

## HAVA ARAÇLARINDA EMI PROBLEMİ VE RADAR ALTIMETRE

Başak TULAY ARSLAN  
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ.  
Fethiye Mah., Havacılık Blv., 06980, Akıncı  
Ankara  
[btulay@tai.com.tr](mailto:btulay@tai.com.tr)

**Özet:** *Elektromanyetik Girişim (EMI) sistemlerin bir arada elektromanyetik açıdan uyumlu bir şekilde çalışması için tasarım sürecinin en başından itibaren ele alınması gereken bir konudur. Bu çalışmada, bir uçağın aviyonik modernizasyon projesi kapsamında karşılaşılan EMI probleminin çözülmesi için yapılan aktiviteler detaylandırılmaktadır.*

**Abstract:** *Electromagnetic interference (EMI) is a subject which should be handled by the beginning of the design process to work of the systems together as electromagnetically compatible. In this paper, the activities are detailed to solve electromagnetic interference (EMI) problem in the scope of an aircraft avionic modernization project.*

### 1. Giriş

Elektromanyetik Girişim (EMI), aynı ortamda yer alan bir sistemin oluşturduğu istemsiz bir voltaj veya akımın başka bir elektrikli sistemin performansında azalmaya neden olması olarak tanımlanabilir. Ürün geliştirme fazı sırasında elektromanyetik girişim (EMI) ve uyumluluk (EMC) konusu göz önüne alınırsa hem ürün kalitesi artar hem de zaman ve maliyet etkinliği elde edilir. EMC'nin göz önüne alınmaması bazı durumlarda sadece maliyet getirmez, ölümcül kazalara da sebep olabilir. Buna verilebilecek belki de en trajik örnek HMS Sheffield donanmasının Falkland Savaşı sırasında yaşadıklarıdır. Geminin uydu haberleşme sistemi (SATCOM) füze ikaz sistemi ile uyumlu değildir. Sheffield, SATCOM üzerinden İngiltere'deki donanma ile konuşmak için füze ikaz sistemini kapattığı sırada Exocet füzesi tarafından vurulmuştur [1].

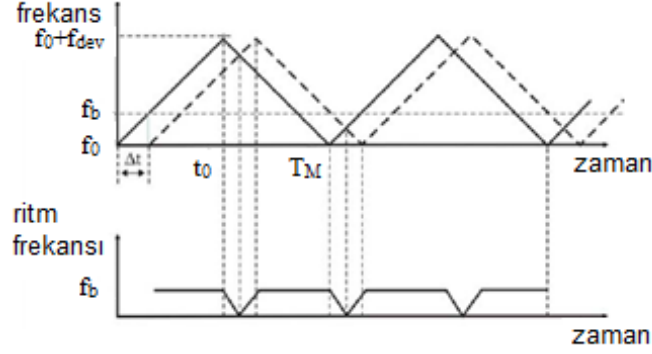
Hava aracı sistemlerinin de bir arada uyumlu bir şekilde çalışabilmesi için önem arz eden EMI/EMC konusu, projelerin ön tasarım aşamalarından itibaren ele alınmalıdır. Hava aracı projelerinde yer alan EMI gereksinimleri tasarım, analiz ve test gibi yöntemler ile doğrulanır. Hava araçlarında elektromanyetik uyumluluğu (EMC) sağlayabilmek için EMI çevresel standartları ile uyumlu sistemleri seçmek önem arz etmekte birlikte yeterli gelmemektedir [2]-[3]. Bu nedenle kablolama, topraklama, bağlama, filtreleme ve kablo güzergâhlarını belirleme, hava araçlarında karşılaşılabilecek EMI problemlerini çözmek için kullanılan yöntemlerden bazılarıdır. Bu çalışmada bir aviyonik modernizasyon projesinde karşılaşılan elektromanyetik girişim (EMI) probleminin analiz edilmesi ve çözüm yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmalar yer almaktadır.

