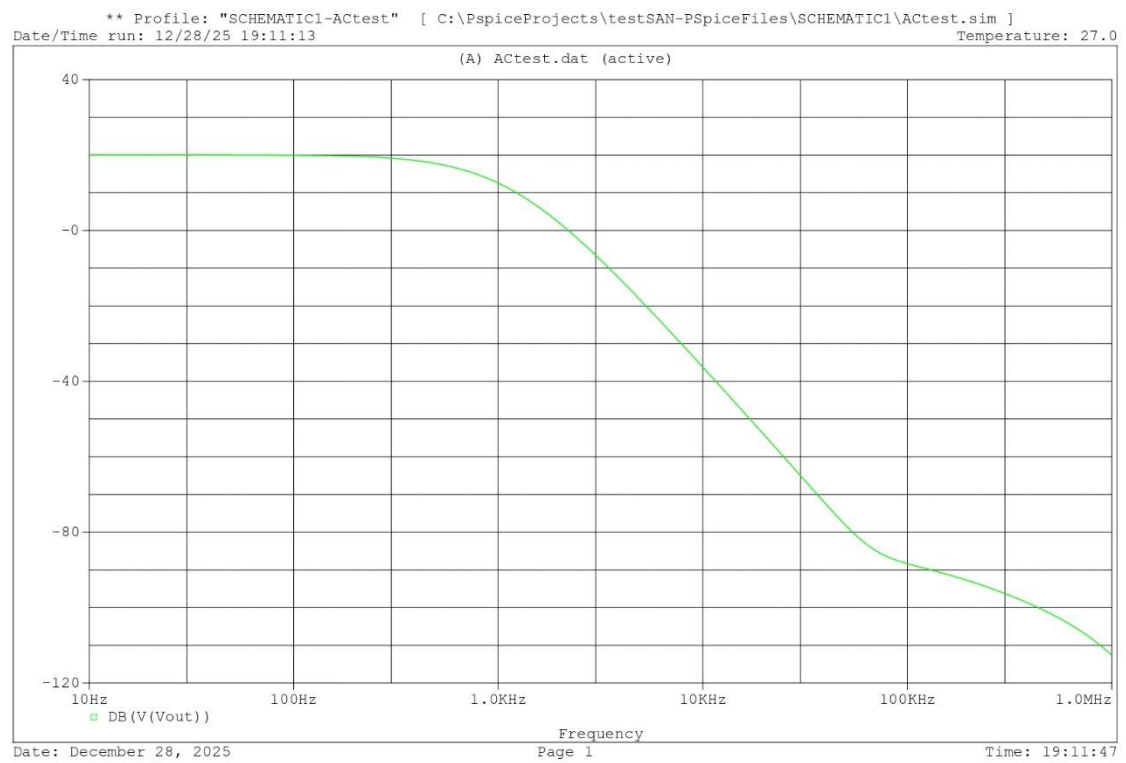


Figure 1.2

4.3. Gürültü Analizi (Noise Analysis)

Noise Analysis sonucunda, çıkış gürültü yoğunluğunun (V_{ONoise}) yaklaşık 275 nV seviyesinde kaldığı saptanmıştır. Bu düşük gürültü tabanı, yüksek çözünürlüklü ölçümler için uygundur.

