

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK- ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

78081

BİR FAZLI ASENKRON GENERATÖRLERİN DOYMALI DAVRANIŞININ  
İNCELENMESİ

Elk.Müh.Selami KESLER

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüce

“Elektrik Yüksek Mühendisi”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27.05.1998

Tezin Savunma Tarihi : 14.07.1998

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Cemil GÜRÜNLÜ

Jüri Üyesi : Prof.Dr.Sefa AKPINAR

Jüri Üyesi : Doç.Dr.İsmail Hakkı ALTAŞ

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

78081  
A. Kadioğlu

TRABZON 1998

## ÖNSÖZ

İnsanlar zamanla tükenen enerji kaynaklarına yeni seçenekler ararken mevcut enerji kaynaklarını da en iyi şekilde kullanma yoluna gitmişlerdir. Özellikle düzensiz küçük enerji kaynaklarının kullanımı yeni enerji kaynağı arayışlarına ve küçük çaplı yatırımlara bir seçenektir.

Bu çalışmada sözü edilen enerji kaynaklarından faydalanma yolu olarak düşünülen bir fazlı asenkron generatörlerin doymalı modellenmesi yapılmış olup bilgisayar benzeşim programı sonuçları deneysel çalışmalarla desteklenmiştir.

Beni bu konuya yönlendiren tez danışmanım sayın Prof.Dr.Cemil GÜRÜNLÜ'ye bütün yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca eşime , deneyler aşamasında yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör.Mehmet Kubilay EKER'e ve tezin yazılmasında yardımcı olduğu için Öğr.Gör.Muhammet BAKİ'ye teşekkür ederim.

Trabzon , Mayıs 1998

Selami KESLER

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Üç Fazlı Asenkron Generatörler.....	2
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	8
2.1. Bir Fazlı Asenkron Generatörün Doymalı Modellenmesi.....	8
2.2. Hareketin Genel Denklemi.....	12
2.3. Elektriksel Momentin Elde Edilmesi.....	13
2.4. Doğru Akım Motorunun Dinamik Modeli.....	14
2.5. Makine Parametrelerinin Belirlenmesi.....	15
2.5.1. Sargı Dirençleri.....	15
2.5.2. Özendüktanslar.....	16
2.5.3. Ortak Endüktanslar.....	19
2.5.4. Rotor Devresi Parametreleri.....	21
2.5.5. Eylemsizlik Momenti.....	25
3. BULGULAR.....	27
4. İRDELEME.....	52
5. SONUÇLAR.....	53
6. ÖNERİLER.....	55
7. KAYNAKLAR.....	56
8. EKLER.....	58
9. ÖZGEÇMİŞ.....	64

## ÖZET

Bu tez bir fazlı asenkron generatörlerin modellenmesi ve kondansatörlerin makinanın çalışması üzerine etkisi ile ilgilidir. Bu tezde geliştirilen model ;gerek ana sargı gerekse yardımcı sargıdaki doyma etkisini gözönüne almaktadır. Kuramsal sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırıldı ve her ikisinde uyum içerisinde olduğu görüldü. Elde edilenler tartışıldı ve sonuçlar çıkarıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Bir Fazlı Asenkron Generatör,Doyum,Kendi-kendini Uyarma,  
Matematiksel Model,Sayısal Çözümleme

## SUMMARY

### **The Dynamic Modelling of Single-phase Induction Generators with Saturation**

This thesis is concerned with the dynamic modelling of single-phase induction generators and the effect of capacitors on the performance of it. The model developed in this thesis includes the saturation on both main and auxiliary windings. The theoretical results compared with the experimental results and it is found that both are in good agreement. The results are discussed and the conclusions are drawn.

**Key Words:** Single-phase Induction Generator, Saturation, Self-excitation, Mathematical Modelling, Numerical Analysis.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No:

Şekil 1. Daire diyagramı üzerinde asenkron makinanın akım ve gerilim fazörleri.	2
Şekil 2. Bağımsız çalıştırılan üç fazlı asenkron generatör düzeni	3
Şekil 3. Asenkron generatörün mıknatıslanma özeğrisi ile kondansatör yük doğrusunun kesişmesi	4
Şekil 4. Saf endüktif yük için asenkron generatörün $U_1=f(I_y)$ eğrisi	
Şekil 5. Kendi kendini uyardırıda çalıştırılan asenkron generatörün değişik $\cos\phi$ 'ler için $U_1=f(P)$ ve $s=f(P)$ eğrileri	6
Şekil 6. Doymalı reaktansları bulunan kondansatör uyarmalı asenkron generatör sistemi	7
Şekil 7. Bir fazlı kondansatör uyardırılı asenkron generatörün dinamik modeli	8
Şekil 8. Serbest uyardırılı doğru akım motorunun eşdeğer devresi	14
Şekil 9 : Özendüktansları ölçme devresi	16
Şekil 10. Ortak endüktans ölçme devresi	19
Şekil 11. Ana sargı ve rotor eşdeğer devresi( kilitli rotor durumu)	21
Şekil 12. Hız yavaşlama eğrisi , $n(t)$	25
Şekil 13. Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a=12\mu F$ , $C_y=2.1\mu F$ )	28
Şekil 14 . Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a=15\mu F$ )	29
Şekil 15. Yük artışı durumunda uç gerilimi ( $C_a=15\mu F$ )	30
Şekil 16. Kendi kendini uyarma sürecinde yük akımı( $C_a=15\mu F$ , $R_{yük}=2k\Omega$ )	31
Şekil 17. Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a=18\mu F$ )	32
Şekil 18. Kendi kendini uyarma sürecinde yük akımı( $C_a=18\mu F$ , $R_{yük}=2k\Omega$ )	33
Şekil 19. Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a=19\mu F$ )	34
Şekil 20. Moment azalması durumunda uç gerilimi ( $C_a=19\mu F$ )	35
Şekil 21. Kendi kendini uyarma sürecinde yük akımı ( $C_a=19\mu F$ , $R_{yük}=2k\Omega$ )	36
Şekil 22. Kendi kendini uyarma sürecinde ana sargı akımı ( $C_a=19\mu F$ , $R_{yük}=2k\Omega$ )	37
Şekil 23. Yük artışı durumunda ana sargı akımı ( $C_a=19\mu F$ )	38

Şekil 24. Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a= 19\mu\text{F}, C_y=3.1\mu\text{F}$ )	39
Şekil 25. Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a= 20\mu\text{F}$ )	40
Şekil 26. Yük artışı durumunda uç gerilimi ( $C_a= 20\mu\text{F}$ )	41
Şekil 27. Kendi kendini uyarma sürecinde yük akımı ( $C_a= 20\mu\text{F}, R_{\text{yük}}=2\text{k}\Omega$ )	42
Şekil 28. Yük artışı durumunda yük akımı ( $C_a=20\mu\text{F}$ )	43
Şekil 29. Yük azalması durumunda yük akımı ( $C_a=20\mu\text{F}$ )	44
Şekil 30. Kendi kendini uyarma sürecinde ana sargı akımı ( $C_a=20\mu\text{F}, R_{\text{yük}}=2\text{k}\Omega$ )	45
Şekil 31. Yük azalması durumunda ana sargı akımı ( $C_a=20\mu\text{F}$ )	46
Şekil 32. Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a=25\mu\text{F}$ )	47
Şekil 33. Yük artışı durumunda uç gerilimi ( $C_a= 25\mu\text{F}$ )	48
Şekil 34. Kendi kendini uyarma sürecinde yük akımı ( $C_a=25\mu\text{F}, R_{\text{yük}}=2\text{k}\Omega$ )	49
Şekil 35. Kısa devre durumundan uyarmaya geçişte uç gerilimi ( $C_a=25\mu\text{F}$ )	50
Şekil 36. Kısa devre durumunda uyarmaya geçişte yük akımı ( $C_a=25\mu\text{F}, R_{\text{yük}}=3\text{k}\Omega$ )	51

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No:</u>
Tablo 1. Ana sargı ve yardımcı sargının akımlarına göre özendüktans değerleri.	18
Tablo 2. Rotor ile stator arasındaki ortak endüktansların ve rotor öz endüktanslarının ana ve yardımcı sargı akımlarına göre değişim sonuçları.	24





## SEMBOLLER DİZİNİ

- $C_a$  : Ana sargı uyarma kondansatörü  
 $C_y$  : Yardımcı sargı kondansatörü  
 $D$  :  $d/dt$  türev işleci  
 $f_n$  : Nominal frekans  
 $i_a$  : Ana sargı akımı  
 $i_y$  : Yardımcı sargı akımı  
 $i_\alpha i_\beta$  : Eşdeğer rotor sargılar akımı  
 $i_e$  : Doğru akım motoru endüvi sargısı akımı  
 $i_f$  : Doğru akım motoru uyarma sargısı akımı  
 $i_{ca}$  : Ana sargı uyarma kondansatörü akımı  
 $i_{cy}$  : Yardımcı sargı kondansatörü akımı  
 $J$  : Eylemsizlik momenti  
 $L_a$  : Ana sargı özendüktansı  
 $L_y$  : Yardımcı sargı özendüktansı  
 $L_\alpha L_\beta$  : Eşdeğer rotor sargıları özendüktansı  
 $L_e$  : Doğru akım motoru endüvi sargısı özendüktansı  
 $L_f$  : Doğru akım motoru uyarma sargısı özendüktansı  
 $L_{ef}$  : Doğru akım motoru endüvi sargısı ile uyarma sargısı arasındaki ortak endüktans  
 $M_1$  : Ana sargı ile rotor sargıları arasındaki ortak endüktansın tepe değeri  
 $M_2$  : Yardımcı sargı ile rotor sargıları arasındaki ortak endüktansın tepe değeri  
 $P$  : Aktif güç  
 $P_0$  : Çift kutup sayısı  
 $Q_y$  : Yardımcı sargı kondansatörünün yükü  
 $R_a$  : Ana sargı direnci  
 $R_y$  : Yardımcı sargı direnci  
 $R_\alpha R_\beta$  : Eşdeğer rotor sargıları direnci  
 $R_e$  : Doğru akım motoru endüvi sargısı direnci  
 $R_f$  : Doğru akım motoru uyarma sargısı direnci  
 $s$  : Kayma

- $T_y$  : Yük momenti  
 $T_{dc}$  : Doğru akım motor momenti  
 $T_e$  : Asenkron generatörde endüklenen elektriksel moment  
 $V_a$  : Ana sargı gerilimi  
 $V_y$  : Yardımcı sargı gerilimi  
 $V_{dc}$  : Doğru akım motoru endüvi gerilimi  
 $V_f$  : Doğru akım motoru uyarma gerilimi  
 $\Psi$  : Toplam akı  
 $\Psi_a$  : Ana sargı toplam akısı  
 $\Psi_y$  : Yardımcı sargı toplam akısı  
 $\Psi_\omega \Psi_\beta$ : Eşdeğer rotor sargıları akıları



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1 Giriş

Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan senkron generatörler miline uygulanan mekanik gücün değişimine bağlı frekansta gerilim ürettiği için mekanik ve elektronik hız denetim düzeneklerine gereksinim duyarlar. Ayrıca üretilen uç geriliminin değişimi, karşıladıkları gücün niteliğine göre uyarma alanı ile düzeltilebilir.

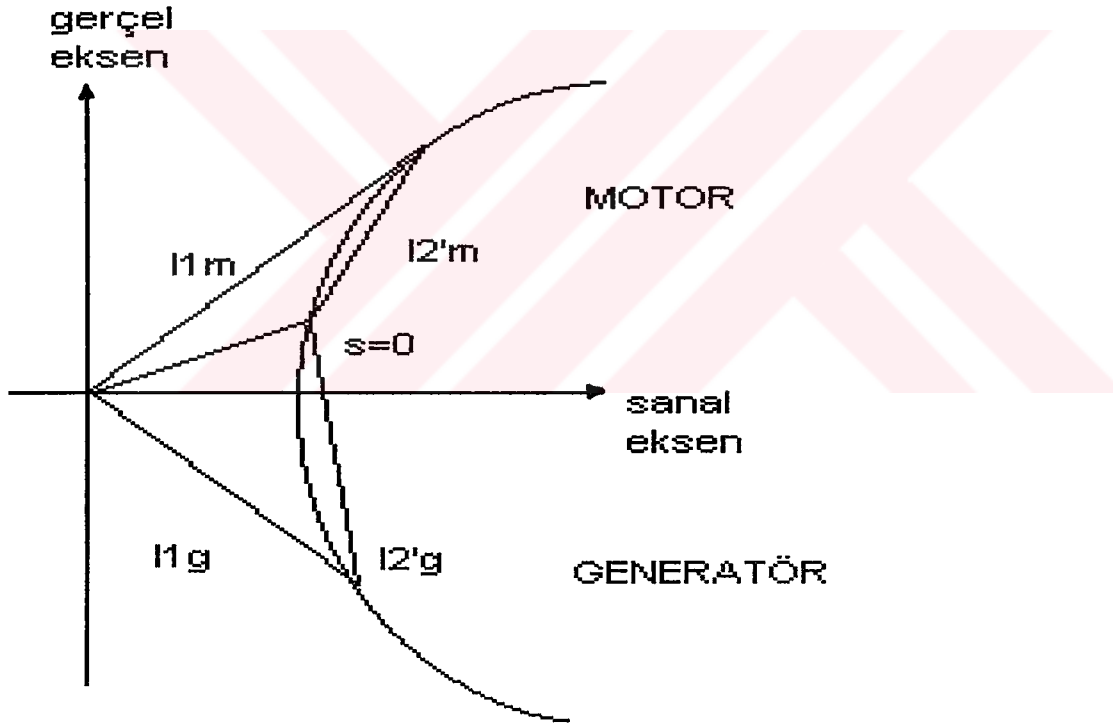
Günlük hayatta kullanılan doğal kaynakların mekanik güçlerinin değişken olmaları nedeniyle asenkron generatörler tercih nedeni olabilir. Çünkü asenkron generatörlerin enerji üretebilmesi için miline uygulanan kuvvetin sabit olması zorunlu değildir. Ürettikleri gerilimin frekansı ve genliği paralel bağlandıkları şebeke tarafından belirlenir. Paralel bağlanmada senkronizasyon kolaylığı olup tek başına çalışırken frekans ,uyarma kondansatörleriyle belirlenir. Ayrıca bu kondansatörler kendi kendini uyarma zamanını da belirler.[1],[6]

Asenkron generatörlerin çalışma ilkesini üç fazlı asenkron generatörler daha iyi açıkladığından bir fazlı asenkron generatörlerin doymalı davranışı incelenirken üç fazlı asenkron generatörler göz önünde bulundurulmuş ve bu çalışmada genel bilgiler bölümünde sunulmuştur.

## 1.2. Üç Fazlı Asenkron Generatör

Gerilim ve frekansı sabit olan bir şebekeye paralel bağlanmış olan üç fazlı asenkron makina , döner alan yönünde ve senkron devir sayısı üstünde döndürülürse ,makina motor çalışma durumundan generatör çalışma durumuna geçer. Bu durumda makina mıknatıslanma akımını şebekeden çekerek generatör çalışırken kayma (s) ,döndürme momenti ve mekanik gücün işareti yön değiştirir,negatif olur.

Kaymanın negatif olması demek,makinanın şebekeye etkin elektrik enerjisi vermesi demektir. Rotor akımının reaktif bileşeni kaymanın karesiyle doğru orantılı olduğundan yön değiştirmez. Dolayısıyla makina generatör çalışırken mıknatıslanma akımını bağlı olduğu şebekeden çeker. Akımın aktif bileşeni ise kayma ile doğru orantılı olduğundan yön değiştirir. Bu olay şekil-1' de daire diyagramı üzerinde gösterilmiştir.[1]

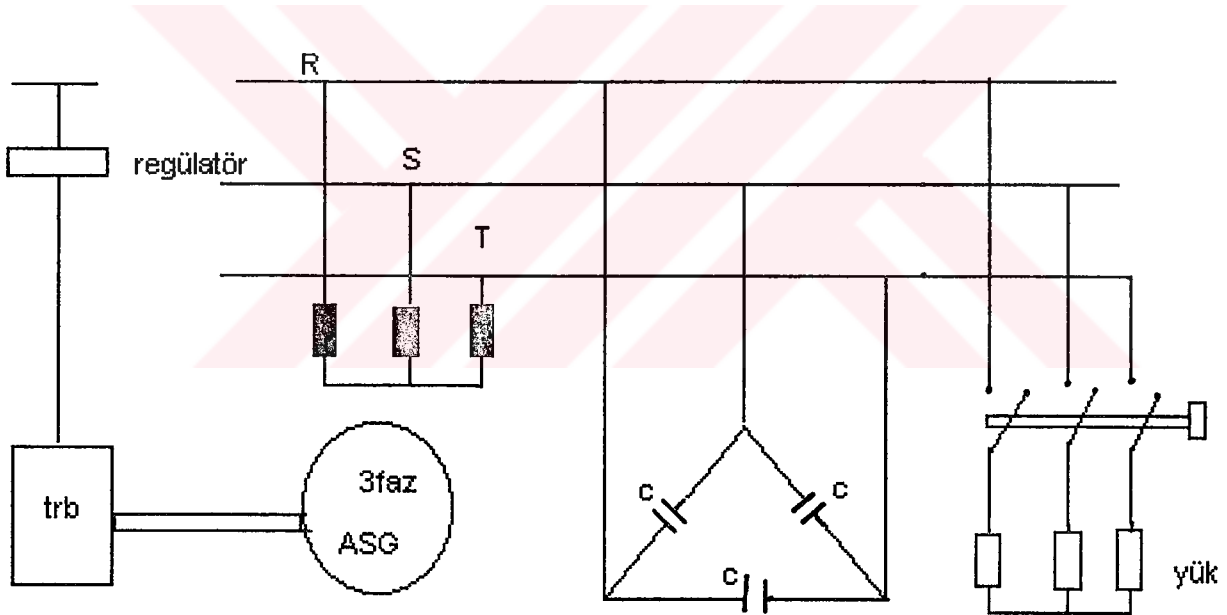


Şekil 1. Daire diyagramı üzerinde asenkron makinanın akım ve gerilim fazörleri.

Asenkron generatörün uyarılması için gerekli olan reaktif akımın şebekeden çekilebilmesi için şebekede bu tür akımları üreten senkron generatörlerin bulunması gerekir. Şebeke frekansını da paralel çalışan senkron generatörler belirler.

Genel olarak ,yol verme problemleri olmadığından asenkron makinalar sincap kafes rotorlu yapılırlar. Çoğunlukla su türbinleri tarafından sürülen asenkron generatörler , kendi sürücü düzenekleri tarafından senkron hıza kadar çıkartılarak , özel bir düzen gerektirmeksizin şebekeye paralel bağlanabilirler. Ayrıca şebeke uç gerilimi ile frekans şebekede paralel çalışan senkron generatörler tarafından belirleneceği için asenkron generatörler için ayar düzenlerine de gerek yoktur. Bu nedenle asenkron generatörler küçük ve orta güçteki su santrallerinde uzaktan kumandalı olarak kullanılırlar.

