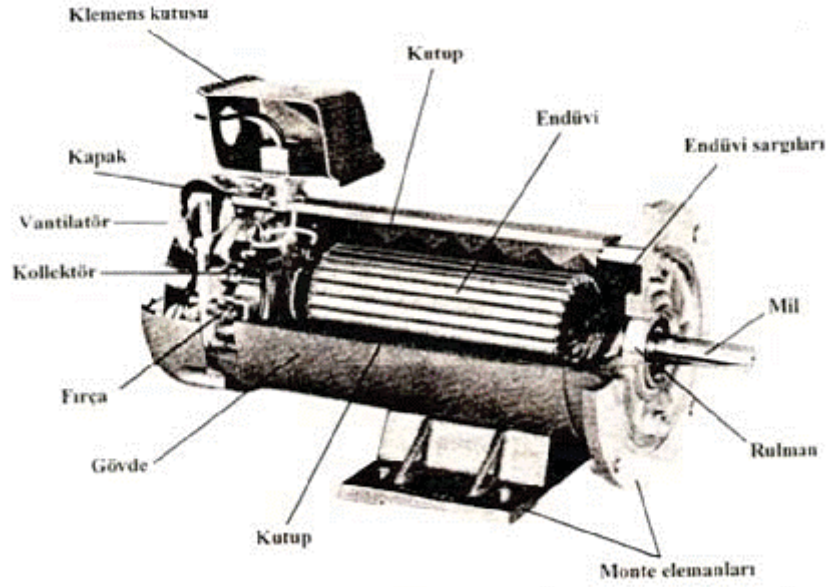


DOĞRU AKIM MOTORLARI

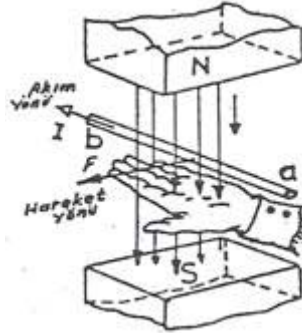


Sabit mıknatıslı doğru akım motorunun iç yapısı ve parçaları

DOĞRU AKIM MAKİNASININ MOTOR OLARAK ÇALIŞMASI

Manyetik alan içinde hareket eden bir iletken üzerinde bir emk indüklenir. Bu iletkenin uçlarına bir R direnci bağlanacak olursa, bu direnç üzerinden devresini kapatan iletken üzerinden bir akım geçer ve bu akım R direnci üzerinde bir bakır (joule) kaybı meydana getirir. Görüldüğü gibi burada mekanik enerji önce elektrik enerjisine ve sonra da ısı enerjisine çevrilmiştir.

N-S mıknatıs kutupları arasına yerleştirdiğimiz a-b iletkeninin uçlarını doğru akım kaynağına bağlayıp, içinden akım geçirdiğimizde, iletkenin hareket ettiği görülür. İletken manyetik alanın dışına çıktığında hareket durur.

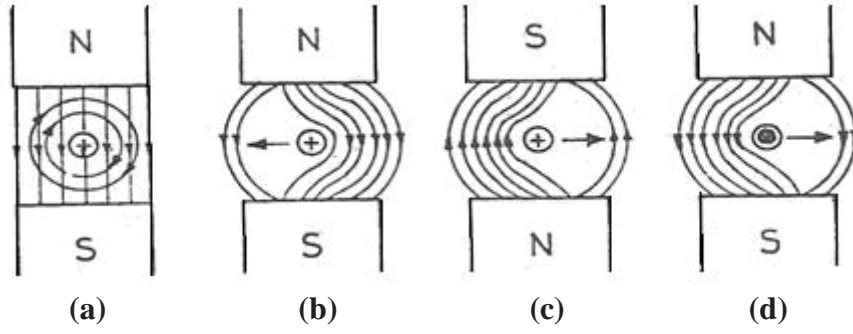


İçinden akım geçen iletkenin manyetik alan tarafından itilmesi

Manyetik alan içindeki iletkenin itilme yönü, iletkenin içinden geçen akımın ve manyetik alanın yönüne bağlıdır. İletkenin hareket yönü, sol el kuralı ile bulunur.

SOL EL KURALI: Sol el, kuvvet çizgileri avuç içinden girecek şekilde kutuplar arasına yerleştirilir. Açık ve gergin duran başparmak iletkenin hareket yönünü bitişik dört parmak iletkenin geçen akım yönünü gösterir.

