

66804

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ROTOR KAFES ŞEKİLLERİ ve ARALARINDAKİ UZAKLIKLARIN ASENKRON
MAKİNA BÜYÜKLÜKLERİNE ETKİLERİNİN KLASİK METOD ve INDAN
PROGRAMIYLA İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek. Müh. Zafer YAVUZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09 Haziran 1997

Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Haziran 1997

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nurdan GÜZELBEYOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İlhami ÇETİN

Prof. Dr. Faik MERGEN

HAZİRAN 1997

Albuz
İlhami Çetin
Faik Mergen

ÖNSÖZ

Günlük yaşantımızda her geçen gün önemi artan elektrik enerjisi beraberinde birçok kolaylıklarda getirmektedir. Bunlar ise çeşitli tip ve güçteki elektrik makinalarıyla olmaktadır. Asenkron makinalar ise bu aşamada önemli bir yer tutmaktadır. Ucuz bakım ve onarımının kolay olmasının yanında özellikle elektronik dünyasındaki gelişmelere paralel olarak kontrollerinin de kolaylaşması ve daha hassas kumanda edilebilmesi bu makinaları cazip kılmaktadır.

Mensubu olmakla gurur duyduğum ve her zaman duyacağım İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimi almanın yanında asenkron makinalar gibi bir konu üzerinde tez hazırlamanın ayrıcalık olduğu inancındayım. Bütün bunları başarmamda bana gerekli çalışma ortamını sağlayan aileme, değerli görüşleriyle bana yol gösteren, çalışmalarımda benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Nurdan GÜZELBEYOĞLU'na teşekkürü gerekli bir borç bilirim. Ayrıca tezimin hazırlanmasında bana yardımcı olan arkadaşlarım Müh. Kemal YILMAZ'a ve Müh. Mehmet GÖNEN'e, Müh. Perihan CENGİZ'e, Müh. Nalan KALAFAT'a, Elektronik Müh. Ayten KATITAŞ'a ve ismini sayamadığım arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İstanbul, 1997

Elk. Müh. Zafer YAVUZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
SUMMARY.....	vii
GİRİŞ.....	xii
BÖLÜM 1 PLAKA DEĞERLERİ BELİRLİ ASENKRON MOTORUN KLASİK YÖNTEMLE BÜYÜKLÜKLERİNİN BELİRLENMESİ.....	1
1.1 Plaka değerleri 500 kW,4000 V, 50 Hz, 1000 d/d olan kısa devre kafesli asenkron motorun klasik yöntemle hesabı.....	1
1.2 Rotor oluk şekillerinin boyutlandırılması.....	21
1.2.1 1.makina modeli ve eşdeğer devre parametrelerinin hesabı.....	21
1.2.2 2.makina modeli ve eşdeğer devre parametrelerinin hesabı.....	28
1.2.3 3.makina modeli ve eşdeğer devre parametrelerinin hesabı.....	34
1.2.4 4.makina modeli ve eşdeğer devre parametrelerinin hesabı.....	41
1.2.5 5.makina modeli ve eşdeğer devre parametrelerinin hesabı.....	47
1.2.6 6.makina modeli ve eşdeğer devre parametrelerinin hesabı.....	53
1.2.7 7.makina modeli ve eşdeğer devre parametrelerinin hesabı.....	59
1.3 Çeşitli modellerin performanslarının incelenmesi.....	65
1.3.1 1.Makina modelinin performanslarının hesabı.....	65
1.3.2 2.Makina modelinin performanslarının hesabı	69
1.3.3 3.Makina modelinin performanslarının hesabı	72
1.3.4 4.Makina modelinin performanslarının hesabı	75
1.3.5 5. Makina modelinin performanslarının hesabı	78
1.3.6 6.Makina modelinin performanslarının hesabı	81
1.3.7 7.Makina modelinin performanslarının hesabı	84
1.4 Çeşitli rotor oluk şekillerine ilişkin klasik yöntemle hesaplanan performanslara ait büyüklüklerin karşılaştırılması....	87
BÖLÜM 2 INDAN BİLGİSAYAR PROGRAMI	88
2.1 INDAN Hazır paket programı tanıtımı.....	88

2.2	INDAN bilgisayar programı ile elde edilen sonuçlar.....	90
2.2.1	INDAN bilgisayar programı ile hesaplanan eşdeğer devre parametreleri.....	90
2.2.1.1	1. Makina modeli için hesaplanan değerler.....	90
2.2.1.2	2. Makina modeli için hesaplanan değerler.....	90
2.2.1.3	3. Makina modeli için hesaplanan değerler.....	91
2.2.1.4	4. Makina modeli için hesaplanan değerler.....	91
2.2.1.5	5. Makina modeli için hesaplanan değerler.....	92
2.2.1.6	6. Makina modeli için hesaplanan değerler.....	92
2.2.1.7	7. Makina modeli için hesaplanan değerler.....	93
2.2.2	INDAN Programında hesaplanan ek değerler.....	94
2.2.2.1	1. Makina modeli.....	94
2.2.2.2	2. Makina modeli.....	95
2.2.2.3	3. Makina modeli.....	95
2.2.2.4	4. Makina modeli.....	96
2.2.2.5	5. Makina modeli.....	96
2.2.2.6	6. Makina modeli.....	97
2.2.2.7	7. Makina modeli.....	97
BÖLÜM 3 KLASİK YÖNTEM İLE INDAN BİLGİSAYAR PROGRAMININ KARŞILAŞTIRILMASI.....		98
3.1	Klasik yöntem ve INDAN bilgisayar programı ile çeşitli modeller için hesaplanan eşdeğer devre parametrelerinin karşılaştırılması.....	98
BÖLÜM 4 MAKİNA MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI..		100
4.1	INDAN programı esas alınarak çeşitli makina modellerinin karşılaştırılması.....	100
BÖLÜM 5 SONUÇ.....		101
KAYNAKLAR.....		103
EKLER.....		104
ÖZGEÇMİŞ.....		105

Şekil 1.1 2 ile 12 Kutuplu Asenkron Makinalar İçin Stator İç Çapının Makina Gücüne Bağlı Olarak Değişimi.....	1
Şekil 1.2 Yüksek Devirli Asenkron Motorlarda Kutup Başına Gücün Fonksiyonu Olarak C Faydalanma Katsayısı.....	4
Şekil 1.3 Asenkron Motorların İç Çapa Bağlı Olarak δ Hava Aralığı.....	4
Şekil 1.4 Asenkron Motorlara Ait $\alpha_1=f(k_d)$ ve k_{f1} eğrileri.....	5
Şekil 1.5 Normal Asenkron Makinaların Kutup Sayısının Fonksiyonu Olarak $1/(1+\sigma_1)$ Değerleri.....	6
Şekil 1.6 Mıknatıslanma Eğrileri.....	8
Şekil 1.7 Bobin Yanlarının Oluğa Yerleştirilmiş Hali.....	9
Şekil 1.8 k_{bb} Histerezis Faktörünün Değişik Çift Kutup Sayıları İçin $D/D_{Diş}$, Dolayısıyla $D/D_{iç}$ 'e Bağlı Değerleri.....	13
Şekil 1.9 k_{wb} Foucault Akım Faktörünün Değişik Çift Kutup Sayıları İçin $D/D_{Diş}$; $D/D_{iç}$ 'e Bağlı Değişimi.....	13
Şekil 1.10 Üç Fazlı Sargılarda y/τ_p Kirişlenmesine Bağlı Olarak k_{cu} ve k_o Düzeltme Faktörleri.....	14
Şekil 1.11 Oluk Genişliği b_0 'ya Bağlı Olarak İndirgenmiş Soğutma Kanalı b_k'' nin Değeri.....	15
Şekil 1.12 Muhtelif Saç Nevileri İçin Özgül Kaybın Frekansa Bağlı Olarak Değişimi.....	19
Şekil 1.13 β' 'nin b_0/δ 'ya bağlı olarak Richtere göre değerleri.....	19
Şekil 1.14 1. Makina Modeline İlişkin Rotor Oluk Şekli.....	21
Şekil 1.15 Kısa Devre Kafesli Rotorun Bobin Başı Dağılmasının Tayininde Faydalanılan g_{bb} faktörü.....	24
Şekil 1.16 2. Makina Modeline İlişkin Rotor Oluk Şekli.....	28
Şekil 1.17 3. Makina Modeline İlişkin Rotor Oluk Şekli.....	34
Şekil 1.18 4. Makina Modeline İlişkin Rotor Oluk Şekli.....	41
Şekil 1.19 5. Makina Modeline İlişkin Rotor Oluk Şekli.....	47
Şekil 1.20 6. Makina Modeline İlişkin Rotor Oluk Şekli.....	53
Şekil 1.21 7. Makina Modeline İlişkin Rotor Oluk Şekli.....	59
Şekil 1.22 Asenkron Motorların Hava ve Yatak Sürtünme ve Kayıpları.....	66

Tablo 1.1 En Önemli Saç Nevilerinin Materyal Sabitleri.....	11
Tablo 1.2 Üç Fazlı Sargılarda Hava Aralığı Dağılmasının Hesabında Yararlanılan K Katsayısının Muhtelif Kirişleme (y/τ_p) ve q Oluk Sayılarındaki Değerleri	16
Tablo 1.3 Çeşitli Makina Modellerinin Performanslarına Ait Büyüklüklerin Klasik Yöntemle Hesaplanan Değerleri.....	87
Tablo 2.1 INDAN Programıyla Hesaplanan 1. Makina Modeline Ait Değerler.....	90
Tablo 2.2 INDAN Programıyla Hesaplanan 2. Makina Modeline Ait Değerler.....	90
Tablo 2.3 INDAN Programıyla Hesaplanan 3. Makina Modeline Ait Değerler.....	91
Tablo 2.4 INDAN Programıyla Hesaplanan 4. Makina Modeline Ait Değerler.....	91
Tablo 2.5 INDAN Programıyla Hesaplanan 5. Makina Modeline Ait Değerler.....	92
Tablo 2.6 INDAN Programıyla Hesaplanan 6. Makina Modeline Ait Değerler.....	92
Tablo 2.7 INDAN Programıyla Hesaplanan 7. Makina Modeline Ait Değerler.....	93
Tablo 2.8 1. Makina Modeline Ait Performansların INDAN Programıyla Hesaplanan Değerleri.....	94
Tablo 2.9 2. Makina Modeline Ait Performansların INDAN Programıyla Hesaplanan Değerleri.....	95
Tablo 2.10 3. Makina Modeline Ait Performansların INDAN Programıyla Hesaplanan Değerleri.....	95
Tablo 2.11 4. Makina Modeline Ait Performansların INDAN Programıyla Hesaplanan Değerleri.....	96
Tablo 2.12 5. Makina Modeline Ait Performansların INDAN Programıyla Hesaplanan Değerleri.....	96
Tablo 2.13 6. Makina Modeline Ait Performansların INDAN Programıyla Hesaplanan Değerleri.....	97
Tablo 2.14 7. Makina Modeline Ait Performansların INDAN Programıyla Hesaplanan Değerleri.....	97
Tablo 3.1 Çeşitli Rotor Oluk Şekillerine Sahip Makinaların Eşdeğer Devre Parametrelerinin Karşılaştırılması.....	99
Tablo 4.1 Tüm Makina Modellerinin Motor Büyüklüklerinin % 100 Yükleme Durumu için INDAN Programıyla Hesaplanan Değerleri.....	100

SUMMARY

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF SHAPE AND DISTANCE BETWEEN CAGES OF A ROTOR OF AN ASYNCHRONOUS MACHINE BY CLASSICAL METHOD AND *INDAN* COMPUTER PROGRAM

Asynchronous motors are widely used motors in industry because of their being cheap and easy repair. By developments in electronic devices provides easier control. As the number increase, construction takes an important part for the manufacturers. In engineering world, one of the aim is to decrease the losses in machines. In order to be successful; first of all; it has to be found where the losses are much and the reasons of them.

In this study first of all seven kinds of short circuited asynchronous motors are modelled. And their results are listed by the classical method."(1) in this method; the rotor surface kept constant but the shapes are changed. Then the distance between the rotor cages are changed. In order to see the effects of the changes in shape and the distance between the cages.

In the next section; the same shapes are examined by the help of *INDAN* - Induction Motor Analysis - computer program and then their results are compared. *INDAN* Induction Motor Analysis program , as indicated above, is a program to be used induction motor analysis. All the file names that are suitable for DOS can be given but it is recommended to use filenames that are shown as follows.

For example; 500-6.001 Here 500 is; the motor power in kW, 6 is the pole number and 001 is the number of the project.

New datas are entered by changing the previous datas. For this; it is necessary to copy the old file to another one. For example Z_1 is called old file.

If INPUT DEMO.INP Z_1 is entered; datas can be seen in demo and asked what the new data is.

If INPUT <File Name> is entered datas in that file can be seen but these datas can not be changed . If RUN <File Name> is entered; stator and rotor slot can be seen in the screen. Instead of using RUN command; if PLOTPRN command is used then these can be plotted.

COPYPRN <File Name> command plots all the p,outputs but doesn't give an information about them.

The questions that are asked to be answered to get the motor parameters are also given in this study.

The points that are important are as follows. All the powers are in kW; and lengths are in mm. if the ventilation is axial, the number of cooling channels and the width of them are entered 0. Data are only valid for radial ventilation.

The conductors length and the added-resistance pu data may not be entered because program can calculate these automatically.

120 ° C is recommended to enter as reference stator temperature and 180° C for the rotor. Stator winding code can be entered 1,2 or 3 according to the model. 1 is used for two layer winding in one slot, 2 is used for two layer winding at the top of the slot and 3 is used for two layer winding at the bottom of the winding.

The depth of the rotor slot is entered in mm., as it is in stator slot, from bottom to the top of the slot and if the slot circular then the taper depth is entered 0.

Rotor winding code can be entered as 1,2,3,4 according to the type of the rotor slot.

In both methods classical and INDAN program, it is seen that the various types of rotor slots have different effects on motor parameters. Although there is not so much differences among them; it is very important to select the suitable type. Generally it is recommended to use double cage rotor slots, circular at the top, rectangular at bottom. But in order to get a high torque; it is necessary to use double cage not only one cage.

In calculation period, it is seen that when the rotor resistance is decreased, is X_m increases. On the other hand. When the resistance decreases, the loses in rotor decreases which results in an increase in efficiency.

It is a good point, that when the length in the cages in rotor slots in increased, pull-up current decreases. The other point is that the magnetising currents are very important. Although the results gives the same meanings; it can be seen that the results are different for the same type of slots. Which from using magnetising curves. This not only effects I_μ and changes X_m but also changes the rotor current. When the rotor current changes, the loses and the efficiency also changes. I_μ effects E and this results in change in rotor current and also in slip.

Although classical method is along way and takes a very long time; lots of datas can be get. But in order to get the results in a very short time and if there is no need for the detailed datas. To use INDAN can be recommended. Another detailed of INDAN is that parameters at different load points can be get.

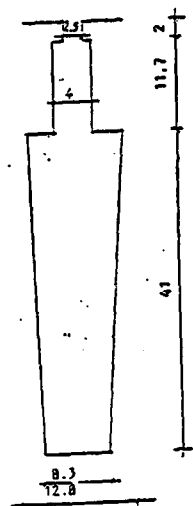
In classical method stator winding is choosen as two layer winding because it is much easier to pitch and in the result the harmonics that are harmful can be eliminated. This is one of the advantages of a two layer winding. The other advantage is that; in that kind of winding radial height of top of the winding is less than the other kind. As a result of this; the losses are less than one layer winding.

If the air gap induction curve is in Sin form, ϕ , magnetic flags can be calculated easily. By using this, also the value of induction curve B_g and the number of winding can be found. After that, if the winding number is not suitable by following same way the suitable one can be obtain.

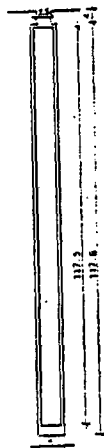
The losses when the motor is not loaded include the iron losses and the friction losses. On the other hand the losses when the motor is loaded consist of the copper losses. The iron losses very important as it can be seen in calculations in classical method. That is because in stator network frequency and in rotor slip frequency takes an important part. How to obtain the values of these are shown in the next chapter. Friction losses mostly depend on the manufacturing and the ventilation of the motor. If the speed of the motor is low and the pole number is too many. These losses are generally 0.2 % or 0.3 % of the active power. This rate is 1.5 % for high speed and the motors that do not have so many poles. The copper losses is about 1 % of the active power and changes with the square of the current.

In construction of an asynchronous machine it is very important to choose the width of air gap for safety. If the width is choosen small the air gap induction increases. On the other hand if it is large enough iron losses decreases but has bad effects on magnetising current and power factor. It doesn't effect efficiency. Although air gap induction B_g generally takes values between 0.7 and 0.9 Tesla; it is choosen 1. Tesla at the beginning as it is done in INDAN.

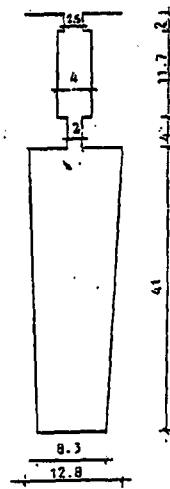
As it is mention above in this study seven kinds of rotors slots are examined according to their parameters and performances. The types of rotor slots are shown as follows.



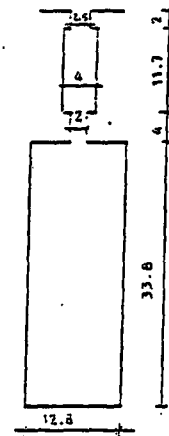
MODEL 1



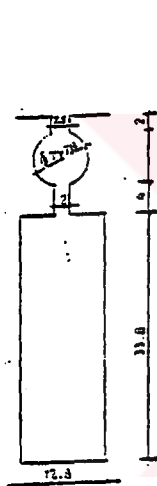
MODEL 2



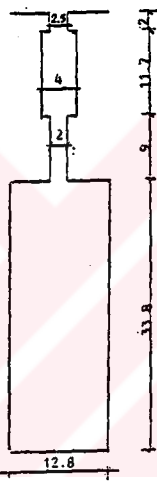
MODEL 3



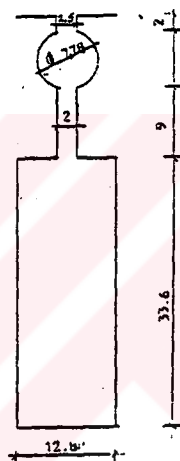
MODEL 4



MODEL 5



MODEL 6



MODEL 7

As a conclusion, the following results can be given; when the width of air gap increases the iron losses decrease in both methods and also in *INDAN* the rotor resistances decrease. This is so small that in classical method; it can't be observed easily. As the depth of rotor slot increases the value of rotor reactance decreases; X_m increases and I_μ decreases. These values can be obtained more accurately in the models which have to cages that have round top bar.

When the distance between the cages increases; in both methods, it can be seen that torque decreases but load current increases. It doesn't effect efficiency; but small decreases may be seen.

When all the models are compared choosing the models which has a round top cages is an advantage but the best way is to make a selection according to the aim.



GİRİŞ

Endüstride en çok kullanılan makinalardan biri de “Asenkron Makina”lardır. Bunlar ; sincap kafesli (veya kısa devre kafesli) ve bilezikli asenkron makinalar adları altında karşımıza çıkmaktadırlar.

Sincap kafesli asenkron makinalar, bilezikli makinalara göre daha kullanışlı, daha ekonomik olduklarından; kullanım sahaları daha geniştir. Ayrıca bakım - onarım ihtiyaçları da azdır. Hal böyle iken işletme aşamasında tüm bu olumlu özellikler, eğer uygun kafes yapısı seçilmez ise önemini yitirebilmektedir. Çünkü kafes yapıları, kafesler arasındaki uzaklıklar makina performansı üzerinde önemli etkilere sahiptir.

Çalışmanın 1. Bölümünde plaka değerleri verilen bir asenkron makinanın klasik yöntemle hesabı yapılmıştır. Aynı bölümün birinci kısmında stator değerleri hesaplanmış ikinci kısmında ise çeşitli rotor oluk şekilleri için bunlara ait değerler bulunmuştur. İkinci bölümde ise INDAN hazır paket programı kullanılarak aynı plaka değerlerine sahip makina için stator ve rotor değerleri hesaplanmış ve buna ilave olarak rotor oluk şekillerinin resimleri konulmuştur. Üç ve dördüncü bölümlerde de bulunan bu sonuçlar tablo halinde verilmiştir. Bu program yardımıyla makinanın optimizasyonu da yapılabilir. Komutlarda herhangi bir farklılık yoktur. Makina optimizasyonu yapabilmek için gerekli olan birim fiyatlar ve kullanılan formüller değişebileceğinden hesaplar burada gösterilmemiştir.

Bu çalışmada çift kafesli ve demir oluk şekilleri ile kafes olukları arasındaki mesafenin makina büyüklükleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi hem klasik yöntemle hem de INDAN bilgisayar programı ile ayrı ayrı yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

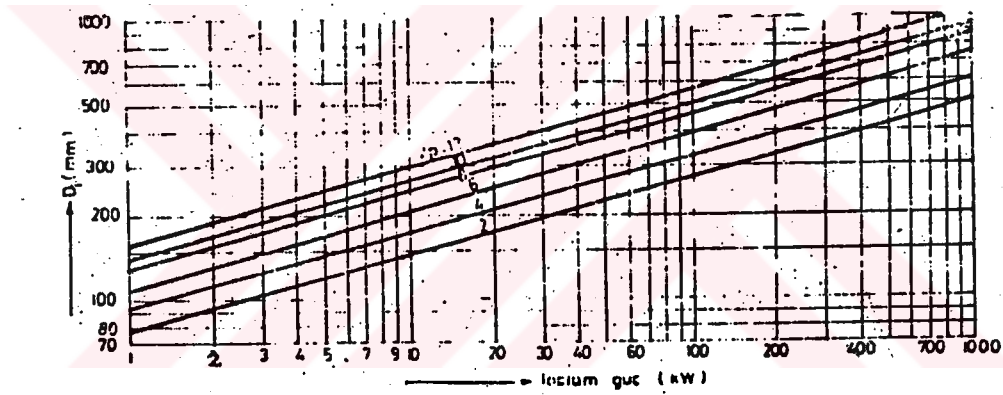
1. BÖLÜM Plaka Değerleri Belirli Bir Asenkron Makinanın Klasik Yöntem İle Büyüklüklerinin Belirlenmesi.

1.1 Plaka Değeri 500 kW , 4000 V , 50 Hz , 1000 d/d olan Kısa Devre Kafesli Asenkron Motorun Klasik Yöntemle Hesabı [1]

610 kVA, 500 kW 4000 V, 50 Hz, 6 kutuplu kısa devre asenkron motorun stator değerleri;

Asenkron motorun ana boyutları ; stator iç çapı D_i ile stator saç paketinin fiktif uzunluğu L_i 'dir. Motorun gücü 500 kW ve çift kutup sayısı 6 olduğuna göre,

Şekil 1.1'den $D_i = 600$ mm seçilir.



Şekil 1.1 2 ile 12 kutuplu asenkron makinalar için stator iç çapının makina gücüne bağlı olarak değişimi

C, Esson güç katsayısı olup; buna aynı zamanda faydalanma katsayısı da denir. Makinanın birim zamanda alınabilecek enerjiyi vermektedir ki; bu malzemedan de ne derecede faydalanıldığını gösterir.

Buna göre kutup taksimatı,

$$\tau_p = \frac{\pi D_i}{2p} = \frac{\pi 600}{6} = 31,41 \text{ cm}$$

ve makinanın kutup başına isabet eden gücü

$$\frac{P}{2p} = \frac{500 \text{ kW}}{6} = 83,3 \text{ kW}$$

Statorda 10 mm. genişliğinde 9 adet soğuma kanalı bulunacaktır. $Z_k=9$, $b_k=10$ mm olduğundan

$$L_{Topl} = L_i + Z_k \cdot b_k = 403,5 + 9 \times 10 = 493,5 \text{ mm}$$

Kontrol için Nürnberg'in hava aralığı genişliğinin seçimine ilişkin 30 kW'ın üstündeki orta ve büyük makinalar için verdiği denklem kullanılacak olursa;

$$\delta = \frac{D_i}{1200} \times \left(1 + \frac{9}{2p}\right) \text{ [mm]} = \frac{600}{1200} \left(1 + \frac{9}{2}\right) = 1,25 \text{ mm}$$

bulunur. Seçilen değer 1,3 mm. uygundur.

Asenkron motorlarda statorun kutup ve faz başına tam oluklu olarak donatılması uygun olur; çünkü kesirli oluklu sargı kullanılmasında makinanın çalışması sakın olmaz.

Makinanın bir kutup altındaki faz başına oluk sayısı $q_1=4$ olacaktır. Buna göre toplam oluk sayısı

$$N_1 = 2 \times p \times q_1 \times m_1 = 2 \times 3 \times 3 \times 4 = 72 \text{ oluk}$$

Oluk adımı τ_{01} ,

$$\tau_{01} = \frac{D_i \times \pi}{n_1} = \frac{60 \times \pi}{72} = 2,618 \text{ cm}$$

Statorun nominal akımı,

$$S = \sqrt{3}UI \Rightarrow 610 \times 10^3 = \sqrt{3} \times 4000 \times I_{IN} \Rightarrow I_{IN} = 88 \text{ A bulunur.}$$

Aşenkron makinalarda stator sargıları 100 kW'a kadar bir tabakalı el sargıları olarak, 100 kW'ın üstünde 4000 kW'a kadar ise iki tabakalı olarak yapılırlar. Örnek makina gücü 500 kW olduğundan iki tabakalı sargı kullanılacaktır.

Alternatif akım sargılarında, hava aralığındaki akının tam sinüs biçimli olduğu, bobinlerde endüklenen gerilimlerin cebirsel toplamının alındığı ideal durumlarda, bobinler bir çap doğrultusunda yerleştirilirse bir sargıda endüklenen toplam gerilim maksimum değerini alır. Fakat pratikte bu ideal durumdaki sonuçlar kullanılmazlar. Sonuçların gerçeğe yakın yaklaştırılması gerekeceğinden bu şartları temsilen hesaba sargı faktörü katılır.

Endüvi çevresine yayılmış olan bobinlerin oluşturduğu sargının toplam etkisinin hesabı yapılırken, bobin yanlarının aralarındaki faz farkının etkisini ifade etmek için sargı yayılma faktörü (ξ_y) kullanılır.

Bazı durumlarda belirli harmonikleri yok etmek için ya da azaltmak için bobinler çap boyunca yerleştirilmez. Bu durumda bobinlerin toplam gerilimlerinin cebirsel toplamına eşit olmayacağı gözönüne alınarak sargı kırıleme faktörü (ξ_k) kullanılır.

Toplam sargı faktörü, sargı yayılma ve sargı kırıleme faktörünün çarpımıdır.

$$\xi_s = \xi_y \times \xi_k$$

v. harmonik için sargı yayılma faktörü;

$$\xi_{yv} = \frac{\sin q \times v \times \frac{\gamma_{el}}{2}}{q \times \sin v \times \frac{\gamma_{el}}{2}} \text{ dir.}$$

1. Harmonik için aynı eşitliği yazacak olursak

$$\xi_{y1} = \frac{\sin 4 \times 1 \times \frac{15}{2}}{4 \times \sin 1 \times \frac{15}{2}} = \frac{0,5}{0,522} = 0,957 \text{ bulunur.}$$

Burada γ_{el} , statorda birbirini izleyen iki oluk arasındaki elektriksel açı olup

$$\gamma_{el} = p \times \gamma_{geo}$$

$$\gamma_{geo} = \frac{360}{N} = \frac{360}{72} = 5^\circ$$

$$\gamma_{el} = 3 \times 5 = 15 \text{ bulunur.}$$

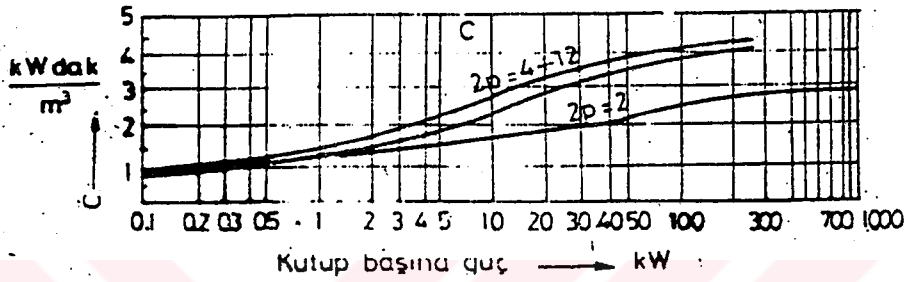
Ana boyut denklemi,

$$P_i = C \times D_a^2 \times L_i \times n \text{ dir.}$$

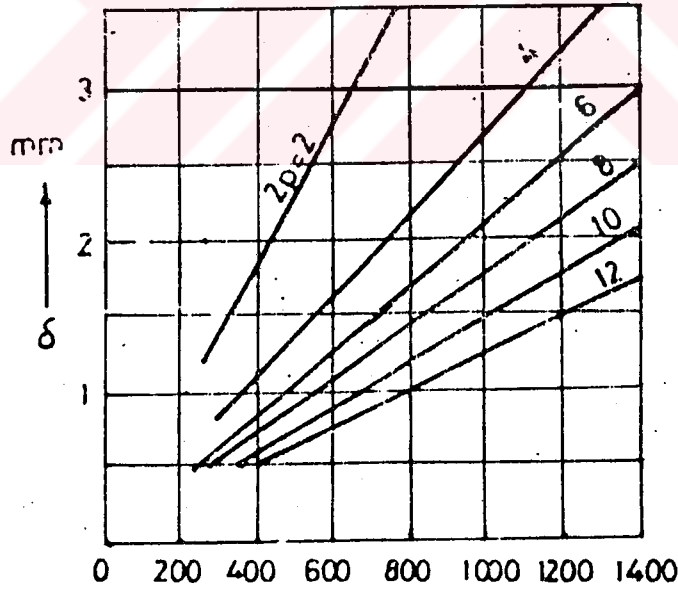
Makinanın fiktif endüvi uzunluğu

$$L_i = \frac{P_i}{C \cdot D_i \cdot n} = \frac{610}{0,6^2 \times 4,199 \times 1000} = 0,4035 \text{ m bulunur.}$$

Gerçek stator saç paketinin toplam uzunluğu L_{Topl} , fiktif saç paketi uzunluğu L_i ' den büyüktür. Şekil 1.2' den $C = 4,199 \text{ kWdak/m}^3$, $2p = 6$, $D_i = 60 \text{ cm.}$ için şekil 1.3'den δ hava aralığı genişliği $1,3 \text{ mm.}$ olmalıdır.



Şekil 1.2 Yüksek devirli asenkron motorlarda kutup başına gücün fonksiyonu olarak C faydalanma katsayısı



Şekil 1.3 Asenkron motorların iç çapa bağlı olarak δ hava aralığı

Statorda iki tabakalı ve her bir kutupta faz başına $q_1 = 4$ oluğu bulunan ve kırışleme oranı $\frac{y}{\tau_p} = \frac{10}{12}$ olan kırışlenmiş bir sargı için,

$$\beta = \left(1 - \frac{y}{\tau_p}\right) \times 180 = \left(1 - \frac{10}{12}\right) \times 180 = 30^\circ$$

1. harmonik kırıleme faktörü

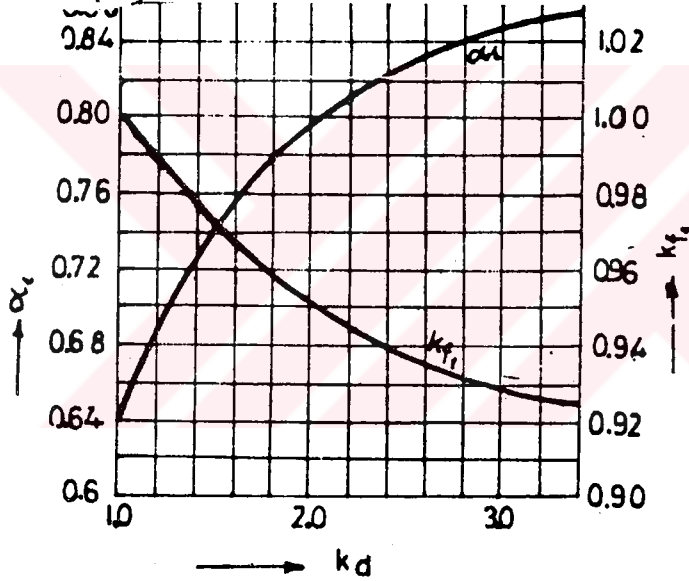
$$\xi_1 = \cos \frac{\beta_1}{2} = 0,966 \text{ bulunur.}$$

Toplam sargı faktörü

$$\xi_s = \xi_{sy1} \times \xi_{sk1} = 0,966 \times 0,957 = 0,924 \text{ elde olunur.}$$

Sinüs formundaki alan genliği $B_{\delta 1} = 0,9 \text{ T}$ olarak alınsın. ϕ akısı $\phi = B_{\delta} \cdot \alpha_i \cdot \tau_p \cdot L_i$ için doyma faktörü $k_d = 1,5$ olarak tahmin edilsin.

Buna göre α_i , şekil 1.4'den 0,74 yine aynı eğriden form faktörü (k_n) ise 0,97 olarak seçilir.



Şekil 1.4 Asenkron motora ait $\alpha_i = f(k_d)$ ve k_n eğrileri

Şu halde akı;

$$\phi = B_{\delta} \times \alpha_i \times \tau_p \times L_i = 0,8 \times 0,74 \times 0,3141 \times 0,4035$$

$$\phi = 0,075 \text{ Wb'dir.}$$

$$E_1 = U_1 \times \frac{1}{1 + \sigma_1}$$

$\sigma_1 = I_\mu \frac{X_{1\sigma}}{E_1}$ olup buna Heyland dağılma faktörü denilir. Hava aralığı

endüksiyon eğrisinin sinüs biçiminde olması halinde ϕ magnetik akısı tarafından stator sargısının her bir fazında endüklenen emk'nın efektif değeri ;

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot \xi_s \cdot \phi \quad [\text{V}]$$

Heyland dağılma faktörünün değerleri, şekil 1.5'te normal makinalar için kutup sayısı p'nin fonksiyonu olarak verilmiştir.



Şekil 1.5 Normal asenkron makinaların kutup sayısının fonksiyonu olarak $1/(1+\sigma_1)$ değerleri

$2p = 6$ için $\frac{1}{1+\sigma_1} = 0,962$ olarak seçilir.

$$E_1 = \frac{4000}{\sqrt{3}} \cdot 0,962 = 2221,64 \text{ V}$$

Stator sargısının faz başına sarım sayısı

$$w_1 = \frac{E_1}{4,44 \times f_1 \times k_{f1} \times \xi_s \times \phi} = \frac{2221,64}{4,44 \times 50 \times 0,97 \times 0,924 \times 0,075}$$

$$w_1 = 148,814 \quad \text{sarım}$$

Bulunan sonuca göre uygulanabilir sarım sayısı $w_1 = 144$ sarım / faz'dır.

Bu sarım sayısı alındığında başta kabul edilen B_δ hava aralığı akısı değeri değişecektir.

$$B_\delta = \frac{0,8 \times 148,814}{144} = 0,826 \text{ T} \quad \text{ve}$$

$$\phi = \frac{148,814}{144} \times 0,075 = 0,0775 \text{ Weber}$$

Her bir fazın stator oluklarındaki toplam iletken sayısı da

$$Z_1 = 2 \cdot m_1 \cdot w_1 = 2 \times 3 \times 144 = 864 \text{ olur.}$$

Bu durumda dtatorun özgül-amper iletken sayısı veya çevre akım yoğunluğu

$$A_1 = \frac{Z_1 \times I_{1N}}{\pi \times D_i} = \frac{864 \times 88}{\pi \times 60} = 403,62 \text{ A / cm}$$

Statordaki oluk başına iletken sayısı;

$$\frac{Z_1}{N_1} = \frac{864}{72} = 12 \text{ olur.}$$

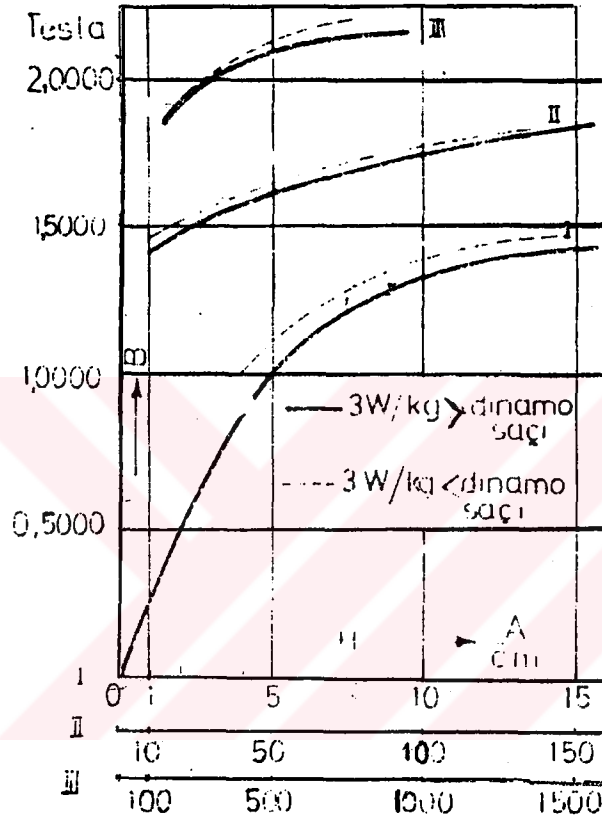
Sarım başına gerilim;

$$\frac{U_1}{w_1} = \frac{4000}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{144} = 16,05 \text{ V}$$

Ağzı açık oluklu, 2 paralel devreden imal edilecek olan stator oluğunda iletkenler $7,6 \times 1,81 \text{ mm}^2 = 13,756 \text{ mm}^2$ kesitinde olacaktır. Buna göre oluk boyutları;

<u>Genişlik:</u>	İletken	$7,6 \times 1 = 7,6 \text{ mm}$
	oynaklık	$= 0,4 \text{ mm}$
	ara yalıtkan	$= 0,2 \text{ mm}$
	ana yalıtkan	$= 3,3 \text{ mm}$
	b_0	$= 11,5 \text{ mm}$ bulunur.

Derinlik; İletken $1,81 \times 24 = 43,44 \text{ mm}$
 bobin sonu ana y. $= 3,3 \text{ mm}$
 oluk sonu ana y. $= 3,3 \text{ mm}$
 oluk sonu boşluğu $= 10 \text{ mm}$
 oynaklık $= 0,8 \text{ mm}$
 $h_{01} = 63 \text{ mm}$ bulunur.



Şekil 1.6 Mıknatıslanma eğrileri

Stator olukları için bulunmuş olan genişlik ve derinlik değerleri h_{01}/b_{01} için öngörülen 3 ile 5,5 arasında olma koşulunu sağladığı için uygun değerlerdir.

