

## İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI ALTERNATÖR KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI

Özgür ÜNSAR\*  
TEI TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş., Eskişehir

### ÖZET

*İnsansız Hava Araçlarının (İHA) sivil ve askeri havacılık alanlarındaki kullanımları her geçen gün yaygınlaşmaktadır. İHA'lardaki elektrik-elektronik sistem sayısının artması ile birlikte hem Elektriksel Güç Üretim Sistemi güç kapasitesi hem de bu ekipmanların elektriksel güç performans ve kalite gereksinimleri artmaktadır. Bunun yanında, Elektriksel Güç Üretim Sistemleri artan bu elektriksel güç gereksinimini karşılaması itibariyle emniyet kritik bir sistem haline gelmiştir. İçten yanmalı motor kullanarak gerekli itkiyi üreten hava araçlarında genellikle elektriksel güç üretimi alternatör ile olmaktadır. Alternatör çıkış gücü kapasitesi Elektriksel Güç Üretim Sistemi güç kapasitesini belirlemektedir. Öte yandan, elektrik sisteminin güç performans ve kalitesini alternatör çıkış gerilimini düzenleyen Alternatör Kontrol Ünitesi (ALKÜ) sağlamaktadır. Bu bildiride, pistonlu motora sahip hava araçları için geliştirilen ALKÜ'ler teknik açıdan detaylı olarak incelenmekte, sivil ve askeri havacılık alanlarına uygun İHA'larda kullanılacak ALKÜ tasarımıdaki kritik gereksinimler ortaya çıkarılmaktadır.*

### GİRİŞ

Uçak elektrik sistemleri, elektrik gücünün üretimini, regülasyonunu, dağıtımını, otomatik ve manuel yöntemler ile monitör ve kontrol edilmesini ve elektrik yükleri için gereken elektrik enerjisini uygun kalite ve kapasitede, emniyetli bir şekilde aktarımını sağlamaktadır. Uçak performansının optimizasyonu, güvenilirliğinin artırılması, başlangıç ve idame maliyetinin azaltılması amacıyla, 1980'li yıllardan itibaren, hidrolik, mekanik ve pnömatik kaynaklar yerine elektrik gücünün tercih edilmesi eğilimi ve elektrik gücüne bağımlı yeni sistemlerin kullanılmaya başlanmasına paralel olarak, elektrik güç sistemlerinin kapasiteleri ve karmaşıklıkları da artmış; standartları yükselmiştir[Daldal, Kara, Koç, Yılmaz, 2010; Koç, 2010].

Elektriksel Güç Üretim Sistemlerindeki güç ve gerilim düzenlemesinde en önemli ekipman olan Alternatör Kontrol Ünitesi (ALKÜ), mekanik enerjiyi alternatif akım formunda elektrik enerjisine çevirebilen alternatörlerin rotor shaftı dönüş hızlarında ve farklı güç taleplerinde alternatör çıkışında istenen DC gerilimini sabit tutmak için kullanılır. Bunu alternatörlerin sahip olduğu özelliklerden faydalanarak yapabilmektedir.

İçten yanmalı motorlarda, marş motoru, ateşleme ve yakıt enjeksiyon sistemi ve elektronik motor kontrol üniteleri ve buna benzer ekipmanların ihtiyaç duyduğu gücü sağlamak için elektrik enerjisini üretecek alternatörler bulunmaktadır. Alternatörler eğer talep edilen elektriksel güçten daha fazla elektriksel güç üretiyorsa bataryayı şarj edebilmektedir. Alternatör çıkış gücü her çalışma

\* Elektrik Elektronik Sistemleri Mühendisi, E-posta: ozgur.unsar@tei.com.tr

koşulunda elektrik sisteminin ihtiyaç duyduğu yeterli gücü ve aynı zamanda bataryayı her zaman uygun bir şekilde şarj edebilecek kapasitede olmalıdır.

