

TÜRK AVİYONİK SİSTEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ VE UÇAK ÜZERİ ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNE BİR BAKIŞ

Ahmet Engin Yılmaz

Elektrik-Elektronik Yüksek Mühendisi, Tasarım Direktörü

aengin.yilmaz@savronik.com.tr

Türkiye'nin Savunma Sanayi Yolculuğu

1974 yazında, Akdeniz'in mavi sularında dalgalar yalnızca kıyıya değil, Türkiye'nin kaderine de vuruyordu. Kıbrıs Barış Harekâtı, yalnızca askeri bir müdahale değil, Türkiye için de bir dönüm noktasıydı. Türk askeri güçleri Girne sahiline çıkarken, Ankara'da başka bir savaş başlıyordu: **Savunma Sanayi'nde Bağımsızlık Mücadelesi**. Çünkü o günlerde Türkiye, kullandığı silahları, mühimmatları ve hatta uçak parçalarını bile ithal ediyordu. Harekâttan kısa süre sonra Amerika'nın uyguladığı ambargo, bu gerçeği acı bir şekilde hatırlattı. Amerika'nın uyguladığı bu durum diğer Avrupa ülkelerinin de benzer uygulamaları yürürlüğe koymasına öncülük etti.

Silahlar sustuğunda, barış sağlandığında, Türkiye susmadı. Ambargolar, Ankara'nın kapılarını zorla çaldığında, içeriden yükselen ses **"Kendi göbeğimizi kendimiz keseceğiz!"** oldu. Aslında bu ses, bir milletin geleceğini şekillendirecek mühendislerin, askerlerin ve siyasetçilerin bir haykırışıydı. İşte tam da bu süreçte, bugün Türkiye'nin savunma sanayisinin bel kemiğini oluşturan kurumlar birer birer filizlenmeye başladı. Devlet desteği ile 70'lerin sonları ve 80'lerin ortasında ASELSAN, TUSAŞ, HAVELSAN ve ROKETSAN gibi kuruluşlar, geleceğin teknolojilerini, platformlarını tasarlamak ve üretmek için kolları sıvadı.

Daha sonraları devlet otoriteleri, özel sektörde görev alan büyük şirketlerin de bu süreçte dâhil edilmesini talep ettiler. Savronik Elektronik de 1986'da Eskişehir merkezli olarak 1.Hava İkmal Merkezi'nde bulunan F-16 savaş uçak aviyonik ürünlerinin bakım-onarım, sonrasında da yeni ekipmanlar tasarlanıp üretilmesi için kurulmuş yerli ve milli bir teknoloji şirketi olmuştur. Günümüzde kara, hava ve deniz platformlarının hepsinde haberleşme, güç sistemleri vb. alanlarda faaliyetlerini genişleterek sürdürmektedir.

O yıllarda Savunma Sanayi şirketleri, önce taklit etmeyi, sonra geliştirmeyi, en sonunda da kendi özgün tasa-

rımlarını yapmayı öğrendi. İlk başta yabancı lisanslarla montajlar yapıldı ama asıl amaç tamamen yerli üretim ve tasarımıydı. Bu süreçte yaşanan zorluklar, yalnızca teknik değildi; kamuoyunun da bu değişime inanması gerekiyordu. Çünkü yıllarca yabancı teknolojiye bağımlı olmak, bir refleks haline gelmişti. Ancak 1990'lardan itibaren, Ar-Ge yatırımları ve uzun vadeli projelerle birlikte Türkiye'nin kendi ayakları üzerinde durabileceği görülmeye başlandı.

Savunma sanayindeki bu uyanış, küresel dengeleri de değiştirdi. Türkiye, artık dışa bağımlı bir alıcı olmaktansa teknoloji üreten bir aktör olma yolunda ilerliyordu. 2000'li yıllarda, özellikle elektronik harp, haberleşme, aviyonik, radar sistemleri ve füze teknolojilerinde büyük adımlar atıldı. İnsansız hava araçları ile özgün olarak geliştirilen diğer hava araçları gökyüzünde süzölmeye başladı...

Türkiye'nin Yeni Nesil Aviyonik Sistemleri ile Geliştirilen Hava Platformları

Son yıllarda Türkiye, savunma sanayi alanında büyük atılımlar gerçekleştirerek modern aviyonik sistemler geliştirme konusunda önemli bir yol kat etti. Aviyonik sistemler, askeri ve sivil hava platformlarının beyni olarak kabul edilirken, Türkiye Savunma Sanayi'si bu alanda dışa bağımlılığı azaltmak için büyük yatırımlar yapmıştır.

