

ASENKRON MAKİNANIN CER MOTORU OLARAK KULLANILMASI VE ÜÇ FAZLI AKIM CER YÖNTEMİ

Sinan GÜNGÖR
İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi

ÖZET:

Elektrikli cer için en uygun özellikleri taşıyan asenkron makine bulunduğu andan beri cer motoru olarak kullanılmak istenmiştir. Cer motoru olarak kullanılan asenkron makinayı besleyecek olan kaynağın bazı nitelikleri olmalıdır. Kaynağa bu nitelikler güç ve komutum elektroniği ile kazandırılır. Bu amaçla yapılan çalışmalar sonucunda Üçfazlı Akım Cer Yöntemi geliştirilmiştir. Bu makede asenkron makinenin cer motoru olarak üstünlükleri ve üçfazlı akım cer yöntemi tanıtılacaktır.

GİRİŞ:

Elektrikli cerde 20 yıl kadar önce yeni bir dönem başlamıştır. "Üçfazlı Akım Cer Yöntemi" denilen bir yöntemle artık asenkron makine cer motoru olarak kullanılabilir. Güç ve komutum elektroniğinin gelişmesi ile ilerleme sağlayan bu yöntemin uygulamaları 1970'li yılların başlarından bu yana hızla artmıştır(1).

Dayanıklı yapısı, az bakım gerektirmesi, güç ve hız sınırlarının yüksekliği gibi özellikleri nedeniyle sincap kafesli asenkron makine bulunduğu (keşfedildiği) andan beri cer motoru olarak kullanılmak istenmiştir. Başarılı olmayan önceki çalışmalardan, cer motoru olarak kullanılan asenkron makinayı besleyecek olan kaynağın bazı nitelikleri taşıması gerektiği anlaşılmıştır. Kaynağa bu nitelikleri kazandırmak için güç elektroniği ile gerçekleştirilen dönüştürücülerden yararlanır.

Asenkron makine; stator akımlarının frekansı ile belirli senkron hız çevresinde, sınırlı bir hız aralığında verimi yüksek olarak çalışır. Oysa araç hızı geniş bir aralıkta değişmektedir. Araç hızı v , cer motorunun rotor çevresel hızı olan V_r ile orantılıdır, c , mekanik aktarıcıya ilişkin hız oranı olmak üzere:

$$V_r \approx C \cdot v$$

bağıntısı geçerlidir.

Elektrik makinalarında bir çevresel kuvvetin nedeni stator ve rotor magnetik alanlarının etkileşimidir. Stator akımlarının frekansı f_1 ise stator alanının statora göre çevresel hızı:

$$V_r = 2 \cdot T \cdot f_1$$

dir. Burada x kutup bölümüdür. Rotor akımlarının frekansı f_2 ise rotora göre:

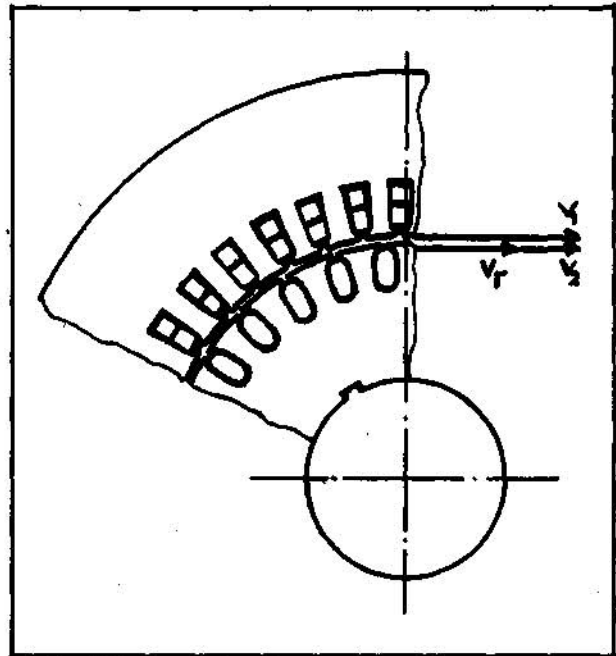
$$V_2 = 2 \cdot X \cdot f_2$$

bağıntısı da yazılabilir.

