

# FIRÇASIZ AC SERVO MOTORLAR

**Şadan Dönmez**  
**Elektrik – Elektronik Mühendisi**  
**FEMSAN Elektrik Motorları Sanayi Tic. A.Ş**

Bilindiği üzere hareket kontrol uygulamalarında yıllardır başarılı bir şekilde fırçalı tip sabit mıknatıslı motor kullanılmaktadır. Göreceli olarak daha düşük maliyetli olmasından ve üretiminin diğer motorlara göre nispeten daha kolay olmasından dolayı günümüzde de büyük bir pazar payına sahip olan fırçalı tip servo motorlar artık yavaş yavaş yerlerini fırçasız tip motorlara bırakmaya başladı.

Klasik fırçalı motorlar aşağıda belirtilen dezavantajlara sahiptir.

- Yüksek ataleti nedeniyle maksimum hız ve hızlanma sürelerinde kısıtlama
- Bakım gereksinimi
- Oluşan iç ısının rulman ve dolayısıyla motor arızalarına neden olması
- Kömürler üzerinde oluşan arklar sebebiyle elektriksel ve duyulabilir gürültülerin oluşması

70'li yılların ardından uzay ve savunma sistemlerindeki teknolojik atılımlara bağlı olarak ortaya çıkan 2 temel gelişme endüstriyel uygulamalarda da fırçasız motor kullanımının kabul görmesinin önünü açmıştır.

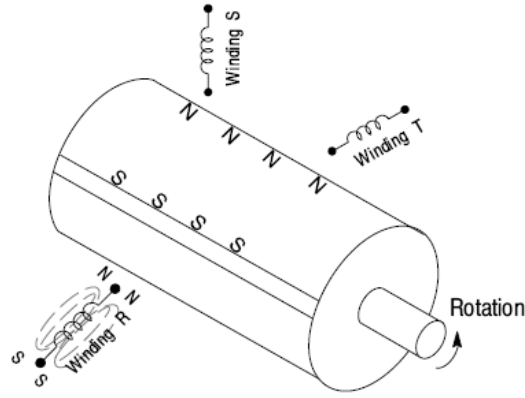
- Yüksek manyetik güce sahip mıknatısların kullanılmasının motorların boyut, ağırlık ve dolayısıyla motor hızlarında oluşturduğu artış
- Yarıiletken teknolojisinin gelişimine bağlı olarak güç mosfetlerinin geliştirilmesi ile anahtarlama kayıplarının azalması, farklı besleme voltajlarında kullanılabilirlik

Fırçasız servo motor ve sürücülerinin geliştirilmesi ve üretilmesinin sağlayacağı avantajları ise şöyle sıralayabiliriz:

- Rotor ataletinin daha düşük olmasına bağlı olarak motor hızlarında artış, hızlanma ve duruş sürelerinde düşüş olarak karşımıza çıkan yüksek performans
- Motor içerisinde kömür kullanımı olmamasından dolayı periyodik olarak kömür değişimi gerekmez. Kömür tozu oluşmaz, daha da önemlisi kömür üzerinde elektrik iletimi sırasında ark meydana gelmez. Motorlar daha az bakım gerektirir. Bu nedenle servo motorlar kullanıcılarına daha çok güven verir.
- Servo motorların gövdeleri genelde ısı atışını artırmak amacıyla çok kanallı olarak yapılır. Fırçasız servo motorlarda sargıların stator kısmında olması dolayısıyla çok daha iyi soğutma şartlarının oluşması sağlanır.
- Fırçasız tip motorlarda, tipik fırçalı tip motorlarda kömür ve kolektör arasında oluşan ark tehlikesi olmaması sayesinde elektriksel gürültünün olmaması dolayısıyla elektromanyetik girişimin azalması sağlanmış olur.
- Kullanılan mıknatıs yapısına bağlı olarak daha küçük gövdelerde daha yüksek güçler elde edilebilir.

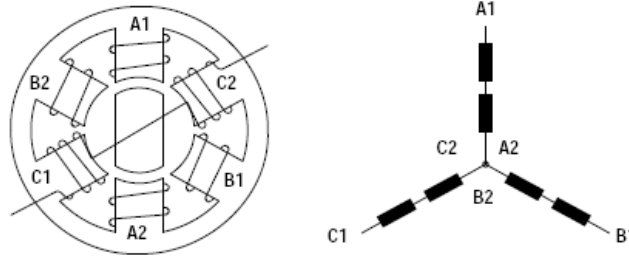
## Fırçasız Motorun Temel Yapısı

Şekil 1'de görülen yapı fırçasız motora ait en temel gösterimdir. Fırçasız motorun rotoru üzerinde motor kutup sayısına bağlı olarak mıknatıslar bulunmaktadır. Bu mıknatıslar, stator sargılarının belli bir düzen içinde enerjilendirilmesi ile sağlanan manyetik alan ile etkileşerek dönüş hareketinin oluşmasını sağlar.



