

Karışık Akım Cer Motörlerindeki Esas Kutup Amper Sarımı ve Esas Akı Endükleci⁽⁺⁾

Yazan:
Ass. Prof. Dr. fiıaml ÇETİN

ÖZET : Çeşitli büyüklükten, akım cinsinden, yaştan ve muhtelif firmaların imal ettiği cer motörlerinin manyetik karakteristiklerini iyi bir yaklaşıklıkla gösteren bir denklem yardımıyla, karışık akım cer motörlerindeki manyetik akı ile ampersarım münasebetleri analitik yolla incelenmekte ve esas kutup sargısının muhtelif esas endükleçleri hesaplanmaktadır. Hesaplar zorlanmış bir esas kutup için yapılmakta ve akı şeklinin tesiri parametre olarak alınan dalgalanma ile kapsanmaktadır. Eğriler şeklinde gösterilen neticelerin karışık akım cer motörlerinin hesaplanmasında tıdâ. yokluğunu hissettiren sistemli ve bir bütün teşkil eden bir usulün çıkmasına yardımcı olacaktan ümit edilmektedir.

Çalışmada ilk defa olarak karışık akım karakteristikleri bildirilmektedir. Bunların denklemleri analitik yolla elde edilmektedir. Çalışma ayrıca pratikte görülen herhangi bir dalgalanmadaki karışık akımda bütün manyetik karakteristiki için endükleçleri katı bir şekilde tarif etmenin ve hesaplanmanın mümkün olduğunu göstermektedir. Bildirilen neticeler karışık akım ile beslenen esas kutup sargısının endükleçlerini hesaplamada kullanılan yaklaşık usullerin hatalarını tespit etmeyi de mümkün kılmaktadır.

GİRİŞ:

Bu çalışmada, çeşitli büyüklükten, akım cinsinden, yaştan ve muhtelif firmaların yaptığı cer motörlerinin manyetik karakteristikslerini İyi bir yaklaşık ile kapsayan bir yaklaşık denklem vasıtasıyla, karşılık akım cer motörlerinde, ampersarım ve manyetik akı münasebetleri analitik yolla incelenmekte ve esas kutup sargısının esas endükleçleri hesaplanmaktadır. Hesaplar esas kutup akısı verilmiş kabul edilerek yapılmakta ve akı titreşim şeklinin etkisi, dalgalanmayı parametre olarak kullanarak kavranmaktadır. İlk defa olarak karışık akım karakteristikleri bildirilmektedir. Bunların denklemleri analitik yolla katı bir şekilde bulunmuştur. Çalışma ayrıca, pratikte görülen ve herhangi bir dalgalanmaya sahip bir karışık akımda, endükleçleri manyetik karakteristiğinin tamamı için tarif etmenin ve hesaplanmanın mümkün olduğunu göstermektedir. Bildirilen neticeler aynı zamanda, karışık akımla besleme halinde esas kutup sargı endükleçleri için kullanılan mutata yaklaşık usullerde yapılan hatların tespitini de mümkün kılmaktadır.

Genel :

Cer tekniğinin bugünkü durumunda, karışık akım cer motörü 50 Hz elektrikleştirme sisteminde ve iki frekanslı cer vasıtalarında en fazla tutunmuştur. Karışık akım cer motörleri doğru akım cer motörlerinden esas itibarıyla farklı değildir. Fakat doğru akım komütatörlü mo-

törleri ve redresörler tarafından beslenen tahrik motörleri üzerindeki bilgiler, karışık akım cer motörlerinin tatmin edici bir şekilde hesaplanması için kâfi değildir. Redresörlü cer vasıtalarında yalnız mevzuu bahis olabilen iki fazlı doğrultma, karışık akımdaki dalgalanmanın en fazla arttığı durum olduğundan, bugün kabul edilen dalgalanma değeri ile karışık akım motörlerini, çok bol boyutlamaksızın, doğru akım motörleri gibi hesaplamak mümkün değildir. Karışık akım motörlerinin hesaplanmasında sistemli ve bir bütün teşkil eden bir usul için gerekli esaslar şimdiye kadar mevcut değildi. Bu problemin çözümüne yardım etmek eldeki çalışmanın gayesidir.

Cer motörlerinin hesaplanmasında, bütün elektrik makinelerinde ve aletlerinde olduğu gibi, proje hesaplanması ve genellikle buna dayanan imalat hesaplanması birbirinden farklıdır. Artan teklif talepleri dolayısıyla, birinci çeşit hesaplamaya eskiye nazaran daha fazla ihtiyaç görülmektedir. Bu çalışmada geliştirilen hesaplama esasları her İki halde de uygulanabilir.

Komütatörlü cer motörleri için genel bir manyetik karakteristiğinin seçimi:

Elektrik makinelerinde manyetik karakteristiğinin doğru olmayan kısmında hesaplamalar yap-

7*) Bu çalışma, yazar Zürlhte örlikon Mdkina Fabrikasının elektrikli cer kısmında çalışırken yapılmış ve almanca olarak ETZ-A cilt 85 (1964), S. 501 - 506 da çıkmıştır.

mak istenirse, manyetik karakteristik bir denklemlerle gösterilir. Bu yaklaşık usul daha çok eskiden tatbik edilmiştir. Meselâ Poggendorffs Annalen'in 1870 senesine ait kitabında manyetik karakteristik için arctg fonksiyonunun kullanıldığı görülmektedir. Şimdiye kadar teklif edilen denklemler [2]* ve [3] te topluca incelenmiştir. Böyle denklemler demirin mıknatıslanma eğrilerini olduğu kadar, elektrik makinelerinin manyetik karakteristiklerini de göstermeğe yaramaktadır.

