

ELEKTRİKLİ BİR OTOMOBİLİN MODELLENMESİ VE BİLGİSAYARDA SİMÜLASYONU

Dr. Salman Kurtulan, Prof.Dr. Atilla Bir, Öğr.Gör. Mahmut Kayral
İTÜ Elektrik-Elektronik Fak. Kontrol ve Kumanda Sistemleri Anabilim Dalı
80626 MASLAK /İSTANBUL

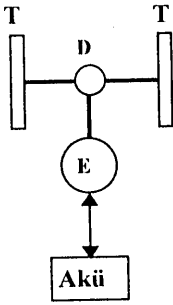
ÖZET

Bu çalışmada serbest uyarmalı doğru akım motoru ile tahrik edilen bir elektrikli otomobil göz önüne alınarak bir simülasyon modeli geliştirilmiş ve bilgisayarda programlanmıştır. Simülasyon denklemlerinin oluşturulmasında sistemin lineer ve lineer olmayan kısımları ayrı ayrı ele alınmış, lineer kısımlar için z-dönüşümü yöntemi kullanılmıştır. Lineer olmayan kısımlara ilişkin parametrelerin örneklemeler dışında sabit kaldıkları varsayılmıştır. Simülasyon denklemleri, kolay programlanabilir bir yapıda, fark denklemleri biçiminde düzenlenmiştir. Bu simülasyon programı elektrikli otomobillerde enerji tüketimi, tahrik motorlarının boyutlandırılması ve çeşitli kontrol algoritmalarının otomobil performansı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla geliştirilmiştir.

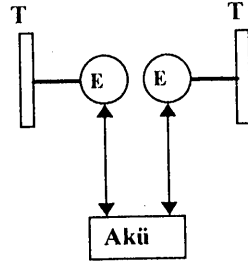
GİRİŞ

Günümüzde, yoğun yerleşim bölgelerinde gözlenen hava ve gürültü kirliliği gibi etkenler, elektrikli toplu taşımacılığa ek olarak elektrikli otomobillerin de kullanılmasını gündeme getirmiştir. Elektrikli otomobillerin üretimi için gerekli bilgi ve teknoloji 1882 den beri bilinmesine rağmen maliyet ve enerji depolanması sorunu gibi nedenlerden dolayı ticari olarak üretime hala daha geçilememiştir. Enerji krizinin ortaya çıktığı bazı dönemlerde gündeme gelmiş olmasına rağmen krizin aşılmasıyla birlikte güncelliği azalmıştır. Günümüzde çevre kirliliğinin aşırı boyutlara ulaşması bu otomobiller üzerindeki çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuş ve bir çok üretici firma çeşitli özelliklerde elektrikli otomobil modelleri geliştirmeye başlamıştır. Elektrikli otomobiller için şu an tartışılan sorunlar tahrik motoru seçimi ve enerji depolanması ile ilgilidir. Tahrik motoru olarak doğru akım motoru, asenkron motor ve sabit mıknatıslı senkron motorlar, enerji kaynağı olarak sodyum-sülfür, kurşun-asit, nikel-kadmiyum ve nikel-demir akümülatörlerin kullanımı düşünülmektedir[1]. Tahrik düzenleri olarak da çeşitli düzenler üzerinde çalışılmaktadır[2]. Bunlara örnek olarak, geleneksel tahrik sistemiyle birlikte (Şekil 1.1), tekerleri ayrı ayrı tahrikli (Şekil 1.2) ve karma sistemler (Şekil 1.3) üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir. Her üç sistemde de üç tip

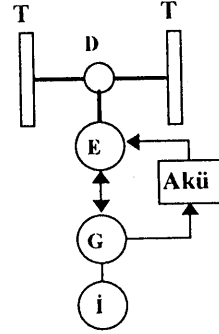
tahrik motoru kullanılabilir. Bu çalışmada, Şekil 1.1 de verilen ve serbest uyarımalı doğru akım motoru ile tahrik edilen bir otomobil modellenmiş ve bilgisayarda simüle edilmiştir.