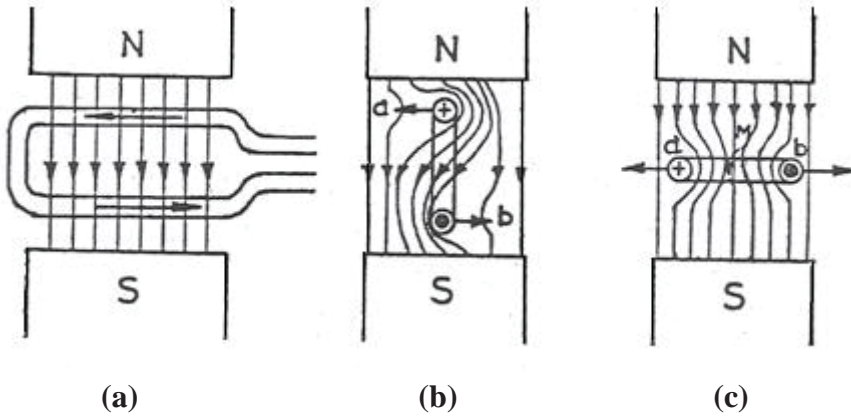
İletken içinden geçen akım, iletken etrafında bir manyetik alan oluşturur. Kutuplar arasında ve iletken etrafında oluşan bu alan, şekil a'da görüldüğü gibi, sol tarafta ana alana ters, sağ tarafta ise ana alanı kuvvetlendirecek yöndedir. Kutup alanı şekil b'deki durumu alır. Bu durumda alan, iletken üzerinde itici bir kuvvet etkisi yapar ve iletkeni alanın dışına sol tarafa doğru iter.



Manyetik alan içindeki iletkenin durumu

Şekil c’de görüldüğü gibi, iletkenden geçen akımın yönü sabit kalmak şartıyla, manyetik alanın yönü değiştirilecek olursa, iletkenin hareket yönü değişir. İletken sağ tarafa doğru itilir. Şekil d’de görüldüğü gibi, manyetik alanın yönü sabit tutulup, iletkenden geçen akımın yönü değiştirilecek olursa, iletkenin hareket yönü değişir. İletken sağ tarafa doğru itilir. Akımın yönü ve manyetik alanın yönü aynı anda değiştirilirse iletkenin hareket yönü değişmez.

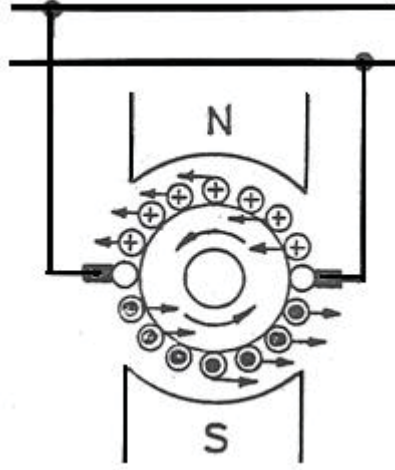
N-S mıknatıs kutupları arasına yerleştirilen bir eksen etrafında dönebilen tek sarımlı bobinden akım geçirildiğinde, bobinin a ve b kenarları üzerinde itici kuvvetler doğar.



İçinden akım geçen bir bobinin manyetik alan içindeki durumu

Bu itici kuvvetlerin etkisi altında kalan bobinin a kenarının sola, b kenarının sağa doğru itildiği görülür ve bu itilme sonucunda bobin şekil c’deki konumu alır. Bu konumda a ve b kenarları birbirlerinin ters yönünde kuvvetler tarafından itileceklerinden bobinin hareketi durur. Bobinin durmasına engel olmak için, a kenarı N kutbunun etkisi altından kurtulup S kutbunun etkisi altına girerken, b kenarı S kutbunun etkisi altından kurtulup N kutbunun etkisi altına girerken içinden geçen akım yönünün değiştirilmesi gerekir. Bunun için dinamolarda olduğu gibi, bobin uçlarını iki dilimli bir kollektöre bağlayıp fırçalardan akım vermemiz gerekir.

Kutuplar arasına tek bir bobin yerine birçok bobin yerleştirilerek, bobin uçları kollektöre bağlanırsa, sistemin düzgün bir şekilde dönmesi sağlanır. Bu sistemin dinamodan bir farkı yoktur. Dinamo döndürüldüğünde elektrik enerjisi üretir, makineye doğru akım elektrik enerjisi uygulandığında ise makine döner.



Kutuplar arasındaki endüvinin durumu

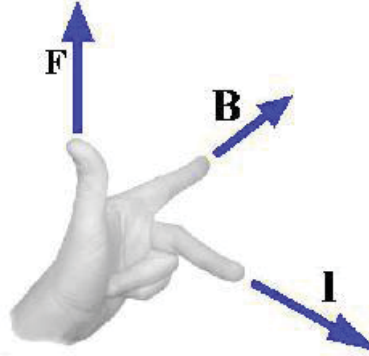
Kutup sargıları bir doğru akım kaynağından beslenen dinamonun rotorunu yani endüvisini dışarıdan bir tahrik makinası yardımı ile döndürelim. Seri bağlanmış birçok iletkenlerden meydana gelen endüvi sargısında, uyarım alanı içindeki hareketinden dolayı bir e.m.k indüklenir. Manyetik alan içinde v hızı ile döndürülen l uzunluğundaki endüvi iletkenlerinde, Faraday Kanunlarına göre indüklenen bu e.m.k,

$$E = B \cdot l \cdot v$$

Dinamonun kutuplarına bir yük direnci uygulanacak olursa, endüviden yük direnci üzerinden devresini tamamlayan bir yük akımı geçer. Böylece önce boşa çalışan dinamo bize elektrik enerjisi verir.