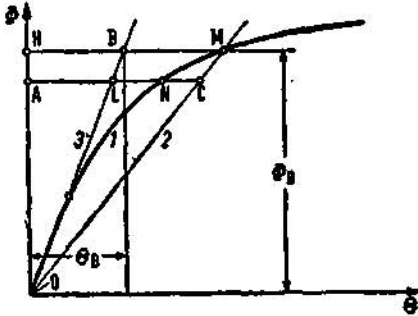
Ekseriya, bir hususi makine için değil, fakat bir makine çeşidi için cari manyetik karakteristik arzu edilir. Bunu gösteren denklemler hesapların yalnız bir defa yapılması kâfidir. Böylelikle genel cariliğe sahip neticeler elde etmek ve kıymetli hesaplama işlerinde tasarruf etmek gibi büyük ehemmiyeti haiz faydalar sağlanabilir. Hesapla inceleme aynı zamanda incelenen muhtelif problemlerin içine daha kolay nüfus etmeyi mümkün kılar. [4] te elektrik makinelerin manyetik devreleri için

$$H = 0,5 (* + **) \quad (D)$$

denklemi, manyetik karakteristikler için sık sık kullanılan serinin özel hali olarak teklif edil-

$$I = \sum A_m \Phi^m \quad (2)$$

inmektedir. (1) denkleminde ampersarım ve manyetik, akı manyetik karakteristiğinin hava aralığı ve demir ampersanmlarının eğit olduğu M noktasının (Şekil 1) koordinatlarına oranlanmaktadır. Oranlama noktası olarak HB =



Şekil: 1 — Verilen bir manyetik karakteristikte oran büyüklüklerinin bulunması. AL=LC alınır ve OO çizilir. Manyetik karakteristikle M kesişme noktasından MH dikey inilir. Hava aralığı doğrusu ile olan B kesişme noktasının koordinatları aranmaktadır. Oran büyüklükleridir.

BM şartının tayin ettiği hava aralığı doğrusu üzerindeki B noktası alınacak ve bu noktanın koordinatları B ve ^,B ile gösterilecek olursa, bu büyüklüklere oranlanmış ampersarım D ve manyetik akı F ile

$$D = F + F^2 \quad D = \Phi / \Phi_B \quad F = \Phi / \Phi_B \quad (3)$$

elde edilir.

Oranlanmış büyüklüklerin bu özelliğini belirtmek için, lâtin alfabesinden D ve F sembolleri seçilmiştir. Doyma derecesi S,

$$S = \frac{HM}{HB}$$

oram olarak tarif edilirse, oranlama noktası S = 2 ile tavsif edilir. Hava aralığı doğrusunun denklemi, ve \$ büyüklükleri veya bunların oranlanmış D ve F büyüklükleri ile

$$\Phi = \theta L_g / \theta^2 \quad L_g = \theta^2 \Phi_B / \theta_B \quad D = F \quad (U)$$

olur ki bunlarda L , Z sarım sayılı esas kutup sargısının oranlama endükleci olarak alınan sabit endüklecidir. Artık manyetik karakteristik için kullanılan denklemin doğruluğu kolayca kontrol edilebilir. (4) denklemine göre (3) yaklaşık denklemi, verilen manyetik karakteristikle aynı başlangıç teğetine sahiptir. Ayrıca şekil 1 deki 1 eğrisi ve 2 doğrusunun M kesişme noktasının koordinatları yaklaşık denklemi sağlar, zira M noktasının oranlanmış büyüklüklerle koordinatları F = 1 ve D = 2 dir.

Seçilen yaklaşık denklemin kullanılması gayet basittir. (2) denklemindeki katsayıların grafik yolla [2] veya hesaplama [3] bulunmasına lüzum kalmaz. Bir denklemlerle verilen veya ölçü yolu ile bulunan bir manyetik karakteristikte, başlangıç noktasından apsisleri (3) hava aralığı doğrusunun apsislerinin İM misli olan (2) doğrusunun çizilmesi kâfidir. Hava aralığı doğrusunun denklemi \$_3 = a e ise, (2) yardımcı doğrusundaki \$_2 = 0,5 a e olur. (2) yardımcı doğrusunun (1) manyetik karakteristiği ile kesiştiği M noktasından ordinat eksenine MH dikey indirilir. (3) hava aralığı doğrusu ile olan B kesişme noktası, ampersarım için ö_B ve manyetik akı için \$_B oranlama büyüklüklerini tespit eder. Oranlama endükleç olarak bunlara, manyetik karakteristiğinin doğru kısmındaki evvelce verilen LB sabit endükleci tekabül eder.

Bu çalışmada hesaplanan bütün ampersanmların, manyetik akıların ve endükleçlerin yukarıda İzah edilen, İncelenen ve her motöre özel olan oranlama büyüklükleri ö_B \$_B ve L_g ye göre oranlanmıştır. Bildirilen grafik neticelerden alınacak, yüzde olarak ifade edilmiş oranlanmış ampersarım D, akı F ve endükleç L değerlerinden bunlara tekabül eden hakiki büyüklükler

$$0 = D \theta_B, * = F *, L = L' L_g \quad (5)$$

bağıntıları ile hesaplanır.

Tercih edilen inceleme tarzının şekli kolaylığının ötesinde, bütün ampersarımı doyma derecesine benzer bir şekilde, oranlama noktasının

ampersarımı ile mukayese imkânını vermesi ehemmiyetlidir. Yalnız oranlanmış, büyüklükler ihtiva eden yaklaşık denklemin eğrisine «oranlanmış genel manyetik karakteristik» denecektir. Denklemi kolay nümerik hesaplar için müsait olan ve manyetik akı sinüs fonksiyonlarının toplamı olarak verildiğinde, akım harmoniklerini doğrudan doğruya hesaplamayı mümkün kılan basit terimleri ihtiva eder. Terimlerin üsleri tek sayılar olduğundan, yaklaşık denklem başlangıç noktasına göre simetriktir ve bu sebeple alternatif akımda da kullanılmağa uygundur.