Günümüzde alternatörler otomotivdeki içten yanmalı motorlarda elektriksel güç üretmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Doğru akım (DC) elektrik sistemine sahip olan araçlarda doğru akım çıkışına sahip alternatörler kullanılmak zorundadır. Daha yüksek kapasite faktörü (Güç/Ağırlık oranı), daha yüksek verim ve daha geniş motor hız aralığı sunması sebebiyle doğru akım jeneratörleri yerine üç fazlı senkron jeneratörler; yani alternatörler tercih edilmektedir.

Senkron jeneratörler, kararlı durumda, rotor devri armatürdeki akımın frekansıyla orantılı olan AC makinelerdir. Tanımı gereği, senkron jeneratörler mekanik dönüş hızı ile senkron frekanslı bir şekilde elektrik üretirler. Aşağıdaki formül yardımıyla üretilen elektriğin frekansı bulunabilir.

$$f_e = \frac{P}{120} n_m$$

$f_e$  : Elektriksel frekans, Hz

$p$  : Kutup sayısı

$n_m$  : Makine rotor dönüş hızı, rpm

Rotor üstünde DC alan akımı ile manyetik alan yaratılır. Senkronizasyon; yaratılan bu iki manyetik alanın aynı hızda dönmesidir. Rotor devri ile stator devri eşit olan makinelerdir. Bir başka tanımlamayla senkron makine; stator sargılarında alternatif akım, rotor sargılarında ise doğru akım bulunan ve rotor hızı senkron devirle döndürülen makinelerdir.

Stator sargılarında, armatür akımı ile döner bir manyetik alan üretilir. 3 fazı oluşturan 3 sargıda, her birindeki sarım sayısı  $N_c$  olmak üzere, aynı genlik ve  $120^\circ$  faz farkıyla gerilim indüklenir. Bu gerilimler şu şekilde tanımlanabilir[Howard, 2014].

$$e_{aa'}(t) = N_c \phi \omega_m \cos \omega_m t$$

$$e_{bb'}(t) = N_c \phi \omega_m \cos(\omega_m t - 120^\circ)$$

$$e_{cc'}(t) = N_c \phi \omega_m \cos(\omega_m t - 240^\circ)$$

Stator sargılarında oluşan tepe gerilimi aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$$E_{\max} = N_c \phi \omega_m = 2\pi N_c \phi f_m$$

Yukarıdaki eşitlik yardımıyla statorda indükleme yoluyla üretilen gerilimin değeri A fazı için aşağıdaki gibi bulunabilir.

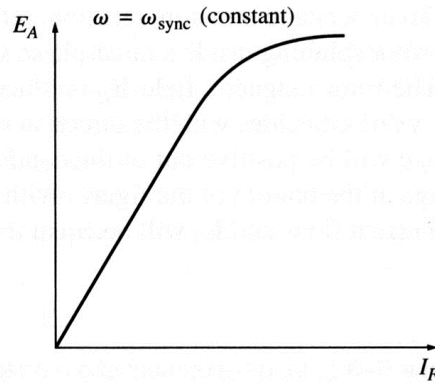
$$E_A = \sqrt{2}\pi N_c \phi f_m = K \phi \omega$$

$K$  : Makine yapısal sabiti

$\Phi$  : Manyetik akı

$\omega$  : Makine rotor dönüş hızı

Stator nüvesi içerisinde geçen manyetik akı ( $\Phi$ ) bu akıyı oluşturan rotordaki alan akımı ( $I_f$ ) ile orantılı olduğundan, statordaki gerilim ( $E_A$ ) rotordaki alan akımı ile orantılıdır. Bu ilişki tipik bir senkron makine için Şekil 1'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 1: Senkron Makine Manyetiklenme Eğrisi (Açık Devre Karakteristiği)[Howard, 2014]

3 faz senkron jeneratörlerdeki faz gerilimi aşağıdaki eşitlik ile de ifade edilebilmektedir.