Makinada oluşturulan momentin yararlı olabilmesi için, stator ve rotor alanlarının birbirine göre bağıl hareketi olmamalı, yani Şek. 1'de görülen:

$$v_1 \cdot v_r + v_2$$

koşulu sağlanmalıdır.



Şek. 1 Frekans Ayarının açıklanması

Son bağıntıya öncekiler yerleştirirse,

$2T \cdot f_1 \approx C \cdot v + 2C \cdot f_2$ olur. $C' = C/2 - 1$ olarak alınırsa:

$$f_1 = C' \cdot v + f_2$$

$$v = \frac{1}{C'} \cdot (f_1 - f_2)$$

sönucu elde edilir. Buradan farklı araç hızları için stator veya rotor akımları frekansından en az birinin değiştirilmesi gerektiği anlaşılır.

Kollektörlü cer motorlarının kullanıldığı alışılmış yöntemlerde yalnızca rotor akımlarının frekansı değişkendir. Burada rotor akımları gerekli frekansa kollektör yardımı ile kendiliğinden erişir. Sincap kafesli asenkron motorda da rotor akımlarının frekansı değişken olmasına karşın bu değişim kısıtlıdır. Bu nedenle farklı araç hızları için stator akımlarının frekansı ayarlanabilir olmalıdır.

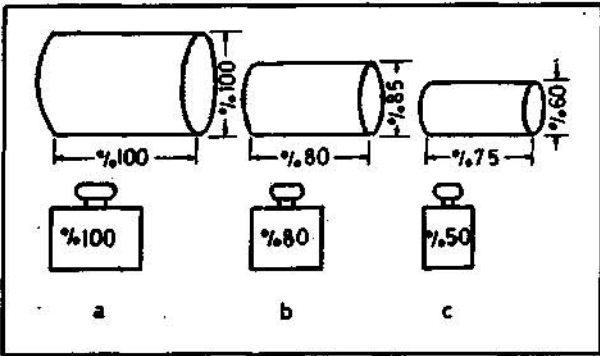
Cer motorları için gerekli olan güç, hız ve yüke bağlı olduğundan frekansın dışında ayrıca makinenin gerilimi ya da akımı da ayarlanmalıdır.

Yukarıda belirtilen istemler gerilim ya da akım aradevrelili dönüştürücüler ile karşılanır. Dönüştürücünün aradevreden önceki giriş katı gerilim ya da akımı gereksinilen değere ayarlar. Frekans ayarı ise çıkış katında gerçekleştirilir. Bu kat, akım aradevrelili dönüştürücüde akım alıştırıcı olarak çalışır. Gerilim aradevrelili dönüştürücüde ise gerilim alıştırıcı olarak çalışan bu kat, belirli bir değerde tutulan aradevre gerilimini altbileşen yöntemine göre alıştırarak ayrıca gerilim ayarı da yapar.

Üçfazlı akım cer yöntemi kullanılan dönüştürücü: akım aradevrelili ise I- dönüştürücülü, gerilim aradevrelili ise U- dönüştürücülü üçfazlı akım cer yöntemi olarak da adlandırılmaktadır.

CER MOTORU OLARAK ASENKRON MAKİNA:

Asenkron makinalar ağırlık ve boyutça en uygun cer motorlarıdır. Şek. 2'de diğer cer motorlarıyla bu bakımdan bir karşılaştırma görülmektedir(2).



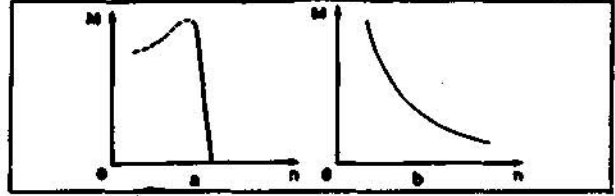
Şek. 2 Aynı güçteki cer motorlarının büyüklük karşılaştırması

- Alternatif akım cer motoru (Kollektörlü cer motoru)
- Doğru akım cer motoru
- Asenkron cer motoru