Hesaplanan stator boyutlarına göre stator dış endüksiyonları bulunacak olursa;

$$b_{d1\min} = \frac{\pi}{72} (60 + 0,6) - 1,15 = 1,5 \text{ cm}$$

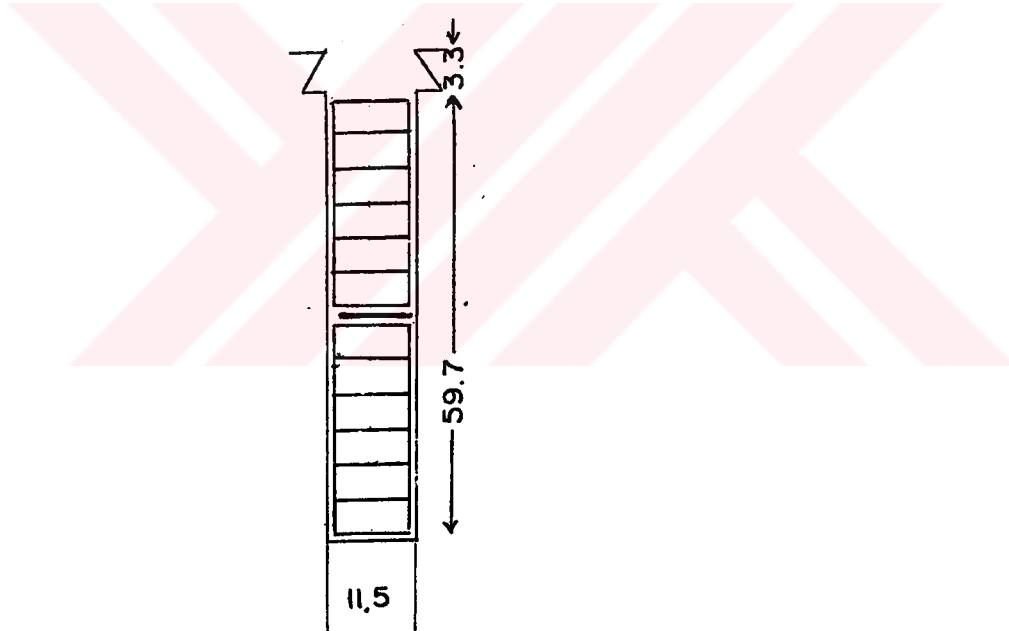
$$b_{d1\text{ort}} = \frac{\pi}{72} (60 + 0,3) - 1,15 = 1,742 \text{ cm}$$

$$b_{d1\max} = \frac{\pi}{72} (60 + 12,6) - 1,15 = 2,01 \text{ cm}$$

$$B_{d1\max} = \frac{L_1 \cdot \tau_{01}}{k_{fe} \cdot L_{\text{Topl}} \cdot b_{d1\min}} \cdot B_{\delta} \cdot (1 + \sigma_1) = \frac{0,4035 \times 0,02618 \times 0,826 \times (1 + 0,0395)}{0,97 \times 0,4935 \times 0,015} = 1,263 \text{ T}$$

$$B_{d1\text{ort}} = \frac{L_1 \cdot \tau_{01}}{k_{fe} \cdot L_{\text{Topl}} \cdot b_{d1\text{ort}}} \cdot B_{\delta} \cdot (1 + \frac{2}{3} \sigma_1) = \frac{0,4035 \times 0,02618 \times 0,826 \times (1 + 0,026)}{0,97 \times 0,4935 \times 0,015} = 1,0735 \text{ T}$$

$$B_{d1\min} = \frac{L_1 \cdot \tau_{01}}{k_{fe} \cdot L_{\text{Topl}} \cdot b_{d1\max}} \cdot B_{\delta} \cdot (1 + \frac{1}{3} \sigma_1) = \frac{0,4035 \times 0,02618 \times 0,826 \times (1 + 0,013)}{0,97 \times 0,4935 \times 0,015} = 0,9186 \text{ T}$$



Şekil 1.7 Bobin yanlarının oluğa yerleştirilmiş hali

Rotor boyunduruğunun kısmi magnetik gerilimi şekil 1.6'dan bu endüksiyon değerleri için $H_{d1\max}=7,5 \text{ A/cm}$; $H_{d1\text{ort}}=5 \text{ A/cm}$; $H_{d1\min}=4,5 \text{ A/cm}$ bulunur.

Simpson kuralına göre ortalama alan şiddeti;

$$H_{d1} = \frac{H_{d1\max} + H_{d1\min} + 4H_{d1\text{ort}}}{6} = \frac{7,5 + 4,5 + 20}{6} = 5,333 \text{ A / cm}$$

Stator dişlerindeki magnetik gerilim,

$$2V_{d1} = 2 \cdot l_{d1} \cdot H_{d1} = 2 \times 6,3 \times 5,333 = 67,2 \text{ A}$$

$B_{j1} = 1,168 \text{ T}$ alındığında, statör boyunduruk yüksekliği (h_{j1})

$$h_{j1} = \frac{\phi(1 + \sigma_1)}{2 \cdot k_{fe} \cdot L \cdot B_{d1}} = \frac{0,0775 \times 1,039}{2 \times 0,97 \times 0,4935 \times 1,168} = 7,2 \text{ cm}$$

Stator dış çapı

$$D_{d1} = D_{i1} + 2 \cdot h_{o1} + 2 \cdot h_{j1} = 60 + 2 \times 6,3 + 2 \times 7,2 = 87 \text{ cm bulunur.}$$

Stator diş ağırlığı

$$G_{d1} = \left[\pi \left(\frac{D_i + 2h_{o1}}{2} \right)^2 - \pi \left(\frac{D_i}{2} \right)^2 - N_1 \times h_{o1} \times b_{o1} \right] \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{d1} = \left[\pi \left(\frac{60 + 2 \times 6,3}{2} \right)^2 - \pi \left(\frac{60}{2} \right)^2 - 72 \times 6,3 \times 1,15 \right] \times 0,97 \times 40,35 \times 7,885 \times 10^{-3}$$

$$G_{d1} = 244 \text{ kg}$$

Stator boyunduruk ağırlığı

$$G_{j1} = \gamma_{fe} \times k_{fe} \times L_i \times \left[\left(\frac{D_{d1}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_i + 2h_{o1}}{2} \right)^2 \right] \times \pi \times 10^{-3}$$

$$G_{j1} = 7,88 \times 40,35 \times 0,97 \times \left[\left(\frac{87}{2} \right)^2 - \left(\frac{60 + 2 \times 6,3}{2} \right)^2 \right] \times \pi \times 10^{-3}$$

$$G_{j1} = 556,7 \text{ kg}$$

Stator saç paketindeki pulzasyon kayıpları

$$P_{kp1} = \frac{k_p}{2} \times \sigma_w \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{N_2 \times n}{10000} \times \frac{B_{p1}}{0,1} \right)^2 \times G_{d1} \text{ [W]}$$

Buradaki $N_2 \cdot n$, stator dişlerindeki pulzasyon frekansına eşittir. σ_w , metal sabitesi olup; sacın Δ kalınlığına bağlıdır. Çeşitli saç tipleri için değerler tablo 1.1 'de verilmiştir. k_p , saçların işlenmesinden dolayı Foucault kayıplarındaki artmayı gösteren bir faktör olup; 1,8 ile 2,00 arasında

değişmektedir. Hesaplara 1,9 olarak katılacaktır. B_p ise endüksiyon pulzasyonunun genliğidir.

Tablo 1.1 En önemli saç nevilerinin matriyal sabiteleri

Saç Nevileri (DIN 46400)		Δ mm	p_1 W/kg	$p_h \cdot p_1$ ($\times 100$)	p_w/p_1 ($\times 100$)	σ_H	σ_w	$\sigma_w = \sigma_w \cdot \Delta^2$
I	3,6	0,5	3,6	66,7	33,3	4,8	19,2	4,8
II	3,0	0,5	3,0	78,3	21,7	4,7	10,4	2,6
III	2,3	0,5	2,3	82,5	17,5	3,8	6,4	1,6
IV	1,7	0,5	1,7	83,8	16,2	2,85	4,4	1,1

$$\gamma_2 = \frac{\left(\frac{a_{02}}{\delta}\right)^2}{5 + \left(\frac{a_{02}}{\delta}\right)} = \frac{\left(\frac{0,25}{0,13}\right)^2}{5 + \left(\frac{0,25}{0,13}\right)} = \frac{3,698}{6,923} = 0,534$$

$$B_{p1} = \frac{\gamma_2 \cdot \delta \cdot B_{d1ort}}{2 \cdot \tau_{01}} = \frac{0,534 \times 0,13 \times 1,0735}{2 \times 2,618} = 0,0142$$

P_{kp1} denkleminde $k_p=0,9$; $\sigma_w = 1,6$; $G_{d1} = 244$ kg olup; bu değerler yerine konursa

$$P_{kp1} = \frac{1,9}{2} \times 1,6 \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{58 \times 1000}{10000} \times \frac{0,0142}{0,1} \right)^2 \times 244 = 6,988 \quad W$$

Stator boyunduruğunun demir kaybı

$$p_{j1} = k \times \left[k_{hb} \times \sigma_H \times \frac{f}{100} + k_{wb} \times \sigma_w \times \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] \times B_{j1}^2$$

Boyunduruktaki toplam demir kaybı, dişlerde olduğu gibi, histerezis ve Foucault kayıplarından oluşmakta olup; değeri yukarıdaki bağıntıda hesap edilir. Burada k işleme faktörü olup; değeri 1,25 olarak alınacaktır.

k_{hb} ve k_{wb} ; magnetik akının boyunduruk kesitine homojen olarak dağılmış olmasını gösteren tashih faktörleridir. Bunların değerleri; iç ve dış boyunduruk ve muhtelif çift kutup sayıları için stator boşluğu çapının boyunduruğun dış ve iç çapına bağlı olarak şekil 1.8 ve 1.9'da verilmiştir. Bu şekillerden $k_{hb} = 1,05$; $k_{wb} = 1,1$ olmak alınmıştır.

0,5 mm. $p_1 = 3,5$ W/kg 'lık bir saç için $\sigma_H = 3,8$; $\sigma_w = 1,6$ alınıp, boyunduruk endüksiyonu $B_{j1} = 1$ T olduğu gözönünde bulundurularak boyunduruğun özgül demir kaybı;

$$p_{j1} = 1,25 \times \left[1,05 \times 3,8 \times \frac{50}{100} + 1,1 \times 1,6 \times \left(\frac{50}{100} \right)^2 \right] \times 1^2$$

$$p_{j1} = 1,25 \times (1,995 + 0,44) = 3,04 \text{ W / kg}$$

Stator boyunduruğunun demir kaybı;

$$P_{j1} = p_{j1} \times G_{j1} = 3,04 \times 556,7 = 1692,368 \text{ W}$$

Bir iletkenin iletkenliği sargı sıcaklık derecesi arttıkça düşer.

Bunun ifadesi ise

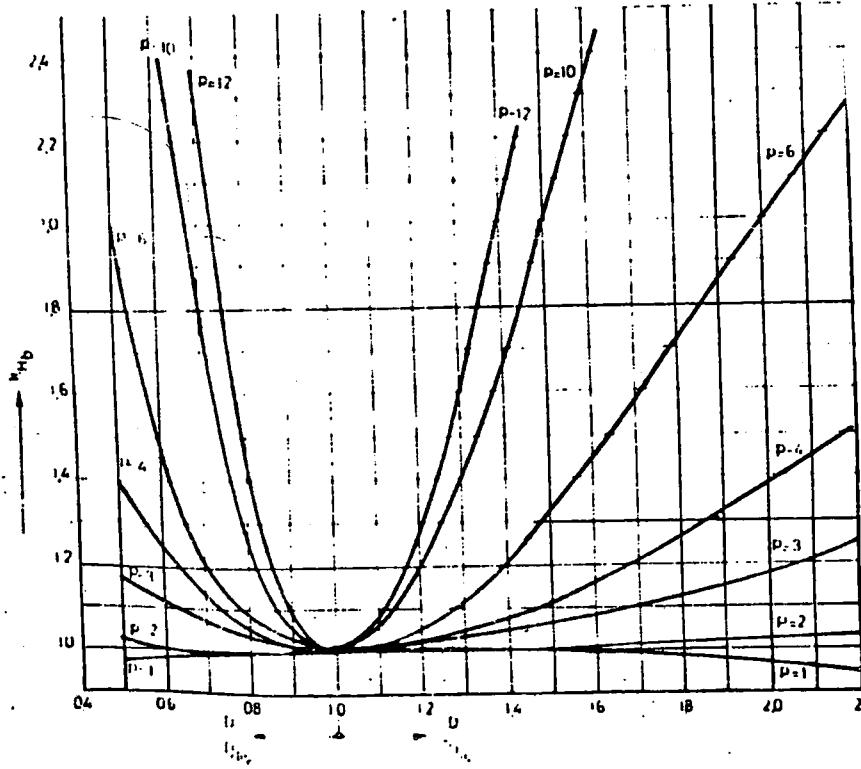
$$\lambda_r = \lambda_{20^\circ} \times \frac{20 + T}{t + T}$$

Bakır için $T = 235$, $\lambda_{20^\circ} = 57$ 'dir.

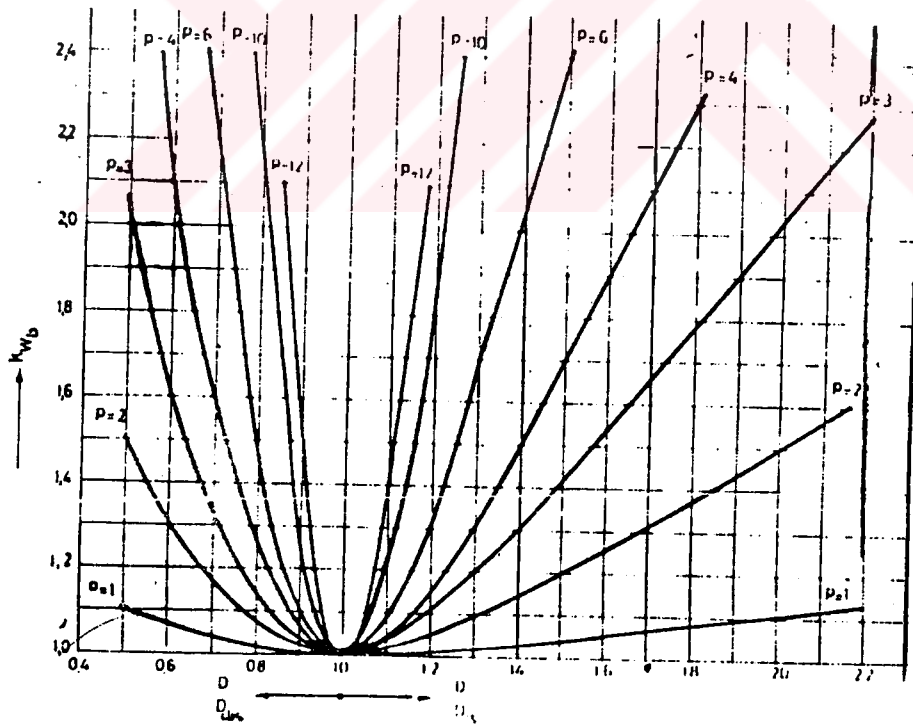
Stator referans sıcaklığı 120° alındığına göre bu sıcaklık için bakır iletkenliği

$$\lambda_{120^\circ} = 57 \times \frac{20 + 235}{120 + 235} = 40,943$$

$$\rho = \frac{1}{\lambda_{120^\circ}} = 0,0244$$



Şekil 1.8 k_{hb} histerzis faktörünün değişik çift kutup sayıları için $D/D_{dış}$ dolayısıyla $D/D_{iç}$ 'e bağlı değerleri



Şekil 1.9 k_{wb} Foucault akım faktörünün değişik çift kutup sayıları için $D/D_{dış}$ dolayısıyla $D/D_{iç}$ 'e bağlı değerleri

Ortalama iletken uzunluğu

$$L_{iletken} = l_{iletken} \cdot Z_1 = 864 \times 2,3585 = 2040,1$$

Stator sargısının ohmik direnci

$$R_1 = \frac{2040,1}{3 \times 2 \times 2 \times 7,6 \times 1,81} = 0,3 \quad \Omega$$

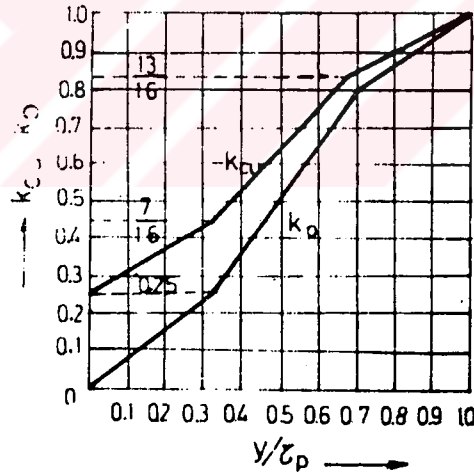
$$r_1 = 0,014$$

Stator reaktanslarının hesabı

Stator sargısının dağılma iletkenliği;

$$\Lambda_0 = \frac{l_{01}}{q} \left[k_{cu} \frac{h_1}{3h_0} + k_0 \frac{h_2}{h_0} \right]$$

Burada k_{cu} ve k_0 düzeltme faktörleri olup; şekil 1.10'da y/τ_p 'ye göre değerleri verilmiştir.



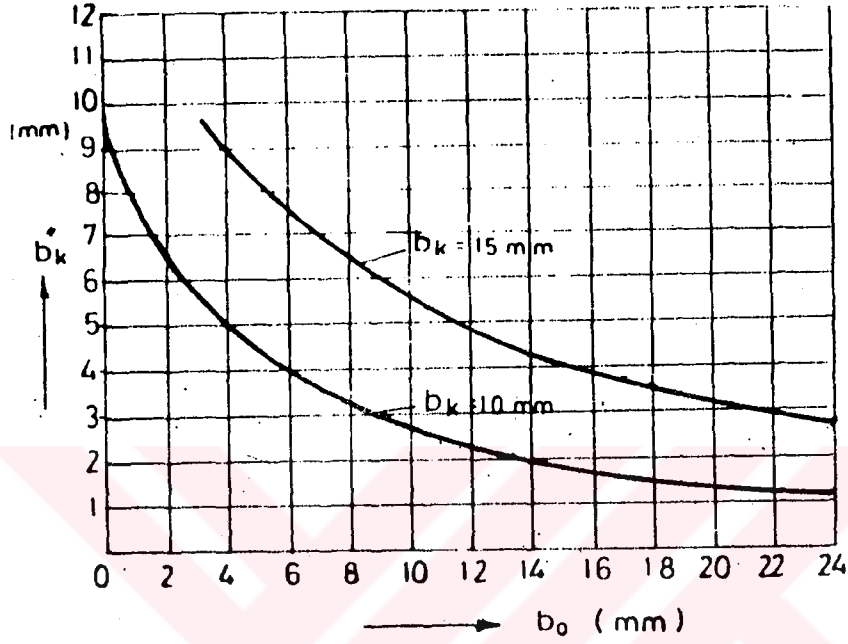
Şekil 1.10 Üç fazlı sargılarda y/τ_p kırılganlığına bağlı olmak üzere k_{cu} ve k_0 düzeltme faktörleri

$y/\tau_p = 10/12$ için $k_0 = 0,88$; $k_{cu} = 0,92$ dir.

l_{01} fiktif stator uzunluğudur ve

$$l_{01} = l_{\text{Topl}} - \sum b_k'' = 49,35 - 9 \times 0,25 = 47,1 \text{ cm}$$

b_k'' nün değeri $b_0 = 11,5 \text{ mm}$. değeri için $b_k = 10 \text{ mm}$ 'ye ait eğriden $b_k'' = 2,5 \text{ mm}$ olarak şekil 1.11'den okunmuştur.



Şekil 1.11 Oluk genişliği b_0 'ya bağlı olarak indirgenmiş soğutma kanal genişliği b_k'' 'nin değerleri

Şekil 1.6'dan $h_1 = 95,7 \text{ mm}$, $h_2 = 3,3 \text{ mm}$, $b_0 = 11,5 \text{ mm}$ dir.

Buna göre

$$\Lambda_0 = \frac{47,1}{4} \left[0,92 \frac{5,97}{3 \times 1,15} + 0,88 \frac{0,33}{1,15} \right]$$

$$\Lambda_0 = 11,775 \times (1,592 + 0,252) = 21,71$$

Stator sargısının bobin başı dağılma iletkenliği,

$$\Lambda_{bb1} = 0,43 \cdot l_{bb} \cdot \xi_s^2$$

$$l_{bb} = l_{cu} - l_{\text{topl}}$$

Burada l_{cu} iletken uzunluğu olup, l_{topl} ise saç paketinin cm cinsinden toplam uzunluğudur.

Halkalanma reaktansı

$$\Lambda_{ha} = \tau_p \times L_i \times \frac{m_1}{\pi^2} \times \frac{K}{k_c \times k_d \times \delta}$$

Bu bağıntıda k_c Carter faktörü, k_d ise doyma faktörüdür. K değeri tablo 1.2'den y/τ_p ve q değerine göre seçilecektir.

Tablo 1.2 Üç fazlı sargılarda hava aralığı dağılmasının hesabında yararlanılan K katsayısının muhtelif kırışlenme (y/τ_p) ve q oluk sayılarındaki değerleri

b	Üç Fazlı Sargılar						
q=2	y/τ_p	1,0	0,835	0,66			
	K	0,0265	0,0205	0,0199			
q=3	y/τ_p	1,0	0,89	0,78	0,66		
	K	0,0129	0,0103	0,0090	0,0097		
q=4	y/τ_p	1,0	0,92	0,835	0,75	0,66	
	K	0,0082	0,0066	0,0055	0,0054	0,0061	

$q = 4$, $y/\tau_p = 10 / 12$ için $K = 0,004$ bulunur.

$k_c = k_{c1} \cdot k_{c2}$ dir.

$$k_{c1} = \frac{\tau_{01}}{\tau_{01} - \gamma_1 \cdot \delta} \quad ; \quad \gamma_1 = \frac{3}{4} \cdot \frac{b_0}{\delta} - 1 = \frac{3}{4} \cdot \frac{1,15}{0,13} - 1 = 5,634$$

$$k_{c1} = \frac{2,618}{2,618 - 5,634 \times 0,13} = 1,388$$

$$\gamma_2 = \frac{3}{4} \cdot \frac{b_{02}}{\delta} - 1 = \frac{3}{4} \cdot \frac{0,25}{0,13} - 1 = 0,442$$

$$k_{c2} = \frac{3,249}{3,249 - 0,442 \times 0,13} = 1,018$$

$$k_c = k_{c1} \cdot k_{c2} \Rightarrow k_c = 1,413 \text{ bulunur.}$$

Buna göre;

$$\Lambda_{ha} = 31,41 \times 41,8 \times \frac{3}{\pi^2} \times \frac{0,004}{1,413 \times 1,5 \times 0,13} = 5,79$$

Asenkron makinanın toplam dağılma reaktansı ise herbiri yukarıda ayrı ayrı incelenen üç dağılma bileşeninden oluşur.

$$X_{1\sigma} = 1,6 \cdot \pi^2 \cdot \frac{f}{p} \cdot w^2 \cdot (\Lambda_0 + \Lambda_{bb} + \Lambda_{ha}) \cdot 10^{-8}$$

$$X_{1\sigma} = 1,6 \cdot \pi^2 \cdot \frac{50}{3} \cdot 144^2 \cdot (21,71 + 68,46 + 5,79) \cdot 10^{-8}$$

$$X_{1\sigma} = 5,23 \text{ } \Omega$$

Stator boyunduruğunun kısmi magnetik gerilimi

$$V_{j1} = l_{j1} \cdot H_{j1} \text{ dir.}$$

$B_{j1} = 1 \text{ T}$ için şekil 1.6'dan $H_{j1} = 4 \text{ A/cm}$ okunur.

Ortalama stator boyunduruğu kuvvet çizgisi yolu;

$$l_{j1} = \frac{\pi \cdot (D_a - h_{j1})}{2p} = \frac{\pi \cdot (87 - 7,2)}{6} = 41,873 \text{ cm}$$

$$V_{j1} = 41,873 \times 4 = 167,132 \text{ A bulunur}$$

Hava aralığındaki magnetik gerilim;

$$2V_\delta = 0,8 \times k_c \times \delta \times B_\delta \times 10^4$$

$$2V_\delta = 0,8 \times 1,413 \times 0,13 \times 0,826 \times 10^4 = 1213,823 \text{ A}$$

Stator dişlerindeki kayıplar;_

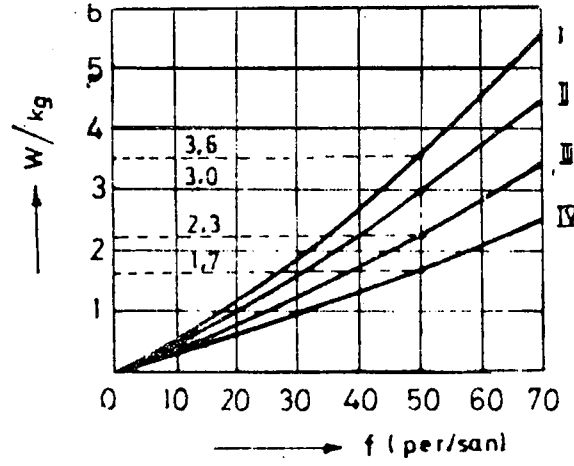
p_1 , 1 T'daki özgül demir kaybı olmak üzere stator dişlerindeki kayıplar

$$p_{d1} = 1,25 \cdot p_1 \cdot B_{d1ort}^2 = 1,25 \times 2,3 \times 1,07535^2 = 3,313 \text{ W / kg}$$

$$P_{kd1} = p_{d1} \cdot G_{d1} = 3,313 \times 244 = 808,41 \text{ W}$$

Burada P_I ; şekil 1.12'den $f=50$ Hz ve III. Sınıf saç için 2,3 alınarak işlem yapılmıştır.



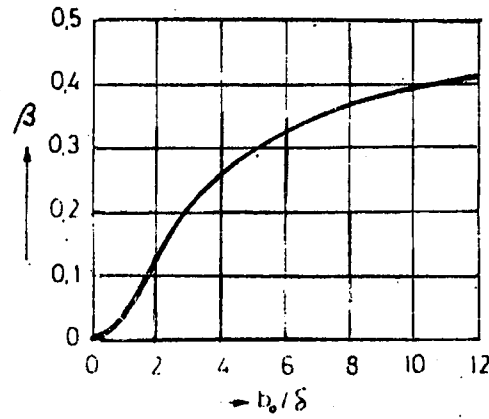


Şekil 1.12 Muhtelif saç nevileri için özgül kaybın frekansa bağlı olarak değişimi

Stator yüzey kaybı hesabı;

$$P_{k1} = \frac{k_0}{2} \left(\frac{N_2 \times n}{10000} \right)^{1.5} \left(\frac{\tau_{02} \times \beta_2 \times k_{c2} \times B_{\delta}}{0,1} \right)^2 \times \pi \times D_l \times \frac{\tau_{01} - a_{01}}{\tau_{01}} \times k_{fe} \times I_1$$

0,5 mm.'lik saç için $k_0=2,5$, $a_0=2,5$ mm. alındığında şekil 1.13'den $a_{02}/\delta = 0,25/0,13=1,92$ için $\beta_2'=0,1$ dir.



Şekil 1.13 β 'nin b_0/δ 'ya bağlı olarak Richter'e göre değerleri

$$P_{ky1} = \frac{2,5}{2} \left(\frac{58 \times 1000}{10000} \right)^{1,5} \left(\frac{3,24 \times 0,1 \times 1,018 \times 0,826}{0,1} \right)^2 \pi \times 0,6 \times \frac{2,618 - 1,15}{2,618} \times 0,97 \times 0,4035$$

$$P_{ky1} = 1,25 \times 13,968 \times 7,422 \times 0,413$$

$$P_{ky1} = 53,519 \text{ W}$$

$\vec{E}$ geriliminin hesabı;

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \vec{I}_1 \cdot R_1 + j\vec{I}_1 X_{1\sigma} - \vec{U}_1 \\ &= 88 \cdot (0,819 + j0,572) \cdot 0,3 + j \cdot 88 \cdot (0,819 + j0,572) \cdot 5,25 - 2310 \\ &= 26,4 \cdot (0,819 + j0,572) + j462 \cdot (0,819 + j0,572) - 2310 \\ &= 21,621 + j15,1 + j(378 + j264,26) - 2310 \\ &= 21,621 + j155,1 + j378,37 - 264,26 - 2310 \\ &= -2552,643 + j393,47 \end{aligned}$$

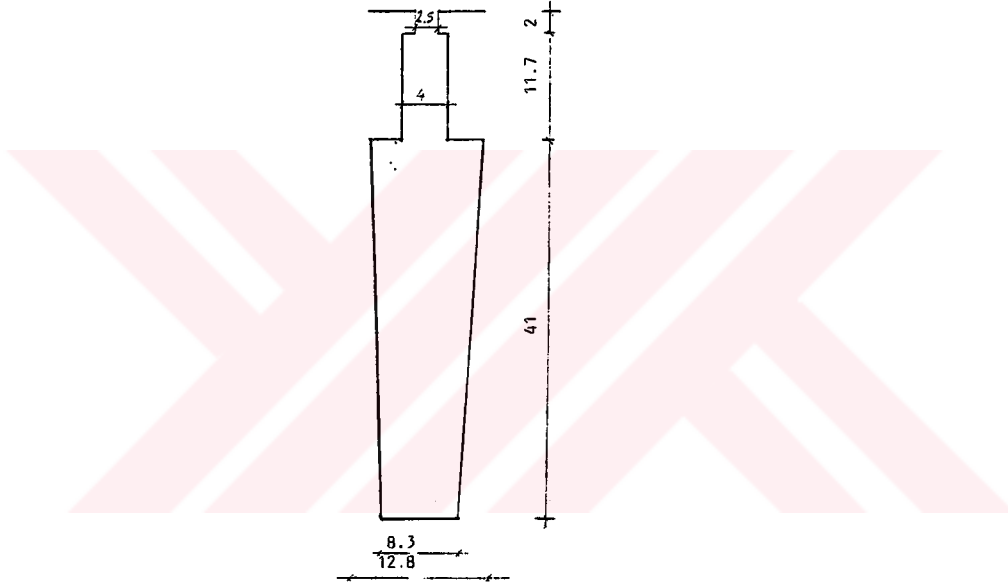
$$|\vec{E}| = 2582,79 \text{ V}$$

1.2 Rotor Oluk Şekillerinin Boyutlandırılması

Bu bölümde değişik rotor oluk şekilleri için bunlara ait eşdeğer devre parametreleri hesaplanmıştır. Rotor sargısının değişik tiplerinin, özellikle de yol alma momenti ve akımının etkilerini görmek amacı ile stator yapısı korunarak 7 değişik rotor oluk şekli için hesap yapılmıştır. Bunlar yapılırken toplam oluk yüzeyi, oluk sayısı, hava aralığı ve oluk ağzı genişliği sabit tutulmuştur. Her rotor tipinde rotor çubukları ile kısa devre halkaları özgül direnci aynı olan bakırdan yapılmıştır.

1.2.1 1. Makina Modeli Tanıtımı ve Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesabı

Bu modele ilişkin rotor oluk şekli şekil 1.14’de verilmiştir.



Şekil 1.14 1. Modele ilişkin rotor oluk şekli

Bu model için rotor diş endüksiyonları bulunacak olursa,

$$b_{d2\min} = (600 - 2,6 - 28) \frac{\pi}{58} - 12,8 = 18,041 \text{ mm}$$

$$b_{d2ort} = (600 - 2,6 - 55) \frac{\pi}{58} - 6,4 = 22,97 \text{ mm}$$

$$b_{d2\max} = \tau_{02} - 2,5 = 29,99 \text{ mm}$$

Buna göre ;

$$B_{d2\max} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b_{d2\min}} \cdot B_\delta = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,35 \times 1,8041} = 1,253 \quad T$$

$$B_{d2ort} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b_{d2ort}} \cdot B_\delta = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,35 \times 2,297} = 0,984 \quad T$$

$$B_{d2\min} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b_{d2\max}} \cdot B_\delta = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,35 \times 2,999} = 0,754 \quad T$$

Bu endüksiyonlara ait alan şiddetleri ise şekil 1.6'dan $H_{d2\max} = 8 \text{ A/cm}$

$$H_{d2ort} = 4,8 \text{ A / cm} , H_{d2\min} = 4 \text{ A / cm}$$

Ortalama alan şiddeti Simpson kuralından

$$H_{d2ort} = \frac{H_{d2\max} + H_{d2\min} + 4H_{d2ort}}{6} = \frac{8 + 4 + 19,2}{6} = 5,2 \text{ A / cm}$$

Rotor dişlerindeki toplam magnetik gerilim

$$2V_{d2} = 2l_{d2} \times H_{d2} = 2 \times 5,2 \times 5,2 = 57,2 \text{ A}$$

Rotor çapı

$$D_r = D_i - 2\delta = 600 - 2 \times 1,3 = 597,4 \text{ mm}$$

Rotor dişlerinin ağırlığı;

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{D_r}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_r - 2h_{02}}{2} \right)^2 \right] - N_2 \times [S + h_{02} \times b_{02}] \right\} \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{Fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{59,74}{2} \right)^2 - \left(\frac{59,74 - 11}{2} \right)^2 \right] - 58 \times [4,76 + 0,2 \times 0,25] \right\} \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = 203 \text{ kg}$$

Rotor boyunduruk yüksekliği h_{j2} ise $B_{j2} = 0,843 \text{ T}$ için

$$h_{j2} = \frac{\frac{\phi}{2}}{k_{fe} \times L_i \times B_{j2}} = \frac{0,0775}{2 \times 0,97 \times 0,4035 \times 0,843} = 117,4 \text{ mm}$$

Rotor iç çapı ise

$$D_{riç} = 600 - (2,6 + 2 \times 55 + 117,4) = 370 \text{ mm dir.}$$

Rotor boyunduruğunun l_{j2} uzunluğu, boyunduruk ortasında ölçülen kutup taksimatına eşittir.

$$l_{j2} = \frac{\pi \times (D_r + h_{j2})}{2p} = \frac{\pi \times (11,74 + 37)}{6} = 25,52 \text{ cm}$$

Rotor boyundurğunun kısmi magnetik gerilimi şekil 1.6'dan $B_{j2}=0,843 \text{ T}$ için $H_{j2}=4,2 \text{ A/cm}$ ve

$$V_{j2} = l_{j2} \times H_{j2} = 4,2 \times 25,52 = 107,184 \text{ A}$$

Rotor boyunduruk ağırlığı ;

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{D_{n\zeta} + h_{j2}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{n\zeta}}{2} \right)^2 \right] \times \pi \times k_{fe} \times L_l \times \gamma_{fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{37 + 11,74}{2} \right)^2 - \left(\frac{37}{2} \right)^2 \right] \times \pi \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3} = 243,827 \text{ kg}$$

Rotor reaktanslarının hesabı

Rotorun dağılma reaktansı

Rotor yüzeyi sabit tutularak makina eşdeğer devresine göre endüktans değeri hesaplanacak olursa

Rotor oluk yüzeyi $\sum h = 57,73 \text{ mm}$ bulunur. Rotor oluk genişliği $\sum b = 8,3 \text{ mm}$ bulunur.

$$\lambda_{02} = \frac{h_1}{3b_{02}} + \frac{h_2}{b_{02}}$$

burada $h_1=57,753 \text{ mm}$ $h_2=2 \text{ mm}$ $b_{02}=8,3 \text{ mm}$

$$\lambda_{02} = \frac{57,753}{3 \times 8,3} + \frac{2}{8,3} = 2,56$$

$$\Lambda_{02} = l_{02} \times \lambda_{02} = 2,56 \times 47,1 = 120,576$$

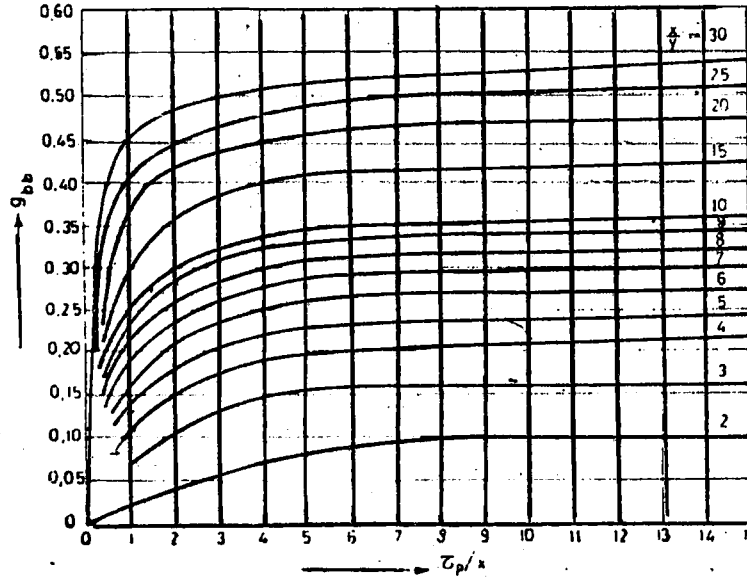
Bobin başı dağılma iletkenliği

$$\Lambda_{bb2} = \frac{Z_2}{2p \times m_1} \times \tau_p \times g_{bb} \text{ dir.}$$

Halka yüksekliği $h_h=60 \text{ mm}$; $b_h=29,518 \text{ mm}$ dir.

$$y = 0,223 \times (b_h + h_h) = 19,962$$

$$\frac{x}{y} = \frac{197}{19,962} = 9,868 \text{ ve } g_{bb} \text{ şekil 1.15'ten } 0,27 \text{ seçilir.}$$



Şekil 1.15 Kısa devre kafesli rotorun bobin başı dağılmasının tayininde faydalanılan g_{bb} faktörü

$$\Lambda_{bb2} = \frac{58}{6 \times 3} \times 31,4 \times 0,27 = 27,32$$

Kısa devre kafesinin hava aralığı veya çift halkalanma dağılma iletkenliği

$$\Lambda_{ha} = \frac{Z_2}{2p \times m_1} \times \frac{m_1}{\pi^2} \times \frac{\tau_p \times L_i \times K}{k_c \times k_d \times \delta}$$

Burada K değeri tablo 1.3'ten $Z_2/2p = 58/6$ için 0,0085 olarak okunur.

$$\Lambda_{ha} = \frac{58}{6 \times 3} \times \frac{3}{\pi^2} \times \frac{31,41 \times 40,35 \times 0,0085}{1,413 \times 1,5 \times 0,13}$$

$$\Lambda_{ha} = 38,293$$

Buna göre

$$X_{2\sigma} = 0,8 \times \pi^2 \times f \times (\Lambda_{o2} + \Lambda_{bb2} + \Lambda_{ha2}) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (120,576 + 27,32 + 38,293) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma} = 7,35 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Primere indirgeme faktörü

Pratik hesaplar için kısa devre kafesini faz sayısı oluk sayısına eşit olan çok farklı bir sargı gibi düşünmek hesaplarda kolaylık sağlar. Böylece $m_2=N_2$, $w_2=1/2$ ve kısa devre kafesinin sargı faktörü $\xi_2=1$ olur. Bu koşullarda çubuk akımı ve çubuk EMK'ı aynı zamanda sekonder sargı akımı ve sekonder sargı EMK'ı olur.

