

DOĞRUDAN TAHRİKLİ ASANSÖR SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MIKNATIS UYARMALI SENKRON MOTORLARIN ÇALIŞMA ve BOYUTLANDIRILMA İLKELERİ

H.Tarık DURU
Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
tduru@kou.edu.tr

Rıfat DEMİRÖZ
Akar Asansör ve Makine San.Ltd.Şti.
info@akarasansor.com.tr

ÖZET

Bu çalışmada Mıknatıs Uyarmalı Senkron Motorların çalışma ilkeleri açıklanmış, kapalı çevrim hız denetimi altında çalışan bir sistemin bilgisayar benzetimi verilmiş ve farklı hızlarda çalışmak üzere tasarlanan MUSM içeren asansör sistemlerinin boyutlandırılması ile ilgili önemli noktalar vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Mıknatıs Uyarmalı Senkron Motor, Dişlisiz (Gearless) asansör sistemleri, doğrudan tahrik.

1-GİRİŞ

Son yıllarda asansör teknolojisinde yaşanan en önemli gelişmelerden biri de hiç kuşkusuz mıknatıs uyarmalı senkron motor (MUSM)'ların, asenkron motorların yerine kullanılabilir hale gelmesi ve bu sayede dişlisiz (gearless) ve makine dairesiz (machine roomless) tahrik sistemlerinin tasarımının mümkün olmasıdır. Yüksek enerjili NdFeB mıknatısların fiyatlarının düşmesi ve farklı tip ve özelliklerde ticari olarak arz edilmeleri ve sürücü teknolojisinde yaşanan gelişmeler bu teknolojiyi destekleyen en önemli unsurlardır.

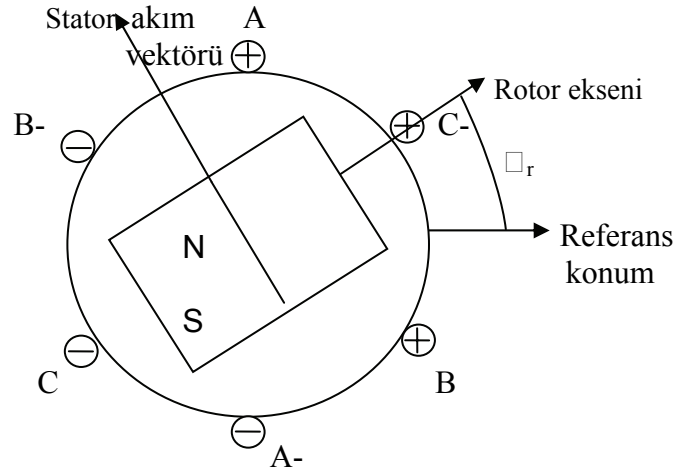
Mıknatıs uyarmalı senkron motor ile tahrik edilen dişlisiz asansör makine-motorları bir çok bakımdan geleneksel sistemlerle kıyaslanamayacak üstünlük ve avantajlara sahiptir [1]. Motora akuple edilen yüksek duyarlıklı mutlak enkoder ve hassas denetim sağlayan kapalı çevrim sürücü sistemi sayesinde kalkış, duruş ve seyir esnasında mükemmel bir konfor sağlamaktadır.

Asenkron motorlara kıyasla çok daha etkin gerçekleştirilen döndürme momenti (tork) ve hız denetimi sayesinde, programlanan hız-zaman eğrisi tüm yük koşullarında büyük bir doğrulukla izlenmekte ve kat hizalamasında kusursuz bir hassasiyet sağlamaktadır. Yumuşak kalkış ve duruşlar sayesinde halat-kasnak arasındaki sıyrılmalar minimum düzeyde tutulduğundan halat ve kasnak aşınmaları klasik sistemlere göre oldukça düşük bir düzeydedir. Dişli grubunun tümüyle ortadan kalkması, bakım ve onarım gereksinimini büyük ölçüde azaltmıştır. Periyodik yağ değişimi, yetersiz yağlama altında çalışma sonucu ortaya çıkabilecek sorunlar, ses ve vibrasyon problemleri ve arızalar dişlisiz sistemlerde tamamen ortadan kalkmıştır.