Dinamonun belirli bir yönde dönmesi ve uyarım sargısından geçen akımın, belirli bir yönde olması durumunda, endüvide indüklenen gerilim ile endüviden geçen akımın belirli bir yönü vardır.

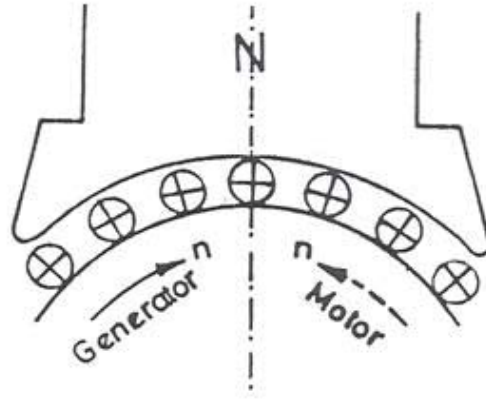
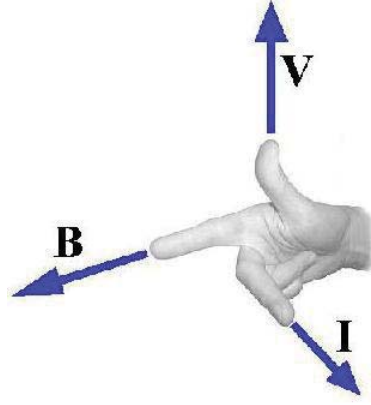
Endüviden geçen akımın yönü sol el üç parmak kuralı ile bulunur. Başparmak dönüş yönünü (n), orta parmak alan yönünü (B), işaret parmağı akım yönünü (I) gösterir.



Alan yönü sabit kalmak şartıyla, endüvi uçlarına bu defa dışarıdan bir gerilim uyguladığımızda, bu gerilim endüvi iletkenlerinden bir akım geçirir. Biot Savart kanuna göre, manyetik alan içinde bulunan endüvi iletkenlerinden akım geçtiğinde endüviye bir kuvvet etkir ve endüvi dönmeye başlar.

$$F = B \cdot L \cdot I$$

Bu kuvvetin etki yönü sağ el 3 parmak kuralı ile bulunur. Orta parmak alan yönünü (B), işaret parmağı akım yönünü (I), başparmak etki yönünü yani endüvinin dönüş yönünü (n) gösterir.

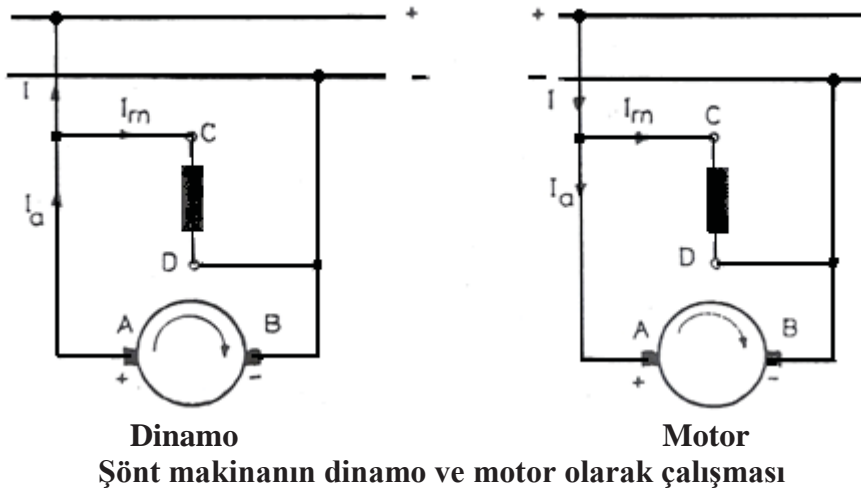


Bir doğru akım makinasının dinamo ve motor olarak çalışması durumunda manyetik alan, akım ve devir yönlerinin karşılaştırılması

Gerçekte kuvvetin büyük kısmı endüvideki dişlere gelir, dolayısıyla kuvvet etkisi ile endüvideki iletkenlerin izolasyonu bozulmaz.

Görüldüğü gibi; kutupları uyarılmış olan bir doğru akım makinası bir tahrik motoru ile uyarıldığında, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirerek dinamo olarak çalışmakta, (+) ve (-) fırçalarına dışarıdan bir gerilim uygulandığı zaman da elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirerek motor olarak çalışmaktadır.