Asenkron makineler küçük boyutları nedeniyle bojideki kısıtlı oylum içinde daha yüksek güç sağlayabilir. Bojide her dingil için 2 MW güce kadar cer motorları yerleştirilebileceği belirlenmiştir. Ancak bu gücü besleyecek araç üzerindeki diğer donanımın ağırlığının artması nedeniyle bugüne değin 1,4 MWlık bir güce ulaşılmıştır. Motor ağırlığının azalmasıyla aracın yönlendirmesini kolaylaştıran daha hafif bojiler gerçekleştirilmiştir. Örneğin, bojilerin kütlesi tüm araç kütlesi içinde, bir alternatif akım cer aracında % 51 iken, üçfazlı akım bir cer aracında % 38, yine üçfazlı akım cer yöntemi ile işleyen ve yolcu ulaşımında kullanılan bir dizinin güç arabasında % 25'dir. Böylece gidış ve özellikle dönemeçlerden geçiş kolaylaşır(3).

Sincap Kafesli bir asenkron makina, rotor yapısının basit ve sağlam oluşu, rotorunda alışılmış cer motorlarındaki kollektörün bulunmayışı nedeniyle daha yüksek devir hızlarında çalışabilecek biçimde yapılabilir. Cer motorlarının hem güçlü hem de yüksek hızda yapılabilmesi daha hızlı ulaşımı olanaklaştırmıştır.

Asenkron makinanın doğal $M = f(n)$ özegrisi oldukça diktir ve makinanın çalışma hızı senkron hıza çok yakındır. Herhangi bir nedenle dingilin yükten kurtulması durumunda, makina en fazla senkron hıza kadar hızlanabilir. Böylece, tekerleklerin raya tutunamayıp sıyırılması olayı gelişemez. Asenkron cer motorunun bu üstünlüğü Şek. 3'de görülmektedir.

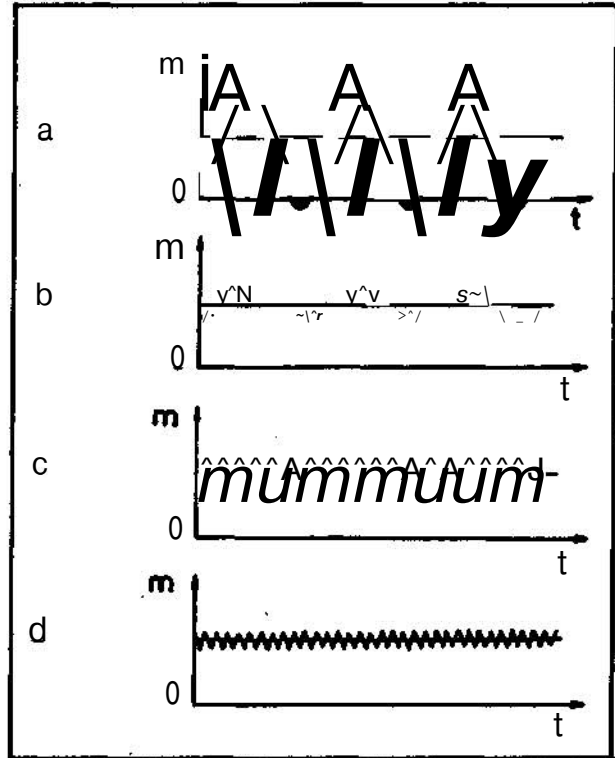


Şek. 3 Cer motorlarının $M = F(n)$ özegrileri

- Asenkron cer motoru
- Kollektörlü cer motoru

Kollektörlü cer motorlarının yüksüz kalıp tekerleklerin sıyırılması durumunda, hız çok büyümektedir. Bu olay aşırı sürtünme nedeniyle tekerlek kasmağının gereksiz aşınmasına neden olmaktadır. Böyle bir aşınma üçfazlı akım cer yönteminde söz konusu değildir.