Üç fazlı asenkron generatör bağımsız olarak da çalışırlar. Bunun için şebeke tarafından sağlanan mıknatıslanma akımının kondansatörler üzerinden alınması gerekir. Bu amaçla generatörün uçlarına istenen gerilim ve frekans için ve daire diyagramı üzerinde bir noktaya tekabül eden akımın faz ve büyüklüğünü verecek şekilde boyutlandırılmış kondansatörler bağlanır. Şekil-2’de böyle bir sistem gösterilmiştir.[1]

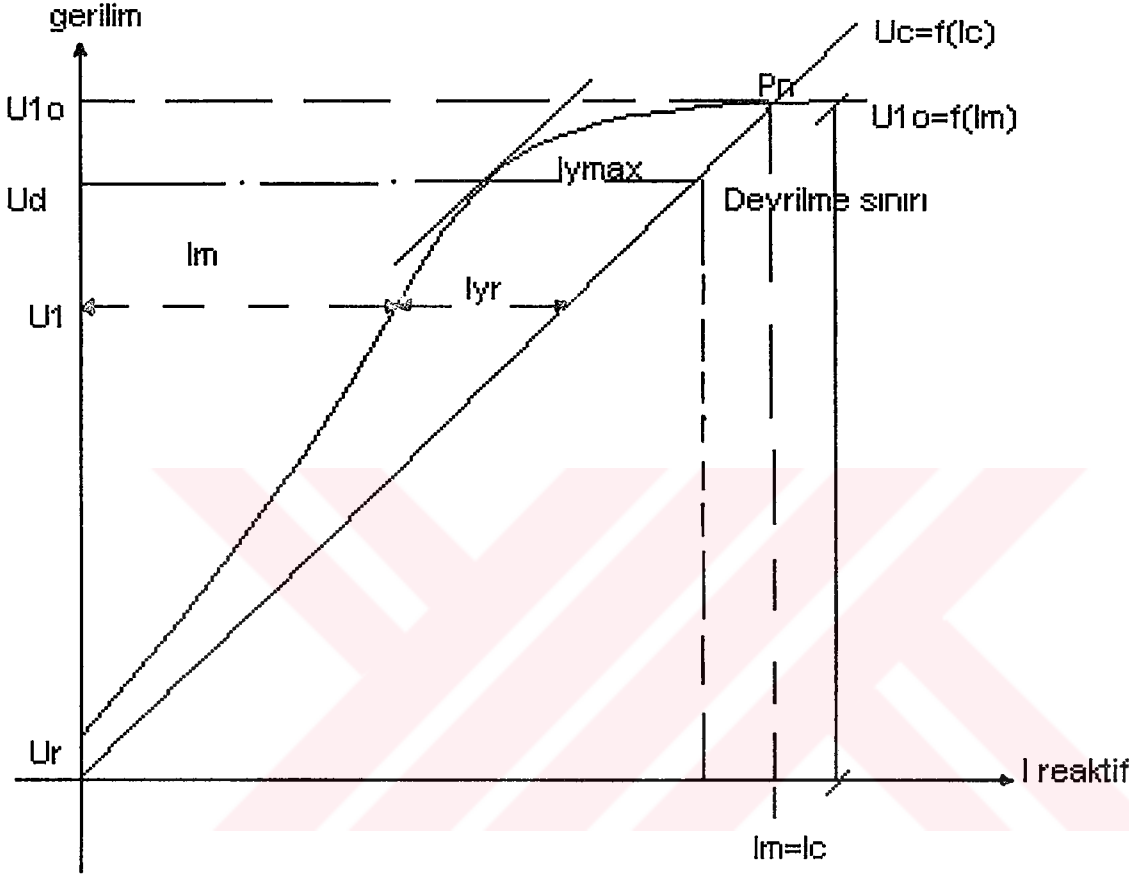


Şekil 2. Bağımsız çalıştırılan üç fazlı asenkron generatör düzeni.

Bağımsız çalışan asenkron generatörlerde önemli bir nokta da ilk uyarıdır. Yani generatörün kendi kendini uyarabilmesi için ilk gerilim asenkron makinanın artık mıknatıslığından elde edilmeli veya rotordan bir doğru akım darbesi verilerek artık

mıknatıslık oluşturulmalıdır. Sincap kafes rotorlu asenkron makinalarda artık mıknatıslık makina kısa bir süre motor çalıştırılarak da sağlanabilir.

Asenkron generatörün kendi kendini uyarmasını doğru akım şönt generatörlerde olduğu gibi boşa çalışma eğrisi üzerinde açıklayalım;



Şekil 3. Asenkron generatörün mıknatıslanma öz eğrisi ile kondansatör yük doğrusunun kesişmesi.

Asenkron generatör boşa çalışmakta iken ve rotor devir sayısının nominal değerine karşılık gelen

$$f_n = p \cdot n_s / 60$$

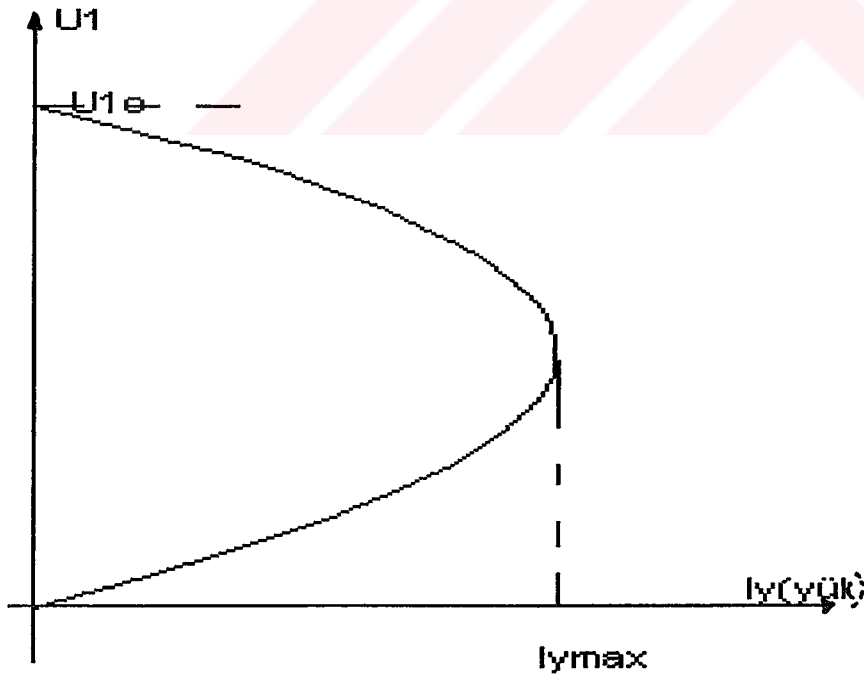
frekansının ayar edilmiş olması halinde şebekeden U1 faz gerilimi; mıknatıslanma eğrisi  $U_{10} = f(I_m)$  ile kondansatör doğrusu  $U_1 = I_c / (2\pi f \cdot C)$  nin kesişme noktasından elde edilir. Saf endüktif yük akımı çekilmesi halinde ;

$\cos \phi = 0$  ,  $s = 0$  ve  $f = f_n = p \cdot n_s / 60$  olup  $I_c = I_m + I_{yr}$  olduğundan uç gerilimi düşecektir. Kısaca endüktif yük akımı  $I_{yr}$  arttıkça ,uç gerilimi azalır. Burada başka bir önemli nokta

da  $C$ 'nin belli bir değerinde yük akımının bir maksimum değeri ve bu akıma karşılık gelen yük reaktansının en küçük değeri ( $X_{ymin}$ ) vardır. Bu reaktansın altındaki bir yük reaktansında asenkron generatör kendi kendini uyaramaz. Bu nokta şekil-3'te belirtilmiş olup bu noktaya devrilme sınırı denir. Bu sınırın altında uç gerilimi remenans gerilime düşer. ( $U_r$ ) [1]

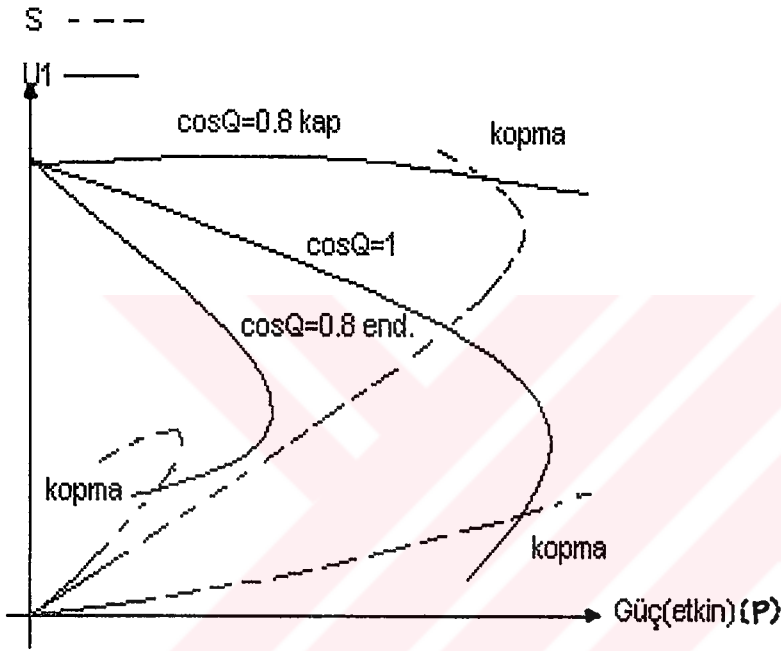
Generatörün şebekeye aktif güç vermesi halinde faydalı akımın elde edilmesi için gerekli olan mıknatıslanma akımına (bu akım değişmeyen uç geriliminde yüke bağlı değildir) generatörün dağılma akılarından ötürü yüke bağlı bir reaktif akım eklenir. Gerçekte bu akım şekil-3'te  $I_{yr}$  ile belirtilmiş olan reaktif akım içerisinde vardır. Ancak yük direncinin saf omik olması nedeniyle  $I_{yr}$ , generatörün dağılma akılarına tekabül eden reaktif akıma eşit olmaktadır. Bu akım,  $U_1$  geriliminden çizilen yatayın, doyma eğrisi ile  $U_c=f(I_c)$  doğrusunu kestiği noktalar arasında kalan kısım olarak elde edilir.

Genel bir değerlendirme yapacak olursak; sabit uyarma durumunda ( $C=sbt.$ ) generatörden çekilen akım içerisindeki endüktif bileşen ne kadar küçük olursa uç gerilimindeki azalma o oranda az olur. Saf omik yükte gerilim düşümü minimumdur. Ayrıca bir asenkron generatör, motor gücünün %30-40 'ı kadar ancak yüklenebilir. [1] Doyma bölgesinden çıkışına göre verimleri düşer. [1],[4]



Şekil 4. Saf endüktif yük için asenkron generatörün  $U_1=f(I_y)$  eğrisi

Şekil-4' te saf endüktif yük için asenkron generatörün şekil-3'ten nokta nokta elde edilen ve doğru akım şönt generatörüne benzeyen uç gerilim eğrisi (dış karakteristiği) görülmektedir. Burada yük reaktansı  $X_y$ 'nin küçülmesi  $I_y$  büyümektedir.  $X_y$ 'nin kritik değerinde generatör akımı  $I_{y\max}$  değerine ulaşmaktadır.  $X_y$ 'nin daha fazla küçültülmesinde  $I_{y\max}$ 'ın üstünde , generatör kendi kendini uyaramayacağından  $U_1$  uç gerilimi remenans gerilime eşit olan çok küçük bir değere düşmektedir.



Şekil 5. Kendi kendini uyarıtımda çalıştırılan asenkron generatörün değişik  $\cos\phi$ 'ler için  $U_1=f(P)$  ve  $s=f(P)$  eğrileri.

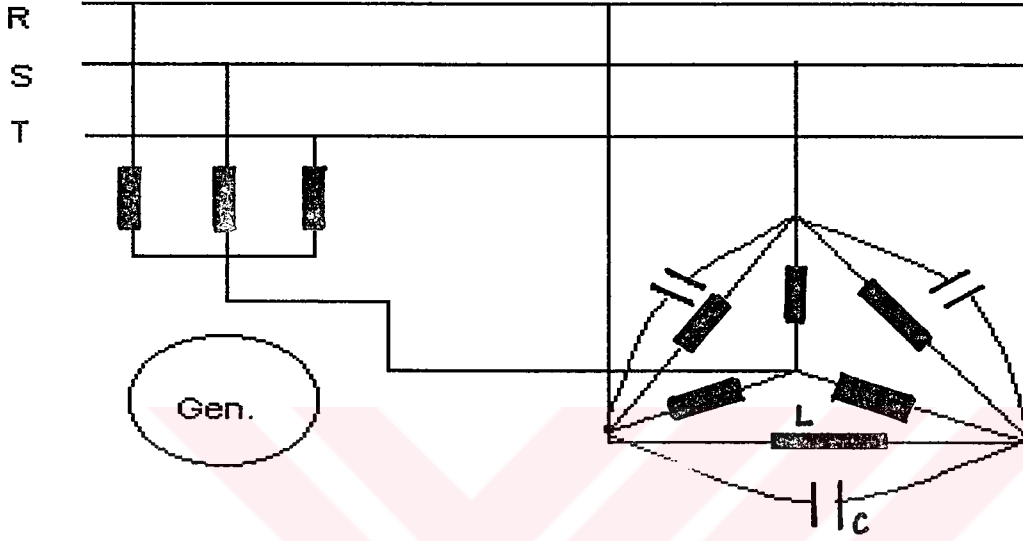
Yukarıdaki şekilde aktif güce bağlı olarak uç gerilimi ve kaymanın değişimi görülmektedir. En büyük gerilim düşümü endüktif yükte olmasına rağmen kapasitif yükte gerilim yükselmesi olmaktadır.

Generatöre yük uygulanırken uç geriliminin sabit kalması istenirse ; uyarma kondansatörlerinin endüktif yük oranında büyük seçilmelidir. Uç gerilimini sabit tutmanın başka yolları da vardır. Bunlar;

- kondansatör değerlerini değiştirmek,
- doymalı reaktans bobinleri kullanmak ,
- sürücü düzeneğin devir sayısını değiştirmek.



Şekil-6'da verilen sistemde; uç gerilimi ayarlaması doymalı reaktanslarla yapılmıştır. Burada reaktanslar birinci dereceden yüksek harmonikleri getirdiğinden ve bu harmonikler generatör gerilimini etkilediğinden reaktanslar şekildeki gibi düzenlenmiştir. Böylece R,S,T düğüm noktalarında 5. ve 7 nci dereceden yüksek harmonikler kendini yok eder.



Şekil 6. Doymalı reaktansları bulunan kondansatör uyarmalı asenkron generatör

Asenkron generatörler için önemli bir noktada aşırı yüklerdir. Uç gerilimindeki kısa devreler generatör için bir aşırı yüküdür. Asenkron generatörlerde standart kondansatör kullanmak gerekirse, ototransformatörlerden faydalanılabilir.(Uygun reaktans bobinleri seçilir.)

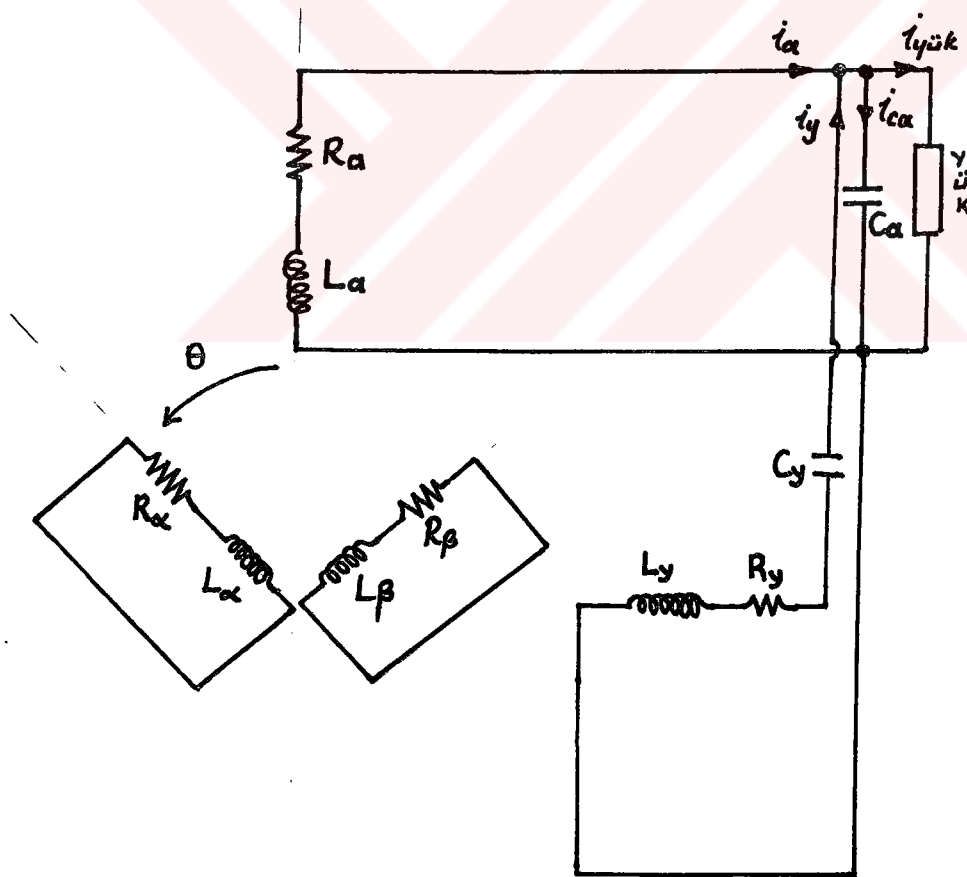
Asenkron generatörün senkron generatörlere göre bazı üstünlükleri vardır. Bunlar ;

- küçük ve orta güçteki asenkron generatörler uyarma düzeneğinin ve kutup tekerleğinin gerektirdiği masraflar olmadığından daha ucuzdur.
- yalnız sürücü düzeneğinin regülatörüne ihtiyaç vardır.
- fırça ve bilezikler bulunmadığından bakım , onarım ve sık sık kontrol gerektirmez.
- birçok asenkron generatör frekans ve faz durumlarına bakılmaksızın paralel bağlanabilir.
- salınım tehlikesi yoktur.[1],[13]

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Bir Fazlı Asenkron Generatörlerin Doymalı Modellenmesi

Bu çalışmada tek fazlı kendi kendini uyarıcı bir asenkron generatör doymalı durumda incelenmiştir. Asenkron makinanın generatör çalışırken ihtiyaç duyduğu reaktif akım uyarma kondansatöründen sağlandı. Uyarma kondansatörü ana sargıya bağlanarak, yardımcı sargıya ürettiği gerilimin ana sargıya yakın fazda olmasını sağlamak ve rotor mıknatıslığının devamı için başka bir kondansatör bağlandı. Ana sargıya yük uygulandı. Makinanın dinamik modeli şekil-7' de verilmiştir. Burada rotor sargılarında oluşan fazları bileşke mmk'nın eşit olması koşuluyla rotor sargıları birbirine dik iki faz olarak gösterilmiştir.