İşletmede bir doğru akım makinasını dinamo ve motor olarak çalıştırılmasına çok sık rastlanır.



Dinamo Motor
Şönt makinanın dinamo ve motor olarak çalışması

Şekilde dinamo ve motor olarak çalışan bir doğru akım şönt makinanın bağlantı şemaları ile akım ve devir yönleri verilmiştir. Şönt dinamo bir doğru akım şebekesini besliyorsa,

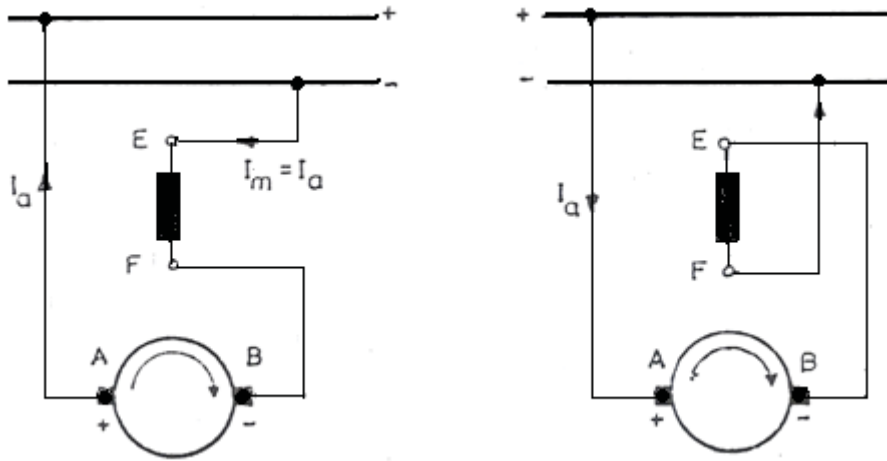
bağlantısında bir değişiklik yapmadan motor olarak çalıştırılabilir. Dikkat edilecek olursa, uyarım alanın yönü ve devir yönü dinamo işletmesindeki durumlarında kalmakta ve yalnız endüvi akımı yön değiştirmektedir. Yani dinamo çalışma durumunda şebekeye akım verilirken, motor çalışma durumunda şebekeden akım çekilmektedir.

Her iki durumda da şebekenin uçları aynı polaritededir. Şönt sargı endüvi sargısı ile şebekeye paralel bağlı olduğundan, şönt makina ister dinamo ister motor olarak çalışsın, uyarım sargısından geçen akım şebekenin (+) ucuna bağlı olan noktadan girip, (-) ucuna bağlı olan noktadan çıkacaktır. O halde dinamo ve motor çalışmada şebekenin polaritesi değişmediği takdirde, uyarım sargısından geçen akımın yönü değişmeyecektir.

İşletmede dinamo durumundan motor duruma veya motor durumundan dinamo durumuna geçişte makinanın bağlantısında hiçbir değişiklik yapmadan, şönt makina aynı devir yönünü korur. Şebeke kutupları değiştirilmediği takdirde bir çalışma durumundan diğer çalışma durumuna geçerken yalnız makinanın endüvi akımı 180^0 değişir.

Makinanın elektrik bağlantısında bir değişiklik yapmadan, n devir sayısını değiştirerek $U < E$ durumunda yani dinamo olarak çalışırken, n devir sayısını küçülterek $U > E$ durumuna gelirse akım yön değiştirir, dinamo motor olarak çalışmaya başlar.

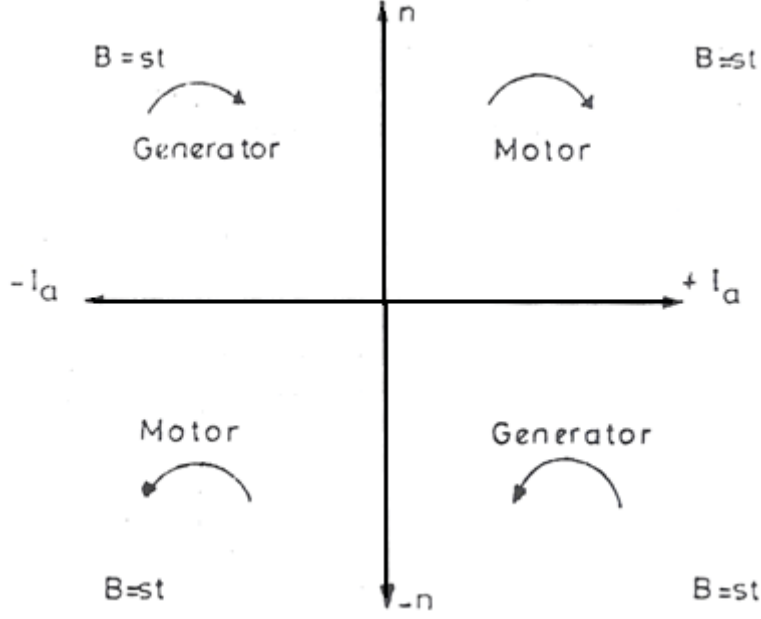
Şönt makinanın bağlantısında bir değişiklik yapmadan dinamo veya motor olarak çalışabilmesi, bu makinalar için büyük bir avantajdır. Bazı işletmelerde şönt makinaların bu özelliklerinden yararlanarak, tahrik aracı olarak kullanılan şönt motorlar dinamo olarak çalıştırılıp, bunların frenlemesinde açığa çıkan elektrik enerjisi doğru akım şebekesine geri verilir.