Aviyonik modernizasyon projelerinde genel olarak hava aracında yer alan eski analog sistemler, yeni digital göstergeler ve bilgisayarlarla değiştirilmekte, son teknoloji aviyonik ürünler platforma entegre edilmektedir. Çoğu zaman hava aracının mevcut uçak sistemleri (güç sistemi, elektrik sistemi, uçuş kontrol sistemi vs.) değiştirilmemektedir. Bu noktada yeni, elektromanyetik açıdan hassas sistemler ile eski teknoloji sistemlerin bir arada çalışması zaman zaman EMI problemlerine neden olabilmektedir. Projelerde yer alan sistem gereksinimlerinin de yer ve uçuş testleri ile doğrulanması gerekir. Bu çalışmada ele alınan aviyonik modernizasyon projesinde uçağa entegre edilen yeni sistemlerden birisi ALT-4000 radar altimetre sistemidir. Radar altimetre sistemi irtifa bilgisini diğer sistemlere sağlamaktadır. Projede gerçekleştirilen uçuş test doğrulama faaliyetleri sırasında TAWS –Terrain Avoidance and Warning System- sisteminden, 4000 – 6000 feet irtifa aralığında değişik seviyeler için (1000, 400, 50 feet vb.) istemsiz “irtifa” (Altitude Call Out) uyarısı alınmıştır. Yapılan incelemeler sonucu, sorunun kaynağının radar altimetre sistemi tarafından üretilen hatalı yükseklik verisi olduğu tespit edilmiştir. Bu hatalı okuma sadece 4000 – 6000 ft AGL (Above Ground Level) bandında, düz uçuş veya farklı yatış açılarında, anlık olarak meydana gelmektedir.

### 2. Radar Altimetre

İrtifa, hava araçları için en önemli parametrelerden birisidir. Altimetre ise hava araçlarında yerden yükseklik bilgisini tespit eden bir algılayıcıdır. Radar, lazer ve yeryüzünden yansıyan elektromanyetik veya akustik

dalgalar gibi farklı fiziksel disiplinlerle uçuş irtifası elde edilebilir. Radar altimetre yerden yansıyan sinyaller ile irtifa bilgisini hesaplayabilen düşük güçlü bir radar sistemidir. Diğer radar sistemlerinde olduğu gibi hedefe gidip dönen sinyalin yolu aldığı zaman bilgisinden mesafeyi hesaplar. Radar altimetrelerde sürekli (CW) veya darbe dalga gibi farklı dalga şekilleri kullanılabilir. Darbe altimetreler, 5000 feet (1500 metre) üzeri irtifalar için daha sık kullanılır. Sürekli dalga ile çalışan altimetreler ise alçak irtifalar için tercih edilir. FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) ise bu sürekli sinyalin frekans modülasyonu kullanılarak elde edilmiş halidir. FMCW tekniğinde, üretilen sabit güçlü fakat frekansı doğrusal olarak değişen sinyaller ile hedeften (yerden) yansıyan sinyallerin karıştırılması sonucunda ortaya çıkan fark sinyali mesafeye bağımlı olarak değişen düşük frekanslı bir sinyaldir ve mesafe bilgisi bu sinyalden elde edilir. Şekil 1, FMCW tekniğinde frekans ve zaman ilişkisini göstermektedir [4].



Şekil 1. FMCW Tekniğinde Frekans ve Zaman İlişkisi.