Buna göre

$$\ddot{u} = 4 \left(\frac{m_1}{N_2} \right) (w_1 \cdot \xi_2)^2$$

$$\ddot{u} = 4 \left(\frac{3}{58} \right) (144 \times 0,924)^2 = 3662,87$$

$$X'_{2\sigma} = \ddot{u} \cdot X_{2\sigma} = 3662,87 \times 7,35 \times 10^{-4} = 2,692$$

$$x'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{X_n} = \frac{2,692}{15,04} = 0,179$$

Rotor direncinin hesabı ;

$$R_2 = \rho \times \left(\frac{l_{\text{çk}}}{q_{\text{çk}}} + \frac{D_{\text{ha}} \times N_2}{2\pi \times p^2 \times q_{\text{ha}}} \right)$$

Rotor referans sıcaklığı 150 ° C alındığından bakırın özgül direnci bu sıcaklık için hesaplanacak olursa

$$\lambda_T = \lambda_{20} \frac{20 + T}{t + T} = 57 \cdot \frac{20 + 235}{150 + 235} = 37,753$$

$$\rho = \frac{1}{\lambda_T} = 0,0264$$

$$R_2 = 0,0264 \times \left(\frac{0,593}{476} + \frac{0,477 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1771,1} \right) \times 1,1 = 4,19 \times 10^{-5} \quad \Omega$$

$$R'_2 = 0,0161 \quad ; \quad r'_2 = 0,00752$$

Magnetik devrenin magnetik gerilimi;

$$\begin{aligned} \theta_{\text{tamdevre}} &= \sum V = 2V_\delta + 2V_{d1} + 2V_{d2} + V_{j1} + V_{j2} \\ &= 2 \times 1213,823 + 67,2 + 57,2 + 167,132 + 107,184 \\ &= 2826,36 \text{ A} \end{aligned}$$

Mıknatıslanma akımının efektif değeri;

$$I_{\mu} = \frac{p \times \sum V}{0,9 \times m_1 \times w_1 \times \xi_s} = \frac{3 \times 2826,36}{0,9 \times 3 \times 144 \times 0,924} = 23,6 \text{ A}$$

$$X_m = \frac{|\vec{E}|}{I_{\mu}} = \frac{2582,79}{23,6} = 109,44 \quad \Omega$$

$$X_m = \frac{X_m}{X_n} = \frac{109,44}{15,04} = 7,276 \text{ bulunur.}$$

Stator dağılıma faktörü

$$\sigma_1 = \frac{X_{1\sigma} \times I_{\mu}}{U_1 - X_{1\sigma} \times I_{\mu}} = \frac{X_{1\sigma}}{X_m} = \frac{5,23}{109,44} = 0,0477$$

$$\tau_1 = 1 + \sigma_1 = 1,0477$$

Tashihli L eşdeğer devreden s=1 için kalkış akımı

$$I_{1k} = \frac{\tau_1 \times U_1}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}}$$

$$R_K = \tau_1 \cdot R_1 + \tau_1^2 \cdot R_2' = 1,0477 \times 0,3 + 1,0477^2 \times 0,161 = 0,491$$

$$X_K = \tau_1 \cdot X_{1\sigma} + \tau_1^2 \cdot X_{2\sigma}' = 1,0477 \times 5,23 + 1,0477^2 \times 2,692 = 8,434$$

$$\sqrt{R_K^2 + X_K^2} = 8,448$$

$$I_{1k} = \frac{1,0477 \times 4000}{\sqrt{3} \times 8,448} = 859,148 \text{ A}$$

Yol alma momenti

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times n} \times m_1 \times \frac{U_1^2 \times R_2'}{(R_1 + \tau_1 \times R_2')^2 + X_K^2}$$

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times 1000} \times 3 \times \frac{2310^2 \times 0,161}{(0,3 + 1,0477 \times 0,161)^2 + 8,434^2} = 344,934 \text{ Nm}$$

$$P_n = M_{dn} \cdot w \Rightarrow M_{dn} = \frac{P_n}{w} = \frac{500000 \times 60}{2 \times 1000 \times \pi} = 4774,64 \text{ Nm}$$

Yol vermedeki iyilik derecesi

$$g = \frac{M_{dy}/M_{dn}}{I_{1K}/I_{1N}} = \frac{344,934/4774,64}{859,148/88} = 0,0074$$

Devrilme momenti

$$M_{ad} = \frac{50}{2\pi \times n} \times \frac{m_1}{2} \times \frac{U_1^2}{\left[\tau_1 \times R_1 + \sqrt{(\tau_1 \times R_1)^2 + X_K^2} \right]}$$

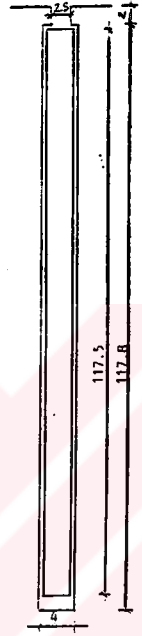
$$M_{ad} = \frac{50}{2\pi \times 1000} \times \frac{3}{2} \times \frac{2310^2}{1,0477 \times 0,3 + \sqrt{(1,0477 \times 0,3)^2 + 8,434^2}}$$

$$M_{ad} = 7275,965 \text{ Nm}$$

$$\cos \varphi_K = \frac{R_K}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}} = \frac{0,3}{8,448} = 0,0581 \Rightarrow \varphi_K = 86,668^\circ$$

1.2.2 2. Makina Modeli Tanıtımı ve Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesabı

Bu modele ilişkin rotor oluk şekli şekil 1.16'da verilmiştir.



Şekil 1.16 2. Modele ilişkin rotor oluk şekli

$$\tau_{02} = \frac{600\pi - 58 \times 4}{58} + 4 = 32,499 \text{ mm}$$

$$b_{d2 \min} = (600 - 2,6 - 239,6) \frac{\pi}{58} - 4 = 15,38 \text{ mm}$$

$$b_{d2 \text{ort}} = (600 - 2,6 - 119,8) \frac{\pi}{58} - 4 = 21,86 \text{ mm}$$

$$b_{d2 \max} = \tau_{02} - 2,5 = 29,99 \text{ mm}$$

Diş endüksiyonları ise;

$$B_{d2\max} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b_{d2\min}} \cdot B_\delta = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 1,538} = 1,472 \quad T$$

$$B_{d2ort} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b_{d2ort}} \cdot B_\delta = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 2,186} = 1,0358 \quad T$$

$$B_{d2\min} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b_{d2\max}} \cdot B_\delta = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 2,999} = 0,755 \quad T$$

Bu endüksiyonlara ait alan şiddetleri ise şekil 1.6'dan $H_{d2\max} = 15 \text{ A/cm}$

$$H_{d2ort} = 4,5 \text{ A / cm} , H_{d2\min} = 4 \text{ A / cm}$$

Ortalama alan şiddeti Simpson kuralına göre;

$$H_{d2ort} = \frac{H_{d2\max} + H_{d2\min} + 4H_{d2ort}}{6} = \frac{15 + 4 + 18}{6} = 6,16 \text{ A / cm}$$

Rotor dişlerindeki toplam magnetik gerilim

$$2V_{d2} = 2l_{d2} \times H_{d2} = 2 \times 11,98 \times 6,16 = 147,753 \text{ A}$$

Rotor reaktanslarının hesabı

Rotorun dağılma reaktansı

$$\lambda_{02} = \frac{h_1}{3b_{02}} + \frac{h_2}{b_{02}} = \frac{117,5}{3 \times 2,5} + \frac{2}{2,5} = 15,66 + 0,8 = 16,466$$

$\Lambda_{02} = l_{02} \times \lambda_{02}$ dir. Burada l_{02} değeri statorun l_{01} değerine eşit alınır.

Dolayısıyla

$$\Lambda_{02} = 16,466 \times 47,1 = 755,548$$

Bobin başı dağılma iletkenliği

$$\Lambda_{bb2} = \frac{Z_2}{2p \times m_1} \times \tau_p \times g_{bb} \text{ dir.}$$

g_{bb} büyüklüğü $\frac{x}{y}$ ve $\frac{\tau_p}{x}$ 'e bağlı olarak şekil 1.14'ten 0,06 olarak

okunmuştur.

$$y = 0,223 \times (b_h + h_h) \text{ dir.}$$

Burada b_h ve h_h cm olarak halka genişliği ve halka yüksekliğidir.

Ortalama halka çapı

$$D_{ha} = 600 - (2,6 + 220) = 377,4 \text{ mm}$$

$$h_h = 220 \text{ mm} = 22 \text{ cm}; \quad b_h = 8,05 \text{ mm} = 0,805 \text{ cm dir.}$$

$$y = 0,223 \times (22 + 0,805) = 5,08$$

Makina boyutlarına tekabül eden x uzaklığı 127 mm=10 cm

$$\frac{x}{y} = \frac{12,7}{5,08} = 2,375$$

$$\frac{\tau_p}{X} = \frac{31,41}{10} = 3,14$$

Şekil 1.15'ten $g_{bb} = 0,06$ olarak bulunur. Bu durumda

$$\Lambda_{bb2} = \frac{58}{6 \times 3} \times 31,4 \times 0,06 = 6,07$$

Kısa devre kafesinin hava aralığı veya çift halkalanma dağılma iletkenliği

$$\Lambda_{ha} = \frac{Z_2}{2p \times m_1} \times \frac{m_1}{\pi^2} \times \frac{\tau_p \times L_i \times K}{k_c \times k_d \times \delta}$$

Burada K değeri tablo 1.3'ten $\frac{Z_2}{2p} = \frac{58}{6}$ için 0,0085 olarak okunur.

$$\Lambda_{ha} = \frac{58}{6 \times 3} \times \frac{3}{\pi^2} \times \frac{31,41 \times 40,35 \times 0,0085}{1,413 \times 1,5 \times 0,13}$$

$$\Lambda_{ha} = 38,293$$

Buna göre

$$X_{2\sigma} = 0,8 \times \pi^2 \times f \times (\Lambda_{02} + \Lambda_{bb2} + \Lambda_{ha2}) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (755,548 + 6,07 + 38,293) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma} = 31,579 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

$$X'_{2\sigma} = 11,56 \quad \Omega$$

$$x'_{2\sigma} = 0,769 \text{ bulunur.}$$

Rotor direncinin hesabı ;

$$R_2 = \rho \times \left(\frac{l_{\phi k}}{q_{\phi k}} + \frac{D_{ha} \times N_2}{2\pi \times p^2 \times q_{ha}} \right)$$

$$R'_2 = 0,155 \quad ; \quad r'_2 = 0,0072$$

Rotor dişlerinin ağırlığı;

Rotor çapı

$$D_r = D_i - 2\delta = 600 - 2 \times 1,3 = 597,4 \text{ mm idi.}$$

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{D_r}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_r - 2h_{02}}{2} \right)^2 \right] - N_2 \times [S + h_{02} \times b_{02}] \right\} \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{Fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{59,74}{2} \right)^2 - \left(\frac{59,74 - 23,96}{2} \right)^2 \right] - 58 \times [4,76 + 0,2 \times 0,25] \right\} \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = 468,34 \text{ kg}$$

Rotor boyunduruk yüksekliği h_{j2} ; rotor boyunduruk endüksiyonu

$B_{j2}=0,843 \text{ T}$ alındığında;

$$h_{j2} = \frac{\frac{\phi}{2}}{k_{fe} \times L_i \times B_{j2}} = \frac{0,0775}{2 \times 0,97 \times 0,4035 \times 0,843} = 117,4 \text{ mm}$$

Rotor iç çapı ise

$$D_{riç} = 600 - (2,6 + 2 \times 119,8 + 117,4) = 240,4 \text{ mm}$$

Rotor boyunduruğunun l_{j2} uzunluğu, boyunduruk ortasında ölçülen kutup taksimatına eşittir.

$$l_{j2} = \frac{\pi \times (D_r + h_{j2})}{2p} = \frac{\pi \times (24,04 + 11,74)}{6} = 18,734 \text{ cm}$$

Rotor boyunduruğunun kısmi magnetik gerilimi şekil 1.6'dan

$H_{j2}=4,2 \text{ A/cm}$ için

$$V_{j2} = l_{j2} \times H_{j2} = 4,2 \times 18,734 = 78,682 \text{ A}$$

Rotor boyunduruk ağırlığı ;

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{D_{riç} + h_{j2}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{riç}}{2} \right)^2 \right] \times \pi \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{fe} \times 10^{-3}$$

değerler yerine yerleştirilirse,

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{24,04 + 11,9}{2} \right)^2 - \left(\frac{24,04}{2} \right)^2 \right] \times \pi \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{j2} = 172,75 \text{ kg}$$

Magnetik devrenin magnetik gerilimi;

$$\begin{aligned} \theta_{\text{tandevre}} &= \sum V = 2V_{\delta} + 2V_{d1} + 2V_{d2} + V_{j1} + V_{j2} \\ &= 2 \times 1213,823 + 67,2 + 57,2 + 147,753 + 78,682 \\ &= 2778,481 \text{ A} \end{aligned}$$

Mıknatıslanma akımının efektif değeri;

$$I_{\mu} = \frac{p \times \sum V}{0,9 \times m_1 \times w_1 \times \xi_s} = \frac{3 \times 2778,481}{0,9 \times 3 \times 144 \times 0,924} = 23,2 \text{ A}$$

$$X_m = \frac{|\vec{E}|}{I_{\mu}} = \frac{2582,79}{23,2} = 111,327 \text{ } \Omega$$

$$\chi_m = \frac{X_m}{X_n} = \frac{111,327}{15,04} = 7,4 \text{ bulunur.}$$

Stator dağılıma faktörü

$$\sigma_1 = \frac{X_{1\sigma}}{X_m} = \frac{5,23}{111,327} = 0,0469$$

$$\tau_1 = 1 + \sigma_1 = 1,0469$$

Tashihli L eşdeğer devreden s=1 için kalkış akımı

$$I_{lk} = \frac{\tau_1 \times U_1}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}}$$

$$R_K = \tau_1 \cdot R_1 + \tau_1^2 \cdot R_2' = 1,0469 \times 0,3 + 1,0469^2 \times 0,155 = 0,483$$

$$X_K = \tau_1 \cdot X_{1\sigma} + \tau_1^2 \cdot X_{2\sigma}' = 1,0469 \times 5,23 + 1,0469^2 \times 11,56 = 18,14$$

$$I_{lk} = \frac{1,0469 \times 4000}{\sqrt{3} \times 18,151} = 133,196 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_K = \frac{R_K}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}} = 0,0266 \Rightarrow \varphi_K = 88,475^\circ$$

Yol alma momenti

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times n} \times m_1 \times \frac{U_1^2 \times R_2^i}{(R_1 + \tau_1 \times R_2^i)^2 + X_K^2}$$

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times 1000} \times 3 \times \frac{2310^2 \times 0,155}{(0,3 + 1,0469 \times 0,155)^2 + 18,14^2}$$

$$M_{dy} = 71,960 \text{ Nm}$$

Yol vermedeki iyilik derecesi

$$g = \frac{M_{dy}/M_{dN}}{I_{1K}/I_{1N}} = \frac{71,960/4774,64}{133,196/88} = 0,0099$$

Devrilme momenti

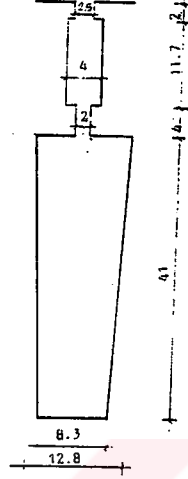
$$M_{dD} = \frac{50}{2\pi \times n} \times \frac{m_1}{2} \times \frac{U_1^2}{\left[\tau_1 \times R_1 + \sqrt{(\tau_1 \times R_1)^2 + X_K^2} \right]}$$

$$M_{dD} = \frac{50}{2\pi \times 1000} \times \frac{3}{2} \times \frac{2310^2}{1,0469 \times 0,3 + \sqrt{(1,0469 \times 0,3)^2 + 18,14^2}}$$

$$M_{dD} = 3451,03 \text{ Nm}$$

1.2.3 3. Makina Modelinin Tanıtımı ve Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesabı

Bu modele ilişkin rotor oluk şekli şekil 1.17’de verilmiştir.



Şekil 1.17 3. Modele ilişkin rotor oluk şekli

Diş genişlikleri

$$b_{d2 \min} = (600 - 2,6 - 35,6) \frac{\pi}{58} - 12,8 = 17,63 \text{ mm}$$

$$b'_{d2} = (600 - 2,6 - 15,7) \frac{\pi}{58} - 4 = 27,5 \text{ mm}$$

$$b''_{d2} = (600 - 2,6 - 31,4) \frac{\pi}{58} - 2 = 28,65 \text{ mm}$$

$$b'''_{d2} = (600 - 2,6 - (14,95 + 4 + 11,7 + 2)) \frac{\pi}{58} - 14,95 = 15,63 \text{ mm}$$

Buna göre diş endüksiyonları

$$B'_{d2} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b'_{d2}} \cdot B_{\delta} = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 2,75} = 0,821 \text{ T}$$

$$B''_{d2} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b''_{d2}} \cdot B_{\delta} = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 2,865} = 0,79 \text{ T}$$

$$B'''_{d2} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b'''_{d2}} \cdot B_{\delta} = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 1,563} = 1,448 \text{ T}$$

Şekil 1.6'dan bu endüksiyonlara ait alan şiddetleri ise $H_{d2}' = 4,2 \text{ A/cm}$

$$H_{d2}'' = 4,1 \text{ A/cm}, H_{d2}''' = 10 \text{ A/cm}$$

Rotor dişlerindeki toplam magnetik gerilim

$$2V_{d2} = 2(l_{d2}' \times H_{d2}' + l_{d2}'' \times H_{d2}'' + l_{d2}''' \times H_{d2}''')$$

$$2V_{d2} = 2 \times (4,1 \times 1,3 + 0,4 \times 4 + 4,1 \times 10) = 95,86 \text{ A}$$

$$(D_{n\phi} = 600 - (2,6 + 2 \times 117,4 + 117,4) = 245,2 \text{ mm alınmıştır.})$$

Buna göre;

$$l_{j2} = \frac{\pi}{6} (34,52 + 11,74) = 18,985 \text{ cm}$$

Rotor boyunduruğunun kısmi magnetik gerilimi şekil 1.6'dan

$B_j = 0,843 \text{ T}$ için $H_{j2} = 4,2 \text{ A/cm}$ değeri ile

$$V_{j2} = l_{j2} \times H_{j2} = 4,2 \times 18,98 = 75,94 \text{ A}$$

Rotor boyunduruk ağırlığı ;

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{D_{n\phi} + h_{j2}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{n\phi}}{2} \right)^2 \right]^2 \times \pi \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{24,52 + 11,74}{2} \right)^2 - \left(\frac{24,52}{2} \right)^2 \right]^2 \times \pi \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{j2} = 172,838 \text{ kg bulunur.}$$

Rotor dişlerinin ağırlığı

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{D_r}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_r - 2h_{02}}{2} \right)^2 \right] - N_2 \times [S + h_{02} \times b_{02}] \right\} \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{59,74}{2} \right)^2 - \left(\frac{59,74 - 11,74}{2} \right)^2 \right] - 58 \times [4,76 + 0,2 \times 0,25] \right\} \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = 221,42 \text{ kg}$$

Rotor reaktanslarının hesabı

Bu kısımda çalışma kafesinin eşdeğer şekli çıkartılacak ve bu rotor şekline ait reaktanslar buna göre hesap edilecektir. Eşdeğer şekil bulunurken çalışma kafesinin yüzeyi sabit tutulacak olup; genişliği ise 4 mm. alınacaktır. Böylelikle diğer makina modeli ile karşılaştırma yapma imkanı daha da kolaylaşacaktır.

Yol alma kafesinin dağılma reaktansı

$$\lambda_{02d} = \frac{h_d}{3b_d} + \frac{h_4}{b_4} = \frac{11,7}{2} + \frac{2}{2,5} = 1,775$$

$$\Lambda_{02} = 43,31$$

Bobin başı dağılma iletkenliği

$$\Lambda_{bb2} = \frac{Z_2}{2p \times m_1} \times \tau_p \times g_{bb} \text{ dir.}$$

g_{bb} büyüklüğü $\frac{x}{y}$ ve $\frac{\tau_p}{x}$ 'e bağlı olarak şekil 1.14'ten 0,36 olarak okunmuştur.

$$y = 0,223 \times (b_h + h_h) \text{ dir.}$$

Burada b_h ve h_h cm olarak yol alma kafesinin halka genişliği ve halka yüksekliğidir.

$$h_{hd} = 25 \text{ mm} \quad b_{hd} = 7,3 \text{ mm}$$

$$h_{hi} = 75 \text{ mm} \quad b_{hi} = 21,18 \text{ mm}$$

$$D_{hi} = 547,4 \text{ mm} \quad D_{hd} = 572,4 \text{ mm}$$

$$y = 0,223 \times (25 + 7,3) = 7,2 \text{ mm} = 0,72 \text{ cm}$$

$$x = 20,2 \text{ cm}$$

$$\frac{x}{y} = 28,05 \quad \frac{\tau_p}{x} = \frac{31,41}{20,2} = 1,55$$

Buna göre

$$\Lambda_{bb2} = \frac{58}{2 \times 3 \times 3} \times 31,41 \times 0,45 = 45,54$$

Yol alma kafesinin reaktansı

$$X_{2\sigma} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (45,54 + 43,31) \times 10^{-8} = 3,5 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Çalışma kafesinin dağılma reaktansı

$$\lambda_{oi} = \frac{h_4}{b_4} + \frac{h_d}{b_d} + \frac{h_g}{b_g} + \frac{h_{i4}}{3b_i}$$

$$\lambda_{oi} = \frac{2}{2,5} + \frac{11,7}{4} + \frac{108,137}{12} + 2 = 14,736$$

$$\Lambda_{02} = 14,736 \times 47,1 = 694$$

Bobin başı dağılma iletkenliği

$$y = 0,223 \times (75 + 21,18) = 21,448 \text{ cm} = 2,1448 \text{ cm}$$

$$x = 20,6 \text{ cm idi.}$$

$$\frac{x}{y} = 9,6 \quad \frac{\tau_p}{x} = \frac{31,41}{20,6} = 1,524$$

Dolayısıyla şekil 1.14'den bu değerler için 0,27 değeri okunur. Bu durumda

$$\Lambda_{bb2} = \frac{58}{2 \times 3 \times 3} \times 31,41 \times 0,27 = 27,324$$

Çalışma kafesinin reaktansı

$$X_{2\sigma} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (\Lambda_{oi} + \Lambda_{bb1}) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (694 + 27,324) \times 10^{-8} = 28,479 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Halkalanma reaktansı

$$\Lambda_{ha} = \frac{Z_2}{2p \times m_1} \times \frac{m_1}{\pi^2} \times \frac{\tau_p \times L_1 \times K}{k_c \times k_d \times \delta}$$

$$\Lambda_{ha} = \frac{58}{2 \times 3 \times 3} \times \frac{3}{\pi^2} \times \frac{31,41 \times 40,35 \times 0,0085}{1,413 \times 0,13 \times 1,5} = 38,293$$

$$X_{2\sigma} = 0,8 \times \pi^2 \times f \times \Lambda_{ha} \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times 38,293 \times 10^{-8} = 1,511 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Yol alma kafesinin direnci

$$R_{2d} = \rho \times \left(\frac{l_{\zeta d}}{q_{\zeta d}} + \frac{D_{hd} \times N_2}{2\pi \times p^2 \times q_{hd}} \right) \times 1,1$$

Yukarıda denklemden görüleceği gibi burada lehim yerleri için % 10'luk bir ilave dirence eklenmiştir.

$$R_{2d} = 0,0264 \times 1,1 \times \left(\frac{0,579}{46,8} + \frac{0,572 \times 58}{2\pi \times 9 \times 182,5} \right) = 4,526 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

$$R_{2l} = 0,0264 \times 1,1 \times \left(\frac{0,579}{432,55} + \frac{0,547 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1588,56} \right) = 4,912 \times 10^{-5} \quad \Omega$$

$$R_{2r} = R_{2l} + R_{2d} = 4,526 \times 10^{-4} + 4,912 \times 10^{-5} = 5,0172 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Çift kafesli ve kısa devre halkaları bağımsız rotorun bileşke ohmik direnci ile bileşke dağılma reaktansını aşağıdaki bağıntılardan hesap edebiliriz.

$$R_{2r(s)} = \frac{R_d \cdot R_l \cdot R_s + s^2 (R_d \cdot X_{\sigma l}^2 + R_l \cdot X_{\sigma d}^2)}{R_l^2 + s^2 X_{\sigma l}^2}$$

$$X_{2\sigma r(s)} = \frac{R_d^2 \cdot X_{\sigma l} + R_l^2 \cdot X_{\sigma d} + s^2 X_{\sigma l} \cdot X_{\sigma d} \cdot X_{\sigma l}}{R_l^2 + s^2 X_{\sigma l}^2}$$

$$X_{2\sigma l} = X_{\sigma l} + X_{\sigma l} = 3,5 \times 10^{-4} + 28,479 \times 10^{-4} = 31,979 \times 10^{-4}$$

$$R_{2r} = \frac{4,526 \times 4,912 \times 5,0172 \times 10^{-13} + 4,526 \times 10^{-4} \times 28,479^2 \times 10^{-8} + 4,912 \times 10^{-5} \times 3,5^2 \times 10^{-8}}{(5,0172 \times 10^{-4})^2 + (31,979 \times 10^{-4})^2}$$

$$R_{2r} = \frac{111,54 \times 10^{-13} + 3670,82 \times 10^{-12} + 60,172 \times 10^{-13}}{25,717 \times 10^{-8} + 1022,65 \times 10^{-8}}$$

$$R_{2r} = \frac{538,794 \times 10^{-12}}{1048,367 \times 10^{-8}} = 0,51393 \times 10^{-4} = 5,139 \times 10^{-5} \quad \Omega$$

$$X_{2\sigma r} = \frac{(4,526 \times 10^{-4})^2 \times (28,479 \times 10^{-4} + 3,5 \times 10^{-4}) + 31,979 \times 10^{-4} \times 3,5 \times 10^{-4} \times 28,479 \times 10^{-4}}{1048,367 \times 10^{-8}}$$

$$X_{2\sigma r} = 3,665 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

$$X_{2\sigma} = X_{2\sigma r} + X_{2\sigma l} = 3,665 \times 10^{-4} + 1,511 \times 10^{-4} = 5,176 \times 10^{-4}$$

$$X'_{2\sigma} = 1,89 \quad x'_{2\sigma} = 0,126$$

$$R'_2 = 0,188 \quad ; \quad r'_2 = 0,0087$$

Magnetik devrenin toplam magnetik gerilimi;

$$\begin{aligned} \theta_{\text{tamdevre}} &= \sum V = 2V_{\delta} + 2V_{d1} + 2V_{d2} + V_{j1} + V_{j2} \\ &= 2 \times 1213,823 + 67,2 + 95,86 + 147,753 + 75,94 \\ &= 2814,399 \quad \text{A} \end{aligned}$$

Mıknatıslanma akımının efektif değeri;

$$I_{\mu} = \frac{p \times \sum V}{0,9 \times m_1 \times w_1 \times \xi_s} = \frac{3 \times 2814,399}{0,9 \times 3 \times 144 \times 0,924} = 23,5 \quad \text{A}$$

$$X_m = \frac{|\vec{E}|}{I_{\mu}} = \frac{2582,79}{23,5} = 109,9 \quad \Omega$$

$$\chi_m = \frac{X_m}{X_n} = 7,3 \quad \text{bulunur.}$$

Stator dağılma faktörü

$$\sigma_1 = \frac{X_{1\sigma}}{X_m} = \frac{5,23}{109,9} = 0,0475$$

$$\tau_1 = 1 + \sigma_1 = 1,0475$$

Tashihli L eşdeğer devreden s=1 için kalkış akımı

$$I_{1k} = \frac{\tau_1 \times U_1}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}}$$

$$R_K = \tau_1 \cdot R_1 + \tau_1^2 \cdot R_2' = 1,0475 \times 0,3 + 1,0475^2 \times 0,188 = 0,52$$

$$X_K = \tau_1 \cdot X_{1\sigma} + \tau_1^2 \cdot X_{2\sigma}' = 1,0475 \times 5,23 + 1,0475^2 \times 1,89 = 7,55$$

$$I_{1k} = \frac{1,045 \times 4000}{\sqrt{3} \times 7,567} = 319,69 \quad \text{A}$$

Yol alma momenti

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times n} \times m_1 \times \frac{U_1^2 \times R_2'}{(R_1 + \tau_1 \times R_2')^2 + X_K^2}$$

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times 1000} \times 3 \times \frac{2310^2 \times 0,188}{(0,3 + 1,0475 \times 0,188)^2 + 7,55^2}$$

$$M_{dy} = 501,99 \quad \text{Nm}$$

Yol vermedeki iyilik derecesi

$$g = \frac{M_{dy}/M_{dN}}{I_{1K}/I_{1N}} = \frac{501,99/4774,64}{319,69/88} = 0,0289$$

Devrilme momenti

$$M_{dd} = \frac{50}{2\pi \times n} \times \frac{m_1}{2} \times \frac{U_1^2}{\left[\tau_1 \times R_1 + \sqrt{(\tau_1 \times R_1)^2 + X_K^2} \right]}$$

$$M_{\omega} = \frac{50}{2\pi \times 1000} \times \frac{3}{2} \times \frac{2310^2}{1,045 \times 0,3 + \sqrt{(1,045 \times 0,3)^2 + 7,55^2}}$$

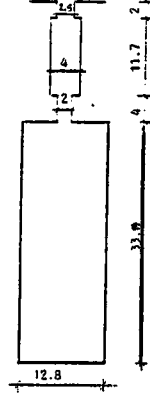
$$M_{\omega} = 8093,38 \text{ Nm}$$

$$\cos \varphi_K = \frac{R_K}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}} = 0,0687 \Rightarrow \varphi_K = 86,06^\circ$$



1.2.4 4. Makina Modelinin Tanıtımı ve Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesabı

Bu modele ilişkin rotor oluk şekli şekil 1.18’de verilmiştir.



Şekil 1.18 4. Modele ilişkin rotor oluk şekli

Yol alma kafesinin halka büyüklükleri

$$b_{hd} = 25 \text{ mm} \quad h_{hd} = 7,3 \text{ mm}$$

Çalışma kafesinin halka büyüklükleri

$$h_{hi} = 21,18 \text{ mm} \quad b_{hi} = 75 \text{ mm}$$

$$D_{hi} = 526,22 \text{ mm} \quad D_{hd} = 572,4 \text{ mm}$$

Diş genişlikleri;

$$b'_{d2} = (600 - 2,6 - 15,7) \frac{\pi}{58} - 4 = 27,5 \text{ mm}$$

$$b''_{d2} = (600 - 2,6 - 31,4) \frac{\pi}{58} - 2 = 28,657 \text{ mm}$$

$$b'''_{d2} = (600 - 2,6 - 69,2) \frac{\pi}{58} - 12,8 = 15,81 \text{ mm}$$

Oluklar arasında kalan değişik kısımlardaki ortalama endüksiyonlar.

$$B'_{d2} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b'_{d2}} \cdot B_{\delta} = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 2,75} = 0,823 \quad T$$

$$B''_{d2} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b''_{d2}} \cdot B_{\delta} = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 2,8657} = 0,79 \quad T$$

$$B'''_{d2} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b'''_{d2}} \cdot B_{\delta} = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 1,581} = 1,432 \quad T$$

Şekil 1.6'dan bu endüksiyonlara ait alan şiddetleri ise $H_{d2}' = 4 \text{ A/cm}$

$$H_{d2}'' = 3,8 \text{ A/cm} , H_{d2}''' = 150 \text{ A/cm}$$

Rotor dişlerindeki toplam magnetik gerilim

$$2V_{d2} = 2(l'_{d2} \times H'_{d2} + l''_{d2} \times H''_{d2} + l'''_{d2} \times H'''_{d2})$$

$$2V_{d2} = 2 \times (4 \times 1,37 + 0,4 \times 3,8 + 3,36 \times 150) = 1022 \text{ A}$$

Rotor boyunduruğunun l_{j2} uzunluğu, boyunduruk ortasında ölçülen kutup taksimatına eşittir.

$$l_{j2} = \frac{\pi \times (D_{ri\varphi} + h_{j2})}{2p} \text{ idi.}$$

Boyunduruk endüksiyonu $B_{j2}=0,843 \text{ T}$ için H_{j2} ; şekil 1.6'dan 4 A/cm okunur.

$$D_{ri\varphi} = 600 - (2,6 + 103 + 117,4) = 377 \text{ mm}$$

$$l_{j2} = \frac{\pi \times (377 + 11,74)}{6} = 25,88 \text{ cm}$$

$$V_{j2} = l_{j2} \times H_{j2} = 4 \times 25,88 = 103,54 \text{ A}$$

Rotor boyunduruk ağırlığı ;

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{D_{ri\varphi} + h_{j2}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{ri\varphi}}{2} \right)^2 \right]^2 \times \pi \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{37,7 + 10,26}{2} \right)^2 - \left(\frac{37,7}{2} \right)^2 \right]^2 \times \pi \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{j2} = 212,887 \text{ kg}$$

Rotor dişlerinin ağırlığı;

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{D_r}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_r - 2h_{02}}{2} \right)^2 \right] - N_2 \times [S + h_{02} \times b_{02}] \right\} \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{Fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{59,74}{2} \right)^2 - \left(\frac{59,74 - 2 \times 5,13}{2} \right)^2 \right] - 58 \times [4,76 + 0,2 \times 0,25] \right\} \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = 185,401 \text{ kg}$$

Rotor reaktanslarının hesabı

Yol alma kafesinin dağılma reaktansı

$$\lambda_{02d} = \frac{h_4}{b_4} + \frac{h_d}{3b_d} = \frac{11,7}{12} + \frac{2}{2,5} = 1,775$$

$$\Lambda_{02} = l_{02} \times \lambda_{02} \text{ idi. } l_0 = 47,1 \text{ cm için}$$

$$\Lambda_{02} = 83,6$$

Bobin başı dağılma iletkenliği

$$\Lambda_{bb2} = \frac{Z_2}{2p \times m_1} \times \tau_p \times g_{bb} \text{ dir.}$$

g_{bb} büyüklüğü $\frac{x}{y}$ ve $\frac{\tau_p}{x}$ 'e bağlı olarak şekil 1.14'ten 0,42 olarak okunmuştur.

$$y = 0,223 \times (b_h + h_h) \text{ dir.}$$

Burada b_h ve h_h cm olarak halka genişliği ve halka yüksekliğidir.

$$y = 0,223 \times (7,3 + 25) = 7,2 \text{ mm} = 0,72 \text{ cm}$$

$$\frac{x}{y} = 26,84 \quad \frac{\tau_p}{x} = \frac{31,41}{19,3} = 1,627$$

$$\Lambda_{bb2} = \frac{58}{6 \times 3} \times 31,4 \times 0,42 = 42,5$$

Yol alma kafesinin reaktansı

$$X_{2\sigma} = 0,8 \times \pi^2 \times f \times (\Lambda_{0d} + \Lambda_{bb2}) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (83,6 + 42,5) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma} = 4,978 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Çalışma kafesinin dağılma reaktansı

$$\lambda_{02i} = \frac{h_d}{2b_d} + \frac{h_g}{b_g} + \frac{h_i}{3b_i} = \frac{11,7}{2 \times 4} + \frac{4}{2} + \frac{33,8}{3 \times 12,8} = 4,33$$

$$\Lambda_{0i} = l_{0i} \times \lambda_{0i} = 47,1 \times 4,33 = 203,943$$

Bobin başı dağılma iletkenliği

$$y = 0,223 \times (b_{hi} + h_{hi}) = 0,223(75 + 21,18) = 21,448 \text{ mm} = 2,1448 \text{ cm}$$

$$x = 18,9 \text{ cm için } \frac{x}{y} = 8,18 \quad \tau_p / x = \frac{31,41}{18,9} = 1,66$$

Dolayısıyla şekil 1.14'den $g_{bb} = 0,22$ okunur.

$$\Lambda_{bbi} = \frac{58}{6 \times 3} \times 31,41 \times 0,22 = 22,25$$

$$\Lambda_{ha} = 38,293$$

Çalışma kafesinin reaktansı

$$X_{2\sigma i} = 0,8 \times \pi^2 \times f \times (\Lambda_{0i} + \Lambda_{bbi}) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma i} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (201,943 + 22,25) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma i} = 8,85 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Makinanın büyüklüklerinde değişiklik olmadığından burada da önceki bölümlerdeki değer kullanılacaktır.