Yeni teknolojiler geliştirme sürecinde hem hazır alımlar gerçekleştirilmiş hem de özgün platform geliştirme projeleri devreye alınmaya başlanmıştır. 2000'li yılların ortalarında İsrail'den Heron İnsansız Hava Araçları (İHA) için sipariş verilirken Özgün TİHA (Türk İnsansız Hava Aracı) projesi de devreye alınmıştır. Bu aslında teknoloji geliştirmek için önemli bir adımdı. Benzer şekilde Güney Kore'de faaliyet gösteren KAI firmasından KT-1 Temel Eğitim Uçağı alımı gerçekleştirilirken; uzun yıllar sonra ilk defa Türkiye'de tasarım ve teknoloji geliştirilmesi sağlanan HÜRKUŞ-A Temel Eğitim Uçağı'nın gökyüzü ile buluşması sağlanmıştır. Bunun

sonrasında da ANKA İHA, AKSUNGUR İHA, Bayraktar TB2, Bayraktar Akıncı İHA, Gökbeş Genel Maksat Helikopter, Bayraktar Kızılelma İnsansız Savaş Uçağı ve HÜRJET Jet Motorlu Eğitim Uçağı projeleri hayata geçirilerek Türk Savunma Sanayi'ne kazandırılmıştır. Bu platformlar, bulunduğumuz dönemde Türkiye'nin aviyonik alanındaki bağımsızlığını pekiştirmektedir.

Bu platformlara Türkiye'nin önde gelen saygın TSK Güçlendirme Vakfı savunma sanayi şirketleri ile özel sektörde son dönemde ihracat rekorları kıran savunma sanayi şirketleri bünyesinde özgün bir şekilde geliştirilen modern aviyonik sistemler, akıllı kokpit teknolojileri, elektrik güç sistemleri, görsel ve çoklu fonksiyon ekranları ile ileri seviye haberleşme sistemleri entegre edilmiştir.

HÜRKUŞ: Temel uçuş eğitimi için tasarlanmış; jeneratör ve akülerden gelen elektriksel gücü belli senaryolara göre güvenli ve korumalı olarak dağıtım sağlayan güç dağıtım sistemleri, dijital kokpit teknolojisi ve entegre aviyonik sistemlere sahip turbo-prop bir uçaktır.

HÜRJET: Yüksek performanslı bir jet eğitim uçağı olarak geliştirilen HÜRJET, ileri seviye aviyonik sistemlere; yedekli yapılara sahip, havacılık sertifikasyonlarına uyumlu, akıllı güç dağıtım sistemlere, kokpitte yer alan

aydınlatmalı kontrol panellere ve yapay zekâ destekli uçuş kontrol altyapılarına sahiptir.

AKINCI - TB2 - ANKA - AKSUNGUR: Uzun menzilli ve stratejik gözetleme kapasitesine sahip insansız hava araçları olup radar ve elektro-optik sensörlerle entegre aviyonik sistemler ve aviyonik araçlara uyumlu yüksek güvenilirlikte güç dağıtım sistemleri kullanılmaktadır.

GÖKBEY: Türkiye'nin ilk yerli genel maksat helikopteri olup entegre aviyonik sistemleri, otonom uçuş destek sistemleri, güç dağıtım sistemleri ve akıllı gösterge panelleriyle dikkat çekmektedir.

Hava Araçları İçin Elektrik Güç Sistemleri

Uçak Üzeri Elektrik Güç Sistemi, uçak üzerinde yer alan elektriksel yüklerin tüm güç ihtiyaçlarını uygun kalitede ve kapasitede, emniyetli bir şekilde aktarımını yapan, depolayan ve kontrollü, korumalı ve belli senaryo durumlarına göre dağıtımını gerçekleştiren [1][2], otomatik ve manuel yöntemler ile monitör ve kontrol edilmesini sağlayan sistemdir.

