

SENKRON GENERATÖR TASARIMI

İÇİNDEKİLER

1.GİRİŞ	1
2.SENKRON GENERATÖR TASARIMI.....	3
2.1 Stator Tasarım Denklemleri.....	4
2.1.2 Rotor Tasarım Denklemleri.....	5
3. SENKRON GENERATÖR ANALİTİK HESAPLAMA.....	6
3.1 Yıldız Bağlı Çıkık Kutuplu Senkron Generatöre Ait Spesifik Değerler.....	7
3.2 Çıkış Katsayısı ve Temel Stator Geometrisi.....	7
3.3 Stator Sargısı Tasarımı.....	8
3.4 Stator Çekirdeğinin Tasarımı	10
3.5 Stator ve Rotor Hava Boşluğunun Hesaplaması.....	11
3.6 Temel Rotor Geometrisi	12
3.7 Alan Sargılarının Tasarımı	12
4.SENKRON GENERATÖR TASARIMINA AİT VERİLER.....	14
5.SONUÇ	17
KAYNAKLAR	

SİMGE LİSTESİ

ac	: Özgöl elektrik yükü
af	: Saha iletkeninin kesit alanı
Ag	: Etkili boşluk alanı
ATa	: Kutup başına armatür amper sargıları
ATfl	: Kutup başına tam yük alanı amper sargıları
ATg	: Hava boşluğu amper sargıları
ATfo	: Kutup başına yük alanı amper sargısı
as	: Stator iletken kesit alanı
Bav	: Ortalama akı yoğunluğu
Bg	: Hava boşluğundaki max akı yoğunluğu
Bp	: Kutup gövdesindeki akı yoğunluğu
bs	: Stator yuva genişliği
Co	: Çıkış katsayısı
D	: Statorun çapı
df	: Alan bobinin derinliği
Dr	: Rotor çapı
Eph	: Faz voltajı
hf	: Alan bobininin yüksekliği
If	: Alan akımı
Iph	: Faz akımı
Kf	: Alan form faktörü
kg	: Hava boşluğu katsayısı
Kw	: Sargı faktörü
L	: Brüt çekirdek uzunluğu
lg	: Hava boşluğu uzunluğu
Li	: Çekirdeğin net demir uzunluğu
Lmt	: Ortalama stator dönüş uzunluğu
Lp	: Eksenel kutup uzunluğu
m	: Faz
Ns	: Senkron hız (rpm)
ns	: Senkron hız (rps)

N_t : Kutup arkı başına diş sayısı

p : Kutup sayısı

P_{cus} : Stator sargısında bakır kayıpları

P_{cu} : Sahadaki bakır kayıpları

q_f : Alan bobinin soğutma yüzeyinin metrekaresine başına izin verilen kayıp

Q : Generatör çıkışı (kVA)

q_s : Kutup Faz Başına Yuva Sayısı

R_f : Alan Sargısının Direnci

R_{ph} : Stator Sargı Direnci

SCR: Kısa devre oranı

sf : bakır boşluk faktörü

S_s : Stator yuva sayısı

T_f : Bobin başına alan dönüşleri

T_{ph} : Faz başına dönüş

V_a : Çevresel hız

V_e : Uyarıcı voltaj

V_c : Bobin başına voltaj

Z_s : İletken sayısı

Z_{ss} : Yuva Başına İletken Sayısı

Z_{ph} = no of conductors/phase;