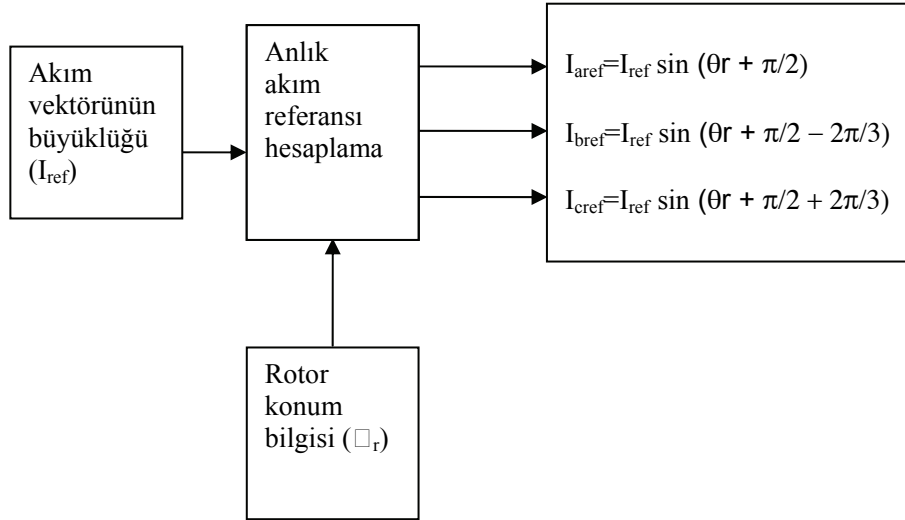
Konforun yanı sıra mıknatıs uyarımalı senkron motorlu dişlisiz tahrik sistemlerinin, geleneksel asenkron motor ve vidalı redüktörle tasarlanan sistemlere kıyasla en önemli üstünlüğü getirdiği enerji tasarrufudur [2]. Dişli grubun ortadan kalkması ile aynı tahrik gücü gereksinimi (aynı seyir hızı ve taşıma kapasitesi) için geleneksel sistemlere göre %40-%50 oranlarında daha küçük motor gücü seçilmesi mümkün olmaktadır. Motorun bu ölçüde küçülmesi sürücü, şalt, kablo ve diğer bileşenlerin de aynı oranda küçülmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle 2:1 askı sistemlerinde kullanılan ve nispeten yüksek hızla dönen mıknatıs uyarımalı senkron motorlarda enerji verimi (harcanan elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüşme oranı) asenkron motorlardan daha yüksek düzeylere çıkmaktadır. Bu şekilde, dişlisiz sistemlerin sürekli kullanımdaki elektrik enerjisi tüketimi geleneksel sistemlerden %50'ye varan oranlarda düşük gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Her alanda enerji verimliliğinin önem kazandığı ve hatta yasalarla denetim altına alındığı bir ortamda, bu çok önemli üstünlüğü dişlisiz sistemlerin bir adım öne çıkmasına, tercih ve hatta teşvik edilmesine neden olmalıdır. Dişlisiz sistemlerin daha da ilginç bir özelliği de, kullanılan sürücünün izin vermesi koşulu ile, dengelenmemiş ağırlığın seyir yönünde etki etmesi durumunda oluşan frenleme enerjisinin, şebekeye geri beslenebilmesi ve bu sayede net enerji tüketiminin daha da düşürülebilmesidir. Yakın bir gelecekte, giderek daha çok sayıdaki sürücü üreticisinin, bu şekildeki çalışmaya olanak verecek sürücü tiplerini geliştireceği öngörülerek, bu önemli özelliğin de gözardı edilmemesi gereklidir.