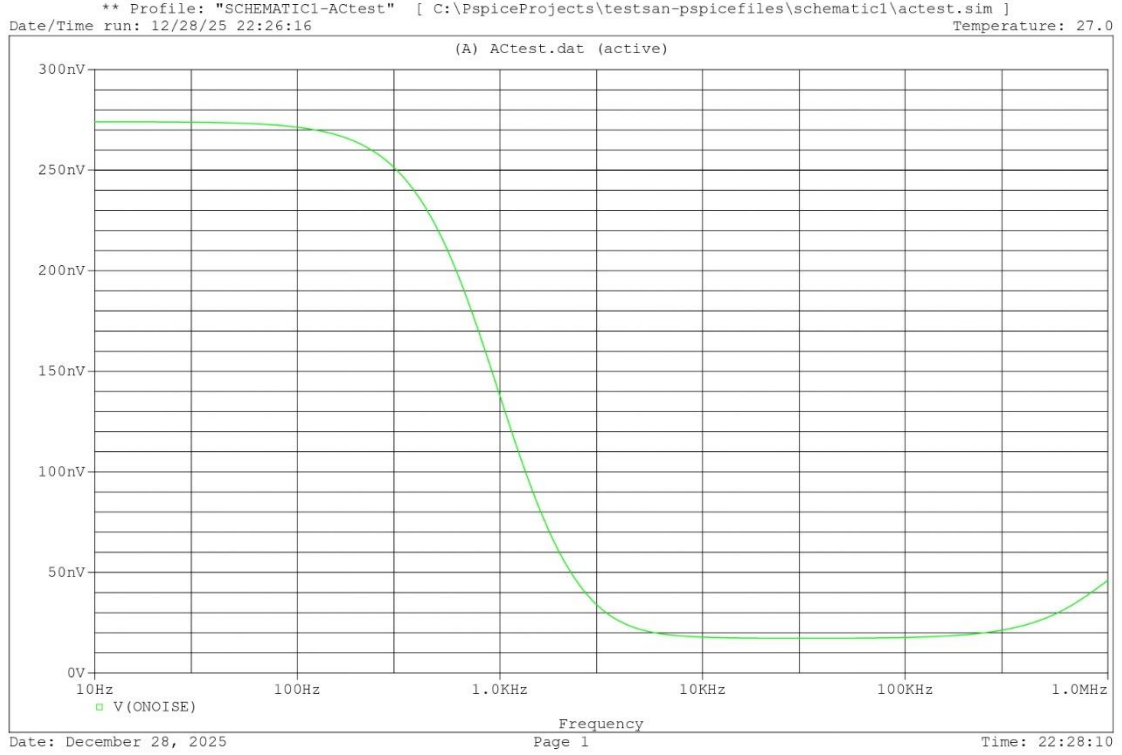


Figure 1.3

4.4. Monte Carlo Analizi (Hata Tolerans Analizi)

Gerçek üretim koşullarında direnç ve kondansatör gibi pasif bileşenler nominal değerlerinden belirli bir tolerans payı (%1 veya %5 gibi) kadar sapma gösterirler. Bu analizin amacı, bileşen değerlerindeki bu istatistiksel değişimlerin sistemin toplam performansı (özellikle kazanç ve kesim frekansı) üzerindeki etkisini gözlemlemektir.

Analiz Detayları:

- **Bileşen Toleransı:** Kritik dirençler (R20, R8, R9) %1 ve kapasitörler %5 tolerans ile tanımlanmıştır.

- **Simülasyon Sayısı:** 100 farklı üretim senaryosu (Run) simüle edilmiştir.

Gözlemler ve Sonuç: Yapılan analiz sonucunda, komponent değerlerindeki sapmalara rağmen aktif filtrenin kesim frekansının ve enstrümantasyon amplifikatörünün diferansiyel kazancının belirlenen güvenli sınırlar içerisinde kaldığı doğrulanmıştır. Bu durum, tasarımın seri üretim aşamasında yüksek tekrarlanabilirliğe ve savunma sanayii için kritik olan "Worst-Case" senaryolarına karşı yüksek dayanıma sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