Çalışmadaki genel manyetik karakteristik, çeşitli büyüklükte, akım cinsinde, yaşta ve muhtelif firmaların yaptığı demiryolu makinelerinin ölçülmüş boşa karakteristikleri ile mukayese edilmiştir. Doğru, alternatif ve karışık akım cer motörleri, Diesel lokomotiflerinin jeneratörleri ve bir doğru akım kompressör motörü İncelenmiştir. Alternatif akım motörleri 16 2/3 veya 50 Hz içinde. Araştırılan makinelerde esas kutup ortasındaki hava aralığı 2 den 13.2 mm'ye kadardı. Histerezis çevrimli manyetik karakteristiklerin mukayesesinde, orta eğri nazarı itibara alınmıştır. İncelenen makinelerin çoğunda genel manyetik karakteristiğın hakiki manyetik karakteristikten farkı 1% den küçüktür. Ancak sınırlanmış bir sahada görülen en büyük farklar da 3 % ü geçmiyor. Demek ki seçilen genel manyetik karakteristik, komütatörlü cer makinelerinin manyetik karakteristiğının yerine iyi bir yaklaşma ile konabilir. Hattâ erişilen yaklaşıklık, belli bir akım cinsi ile çalışan cer motörleri için, yaklaşık denklemde 7 den az farklı başka bir Us kullanarak daha fazla arttırmak mümkündür.

Cer motörlerinin manyetik karakteristiğı üzerinde neşriyat çok nadirdir. [Ll. 5 S. 21] de Richter kendisi tarafından hesaplanmış cer motörünün karakteristiğini vermektedir. Mümkün grafik doğruluk dahilinde bu, seçilen genel manyetik karakteristik ile tamamen çakışmaktadır.

Zorlanmış karışık alanda ala ve ampersarm münasebetlerinin incelenmesi:

ön mıknatıslanmış demir çekirdekli bobinlerin analitik incelenmesi literatürde (meselâ [1]) birçok defa yapılmıştır. Karışık akım cer motörleri üzerinde benzer incelemeler şimdiye kadar mevcut değildi. Bu çeşit motörlerin hesaplanmasında az dalgalanma halinde, ilk yaklaşma olarak doğru akım manyetik karakteristiğı doğrudan doğruya kullanılmaktadır. Karışık akımın dalgalanması büyük olduğu zaman ise, kabul edilen manyetik akı durumunda akım zamanın fonksiyonu olarak grafik yolla elde edilmektedir. Bu usul çok zaman alıcıdır, her motor için ye-

niden yapılması gereklidir ve bütün grafik metotlar gibi genel olarak cari olan bağıntıları kolaylıkla göstermez. Netice itibariyle, karışık akım cer motörleri için yerleşmiş hesaplama usulü yoktur. Bu sebeple şimdi ampersarm ve manyetik akı münasebetleri yaklaşık denklemin yardımıyla İncelenecektir.

Bir karışık akım makinesinin muhtelif sargıları, ön mıknatıslanmış demir çekirdekli bobinlerden başka bir şey değildir. Transdüklerde, kullanılan ferromanyetik çekirdeğın kendine mahsus özellikleri, az ön mıknatıslanmada sabit bir endükleç ve çok ön mıknatıslamada nazarı itibara alınmayacak kadar küçük bir endükleç farzederek, ekseriya incelemeyi sadeleştirmeyi sağlarsa da, endükleğın bir basamak şeklinde sıçramasını karışık akım motörleri için kabul etmege İmkân yoktur. Pratikte diferensiyel endükleç kullanılmaktadır ki bu, verilen bir manyetik karakteristikten her çalışma noktası için bulunmaktadır. Fakat bu endükleç ancak diferensiyel akım değışikleri için tam olarak cari olduğundan, bunun yerine, halkalama akısı değışikliğının akım değışikliğine olan A^*/A oranı ile tarif edilen dferensiyel endükleç de alınmaktadır. Fakat karışık akım motörlerinde hangi endükleç tarifinin uygun olduğu suali, mevcut literatürde henüz aydınlanmamış gibi gözükmektedir. Ampersarm ve akı münasebetleri analitik yolla incelendikten sonra, sözü geçen makineler için uygun olduğu düşünölen endükleçler hesaplanacaktır.

Hesaplarda oranlanmış karışık akı (kısaltma olsun diye «oranlanmış» kelimesi ekseriya yazılmayacaktır)

$$F = F_0 + F, \sin x = F_0(1 + w, \sin x) \quad w_{f1} = F_1/F_0 = \Phi_1/\Phi_0 \quad (6)$$

$$x = \omega t$$

şeklinde esas olarak alınacaktır. Esas akı harmoniğine ait W_{F1} dalgalanması, kısaltma olsun diye, bundan böyle yalnız W şeklinde yazılacaktır. Karışık akı, F_0 'ortalama akısından ve genliğı Fj olan slnüzoyidal bir akıdan meydana gelmektedir. Eğri demetlerinde parametre olarak seçilen W sıfırdan 80 % e kadar 10;%luk basamaklar halinde değıştirilmiştir. Bu saha, esas kutup sargısında bu sargıdan alternatif akımı uzaklaştıran paralel direnç olmadan ve boğma bobinsiz çalışan karışık gerilim motörlerinin dahil, pratikte görölen bütün manyetik akı dalgalanmalarını muhakkak ihtiva eder. Burada verilmeyen trigonometrik transformasyonlar yardımıyla yukarıda verilen karışık manyetik akı için karışık ampersarmın

$$D = F + F^2 = D_0 + D_1 \sin x + D_2 \cos 2x + D_3 \sin 3x + D_4 \cos 4x + D_5 \sin 5x + D_6 \cos 6x + D_7 \sin 7x. \quad \langle 7 \rangle$$

olduğu bulunur Buradaki katsayıların büyüklükleri aşağıdadır. (6) denkleme göre bir or-

$$D_0 = F_0 + B_0 F_0^2 \quad B_0 = 7b_0 w$$

$$b_0 = \frac{1}{7} + 1,5 w^2 + \frac{15}{8} w^4 + \frac{5}{16} w^6$$

$$D_1 = w F_0 + B_1 F_0^2 \quad B_1 = 7b_1 w$$

$$b_1 = 1 + \frac{15}{4} w^2 + \frac{15}{8} w^4 + \frac{5}{64} w^6 \quad (7b)$$

$$D_2 = B_2 F_0^3 \quad B_2 = 7b_2 w$$

$$b_2 = -\frac{1}{2} w \left(3 + 5 w^2 + \frac{15}{16} w^4 \right) \quad (7c)$$

$$D_3 = B_3 F_0^4 \quad B_3 = 7b_3 w$$

$$b_3 = -\frac{1}{4} w^3 \left(5 + \frac{15}{4} w^2 + \frac{3}{16} w^4 \right) \quad (7d)$$