φ : Faz başına akı

φ_c : Stator çekirdeğindeki akı

φ_p : Kutup gövdesindeki akı

δ : Akım yoğunluğu

δ_f : Akım yoğunluğu

τ_p : Kutup aralığı

τ_s : Yuva aralığı

ζ : Bakırın özgül direnci

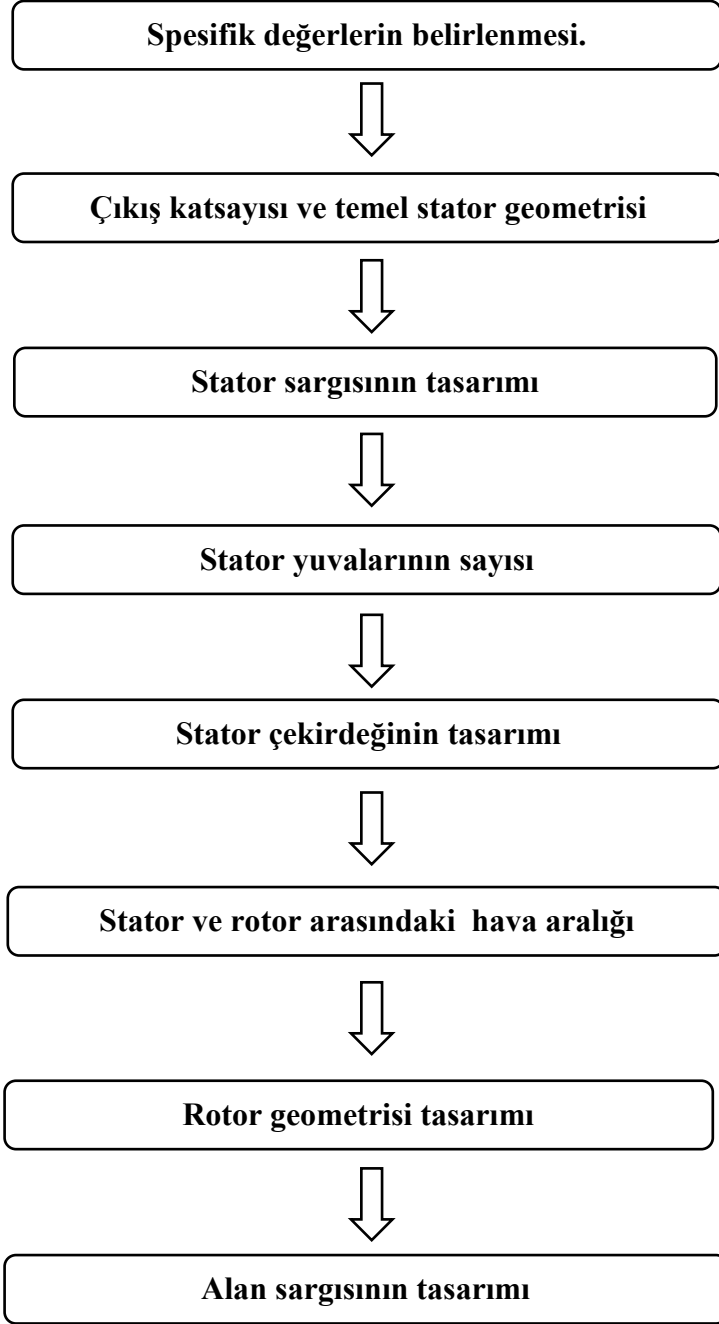
1.GİRİŞ

Senkron generatörler, harici bir DC kaynağı tarafından sağlanan bir saha devresine sahip AC makinelerdir. Elektrik enerjisinin üretiminde kullanılıp güçleri kVA (kilovolt amper) veya MVA (megavolt amper) olarak verilir. Senkron generatörler yapısal olarak iki ana bölümden oluşur. Armatür (stator) sabit parça, alan (rotor) ise dönen parça olarak işlev görür. Esas olarak iki tip senkron generatör kullanılmaktadır. Çıkık kutuplu ve silindirik kutuplu senkron generatör. Genellikle çıkıntılı kutup tipi jeneratör, düşük ve orta hızlı uygulamalar için kullanılır ve geniş çaplı, kısa eksenel uzunluğa ve çok sayıda çıkıntılı kutba sahiptir. Silindirik kutuplu senkron jeneratör ise dairesel bobin ile büyük eksenel uzunluk ve küçük çaplı yüksek hızlı uygulamalar için kullanılmaktadır . Senkron jeneratörün yüksek hızlı uygulamalar için temel gereksinimi, yüksek güç yoğunluğu, kompakt tasarım, daha az bileşen, yüksek sıcaklığa dayanma yeteneği ve yüksek verimlilikle yüksek güvenilirliktir. [1]

Elektrik enerjisi üretim sistemlerinin ana teçhizatlarından biri senkron generatörlerdir. Enerji üretiminde kullanılan bu donanımların iyi analiz edilmesi hem ekonomik hem de işletme anlamında büyük önem taşımaktadır. Senkron generatöre tasarımına ait analitik hesaplama imalattan önce generatöre ait verilerin doğrulukla analiz edilmesi, parametrelerin hesaplanması, sanal ortamda daha gerçekçi benzetimler ile imalatından önce generatörün görülmesine imkân sağlamaktadır. Bu benzetimler ile generatörlerin istenilen değerlere ulaşma durumları, negatif yanlarının görülmesi anlamında büyük kolaylık sağlanmaktadır. [2]

Rüzgar türbinleri için teknolojik ve ekonomik bir Çıkık Kutuplu Senkron Makine tasarımı üzerine yapılan çalışmada Çıkık Kutuplu Senkron Makine ile Sabit Mıknatıslı Senkron Makine Eddy akımı, hava aralığındaki akı yoğunluğu ve verim yönünden sonlu elemanlar yöntemiyle karşılaştırılmış, ekonomik olarak analiz edilmiştir. Çıkık Kutuplu Senkron Makine de daimi mıknatıs yerine sargılar kullanılmasının dolayı göre daha temiz ve ucuz olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışmada manyetik malzemelerin maliyet açısından karşılaştırılmasında aynı boyuttaki manyetik malzemelerin % 50 oranında fiyatlarının değişebildiği görülmüştür. Örnek araştırılmada görüldüğü gibi istenilen değerlere ulaşmada, imalattan önce avantaj ve dezavantajların öngörülmesinde analitik tasarım büyük önem taşımaktadır.

AKIŞ DİYAGRAMI

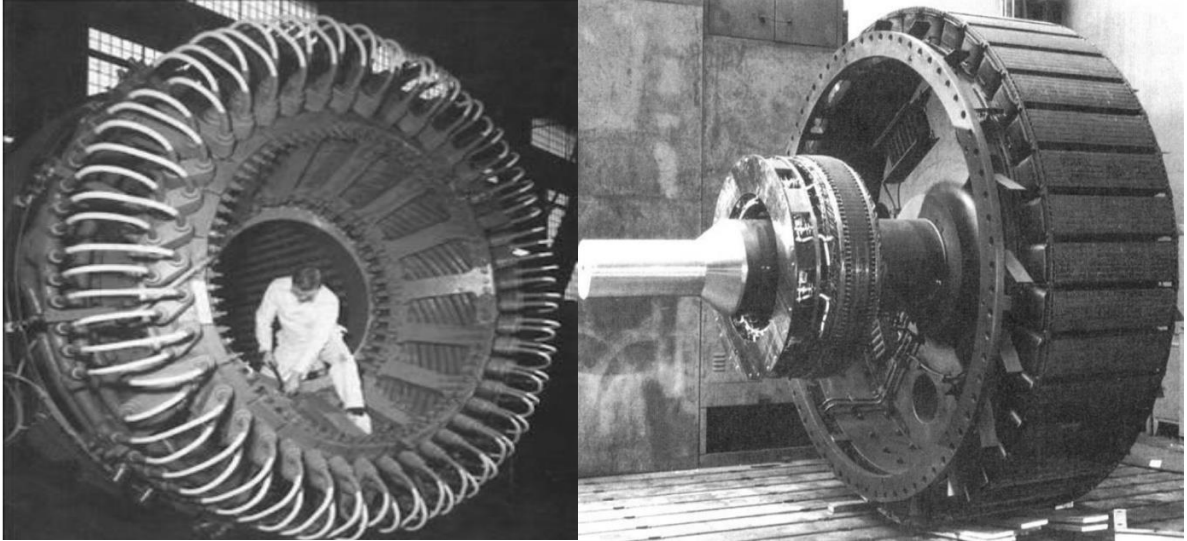


2.SENKRON GENERATÖR TASARIMI

Elektrik makinelerinin tasarımı, esas olarak, makinenin çeşitli parçalarının belirli özelliklere uyacak şekilde boyutlarının elde edilmesi, mevcut malzemenin ekonomik olarak kullanılması ve daha sonra bu verilerin makinenin üreticisine sunulmasından oluşur.