Uçak teknolojisinin gelişmeye başladığı 20. yy başlarında "uçakların düşmek için fazlasıyla iyi olduğu" düşüncesi belli miktarda uçuş saati için geçerliliğini koruduktan sonra pek çok kazanın yaşanmasıyla geçerliliğini yitir-



AKINCI İHA



GÖKBEY



HÜRJET

Şekil 1 Geliştirilen Hava Platformları [3] [4]

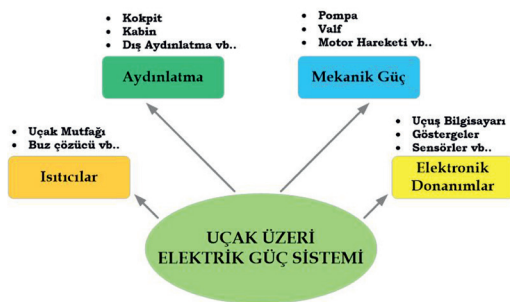
miş, daha sonra uçak üzeri bazı donanımların (motor, telsiz, hız göstergeleri vb.) yedeklenmesi de halkın güvenini sağlamaya yetmemiştir [5]. Yüzyılın ortalarında ise “Tek Nokta Hata” konseptinin benimsenmesi ile tasarlanan ve geliştirilen hava araçlarında kaza oranlarının azalması ile halkın güveni ve hava yolu kullanımı artmıştır. Uçak kazalarının incelenerek tek nokta hatalarından kaynaklandığı belirlenen kazalardan alınan dersler ile havacılık standartları sürekli güncellenmektedir. “Havacılık kuralları kanla yazılmıştır!” sözünün çıkış noktası da ne yazık ki bu nedenledir. Günümüz havacılık teknolojisi geçmiş dönemlere göre daha karmaşık olmamasına karşın güvenlik kriterlerinin en üst seviyede olması nedeniyle geliştirilen sistemlerin veya cihazların hava aracı üzerinde yedeklilik (Redundancy) yapılarından dolayı bazı ihtiyaçların “Elektrik Güç Sistemi” tarafından sağlanması gerekmektedir. Uçaklar üzerinde bulunan faydalı yükler üzerinde yapılan iyileştirmeler, güçellemeler ve alınan ekstra güvenlik önlemleri ile alt sistemler her geçen gün “Daha Çok Elektriksel Güce (More Electrical Aircraft Power)” ihtiyaç duymakta Elektrik Güç Sistemleri’nden ise daha verimli ve kabiliyetli olmaları beklenmektedir.

“Uçak Üzeri Elektrik Güç Sistemi” iki alt sistemin bir araya gelmesi ile de tanımlanabilmektedir:

- Elektrik Güç Üretim Sistemi
- Elektrik Güç Dağıtım Sistemi

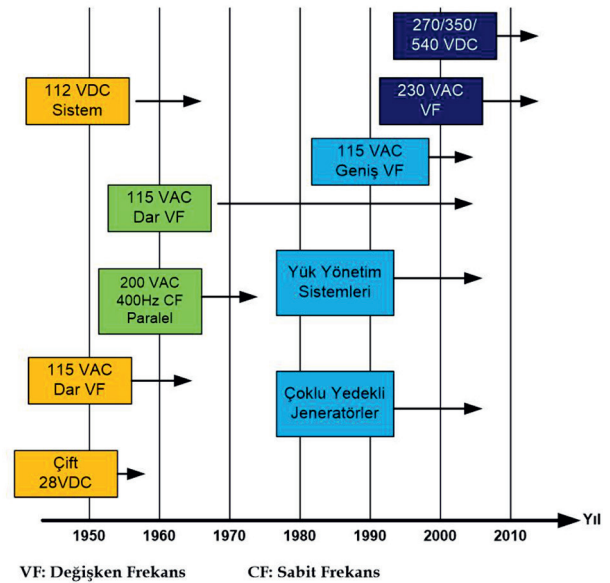
Elektrik Güç Üretim Sistemi, uçak üzerindeki elektriksel gücün üretildiği veya depolandığı sistemleri kapsarken, Elektrik Güç Dağıtım Sistemi ise faydalı yükler için üretilen veya depolanan kaliteli elektriksel gücün kontrollü ve korumalı olarak dağıtılmasını sağlamaktadır.

Uçak Üzeri Elektrik Güç Sistemi, uçuş için gerekli donanımların güç ihtiyacını karşılamak, uçuş-kritik olan bazı donanımların (telsiz, buz önleme sistemleri vb.) çalışabilirliğini sağlamak ve yönetmekle görevlidir. Uçak üzerinde bahsi geçen “Gerekli Güç (Essential Power)”, hava aracının güvenli bir şekilde uçuşunu devam ettirebilmesi ve/veya güvenli bir şekilde sonlandırabilmesi için gerekli gücü tanımlanmaktadır.