Şekil 1.1



Şekil 1.2

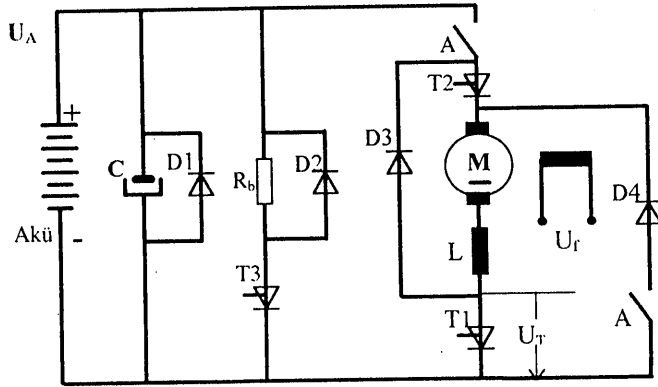


Şekil 1.3

E: Elektrik motoru , G: Generatör, i: İçten yanmalı motor D:Diferansiyel T:Teker

1. Doğru Akım Motor Tahrikli Otomobilin Güç Devresi

Serbest uyarımalı doğru akım motoru ile tahrik edilen bir otomobile ilişkin ayrıntılı güç devresi Şekil 1.4' de verilmiştir.



Şekil 1.4. Doğru akım motoru ile tahrik edilen bir otomobilin güç devresi

D1, D2, D3, D4: Serbest geçiş diyotları
T1: Akım ayarlayıcı diyot
T2: Motor çalıştırıcı diyot
T3: Aşırı gerilim diyodu
R_b : Fren direnci
L: Akım süzme bobini

C: Filtre kapasitesi
U_{AC}: Akü gerilimi
U_r: Uyarma gerilimi
A: Ana kontaktörler
M : Tahrik motoru

$I=0$ için

$$G_1(s) = \frac{U_{A1}(s)}{E_1(s)} = \frac{1}{s R_1 C + 1} = \frac{K_1}{s \tau_1 + 1} \quad (1)$$

$$K_1=1, \tau_1=R_1 C$$

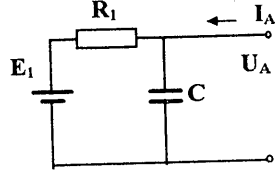
$E_1=0$ için

$$G_2(s) = \frac{U_{A2}(s)}{I_A(s)} = \frac{R_1}{s R_1 C + 1} = \frac{K_2}{s \tau_2 + 1} \quad (2)$$

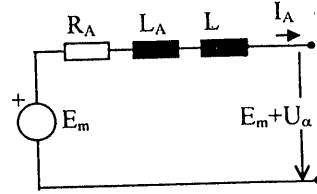
$$K_2=R_1, \tau_2=R_1 C$$

$$U_A(s)=U_{A1}(s) + U_{A2}(s)$$

toplamından elde edilir.



Şekil 1.6.



Şekil 1.7

2.2. Tahrik Motoru

2.2.1. Çekme Kuvveti

Çekme kuvveti R teker çapı, $\ddot{u}$ dişli çevirme oranı, η dişli verimi ve k motor sabiti olmak üzere

$$F = \frac{1}{R} \ddot{u} \eta k \phi I_A = K \phi I_A, \quad K \triangleq \frac{k}{R} \ddot{u} \eta \quad (4)$$

biçiminde ifade edilir.