2- MUSM ÇALIŞMA İLKESİ

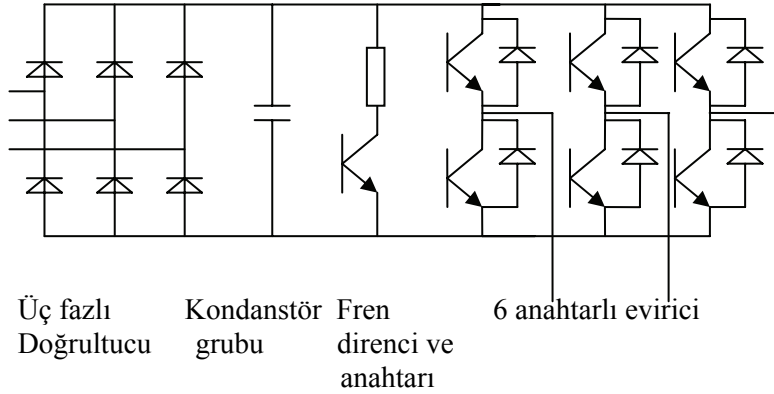
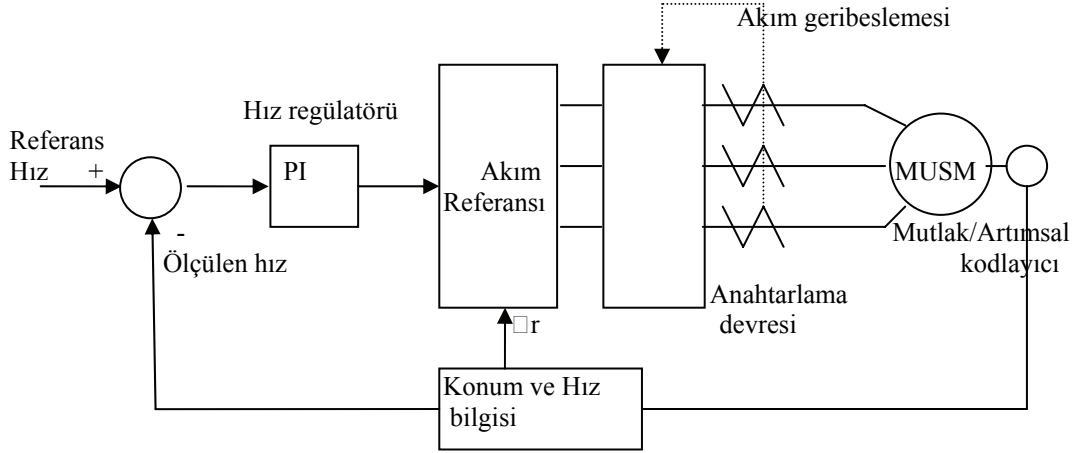
Asansör tahriğinde kullanılan MUSM'lar sinüs hareket gerilimi üretecek şekilde tasarlanırlar ve düzgün bir döndürme momenti üretebilmeleri için de stator sargılarından sinüzoidal akımlar geçirilir. Etkin bir moment ve hız denetimi için stator akım vektörü her t anında, rotor konumuna bağlı olarak (mıknatısların oluşturduğu rotor magnetik eksenini ile aralarında 90°'lik bir elektriksel açı olacak şekilde) konumlandırılır. Akım vektörünün büyüklüğü ise gereksinim duyulan döndürme (frenleme) momentine göre hız regülatörü tarafından ayarlanır. Bu işlem için, akım denetimli bir inverter ve rotor konum algılayıcısına (enkoder) gereksinim duyulur. Akım denetimi genellikle "Uzay Vektör Modülasyonu" yöntemi ile gerçekleştirilir [3]. Motorun ilk beslendiği anda rotor konumunun belirlenmesi için konum algılayıcısının mutlak konum ölçme özelliğinin bulunması gereklidir; motor bir kez harekete geçtikten sonra, konum bilgisi, algılayıcının artımsal kanalından okunarak akım vektörünün rotorla senkronize dönmesi sağlanır. Asansör tahriğinde kullanılan konum algılayıcılardaki artımsal kanal işareti, geleneksel artımsal kodlayıcılardaki kare dalgadan farklı olarak sinus-cosinus şeklindedir. Bu şekilde konumunun daha yüksek çözünürlükle ölçülmesi ve stator akım vektörünün çok hassas bir şekilde rotor pozisyonuna kilitlenmesi sağlanır.