**Şekil 1: Fırçasız Motor Yapısı**

Genel olarak stator sargıları 120° faz farkı ile yerleştirilmiş 3 fazlı “Y” bağlantı yapısında olur.



**Şekil 2: Stator Yapısı**

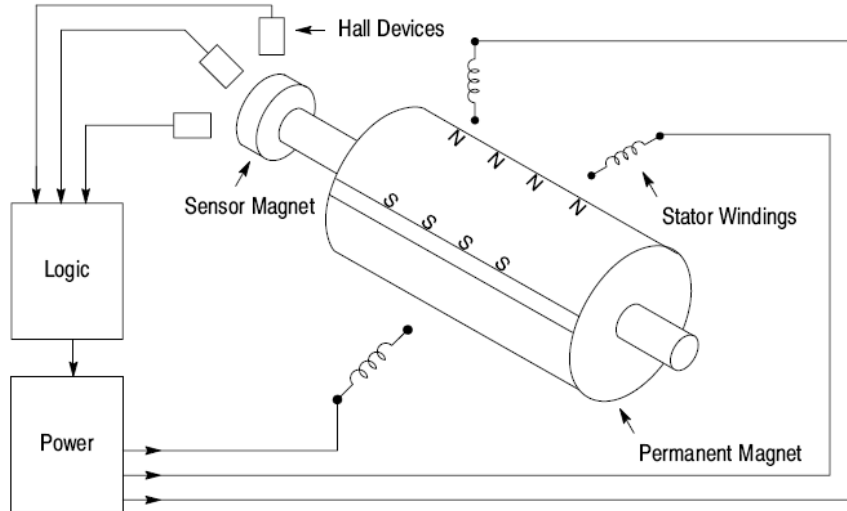
Stator sargılarının tek tek enerjilendiğini varsayarsak fırçasız motorun çalışmasını şöyle açıklayabiliriz:

Şekil 1’de görülen R sargısına enerji uygulandığında N kutbu oluşur. Rotor üzerindeki mıknatısın S kutbu, sargı tarafından oluşturulan N kutbunu yakalamak için döner. N ve S kutupları karşılıklı geldiğinde ise hareket tamamlanır ve motor durur. R sargısının enerjisi kesilir ve ardından S sargısına enerji verilirse, rotor S sargısının oluşturduğu N kutbunu yakalamak üzere tekrar dönemeye başlayacaktır.

Gerçek bir fırçasız motorda ise yukarıda anlatıldığı gibi sargılar tek tek enerjilendirilmez. En az iki veya üç sargı aynı anda kontrollü olarak enerjilendirilerek rotorun dönüş torku en yüksek seviyede tutulmaya çalışılır. Bu sayede tork dalgalanmaları da önlenmiş olur. Sargıların bu şekilde kontrollü olarak enerjilendirilmesi “elektronik komütasyon” olarak adlandırılmaktadır.

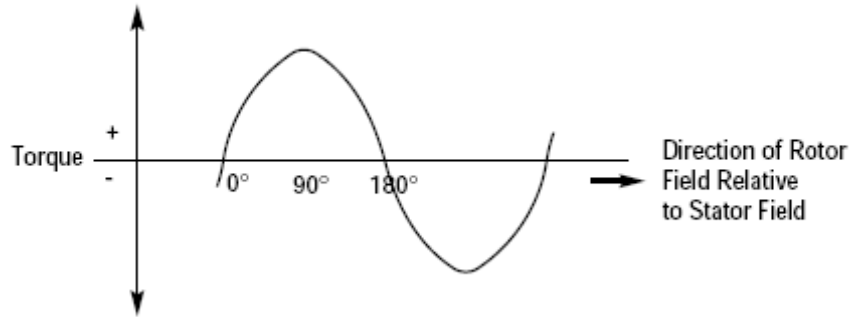
Peki motor hangi sargının enerjilendirilmesi gerektiğini nereden anlayacak? İşte tam bu noktada, elektronik komütasyon işlemini otomatik olarak, rotor pozisyonunu her an izleyerek gerçekleştiren sürücüler işin içine girmektedir.