Şekil 7. Bir fazlı kondansatör uyarımlı asenkron generatörün dinamik modeli

Dinamik modelde gösterilen sarguların genel akı bağıntıları;

$$\begin{aligned}
 \Psi_a &= \Psi_{aa} + \Psi_{ay} + \Psi_{a\alpha} + \Psi_{a\beta} \\
 \Psi_y &= \Psi_{ya} + \Psi_{yy} + \Psi_{y\alpha} + \Psi_{y\beta} \\
 \Psi_\alpha &= \Psi_{\alpha a} + \Psi_{\alpha y} + \Psi_{\alpha\alpha} + \Psi_{\alpha\beta} \\
 \Psi_\beta &= \Psi_{\beta a} + \Psi_{\beta y} + \Psi_{\beta\alpha} + \Psi_{\beta\beta}
 \end{aligned} \tag{1}$$

olarak yazılır.

Akı bağıntıları akımlar ve endüktanslar cinsinden yazılırken doyma göz önüne alınmalıdır. Dolayısıyla ;

$$\psi = L * i \tag{2}$$

olmak üzere:

$$\begin{aligned}
 L_{aa} &= L_a = f(i_a) \\
 L_{yy} &= L_y = f(i_y) \\
 L_{\alpha\alpha} &= L_\alpha = f(i_\alpha) \\
 L_{\beta\beta} &= L_\beta = f(i_\beta)
 \end{aligned} \tag{3}$$

olup ayrıca statorda ana sargı ile yardımcı sargının MMK'ları arasında 90 derecelik bir açının bulunması iki sargı arasındaki ortak endüktansların çok küçük olmasına neden olur. Bu nedenle ortak endüktans terimleri gözardı edilebilir. Yani ;

$$\begin{aligned}
 L_{ay} &= L_{ya} = 0 \\
 L_{\alpha\beta} &= L_{\beta\alpha} = 0
 \end{aligned} \tag{4}$$

olup diğer endüktans terimleri ;

$$\begin{aligned}
L_{aa} &= M_1 \cdot f(i_a, i_a) \cdot \cos\theta \\
L_{a\beta} &= M_1 \cdot f(i_a, i_\beta) \cdot \sin\theta \\
L_{y\alpha} &= -M_2 \cdot f(i_y, i_\alpha) \cdot \sin\theta \\
L_{y\beta} &= M_2 \cdot f(i_y, i_\beta) \cdot \cos\theta
\end{aligned} \tag{5}$$

olarak yazılabilir .Bir sargının toplam akısına  $\psi$  dersek bu sargıda endüklenen gerilim ;

$$e = \frac{d\psi}{dt} \tag{6}$$

olduğundan sargı dirençlerindeki gerilim düşümü göz önüne alınırsa sargılara ilişkin gerilim denklemleri;

$$\begin{aligned}
V_a &= \frac{d\psi_a}{dt} - R_a \cdot i_a \\
V_y &= \frac{d\psi_y}{dt} - R_y \cdot i_y - \frac{Q_y}{C_y} \\
0 &= \frac{d\psi_\alpha}{dt} - R_\alpha \cdot i_\alpha \\
0 &= \frac{d\psi_\beta}{dt} - R_\beta \cdot i_\beta
\end{aligned} \tag{7}$$

biçiminde olup yardımcı sargı kondansatör düğüm noktası göz önüne alınırsa kondansatör yük denklemi ;

$$i_y = i_{cy} = \frac{dQ_y}{dt} \tag{8}$$

olarak elde edilir. Uyarma kondansatörünün akımı ,ana sargı ve yük akımına bağlı olarak

$$i_{ca} = C_a \frac{dV_a}{dt} = i_a + i_y - \frac{V_a}{R_{yük}} \tag{9}$$

bağıntısı elde edilir.

Asenkron generatörün belli bir yük altında çalışma durumunda generatör, yük akımıbağlı olarak daha kolay doyuma girdiğinden uyarma sığasının akım denkleminde yük akımı dahil edilmelidir.

(7) denkleminin kullanılabilmesi için akı fonksiyonları endüktanslar ve akımlar cinsinden yazılmalıdır. Ayrıca endüktansların doyum noktaları göz önüne alınarak akımlara bağlı fonksiyonlar olarak ifade edilmelidir. Farklı akım değerlerinde ölçülen endüktans değerlerine kesir biçimli bir eğri uydurma yöntemi uygulanmış ve dinamik denklem takımının çözümü için oluşturulan bilgisayar çözüm programına dahil edilmiştir. Akı bağıntılarını yazarken endüktansların bağlı oldukları akımın ani değerine göre sabit olduğu göz önüne alınırsa sabit endüktans matrisi oluşturulabilir. Runge-Kutta differansiyel denklem analizinde her adımda akımlar değişeceğinden endüktans matrisi de her adımda değişmiş olacaktır. Böylece akım değişimine bağlı olarak endüktansların doyum değerleri çözüme dahil edilmiş olacaktır. Akı denklemlerinde (1) endüktans bağıntılarını yerine yazılmış olarak verelim;

$$\begin{aligned}
 \psi_a &= L_{aa} \cdot i_a + L_{a\alpha} \cdot i_\alpha + L_{a\beta} \cdot i_\beta \\
 \psi_y &= L_{yy} \cdot i_y + L_{y\alpha} \cdot i_\alpha + L_{y\beta} \cdot i_\beta \\
 \psi_\alpha &= L_{\alpha a} \cdot i_a + L_{\alpha y} \cdot i_y + L_{\alpha\alpha} \cdot i_\alpha \\
 \psi_\beta &= L_{\beta a} \cdot i_a + L_{\beta y} \cdot i_y + L_{\beta\beta} \cdot i_\beta
 \end{aligned} \tag{10}$$

Akı türevlerinin sargı gerilim denklemlerinde verilmesi gerektiğinden;

$$\frac{d}{dt} = D \tag{11}$$

dönüşümü yapılarak;

$$\begin{aligned}
 D\psi_a &= L_a \cdot Di_a + M_1 \cdot \text{Cos}\theta \cdot Di_\alpha - D\theta \cdot M_1 \cdot \text{Sin}\alpha \cdot i_\alpha + M_1 \cdot \text{Sin}\theta \cdot Di_\beta + D\theta \cdot M_1 \cdot \text{Cos}\theta \cdot i_\beta \\
 D\psi_y &= L_y \cdot Di_y - M_2 \cdot \text{Sin}\theta \cdot Di_\alpha - D\theta \cdot M_2 \cdot \text{Cos}\alpha \cdot i_\alpha + M_2 \cdot \text{Cos}\theta \cdot Di_\beta - D\theta \cdot M_2 \cdot \text{Sin}\theta \cdot i_\beta
 \end{aligned}$$

$$D\psi_\alpha = M_1 \cdot \cos\theta \cdot Di_\alpha - D\theta \cdot M_1 \cdot \sin\theta \cdot i_\alpha - M_2 \sin\theta \cdot Di_y - D\theta \cdot M_2 \cdot \cos\theta \cdot i_y + L_\alpha \cdot Di_\alpha$$

$$D\psi_\beta = M_1 \cdot \sin\theta \cdot Di_\alpha + D\theta \cdot M_1 \cdot \cos\theta \cdot i_\alpha + M_2 \cos\theta \cdot Di_y - D\theta \cdot M_2 \cdot \sin\theta \cdot i_y + L_\beta \cdot Di_\beta \quad (12)$$

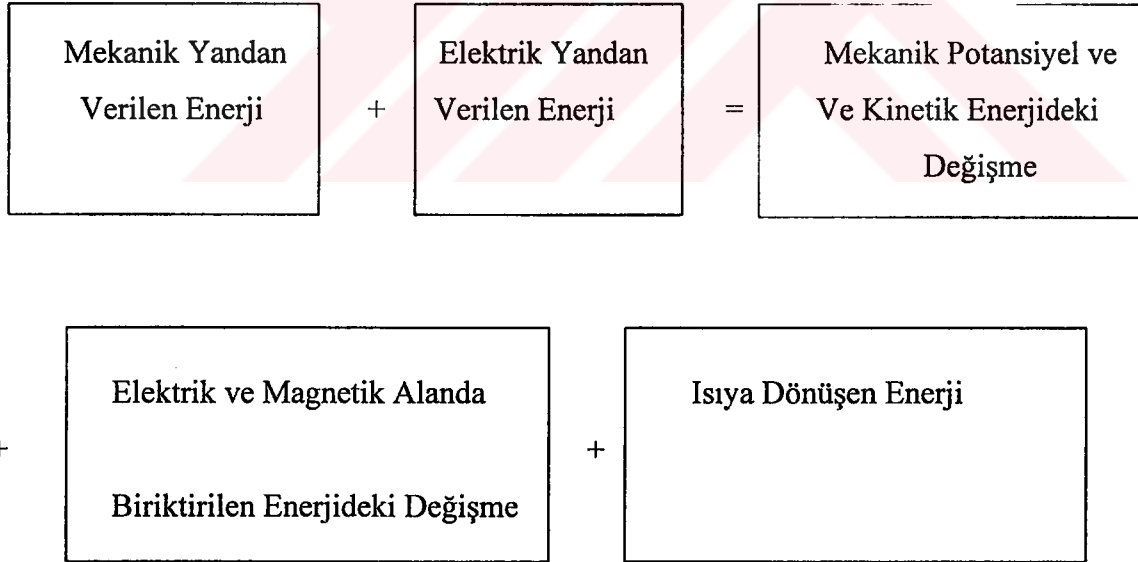
elde edilir. [G] gerilim katsayı matrisi olmak üzere;

$$\frac{\partial}{\partial \theta} [L(\theta)] = [G] \quad (13)$$

matrisi  $D\theta$  çarpanlı terimlerden oluşur. Bu matris elektriksel moment elde edilirken kullanılacaktır.

## 2.2. Hareketin Genel Denklemi

Hareketin genel denklemi yazılırken , rotorun differansiyel zamanda açısal yer değiştirmesine göre enerji denklemi göz önüne alınır. Buna göre ;



Generatör çalışma durumunda endüklenen moment negatif olup elektrik yandan pozitif enerji alınacaktır. Makinanın elektrik yanının  $n$  uçlu olduğunu düşünürsek hareketin genel denklemi;

$$T_e \cdot d\theta + (\sum V_r \cdot i_r) \cdot dt = d\left(\frac{1}{2} \cdot J \cdot \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2\right) + dW_e + \sum R_r \cdot i_r^2 \cdot dt + \beta \cdot \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 \quad (14)$$

Her elektrik yan için KGYD' leri yazılıp (14) denklemini düzenlenirse:

$$T_e = J \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + \beta \cdot \frac{d\theta}{dt} - \frac{\partial W'_m}{\partial \theta} \quad (15)$$

Yukarıda son hali verilen denklemden histeresis kayıpları gözardı edilmiş olup, bütün elektromekanik sistemler için geçerlidir.

### 2.3. Elektriksel Momentin Elde Edilmesi

Bir fazlı asenkron generatör doğru akım şönt motoru ile sürüldüğünden endüklenen elektiksel moment doğru akım motoruna yük olarak gelecektir. [G] matrisi kullanılarak genel olarak;

$$T_e = P_o \cdot [I]'_{1 \times n} [G]_{n \times n} [I]_{n \times 1} \quad (16)$$

biçimindedir. (12) denkleminde takımından [G] matrisi yazılırsa:

$$[G] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -M_1 \cdot \sin\theta & M_1 \cdot \cos\theta \\ 0 & 0 & -M_2 \cdot \cos\theta & -M_2 \cdot \sin\theta \\ -M_1 \cdot \sin\theta & -M_2 \cdot \cos\theta & 0 & 0 \\ M_1 \cdot \cos\theta & -M_2 \cdot \sin\theta & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

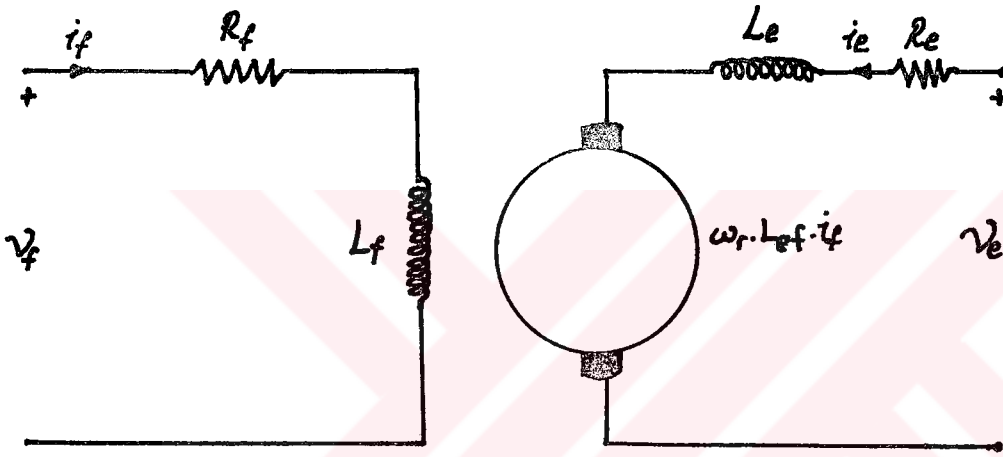
ayrıca akım transpoze matrisi;

$$[I]' = \begin{bmatrix} i_a & i_y & i_\alpha & i_\beta \end{bmatrix}_{1 \times 4} \quad (18)$$

biçimindedir. Bu bağıntılara göre elektriksel moment (19) denkleminde verilmiştir.

$$T_e = P_o.2.(-M_1.Sin\theta.i_\alpha.i_a + M_1.Cos\theta.i_\beta.i_a - M_2.Cos\theta.i_\alpha.i_y - M_2.Sin\theta.i_\beta.i_y) \quad (19)$$

#### 2.4. Doğru Akım Motorunun Dinamik Modeli



Şekil 8. Serbest uyarmalı doğru akım motorunun eşdeğer devresi

Serbest uyarmalı doğru akım motorunun elektriksel eşdeğer devresi şekil-8'de verilmiştir. Bu eşdeğer devre göz önüne alınarak, doğru akım motorunun gerilim denklemleri :

$$\begin{aligned} V_f &= R_f \cdot i_f + L_f \cdot Di_f \\ V_e &= \omega_r \cdot L_{ef} \cdot i_f + R_e \cdot i_e + L_e \cdot Di_e \end{aligned} \quad (20)$$

olarak yazılabilir. Doğru akım motorunun ürettiği elektriksel moment:



$$T_{dc} = L_{ef} \cdot i_f \cdot i_e \quad (21)$$

biçiminde olup motorun hareket denklemi;

$$T_{dc} = J \cdot D\omega_r + \beta \cdot \omega_r + T_y \quad (22)$$

Yapılan çalışmalarda uyarma gerilimi  $V_f$  sabit tutulduğundan, doğru akım motoru dinamik değişkenleri endüvi akımı  $i_e$  ve açısal hız  $\omega_r$  olup motorun dinamik denklemleri düzenlenmiş olarak;

$$Di_e = \frac{1}{L_e} (V_e - \omega_r \cdot L_{ef} \cdot i_f - R_e \cdot i_e) \quad (23)$$

$$D\omega_r = \frac{1}{J} (L_{ef} \cdot i_f \cdot i_e - \beta \cdot \omega_r - T_y)$$

olarak elde edilir. Burada  $T_y$ , bir fazlı asenkron generatör tarafından üretilen elektriksel momenttir.

## 2.5. Makina Parametrelerinin Belirlenmesi

### 2.5.1 Sargı Dirençleri

Basit olarak sargı bakır dirençleri volt-amper yöntemi ile ölçülebilmektedir. Makine çalışırken frekanslı akımın ve ısınmanın neden olacağı direnç artışı göz önünde bulundurulursa doğru akımda ölçülen sargı direnci olarak 1,1 oranı ile çarpılır.

Yapılan deneylerde ;

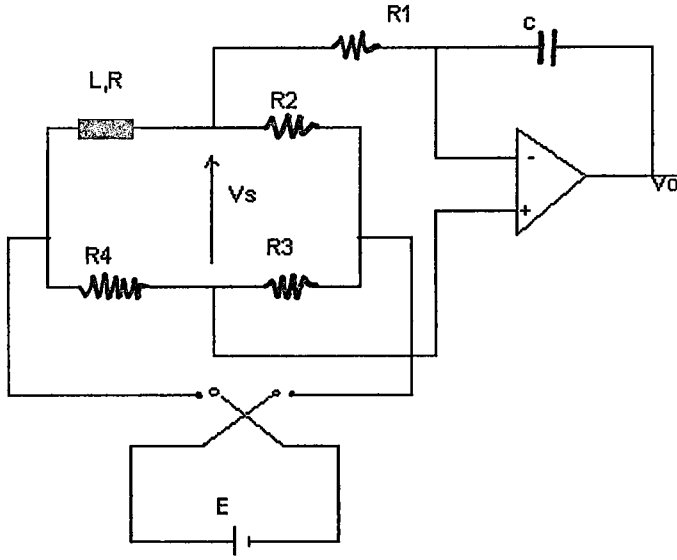
$$R_e = 1.4 \Omega$$

$$R_f = 357 \Omega$$

$$R_a = 19.8 \Omega$$

$$R_y = 78 \Omega \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

### 2.5.2.Özendüktanslar



Şekil 9. Özendüktansları ölçme devresi

Şekil -9' daki köprü devresi kullanılarak özendüktanslar ölçülebilir. Burada  $L,R$  özendüktansı ölçülecek motor sargısıdır. Dirençler saf omik seçilerek köprü doğru akım kaynağı ile dengeye getirilir. Motor sargısından akan  $I$  akımı , doğru akım kaynağının uçlarının ters çevrilmesi ile  $-I$  değerine ulaşır. Bu durumda rotordaki akım sönümlü olup diğer sargıdan akım akmayacaktır. Ana sargı için yapılan ölçümlerde oluşan gerilim denklemi:

$$e = L_{aa} \cdot Di_a + L_{ay} \cdot Di_y + L_{ar} \cdot Di_r \quad (24)$$

doğrusal durumda geçerli olan bu denklem, her bir belli akım değeri için doğrusalmış gibi yazılabilir. Dolayısıyla kesikli olarak doymalı durumda da geçerlidir. (24) denkleminin her iki yanının integrali alınırsa :

$$\int e \cdot dt = \int L_{aa} \cdot di_a + 0 + 0 \quad (25)$$

$$L_a = L_{aa} = \frac{1}{2} \int e \cdot dt \quad (26)$$

olacaktır. Benzer işlemler yardımcı sargı için de yapılır. Ölçüm işlemi yapılırken ; dengeye getirilmiş köprüde  $R_3$  'ün üstündeki gerilim;

$$V_{R3} = E \frac{R_3}{(R_3 + R_4)} \quad (27)$$

üst koldaki gerilim eşitliği;

$$E = (R + R_2).i + L.Di \quad (28)$$

bu denklem düzenlenirse;

$$i = \frac{E}{(R_1 + R_2)} - \frac{L}{(R + R_2)} Di \quad (29)$$

biçiminde birinci dereceden basit differansiyel akım denklemi elde edilir.  $R_2$  direnci uçlarındaki gerilim benzer şekilde yazılırsa :

$$V_{R2} = \frac{E.R_2}{(R_1 + R_2)} - \frac{L.R_2}{(R + R_2)} Di \quad (30)$$

köprü dengede olduğu zaman  $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_2}{R}$  için giriş gerilimi;

$$V_g = V_{R2} - V_{R3} \quad (31)$$

biçiminde yazılıp denklemler düzenlenirse;

$$V_g = \frac{L.R_2}{(R + R_2)} Di \quad (32)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıda  $+ I$  'dan  $- I$  'ya her iki yanının integrali alınırsa;

özendüktans ölçme devresindeki işlemsel yükseltecin sürekli durum çıkışına göre;

$$L = (R_1 + R_2) \frac{R.C}{R_2.2.I} V_0 \quad (33)$$

burada  $I$  üst koldan geçen sürekli akım değeri olup kaynak uçları ters çevrildiği zaman  $-I$  değerine ulaşır. Bu yöntem yardımcı sargıya da uygulanarak özendüktansların akıma bağlı değişimi bir tablo olarak verilebilir. Akım artırılırken sargılar doyuma götürülmelidir. Ölçüm sonuçları tablo-1 de verilmiştir.