Dinamo **Motor**
Seri makinanın dinamo ve motor olarak çalışması

Seri motorun aynı devir yönünde dinamo olarak çalışabilmesi için, uyarım sargısından yük akımı geçtiğinden, uyarım sargısı uçlarının yer değiştirmesi gerekir. Aksi halde seri motorun dinamo olarak çalışabilmesi için, devir yönünün değişmesi gerekir. Çünkü motor durumundan dinamo durumuna geçerken endüvi akımı 180^0 değiştiğinden uyarım akımı da yön değiştirir. Sağ el üç parmak kuralından, sol el üç parmak kuralına geçerken, alan endüvi akımı ve hareket yönlerinden yalnız birinin değiştirilmesi gerekir ki, diğer ikisi motor ve dinamo durumlarında eşit kalsın. Demek ki, devir yönünün her iki işletme durumu için de aynı kalması gereken yerlerde (tramvaylarda), uyarım akımının yük akımı ile birlikte yön değiştirmesine engel olmak için, uyarım sargısı uçları değiştirilir.

Karakteristiği dolayısıyla dinamo olarak çalıştırılan seri motorun elektrik enerjini şebekeye geri vermek pratik olarak çok zor olduğundan, seri motorların dinamo olarak çalıştırılmasıyla uygulanan elektrik freninde dinamodan elde edilen elektrik enerjisi dirençlerde harcanır.



Doğru akım makinasının sabit alanda çalışma bölgeleri

Uyartım alanının yönü sabit kalma şartıyla bir doğru akım şönt ve seri makinalarının motor ve dinamo olarak çalışma bölgeleri şekilde gösterilmiştir.

Herhangi bir doğru akım şebekesinde çalışan bir doğru akım motorunun devir yönü değiştirilmek istenirse, uyartım akımı ya da endüvi akımından birinin yönünü değiştirmek yeterlidir. Pratikte genel olarak uyartım sargısının uçları değiştirilir.

Herhangi bir doğru akım şebekesine paralel bağlı olan bir doğru akım makinası, motor durumundan dinamo durumuna geçerken, uyartım alanının yönü ile devir yönü sabit kaldığına göre, endüvi akımının 180° değiştirilmesi gerekir.

$$U = E \pm (I_a \cdot \sum R_i + 2\Delta U_b) \quad (-) \text{ DİNAMO} \Rightarrow U < E$$

$$(+) \text{ MOTOR} \Rightarrow U > E$$

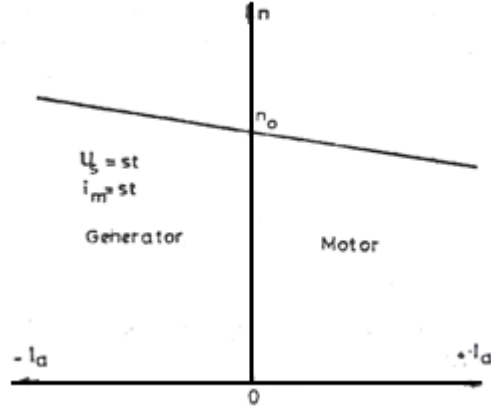
Motor durumu için verilen endüvi akım eşitliğinde,

$$I_a = \frac{U - E - 2\Delta U_b}{\sum R_i}$$

Endüvi akımın negatif değerler alması için, fırçalardaki gerilim düşümü ihmal edildiğine göre, endüvide indüklenen e.m.k 'nin, kutup geriliminden büyük olması gerekir ($E > U$).

Bir doğru akım şebekesine paralel çalışan şönt motor ($U = s b t$, $I_m = s b t$), derin bir maden ocağından içi maden dolu kovayı yukarıya doğru çekerken motor olarak çalışır ve şebekeden akım çeker. Boş kovayı maden ocağına indirirken rotor hızı boşta çalışma devir sayısının (n_0) üzerine çıkar, bu durumda $E > U$ olacağından dinamo olarak çalışır ve doğru akım şebekesine enerji verir.

Görölüyor ki, burada şönt makinanın hızı değişkendir ve boşta çalışma devir sayısının altında motor, üzerinde dinamo olarak çalışır. şekilde bu çalışma bölgelerine ait $n = f(I_a)$ eğrisi verilmiştir.