Tasarımcının amacı:

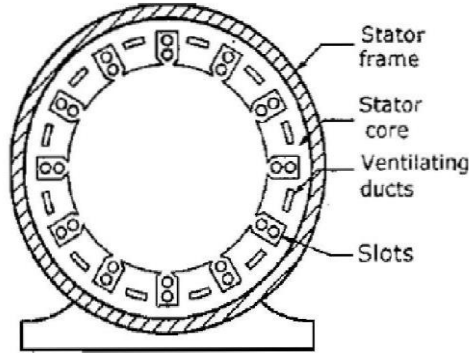
- Düşük maliyet
- Daha küçük boyut
- Daha geniş sıcaklık sınırı
- Alt ağırlığı
- Minimum kayıplar
- Yüklü ve yüksüz şartlarda daha iyi performans elde etmektir. [3]



Şekil.1 Sırasıyla çıkık kutuplu generatörün stator ve rotoru [1]

2.1 STATOR TASARIM DENKLEMLERİ

Statorun iç çapı ve brüt uzunluğu makinenin ana boyutlarını oluşturur. Ana boyutları elde etmek için çıktı ile makinenin ana boyutları arasındaki ilişkiyi geliştirmek gerekir. Bu ilişki çıkış denklemi olarak bilinir. Makinenin çıktı denkleminde, makinenin hacminin makinenin çıktısı ile doğru orantılı olduğu ve makinenin hızı ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Daha yüksek hıza sahip makinelerin boyutu ve maliyeti düşecektir. Özel yüklemelerin daha büyük değerleri, daha küçük makinenin boyutu olacaktır. [1]



Şekil.2 Sırasıyla stator çerçevesi, stator çekirdeği, havalandırma kanalı ve yuvalar[4]

Çıkış Denklemi:

Makinenin çıkış denklemi : $Q = Co \cdot D^2 \cdot L \cdot ns$

Çıkış katsayısı : $Co = 1,11 \cdot Kw \cdot Bav \cdot ac \cdot 10^{-3}$

Çevresel hız : $Va = \pi D \cdot ns$

Generatörün EMF denklemi (Faz başına EMF) : $E_{ph} = 4,44 \cdot f \cdot \varphi \cdot T_{ph} \cdot Kw$

Faz başına sarım sayısı : $T_{ph} = \frac{E_{ph}}{4,44 \cdot f \cdot \varphi \cdot Kw}$

Kutup başına akı : $\varphi = \frac{Bav \cdot \pi D L}{p}$

Stator yuva aralığı : $\tau_s = \frac{D \pi}{S_s}$

İletken sayısı : $Z_s = 6 \cdot T_{ph}$

İletken kesit alanı : $as = \frac{I_{ph}}{\delta}$

Çekirdeğin net demir uzunluğu : $L_i = (L - n_d \times w_d) \cdot k_i$

Diş genişliği : $b_t = \frac{\varphi}{B_t \times L_i \times N_t}$

Stator dişlerindeki akı yoğunluğu : $B_t = \frac{\varphi}{b_t \times L_i \times N_t}$

Stator yuva genişliği : $b_s = \tau_s - b_t$

Ortalama stator dönüş uzunluğu : $L_{mt} = (2L + 2.5\tau_p + 0.05 \times kV + 0.15)m$

Stator kutup aralığı : $\tau_p = \frac{D\pi}{p}$

Stator sargısının direnci : $R_{ph} = \frac{\rho L_{mt} T_{ph}}{as}$

Stator sargısının bakır kayıpları : $P_{cus} = I_{ph}^2 R_{ph}$

Kutup faz başına yuva sayısı : $q_s = \frac{\pi D}{Y_{ss} \cdot m \cdot p}$

Toplam yuva sayısı : $S_s = q_s \cdot m \cdot p$

Yuva başına iletken sayısı : $Z_{ss} = \frac{Z_s}{S_s}$

Tam yük akımı : $I_{ph} = \frac{Q}{3E_{ph} \cdot 10^{-3}}$

Stator çekirdeğindeki akı : $\varphi_c = \frac{\varphi}{2}$

Stator çekirdeğinin akı yoğunluğu : $B_c = \frac{\varphi_c}{A_c}$

Stator çekirdeğinin kesit alanı : $A_c = L_i \cdot d_c$

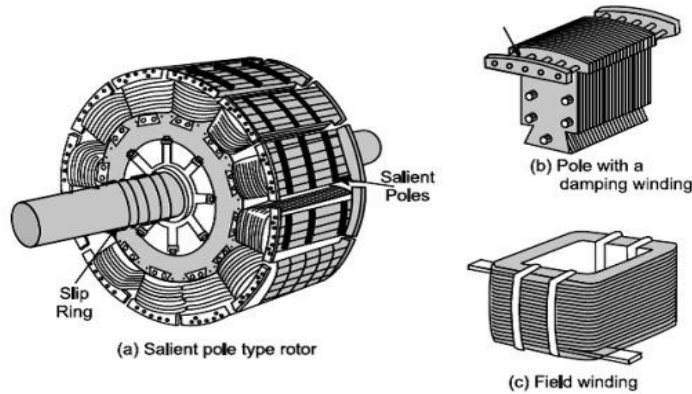
Stator çekirdeğinin derinliği : $d_c = \frac{\varphi_c}{L_i \cdot B_c}$

Stator çekirdeğinin dış çapı : $D_o = D + 2 (d_c + d_{ss})$

Kutup başına armatür amper sarımları : $AT_a = \frac{2.7 \cdot I_{ph} \cdot T_{ph} \cdot K_w}{p}$

2. 2 ROTOR TASARIM DENKLEMLERİ

Çıkıntılı kutup jeneratörünün saha sistemi tasarımı; kutup yüzünün şekli, kutup boyutları, rotor kutbunun derinliği ve çıkıntılı jeneratör için yüksüz amper dönüşlerinden oluşur. Çıkık kutuplu senkron makine mıknatıslanmak için, çıkıntılı kutuplarda bulunan sargılara fırçalar ve kayma halkaları aracılığıyla doğru akım ile beslenir . Doğru akımın yarattığı ana akı, kutup pabucundan statora akar ve aynı anda statorun çok fazlı yarık sargısına nüfuz eder.[5]



Şekil. 3 (a) Çıkık kutup tipli rotor (b) Sönümleme sargılı kutup (c) Alan sargısı [6]

