

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

STEINMETZ BAĞLAMASININ
SİMETRİLİ BİLEŞENLERLE İNCELENMESİ

Tez Yöneticisi:

Prof.Dr.Y.Müh.İlhami ÇETİN

Tezi Hazırlayan:

E.Sabri ERKAN

Eylül, 1985

İ Ç İ N D E K İ L E R

	Sayfa
ÖZET	I
ADAY	II
TEŞEKKÜR	III
KULLANILAN SEMBOLLER	IV
1. STEINMETZ BAĞLAMASININ SİMETRİLİ BİLEŞENLERLE İNCELENMESİNE GİRİŞ	1
1.1. Yıldız Steinmetz bağlamasında gerilim bileşenleri	3
1.2. Yıldız Steinmetz bağlamasında akım bileşenleri	9
1.3. Steinmetz bağlamasında döndürme momenti	9
1.4. Üçgen Steinmetz bağlamasında gerilim bileşenleri	17
1.5. Üçgen Steinmetz Bağlamasında akım bileşenleri	21
1.6. Açık yıldız Steinmetz bağlamasında gerilim bileşenleri	23
2. DENEYSEL İNCELEME	33
2.1. Deneyde kullanılan asenkron motorun plâka değerleri	33
2.2. Deneyde kullanılan asenkron motorun Almanya'dan gelen hesap- larının kompütürden çıkış değerleri	33
2.3. Deneyde kullanılan asenkron motorun boşta, kısadevreye, yükte, ge- rilim değişiminde incelenmesi ve grafiğinin çizilmesi	34
2.3.1. Boşta çalışma deneyi	34
2.3.2. Kısadevreye deneyi	35
2.3.3. Yükte çalışma deneyi	35
2.3.4. Gerilim değişikliği deneyi	36
2.3.5. T.S.M. için anma yükünde sürekli çalışma deneyi	37
2.3.6. Laboratuvar grafik cetveli	38
2.3.6.1. Asenkron motorun moment ve akım eğrilerinde görülen titreşimler	39
2.4. Deneyde kullanılan asenkron motorun Z impedansının deney yolu ile bulunması	39
2.5. Bileşen impedanslarının ölçülmesi	42

2.5.1. Z_0 sıfır bileşen impedansının bulunması	42
2.5.2. Z_p pozitif ve Z_n negatif bileşen impedanslarının bulunması	46
2.6. Steinmetz bağlamasında değişik kapasitelerde moment ölçülmesi .	52
2.7. Steinmetz bağlamasında değişik dirençlerde moment ölçülmesi ..	67
2.8. Steinmetz bağlamasında değişik indüktanslarda moment ölçülmesi	70
2.9. EDE kondansatör fabrikasının bulduğu değer ile bulunan değerleri karşılaştırma	76
3. SONUÇ	77
Yararlanılan Kaynaklar	78

ÖZET

Tezin bu başlangıç kısmında ileride detaylı olarak konu edilen, üzerinde tartışılan konuların kısa bir açıklaması yer almakta, yani tezin kapsamı (içeriği) nedir sorusuna kısa başlıklar altında cevap verilmektedir.

Bu yönüyle tez pratikte bazan üç fazlı asenkron motoru bir fazlı şebekede çalıştırmak gerektiğinde uygulanan bağlamaları içermektedir.

Bağlamayı ilk öneren olması nedeniyle buna Steinmetz bağlaması denir. Genel halde kapasite yerine uygun bir impedans bağlanması düşünülebilir. Dengelenmiş yük durumunda motor saf bir döner alan makinası gibi çalışır. Dengelenmemiş diğer yük noktalarında stator sargısında simetrik olmayan gerilim yıldızı oluşur. Bu nedenle devresi simetrisiz olduğundan konu ancak simetrik bileşenlerle incelenebilir. Çeşitli Steinmetz bağlamaları detaylı olarak tezde açıklanmaya çalışılmaktadır.

Teorik kısımlardan sonra tezin deneysel inceleme kısmını Gamak Makina Sanayi A.Ş.'de Elektrik Makinaları Laboratuvarında yapma imkânı bulduk. Önce asenkron motorun standart deneyleri yapıldı. Sonra bileşen impedansları deney yoluyla bulundu, eğrileri çizildi. Asenkron motorumuza farklı Steinmetz bağlamalarında değişik Z impedansları (R, L, C elemanları) bağlanarak değerler alındı ve eğrileri çizildi.

Deneylerden elde edilen neticeler ışığında bulduğumuz değerleri sanayide kullanılanlarla karşılaştırdığımızda doğru sonuca ulaştığımız görülmektedir.

Sonuç olarak en iyi randıman üçgen Steinmetz bağlamasında uygun değerdeki kapasite ile elde edilmiş olup, sanayinin kullandığı yıldız Steinmetz bağlamasının tercih edilmemesi gerektiği deneylerde açıkça görülmektedir.

ADAY

6.3.1959'da doğdu.Lise öğrenimini İzmit Teknik Lisesi'nde gören aday, öğrenimini Haziran 1977'de tamamlayıp,Eylül 1978'de İstanbul Yüksek Teknik Öğretmen Okulu (İ.Y.T.Ö.O.)Elektrik Bölümüne katıldı.

İ.Y.T.Ö.O.'nu Haziran 1982'de Teknik Öğretmen sıfatıyla pekiyi derece ile tamamlayıp Temmuz 1982'de Tokat/Turhal Endüstri Meslek Lisesine Elektrik Bölümü Öğretmeni olarak tayin edildi.

Lisede bu görevde bulunurken 14 Aralık 1982 tarihinde Araştırma Görevlisi olarak Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi,Elektrik-Elektronik Eğitimi Bölümü,Elektrik Eğitimi Ana Bilim Dalı'na katıldı.Bu arada 22 Mart 1983 tarihinde Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Elektrik Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine katıldı.

TEŞEKKÜR

Bana Yüksek Lisans Tezi olarak ilgimi çeken Steinmetz bağlamasının simetrik bileşenlerle incelenmesi konusunda çalışma imkânını bahşeden, hi-maye ve yardımlarını esirgemeyen İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi Elektrik Makinaları Ana Bilim Dalı Başkanı, Danışmanım ve Tez Yöneticim saygı değer Hocam Prof. Dr. Y. Müh. İlhami ÇETİN'e öncelikle burada şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca atelye ve laboratuvar çalışmalarındaki katkıları için GAMAK Makina Sanayi A.Ş.'nin Sahipleri, Müdürleri ve Elektrik Makinaları Laboratuvarı Personeline de teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Pendik/İSTANBUL, Eylül 1985

E. Sabri ERKAN

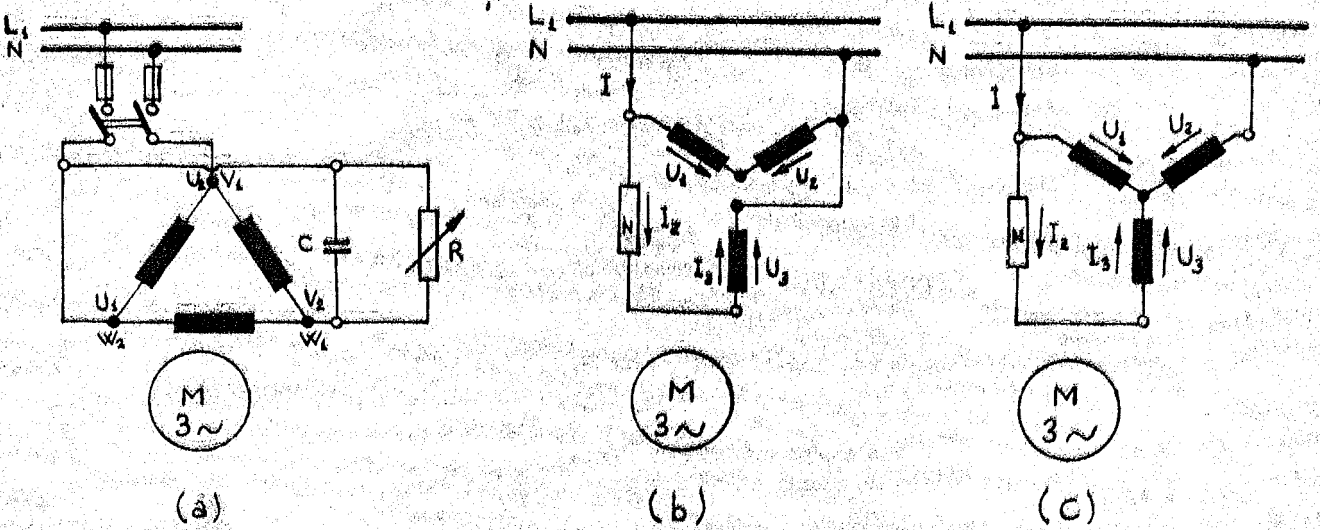
KULLANILAN SEMBOLLER

U_1, U_2, U_3	: Simetrisiz üç fazlı gerilim sisteminin fazörleri
I_1, I_2, I_3	: Simetrisiz üç fazlı akım sisteminin fazörleri
U_N	: Hat gerilimi
Z	: Motora bağlanan impedans
U_Z	: Z impedansı üzerinde düşen gerilim
Y	: Motora bağlanan admitans
Z_k	: Motorun impedansı
Y_k	: " admitansı
U_p	: Pozitif bileşen gerilimi
U_n	: Negatif " "
U_0	: Sifir " "
I_p	: Pozitif " akımı
I_n	: Negatif " "
I_0	: Sifir " "
a	: a operatörü ($a = e^{j120^\circ}$)
Y_p	: Pozitif bileşen admitansı
Y_n	: Negatif " "
Y_0	: Sifir " "
s	: Kayma
s_p	: Pozitif kayma
s_n	: Negatif " "
M	: Moment
M_{PN}	: Anma pozitif bileşen geriliminin meydana getirdiği moment
M_{nN}	: Anma negatif " " " " "
M_{0N}	: Anma sifir " " " " "

- M_{PA} : Motor pozitif bileşen gerilimiyle beslendiğinde elde edilen kalkış momenti
- m : Motor momentinin , motor pozitif bileşen gerilimiyle beslendiğinde elde edilen kalkış momentine oranı
- φ_Z : Z impedansının açısı
- φ_k : Z_k " " "
- θ_z : Oranlanmış impedansın açısı
- z : Motora bağlanan impedansın motor impedansına oranı

1. STEINMETZ BAĞLAMASININ SİMETRİLİ BİLEŞENLERLE İNCELENMESİNE GİRİŞ

Pratikte bazan üç fazlı asenkron motoru bir fazlı şebekede çalıştırmak gerekiyorsa, bu takdirde Şek.1. deki bağlamalar uygulanır. Bağlamayı ilk öneren olması nedeni ile buna Steinmetz bağlaması denir. Bu bağlamayı gerektiren şartlar, eldeki motor üç fazlı, şebeke bir fazlıdır veya fabrikanın elinde üç fazlı motor vardır ve bunları bir fazlı olarak satmak istemektedir. Steinmetz bağlamasında Δ 220 V / \sphericalangle 380 V gerilimlerinde bir motoru Şek.1. deki bağlamalara göre bir fazlı gerilimle besleyebilmek için serbest uç ile gerilim bağlanan uçlardan biri arasına uygun bir değerde kapasite konur ve kapasite devamlı olarak şebekeye bağlı kalır.

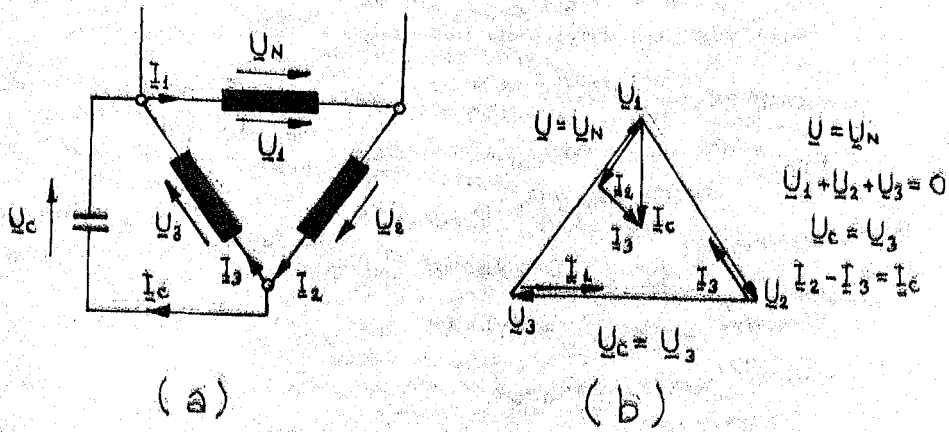


Şek.1. Çeşitli Steinmetz bağlamaları a: Üçgen Steinmetz bağlaması, b: Açık yıldız Steinmetz bağlaması, c: Yıldız Steinmetz bağlaması.

Kondansatör gerilimi yardımıyla Steinmetz bağlamasındaki bir fazlı kondansatör motoru üç fazlı şebekedeki özellikleri ile tam bir döner alan makinası olarak çalıştırabilir. Motor ancak belirli bir yük noktası için simetrik

duruma gelebilir. Bu yükte üç fazlı işletmede faz gerilimi ile faz akıma arasındaki faz farkı 60° olmalıdır. Şek.2. de üçgen Steinmetz bağlamasına ait fazör diyagramları görülmektedir.

Kapasite iyi hesaplanırsa üç fazdaki gücün %80 i elde edilebilir. Pratikte bir motor serisinde iyi bir simetrik çalışma elde edebilmek için, Şek.1.a da olduğu gibi, serinin tümü için değişmeyen bir kapasite ile değişken bir direnç kullanılır.



Şek.2. Üçgen Steinmetz bağlamasına ait fazör diyagramları.

Genel halde kapasite yerine uygun bir impedans bağlanması düşünülebilir. Şekilde belirtilmiş olan dengelenmiş yük durumunda motor saf bir döner alan makinesi gibi çalışır. Bütün diğer dengelenmemiş yük noktalarında stator sarfesinde simetrik olmayan gerilim yıldızı oluşur. Böylece motorda doğru döner alandan başka bir de etkili ters döner alan meydana gelir. Bu döner alanların büyüklükleri simetrik olmayan gerilim yıldızının doğru ve ters bileşenlerinin büyüklüğüne bağlıdır.

Şayet tahrik motorunun zaman zaman üç ve bir fazlı şebekelerde çalışma zorunluğu yoksa, bu takdirde statoru yıldız bağlı Steinmetz bağlaması uygulanır (Şek.1.b, c). Devresi simetrisiz olduğundan ancak simetrik bileşenler incelenebilir.

1.1. Yıldız Steinmetz bağlanmasında gerilim bileşenleri,

Kirchhoff gerilim yasasını uygulayarak, Şek.1.c de verilen bağlamanın önce simetrisiz bölgedeki denklemlerini yazalım.

$$\underline{U}_1 - \underline{U}_2 = \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_1 - \underline{U}_3 - \underline{U}_Z = \underline{U}_1 - \underline{U}_3 - \underline{Z} \cdot \underline{I}_3 = 0 \quad (1.1)$$

$$\underline{U}_Z = \underline{Z} \cdot \underline{I}_3 = \underline{I}_3 / \underline{Y}$$

Bu simetrisiz gerilim denklemleri verilen bağlamayı niteler. Yıldız noktası bağlı olmadığından gerilim ve akımın sıfır bileşenleri sıfıra eşittir.

$$\underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3 = 0$$

$$\underline{U}_0 = 0$$

(1.2)

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$$

$$\underline{I}_0 = 0$$

Böylece geriye kalan iki bilinmeyen gerilim bileşeni pozitif ve negatif simetrisiz gerilim denklemlerinden bulunur. Bu amaçla, genel bileşen formülleri uygulanarak, simetrisiz gerilim ve akımlar gerilim simetrik bileşenlerine göre ifade edilebilir.

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_0 + \underline{U}_p + \underline{U}_n = \underline{U}_p + \underline{U}_n$$

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_0 + a^2 \underline{U}_p + \underline{U}_n = a^2 \underline{U}_p + a \underline{U}_n \quad (1.3)$$

$$\underline{U}_3 = \underline{U}_0 + a \underline{U}_p + a^2 \underline{U}_n = a \underline{U}_p + a^2 \underline{U}_n$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 + \underline{I}_p + \underline{I}_n = \underline{Y}_0 \underline{U}_0 + \underline{Y}_p \underline{U}_p + \underline{Y}_n \underline{U}_n = \underline{Y}_p \underline{U}_p + \underline{Y}_n \underline{U}_n$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_0 + a^2 \underline{I}_p + a \underline{I}_n = \underline{Y}_0 \underline{U}_0 + a^2 \underline{Y}_p \underline{U}_p + a \underline{Y}_n \underline{U}_n = a^2 \underline{Y}_p \underline{U}_p + a \underline{Y}_n \underline{U}_n$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_0 + a \underline{I}_p + a^2 \underline{I}_n = \underline{Y}_0 \underline{U}_0 + a \underline{Y}_p \underline{U}_p + a^2 \underline{Y}_n \underline{U}_n = a \underline{Y}_p \underline{U}_p + a^2 \underline{Y}_n \underline{U}_n$$

$\underline{U}_0 = 0$, $\underline{I}_0 = 0$ olduğu dikkate alınarak (1.3) denklemleri ve (1.4) denklemlerinden ifadeleri simetrisiz gerilim denklemlerinde (1.1) ve (1.2) deki denklemlere yerleştirilirse, \underline{U}_p ve \underline{U}_n bilinmeyenlerine göre iki bilinmeyenli iki denklem elde edilir.

$$\underline{U}_p + \underline{U}_n - (a^2 \underline{U}_p + a \underline{U}_n) = \underline{U}_n$$

$$\underline{U}_p + \underline{U}_n - a^2 \underline{U}_p - a \underline{U}_n = \underline{U}_n$$

$$\underline{U}_p (1 - a^2) - \underline{U}_n (1 - a) = \underline{U}_n$$

$$\underline{U}_p + \underline{U}_n - (a \underline{U}_p - a^2 \underline{U}_n) - \underline{Z} (a \underline{Y}_p \underline{U}_p - a^2 \underline{Y}_n \underline{U}_n) = 0$$

$$\underline{U}_p + \underline{U}_n - a \underline{U}_p - a^2 \underline{U}_n - \frac{a \underline{Y}_p \underline{U}_p}{\underline{Y}} - \frac{a^2 \underline{Y}_n \underline{U}_n}{\underline{Y}} = 0$$

$$\underline{U}_p \left(1 - a - \frac{a \underline{Y}_p}{\underline{Y}} \right) + \underline{U}_n \left(1 - a^2 - \frac{a^2 \underline{Y}_n}{\underline{Y}} \right) = 0$$

Şimdi bu iki bilinmeyenli iki denklemi yazalım.

$$U_p (1-a^2) + U_n (1-a) = U_N$$

$$U_p \left(1 - a - a \frac{Y_p}{Y} \right) - U_n \left(1 - a^2 - a^2 \frac{Y_n}{Y} \right) = 0 \quad (1.5)$$

Şimdi matris yolu ile çözüm yapalım.

$$\begin{bmatrix} U_N \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-a^2 & 1-a \\ 1-a-a \frac{Y_p}{Y} & 1-a^2-a^2 \frac{Y_n}{Y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_p \\ U_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_p \\ U_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-a^2 & 1-a \\ 1-a-a \frac{Y_p}{Y} & 1-a^2-a^2 \frac{Y_n}{Y} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} U_N \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1-a^2 & 1-a \\ 1-a-a \frac{Y_p}{Y} & 1-a^2-a^2 \frac{Y_n}{Y} \end{vmatrix}$$

$$\Delta = (1-a^2) \left(1-a^2-a^2 \frac{Y_n}{Y} \right) - (1-a) \left(1-a-a \frac{Y_p}{Y} \right)$$

$$\Delta = 1-a^2 - a^2 \frac{Y_n}{Y} - a^2 + a + a \frac{Y_n}{Y} - \left(1-a-a \frac{Y_p}{Y} - a + a^2 + a^2 \frac{Y_p}{Y} \right)$$

$$\Delta = 1-a^2 - a^2 \frac{Y_n}{Y} - a^2 + a + a \frac{Y_n}{Y} - 1 + a + a \frac{Y_p}{Y} - a - a^2 - a^2 \frac{Y_p}{Y}$$

$$\Delta = -a^2 \left(3 + \frac{Y_n}{Y} + \frac{Y_p}{Y} \right) + a \left(3 + \frac{Y_n}{Y} + \frac{Y_p}{Y} \right)$$

$$\Delta = (a - a^2) \left(\frac{Y_p + Y_n + 3Y}{Y} \right)$$

İşaretleli minörlerine göre A matrisini açarsak

$$A_{11} = 1 - a^2 - a^2 \frac{Y_n}{Y}$$

$$A_{12} = -1 + a + a \frac{Y_p}{Y}$$

$$A_{21} = -1 + a$$

$$A_{22} = 1 - a^2$$

B matrisini yazarsak,

$$B = \begin{bmatrix} 1 - a^2 - a^2 \frac{Y_n}{Y} & -1 + a + a \frac{Y_p}{Y} \\ -1 + a & 1 - a^2 \end{bmatrix}$$

$$B^{-1} = A^+ = \begin{bmatrix} 1 - a^2 - a^2 \frac{Y_n}{Y} & -1 + a \\ -1 + a + a \frac{Y_p}{Y} & 1 - a^2 \end{bmatrix}$$

Şimdi ek matrisi elde ettik. Formüle göre,

$$A^{-1} = \frac{A^+}{\Delta} \quad \text{dir.}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_p \\ \underline{U}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-a^2 \left(-a + 1 + \frac{\underline{Y}_n}{\underline{Y}} \right)}{\underline{Y}} & \frac{-1 + a}{\underline{Y}} \\ -a^2 \left(\frac{-1}{a} + 1 \right) \left(\frac{\underline{Y}_p + \underline{Y}_n + 3\underline{Y}}{\underline{Y}} \right) & \frac{\left(1 - \frac{1}{a} \right) \left(\frac{\underline{Y}_p + \underline{Y}_n + 3\underline{Y}}{\underline{Y}} \right)}{\underline{Y}} \\ \frac{-a \left(-a^2 + 1 + \frac{\underline{Y}_p}{\underline{Y}} \right)}{\underline{Y}} & \frac{1 - a^2}{\underline{Y}} \\ a(1-a) \left(\frac{\underline{Y}_p + \underline{Y}_n + 3\underline{Y}}{\underline{Y}} \right) & \frac{(a-a^2) \left(\frac{\underline{Y}_p + \underline{Y}_n + 3\underline{Y}}{\underline{Y}} \right)}{\underline{Y}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_N \\ 0 \end{bmatrix}$$

Şimdi pozitif ve negatif gerilim bileşen ifadelerini yazalım.

$$\underline{U}_p = \frac{\left(-a + 1 \right) + \frac{\underline{Y}_n}{\underline{Y}}}{\left(1 - a^2 \right) \left(\frac{\underline{Y}_p + \underline{Y}_n + 3\underline{Y}}{\underline{Y}} \right)} \cdot \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_p = \frac{-a \underline{Y} + \underline{Y} + \underline{Y}_n}{\underline{Y}} \cdot \frac{\underline{Y}}{\left(1 - a^2 \right) \left(\underline{Y}_p + \underline{Y}_n + 3\underline{Y} \right)} \cdot \underline{U}_N$$

$$\boxed{ \underline{U}_p = \frac{\left(1 - a \right) \underline{Y} + \underline{Y}_n}{\underline{Y}_p + \underline{Y}_n + 3\underline{Y}} \cdot \frac{\underline{U}_N}{1 - a^2} } \quad (1.6)$$

$$\underline{U}_n = \frac{(1 - a^2) \underline{Y} + \underline{Y}_p}{(1 - a) \left(\frac{\underline{Y}_p + \underline{Y}_n + 3\underline{Y}}{\underline{Y}} \right)} \cdot \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_n = \frac{\underline{Y} - a^2 \underline{Y} + \underline{Y}_p}{\underline{Y}} \cdot \frac{\underline{Y}}{(1 - a) (\underline{Y}_p + \underline{Y}_n + 3\underline{Y})} \cdot \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_n = \frac{(1 - a^2) \underline{Y} + \underline{Y}_p}{\underline{Y}_p + \underline{Y}_n + 3\underline{Y}} \cdot \frac{\underline{U}_N}{1 - a} \quad (1.7)$$

\underline{U}_p ve \underline{U}_n nin ilk ifadelerinde paydalar aynıdır. Simetrikli gerilim bileşenleri genellikle birbirinden farklıdır. Bu nedenle oluşturdukları döner alanlar da farklı genliktedir. \underline{Y}_p ve \underline{Y}_n karmaşık admittansları birbirinden bağımsız olmayıp, aralarında aşağıdaki bağıntı vardır.

$$\underline{Y}_n (s) = \underline{Y}_p (2 - s) \quad (1.8)$$

Bu admittanslar asenkron motorun eşdeğer devrelerinden hesaplanabilir veya stator akım diyagramlarından bulunabilir.

Yukarıdaki bileşen denklemleri ile belli bir \underline{Z} yol verme impedansı veya \underline{Y} admittansında motorun tek fazlı beslemedeki tüm davranışı incelenebilir ve özgeçirileri çizilebilir. Sistem admittanslarının motor hızına bağlılığı nedeniyle oldukça karmaşık olan bu hesaplama için gerekirse elektronik hesap makinaları (kompütörler) kullanılabilir.

Bulunan bileşen ifadelerinde $\underline{Y} = 0$ alınarsa, üç fazlı asenkron motorun tek fazlı akımla beslenmesinde elde edilen formüller bulunur ve bu konu

ayrıca incelenebilir.

1.2. Yıldız Steinmetz bağlamasında akım bileşenleri.

Simetrisiz akım denklemlerinde gerilim bileşenlerinin ifadeleri yerleştirilerek bu akımların admitanslara ve şebeke gerilimine göre ifadeleri bulunur.

$$\underline{I}_1 = \underline{Y}_p \underline{U}_p + \underline{Y}_n \underline{U}_n = \frac{\underline{Y}_p \underline{Y}_n - a \underline{Y} (\underline{Y}_p + a \underline{Y}_n)}{3 \underline{Y} + \underline{Y}_p + \underline{Y}_n} \cdot \underline{U}_N$$

$$\underline{I}_2 = -\underline{I} = a^2 \underline{Y}_p \underline{U}_p + a \underline{Y}_n \underline{U}_n = - \frac{\underline{Y}_p \underline{Y}_n + \underline{Y} (\underline{Y}_p + \underline{Y}_n)}{3 \underline{Y} + \underline{Y}_p + \underline{Y}_n} \cdot \underline{U}_N \quad (1.9)$$

$$\underline{I}_3 = a \underline{Y}_p \underline{U}_p + a^2 \underline{Y}_n \underline{U}_n = - \frac{\underline{Y} (a \underline{Y}_p - \underline{Y}_n)}{3 \underline{Y} - \underline{Y}_p - \underline{Y}_n} \cdot a \underline{U}_N$$

Alınan yönler nedeniyle \underline{I}_2 faz akımı $-\underline{I}$ hat akımına eşittir. Yardımcı sargıdan ve yol verme impedansından geçen \underline{I}_3 akımının ifadesi ile yol verme impedans geriliminin ifadesi bulunabilir.

$$\underline{U}_Z = \underline{Z} \cdot \underline{I}_3 - \frac{\underline{I}_3}{\underline{Y}} = - \frac{a \underline{Y}_p + \underline{Y}_n}{3 \underline{Y} + \underline{Y}_p + \underline{Y}_n} \cdot a \underline{U}_N \quad (1.10)$$

1.3. Steinmetz bağlamasında döndürme momenti.

$M_p (s)$ ve $M_n (s)$ üç fazlı asenkron motorun üç fazlı anma gerilimi ile beslemedeki pozitif ve negatif döndürme momentleri olup aşağıda

bağıntıya uyarlar.

$$M_n(s) = -M_p(2-s) \quad (1.11)$$

Admitanslarda olduğu gibi, $M_p(s)$ ve $M_n(s)$ de eşdeğer devrelere göre hesaplanabilir veya daire diyagramından bulunabilir.