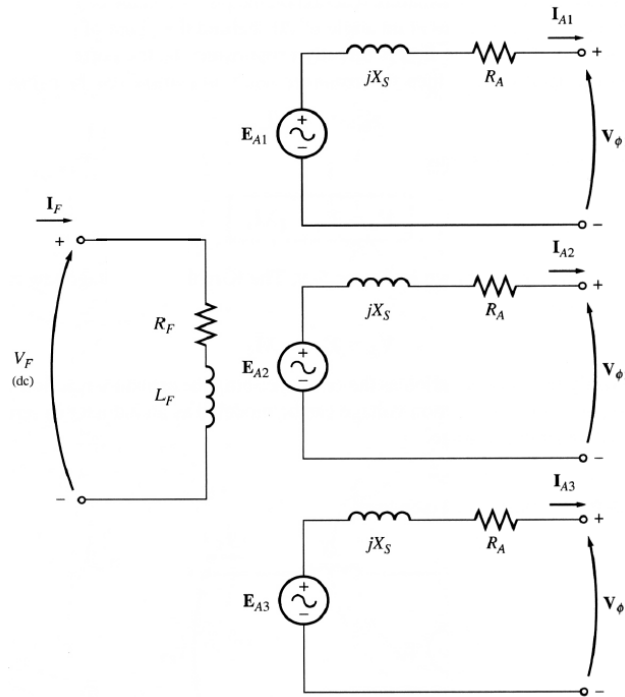
$$V_{\phi} = E_A - jX_S I_A - R I_A$$

$X_S$  : Senkron reaktans

$I_A$  : Armatür (stator) akımı

$R_A$  : Armatür (stator) direnci

Yukarıdaki yazılan ifadeye bakılarak 3 fazlı senkron jeneratöre ait eşdeğer devre Şekil 2'deki olacağı söylenebilir.



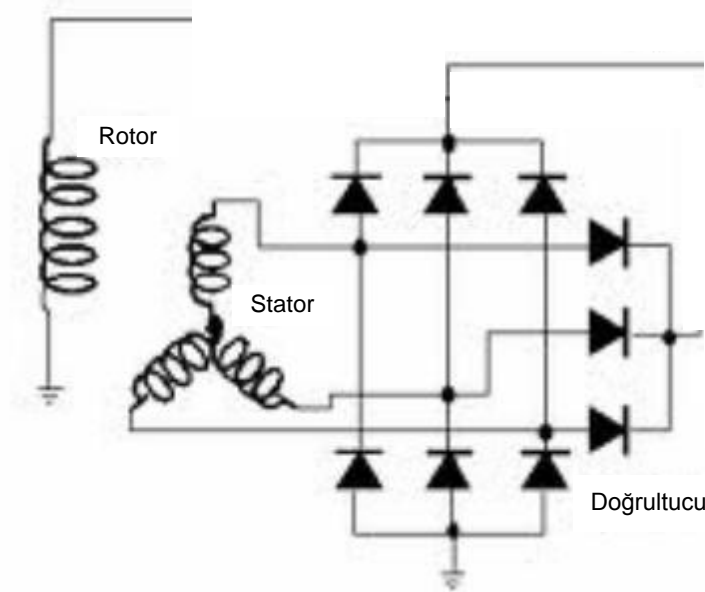
Şekil 2: 3 Fazlı Senkron Jeneratör Eşdeğer Devresi[Howard, 2014]

Şekil 2'de görülen senkron jeneratör alan akımı ( $I_F$ ) dışarıdan değişken bir direnç veya harici bir kontrol ünitesi tarafından alan akımını doğuran alan gerilimi ( $V_F$ ) değiştirilerek ayarlanmaktadır. Böylece jeneratör çıkışındaki faz gerilimi ayarlanabilmektedir. Senkron jeneratörlerin, bir başka deyişle alternatörlerin çıkışında bulunan tam köprü doğrultucu devre yardımıyla, alternatör stator sargılarında üretilen alternatif akım (AC) doğru akıma (DC) çevrilebilmektedir. Otomotivde 14 VDC çıkış gerilimine sahip alternatörler kullanıldığı gibi 28 VDC çıkışlı alternatörler de kullanılmaktadır.