Asenkron makina moment salınımları bakımından da üstündür. Kancadaki cer kuvvetine de yansıyan moment

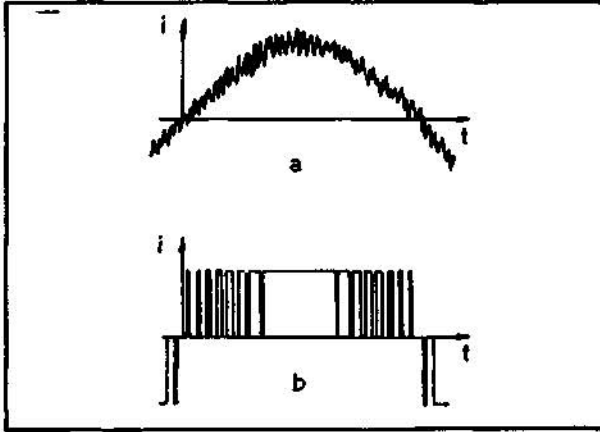


Şek. 4 Cer motorlarında moment salınımları

- Alternatif akım cer motorlarında (kollektörlü cer motorlarında)
- Karma akım cer motorlarında
- I- dönüştürücü ile beslenmiş asenkron cer motorlarında
- U- dönüştürücü ile beslenmiş asenkron cer motorlarında

salmımları, mekanik elemanların gereksiz yüklenmesine ve sarsıntılara neden olmaktadır. Alternatif ve karma akım(*) cer motorlarında değişmeyen ve kaynak frekansının iki katı olan moment salınım frekansı, asenkron cer motorlarında 5-1200 Hz arasında değişmektedir. Şek. 4' den görüldüğü gibi, moment salınımı alternatif akım cer motorlarında $\pm \% 100$, karma akım cer motorlarında ise yaklaşık $\pm \% 30$ 'dur.

Asenkron cer motorlarında moment salımının temel bileşeni stator akımları frekansının 6 katı frekanstadır. I- dönüştürücü ile beslenmiş asenkron cer motorlarında moment salınımı $\pm \% 20-30$ arasında olmasına karşın, yüksek frekanslarda kolaylıkla söndürülür. Mekanik sarsıntılar bakımından küçük frekanslı moment salımları sakıncalı olabilmektedir. Önlem olarak, alçak frekanslı stator akımlarında bazı üstbileşenler (harmonikler) azaltılmalıdır. Özellikle moment salımının ilk bileşenini oluşturan 5. ve 7. üstbileşenler (harmonikler) yok edilmek istenir. Bu amaçla alçak hızlarda, U- dönüştürücüler altbileşen yöntemine, I- dönüştürücüler kesintileme yöntemine göre almaştırma yaparlar. Kalkış sırasında bu yolla elde edilmiş, alçak frekanslı üstbileşenleri (harmonikleri) azaltılmış stator akımının değişimi Şek. 5'de verilmiştir.



Şek. 5 Kalkış akımının değişimi

- a. U- dönüştürücü ile beslenmiş cer motorunda
b. I- dönüştürücü ile beslenmiş cer motorunda

Böylece I- dönüştürücüden beslenmiş cer motorlarında kalkış sırasındaki moment salımlarının kancadaki cer kuvvetine yansması oldukça küçültülmüştür, örneğin bu değer momentin ilk üstbileşeni (harmonik'i) için, stator akımı frekansı $f_i = 0,5$ Hz iken, $AF_6 / F = 0,06$ 'dır(4). U- dönüştürücü ile beslemede ise moment salımları önemlidir. (F m cer kuvvetidir.)

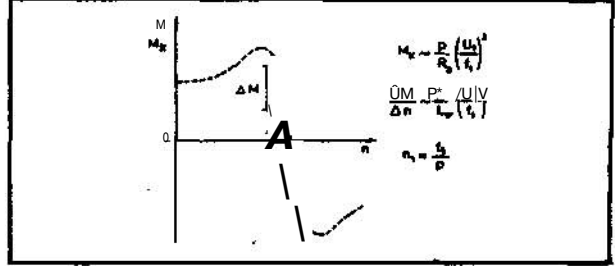
Üçfazlı akım cer yöntemi, yeniden kazanımlı (Regeneratif) frenlemeye elverişlidir. Bunun için motor çalışmadan generatör çalışmaya geçişte makine bağlantılarında herhangi bir değişikliğe gerek yoktur. Aynı kolaylık gidış yönünün değiştirilmesinde de geçerlidir. Gerekli işlemler dönüştürücünün uygun komutumu (dönüştürücüye uygun komut verilmesi) ile başarılır

(*) Karma akım: Doğrultucu ile elde edilmiş, fakat tam süzölemediği için kaynak frekansının iki katı frekansta alternatif bileşeni olan doğru akım anlamındadır.

