

# 3 Eksenli İHA Yer Test Platformu Enkoder Arayüz Birimi Tasarımı

## 1. Giriş

Bu rapor, 3 eksenli İHA (İnsansız Hava Aracı) Yer Test Platformu'nun mekanik eksenlerindeki açısal pozisyon verilerini yüksek çözünürlükle takip etmek amacıyla tasarlanan "Enkoder Okuma ve Haberleşme Modülü"nü kapsamaktadır. Platformun hassas kontrol döngüsünün (closed-loop) temelini oluşturan bu birim, üç farklı eksenden gelen mutlak konum verilerini eş zamanlı ve hatasız bir şekilde ana işlem birimine aktarmak üzere kurgulanmıştır.

Sistemin merkezinde, zorlu operasyonel koşullarda (manyetik gürültü, titreşim ve toz) kararlı çalışabilen **Fenac ASI 90** serisi induktif mutlak enkoderler yer almaktadır. Bu enkoderler, SSI (Synchronous Serial Interface) protokolü üzerinden 21 bit'e kadar çözünürlük sunarak platformun yönetim algoritmaları için kritik hassasiyette veri üretmektedir.

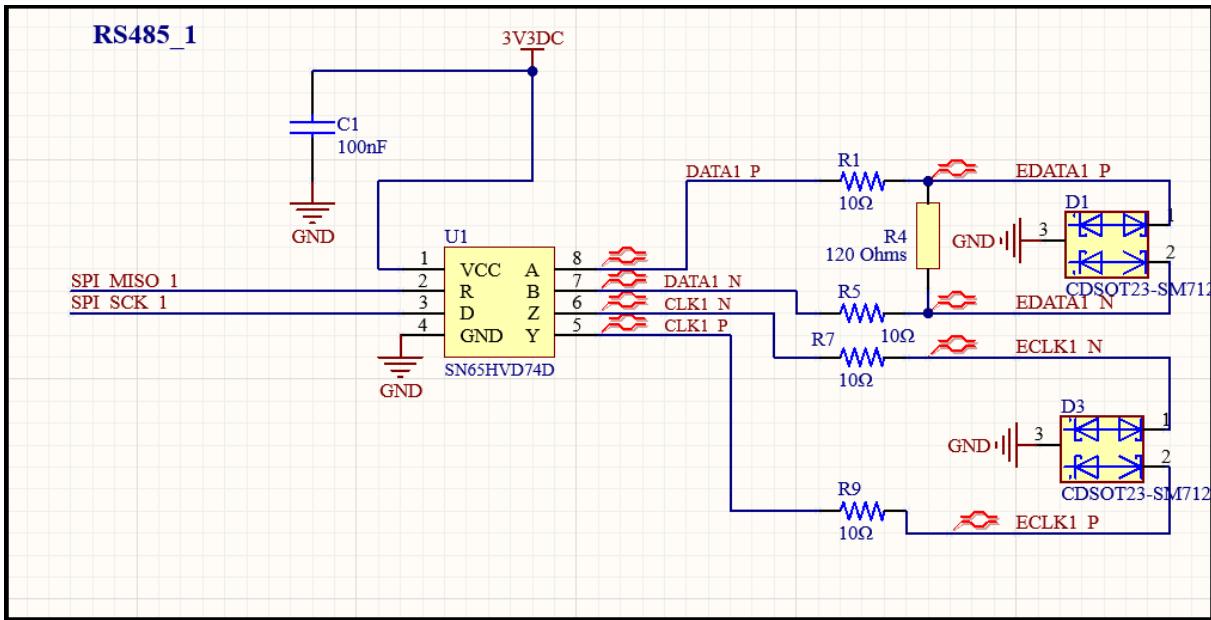
Haberleşme katmanında, SSI protokolünün gerektirdiği senkron saat ve veri iletimini uzun mesafelerde gürültüden etkilenmeden gerçekleştirebilmek adına **RS-485 (TIA/EIA-485)** standartları benimsememiştir. Tasarlanan devre, üç bağımsız eksen için üç özdeş haberleşme kanalından oluşmaktadır. Her kanal, mikrodenetleyicinin tek uçlu (single-ended) sinyallerini diferansiyel sinyallere dönüştüren ve tam çift yönlü (full-duplex) veri akışına izin veren **SN65HVD74D** yüksek hızlı transceiver üniteleriyle donatılmıştır.