Şönt makinanın dinamo ve motor çalışma bölgeleri

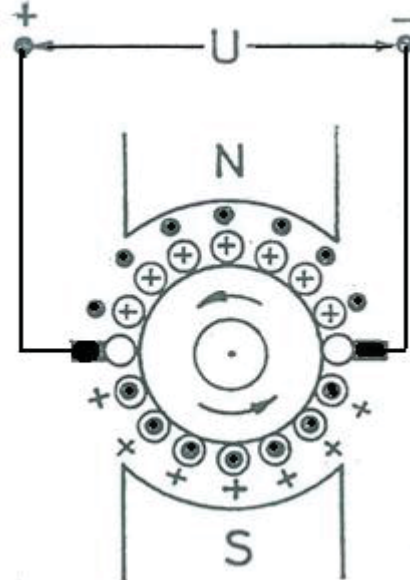
Devir sayısının n_0 'ın üzerine çıkması sonucunda, uyarım devresine dokunulmadığında, endüvide indüklenen e.m.k kutup geriliminden büyük değerler alacaktır ve endüvi akımı yön değiştirecektir. Endüvi akımının yön değiştirmesi demek, motor işletme durumundan dinamo işletme durumuna geçildiğini gösterir.

Burada şebeke gerilimi ve uyarım sargısından geçen akım sabit olduğundan indüklenen e.m.k yalnız devir sayısına bağlıdır.

$$E = k \cdot \Phi \cdot n$$

DOĞRU AKIM MOTORLARINDA ZİT E.M.K

Bir doğru akım motorunun endüvisinden akım geçtiğinde, meydana gelen döndürücü kuvvetten dolayı endüvi döner. Manyetik alan içinde dönen endüvi iletkenleri, bu alanın kuvvet çizgileri tarafından kesilirler. Manyetik alan içinde dönen ve iletkenleri kuvvet çizgileri tarafından kesilen endüvi üzerinde e.m.k indüklenir.



Endüvide indüklenen zıt e.m.k'nin yönü

Doğru akım motorunun endüvisine U gerilimi uygulayalım. N kutbu altındaki iletkenlerden giriş (+), S kutbu altındaki iletkenlerden (•) çıkış yönünde bir akım geçsin. Akımın yönüne göre endüvi sola döner. Endüvide indüklenen e.m.k'nin yönü sağ el kuralına göre, N kutbu altındaki iletkenlerde çıkış (•), S kutbu altındaki iletkenlerde ise giriş (+) yönündedir. Endüviden geçen akımla, dolayısıyla endüviye uygulanan gerilimle, endüvide indüklenen

e.m.k 'nin yönleri birbirine terstir. Endüviye uygulanan gerilime ters yönde olan bu e.m.k'ne zıt e.m.k denir.

Endüvide indüklenen zıt e.m.k, endüviye uygulanan gerilime (U) göre ters yönde olduğundan, U geriliminin endüviden geçirmek istediği akımı azaltmak ister. Endüviden geçen akım, iki gerilim farkından dolayı geçen akımdır.

$$I_a = \frac{U - E}{R_a} \text{ (A)}$$

$$E = U - I_a \cdot R_a \text{ (V)}$$

Şönt ve kompant makinalarda dış devre akımı,

$$I = I_a + I_m \text{ (A)}$$

Endüvi devresi üzerinde seri sargı (R_s), yardımcı kutup (R_{yk}) ve kompanzasyon sargısı (R_k) varsa, bu dirençler endüvi dirençlerine ilave edilir. Toplam direnç,

$$\Sigma R_i = R_a + R_s + R_{yk} + R_k$$

Dinamo endüvisinde indüklenen e.m.k ile motor endüvisinde indüklenen e.m.k arasında bir fark yoktur. Dinamolar için kullanılan e.m.k formülünü motorlar için de kullanabiliriz.

$$E = \Phi \cdot 2P \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{Z}{2a} \cdot 10^{-8} \text{ (V)}$$

Dinamolarda olduğu gibi sabit değerler k sabitesi ile gösterilirse,

$$k = 2P \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{Z}{2a} \cdot 10^{-8}$$

$$E = k \cdot \Phi \cdot n \text{ (v)}$$

$$E = \text{Motor endüvisinde indüklenen zıt e.m.k (V)}$$

Φ = Kutuplardaki manyetik akı (maxwell veya weber)

n = Motorun dakikadaki devir sayısı (dev/ dak)

Z = Endüvinin toplam iletken sayısı

$2a$ = Endüvi paralel devre sayısı

$2P$ = Kutup sayısı

Benzin motorları, dizel motorlar, buhar türbinleri gibi makinalarda gerekli benzin, mazot ve buhar özel düzeneklerle ayarlanır. Örneğin buhar türbinlerinde yük akımı arttıkça türbinin devir sayısında hafif düşme olur, makinaya buhar gönderen valf, regülatör aracılığı ile daha fazla açılarak buhar miktarını artırır. Artan buhar, makinanın gücünü artırır. Makinanın yükü azalacak olursa, valf kapanarak makinaya giden buhar miktarını azaltır, makinanın verdiği güç azalır.