Asenkron makinenin cer motoru olarak önemli bir çekiciliği de az bakım gerektirir. Bu kollektör gibi aşınan ve yenilenmesi gereken kısımlarının bulunmayışı nedeniyledir.

ASENKRON CER MOTORUNUN BESLENMESİ VE YAPAY M s F (n) ÖZEĞRİLERİ:

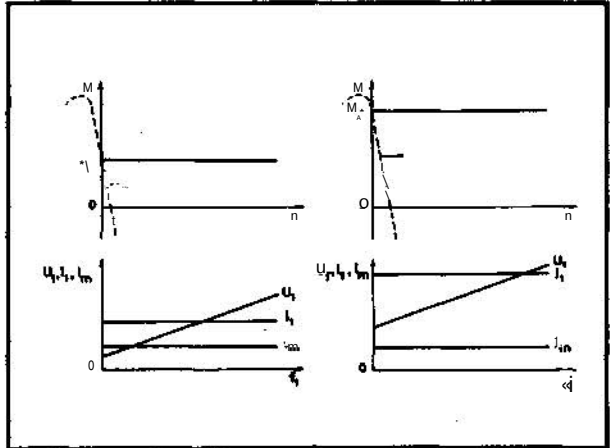
Şek. 6'da asenkron makinenin doğal M - f (n) özeğrisi ve bu özeğrinin bazı özellikleri verilmiştir.



Şek. 6 Asenkron makinenin doğal M = f (n) özeğrisi

Bu özeğriyi devrilme (yıkılma) momentinde ve doğrusal kısmın eğiminde değişiklik yapmaksızın sağa, sola kaydırmak olasıdır. Bunun için makina gerilimi U_i ve bunun frekansı f_i , oranları korunarak, değiştirilmelidir. Bu oran makinenin hava aralığı akısını belirlediğinden, bu oranın korunmasıyla akı değişmeyecektir. Makinayı besleyen dönüştürücünün gerilimi sınırlı olduğundan, makina gerilimi artırılmayıp frekansı arttırılırsa, akı zayıflamaya başlayacaktır. Bu arada devrilme (yıkılma) momenti düşer, özeğri yatıklaşır.

Makina ilk andaki senkron hıza göre farklı kalkış momentleri verecektir. Makina hızlandıkça özeğri uygun biçimde sağa ötelenerek moment kalkış momentinde tutulabilir. Şek. 7'de böyle çalıştırılmış bir asenkron makinenin bazı büyüklüklerinin değişimi görülmektedir.

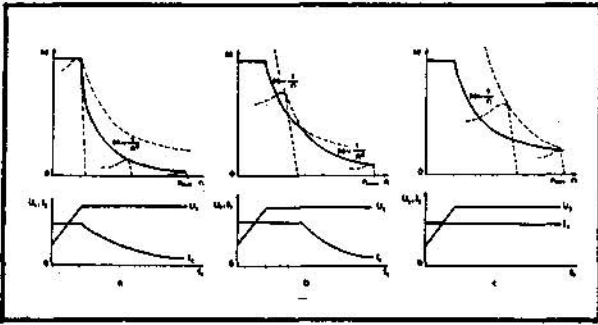


Şek. 7 Anma akısında çalışan bir asenkron makinenin bazı büyüklükleri

Burada akı, dolayısıyla mıknatıslama akımı I_m değişmemiştir. Akı sabit kaldığından moment akımla orantılıdır.

En büyük kalkış momentini makina ve dönüştürücünün ısı zorlanması belirler. Daha büyük kalkış momenti için makina kısa süreli aşırı yüklenebilir.

Motor hızlandıkça gerilim, dönüştürücünün izin verilen gerilimine kadar artırılır ve sonra bu değerde tutulur. Bu durumda dönüştürücünün güç sınırına gelinmiştir. Frekans daha da arttırılırsa akı zayıflayacak, devrilme momenti frekansın karesiyle ters orantılı olarak düşecektir. En büyük hızdaki devrilme momenti kutup sayısı büyük seçilerek, makina kaçak indüktansı küçük olacak biçimde boyutlandırılarak büyütülür. Burada kutup sayısının büyük seçilmesiyle aynı hız için dönüştürücünün daha yüksek frekansta almaştırma yapması gerekeceği göz önüne alınmalıdır. Makinamın farklı boyutlandırılması durumunda yapay $M - f(n)$ özgeğrisinin alacağı biçim Şek. 8'deki gibi olacaktır.