Şekil 2 Uçak Üzeri Elektrik Güç Sistemi Tüketicileri

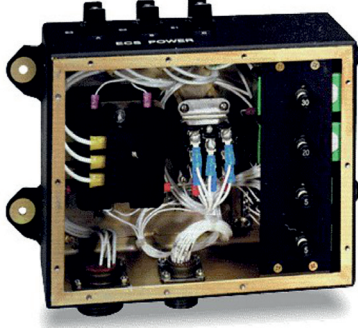
Uçak teknolojisi geliştikçe dönem dönem uçak üzerinde üretilen ve kullanılan elektriksel güç değerleri değişkenlik göstermiştir. İlk dönemlerde 28VDC kullanılırken, daha sonraları 112VDC, 115VAC/60Hz, 200VAC/400Hz kullanılmış, son dönemde ise daha çok 270VDC elektriksel gücü kullanılmaktadır. Yıllar geçtikçe gerilim seviyelerinin artması durumu hava aracında ihtiyaç duyulan elektriksel güç miktarının artması ile anlatılabilir. Gücün artması ile gerilimi de arttırarak, akım seviyesinin optimumda tutulması amaçlanmıştır. Bu durum aslında hava araçları için çok önemli olan “Ağırlık” konusu ile doğrudan alakalıdır. Kablolarda taşınan akım kapasitesi ne kadar çok olur ise hava aracında kullanılan kablo kesitlerinin de o denli yüksek olması gerekecektir. Bu da ağırlık, denge ve ağırlık merkezi konularında dezavantaj anlamına gelecektir.



Şekil 3 Uçak Üzeri Elektrik Güç Sistemi Tarihsel Gelişimi [6]

Uçak üzerinde yer alan jeneratör, batarya ve diğer yardımcı güç kaynaklarından sağlanan elektriksel güçler; ilk olarak üzerinde elektromekanik anahtarlar elemanları (röle/kontaktör) bulunan “Birincil Güç Dağıtım Birimi (Primary Power Distribution Unit-PPDU)” içerisine ayrı ayrı giriş yapmaktadır. Jeneratör, batarya ve yardımcı güç girişleri belli senaryolar dâhilinde ortak bir bara (bus bar) yapısında ortaklanmakta ve bu bara üzerinden bataryalar aynı zamanda şarj edilebilmektedir.

Bu baralar “Ana Bara (Main Bus)” ve “Esas Bara (Essential Bus)” olmak üzere iki farklı bara yapısındadır. Ana Bara genelde tüm ekipmanların bağlanabileceği bir bara yapısındadır ancak Esas Bara görev-kritik ve uçuş-kritik ekipmanların bağlı olduğu baralardır. Uçak üzerinde bulunan mevcut elektriksel güçler, Birincil Güç Dağıtım Birimi üzerinden ilgili alt İkincil Güç



Şekil 4 PPDU Örneği-1 [8]



Şekil 5 PPDU Örneği-2 [9]

Dağıtım Birimleri (Secondary Power Distribution Unit-SPDU)'ne aktarılmaktadırlar. İkincil Güç Dağıtım Birimi üzerinde, klasik elektromekanik anahtarlama ve koruma yöntemlerinin (röle ve devre kesici) yanı sıra hava aracının ihtiyacına göre "Yarı-İletken Anahtarlama (Solid-State Switching)" devre elemanları da kullanılabilmektedir.

Birincil Güç Dağıtım Birimi

Birincil Güç Dağıtım Birimleri, uçak üzerinde üretilen elektriksel gücü tüm yüklere aşağıdaki durumlarda sağlamakla görevlidir:

- Farklı operasyonel durumlarda,
- Motorun başlatılması sırasında,
- Meydana gelebilecek hataların baralardan izole edilmesinde (röle/kontaktör/koruma elemanı kullanımı ile).

Birincil Güç Dağıtım Birimleri, ayrıca aşağıdaki durumlardan da sorumludurlar:

- Elektriksel güç kalitesini istenilen seviyelerde tutmak,
- Uçak üzerinde üretilen elektriksel gücün gerçek zamanlı alçak/yüksek gerilim kontrollerini gerçekleştirmek,
- Hata durumlarında doğabilecek bara/güç kaynağı geçişlerinde MIL-STD-704 [7]'ye uyumlu şekilde anahtarlama gerçekleştirmek.