Alternatör dönüş hızı arttıkça aynı çıkış gücü için bu alan akımı azaltılırken, alternatör dönüş hızının düştüğü durumlarda aynı çıkış gücünü sağlamak için alan akımı artırılır. Benzer şekilde, sabit bir rotor dönüş hızı için elektriksel güç gereksinimi arttığında alan akımı artırılarak alternatör stator sargılarından beklenen daha yüksek akım güç çekilmesine imkân vermektedir.

Otomotivde kullanılan içten yanmalı motorlardaki alternatörler araç üzerindeki marş motoru, ateşleme ve yakıt enjeksiyon sistemi ve elektronik motor kontrol üniteleri ve buna benzer tüm ekipmanların ihtiyaç duyduğu gücü sağlamak için bulunmaktadır. Alternatörler eğer talep edilen elektriksel güçten daha fazla elektriksel güç üretiyorsa bataryayı şarj edebilmektedir. Alternatör çıkış gücü her çalışma koşulunda elektrik sisteminin ihtiyaç duyduğu yeterli gücü ve aynı zamanda bataryayı her zaman uygun bir şekilde şarj edebilecek kapasitede olmalıdır. Bunu sağlayan en önemli birim ise otomotivde sıkça regülatör olarak geçen alternatör kontrol ünitesidir.

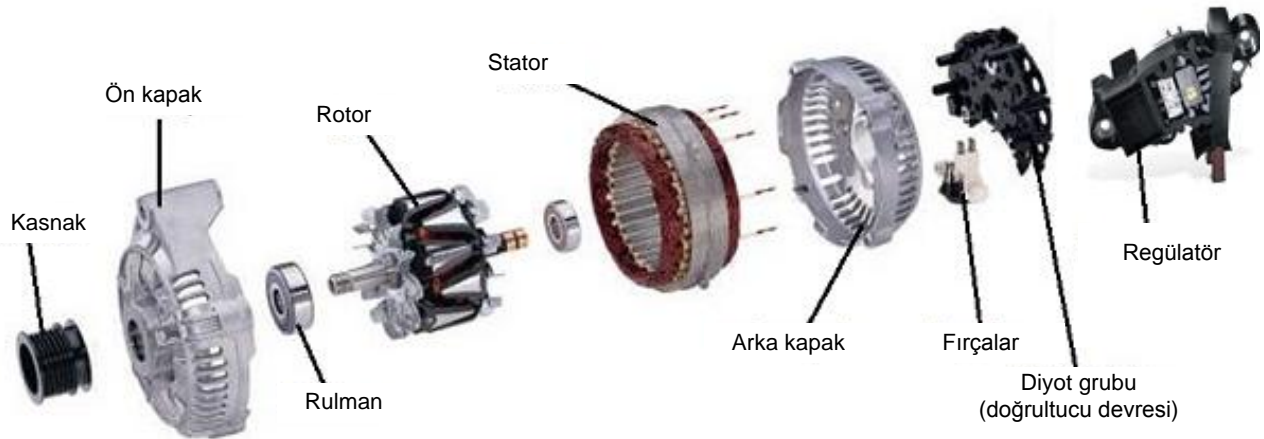
Doğru akım (DC) elektrik sistemine sahip olan araçlarda daha yüksek kapasite faktörü (Güç/Ağırlık oranı), daha yüksek verim ve daha geniş motor hız aralığı sunması sebebiyle doğru akım jeneratörleri yerine üç fazlı senkron jeneratörler; yani alternatörler tercih edilmektedir[Bosch, 2014]. Bu alternatörlerin çıkışında bulunan doğrultucu devre yardımıyla, alternatör stator sargılarında üretilen alternatif akım (AC) doğru akıma (DC) çevrilebilmektedir. Şekil 3'de bu tip bir alternatöre ait elektriksel sistem görülmektedir.