Kutup gövdesinin enine kesit alanı : $A_p = \frac{\varphi_p}{B_p}$

Kutup genişliği : $b_p = \frac{A_p}{L_p}$

Etkili boşluk alanı : $A_g = K_f \cdot \tau_p \cdot L$

Hava boşluğundaki max akı yoğunluğu : $B_g = \frac{\varphi}{A}$

Hava boşluğu amper dönüşleri : $AT_g = 0.8 B_g \cdot K_g \cdot L_g \cdot 10^6$

Hava boşluğu uzunluğu : $l_g = \frac{AT_g}{0.8 \cdot B_g \cdot K_g \cdot 10^6}$

Rotor çapı : $D_r = D - 2 L_g$

Alan bobininin yüksekliği : $h_f = \frac{I_f \cdot T_f}{10^4 \sqrt{(d_f \cdot s_f \cdot q_f)}}$

Bobin başına voltaj : $V_c = \frac{0.8 \cdot V_e}{p}$

Saha iletkeninin kesit alanı : $a_f = \frac{\rho \cdot L_{mt} \cdot I_f \cdot T_f}{V_c}$

Alan akımı : $I_f = a_f \cdot \delta$

Bobin başına alan dönüşleri : $T_f = \frac{AT_f l}{I_f}$

Alan sargısının direnci : $R_f = \frac{\rho \cdot L_{mt} \cdot T_f}{a_f}$

Sahadaki bakır kayıpları : $P_{cu} = I_f^2 R_f$

Toplam alan bakır kaybı : $P_{totalcu} = P_{cu} \cdot p$

3. SENKRON GENERATÖR ANALİTİK HESAPLAMA

Senkron generatörlerin uluslararası standartlarda kabul edilen kalitede AA gerilim üretebilmelerinde tasarım aşamasında belirlenen stator ve rotorun mekanik yapısı büyük önem taşımaktadır. Generatörlerde stator ve rotor arasındaki hava aralığında manyetik akı yoğunluğu sinüzoidal olmalıdır. Ayrıca stator yapılarındaki olukların yerleşimi ve sargı adımı gibi tasarım parametreleri üretilen gerilimin harmonik bileşenlerini etkilemektedir. Makinenin kVA veya MVA cinsinden nominal çıkışı, kV cinsinden makinenin nominal gerilimi, Hız, frekans, jeneratörün rotor tipi, stator sargısının bağlantısı, sıcaklık sınırı, ana taşıyıcı detayları Tasarım prosedürünü başlatmak için gerekli olan önemli özelliklerdir. Bu rapor çalışmasında senkron generatör tasarımı verilen bilgileri göz önünde bulundurarak elde edilmiştir. [5]

3.1 YILDIZ BAĞLI ÇIKIŞ KUTUPLU SENKRON GENERATÖRE AİT SPESİFİK DEĞERLER

- Çıkış Gücü : 500 kVA
- Terminal Voltajı : 6,6 kV
- Çevresel Hız : 35 m/s
- Frekans : 50 Hz
- Kutup Sayısı : 12
- Faz : 3
- Elektrik yükü (ac) : 26000 ac/m
- Ortalama akı yoğunluğu (Bav) : 0,56 T
- Sargı faktörü (Kw) : 0,955

3.2 ÇIKIŞ KATSAYISI VE TEMEL STATOR GEOMETRİSİ

- Çıkış katsayısı hesabı : $Co = 1,11 * \pi^2 * Kw * Bav * ac * 10^{-3}$

$$Co = 1,11 * \pi^2 * 0,955 * 0,56 * 26000 * 10^{-3}$$

$$Co = 152,331$$

- rps cinsinden senkron hız : $ns = \frac{Ns}{60}$

$$Ns = \frac{120f}{p} = \frac{120*50}{12} = 500 \text{ rpm}$$

$$ns = \frac{Ns}{60} = \frac{500}{60} = 8,333 \text{ rps}$$

- Çıkış denklemini kullanarak D^2L hesaplaması : $Q = Co * D^2L * ns$

$$D^2L = \frac{Q}{Co * ns} = \frac{500}{152 * 8,333} = 0,394 \text{ m}^3$$

- Çevresel hız denklemini kullanarak D ve L değerlerinin hesaplaması : $Va = \pi D * ns$

$$D = \frac{Va}{ns * \pi} = \frac{35}{8,333\pi} = 1.336 \text{ m}$$

$$D^2L = 1.336^2 * L \text{ ise } L = 0,221 \text{ m}$$

3.3 STATOR SARGISININ TASARIMI

- Ortalama akı yoğunluğunu kullanarak kutup başına akı yoğunluğunun hesaplanması : $B_{av} = \frac{p \cdot \varphi}{\pi D L}$

$$\varphi = \frac{B_{av} \cdot \pi D L}{p} = \frac{0,56 \cdot \pi \cdot 1,336 \cdot 0,221}{12} = 0,043 \text{ wb}$$

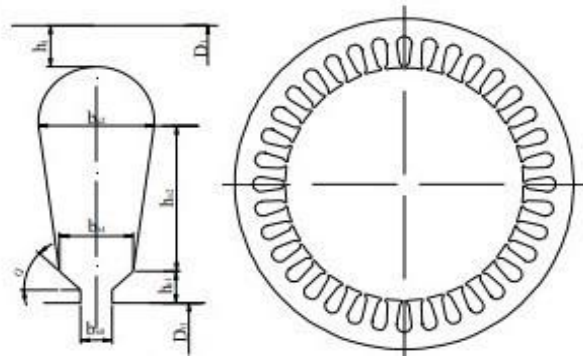
- Generatörün EMF denklemini kullanarak faz başına dönüş sayısı hesabı : $E_{ph} = 4,44 \cdot f \cdot \varphi \cdot T_{ph} \cdot K_w$

$$\text{Yıldız bağlı olduğu için ; } E_{ph} = \frac{6600}{\sqrt{3}} = 3810,511 \text{ V}$$

$$T_{ph} = \frac{E_{ph}}{4,44 \cdot f \cdot \varphi \cdot K_w} = \frac{3810,511}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,043 \cdot 0,955} = 417,982$$

$$I_{ph} = \frac{Q}{3 E_{ph} \cdot 10^{-3}} = \frac{500}{3 \cdot 3810,511 \cdot 10^{-3}} = 43,738 \text{ A}$$

Yukarıdaki hesaplanan değerlere göre stator yuva hesaplaması ;



Şekil.4 Stator yuva gösterimi [7]

- Yuva aralığı için olağan değerler τ_s ;

$\tau_s \leq 25 \text{ mm}$ alçak gerilim makineleri

$\tau_s \leq 40 \text{ mm}$ 6 KV alçak gerilim makinesi

$\tau_s \leq 60 \text{ mm}$ 15 KV'ya kadar olan makineler [1]

Spesifik değer olan 6,6 kV terminal voltajına bakılarak 40mm kabul edilir.