Bir sinyali modüle etmenin en kolay tekniklerinden birisi modülasyon periyodunun ( $T_M$ ) yarısı kadar bir zamanda sinyali lineer olarak başlangıç değerine ( $f_0$ ) göre artırmak ( $f_{max}$ ) ve periyodun diğer yarısında yine frekansı azaltmak şeklindedir.

$$f_{min}=f_0 \quad (1)$$

$$f_{max}=f_0+f_{dev} \quad (2)$$

Ritim frekansı olarak da tanımlanan  $f_b$  (beat frequency), gönderilen ve alınan frekanslar arasındaki farktır. Ritim frekansı hedeften yansıyan sinyalin zaman farkına bağlıdır. Şekil 1'deki geometrik özelliklerden  $\Delta t$  ( $t_d$ ) 'nin  $T_M/2$ 'ye oranının  $f_b$ 'nin  $f_{dev}$ 'e oranına eşit olduğu gözlenmektedir.

$$t_d=T_M f_b / 2 f_{dev} \quad (3)$$

Hedefe gidip dönen sinyalin aldığı yol, hızı ( $c$ ) ve mesafe ile doğru orantılıdır.

$$t_d=2H_g/c \quad (4)$$

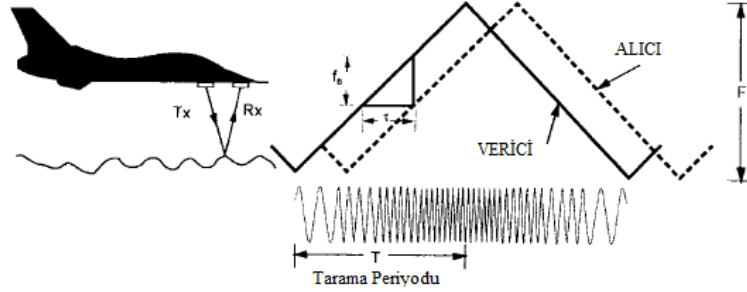
$$H_g=c T_M f_b / (4 f_{dev}) \quad (5)$$

Bu düşük frekanslı ritim frekansının ( $f_b$ ) irtifa bilgisi ( $H_g$ ) ile orantılı olduğu gözlenmektedir.  $K$  sabiti, FMCW radar dalga şekline (üçgen, lineer vs.) bağlı bir sabitken ritim frekansı aşağıdaki formül ile ifade edilebilir [4].

$$f_b=K c^{-1} T_M^{-1} f_{dev} H_g \quad (6)$$

Bir aviyonik modernizasyon projesi kapsamında, hava aracına ALT-4000 Radar Altimetre sistemi entegre edilmiştir. Bu sistem, uçuş boyunca 2500 ft'e kadar yerden yükseklik bilgisini sağlamaktadır. Sistem, bir ünite (alıcı/verici) ve 2 adet (alıcı ve verici) antenden meydana gelmektedir. Antenler uçağın alt gövdesine sağlı sollu veya önlü arkalı olarak yerleştirilebilmektedir. Radar altimetre antenleri yüzeye monte, hafif ve küçük boyutlu, lineer polarizasyonlu ve genellikle 10 dBi kazançlı antenlerdir. Entegrasyon sırasında antenlerinin yönü, alıcı ve verici anten arasındaki minimum mesafe, topraklama için kullanılacaksa iletken conta, anten ve alıcı/verici ünite arasında yer alan coax kablo tipi ve boyu dikkat edilmesi gereken konulardır. Bunun yanında alıcı/verici ünite düşük seviyeli analog sinyaller ve ARINC 429 gibi digital sinyaller ile çalışmaktadır. Bu sinyalleri taşıyan kabloların ekranlanması, ekranların sonlandırılması ve cihaz ile uçak yüzeyi arasındaki elektriksel iletkenliği

sağlamak için cihazın topraklanması (grounding) ve bağlanması (bonding) ise tasarım sırasında yine dikkatle ele alınması gereken konulardır. ALT-4000, RTCA DO-160C çevresel kalifikasyona sahip bir üründür ve FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) prensibi ile çalışmaktadır. Şekil 2, radar altimetre çalışma prensibini göstermektedir.



Şekil 2. Radar Altimetre Çalışma Prensibi.