Yol alma kafesinin direnci

$$R_{2d} = \rho \times \left(\frac{l_{\varphi d}}{q_{\varphi d}} + \frac{D_{hd} \times N_2}{2\pi \times p^2 \times q_{hd}} \right) \times 1,1$$

$$R_{2d} = 0,0264 \times 1,1 \times \left(\frac{0,579}{46,8} + \frac{0,572 \times 58}{2\pi \times 9 \times 182,5} \right)$$

$$R_{2d} = 4,526 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

$$R_{2i} = 0,0264 \times 1,1 \times \left(\frac{0,579}{432,64} + \frac{0,526 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1588,56} \right)$$

$$R_{2i} = 4,811 \times 10^{-5} \quad \Omega$$

$$R_{2t} = R_{2i} + R_{2d} = 4,526 \times 10^{-4} + 4,811 \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

$$X_{2\sigma} = X_{\sigma d} + X_{\sigma i} = 4,978 \times 10^{-4} + 8,85 \times 10^{-4} = 13,828 \times 10^{-4}$$

Çift kafesli ve kısa devre halkaları bağımsız rotorun bileşke ohmik direnci ile bileşke dağılma reaktansı $s=1$ için

$$R_{2r} = \frac{R_d \cdot R_l \cdot R_s + R_d \cdot X_{\sigma l}^2 + R_l \cdot X_{\sigma d}^2}{R_l^2 + X_{\sigma l}^2}$$

$$X_{2\sigma} = \frac{R_d^2 \cdot X_{\sigma l} + R_l^2 \cdot X_{\sigma d} + X_{rl} \cdot X_{\sigma d} \cdot X_{\sigma l}}{R_l^2 + X_{\sigma l}^2}$$

$$R_{2r} = \frac{4,526 \times 4,811 \times 5 \times 10^{-13} + 4,526 \times 10^{-4} \times (8,85 \times 10^{-4})^2 + 4,811 \times 10^{-5} \times (4,978 \times 10^{-4})^2}{(5 \times 10^{-4})^2 + (13,828 \times 10^{-4})^2}$$

$$X_{2\sigma} = \frac{(4,526 \times 10^{-4})^2 \times 8,85 \times 10^{-4} + (4,811 \times 10^{-4})^2 \times 4,979 \times 10^{-4} + 4,978 \times 8,85 \times 13,828 \times 10^{-12}}{(5 \times 10^{-4})^2 + (13,828 \times 10^{-4})^2}$$

$$R_{2r} = \frac{108,872 \times 10^{-13} + 354,487 \times 10^{-12} + 119,218 \times 10^{-13}}{216,213 \times 10^{-8}}$$

$$R_{2r} = \frac{263,538 \times 10^{-13}}{216,213 \times 10^{-8}} = 1,218 \times 10^{-5} \quad \Omega$$

$$X_{2\sigma} = \frac{181,289 \times 10^{-12} + 115,219 \times 10^{-14} + 585,4 \times 10^{-12}}{216,213 \times 10^{-8}}$$

$$X_{2\sigma} = \frac{767,841 \times 10^{-12}}{216,213 \times 10^{-8}} = 3,55 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

$$X_{2\sigma} = X_{2\sigma r} + X_{2\sigma l} = 3,551 \times 10^{-4} + 1,511 \times 10^{-4} = 5,062 \times 10^{-4}$$

$$X'_{2\sigma} = 1,3 \quad x'_{2\sigma} = 0,0864$$

$$R_2^i = 0,0446 \quad ; \quad r_2^i = 0,002$$

Magnetik devrenin toplam magnetik gerilimi;

$$\begin{aligned} \theta_{\text{tandevre}} &= \sum V = 2V_{\delta} + 2V_{d1} + 2V_{d2} + V_{j1} + V_{j2} \\ &= 2 \times 1213,823 + 67,2 + 103,54 + 147,753 + 1022 \\ &= 3768,139 \quad \text{A} \end{aligned}$$

Mıknatıslanma akımının efektif değeri;

$$I_{\mu} = \frac{p \times \sum V}{0,9 \times m_1 \times w_1 \times \xi_s} = \frac{3 \times 3768,139}{0,9 \times 3 \times 144 \times 0,924} = 31,466 \quad \text{A}$$

$$X_m = \frac{|\vec{E}|}{I_{\mu}} = \frac{2582,79}{31,466} = 82,081 \quad \Omega$$

Stator dağılıma faktörü

$$\sigma_1 = \frac{X_{1\sigma}}{X_m} = \frac{5,23}{82,081} = 0,0637$$

$$\tau_1 = 1 + \sigma_1 = 1,0637$$

Tashihli L eşdeğer devreden s=1 için kalkış akımı

$$I_{1k} = \frac{\tau_1 \times U_1}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}}$$

$$R_K = \tau_1 \cdot R_1 + \tau_1^2 \cdot R_2' = 1,0637 \times 0,3 + 1,0637^2 \times 0,466 = 0,823$$

$$X_K = \tau_1 \cdot X_{1\sigma} + \tau_1^2 \cdot X_{2\sigma}' = 1,0637 \times 5,23 + 1,0637^2 \times 1,3 = 7,034$$

$$I_{1k} = \frac{1,0637 \times 4000}{\sqrt{3} \times 7,082} = 346,865 \text{ A}$$

Yol alma momenti

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times n} \times m_1 \times \frac{U_1^2 \times R_2'}{(R_1 + \tau_1 \times R_2')^2 + X_K^2}$$

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times 1000} \times 3 \times \frac{2310^2 \times 0,446}{(0,3 + 1,0637 \times 0,446)^2 + 7,034^2}$$

$$M_{dy} = 1361,489 \text{ Nm}$$

Yol vermedeki iyilik derecesi

$$g = \frac{M_{dy}/M_{dN}}{I_{1K}/I_{1N}} = \frac{1361,489/4774,64}{346,865/88} = 0,0723$$

Devrilme momenti

$$M_{dd} = \frac{50}{2\pi \times n} \times \frac{m_1}{2} \times \frac{U_1^2}{\left[\tau_1 \times R_1 + \sqrt{(\tau_1 \times R_1)^2 + X_K^2} \right]}$$

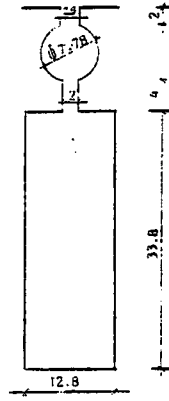
$$M_{dd} = \frac{50}{2\pi \times 1000} \times \frac{3}{2} \times \frac{2310^2}{1,0637 \times 0,3 + \sqrt{(1,0637 \times 0,3)^2 + 7,034^2}}$$

$$M_{dd} = 8653,8 \text{ Nm}$$

$$\cos \varphi_K = \frac{R_K}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}} = \frac{0,823}{7,082} = 0,1162 \Rightarrow \varphi_K = 83,326^\circ$$

1.2.5 5. Makina Modelinin Tanıtımı ve Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesabı

Bu modele ilişkin rotor oluk şekli şekil 1.19'da verilmiştir.



Şekil 1.19 5. Modele ilişkin rotor oluk şekli

Yol alma kafesinin halka büyüklükleri

$$b_{hd} = 9,125 \text{ mm}$$

$$h_{hd} = 20 \text{ mm}$$

Çalışma kafesinin halka büyüklükleri

$$h_{hi} = 50 \text{ mm}$$

$$b_{hi} = 31,7712 \text{ mm}$$

Diş genişlikleri;

$$b'_{d2} = (600 - 2,6 - 11,718) \frac{\pi}{58} - 7,718 = 24 \text{ mm}$$

$$b''_{d2} = (600 - 2,6 - 23,436) \frac{\pi}{58} - 2 = 29,08 \text{ mm}$$

$$b'''_{d2} = (600 - 2,6 - 61,236) \frac{\pi}{58} - 12,8 = 16,241 \text{ mm}$$

Buna göre diş endüksiyonları

$$B_{d2}' = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b_{d2}'} \cdot B_{\delta} = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 2,4} = 0,943 \text{ T}$$

$$B_{d2}'' = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b_{d2}''} \cdot B_{\delta} = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 2,908} = 0,778 \text{ T}$$

$$B_{d2}''' = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b_{d2}'''} \cdot B_{\delta} = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 1,624} = 1,394 \text{ T}$$

Şekil 1.6'dan bu endüksiyonlara ait alan şiddetleri ise $H_{d2}' = 4,5 \text{ A/cm}$

$$H_{d2}'' = 3,5 \text{ A/cm}, H_{d2}''' = 75 \text{ A/cm}$$

Rotor dişlerindeki toplam magnetik gerilim

$$2V_{d2} = 2(l_{d2}' \times H_{d2}' + l_{d2}'' \times H_{d2}'' + l_{d2}''' \times H_{d2}''')$$

$$2V_{d2} = 2 \times (4,5 \times 0,97 + 3,5 \times 0,4 + 75 \times 3,38) = 518,53 \text{ A}$$

$$l_{j2} = \frac{\pi \times (D_{n\phi} + h_{j2})}{2p}$$

$$l_{j2} = \frac{\pi \times (384,964 + 11,74)}{6} = 263,03 \text{ mm}$$

Rotor boyunduruğunun kısmi magnetik gerilimi şekil 1.6'dan

$H_{j2} = 4,2 \text{ A/cm}$ okunur.

$$V_{j2} = l_{j2} \times H_{j2} = 4,2 \times 26,3 = 110,46 \text{ A}$$

Rotor boyunduruk ağırlığı ;

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{D_{n\phi} + h_{j2}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{n\phi}}{2} \right)^2 \right]^2 \times \pi \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{38,49 + 9,516}{2} \right)^2 - \left(\frac{38,49}{2} \right)^2 \right]^2 \times \pi \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{j2} = 199,267 \text{ kg}$$

Rotor dişlerinin ağırlığı;

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{D_r}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_r - 2h_{02}}{2} \right)^2 \right] - N_2 \times [S + h_{02} \times b_{02}] \right\} \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{Fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{59,74}{2} \right)^2 - \left(\frac{59,74 - 9,516}{2} \right)^2 \right] - 58 \times [4,76 + 0,2 \times 0,25] \right\} \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = 167,426 \text{ kg}$$

Rotor reaktans değerinin hesabı

Yol alma kafesinin dağılma iletkenliği

$$\lambda_{0d} = 0,66 + \frac{h_4}{b_4} = 0,66 + \frac{2}{2,5} = 1,46$$

$$\Lambda_{0d} = 47,1 \times 1,46 = 68,766$$

Bobin başı dağılma iletkenliği

$$\Lambda_{bb2d} = \frac{Z_2}{2p \times m_1} \times \tau_p \times g_{bb} \quad y = 0,223 \times (b_{hd} + h_{hd})$$

$$b_{hd} = 20 \text{ mm} \quad h_{hd} = 9,125 \text{ mm}$$

$$y = 0,223 \times (b_{hd} + h_{hd}) \text{ 'de değerler yerine konulursa, } y = 6,494 \text{ bulunur.}$$

$$x_d = 183,28 \text{ mm olduğundan}$$

$$\tau_p / x_d = 1,713 \quad x_d / y = 2,822$$

Şekil 1.14'ten $g_{bb} = 0,10$ bulunur. Böylece ;

$$\Lambda_{bb2d} = \frac{58}{6 \times 3} \times 31,4 \times 0,10 = 10,12$$

Yol alma kafesinin reaktansı

$$X_{2\sigma d} = 0,8 \times \pi^2 \times f \times (\Lambda_{0d} + \Lambda_{bb}) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma d} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (68,766 + 10,12) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma d} = 3,11 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Çalışma kafesinin dağılma reaktansı

$$\lambda_{0i} = 0,8 + \frac{h_g}{b_g} + \frac{h_l}{3b_l} = 0,8 + \frac{4}{2} + \frac{33,8}{3 \times 12,8} = 3,68$$

$$\Lambda_{0i} = l_{0i} \times \lambda_{0i} = 47,1 \times 3,68 = 173,328$$

Bobin başı dağılma iletkenliği

$$y = 0,223 \times (b_{hi} + h_{hi}) \text{ idi. } b_{hi} = 31,7712 \text{ mm ; } h_{hi} = 50 \text{ mm}$$

için değerler yerine konursa

$$y = 0,223(5 + 3,177) = 1,823 \text{ cm}$$

$$x = 191,28 \text{ mm için } x/y = 10,49 \quad \tau_p / x = \frac{31,41}{19,128} = 1,642$$

Şekil 1.14'den $g_{bb} = 0,28$ okunur.

Bu durumda bobin başı dağılıma iletkenliği

$$\Lambda_{bb} = \frac{N_2}{2p \times m_1} \times \tau_p \times g_{bb}$$

$$\Lambda_{bb} = \frac{58}{6 \times 3} \times 31,41 \times 0,28 = 28,33$$

Çalışma kafesinin reaktansı

$$X_{2\sigma l} = 0,8 \times \pi^2 \times f \times (\Lambda_{0l} + \Lambda_{bb}) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma l} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (173,28 + 28,33) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma l} = 7,961 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Faz başına yol alma kafesinin ohmik direnci

$$D_{hd} = 600 - (0,26 + 20) = 579,74 \text{ mm}$$

Rotor kafesinin direnç ve endüktans değerleri

Yol alma kafesinin direnci

$$R_{2d} = \rho \times \left(\frac{l_{\zeta d}}{q_{\zeta d}} + \frac{D_{hd} \times N_2}{2\pi \times p^2 \times q_{hd}} \right) \times 1,1$$

$$R_{2d} = 0,0264 \times 1,1 \times \left(\frac{0,579}{46,8} + \frac{0,579 \times 58}{2\pi \times 9 \times 182,5} \right)$$

$$R_{2d} = 4,537 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Çalışma kafesinin direnci,

$$R_{2i} = \rho \times \left(\frac{l_{\zeta i}}{q_{\zeta i}} + \frac{D_{hi} \times N_2}{2\pi \times p^2 \times q_{hi}} \right) \times 1,1$$

$$R_{2i} = 0,0264 \times 1,1 \times \left(\frac{0,579}{432,55} + \frac{0,509 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1588,56} \right)$$

$$R_{2i} = 4,841 \times 10^{-5} \quad \Omega$$

$$R_{2r} = \frac{R_d \cdot R_i \cdot R_s + R_d \cdot X_{\sigma l}^2 + R_i \cdot X_{\sigma l}^2}{R_i^2 + X_{\sigma l}^2}$$

$$X_{2\sigma r} = \frac{R_d^2 \cdot X_{\sigma l} + R_i^2 \cdot X_{\sigma l} + X_{r1} \cdot X_{\sigma l} \cdot X_{\sigma i}}{R_i^2 + X_{\sigma l}^2}$$

$$R_r = R_{2i} + R_{2d} = 4,537 \times 10^{-4} + 0,4841 \times 10^{-4} = 5,021 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

$$X_r = X_{\sigma l} + X_{\sigma i} = 3,11 \times 10^{-4} + 7,961 \times 10^{-4} = 11,071 \times 10^{-4}$$

$$R_{2r} = \frac{4,537 \times 0,4841 \times 5,021 \times 10^{-13} + 4,537 \times 10^{-4} \times (7,961 \times 10^{-4})^2 + 0,4841 \times 10^{-4} \times (3,11 \times 10^{-4})^2}{(5,021 \times 10^{-4})^2 + (11,071 \times 10^{-4})^2}$$

$$X_{2\sigma} = \frac{(4,537 \times 10^{-4})^2 \times 7,961 \times 10^{-4} + (0,4841 \times 10^{-4})^2 \times 3,11 \times 10^{-4} + 11,071 \times 7,961 \times 3,11 \times 10^{-12}}{(5,021 \times 10^{-4})^2 + (11,071 \times 10^{-4})^2}$$

$$R_{2r} = \frac{11,027 \times 10^{-13} + 287,543 \times 10^{-12} + 4,682 \times 10^{-12}}{147,77 \times 10^{-8}}$$

$$R_{2r} = 1,985 \times 10^{-4} \Omega$$

$$X_{2\sigma} = \frac{163,872 \times 10^{-12} + 0,728 \times 10^{-12} + 274,1 \times 10^{-12}}{147,77 \times 10^{-8}}$$

$$X_{2\sigma} = 2,968 \times 10^{-4} \Omega$$

$$X_{2\sigma} = X_{2\sigma} + X_{2ht} = 2,968 \times 10^{-4} + 1,511 \times 10^{-4} = 4,479 \times 10^{-4}$$

$$X'_{2\sigma} = 1,64 \quad x'_{2\sigma} = 0,109$$

$$R'_2 = 0,751 \quad ; \quad r'_2 = 0,0349$$

Magnetik devrenin toplam magnetik gerilimi;

$$\begin{aligned} \theta_{lamdevre} &= \sum V = 2V_{\delta} + 2V_{d1} + 2V_{d2} + V_{j1} + V_{j2} \\ &= 2 \times 1213,823 + 67,2 + 518,53 + 147,753 + 110,46 \\ &= 3271,589 \text{ A} \end{aligned}$$

Mıknatıslanma akımının efektif değeri;

$$I_{\mu} = \frac{p \times \sum V}{0,9 \times m_1 \times w_1 \times \xi_s} = \frac{3 \times 3271,589}{0,9 \times 3 \times 144 \times 0,924} = 27,32 \text{ A}$$

$$X_m = \frac{|\vec{E}|}{I_{\mu}} = \frac{2582,79}{27,32} = 94,538 \Omega$$

Stator dağılıma faktörü

$$\sigma_1 = \frac{X_{1\sigma}}{X_m} = \frac{5,23}{94,538} = 0,0553$$

$$\tau_1 = 1 + \sigma_1 = 1,0553$$

Tashihli L eşdeğer devreden s=1 için kalkış akımı

$$I_{1k} = \frac{\tau_1 \times U_1}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}}$$

$$R_K = \tau_1 \cdot R_1 + \tau_1^2 \cdot R'_2 = 1,0553 \times 0,3 + 1,0553^2 \times 0,751 = 1,152$$

$$X_K = \tau_1 \cdot X_{1\sigma} + \tau_1^2 \cdot X'_{2\sigma} = 1,0553 \times 5,23 + 1,0553^2 \times 1,64 = 7,345$$

$$I_{1k} = \frac{1,0553 \times 4000}{\sqrt{3} \times 7,435} = 327,788 \text{ A}$$

Yol alma momenti

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times n} \times m_1 \times \frac{U_1^2 \times R_2'}{(R_1 + \tau_1 \times R_2')^2 + X_k^2}$$

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times 1000} \times 3 \times \frac{2310^2 \times 0,751}{(0,3 + 1,0553 \times 0,751)^2 + 7,345^2}$$

$$M_{dy} = 2081,943 \text{ Nm}$$

Yol vermedeki iyilik derecesi

$$g = \frac{M_{dy}/M_{dN}}{I_{1K}/I_{1N}} = \frac{2081,943/4774,64}{327,788/88} = 0,117$$

Devrilme momenti

$$M_{dD} = \frac{50}{2\pi \times n} \times \frac{m_1}{2} \times \frac{U_1^2}{\left[\tau_1 \times R_1 + \sqrt{(\tau_1 \times R_1)^2 + X_k^2} \right]}$$

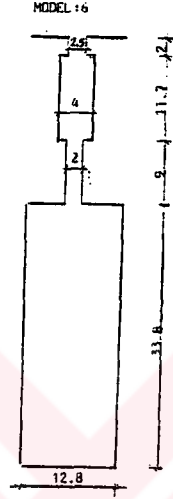
$$M_{dD} = \frac{50}{2\pi \times 1000} \times \frac{3}{2} \times \frac{2310^2}{1,0553 \times 0,3 + \sqrt{(1,0553 \times 0,3)^2 + 7,345^2}}$$

$$M_{dD} = 8306,155 \text{ Nm}$$

$$\cos \varphi_K = \frac{R_K}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}} = \frac{1,152}{7,435} = 0,154 \Rightarrow \varphi_K = 81,086^\circ$$

1.2.6 6. Makina Modelinin Tanıtımı ve Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesabı

Bu modele ilişkin rotor oluk şekli şekil 1.20’de verilmiştir.



Şekil 1.20 6. Modele ilişkin rotor oluk şekli

Yol alma kafesinin halka büyüklükleri

$$b_{hd} = 7,3 \text{ mm} \quad h_{hd} = 25 \text{ mm}$$

Çalışma kafesinin halka büyüklükleri

$$h_{hi} = 75 \text{ mm} \quad b_{hi} = 21,18 \text{ mm}$$

$$D_{hi} = 472,4 \text{ mm} \quad D_{hd} = 572,4 \text{ mm}$$

Faz başına yolalma kafesinin ohmik direnci; % 10 lehim yerleri için ilavelerle birlikte.

$$R_{2d} = \rho \times \left(\frac{l_{\zeta d}}{q_{\zeta d}} + \frac{D_{hd} \times N_2}{2\pi \times p^2 \times q_{hd}} \right) \times 1,1$$

$$R_{2d} = 0,0264 \times 1,1 \times \left(\frac{0,579}{46,8} + \frac{0,572 \times 58}{2\pi \times 9 \times 182,5} \right)$$

$$R_{2d} = 4,526 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

$$R_{2l} = 0,0264 \times 1,1 \times \left(\frac{0,579}{432,55} + \frac{0,472 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1588,56} \right)$$

$$R_{2l} = 4,772 \times 10^{-5} \quad \Omega$$

$$R_i = R_{2l} + R_{2d} = 5 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Diş genişlikleri;

$$h_{d2}^I = (600 - 2,6 - 15,7) \frac{\pi}{58} - 4 = 27,5 \quad \text{mm}$$

$$h_{d2}^{II} = (600 - 2,6 - 36,4) \frac{\pi}{58} - 2 = 28,386 \quad \text{mm}$$

$$h_{d2}^{III} = (600 - 2,6 - 79,2) \frac{\pi}{58} - 12,8 = 15,26 \quad \text{mm}$$

$$B_{d2}^I = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b_{d2}^I} \cdot B_\delta = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 2,75} = 0,822 \quad \text{T}$$

$$B_{d2}^{II} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b_{d2}^{II}} \cdot B_\delta = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 2,8386} = 0,796 \quad \text{T}$$

$$B_{d2}^{III} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b_{d2}^{III}} \cdot B_\delta = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 1,526} = 1,482 \quad \text{T}$$

Şekil 1.6'dan bu endüksiyonlara ait alan şiddetleri ise $H_{d2}^I = 4,2 \text{ A/cm}$

$$H_{d2}^{II} = 3,9 \text{ A/cm} \quad , \quad H_{d2}^{III} = 10 \text{ A/cm}$$

Rotor dişlerindeki toplam magnetik gerilim

$$2V_{d2} = 2(l_{d2}^I \times H_{d2}^I + l_{d2}^{II} \times H_{d2}^{II} + l_{d2}^{III} \times H_{d2}^{III})$$

$$2V_{d2} = 2 \times (4,2 \times 1,3 + 0,9 \times 3,9 + 3,38 \times 10) = 85,54 \quad \text{A}$$

$$h_{j2} = 117,4 \text{ mm idi.}$$

Rotor iç çapı $D_{riç}$ ise

$$D_{riç} = 600 - (2,6 + 113 + 117,4) = 367 \quad \text{mm}$$

$$l_{j2} = \frac{\pi \times (D_{riç} + h_{j2})}{2p}$$

$$l_{j2} = \frac{\pi \times (367 + 117,4)}{6} = 253,63 \text{ mm} = 25,363 \text{ cm}$$

Rotor boyunduruğundaki toplam magnetik gerilim

$$V_{j2} = l_{j2} \times H_{j2} = 4,2 \times 25,363 = 106,52 \text{ A}$$

Rotor boyunduruk ağırlığı ;

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{D_{n\zeta} + h_{j2}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{n\zeta}}{2} \right)^2 \right] \times \pi \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{36,7 + 11,3}{2} \right)^2 - \left(\frac{36,7}{2} \right)^2 \right] \times \pi \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{j2} = 231,841 \text{ kg}$$

Rotor dişlerinin ağırlığı;

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{D_r}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_r - 2h_{02}}{2} \right)^2 \right] - N_2 \times [S + h_{02} \times b_{02}] \right\} \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{Fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{59,74}{2} \right)^2 - \left(\frac{59,74 - 11,3}{2} \right)^2 \right] - 58 \times [4,76 + 0,2 \times 0,25] \right\} \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = 210,067 \text{ kg}$$

Rotor reaktanslarının hesabı

Yol alma kafesinin dağılma reaktansı

$$\lambda_{02d} = \frac{h_d}{b_d} + \frac{h_d}{3b_d} = \frac{11,7}{12} + \frac{2}{2,5} = 1,775$$

$$\Lambda_{02d} = 47,1 \times 1,775 = 83,6$$

Bobin başı dağılma iletkenliği

$$y = 0,223 \times (b_{hi} + h_{hi}) = 0,223(7,3 + 25) = 0,72 \text{ cm}$$

$$x = 194,816 \text{ mm için } \frac{x}{y} = 27,05 \quad \frac{\tau_p}{x} = \frac{31,41}{19,481} = 1,612$$

Şekil 1.14'den $g_{bb} = 0,45$ bulunur.

$$\Lambda_{bb2} = \frac{58}{6 \times 3} \times 31,41 \times 0,36 = 36,43$$

Yol alma kafesinin reaktansı

$$X_{2\sigma l} = 0,8 \times \pi^2 \times f \times (\Lambda_{0d} + \Lambda_{bb}) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma l} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (83,6 + 36,43) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma l} = 4,738 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Çalışma kafesinin dağılma reaktansı

$$\lambda_{0i} = \frac{h_d}{2h_d} + \frac{h_g}{h_g} + \frac{h_l}{3h_l} = \frac{11,7}{2 \times 4} + \frac{9}{2} + \frac{33,8}{3 \times 12,8} = 6,84$$

$$\Lambda_{0i} = l_{0i} \times \lambda_{0i} = 47,1 \times 6,84 = 322,164$$

Bobin başı dağılma iletkenliği

$$y = 0,223 \times (b_{hi} + h_{hi}) = 0,223(75 + 21,18) = 21,448 \text{ mm} = 2,1448 \text{ cm}$$

$$x = 205,16 \text{ mm için } \frac{x}{y} = 9,56 \quad \frac{\tau_p}{x} = \frac{31,41}{20,51} = 1,531$$

Şekil 1.14'den $g_{bb} = 0,27$ bulunur.

$$\Lambda_{bbi} = \frac{N_2}{2p \times m} \times \tau_p \times g_{bb}$$

$$\Lambda_{bbi} = \frac{58}{6 \times 3} \times 31,41 \times 0,27 = 27,32$$

$$X_{2\sigma i} = 0,8 \times \pi^2 \times f' \times (\Lambda_{0i} + \Lambda_{bbi}) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma i} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (322,164 + 27,32) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma i} = 13,79 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Çift kafesli ve kısa devre halkaları bağımsız rotorun bileşke ohmik direnci ile bileşke dağılma reaktansı $s=1$ için

$$R_{2r} = \frac{R_d \cdot R_l \cdot R_s + R_d \cdot X_{\sigma i}^2 + R_l \cdot X_{\sigma d}^2}{R_l^2 + X_{\sigma i}^2}$$

$$X_{2\sigma r} = \frac{R_d^2 \cdot X_{\sigma i} + R_l^2 \cdot X_{\sigma d} + X_{\sigma i} \cdot X_{\sigma d} \cdot X_{\sigma i}}{R_l^2 + X_{\sigma i}^2}$$

$$R_{2r} = \frac{4,526 \times 4,772 \times 5 \times 10^{-13} + 4,526 \times 10^{-4} \times (13,79 \times 10^{-4})^2 + 4,772 \times 10^{-5} \times (4,738 \times 10^{-4})^2}{(5 \times 10^{-4})^2 + (18,535 \times 10^{-4})^2}$$

$$R_{2r} = \frac{107,99 \times 10^{-13} + 860,682 \times 10^{-12} + 107,12 \times 10^{-13}}{368,54 \times 10^{-8}}$$

$$R_{2r} = 8,172 \times 10^{-5} \quad \Omega$$

$$X_{2\sigma r} = \frac{(4,526 \times 10^{-4})^2 \times 13,79 \times 10^{-4} + (4,772 \times 10^{-5})^2 \times 4,738 \times 10^{-4} + 18,535 \times 4,735 \times 13,79 \times 10^{-12}}{368,54 \times 10^{-8}}$$

$$X_{2\sigma r} = \frac{282,483 \times 10^{-12} + 107,893 \times 10^{-14} + 1211,02 \times 10^{-12}}{368,54 \times 10^{-8}}$$

$$X_{2\sigma r} = 4,055 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

$$R_l = R_l + R_d = 4,772 \times 10^{-4} + 4,526 \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

$$X_{\sigma l} = X_{\sigma l} + X_{\sigma l} = 13,79 \times 10^{-4} + 4,738 \times 10^{-4} = 18,535 \times 10^{-4}$$

$$X'_{2\sigma} = 1,485 \quad x'_{2\sigma} = 0,0987$$

$$R'_2 = 0,299 \quad ; \quad r'_2 = 0,0138$$

Magnetik devrenin toplam magnetik gerilimi;

$$\begin{aligned} \theta_{\text{tamdevre}} &= \sum V = 2V_{\delta} + 2V_{d1} + 2V_{d2} + V_{f1} + V_{f2} \\ &= 2 \times 1213,823 + 67,2 + 106,52 + 147,753 + 85,54 \\ &= 2384,65 \text{ A} \end{aligned}$$

Mıknatıslanma akımının efektif değeri;

$$I_{\mu} = \frac{p \times \sum V}{0,9 \times m_1 \times w_1 \times \xi_s} = \frac{3 \times 2384,65}{0,9 \times 3 \times 144 \times 0,924} = 23,671 \text{ A}$$

$$X_m = \frac{|\vec{E}|}{I_{\mu}} = \frac{2582,79}{23,671} = 109,11 \quad \Omega$$

Stator dağılıma faktörü

$$\sigma_1 = \frac{X_{1\sigma}}{X_m} = \frac{5,23}{109,11} = 0,0479$$

$$\tau_1 = 1 + \sigma_1 = 1,0479$$

Tashihli L eşdeğer devreden s=1 için kalkış akımı

$$I_{lk} = \frac{\tau_1 \times U_1}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}}$$

$$R_K = \tau_1 \cdot R_l + \tau_1^2 \cdot R'_2 = 1,0479 \times 0,3 + 1,0479^2 \times 0,299 = 0,642$$

$$X_K = \tau_1 \cdot X_{1\sigma} + \tau_1^2 \cdot X'_{2\sigma} = 1,0479 \times 5,23 + 1,0479^2 \times 1,485 = 7,111$$

$$I_{lk} = \frac{1,0479 \times 4000}{\sqrt{3} \times 7,139} = 338,939 \text{ A}$$

Yol alma momenti

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times n} \times m_1 \times \frac{U_1^2 \times R'_2}{(R_l + \tau_1 \times R'_2)^2 + X_K^2}$$

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times 1000} \times 3 \times \frac{2310^2 \times 0,299}{(0,3 + 1,0479 \times 0,299)^2 + 7,111^2}$$

$$M_{dy} = 897,237 \text{ Nm}$$

Yol vermedeki iyilik derecesi

$$g = \frac{M_{dy}/M_{dN}}{I_{1K}/I_{1N}} = \frac{897,237/4774,64}{338,939/88} = 0,08$$

Devrilme momenti

$$M_{dD} = \frac{50}{2\pi \times n} \times \frac{m_1}{2} \times \frac{U_1^2}{\left[\tau_1 \times R_1 + \sqrt{(\tau_1 \times R_1)^2 + X_K^2} \right]}$$

$$M_{dD} = \frac{50}{2\pi \times 1000} \times \frac{3}{2} \times \frac{2310^2}{1,0479 \times 0,3 + \sqrt{(1,0479 \times 0,3)^2 + 7,111^2}}$$

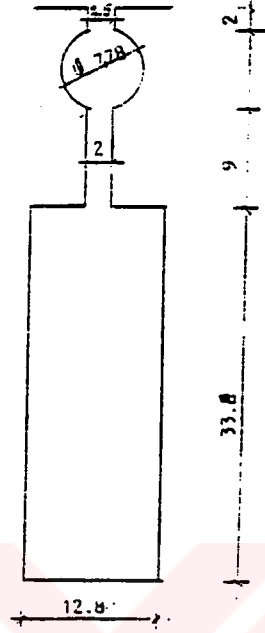
$$M_{dD} = 8570 \text{ Nm}$$

$$\cos \varphi_K = \frac{R_K}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}} = \frac{0,642}{7,139} = 0,0899 \Rightarrow \varphi_K = 84,843^\circ$$



1.2.7 7. Makina Modelinin Tanıtımı ve Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hesabı

Bu modele ilişkin rotor oluk şekli şekil 1.21’de verilmiştir.



Şekil 1.21 7. Modele ilişkin rotor oluk şekli

Yol alma kafesinin halka büyüklükleri

$$b_{hd} = 9,125 \text{ mm} \quad h_{hd} = 20 \text{ mm}$$

Çalışma kafesinin halka büyüklükleri

$$h_{hi} = 50 \text{ mm} \quad b_{hi} = 31,7712 \text{ mm}$$

Dış genişlikleri;

$$b'_{d2} = (600 - 2,6 - 11,718) \frac{\pi}{58} - 7,718 = 24 \text{ mm}$$

$$b''_{d2} = (600 - 2,6 - 28,436) \frac{\pi}{58} - 2 = 28,818 \text{ mm}$$

$$b'''_{d2} = (600 - 2,6 - 71,236) \frac{\pi}{58} - 12,8 = 15,699 \text{ mm}$$

$$B'_{d2} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b'_{d2}} \cdot B_{\delta} = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 2,4} = 0,943 \quad T$$

$$B''_{d2} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b''_{d2}} \cdot B_{\delta} = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 2,8818} = 0,784 \quad T$$

$$B'''_{d2} = \frac{L_i}{k_{fe} \cdot L_{Topl}} \cdot \frac{\tau_{02}}{b'''_{d2}} \cdot B_{\delta} = \frac{40,35 \times 3,249 \times 0,826}{0,97 \times 49,3 \times 1,5699} = 1,442 \quad T$$

Şekil 1.6'daki mıknatıslanma eğrilerinden $p_i > 3 \text{ W/kg}$ 'lık saç için bu endüksiyonlara ait alan şiddetleri ise $H_{d2}' = 4,7 \text{ A/cm}$ $H_{d2}'' = 4 \text{ A/cm}$,
 $H_{d2}''' = 10 \text{ A/cm}$

Rotor dişlerindeki toplam magnetik gerilim

$$2V_{d2} = 2(l'_{d2} \times H'_{d2} + l''_{d2} \times H''_{d2} + l'''_{d2} \times H'''_{d2})$$

$$2V_{d2} = 2 \times (4,7 \times 0,978 + 0,9 \times 4 + 3,36 \times 10) = 41,796 \quad A$$

Rotor boyunduruğunun l_{j2} uzunluğu, boyunduruk ortasında ölçülen kutup taksimatına eşittir.

Rotor iç çapı $D_{riç}$ ise

$$D_{riç} = 600 - (2,6 + 113 + 117,4) = 374,964 \quad \text{mm}$$

Bu durumda l_{j2} ise;

$$l_{j2} = \frac{\pi \times (D_{riç} + h_{j2})}{2p}$$

$$l_{j2} = \frac{\pi \times (374,964 + 117,4)}{6} = 257,801 \quad \text{mm}$$

Rotor boyunduruğunun kısmi magnetik gerilimi V_{j2} ;

$$V_{j2} = l_{j2} \times H_{j2} \text{ dir. } B_{j2} = 0,843 \text{ T için şekil 1.6'dan } H_{j2} = 4,2 \text{ A/cm dir.}$$

$$V_{j2} = 108,276 \text{ dir.}$$

Rotor boyunduruk ağırlığı ;

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{D_{riç} + h_{j2}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{riç}}{2} \right)^2 \right] \times \pi \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{j2} = \left[\left(\frac{37,49 + 10,51}{2} \right)^2 - \left(\frac{37,49}{2} \right)^2 \right] \times \pi \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{j2} = 217,645 \quad \text{kg}$$

Rotor dişlerinin ağırlığı;

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{D_r}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_r - 2h_{02}}{2} \right)^2 \right] - N_2 \times [S + h_{02} \times b_{02}] \right\} \times k_{fe} \times L_i \times \gamma_{Fe} \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = \left\{ \pi \left[\left(\frac{59,74}{2} \right)^2 - \left(\frac{59,74 - 10,516}{2} \right)^2 \right] - 58 \times [4,7 + 0,2 \times 0,25] \right\} \times 0,97 \times 40,35 \times 7,88 \times 10^{-3}$$

$$G_{d2} = 192,588 \text{ kg}$$

Rotor reaktanslarının hesabı

Yol alma kafesinin dağılma reaktansı

$$\lambda_{02d} = 0,66 + \frac{h_4}{b_4} = 0,66 + \frac{2}{2,5} = 1,46$$

$$\Lambda_{0d} = 47,1 \times 1,46 = 68,766$$

Bobin başı dağılma iletkenliği

$$\Lambda_{bb2d} = \frac{Z_2}{2p \times m_1} \times \tau_p \times g_{bb}$$

$$y = 0,223 \times (b_{hd} + h_{hd})$$

$$b_{hd} = 20 \text{ mm}, h_{hd} = 9,125 \text{ mm için } y = 6,494 \text{ bulunur.}$$

$$x_d = 200 \text{ mm olduğundan } \frac{x_d}{y} = 3 \quad \frac{\tau_p}{x_d} = 1,57 \text{ bulunur.}$$

Şekil 1.14'den $g_{bb} = 0,075$ bulunur. Böylece;

$$\Lambda_{bbd} = \frac{58}{6 \times 3} \times 31,41 \times 0,075 = 7,59$$

Yol alma kafesinin reaktansı

$$X_{2cd} = 0,8 \times \pi^2 \times f \times (\Lambda_{0d} + \Lambda_{bbd}) \times 10^{-8}$$

$$X_{2cd} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (68,766 + 7,59) \times 10^{-8}$$

$$X_{2cd} = 3,0144 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Çalışma kafesinin dağılma iletkenliği

$$\lambda_{0i} = 0,8 + \frac{h_g}{b_g} + \frac{h_i}{3b_i} = 0,8 + \frac{4}{2} + \frac{33,8}{3 \times 12,8} = 3,68$$

$$\Lambda_{0i} = l_{0i} \times \lambda_{0i} = 47,1 \times 3,68 = 173,328$$

Bobin başı dağılma iletkenliği

$$y = 0,223 \times (b_{hi} + h_{hi}) = 0,223(5 + 3,177) = 1,823$$

$$x = 209 \text{ mm için } \frac{x}{y} = 11,46 \quad \tau_p / x = \frac{31,41}{20,51} = 1,5$$

Şekil 1.14'den $g_{bb} = 0,28$ bulunur.

Bu durumda bobin başı dağılma iletkenliği

$$\Lambda_{bb} = \frac{N_2}{2p \times m} \times \tau_p \times g_{bb}$$

$$\Lambda_{bb} = \frac{58}{6 \times 3} \times 31,41 \times 0,28 = 28,336$$

Çalışma kafesinin reaktansı

$$X_{2\sigma l} = 0,8 \times \pi^2 \times f \times (\Lambda_{\sigma l} + \Lambda_{bb}) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma l} = 0,8 \times \pi^2 \times 50 \times (173,328 + 28,336) \times 10^{-8}$$

$$X_{2\sigma l} = 7,961 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Halkalanma reaktansı ; bir önceki bölümle aynı değerdedir, çünkü, makina büyüklükleri değişmemiştir.