- Daha sonra kutup faz başına yuva sayısı : $q_s = \frac{\pi D}{\tau_s \cdot m \cdot p}$

$$q_s = \frac{1,336 \pi}{0,04 \cdot 3 \cdot 12} = 2,914 \approx 3$$

Kutup faz başına yuva sayısı tam sayı oluklu sargılarda 3 ve üzeri değerde alınır.

- Toplam yuva sayısı : $S_s = q_s \cdot m \cdot p$

$$S_s = 3 \cdot 3 \cdot 12 = 108$$

- Stator iletken sayısı hesabı : $Z_s = 6 \cdot T_{ph}$

$$Z_s = 6 \cdot 417,982 = 2507,892 \approx 2508$$

- Yuva başına iletken sayısı : $Z_{ss} = \frac{Z_s}{S_s}$

$$Z_{ss} = \frac{2508}{108} = 23,222 \approx 23$$

- İletken kesit alanı, faz akımı ve stator akım yoğunluğu kullanılarak hesaplanır. Çıkık kutuplu senkron generatör akım yoğunluğu 3,5-4 amp/mm² arasında seçilir [5]. $\delta = 3,5$ amp/mm² alındığı varsayılın. Rph değerini dolayısıyla stator sargısındaki bakır kayıplarını küçültmek amacıyla $\delta = 3,5$ amp/mm² varsayıldı.

- İletken kesit alanı : $a_s = \frac{I_{ph}}{\delta}$

$$a_s = \frac{43,738}{3,5} = 12,496 \text{ mm}^2$$

- Çıkıntılı kutup alternatörü için yuvarlak kutup kullanılarak çekirdek uzunluğunun kutup aralığına oranı (L/τ) 0,65 ve kutup arkının çekirdek uzunluğuna eşit olduğu varsayılarak;

- Kutup arkı = 0,65 * τp hesaplanır.

$$\tau_p = \frac{D\pi}{p} = \frac{1,336\pi}{12} = 0,349 \text{ m}$$

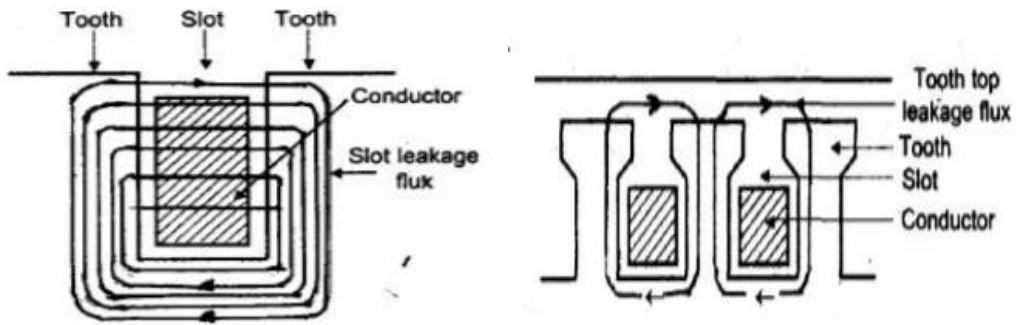
$$\text{Kutup arkı} = 0,65 \cdot \tau_p = 0,227 \text{ m}$$

- Stator diş sayısı = Stator yuva sayısı = 108

- Stator yuva aralığı : $\tau_s = \frac{D\pi}{S_s} = 0,039 \text{ m}$

- Nt : Kutup arkı başına diş sayısı = $\frac{\text{kutup arkı}}{\text{yuva aralığı}} = \frac{0,227}{0,039} = 5,82 \approx 6$

- Stator dişlerindeki akı yoğunluğu: $B_t = \frac{\phi}{b_t \times L_i \times N_t}$; Stator dişlerindeki akı yoğunluğu 1,7T varsayılmıştır.



Şekil.5 Sırasıyla yuva ve diş üzerindeki kaçak akı [8]

Makine parçalarının sıcaklık artışını azaltmak için çekirdek hem radyal hem de eksenel havalandırma kanalları ile donatılmıştır. Radikal kanallar, 5-7 cm genişliğindeki göbek paketleri arasında menfez veya kanal ayırıcıları sağlanarak oluşturulur . Radyal kanal genişliği pratikte 0,8 ile 1,0 cm arasındadır. Burada ki, demir veya istifleme faktörü olarak adlandırılır ve pratikte yaklaşık 0,9'dur. [1]

Varsayımlar:

Havalandırma kanal sayısı : $nd=3$

Havalandırma kanal genişliği : $wd=1\text{ cm}$

Demir boşluk faktörü : $ki=0,92$

•Çekirdeğin net demir uzunluğu : $Li = (L - nd \times wd)ki$

$$Li = (0,221 - 3 \times 0,01)0,92 = 0,176\text{ m}$$

• Diş genişliği : $bt = \frac{\varphi}{Bt \times Li \times Nt}$

$$bt = \frac{0,043}{1,7 \times 0,176 \times 6} = 0,024\text{ m}$$

Bu verilen değerlere göre ;

•Stator yuva genişliği : $bs = \tau_s - bt$

$$bs = 0,039 - 0,024 = 0,015\text{ m}$$

•Ortalama stator sarım uzunluğu : $Lmt = (2L + 2,5\tau_p + 0,05 \times kV + 0,15)\text{m}$

$$Lmt = (2 \times 0,221 + 2,5 \times 0,349 + 0,05 \times 500 + 0,05) = 1,794\text{ m}$$