Tablo 1. Ana sargı ve yardımcı sargının akımlarına göre özendüktans değerleri.

Ana sargı akımı(A)	$L_a$ (mH)	Yard. sargı akımı(A)	$L_y$ (mH)
0.25	835	0.32	753
0.45	705	0.75	635
0.85	600	1.15	500
1.17	510	1.45	439
1.45	440	1.55	392
1.87	370	1.75	351
2.01	300	2.00	300
2.12	273	2.15	270
2.33	250	2.32	225

Ana ve yardımcı sargı özendüktanslarına bir eğri uydurma yöntemi uygulanarak tek fazlı asenkron generatörün dinamik denklemlerinin çözümünde bu eğri denklemleri kullanılmalıdır.

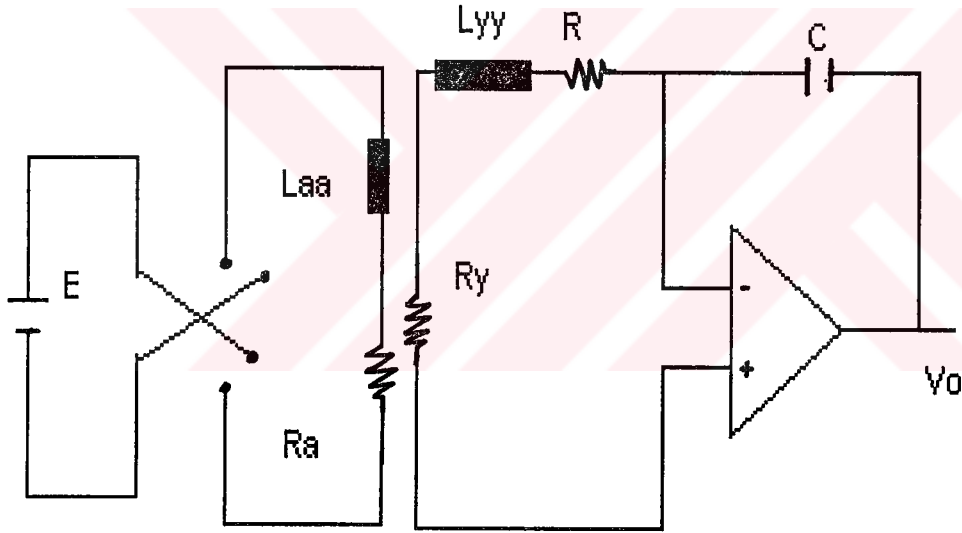
Tablo-1'deki endüktans değerlerine kesir biçimli eğri uydurulmuş olup ana ve yardımcı sargı öz endüktans eğri fonksiyonları;

$$L_a = \frac{0.366}{0.41 + 0.175.i_a^2} \quad [\text{H}] \quad (34)$$

$$L_y = \frac{0.278}{0.47 + 0.201.i_y^2} \quad [\text{H}] \quad (35)$$

olarak elde edilmiştir.

### 2.5.3. Ortak Endüktanslar



Şekil 10. Ortak endüktans ölçme devresi

Şekil-10'daki devreden görüleceği gibi ana sargı ile yardımcı arasında elektrik bağlantısı yoktur. Fakat ana sargıya uygulanan akım ile yardımcı sargıda endüklenen gerilim ölçülebilir. Ölçülen bu gerilim integral alıcı devreye uygulanırsa ana sargı ile yardımcı sargı arasındaki ortak endüktans; ana sargıdan geçen sürekli akım değeri  $I$ ,  $R$ ,  $C$  ve  $V_o$  gerilimine bağlı olarak bulunabilir.

Ana sargıdan  $-I$  akımı geçerken doğru gerilim kaynağının uçları ters çevrilirse sargıdaki geçici olaylar sonunda ana sargıdan sürekli durumda akan akım  $I$  değerine ulaşır. Yardımcı sargı uçları açık devre olduğundan endüklenecek gerilim ;

$$V_y = L_{ay} \cdot Di_a + L_{yr} \cdot Di_r \quad (36)$$

olarak yazılabilir. Burada  $i_r$  rotor devresi akımları sıfır olduğundan bağıntının her iki yanının integrali alınıp düzenlenirse;

$$L_{ay} = \frac{1}{2 \cdot I} \int V_y \cdot dt \quad (37)$$

integral alıcı devrenin çıkışı  $V_0$  göre (37) denklemi yeniden yazılırsa;

$$L_{ay} = \frac{R \cdot C}{2 \cdot I} V_0 \quad (38)$$

olarak elde edilir.

Yapılan ölçümlerde bu ortak endüktansın oldukça küçük olduğu tespit edilmiş olup yaklaşık olarak sıfır kabul edilmiştir. Ayrıca ortak endüktans ölçme işleminde kullandığımız işlemsel yükseltecin açık çevrim kazancı ve R-C elemanları yeterince büyük seçilmiş olup işlemsel yükseltecin sızıntı akımlarının oldukça düşük tutulmasına dikkat edilmiştir. Ana sargı ile yardımcı sargı arasındaki ortak endüktans değeri  $L_{ay}=14.35$  mH olarak ölçülmüş olup küçük bir değer olduğundan ihmal edilmiştir. Bu , ana ve yardımcı sargı mmk eksenlerinin birbirine dik yerleştirildiğini gösterir.

### 2.5.4. Rotor Devresi Parametreleri

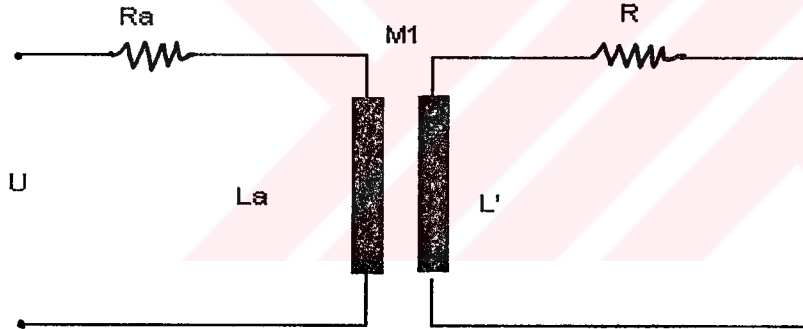
Bir fazlı asenkron makinaların tamamı sincap kafesli yapıldığından rotor parametreleri doğrudan ölçülemez. Bu nedenle bu çalışmada rotor parametreleri kilitli rotor deneyi ile belirlenmiştir.

Devrede harcanan güç;

$$P = U.I.Cos\varphi \quad (39)$$

devrenin empedansı;

$$Z = \frac{U}{I}(Cos\varphi + jSin\varphi) \quad (40)$$



Şekil 11. Ana sargı ve rotor eşdeğer devresi( kilitli rotor durumu)

Bir sargıya indirgenmiş rotor devresi ve bu parametreleri gören ana sargı arasındaki dönüşüm oranına  $a$  diyelim. Dönüştürülmüş rotor akım ve gerilimi

$$I' = \frac{I}{a}$$

$$V' = a.V \quad (41)$$

biçiminde olacaktır. Ana sargı ve rotor devresinde KGYD yazılırsa ,sırasıyla ;

$$U = R_a \cdot i_a + j\omega \cdot L_a \cdot i_a + j\omega \cdot M_1 \cdot i_a \quad (42)$$

$$0 = R_a \cdot i_a + j\omega \cdot M_1 i_a + j\omega \cdot L_a i_a \quad (43)$$

(42) ve (43) denklemleri birlikte düzenlenirse;

$$i_a = -\frac{\omega M_1 \cdot i_a}{R_a + j\omega \cdot L_a} \quad (44)$$

$$U = \left( \frac{R_a + j\omega \cdot L_a + (\omega M_1)^2}{R_a + j\omega \cdot L_a} \right) i_a \quad (45)$$

ayrıca empedans bağıntısı göz önüne alınırsa ;  $Z = \frac{U}{i_a}$  için:

$$Z = R_a + j\omega \cdot L_a + \frac{(\omega M_1)^2}{R_a + j\omega L_a} \quad (46)$$

burada rotor devresinin gösterdiği empedans bağıntısı ;

$$Z_r = \frac{(\omega M_1)^2}{R_a + j\omega L_a} \quad (47)$$

olup (46) denkleminde , paydanın eşleniği ile pay ve paydası çarpılıp açılırsa;

$$Z = R_a + R_{es} + j\omega \cdot (L_a - L_{es}) \quad (48)$$

olarak yazılabilir. Burada;



$$R_{es} = \frac{(\omega M_1)^2}{R_\alpha^2 + (\omega L_\alpha)^2} R_\alpha \quad (49)$$

$$L_{es} = \frac{(\omega M_1)^2}{R_\alpha^2 + (\omega L_\alpha)^2} L_\alpha \quad (50)$$

(46) ve (47) denklemleri birbirine oranlanırsa;

$$R_\alpha = \frac{L_\alpha}{L_{es}} R_{es} \quad (51)$$

olarak yazılabilir. Benzer şekilde ortak endüktansın tepe değeri;

$$M_1 = \sqrt{\frac{R_c \cdot (R_\alpha^2 + \omega^2 \cdot L_\alpha^2)}{\omega^2 \cdot R_\alpha}} \quad (52)$$

olup özdeş rotor sargıları için ;

$$\begin{aligned} R_\alpha &= R_\beta \\ L_\alpha &= L_\beta \end{aligned} \quad (53)$$

eşitlikleri yazılabilir.

Yapılan deneydeki ölçüm ve hesap sonuçları tablo -2' de verilmiştir. Benzer şekilde ana sargı ile yapılan bu deney yardımcı sargı ile de yapılarak yardımcı sargı ile rotor arasındaki ortak endüktansın tepe değeri  $M_2$  belirlenir. Her iki sargı ile yapılan deneylerde endüktanslar doyuma gidinceye kadar akıma bağlı olarak ölçümler yapılmalıdır.

Tablo 2. Rotor ile stator arasındaki ortak endüktansların ve rotor öz endüktanslarının ana ve yardımcı sargı akımlarına göre değişim sonuçları.

Ana sargı akımı (A)	$L_{\alpha}, L_{\beta}$ (mH)	M1 (mH)	Yard.sargı akımı(A)	M2 (mH)
0.25	835	730	0.32	670
0.45	705	690	0.75	571
0.85	600	560	1.15	503
1.17	510	470	1.45	410
1.45	440	403	1.55	390
1.87	370	300	1.75	350
2.01	300	280	2.00	310
2.12	273	267	2.15	262
2.33	252	225	2.33	210

Tablo-2'deki verilere yine eğri uydurulmuş olup bu eğri fonksiyonları;

$$L_{\alpha} = \frac{0.366}{0.41 + 0.175.i_a^2} \quad [\text{H}] \quad (54)$$

$$M_1 = \frac{0.3051}{0.41 + 0.175.i_a^2} \quad [\text{H}] \quad (55)$$

$$M_2 = \frac{0.258}{0.415 + 0.175.i_y^2} \quad [\text{H}] \quad (56)$$

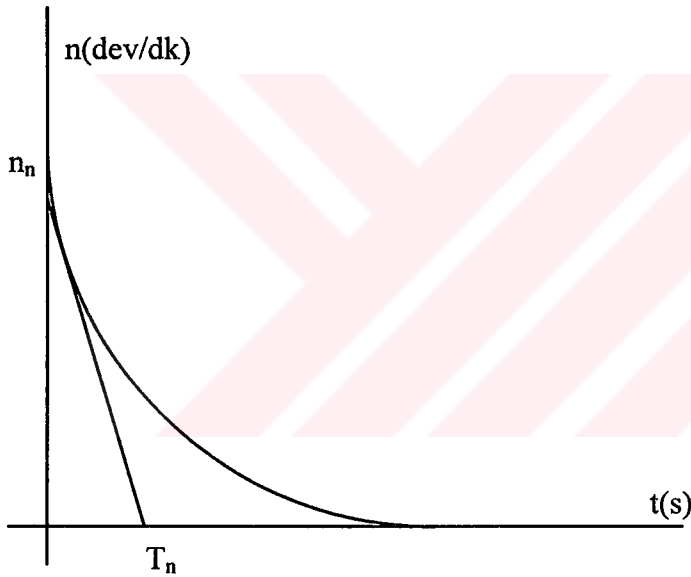
olarak elde edilmiştir.

### 2.5.5. Eylemsizlik Momenti

Eylemsizlik momenti belirlenirken yavaşlama deneyi kullanılmıştır. Asenkron makine motor olarak boşta çalışırken enerjisi kesildiğinde belli bir süre sonra kendiliğinden duracaktır. Motorun yavaşlayarak durmasına demir ve sürtünme kayıpları neden olur. Eylemsizlik momenti  $J$ , demir kayıpları  $P_{fe}$  ve sürtünme kayıpları  $P_{sürt}$  olmak üzere makinenin enerjisi kesildiğinde sistemde biriken enerjideki değişim demir ve sürtünme kayıplarını karşılayacağından[14],

$$P_{fe} + P_{sürt} = D\left(\frac{1}{2} J \cdot \omega^2\right) \quad (57)$$

olacaktır.



Şekil 12. Hız yavaşlama eğrisi , n(t)

$$J \cdot \omega \cdot D\omega = P_{fe} + P_{sürt} \quad (58)$$

$$J \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \frac{2 \cdot \pi}{60} Dn(t) = P_{fe} + P_{sürt} \quad (59)$$

$n=n_n$  için ölçülen  $(P_{fe} + P_{sürt})$  bilindiğinden bu noktadan çizilen teğet ,  $T_n$  süresini dolayısıyla  $dn/dt$  'yi belirler. Yani;

$$Dn(t) = \frac{n_n}{Tn} \quad (60)$$

dir. Buna göre ;

$$J = Tn \cdot \left( \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot n_n} \right)^2 \cdot (P_{fe} + P_{sür}) \quad (61)$$

olarak bulunabilir. Şekil-12'de verilen yavaşlama eğrisi bellekli osiloskop ile belirlenir. Yapılan deneylerde ;  $J= 0.011 \text{ kgm}^2$  olarak bulunmuştur.



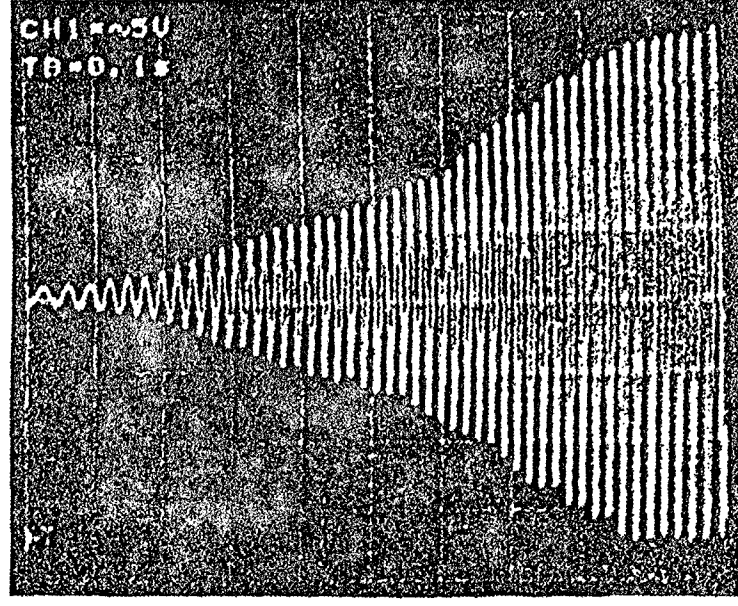
### 3. BULGULAR

Bu bölümde farklı uyarma kondansatörü değerleri için bir fazlı asenkron generatör üzerinde deneyler yapılmış olup uç gerilimi,yük akımı ve ana sargı akımı bellekli osiloskop yardımı ile görüntülenmiştir. Generatörün doyuma gitmesi için özellikle generatör uçlarına yük bağlanmış ve bu yük altında uyarma zamanı incelenmiştir.

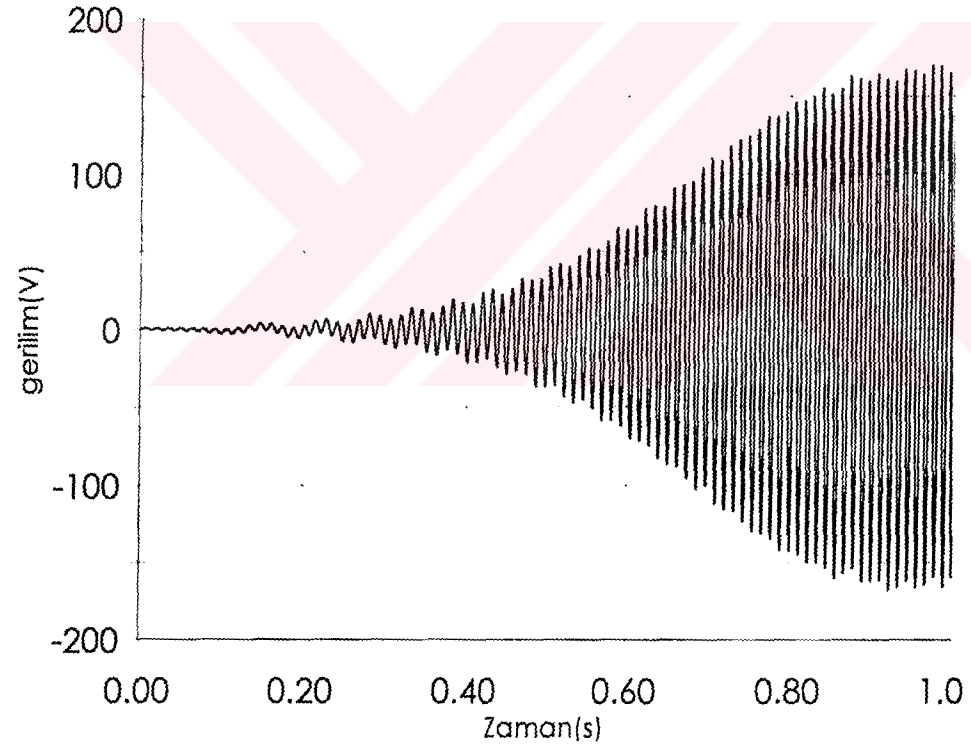
Bir önceki bölümde matematiksel modeli çıkartılan asenkron generatörün dinamik denklemlerinin çözümü için bilgisayar programı yazılmış ve bu denklemlerin çözümü grafik olarak deney sonuçlarının altında verilmiştir.