2.2.2. Endüvi Devresi

I_A Endüvi akımı, R_A endüvi direnci, L_A endüvi endüktansı ve L süzme bobini endüktansı olmak üzere motor transfer fonksiyonu (şekil 1.7)

$$\frac{I_A(s)}{U_\alpha(s)} = \frac{1}{R_A + s(L + L_A)} = \frac{K_m}{s \tau_m + 1}; \tau_m \triangleq \frac{L_A + L}{R_A}, K_m \triangleq \frac{1}{R_A} \quad (5)$$

biçiminde yazılabilir. Burada U_α güç devresinin çalışmasına bağlı olarak motor çalışmada

$$U_\alpha = U_A - U_T - E_m$$

fren çalışma durumunda

$$U_\alpha = E_m - U_A - U_T$$

olarak alınacaktır. Bu ifadede U_A akümülatör-filtre çıkış gerilimi, U_T kıyıcı uç gerilimi olup T1 tristörü iletimde iken $U_T=0$ ve T1 tristörü kesimde iken $U_T=U_A$ değerini alır. E_m motor zıt EMK değeri olup

$$E_m = k \phi \quad \omega = K \phi v(t) \quad (6)$$

olarak ifade edilir. Burada $\omega(t)$ motor mili açısal hızı $v(t)$ taşıt hızıdır.

2.2.3. Uyarma Devresi

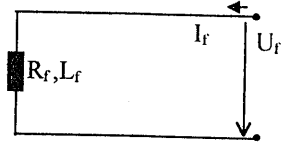
Uyarma devresi direnci R_f , endüktansı L_f ve uyarma devresine uygulanan gerilim U_f olmak üzere transfer fonksiyonu (Şekil 1.8)

$$\frac{I_f(s)}{U_f(s)} = \frac{1}{R_f + sL_f} = \frac{K_f}{s\tau_f + 1}, \quad \tau_f \triangleq \frac{L_f}{R_f}, \quad K_f \triangleq \frac{1}{R_f} \quad (7)$$

biçiminde verilebilir.

2.2.4. Uyarma Akısı

Uyarma akısı ifadesi serbest uyarımalı bir doğru akım motoru için



Şekil 1.8

$$\phi(I_f, I_A) = \xi(1 - \exp(-\beta I_f)) - \Gamma I_A^\delta \quad (8)$$

biçiminde verilebilir. Burada ξ , β , Γ , δ motor mıknatıslanma eğrisinden alınan değerlerden belirlenebilir parametrelerdir [3].

2.3. Taşıt Direnci

Bir elektrikli otomobilde taşıt direnci yuvarlanma direnci F_R , eğim direnci F_G ve aerodinamik direnç F_A bileşenlerinden oluşur. Yuvarlanma direnci katsayısı f_R , taşıt kütlesi m , yerçekimi ivmesi g ve yol eğimi α olmak üzere yuvarlanma direnci F_R

$$F_R = f_R m g \cos \alpha \quad (9)$$

biçiminde ve eğim direnci F_G

$$F_G = m g \sin \alpha \quad (10)$$

olarak ifade edilir.

Hava yoğunluğu ρ [kg/m³], c_x taşıt aerodinamik katsayısı A [m²] projeksiyon alanı olmak üzere aerodinamik direnç F_A ,

$$F_A = \frac{1}{2} \rho c_x A v^2 \quad (11)$$

olarak ifade edilir[4].

2.4. Taşıt Dinamiği

Taşıt dinamik denklemi Newton yasası gereği

$$\Delta F \triangleq F - F_R \pm F_G - F_A = m \frac{dv}{dt} \quad (12)$$

olarak ifade edilir. Bu ifadede F_G terimi önündeki - işareti yokuş yukarı ve + işareti yokuş aşağı harekette geçerlidir.

3. Simülasyon Modeli Fark Denklemleri

Sisteme ilişkin blok diyagram (Şekil 1.5) incelendiğinde sistemin birinci mertebeden lineer kısımlar ve manyetik akı, taşıt direnci gibi lineer olmayan kısımlardan oluştuğu görülür. Aşağıda bu kısımlara ilişkin fark denklemleri verilecektir.