Faz başına yol alma kafesinin ohmik direnci

$$R_{2d} = \rho \times \left(\frac{l_{\zeta d}}{q_{\zeta d}} + \frac{D_{hd} \times N_2}{2\pi \times p^2 \times q_{hd}} \right) \times 1,1$$

$$R_{2d} = 0,0264 \times 1,1 \times \left(\frac{0,579}{47,53} + \frac{0,579 \times 58}{2\pi \times 9 \times 182,5} \right)$$

$$R_{2d} = 4,482 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

$$D_{hi} = 600 - (0,26 + 40 + 50) = 509,74 \text{ mm}$$

$$R_{2i} = 0,0264 \times 1,1 \times \left(\frac{0,579}{432,64} + \frac{0,50974 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1588,56} \right)$$

$$R_{2i} = 4,842 \times 10^{-5} \quad \Omega$$

$$R_r = R_{2i} + R_{2d} = 4,966 \times 10^{-4} \quad \Omega$$

Çift kafesli ve kısa devre halkaları bağımsız rotorun bileşke ohmik direnci ile bileşke reaktansı $s=1$ için

$$R_{2r} = \frac{R_d \cdot R_l \cdot R_s + R_d \cdot X_{\sigma l}^2 + R_l \cdot X_{\sigma d}^2}{R_l^2 + X_{\sigma l}^2}$$

$$X_{2\sigma r} = \frac{R_d^2 \cdot X_{\sigma l} + R_l^2 \cdot X_{\sigma d} + X_{\sigma l} \cdot X_{\sigma d} \cdot X_{\sigma l}}{R_l^2 + X_{\sigma l}^2}$$

$$R_{2r} = \frac{4,482 \times 4,842 \times 4,966 \times 10^{-13} + 4,482 \times 10^{-4} \times (7,962 \times 10^{-4})^2 + 4,966 \times 10^{-5} \times (3,0441 \times 10^{-4})^2}{(4,966 \times 10^{-4})^2 + (10,975 \times 10^{-4})^2}$$

$$R_{2r} = \frac{107,72 \times 10^{-13} + 284,12 \times 10^{-12} + 45,124 \times 10^{-13}}{145,111 \times 10^{-8}}$$

$$R_{2r} = 1,249 \times 10^{-4} \Omega$$

$$X_{2\sigma} = \frac{(4,482 \times 10^{-4})^2 \times 7,961 \times 10^{-4} + (4,842 \times 10^{-5})^2 \times 3,0144 \times 10^{-4} + 3,0144 \times 7,961 \times 10,975 \times 10^{-12}}{(4,966 \times 10^{-4})^2 + (10,975 \times 10^{-4})^2}$$

$$X_{2\sigma} = \frac{282,483 \times 10^{-12} + 107,893 \times 10^{-14} + 1211,02 \times 10^{-12}}{145,111 \times 10^{-8}}$$

$$X_{2\sigma} = 2,921 \times 10^{-4} \Omega$$

$$X_{2\sigma} = X_{2\sigma r} + X_{2\sigma h} = 2,921 \times 10^{-4} + 1,511 \times 10^{-4} = 4,432 \times 10^{-4}$$

$$X'_{2\sigma} = 1,623 \quad x'_{2\sigma} = 0,1079$$

$$R'_2 = 0,457 \quad ; \quad r'_2 = 0,0212$$

Magnetik devrenin toplam magnetik gerilimi;

$$\begin{aligned} \theta_{\text{tamdevre}} &= \sum V = 2V_{\delta} + 2V_{d1} + 2V_{d2} + V_{j1} + V_{j2} \\ &= 2 \times 1213,823 + 67,2 + 41,796 + 147,753 + 108,276 \\ &= 2792,671 \text{ A} \end{aligned}$$

Mıknatıslanma akımının efektif değeri;

$$\begin{aligned} I_{\mu} &= \frac{p \times \sum V}{0,9 \times m_1 \times w_1 \times \xi_s} = \frac{3 \times 2792,671}{0,9 \times 3 \times 144 \times 0,924} = 23,32 \text{ A} \\ X_m &= \frac{|\vec{E}|}{I_{\mu}} = \frac{2582,79}{23,32} = 110,75 \Omega \end{aligned}$$

Stator dağılıma faktörü

$$\sigma_1 = \frac{X_{1\sigma}}{X_m} = \frac{5,23}{110,75} = 0,0472$$

$$\tau_1 = 1 + \sigma_1 = 1,0472$$

Tashihli L eşdeğer devreden s=1 için kalkış akımı

$$I_{1k} = \frac{\tau_1 \times U_1}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}}$$

$$R_K = \tau_1 \cdot R_l + \tau_1^2 \cdot R'_2 = 1,0472 \times 0,3 + 1,0472^2 \times 0,457 = 0,815$$

$$X_K = \tau_1 \cdot X_{1\sigma} + \tau_1^2 \cdot X'_{2\sigma} = 1,0472 \times 5,23 + 1,0472^2 \times 1,623 = 7,256$$

$$I_{1k} = \frac{1,0472 \times 4000}{\sqrt{3} \times 7,3} = 331,183 \text{ A}$$

Yol alma momenti

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times n} \times m_1 \times \frac{U_1^2 \times R_2'}{(R_1 + \tau_1 \times R_2')^2 + X_K^2}$$

$$M_{dy} = \frac{60}{2\pi \times 1000} \times 3 \times \frac{2310^2 \times 0,457}{(0,3 + 1,0472 \times 0,457)^2 + 7,256^2}$$

$$M_{dy} = 1311,79 \text{ Nm}$$

Yol vermedeki iyilik derecesi

$$g = \frac{M_{dy}/M_{dN}}{I_{1K}/I_{1N}} = \frac{1311,79/4774,64}{331,183/88} = 0,073$$

Devrilme momenti

$$M_{dD} = \frac{50}{2\pi \times n} \times \frac{m_1}{2} \times \frac{U_1^2}{\left[\tau_1 \times R_1 + \sqrt{(\tau_1 \times R_1)^2 + X_K^2} \right]}$$

$$M_{dD} = \frac{50}{2\pi \times 1000} \times \frac{3}{2} \times \frac{2310^2}{1,0472 \times 0,3 + \sqrt{(1,0472 \times 0,3)^2 + 7,256^2}}$$

$$M_{dD} = 8406,4 \text{ Nm}$$

$$\cos \varphi_K = \frac{R_K}{\sqrt{R_K^2 + X_K^2}} = \frac{0,815}{7,3} = 0,11 \Rightarrow \varphi_K = 83,58^\circ$$

1.3 Çeşitli Modellerin Performanslarının İncelenmesi

1.3.1 1.Makina Modeli İçin Performansların Hesabı

Rotor yüzey kaybı

$$P_{ky2} = \frac{k_0}{2} \times \left(\frac{N_1 \times n}{10000} \right)^{1,5} \times \left(\frac{\tau_{01} \times B'_1 \times k_{c1} \times B_\delta}{0,1} \right)^2 \times \pi \times D_r \times \frac{\tau_{02} - a_{02}}{\tau_{02}} \times k_{Fe} \times L_i$$

$$a_{01}/\delta = 1,15/0,26 = 4,42$$

Şekil 1.13'den $\beta_1=0,27$ bulunur. Rotorda 0,5 mm.'lik saç kullanıldığından $k_0=2,5$ 'dir. Şu halde;

$$P_{ky2} = \frac{2,5}{2} \times \left(\frac{72 \times 1000}{10000} \right)^{1,5} \times \left(\frac{3,141 \times 0,27 \times 1,388 \times 0,826}{0,1} \right)^2 \times \pi \times 0,5974 \times \frac{3,249 - 0,25}{3,249} \times 0,97 \times 0,4035$$

$$P_{ky2} = 1548 \text{ W}$$

Rotor pulzasyon kayıpları

$$P_{kp2} = \frac{k_p}{2} \times \sigma_w \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{N_1 \times n}{10000} \times \frac{B_{p2}}{0,1} \right)^2 \times G_{d2}$$

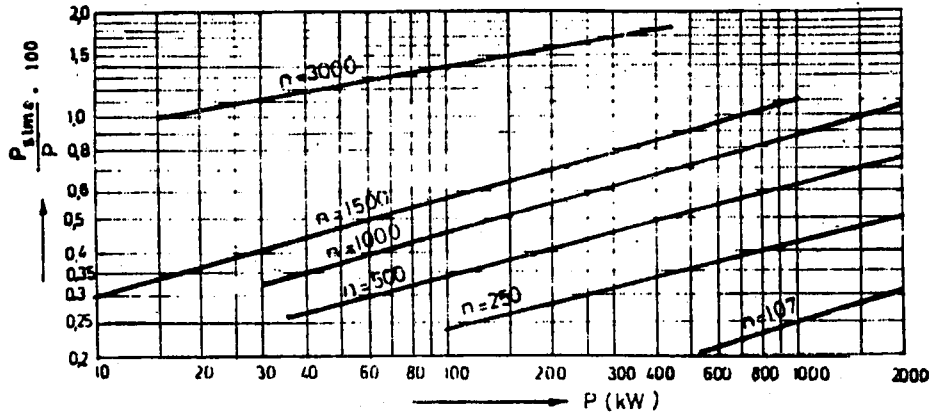
Bu denklemde $k_p=1,9$; $\sigma_w=1,6$; $G_{d2} = 203 \text{ kg}$

$$P_{kp2} = \frac{1,9}{2} \times 1,6 \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{72 \times 1000}{10000} \times \frac{0,111}{0,1} \right)^2 \times 203 = 547,454 \text{ W}$$

% 10 emniyet payı ve çıplak çubukların oluklara sürülmesi dolayısıyla meydana gelecek ilave kayıpları gözetmek amacıyla % 30 'luk ilave yapılmak suretiyle toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları

$$\begin{aligned} \Sigma P_{ky+P} &= (P_{ky1} + P_{kp1} + P_{kp2} + P_{ky2}) \times 1,1 \times 1,3 \\ &= (53,519 + 6,988 + 547,454 + 1548) \times 1,1 \times 1,3 \\ P_{ky+P} &= 3083,024 \text{ W} \text{ bulunur.} \end{aligned}$$

Hava ve yatak sürtünme kayıpları için şekil 1.21'den $\frac{P_{stme}}{P} \times 100 = 0,7$ bulunur.



Şekil 1.22 Asenkron makinanın hava ve yatak sürtünme kayıpları

Buna ilave olarak vantilatörler için % 1 gelmekte ve böylece

$$P_{k_{sme}} = 500 \times 10^3 \times 0,017 \cong 8500 \text{ W}$$

Çubuk akımı ; $s=0,0035$

$$I_{\zeta K} \cong I_2 = \frac{P_m + P_{sme} + P_{ky+p}}{N_2 \times E_{\zeta k} \times (1-s)} = \frac{500000 + 8500 + 3083,024}{58 \times 8,348 \times 0,9965}$$

$$I_2 = 1060,3 \text{ A}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = m_2 \times I_2^2 \times R_2 = 58 \times (1060,3)^2 \times 4,19 \times 10^{-5} = 2732,113 \text{ W}$$

Toplam kayıplar

Stator sargısı ohmik kayıpları

$$P_{kCu1} = 6969,6 \text{ W}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = 2732,113 \text{ W}$$

İlave kayıplar

$$P_{kilave} = 3000 \text{ W}$$

Stator saç paketi demir kayıpları

dişlerdeki kayıplar

$$P_{kdl} = 808,41 \text{ W}$$

boyunduruk kayıpları

$$P_{kjl} = 1692,368 \text{ W}$$

Stator ve rotorun toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları

$$3083,024 \text{ W}$$

Hava ve yatak sürtünme kayıpları

$$P_{ksürtünme} = 8500 \text{ W}$$

Toplam kayıplar

$$P_k = 26785,515 \text{ W}$$

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_n + \sum P_{kayıp}} = \frac{500}{500 + 26,785515} = 0,94915 = \% 94,915$$

Boşta çalışma akımının aktif bileşeni

$$I_v = \frac{P_{kj1} + P_{kd1} + P_{ky+p} + P_{kme}}{m_1 \times U_1} = \frac{1692,368 + 808,41 + 3083,024 + 8500}{3 \times \frac{4000}{\sqrt{3}}}$$

$$I_v = 2,0328 \text{ A}$$

$$I_2' = \ddot{u} \times I_2 = 0,0724 \times 1060,3 = 76,765$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği reaktif güç (P_{dew})

$$\begin{aligned} P_{dew} &= m_1 \times [E_1 \times I_\mu + X_{1\sigma} \times I_1^2 + X_{2\sigma}' \times I_2'^2] \times 10^{-3} \text{ kVAR} \\ P_{dew} &= 3 \times [2221,64 \times 23,6 + 5,23 \times 88^2 + 2,692 \times 76,765^2] \times 10^{-3} \\ &= 326,387 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği aktif güç

$$P_w = \frac{P_n}{\eta} = \frac{500}{0,94915} = 526,787 \text{ kW}$$

Nominal yükteki güç faktörü

$$\cos \varphi_n = \frac{P_w}{\sqrt{P_w^2 + P_{dew}^2}} = \frac{526,787}{619,704} = 0,85$$

Boşta çalışma akımı

$$I_0 = \sqrt{I_N^2 + I_v^2} = \sqrt{23,6^2 + 2,0328^2} = 23,687 \text{ A}$$

Boşta çalışmada güç faktörü

$$\cos \varphi_{10} = \frac{I_v}{I_0} = \frac{2,0328}{23,687} = 0,0858 \quad \varphi_{10} = 85,076$$

$$R_m = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{I}_v|} = \frac{2582,79}{2,0328} = 1270,55 \quad \Omega \quad r_m = 59,0353$$

Halka Direnci;

$$R_h = \rho \times 1.1 \times \frac{D_h N_2}{2\pi p^2 q_{hi}} = 0.0264 \times 1.1 \times \frac{0.477 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1588.56} = 8.943 \times 10^{-6}$$

$$\Delta R_h = \frac{R_h}{N_2 \times 2 \times \sin^2(\pi p / N_2)} = \frac{8.943 \times 10^{-6}}{58 \times 2 \times \sin^2(3\pi / 58)} = 2.945 \times 10^{-6}$$

$$R_{\zeta K} = \rho \times \frac{L_{\zeta K}}{q_{\zeta K}} \times 1.1 = 0.0264 \times 1.1 \times \frac{0.57}{432.64} = 3.826 \times 10^{-5}$$

$$s = \frac{I_{\zeta K}}{E_{\zeta K}} [R_{\zeta K} + \Delta R_h] = \frac{1060.3}{8.348} (3.826 + 0.8943) \times 10^{-5}$$

$$s\% = 0.599$$



1.3.2. 2. Makina Modeli İçin Performans Hesabı

Rotor pulzasyon kayıpları

$$P_{kp2} = \frac{k_p}{2} \times \sigma_w \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{N_1 \times n}{10000} \times \frac{B_{p2}}{0,1} \right)^2 \times G_{d2}$$

$$\gamma_1 = \frac{\left(\frac{a_{01}}{\delta} \right)^2}{5 + \frac{a_{01}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{11,5}{1,3} \right)^2}{5 + \frac{11,5}{1,3}} = 5,66$$

$$B_{p2} = \frac{\gamma_1 \times \delta}{2\tau_{02}} \cdot B_{dort} = \frac{5,66 \times 0,13 \times 1,0358}{2 \times 3,249} = 0,117$$

$$P_{kp2} = \frac{1,9}{2} \times 1,6 \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{72 \times 1000}{10000} \times \frac{0,117}{0,1} \right)^2 \times 468,34 = 2806,52 \text{ W}$$

% 10 emniyet payı ve çıplak çubukların oluklara sürülmesi dolayısıyla meydana gelecek ilave kayıpları gözetmek amacıyla % 30 'luk ilave yapılmak suretiyle toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları

$$\begin{aligned} \Sigma P_{ky+p} &= (P_{ky1} + P_{kp1} + P_{kp2} + P_{ky2}) \times 1,1 \times 1,3 \\ &= (53,519 + 6,988 + 547,454 + 1548) \times 1,1 \times 1,3 \\ P_{ky+p} &= 3083,024 \text{ W bulunur.} \end{aligned}$$

Çubuk akımı ;

$$I_{\zeta K} \cong I_2 = \frac{P_m + P_{stme} + P_{ky+p}}{N_2 \times E_{\zeta k} \times (1-s)}$$

s=0,0035 için değerler yerine konursa

$$I_{\zeta k} = \frac{500000 + 8500 + 3083,024}{58 \times 8,348 \times 0,9965} = 1060,3 \text{ A}$$

Burada $E_{\zeta k}$ çubuk gerilimi önceki bölümdeki gibi 8,348 V alınmıştır.

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = m_2 \times I_2^2 \times R_2 = 58 \times (1060,3)^2 \times 4,251 \times 10^{-5} = 2771,889 \text{ W}$$

Toplam kayıplar

Stator sargısı ohmik kayıpları

$$P_{kCu1} = 6969,6 \text{ W}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = 2771,889 \text{ W}$$

İlave kayıplar

$$P_{kilave} = 3000 \text{ W}$$

Stator saç paketi demir kayıpları

dişlerdeki kayıplar

$$P_{kd1} = 808,41 \text{ W}$$

boyunduruk kayıpları

$$P_{kjl} = 1692,368 \text{ W}$$

Stator ve rotorun toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları

$$3083,024 \text{ W}$$

Hava ve yatak sürtünme kayıpları

$$P_{ksürtünme} = 8500 \text{ W}$$

Toplam kayıplar

$$P_k = 26825,291 \text{ W}$$

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_n + \sum P_{kayıp}} = \frac{500}{500 + 26,825} = 0,9490 = \% 94,908$$

Boşta çalışma akımının aktif bileşeni

$$I_v = \frac{P_{kjl} + P_{kd1} + P_{ky+p} + P_{kime}}{m_1 \times U_1} = \frac{1692,368 + 808,41 + 3083,024 + 8500}{3 \times 4000 / \sqrt{3}} \quad I_v = 2,0328 \text{ A}$$

$$I_2' = \bar{u} \times I_2 = 0,0724 \times 1060,3 = 76,765$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği reaktif güç (P_{dew})

$$P_{dew} = m_1 \times [E_1 \times I_\mu + X_{1\sigma} \times I_1^2 + X_{2\sigma}' \times I_2'^2] \times 10^{-3} \text{ kVAr}$$

$$P_{dew} = 3 \times [2221,64 \times 23,2 + 5,23 \times 88^2 + 11,56 \times 76,765^2] \times 10^{-3} \\ = 480,494 \text{ kVAr}$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği aktif güç

$$P_w = \frac{P_n}{\eta} = \frac{500}{0,9490} = 526,825 \text{ kW}$$

Nominal yükteki güç faktörü

$$\cos \varphi_n = \frac{P_w}{\sqrt{P_w^2 + P_{dew}^2}} = \frac{526,825}{713,035} = 0,7388$$

Boşta çalışma akımı

$$I_0 = \sqrt{I_N^2 + I_v^2} = \sqrt{23,2^2 + 2,0328^2} = 23,288 \text{ A}$$

Boşta çalışmada güç faktörü

$$\cos \varphi_{10} = \frac{I_v}{I_0} = \frac{2,0328}{23,288} = 0,0872 \quad \varphi_{10} = 84,994$$

$$R_m = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{I}_v|} = \frac{2582,79}{2,0328} = 1270,55 \quad \Omega \quad r_m = 59,0353$$

$$R_h = \rho \times 1.1 \times \frac{D_h N_2}{2\pi p^2 q_{in}} = 0.0264 \times 1.1 \times \frac{0.3774 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1588.56} = 7.0762 \times 10^{-6}$$

$$\Delta R_h = \frac{R_h}{N_2 \times 2 \times \sin^2(\pi p / N_2)} = \frac{7.0762 \times 10^{-6}}{58 \times 2 \times \sin^2(3\pi / 58)} = 2.33 \times 10^{-6}$$

Çubuk büyüklükleri değişmediğinden çubuk direnci $R_{\zeta K}$ aynı kalır.

$$s = \frac{I_{\zeta K}}{E_{\zeta K}} [R_{\zeta K} + \Delta R_h] = \frac{1060.3}{8.348} (3.826 + 0.233) \times 10^{-5}$$

$$s\% = 0.5155$$



1.3.3. .3. Makina Modeli İçin Performansların Hesabı

Rotor pulzasyon kayıpları

$$P_{kp2} = \frac{k_p}{2} \times \sigma_w \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{N_1 \times n}{10000} \times \frac{B_{p2}}{0,1} \right)^2 \times G_{d2}$$

$$\gamma_1 = \frac{\left(\frac{a_{01}}{\delta} \right)^2}{5 + \frac{a_{01}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{11,5}{1,3} \right)^2}{5 + \frac{11,5}{1,3}} = 5,66$$

$$B_{p2} = \frac{\gamma_1 \times \delta}{2 \tau_{02}} \cdot B_{don} = \frac{5,66 \times 0,13 \times 1}{2 \times 3,249} = 0,113$$

$$P_{kp2} = \frac{1,9}{2} \times 1,6 \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{72 \times 1000}{10000} \times \frac{0,113}{0,1} \right)^2 \times 221,42 = 618,842 \text{ W}$$

% 10 emniyet payı ve çıplak çubukların oluklara sürülmesi dolayısıyla meydana gelecek ilave kayıpları gözetmek amacıyla % 30 'luk ilave yapılmak suretiyle toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları

$$\begin{aligned} \Sigma P_{ky+p} &= (P_{ky1} + P_{kp1} + P_{kp2} + P_{ky2}) \times 1,1 \times 1,3 \\ &= (53,519 + 6,988 + 618,842 + 1548) \times 1,1 \times 1,3 \\ P_{ky+p} &= 3185,11 \text{ W bulunur.} \end{aligned}$$

Çubuk akımı ; (s=0,0045 için)

$$\begin{aligned} I_{\text{ÇK}} \cong I_2 &= \frac{P_m + P_{\text{stme}} + P_{ky+p}}{N_2 \times E_{\text{ÇK}} \times (1-s)} \\ I_{\text{ÇK}} &= \frac{500000 + 8500 + 3185,11}{58 \times 8,348 \times 0,9955} = 1061,575 \text{ A} \end{aligned}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{KCu2} = m_2 \times I_2^2 \times R_2 = 58 \times (1061,575)^2 \times 5,139 \times 10^{-5} = 3358,984 \text{ W}$$

Toplam kayıplar

Stator sargısı ohmik kayıpları

$$P_{kCu1} = 6969,6 \text{ W}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = 3358,984 \text{ W}$$

İlave kayıplar

$$P_{\text{kilave}} = 3000 \text{ W}$$

Stator saç paketi demir kayıpları

dişlerdeki kayıplar

$$P_{kdl} = 808,41 \text{ W}$$

boyunduruk kayıpları

$$P_{kjl} = 1692,368 \text{ W}$$

boyunduruk kayıpları	$P_{k1} = 1692,368 \text{ W}$
Stator ve rotorun toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları	3185,11 W
Hava ve yatak sürtünme kayıpları	$P_{ksürtünme} = 8500 \text{ W}$
Toplam kayıplar	$P_k = 27514,472 \text{ W}$

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_n + \sum P_{kayıp}} = \frac{500}{500 + 27,514472} = 0,94784 = \% 94,784$$

Boşta çalışma akımının aktif bileşeni

$$I_v = \frac{P_{k1} + P_{kd1} + P_{ky+p} + P_{kme}}{m_1 \times U_1} = \frac{1692,368 + 808,41 + 3185,11 + 8500}{3 \times 4000 / \sqrt{3}}$$

$$I_v = 2,047 \text{ A}$$

$$I_2' = \dot{u} \times I_2 = 0,0724 \times 1061,575 = 76,858$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği reaktif güç (P_{dew})

$$P_{dew} = m_1 \times [E_1 \times I_\mu + X_{1\sigma} \times I_1^2 + X_{2\sigma}' \times I_2'^2] \times 10^{-3} \text{ kVAr}$$

$$P_{dew} = 3 \times [2221,64 \times 23,5 + 5,23 \times 88^2 + 1,89 \times 76,858^2] \times 10^{-3}$$

$$= 311,622 \text{ kVAr}$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği aktif güç

$$P_w = \frac{P_n}{\eta} = \frac{500}{0,94784} = 527,515 \text{ kW}$$

Nominal yükteki güç faktörü

$$\cos \varphi_n = \frac{P_w}{\sqrt{P_w^2 + P_{dew}^2}} = \frac{527,515}{612,683} = 0,86 \quad \varphi_n = 30,57$$

Boşta çalışma akımı

$$I_0 = \sqrt{I_N^2 + I_v^2} = \sqrt{23,5^2 + 1,959^2} = 23,581 \text{ A}$$

Boşta çalışmada güç faktörü

$$\cos \varphi_{10} = \frac{I_v}{I_0} = \frac{1,959}{23,581} = 0,083 \quad \varphi_{10} = 85,234$$

$$R_m = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{I}_v|} = \frac{2582,79}{1,959} = 1318,422 \quad \Omega \quad r_m = 61,26$$

$$R_h = \rho \times 1.1 \times \frac{D_m N_2}{2\pi p^2 q_m} = 0.0264 \times 1.1 \times \frac{0.5474 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1588.56} = 10.2636 \times 10^{-6}$$

$$\Delta R_h = \frac{R_h}{N_2 \times 2 \times \sin^2(\pi p / N_2)} = \frac{10.2636 \times 10^{-6}}{58 \times 2 \times \sin^2(3\pi / 58)} = 3.38 \times 10^{-6}$$

Çubuk büyüklükleri değişmediğinden çubuk direnci $R_{\text{ÇK}}$ aynı kalır.

$$s = \frac{I_{\text{ÇK}}}{E_{\text{ÇK}}} [R_{\text{ÇK}} + \Delta R_h] = \frac{1061.575}{8.348} (3.826 + 0.338) \times 10^{-5}$$

$$s\% = 0.5295$$



1.3.4 4. Makina Modeli İçin Performanslarının Hesabı

Rotor pulzasyon kayıpları

$$P_{kp2} = \frac{k_p}{2} \times \sigma_w \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{N_1 \times n}{10000} \times \frac{B_{p2}}{0,1} \right)^2 \times G_{d2}$$

Hava aralığı ve stator oluk ağzı değişmediğinden $\gamma_1=5,66$

$$B_{p2} = \frac{\gamma_1 \times \delta}{2 \tau_{02}} \cdot B_{dort} = \frac{5,66 \times 0,13 \times 1}{2 \times 3,249} = 0,113$$

$$P_{kp2} = \frac{1,9}{2} \times 1,6 \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{72 \times 1000}{10000} \times \frac{0,113}{0,1} \right)^2 \times 185,901$$

$$P_{kp2} = 519,57 \text{ W}$$

% 10 emniyet payı ve çıplak çubukların oluklara sürülmesi dolayısıyla meydana gelecek ilave kayıpları gözetmek amacıyla % 30 'luk ilave yapılmak suretiyle toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları

$$\begin{aligned} \Sigma P_{ky+p} &= (P_{ky1} + P_{kp1} + P_{kp2} + P_{ky2}) \times 1,1 \times 1,3 \\ &= (53,519 + 6,988 + 519,57 + 1548) \times 1,1 \times 1,3 \\ P_{ky+p} &= 3043,15 \text{ W bulunur.} \end{aligned}$$

Çubuk akımı ; (s=0,0045 için)

$$I_{\zeta K} \cong I_2 = \frac{P_m + P_{sme} + P_{ky+p}}{N_2 \times E_{\zeta k} \times (1-s)}$$

$$I_{\zeta k} = \frac{500000 + 8500 + 3043,15}{58 \times 8,348 \times 0,9955} = 1061,281 \text{ A}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = m_2 \times I_2^2 \times R_2 = 58 \times (1061,281)^2 \times 1,218 \times 10^{-5} = 795,676 \text{ W}$$

Toplam kayıplar

Stator sargısı ohmik kayıpları

$$P_{kCu1} = 6969,6 \text{ W}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = 795,676 \text{ W}$$

İlave kayıplar

$$P_{kilave} = 3000 \text{ W}$$

Stator saç paketi demir kayıpları

dişlerdeki kayıplar

$$P_{kdl} = 808,41 \text{ W}$$

boyunduruk kayıpları

$$P_{kj1} = 1692,368 \text{ W}$$

Stator ve rotorun toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları

$$3043,15 \text{ W}$$

Hava ve yatak sürtünme kayıpları

$$P_{\text{sürtünme}} = 8500 \text{ W}$$

Toplam kayıplar

$$P_k = 24809,204 \text{ W}$$

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_n + \sum P_{\text{kayıp}}} = \frac{500}{500 + 24,8092} = 0,95272 = \% 95,272$$

Boşta çalışma akımının aktif bileşeni

$$I_v = \frac{P_{kj1} + P_{kd1} + P_{ky+p} + P_{kime}}{m_1 \times U_1} = \frac{1692,368 + 808,41 + 3043,15 + 8500}{3 \times \frac{4000}{\sqrt{3}}}$$

$$I_v = 2,027 \text{ A}$$

$$I_2' = \ddot{u} \times I_2 = 0,0724 \times 1061,281 = 76,836$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği reaktif güç (P_{dew})

$$P_{dcw} = m_1 \times [E_1 \times I_\mu + X_{l\sigma} \times I_1^2 + X_{2\sigma}' \times I_2'^2] \times 10^{-3} \text{ kVAr}$$

$$P_{dew} = 3 \times [2221,64 \times 23,5 + 5,23 \times 88^2 + 1,89 \times 76,836^2] \times 10^{-3} \\ = 354,246 \text{ kVAr}$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği aktif güç

$$P_w = \frac{P_n}{\eta} = \frac{500}{0,95272} = 524,813 \text{ kW}$$

Nominal yükteki güç faktörü

$$\cos \varphi_n = \frac{P_w}{\sqrt{P_w^2 + P_{dew}^2}} = \frac{524196}{633,181} = 0,8278 \quad \varphi_n = 34,118$$

Boşta çalışma akımı

$$I_0 = \sqrt{I_N^2 + I_v^2} = \sqrt{31,466^2 + 1,938^2} = 31,525 \text{ A}$$

Boşta çalışmada güç faktörü

$$\cos \varphi_{10} = \frac{I_v}{I_0} = \frac{1,938}{31,525} = 0,0614 \quad \varphi_{10} = 86,475$$

$$R_m = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{I}_v|} = \frac{2582,79}{1,938} = 1332,7 \quad \Omega \quad r_m = 61,923$$

$$R_h = \rho \times 1.1 \times \frac{D_h N_2}{2\pi p^2 q_h} = 0.0264 \times 1.1 \times \frac{0.52622 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1588.56} = 9.866 \times 10^{-6}$$

$$\Delta R_h = \frac{R_h}{N_2 \times 2 \times \sin^2(\pi p / N_2)} = \frac{9.866 \times 10^{-6}}{58 \times 2 \times \sin^2(3\pi / 58)} = 3.2495 \times 10^{-6}$$

Çubuk boyutları değişmediğinden çubuk direnci $R_{\zeta K}$ aynı kalır.

$$s = \frac{I_{\zeta K}}{E_{\zeta K}} [R_{\zeta K} + \Delta R_h] = \frac{1061}{8.348} (3.826 + 0.32495) \times 10^{-5}$$

$$s\% = 0.5275$$

1.3.5 5. Makina Modeli İçin Performanslarının Hesabı

Rotor pulzasyon kayıpları

$$P_{kp2} = \frac{k_p}{2} \times \sigma_w \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{N_1 \times n}{10000} \times \frac{B_{p2}}{0,1} \right)^2 \times G_{d2}$$

Hava aralığı ve stator oluk ağzı değişmediğinden $\gamma_1=5,66$

$$B_{p2} = \frac{\gamma_1 \times \delta}{2 \tau_{02}} \cdot B_{don} = \frac{5,66 \times 0,13 \times 1}{2 \times 3,249} = 0,113$$

$$P_{kp2} = \frac{1,9}{2} \times 1,6 \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{72 \times 1000}{10000} \times \frac{0,113}{0,1} \right)^2 \times 167,426$$

$$P_{kp2} = 467,934 \text{ W}$$

% 10 emniyet payı ve çıplak çubukların oluklara sürülmesi dolayısıyla meydana gelecek ilave kayıpları gözetmek amacıyla % 30 'luk ilave yapılmak suretiyle toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları

$$\begin{aligned} \Sigma P_{ky+p} &= (P_{ky1} + P_{kp1} + P_{kp2} + P_{ky2}) \times 1,1 \times 1,3 \\ &= (53,519 + 6,988 + 467,934 + 1548) \times 1,1 \times 1,3 \\ P_{ky+p} &= 2969,31 \text{ W bulunur.} \end{aligned}$$

Çubuk akımı ; ($s=0,0045$ için)

$$\begin{aligned} I_{\zeta K} \cong I_2 &= \frac{P_m + P_{stme} + P_{ky+p}}{N_2 \times E_{\zeta k} \times (1-s)} \\ I_{\zeta k} &= \frac{500000 + 8500 + 2969,31}{58 \times 8,348 \times 0,9955} = 1061,128 \text{ A} \end{aligned}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = m_2 \times I_2^2 \times R_2 = 58 \times (1061,128)^2 \times 2,052 \times 10^{-5} = 13401,12 \text{ W}$$

Toplam kayıplar

Stator sargısı ohmik kayıpları

$$P_{kCu1} = 6969,6 \text{ W}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = 12963,553 \text{ W}$$

İlave kayıplar

$$P_{kilave} = 3000 \text{ W}$$

Stator saç paketi demir kayıpları

dişlerdeki kayıplar

$$P_{kdl} = 808,41 \text{ W}$$

boyunduruk kayıpları

$$P_{kjl} = 1692,368 \text{ W}$$

Stator ve rotorun toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları 2356,11 W

Hava ve yatak sürtünme kayıpları $P_{ksürtünme} = 8500$ W

Toplam kayıplar $P_k = 36290,041$ W

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_n + \sum P_{kayıp}} = \frac{500}{500 + 36,290041} = 0,9323 = \% 93,23$$

Boşta çalışma akımının aktif bileşeni

$$I_v = \frac{P_{kj1} + P_{kd1} + P_{ky+p} + P_{kme}}{m_1 \times U_1} = \frac{1692,368 + 808,41 + 2969,31 + 8500}{3 \times 4000 / \sqrt{3}}$$

$$I_v = 2,0164 \text{ A}$$

$$I_2^i = \ddot{u} \times I_2 = 0,0724 \times 1061,128 = 76,825$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği reaktif güç (P_{dew})

$$P_{dew} = m_1 \times [E_1 \times I_\mu + X_{1\sigma} \times I_1^2 + X'_{2\sigma} \times I_2'^2] \times 10^{-3} \text{ kVAr}$$

$$P_{dew} = 3 \times [2221,64 \times 23,5 + 5,23 \times 88^2 + 1,89 \times 76,825^2] \times 10^{-3} \\ = 332,627 \text{ kVAr}$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği aktif güç

$$P_w = \frac{P_n}{\eta} = \frac{500}{0,9323} = 536,3 \text{ kW}$$

Nominal yükteki güç faktörü

$$\cos \varphi_n = \frac{P_w}{\sqrt{P_w^2 + P_{dew}^2}} = \frac{536,3}{631,077} = 0,8498 \quad \varphi_n = 31,8$$

Boşta çalışma akımı

$$I_0 = \sqrt{I_N^2 + I_v^2} = \sqrt{27,32^2 + 2,0164^2} = 27,394 \text{ A}$$

Boşta çalışmada güç faktörü

$$\cos \varphi_{10} = \frac{I_v}{I_0} = \frac{2,0164}{27,394} = 0,0736 \quad \varphi_{10} = 85,778$$

$$R_m = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{I}_v|} = \frac{2582,79}{2,0164} = 1280,891 \quad \Omega \quad r_m = 59,515$$

$$R_h = \rho \times 1.1 \times \frac{D_m N_2}{2\pi p^2 q_m} = 0.0264 \times 1.1 \times \frac{0.509 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1588.56} = 9.543 \times 10^{-6}$$

$$\Delta R_h = \frac{R_h}{N_2 \times 2 \times \sin^2(\pi p / N_2)} = \frac{9.543 \times 10^{-6}}{58 \times 2 \times \sin^2(3\pi / 58)} = 3.1432 \times 10^{-6}$$

Çubuk büyüklükleri değişmediğinden çubuk direnci $R_{\zeta K}$ aynı kalır.

$$s = \frac{I_{\zeta K}}{E_{\zeta K}} [R_{\zeta K} + \Delta R_h] = \frac{1059.421}{8.348} (3.826 + 0.31432) \times 10^{-5}$$

$$s\% = 0.525$$



1.3.6 6.Makina Modeli İçin Performanslarının Hesabı

Rotor pulzasyon kayıpları

$$P_{kp2} = \frac{k_p}{2} \times \sigma_w \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{N_1 \times n}{10000} \times \frac{B_{p2}}{0,1} \right)^2 \times G_{d2}$$

Hava aralığı ve stator oluk ağzı değişmediğinden $\gamma_1=5,66$

$$B_{p2} = \frac{\gamma_1 \times \delta}{2\tau_{02}} \cdot B_{don} = \frac{5,66 \times 0,13 \times 1}{2 \times 3,249} = 0,113$$

$$P_{kp2} = \frac{1,9}{2} \times 1,6 \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{72 \times 1000}{10000} \times \frac{0,113}{0,1} \right)^2 \times 210,067$$

$$P_{kp2} = 587,111 \text{ W}$$

% 10 emniyet payı ve çıplak çubukların oluklara sürülmesi dolayısıyla meydana gelecek ilave kayıpları gözetmek amacıyla % 30 'luk ilave yapılmak suretiyle toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları

$$\begin{aligned} \Sigma P_{ky+p} &= (P_{ky1} + P_{kp1} + P_{kp2} + P_{ky2}) \times 1,1 \times 1,3 \\ &= (53,519 + 6,988 + 587,111 + 1548) \times 1,1 \times 1,3 \\ P_{ky+p} &= 3139,73 \text{ W bulunur.} \end{aligned}$$

Çubuk akımı ; ($s=0,0045$ için)

$$I_{\text{ÇK}} \cong I_2 = \frac{P_m + P_{\text{stme}} + P_{ky+p}}{N_2 \times E_{\text{ÇK}} \times (1-s)}$$

$$I_{\text{ÇK}} = \frac{500000 + 8500 + 3139,733}{58 \times 8,348 \times 0,9955} = 1061,48 \text{ A}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = m_2 \times I_2^2 \times R_2 = 58 \times (1061,48)^2 \times 8,172 \times 10^{-5} = 5340,49 \text{ W}$$

Toplam kayıplar

Stator sargısı ohmik kayıpları

$$P_{kCu1} = 6969,6 \text{ W}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = 5340,49 \text{ W}$$

İlave kayıplar

$$P_{\text{kilave}} = 3000 \text{ W}$$

Stator saç paketi demir kayıpları

dişlerdeki kayıplar

$$P_{kdl} = 808,41 \text{ W}$$

boyunduruk kayıpları

$$P_{kjl} = 1692,368 \text{ W}$$

Stator ve rotorun toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları

$$3139,733 \text{ W}$$

Hava ve yatak sürtünme kayıpları

$$P_{\text{ksürtünme}} = 8500 \text{ W}$$

Toplam kayıplar

$$P_k = 29450,6 \text{ W}$$

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_n + \sum P_{\text{kayıp}}} = \frac{500}{500 + 29,450} = 0,9443 = \% 94,43$$

Boşta çalışma akımının aktif bileşeni

$$I_v = \frac{P_{kjl} + P_{kdl} + P_{kyp} + P_{kme}}{m_1 \times U_1} = \frac{1692,368 + 808,41 + 3139,733 + 8500}{3 \times 4000 / \sqrt{3}}$$

$$I_v = 2,041 \text{ A}$$

$$I_2' = \ddot{u} \times I_2 = 0,0724 \times 1061,48 = 76,851$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği reaktif güç (P_{dew})

$$P_{dew} = m_1 \times [E_1 \times I_\mu + X_{1\sigma} \times I_1^2 + X_{2\sigma}' \times I_2'^2] \times 10^{-3} \text{ kVAr}$$

$$P_{dew} = 3 \times [2221,64 \times 23,5 + 5,23 \times 88^2 + 1,89 \times 76,851^2] \times 10^{-3} \\ = 354,215 \text{ kVAr}$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği aktif güç

$$P_w = \frac{P_n}{\eta} = \frac{500}{0,9443} = 529,450 \text{ kW}$$

Nominal yükteki güç faktörü

$$\cos \varphi_n = \frac{P_w}{\sqrt{P_w^2 + P_{dew}^2}} = \frac{529,450}{637,013} = 0,8311 \quad \varphi_n = 33,395$$