•Stator sargısının direnci : $R_{ph} = \frac{\rho Lmt T_{ph}}{as}$

$$R_{ph} = \frac{0,021 \times 1,794 \times 417,982}{12,496} = 1,26\ \Omega$$

•Stator sargısının bakır kaybı : $P_{cus} = I_{ph}^2 R_{ph}$

$$P_{cus} = 2410,396\text{ w}$$

•Kutup başına armatür amper sargısı : $ATa = \frac{2,7 \times I_{ph} \times T_{ph} \times Kw}{p}$

$$ATa = \frac{2,7 \times 43,738 \times 417,982 \times 0,955}{12} = 3928,279\text{ AT}$$

3.4 STATOR ÇEKİRDEĞİNİN TASARIMI

Stator çekirdeğinin derinliği olarak adlandırılan statordaki yuvaların altında belirli bir katı kısım olacaktır . Stator çekirdeğinin bu derinliği, stator çekirdeğindeki akı yoğunluğu B_c için uygun değer varsayılarak hesaplanabilir. Genel olarak stator çekirdeğindeki akı yoğunluğunun 1,2 ila 1,4 Tesla arasında değiştiği varsayılabilir. [1]

•Stator çekirdeğindeki akı : $\varphi_c = \frac{\varphi}{2}$

$$\varphi_c = \frac{0,043}{2} = 0,021\text{ wb}$$

•Stator çekirdeğinin akı yoğunluğu : $B_c = 1,3\text{ T}$

$$Ac = \frac{\varphi_c}{B_c} = \frac{0,021}{1,3} = 0,016\text{ m}^2$$

- Stator çekirdeğinin derinliği : $dc = \frac{\varphi_c}{Li \cdot Bc}$

$$dc = \frac{0,021}{0,176 \cdot 1,3} = 0,092 \text{ m}$$

- Stator çekirdeğinin dış çapı : $Do = D + 2dc$

$$Do = 1,336 + 2 \cdot 0,092 = 1,52 \text{ m}$$

3.5 STATOR VE ROTOR ARASINDAKİ HAVA BOŞLUĞU HESABI

Çıkık kutuplu senkron makineler için SCR değeri 0,9 ila 1,3 arasında değişir [1]. Gerçekleştirdiğimiz tasarım örneğinde SCR değerini 1,1 varsayarak;

- Kutup başına yük alanı amper sargı sayısı : $AT_{fo} = SCR \cdot AT_a$

$$AT_{fo} = 1,1 \cdot 3928,279 = 4321,106 \text{ AT}$$

Hava boşluğu için gerekli amper dönüşleri, kutup başına yüksüz alan amper dönüşlerinin yaklaşık % 80 eşit olacaktır. [5]

- Hava boşluğu için gerekli amper sarımı: $AT_g = 0,8 \cdot AT_{fo}$

$$AT_g = 0,8 \cdot 4321,106 = 3456,884 \text{ AT}$$

Carter'ın hava boşluğu katsayısının (k_g) 1,15 ve alan form faktörünün (K_f) 0,7 olduğu varsayılarak;

- Etkili boşluk alanı : $Ag = K_f \cdot \tau_p \cdot L$

$$Ag = 0,7 \cdot 0,349 \cdot 0,221 = 0,054 \text{ m}^2$$

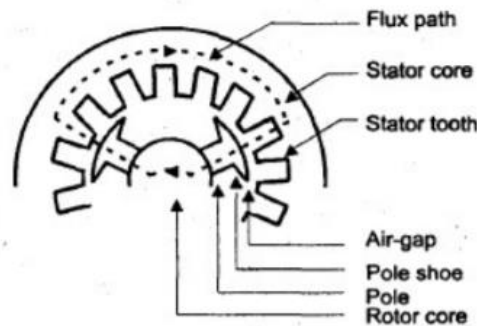
- Hava boşluğundaki max akı yoğunluğu : $B_g = \frac{\varphi}{A}$

$$B_g = \frac{\varphi}{Ag} = \frac{0,043}{0,054} = 0,796 \text{ wb/m}^2$$

Hava boşluğu amper sarım denklemini kullanarak hava boşluğu uzunluğu hesaplanması ;

- Hava boşluğu amper sarımı : $AT_g = 800000 B_g K_g \cdot l_g$

$$l_g = \frac{AT_g}{800000 B_g K_g} = \frac{3456,884}{800000 \cdot 0,796 \cdot 1,15} = 4,72 \text{ mm}$$



Şekil.6 Sırasıyla akı yolu, stator çekirdeği, stator dişi, hava aralığı, kutup pabucu, kutup ve rotor çekirdeği gösterilmiştir.[8]

3.6 TEMEL ROTOR GEOMETRİSİ HESABI

•Rotor çapı : $D_r = D - 2l_g$

$$D_r = 1,336 - 2 \cdot 0,0047 = 1,326 \text{ m}$$

•Kutbun aksel uzunluğu : $L_p = L - 1 \text{ cm}$

Eksenel uzunluğun , statorun brüt uzunluğundan 1cm daha az olduğu varsayıldığında;

$$L_p = 0,221 - 0,01 = 0,211 \text{ m}$$

•Kutup gövdesindeki akı : $\varphi_p = \varphi \cdot \text{sızıntı faktörü}$

Kutup için sızıntı faktörünün 1,15 olduğu varsayılırsa;

$$\varphi_p = 1,15 \cdot 0,043 = 0,049 \text{ wb}$$

•Kutup gövdesinin enine kesit alanı : $A_p = \frac{\varphi_p}{B_p}$

Kutup gövdesindeki akı yoğunluğu B_p 1,5T olduğu kabul edilirse ;

$$A_p = \frac{0,049}{1,5} = 0,032 \text{ m}^2$$

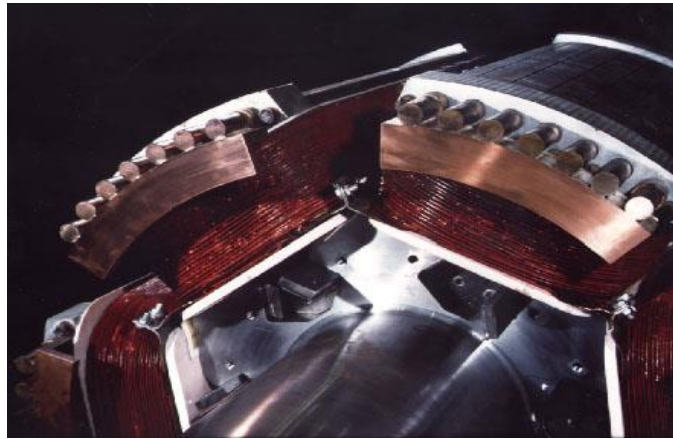
•Kutup genişliği : $b_p = \frac{A_p}{L_p}$

$$b_p = \frac{0,032}{0,211} = 0,152 \text{ m}$$

3.7 ALAN SAGILARININ TASARIMI

• Kutup başına tam yük alanı amper sargıları : $AT_{fl} = 2 \cdot AT_a$

$$AT_{fl} = 2 \cdot 3928,279 = 7856,558 \text{ AT}$$



Şekil.7 Rotor alan sargıları [9]