$$D_4 = B_4 F_0^5 \quad B_4 = 7b_4 w$$

$$b_4 = 4 w^5 \left(5 + \frac{3}{2} w^2 \right) \quad (7e)$$

$$D_5 = B_5 F_0^6 \quad B_5 = 7b_5 w$$

$$b_5 = \frac{1}{16} w^4 \left(3 + \frac{1}{4} w^2 \right) \quad (7f)$$

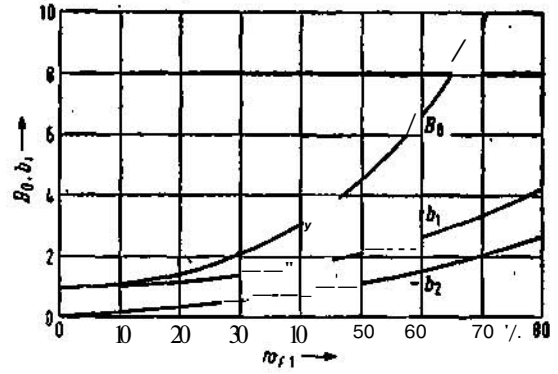
$$D_6 = B_6 F_0^7 \quad B_6 = 7b_6 w$$

$$b_6 = -\frac{1}{32} w^2 \quad (7g)$$

$$D_7 = B_7 F_0^8 \quad B_7 = 7b_7 w$$

$$b_7 = -\frac{1}{7,64} w^6 \quad (7h)$$

talama, değerden ve sinüzoidal bir kısımdan müteşkil zorlanmış manyetik akı böylece ortalama değerden ve ilk yedi harmonikten meydana gelen periyodik bir ampersarım titreşimi vermektedir ki buradaki 7 sayısı kullanılan yaklaşık denklemdeki 7 üssünden gelmektedir, ön miktatlanmış demir çekirdekli bobinlerin aksine, karışık akım motorlerinde karışık akımın ortalama ve değişken büyüklükleri aynı sargıdan geçer. Ampersarım için bulunan ifade aynı zamanda manyetik yolla frekans çoğaltmanın prensibini de gösterir. Ayrıca kosinüs harmoniklerinin çift, sinüs harmoniklerinin ise tek mertebeden oldukları görülmektedir. Akı dalgalanmasında ön işaretin değiştirilmesi, fiziksel bakımdan akı esas harmoniğinin smetrillenmesine veya fayının 180° kaydırılmasına tekabül eder. Ampersarım tek mertebeden harmonikleri o zaman mecburen işaret değiştirirler, zira bunlar akı esas harmoniğinin iki yan periyodunda aynı şekilde değişmezler. Buna mukabil çift mertebeden ampersarım harmonikleri aynı kalırlar, çünkü bunlar akımın iki yan periyodunda aynı zamanla değişmeye sahiptir, tek harmoniklerin kat sayıları şekil 2 de w dalgalanmasının fonksiyonu olarak çizilmiştir. Mutlak değerlerinin monoton artan fonksiyonlar olduğu görülmektedir. Bu özelliğin sebebi, ifadelerinde w terimlerinin aynı işarete sahip olmasıdır. Karışık akıda alternatif kısım kalkacak olursa, (7) denklemindeki karışık ampersarım, özel hal olarak w = 0 konmak suretiyle, doğru akım karakteristiğinin denklemini verir. (7) denkleminde ortalama akı olmadığı zaman yalnız mevcut olan sinüzoidal akımın sınır durumu, F₀ = 0 ve w F₀ = F, yerine konarak elde edilir. Netice



Şekil: 2 - 10Fl dalgalanmasına göre B₀ ve t\ kat-sayılarının değişmesi.

$$D_1 = F_1 + \frac{35}{64} F_1^2 \quad D_2 = -\frac{21}{64} F_1^3 \quad D_3 = \frac{7}{64} F_1^4$$

$$D_4 = -\frac{1}{64} F_1^5 \quad (8)$$

hesaplanınca çıkar. Bunlar karışık ampersarımın ortalama akıyla bağlı olmayan kısımlarıdır.

Ampersarım amplitüdlerini veren ifadelerin incelenmesi gösterir ki akıda mevcut olmayan bütün, yüksek harmonikler doymadan mütevilittir. Denklemleri demir ampersarımının doğru akıdaki şeklindedir. Bu yüksek harmonikler manyetik karakteristiğın doğru kısmında kaybolur. Ampersarımın esas harmoniği iki kısımdan meydana gelir. Birincisi manyetik akımın esas harmoniğine, ikincisi, doymaya bağlıdır. Manyetik karakteristiğın doğru kısmında manyetik akımın F, ve ampersarımın D, amplitüdü esas harmonikleri birbirlerine eşittir. Do ortalama ampersarımının fonksiyonu olarak D₀ büyüklüğü çizilecek olursa (Şekil 3), eğrilerin başlangıç noktasındaki teğetin eğilimi w olur. Ap-sisler eksenine, alternatif akımın mevcut olmadığı sıfır dalgalanmak duruma tekabül eder. Şekil 3 deki eğrilerin kuvvetli eğilimden görüldüğü gibi, mutedil akı dalgalanmasına rağmen ampersarımın esas harmoniği, akı doyma salıasına eriştiği zaman ehemmiyetli değerler alabilmektedir.

Değişken ampersarımın kolayca ölçülebilen D₀ efektif değeri formülü ile (Şekil 4) he-

$$D_0 = \frac{w F_0}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + 14 b_1 F_0^2 + 49 \sum_{i=1}^7 b_i^2 F_0^{2i}} \quad (9)$$

saplanır. Esas harmonikle mukayese edebilmek için Şekil 4 te D₀ yerine V^D₀ büyüklüğü gösterilmiştir. Başlangıç noktasındaki teğetin eğilimi için

$$\lim_{D_0 \rightarrow 0} \frac{\sqrt{2} D_0}{D_0} = w \quad (10)$$

çıkılır.