Şekil 1. $2p = 2$ olan bir MUSM’da rotor konumuna bağlı olarak stator faz akımlarının ve stator akım vektörünün konumu.



Şekil 2. Rotor konum bilgisi yardımıyla stator akımlarının anlık referans değerlerinin hesaplanması.



Şekil 3. Temel MUSM denetim modeli ve anahtarlama devresi.

Şekilde verilen sistem, bir MUSM'un kapalı çevrim hız denetimi için kullanılacak en temel yapıdır. Referans hız, programlanan hız-zaman profiline uygun olarak hızlanma, sabit hızla seyir, (frenleme) yavaşlama şeklinde anlık olarak sisteme verilmektedir. Bu referans hız ile ölçülen hız değerleri karşılaştırılarak hız hatası oluşturulur. Sistemde hız hatasının bulunması, motorun ürettiği döndürme momentinin de ayarlanması gerekliliğini göstermektedir. Hız regülatörü hız hatasının giderilmesi için referans akımı artırıp azaltarak motorun ürettiği döndürme momentini ayarlamaktadır. Hız regülatörünün çıkışından elde edilen akım referansı ve rotor konum bilgisi yardımıyla üç faz akımlarının anlık referans değerlerini oluşturur. Bu referans değerler ve motor faz sargılarından ölçülen gerçek akım değerlerine göre anahtarlama devresi motor sargılarına doğru gerilim formundaki bara gerilimini uygun şekilde anahtarlarken motor akımlarının sürekli olarak referans akım değerlerini izlemesini sağlar. Bu şekilde motor istenilen hız-zaman profilini izleyecek şekilde çalışmış olur. Dişlisiz bir asansör tahriğinde tipik olarak 4 bölge bir çalışma gözlenir. Her iki yöndeki seyir durumunda da dengelenmemiş ağırlıktan dolayı motor miline uygulanan karşıt moment işletme koşullarına bağlı olarak MUSM'un motor veya fren çalışma bölgesine geçmesine neden olabilir.

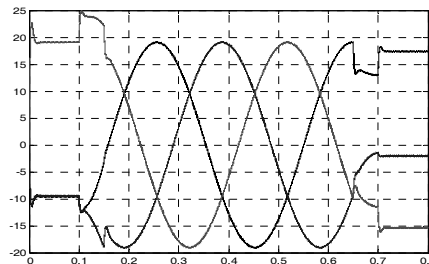
Fren bölgesindeki çalışmada motor esas olarak bir generatör gibi çalışarak yükten aldığı mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirerek doğru gerilim barasındaki kondansatör gruplarına aktarır. Bu enerji birikimi kısa sürede bara geriliminin yükselmesine neden olur. Bu nedenle oluşan enerjinin harcanması için bir elektronik anahtar üzerinden denetlenen fren dirençlerinin kullanılması zorunludur. Dişlisiz sistemlerde frenleme enerjisinin geleneksel asenkron motor ve dişli içeren sistemlere göre önemli ölçüde yüksek olacağına dikkat edilmelidir.

3- KAPALI ÇEVİRİM HIZ DENETİMİ ALTINDA ÇALIŞAN MUSM'UN BENZETİMİ

Kapalı çevrim hız denetimi altında çalışan bir MUSM sisteminin çalışmasının daha iyi açıklanabilmesi için basitleştirilmiş bir sistemin matematiksel modellenmesi ve benzetimi yapılmıştır. Bu incelemede asansör sisteminin dinamiği ihmal edilerek sistemin motor miline uygulanmış sabit bir yük ve eylemsizlik momenti ile çalıştığı öngörülmüştür.