• Alan bobininin yüksekliği : $h_f = \frac{I_f * T_f}{10^4 \sqrt{(d_f * s_f * q_f)}}$

Alan bobini yüksekliği için varsayımlar

Alan bobininin derinliği = 4 cm

Alan bobini için uzay faktörü = 0,7

Birim alan başına izin verilen kayıp = 700 w/m²

Tablo.1 Yuva aralığına göre alan bobininin derinliğinin seçilmesi

Yuva Aralığı(mm)	df (mm)
100	25
200	35
400	45

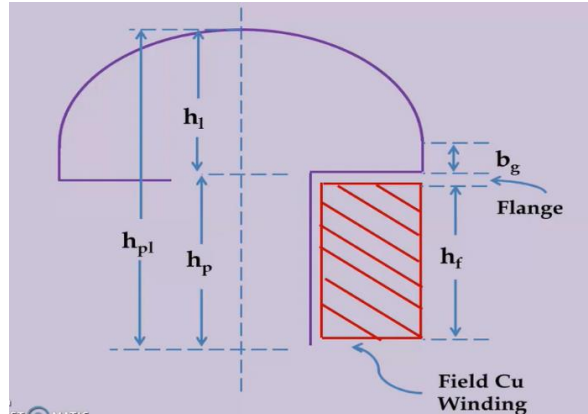
$I_f * T_f = AT_f l$

$h_f = \frac{7856,558}{\sqrt{10^4(0,04*0,7*700)}} = 0,177m$

• Kutup yüksekliği : $h_p = h_f + \text{kutup ayağının yüksekliği} + \text{izolasyonla alınan yükseklik}$

kutup pabucunun yüksekliği + izolasyonla alınan yükseklik = 0,04 m varsayılırsa ;

$h_p = 0,177 + 0,04 = 0,217 m$



Şekil.8 Kutup gövde boyutları [10]

• Toplam ısı yayan yüzey : $S = 2 * lmt (h_f + d_f)$

$S = 2 * 1,794 * (0,177 + 0,04) = 0,778 m^2$

• Saha iletkeninin kesit alanı : $af = \frac{\rho * Lmt * I_f * T_f}{V_c}$

Bobin başına voltaj (Vc) 5V varsayılınsın.

$af = \frac{0,021 * 1,794 * 7856,558}{5} = 59,197 mm^2$

• Alan akımı : $I_f = a_f \cdot \delta f$

δf , 2,5-3 A/mm² aralığında değer alır. $\delta f = 2,5$ A/mm² olduğu varsayılın.

$$I_f = 59,197 \cdot 2,5 = 147,992 \text{ A}$$

•Bobin başına alan sarımları : $T_f = \frac{AT_f l}{I_f}$

$$T_f = \frac{7856,558}{147,992} = 53,087 \approx 53 \text{ sarım}$$

•Alan Sargısının Direnci : $R_f = \frac{\rho \cdot L_{mt} \cdot T_f}{a_f}$

$$R_f = \frac{0,021 \cdot 1,794 \cdot 53}{59,197} = 0,033 \text{ } \Omega$$

•Sahadaki bakır kayıpları : $P_{cu} = I_f^2 R_f$

$$P_{cu} = 147,992^2 \cdot 0,033 = 722,753 \text{ w}$$

•Toplam alan bakır kaybı : $P_{totalcu} = P_{cu} \cdot p$

$$P_{totalcu} = 722,753 \cdot 12 = 8673,036 \text{ w}$$

4.SENKRON GENERATÖR TASARIMINA AİT VERİLER

Hesaplanan tasarım verileri aşağıdaki Tablo 2 ile 6'te gösterilmektedir.

Tablo 2. Senkron generatör spesifik değerleri ve stator temel uzunlukları

ÖZELLİKLER	SEMBOL	BİRİM	DEĞER
Çıkış gücü	Q	KVA	500
Terminal voltajı	V	KV	6,6
Frekans	f	Hz	50
Kutup	p		12
Faz	m		3
Ortalama akı yoğunluğu	Bav	Tesla	0,56
Sargı faktörü	Kw		0,955
Elektrik yükü	ac	Ac/m	26.000
Stator iç çapı	D	m	1,336
Stator uzunluğu	L	m	0,221
Çevresel hız	Va	m/s	35
Çıkış katsayısı	Co		152,331

Tablo 3. Stator geometrisi ve stator sargı değerleri

ÖZELLİKLER	SEMBOL	BİRİM	DEĞER
Kutup başına akı	Φ	wb	0,043
Faz başına EMF	Eph	V	3810,511
Faz başına sarım sayısı	Tph		417,982
Tam yük akımı	Iph		
Toplam yuva sayısı	Ss		108
İletken sayısı	Zs		2508
Yuva başına iletken sayısı	Zss		23
İletken kesit alanı	as	mm ²	12,496
Stator kutup aralığı	τ_p	m	0,349
Kutup arkı		m	0,227
Stator yuva aralığı	τ_s	m	0,039
Kutup arkı başına dış sayısı	Nt		6
Çekirdeğin net demir uzunluğu	Li	m	0,176
Dış genişliği	bt	m	0,024
Yuva genişliği	bs	m	0,015
Ortalama stator sarım uzunluğu	Lmt	m	1,794
Stator sargısının direnci	Rph	Ω	1,26
Stator sargısının bakır kaybı	Pcus	W	2410,396
Kutup başına armatür amper sargısı	ATa	AT	3928,279
Stator çekirdeğindeki akı	Φ_c	wb	0,021
Stator çekirdeğinin kesit alanı	Ac	m ²	0,016
Stator çekirdeğinin derinliği	dc	m ²	0,092
Stator çekirdeğinin dış çapı	Do	m	1,52