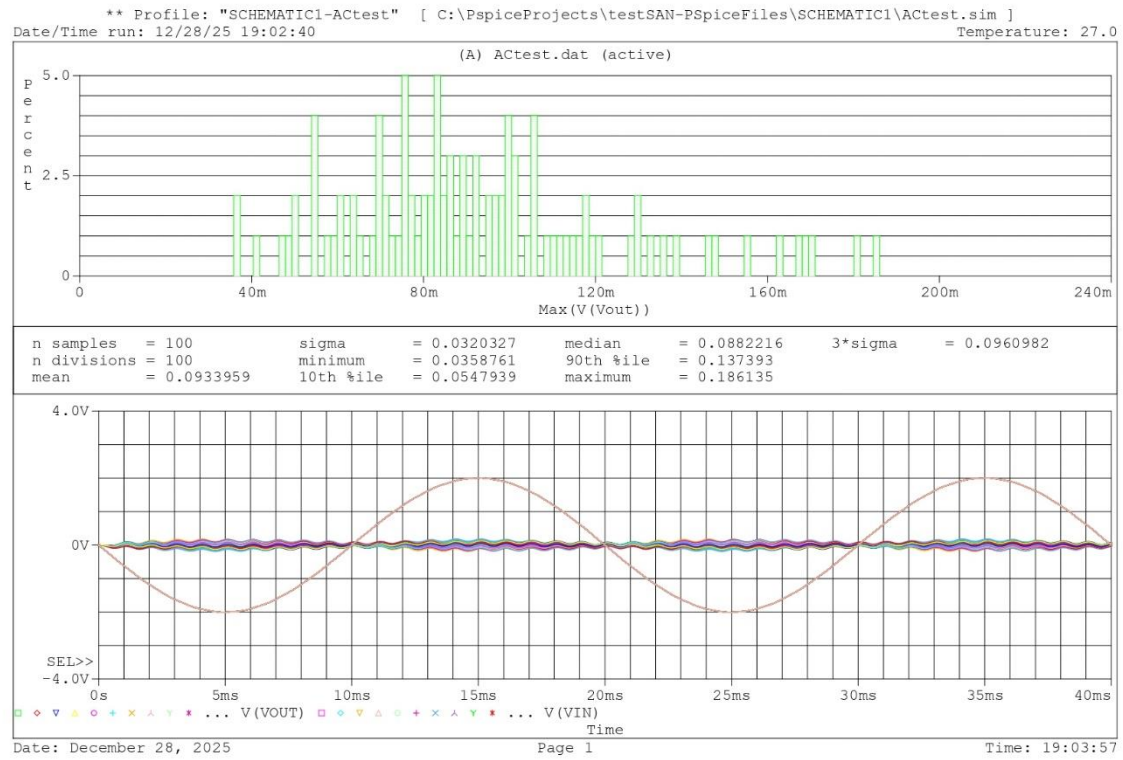


Figure 1.4

5. SONUÇ

Tasarım, gürültü bastırma performansı ve koruma katmanlarıyla güvenilir bir sensör arayüzü olduğunu kanıtlamıştır. Bu modül, radar sistemleri veya askeri sensör birimleri gibi kritik uygulamalarda ön-işleme katmanı olarak kullanılabilir.

6. PCB TASARIMI VE FİZİKSEL UYGULAMA

Projenin son aşamasında, PSpice üzerinde doğrulanmış olan devre şematiği KiCad ortamına aktararak fiziksel bir baskı devre kartına (PCB) dönüştürülmüştür. Tasarım sürecinde savunma sanayii standartları gereği sinyal bütünlüğü ve gürültü bağıışıklığı ön planda tutulmuştur.

6.1. Yerleşim Stratejisi (Component Placement)

- **Sinyal Akışı:** Kart yerleşimi, parazit etkileşimini minimize etmek adına soldan sağa lineer bir akışla (Giriş -> Koruma -> Yükseltme -> Filtre -> Çıkış) tasarlanmıştır.
- **Kritik Bileşen Gruplama:** Koruma diyotları (D1-D4) ve seri dirençler, dış ortamdan gelecek gürültüyü karta girdiği noktada sönümlemek amacıyla konnektörlere en yakın bölgeye yerleştirilmiştir.
- **Simetri:** Enstrümantasyon amplifikatörü katındaki diferansiyel yolların dengeli olması için pasif bileşenler simetrik bir düzende dizilmiştir.

6.2. Sinyal Bütünlüğü ve Gürültü Yönetimi (EMI/EMC)

- **Ground Plane (Toprak Düzlemi):** Kartın alt ve üst katmanları bakır alanlarla (Copper Zone) kaplanarak kesintisiz bir GND düzlemi oluşturulmuştur. Bu yapı, EMI (Elektromanyetik Girişim) etkilerini dramatik ölçüde azaltmaktadır.
- **Decoupling (Besleme Filtreleme):** Her bir op-amp'ın besleme pinlerine (VCC/VEE) fiziksel olarak en yakın noktaya 100nF kapasitörler yerleştirilerek yüksek frekanslı güç hattı gürültüleri filtrelenmiştir.
- **Yol Kalınlıkları:** Sinyal yolları hassasiyeti korumak adına optimize edilmiş, güç yolları ise düşük empedans sağlamak amacıyla daha kalın (Track Width) tutulmuştur.