Şek. 8: Makinamın farklı boyutlandırılması durumunda yapay $M = f(n)$ özgeğrisi

(a) ve (b) durumlarında dönüştürücünün gücünden tam olarak yararlanılmamıştır. Bu bakımdan en uygun boyutlandırma (c) durumundaki gibidir. Burada devrilme momenti ve güç sınırlarının kesişimi en büyük hızdadır. En büyük hızda oluşturulan moment bu hızda aracın çekebileceği yük bakımından önemlidir ve büyük olması istenir.

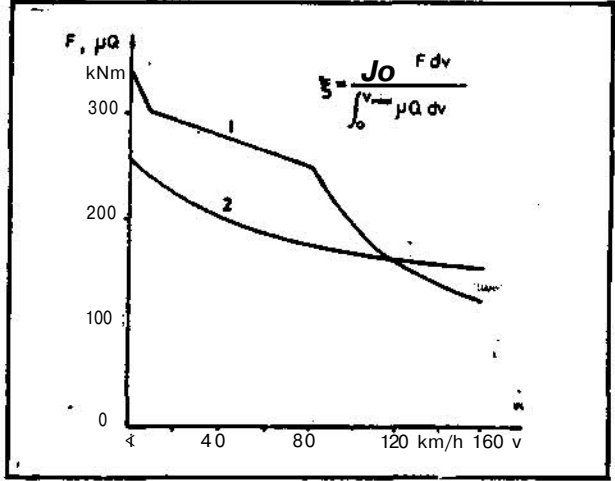
Aracın cer kuvveti, hız yani $F - f(v)$ özgeğrisi cer motorunun yapay $M - f(n)$ özgeğrisi ile benzer değişim gösterir.

ÜÇFAZLI AKIM CER YÖNTEMİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ:

Üçfazlı akım cer araçları her türlü raylı ulaşım araçlarına uygundur. Aracın Diesel-Elektrikli olması, alternatif ya da doğru akım hattından beslenmesi durumunda, yalnızca dönüştürücünün giriş katı değişiklik gösterir. Üçfazlı akım cer araçları birim kütle başına verdiği güç, kW/t (t» TON) bakımından hızlı ulaşım araçlarına elverişlidirler. Bu 1435 mm ray açıklığında, 201 dingil yüküne göre tasarlanmış demiryollarında 350 km/h hıza kadar yolculukları olanaklaştırmıştır. Hızın artmasındaki başka bir etken de bujilerin hafif oluşudur.

Cer kuvvetindeki sınımların çok küçük oluşu sarsıntısız bir yolculuk sağlar. Asenkron makinamın dik moment özgeğrisi nedeniyle herhangi bir tekerlek takımında sayrılma olayının olmamasının yanında, tüm tekerlek takımlarının aynı anda sıyırılması cer kuvvetinin hızla denetlenebilmesiyle önlenir. Böylece ray ve tekerlekler arasındaki tutunma kullanımı artar.

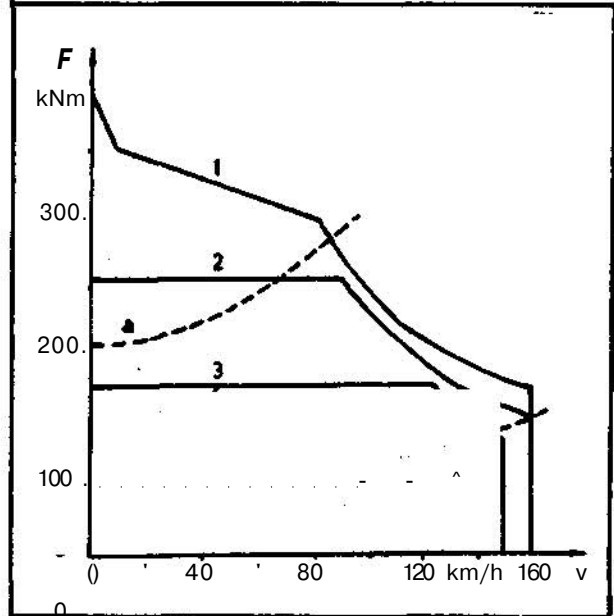
Tutunma kullanılabilirliğini belirten ve Şek. 9'da verilen bağıntıyla tanımlanan güç sayısı üçfazlı akım cer araçlarında daha büyüktür.