Sürekli çalışma durumunda yük değişimlerine karşı generatörün davranışı; uç gerilimi ,yük akımı ve ana sargı akımı için ayrıca incelenmiş olup deney ve bilgisayar sonuçları sunulmuştur.

Yapılan deneylerde akım grafikleri deneysel olarak  $4 \Omega$  'luk direnç üzerinden alınmış olup deneysel akım sonuçları  $\frac{1}{4}$  oranında ölçekli okunmalıdır.



(a)

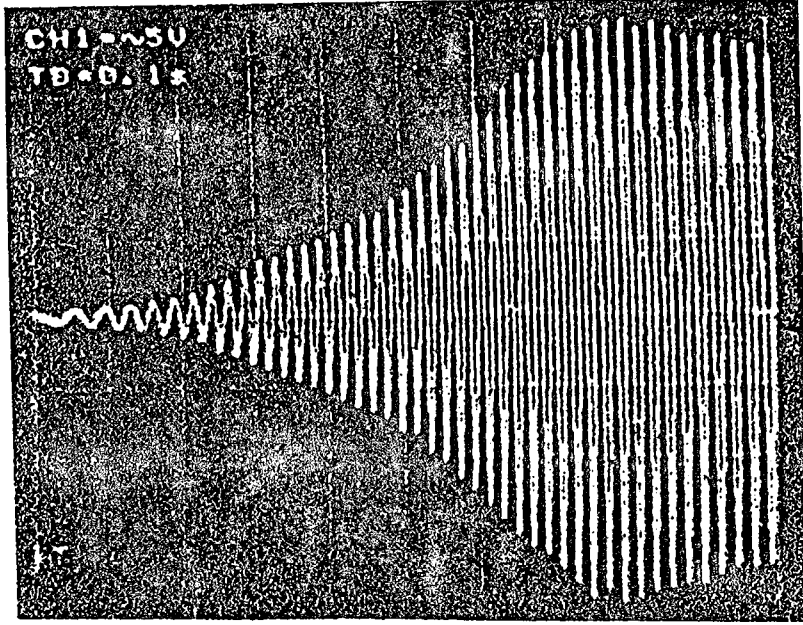


(b)

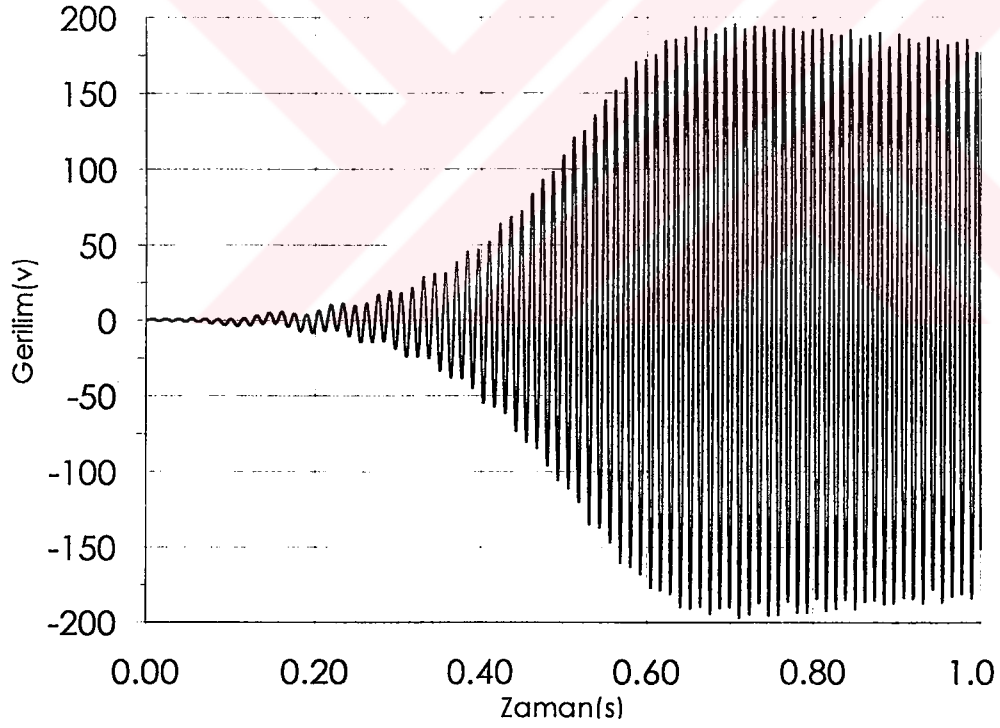
Şekil 13. Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a=12\mu\text{F}$ ,  $C_y=2.1\mu\text{F}$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu



(a)



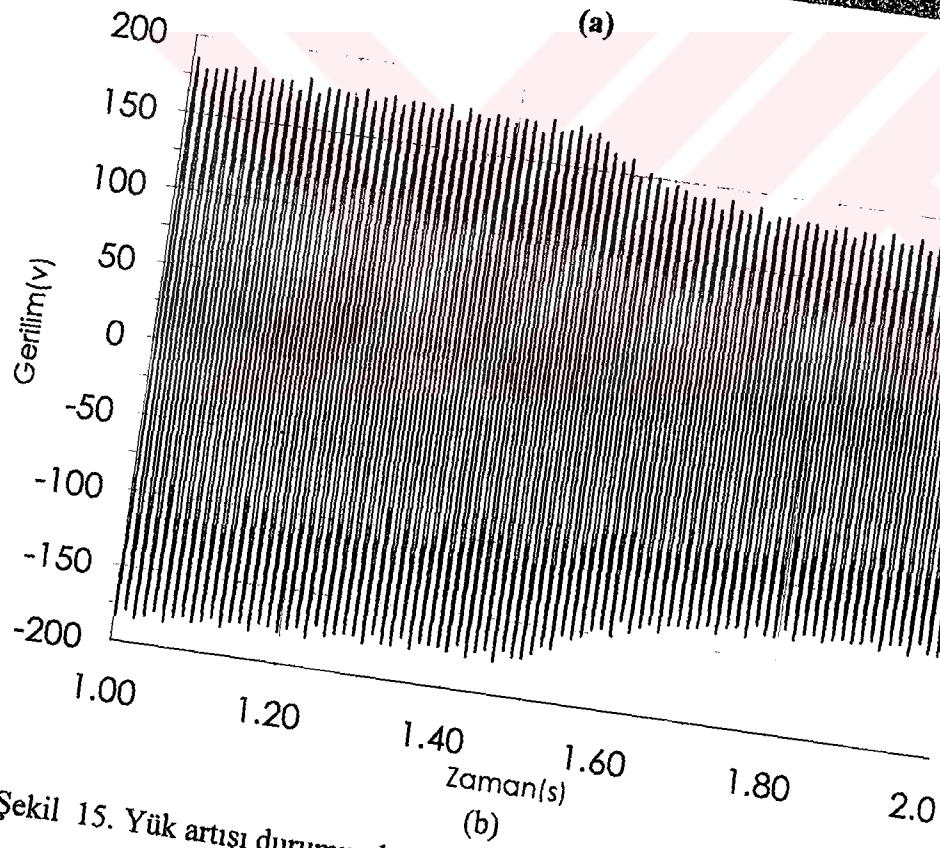
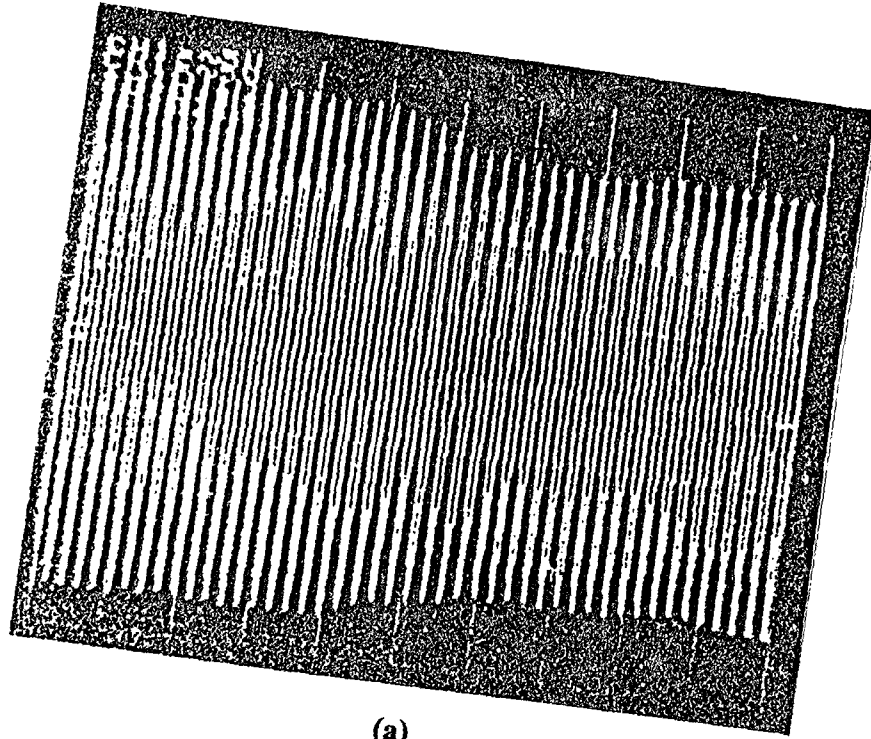
(b)

Şekil 14 . Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a=15\mu F$  )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu



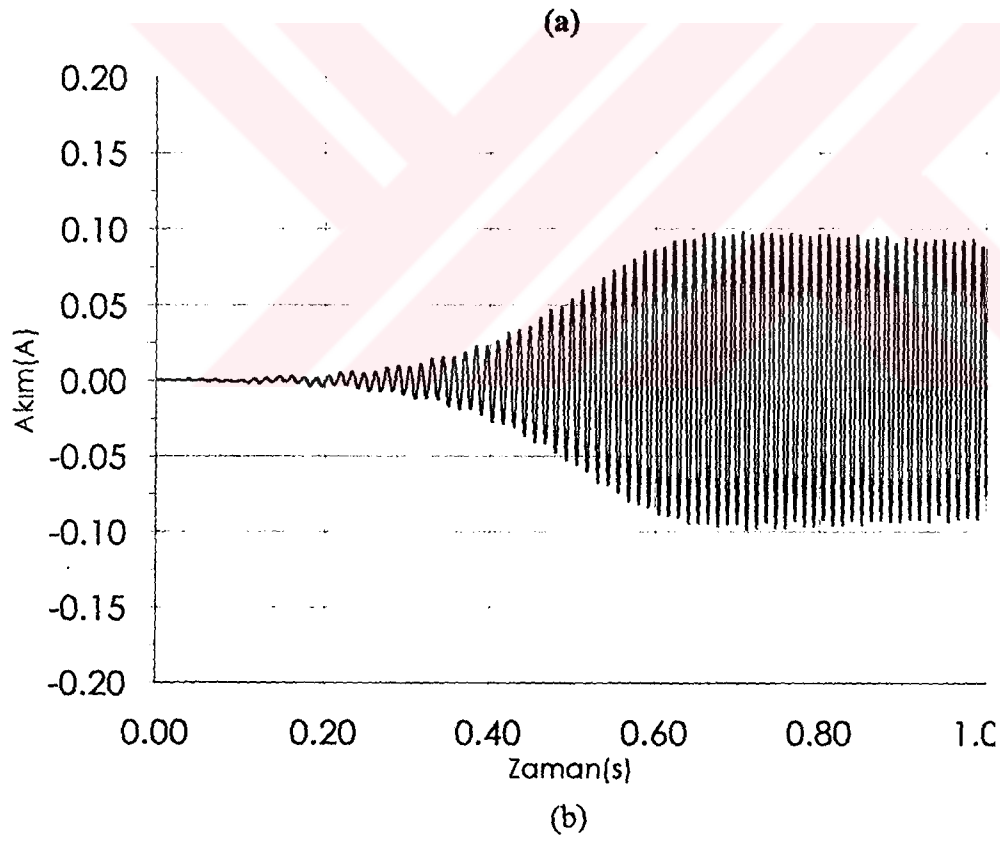
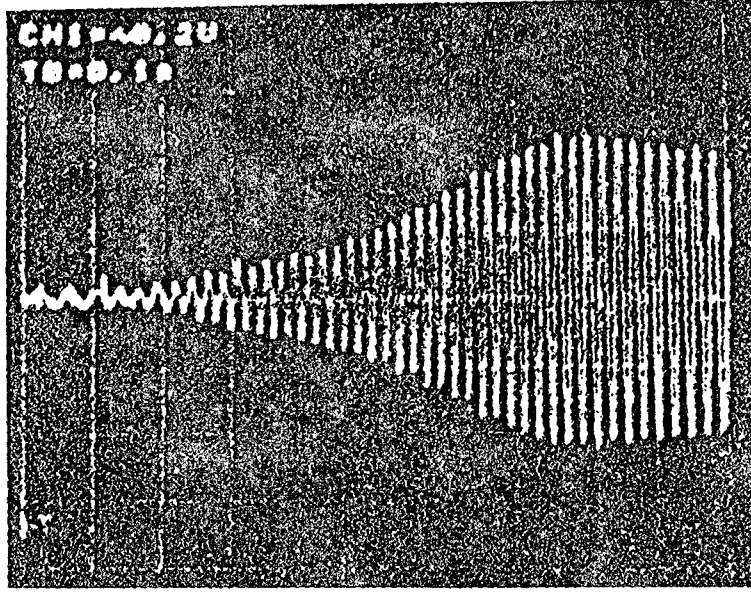


Şekil 15. Yük artışı durumunda uç gerilimi ( $C_a = 15\mu F$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu

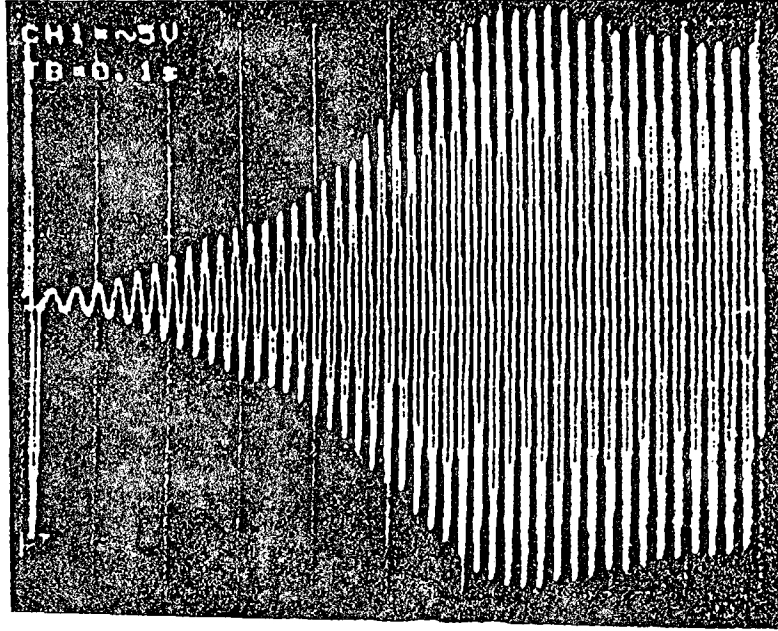




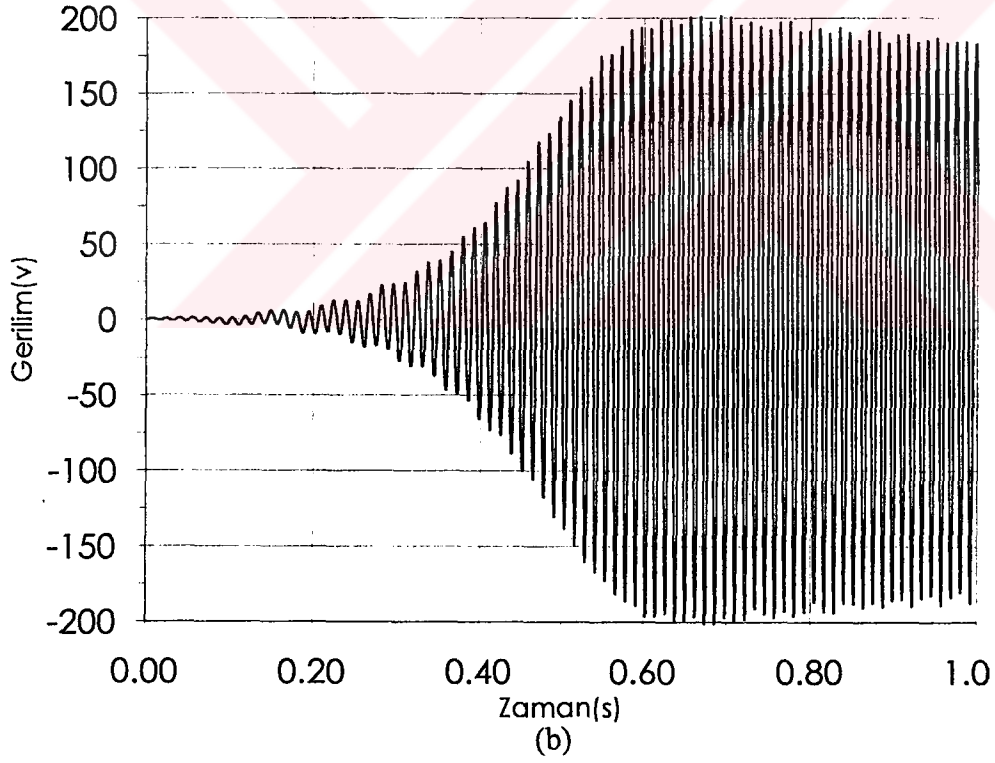
Şekil 16. Kendi kendini uyarma sürecinde yük akımı ( $C_a=15\mu\text{F}$ ,  $R_{\text{yük}}=2\text{k}\Omega$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu



(a)