6.3. Tasarım Doğrulama ve Üretilbilirlik (DRC)

- **Design Rules Checker (DRC):** Tasarım sonunda KiCad DRC aracı kullanılarak; kısa devre, açık yol, izolasyon mesafesi ve üretim toleransları (Clearance, Track Width) kontrol edilmiş, tüm tasarım hataları giderilmiştir.
- **Mekanik Detaylar:** Kartın dört köşesine standart M3 vidalarla uyumlu montaj delikleri eklenerek fiziksel sistemlere entegrasyonu kolaylaştırılmıştır.

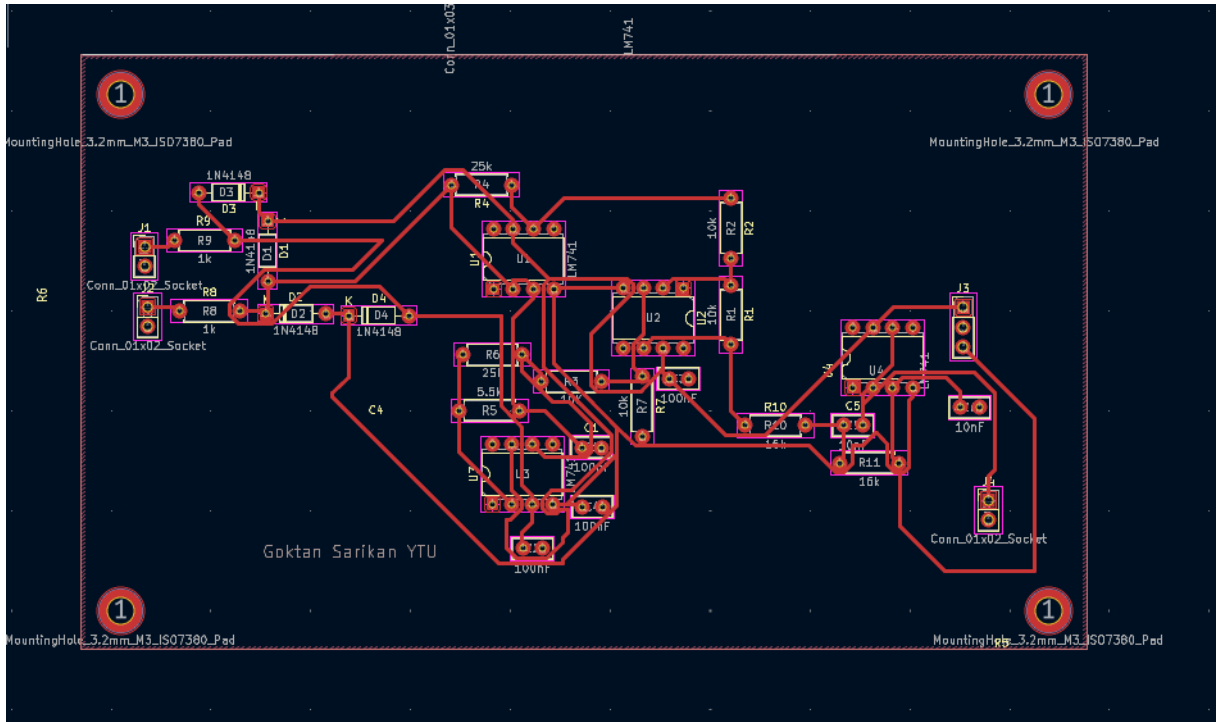


Figure 2.1

6.4. Final 3D Görselleştirme

Tasarım sonunda elde edilen 3D model, bileşenlerin fiziksel çakışmalarını kontrol etmek ve son kullanıcı prototipini görselleştirmek amacıyla oluşturulmuştur. Kart üzerine kurum/isim etiketi eklenerek profesyonel bir ürün kimliği kazandırılmıştır.