Genel moment formülünü yazalım.

$$M = \left| \frac{U_{1p}}{U_{1N}} \right|^2 M_{pN} + \left| \frac{U_{1n}}{U_{1N}} \right|^2 M_{nN} + \left| \frac{3U_{10}}{U_{1N}} \right|^2 M_{oN}$$

$$U_{10} = 0$$

$$M = \left| \frac{U_{1p}}{U_{1N}} \right|^2 M_{pN} + \left| \frac{U_{1n}}{U_{1N}} \right|^2 M_{nN}$$

$$M = \left| \frac{U_{1p}}{U_{1N}} \right|^2 M_{pN}(s) - \left| \frac{U_{1n}}{U_{1N}} \right|^2 M_{pN}(2-s) \quad (1.12)$$

(1.12) deki ifadede (1.6) ve (1.7) deki ifadeleri yerine koyarsak genel moment formülünün son hali

$$M = \left| \frac{(1-a) \underline{Y} + \underline{Y}_n}{3\underline{Y} + \underline{Y}_p + \underline{Y}_n} \right|^2 M_{pN}(s) - \left| \frac{(1-a^2) \underline{Y} + \underline{Y}_p}{3\underline{Y} + \underline{Y}_p + \underline{Y}_n} \right|^2 M_{pN}(2-s) \quad (1.13)$$

olur. Hesaplamalarda değerleri yerine koyarken modül olarak yazacağız,

M_{pN} = Anma pozitif gerilimin meydana getirdiği moment

M_{nN} = Anma negatif gerilimin meydana getirdiği moment

s = Kayma

Özel hal 1 : Durma anında motora gerilim uygulanmıştır. Bu durumda pozitif kayma $s_p = 1$ ve negatif kayma $s_n = 2 - 1 = 1$ yani $s_p = s_n = 1$ dir.

$$\underline{Y}_p (s) = \underline{Y}_n (2 - s) = \underline{Y}_k$$

$$\underline{Y}_p (1) = \underline{Y}_n (1) = \underline{Y}_k$$

Kısa devrede motor durduğu için pozitif ve negatif admitans ve impedanslar birbirine eşittir.

Yukarıdaki formülde görüldüğu gibi pozitif ve negatif admitans ve impedanslar da kayma bir olduğundan kısa devre admitans ve impedansına eşittir.

$$\underline{Y}_p = \underline{Y}_n = \underline{Y}_k$$

$$\underline{Z} = \underline{Z}_n = \underline{Z}_k$$

(1.14)

0 zaman pozitif ve negatif bileşen gerilimleri için

$$\underline{U}_p = \frac{(1 - a) \underline{Y} + \underline{Y}_k}{3\underline{Y} + 2\underline{Y}_k} \cdot \frac{\underline{U}_N}{1 - a^2} \quad (1.15)$$

$$\underline{U}_n = \frac{(1 - a^2) \underline{Y} + \underline{Y}_k}{3\underline{Y} + 2\underline{Y}_k} \cdot \frac{\underline{U}_N}{1 - a}$$

elde edilir. Böylece $\underline{U}_p \neq \underline{U}_n$ dir. ve \underline{U}_p ile \underline{U}_n birbirinden farklı olduğundan motor kalkabilir. Şayet $\underline{U}_p = \underline{U}_n$ olsaydı motor kalkamazdı.

Özel hal 2 : $\underline{Y} = 0$ alınırsa $\underline{U}_p = \underline{U}_n$ olacağından motor kendiliğinden kalkış yapamaz.

$$M = \left| \frac{\underline{U}_{1p}}{\underline{U}_{1N}} \right|^2 M_{pN} + \left| \frac{\underline{U}_{1n}}{\underline{U}_{1N}} \right|^2 M_{nN}$$

$$M = \left| \frac{\underline{U}_{1p}}{\underline{U}_{1N} / \sqrt{3}} \right|^2 M_{pA} - \left| \frac{\underline{U}_{1n}}{\underline{U}_{1N} / \sqrt{3}} \right|^2 M_{pA}$$

$$M = \left| \frac{\underline{U}_{1p}^2 - \underline{U}_{1n}^2}{\underline{U}_{1N}^2 / \sqrt{3}^2} \right| M_{pA} \quad (1.16)$$

M_{pA} : Motor pozitif gerilimle beslendiğinden elde edilen kalkış momentidir.

(1.15) formülleri (1.16) formülünde yerine konursa, kalkış anında motorun momentini bulunur.

$$M_p (1) = M_{pA}$$

$$M_n (1) = M_p (1) = M_{pA}$$

$$\frac{M}{M_{pA}} = \frac{\underline{U}_{1p}^2 - \underline{U}_{1n}^2}{\underline{U}_{1N}^2 / 3}$$

$$m_{\text{kalkış}} = \frac{M}{M_{pA}} = \frac{|(1-a)\underline{Y} + \underline{Y}_k|^2 - |(1-a^2)\underline{Y} + \underline{Y}_k|^2}{|3\underline{Y} + 2\underline{Y}_k|^2} \quad (1.17)$$

Şimdi bu bulduğumuz kalkış momentini impedanslara göre ifade edelim.

$$s = 1 ; Z_p (1) = Z_n (1)$$

$$m_{kalkış} = \frac{M}{M_{PA}} = \frac{|(1-a) Z_k - Z|^2 - |(1-a^2) Z_k - Z|^2}{|3Z_k - 2Z|^2} \quad (1.18)$$

Z : Bir faza konan impedans

Z_k : Motor impedansı

Hesaplamalarda yalnız modül alınır.

$$\begin{aligned} & |(1-a)|^2 - |(1-a^2)|^2 \\ & \sqrt{3} - \sqrt{3} = 0 \end{aligned}$$

Özel hal 3 : Z = 0 ise M/M_{PA} = 0 çıkar. Demekki Z ye sıfır haricinde istenen değer verilebilir.

$$Z = R + jX = |Z| e^{j\psi} = |Z| (\cos\psi + j\sin\psi)$$

$$Z_k = R_k + jX_k = |Z_k| e^{j\psi_k} = |Z_k| (\cos\psi_k + j\sin\psi_k)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \angle \psi_Z \Rightarrow \psi_Z = \arccos R/Z = \arctan X/R$$

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} \angle \psi_k \Rightarrow \psi_k = \arccos R_k/Z_k = \arctan X_k/R_k$$

Z yi Z_k ya oranlarsak birim değere göre impedansı buluruz.

$$z = \frac{Z}{Z_k} = \frac{\sqrt{R^2 + X^2} \angle \psi_Z}{\sqrt{R_k^2 + X_k^2} \angle \psi_k}$$

$$|z| = \frac{\sqrt{R^2 + X^2}}{\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} ; \theta_z = (\psi_Z - \psi_k)$$

$$\underline{z} = |z| \angle \theta_z = |z| e^{j\theta_z} = |z| (\cos\theta_z + j\sin\theta_z)$$

olur. 0 zaman kalmış momenti için

$$m_A = \frac{M}{M_{PA}} = \frac{|(1-a) + \underline{z}|^2 - |(1-a^2) + \underline{z}|^2}{|3 - 2\underline{z}|^2} \quad (1.19)$$

bulunur. Burada m kalkış momentinin oranlanmış değeridir.

$$m_A = \frac{|(1-e^{j120^\circ}) + |z|(\cos\theta_z + j\sin\theta_z)|^2 - |(1-e^{-j120^\circ}) + |z|(\cos\theta_z - j\sin\theta_z)|^2}{|3 - 2|z|(\cos\theta_z - j\sin\theta_z)|^2}$$

$$m_A = \frac{(1+0,5+|z|\cos\theta_z)^2 + (-0,866+|z|\sin\theta_z)^2 - (1+0,5+|z|\cos\theta_z)^2}{9 + 4z^2 - 12z\cos\theta_z} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{- (0,866 + |z|\sin\theta_z)^2}{9 + 4z^2 - 12z\cos\theta_z}$$

$$|(1-a) + \underline{z}|^2 = (1+0,5 + |z|\cos\theta_z)^2 + (-0,866 + |z|\sin\theta_z)^2$$

$$|(1-a^2) + \underline{z}|^2 = (1+0,5 + |z|\cos\theta_z)^2 - (0,866 + |z|\sin\theta_z)^2$$

$$m_A = \frac{\left(-\frac{\sqrt{3}}{2} + |z|\sin\theta_z\right)^2 - \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + |z|\sin\theta_z\right)^2}{9 + 4z^2 + 12\cos(\varphi_z - \varphi_k)}$$

$$m_A = \frac{\frac{3}{4} + |z|^2 \sin^2\theta_z - \sqrt{3}|z|\sin\theta_z - \frac{3}{4} - |z|^2 \sin^2\theta_z - \sqrt{3}|z|\sin\theta_z}{9 + 4z^2 + 12\cos(\varphi_z - \varphi_k)}$$

$$m_A = \frac{-2\sqrt{3}\sin\theta_z \cdot |z|}{9 + 4z^2 + 12\cos(\varphi_z - \varphi_k)}$$

$$m_A = \frac{2\sqrt{3} \cdot \sin(\varphi_z - \varphi_k) \cdot |z|}{9 + 4z^2 + 12 \cos(\varphi_z - \varphi_k)} \quad (1.20)$$

Kalkış momenti yol verme impedansı veya admitansına bağlıdır. Denklemden z değişken, $\varphi_z - \varphi_k$ parametre olarak alınır, kalkış momentinin aşağıdaki azami değeri bulunur. Bu inceleme kalkış momentinin ne zaman ve hangi koşullarda en büyük değerden geçtiğini gösterir.

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 0 \quad (1.21)$$

$$\Delta \theta_z = \varphi_z - \varphi_k$$

olduğuna göre

$$\frac{1}{(9 - 4z^2 + 12 \cos(\varphi_z - \varphi_k) \cdot z)} - \frac{z}{(9z + 12 \cos(\varphi_z - \varphi_k))} = 0$$

$$4z^2 - 8z^2 + 9 = 0$$

$$-4z^2 + 9 = 0 \quad (1.22)$$

$$z = \pm 3/2$$

bulunur. z yi m_A da yerleştirirsek en büyük moment elde edilir.

$$m_{A \max} = \frac{\sqrt{3} \cdot \sin \Delta \theta_z}{6 (1 + \cos \Delta \theta_z)} = f(\theta_z) \quad (1.23)$$

çıkar.

$$z = \frac{Z}{Z_k}$$

$$Z = z \cdot Z_k$$

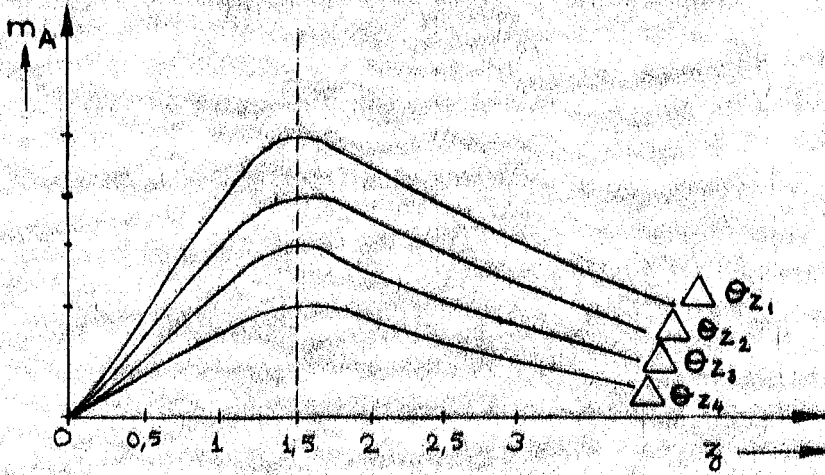
$$\underline{Z} = 3/2 \underline{Z}_k$$

$$\underline{Y} = 2/3 \underline{Y}_k$$

(1.24)

olur.

$\Delta \theta_z$ parametre olarak alındığında, Şek. 3. de oranlanmış kalkış momentinin, oranlanmış kalkış impedansına göre değişimi elde edilir. Buna göre karakteristik eğri demetinde azami değer noktaları $z = 3/2$ apsisisinden ordinat eksenine çekilen paralel üzerinde bulunur. Kalkış momentinin mutlak azami değerinin $\Delta \theta_z$ parametresine göre azami değeri alınarak tesbit edilir.



Şek . 3. $m_A = f(\theta_z)$ eğrisi

Bu artış belirli yerden sonra düşme göstermektedir. Bu değer ise $z = 3/2$ noktasından sonradır.

Örnek problem 1: Steinmetz bağlamasında \underline{Z} yerine bir R elemanı bağlayalım. O zaman $\underline{Z} = R = 2 \underline{Z}_k \cos \psi_k = 0,3$ ölçülmüş olsun.

Bu değerleri formülde yerleştirecek olursak

$$m_A = \frac{\sqrt{3} \sin (0 - 0,3)}{6 [1 - \cos (1 - 0,3)]} = 0,39 \text{ çıkar.}$$

Normal moment bir ise, kalkış momenti 0,39 olur. Demekki...

azalma vardır.

Örnek problem. 2: Aynı problemde \underline{Z} yerine bir L elemanı bağlarsak,

$$\underline{Z} = X_L = 2 \underline{Z}_k \text{ ise}$$

$$m_A = \frac{\sqrt{3} \sin(1 - 0,3)}{6 [1 - \cos(0 - 0,3)]} = 0,428$$

olur. Bu durum dirence göre daha iyidir.

Örnek problem. 3: Aynı problemde \underline{Z} elemanı yerine bir C elemanı bağlarsak,

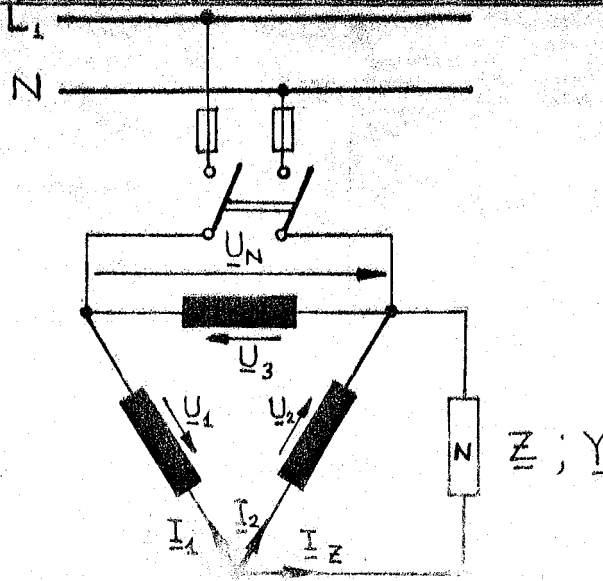
$$\underline{Z} = X_C = 0,6 \underline{Z}_k \text{ ise}$$

$$m = \frac{\sqrt{3} \sin(-1 - 0,3)}{6 [1 - \cos(0 - 0,3)]} = 1,45$$

çıkar.

SONUÇ : Simetrik beslemeye göre simetrisiz beslemede kondansatör bağlarsak normal beslemeye göre 1,45 kati bir kalkış momenti sağlamış oluruz.

1.4. Üçgen Steinmetz bağlamasında gerilim bileşenleri



Şek.4. Üçgen Steinmetz bağlama

Kirchhoff gerilim ve akım yasalarını uygulayarak yukardaki bağlamanın denklemlerini yazalım.

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3 &= 0 \\ \underline{U}_3 &= \underline{U}_N \end{aligned} \quad (1.25)$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_0 &= 0 \\ \underline{I}_0 &= 0 \\ \underline{U}_2 &= \underline{U}_2 \\ \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 &= 0 \end{aligned} \quad (1.26)$$

Bu simetrisiz denklemler verilen bağlamaya belirler. Devre üçgen olduğundan gerilim ve akımanın sıfır bileşenleri sifira eşittir.

Genel bileşen formüllerini yazarsak

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{U}_0 + \underline{U}_p + \underline{U}_n \\ \underline{U}_2 &= \underline{U}_0 + a^2 \underline{U}_p + a \underline{U}_n \\ \underline{U}_3 &= \underline{U}_0 + a \underline{U}_p + a^2 \underline{U}_n \\ \underline{I}_1 &= \underline{I}_0 + \underline{I}_p + \underline{I}_n \\ \underline{I}_2 &= \underline{I}_0 + a^2 \underline{I}_p + a \underline{I}_n \\ \underline{I}_3 &= \underline{I}_0 + a \underline{I}_p + a^2 \underline{I}_n \end{aligned}$$

(1.25) ve (1.26) denklemlerini genel bileşen formüllerine uygulayarak, simetrisiz gerilim ve akımlar gerilim simetrik bileşenlerine göre ifade edilebilir.

$$\underline{U}_3 = \underline{U}_N$$

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$$

$$\underline{I}_p + \underline{I}_n + a^2 \underline{I}_p + a \underline{I}_n + \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}} = 0$$

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_2$$

$$\underline{I}_p + \underline{I}_n + a^2 \underline{I}_p + a \underline{I}_n + \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}} = 0$$

$$\underline{Y}_p \underline{U}_p + \underline{Y}_n \underline{U}_n + a^2 \underline{Y}_p \underline{U}_p + a \underline{Y}_n \underline{U}_n + \underline{Y} (a^2 \underline{U}_p + a \underline{U}_n) = 0$$

$$\underline{U}_p (\underline{Y}_p + a^2 \underline{Y}_p + a^2 \underline{Y}) + \underline{U}_n (\underline{Y}_n + a \underline{Y}_n + a \underline{Y}) = 0 \quad (1.28)$$

denklemleri elde edilir.

Bulunan bu iki bilinmeyenli denklemi matris yolu ile çözelim.

$$\underline{U}_p (a) + \underline{U}_n (a^2) = \underline{U}_n$$

$$\underline{U}_p (\underline{Y}_p + a^2 \underline{Y}_p + a^2 \underline{Y}) + \underline{U}_n (\underline{Y}_n + a \underline{Y}_n + a \underline{Y}) = 0 \quad (1.29)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_n \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & a^2 \\ \underline{Y}_p + a^2 \underline{Y}_p + a^2 \underline{Y} & \underline{Y}_n + a \underline{Y}_n + a \underline{Y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_p \\ \underline{U}_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_p \\ \underline{U}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & a^2 \\ \underline{Y}_p + a^2 \underline{Y}_p + a^2 \underline{Y} & \underline{Y}_n + a \underline{Y}_n + a \underline{Y} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \underline{U}_n \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a & a^2 \\ \underline{Y}_p + a^2 \underline{Y}_p + a^2 \underline{Y} & \underline{Y}_n + a \underline{Y}_n + a \underline{Y} \end{vmatrix}$$

$$\Delta = a \underline{Y}_n + a^2 \underline{Y}_n + a^2 \underline{Y} - (a^2 \underline{Y}_p + a \underline{Y}_n + a \underline{Y})$$

$$\Delta = a \underline{Y}_n + a^2 \underline{Y}_n + a^2 \underline{Y} - a^2 \underline{Y}_p - a \underline{Y}_n - a \underline{Y}$$

$$\Delta = \underline{Y} (-a^2 - a) + \underline{Y} (a + a^2) + \underline{Y} (a^2 - a)$$

$$-a^2 - a = 1$$

$$a + a^2 = -1$$

$$\Delta = \underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)$$

İşaretili minörlerine göre A matrisini açarsak.

$$A_{11} = \underline{Y}_n + a\underline{Y}_n + a\underline{Y}$$

$$A_{12} = -\underline{Y}_p - a^2\underline{Y}_p - a^2\underline{Y}$$

$$A_{21} = -a^2$$

$$A_{22} = a$$

B matrisi bulunur.

$$B = \begin{bmatrix} \underline{Y}_n + a\underline{Y}_n + a\underline{Y} & -\underline{Y}_p - a^2\underline{Y}_p - a^2\underline{Y} \\ -a^2 & a \end{bmatrix}$$

$$B^{-1} = A^+ = \begin{bmatrix} \underline{Y}_n + a\underline{Y}_n + a\underline{Y} & -a^2 \\ -\underline{Y}_p - a^2\underline{Y}_p - a^2\underline{Y} & a \end{bmatrix}$$

Elde ettiğimiz ek matrisi formüle yerine koyarsak

$$A^{-1} = \frac{A^+}{\Delta}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_p \\ \underline{U}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\underline{Y}_n + a\underline{Y}_n + a\underline{Y}}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)} & \frac{-a^2}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)} \\ \frac{-\underline{Y}_p - a^2\underline{Y}_p - a^2\underline{Y}}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)} & \frac{a}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_N \\ 0 \end{bmatrix}$$

olur. Şimdi sonucu yazalım.

$$\underline{U}_p = \frac{\underline{Y}_n + a\underline{Y}_n + a\underline{Y}}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)} \cdot \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_p = \frac{\underline{Y}_n (1 + a) + a\underline{Y}}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)} \cdot \underline{U}_N \quad (1.30)$$

$$\underline{U}_n = \frac{-\underline{Y}_p - a^2\underline{Y}_p - a^2\underline{Y}}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)} \cdot \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_n = \frac{\underline{Y}_p (-a^2 - 1) - a^2\underline{Y}}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)} \cdot \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_n = \frac{a\underline{Y}_p - a^2\underline{Y}}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)} \cdot \underline{U}_N \quad (1.31)$$

olur. \underline{U}_p ve \underline{U}_n nin ifadelerinde paydalar aynıdır. Simetrikli gerilim bileşenleri genellikle birbirinden farklıdır. Bu nedenle oluşturdukları döner alanlar da farklı genliktedir.

Yukarıdaki bileşen denklemleri ile belli bir \underline{Z} yol verme impedansı veya \underline{Y} admitansında motorun bir fazlı beslemedeki tüm davranışı incelenebilir ve eğrileri çizilebilir.

1.5. Üçgen Steinmetz bağlamasında akım bileşenleri.

Simetrikli akım denklemlerinde gerilim bileşenleri için

ifadeler ve bu akımların admitansları

şeklinde

$$I_1 = I_p + I_n$$

$$I_1 = \underline{Y}_p \cdot \underline{U}_p + \underline{Y}_n \cdot \underline{U}_n$$

$$I_1 = \underline{Y}_p \cdot \left(\frac{\underline{Y}_n(1+a) + a\underline{Y}}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y}(a^2 - a)} \cdot \underline{U}_n \right) + \underline{Y}_n \cdot \left(\frac{a\underline{Y}_p - a^2\underline{Y}}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y}(a^2 - a)} \right)$$

$$I_1 = \frac{\left[\underline{Y}_p \underline{Y}_n (1+a) + a \underline{Y} \cdot \underline{Y}_p \right] \underline{U}_n + a \underline{Y}_p \underline{Y}_n - a^2 \underline{Y} \cdot \underline{Y}_n}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)}$$

$$I_2 = a^2 I_p + a I_n$$

$$I_2 = a^2 \underline{Y}_p \cdot \underline{U}_p + a \underline{Y}_n \cdot \underline{U}_n$$

$$I_2 = \frac{a^2 \left[\underline{Y}_p \underline{Y}_n (1+a) + a \underline{Y} \cdot \underline{Y}_p \right] \underline{U}_n + a (a \underline{Y}_p \underline{Y}_n - a^2 \underline{Y} \cdot \underline{Y}_n)}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)}$$

$$I_2 = \frac{\left[(a^2 + 1) \underline{Y}_p \underline{Y}_n + \underline{Y} \underline{Y}_p \right] \underline{U}_n + a^2 \underline{Y}_p \underline{Y}_n - \underline{Y} \cdot \underline{Y}_n}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)}$$

$$I_3 = a I_p + a^2 I_n$$

$$I_3 = a \underline{Y}_p \cdot \underline{U}_p + a^2 \underline{Y}_n \cdot \underline{U}_n$$

$$I_3 = \frac{a \left[\underline{Y}_p \underline{Y}_n (1+a) + a \underline{Y} \cdot \underline{Y}_p \right] \underline{U}_n + a^2 (a \underline{Y}_p \underline{Y}_n - a^2 \underline{Y} \cdot \underline{Y}_n)}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)}$$

$$I_3 = \frac{\left(-\underline{Y}_p \underline{Y}_n + a^2 \underline{Y} \cdot \underline{Y}_p \right) \underline{U}_n + \underline{Y}_p \underline{Y}_n - a \underline{Y} \cdot \underline{Y}_n}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)}$$

Yardımcı sargı gerilimi ve bileşen gerilimleri yardımıyla yol verme impedansı geriliminin ifadesi bulunabilir.

$$\underline{U}_Z = \underline{U}_2$$

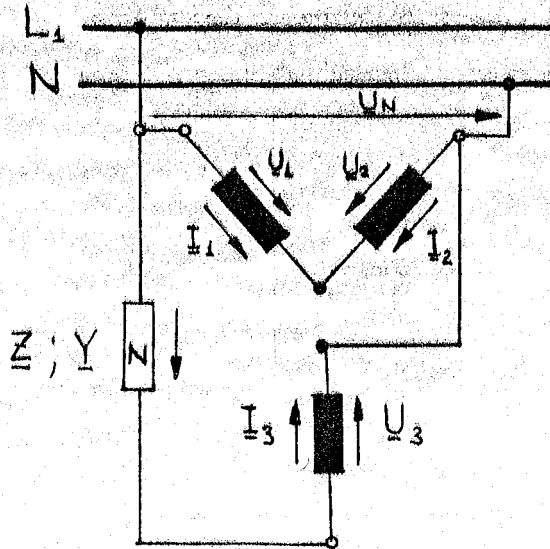
$$\underline{U}_Z = a^2 \cdot \underline{U}_p + a \underline{U}_n$$

$$\underline{U}_Z = \frac{a^2 [\underline{Y}_n (1+a) + a \underline{Y}] \underline{U}_N + a (a \underline{Y}_p - a^2 \underline{Y})}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)}$$

$$\underline{U}_Z = \frac{[\underline{Y}_n (a^2 + 1) + \underline{Y}] \underline{U}_N + a^2 \underline{Y}_p - \underline{Y}}{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n + \underline{Y} (a^2 - a)}$$

Yol verme impedansı gerilimi olur.

1.6. Açık Yıldız Steinmetz bağlamasında gerilim bileşenleri.



Şek.5. Açık Yıldız Steinmetz bağlaması

Kirchhoff gerilim ve akım yasalarını uygulayarak yukarıdaki bağlamanın denklemlerini yazalım.

$$\underline{U}_1 - \underline{U}_2 = \underline{U}_N \quad (1.32)$$

$$\underline{U}_1 - \underline{U}_2 - \underline{U}_3 - \underline{U}_N = 0$$

$$\underline{U}_3 - \underline{U}_N = \underline{U}_N \quad (1.33)$$

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 = 0 \quad (1.34)$$

Yıldız noktası bağlı olmadığından akım ve gerilim bileşenlerinin vektörel toplamı sıfır olmaz.

$$\underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3 \neq 0$$

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 \neq 0$$

Genel bileşen formüllerini yazarsak.