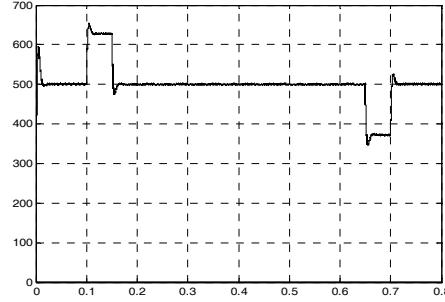
Benzetimde, $t=0$ anında 0 rad/s ile başlayan, $t=0.1 \text{ s}-0.15 \text{ s}$ aralığında 16 rad/s 'ye yükselen, $0.15 \text{ s} - 0.65 \text{ s}$ aralığında 16 rad/s değerinde sabit tutulan, $0.65 - 0.7 \text{ s}$ aralığında tekrar 0 rad/s 'ye düşürülen ve $0.7 \text{ s}- 0.8 \text{ s}$ aralığında bu değerde tutulan bir hız referansı kullanılmıştır. Bu çalışma şekli bir asansör sistemindeki frenin açılmasını izleyen kilitleme, hızlanma, sabit hızla çalışma, yavaşlama ve duruş evrelerinden oluşan tipik bir işlemdir. İlk benzetimde, hareket yönünün aksine etki eden sabit ve değeri 500 Nm olan bir yük momenti motor miline uygulanmıştır. $t=0$ anında frenin açılması ile motor miline uygulanan bu yük momenti hızın negatif değerler almasına neden olmuşsa da hız regülatörü üç faz akımlarını uygun değerlere getirerek rotorun kilitlemesini sağlamıştır. Bu aşamada motorun, $I_a=18 \text{ A}$, $I_b=I_c=-9 \text{ A}$ akım değerlerine ulaştığında, ürettiği döndürme momentinin de 500 Nm değere ulaştığı ve yükü dengelediği gözlenmektedir. Hızlanma evresinde referans hızı takip edebilmek için motor akımlarını daha da arttırdığı ve ürettiği döndürme momentini 630 Nm civarına yükselttiği görülmektedir. Bu arada rotor dönmeye başladığından stator akımları da sinüs formunu izlemeye başlamıştır. Hızlanmanın sona ermesi ile birlikte sürekli rejimde motor akımlarının sinüs formuna oturduğu ve rotor hızı sabit kaldığından frekanslarının değişmediği görülmektedir. Yavaşlama evresinde motorun ürettiği döndürme momentinin yük momentinden düşük kalması uygun yavaşlama ivmesini oluşturduğu gözlenmektedir. Hız referansının 0 'a düşmesi ile motorun $t=0$ anındakine benzer olarak yükü kilitletiği görülmektedir. Burada stator akımlarının değerlerinin $t=0$ anındakilerden farklı olduğu gözlenebilir, bu durum rotor konumunun $t=0$ dakinden farklı bir değerde olmasının sonucudur. Görüldüğü gibi stator akımları rotor konumuna bağlı olarak uygun değerler aldığı anda MUSM her konumda yükü kilitleyebilmektedir.

$I_{a,b,c} \text{ (A)}$



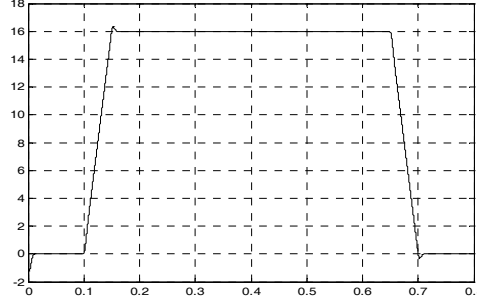
a)

t (s)

 M_{motor} (Nm)

b)

t (s)

 θ_{motor} (rad/s)

c)