Modül tasarıımı; sinyal bütünlüğünü korumak için diferansiyel hat empedans uyumu, endüstriyel standartlarda ESD (Elektrostatik Deşarj) koruması ve düşük gürültülü güç regülasyonu kriterleri gözetilerek optimize edilmiştir.

## 2. Donanım Mimarisi ve Bileşen Seçimi

Sistemin veri toplama hızı ve sinyal bütünlüğü, kullanılan bileşenlerin karakteristik limitleri doğrultusunda optimize edilmiştir:

- Haberleşme Arayüz Kapasitesi:** Tasarımda yer alan **SN65HVD74D** transceiver üniteleri, donanımsal olarak **12 Mbps** veri hızına kadar tam çift yönlü (full-duplex) iletişim desteği sunmaktadır. Bu yüksek bant genişliği kapasitesi, sistemin çalışma frekansındaki sinyal yükselme/düşme zamanlarını iyileştirmek gürültü bağılığına katkı sağlar.
- SSI Protokol Frekansı:** Geri besleme birimi olarak kullanılan mutlak enkoderler, SSI protokolü üzerinden maksimum **2 MHz** saat (clock) frekansını desteklemektedir. Bu durum, sistemin operasyonel hız limitini belirleyen ana unsurdur ve haberleşme hattı bu frekansta kararlı çalışacak şekilde tasarlanmıştır.
- Güç Regülasyon Birimi:** Algılama ve haberleşme katmanlarının 3.3V lojik seviye ihtiyacını karşılamak üzere **AMS1117-3.3** tabanlı bir regülatör devresi kullanılmıştır. Giriş ve çıkış hatlarındaki **22 µF** elektrolitik ve **100 nF** seramik kapasitörler, voltaj dalgalanmalarını filtreleyerek hassas verinin kararlılığını korur.



### 3. Şematik Tasarım Detayları

Şematik tasarımda, yüksek hızlı diferansiyel sinyallerin korunması ve yansımaların önlenmesi için şu stratejiler uygulanmıştır:

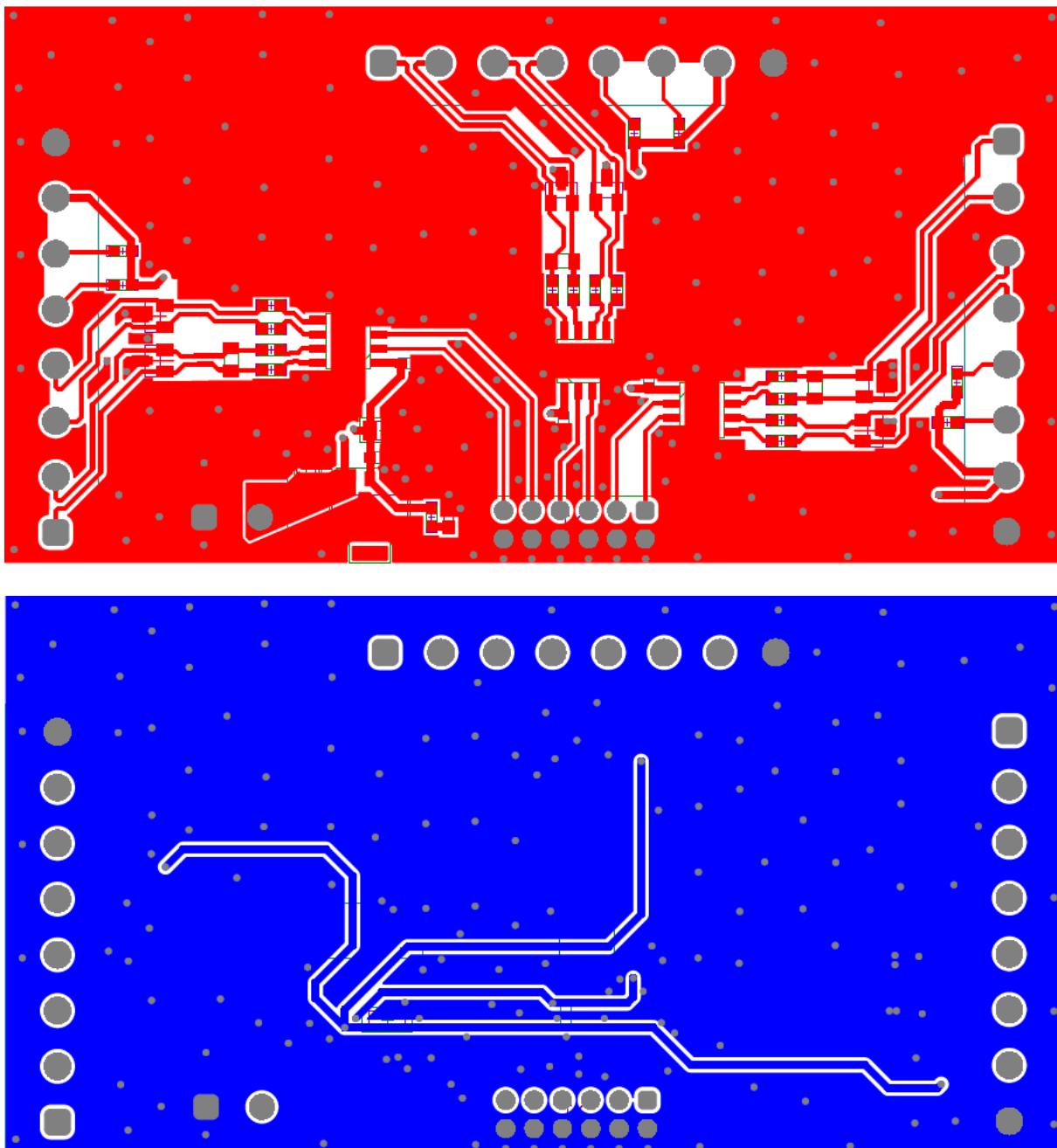
- SSI Protokol Senkronizasyonu:** Haberleşme, enkoderin mutlak pozisyon verisini iletmek için ihtiyaç duyduğu senkron saat sinyali (Clock) ve bu sinyale bağlı veri (Data) hatları üzerinden diferansiyel olarak yürütülür.
- Hat Kararlılığı ve Empedans Uyumu:**
  - Terminasyon:** Diferansiyel veri hatlarının alıcı uçlarına yerleştirilen **120 Ω** dirençler, sinyal yansımalarını önleyerek veri bütünlüğünü sağlar.
  - Sönümleme Dirençleri:** Hatlar üzerine seri olarak eklenen **10 Ω** dirençler, özellikle **2 MHz** frekansındaki kare dalga geçişlerinde oluşabilecek aşım (overshoot) etkilerini bastırır ve empedans uyumunu destekler.
- Elektriksel Koruma Katmanları:**
  - ESD Koruma:** Tüm dış hat girişleri, **CDSOT23-SM712** TVS diyon dizileri ile donatılmıştır. Bu koruma katmanı, sistemi ±30 kV'a kadar olan elektrostatik deşarj darbelerine karşı güvence altına alır.
  - Besleme Filtreleme:** Transceiver ünitelerinin VCC pinlerine komşu yerleştirilen 100 nF bypass kapasitörleri, anahtarlama gürültülerini sönmeler.

### 4. Layout Tasarımı

#### 4.1. Diferansiyel Hat Yönlendirmesi ve Empedans Uyumu

SSI haberleşmesini yürüten saat ve veri hatları, elektromanyetik girişimi (EMI) minimize etmek ve sinyal kalitesini artırmak amacıyla diferansiyel çiftler halinde yönlendirilmiştir.

- İz Genişliği ve Aralığı:** Hatların karakteristik empedansını korumak adına iz genişlikleri ve hatlar arası mesafe tasarım boyunca sabit tutulmuştur<sup>33</sup>.
- Uzunluk Eşitleme:** Diferansiyel hatlar arasındaki faz farkını önlemek için her bir çiftin fiziksel uzunlukları birbirine eşitlenmiştir.
- Simetri:** Sinyallerin gürültü bağışıklığını maksimize etmek için hatlar mümkün olduğunda simetrik ve birbirine yakın konumlandırılmıştır.



#### 4.2. ESD Koruma ve Sinyal Bütünlüğü

Sistemi dış ortamdan gelecek elektriksel şoklara karşı korumak için kullanılan CDSOT23-SM712 TVS diyonları, stratejik olarak konumlandırılmıştır.