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_0 + \underline{U}_p + \underline{U}_n$$

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_0 + a^2 \underline{U}_p + a \underline{U}_n$$

$$\underline{U}_3 = \underline{U}_0 + a \underline{U}_p + a^2 \underline{U}_n$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 + \underline{I}_p + \underline{I}_n$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_0 + a^2 \underline{I}_p + a \underline{I}_n$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_0 + a \underline{I}_p + a^2 \underline{I}_n$$

(1.32) , (1.33) , (1.34) denklemlerini genel bileşen formüllerine uygulayarak, simetrisiz gerilim ve akımlar gerilim simetrik bileşenlerine göre ifade edilebilir.

$$\underline{U}_1 - \underline{U}_2 = \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_0 + \underline{U}_p + \underline{U}_n - (\underline{U}_0 + a^2 \underline{U}_p + a \underline{U}_n) = \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_0 + \underline{U}_p + \underline{U}_n - \underline{U}_0 - a^2 \underline{U}_p - a \underline{U}_n = \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_p (1 - a^2) + \underline{U}_n (1 - a) = \underline{U}_N \quad (1.35)$$

$$\underline{U}_3 - \underline{U}_2 = \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_0 + a \underline{U}_p + a^2 \underline{U}_n - \frac{Y_0}{Y} \underline{U}_0 - a \frac{Y_p}{Y} \underline{U}_p - a^2 \frac{Y_n}{Y} \underline{U}_n = \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_0 \left(1 - \frac{Y_0}{Y}\right) + \underline{U}_p \left(a - a \frac{Y_p}{Y}\right) + \underline{U}_n \left(a^2 - a^2 \frac{Y_n}{Y}\right) = \underline{U}_N$$

(1.36)

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 = 0$$

$$\underline{I}_0 + \underline{I}_p + \underline{I}_n + \underline{I}_n + a^2 \underline{I}_p + a \underline{I}_n = 0$$

$$2 \underline{I}_0 + \underline{I}_p (1 - a^2) + \underline{I}_n (1 + a) = 0$$

$$2 \underline{I}_0 - a \underline{I}_p - a^2 \underline{I}_n = 0$$

$$2 Y_0 \cdot \underline{U}_0 - a Y_p \underline{U}_p - a^2 Y_n \cdot \underline{U}_n = 0$$

$$\underline{U}_0 \cdot 2 Y_0 + \underline{U}_p (-a Y_p) + \underline{U}_n (-a^2 Y_n) = 0$$

(1.37)

denklemleri elde edilir. Bulduğumuz bu üç bilinmeyenli denklemler

ile gözelim.

$$0 + \underline{U}_p (1 - a^2) + \underline{U}_n (1 - a) = \underline{U}_N$$

$$\underline{U}_o \left(1 - \frac{\underline{Y}_o}{\underline{Y}}\right) + \underline{U}_p \left(a - a \frac{\underline{Y}_p}{\underline{Y}}\right) + \underline{U}_n \left(a^2 - a^2 \frac{\underline{Y}_n}{\underline{Y}}\right) = \underline{U}_N \quad (1.38)$$

$$\underline{U}_o \cdot 2\underline{Y}_o + \underline{U}_p (-a\underline{Y}_p) + \underline{U}_n (-a^2\underline{Y}_n) = 0$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_N \\ \underline{U}_N \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 - a & 1 - a \\ 1 - \frac{\underline{Y}_o}{\underline{Y}} & a - a \frac{\underline{Y}_p}{\underline{Y}} & a^2 - a^2 \frac{\underline{Y}_n}{\underline{Y}} \\ 2\underline{Y}_o & -a\underline{Y}_p & -a^2\underline{Y}_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_o \\ \underline{U}_p \\ \underline{U}_n \end{bmatrix} \quad (1.39)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_o \\ \underline{U}_p \\ \underline{U}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 - a^2 & 1 - a \\ 1 - \frac{\underline{Y}_o}{\underline{Y}} & a - a \frac{\underline{Y}_p}{\underline{Y}} & a^2 - a^2 \frac{\underline{Y}_n}{\underline{Y}} \\ 2\underline{Y}_o & -a\underline{Y}_p & -a^2\underline{Y}_n \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_N \\ \underline{U}_N \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.40)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0 & 1 - a & 1 - a \\ 1 - \frac{\underline{Y}_o}{\underline{Y}} & a - a \frac{\underline{Y}_p}{\underline{Y}} & a^2 - a^2 \frac{\underline{Y}_n}{\underline{Y}} \\ 2\underline{Y}_o & -a\underline{Y}_p & -a^2\underline{Y}_n \end{vmatrix}$$

$$\Delta = -\left(1 - \frac{Y_o}{Y}\right) \begin{vmatrix} 1 - a & 1 - a \\ -aY_p & -a^2Y_n \end{vmatrix} + 2Y_o \begin{vmatrix} 1 - a & 1 - a \\ a - a\frac{Y_p}{Y} & a^2 - a^2\frac{Y_n}{Y} \end{vmatrix}$$

$$\Delta = -\left(1 - \frac{Y_o}{Y}\right) \left[(-a^2Y_n + aY_n) - (-aY_p + a^2Y_p) \right] + 2Y_o \left[(a^2 - a^2\frac{Y_n}{Y} - a - a\frac{Y_n}{Y}) - (a - a\frac{Y_p}{Y} - a^2 + a^2\frac{Y_p}{Y}) \right]$$

$$\Delta = -\left(1 - \frac{Y_o}{Y}\right) (-a^2Y_n + aY_n + aY_p - a^2Y_p) + 2Y_o (a^2 - a^2\frac{Y_n}{Y} - a + a\frac{Y_n}{Y} - a + a\frac{Y_p}{Y} + a^2 - a^2\frac{Y_p}{Y})$$

$$\Delta = -\left(1 - \frac{Y_o}{Y}\right) (-a^2Y_n - aY_n - aY_p - a^2Y_p) - 2Y_o (2a^2 - 2a - a^2\frac{Y_n}{Y} - a\frac{Y_n}{Y} - a\frac{Y_p}{Y} - a^2\frac{Y_p}{Y})$$

$$\Delta = a^2Y_n - aY_n - aY_p + a^2Y_p - a^2\frac{Y_oY_n}{Y} + a\frac{Y_oY_n}{Y} + a\frac{Y_oY_p}{Y} - a^2\frac{Y_oY_p}{Y} + 4a^2Y_o - 4aY_o - 2a^2\frac{Y_oY_n}{Y} + 2a\frac{Y_oY_n}{Y} + 2a\frac{Y_oY_p}{Y} - 2a^2\frac{Y_oY_p}{Y}$$

$$\Delta = a^2(Y_n + Y_p - \frac{Y_oY_n}{Y} - \frac{Y_oY_p}{Y} + 4Y_o - 2\frac{Y_oY_n}{Y} - 2\frac{Y_oY_p}{Y}) + a(-Y_n - Y_p + \frac{Y_oY_n}{Y} + \frac{Y_oY_p}{Y} - 4Y_o + 2\frac{Y_oY_n}{Y} + 2\frac{Y_oY_p}{Y})$$

$$\Delta = a^2(Y_n + Y_p - 3\frac{Y_oY_n}{Y} - 3\frac{Y_oY_p}{Y} + 4Y_o) - a(+Y_n - Y_p - 3\frac{Y_oY_n}{Y} - 3\frac{Y_oY_p}{Y} + 4Y_o)$$

$$\Delta = (a^2 - a) (4Y_o - Y_p + Y_n - \frac{3Y_oY_n}{Y} - \frac{3Y_oY_p}{Y})$$

$$\Delta = (a^2 - a) \left[\frac{Y_0}{Y} \left(4 - \frac{3Y_n}{Y} - \frac{3Y_p}{Y} \right) + \frac{Y_p}{Y} - \frac{Y_n}{Y} \right]$$

İşaretleli minörlerine göre A matrisini açarsak,

$$A_{11} = \begin{bmatrix} a - a \frac{Y_p}{Y} & a^2 - a^2 \frac{Y_n}{Y} \\ -aY_p & -a^2 Y_n \end{bmatrix}$$

$$A_{11} = \left(a - a \frac{Y_p}{Y} \right) \left(-a^2 Y_n \right) - \left(-aY_p \right) \left(a^2 - a^2 \frac{Y_n}{Y} \right)$$

$$A_{11} = -\frac{Y_n}{Y} + \frac{Y_p Y_n}{Y} + \frac{Y_p}{Y} - \frac{Y_p Y_n}{Y} = \frac{Y_p}{Y} - \frac{Y_n}{Y}$$

$$A_{12} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{Y_0}{Y} & a^2 - a^2 \frac{Y_n}{Y} \\ 2Y_0 & -a^2 Y_n \end{bmatrix}$$

$$" = - \left[\left(1 - \frac{Y_0}{Y} \right) \left(-a^2 Y_n \right) - \left(2Y_0 \right) \left(a^2 - a^2 \frac{Y_n}{Y} \right) \right]$$

$$" = - \left[-a^2 Y_n + a^2 \frac{Y_0 Y_n}{Y} - 2a^2 Y_0 + 2a^2 \frac{Y_0 Y_n}{Y} \right]$$

$$" = - \left[-a^2 \left(+ \frac{Y_n}{Y} + 2Y_0 - 3 \frac{Y_0 Y_n}{Y} \right) \right]$$

$$A_{12} = - \left[a^2 \left(-\frac{Y_n}{Y} - 2Y_0 + 3 \frac{Y_0 Y_n}{Y} \right) \right]$$

$$A_{13} = a \left(-\underline{Y}_p + 3 \frac{\underline{Y}_o \underline{Y}_p}{\underline{Y}} - 2\underline{Y}_o \right)$$

$$A_{21} = - \begin{bmatrix} 1 - a^2 & 1 - a \\ -a\underline{Y}_p & -a^2\underline{Y}_n \end{bmatrix}$$

$$= -(-a^2 \underline{Y}_n + a\underline{Y}_n + a\underline{Y}_p - a^2\underline{Y}_p)$$

$$= a^2 \left(\underline{Y}_n + \underline{Y}_p \right) - a \left(\underline{Y}_n + \underline{Y}_p \right)$$

$$A_{21} = (a^2 - a) \left(\underline{Y}_n + \underline{Y}_p \right)$$

$$A_{22} = \begin{bmatrix} 0 & 1 - a \\ 2\underline{Y}_o & -a^2\underline{Y}_n \end{bmatrix} = - \left(2\underline{Y}_o - 2a\underline{Y}_o \right) = -2\underline{Y}_o + 2a\underline{Y}_o$$

$$A_{23} = \begin{bmatrix} 0 & 1 - a \\ 2\underline{Y}_o & -a\underline{Y}_p \end{bmatrix} = 2\underline{Y}_o - 2a^2\underline{Y}_o$$

$$A_{31} = \begin{bmatrix} 1 - a^2 & 1 - a \\ a - a \frac{\underline{Y}_p}{\underline{Y}} & a^2 - a^2 \frac{\underline{Y}_n}{\underline{Y}} \end{bmatrix} = a^2 - a^2 \frac{\underline{Y}_n}{\underline{Y}} - a + a \frac{\underline{Y}_n}{\underline{Y}} - a + a^2 + a \frac{\underline{Y}_p}{\underline{Y}} - a^2 \frac{\underline{Y}_p}{\underline{Y}}$$

$$= a^2 \left(2 - \frac{\underline{Y}_n}{\underline{Y}} - \frac{\underline{Y}_p}{\underline{Y}} \right) - a \left(2 - \frac{\underline{Y}_n}{\underline{Y}} - \frac{\underline{Y}_p}{\underline{Y}} \right)$$

$$A_{31} = (a^2 - a) \left(2 - \frac{Y_n}{Y} - \frac{Y_p}{Y} \right)$$

$$A_{32} = - \begin{bmatrix} 0 & 1 - a \\ 1 - \frac{Y_0}{Y} & a^2 - a^2 \frac{Y_n}{Y} \end{bmatrix} = - \left(-1 + a + \frac{Y_0}{Y} - a \frac{Y_0}{Y} \right)$$

$$A_{32} = 1 - a - \frac{Y_0}{Y} + a \frac{Y_0}{Y}$$

$$A_{33} = \begin{bmatrix} 0 & 1 - a^2 \\ 1 - \frac{Y_0}{Y} & a - a \frac{Y_p}{Y} \end{bmatrix} = -1 - \frac{Y_0}{Y} + a^2 - a^2 \frac{Y_0}{Y}$$

B matrisi bulunur.

$$B = \begin{bmatrix} \frac{Y_p}{Y} - \frac{Y_n}{Y} & a^2 \left(\frac{Y_n}{Y} + 2 \frac{Y_0}{Y} - \frac{3 \frac{Y_0}{Y} \cdot \frac{Y_n}{Y}}{Y} \right) & a \left(-\frac{Y_p}{Y} + 3 \frac{\frac{Y_0}{Y} \frac{Y_p}{Y} - 2 \frac{Y_0}{Y}}{Y} \right) \\ (a^2 - a) \left(\frac{Y_n}{Y} + \frac{Y_p}{Y} \right) & -2 \frac{Y_0}{Y} - 2 \cdot a \cdot \frac{Y_0}{Y} & 2 \frac{Y_0}{Y} - 2 a^2 \frac{Y_0}{Y} \\ (a^2 - a) \left(2 - \frac{Y_n}{Y} - \frac{Y_p}{Y} \right) & 1 - a - \frac{Y_0}{Y} + a \frac{Y_0}{Y} & -1 + \frac{Y_0}{Y} + a^2 - a^2 \frac{Y_0}{Y} \end{bmatrix}$$

$$B^1 = A^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{Y_p - Y_n}{\Delta} & (a^2 - a)(Y_n + Y_p) & (a^2 - a)(Y_n + Y_p) \\ a^2 \left(\frac{Y_n + 2Y_o - \frac{3Y_o \cdot Y_n}{Y}}{\Delta} \right) & 2Y_o + 2a \cdot Y_o & 1 - a - \frac{Y_o}{Y} + a \frac{Y_o}{Y} \\ a \left(\frac{-Y_p + 3 \frac{Y_o Y_p}{Y} - 2Y_o}{\Delta} \right) & 2Y_o - 2a^2 Y_o & -1 + \frac{Y_o}{Y} + a^2 - a^2 \frac{Y_o}{Y} \end{bmatrix}$$

Elde ettiğimiz ek matrisi formülde yerine koyarsak,

$$A^{-1} = \frac{A^+}{\Delta}$$

$$\begin{bmatrix} U_o \\ U_p \\ U_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Y_p - Y_n}{\Delta} & \frac{(a^2 - a)(Y_n - Y_p)}{\Delta} & \frac{(a^2 - a)(2 - \frac{Y_n}{Y} - \frac{Y_p}{Y})}{\Delta} \\ \frac{a^2 \left(\frac{Y_n + 2Y_o - 3 \frac{Y_o Y_n}{Y}}{\Delta} \right) - 2Y_o + 2a \cdot Y_o}{\Delta} & \frac{1 - a - \frac{Y_o}{Y} - a \frac{Y_o}{Y}}{\Delta} \\ \frac{a \left(\frac{-Y_p + 3 \frac{Y_o Y_p}{Y} - 2Y_o}{\Delta} \right) - 2Y_o - 2a^2 Y_o}{\Delta} & \frac{-1 + \frac{Y_o}{Y} + a^2 - a^2 \frac{Y_o}{Y}}{\Delta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_N \\ U_N \\ 0 \end{bmatrix}$$

olur. Sonucu yazarsak,

$$U_o = \frac{Y_p - Y_n}{(a^2 - a) \left[\frac{Y_o(4Y - 3Y_n - 3Y_p)}{Y} + Y_p + Y_n \right]} + \frac{(a^2 - a)(Y_p + Y_n)}{(a^2 - a) \left[\frac{Y_o(4Y - 3Y_n - 3Y_p)}{Y} + Y_p + Y_n \right]}$$

$$U_o = \frac{1}{(a^2 - a)} \cdot \frac{Y_p - Y_n}{\frac{Y_o(4Y - 3Y_n - 3Y_p)}{Y} + Y_p + Y_n} + \frac{Y_p + Y_n}{\frac{Y_o(4Y - 3Y_n - 3Y_p)}{Y} + Y_p + Y_n}$$

$$\underline{U}_o = \frac{1}{\frac{\underline{Y}_o}{\underline{Y}}(4\underline{Y} - 3\underline{Y}_n - 3\underline{Y}_p) + \underline{Y}_p + \underline{Y}_n} \cdot \frac{\underline{Y}_p - \underline{Y}_n}{a^2 - a} + \underline{Y}_p + \underline{Y}_n$$

(1.41)

$$\underline{U}_p = \frac{a^2 \left(\underline{Y}_n + 2\underline{Y}_o - 3 \frac{\underline{Y}_o \underline{Y}_n}{\underline{Y}} \right)}{(a^2 - a) \left[\frac{\underline{Y}_o}{\underline{Y}} (4\underline{Y} - 3\underline{Y}_n - 3\underline{Y}_p) + \underline{Y}_p + \underline{Y}_n \right]} + \frac{-2\underline{Y}_o + 2a \cdot \underline{Y}_o}{(a^2 - a) \left[\frac{\underline{Y}_o}{\underline{Y}} (4\underline{Y} - 3\underline{Y}_n - 3\underline{Y}_p) + \underline{Y}_p + \underline{Y}_n \right]}$$

(1.42)

$$\underline{U}_n = \frac{a \left(-\underline{Y}_p + 3 \frac{\underline{Y}_o \underline{Y}_p}{\underline{Y}} - 2\underline{Y}_o \right)}{(a^2 - a) \left[\frac{\underline{Y}_o}{\underline{Y}} (4\underline{Y} - 3\underline{Y}_n - 3\underline{Y}_p) + \underline{Y}_p + \underline{Y}_n \right]} + \frac{2\underline{Y}_o + 2a^2 \underline{Y}_o}{(a^2 - a) \left[\frac{\underline{Y}_o}{\underline{Y}} (4\underline{Y} - 3\underline{Y}_n - 3\underline{Y}_p) + \underline{Y}_p + \underline{Y}_n \right]}$$

(1.43)

olur. \underline{U}_o , \underline{U}_p ve \underline{U}_n nin ilk ifadelerinin paydaları aynıdır. \underline{U}_p ve \underline{U}_n nin ise ilk ve ikinci ifadelerinin paydaları aynıdır. Simetrikli gerilim bileşenleri genellikle birbirinden farklıdır. Bu nedenle oluşturdukları döner alanlar da farklı genliktedir.

2. DENEYSSEL İNCELEME

2.1. Deneyde kullanılan asenkron motorun plâka değerleri.

GM 90 - L4		
3~	A.C. MOTOR	Nr : 1058855
Δ/λ	220 / 380 V	6 / 3,5 A
	1,5 kW	$\cos\varphi = 0,81$
1405 min ⁻¹		f = 50 Hz
11 - 984	iz.kl.B	B3 IP 44

2.2. Deneyde kullanılan asenkron motorun Almanya'dan gelen hesapların kom- pütürden çıkış değerleri.

BAUGR.	90L/4	DA = 135.0	KSR - NR	72040.	GFE ST = 5.060
SOHNITT	SKS	90/4.836	DI = 80.0	KSR DA = 78.0 G	
LEISTG	PAB [KW]	1.500			
NENNSTR	SN	3.55	6.3		
COSPHI	ETA	0.81	79.2		
DREHZAHL	SCHL	1392.01	7.2		
IO - AL	SO	1.883	3.33		
IK - AL	SK	15.49	27.40		
IK / IN	I2'	4.37	2.68		
I2' K	COSPK	14.00	0.69		
SRGN	SRGK	2.26	11.79		
SSTN	SSTK	4.15	21.67		

BL	BJ10	0.74	1.60
BZ1	BJ1M	1.59	1.45
BZ2	BJ2	1.74	1.47
	KS	TAU1	1.56 0.5
2VL	VJ1	397.36	77.80
2VZ1	VJ2	79.85	18.72
2VZ2	SUMV	143.68	717.40
	EDTG	ETT	0.00 4.25
VFE - 01	-02	0.00	0.00
VFE	VRG	73.47	23.07
VCU1	VGES	179.10	393.80
VCU2	PAUF	118.16	1893.80
PHI	UET	0.344	47.50
AUSN -Z	ASTRB	591.27	248.95

2.3. Deneyde kullanılan asenkron motorun boşta, kısa devre, y¼kte, gerilim değişiminde incelenmesi ve grafiğinin çizilmesi.

2.3.1. Boşta alışma deneyi.

UL	P ₁	I _{L1}	I _{L2}	I _{L3}
V	W	A	A	A
380	179	2,22	2.13	2,20
374	166	2,08	2,02	2,06
404	232	2,74	2,69	2,73
335	119	1,55	1,45	1,54
256	78	1,026	0,988	1,058

2.3.2. Kısa devre deneyi.

U_L	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}	P_1	P_m	n	M_K
V	A	A	A	W	W	min ⁻¹	N.m
379	16,8	16,8	17,1	8,37	-0-	-0-	26,78
303	13,3	13,3	13,4	5,1			16,28
323	14,1	14,1	14,3	5,84			19,32
282	12,1	12,0	12,2	4,4			14,02
246	10,3	10,2	10,4	3,21			10,88
225	9,4	9,3	9,4	2,65			8,92
190	7,8	7,6	7,7	1,78			6,18
168	6,7	6,6	6,7	1,34			4,70

2.3.3. Yükte çalışma deneyi.

U_L	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}	P_1	P_m	n	M_N
V	A	A	A	KW	KW	min ⁻¹	N.m
380	3,49	3,45	3,58	1,86	1,5	1402	10,0
383	4,1	3,9	3,9	2,23	1,8	1368	12,75
384	4,5	4,4	4,4	2,48	1,99	1346	14,12
382	5,1	5,0	5,0	2,87	2,19	1310	15,99
384	3,27	3,28	3,26	1,64	1,34	1405	9,12
382	2,67	2,71	2,70	1,18	0,96	1440	6,37
384	2,95	3,01	2,97	1,4	0,17	1430	7,84
384	2,43	2,49	2,42	0,92	0,72	1455	4,70

2.3.4. Gerilim değişikliği deneyi (P_m : sabit)

U_L	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	P_1	P_m	n	M_N
V	A	A	A	KW	KW	min ⁻¹	N.m
400	3,4	3,3	3,3	1,86	1,5	1405	10,10
420	3,6	3,5	3,6	1,86	1,5	1414	10,0
360	3,55	3,52	3,6	1,86	1,5	1380	10,20
340	3,65	3,66	3,68	1,9	1,5	1361	10,30

2.3.5. T.S.E. için anma yükünde sürekli çalışma deneyi.

Zaman Saat	U_{L1} V	U_{L2} V	U_{L3} V	I_{L1} A	I_{L2} A	I_{L3} A	P_I kW	P_m kW	n min ⁻¹	M_N N.m	η	cos ϕ	tü °C	to °C	tg °C
10,00	380	380	380	3,44	3,47	3,45	1,85	1,5	1404	10,20	0,888	0,81	-	14	-
10,30	380	380	380	3,43	3,46	3,45	1,86	1,5	1400	10,20	0,806	0,82	48	18	30
11,00	380	380	380	3,45	3,43	3,44	1,87	1,5	1398	10,20	0,80	0,82	49	18	31
11,30	380	380	380	3,47	3,44	3,45	1,87	1,5	1396	10,20	0,80	0,82	50	18	31
12,00	380	380	380	3,45	3,42	3,44	1,86	1,5	1394	10,20	0,80	0,82	50	19	31
12,30	380	380	380	3,46	3,44	3,45	1,86	1,5	1394	10,20	0,80	0,82	50	19	31
13,00	362	362	362	3,48	3,47	3,48	1,87	1,5	1381	10,30	0,80	0,86	50	19	31
13,30	398	398	398	3,46	3,45	3,45	1,87	1,5	1408	10,10	0,80	0,79	50	19	31

TABLODA

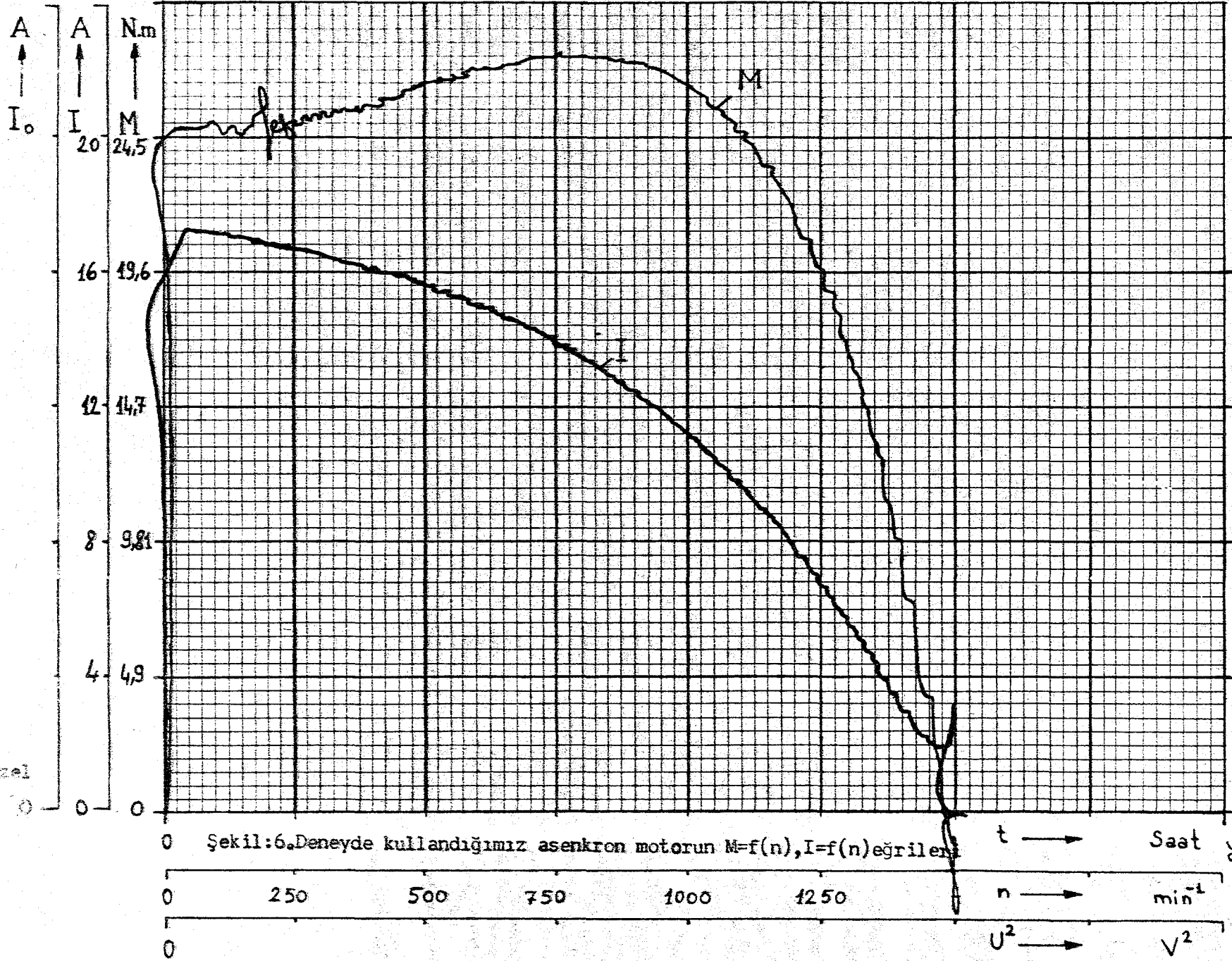
tü : sarğı sıcaklığı

to : ortam sıcaklığı

tg : gövde sıcaklığı

2.3.6. Laboratuvar Grafik Cetveli (Tip:90-L4)

- $U = 380V$
- $P_N = 1,5 kW$
- $P_2 = 0,70 kW$
- $P_1 = 0,5 kW$
- $I_2 = 3,5 A$
- $I_1 = 2,1 A$
- $I_0 = 7,2 A$
- $n_N = 1430 \text{ min}^{-1}$
- $n_2 = 1400 \text{ min}^{-1}$
- $M_2 = 0,46 \text{ N.m}$
- $M_1 = 0,48 \text{ N.m}$
- $M_0 = 0,48 \text{ N.m}$
- $M = 0,48 \text{ N.m}$
- $t = 1 \text{ saat}$
- $I_{\text{özel}}$



Şekil:6. Deneyde kullandığımız asenkron motorun $M=f(n)$, $I=f(n)$ eğrileri

2.3.6.1. Asenkron motorun moment ve akım eğrilerinde görülen titreşimler.

Döner makinalardaki kaçak reaktanslardan kaynaklanır. Döner makinalarda kaçak akılar ve bunlara ait özindüktanslar başlıca dört kısma ayrılır.