Doğru akım motorlarında ise, makinanın gücüne göre geçen akımı ayarlayacak ayrı bir düzeneğe gerek yoktur. Zıt e.m.k, akımı makinanın gücüne göre ayarlamaktadır.

Makinanın yükünde meydana gelecek bir artma, devir sayısını düşürür. Devir sayısının azalması $E = k \cdot \Phi \cdot n$ formülüne göre zıt e.m.k'nin azalmasına neden olur. Zıt e.m.k azalırsa

$$I_a = \frac{U - E}{R_a} \text{ formülüne göre, U ve } R_a \text{ sabit olduğundan } I_a \text{ akımı artar. Artan endüvi akımı (} I_a \text{)}$$

motorun yükünü karşılar. Motorun yükünde meydana gelecek azalmada ise, devir sayısı yükselerek zıt e.m.k'nin artmasına neden olur. Zıt e.m.k'nin artması endüvi akımını azaltır.

DOĞRU AKIM MOTORLARINDA MOMENT VE MEKANİK GÜÇ

Endüvi iletkenlerinden akım geçtiğinde, iletkenler manyetik alan tarafından alanın dışına doğru itilirler. Böylece endüvi çevresinde endüviyi döndüren bir kuvvet veya bir moment meydana gelir. Endüvide meydana gelen moment,

$$M = F \cdot \frac{D}{2} \text{ (kg -m)}$$

F = Endüvi çevresinde meydana gelen bu kuvvetlerin toplamı

D = Endüvi çapı

Endüvinin bir devrinde F kuvvetinin yapacağı iş,

$$A = \pi \cdot D \cdot F \quad (\text{kg-m})$$

Motor n devirle döndüğüne göre, saniyede $\frac{n}{60}$ devir yapar.

Endüvinin 1 sn'de yaptığı iş, yani endüvide meydana gelen güç,

$$P_e = \pi \cdot D \cdot F \cdot \frac{n}{60} \quad (\text{kg-m / sn})$$

Eşitliğin payı ve paydası 2 ile çarpılırsa,

$$P_e = 2\pi \cdot \frac{D}{2} \cdot F \cdot \frac{n}{60} \quad (\text{kg-m / sn})$$

$$P_e = 2\pi \cdot M \cdot \frac{n}{60} \quad (\text{kg-m / sn})$$

$$1 \text{ HP} = 75 \text{ kg-m / sn}$$

$$P_{\text{HP}} = \frac{2\pi \cdot M \cdot n}{60 \cdot 75}$$

$$\frac{2\pi}{60 \cdot 75} = \frac{1}{716}$$

$$P_{\text{HP}} = \frac{M \cdot n}{716} \quad (\text{HP})$$

$$M = \frac{716 \cdot P(\text{HP})}{n} \quad (\text{kg-m})$$

$$1 \text{ kW} = 102 \text{ kg-m / sn}$$

$$P_{\text{kW}} = \frac{2\pi \cdot M \cdot n}{60 \cdot 102}$$

$$\frac{2\pi}{60 \cdot 102} = \frac{1}{975}$$

$$P_{\text{kW}} = \frac{M \cdot n}{975} \quad (\text{kW})$$

Motor kasmağındaki moment ve devir sayısı biliniyorsa motorun gücü bulunabilir.

$$\text{Prony freni} \quad M = G \cdot L$$

$$\text{Kefeli fren} \quad M = \frac{D}{2} \cdot (G_1 - G_2)$$

$$\text{Fuko fren} \quad M = G \cdot L$$

$$\text{Dinamo fren} \quad M = G \cdot L$$

D = Kasnak çapı

G = Ağırlık

G₁ = Sol kefedeki ağırlık

G₂ = Sağ kefedeki ağırlık

L = Kol uzunluğu

MOMENTİN ELEKTRİKİ OLARAK BULUNMASI

Endüviye verilen güç,

$$P_v = U \cdot I_a$$

Endüvi iç direncinden dolayı kaybolan güç,

$$P_{\text{acu}} = R_a \cdot I_a^2$$

Endüvideki bu ısı kaybından sonra geriye kalan güç, endüvide meydana gelen güçtür.