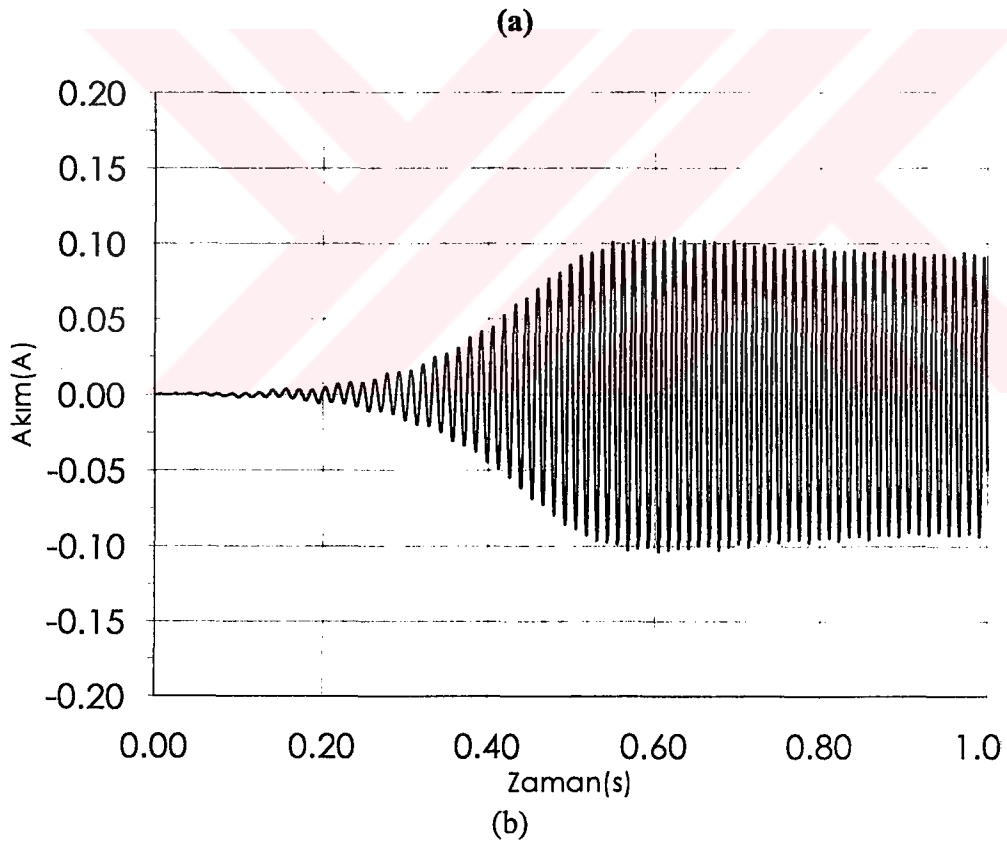
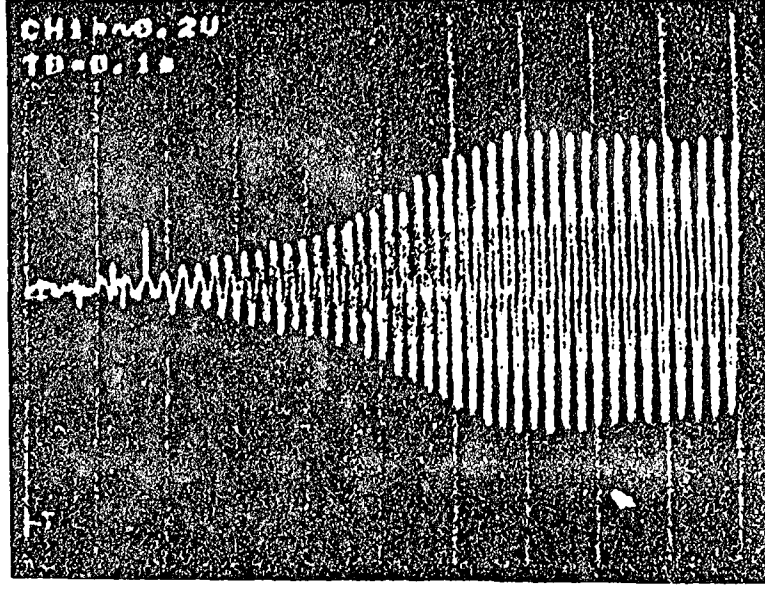


(b)

Şekil 17. Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a = 18\mu\text{F}$ )

(a) deneysel sonuç

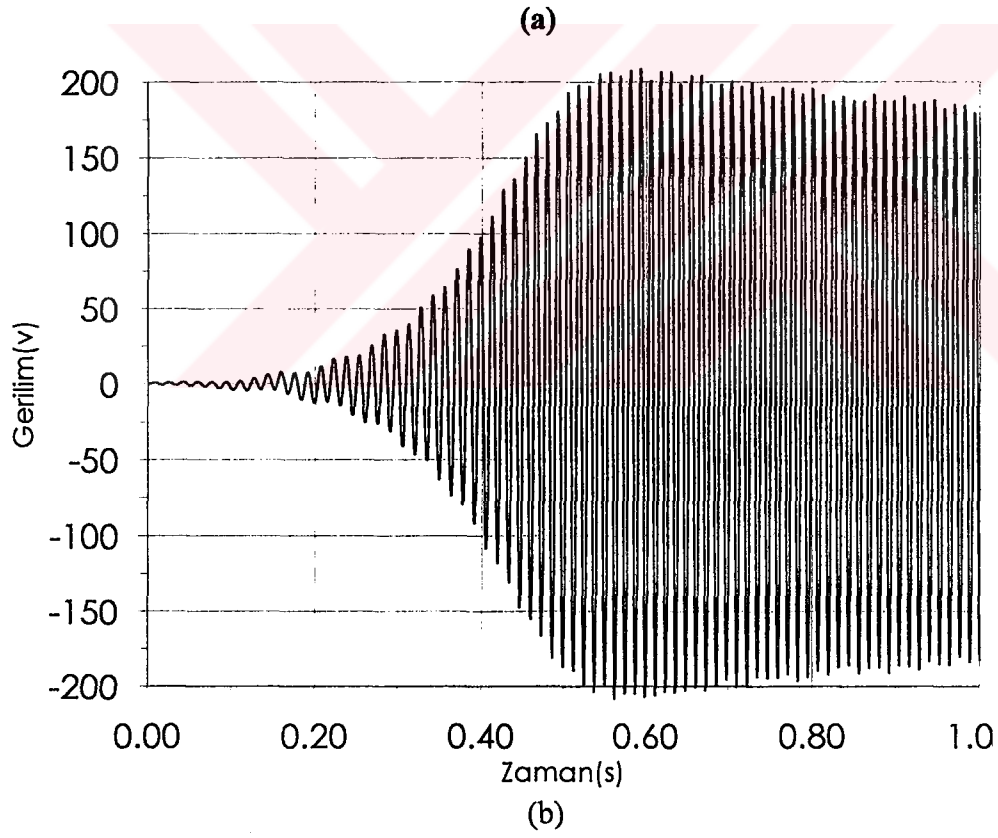
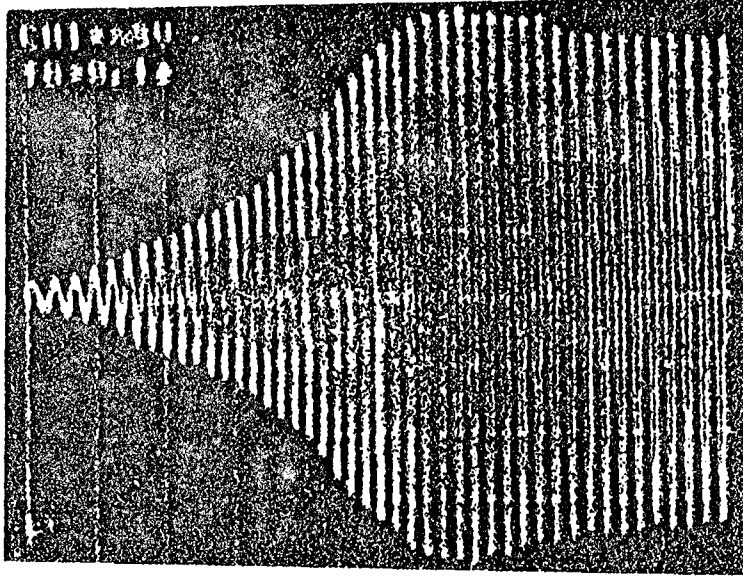
(b) bilgisayar sonucu



Şekil 18. Kendi kendini uyarma sürecinde yük akımı( $C_a=18\mu F$ ,  $R_{yük}=2k\Omega$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu

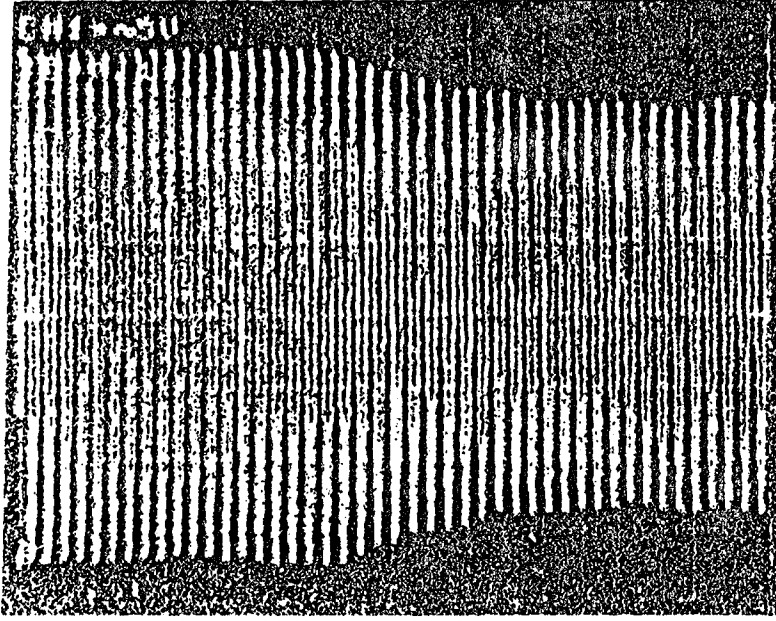


Şekil 19. Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a = 19\mu\text{F}$ )

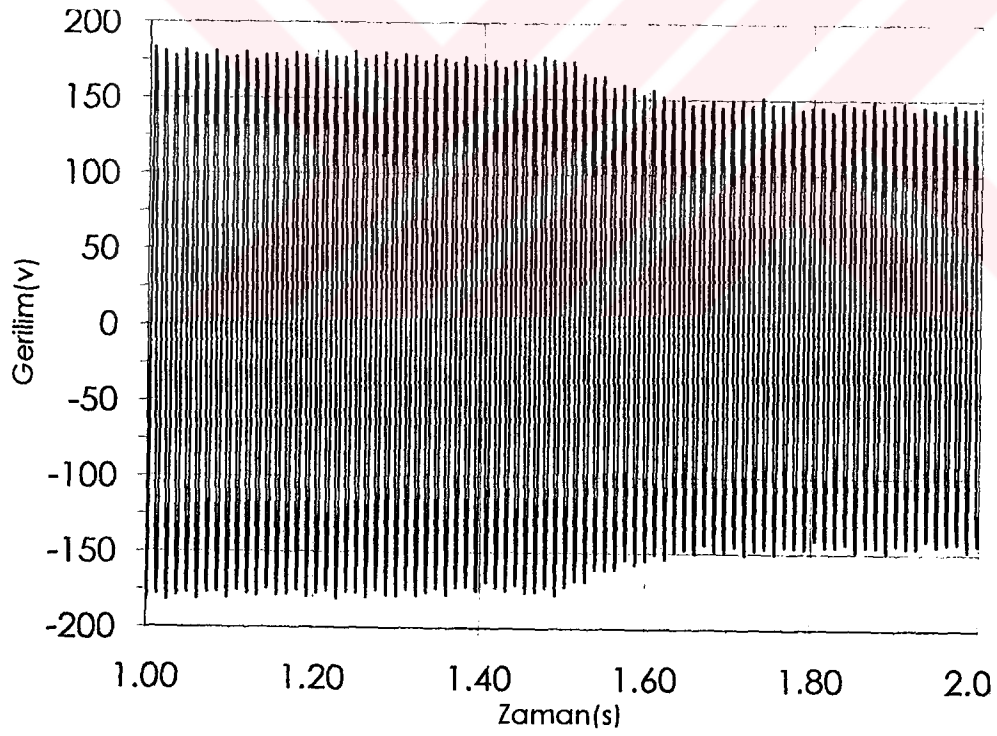
(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu





(a)

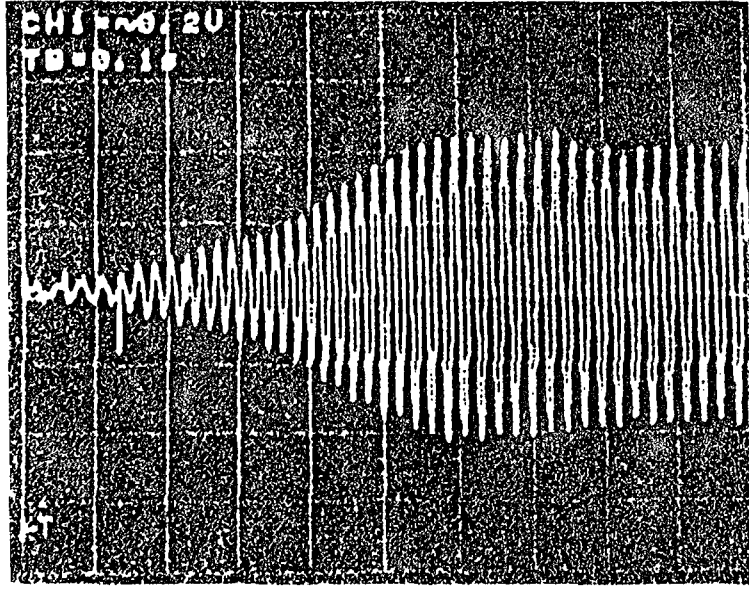


(b)

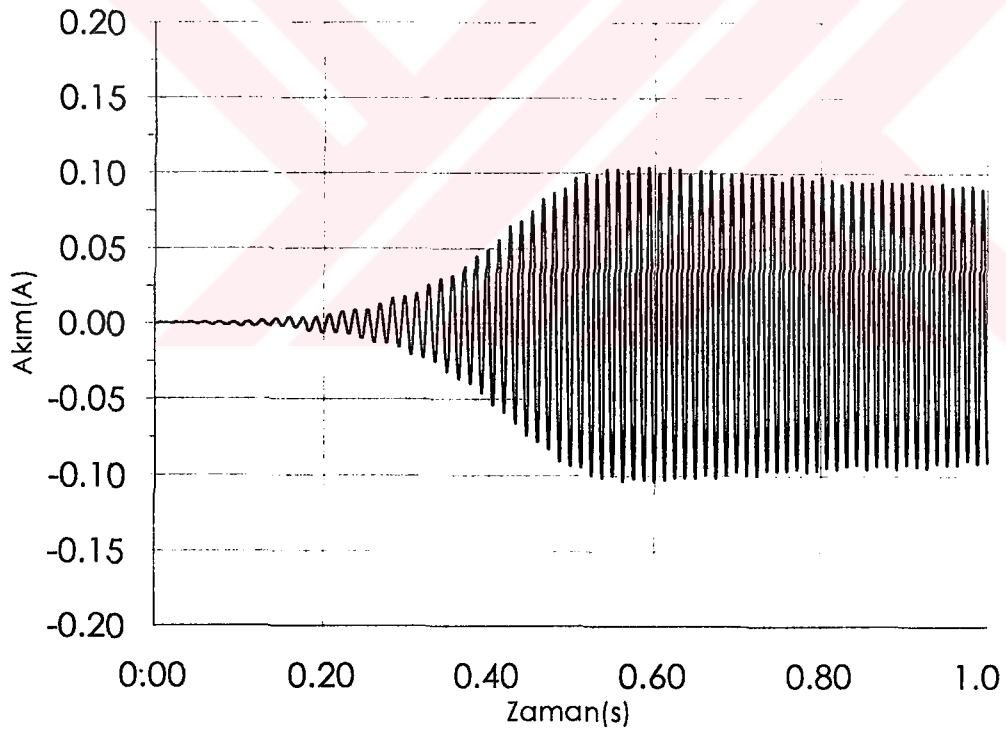
Şekil 20. Moment azalması durumunda uç gerilimi ( $C_a=19\mu\text{F}$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu



(a)

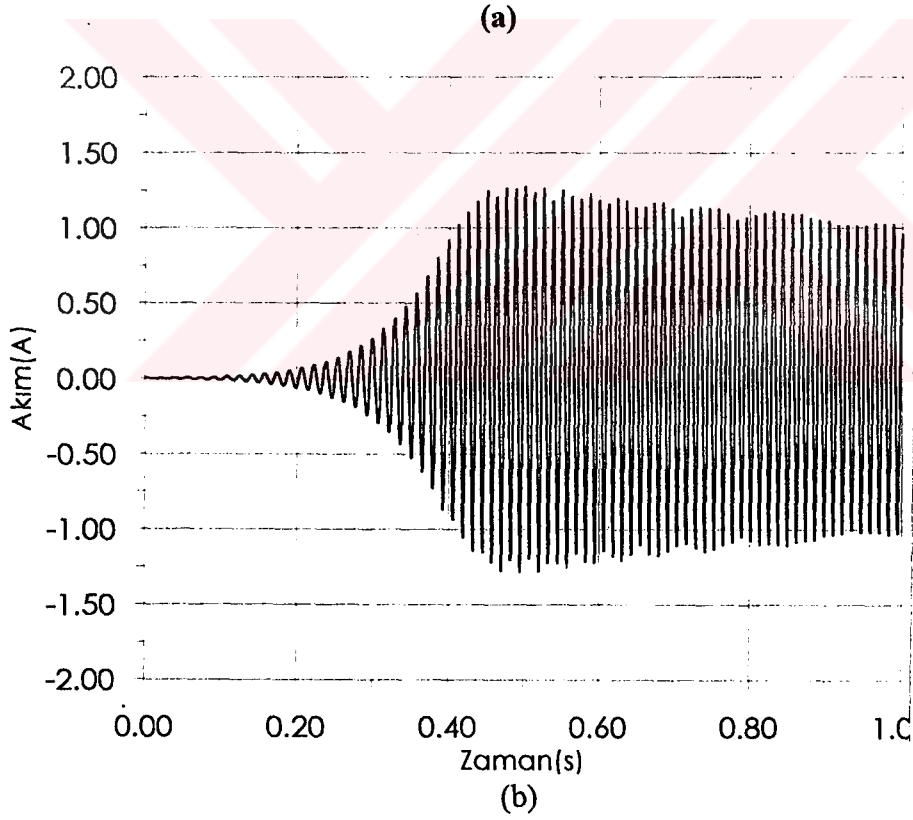
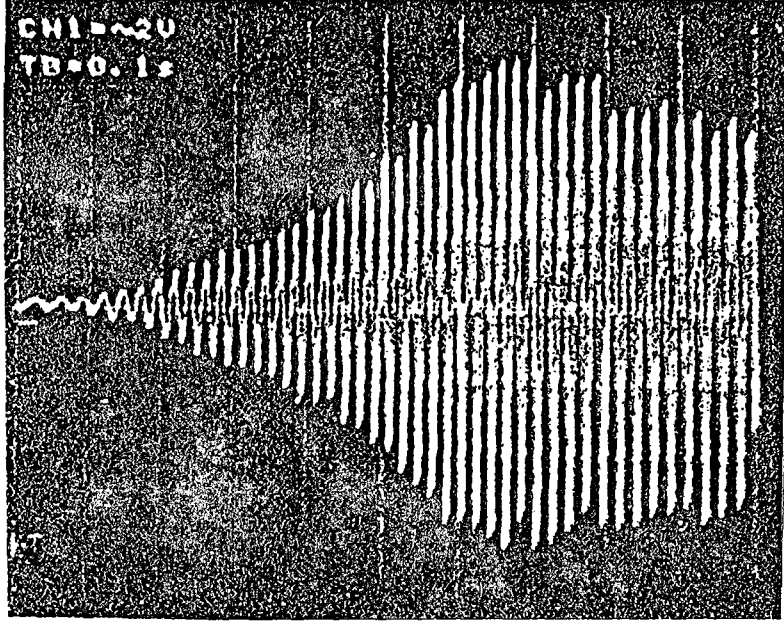