Şekil 3: 3 Fazlı Y Tipi Senkron Bir Alternatöre Ait Elektriksel Sistem[Bosch, 2014]

Günümüz alternatörleri temel olarak Şekil 4'de şu alt bileşenlerden oluşur[Bosch, 2014]:

- Kasnak
- Ön kapak
- Rulman
- Rotor
- Stator
- Arka kapak
- Fırçalar
- Diyot grubu (Doğrultucu devresi)
- Regülâtör (ALKÜ)



Şekil 4: Alternatör Alt Bileşenleri[Bosch, 2014]

## YÖNTEM

### Gerilim Düzenlemenin Amacı

Sabit bir alan akımı olduğu kabul edildiğinde alternatör çıkış gerilimi alternatör rotor dönüş hızı ve alternatöre bağlı elektriksel yüklerle bağlıdır. ALKÜ'nün görevi alternatör çıkış gerilimini değişken dönüş hızı ve yüklerde sabit tutmaktır. Bunu da alternatör rotor sargılarına gönderilen alan akımını kontrol ederek başarabilmektedir. Böylece alternatör stator sargılarındaki elektriksel güç üretimi çıkış geriliminin bir fonksiyonu olarak alternatör rotorundaki manyetik alanın büyüklüğü değiştirilmektedir.

Gerilimin sabit tutulması hem gerilimin düzenlenmesini hem de elektrik sistemine bağlı bataryaların aşırı şarj veya deşarj olması gibi durumların önüne geçilmesini sağlamaktadır. 12 VDC batarya geriliminin olduğu sistemlerde alternatör çıkış gerilimi ALKÜ kontrolüyle 14 V civarında, 24 VDC batarya geriliminin olduğu sistemlerde ise alternatör çıkış gerilimi yine ALKÜ kontrolü ile 28 V civarında olmaktadır. Eğer alternatör çıkış gerilimi ALKÜ'nün ayarlanan gerilim değerinde düşükse ALKÜ alan akımı çıkışını %100 oranında bir görev çevrimi için açarak alan akımının en yüksek değerine ulaşmasını sağlar.

ALKÜ, alternatör çıkış gerilimini ortam sıcaklığına göre de kontrol etmelidir. Buradaki yaklaşım düşük veya yüksek sıcaklık şartlarında bataryanın kimyasal karakteristiğindeki değişime uygun olarak alternatör çıkış gerilimini ve dolayısıyla batarya şarj etme gerilimini kontrol etmektir. Örneğin düşük sıcaklık şartlarında batarya şarj performansındaki düşümü telafi edebilecek şekilde şarjı arttırmak için alternatör çıkış gerilimini artırır. Yüksek ortam sıcaklığında ise bataryanın aşırı şarj ve gaz salımını engellemek için alternatör çıkış gerilimini düşürür.