- Konnektör Yakınlığı:** Koruma diyonları, dış hatların giriş yaptığı P1, P2 ve P3 konnektörlerinin hemen çıkışına yerleştirilmiştir. Bu sayede olası bir statik deşarj, hassas transceiver entegrelerine ulaşmadan doğrudan toprağa (GND) tahliye edilir.
- Direnç Yerleşimi:** Seri  $10\Omega$  sönümleme dirençleri ve  $120\Omega$  terminasyon dirençleri, transceiver pinlerine ve hat uçlarına yakın yerleştirilerek sinyal yansımalarının ve aşım etkilerinin önüne geçilmiştir.

#### 4.3. Güç Dağıtımı ve Regülatyon Katı

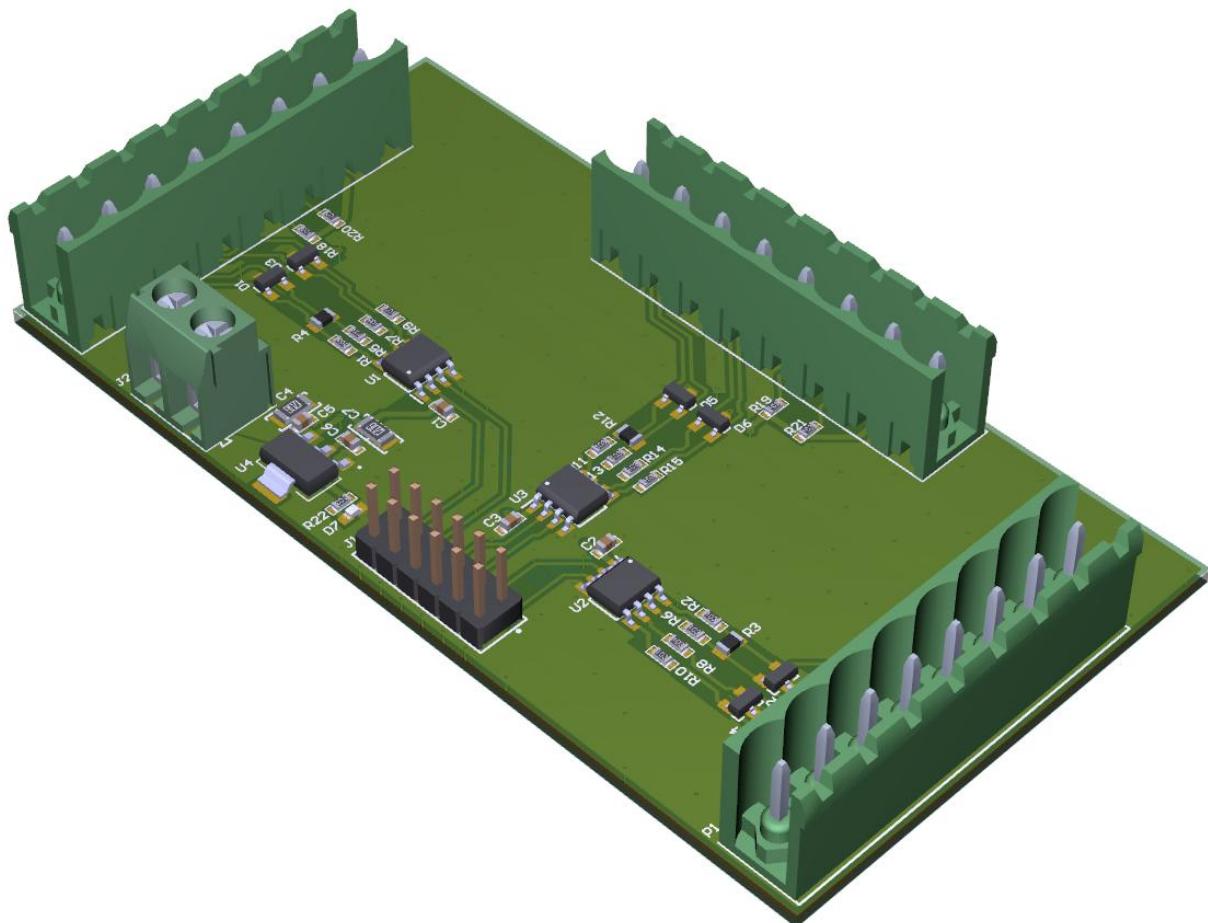
AMS1117-3.3 regülatör katı, haberleşme birimlerine temiz ve kesintisiz enerji sağlamak üzere optimize edilmiştir.