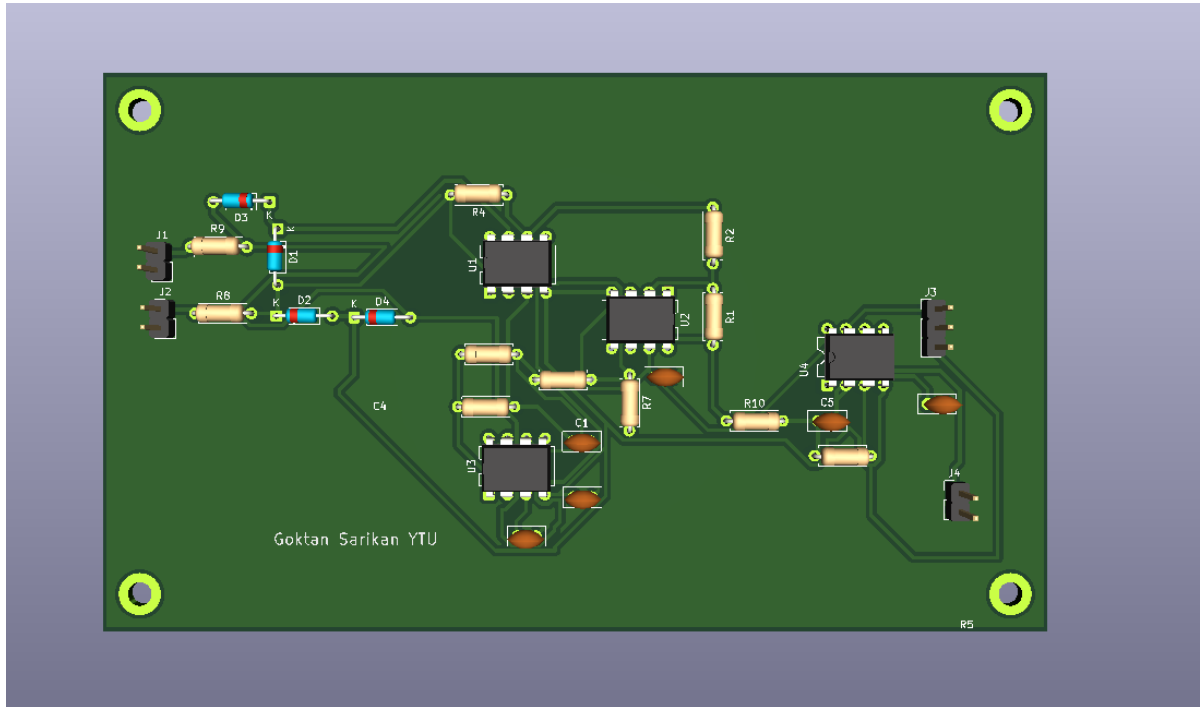


Figure 2.2

Bileşen Grubu	Parça Modeli / Değeri	Adet	Fonksiyon / Not
Operasyonel Amplifikatör	uA741 (DIP-8)	4	InA ve Aktif Filtre katları
Diyot	1N4148	4	Giriş Koruma (Clamping)
Dirençler (Hassas)	1k, 10k, 16k, 25k, 5.5k	11	Kazanç ayarı ve filtreleme
Kondansatör (Seramik)	100nF	4	Güç Hattı Filtreleme (Decoupling)
Kondansatör (Filtre)	10nF	2	Aktif LPF Katı

Parametre	Tasarım Hedefi / Değeri	Analiz Sonucu (PSpice)	Durum
Diferansiyel Kazanç	20 dB (10 Kat)	~20 dB	Doğrulandı
Kesim Frekansı (f_c)	1 kHz	1 kHz	Doğrulandı
Gürültü Yoğunluğu	Düşük (< 500 nV)	~275 nV	Başarılı
Koruma Eşiği	+/- 15.7V	+/- 15.7V Clamping	Güvenli

Parametre	Tasarım Hedefi / Değeri	Analiz Sonucu (PSpice)	Durum
Besleme Gerilimi	+/- 15V DC	Sabit Kararlılık	Kararlı