Ampersarun yüksek harmoniklerinin amplitütleri ortalama ampersarımın fonksiyonu olarak manyetik karakteristiğin doğru kısmında ve doyma sahasında hemen hemen lineer bir değişime sahiptirler. D_0 denkleminde yerleştirildiğinde bu büyüklükler için

$$D_1 = w F_0 + \frac{B_1}{R} (D_0 - F_0), \quad D_1 = \frac{B_1}{R} (D_0 - F_0), \quad t > 1. \quad (11)$$

elde edilir. Doğru kısmında $D_0 = F_0$ olduğundan $D_1 = w F_0 = w D_0$ ve $t > 1$ için $D_1 = 0$ bulunur. Doyma sahasında F_0 yaklaşık olarak D_0 a orantılı (Şekil 5) olduğundan ampersarım amplitütleri D_0 'ın lineer fonksiyonlarıdır.

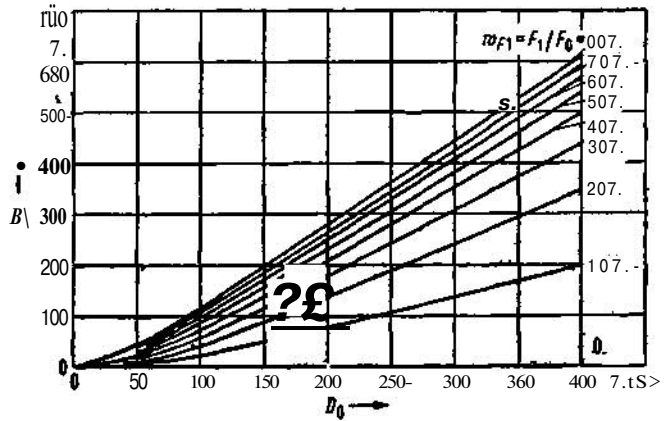
D_0 ortalama ampersarımını $*F_0$ ortalama manyetik akısının fonksiyonu olarak gösteren eğriye «karışık akım karakteristiği» denir. Bu eğri karışık akımda belli bir ortalama akı için gerekli ortalama ampersarımı verir. Denklemi

$$O_0 = F_0 + B_0 F_0^2 \quad B_0 = 1/(w) \quad (12)$$

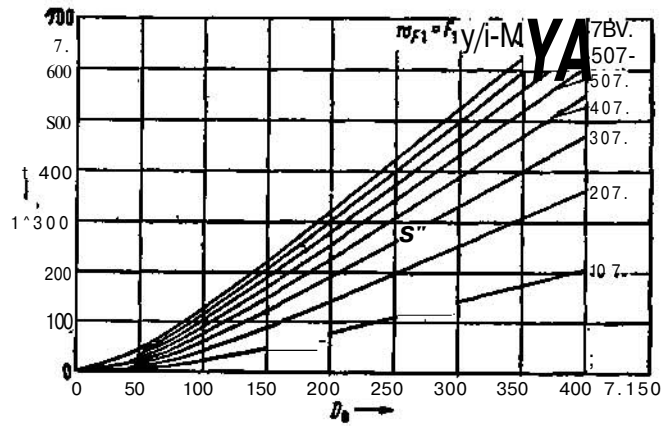
olup, buradaki B_0 dalgalanmanın fonksiyonu bir parametredir. B_0 daima 1 den büyük olduğundan, karışık akımda manyetik karakteristiğin eğri kısmında belli bir ortalama akı için gerekli ortalama ampersarın doğru akımdakinden daima büyüktür (Şekil 5). Bunun sebebi, manyetik karakteristiğin doyma sahasında eğrinin başlangıç teğetinden itibaren daima eğilmekte devam etmesinden anlaşılacağı gibi, akımın dF/dD türevinin monoton bir şekilde azalmasıdır. Bu yüzden akı dalgasının üst kısmındaki ampersarın artışı, akı dalgasının alt kısmındaki ampersarın azalmasından daha büyüktür. Neticе olarak çalışma noktası doğru akım manyetik karakteristiğinden $(B_0 - 1) F_0^2$ ampersarını kadar uzaklaşmış olur. Bunun tersine karışık bir ampersarımın ortalama değeri doğru akımdaki aynı büyüklükteki bir ampersarımdan daha küçük bir manyetik akı verir. Olay komütatörlü makinelerde esas kutuplar altında görülen endüvi reaksiyonuna benzer.

Karışık akım motörlerinin hesaplanmasında karışık ampersarımın bilinmesi çok önemlidir. Bulunan neticelerin pratikte kullanılmasını kolaylaştırmak için, belli bir manyetik akıya tekabül eden karışık ampersarımın $\langle D_0 \rangle$ ortalama büyüklüğünün doğru akımdaki $*F_0$ ampersarımına olan oram da hesaplanmıştır. (Şekil 6)

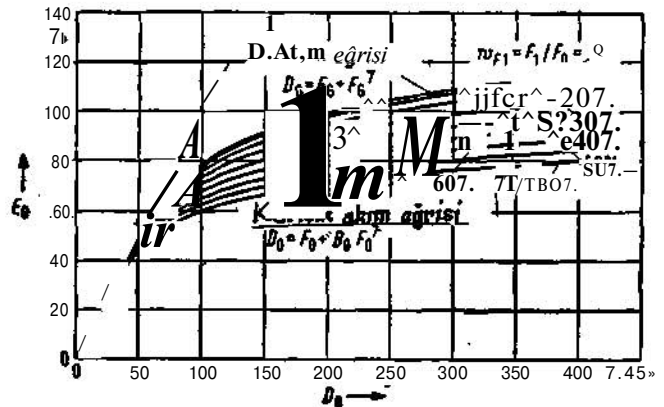
$$\frac{F_0}{D_0} = \frac{1 + B_0 F_0^2}{1 + F_0^2} \quad F_0 = F_0 \quad (13)$$