### 3. Hava Aracında EMI Problemi ve Çözüm Yöntemleri

Aviyonik modernizasyon projesi uçuş testlerinde istemsiz ve anlık olarak gözlenen irtifa hatası nedeni ile radar altimetre alıcı/verici ünitesi ve antenleri üzerinde bağlama, topraklama ve kablolama kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Uçuş test sırasında yapılan ölçümler ile sisteme ait alıcı ve verici antenler arasında 80 dB bağlaşım (coupling) ölçülmüştür. Hatanın alıcı ve verici antenler arasındaki bağlaşımından (coupling) kaynaklanmış olabileceği değerlendirilerek antenler arasındaki mesafe artırılmış ve her bir antene 3'er derecelik açı verilerek aralarındaki bağlaşım değeri azaltılmıştır. Antenler yenileri ile değiştirilerek bonding değerleri ve anten ile uçak yapısı arasında yer alan ve topraklamayı sağlayan iletken conta kontrol edilmiştir. Radar altimetre alıcı/verici ünitesi ile antenleri arasındaki kablo tipi daha kayıpsız bir kablo ile değiştirilmiş, kablo güzergâhı yenilenecek daha kısa hale getirilmiştir. Bu kontrol ve değişikliklere rağmen cihaz aynı yükseklik bandında anlık olarak hatalı yükseklik verisi üretmeye devam etmiştir.

Sistem kontrollerinin tamamlanmasının ardından problemin EMI kaynaklı olduğu değerlendirilmiş ve bu kapsamda olası bir RF (radyo frekansı) etkileşimi tespit edebilmek amacıyla uçağın gövde altında yer alan ve radar altimetre çalışma frekansına (4.2-4.4 GHz) etki edebilecek RF yayın yapan sistemler tek tek kapatılarak test tekrarlanmış ancak sorunun devam ettiği gözlenmiştir. Sonrasında yapılan testler ile hatalı yükseklik verisinin ALT-4000 yanında yer alan ve elektrik sistemine ait olan TRU (Transformer Rectifier Unit) cihazından kaynaklandığı anlaşılmıştır. 60A gibi yüksek bir akım çeken ve 400 Hz'de çalışan TRU cihazı, ALT-4000 cihazının alıcı girişinde düşük frekanslı ve kablo yolu ile iletilen bir gürültü sinyali oluşturmaktadır. 4000-6000 feet irtifa aralığında yerden yansıyan sinyal 4.3 GHz'de 106.8 dB ile 110.4 dB (free space loss) zayıflamaya uğrar. TRU'dan kaynaklanan gürültü sinyali, irtifa bilgisi ile doğru orantılı ve düşük frekanslı ritim frekansını (fb) etkileyerek hatalı yükseklik verisi oluşmasına neden olmuştur. Daha alçak irtifalarda, gerçek sinyalin gürültü sinyaline oranı (SNR) daha yüksek olduğu için radar altimetre doğru irtifa bilgisi üretmeye devam etmektedir. TRU'dan kaynaklanan etkileşimi azaltabilmek için radar altimetre uçak üzerinde 4 farklı yere yerleştirilmiştir. 4 yerleşimde de sorunun tamamen ortadan kalkmadığı ancak bir bölgede hatalı yükseklik okuma sıklığı ve okunan değerler arasındaki farklılığın en aza (1000 feet üzerinde) indiği gözlenmiştir. Elde edilen bu bilgi ile ekstra filtreleme yapmak amacıyla (SNR-Signal to Noise ratio- değerini azaltmak için) radar altimetre alıcı girişine 6 dB zayıflatıcı eklenmiş ve uçuş testlerinde EMI probleminin tamamen ortadan kalktığı gözlenmiştir.

### 4. Kaynaklar

- [1]. Tim Williams, "EMC for Product Designers", Newnes, 1992
- [2]. MIL STD 461, "Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment", Department of Defence, USA, 2007
- [3]. RTCA DO 160, "Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment", USA, 2007
- [4]. Alexander V. Nebylov ve Felix J. Yanovsky, "Radar Altimeters," Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Rusya, National Aviation University, Kiev, Ukrayna