1. Oluk kaçakları
2. Diş başı kaçakları
3. Bobin başı kaçakları
4. Zig zag kaçak akıları (veya diferansiyel kaçaklar)

Bu kaçak akılar stator ve rotor üzerine dağılmış sargılı, Örneğin : türbo - alternatör ve muhtelif asenkron makinaların demir aralığında magnetik alan harmoniklerinin teşkil ettikleri kaçak akılardır.

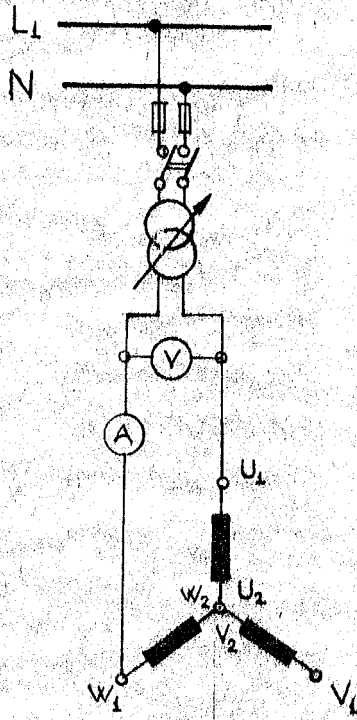
Asenkron ve kollektörlü üç fazlı makinalarda demir aralığı küçük olduğundan diş başı kaçakları çok küçük olup, zigzag kaçaklar içine alınabilir.

Rotor hareketsiz ve kısa devre vaziyetinde iken, rotor sargısının direnci ihmal edilerek, bu sargıdan geçen bileşke akının sıfır olduğunu asenkron makinaların teorisinden biliyoruz. Stator sargısının bileşke akısı ise, sıfır olmayıp, oluk ve bobin başı kaçaklarından başka zigzag veya diferansiyel kaçak akılarından bileşiktir.

Bu son kaçaklar demir aralığındaki stator ve rotor esas alanlarının sinüs biçimli olmamalarından dolayı, yani bu alanlarda harmoniklerin mevcudiyetinden dolayı meydana gelmektedir.

Stator ve rotor esas alanları basamaklı olmayıp da sinüs biçimli olsalardı, zigzag kaçaklar bulunmazdı.

2.4. Deneyde kullanılan asenkron motorun Z impedansının deney ile bulunması.



Şek.7. Asenkron motorun iki faz bobinine değişik gerilim uygulanması.

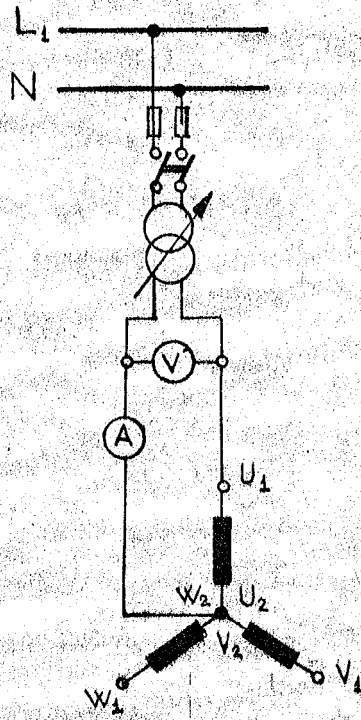
Deneyi asenkron motorun rotoru çıkarken yaptık Nedeni : Rotorun statora olan karşılıklı durumu dolayısıyla motor impedansı değişmektedir. Çünkü motor relüktansı değişmektedir.

Önce bir fazlı değişik gerilimleri iki faz bobinine uyguladık (Şek.7.)

Şu sonuçlara aldık.

U	I	iki faz impedansı
V	A	Ω
100	5,51	18,14
121	6,39	18,95
146	7,75	18,83
177	9,57	18,49
201	11,0	18,27
220	12,0	18,33
250	13,6	18,38
269	14,4	18,68

ortalama iki faz impedansı : 18,50 Ω dur.



Şek.8. Asenkron motorun bir faz bobinine değişik gerilimler uygulanması.

Sonra Şek.8. deki gibi, bir fazlı değişik gerilim değerlerini bir faz bobinine uygulayıp aşağıdaki değerleri aldık.

U	I	bir faz impedansı
V	A	Ω
99	11,4	8,68
145	16,3	8,69
176	19,9	8,84
198	22,2	8,91
205	22,2	9,11
224	24,2	9,25

ilk dört impedans değerleri için ortalama değer = 8,83 Ω

Yine rotor çıkıkken motorun bir faz sargısının omik direncini weston köprüsüyle ölçüldü.

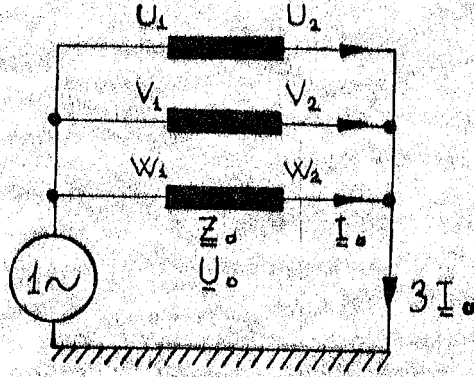
U ₁	-	U ₂	arası	R _{2N}	= 4,84 Ω	(40°C)
"	"	"	"	R _{2N}	= 4,35 Ω	(17°C)

Bizim için 40°C deki değer daha muteberdir.

2.5. Bileşen impedanslarının ölçülmesi.

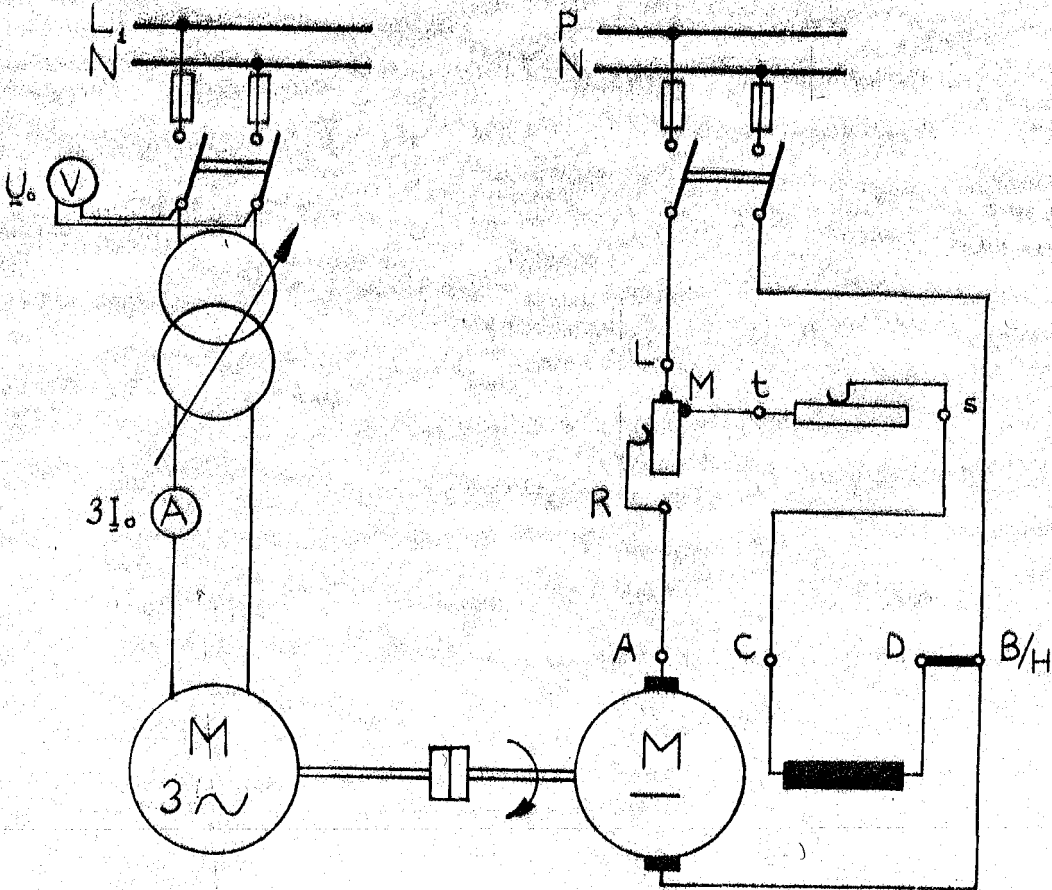
2.5.1. Z_0 sıfır bileşen impedansının bulunması.

Deneyin prensip şemasını çizelim.



Şek.9. Z_0 sıfır bileşen impedansının bulunması için deneyin prensip şeması.

Deneyin bağlantı şemasını çizelim.



Şek.10. Z_0 sıfır bileşen impedansı deneyinin bağlantı şeması.

Deney esnasında bir fazlı varyakla gerilim ayarlandı ve deney motoru akuple bağlı bir doğru akım motorunun hızı (0 - 750 - 1500) min^{-1} ile değiştirilerek üç değişik deney değeri alındı.

$n = 0 \text{ min}^{-1}$ iken alınan değerler.

U_0 V	$3I_0$ A	I_0 A	Z_0 Ω
91	24,5	8,16	11,15
96	25,2	8,40	11,42
111	29,5	9,83	11,28
118	32,0	10,66	11,06
139	39,1	13,03	10,66
153	44,5	14,83	10,31
167	49,1	16,36	10,20
184	54,2	18,06	10,18
194	57,1	19,03	10,19
203	59,5	19,83	10,23
219	66,1	22,03	9,93

ortalama değer : 1. İlk 10 değer $Z_0 = 10,66 \Omega$

2. Bütün değerler $Z_0 = 10,60 \Omega$

$n = 750 \text{ min}^{-1}$ iken alınan değerler.

U_0	$3I_0$	I_0	Z_0
<u>V</u>	<u>A</u>	<u>A</u>	<u>Ω</u>
95	26,7	8,90	10,67
98	27,5	9,16	10,69
108	30,2	10,06	10,72
120	33,9	11,30	10,61
134	38,7	12,90	10,38
150	43,8	14,60	10,27
167	51,0	17,0	9,82
189	57,6	19,20	9,84
204	61,9	20,63	9,88
216	65,8	21,93	9,84
220	69,8	23,26	9,45

ortalama değer : 1. İlk 6 değer $Z_0 = 10,55 \Omega$

2. Bütün değerler $Z_0 = 10,19 \Omega$

$n = 1500 \text{ min}^{-1}$ iken alınan değerler.

U_0	$3I_0$	I_0	Z_0
<u>V</u>	<u>A</u>	<u>A</u>	<u>Ω</u>
95	26,7	8,90	10,67
105	28,8	9,60	10,93
118	33,0	11,0	10,72
125	34,8	11,60	10,77
148	43,3	14,43	10,25
168	50,3	19,76	10,01
197	59,4	19,86	9,94
212	64,8	21,60	9,81
216	66,8	22,26	9,70

ortalama değer : 1. İlk 6 değer $Z_0 = 10,55 \Omega$

2. Bütün değerler $Z_0 = 10,31 \Omega$

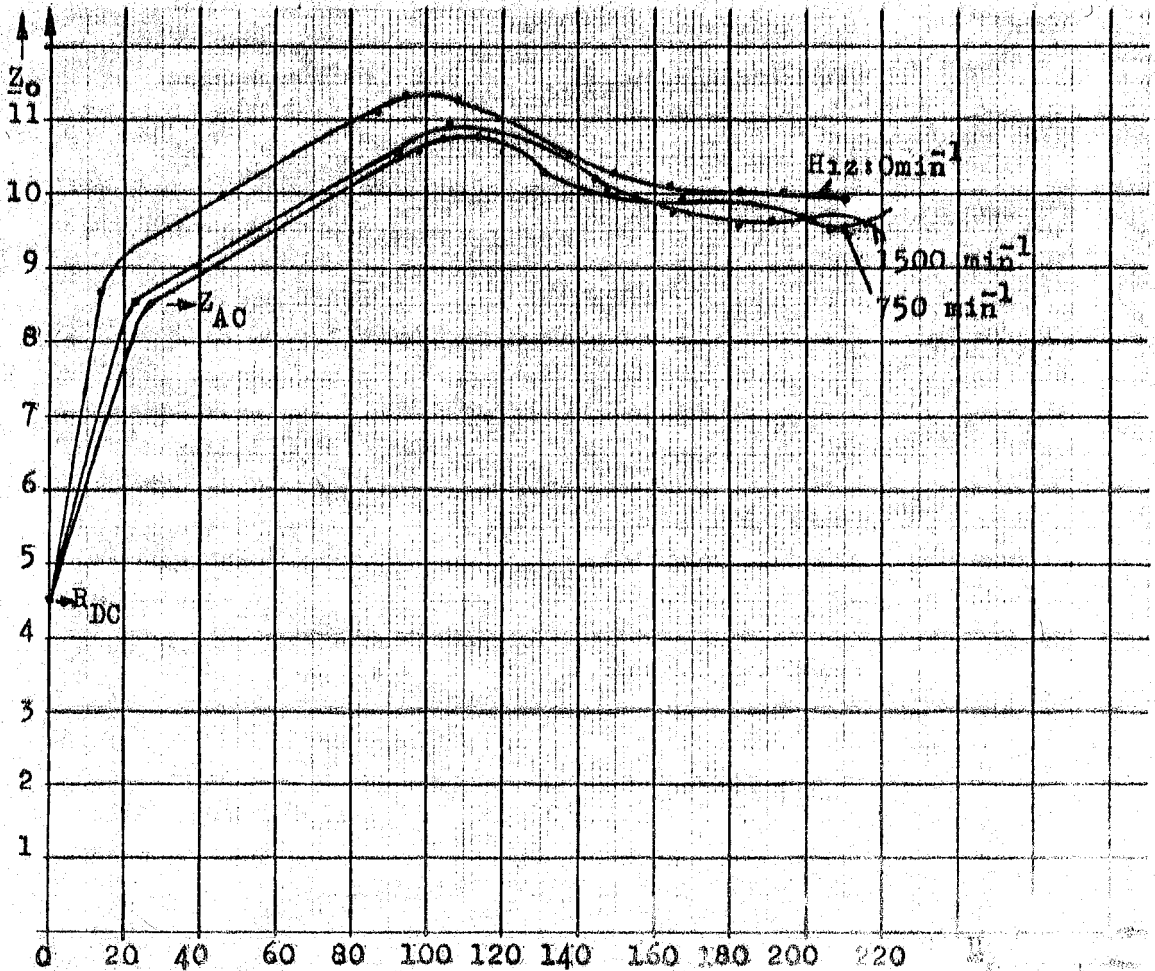
Deney esnasında ortalama sıcaklığı : 15°C

" " motorun gövde sıcaklığı : 40°C

" " motorun sargı sıcaklığı : 75°C lld.

Ortam sıcaklığı oda termometresiyle, motorun gövde sıcaklığı motor ta-
şıma halkası çıkarılıp dijital termometrenin termokupl elemanı ine sokul-
du ve delik cam macunu ile kapatılıp lld. Motorun sargı sıcaklığı ise
aynı termometrenin termokupl elemanı sargı ya sokularak lld. Bazı fabri-
kalarda ise motorun sargı sıcaklığının bulunmasında gövde sıcaklığı referans
kabul edilip $R_t = R \cdot (1 + \alpha \Delta t)$ formülü ile hesap ediliyor.

Şimdi değişik devir hızlarında bir fazlı gerilime karşın $Z_0 = f(U_0)$
değerlerini grafikte gösterelim.



Şek.11. Asenkron motorun Z_0 sıfır balansen impedansı Z

$U_0 = 0 \dots 220 \text{ V}$; $Z = 10,55 \Omega$

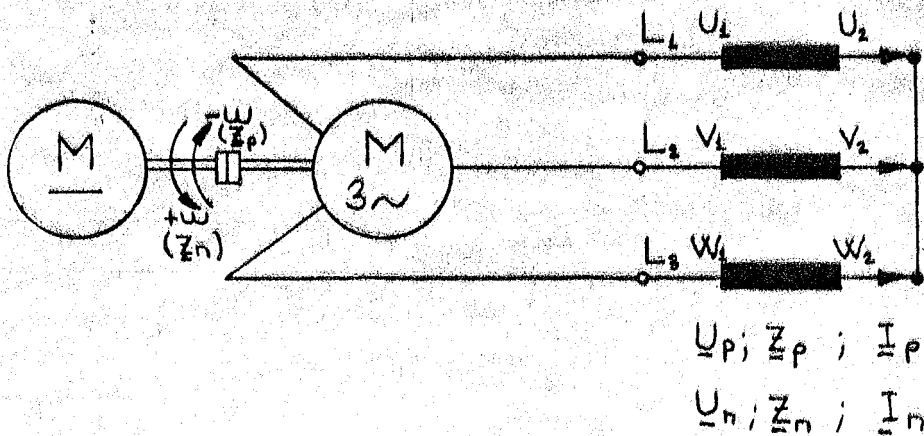
Dikkat edilecek olursa, asenkron motorun Z_0 sıfır bileşen impedansı asenkron motorun rotorunun dönmesi (yarı senkron ve senkron hızla) ve durmasıyla çok az değişmekte olup biz bu değişmeyi ihmal edebiliriz.

Üç değişik Z_0 değerlerinin (doymaya yakın değerleri hariç) ortalamasını veya herhangi bir hızdaki değeri alabiliriz. Bizim deneyde kullandığımız motor için $Z_0 = 10,55 \Omega$ alınmıştır.

Dönen makinalarda akımın sıfır bileşenleri çok fazlı bir dengeli sistem teşkil etmedikleri için, herhangi bir döndürücü moment meydana getirmezler. Çok fazlı bir stator sargısının her fazından geçen I_0 sıfır bileşen akımlarının rotorda hasil ettikleri magnetik akımların bileşkesi sıfır dır. Bundan dolayı, sıfır bileşen impedansının rotor sargılarının cinsine bağlı olmadığı anlaşılır. Bu impedans makinada bir amortisör bulunup bulunmamasına da bağlı değildir ve sadece, stator fazlarının sargıları arasındaki kaçaklara karşılık gelir, negatif impedanstan daha küçük fakat buna oldukça yakın bir değerdedir. Z_0 ile gösterdiğimiz sıfır bileşen impedansına monofaze impedans da denir.

2.5.2. Z_p pozitif ve Z_n negatif bileşen impedanslarının bulunması.

Deneyin prensip şemasını çizelim.

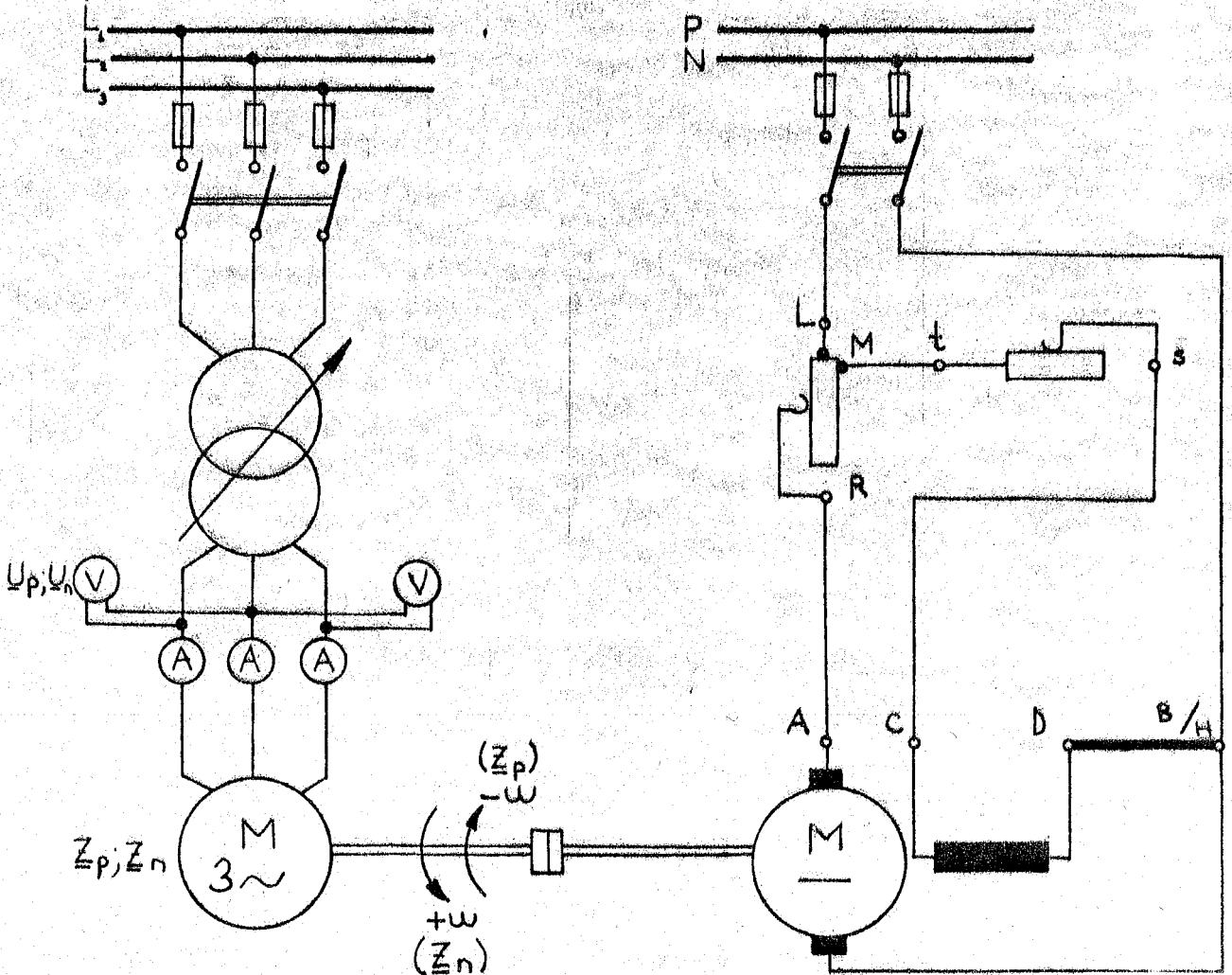


Şek.12. Pozitif ve negatif bileşen impedansları bulmak için gerekli deneyin prensip şeması

$$\underline{Z}_p = \frac{U_p}{I_p} \quad ; \quad \underline{Z}_n = -\frac{U_n}{I_n}$$

Aynı prensip şeması hem \underline{Z}_p , hem de \underline{Z}_n değerlerini bulmak için geçerlidir. \underline{Z}_n negatif bileşen impedansını bulmak için ya motora uyguladığımız üç fazlı gerilimin iki fazının yeri değiştirilir, ya da asenkron motora uyguladığımız gerilimin uçlarını değiştirilmeden doğru akım motorunun dönme yönü (sola) değiştirilir. Deneylerimizi üç değişik hızda, yani sıfır - yarı senkron ve senkron hızda yapıyoruz ki, acaba \underline{Z}_p ve \underline{Z}_n değerleri devir sayısına bağlı olarak nasıl bir değişime gösterecek sorusuna cevap arayalım.

Şimdi deneyin bağlantı şemasını çizelim.



Şek.13. Deneyin bağlantı şeması.

Fabrikasyon olarak asenkron motora L_1, L_2, L_3 üç fazlı gerilim uygulandığında (U_1, V_1, W_1 uçlarına) motorun sağa dönmesi gerekiyor. Yani motorun mil eksenine paralel olmak şartıyla fan tarafında bulunulduğunda (klemens kapağı sağ tarafa geldiğinde) motor sağa dönüyorsa uygulanan gerilimin faz sırası doğru kabul edilmiştir.

Biz deneyi yaparken, Z_p pozitif bileşen impedansını bulmak için önce deney motorumuzu akuple açarken sağa doğru döndürdük. Sonra yine akuple açıkken bu sefer doğru akım motorumuzu sağa doğru döndürdük ve her iki motoru durdurup akuple bağladık. Asenkron motora fazlar arası 380 V verip Δ bağlı motorumuzun akım değerlerini sıfır - yarı senkron ve senkron devir sayılarında ölçtük, cetvele kaydettik.

Aynı şekilde bir de fazlar arası 220 V uygulayarak deneyi tekrar edip, sonuçları kaydettik. Bunun sebebi 380 V la çalışmada faz sargısının doyma değerlerinde olduğundandır.

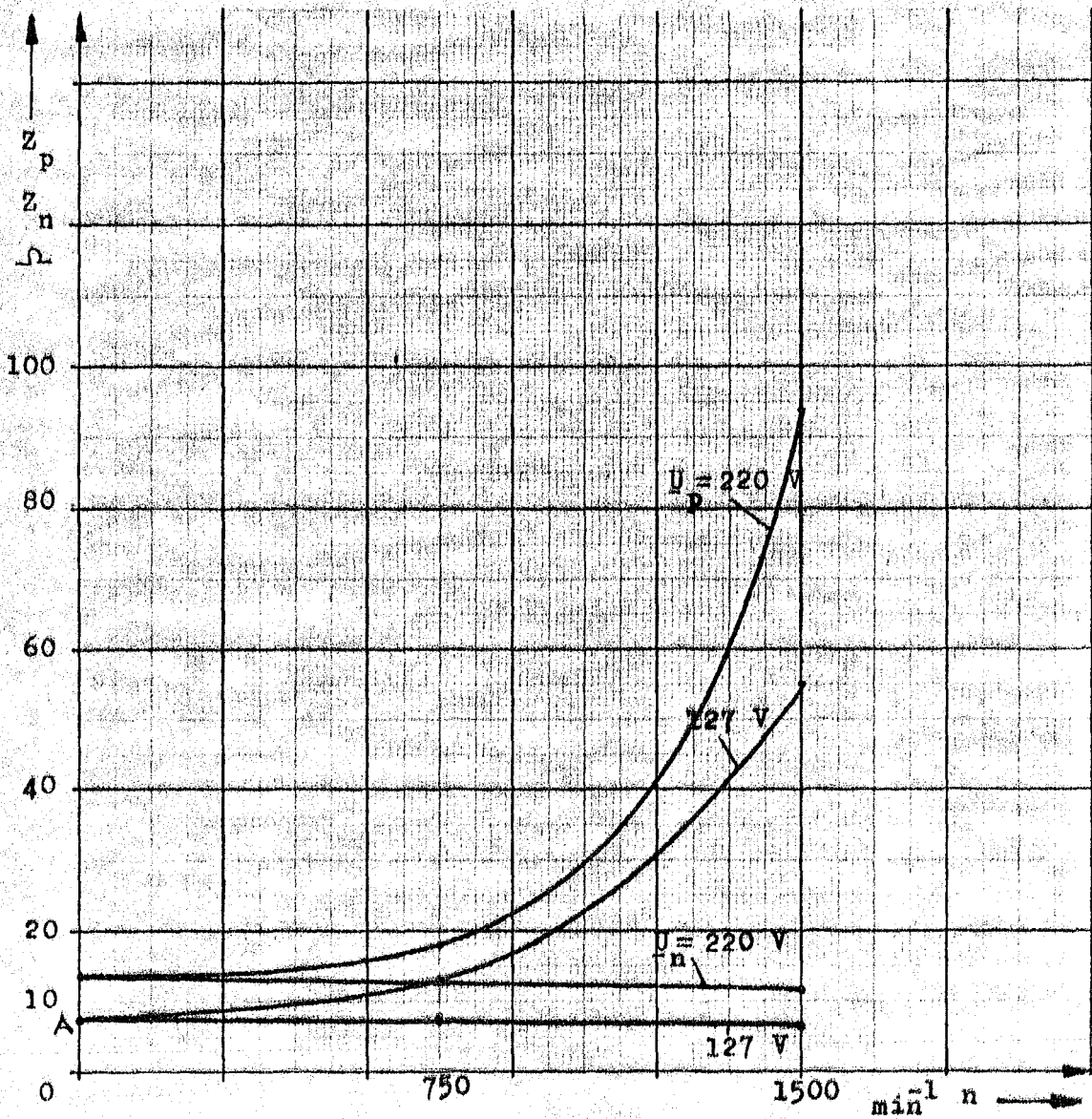
Z_n negatif bileşen impedansını da bulmak için, deneydeki değişikliğimiz sadece doğru akım motorunun dönme yönünü sola değiştirerek deneyleri tekrarladık ve aldığımız sonuçları tabloya kaydettik.