Boşta çalışma akımı

$$I_0 = \sqrt{I_v^2 + I_r^2} = \sqrt{31,466^2 + 2,041^2} = 31,532 \text{ A}$$

Boşta çalışmada güç faktörü

$$\cos \varphi_{10} = \frac{I_v}{I_0} = \frac{2,041}{31,532} = 0,0641 \quad \varphi_{10} = 86,288$$

$$R_m = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{I}_v|} = \frac{2582,79}{2,041} = 1265,453 \quad \Omega \quad r_m = 58,7981$$

$$R_h = \rho \times 1.1 \times \frac{D_{hi} N_2}{2\pi p^2 q_{hi}} = 0.0264 \times 1.1 \times \frac{0.4724 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1588.56} = 8.8574 \times 10^{-6}$$

$$\Delta R_h = \frac{R_h}{N_2 \times 2 \times \sin^2(\pi p / N_2)} = \frac{8.8574 \times 10^{-6}}{58 \times 2 \times \sin^2(3\pi / 58)} = 2.917 \times 10^{-6}$$

Çubuk büyüklükleri değişmediğinden çubuk direnci $R_{\text{ÇK}}$ aynı kalacaktır.

$$s = \frac{I_{\text{ÇK}}}{E_{\text{ÇK}}} [R_{\text{ÇK}} + \Delta R_h] = \frac{1061.48}{8.348} (3.826 + 0.2917) \times 10^{-5}$$

$$s\% = 0.5235$$



1.3.7 7. Makina Modeli İçin Performansların Hesabı

Rotor pulzasyon kayıpları

$$P_{kp2} = \frac{k_p}{2} \times \sigma_w \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{N_1 \times n}{10000} \times \frac{B_{p2}}{0,1} \right)^2 \times G_{d2}$$

Hava aralığı ve stator oluk ağız değişmediğinden $\gamma_1 = 5,66$

$$B_{p2} = \frac{\gamma_1 \times \delta}{2 \tau_{02}} \cdot B_{don} = \frac{5,66 \times 0,13 \times 1}{2 \times 3,249} = 0,113$$

$$P_{kp2} = \frac{1,9}{2} \times 1,6 \times \frac{1}{36} \times \left(\frac{72 \times 1000}{10000} \times \frac{0,113}{0,1} \right)^2 \times 192,588$$

$$P_{kp2} = 538,26 \text{ W}$$

% 10 emniyet payı ve çıplak çubukların oluklara sürülmesi dolayısıyla meydana gelecek ilave kayıpları gözetmek amacıyla % 30 'luk ilave yapılmak suretiyle toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları

$$\begin{aligned} \Sigma P_{ky+p} &= (P_{ky1} + P_{kp1} + P_{kp2} + P_{ky2}) \times 1,1 \times 1,3 \\ &= (53,519 + 6,988 + 538,26 + 1548) \times 1,1 \times 1,3 \\ P_{ky+p} &= 2146,767 \text{ W bulunur.} \end{aligned}$$

Çubuk akımı ; (s=0,0045 için)

$$I_{\text{ÇK}} \cong I_2 = \frac{P_m + P_{stmc} + P_{ky+p}}{N_2 \times E_{\text{ÇK}} \times (1-s)}$$

$$I_{\text{ÇK}} = \frac{500000 + 8500 + 2146,767}{58 \times 8,348 \times 0,9955} = 1059,421 \text{ A}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = m_2 \times I_2^2 \times R_2 = 58 \times (1059,421)^2 \times 1,249 \times 10^{-4} = 8163,24 \text{ W}$$

Toplam kayıplar

Stator sargısı ohmik kayıpları

$$P_{kCu1} = 6969,6 \text{ W}$$

Rotor kafesi ohmik kayıpları

$$P_{kCu2} = 8163,24 \text{ W}$$

İlave kayıplar

$$P_{kılave} = 3000 \text{ W}$$

Stator saç paketi demir kayıpları

dişlerdeki kayıplar

$$P_{kd1} = 808,41 \text{ W}$$

boyutlandırma kayıpları

$$P_{kjl} = 1692,368 \text{ W}$$

Stator ve rotorun toplam yüzey ve pulzasyon kayıpları 2146,767 W

Hava ve yatak sürtünme kayıpları $P_{ksürtünme} = 8500$ W

Toplam kayıplar $P_k = 31280,385$ W

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_n + \sum P_{kayıp}} = \frac{500000}{531280,385} = 0,9411 = \% 94,11$$

Boşta çalışma akımının aktif bileşeni

$$I_v = \frac{P_{kyl} + P_{kdl} + P_{ky+p} + P_{kme}}{m_1 \times U_1} = \frac{1692,368 + 808,41 + 2146,767 + 8500}{3 \times \frac{4000}{\sqrt{3}}}$$

$$I_v = 1,897 \text{ A}$$

$$I_2' = \dot{u} \times I_2 = 0,0724 \times 1059,421 = 76,702$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği reaktif güç (P_{dew})

$$P_{dew} = m_1 \times [E_1 \times I_\mu + X_{1\sigma} \times I_1^2 + X_{2\sigma}' \times I_2'^2] \times 10^{-3} \text{ kVAr}$$

$$P_{dew} = 3 \times [2221,64 \times 23,5 + 5,23 \times 88^2 + 1,623 \times 76,702^2] \times 10^{-3} \\ = 305,574 \text{ kVAr}$$

Motorun nominal yükte şebekeden çektiği aktif güç

$$P_w = \frac{P_n}{\eta} = \frac{500}{0,9411} = 531,293 \text{ kW}$$

Nominal yükteki güç faktörü

$$\cos \varphi_n = \frac{P_w}{\sqrt{P_w^2 + P_{dew}^2}} = \frac{531,293}{612,901} = 0,866 \quad \varphi_n = 29,9$$

Boşta çalışma akımı

$$I_0 = \sqrt{I_N^2 + I_v^2} = \sqrt{23,32^2 + 1,897^2} = 23,397 \text{ A}$$

Boşta çalışmada güç faktörü

$$\cos \varphi_{10} = \frac{I_v}{I_0} = \frac{1,897}{23,397} = 0,081 \quad \varphi_{10} = 85,349$$

$$R_m = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{I}_v|} = \frac{2582,79}{1,897} = 1361,512 \quad \Omega \quad r_m = 63,261$$

$$R_h = \rho \times 1,1 \times \frac{D_{hi} N_2}{2\pi p^2 q_{hi}} = 0,0264 \times 1,1 \times \frac{0,509 \times 58}{2\pi \times 9 \times 1588,56} = 9,543 \times 10^{-6}$$

$$\Delta R_h = \frac{R_h}{N_2 \times 2 \times \sin^2(\pi p / N_2)} = \frac{9,543 \times 10^{-6}}{58 \times 2 \times \sin^2(3\pi / 58)} = 3,1432 \times 10^{-6}$$

Çubuk büyüklükleri değişmediğinden çubuk direnci $R_{\zeta K}$ aynı kalır.

$$s = \frac{I_{\zeta K}}{E_{\zeta K}} [R_{\zeta K} + \Delta R_h] = \frac{1059,421}{8,348} (3,826 + 0,31432) \times 10^{-5}$$

$$s\% = 0,525$$

1.4.Çeşitli Rotor Oluk Şekillerine İlişkin Klasik Yöntemle Hesaplanan Performanslara Ait Büyüklüklerin Karşılaştırılması

Klasik yöntemle makina modelleri için bulunan performans değerleri Tablo 1.3 'de verilmiştir.

Tablo 1.3 Çeşitli makina modellerinin performanslarına ait büyüklüklerin klasik yöntemle hesaplanan değerleri

	Verim (%)	$\cos \phi_n$	$\cos \phi_0$	$\cos \phi_K$	M_{dv} [Nm]	M_{dt} [Nm]	I_v [A]	g	s (%)
Model 1	94,915	0,85	0,0858	0,0581	344,934	7275,965	1060,3	0,0074	0,599
Model 2	94,90	0,7388	0,0872	0,0266	71,960	3451,03	1060,3	0,0099	0,5155
Model 3	94,784	0,86	0,083	0,0687	501,99	8093,38	1061,575	0,0289	0,5295
Model 4	95,272	0,8278	0,0614	0,1162	1361,489	8653,8	1061,281	0,0723	0,5275
Model 5	93,23	0,8498	0,0736	0,154	2081,943	8306,155	1061,128	0,117	0,525
Model 6	94,43	0,8311	0,0641	0,0899	897,237	8570	1061,48	0,08	0,5235
Model 7	94,11	0,866	0,081	0,11	1311,79	8406,4	1059,421	0,073	0,525

2. BÖLÜM INDAN Bilgisayar Programı

2.1 INDAN Hazır Paket Programının Tanıtımı [2]

INDAN (Induction Motor Analysis) yukarıda da belirtildiği gibi indüksiyon motorlarının analizinde kullanılan bir bilgisayar programıdır. Bu programı çalıştırabilmek için, kullanılacak bilgisayarın en az 640 kB hard diski, matematik işlemcisi ile MS - DOS işletim sisteminin olması gerekmektedir.

Programda dosya adları, DOS işletim sistemine uygun olduğu sürece istenildiği gibi seçilebilir ; ancak dosya adlarının ve içeriğinin hatırlanabilmesi için aşağıda belirtildiği gibi isimlendirme yapılması tavsiye edilir.

Örnek ; 500-6.001; burada 500 ; [kW] cinsinden motor gücü ; 6, çift kutup sayısı ; 001 ise tasarım no'sudur.

Yeni veri girişi eski veriler değiştirilerek yapılır. Bunun için önce eski dosya, başka dosyaya kopyalanır.

Örnek : Eski dosya adı Z1 olsun.

INPUT DEMO.INP Z1 komutu yazılınca ve demodaki bilgiler sırayla ekrana gelince bu verilerin altında yeni veri olarak ne girileceği de sorulur. Buralara istenilen değerler girilir.

INPUT < dosya ismi > komutu girilince de o isimde saklanan dosyanın verileri girilebilir. Yeni veriler girilse dahi bunlar saklansa da (ki saklanmayacaktır) bir anlam ifade etmez.

RUN < dosya ismi > makina stator ve rotor resmini ekrana verir.

PLOTPRN < dosya ismi > makina stator ve rotor resminin kağıda basılmasını sağlar.

COPYPRN < dosya ismi > komutu sadece çıkış değerlerini kağıda basar ama bunların ne anlama geldiğini belirtmez.

COPYPRN OUTPUT < dosya ismi > komutu makina çıkış değerlerini (devir sayısı, empedanslar, ağırlıklar vs.) kağıda basar.

INDAN programının çalıştırılması esnasında sorulan sorular Ek B 1'de belirtilmiştir.

Bu soruların yanıtlanması esnasında dikkat edilecek bazı hususlar şöyle sıralanabilir.

Öncelikle güçler kW, kVA; uzunluk ölçüleri mm cinsinden girilmelidir. Aksiyal soğutma varsa soğutma kanalı sayısı ve genişliği 0 girilmelidir. Burada veri girişi radyal soğutma için yapılacaktır. Çeşitli konstruktif nedenlerden dolayı açık ağızlı oluklar tercih edilebilir. Böyle bir durumda Ek:B 1'de 4. ana birimin 41. ve 51. satırlarında aynı veri girişi yapılmalıdır. Aynı nedenlerden dolayı oluk kıvrım derinliği de ağız açık oluklar için 0 olarak girilmelidir.

İletken uzunluğu ve ek direncin pu (birim) değeri girişi istenirse yapılmayabilir. Program bunu otomatik olarak yapabilmektedir. Referans stator sıcaklığının 120° olarak alınması tavsiye edilmektedir.

Stator sargı kodu ise projede ele alınan sargı çeşidine göre 1,2 veya 3 şeklinde girilebilir. Burada 1, tek olukta iki tabakalı sargı ; 2, oluğun üst kısmında iki tabakalı sargıyı ; 3, oluğun alt kısmında iki tabakalı sargı olduğu anlamına gelmektedir.

Rotor oluk derinliğinde stator da olduğu gibi hava aralığından oluk tabanına kadar olan yükseklik mm cinsinden yazılacaktır. Burada rotor oluk şekli dairesel ise kıvrım (taper) derinliği 0 olarak girilir.

Rotor sargı kodu da, stator da olduğu gibi rotor oluk şekline göre 1,2,3 veya 4 şeklinde girilir. Burada;

1. Yamuk ve dikdörtgen şeklindeki tek kafesli oluklar
2. Tek kafesli ama herhangi bir geometrik şekli olmayan oluklar için
3. Çift veya 3 kafesli rotor oluk şekli olup üst kafesi dikdörtgendir.
4. Çift veya 3 kafesli rotor oluk şekli olup; üst kafesi dairedir.

Referans stator sıcaklığının 180 ° C olarak girilmesi tavsiye edilmektedir.

Programda sorulan D1, D2, D3, D4 ve W1, W2, W3, W4 gibi yükseklik ve genişliklerin hangi rotor oluk şekli için nereyi gösterdiği ve veri girişi yapabilmek için gerekebilecek bilgiler detaylı olarak Ek:B 1'de sunulmuştur.

2.2 INDAN (Induction Motor Analysis) Bilgisayar Programı Yardımıyla Elde Edilen Sonuçlar

2.2.1 INDAN Programı Yardımıyla Hesaplanan Eşdeğer Devre Parametreleri

2.2.1.1 1. Makina Modeli İçin Hesaplanan Değerler

INDAN programıyla 1. makina modeli için bulunan değerler Tablo 2.1 'de verilmiştir.

Tablo 2.1 INDAN programıyla hesaplanan 1. makina modeline ait değerler

pu X_{l_2}	0,13705
pu X_m	2,60198
pu R_2	0,00593
R_n	93,74148
Rotor Sargı Ağırlığı	183,4
Diş Ağırlığı	201,2
Boyunduruk Ağırlığı	244
Max Akı Yoğunluğu	
Rotor Dişleri	1,747
Rotor Boyunduruğu	1,652

2.2.1.2 2. Makina Modeli İçin Hesaplanan Değerler

INDAN programıyla 2. makina modeli için bulunan değerler Tablo 2.2 'de verilmiştir.

Tablo 2.2 INDAN programıyla hesaplanan 2. makina modeline ait değerler

pu X_{l_2}	0,30282
pu X_m	3,18759
pu R_2	0,00599
R_n	94,67256
Rotor Sargı Ağırlığı	166,2
Diş Ağırlığı	468,5
Boyunduruk Ağırlığı	170
Max Akı Yoğunluğu	
Rotor Dişleri	2,049
Rotor Boyunduruğu	1,652

2.2.1.3 3. Makina Modeli İçin Hesaplanan Değerler

INDAN programıyla 3. makina modeli için bulunan değerler Tablo 2.3 'de verilmiştir.

Tablo 2.3 INDAN programıyla hesaplanan 3. makina modeline ait değerler

$p_u X_{l_2}$	0,17649
$p_u X_m$	2,45403
$p_u R_2$	0,00594
R_m	93,43890
Rotor Sargı Ağırlığı	186,2
Diş Ağırlığı	217,3
Boyunduruk Ağırlığı	239,8
Max. Akı Yoğunluğu	
Rotor Dişleri	1,787
Rotor Boyunduruğu	1,652

2.2.1.4 4. Makina Modeli İçin Hesaplanan Değerler

INDAN programıyla 4. makina modeli için bulunan değerler Tablo 2.4 'de verilmiştir.

Tablo 2.4 INDAN programıyla hesaplanan 4. makina modeline ait değerler

$p_u X_{l_2}$	0,16769
$p_u X_m$	0,167169
$p_u R_2$	0,00595
R_m	91,76535
Rotor Sargı Ağırlığı	188,6
Diş Ağırlığı	244
Boyunduruk Ağırlığı	557,2
Max. Akı Yoğunluğu	
Rotor Dişleri	2,254
Rotor Boyunduruğu	1,652

2.2.1.5 5. Makina Modeli İçin Hesaplanan Değerler

INDAN programıyla 5. makina modeli için bulunan değerler Tablo 2.5 'de verilmiştir.

Tablo 2.5 INDAN programıyla hesaplanan 5. makina modeline ait değerler

$pu X_{l2}$	0,14040
$pu X_m$	2,13099
$pu R_2$	0,0059
R_m	92,63944
Rotor Sargı Ağırlığı	188,9
Diş Ağırlığı	161,1
Boyunduruk Ağırlığı	252,6
Max. Akı Yoğunluğu	
Rotor Dişleri	2,187
Rotor Boyunduruğu	1,652

2.2.1.6 6. Makina Modeli İçin Hesaplanan Değerler

INDAN programıyla 6. makina modeli için bulunan değerler Tablo 2.6 'de verilmiştir.

Tablo 2.6 INDAN programıyla hesaplanan 6. makina modeline ait değerler

$pu X_{l2}$	0,21639
$pu X_m$	1,36122
$pu R_2$	0,00606
R_m	89,31894
Rotor Sargı Ağırlığı	192,9
Diş Ağırlığı	244
Boyunduruk Ağırlığı	557,2
Max. Akı Yoğunluğu	
Rotor Dişleri	2,345
Rotor Boyunduruğu	1,652

2.2.1.7 7. Makina Modeli İçin Hesaplanan Değerler

INDAN programıyla 7. makina modeli için bulunan değerler Tablo 2.7 'de verilmiştir.

Tablo 2.7 INDAN programıyla hesaplanan 7. makina modeline ait değerler

$p_u X_{l2}$	0,18967
$p_u X_m$	1,78580
$p_u R_2$	0,00604
R_m	91,48392
Rotor Sargı Ağırlığı	194,7
Diş Ağırlığı	183,4
Boyunduruk Ağırlığı	246,9
Max Akı Yoğunluğu	
Rotor Dişleri	2,272
Rotor Boyunduruğu	1,652

2.2.2 INDAN (Induction Motor Analysis) Programında Hesaplanan Ek Değerler

Burada çeşitli oranlarda yükleme durumunda makinaların performansına ilişkin önemli bazı değerler sırayla sunulacaktır. Daha detaylı bilgiler Ek:B 2’de verilmiştir.

2.2.2.1 1. Makina Modeli

1.makina modelinin performanslarına ait INDAN programıyla bulunan değerler Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8 1.makinaya ait performansların INDAN programıyla hesaplanan değerleri

Yükleme Oranı	% 125	% 100	% 75	% 50	% 25
Kayma	0,728	0,562	0,410	0,268	0,132
$\cos \varphi_n$	0,857	0,847	0,812	0,724	0,501
P_k yüzey	4845	3168	1937	1095	601
Verim %	95,135	95,376	95,259	94,351	90,414
Hız Moment Eğrisi					
% Kayma		% 100	% 75	% 50	% 25
pu Moment		1,392	1,336	1,262	1,209
Güç Faktörü		0,298	0,294	0,288	0,288

2.2.2.2. 2. Makina Modeli

2.makinanın performanslarına ait INDAN programıyla bulunan değerler Tablo 2.9’de verilmiştir.

Tablo 2.9 2.makinaya ait performansların INDAN programıyla hesaplanan değerleri

Yükleme Oranı	% 125	% 100	% 75	% 50	% 25
Kayma	0,933	0,642	0,434	0,274	0,133
$\cos \varphi_n$	0,759	0,8	0,803	0,752	0,563
P_k yüzey	6314	3653	1990	1012	471
Verim %	94,150	94,967	95,187	94,454	90,754
Hız Moment Eğrisi					
% Kayma		% 100	% 75	% 50	% 25
pu Moment		1,525	1,624	1,738	1,847
Güç Faktörü		0,318	0,339	0,370	0,424

2.2.2.3 3. Makina Modeli

3.makinanın performanslarına ait INDAN programıyla bulunan değerler Tablo 2.10’da verilmiştir.

Tablo 2.10 3.makinaya ait performansların INDAN programıyla hesaplanan değerleri

Yükleme Oranı	% 125	% 100	% 75	% 50	% 25
Kayma	0,757	0,576	0,416	0,27	0,133
$\cos \varphi_n$	0,829	0,822	0,789	0,7	0,479
P_k yüzey	5210	3373	2058	1172	658
Verim %	94,913	95,226	95,147	94,246	90,261
Hız Moment Eğrisi					
% Kayma		% 100	% 75	% 50	% 25
pu Moment		2,434	2,407	2,225	1,77
Güç Faktörü		0,450	0,466	0,421	0,394

2.2.2.4 4. Makina Modeli

4.makinanın performanslarına ait INDAN programıyla bulunan değerler Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11 4.makinaya ait performansların INDAN programıyla hesaplanan değerleri

Yükleme Oranı	% 125	% 100	% 75	% 50	% 25
Kayma	0,766	0,585	0,424	0,276	0,136
$\cos \varphi_n$	0,792	0,773	0,723	0,613	0,39
P_k yüzey	5727	3830	2465	1543	1007
Verim %	94,63	94,915	94,781	93,752	89,337
Hız Moment Eğrisi					
% Kayma		% 100	% 75	% 50	% 25
pu Moment		2,646	2,594	2,362	1,831
Güç Faktörü		0,468	0,483	0,478	0,421

2.2.2.5 5. Makina Modeli

5.makinanın performanslarına ait INDAN programıyla bulunan değerler Tablo 2.12’de verilmiştir.

Tablo 2.12 5.makinaya ait performansların INDAN programıyla hesaplanan değerleri

Yükleme Oranı	% 125	% 100	% 75	% 50	% 25
Kayma	0,735	0,567	0,413	0,27	0,133
$\cos \varphi_n$	0,829	0,811	0,765	0,661	0,434
P_k yüzey	5202	3463	2189	1319	809
Verim %	94,939	95,176	95,034	94,054	89,863
Hız Moment Eğrisi					
% Kayma		% 100	% 75	% 50	% 25
pu Moment		2,160	2,208	2,114	1,764
Güç Faktörü		0,385	0,402	0,408	0,381

2.2.2.6 6. Makina Modeli

6.makinanın performanslarına ait INDAN programıyla bulunan değerler Tablo 2.13’de verilmiştir.

Tablo 2.13 6.makinaya ait performansların INDAN programıyla hesaplanan değerleri

Yükleme Oranı	% 125	% 100	% 75	% 50	% 25
Kayma	0,85	0,633	0,45	0,29	0,142
$\cos \varphi_n$	0,703	0,682	0,622	0,506	0,305
$P_{k\text{ yüzey}}$	7398	5019	3380	2311	1703
Verim %	93,663	94,082	93,949	92,723	87,495
Hız Moment Eğrisi					
% Kayma		% 100	% 75	% 50	% 25
pu Moment		3,124	3,150	2,924	2,214
Güç Faktörü		0,516	0,552	0,575	0,529

2.2.2.7 7. Makina Modeli

7.makinanın performanslarına ait INDAN programıyla bulunan değerler Tablo 2.14’de verilmiştir.

Tablo 2.14 7.makinaya ait performansların INDAN programıyla hesaplanan değerleri

Yükleme Oranı	% 125	% 100	% 75	% 50	% 25
Kayma	0,797	0,603	0,434	0,281	0,138
$\cos \varphi_n$	0,772	0,756	0,706	0,597	0,378
$P_{k\text{ yüzey}}$	6048	4022	2588	1631	1079
Verim %	94,43	94,771	94,663	93,63	89,145
Hız Moment Eğrisi					
% Kayma		% 100	% 75	% 50	% 25
pu Moment		2,707	2,869	2,824	2,247
Güç Faktörü		0,445	0,484	0,519	0,498

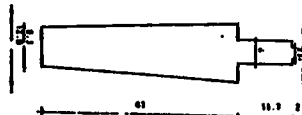
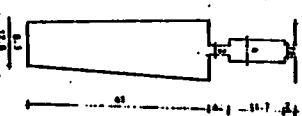
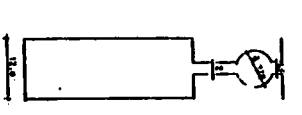
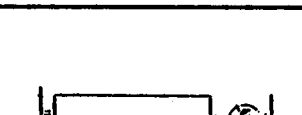
3. BÖLÜM

3.1 Klasik Yöntem ve INDAN Bilgisayar Programı Yardımıyla Çeşitli Modeller İçin Hesaplanan Eşdeğer Devre Parametrelerin Karşılaştırılması

Bu bölümde yapılacak olan karşılaştırma Tablo 3.1’de sunulmuştur. Bu tablodaki büyüklüklere bağlı olarak klasik yöntemle bulunan diğer bazı değerler Ek:A.1’de sunulmuştur. Ek:A.2’de ise yine klasik yöntemle hesaplanan makina performanslarına ilişkin ek bazı değerler verilmiştir.



Tablo 3.1 Çeşitli Rotor Oluk Şekillerine Sahip Makinaların Eşdeğer Devre Parametrelerinin Karşılaştırılması

BÜYÜKLÜK	MODEL 1	MODEL 3	MODEL 4	MODEL 6	MODEL 7	MODEL 5	MODEL 2
							
pu $X_{2\sigma}$	0,179	0,126	0,215	0,215	0,193	0,194	0,769
pu X_m	7,276	7,3	5,457	7,25	7,36	6,28	7,4
pu R_2	0,00752	0,0083	0,00812	0,00812	0,0082	0,00824	0,0072
pu R_m	59,953	61,26	61,923	58,7981	63,261	59,515	59,0353
pu $X_{2\sigma}$	0,1375	0,17649	0,16749	0,21639	0,18967	0,1404	0,30282
pu X_m	2,6198	2,4403	1,85969	1,36122	1,7858	2,13099	3,18759
pu R_2	0,00593	0,0094	0,0059	0,00606	0,00604	0,0059	0,00599
pu R_m	93,7414	93,4389	91,763	89,3189	91,4839	92,6394	94,6725

KLASSİK

INDANAN

K L A S İ K İ N D A N

4. BÖLÜM

4.1 INDAN Programı Yardımıyla Yapılan Hesaplar Esas Alınarak Çeşitli Rotor Oluk Şekillerinin Motor Çıkış Büyüklüklerine Göre Karşılaştırılması

Bu bölümde makinaların sadece % 100 yüklenmesi durumunda performansların nasıl etkilendiği Tablo 4.1’de verilmiştir. Bazı büyüklükler 2. bölüm 2. kısımda da sunulmuş olmasına rağmen değişimin nasıl bir şekilde olduğunun görülebilmesi daha kolay olacaktır.

Tablo 4.1 Tüm makina modellerinin motor çıkış büyüklüklerinin %100 yüklenme durumu için INDAN programıyla hesaplanan değerleri

	Verim %	$\cos \phi_n$	I_Y	s	pu M_{dd}^*
Model 1	95,376	0,847	1071	0,5562	2,444
Model 2	94,967	0,8	1145,8	0,642	1,432
Model 3	95,226	0,822	1083,2	0,576	2,07
Model 4	94,915	0,773	1090,6	0,585	2,214
Model 5	95,176	0,811	1078	0,567	2,412
Model 6	94,082	0,682	1125	0,633	1,758
Model 7	94,771	0,756	1099,4	0,603	2,218

* :Temel Moment 4810,34 Nm’dir.

5. BÖLÜM

Sonuç

Her iki yöntemle yapılan incelemelerden de görülmektedir ki değişik rotor oluk şekillerinin değişik etkileri vardır. Her ne kadar birbirlerine göre çok büyük üstünlükleri olmasa da önemli olan işletme koşuluna uygun rotor kafes yapısının seçilmesidir. Genel kullanımda ise üst oluğu dairesel alt oluğu dikdörtgen (veya kare) kesitli çift kafesli asenkron makinanın diğer rotor şekillerine sahip olan makinalara göre tercih edilebileceği söylenebilir. Büyük yol alma momenti istenen uygulamalarda çift kafesli rotor oluk şekli tercih edilmelidir. Oluk genişliği az yüksekliği büyük olan rotor oluk şekillerinde yol alma akımı biraz daha büyüktür.

Hesaplamalar aşamasında rotor kafesinin direnci düşürüldüğünde kaçak reaktansın değerinin arttığı görülmüştür. Şu da bilinmelidir ki, rotor direncinin düşürülmesi rotor kayıplarını da değiştirmektedir (azaltmaktadır). Bunun verim üzerinde olumlu etkiler yaptığı da aşikardır.

Rotor kafes yapılarının arasındaki uzaklık arttıkça kalkış akımının düşmesi olumlu bir özellik olarak söylenebilir. Ancak devrilme momentinin de düşmesi bunu gölgelemektedir.

Bu çalışma da hesaplamalar aşamasında gözlemlenen dikkat çekici bir başka husus da mıknatıslanma akımı ve mıknatıslanma eğrilerinin önemidir. Bir önceki bölümde de belirtildiği gibi bu büyüklükler hemen hemen tüm makina konstrüksiyonunda kendilerini hissettirmişlerdir. Sonuçlardan da izlenebileceği gibi rotor oluk kafesleri arasındaki uzaklık arttıkça motor veriminde de, çok küçük oranda da olsa, azalma görülmektedir. Bunun yanında yine rotor kafesleri birbirine yakın olan modellerde devrilme momentinin de daha yüksek bir değerde olması olumlu bir özelliktir. Ayrıca bu tip motorlarda kayma daha küçük olmaktadır.

Klasik yöntem, her ne kadar uzun ve dolayısıyla zaman alıcı bir yol olsa da işletme anında gerekebilecek detaylı bilgileri de içerdiğinden tercih edilmesi mantıksal bir

YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
KURUMSAL YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.

seçimdir; ancak eğer sınırlı bir bilgiye hem sūratli hem de o an için gerekmeyen detaylara girmeden ulařılmak isteniyorsa INDAN programı ile kolaylıkla amaca ulařılabilir. Programın diēer bir avantajı ise deēiřik yūk durumlarında makina būyūklūklerinin ne durumda olduēunu da gōstermesidir.



KAYNAKLAR

- [1] **BODUROĞLU Turgut**
Elektrik Makinaları Dersleri , Cilt II , Kısım III
Beta Yayınları İSTANBUL,1993
- [2] **ANDERSEN D. W.;** INDAN - User's Manual
1993 yılında Elektrik Makinaları Ana Bilim Dalı tarafından satın alınmıştır.
- [3] **BODUROĞLU. Turgut**
Elektrik Makinaları Dersleri , Cilt III , Kısım II
Beta Yayınları İSTANBUL,1993
- [4] **GÜZELBEYOĞLU Nurdan**
Elektrik Makinaları I - II
İ.T.Ü. Rektörlüğü No: 1493 , 1992
- [5] **SARIOĞLU Kemal**
Elektrik Makinalarının Temelleri; Cilt:3
Asenkron Makinalar
Çağlayan Yayınları İSTANBUL,1984
- [6] **KOCABAŞ A.Derya**
Elektrik makinalarında uzay harmoniklerinin uzay fazörleriyle bilgisayar destekli analizi, Yüksek Lisans Tezi , Ocak 1997, İSTANBUL

EK. A.1 Klasik Yöntemle Hesaplanan Çeşitli Rotor Oluk Şekillerine Sahip Makina Modellerinin Eşdeğer Devre Parametrelerinde Kullanılan Ek Büyüklükler

BÜYÜKLÜK	MODEL 1	MODEL 3	MODEL 4	MODEL 6	MODEL 7	MODEL 5	MODEL 2
I ₁ K	859,148	319,69	346,865	338,939	331,183	327,788	133,196
I _μ	23,6	23,5	31,466	23,671	23,32	27,32	23,2
I _v	2,0328	2,047	2,027	2,041	1,897	2,0164	2,0328
I ₀	23,687	23,581	31,525	31,532	23,397	27,394	23,288
R _K	0,491	0,52	0,823	0,642	0,815	1,152	0,483
X _K	8,434	7,55	7,034	7,111	7,256	7,345	18,14

Numerical data are entered with the first digit in columns 1,11,21 etc as indicated. Decimal point is optional. All dimensions are in mm.

IDENTIFICATION (line 1):

Max. 80 characters, including blank

Description	Col.	Data	Line
KW	1		
BASE KVA	11		
VOLTAGE (volts)	21		
FREQUENCY	31		
NUMBER OF POLES	41		
STATOR PUNCHING MATERIAL	51		
W/KG TEETH, B=1.0	61		
W/KG YOKE, B=1.0	71		
STACKING FACTOR =0.95	1		
STRAY LOAD LOSS FACTOR =1.0	11		
W&F LOSS FACTOR =0.05-0.15	21		
OUTSIDE DIAMETER	31		
INSIDE DIAMETER	41		
STACK LENGTH	51		
NO. OF VENTILATING DUCTS	61		
WIDTH OF VENTILATING DUCT	71		
CROSS SECTION, SPACE BLOCK	1		
NUMBER OF STATOR SLOTS	11		
NO. OF VENTILATING HOLES	21		
HOLE DIAMETER	31		
SLOT WIDTH, MIN.	41		
MAX.	51		
NECK WIDTH (above wedge)	61		
NECK DEPTH	71		
SLOT DEPTH	1		
TAPER DEPTH	11		
WEDGE DEPTH	21		
MAGNETIC=1, NON-MAGNETIC=0	31		
RADIUS AT BOTTOM	41		
HORIZONTAL SPACER	51		
STATOR WINDING CODE	61		
URNS PER COIL	71		
STRANDS PER TURN	1		
CU-WIDTH	11		
CU-DEPTH	21		
INSUL. ALLOWANCES, TWO SIDES	31		
ARMOR TAPE	41		
MAIN INSULATION, COIL END	51		
SLOT	61		
TURN INSULATION	71		
STRAND INSULATION	1		
CONNECTION (Y=1, D=2)	11		
NO. OF PARALLEL CIRCUITS	21		
COIL PITCH	31		
MEAN LENGTH OF TURN	41		
PU ADDITION, RESISTANCE	51		
REFERENCE STATOR TEMP., °C	61		
AIR GAP	71		
ROTOR PUNCHING MATERIAL	1		
STACKING FACTOR =0.95	11		
BORE DIAMETER	21		
NO. OF VENTILATING HOLES	31		
HOLE DIAMETER	41		

0.35 mm B-10: 1 0.5 mm 1.3 W: 2

Total OC core loss = $(W/kg) \cdot kg \cdot B^2$ for teeth at yoke, where B = peak flux density.
 $W/kg=3.5$ at 50 Hz, $=5.0$ at 60 Hz for 0.35 mm :

Stray load loss outside windings =
 $factor \cdot \left(\frac{ID}{TOU} \right) \left(\frac{pole\ pitch}{TOU} \right) \left(\frac{\lambda/CM}{TOU} \right)^2$

Loss = $factor \cdot \left(\frac{ID}{TOU} \right)^{3.64} \left(\frac{L}{TOU} \right)^{0.15} \left(\frac{RPM}{TOU} \right)^{2.75}$

Zeroes if axial ventilation Data for space blocks are used to calculate air velocities for radial ventilation

Same if open slots

Total depth, from air gap to bottom of slot
 Zero if open slots

Zero if open slots

Does not include turn and strand insulation, clearance and armor tape. *
 For random winding, 2 * th'k of slot liner.
 Does not include strand insulation.