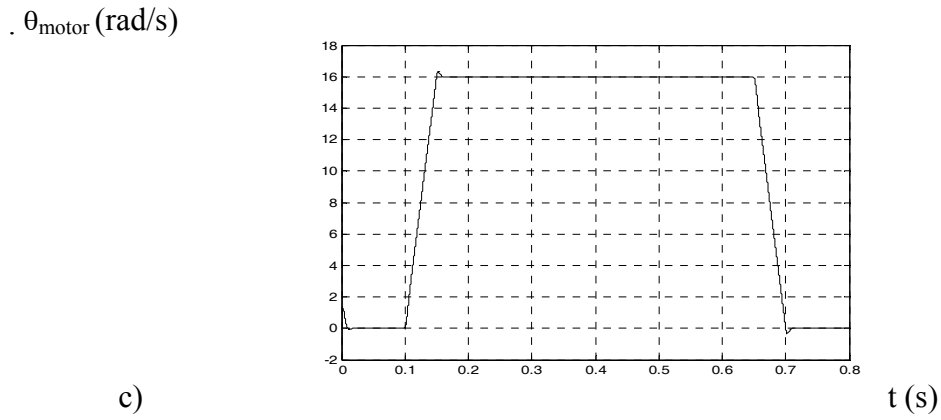
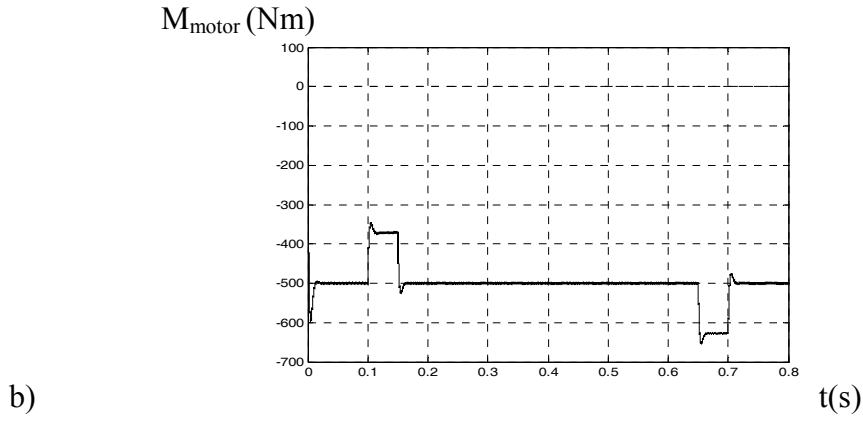
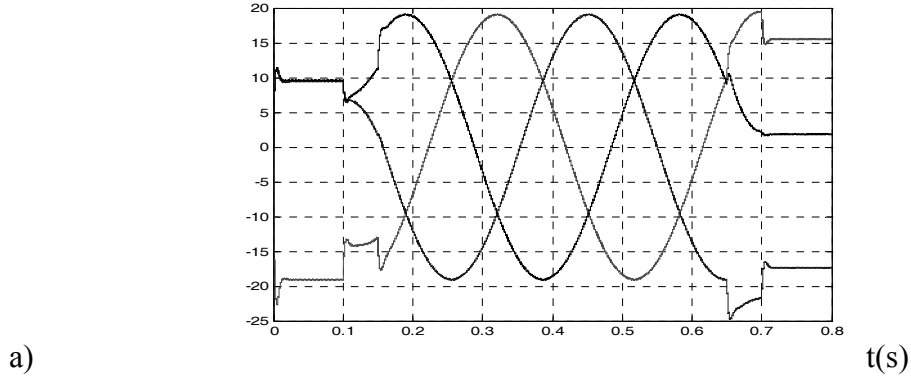
t (s)

Şekil 4. Benzetim sonuçları: a) Stator akımları b) Motor momenti c) Motor devir hızının değişimleri.

İkinci benzetimde aynı hız referansı için -500 Nm'lik bir yük momenti ile çalışma durumu modellenmiştir. Negatif yük momenti motoru seyir yönünde hızlandıran bir etki göstermektedir.