3.1. Taşıt Dinamiğine İlişkin Fark Denklemleri

Taşıt dinamiğine ilişkin denklem

$$y(t) = K \int x(t) dt \quad (13)$$

şeklinde bir entegral olup buna ait fark denklemi

$$y(k) = y(k-1) + \frac{KT}{2} (x(k) + x(k-1)) \quad (14)$$

biçiminde verilebilir. Bu denklemden hareketle taşıt dinamiğine ilişkin (13) denklemi fark denklemi biçiminde

$$v(k) = v(k-1) + \frac{T}{2m} (\Delta F(k) + \Delta F(k-1)) \quad (15)$$

olarak yazılabilir. Burada $\Delta F(k) = F(k) - F_R(k) \pm F_G(k) - F_A(k)$ dir.

Birinci mertebeden

$$\tau \frac{dy}{dt} + y = K.x \quad (16)$$

biçiminde verilen bir denklemin transfer fonksiyonu

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K}{s\tau + 1} \quad (17)$$

şeklinde olup bu fonksiyona ilişkin fark denklemi

$$y(k) = K(1 - \exp(-T/\tau)) x(k-1) + \exp(-T/\tau) y(k-1) \quad (18)$$

olarak verilebilir.

Bu denklem birinci mertebeden sistem davranışı gösteren kısımlara uygulanırsa aşağıdaki fark denklemleri elde edilir.

Endüvi devresi akımına ilişkin (6)'da verilen transfer fonksiyonu fark denklemi biçiminde

$$I_A(k) = K_3 (1 - \exp(-T / \tau_m)) U_\alpha(k-1) + \exp(-T / \tau_m) I_A(k-1) \quad (19)$$

olarak yazılabilir. Aynı şekilde uyarma devresine ilişkin fark denklem

$$I_r(k) = K_r (1 - \exp(-T / \tau_r)) U_r(k-1) + \exp(-T / \tau_r) I_r(k-1) \quad (20)$$

olarak elde edilir.

Akümülatör ve filtre devresine ilişkin fark denklemleri (1),(2),(3) denklemlerinden hareketle

$$U_{A1}(k) = (1 - \exp(-T/\tau_1)) E_1(k-1) + \exp(-T/\tau_1) U_{A1}(k-1) \quad (21)$$

$$U_{A2}(k) = K_2 (1 - \exp(-T/\tau_2)) I_A(k-1) + \exp(-T/\tau_2) U_{A2}(k-1) \quad (22)$$

$$U_A(k) = U_{A1}(k) + U_{A2}(k) \quad (23)$$

biçiminde yazılır.

Manyetik akıya ilişkin fark denklemleri (8) denklemindeki parametrelerin her örnekleme zamanında değişmediği varsayılarak

$$\phi(k) = \xi(1 - \exp(-\beta I_r(k))) - \Gamma I_A^\delta(k) \quad (24)$$

biçiminde yazılabilir.

Benzer düşünceyle çekme kuvveti için

$$F(k) = K \phi(k) I_A(k) \quad (25)$$

Taşıt dirençleri için

$$F_R(k) = f_R m g \cos \alpha(k) \quad (26)$$

$$F_G(k) = m g \sin \alpha(k) \quad (27)$$

$$F_A(k) = \frac{1}{2} \rho c_x A v^2(k) \quad (28)$$

fark denklemleri elde edilir.

4. Simülasyon Programı

Sistem simülasyon programı yukarıda elde edilen fark denklemlerinin uygun sırayla yazılmasıyla gerçekleşir. Aşağıda simülasyon programında kullanılan denklemler toplu olarak verilmiştir. Bu denklemlerde sabit giriş parametreleri ve değişken parametreler ayrıca belirtilmiştir. Fark denklemleri biçiminde verilen bu denklemler herhangi bir nümerik yöntem algoritması kullanılmadan doğrudan değerlendirilebilir..

TABLO 1- Programlamada Kullanılan Fark Denklemleri.