Equal to 7 for slot 1 to 8
 Can be entered as zero and determined by the program.
 Often 120

Often the same as in line 2

1 = two layer winding in whole slot

2 = two layer winding in top half slot

3 = two layer winding in bottom half slot

INDUCTION MOTOR ANALYSIS

PROGRAM INDAN

INPUT SHEET

Description	Col.	Data	Line
NUMBER OF ROTOR SLOTS	1		
SLOT DEPTH	11		
NECK WIDTH	21		
NECK DEPTH	31		
TAPER DEPTH (zero, round bar)	41		
MAX. NECK FLUX DENSITY AT START	51		
REFERENCE ROTOR TEMPERATURE, °C	61		
ROTOR WINDING CODE	71		

← Total depth, from air gap to bottom of slot



← =2.1

← often 180

1 = trapezoidal or rectangular bars

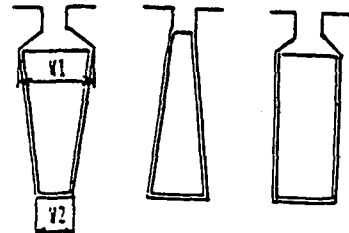
2 = inverted T-bars

3 = double or triple cage, rectangular top bar

4 = double or triple cage, round top bar

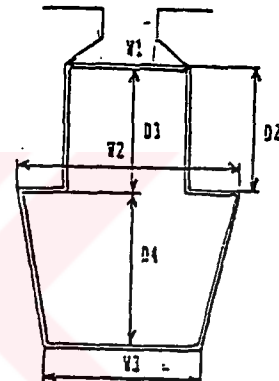
Trapezoidal or rectangular bars

ASSEMBLED/CAST AL BARS (1 or 2)	1		
W1 = SLOT WIDTH, TOP	11		
W2 = SLOT WIDTH, BOTTOM	21		
D3 = BAR DEPTH	31		
CLEARANCE, TWO SIDES	41		
PU BAR RESIST. (CU=1, AL=1.6)	51		
BAR EXTENSION, ONE SIDE	61		
PU BAR AREA, EXTENSION (≤1)	71		
CU/CAST AL END RING			
CROSS SECTIONAL AREA	1		11
AVERAGE DIAMETER	11		



Inverted T-bars

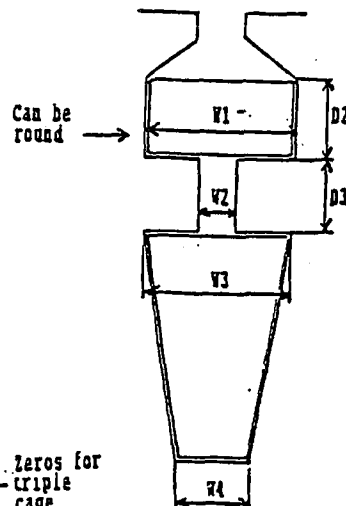
ASSEMBLED/CAST AL BARS (1 or 2)	1		
W1 = SLOT WIDTH, TOP	11		
W2 = SLOT WIDTH, CENTER	21		
W3 = SLOT WIDTH, BOTTOM	31		
D2 = SLOT DEPTH, TOP	41		
D3 = BAR DEPTH, TOP	51		
D4 = BAR DEPTH, BOTTOM	61		
CLEARANCE, TWO SIDES, TOP	1		
CLEARANCE, TWO SIDES, BOTTOM	11		
PU BAR RESIST. (CU=1, AL=1.5)	21		
BAR EXTENSION, ONE SIDE	31		
PU BAR AREA, EXTENSION (≤1)	41		
CU/CAST AL END RING			
CROSS SECTIONAL AREA	51		
AVERAGE DIAMETER	61		

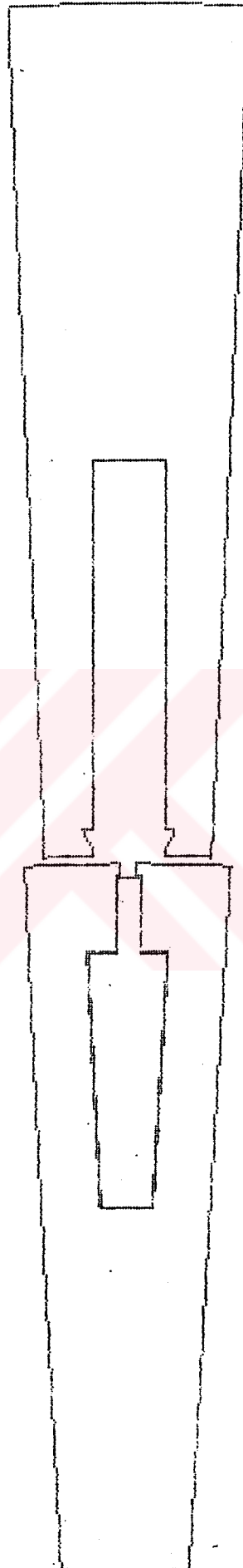


Assembled double cage or cast aluminum triple cage

ASSEMBLED/CAST AL BARS (1 or 2)	1		
W1 = SLOT WIDTH, TOP	11		
W2 = SLOT WIDTH, LEAKAGE	21		
W3 = SLOT WIDTH, CENTER	31		
W4 = SLOT WIDTH, BOTTOM	41		
D2 = SLOT DEPTH, TOP	51		
D3 = SLOT DEPTH, LEAKAGE	61		
D4 = BAR DEPTH, TOP	71		
D5 = BAR DEPTH, BOTTOM	1		
CLEARANCE, TWO SIDES, TOP	11		
CLEARANCE, TWO SIDES, BOTTOM	21		
PU BAR RESISTIVITY, TOP	31		
PU BAR RESISTIVITY, BOTTOM (CU=1, AL=1.6)	41		
BAR EXTENSION, ONE SIDE, TOP	51		
BAR EXTENSION, ONE SIDE, BOTTOM	61		
CU END RING, TOP/CAST AL END RING			
CROSS SECTIONAL AREA	1		
AVERAGE DIAMETER	11		12
CU END RING, BOTTOM			
CROSS SECTIONAL AREA	21		
AVERAGE DIAMETER	31		

← Assembled triple cage : 1





SCALE 1.000
6 POLE, 500 KW MOTOR

PROGRAM INDAN INDUCTION MOTOR ANALYSIS

6 POLE, 500 KW MOTOR

KW 500.000
BASE KVA 610.000
VOLTAGE 4000.0
FREQUENCY 50.000
NUMBER OF POLES 6.0

STATOR PUNCHING MATERIAL 1.0
W/KG TEETH, B=1.0 3.500
W/KG YOKE, B=1.0 3.500
STACKING FACTOR 0.970
STRAY LOAD LOSS FACTOR 1.000
W&F LOSS FACTOR 0.0600
OUTSIDE DIAMETER 870.0
INSIDE DIAMETER 600.0
STACK LENGTH 470.0
NO. OF VENTILATING DUCTS 9.0
WIDTH OF VENTILATING DUCT 6.0
CROSS SECTION, SPACE BLOCK 18.0
NUMBER OF STATOR SLOTS 72.0
NO. OF VENTILATING HOLES 0.0
HOLE DIAMETER 0.0
SLOT WIDTH, MIN. 11.5
MAX. 11.5
NECK WIDTH (ABOVE WEDGE) 11.5
NECK DEPTH 1.0
SLOT DEPTH 63.0
TAPER DEPTH 0.0
WEDGE DEPTH 3.0
NON-MAGNETIC
RADIUS AT BOTTOM 0.00
HORIZONTAL SPACER 2.0

STATOR WINDING CODE 1.0
TURNS PER COIL 12.0
STRANDS PER TURN 1.0
CU-WIDTH 7.60
CU-DEPTH 1.81
INSULATION ALLOWANCES, TWO SIDES
ARMOR TAPE 0.00
MAIN INSULATION, COIL END 3.30
SLOT 3.30
TURN INSULATION 0.00
STRAND INSULATION 0.20
CONNECTION Y
NO. OF PARALLEL CIRCUITS 2.0
COIL PITCH 10.0
MEAN LENGTH OF TURN 2358.5
FU ADDITION, RESISTANCE 0.008
REFERENCE STATOR TEMP., DEG. C 120.0
AIR GAP 1.30
ROTOR PUNCHING MATERIAL 1.0
STACKING FACTOR 0.970
BORE DIAMETER 370.0
NO. OF VENTILATING HOLES 0.0
HOLE DIAMETER 0.0
NUMBER OF ROTOR SLOTS 58.0
SLOT DEPTH 55.00
NECK WIDTH 2.50
NECK DEPTH 2.00
TAPER DEPTH 0.00
MAX. NECK FLUX DENSITY AT START 2.100
REFERENCE ROTOR TEMP., DEG. C 180.0

ROTOR WINDING CODE 2.0
ASSEMBLED INVERTED T-BARS
W1 = SLOT WIDTH, TOP 4.00
W2 = SLOT WIDTH, CENTER 12.80
W3 = SLOT WIDTH, BOTTOM 8.30
D2 = SLOT DEPTH, TOP 12.0
D3 = BAR DEPTH, TOP 11.7
D4 = BAR DEPTH, BOTTOM 40.7
CLEARANCE, TWO SIDES, TOP 0.30
CLEARANCE, TWO SIDES, BOTTOM 0.30
FU BAR RESISTIVITY 1.000
BAR EXTENSION, ONE SIDE 50.0
FU BAR AREA, EXTENSION 0.800
CU ENDING
CROSS SECTIONAL AREA 1771.1
AVERAGE DIAMETER 477.4

SYNCHRONOUS RPM 1000.0
 PERIPHERAL SPEED, M/SEC 31.28
 BASE STATOR CURRENT 88.0
 BASE TORQUE, NEWTON*METER 4810.38
 FLUX AT NO LOAD 0.07826
 STATOR CURRENT DENSITY 3.301
 SURFACE LOADING, W/SQ.CM

STATOR, BELOW WEDGE
 DUE TO DC LOSS 0.0595
 DUE TO TOTAL CU-LOSS 0.0616
 STATOR, TOWARDS AIR GAP
 DUE TO CORE LOSS 0.688
 DUE TO TOTAL CU-LOSS 0.332
 TEMPERATURE RISE (NOT ALWAYS CALC.)

STATOR, RTD 42.6
 CU, UPPER 43.6
 CU, LOWER 44.6
 TEETH 39.7

COOLING AIR 24.0

FACTORS

OUTPUT FACTOR 3.605
 PITCH FACTOR 0.966
 WINDING FACTOR 0.922
 CARTER'S COEFFICIENT 1.540
 PU EDDY CURRENT LOSS, MAX. 0.061
 AVG. 0.007

RATIOS

A/CM STATOR LOADING 403.6
 PU COIL PITCH 0.833
 STATOR SLOT WIDTH/AIR GAP 8.846
 STATOR SLOT/TOOTH WIDTH 0.783
 VOLTS PER TURN 16.793
 STATOR SLOTS/POLE 12.000
 ROTOR SLOTS/POLE 9.667

CU-FILL FACTOR

RANDOM WOUND STATOR WINDING 0.000

DIMENSIONS

LENGTH OF STATOR PACKAGE 41.6
 NET STACK LENGTH 403.5
 STATOR SLOT PITCH, GAP DIAM. 26.18
 ROTOR SLOT PITCH, GAP DIAM. 32.36

CLEARANCES IN STATOR SLOT

IN THE WIDTH 0.40
 IN THE DEPTH 2.16

CUB.DM MAIN STATOR INSULATION 19.736

WEIGHTS

CU, STATOR 242.7
 ROTOR WINDING 183.4
 STATOR PUNCHINGS
 TEETH 244.0
 YOKE 557.2
 TOTAL 801.2
 ROTOR PUNCHINGS
 TEETH 201.2
 YOKE 244.0
 TOTAL 445.3

PU REACTANCES, RUNNING CONDITIONS

XL1 0.08710
 XL2 0.13705
 XM 2.60198

RESISTANCES, OHM, 20 DEGREES

STATOR, PER PHASE 0.221650
 STATOR, LINE-LINE 0.443300

PER UNIT, RUNNING CONDITIONS

R1 (INCL. STRAY LOAD LOSS) 0.01689
 R2 (WITHOUT SKIN EFFECT) 0.00593
 RM (IN PARALLEL WITH XM) 93.74149

MEASURABLE LOSSES

WINDAGE AND FRICTION LOSS 3.742
 CORE LOSS 6.093
 STATOR I-SQUARED*R LOSS 7.180
 ROTOR I-SQUARED*R LOSS 2.833
 STRAY LOAD LOSS 3.122

NON MEASURABLE LOSS COMPONENTS

CORE LOSS
 TEETH 2.555
 YOKE 3.538
 STRAY LOAD LOSS
 STATOR WINDING EDDY LOSS 0.052
 OUTSIDE STATOR WINDING 3.070

AT RATED LOAD

ROTOR SLOT CURRENT 1071.0
 ROTOR CURRENT DENSITY 2.326
 VENTILATION, CUB.M/SEC 0.837
 M/SEC STATOR TEETH, MAX. 18.44
 AT STALLED CONDITION
 DEGREES/SECOND, STATOR 30.11
 ROTOR 118.11

MAX. FLUX DENSITIES AMF.TURNS PU STATOR CURRENT

AIR GAP	0.833	1326.8	0.2520
STATOR TEETH	1.729	53.9	0.0112
STATOR YOKE	1.347	20.8	0.0039
ROTOR TEETH	1.747	414.7	0.0788
ROTOR YOKE	1.652	136.6	0.0259
TOTAL, NO LOAD		1957.9	0.3719

PU VOLTS, NO LOAD

PU VOLTS, NO LOAD	AMPS
1.2	1.1408 100.45
1.1	0.5594 49.25
1.0	0.3719 32.74
0.9	0.2653 23.36
0.8	0.2120 18.67

LOAD POINTS

% LOAD	125	100	75	50	25
--------	-----	-----	----	----	----

LOAD POINTS

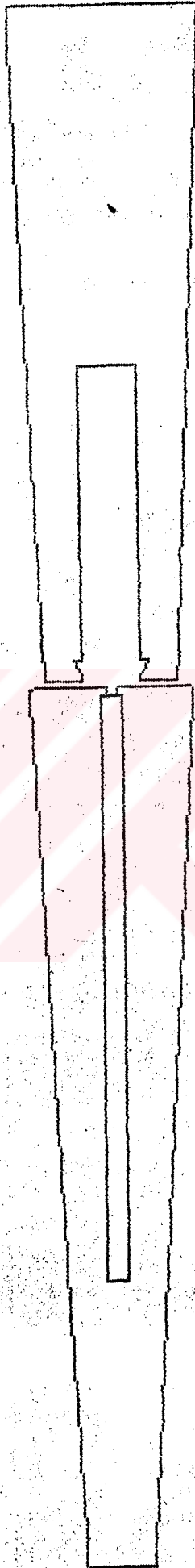
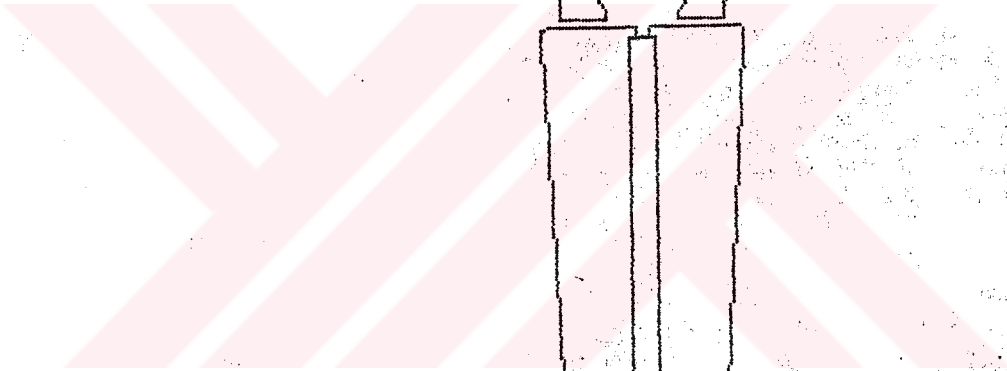
% LOAD	125	100	75	50	25
% SLIP	0.728	0.562	0.410	0.268	0.132
PU STATOR CURRENT	1.246	1.007	0.788	0.592	0.439
PU ROTOR CURRENT	1.126	0.885	0.655	0.432	0.214
POWERFACTOR	0.857	0.847	0.812	0.724	0.501
STATOR I-SQUARED*R LOSS	11.142	7.285	4.455	2.518	1.381
ROTOR I-SQUARED*R LOSS	4.587	2.833	1.550	0.675	0.166
STRAY LOAD LOSS	4.845	3.168	1.937	1.095	0.601
% EFFICIENCY	95.135	95.376	95.259	94.351	90.414

SPEED-TORQUE CURVE

% SLIP	100	75	50	25	PULL-UP	PULL-DN
PU TORQUE	1.392	1.336	1.262	1.209	1.209	2.444
PU STATOR CURRENT	5.738	5.506	5.224	4.854	4.854	3.148
PU ROTOR CURRENT	5.562	5.322	5.030	4.647	4.647	2.930
POWERFACTOR	0.298	0.294	0.288	0.288	0.288	0.696
FACTOR R2	6.266	4.930	3.475	1.949	1.949	1.014
FACTOR XL2	0.593	0.649	0.725	0.834	0.834	0.954

4 POLE, 500 KW MOTOR

500	610	4000	50	6	1	3.5	3.5
.97	1	.06	870	600	470	9	6
18	72	0	0	11.5	11.5	11.5	1
63	0	3	0	0	2	1	12
1	7.6	1.81	0	3.3	3.3	0	.2
1	2	10	2358.489	.008	120	1.3	
1	.97	370	0	0			
58	55	2.5	2	0	2.1	180	2
1	4	12.8	9.3	12	11.7	40.7	
.3	.3	1	50	.6	1771.061	477.4	



SCALE 0.815

500.000
 KVA 610.000
 SE 4000.0
 ENCY 50.000
 R OF POLES 6.0

 R PUNCHING MATERIAL 1.0
 S TEETH, B=1.0 3.500
 S YOKÉ, B=1.0 3.500
 SKING FACTOR 0.970
 LOAD LOSS FACTOR 1.000
 JSS FACTOR 0.0600
 DE DIAMETER 870.0
 E DIAMETER 600.0
 LENGTH 470.0
 F VENTILATING DUCTS 9.0
 OF VENTILATING DUCT 6.0
 SECTION, SPACE BLOCK 18.0
 R OF STATOR SLOTS 72.0
 F VENTILATING HOLES 0.0
 DIAMETER 0.0
 WIDTH, MIN. 11.5
 MAX. 11.5
 WIDTH (ABOVE WEDGE) 11.5
 DEPTH 1.0
 DEPTH 63.0
 DEPTH 0.0
 DEPTH 3.0
 -MAGNETIC
 S AT BOTTOM 0.00
 DNTAL SPACER 2.0

STATOR WINDING CODE 1.0
 TURNS PER COIL 12.0
 STRANDS PER TURN 1.0
 CU-WIDTH 7.60
 CU-DEPTH 1.81
 INSULATION ALLOWANCES, TWO SIDES
 ARMOR TAPE 0.00
 MAIN INSULATION, COIL END 3.30
 SLOT 3.30
 TURN INSULATION 0.00
 STRAND INSULATION 0.20
 CONNECTION Y
 NO. OF PARALLEL CIRCUITS 2.0
 COIL PITCH 10.0
 MEAN LENGTH OF TURN 2358.6
 PU ADDITION, RESISTANCE 0.008
 REFERENCE STATOR TEMP., DEG. C 120.0
 AIR GAP 1.30
 ROTOR PUNCHING MATERIAL 1.0
 STACKING FACTOR 0.970
 BORE DIAMETER 240.4
 NO. OF VENTILATING HOLES 0.0
 HOLE DIAMETER 0.0
 NUMBER OF ROTOR SLOTS 58.0
 SLOT DEPTH 119.80
 NECK WIDTH 2.50
 NECK DEPTH 2.00
 TAPER DEPTH 0.00
 MAX. NECK FLUX DENSITY AT START 2.100
 REFERENCE ROTOR TEMP., DEG. C 120.0

ROTOR WINDING CODE 1.0
 ASSEMBLED RECTANGULAR BARS
 W1 = SLOT WIDTH, TOP 4.00
 W2 = SLOT WIDTH, BOTTOM 4.00
 D3 = BAR DEPTH 117.8
 CLEARANCE, TWO SIDES 0.30
 PU BAR RESISTIVITY 1.000
 BAR EXTENSION, ONE SIDE 50.0
 PU BAR AREA, EXTENSION 0.800
 CU ENDRING
 CROSS SECTIONAL AREA 1771.1
 AVERAGE DIAMETER 377.4

CHRONOUS RPM 1000.0
 IPHERAL SPEED, M/SEC 31.28
 E STATOR CURRENT 88.0
 E TORQUE, NEWTON*METER 4810.38
 X AT NO LOAD 0.07826
 TOR CURRENT DENSITY 3.301
 FACE LOADING, W/SQ.CM
 TATOR, BELOW WEDGE
 DUE TO DC LOSS 0.0595
 DUE TO TOTAL CU-LOSS 0.0616
 TATOR, TOWARDS AIR GAP
 DUE TO CORE LOSS 0.688
 DUE TO TOTAL CU-LOSS 0.332
 PERATURE RISE (NOT ALWAYS CALC.)
 TATOR, RTD 42.4
 CU, UPPER 43.6
 CU, LOWER 44.4
 TEETH 39.6
 JULING AIR 24.0
 PORS
 JPUT FACTOR 3.605
 LTH FACTOR 0.966
 NDING FACTOR 0.922
 WTER'S COEFFICIENT 1.540
 J EDDY CURRENT LOSS, MAX. 0.061
 AVG. 0.007
 LOS
 /CM STATOR LOADING 403.6
 J COIL PITCH 0.833
 TATOR SLOT WIDTH/AIR GAP 8.846
 TATOR SLOT/TOOTH WIDTH 0.783
 L18 PER TURN 16.793
 TATOR SLOTS/POLE 12.000
 TOR SLOTS/POLE 9.667
 ILL FACTOR
 INCOM WOUND STATOR WINDING 0.000
 ENSIONS
 NGTH OF STATOR PACKAGE 41.5
 IT STACK LENGTH 403.5
 TATOR SLOT PITCH, GAP DIAM. 26.18
 TOR SLOT PITCH, GAP DIAM. 32.36
 RANCES IN STATOR SLOT
 I THE WIDTH 0.40
 I THE DEPTH 2.16

CUB.DM MAIN STATOR INSULATION 19.736
 WEIGHTS
 CU, STATOR 242.7
 ROTOR WINDING 166.2
 STATOR PUNCHINGS
 TEETH 244.0
 YOKE 557.2
 TOTAL 801.2
 ROTOR PUNCHINGS
 TEETH 468.5
 YOKE 170.3
 TOTAL 638.7
 PU REACTANCES, RUNNING CONDITIONS
 XL1 0.09047
 XL2 0.30282
 XM 3.18759
 RESISTANCES, OHM, 20 DEGREES
 STATOR, PER PHASE 0.221650
 STATOR, LINE-LINE 0.443300
 PER UNIT, RUNNING CONDITIONS
 R1 (INCL. STRAY LOAD LOSS) 0.01689
 R2 (WITHOUT SKIN EFFECT) 0.00599
 RM (IN PARALLEL WITH XM) 94.67236
 MEASURABLE LOSSES
 WINDAGE AND FRICTION LOSS 3.742
 CORE LOSS 6.093
 STATOR I-SQUARED*R LOSS 7.180
 ROTOR I-SQUARED*R LOSS 3.277
 STRAY LOAD LOSS 3.122
 NON MEASURABLE LOSS COMPONENTS
 CORE LOSS
 TEETH 2.555
 YOKE 3.538
 STRAY LOAD LOSS
 STATOR WINDING EDDY LOSS 0.052
 OUTSIDE STATOR WINDING 3.070
 AT RATED LOAD
 ROTOR SLOT CURRENT 1145.8
 ROTOR CURRENT DENSITY 2.629
 VENTILATION, CUB.M/SEC 0.854
 M/SEC STATOR TEETH, MAX. 18.80
 AT STALLED CONDITION
 DEGREES/SECOND, STATOR 29.57
 ROTOR 142.86

	MAX. FLUX DENSITIES	AMP.TURNS	PU STATOR CURRENT
GAP	0.833	1376.8	0.2520
OR TEETH	1.727	58.9	0.0112
OR YOKE	1.347	20.8	0.0039
R TEETH	2.049	104.3	0.0198
R YOKE	1.652	95.3	0.0181
L, NO LOAD		1606.1	0.3051
		PU VOLTS, NO LOAD	AMPS
		1.2	0.7091 62.34
		1.1	0.4453 37.21
		1.0	0.3051 26.66
		0.9	0.2437 21.43
		0.8	0.2095 18.44

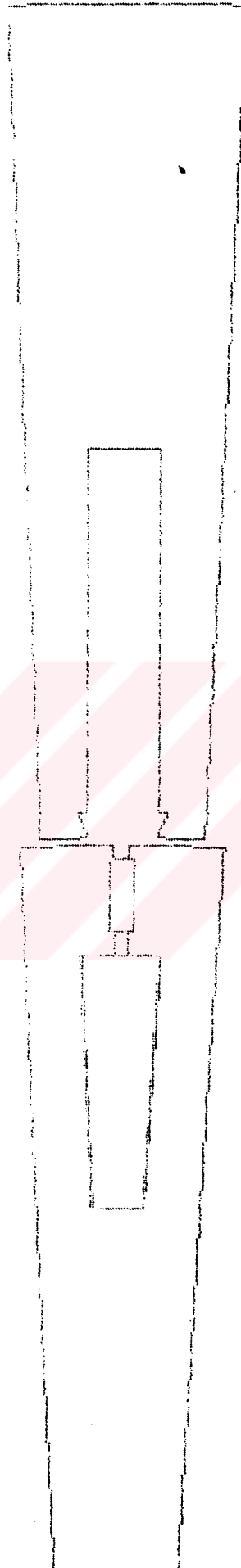
AD POINTS

% LOAD	125	100	75	50	25
% SLIP	0.933	0.642	0.434	0.274	0.133
PU STATOR CURRENT	1.422	1.082	0.798	0.569	0.389
PU ROTOR CURRENT	1.270	0.947	0.671	0.435	0.214
POWERFACTOR	0.759	0.800	0.803	0.752	0.563
STATOR I-SQUARED*R LOSS	14.520	8.401	4.577	2.328	1.084
ROTOR I-SQUARED*R LOSS	5.896	3.277	1.645	0.690	0.157
STRAY LOAD LOSS	6.314	3.653	1.990	1.012	0.471
% EFFICIENCY	94.150	94.967	95.187	94.454	90.754

PEED-TORQUE CURVE

% SLIP	100	75	50	25	PULL-UP	PULL-OUT
PU TORQUE	1.525	1.624	1.738	1.847	1.525	1.432
PU STATOR CURRENT	5.687	5.439	5.060	4.357	5.687	1.819
PU ROTOR CURRENT	5.549	5.296	4.910	4.194	5.549	1.647
POWERFACTOR	0.318	0.339	0.370	0.424	0.318	0.685
FACTOR R2	6.829	5.987	4.969	3.618	6.829	1.108
FACTOR XL2	0.256	0.278	0.314	0.395	0.256	0.964

0	510	4000	50	6	1	3.5	3.5
7	1	.06	870	600	470	9	6
	72	0	0	11.5	11.5	11.5	1
	0	3	0	0	2	1	12
	7.5	1.81	0	3.3	3.3	0	.2
	2	10	2358.489	.008	120	1.3	
	.97	240.4	0	0			
	119.8	2.5	2	0	2.1	180	1
	4	4	117.8	.3	1	50	.8
71.1	377.4						



SCALE 1.000

```

W2 = SLOT WIDTH, LEAKAGE 2.00
W3 = SLOT WIDTH, CENTER 12.80
W4 = SLOT WIDTH, BOTTOM 3.30
D2 = SLOT DEPTH, TOP 11.7
D3 = SLOT DEPTH, LEAKAGE 4.0
D4 = BAR DEPTH, TOP 11.7
D5 = BAR DEPTH, BOTTOM 41.0
CLEARANCE, TWO SIDES, TOP 0.30
                                BOTTOM 0.30
PU BAR RESISTIVITY, TOP 1.000
                                BOTTOM 1.000
BAR EXTENSION, ONE SIDE, TOP 50.0
                                BOTTOM 50.0
CU ENDRING, TOP
CROSS SECTIONAL AREA 182.5
AVERAGE DIAMETER 570.7
CU ENDRING, BOTTOM
CROSS SECTIONAL AREA 1588.6
AVERAGE DIAMETER 488.6

```

SYNCHRONOUS RPM 1000.0
 PERIPHERAL SPEED, M/SEC 31.28
 BASE STATOR CURRENT 88.0
 BASE TORQUE, NEWTON*METER 4810.38
 FLUX AT NO LOAD 0.07826
 STATOR CURRENT DENSITY 3.301
 SURFACE LOADING, W/SQ.CM
 STATOR, BELOW WEDGE
 DUE TO DC LOSS 0.0595
 DUE TO TOTAL CU-LOSS 0.0616
 STATOR, TOWARDS AIR GAP
 DUE TO CORE LOSS 0.688
 DUE TO TOTAL CU-LOSS 0.332
 TEMPERATURE RISE (NOT ALWAYS CALC.)
 STATOR, RTD 42.6
 CU, UPPER 43.8
 CU, LOWER 44.5 --
 TEETH 39.7
 COOLING AIR 24.0
 FACTORS
 OUTPUT FACTOR 3.605
 PITCH FACTOR 0.966
 WINDING FACTOR 0.922
 CARTER'S COEFFICIENT 1.540
 PU EDDY CURRENT LOSS, MAX. 0.061
 AVG. 0.007
 RATIOS
 A/CM STATOR LOADING 403.6
 PU COIL PITCH 0.833
 STATOR SLOT WIDTH/AIR GAP 8.846
 STATOR SLOT/TOOTH WIDTH 0.783
 VOLTS PER TURN 16.793
 STATOR SLOTS/POLE 12.000
 ROTOR SLOTS/POLE 9.667
 CU-FILL FACTOR
 RANDOM WOUND STATOR WINDING 0.000
 DIMENSIONS
 LENGTH OF STATOR PACKAGE 41.6
 NET STACK LENGTH 403.5
 STATOR SLOT PITCH, GAP DIAM. 26.18
 ROTOR SLOT PITCH, GAP DIAM. 32.36
 CLEARANCES IN STATOR SLOT
 IN THE WIDTH 0.40
 IN THE DEPTH 2.16

CUB.DM MAIN STATOR INSULATION 19.737
 WEIGHTS

CU, STATOR 242.7
 ROTOR WINDING 186.2
 STATOR PUNCHINGS
 TEETH 244.0
 YOKE 557.2
 TOTAL 801.2
 ROTOR PUNCHINGS
 TEETH 217.3
 YOKE 239.8
 TOTAL 457.2

PU REACTANCES, RUNNING CONDITIONS

XL1 0.08625
 XL2 0.17649
 XM 2.45403

RESISTANCES, OHM, 20 DEGREES

STATOR, PER PHASE 0.221651
 STATOR, LINE-LINE 0.443302

PER UNIT, RUNNING CONDITIONS

R1 (INCL. STRAY LOAD LOSS) 0.01689
 R2 (WITHOUT SKIN EFFECT) 0.00594
 RM (IN PARALLEL WITH XM) 93.43890

MEASURABLE LOSSES

WINDAGE AND FRICTION LOSS 3.742
 CORE LOSS 6.093
 STATOR I-SQUARED*R LOSS 7.180
 ROTOR I-SQUARED*R LOSS 2.904
 STRAY LOAD LOSS 3.122

NON MEASURABLE LOSS COMPONENTS

CORE LOSS
 TEETH 2.555
 YOKE 3.538
 STRAY LOAD LOSS
 STATOR WINDING EDDY LOSS 0.052
 OUTSIDE STATOR WINDING 3.070

AT RATED LOAD

ROTOR SLOT CURRENT 1083.2
 ROTOR CURRENT DENSITY 2.337
 VENTILATION, CUB.M/SEC 0.840
 M/SEC STATOR TEETH, MAX. 18.50
 AT STALLED CONDITION
 DEGREES/SECOND, STATOR 29.52
 ROTOR 203.37

	MAX. FLUX DENSITIES	AMP.TURNS	PU STATOR CURRENT
AIR GAP	0.833	1326.6	0.2520
STATOR TEETH	1.729	58.9	0.0112
STATOR YOKE	1.347	20.8	0.0039
ROTOR TEETH	1.787	531.8	0.1010
ROTOR YOKE	1.652	134.3	0.0255
TOTAL, NO LOAD		2072.5	0.3937

PU VOLTS, NO LOAD	AMPS
1.2	137.68
1.1	54.06
1.0	34.66
0.9	24.39
0.8	18.87

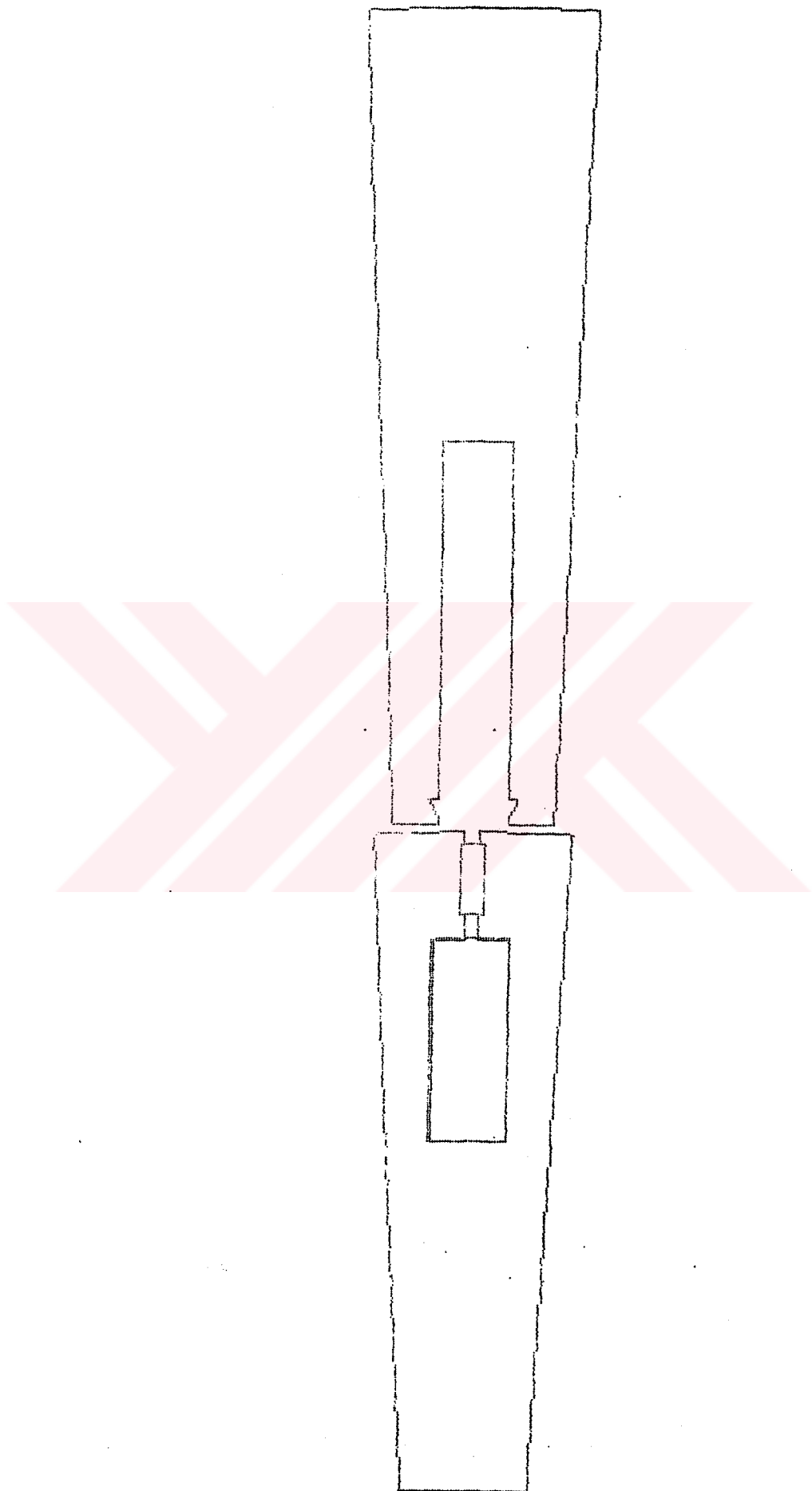
OAD POINTS

% LOAD	125	100	75	50	25
% SLIP	0.757	0.576	0.416	0.270	0.133
PU STATOR CURRENT	1.292	1.039	0.812	0.613	0.459
PU ROTOR CURRENT	1.147	0.895	0.659	0.434	0.215
POWERFACTOR	0.829	0.822	0.789	0.700	0.479
STATOR I-SQUARED*R LOSS	11.983	7.757	4.732	2.696	1.514
ROTOR I-SQUARED*R LOSS	4.768	2.904	1.573	0.681	0.167
STRAY LOAD LOSS	5.210	3.373	2.058	1.172	0.658
% EFFICIENCY	94.913	95.226	95.147	94.246	90.261

FEED-TORQUE CURVE

% SLIP	100	75	50	25	PULL-UP	PULL-OUT
PU TORQUE	2.434	2.407	2.225	1.770	1.520	2.070
PU STATOR CURRENT	5.683	5.280	4.772	4.188	3.833	2.705
PU ROTOR CURRENT	5.516	5.103	4.578	3.764	3.591	2.508
POWERFACTOR	0.450	0.466	0.466	0.421	0.394	0.580
FACTOR R2	11.118	9.640	7.379	3.915	1.638	1.035
FACTOR XL2	0.404	0.464	0.569	0.763	0.910	0.979

30	610	4000	50	6	1	3.5	3.5
77	1	.06	870	600	470	9	6
2	72	0	0	11.5	11.5	11.5	1
3	0	3	0	0	2	1	12
	7.6	1.81	0	3.3	3.3	0	.2
	2	10	2358.5	.008	1.20	1.3	
	.97	362.6	0	0			
3	58.7	2.5	2	0	2.1	180	3
	4	2	12.8	8.3	11.7	4	11.7
1	.3	.3	1	1	50	50	
32.5	570.7	1588.6	488.6				



SCALE 1.000

500.000
SE KVA 610.000
LTAGE 4000.0
EQUENCY 50.000
MBER OF POLES 6.0

ATOR PUNCHING MATERIAL 1.0
W/KG TEETH, B=1.0 3.500
W/KG YOKE, B=1.0 3.500
STACKING FACTOR 0.970
RAY LOAD LOSS FACTOR 1.000
F LOSS FACTOR 0.0600
SIDE DIAMETER 870.0
SIDE DIAMETER 600.0
ACK LENGTH 470.0
. OF VENTILATING DUCTS 9.0
DTH OF VENTILATING DUCT 6.0
SS SECTION, SPACE BLOCK 18.0
MBER OF STATOR SLOTS 72.0
. OF VENTILATING HOLES 0.0
LE DIAMETER 0.0
JT WIDTH, MIN. 11.5
MAX. 11.5
CK WIDTH (ABOVE WEDGE) 11.5
CK DEPTH 1.0
JT DEPTH 63.0
PER DEPTH 0.0
DGE DEPTH 3.0
NON-MAGNETIC
DIUS AT BOTTOM 0.00
RIZONTAL SPACER 2.0

STATOR WINDING CODE 1.0
TURNS PER COIL 12.0
STRANDS PER TURN 1.0
CU-WIDTH 7.60
CU-DEPTH 1.81
INSULATION ALLOWANCES, TWO SIDES
ARMOR TAPE 0.00
MAIN INSULATION, COIL END 3.30
SLOT 3.30
TURN INSULATION 0.00
STRAND INSULATION 0.20
CONNECTION Y
NO. OF PARALLEL CIRCUITS 2.0
COIL PITCH 10.0
MEAN LENGTH OF TURN 2358.5
PU ADDITION, RESISTANCE 0.008
REFERENCE STATOR TEMP., DEG. C 120.0
AIR GAP 1.30
ROTOR PUNCHING MATERIAL 1.0
STACKING FACTOR 0.970
BORE DIAMETER 377.0
NO. OF VENTILATING HOLES 0.0
HOLE DIAMETER 0.0
NUMBER OF ROTOR SLOTS 58.0
SLOT DEPTH 51.50
NECK WIDTH 2.50
NECK DEPTH 2.00
TAPER DEPTH 0.00
MAX. NECK FLUX DENSITY AT START 2.100
REFERENCE ROTOR TEMP., DEG. C 180.0

ROTOR WINDING CODE 3.0
ASSEMBLED DOUBLE CAGE
RECTANGULAR TOP BAR
W1 = SLOT WIDTH, TOP 4.00
W2 = SLOT WIDTH, LEAKAGE 2.00
W3 = SLOT WIDTH, CENTER 12.80
W4 = SLOT WIDTH, BOTTOM 12.80
D2 = SLOT DEPTH, TOP 11.7
D3 = SLOT DEPTH, LEAKAGE 4.0
D4 = BAR DEPTH, TOP 11.7
D5 = BAR DEPTH, BOTTOM 33.8
CLEARANCE, TWO SIDES, TOP 0.30
BOTTOM 0.30
PU BAR RESISTIVITY, TOP 1.000
BOTTOM 1.000
BAR EXTENSION, ONE SIDE, TOP 50.0
BOTTOM 50.0
CU ENDRING, TOP
CROSS SECTIONAL AREA 182.5
AVERAGE DIAMETER 574.2
CU ENDRING, BOTTOM
CROSS SECTIONAL AREA 1588.6
AVERAGE DIAMETER 506.6

ICHRONOUS RPM 1000.0
IPHERAL SPEED, M/SEC 31.28
IF STATOR CURRENT 88.0

CUB.DM MAIN STATOR INSULATION 19.736
WEIGHTS
CU STATOR 242.7

NCHRONOUS RPM 1000.0
 RIPHERAL SPEED, M/SEC 31.28
 SE STATOR CURRENT 88.0
 SE TORQUE, NEWTON*METER 4810.38
 JX AT NO LOAD 0.07826
 STATOR CURRENT DENSITY 3.301
 RFACE LOADING, W/30.CM
 STATOR, BELOW WEDGE
 DUE TO DC LOSS 0.0595
 DUE TO TOTAL CU-LOSS 0.0616
 STATOR, TOWARDS AIR GAP
 DUE TO CORE LOSS 0.688
 DUE TO TOTAL CU-LOSS 0.332
 TEMPERATURE RISE (NOT ALWAYS CALC.)
 STATOR, RTD 42.6
 CU, UPPER 43.8
 CU, LOWER 44.5
 TEETH 39.7
 COOLING AIR 24.0
 CTORS
 OUTPUT FACTOR 3.605
 PITCH FACTOR 0.966
 WINDING FACTOR 0.922
 CARTER'S COEFFICIENT 1.540
 PU EDDY CURRENT LOSS, MAX. 0.061
 AVG. 0.007
 TIOS
 W/CM STATOR LOADING 403.6
 PU COIL PITCH 0.833
 STATOR SLOT WIDTH/AIR GAP 8.846
 STATOR SLOT/TOOTH WIDTH 0.783
 VOLTS PER TURN 16.793
 STATOR SLOTS/POLE 12.000
 ROTOR SLOTS/POLE 9.667
 -FILL FACTOR
 RANDOM WOUND STATOR WINDING 0.000
 MENSIONS
 LENGTH OF STATOR PACKAGE 41.6
 NET STACK LENGTH 403.5
 STATOR SLOT PITCH, GAP DIAM. 26.18
 ROTOR SLOT PITCH, GAP DIAM. 32.36
 CLEARANCES IN STATOR SLOT
 IN THE WIDTH 0.40
 IN THE DEPTH 2.16