Bu nedenle $t=0$ anından hemen sonra motor hızlanma eğilimi göstermiş, buna karşın hız regülatörü akımları uygun değerlere getirerek motorun kilitlemesini sağlamıştır. Stator akımları birinci benzetim değerleri ile karşılaştırıldığında, faz akımlarının yönlerinin birinci durumdaki yönlerin zıttı olduğu gözlenebilir. Bu durumda motor 500 Nm'lik bir fren etkisi göstermektedir. Hızlanma, sabit hızla çalışma, yavaşlama ve durma evrelerinde beklenildiği gibi birinci benzetime göre farklılıklar sözkonusudur. Örneğin hızlanma için motor momenti azaltılmış, yavaşlama için arttırılmıştır. Benzeri bir durum akımlar içinde sözkonusudur.

 $I_{a,b,c}$ (A)



Şekil 5. Benzetim sonuçları: a) Stator akımları, b) Motor momenti, c) Motor devir hızının değişimleri.

4-MUSM'lu ASANSÖR SİSTEMLERİNİN BOYUTLANDIRILMASI

MUSM ile tahrik edilen bir asansör sisteminin boyutlandırılmasında ilk veri gereksinim duyulan döndürme momenti ve devir hızıdır. Bu iki veri, tasarlanacak asansör sisteminin işletme hızı, yük kapasitesi ve askı tipi ve kasnak çapına bağlı olarak elde edilebilir. Normal işletme durumunda motorun üretmesi gereken döndürme momenti

$$M_{\text{motor}} = r_{\text{kasnak}} g(m_{\text{yük}} + m_{\text{kabin}} - m_{\text{ka}}) / \ddot{u} \eta \quad (1)$$

ile verilir.

Burada;

r_{kasnak} : tahrik kasnağının yarıçapı (m),

$m_{\text{yük}}$: yük kütlesi (kg),

m_{kabin} : kabin kütlesi (kg),

m_{ka} : karşıt ağırlık kütlesi (kg),

\ddot{u} : Askı tipine bağlı katsayı (direkt askı için 1, 2:1 askı için 2 alınır),

η : Kuyu ve halat sisteminin verimidir.

Motorun devir hızı da,

$$\omega = \ddot{u} (v / r_{\text{kasnak}}) \quad (\text{rad/s}) \quad \text{veya} \quad (2)$$

$$n = \omega (60 / 2\pi) \quad (\text{d/dk}) \quad (3)$$

ile hesaplanır.

Normal koşullarda karşıt ağırlık, kabin ağırlığının tamamı ile anma yükün yarısını dengeleyecek şekilde seçilir. Askı tipi, motor boyutlandırılmasını önemli ölçüde etkiler. Örneğin 0.16 m yarıçaplı bir tahrik kasnağı ile çalıştırılacak 1000 kg, 1m/s 'lik bir sistemde kuyu verimi %80 kabul edilirse,

1:1 askı için $M_n = 980 \text{ Nm}$, $n_n = 59.68 \text{ d/dk}$ ($\omega_n = 6 \text{ rad/s}$),

2:1 askı için $M_n = 490 \text{ Nm}$, $n = 119.36 \text{ d/dk}$ ($\omega_n = 12 \text{ rad/s}$),

değerleri elde edilir. Dikkat edilirse tahrik gücü her iki motor için de 6.124 kW olmasına rağmen tamamen farklı iki motor gereklidir.

Burada hesaplan değerler sabit hızla seyir durumunda ve dengelenmemiş ağırlığın tahrik yönünün aksine etki etmesi durumunda ve anma yükte oluşacak yük momenti değerleridir. Yolalma ve frenleme anlarında motorun üretmesi gereken döndürme momentleri bu değerlerden farklı olacaktır. Örneğin kalkış esnasında sistemin istenilen hız-zaman profilini izlemesi için motorun üretmesi gereken döndürme momenti yukarıdaki değerlerin 1.5-2 katına kadar çıkabilir. Bu değer istenilen hızlanma ivmesi, motor milindeki yük momenti ve motor miline indirgenmiş eşdeğer eylemsizlik momentine bağlıdır.