(b)

Şekil 21. Kendi kendini uyarma sürecinde yük akımı ( $C_a = 19\mu\text{F}$ ,  $R_{\text{yük}} = 2\text{k}\Omega$ )

(a) deneysel sonuç

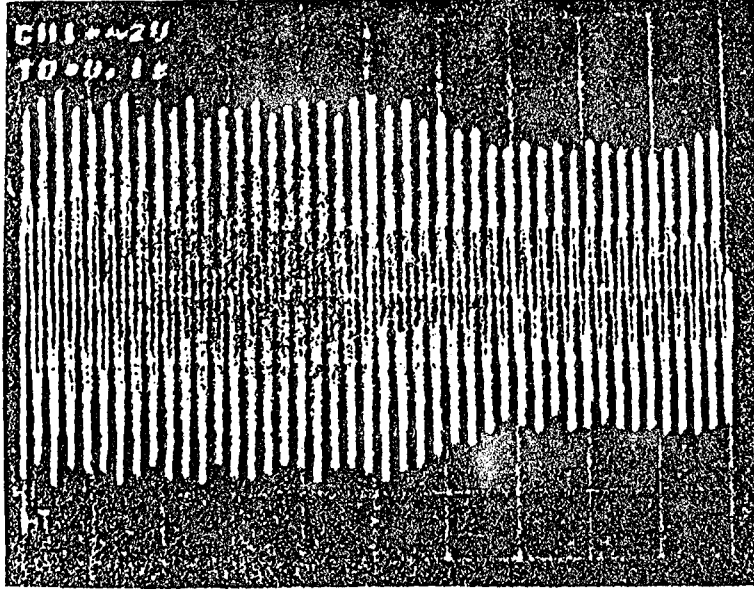
(b) bilgisayar sonucu



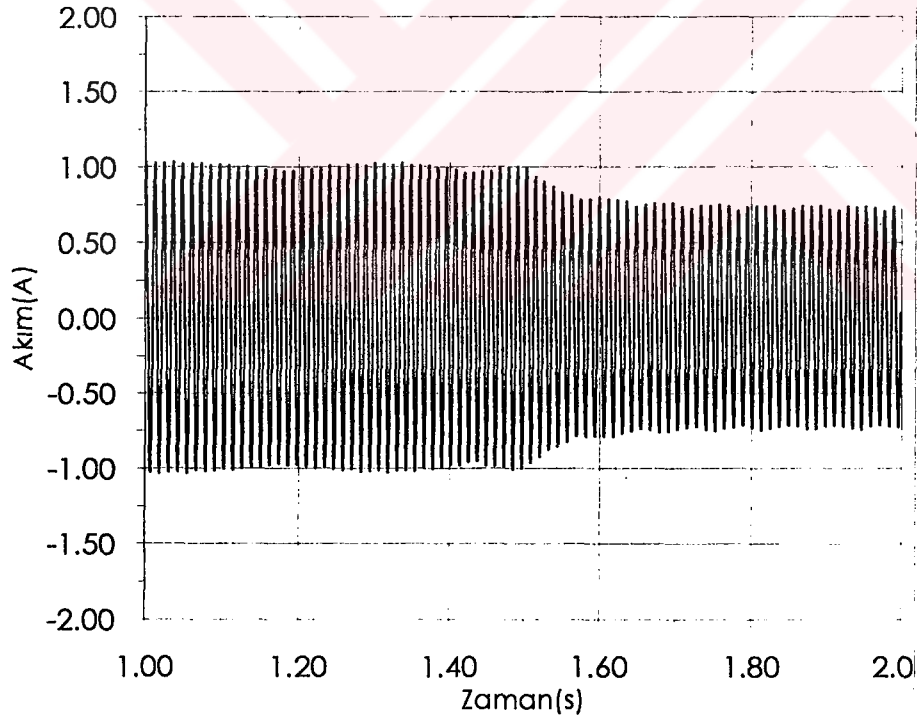
Şekil 22. Kendi kendini uyarma sürecinde ana sargı akımı ( $C_a = 19\mu\text{F}$ ,  $R_{\text{yük}} = 2\text{k}\Omega$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu



(a)



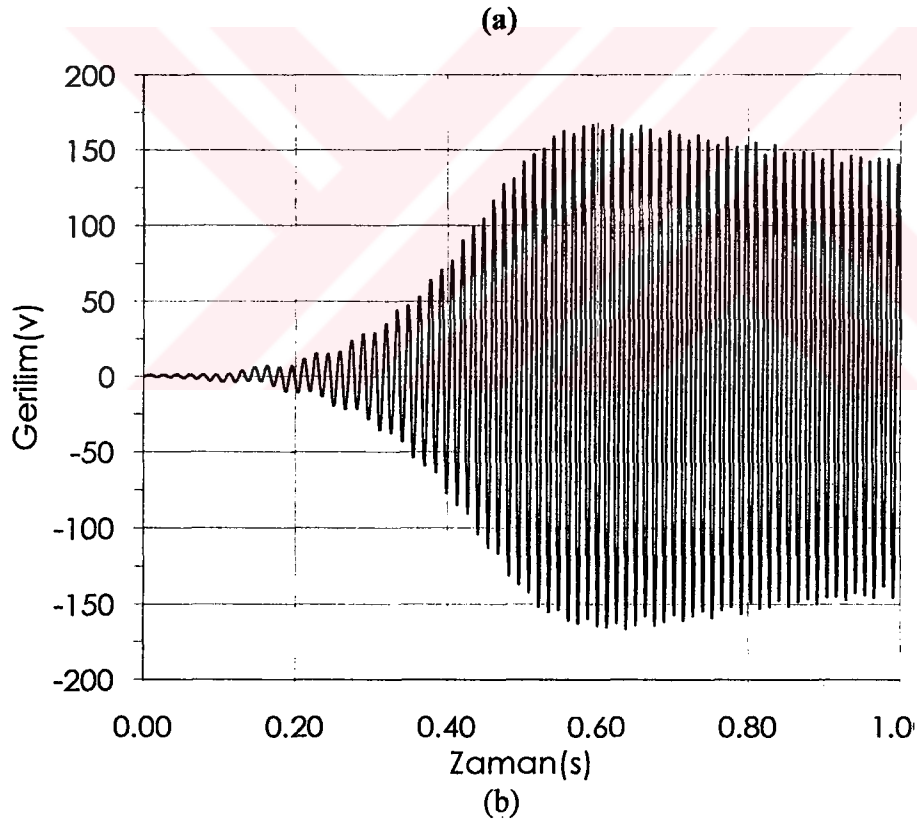
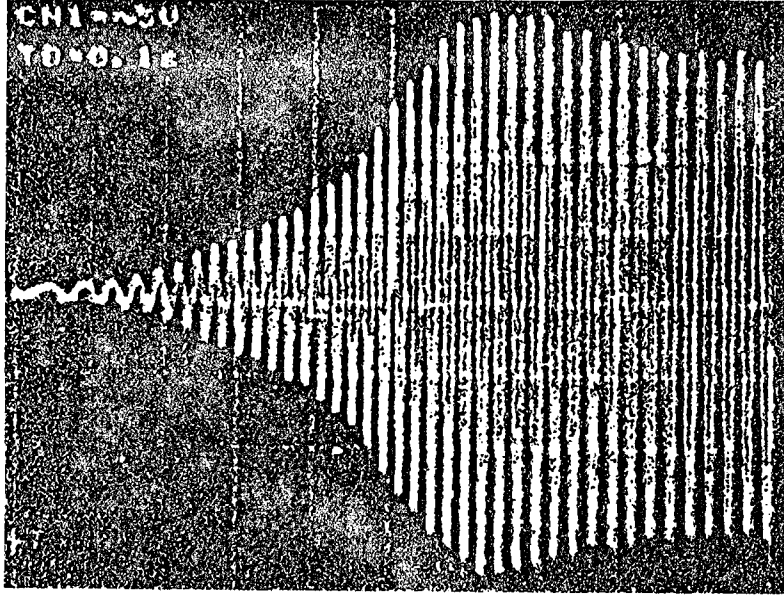
(b)

Şekil 23. Yük artışı durumunda ana sargı akımı ( $C_a=19\mu\text{F}$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu

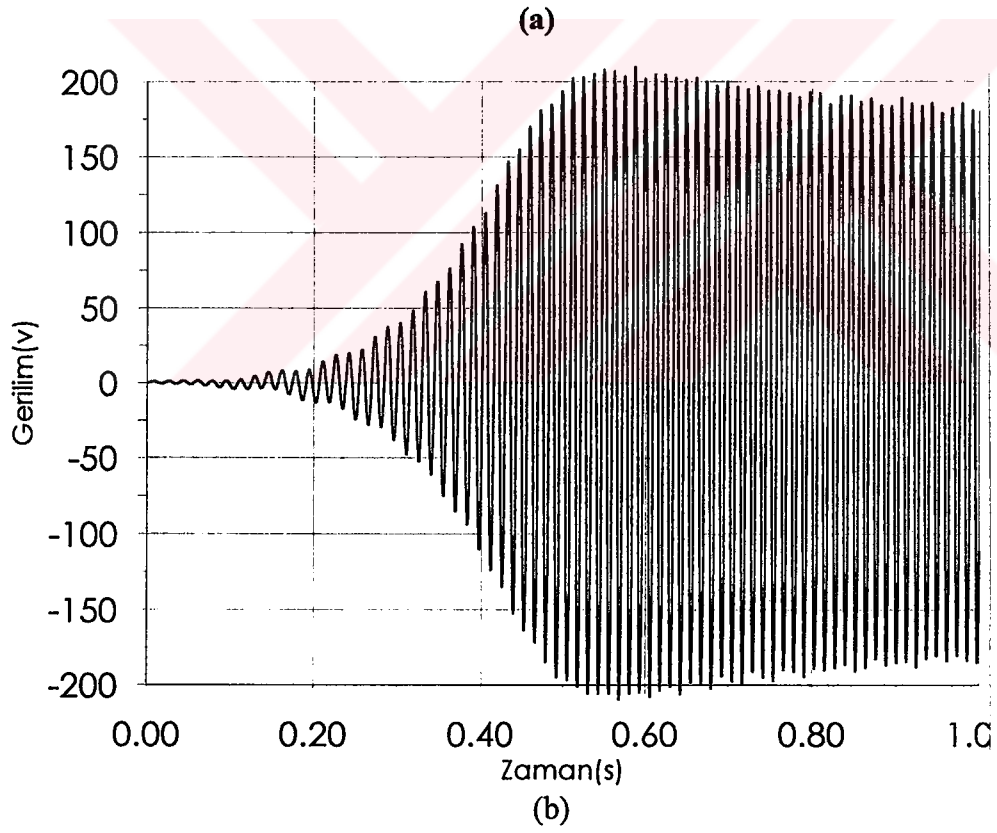
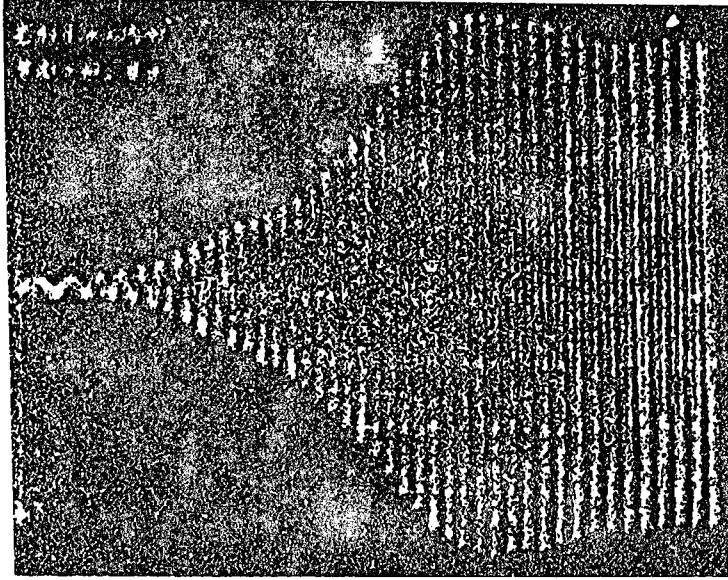




Şekil 24. Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a=19\mu\text{F}$ ,  $C_y=3.1\mu\text{F}$ )

(a) deneysel sonuç

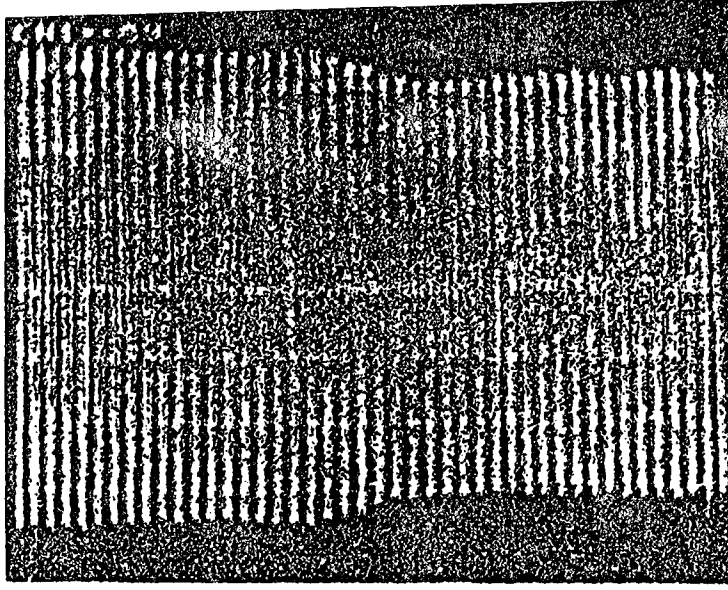
(b) bilgisayar sonucu



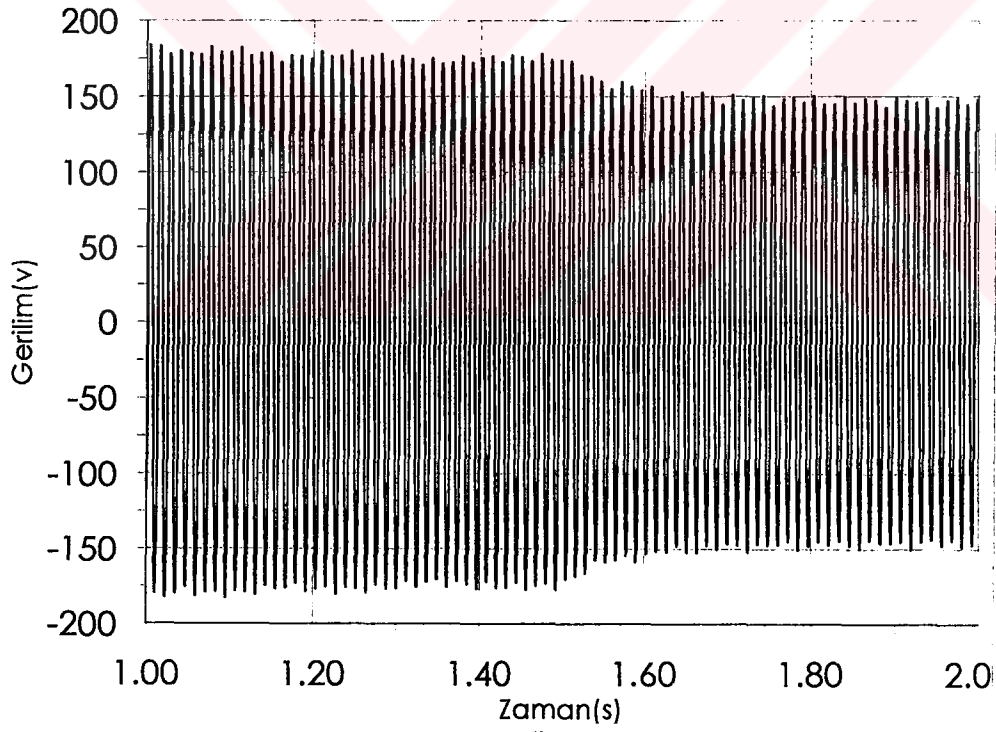
Şekil 25. Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a = 20\mu\text{F}$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu



(a)

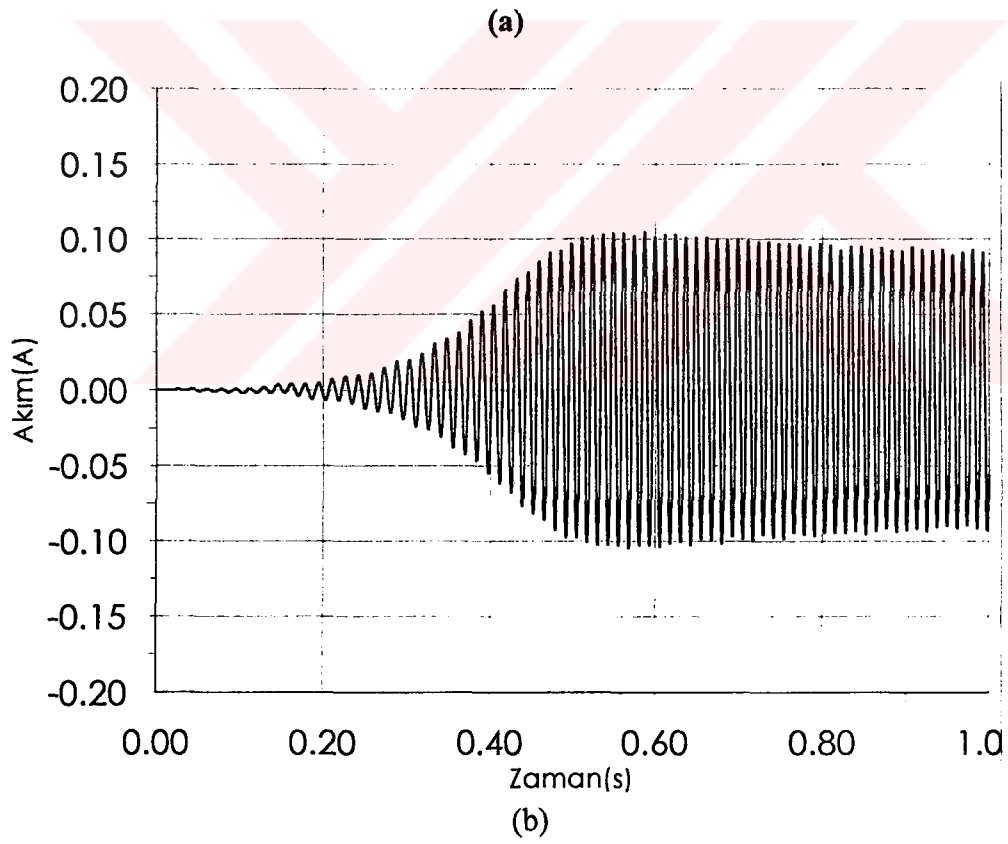
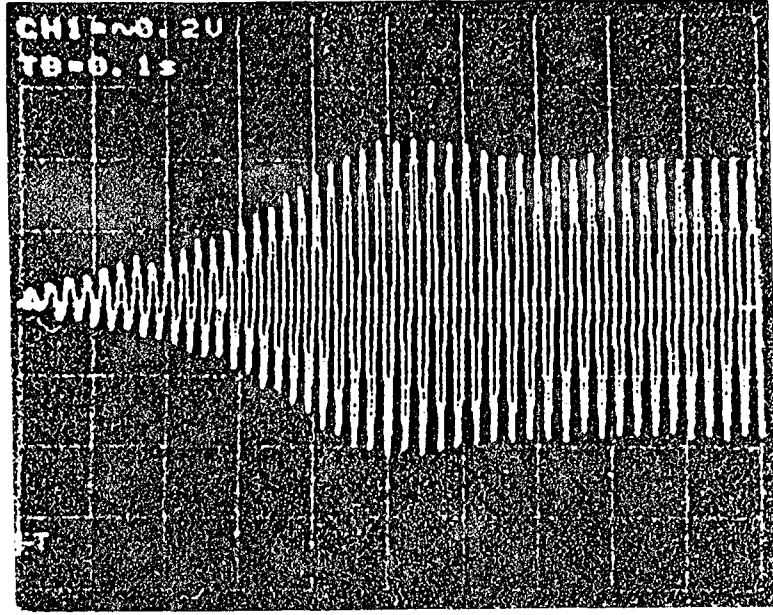