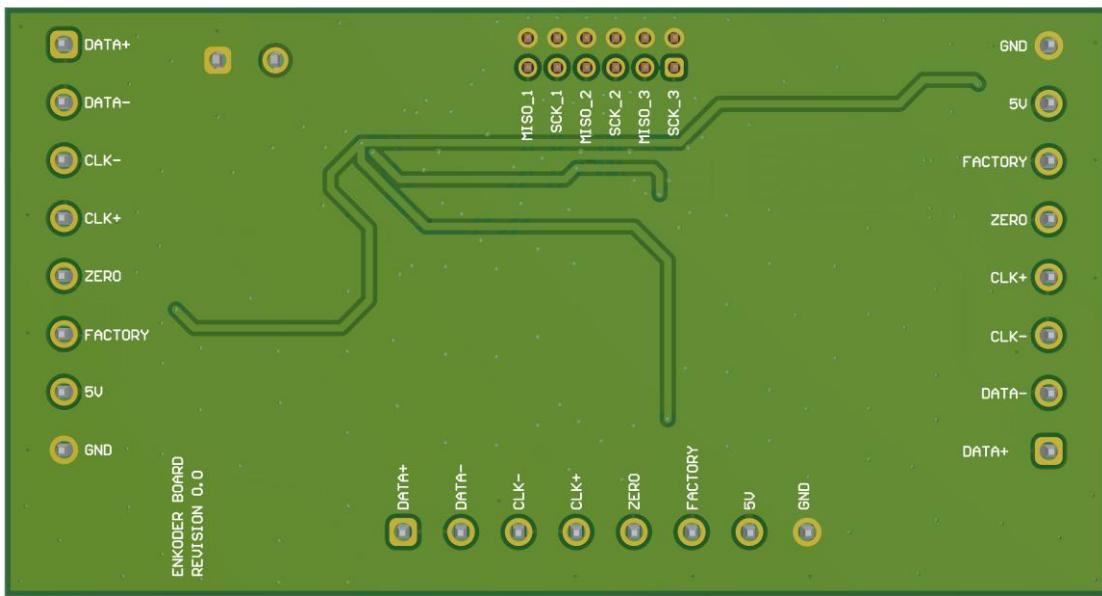
- **Bypass Kapasitörleri:** Regülatörün giriş ve çıkışındaki  $22 \mu\text{F}$  ve  $100 \text{nF}$  kapasitörler, pinlere en yakın mesafeye yerleştirilerek yüksek frekanslı gürültülerin filtrelenmesi sağlanmıştır<sup>10</sup>.
- **Besleme Yolları:** Transceiver ünitelerinin VCC hatları, düşük empedans sağlayacak şekilde genişletilmiş yollarla beslenmiştir.

#### 4.4. Topraklama ve Termal Yönetim

İHA platformundaki motor sürücülerinden kaynaklanabilecek yüksek frekanslı gürültüleri bastırmak için gelişmiş topraklama teknikleri uygulanmıştır:

- **Kesintisiz GND Düzlemi:** PCB'nin alt katmanı, sinyaller için düşük empedanslı bir dönüş yolu sağlamak amacıyla geniş ve kesintisiz bir toprak düzlemi olarak tasarlanmıştır.
- **GND Stitching:** Üst ve alt katmanlardaki toprak alanları, kartın geneline yayılan çok sayıda via ile birbirine dökülmüş potansiyel farkları ve toprak döngüsü oluşumu engellenmiştir.
- **Termal Dağılım:** Regülatörün ve transceiver ünitelerinin altındaki toprak alanları geniş tutularak ısıl enerjinin PCB yüzeyine etkin dağılımı sağlanmıştır.





## 5. Devre Çalışma Prensibi Özeti

Enkoder okuma modülü, platformun kapalı döngü kontrolü için gerekli olan yüksek hassasiyetli mutlak konum verisini ana işlem birimine aktaran kritik veri köprüsü görevini görür. Sistem, SN65HVD74D transceiver üzerinden tam çift yönlü (full-duplex) haberleşme sağlayarak, enkoderin 21-bit çözünürlüğündeki verisini SSI protokolü ile gürültüden arındırılmış bir şekilde ileterir. Tasarlanan ESD koruma katmanları ve düşük gürültülü regülasyon yapısı, İHA üzerindeki elektromanyetik girişimlere rağmen verinin sürekliliğini ve doğruluğunu garanti eder.