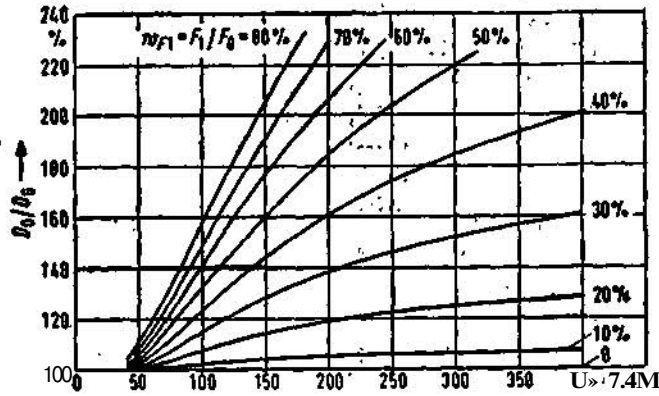
Şekil: 3 — Oranlanmış ampersarımda D_0 esas titreşim amplitüdünün ortalama ampersarım D_0 'ın fonksiyonu olarak değişmesi. Karışık akımda t_{F_1} dalgalanması parametre olarak alınmıştır.



Şekil: 4 — Oranlanmış değişken ampersarımın y/T ile çarpılmış D_0 efektif değerinin oranlanmış ortalama ampersarım D_0 'ın fonksiyonu olarak değişmesi. Zorlanmış akımın U-F₁ dalgalanması parametre olarak alınmıştır.



Şekil : 5 — 10 F_1 parametre olmak üzere oranlanmış ortalama akı F_0 'm oranlanmış ortalama ampersarım D_0,m fonksiyonu olarak değişmesi



Şekil 6 - Oranlanmış ortalama ampersanın ZI_0 'nın $r\phi$ 'u artıran ampersanın DQ 've olan oranın Z 'm fonksiyonu olarak değişmesi, $F_0 = FG$ alınmaktadır. T_0 parametredir. - •

B_0 katsayısı dalgalanma ile aynı yönde değiştiğinden, dalgalanma artınca D_0/D_G oranı da büyür. Bundan maada belli bir ortalama manyetik akıda karışık akımdaki ortalama demir ampersanı $D_{0B} = B_0 F_0$ 'nm doğru akımdaki $D_{GB} = F_0 G$ 'e ampersarımına olan oranın B_0 a eşit olduğunu ispatlamak, karışık akım manyetik karakteristiğinin elde edilmesi için çok ehemmiyetlidir. Bu oran için hakikaten

$$\frac{\partial D_{0B}}{\partial B_0} = \frac{D_{0B}}{B_0} = \frac{B_0 F_0}{B_0} = F_0 \quad (14)$$

bulunur. Bu çok basit kaide sayesinde karışık akım karakteristikleri çabucak elde edilebilir.

Zorlanmış kangık aktfa esas endükleçlerin hesaplanması:

Evvelki kısmın neticelerini kullanarak esas kutup sargısının esas endükleçleri kolaylıkla elde edilir. Bu endükleçler' esas kutup sargısının manyetik özelliğine ve manyetik akının titreşim şekline bağlıdır. Manyetik akının Φ_0 ve ampersanın I_0 ortalama büyüklükleri ile tarif edilen ortalama değer endükleci L_0 (12) denklemini kullanarak

$$L_0 = L_{\psi}/L_B = z^2 \frac{\Phi_0}{\partial I_0} = F_0/D_0 = \frac{1}{1+B_0 F_0^2} \quad (15)$$

oran büyüklüğü şeklinde hesaplanır. $B_0 > 1$ eşitsizliği dolayısıyla L_0 endükleci manyetik karakteristiğinin doğru olmayan kısmında «akı endükleci» L_0' ten daha küçüktür. Hakikaten doğru akım karakteristiğinin (3) denkleminde

$$L_0' = L_{\psi}/L_{I_0} = z^2 \frac{\Phi_0}{\partial I_0} = F_0/D_0 = \frac{1}{1+F_0^2} \quad (16)$$

elde edilir. İti burda F_0 'doğru' akım akışıdır. Esas kutup sargısının karışık akımdaki doğru

akımdaki endükleç'leri $F_0 = F_G$ için mukayese edilecektir. Değişen akının bulunmadığı özel durumda (15) denkleminin I_0 endüklecini verir. Esas titreşim endükleci L_0 için (7b) denkleminde

$$L_0 = L_{\psi}/L_{I_0} = z^2 \frac{\Phi_0}{\partial I_0} = F_0/D_0 = \frac{1}{1+B_0 F_0^2} \quad (17)$$

bulunur, $B_0 > 1$ olduğundan, $L_0 < L_0'$ endükleci

$$L_0' = L_{\psi}/L_{I_0} = z^2 \frac{\partial \Phi}{\partial I_0} = F_0/D_0 = \frac{1}{1+F_0^2} \quad (18)$$

ifadeli doğru akımdaki diferansiyel endükleçten daha küçüktür. ((18) ifadesinin elde edilmesinde yine (3) denkleminde istifade edilmiştir: Yalnız doğru akımın bulunduğu sınır durumunda (17) denkleminin (18) denklemindeki diferansiyel endükleci verir.