MUSM'larda belirli bir gövde büyüklüğü için ısı sınırlamalar dahilinde elde edilebilecek döndürme momenti belirlidir. Bu nedenle aynı gövde büyüklüğünde, anma hızına bağlı olarak farklı güçlerde motorlar tasarlanabilir [4]. Döndürme momentinin sabit olmasına karşılık, işletme akımları ve hız ve de motor gücü değişecektir. Eğer uygun tasarım kriterleri kullanılırsa, bir gövde büyüklüğü için tasarlanan farklı güçlerdeki motorlarda, kayıplar (stator bakır kayıpları) yaklaşık olarak sabit tutulabilir. Sadece stator bakır kayıpları düşünüldüğünde bir MUSM için verim ifadesi,

$$\eta_{\text{motor}} = M_n \omega_n / (3 I_n^2 R_s + M_n \omega_n) \quad (4)$$

ile verilebilir.

Doğal olarak sabit bir M_n ve bakır kayıpları için en yüksek güçlü (en hızlı dönen) motor o gövde büyüklüğündeki en verimli motor olacaktır. Belirli bir güç (hız) için tasarlanmış bir MUSM bu hızın üzerinde çalıştırılmak istenirse, artan hareket gerilimine karşın . bara gerilimi yetersiz kalacağından akım ve dolayısı ile hız denetimi yitirilebilir. Tasarlanan hızın altındaki hızlarda ise gereğinden yüksek akımla çalışacağından gereğinden yüksek akımlı bir sürücü kullanılması gekecektir. Sonuç olarak spesifik bir işletme için özel olarak tasarlanmış bir MUSM, hem olabilecek en düşük akımla, hem de en yüksek verimle çalışacaktır. Akımın düşük olması özellikle motorla birlikte düşünülmesi gereken sürücü sisteminin ve diğer şalt ekipmanının en düşük maliyette olması sonucunu yaratacaktır. Verimin yüksek olması da sistemin işletme giderlerinin ve enerji tüketiminin düşmesini sağlayacaktır.

5-SONUÇLAR

Bu çalışmada asansör sistemlerinde giderek artan oranda kullanılan MUSM çalışma ve denetim prensipleri açıklanmış, kapalı çevrim hız denetimi altında çalışan bir MUSM sisteminin temel yapısı açıklanmıştır. Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için basit bir MUSM sisteminin iki farklı yük koşulunda çalışması durumundaki akım, hız ve döndürme momentinin değişimleri bilgisayar ortamında benzetilmiş ve sonuçlar verilmiştir. Son bölümde farklı hızlarda çalışmak üzere tasarlanan MUSM içeren sistemlerde verim ve boyutlandırma özellikleri açıklanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Asansör Sistemlerinde Miknatis Uyarmalı Senkron Motor ve Doğrudan Tahrik Sisteminin Kullanımı; H.T.Duru,R.Demiröz,Y.Toktaş;Asansör Sempozyumu, İzmir 2006.
2. *Asansör Sistemlerinde Doğrudan Tahrik Ve Miknatis Uyarmalı Senkron Motor Kullanılarak Enerji Verimliğinin Yükseltilmesi*; H.T.Duru,R.Demiröz,Y.Toktaş, 1. EVK Sempozyumu, Kocaeli 2005.
3. Application Note spr 588;Texas Instruments;www.ti.com
www.akarasansor.com.tr

EK : BENZETİMDE KULLANILAN MOTOR PARAMETRELERİ

Stator faz direnci: $R= 1.5$ Ohm
Stator İndüktansı: $L= 15$ mH
Hareket gerilim Sabiti : $K =10$ Vs/rad
Bara Gerilimi : $U =500$ V
Kutup çifti : $p=10$
Motor miline indirgenmiş
Eylemsizlik Momenti : $J =4$ kgm²