Şek. 9 Güç sayısının tanımı

1. Bir üçfazlı akım cer aracının $F = f(v)$ özgeğrisi ($F = \text{cer kuvveti}$)
2. 84 t olan aynı cer aracının Curtius-Kniffler'e göre ortalama tutunma sınırı, μQ

Üçfazlı akım cer araçlarında asenkron cer motorlarının, dingillerden birinin yükten kurtulması durumunda, kendi aralarında yük dengelemesi yapabilmeleri de tutunma kullanımını arttırmaktadır(9).



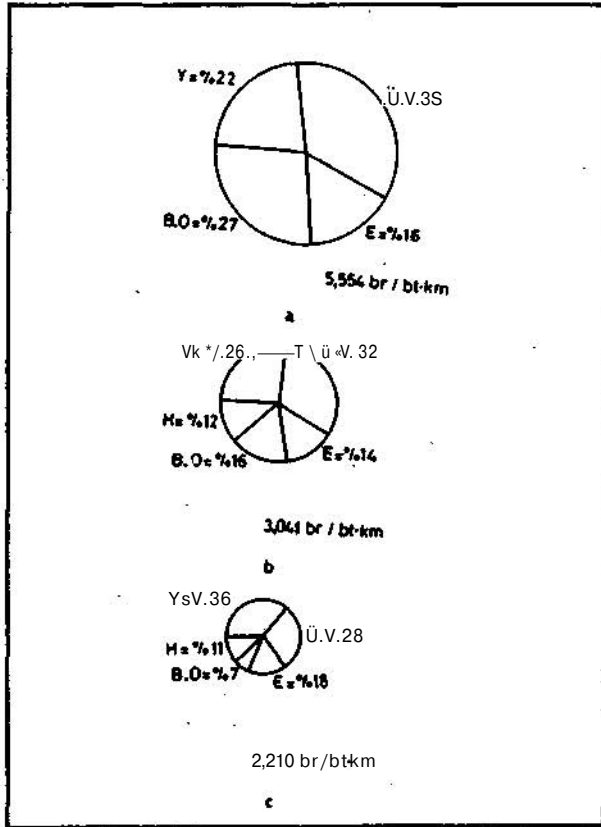
Şek. 10 Farklı yöntemlerin cer özellikleri

1. Oçfazlı akım,
2. Karma akım,
3. Alternatif akım bir cer aracı için cer kuvveti sınırı
 - a. 2200 t yük taşıma,
 - b. 700 t yolcu ulaşımı için bir dizinin S/1000 eğiminde cer direnimi

Üçfazlı akım cer araçları hem yük taşımaya hem de yolcu ulaşımına uygundur. Çünkü kalkış sırasındaki ve en büyük hızdaki cer kuvveti daha büyüktür. Şek. 10 farklı yöntemlerin cer özelliklerini karşılaştırmak amacıyla verilmiştir.

Üçfazlı akım cer araçlarının verimi diğer cer araçlarının verimi ile hemen hemen aynıdır. Hatta Diesel-Elektrik cer araçlarında bu yöntemin verimi daha büyüktür. Diesel-Elektrikli üçfazlı akım cer araçlarında elektriksel enerji üretimi ve tüketimi aradevre ile birbirinden bağımsızlaştırıldığından, Diesel motoru en uygun yakıt harcayarak çalıştırılır. Böylece, birim elektrik enerjisi için harcanan yakıt azaltılmıştır. Bundn başka, üçfazlı akım elektrikli cer araçlarının birim cer kuvveti için hattan çektiği akım daha azdır(10).

Üçfazlı akım cer yönteminde cer motorlarının yataklar dışında aşınan kısımlarının olmaması, dönüştürücülere ilişkin güç ve komutum devrelerinin geniş ölçüde kontaksız ve bu nedenle de aşınmasız elemanlardan oluşması bakım ve onarım işlemlerini azaltmıştır. Aylık bakım günü süresi alışılmış yöntemlere göre daha azdır(11).