Akımın Φ_0 ,- ortalama büyüklüğü bulunmazsa (17) denkleminin tamamen sinüzoidal olan akı titreşimine -tekabül eden L_0' endüklecini verir. Manyetik karakteristiğinin doğru kısmında L_0 ortalama geçer endükleci ve L_0' esas titreşim endükleci L_0 ye eşit olur. L_0 efektif endükleci akı efektif değerinin ampersarım efektif değerine olan oranını z sarım sayısının karesi ile çarpılarak elde edilir. Burada efektif değerler karışık büyüklüğün yalnız değişken kısmını ihtiva eder, fakat ortalama değeri ihtiva etmez. Oranlanmış büyüklük olarak bu endükleç

$$L_0 = L_{\psi}/L_{I_0} = z^2 \frac{\Phi_0}{\partial I_0} = F_0/D_0 = \frac{1}{1+14 b_1 F_0^2 + 49 \sum_{i=2}^{\infty} b_i F_0^{2i}} \quad (19)$$

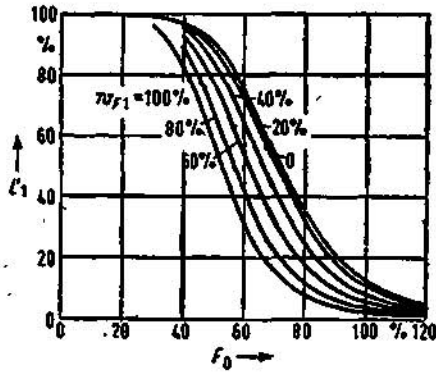
İfadesiyle hesaplanır. Manyetik karakteristiğinin doğru kısmında $L_0' = 1$ dir. Dalgalanma sıfır

olduğu zaman L_e bütün akı değerleri için diferansiyel endükleç L_D ile aynıdır. Bu bahsin tam olması için pratikte karışık akım motorlarının herhangi bir sargısının X reaktansını doğru ağımla önmiknatislama suretiyle endüktif gerilim ve akım efektif değerlerinin oranı olarak ölçülür. Burada da efektif değerler ortalama değeri ihtiva etmezler. X reaktansından $t_i = X/w$ eşdeğer endükleci elde edilir. Tarifi için evvelce olduğu gibi akımın kullanılmadığı bu endükleç akım devresindeki direnç ve akı armonikleri dolayısıyla L_e efektif endüklecinden farklıdır. Yalnız direncin ve akı armoniklerinin bulunmadığı sınır durumunda $L_e = L_c$ caridir. Yalnız direnç sıfırsa,

$$L_e = L_c / (\phi_1^2 + 4\phi_2^2 + 9\phi_3^2 + \dots) / (\phi_1^2 + \phi_2^2 + \phi_3^2 + \dots) \quad (20)$$

bağlantısı elde edilir. Hesaplamalarda L_e ihtiyacı olduğundan ekseriya yaklaşık olarak $L_e \approx L_j$ konur.

Kangık akım cer motorlarının boyutlanmasında endükleçlerin doymaya ve akı veya akım dalgalanmasına göre değişmelerinin bilinmesi istenir. Şekil 7 ilâ 10 dan her pratik durum için endükleçleri bulmak mümkündür. Bu şekillerde artan dalgalanma ile endükleçlerin mütemadiyen küçüldüğü görülmektedir.



Şekil : 7 — Ortalanmış esas titreşim endükleci L_e in ortalama akı F_m fonksiyonu olarak değişmesi, wFI parametredir.

Literatürde ve endüstride önmiknatislama halinde kullanılan

$$L_e = \frac{\Delta \Phi}{\Delta \Phi} \quad L_e = \frac{AF}{ID} = \frac{F_{max} - F_{min}}{D_{max} - D_{min}} \quad (21)$$

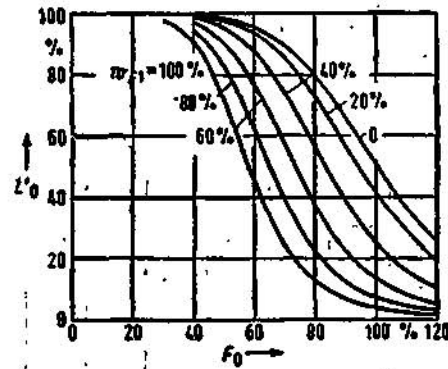
endüklecine diferansiyel endükleç denir. Grafik yolla da kolayca elde edilebilen bu endükleç için kullanılan yaklaşık denklemler şu formül bulunur :

$$L_e = \frac{1}{1 + FJ(7 + 35w + 21w^2 + w^3)} \quad (22)$$

Değişken akı olmadığı zaman bu büyüklük H_D ye eşittir. Sonsuz derecede küçük olan birleştirilmiş akı sınır durumunda bütün değişken sahasında $L_x = L_c = L_A = L_u$ olur. Manyetik karakteristiğin doğru kısmında bu bağlantı zikredilen gart olmadan da caridir. Doğru olmanın kısmında ise bu endükleçler birbirinden farklıdır. Karışık akımdaki endükleçlerin ifadelerinden ve bunlara tekabül eden eğrilerden

$$L_e \approx i, S t, \leq L_D \quad (23)$$

ehemmiyetli eşitliliği çıkar. Genel geçerlik bakımından I/ϕ , L_c ve L_D aynı değerdedir. Fakat diferansiyel endükleç kesin doğrulukta bir tatbikat İmkânına sahip değildir, zira hiç bir olayı kesin bir şekilde kapsamamaktadır. Buna rağmen hesaplarda kullanılıyorsa, bu ancak L_e yaklaşık olarak eşit olduğu farzedilerek mümkündür. Karışık akım motorlarının incelenmesinde bilhassa L_e ihtiyacı vardır. Bu sebeple de L_e a L_j ve hattâ L_D e L_x alınır. Mukayese



Şekil : 8 — Oralanmış ortalama değer endükleci L_e in ortalama akı F_m fonksiyonu olarak değişmesi, wFI parametredir.

için tablo I de karışık akımın değişken kısmı için çeşitli endükleçlerin iki değeri verilmiştir, yaklaşık usullerle kullanılan endükleçlerin mev-

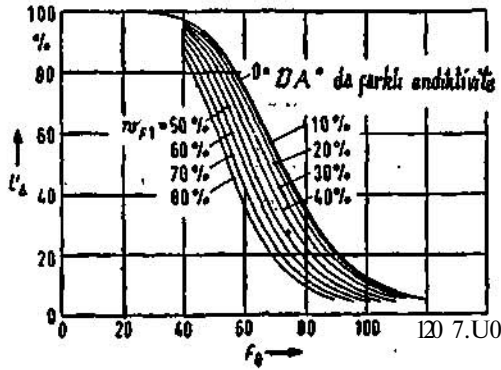
TABLO : 1

F_0	wFI	h	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}
0,60	0,20	0,726	0,754	0,724	0,716	0,028	3,85	-0,002	0,3	-0,010	1,4	1,4	1,4
0,60	0,40	0,650	0,754	0,641	0,619	0,104	1e	-0,009	1,4	-0,031	4,75	4,75	4,75

cut dalgalanmaya göre tatbikatta esas olan esas titreşim endüklectnden az veya çok farklı oldukları görülmektedir. En iyi yaklaşmanın evvellâ efektifj endükleg, sonra difereneiyel endükleç tarafından sağlandığına dikkat etmek bilhassa ehemmiyetlidir. Buna mukabil diferansiyel endükleç en az yaklaşıma vermektedir.