Tablo 4. Stator ve rotor hava boşluğu değerleri

ÖZELLİKLER	SEMBOL	BİRİM	DEĞER
Kutup başına yük alanı amper sargı sayısı	ATfo	AT	4321,106
Hava boşluğu için gerekli amper sarımı	ATg	AT	3456,884
Etkili boşluk alanı	Ag	m ²	0,054
Hava boşluğundaki max akı yoğunluğu	Bg	wb/ m ²	0,796
Hava boşluğu uzunluğu	lg	mm	4,72

Tablo 5. Rotor geometrisi değerleri

ÖZELLİKLER	SEMBOL	BİRİM	DEĞER
Rotor çapı	Dr	m	1,326
Kutbun eksenel uzunluğu	Lp	m	0,211
Kutup gövdesindeki akı	Φ_p	wb	0,049
Kutup gövdesinin enine kesit alanı	Ap	m ²	0,032
Kutup genişliği	bp	m	0,152

Tablo 6. Alan sargısı değerleri

ÖZELLİKLER	SEMBOL	BİRİM	DEĞER
Kutup başına tam yük alanı amper sargıları	ATfl	AT	7856,558
Alan bobininin yüksekliği	hf	m	0,177
Kutup yüksekliği	hp	m	0,217
Toplam ısı yayan yüzey	S	m ²	0,778
Saha iletkeninin kesit alanı	af	mm ²	59,197
Alan akımı	If	A	147,992
Bobin başına alan sarımları	Tf		53
Alan sargısının direnci	Rf	Ω	0,033
Sahadaki bakır kayıpları	Pcu	W	722,753
Toplam alan bakır kaybı	Ptotalcu	KW	8,67

5.SONUÇ

Bu raporda çıkık kutuplu senkron generatör tasarımı ele alınmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada çıkık kutuplu senkron generatörün yapısının incelenmesi, stator ve rotor geometrisi ve sargılarının analitik hesaplanması ve tasarım eşitliklerinin üzerinde duruldu. Tasarımın adımlarının ilerleyebilmesi için çıkık kutuplu senkron generatöre ait parametrelerin hesaplanmasında değişen değer aralıklarına yer verildi. Değişen değer aralıklarına göre belli varsayımlarda bulunurmuştur.

Önemli bir husus olarak çıkıntılı kutuplu jeneratörün tasarımında, jeneratörün çıkış voltajını sinüs dalgası yapmak, en yüksek sinüzoidal dağıtım için hava boşluğu akı yoğunluğu dalga formunun açık gereksinimleri vardır. Bununla birlikte, çıkıntılı kutuplu jeneratör uyarma sargısının konsantrasyonu nedeniyle, manyetik potansiyel dağılımı dikdörtgen dalgadır. Bu nedenle, genellikle çıkıntılı kutuplu jeneratör için eşit hava boşlukları yoktur.[7]

Stator çerçevesinin iç çapı ve brüt uzunluğu ana boyutlarıdır. Çıkış denklemi, makinenin çıkışını statorun ana boyutları ile ilişkilendiren senkron makine tasarımını başlatmak için temel araçtır. Tasarlanan jeneratör çıkıntılı kutuplu makine olduğu için statorun iç çapı stator çekirdeğinin eksenel uzunluğundan daha büyüktür. Senkron makinelerde hava boşluğunun uzunluğu da önemli bir tasarım parametresidir. Dahası, stator yuvalarının sayısı, senkron makinenin maliyetini ve performansını etkiliyormuş gibi doğru seçilmelidir. Boşluk yüzeyinde bulunan stator dışındaki akı yoğunluğu alternatörlerde 1.8 Tesla'yı geçmemelidir, aksi takdirde dış kayıpları fazla olacaktır. Ayrıca, akım yoğunluğunun uygun değerinin seçimi de önemlidir. Ekonomik değerlendirme için yüksek akım yoğunluğu seçilebilir. Ancak stator sargısının direnci artar, bu da stator sargısında daha yüksek bakır kayıplarına neden olarak makinenin verimini düşürür. Stator sargısındaki akım yoğunluğu için olağan değerlerin 3 ila 5 A / mm² arasında değiştiği varsayılabilir.

Rotorun dizaynı eksenel direk uzunluğu, direk genişliği, direk yüksekliği, hava boşluğu uzunluğu ve rotor dış çapına sahiptir. Kayıplar, toplam stator sargısı kayıplarından, toplam demir kayıplarından, toplam alan bakır kayıplarından, uyarıcı kayıplarından ve sürtünme ve rüzgar kayıplarından oluşur. Elektrik uyarma sargısı rotor demir çekirdeği üzerine sarılır ve iki bitişik sargı zıt yönlerde sarılır. Sargı dönüşlerinin sayısı eşittir. Komşu iki çıkıntılı kutup yüzeyinde N kutuplu ve S kutuplu düzenlenmiş aralıklı elektriksel uyarım rotoru oluşturulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] **10EE63** Electrical Machine Design
- [2] **Ahmet Kemal Geyik** , 142103113, T.C. Munzur Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Çıkık Kutuplu Senkron Generatörün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi , Yüksek Lisans Tezi.
- [3] **International Journal of Scientific & Engineering Research** , Volume 10, Issue 8, August-2019, ISSN 2229-5518 Design of Synchronous Generator
- [4] <https://electricalamazon2019.blogspot.com/2019/11/salient-pole-and-non-salient-pole.html>
- [5] **EE2355** Design Of Electrical Machines
- [6] [bee_unit4_lecture5.pdf](#)
- [7] **Zhang et al. Chin. J. Mech. Eng** , Development and Analysis of the Magnetic Circuit on Double-Radial Permanent Magnet and Salient-Pole Electromagnetic Hybrid Excitation Generator for Vehicles
- [8] **Rajasekaran Assoc. Prof/EEE** , Design Of Electrical Machines, UNIT-II
- [9] http://distributor.tecowestinghouse.com/products/Custom_Engineered/Synchr_CopperRotor.html
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=p-uMRvZyLnM>