Alınan değerlere göre Z_p ve Z_n değerlerini hesapla bulduk ve hizalarına yazdık.

U_L	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}	Z_p	n	Z_n	I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}
V	A	A	A	Ω	min^{-1}	Ω	A	A	A
380	2,35	2,34	2,37	93,61	1504	11,64	18,9	18,9	18,9
380	12,4	12,3	12,5	17,74	753	12,22	18,0	18,0	18,4
382	16,3	16,2	16,7	13,49	0	13,49	16,3	16,2	16,7

220	2,35	2,35	2,35	54,17	1504	6,72	18,9	18,9	18,9
220	12,4	12,4	12,4	10,25	753	7,06	18,0	18,0	18,0
220	16,3	16,3	16,3	7,80	0	7,80	16,3	16,3	16,3

$$\underline{Z}_p = \frac{U_L / \sqrt{3}}{I_L} = \frac{U_p}{I_p} ; \underline{Z}_n = \frac{U_L / \sqrt{3}}{I_L} = \frac{U_n}{I_n}$$



Şek.14. Asenkron motorun \underline{Z}_p ve \underline{Z}_n eğrileri. $\underline{Z}_p = f(U_p)$; $\underline{Z}_n = f(U_n)$

$s=1$ anında $\underline{Z}_p = \underline{Z}_n = \underline{Z}_K$ olduğuna göre A noktasından başlayan eğri bize doğru sonucu verir.

Grafikten de gördüğümüz gibi Z_n negatif bileşen impedansı hız değişikliği ile çok az değişmekte, hatta hiç değişmiyor kabul edebiliriz.

Z_p pozitif bileşen impedansı ise devir değişikliği ile çok değişik değerler almaktadır.

Fazbobinleri 220 V olduğu için bir de $\sqrt{3}$ katı kadar küçük bir gerilimle aynı deneyi tekrarladık. Nedeni ölçmüş olduğumuz impedans değerleri doyumda olup da bizi yanıltıcı değerler vermemesi içindir. Her iki eğriyi de bir arada çizdik ki fark açıkça belirmiş olsun.

Şekil.13. deki grafiğe dikkat edilecek olursa, Z_n negatif bileşen impedansı devir hızına bağlı değil ve akım sabit kalıyor denilebilir. Z_p pozitif bileşen impedansı ise senkron devirde Z_p nin $n = 0$ min⁻¹ deki değerine göre çok fazla artıyor ve akım da aynı oranla düşüyor.

Değer bir özellik $n = 0$ min⁻¹ iken $Z_p = Z_n$ olmasına rağmen $n = 1500$ min⁻¹ de Z_p ile Z_n arasındaki fark oldukça büyümektedir. Bir faz bobinine 220 V uygulandığındaki değerler ile 127 V uygulandığındaki değerler arasındaki fark ise bobinin doymasından kaynaklanmaktadır.

Şekil.13. e bakılacak olursa dönen makinalarda statik cihazların tersine olarak, bunlarda Z_p ve Z_n birbirlerinden farklıdır. Döner makinaların içinden geçen pozitif bileşen akımı, endüvi sargılarından geçerek bir endüvi reaksiyonu alanı meydana getirir ve çok fazlı makinalarda bu reaksiyon alanı, endüktör alanı ile aynı yönde dönmektedir. Akımın negatif bileşeni ise, endüviden geçtiği zaman, endüktör alanının dönüşünün tersi yönde döner bir reaksiyon alanı meydana getirir. Şu halde, döner makinalarda akımların pozitif bileşenleri pozitif yönde bir döndürücü moment meydana getirirler. Negatif bileşenler ise negatif yönde döner bir moment meydana getirirler ve bu da, bir frenleyici momenttir. Pozitif yönde döner alan rotorla aynı yönde ve senkron hızla döndüğü için, rotor üzerinde bulunan amortisman sargılarından endüksiyon etkisi yapmaz ve bunlarda her hangi bir akım meydana getirmez.

Halbuki negatif yönde dönen alan, rotora nazaran senkron hızın iki katına eşit bir izafi hızla dönmekte olduğundan, amortisman sargılarında bir endüksiyon akımı meydana getirir.

Bu endüksiyon akımlarının meydana getireceği alan da kendini doğuran negatif yönlü alanı, Lenz kanuna uygun olarak, zayıflatacaktır. Dolayısıyla akımın negatif bileşenine karşılık Z_n impedansı, Z_p pozitif impedansından daha küçük olacaktır.

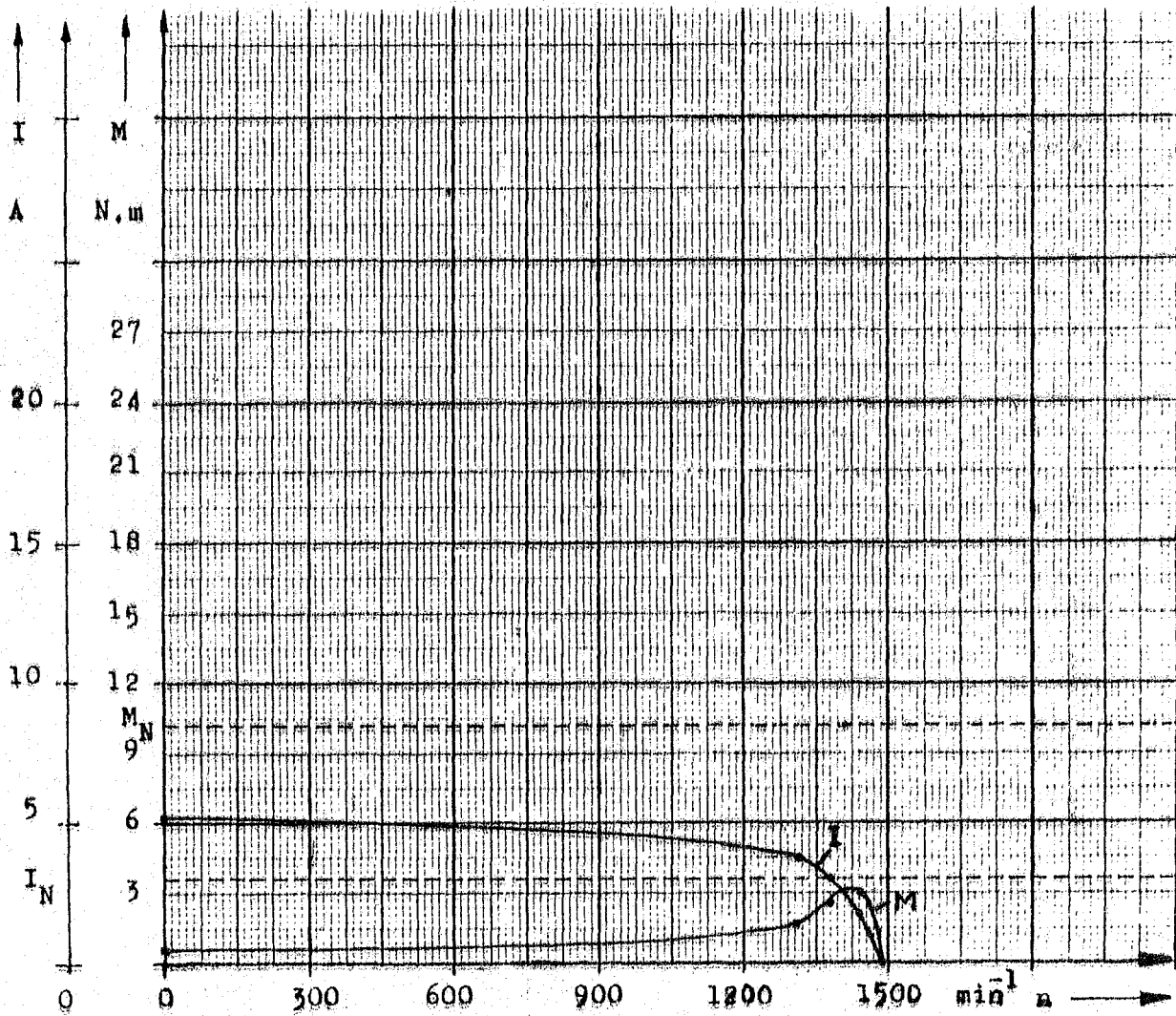
Generatörlerde Z_p impedansı, senkron impedansına eşittir, Negatif impedansa ise, bazan asenkron impedans da denir.

2.6. Steinmetz bağlamasında değişik kapasitelerde moment ölçülmesi

$Z=C=10 \mu F$ Yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos\varphi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
220	3,7	770	430	3,04	1315	0,9459	0,55
220	2,95	550	350	2,35	1375	0,8474	0,63
220	1,7	250	110	1,37	1440	0,6684	0,44

$U_K=220 \text{ V}$; $I_K=5,2 \text{ A}$; $M_K=0,58 \text{ N.m}$

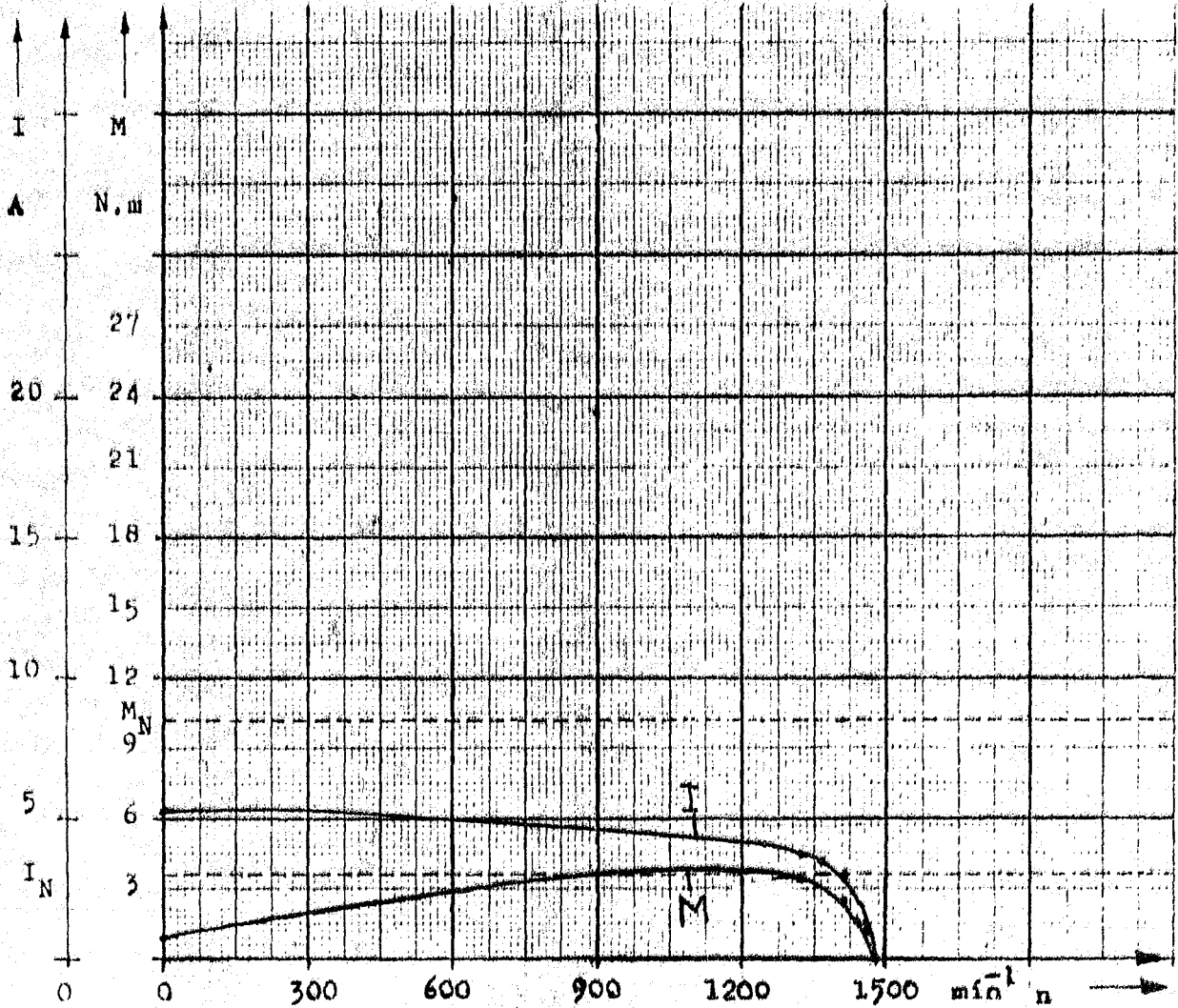


Şek.15. $Z=C=10 \mu F$ Yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=10 \mu F$ Açık yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
219	3,65	780	434	3,14	1312	0,9757	0,56
220	2,82	570	371	2,45	1392	0,9192	0,65
220	1,64	355	237	1,47	1443	0,9566	0,67
220	1,22	265	164	1,08	1450	0,9873	0,62

$U_K=220 \text{ V}$; $I_K=5,01 \text{ A}$; $M_K=0,78 \text{ N.m}$

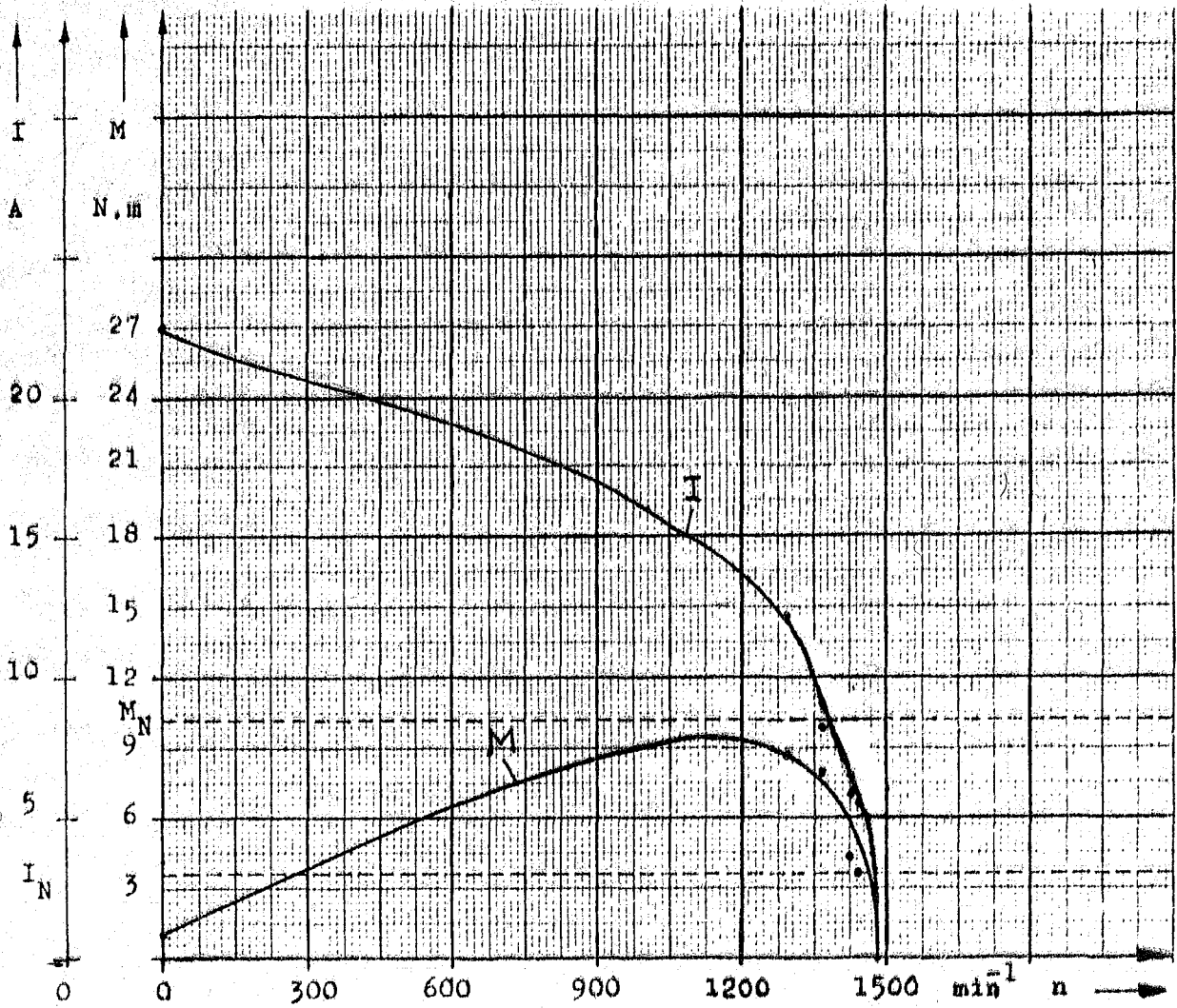


Şek.16. $Z=C=10 \mu F$ Açık yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=10 \mu F$ Üçgen Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
219	12,4	2300	1175	8,63	1294	0,8469	0,51
221	8,46	1620	1110	7,65	1367	0,8664	0,62
221	5,83	970	633	4,12	1435	0,7529	0,65
221	5,34	800	535	3,53	1447	0,6778	0,66

$U_K=221 \text{ V}$; $I_K=22,6 \text{ A}$; $M_K=0,981 \text{ N.m}$

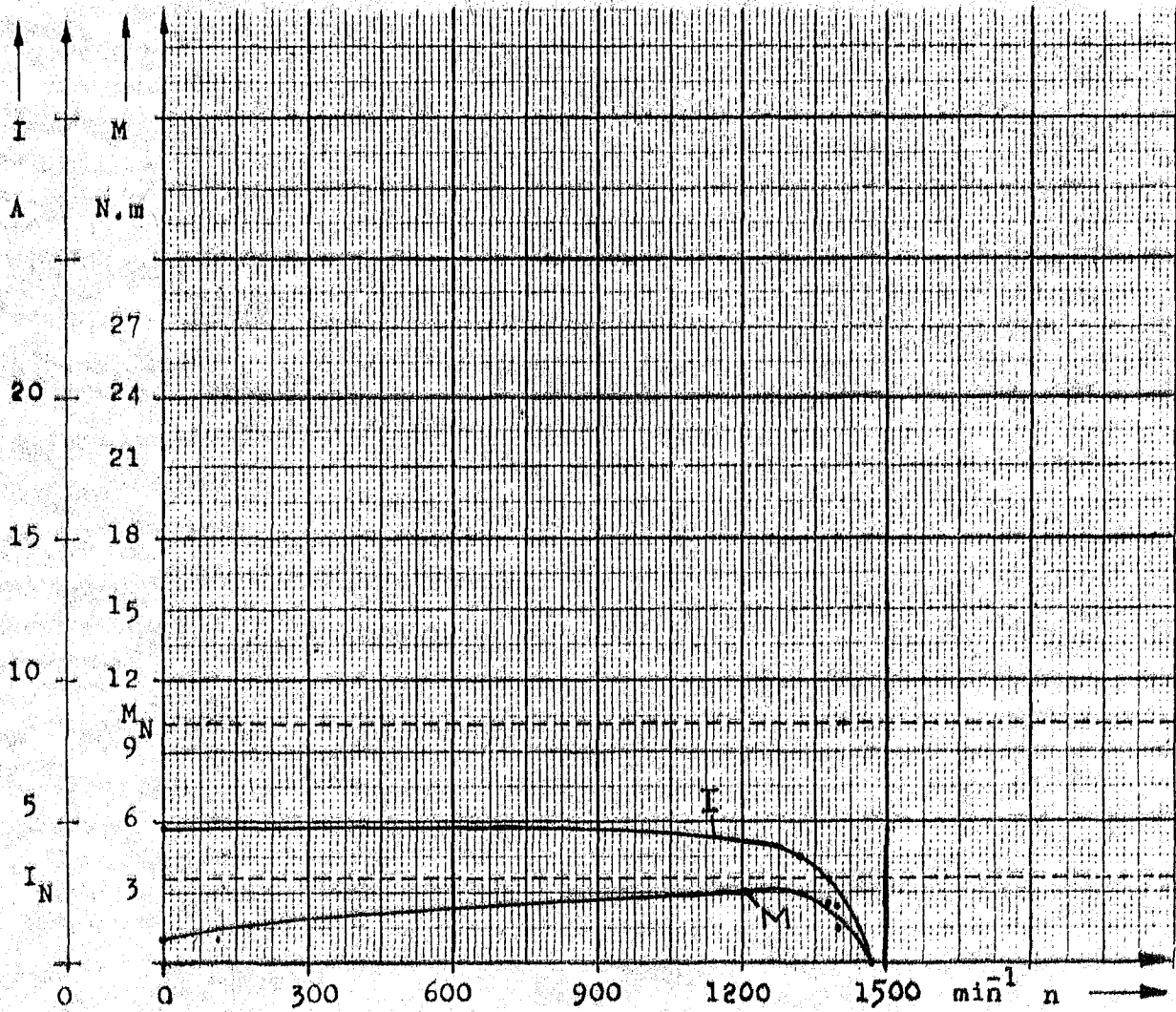


Şek.17. $Z=C=10 \mu F$ Üçgen Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=20 \mu F$ Yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_l	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
219	3,71	805	415	2,94	1310	0,9907	0,51
220	2,85	603	375	2,55	1370	0,9617	0,62
220	1,91	375	180	1,27	1404	0,8924	0,48

$U_K=220 \text{ V}$; $I_K=4,8 \text{ A}$; $M_K=1,25 \text{ N.m}$

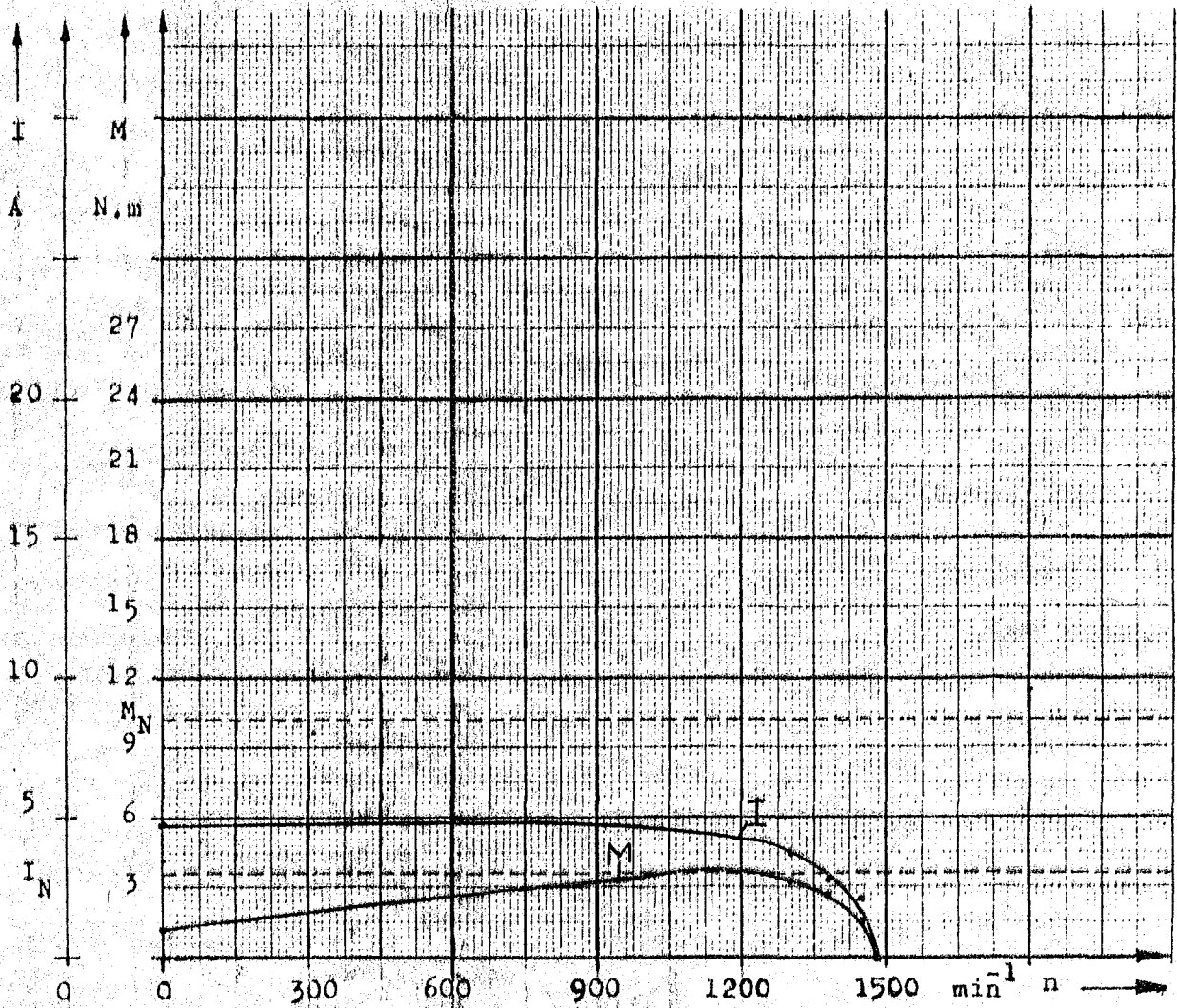


Şek.18. $Z=C=20 \mu F$ Yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=20 \mu F$ Açık yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_l	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
221	3,66	800	445	3,14	1314	0,9890	0,56
221	2,8	600	382	2,55	1380	0,9696	0,64
222	1,89	380	230	1,47	1450	0,9056	0,60