Birincil Güç Dağıtım Birimleri, teknik açıdan kompleks birimler olarak kabul edilmemektedirler. Ancak uçak üzerinde ana elektriksel gücün anahtarlama ve acil durum senaryolarına göre geçişlerin sağlanması bu birimler üzerinde gerçekleşmesi sebebi ile kritik bir göreve sahiptirler. Birincil Güç Dağıtım Birimleri içerisinde elektromekanik kontaktör/röle, genellikle push-pull devre kesici, ana güç girişlerinde hattı ve kablajı kısa devre-aşırı akıma koruma amaçlı bıçak sigorta, sistemi gerilim dalgalanmalarından korumak amaçlı Alçak/Yüksek Gerilim Koruma Devre yapıları bulunmaktadır.

Uçak üzeri tüm sistemlerde olduğu gibi Birincil Güç Dağıtım Birimleri'nin de mümkün olduğunca optimum boyut ve ağırlıkta olması beklenmektedir. "Gram"ların dahi çok değerli olduğu hava aracı donanım tasarımlarında uygun malzeme seçimi de önemli rol oynamaktadır. Bazı hava araçlarında dağınık bir mimaride ve mekanik kutu olmadan tasarlanabilen güç dağıtım birimleri bazı araçlarda ise bütünsel yapıda ve mekanik kutusu kapalı bir şekilde karşımıza çıkmaktadır.

İkincil Güç Dağıtım Birimi

Uçak Üzeri Elektrik Güç Sistemi'nde yer alan alt sistemlerin gerçek anlamda güç dağıtımını gerçekleştiren birimler İkincil Güç Dağıtım Birimleri'dir. İkincil Güç Dağıtım Birimleri; Birincil Güç Dağıtım Birimleri'nden aldıkları elektriksel gücü, hava aracının tasarımına bağlı olarak elektromekanik veya yarı-iletken anahtarlama elemanları ile kontrollü ve korumalı olarak faydalı yüklere ileten birimlerdir.

Bu birimler, yalnızca devre kesiciler üzerinden manuel kontroller ile bu fonksiyonları gerçekleştirebilirken üzerinde mikroişlemci ve/veya FPGA(Field Programmable Gate Array) bulundurarak yarı-iletken anahtarlama kontrolü ile de bu işlevleri sağlayabilmektedirler.

Mikroişlemci/FPGA destekli tasarlanan İkincil Güç Dağıtım Birimleri "Akıllı(Smart)" yapılar olarak anılmaktadırlar. Yarı-iletken anahtarlama yapıları, daha çok akıllı MOSFET devre elemanları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Yarı iletken yapıların avantajları şu şekilde sıralanabilmektedir:

Esneklik, yarı-iletken anahtarlama elemanları ile tasarlanacak devrelerde çıkış akımlarının ayarlanması durumu kolaylıkla yapılabilmektedir; ek bir donanım değişikliğine gerek duyulmadan bu değişiklik uzaktan erişim sağlanılarak yazılım ile gerçekleştirilebilmektedir.

Güvenlik, DO-160, DO-254 ve DO-178 [10] standartlarına göre hem donanım hem de yazılım anlamında sertifikasyon ve kalifikasyon test edilmiş yapılardır.

Yedeklilik, hava araçlarında zorunlu olan yedeklilik durumuna tam anlamıyla uygunluk sağlamaktadır.

Gerçek Zamanlı İzlenebilirlik, özellikle insansız hava araçlarında yer kontrol istasyonundan araç üzerindeki tüm güç kalitesinin izlenmesi kolaylıkla sağlanmaktadır.

Ağırlık-Boyut Kazanımı, klasik elektromekanik anahtar-lama elemanlarına oranla %60'a kadar avantaj sağlarken bu oran ağırlıkta %70'e kadar çıkabilmektedir.

Ark Hata Koruma, günümüzde popüler olan ve birçok elektromekanik koruma elemanlarında da olması istenilen I2t koruma, yarı-iletken devre yapılarında hızlı tepki süresi ile önemli bir role sahiptir.

Uçak üzerindeki sistemlerin karmaşıklaşması ve uçak hacminin devasa boyutlara gelmesi kullanılacak alt sistemlerin sayısını arttırmaktadır. Buna bağlı olarak da uçak üzerinde kullanılacak SPDÜ ihtiyacı da manuel olarak kontrol edilemez noktaya ulaşabilmektedir. Bu tip uygulamalarda, SPDÜ içerisinde kullanılacak bir mikroişlemci/FPGA ile istenilen birimlerin uzaktan herhangi bir haberleşme ortamı üzerinden aç/kapat/reset işlemleri gerçekleştirilebilmektedir.