Rotorun bir an için hangi pozisyonda olduğu bilgisi ise “hall sensör” olarak adlandırılan sensörler vasıtasıyla alınır. Hall sensörlerde stator üzerine stator sargıları gibi 120° açıyla yerleştirilirler. Bu hall sensörler mıknatısa duyarlı olup, rotor üzerinde bulunan ve sensör olarak çalışacak küçük bir mıknatısın geçişini algılar. Bu geçişler sürücü tarafında değerlendirilerek hangi sargının enerjilendirileceğine karar verir.

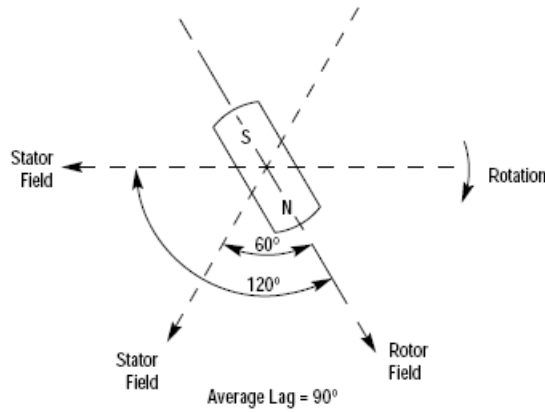


Şekil 3: Genel Kontrol Şeması

Şekil 4'ten de görüleceği gibi bileşke stator manyetik alanı ile rotorun oluşturacağı manyetik alan arasındaki açı  $90^\circ$  olduğunda üretilen tork en yüksek değerde olur. Bu nedenle çok kutuplu motorlardan en yüksek tork değerinin elde edilebilmesi için sargılara verilen enerjinin elektronik komütasyon ile enerjilendirilme sırası kontrol edilerek aradaki açı  $90^\circ$  de tutulmaya çalışılır.



Şekil 4: Stator Manyetik Alanı - Tork ilişkisi



Şekil 5: Stator Manyetik Alanı - Tork Manyetik Alanı

Fırçasız AC motorlarda ise sargıların enerjilendirilmesi yüksek frekanslı  $120^\circ$  faz farkına sahip sinüsoidal akımlar kullanılarak yapılır. Bu tip motorlarda düşük devirlerde de düzgün ve yüksek torklu dönüşler elde edebilmek için yüksek çözünürlüğe sahip geribesleme sensörleri kullanılması gerekmektedir. Sürücünün, rotorun dönüşü sırasında, her noktada motora uygulayacağı enerjiyi hesaplayıp sargılara vermesi gerekmektedir. Yüksek hassasiyet gereksinimi nedeniyle sadece hall sensörlerin haricinde dahili hall sinyallerini oluşturan yapıya sahip enkoderler veya resolver'lar

kullanılmaktadır. Bu sayede hem çok hassas hız kontrolü hem de minimum seviyede tork dalgalanması sağlanmış olur.

Fırçasız AC servo motorlarda sabit tork değerinin elde edilmesini ise temel olarak şu şekilde açıklayabiliriz:

2 fazlı bir motor yapısını göz önüne alırsak, bu motorun statorunda bulunan 2'şer set sargı, aralarında  $90^\circ$  faz farkı olacak şekilde enerjilendirilir. Rotor pozisyonunu bir andaki açı değerini  $\phi$  olarak adlandırırsak, sargılardaki akımlar  $I \sin(\phi)$  ve  $I \cos(\phi)$  tarzında değişir. Şekil 3'ten hatırlanacağı gibi tork eğrisi sinüsoidal yapıya sahipti. Bu durumda I akımı için tork değerinin anlık ifadesi  $\tau = IK_T \sin(\phi)$  ( $K_T$  =Tork Sabiti) şeklindedir. Sargılara uygulanan akımların da AC olarak sürücü tarafından uygulanıyor olduğunu da işin içine kattığımızda sargılardan birinin oluşturduğu tork ifadesi;

$$\tau_1 = (I \sin \phi)K_T \sin(\phi) = IK_T \sin^2(\phi),$$

diğer sargının oluşturduğu tork ifadesi ise;

$$\tau_2 = (I \cos \phi)K_T \cos(\phi) = IK_T \cos^2(\phi)$$

şeklinde karşımıza çıkar. Bu durumda her iki sargının toplamda oluşturacağı tork ise;

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = IK_T (\sin^2(\phi) + \cos^2(\phi)) = IK_T$$

şeklinde verilen sabit bir I akımı için rotor shaft pozisyonundan bağımsız sabit değer olarak ortaya çıkar.

Bu sabit tork değerinin elde edilebilmesi için sargı akımlarının belli bir düzen içinde verilmesi gerekmektedir. Bu işlem için yüksek kabiliyetli bir motor sürücüsüne ve yüksek hassasiyetli geribesleme sensörlerine ihtiyaç vardır.