$U_K=220 \text{ V}$; $I_K=4,7 \text{ A}$; $M_K=1,25 \text{ N.m}$

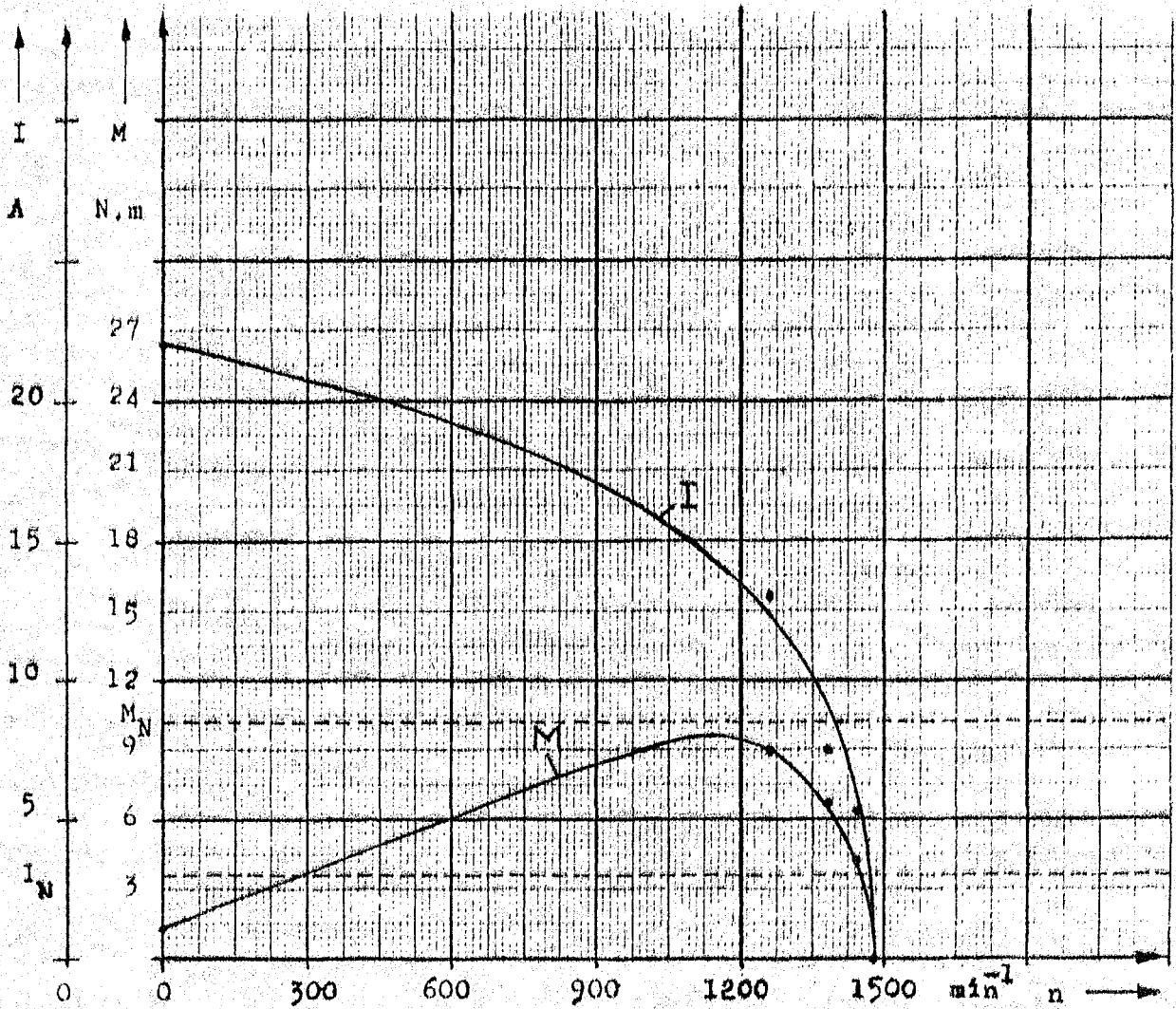


Şek.19. $Z=C=20 \mu F$ Açık yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=20 \mu F$ Üçgen Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
223	12,9	2445	1173	8,93	1242	0,8491	0,48
220	10,0	1870	1104	7,95	1312	0,8500	0,59
219	7,5	1340	950	6,57	1381	0,8158	0,70
219	5,29	900	634	4,12	1437	0,7768	0,71

$U_K=220 \text{ V}$; $I_K=22 \text{ A}$; $M_K=1,37 \text{ N.m}$

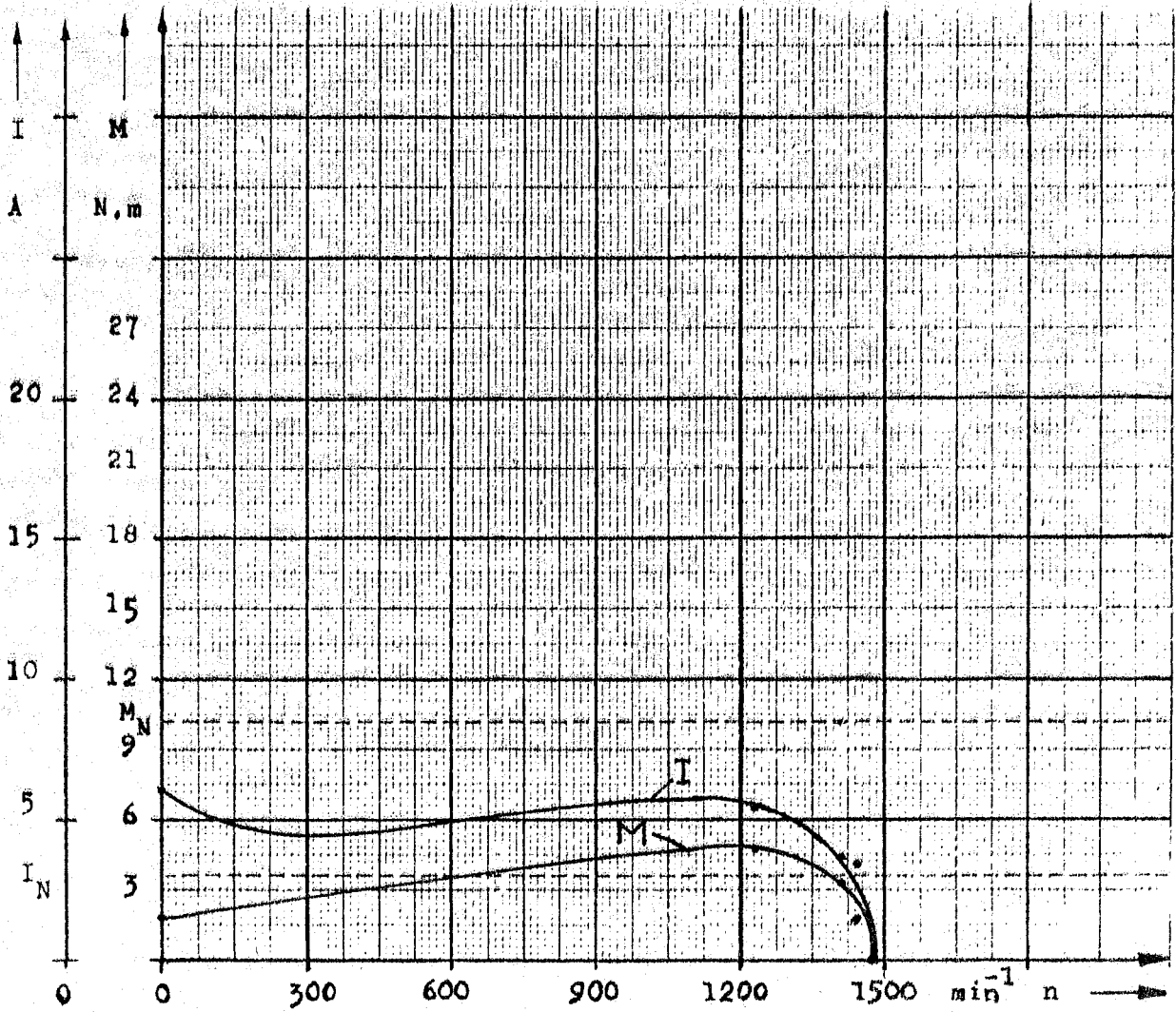


Şek.20. $Z=C=20 \mu F$ Üçgen Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=55 \mu F$ Yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
220	5,5	1180	660	4,61	1231	0,9752	0,51
220	4,3	900	488	3,23	1399	0,9427	0,52
223	3,59	740	280	1,76	1404	0,9243	0,48

$$U_K=221 \text{ V} ; I_K=7,2 \text{ A} ; M_K=1,76 \text{ N.m}$$

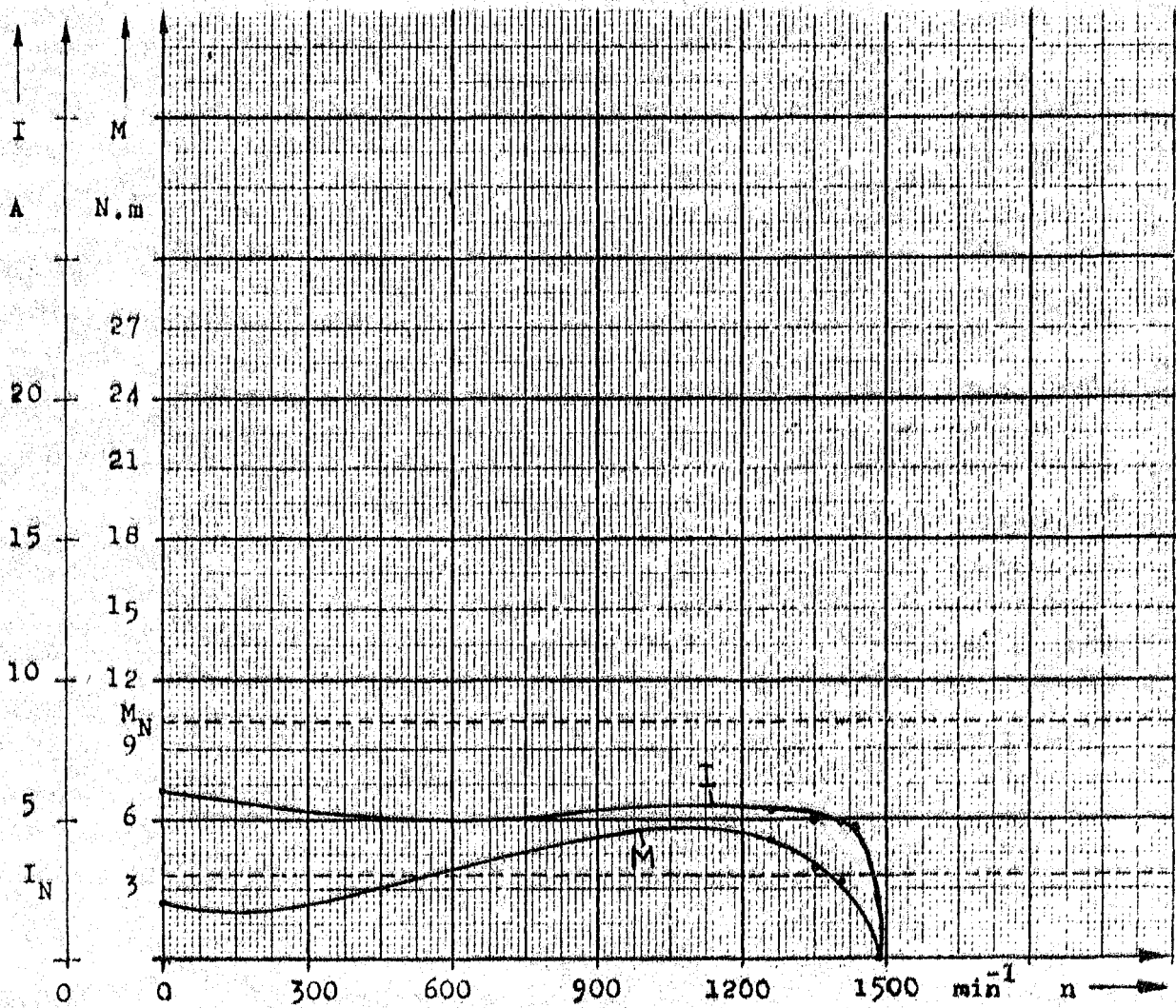


Şek.21. $Z=C=55 \mu F$ Yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=55 \mu F$ Açık yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_l	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
222	5,31	1140	647	4,9	1260	0,9675	0,57
222	5,12	950	584	4,02	1355	0,8358	0,62
222	4,97	800	462	3,13	1406	0,725	0,58
222	4,76	660	295	1,86	1440	0,6246	0,45

$U_K=220 \text{ V}$; $I_K=6,1 \text{ A}$; $M_K=2,45 \text{ N.m}$

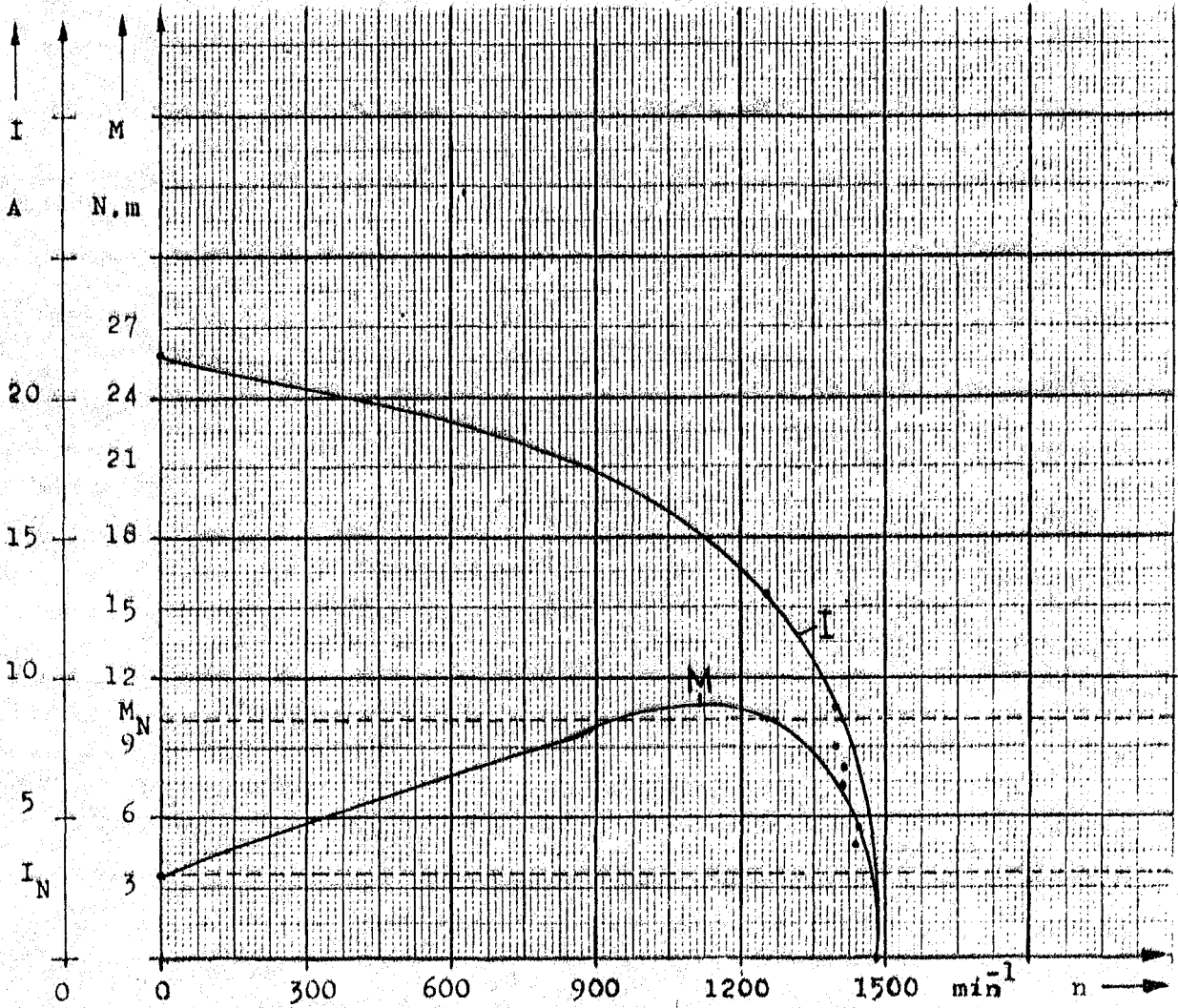


Şek.22. $Z=C=55 \mu F$ Açık yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=55 \mu F$ Üçgen Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
220	12,0	2360	1329	10,0	1257	0,8939	0,56
220	9,1	1790	1258	8,93	1339	0,8441	0,71
219	6,61	1370	1050	7,06	1401	0,9464	0,76
220	4,47	960	707	4,61	1435	0,9792	0,73

$U_K=220 \text{ V}$; $I_K=21,5 \text{ A}$; $M_K=3,23 \text{ N.m}$

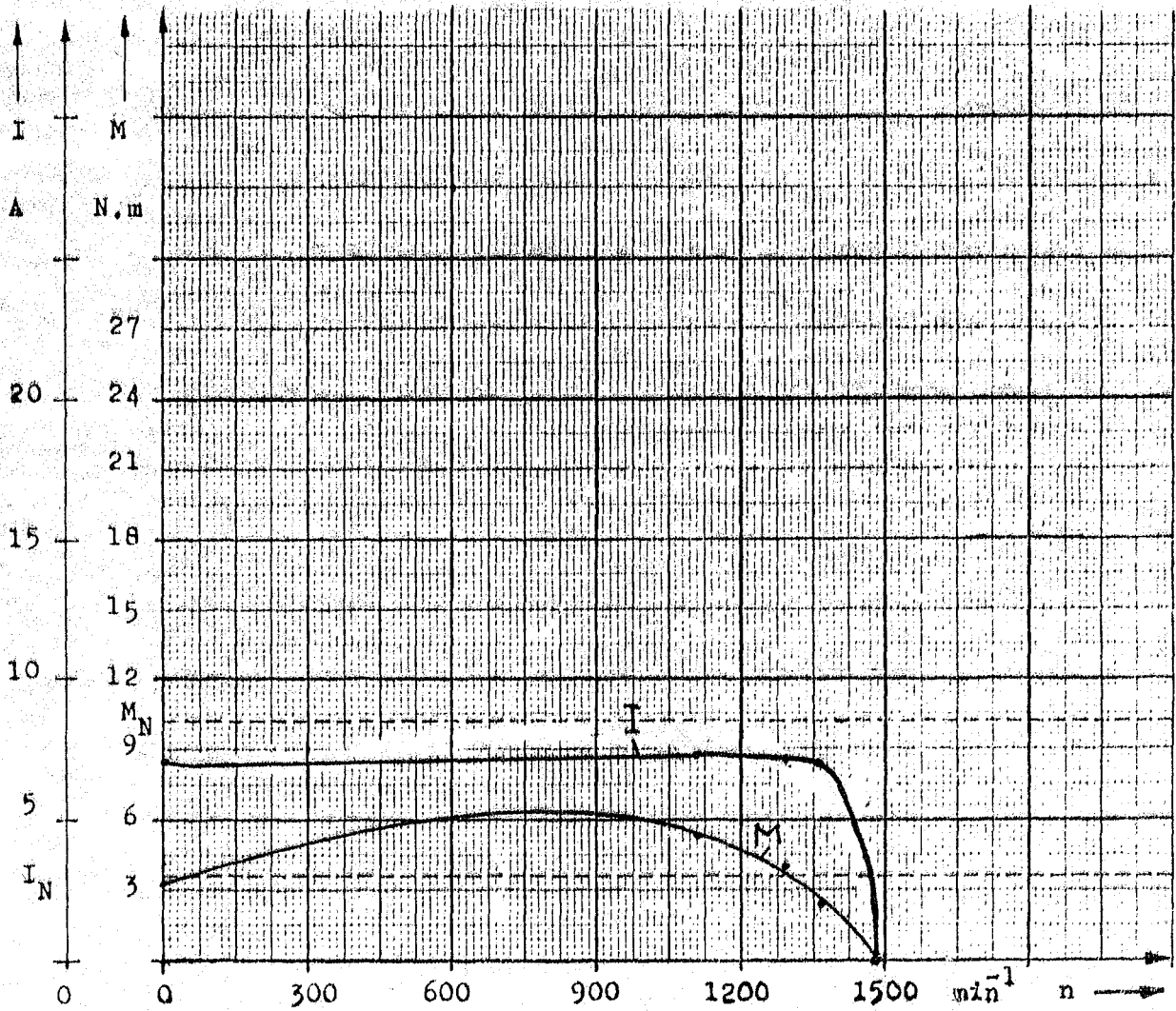


Şek.23. $Z=C=55 \mu F$ Üçgen Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=80 \mu F$ Yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_l	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
221	7,14	1570	614	5,1	1108	0,9949	0,39
221	7,13	1568	530	3,92	1288	0,9666	0,34
221	7,12	1565	350	2,45	1362	0,9945	0,22

U_K 221 V ; I_K 7,15 A ; M_K 3,04 N.m

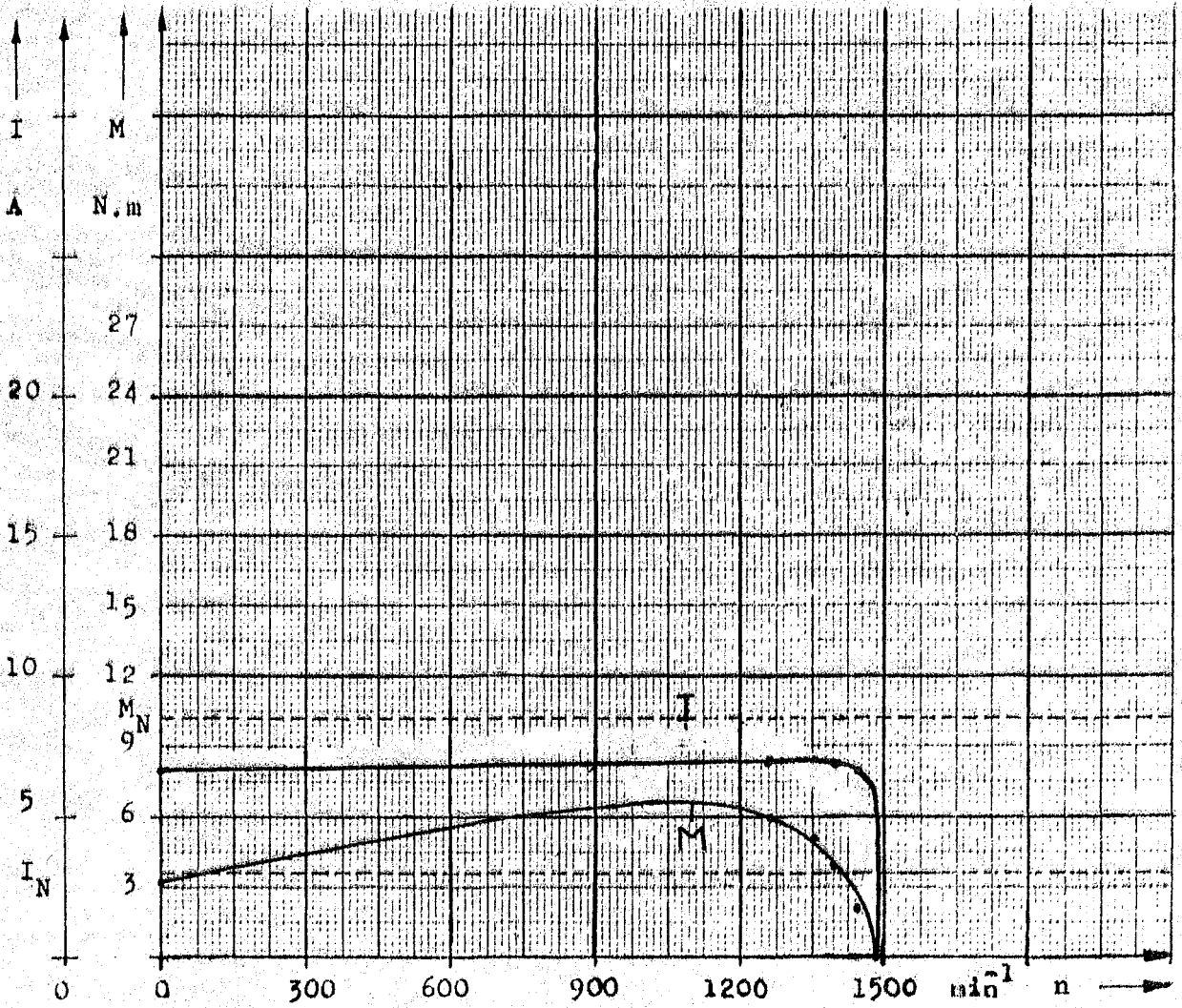


Şek.24. $Z=C=80 \mu F$ Yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=80 \mu F$ Açık yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos \varphi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
220	7,02	1360	806	5,98	1267	0,8805	0,59
220	6,94	1200	724	5,0	1357	0,7859	0,60
220	6,83	1100	587	3,92	1396	0,7320	0,53
221	6,65	965	355	2,25	1441	0,8566	0,37

$U_K=221 \text{ V}$; $I_K=6,77 \text{ A}$; $M_K=2,94 \text{ N.m}$

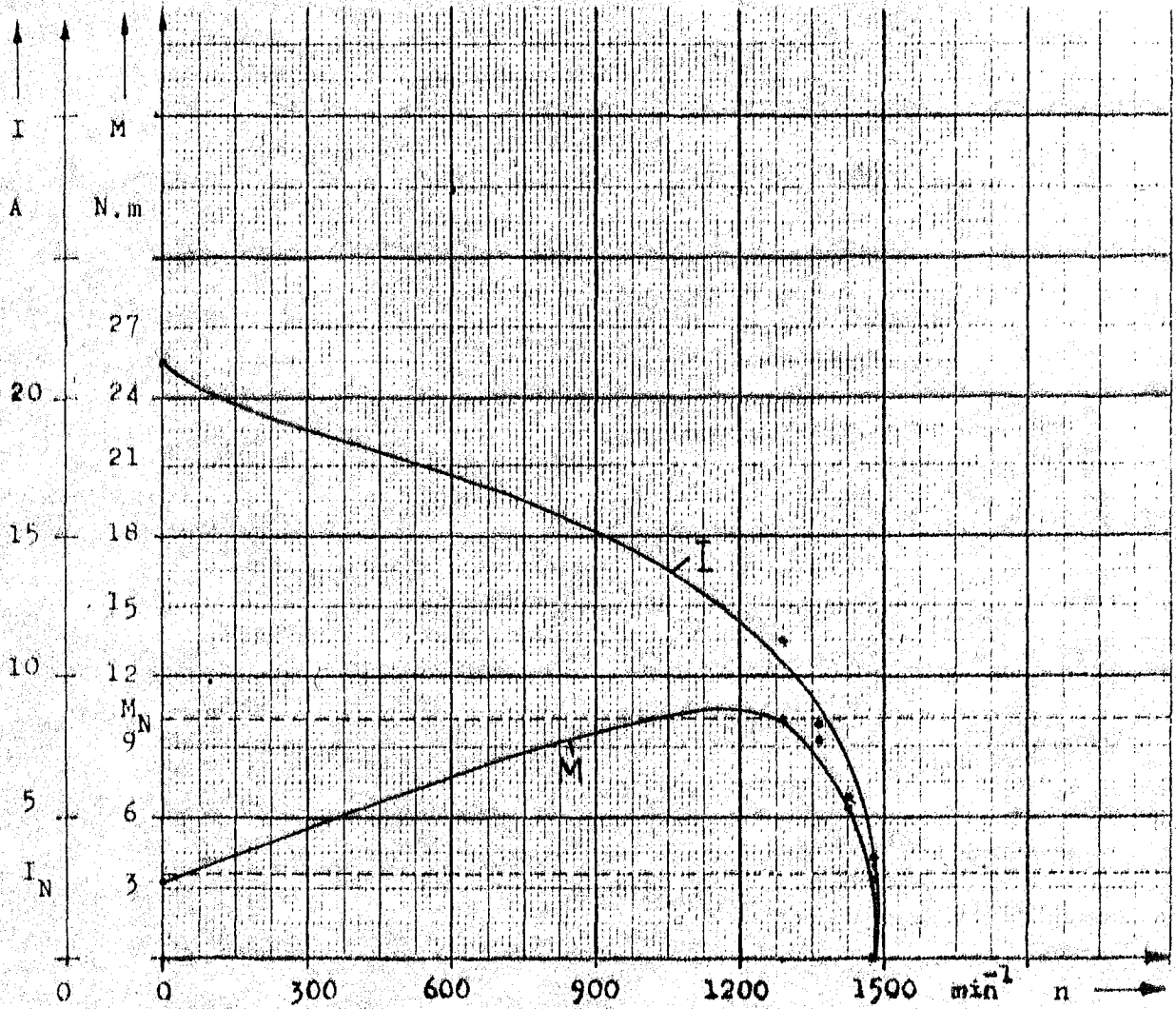


Şek.25. $Z=C=80 \mu F$ Açık yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=80 \mu F$ Üçgen Steinmetz bağlaması:

U	I	P_l	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
220	11,3	2250	1459	10,69	1292	0,95	0,65
220	8,3	1640	1293	8,93	1369	0,8891	0,78
219	5,4	1100	923	6,08	1428	0,9301	0,83
219	3,6	785	495	3,13	1462	0,9956	0,63

$$U_K = 219 \text{ V} ; I_K = 21,2 \text{ A} ; M_K = 3,3 \text{ N.m}$$

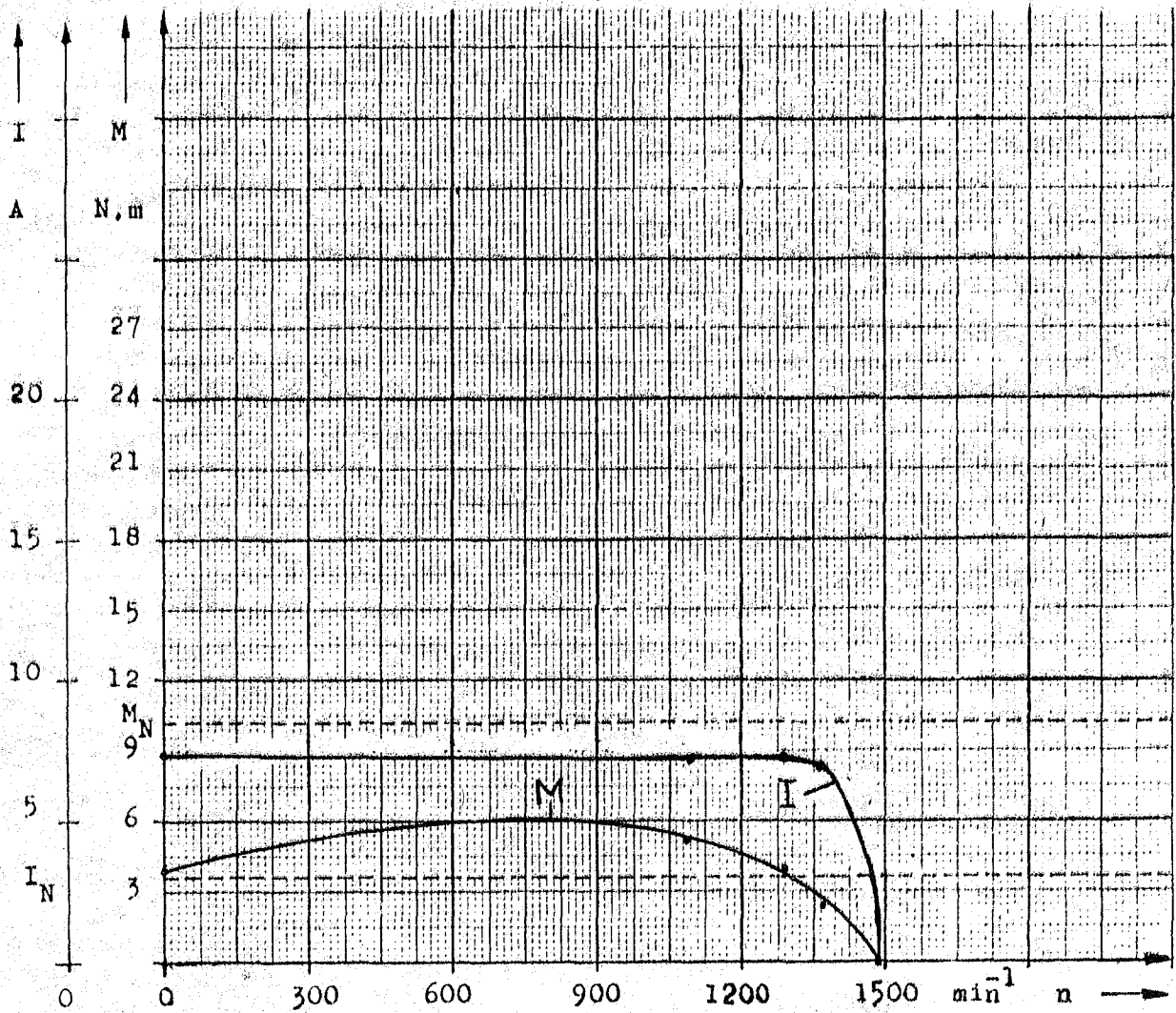


Şek.26. $Z=C=80 \mu F$ Üçgen Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=105 \mu F$ Yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos \varphi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
222	7,38	1575	614	5,1	1108	0,9614	0,39
221	7,28	1570	530	3,92	1288	0,9758	0,34
222	7,08	1565	350	2,45	1362	0,9956	0,22

$U_K=220 \text{ V}$; $I_K=7,45 \text{ A}$; $M_K=4,02 \text{ N.m}$

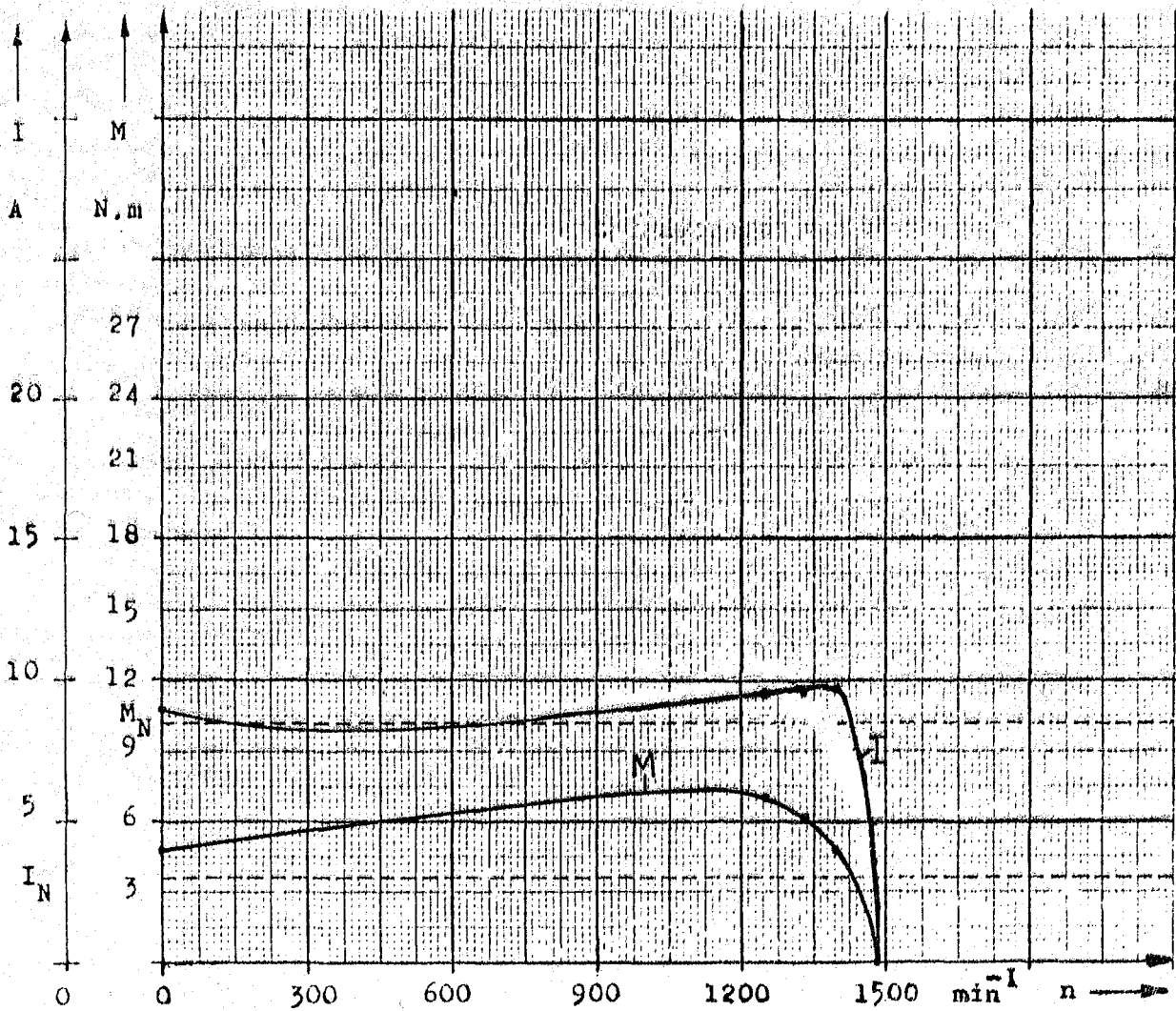


Şek.27. $Z=C=105 \mu F$ Yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=105 \mu F$ Açık yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos \phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
219	9,5	1800	900	6,77	1254	0,8651	0,50
220	9,69	1780	842	5,98	1323	0,8349	0,47
220	9,66	1700	690	4,7	1400	0,7999	0,41

$U_K=220 \text{ V}$; $I_K=8,9 \text{ A}$; $M_K=4,61 \text{ N.m}$



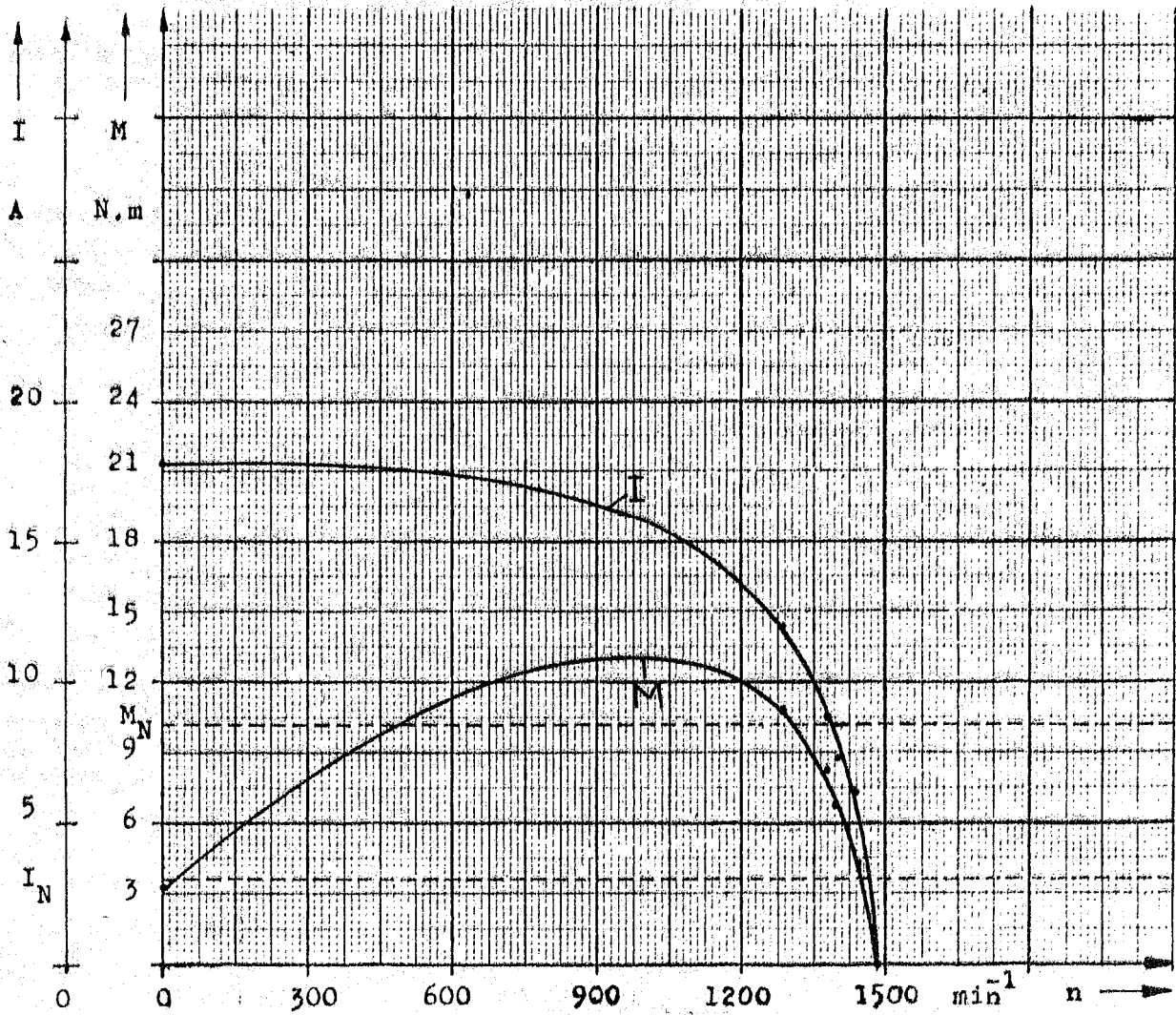
Şek.28. $Z=C=105 \mu F$ Açık yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve

$I=f(n)$ eğrileri

$Z=C=105 \mu F$ Üçgen Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
219	12,0	2430	1412	10,49	1286	0,9246	0,58
219	8,8	1775	1148	7,95	1381	0,9210	0,65
219	7,25	1520	981	6,57	1406	0,9576	0,64
220	5,98	1120	636	4,22	1441	0,8513	0,57

$$U_K=220 \text{ V} ; I_K=17,3 \text{ A} ; M_K=3,3 \text{ N.m}$$



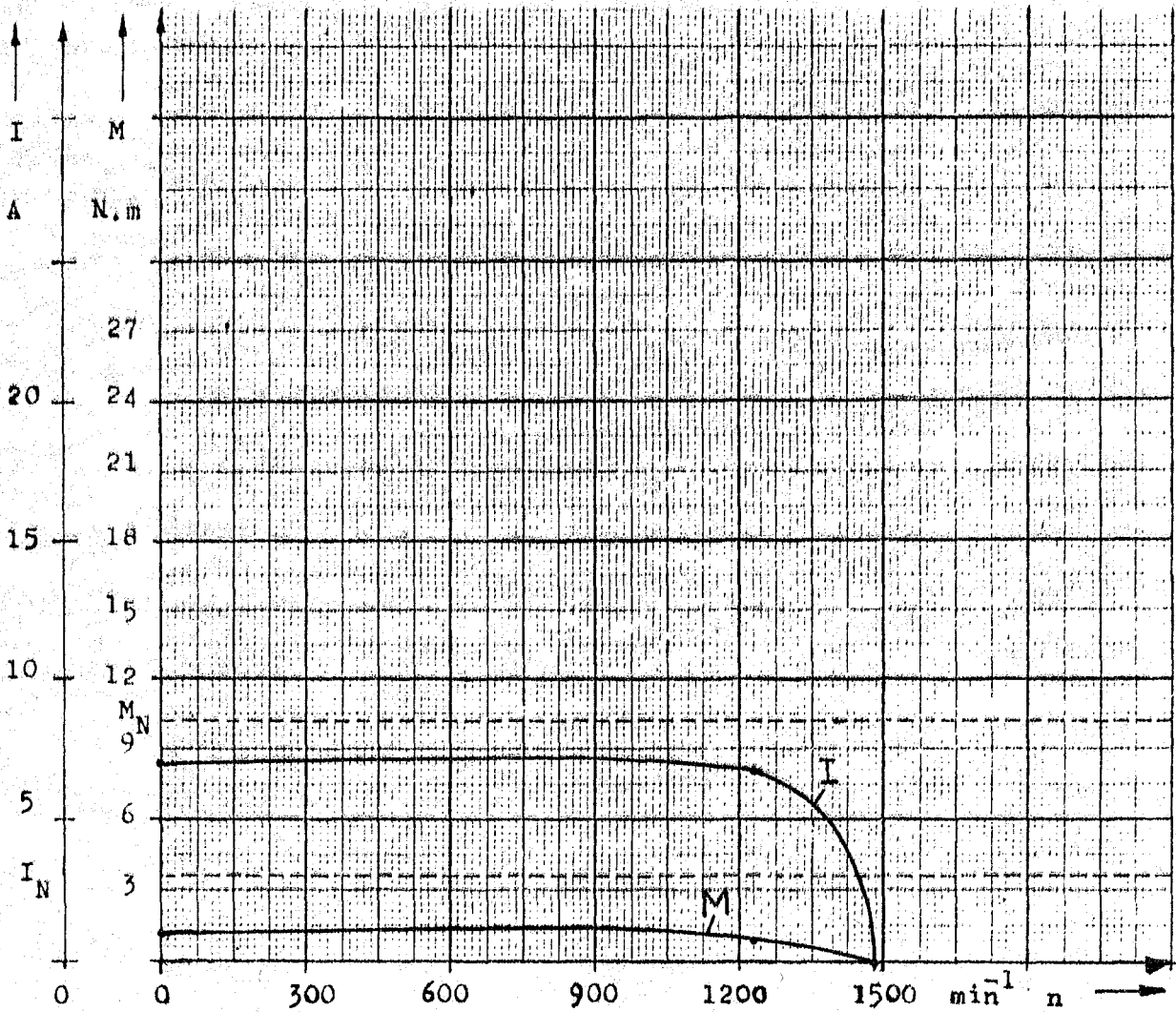
Şek.29. $Z=C=105 \mu F$ Üçgen Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

2.7. Steinmetz bağlamasında değişik dirençlerde moment ölçülmesi

$Z=R=17,1$ Yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_l	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
223	6,81	1270	126	0,88	1232	0,8362	0,10

$$U_K = 218 \text{ V} ; I_K = 7 \text{ A} ; M_K = 1,96 \text{ N.m}$$

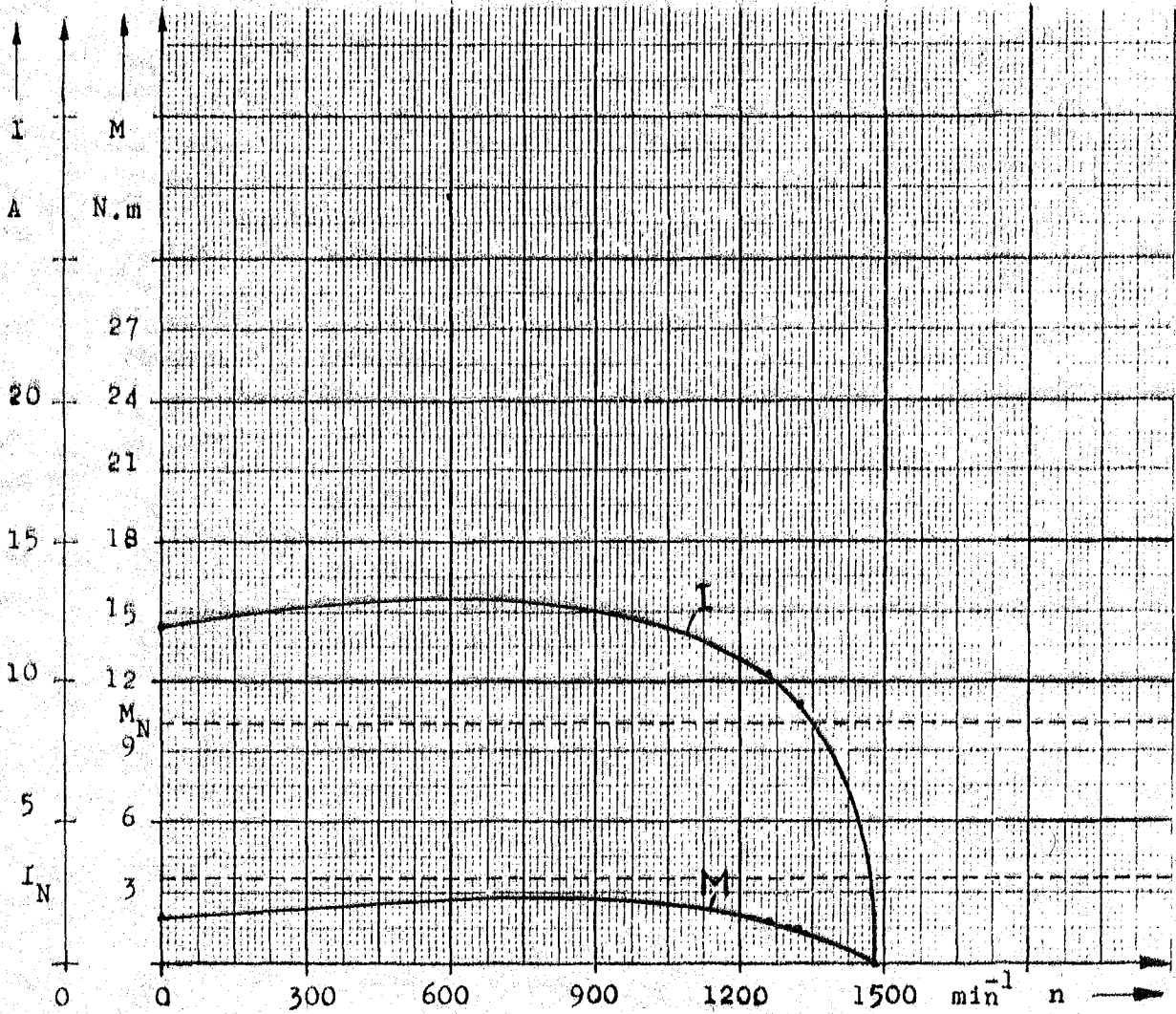


Şek.30. $Z=R=17,1$ Yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=R=17,1 \Omega$ Açık yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_l	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
220	10,3	2000	350	1,66	1266	0,8826	0,17
220	9,2	1750	285	1,56	1321	0,8646	0,16

$$U_K=220 \text{ V} ; I_K=12 \text{ A} ; M_K=1,96 \text{ N.m}$$

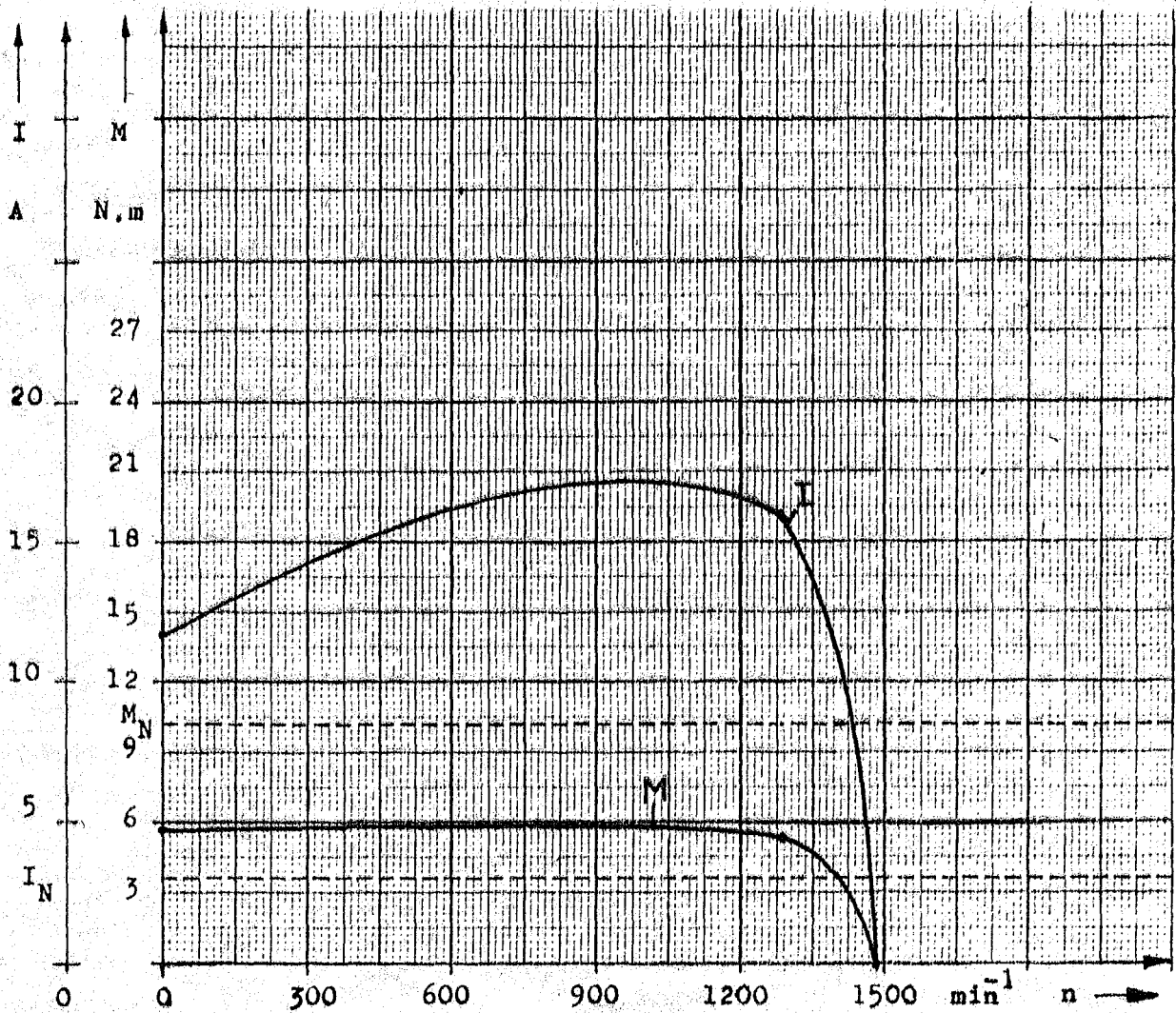


Şek.31. $Z=R=17,1 \Omega$ Açık yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=R=17,1 \sim$ Üçgen Steinmetz bağlaması:

U	I	P_l	P_m	M_N	n	$\cos \phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
220	16	2990	722	5,39	1279	0,8494	0,24

$$U_K = 220 \text{ V} ; I_K = 13 \text{ A} ; M_K = 5,78 \text{ N.m}$$



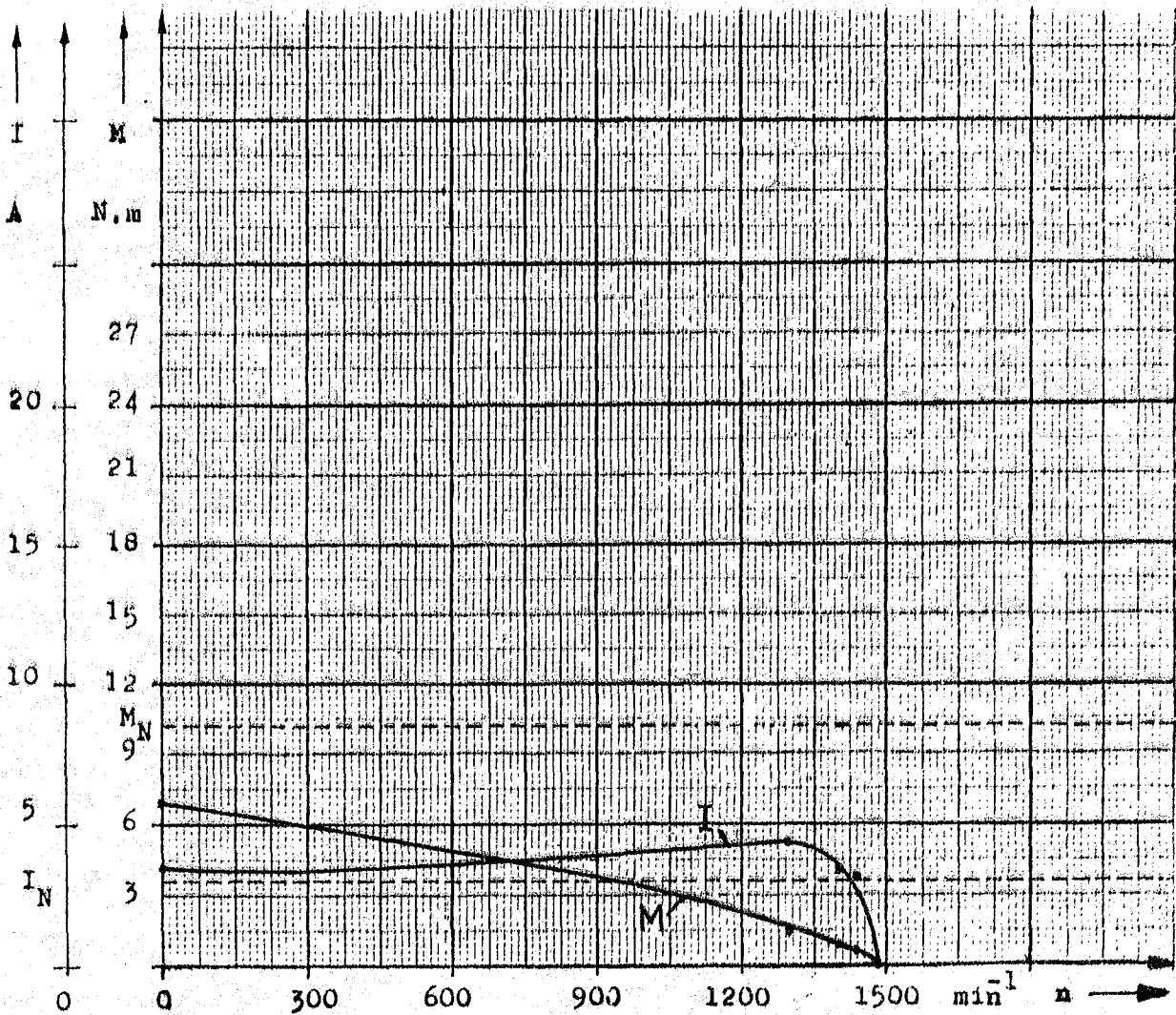
Şek. 32. $Z=R=17,1 \sim$ Üçgen Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