CUB.M MAIN STATOR INSULATION 19.736
 WEIGHTS
 CU, STATOR 242.7
 ROTOR WINDING 188.6
 STATOR PUNCHINGS
 TEETH 244.0
 YOKE 557.2
 TOTAL 801.2
 ROTOR PUNCHINGS
 TEETH 183.3
 YOKE 248.0
 TOTAL 431.3
 PU REACTANCES, RUNNING CONDITIONS
 XL1 0.08284
 XL2 0.16769
 XM 1.85969
 RESISTANCES, OHM, 20 DEGREES
 STATOR, PER PHASE 0.221650
 STATOR, LINE-LINE 0.443300
 PER UNIT, RUNNING CONDITIONS
 R1 (INCL. STRAY LOAD LOSS) 0.01689
 R2 (WITHOUT SKIN EFFECT) 0.00595
 RM (IN PARALLEL WITH XM) 91.76535
 MEASURABLE LOSSES
 WINDAGE AND FRICTION LOSS 3.742
 CORE LOSS 6.093
 STATOR I-SQUARED*R LOSS 7.180
 ROTOR I-SQUARED*R LOSS 2.951
 STRAY LOAD LOSS 3.122
 NON MEASURABLE LOSS COMPONENTS
 CORE LOSS
 TEETH 2.555
 YOKE 3.538
 STRAY LOAD LOSS
 STATOR WINDING EDDY LOSS 0.052
 OUTSIDE STATOR WINDING 3.070
 AT RATED LOAD
 ROTOR SLOT CURRENT 1090.6
 ROTOR CURRENT DENSITY 2.341
 VENTILATION, CUB.M/SEC 0.942
 M/SEC STATOR TEETH, MAX. 18.54
 AT STALLED CONDITION
 DEGREES/SECOND, STATOR 32.38
 ROTOR 218.36

	MAX. FLUX DENSITIES	AMP.TURNS	PU STATOR CURRENT	
R GAP	0.833	1326.8	0.2520	
STATOR TEETH	1.729	58.9	0.0112	
STATOR YOKE	1.347	20.8	0.0039	
ROTOR TEETH	2.254	1165.0	0.2213	
ROTOR YOKE	1.652	138.8	0.0264	
TOTAL, NO LOAD		2710.3	0.5148	
		PU VOLTS, NO LOAD		AMPS
		1.2	3.3819	297.76
		1.1	1.6576	145.94
		1.0	0.5148	45.33
		0.9	0.3305	29.10
		0.8	0.2366	20.83

AD POINTS

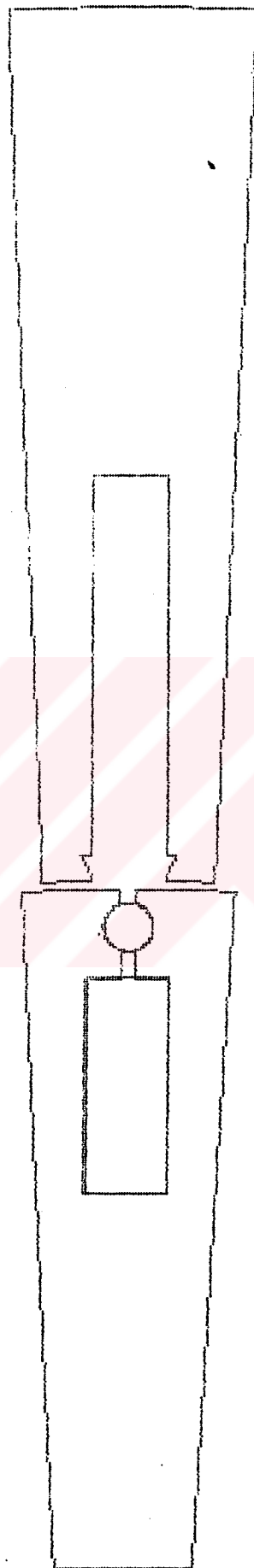
LOAD POINTS

	125	100	75	50	25
% LOAD					
% SLIP	0.766	0.585	0.424	0.276	0.136
PU STATOR CURRENT	1.354	1.108	0.889	0.703	0.568
PU ROTOR CURRENT	1.153	0.901	0.664	0.437	0.217
POWERFACTOR	0.792	0.773	0.723	0.613	0.390
STATOR I-SQUARED*R LOSS	13.171	8.809	5.668	3.548	2.317
ROTOR I-SQUARED*R LOSS	4.828	2.951	1.603	0.695	0.171
STRAY LOAD LOSS	5.727	3.830	2.465	1.543	1.007
% EFFICIENCY	94.630	94.915	94.781	93.752	89.337

FEED-TORQUE CURVE

					PULL-UP	PULL-OUT
% SLIP	100	75	50	25	10	2.377
PU TORQUE	2.645	2.593	2.361	1.831	1.587	2.140
PU STATOR CURRENT	5.952	5.507	4.955	4.369	4.040	2.870
PU ROTOR CURRENT	5.741	5.281	4.704	4.076	3.726	2.611
POWERFACTOR	0.468	0.483	0.478	0.421	0.394	0.667
FACTOR R2	11.131	9.672	7.400	3.820	1.585	1.035
FACTOR XL2	0.393	0.457	0.571	0.774	0.911	0.974

0	610	4000	50	6	1	3.5	3.5
7	1	106	870	600	470	9	6
	72	0	0	11.5	11.5	11.5	1
	0	3	0	0	2	1	12
	7.6	1.81	0	3.3	3.3	0	.2
	2	10	2358.489	1008	120	1.3	
	.97	377	0	0			
	51.5	2.5	2	0	2.1	180	3
	4	2	12.8	12.8	11.7	4	11.7
.8	.3	.3	1	1	50	50	
2.5	574.25	1588.56	506.65				



SCALE 1.000

500.000
 KVA 610.000
 AGE 4000.0
 JENCY 50.000
 ER OF POLES 6.0

 JR PUNCHING MATERIAL 1.0
 CB TEETH, B=1.0 3.500
 CB YOKE, B=1.0 3.500
 ACKING FACTOR 0.970
 Y LOAD LOSS FACTOR 1.000
 LOSS FACTOR 0.0600
 IDE DIAMETER 870.0
 DE DIAMETER 600.0
 K LENGTH 470.0
 OF VENTILATING DUCTS 9.0
 4 OF VENTILATING DUCT 6.0
 3 SECTION, SPACE BLOCK 18.0
 ER OF STATOR SLOTS 72.0
 OF VENTILATING HOLES 0.0
 DIAMETER 0.0
 WIDTH, MIN. 11.5
 MAX. 11.5
 WIDTH (ABOVE WEDGE) 11.5
 DEPTH 1.0
 DEPTH 63.0
 R DEPTH 0.0
 E DEPTH 3.0
 N-MAGNETIC
 US AT BOTTOM 0.00
 ZONTAL SPACER 2.0

STATOR WINDING CODE 1.0
 TURNS PER COIL 12.0
 STRANDS PER TURN 1.0
 CU-WIDTH 7.60
 CU-DEPTH 1.81
 INSULATION ALLOWANCES, TWO SIDES
 ARMOR TAPE 0.00
 MAIN INSULATION, COIL END 3.30
 SLOT 3.30
 TURN INSULATION 0.00
 STRAND INSULATION 0.20
 CONNECTION Y
 NO. OF PARALLEL CIRCUITS 2.0
 COIL PITCH 10.0
 MEAN LENGTH OF TURN 2358.5
 PU ADDITION, RESISTANCE 0.008
 REFERENCE STATOR TEMP., DEG. C 120.0
 AIR GAP 1.30
 ROTOR PUNCHING MATERIAL 1.0
 STACKING FACTOR 0.970
 BORE DIAMETER 385.0
 NO. OF VENTILATING HOLES 0.0
 HOLE DIAMETER 0.0
 NUMBER OF ROTOR SLOTS 58.0
 SLOT DEPTH 47.52
 NECK WIDTH 2.50
 NECK DEPTH 2.00
 TAPER DEPTH 0.00
 MAX. NECK FLUX DENSITY AT START 2.100
 REFERENCE ROTOR TEMP., DEG. C 180.0

ROTOR WINDING CODE 4.0
 ASSEMBLED DOUBLE CAGE
 ROUND TOP BAR
 W1 = SLOT WIDTH, TOP 7.72
 W2 = SLOT WIDTH, LEAKAGE 2.00
 W3 = SLOT WIDTH, CENTER 12.80
 W4 = SLOT WIDTH, BOTTOM 12.80
 D2 = SLOT DEPTH, TOP 7.7
 D3 = SLOT DEPTH, LEAKAGE 4.0
 D4 = BAR DEPTH, TOP 7.7
 D5 = BAR DEPTH, BOTTOM 33.8
 CLEARANCE, TWO SIDES, TOP 0.30
 BOTTOM 0.30
 PU BAR RESISTIVITY, TOP 1.000
 BOTTOM 1.000
 BAR EXTENSION, ONE SIDE, TOP 50.0
 BOTTOM 50.0
 CU ENDRING, TOP
 CROSS SECTIONAL AREA 132.5
 AVERAGE DIAMETER 528.0
 CU ENDRING, BOTTOM
 CROSS SECTIONAL AREA 1598.6
 AVERAGE DIAMETER 504.0

IRONOUS RPM 1000.0
 HERAL SPEED, M/SEC 31.28
 STATOR CURRENT 88.0
 TORQUE, NEWTON*METER 4810.38
 AT NO LOAD 0.07826
 OR CURRENT DENSITY 3.301
 ACE LOADING, W/SQ.CM
 ATOR, BELOW WEDGE
 DUE TO DC LOSS 0.0595
 DUE TO TOTAL CU-LOSS 0.0616
 ATOR, TOWARDS AIR GAP
 DUE TO CORE LOSS 0.688
 DUE TO TOTAL CU-LOSS 0.332
 ERATURE RISE (NOT ALWAYS CALC.)
 ATOR, RTD 42.6,
 CU, UPPER 43.8
 CU, LOWER 44.5
 TEETH 39.7
 DLING AIR 24.0
 ORS
 TPUT FACTOR 3.605
 ICH FACTOR 0.966
 NDING FACTOR 0.922
 RTER'S COEFFICIENT 1.540
 EDDY CURRENT LOSS, MAX. 0.061
 AVG. 0.007
 DS
 CM STATOR LOADING 403.6
 COIL PITCH 0.833
 ATOR SLOT WIDTH/AIR GAP 8.846
 ATOR SLOT/TOOTH WIDTH 0.783
 LTS PER TURN 16.793
 ATOR SLOTS/POLE 12.000
 FOR SLOTS/POLE 9.667
 ILL FACTOR
 JDOM WOUND STATOR WINDING 0.000
 VSIONS
 GBTH OF STATOR PACKAGE 41.6
 F STACK LENGTH 403.5
 ATOR SLOT PITCH, GAP DIAM. 26.18
 FOR SLOT PITCH, GAP DIAM. 32.36
 RANCES IN STATOR SLOT
 THE WIDTH 0.40
 THE DEPTH 2.16

CUB.DM MAIN STATOR INSULATION 19.736
 WEIGHTS
 CU, STATOR 242.7
 ROTOR WINDING 188.9
 STATOR PUNCHINGS
 TEETH 244.0
 YOKE 557.2
 TOTAL 801.2
 ROTOR PUNCHINGS
 TEETH 161.1
 YOKE 252.6
 TOTAL 413.7
 PU REACTANCES, RUNNING CONDITIONS
 XL1 0.08440
 XL2 0.14040
 XM 2.13099
 RESISTANCES, OHM, 20 DEGREES
 STATOR, PER PHASE 0.221650
 STATOR, LINE-LINE 0.443300
 PER UNIT, RUNNING CONDITIONS
 R1 (INCL. STRAY LOAD LOSS) 0.01687
 R2 (WITHOUT SKIN EFFECT) 0.00590
 RM (IN PARALLEL WITH XM) 92.63944
 MEASURABLE LOSSES
 WINDAGE AND FRICTION LOSS 3.742
 CORE LOSS 6.093
 STATOR I-SQUARED*R LOSS 7.180
 ROTOR I-SQUARED*R LOSS 2.858
 STRAY LOAD LOSS 3.122
 NON MEASURABLE LOSS COMPONENTS
 CORE LOSS
 TEETH 2.355
 YOKE 3.538
 STRAY LOAD LOSS
 STATOR WINDING EDDY LOSS 0.052
 OUTSIDE STATOR WINDING 3.070
 AT RATED LOAD
 ROTOR SLOT CURRENT 1078.0
 ROTOR CURRENT DENSITY 2.297
 VENTILATION, CUB.M/SEC 0.838
 M/SEC STATOR TEETH, MAX. 18.46
 AT STALLED CONDITION
 DEGREES/SECOND, STATOR 38.59
 ROTOR 178.04

	MAX. FLUX DENSITIES	AMP. TURNS	PU STATOR CURRENT	
GAP	0.833	1326.8	0.2520	
OR TEETH	1.729	58.9	0.0112	
OR YOKE	1.347	20.8	0.0039	
R TEETH	2.187	828.7	0.1574	
R YOKE	1.552	141.3	0.0268	
., NO LOAD		2376.5	0.4514	
		PU VOLTS, NO LOAD		AMPS
		1.2	2.7001	237.73
		1.1	1.1412	100.48
		1.0	0.4514	39.74
		0.9	0.3070	27.03
		0.8	0.2258	19.88

POINTS

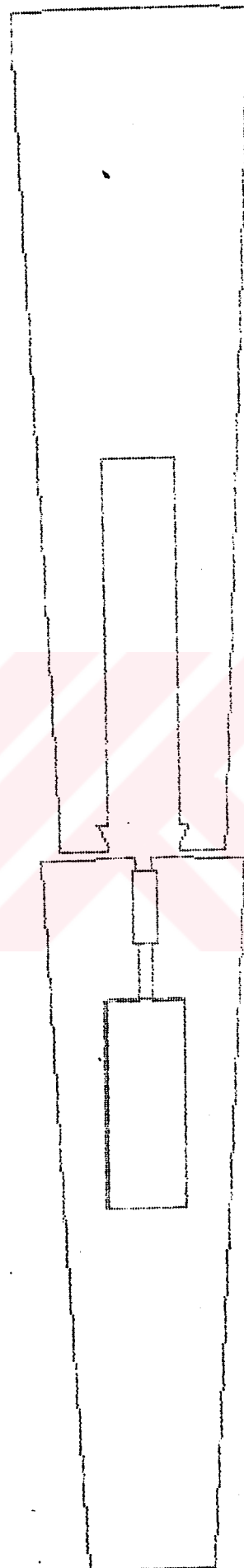
POINTS

	125	100	75	50	25
AD					
IP	0.735	0.567	0.413	0.270	0.133
STATOR CURRENT	1.291	1.053	0.837	0.650	0.509
ROTOR CURRENT	1.134	0.891	0.659	0.435	0.216
ERFACTOR	0.829	0.811	0.765	0.661	0.434
FOR I-SQUARED*R LOSS	11.964	7.964	5.035	3.033	1.861
OR I-SQUARED*R LOSS	4.630	2.858	1.562	0.680	0.167
AY LOAD LOSS	5.202	3.463	2.189	1.319	0.809
FFICIENCY	94.939	95.176	95.034	94.054	89.863

-TORQUE CURVE :

	100	75	50	25	PULL-UP	PULL-OUT
IP					15	2.625
TORQUE	2.160	2.208	2.114	1.764	1.650	2.412
STATOR CURRENT	6.497	6.103	5.564	4.905	4.639	3.144
ROTOR CURRENT	6.319	5.913	5.354	4.664	4.386	2.936
ERFACTOR	0.385	0.402	0.408	0.381	0.373	0.689
FOR R2	7.571	6.628	5.160	2.836	1.800	1.028
FOR XL2	0.416	0.474	0.578	0.767	0.856	0.956

610	4000	50	6	1	3.5	3.5
1	.06	870	600	470	9	6
72	0	0	11.5	11.5	11.5	1
0	3	0	0	2	1	12
7.6	1.81	0	3.3	3.3	0	.2
2	10	2358.489	.008	120	1.3	
.97	384.96	0	0			
47.518	2.5	2	0	2.1	180	4
7.718	2	12.6	12.8	7.718	4	7.718
.3	.3	1	1	50	50	
528	1588.56	504				



SCALE 1.000

00
 610.000
 000.0
 50.000
 POLES 6.0

 WINDING MATERIAL 1.0
 PH, B=1.0 : 3.500
 E, B=1.0 3.500
 FACTOR 0.970
 LOSS FACTOR 1.000
 ACTOR 0.0600
 AMETER 870.0
 METER 600.0
 PH 470.0
 VENTILATING DUCTS 9.0
 VENTILATING DUCT 6.0
 ION, SPACE BLOCK 18.0
 STATOR SLOTS 72.0
 VENTILATING HOLES 0.0
 TER 0.0
 , MIN. 11.5
 MAX. 11.5
 (ABOVE WEDGE) 11.5
 1.0
 63.0
 H 0.0
 H 3.0
 ETIC
 BOTTOM 0.00
 SPACER 2.0

 STATOR WINDING CODE 1.0
 TURNS PER COIL 12.0
 STRANDS PER TURN 1.0
 CU-WIDTH 7.60
 CU-DEPTH 1.81
 INSULATION ALLOWANCES, TWO SIDES
 ARMOR TAPE 0.00
 MAIN INSULATION, COIL END 3.30
 SLOT 3.30
 TURN INSULATION 0.00
 STRAND INSULATION 0.20
 CONNECTION Y
 NO. OF PARALLEL CIRCUITS 2.0
 COIL FITCH 10.0
 MEAN LENGTH OF TURN 2358.5
 PU ADDITION, RESISTANCE 0.008
 REFERENCE STATOR TEMP., DEG. C 120.0
 AIR GAP 1.30
 ROTOR PUNCHING MATERIAL 1.0
 STACKING FACTOR 0.970
 BORE DIAMETER 367.0
 NO. OF VENTILATING HOLES 0.0
 HOLE DIAMETER 0.0
 NUMBER OF ROTOR SLOTS 32.0
 SLOT DEPTH 56.50
 NECK WIDTH 2.50
 NECK DEPTH 2.00
 TAPER DEPTH 0.00
 MAX. NECK FLUX DENSITY AT START 2.100
 REFERENCE ROTOR TEMP., DEG. C 180.0

 ROTOR WINDING CODE 3.0
 ASSEMBLED DOUBLE CAGE
 RECTANGULAR TOP BAR
 W1 = SLOT WIDTH, TOP 4.00
 W2 = SLOT WIDTH, LEAKAGE 2.00
 W3 = SLOT WIDTH, CENTER 12.80
 W4 = SLOT WIDTH, BOTTOM 12.80
 D2 = SLOT DEPTH, TOP 11.7
 D3 = SLOT DEPTH, LEAKAGE 9.0
 D4 = BAR DEPTH, TOP 11.7
 D5 = BAR DEPTH, BOTTOM 33.8
 CLEARANCE, TWO SIDES, TOP 0.30
 BOTTOM 0.30
 PU BAR RESISTIVITY, TOP 1.000
 BOTTOM 1.000
 BAR EXTENSION, ONE SIDE, TOP 50.0
 BOTTOM 50.0
 CU ENDRING, TOP
 CROSS SECTIONAL AREA 182.5
 AVERAGE DIAMETER 588.2
 CU ENDRING, BOTTOM
 CROSS SECTIONAL AREA 1588.6
 AVERAGE DIAMETER 554.2

IS RPM 1000.0
 SPEED, M/SEC 31.28

CUB.DM MAIN STATOR INSULATION 19.736
 WEIGHTS

NOUS RPM 1000.0
 RAL SPEED, M/SEC 31.28
 ATOR CURRENT 88.0
 RGUE, NEWTON*METER 4810.38
 NO LOAD 0.07826
 CURRENT DENSITY 3.301
 LOADING, W/SQ.CM
 R, BELOW WEDGE
 TO DC LOSS 0.0595
 TO TOTAL CU-LOSS 0.0616
 R, TOWARDS AIR GAP
 TO CORE LOSS 0.688
 TO TOTAL CU-LOSS 0.332
 TURE RISE (NOT ALWAYS CALD.)
 R, RTD 42.5
 CU, UPPER 43.7
 CU, LOWER 44.4
 TEETH 39.6
 NG AIR 24.0

T FACTOR 3.605
 FACTOR 0.966
 NG FACTOR 0.922
 R'S COEFFICIENT 1.540
 DY CURRENT LOSS, MAX. 0.061
 AVG. 0.007

STATOR LOADING 403.6
 IIL PITCH 0.833
 IR SLOT WIDTH/AIR GAP 8.846
 IR SLOT/TOOTH WIDTH 0.783
 I PER TURN 16.793
 IR SLOTS/POLE 12.000
 I SLOTS/POLE 9.667
 I FACTOR
 IM WOUND STATOR WINDING 0.000
 IONS
 H OF STATOR PACKAGE 41.6
 STACK LENGTH 403.5
 IR SLOT PITCH, GAP DIAM. 26.18
 R SLOT PITCH, GAP DIAM. 32.36
 IES IN STATOR SLOT
 IE WIDTH 0.40
 IE DEPTH 2.16

CUB.DM MAIN STATOR INSULATION 19.736
 WEIGHTS
 CU, STATOR 242.7
 ROTOR WINDING 192.9
 STATOR PUNCHINGS
 TEETH 244.0
 YOKE 557.2
 TOTAL 801.2
 ROTOR PUNCHINGS
 TEETH 205.3
 YOKE 242.3
 TOTAL 447.6

PU REACTANCES, RUNNING CONDITIONS
 XL1 0.07997
 XL2 0.21639
 XM 1.36122
 RESISTANCES, OHM, 20 DEGREES
 STATOR, PER PHASE 0.221650
 STATOR, LINE-LINE 0.443300
 PER UNIT, RUNNING CONDITIONS
 R1 (INCL. STRAY LOAD LOSS) 0.01689
 R2 (WITHOUT SKIN EFFECT) 0.00606
 RM (IN PARALLEL WITH XM) 89.31894
 MEASURABLE LOSSES
 WINDAGE AND FRICTION LOSS 3.742
 CORE LOSS 6.093
 STATOR I-SQUARED*R LOSS 7.180
 ROTOR I-SQUARED*R LOSS 3.195
 STRAY LOAD LOSS 3.122

NON MEASURABLE LOSS COMPONENTS
 CORE LOSS
 TEETH 2.555
 YOKE 3.538
 STRAY LOAD LOSS
 STATOR WINDING EDDY LOSS 0.052
 OUTSIDE STATOR WINDING 3.070
 AT RATED LOAD
 ROTOR SLOT CURRENT 1125.0
 ROTOR CURRENT DENSITY 2.415
 VENTILATION, CUB.M/SEC 0.351
 M/SEC STATOR TEETH, MAX. 18.73
 AT STALLED CONDITION
 DEGREES/SECOND, STATOR 36.28
 ROTOR 252.00

	MAX. FLUX DENSITIES	AMP.TURNS	PU STATOR CURRENT
	0.833	1326.8	0.2520
TEETH	1.729	58.9	0.0112
YOKE	1.347	20.8	0.0039
TEETH	2.345	2111.0	0.4010
YOKE	1.652	135.7	0.0258
NO LOAD		3653.1	0.6939

PU VOLTS, NO LOAD	AMPS
1.2	4.3953 386.99
1.1	2.4566 216.30
1.0	0.6937 61.09
0.9	0.3704 32.61
0.8	0.2544 22.40

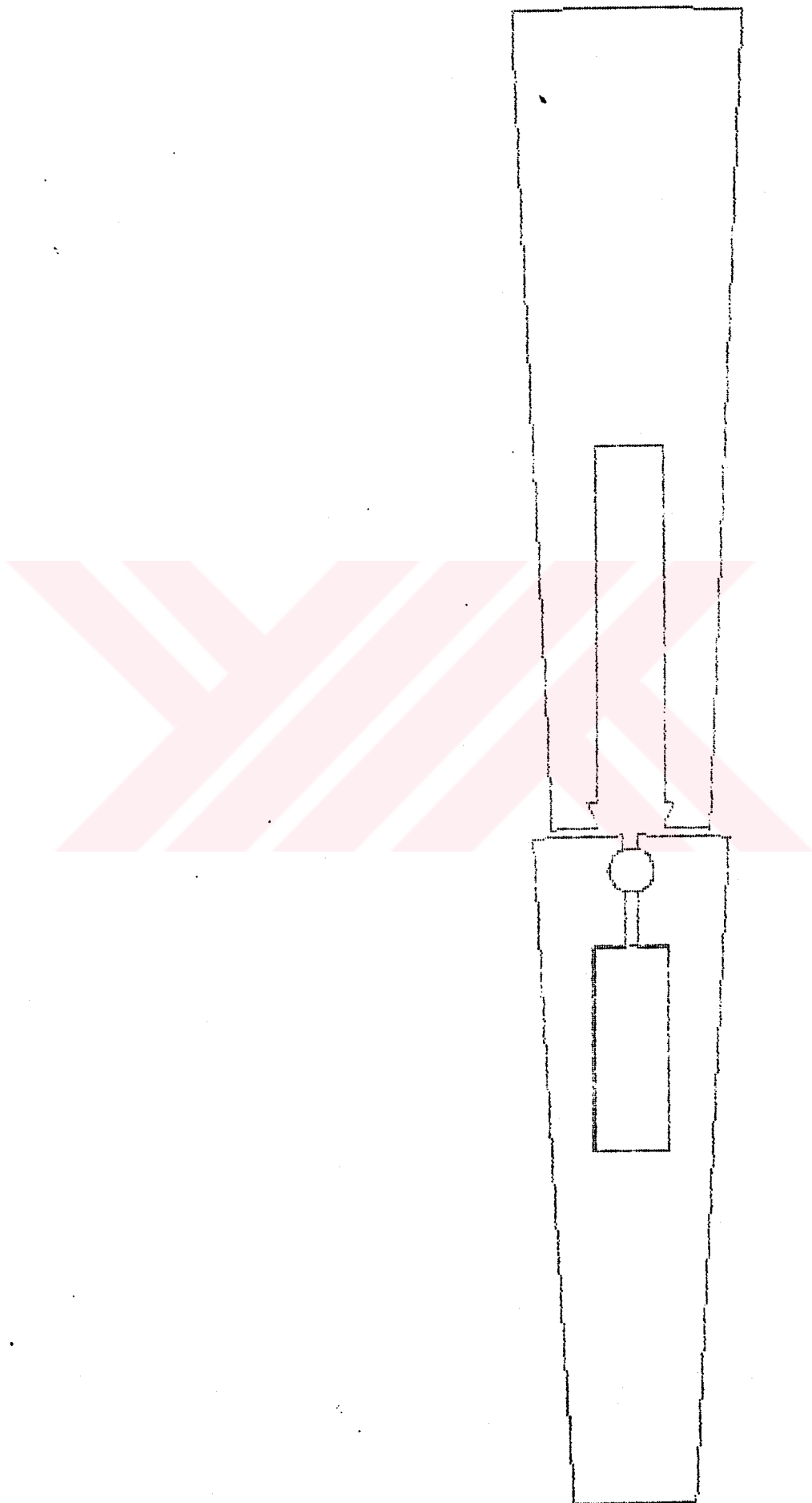
JINTS

AD	125	100	75	50	25
--	0.050	0.433	0.450	0.290	0.142

AD	125	100	75	50	25
.IP	0.850	0.633	0.450	0.290	0.142
TATOR CURRENT	1.539	1.268	1.041	0.860	0.738
OTOR CURRENT	1.205	0.930	0.679	0.445	0.220
RFACTOR	0.703	0.682	0.622	0.506	0.305
OR I-SQUARED*R LOSS	17.014	11.544	7.774	5.316	3.916
R I-SQUARED*R LOSS	5.362	3.195	1.703	0.731	0.179
Y LOAD LOSS	7.398	5.019	3.380	2.311	1.703
ICIENCY	93.663	94.082	93.949	92.723	87.495

TORQUE CURVE					PULL-UP	PULL-OUT
IP	100	75	50	25	10	2.044
ORQUE	3.124	3.150	2.924	2.214	1.572	1.758
TATOR CURRENT	5.299	5.720	4.917	3.965	3.525	2.546
OTOR CURRENT	6.043	5.448	4.613	3.585	3.075	2.151
RFACTOR	0.516	0.552	0.575	0.529	0.430	0.616
OR R2	11.660	10.848	9.364	5.868	2.266	1.059
OR XL2	0.254	0.295	0.386	0.626	0.882	0.993

610	4000	50	6	1	3.5	3.5
1	.06	870	600	470	9	6
72	0	0	11.5	11.5	11.5	1
0	3	0	0	2	1	12
7.6	1.81	0	3.3	3.3	0	.2
2	10	2338.489	.008	120	1.3	
.97	367	0	0			
56.5	2.5	2	0	2.1	180	3
4	2	12.8	12.8	11.7	9	11.7
.3	.3	1	1	50	50	
588.2	1588.56	554.2				



SCALE 1:1000

1.000
 1 610.000
 4000.0
 Y 50.000
 OF POLES 6.0

 PUNCHING MATERIAL 1.0
 TEETH, B=1.0 3.500
 WEDGE, B=1.0 3.500
 WINDING FACTOR 0.970
 RAD LOSS FACTOR 1.000
 S FACTOR 0.0600
 DIAMETER 870.0
 DIAMETER 600.0
 LENGTH 470.0
 VENTILATING DUCTS 9.0
 VENTILATING DUCT 6.0
 SECTION, SPACE BLOCK 18.0
 OF STATOR SLOTS 72.0
 VENTILATING HOLES 0.0
 DIAMETER 0.0
 TH, MIN. 11.5
 MAX. 11.5
 TH (ABOVE WEDGE) 11.5
 PTH 1.0
 PTH 63.0
 EPTH 0.0
 EPTH 3.0
 MAGNETIC
 AT BOTTOM 0.00
 AL SPACER 2.0

STATOR WINDING CODE 1.0
 TURNS PER COIL 12.0
 STRANDS PER TURN 1.0
 CU-WIDTH 7.60
 CU-DEPTH 1.81
 INSULATION ALLOWANCES, TWO SIDES
 ARMOR TAPE 0.00
 MAIN INSULATION, COIL END 3.30
 SLOT 3.30
 TURN INSULATION 0.00
 STRAND INSULATION 0.30
 CONNECTION Y
 NO. OF PARALLEL CIRCUITS 2.0
 COIL PITCH 10.0
 MEAN LENGTH OF TURN 2358.5
 PU ADDITION, RESISTANCE 0.008
 REFERENCE STATOR TEMP., DEG. C 120.0
 AIR GAP 1.30
 ROTOR PUNCHING MATERIAL 1.0
 STACKING FACTOR 0.970
 BORE DIAMETER 375.0
 NO. OF VENTILATING HOLES 0.0
 HOLE DIAMETER 0.0
 NUMBER OF ROTOR SLOTS 58.0
 SLOT DEPTH 52.52
 NECK WIDTH 2.50
 NECK DEPTH 2.00
 TAPER DEPTH 0.00
 MAX. NECK FLUX DENSITY AT START 2.100
 REFERENCE ROTOR TEMP., DEG. C 180.0

 ROTOR WINDING CODE 4.0
 ASSEMBLED DOUBLE CAGE
 ROUND TOP BAR
 W1 = SLOT WIDTH, TOP 7.72
 W2 = SLOT WIDTH, LEAKAGE 2.00
 W3 = SLOT WIDTH, CENTER 12.80
 W4 = SLOT WIDTH, BOTTOM 12.80
 D2 = SLOT DEPTH, TOP 7.7
 D3 = SLOT DEPTH, LEAKAGE 9.0
 D4 = BAR DEPTH, TOP 7.7
 D5 = BAR DEPTH, BOTTOM 33.8
 CLEARANCE, TWO SIDES, TOP 0.30
 BOTTOM 0.30
 PU BAR RESISTIVITY, TOP 1.000
 BOTTOM 1.000
 BAR EXTENSION, ONE SIDE, TOP 50.0
 BOTTOM 50.0
 CU ENDRING, TOP
 CROSS SECTIONAL AREA 182.5
 AVERAGE DIAMETER 591.0
 CU ENDRING, BOTTOM
 CROSS SECTIONAL AREA 1588.6
 AVERAGE DIAMETER 562.0

305 RPM 1000.0
 FL SPEED, M/SEC 31.28
 FOR CURRENT 88.0
 TUE. NEWTON*METER 4810.38
 NO LOAD 0.07826
 CURRENT DENSITY 3.301
 LOADING, W/SQ.CM
 , BELOW WEDGE
 TO DC LOSS 0.0595
 TO TOTAL CU-LOSS 0.0616
 , TOWARDS AIR GAP
 TO CORE LOSS 0.688
 TO TOTAL CU-LOSS 0.332
 VOLTAGE RISE (NOT ALWAYS CALC.)
 , RTD 42.5
 CU, UPPER 43.7
 CU, LOWER 44.5
 TEETH 39.7
 G AIR 24.0

FACTOR 3.605
 FACTOR 0.966
 G FACTOR 0.922
 'S COEFFICIENT 1.540
 Y CURRENT LOSS, MAX. 0.061
 AVG. 0.007

STATOR LOADING 403.6
 L PITCH 0.833
 : SLOT WIDTH/AIR GAP 8.846
 : SLOT/TOOTH WIDTH 0.783
 PER TURN 16.793
 (SLOTS/POLE 12.000
 SLOTS/POLE 9.667
 FACTOR
 : WOUND STATOR WINDING 0.000
 INS
 I OF STATOR PACKAGE 41.6
 TACK LENGTH 403.5
 : SLOT PITCH, GAP DIAM. 26.18
 SLOT PITCH, GAP DIAM. 32.36
 ES IN STATOR SLOT
 : WIDTH 0.40
 : DEPTH 2.16

CUB.DM MAIN STATOR INSULATION 19.736
 WEIGHTS

CU, STATOR 242.7
 ROTOR WINDING 194.7
 STATOR PUNCHINGS
 TEETH 244.0
 YOKE 557.2
 TOTAL 801.2
 ROTOR PUNCHINGS
 TEETH 183.4
 YOKE 246.9
 TOTAL 430.3

PU REACTANCES, RUNNING CONDITIONS

XL1 0.08241
 XL2 0.18967
 XM 1.78580

RESISTANCES, OHM, 20 DEGREES

STATOR, PER PHASE 0.221650
 STATOR, LINE-LINE 0.443300

PER UNIT, RUNNING CONDITIONS

R1 (INCL. STRAY LOAD LOSS) 0.01689
 R2 (WITHOUT SKIN EFFECT) 0.00604
 RM (IN PARALLEL WITH XM) 91.48392

MEASURABLE LOSSES

WINDAGE AND FRICTION LOSS 3.742
 CORE LOSS 6.093
 STATOR I-SQUARED*R LOSS 7.180
 ROTOR I-SQUARED*R LOSS 3.040
 STRAY LOAD LOSS 3.122

NON MEASURABLE LOSS COMPONENTS

CORE LOSS
 TEETH 2.555
 YOKE 3.538
 STRAY LOAD LOSS
 STATOR WINDING EDDY LOSS 0.052
 OUTSIDE STATOR WINDING 3.070

AT RATED LOAD

ROTOR SLOT CURRENT 1099.4
 ROTOR CURRENT DENSITY 2.343
 VENTILATION, CUB.M/SEC 0.845
 M/SEC STATOR TEETH, MAX. 18.61
 AT STALLED CONDITION
 DEGREES/SECOND, STATOR 42.00
 ROTOR 216.45

	MAX. FLUX DENSITIES	AMP.TURNS	PU STATOR CURRENT
	0.833	1326.8	0.2520
TEETH	1.729	58.9	0.0112
YOKE	1.347	20.8	0.0039
TEETH	2.272	1273.5	0.2419
YOKE	1.652	138.1	0.0262
NO LOAD		2818.1	0.5353

PU VOLTS, NO LOAD

	PU VOLTS, NO LOAD	AMPS
1.2	3.5742	314.69
1.1	1.8060	159.01
1.0	0.5353	47.13
0.9	0.3377	29.73
0.8	0.2403	21.15

INTS

D	125	100	75	50	25
P	0.797	0.603	0.434	0.281	0.138
ATOR CURRENT	1.392	1.135	0.910	0.723	0.588
TOR CURRENT	1.168	0.909	0.667	0.439	0.217
FACTOR	0.772	0.756	0.706	0.597	0.378
R I-SQUARED*R LOSS	13.909	9.250	5.952	3.732	2.482
I-SQUARED*R LOSS	5.021	3.040	1.640	0.708	0.174
LOAD LOSS	6.048	4.022	2.588	1.631	1.079
ICIENCY	94.430	94.771	94.663	93.630	89.145

ORQUE CURVE

P	100	75	50	25	PULL-UP	PULL-OUT
10					10	2.218
RGUE	2.707	2.869	2.824	2.247	1.678	1.962
ATOR CURRENT	6.778	6.266	5.478	4.394	3.774	2.662
TOR CURRENT	6.588	6.064	5.253	4.113	3.445	2.380
FACTOR	0.445	0.484	0.519	0.498	0.432	0.656
R R2	8.535	8.006	7.002	4.545	1.934	1.052
R XL2	0.262	0.300	0.385	0.616	0.370	0.982

610	4000	50	6	1	3.5	3.5
1	.06	870	600	470	9	6
72	0	0	11.5	11.5	11.5	1
0	3	0	0	2	1	12
7.6	1.81	0	3.3	3.3	0	.2
2	10	2358.489	.006	120	1.3	
.97	374.96	0	0			
32.518	2.5	2	0	2.1	180	4
7.718	2	12.8	12.8	7.718	9	7.718
.3	.3	1	1	50	30	
591	1588.56	562				

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖZGEÇMİŞ

Zafer YAVUZ;1972 yılında İzmit'te doğdu. İlkokulu İzmit Seka İlkokulu;Ortaokulu ve Liseyi Kocaeli Anadolu Lisesinde tamamladı. 1990 yılında İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi'nde yüksek öğrenime başladı. 1995 yılında aynı bölümden Elektrik Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. 1995 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. Halen bir kamu kuruluşunda Elektrik Mühendisi olarak çalışmaktadır.