$$P_e = U \cdot I_a - R_a \cdot I_a^2 \quad (\text{W})$$

$$P_e = I_a \cdot (U - I_a \cdot R_a) \quad (\text{W})$$

$$E = U - (I_a \cdot R_a) \quad (\text{V})$$

$$P_e = I_a \cdot E \quad (\text{W})$$

$$P = \frac{M \cdot n}{0,975} \quad (\text{W})$$

$$E \cdot I_a = \frac{M \cdot n}{0,975}$$

$$E = \Phi \cdot 2P \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{Z}{2a} \cdot 10^{-8} \quad (\text{V})$$

$$\Phi \cdot 2P \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{Z}{2a} \cdot 10^{-8} \cdot I_a = \frac{M \cdot n}{0,975}$$

$$M = \frac{\Phi \cdot 2P \cdot Z \cdot 10^{-8} \cdot I_a \cdot 0,975}{2a \cdot 60} \quad (\text{kg-m})$$

$$k_m = \frac{2P \cdot Z \cdot 10^{-8} \cdot 0,975}{2a \cdot 60} \quad (\text{Moment sabitesi})$$

$$M = k_m \cdot \Phi \cdot I_a$$

Bir doğru akım motorunun endüvisinde meydana gelen moment, kutupların manyetik alanı ve endüviden geçen akımla doğru orantılıdır.

Motor yüklendiğinde devir sayısı ve buna bağlı olarak zıt e.m.k azalır, endüvi akımı artar. Endüvi akımının artması, endüvide meydana gelen momenti artırır. Böylece motorun gücü artarak artan yükü karşılar.

ÖRNEK: Kutup gerilimi 110 V, dış devre akımı 42 A olan şönt motorun endüvi direnci 0,1 Ω , uyarım devresi direnci 55 Ω dur. Motorun endüvisinde indüklenen zıt e.m.k'ini,

a) Tam yük akımında,

b) Yarı yük akımında hesaplayınız.

$$U = 110 \text{ V}$$

$$I = 42 \text{ A}$$

$$R_a = 0,1 \Omega$$

$$R_m = 55 \Omega$$

$$\text{a) } I_m = \frac{U}{R_m} = \frac{110}{55} = 2 \text{ A}$$

$$I_a = I - I_m = 42 - 2 = 40 \text{ A}$$

$$E = U - (I_a \cdot R_a) = 110 - (40 \cdot 0,1) = 106 \text{ V}$$

$$\text{b) } I_{yy} = \frac{I}{2} = \frac{42}{2} = 21 \text{ A}$$

$$I_a = I - I_m = 21 - 2 = 19 \text{ A}$$

$$E = U - (I_a \cdot R_a) = 110 - (19 \cdot 0,1) = 108,1 \text{ V}$$

Yarı yükte zıt e.m.k'i artmış, yük akımı azalmıştır.

ÖRNEK: 220 V, 1500 d/d'lı, 4 kutuplu şönt motorun endüvisinde 21 oluk ve her oluğunda 20 iletken vardır. Endüvisine paralel sarım uygulanmış olan şönt motorun endüvi direnci 0,2 Ω , kutuplarındaki manyetik akı $2 \cdot 10^6$ maxwell olduğuna göre,

a) Normal devirde endüvide indüklenen zıt e.m.k'ini,

b) Yarı devirde endüvide indüklenen zıt e.m.k'ini,

c) Tam yükte endüvide meydana gelen momenti ve gücü hesaplayınız.

$$U = 220 \text{ V}$$

$$n = 1500 \text{ d/d}$$

$$2P = 4$$

$$X = 21 \text{ oluk}$$

$$Z_x = 20 \text{ ilet/oluk}$$

$$2a = 2P \text{ (Paralel sarım)}$$

$$R_a = 0,2 \ \Omega$$

$$\Phi = 2 \cdot 10^6 \text{ max}$$

$$\text{a) } n = 1500 \text{ d/d}$$

$$Z = Z_x \cdot X = 20 \cdot 21 = 420 \text{ iletken}$$

$$E = \Phi \cdot 2P \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{Z}{2a} \cdot 10^{-8}$$

$$E = 2 \cdot 10^6 \cdot \frac{1500}{60} \cdot 420 \cdot 10^{-8} = 210 \text{ V}$$

$$\text{b) } n = 750 \text{ d/d}$$

$E = k \cdot \Phi \cdot n$ eşitliğine göre, devir yarıya düştüğünde endüvide indüklenen zıt e.m.k'i de yarıya düşmüştür.

$$E = \frac{210}{2} = 105 \text{ V}$$

$$\text{c) } I_a = \frac{U - E}{R_a} = \frac{220 - 210}{0,2} = 50 \text{ A}$$

$$M = \frac{\Phi \cdot 2P \cdot Z \cdot 10^{-8} \cdot I_a \cdot 0,975}{2a \cdot 60} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 420 \cdot 10^{-8} \cdot 50 \cdot 0,975}{60} = 6,83 \text{ kg-m}$$

$$P_A = \frac{M \cdot n}{0,975} = \frac{6,83 \cdot 1500}{0,975} = 10500 \text{ W}$$

$$P_A = E \cdot I_a = 210 \cdot 50 = 10500 \text{ W}$$