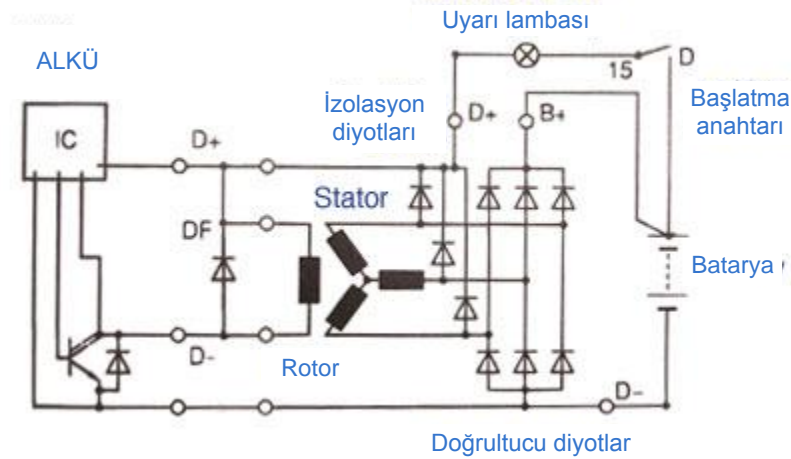
### Gerilim Düzenleme Prensipleri

Alternatör çıkış gerilimi istenen ve buna göre ayarlanan gerilim seviyesini geçerse ALKÜ alan akımı çıkışını kapatır. Alternatör alan sargısı denilen rotor sargısının endüktansının bir sonucu olarak, alan akımı başta ALKÜ çıkış katındaki serbest diyot (free-wheeling diode) üzerinden akacaktır. Bu alternatör alanının azalmasına ve böylece alternatör çıkış geriliminin düşmesine sebep olacaktır. Alternatör çıkış gerilimi ayarlanan gerilim seviyesinin altına indiğinde ise ALKÜ alan akımının tekrar artmasını sağlayacak şekilde çıkış katını açar. Alternatör gerilimi yeniden istenen gerilim seviyesinin üstüne çıktığında bu kontrol döngüsü tekrarlanarak devam eder. Bu kontrol döngüleri birkaç milisaniye içerisinde gerçekleşmektedir. Alternatör çıkışındaki gerilim etkili bir şekilde düzenlenerek elektrik sistemi en verimli noktada çalıştırılabilmektedir.

İkaz akımının anahtarlanma süresi (açık ve kapalı kalma süresi) sonuçta üretilen alan akımının değerini doğrudan etkilemektedir. Düşük alternatör dönüş hızlarında alan akımının açık olma süresi kapalı olma süresine göre oldukça uzun olmaktadır. İkaz akımı sadece kendi ortalama değeri belli bir eşik değeri geçerse ALKÜ tarafından kesilir. Böylece hem alternatör hem de ALKÜ korunmuş olmaktadır. Diğer taraftan, yüksek dönüş hızlarında ise alan akımı açık kalma süresi kapalı kalma süresine göre kısa olacaktır. Böylece düşük alan akımları üretilecektir.

ALKÜ alan akımı çıkışını kapattığı durumda, alan akımının kesilmesinden ve rotor sargısının kendi endüktansı sebebiyle rotor sargılarında gerilim tepeleri oluşur. Bu gerilim tepelerini engellemek için ALKÜ alan akımı çıkışında alternatör rotor sargılarına paralel bir serbest diyot bağlanır. İkaz akımı kesildiğinde, hızlı bir şekilde bu diyot alan akımını kendi üzerine alarak azalmasına izin verir.

Bugün otomotivde kullanılan alternatörlerin büyük çoğunluğu yüksek verimlilikleri sebebiyle 3 fazlı senkron jeneratör tipindedir. Otomotivde bu alternatörleri kontrol eden ALKÜ alternatör üzerinde monteli olmaktadır. Fakat havacılıkta emniyet gereksinimleri sebebiyle alternatör üzerinde bulunmayıp, ayrı bir parça olarak konumlandırılmaktadır. Böyle bir ALKÜ'nün alternatör ve diğer elektrik sistemleriyle olan arayüzleri Şekil 5'deki devre şemasında görülmektedir.



Şekil 5: ALKÜ elektriksel bağlantı devre şeması[BGAT, 2014]