Şek. 11 Brüt (ton km) taşıma işi için işletme giderleri
 a. Diesel-Hidrolik
 b. Karma akım elektrikli
 c. Üçfazlı akım elektrikli cer aracı için
 Y= Yatırım payı
 Ü.V.= Çalışan ücretleri
 E= Enerji giderleri
 B.O.= Bakım ve onarım giderleri
 H= Besleme hattı yatırımlarının payı

Şek. 11 'de farklı cer yöntemlerinin işletme giderleri karşılaştırılmıştır.

Üçfazlı akım cer yönteminde yatırım payı yüksek olmasına karşın toplam işletme giderleri daha küçüktür(12).

SONUÇ:

Güç elektroniğindeki gelişmelerden kollektörlü cer motorları kullanan cer yöntemleri de yararlanmış olmasına karşın, bu yararlanma cer uygulayımı bakımından fazla bir yenilik getirmemiştir. Üçfazlı akım cer yönteminin başarılı ilk uygulamalarından sonra, alışılmış cer yöntemlerinin uygulamadan silineceği kanısına varılmıştır. Bugün, bu alandaki çalışmaların çoğu üçfazlı akım cer yöntemine yöneliktir. Üstün özellikleri nedeniyle birçok demiryolu işletmesince benimsenen yöntemin daha da geliştirileceği ve yaygınlaşacağı umulmaktadır.

KAYNAKÇA:

- (1)Teich, W.: Drehstromantriebstechnik in Schienenfahrzeugen-Vercuecheinheiten, Prototypen, Serien. ZEV-Glas. Am. 101 (1977) Nr. 8/9 S. 371-382.
- (2)Kili, E.; Scholtis, G.: Zehn Jahre Drehstrom-Antriebstechnik im Nihverkehr. ZEV-Glaji. Ann. 109 (1985) Nr. 5 S. 185-192.
- (3)Körber, J.; Dreimann, K.; Gerdsmeier, H.; Gdrilitz, W.; Kademann, S.; Wagner, R.: Tractive vehicle in the coming decades-Objektives, possibilities fo retoiving difficulties and examples from the point of view of the German railway vehicle industry, Rail International, Schienen der WeLL 1985/4, pp. 117-128.
- (4)Scholtis, G.; Nahverkehr und Drchstromantriebe-Aufgaben, Wünsche, Möchlichkeiten. EL Bahnen 77 (1979) H. 6, S. 159-166.
- (5)Mortiz, W.-D.; Röhlk, J.: Drehstrom-Asynchronfahrmotoren für elektrische Triebfahrzeuge. El. Bahnen 50 (1979) H. 3, 65-71.
- (6)Kratz, G.: Fahmotoren und Antriebe bei elektrischen Triebfahrzeugen mit Drehstromantriebstechnik. ZEV-Glass. Ann. 104 (1980) Nr. 8/9 . S. 283-290.
- (7)Teich, W.: Dieselelektronische Triebfahrzeuge mit schleifringlosen Asynchronfahrmotoren. El. Bahnen 43 (1972) H. 4, S. 74-88.
- (8)Lössel, W.: Drehtromantrieb for Wechselstromiebfahrzeuge. El. Bahnen 48 (1977) H. 4, S. 82-90.
- (9)Weinhart, M.: Drehtromanttriebe mit (tromeingepraegendem Umrichter und parallelgeschalteten Asynchron-Fihrmotoren. ETR 34 (1983) H. 4, S. 257-266.
- (10)Teich, W.: Energieeinsparungen durch Drehstrom-Antriebstechnik bei Diesel-und Industrielokomotiven. BBC-Nachrichten (1983) H.2
- (11)Teich, W.: Erfahrungen und Erprobungen mit der Drehstromantriebstechnik in verschiedenen Einsatzfaellen. ETR 34 (1985) H. 4, S. 309-314.
- (12)Schwerdtfeger, H.; Maiss, K.J.: Zwei Jahre Drehstromlokomotiven bei Zechenbahn-und Hafentrieben Ruhl-Mitte Ruhlkohle AG. ZEV-Glasi. Ann. 103 (1979) H. 2/3, S? 83-94.