Çalışma pratikte görülen herhangi bir dalgalanmaya sahip karışık akımda endükleçlerin kesin bir şekilde tarif edilebileceğini ve hesaplanabileceğini göstermektedir. En ehemmiyetli endükleç esas titreşim endüklecdir ki bununla sinüzoidal titreşimler teorisini tatbik etmek mümkündür. Çalışmada yapılan hesaplamalar L_D , L_c , L^* ve I/j çeşitli endükleçlerinin elde edilmesini ve kullanılagelen usullerde yapılan endükleç hatalarının tespitini mümkün kılmaktadır. Endükleç mefhumunun daha fazla açıklanması için [6] ya başvurulabilir.

Son seneler zarfında karışık akım cer motörü 50 Hzll cer tekniğinde kendisini gittikçe daha fazla kabul ettirmiştir. Karışık akıma has problemlerin *cüzümü* için bu çeşit motörler endükleçlerin bilinmesini daha büyük bir kesinlikle gerektirmektedir. Bir noktaya daha dikkat edilebilir. Alternatif akımlı motörlerde endükatif gerilim düşümüne sebep olan, güç faktörünü kötüleştiren ve bu sebeplerle arzu edilmeyen endükleç, karışık akım motörlerinde akım dalgalanmasını azaltan faydalı bir büyüklük olmuştur. Benzer bir değişiklik senelerce evvel senkron makineler ve transformatörler için vukubulmuş ve artan kısa devre akımları karşısında endüklecl arttırma yoluna gidilmiştir.

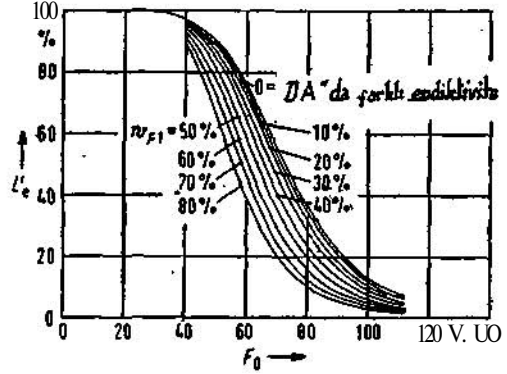


Şekil: 9 — Oranlanmış efektif endükleç. L_c nin ortalama akt F_m fonksiyonu olarak değişmesi. İöfl parametredir.

Tamamlayıcı olarak şu da belirtilmelidir ki, doğru, alternatif ve karışık akım cer motörlerinin doğru akım manyetik karakteristiği, esas titreşimler için alternatif akım karakteristiği ve ortalama değerler için karışık akım karakteristiği çok basit.tek denklemi, ile ifade edilebilir.

$$D = F + mP \quad (24)$$

Burada m katsayısı mevcut akım çeşidine bağlıdır. Doğru akımda $m = 1$ dir. Alternatif akımda m akı üst harmoniklerinin miktarına bağlı olup I den küçüktür. Karışık akıda ise m akı dal-



Şekil: 10 — Oranlanmış diferensiyel endükleç ZA nm ortalama dkt F_m fonksiyonu olarak değişmesi.

galanması w tarafından tayin edilir ve daima I den büyüktür.

Çalışmada kullanılan yaklaşık denklemlerle bazan mıknatıslanma eğrileri, boğma bobinlerinin karakteristikleri v.s. de gösterilebildiğinden, bulunan neticeler doğrudan doğruya bu haller için de caridir. Son olarak çalışmada yapılan incelemenin oranlama noktasının seçimine bağlı olmadığı belirtilebilir. Çalışma sahasının daha iyi kapsanması için başka bir nokta, meselâ şekil I deki B yerine nominal" nokta N ye tekabül eden S_N manyetik akılı ve O_N hava aralığı amper sanırdı L oranlama noktası seçilecek olursa sadece

$$\Phi_{Hl}/\Phi_N = \theta_H/\theta_N = \sqrt{1/(S_N - 1)}, \quad (25)$$

elde edilir ki burada S_N yeni oranlama noktasının, bütün kmpersanın hava aralığı ampersarımına oranı olarak tarif edilen doyma derecesidir.

L i t e r a t ü r

- [1] Schunk, H.: Der Wechselflup elner Elsenkernspule mit überlagerter Gleichstrommagnetslerung Arch. Elektrotechn. Bd. 12 (1932) S. 428 bls 433.
- [2] Fischer, J. u. Moser, H.: Die Nachbildung von Magnetslerungskurven öurch einfache algebraische öoder transeendente Punktlonen. Arch. Elektrotechn. Bd. 42 (1955/1965) S. 286-299.
- [3] Böning, W.: Analytiscac Darstellung der Kennlinien nichtlinearer Zweipole. Arch.. Elektrotechn. Bd. 45 (1960/1981) S. 265-278.
- [4] Rougi, B.: Representatlon algöbrique dea caractörfitiques magnetiques. BuU. Soo. Franç. Electr. Bd. 6 (1936) S. 881-892.
- [5] Richter, B.: Elektrisohe Maschinen, Bd. 5. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heldelberg 1960.
- [6] Çetin, I.: Induktivit&ten bel Gleich-, Wechselund Mischstrom. Erecheint İm Arch. Klektrotechn.