### Sistem Sağlık Kontrolü

ALKÜ, alternatör çıkış gerilimi istenen seviyede tutmak görevinin yanında hem alternatör hem de kendi birim sağlık kontrolünü de yapmaktan sorumlu olabilmektedir. Özellikle İHA uygulamalarında uzaktan kontrol edilen bir uçan platforma ait Elektriksel Güç Üretim Sistemi gibi uçuş kritik bir alt sistemin sağlık kontrolü çok önem taşımaktadır. Bunun için başlıca alınan önlem alternatör üzerinde aşırı ısınma korumasını sağlayacak olan sıcaklık sensörlerinden bilgileri okumak ve bunu pilota aktarmaktır. Genelde alternatör uygulamalarında alternatörün en çok ısınan ve en kritik bölümler olan stator sargıları ile diyot doğrultucu paket içerisinde direnç tipi çıkış sinyali üreten sıcaklık sensörleri yerleştirilir. Bu sensörlerden gelen sıcaklığa bağlı olarak değişen çıkış direnç değeri ALKÜ tarafından okunmakta ve gerekli direnç-sıcaklık değeri mühendislik dönüşümü yapılarak o bölgedeki sıcaklık değeri tespit edilmektedir. Eğer bu sıcaklık değeri o bölgedeki daha önceden belirlenen sınır değerlerin üstünde ise ALKÜ tarafından pilota uyarı sinyali gönderilir. Bu sinyal sayısal veya analog olarak gerçekleştirilebilmektedir.

Sıcaklık ölçümü dışında ALKÜ aynı zamanda, alternatör alan akımının üretilip stator sargılarına ileten kablo bağlantılarında yaşanabilecek kopma durumlarında alternatör çıkış gerilimini düzenleyemeyeceği için bu bağlantılardaki sorunu da algılayabilme özelliği de barındırabilmektedir. Bu yaşanan sorunun tespiti ve pilota aktarılması görevi ALKÜ tarafından yapılmaktadır.

## SONUÇ

Otomotivde ve havacılıkta içten yanmalı motora sahip tüm elektrik sistemlerinin güç performans ve kalitesini alternatör çıkış gerilimini düzenleyen Alternatör Kontrol Ünitesi (ALKÜ) sağlamaktadır. Bu bildiride, pistonlu motora sahip hava araçları için geliştirilen ALKÜ'lerin amacı, fonksiyonları, çalışma prensibi, gerilim düzenlenmesindeki kritik tasarım detayları ve sistem sağlık kontrolü kabiliyetinin nasıl kazanıldığı teknik açıdan detaylı olarak incelenmiştir. Bu noktadan hareketle sivil ve askeri havacılık alanlarındaki İHA uygulamalarında ihtiyaç duyulan ALKÜ kritik tasarım gereksinimleri ortaya çıkarılmıştır.. Bahsedilen ALKÜ özellikleri ile havacılık uygulamaları için gereken şartlar karşılanmakta olup, benzer tasarım yaklaşımlarının gelecekteki otomotiv uygulamalarında da önemli kazanımlar sağlayacağı düşünülmektedir.

## Kaynaklar

- Bosch Engineering GmbH, 2014. *Alternators*, [http://www.bosch-engineering.de/en/de/ueber\\_uns/standorte/standorte\\_1.html](http://www.bosch-engineering.de/en/de/ueber_uns/standorte/standorte_1.html)
- Bosch General Aviation Technology (BGAT) GmbH, 2014. *Alternators*, [http://www.bosch-aviation.com/en/bgat/ueber\\_uns/standort/standort.html](http://www.bosch-aviation.com/en/bgat/ueber_uns/standort/standort.html)
- Daldal M., Kara G., Koç B. ve Yılmaz A. E., 2010. *Hava Aracı Elektrik Güç Sistemleri Ve Ülkemizdeki Uygulamaları*, III. Ulusal Havacılık Ve Uzay Konferansı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 16-18 Eylül.
- Howard R. H., College of Engineering, University of Nevada, Las Vegas, 2014. *Alternators*, <http://www.egr.unlv.edu/~eebag/SYNCHRONOUS%20GENERATORS.pdf>
- Koç B., 2010. *Hava Aracı Elektrik Güç Üretim ve Dağıtım Sistemleri Tasarım Yaklaşımı ve Yeni Eğilimler*, 1. Aviyonik ve Sistem Entegrasyonu Sempozyumu, Hava Harp Okulu, İstanbul, 29-30 Nisan.