2.8. Steinmetz bağlamasında değişik indüktanslarda moment ölçülmesi

$Z=L=65$ mHYıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_l	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min ⁻¹		
220	4,6	780	200	1,37	1304	0,7707	0,39
221	3,6	530	130	0,88	1404	0,6661	0,25
222	3,32	440	74	0,49	1438	0,5969	0,17

$$U_K=220 \text{ V} ; I_K=3,5 ; M_K=6,87 \text{ N.m}$$



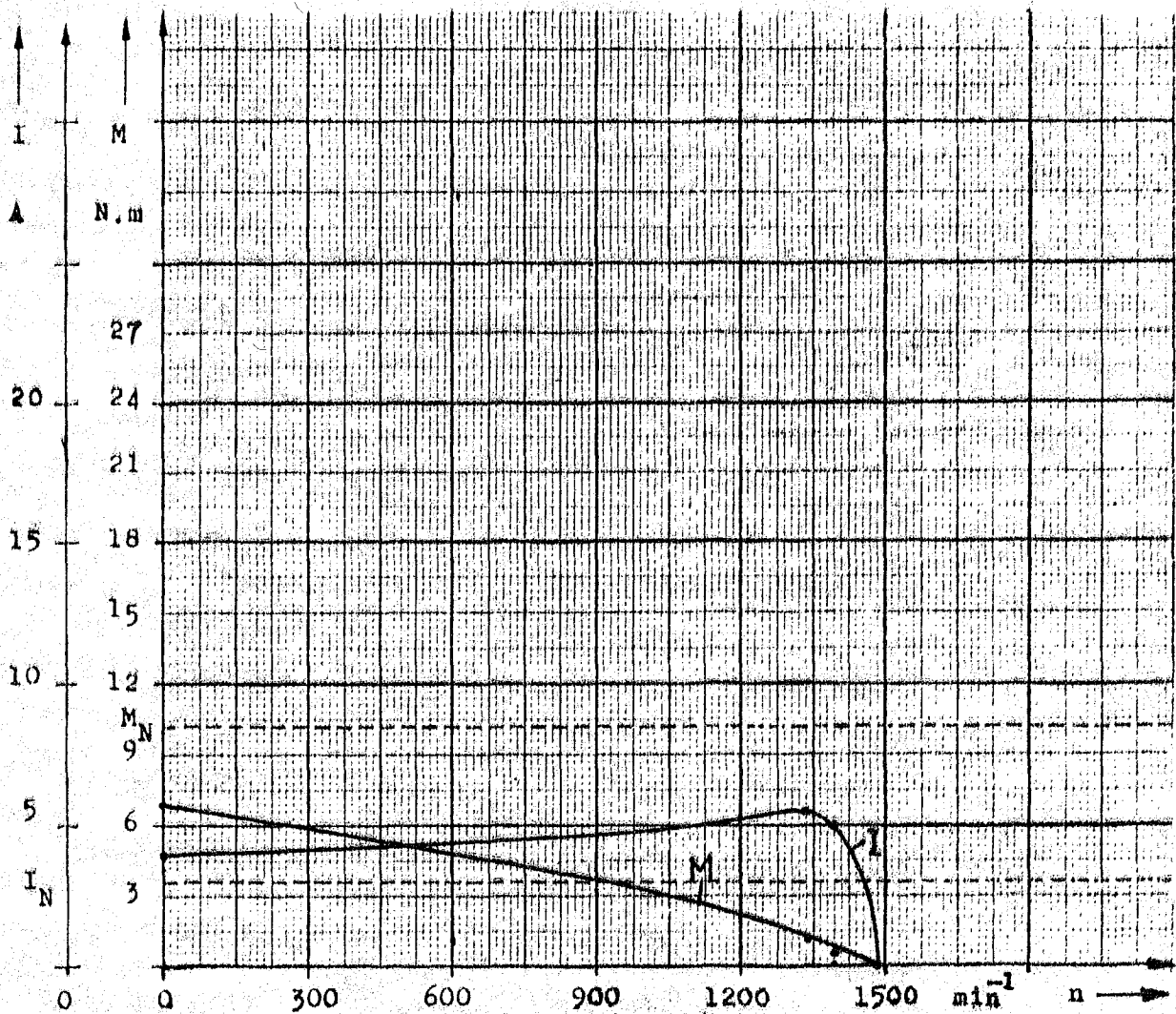
Şek.33. $Z=L=65$ mHYıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve

$I=f(n)$ eğrileri

$Z=L=65$ mH Açık yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_l	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
221	5,65	780	149	0,98	1323	0,6246	0,19
221	5,0	600	100	0,58	1395	0,5429	0,16

$$U_K=220 \text{ V} ; I_K=4 \text{ A} ; M_K=6,87 \text{ N.m}$$



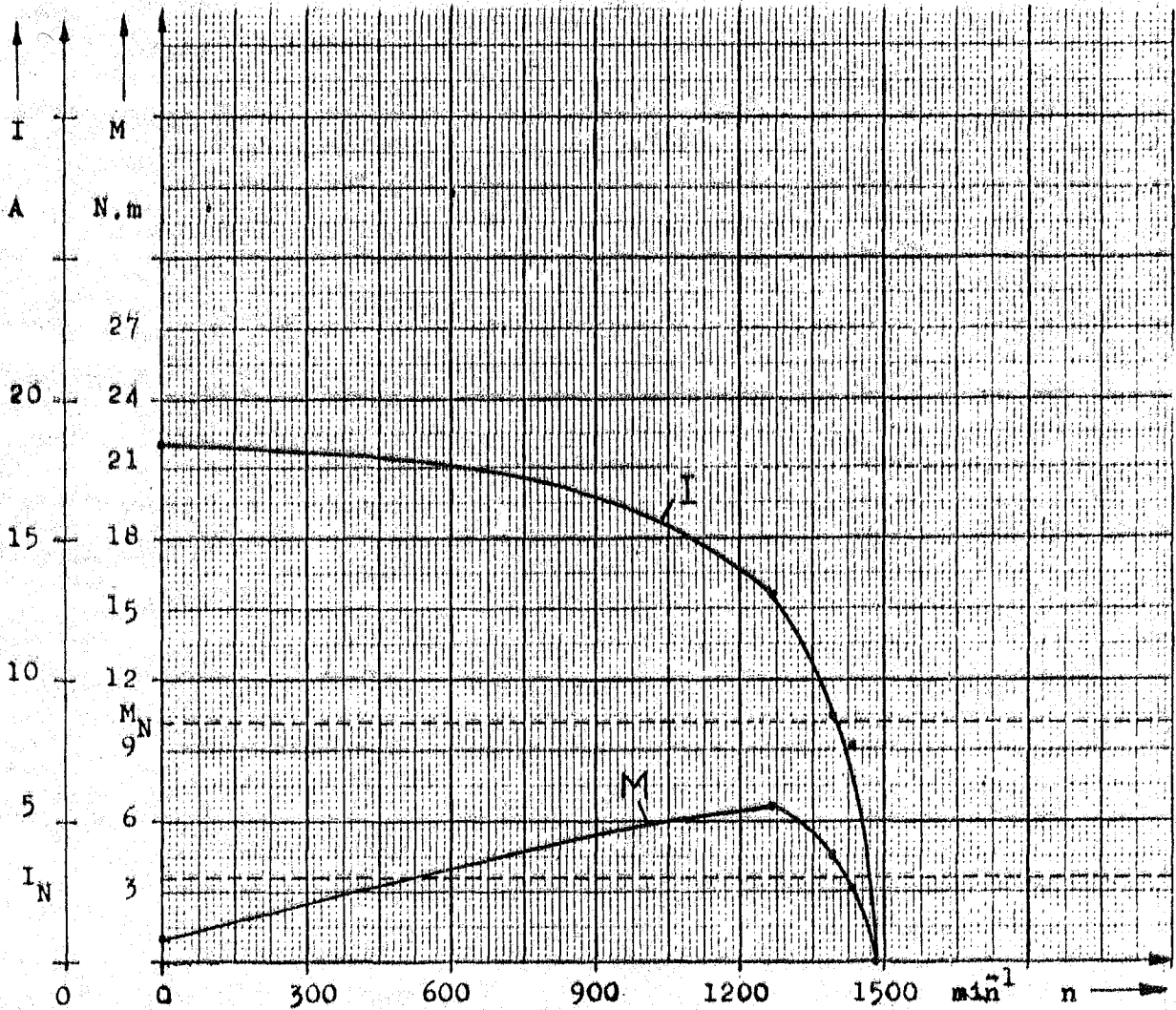
Şek. 34. $Z=L=65$ mH Açık yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve

$I=f(n)$ eğrileri

$Z=L=65$ mH Üçgen Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
220	13,1	2300	854	6,47	1261	0,789	0,37
220	8,83	1435	658	4,51	1394	0,7387	0,46
221	7,76	1035	455	3,03	1432	0,6035	0,44

$U_K=220$ V ; $I_K=18,3$ A $M_K=0,98$ N.m



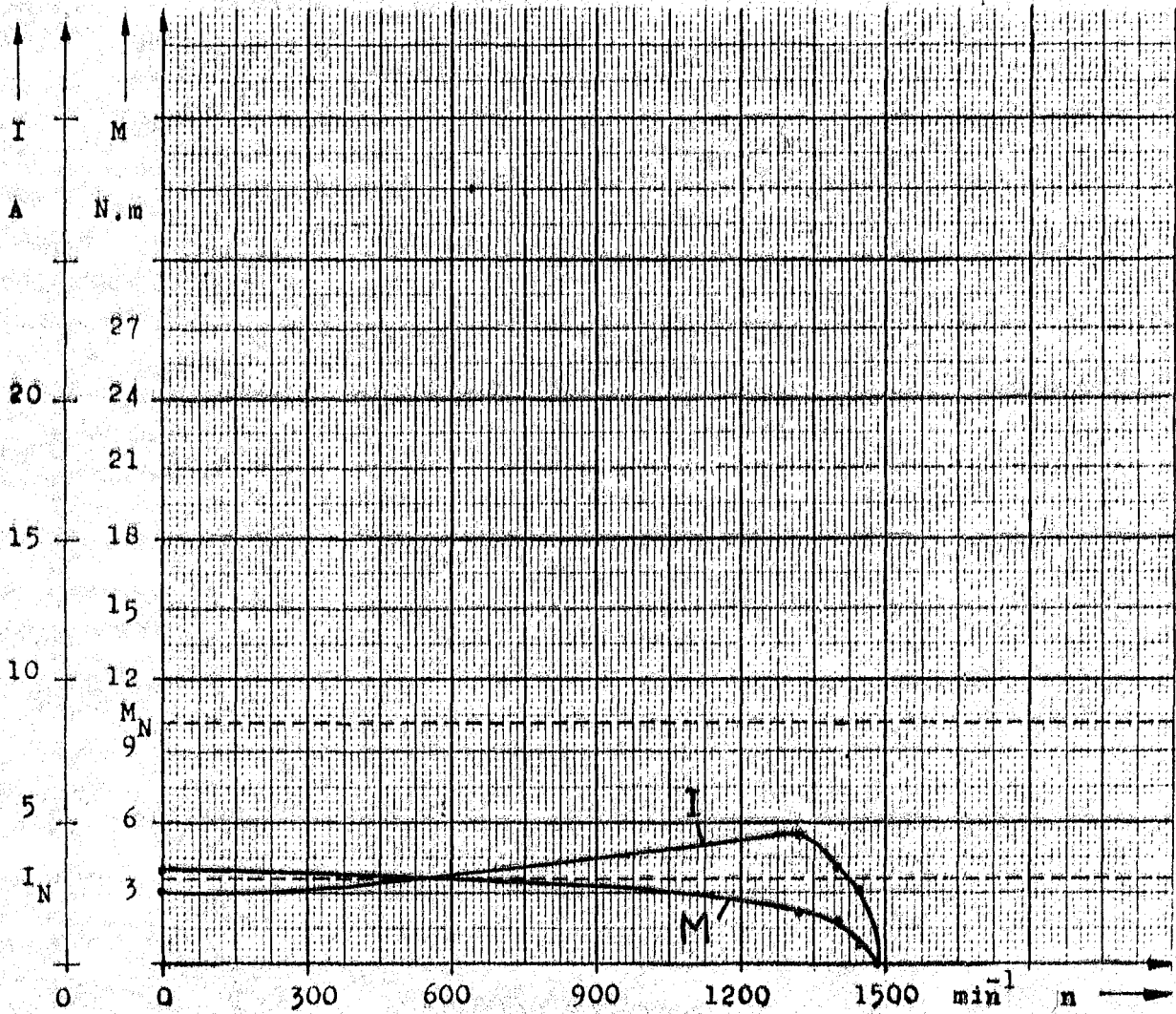
Şek. 35. $Z=L=65$ mH Üçgen Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve

$I=f(n)$ eğrileri

$Z=L=40$ mH Yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
220	4,6	730	270	1,86	1315	0,8017	0,37
221	3,6	460	175	1,18	1412	0,7008	0,38
222	3,32	300	75	0,49	1452	0,5323	0,25

$$U_K=220 \text{ V} ; I_K=2,5 \text{ A} ; M_K=3,92 \text{ N.m}$$

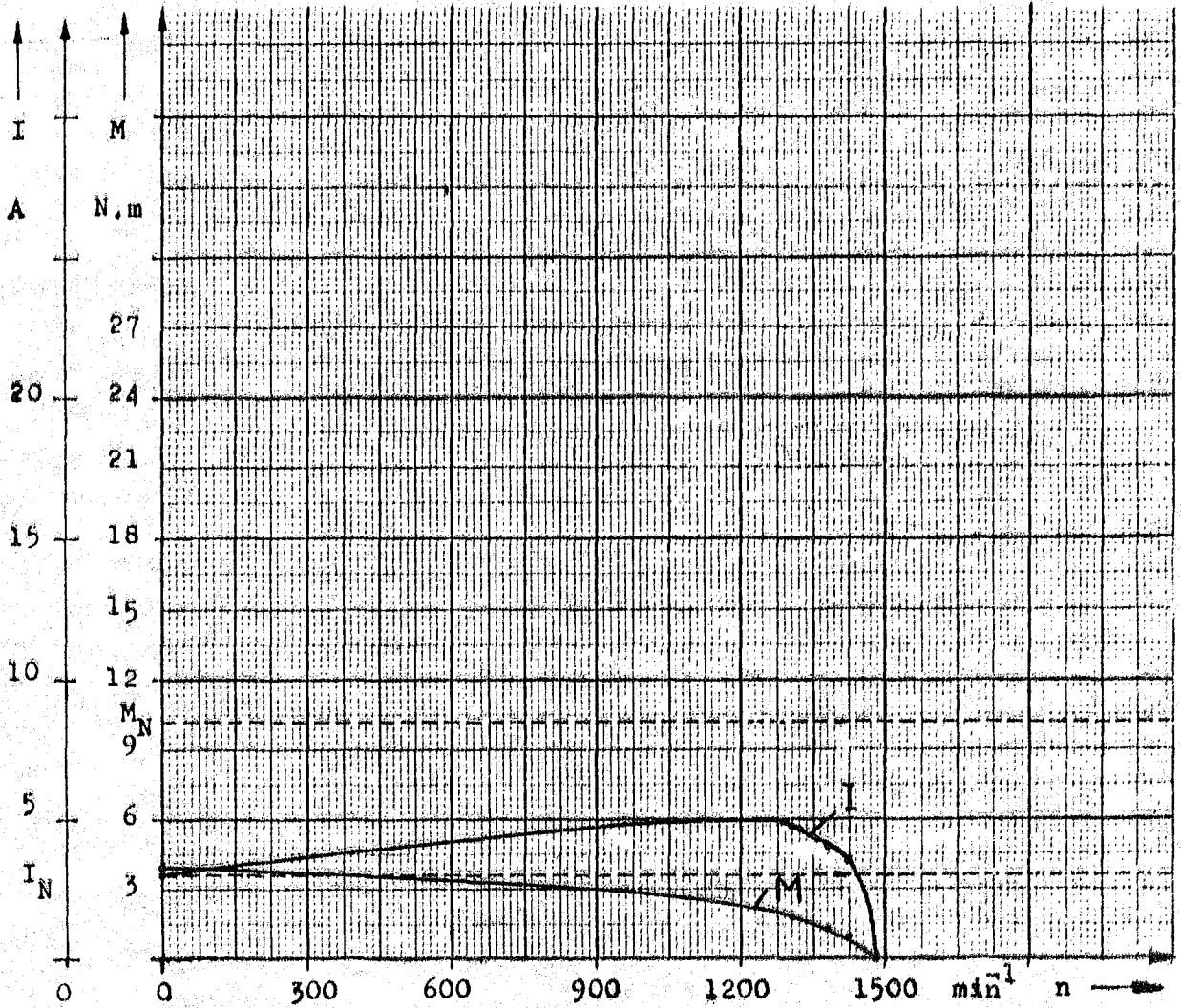


Şek. 36. $Z=L=40$ mH Yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=L=40$ mH Açık yıldız Steinmetz bağlaması:

U	I	P_1	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
221	4,83	765	240	1,66	1304	0,7168	0,31
222	3,97	570	199	1,27	1386	0,6583	0,35
222	3,51	440	147	0,98	1429	0,5646	0,33

$U_K=220$ V ; $I_K=3,1$ A ; $M_K=4,02$ N.m

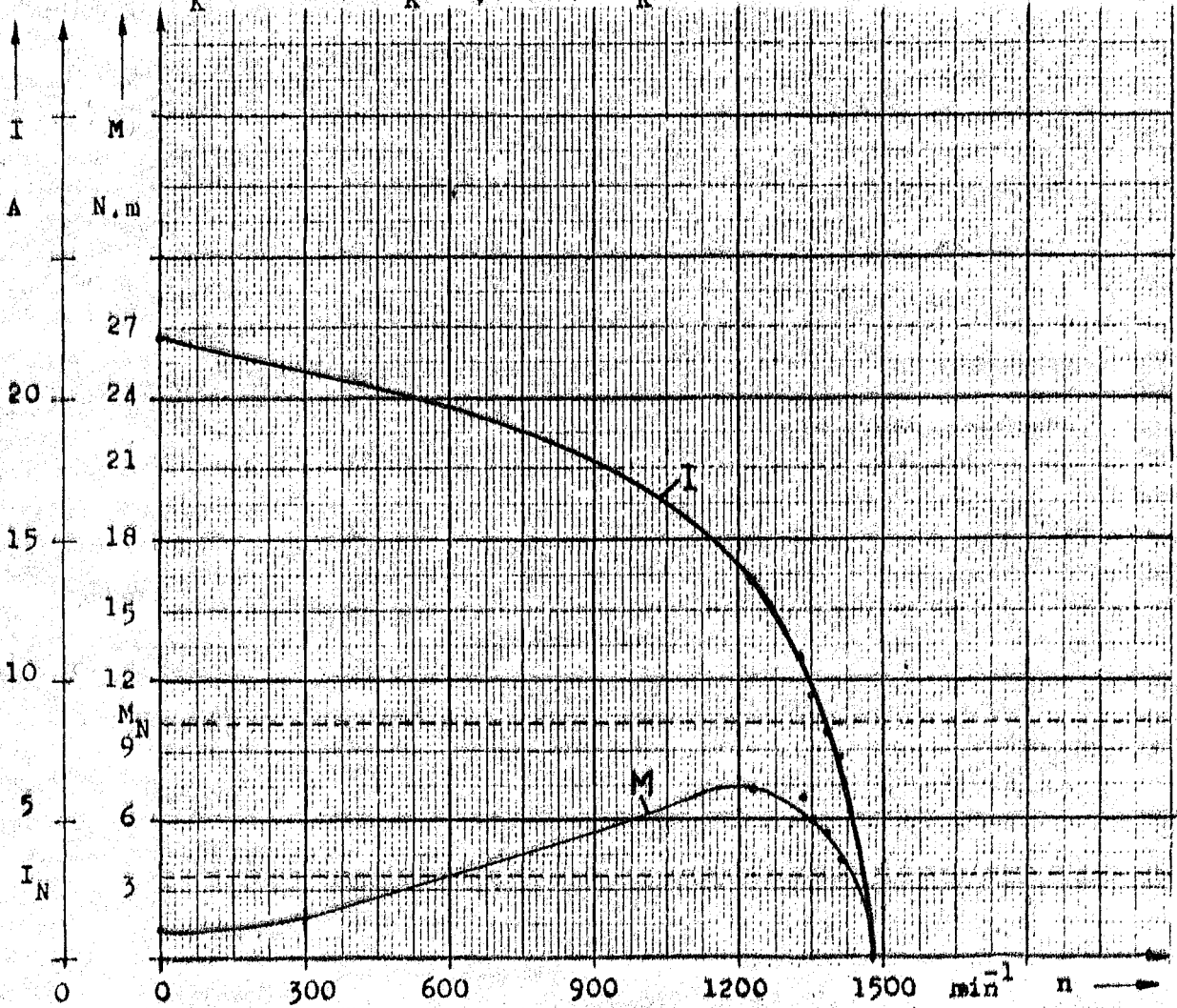


Şek.37. $Z=L=40$ mH Açık yıldız Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

$Z=L=40$ mH Üçgen Steinmetz bağlaması:

U	I	P_l	P_m	M_N	n	$\cos\phi$	η
V	A	W	W	N.m	min^{-1}		
220	13,6	2420	745	7,16	1228	0,8128	0,39
219	10,8	1890	915	6,67	1310	0,799	0,48
220	9,43	1700	847	5,98	1353	0,8194	0,5
219	8,15	1380	740	5,0	1387	0,7731	0,53
220	7,23	1125	611	4,12	1417	0,7072	0,54

$$U_K=220 \text{ V} ; I_K=22,1 \text{ A} ; M_K=1,27 \text{ N.m}$$

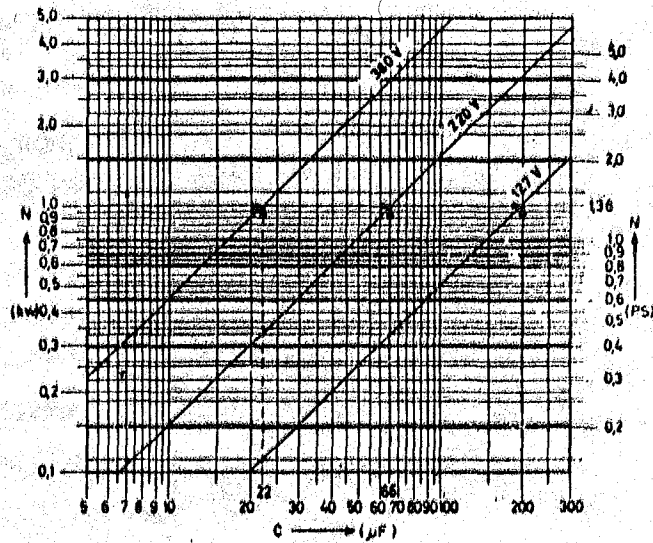


Şek.38. $Z=L=40$ mH Üçgen Steinmetz bağlamasında $M=f(n)$ ve $I=f(n)$ eğrileri

2.9. EDE kondansatör fabrikasının bulduğu değer ile bulunan değerleri karşılaştırma.

EDE kondansatör fabrikasının yayınlanmış olduğu katalogta bulunan diyagramdan bizim deney motorumuz için $\sim 97,5 \mu F$ lık bir kondansatör uygun görülüyor. Bu değer bizim bu ana kadar bulmuş olduğumuz değerlere çok uygundur.

Aşağıdaki diyagramdan motorunuz için gerekli kondansatör kapasitesini çıkarabilirsiniz:



Örnek: 380 V/1kW \cong 1,36 PS için
22 μF / 400 V' luk bir kondansatör gerekmektedir.

Şek.39. Steinmetz bağlamada kullanılması gereken kondansatör diyagramı.

3. SONUÇ

Grafiklerden dikkat edilecek olursa en iyi sonuç üçgen Steinmetz bağlamasının $80...105\mu F$ değerlerinde elde edilmiştir.

Yalnız motor anma yükünü karşılamak için anma akımının yaklaşık üç katı kadar akım çekmektedir. Demekki motor Steinmetz bağlamada anma momentinin %80 i kadar yüklenirse yaklaşık %75...80 arası verimle anma akımının iki katı kadar bir akımla gayet iyi bir çalışma temin edilebilir.

Yıldız ve açık yıldız Steinmetz bağlamasında ise anma momentine hemen hemen hiç ulaşılmamıştır. Çok kötü şartlarda %40...50 yüküyle çalışabilir.

Her üç Steinmetz bağlamasında ise indüktans ve direnç bağlanması bizi bir neticeye götürememiştir. Sadece üçgen Steinmetz bağlamasında indüktans bir parça işe yarar gibi gözükmeye başladıysada çok kötü verimle karşılaştığımız göz önündedir. Dirençle ise yol vermenin kesinlikle sonuca ulaşılmadığı da açıkça görülmektedir.

Steinmetz bağlamalı asenkron motorun mili yüksüzken kalkması gerekir. Zaten asenkron motorların kalkmasında milinin yüksüz olması gerektiğini elektrik makinalarının teorisinden biliyoruz. Örn; bizim motorumuz bir hamur makinası ise önce motor döndürülür. Sonra yavaş yavaş yük yani hamur, su, v.s. dökülür.

Akım yüksek olduğundan motor sürekli değil, fasıllı çalıştırılmalıdır.

Motorun yalıtımı devamlı bu tip çalıştırılmada F tipi olmalı ki motor için sıhhatli bir çalışma temin edilmiş olsun.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. İ.Çetin: Simetrik Bileşenler Ders Notları (Lisans üstü).
M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1984
2. İ.Çetin: Elektrik Makinalarında Simetrisiz Yükler (Lisans üstü).
İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1979
3. A.Ergeneli: Simetrik Bileşenler, İ.D.M.M.A. kütüphanesi, sayı 120, 1974
4. O.İkizli: Elektrik Makinalarında Dağılım, Kayıplar ve Isınma'nın Hesapları. İ.T.Ü. kütüphanesi, sayı 482, 1962
5. H.N.Gürmen: Simetrik Bileşenler ve Üç Fazlı Sistemlere Tatbiki.
İ.T.Ü. kütüphanesi, sayı 272, 1952
6. G.Çakmakçı: Asenkron Motor Deneyleri. A.Y.T.Ö.O. Elektrik Bölümü Yayınları
7. D.Biran, E.Yariz: Genel Matematik. İ.İ.T.İ.A. Nihad Sayar - Yayın ve Yardım Vakfı Yayınları, sayı 361/594, 1982
8. A.Hochrainer: Symmetrische Komponenten in Drehstromsystemen. Springer, Berlin, 1957
9. C.F.Wagner und R.D.Evans: Symmetrical Components. Mc Graw-Hill, New York, 1933
10. Lyon, V.Waldo: Applications of the Method of Symmetrical Components. McGraw-Hill Book Co, Inc, 1937