Sabit parametreler

$T, K_1, K_2, K_m, K_f, \tau_m, \tau_f, \tau_1, \tau_2, \xi, \beta, \Gamma, \delta, f_R, g, \rho, K, c_x, A$

Girişler

E_1, U_T, U_0, α, m

Çıkışlar

v, I_A, I_f, U_A

$$U_{A1}(k) = K_1 (1 - \exp(-T/\tau_1)) E_1(k-1) + \exp(-T/\tau_1) U_{A1}(k-1)$$

$$U_{A2}(k) = K_2 (1 - \exp(-T/\tau_2)) I_A(k-1) + \exp(-T/\tau_2) U_{A2}(k-1)$$

$$U_A(k) = U_{A1}(k) + U_{A2}(k)$$

$$E_m(k) = K \phi(k-1) v(k-1)$$

$$U_\alpha(k) = U_A(k) - U_T(k) - E_m(k) \quad (\text{motor çalışma})$$

$$U_\alpha(k) = E_m(k) - U_A(k) - U_T(k) \quad (\text{fren çalışma})$$

$$I_A(k) = K_3 (1 - \exp(-T/\tau_m)) U_\alpha(k-1) + \exp(-T/\tau_m) I_A(k-1)$$

$$I_f(k) = K_f (1 - \exp(-T/\tau_f)) U_f(k-1) + \exp(-T/\tau_f) I_f(k-1)$$

$$\phi(k) = \xi(1 - \exp(-\beta I_f(k))) - \Gamma I_A^\delta(k)$$

$$F_R(k) = f_R m g \cos \alpha(k)$$

$$F_G(k) = m g \sin \alpha(k)$$

$$F_A(k) = \frac{1}{2} \rho c_x A v^2(k)$$

$$F(k) = K \phi(k) I_A(k)$$

$$\Delta F(k) = F(k) - F_R(k) \pm F_G(k) - F_A(k)$$

$$v(k) = v(k-1) + \frac{T}{2m} (\Delta F(k) + \Delta F(k-1))$$

Motor EMK sabitine ilişkin E_m ifadesinin sağ tarafı manyetik akı ve hız ifadelerinin bir önceki değerlerini kullanabilmek amacıyla $k=k-1$ alınarak bir adım ötelenmiştir.

5. SONUÇ

Tablo 1 de verilen fark denklemlerinden yararlanılarak bir otomobile ilişkin simülasyon programı hiç bir nümerik yöntem kullanılmadan, doğrudan programlanabilir. Bu denklemlerle gerçekleştirilen programda bir kararlılık sorunu ile karşılaşılmaz. Örnekleme zamanı herhangi bir değer alınabilir. Örnekleme zamanının büyük seçilmesi bir kararsızlığa ya da hatalı sonuçların hesaplanmasına neden olmaz. Ayrıca denklemler fark denklemleri biçiminde düzenlenmiş olduğundan herhangi bir kontrol algoritması altında sistemin kararlılığını incelemek de mümkündür. Bu program bir elektrikli otomobilin tasarımında motor gücü seçimi, seçilen motorla çeşitli yol ve yük koşullarında elde edilebilecek hız ve ivme profilleri belirlenebilir. Ayrıca çeşitli kontrol algoritmalarının taşıt performansı üzerindeki etkileri ve enerji tüketimi gibi konuların irdelenmesi de mümkündür.

KAYNAKLAR

- 1- BİR A., KAYRAL M., "Elektrikle Tahrikli Otomobillerin Geleceđi ve Sorunları", Otomasyon Dergisi, S. 98-102, Eylül 1993.
- 2- KUNERTH W., "The Forces Propelling The Automotive Elctronic Market", Siemens Review, S. 9-11, March/April 1993.
- 3- KURTULAN S. "Bir Elektrikli Ulaşım Sisteminin Modellenmesi ve Simülasyonu", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart 1992.
- 4- GÖKTAN A. "Taşıt Tasarımı", İTÜ Teknik Üniversite Matbaası, S. 4, 1994.