Türk Milli Hava Araçları'nın tasarımlarında yer alan Elektrik Güç Sistemi'nin amacı; güç kaynaklarından alınan elektriksel gücün kontrol edilerek gerekli birimlerin güç ihtiyaçlarını karşılamaktır. Tasarlanan uçağın kullanım tipine ve belirlenen senaryolara göre güç dağıtım otomatik ya da manuel olarak kontrol edilmektedir. Her bir konfigürasyon durumunda enerjilenen birimler görevlerinin farklı olmasından dolayı birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Güç Dağıtım Sistemleri hata durumunda güvenli bölgede kalacak şekilde koruma önlemlerini üzerinde bulundurmaktadır. Elektrik Güç Sistemi'ndeki ayrıık bağımsız bara mimarisi, olası senaryolara göre güç kaynakları ile baraların birbirinden izole edilebilmesini sağlamaktadır.

Sonuç

Son dönemlerde Türkiye'de özgün olarak tasarımları gerçekleştirilen bu araçlar sadece mühendislik harikaları değil, Türkiye'nin jeopolitik stratejisinin de yeni oyuncularındır. Dost ve müttefik ülkeler, Türk tasarımı teknolojilere ilgi göstermeye başlamıştır. Artık Türk mühendislerinin yer aldığı Türk şirketleri, bir zamanlar başkalarından satın aldıkları sistemleri geliştiriyor, hatta ihraç ediyor durumuna gelmişlerdir. Belki de en önemlisi, dünya, Türkiye'yi yeni nesil savaş teknolojilerinde bir lider olarak tanımaya başlamıştır.

Bu ilerleme, sadece bir mühendislik başarısı değil, aynı zamanda sosyolojik bir değişimin de göstergesidir. Bugün, yerli üretimin bir zorunluluk olduğu fikri, toplumun her kesimi tarafından benimsenmiş durumdadır. Savunma sanayii, artık sadece askerlerin veya mühendislerin değil, tüm ülkenin ortak meselesi haline gelmiştir. Bu bilinç, yeni nesillere aktarılan bir miras

olarak büyümeye devam ediyor. Jeopolitik anlamda da Türkiye, ürettiği yeni teknolojilerle artık daha güçlü bir şekilde söz sahibi olma yolunda ilerlemektedir. Kendi ürettiği savunma sistemleriyle, uluslararası ilişkilerde daha bağımsız hareket edebilmektedir. Çünkü teknoloji, yalnızca bir üretim meselesi değil; aynı zamanda güç, caydırıcılık ve strateji meselesidir. Savunma sanayi teknolojileri sayesinde Türkiye, bölgesinde ve ötesinde daha birçok ülkede daha aktif bir rol oynamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Ahmet Engin YILMAZ, Serkan ERDEM, Gamze MERT, 2023'e Kadar Milli Uçak Tasarımlarında Yer Alması Planlanan Elektrik Güç Sistemi Teknolojileri, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, VIII. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzak Mühendisliği Kurultayı, 22-23 Mayıs 2015 - Eskişehir
- [2] Ahmet Engin YILMAZ, Gül KARA, Bengi KOÇ, Mustafa DALDAL, Hava Aracı Elektrik Güç Sistemleri ve Ülkemizdeki Uygulamaları, III. Ulusal Havacılık ve Uzak Konferansı, Eylül 2010
- [3] Havacılık Platform Görselleri, <https://www.baykartech.com/tr/haberler/bayraktar-akinci-100-bin-ucus-saatini-asti/>
- [4] Havacılık Platform Görselleri, <https://www.tusas.com/medya-merkezi/fotograf-galerisi>
- [5] Bengi KOÇ, Uçak Elektrik Güç Sistemleri Teknolojileri ve Eğilimleri, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği 13. Ulusal kongresi, Aralık 2009, sayfa-1
- [6] Reyad Abdel-Fadil, Ahmad Eid, Mazen Abdel-Salam, Electrical Distribution Power Systems of Modern Civil Aircrafts, 2nd International Conference on Energy Systems and Technologies, Şubat 2013
- [7] MIL-STD-704E, Military Specification Aircraft Electric Power Characteristics
- [8] Overview Of AC Distribution Assemblies, <http://www.leachintl2.com/>
- [9] Overview Of DC Distribution Assemblies, <http://www.leachintl2.com/>
- [10] RTCA-DO-178B, Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification, December 1, 1992