(b)

Şekil 26. Yük artışı durumunda uç gerilimi ( $C_a = 20\mu\text{F}$ )

(a) deneysel sonuç

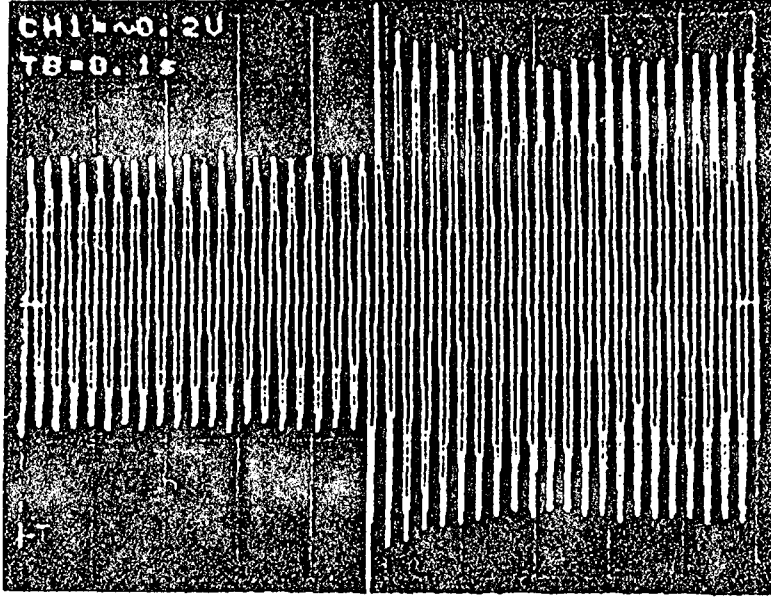
(b) bilgisayar sonucu



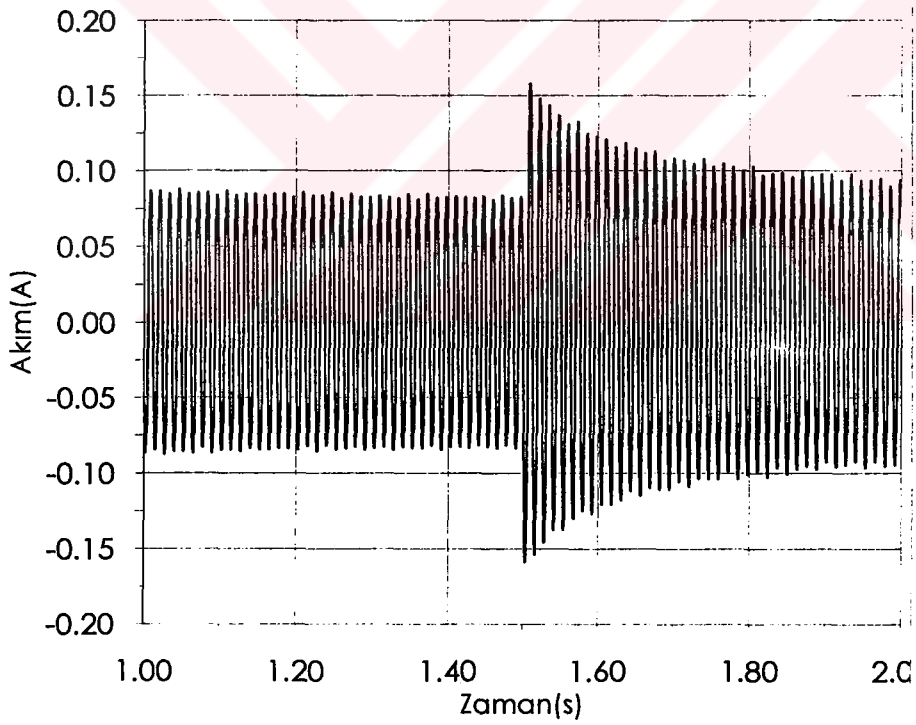
Şekil 27. Kendi kendini uyarma sürecinde yük akımı ( $C_a = 20\mu\text{F}$ ,  $R_{\text{yük}} = 2\text{k}\Omega$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu



(a)



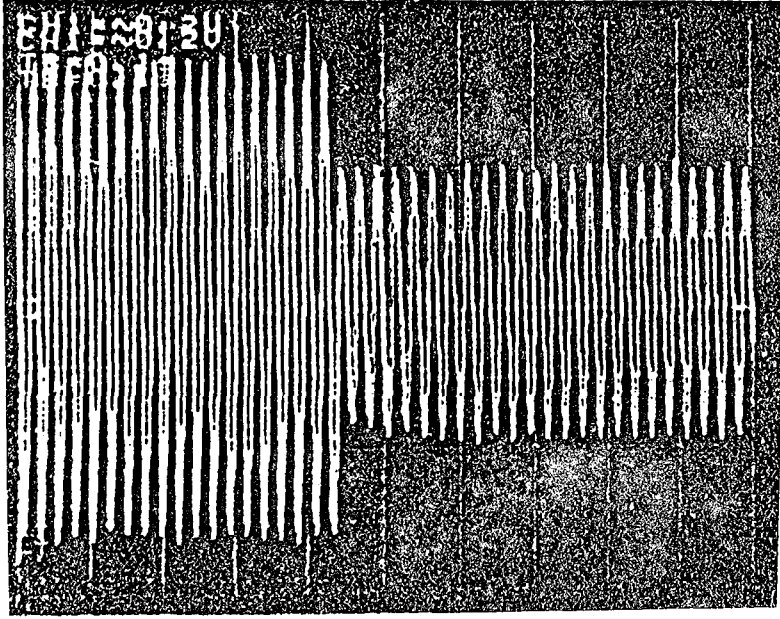
(b)

Şekil 28. Yük artışı durumunda yük akımı ( $C_a=20\mu\text{F}$ )

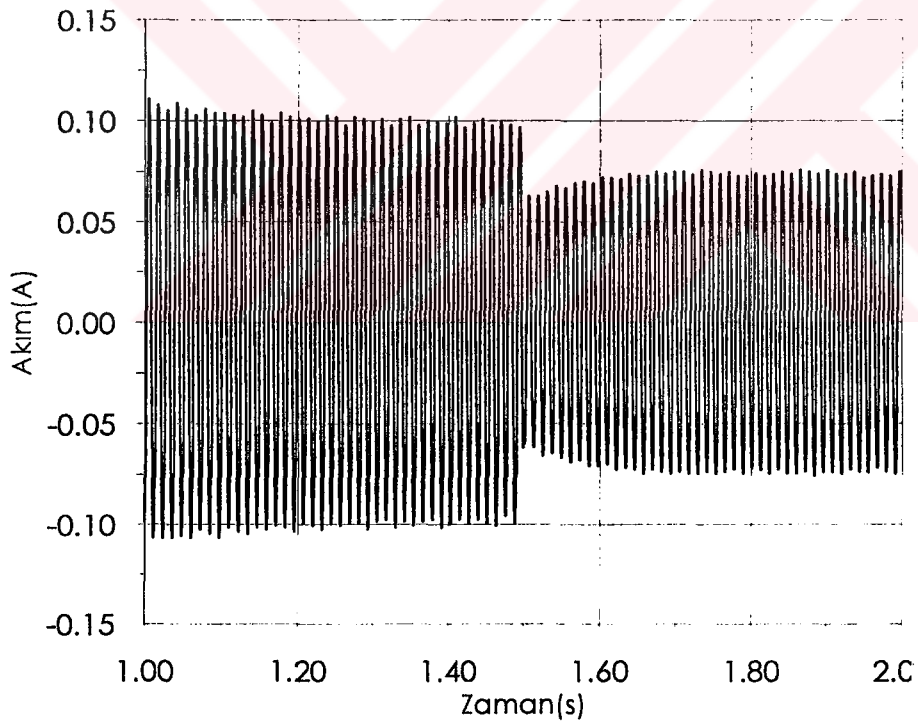
(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu





(a)

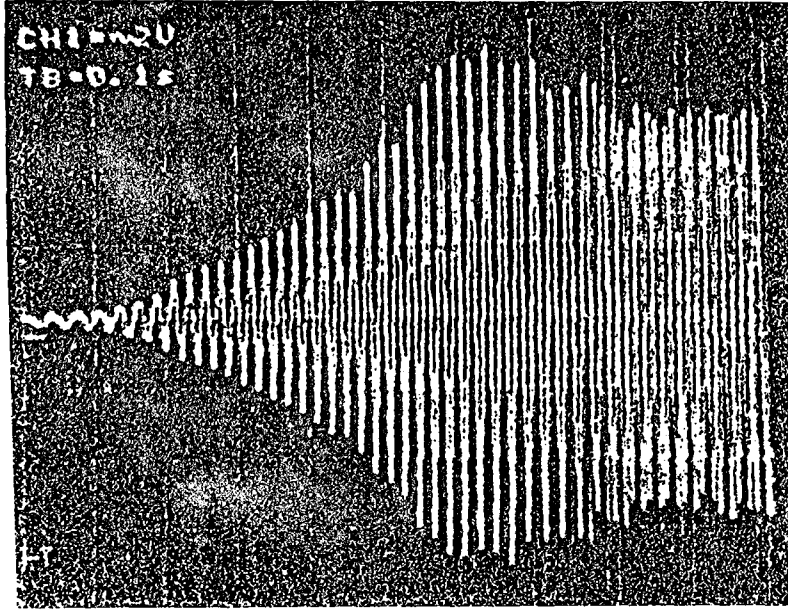


(b)

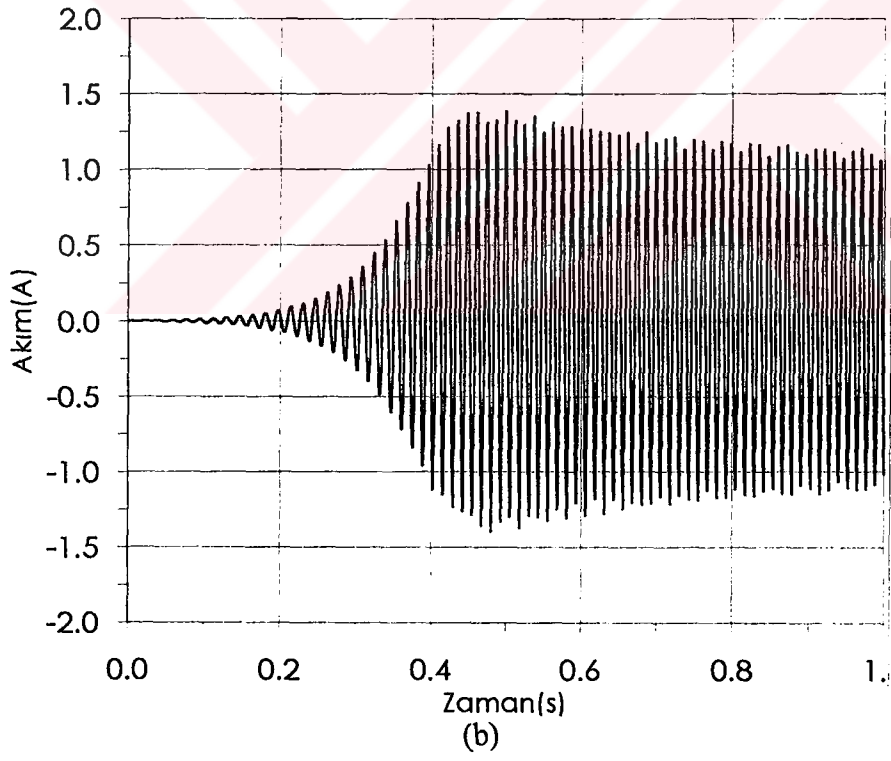
Şekil 29. Yük azalması durumunda yük akımı ( $C_a=20\mu\text{F}$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu



(a)

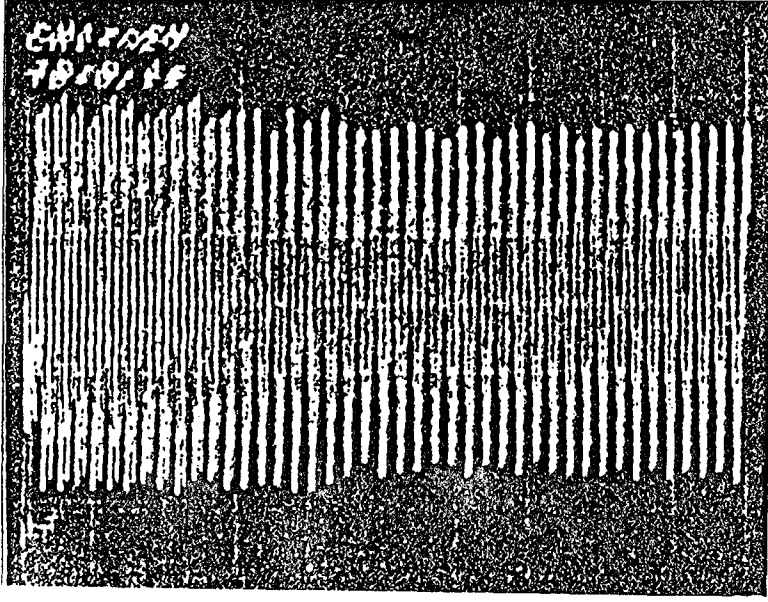


(b)

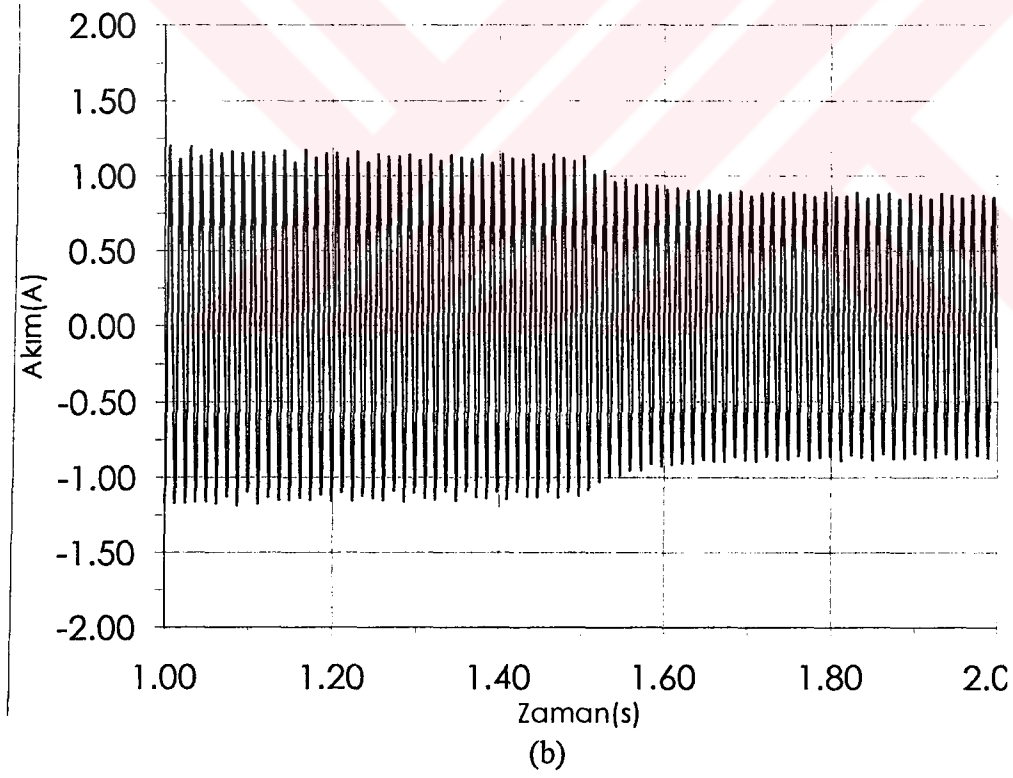
Şekil 30. Kendi kendini uyarma sürecinde ana sargı akımı ( $C_a=20\mu\text{F}$ ,  $R_{y\ddot{u}k}=2\text{k}\Omega$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu



(a)

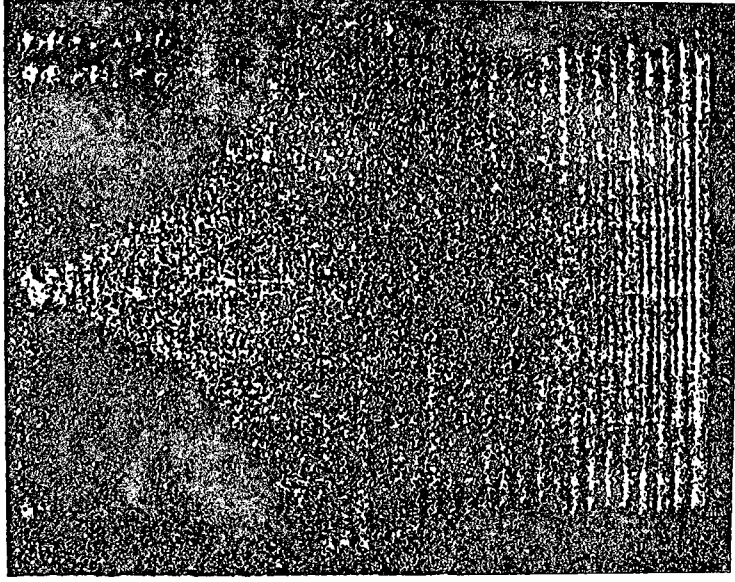


Şekil 31. Yük azalması durumunda ana sargı akımı ( $C_a=20\mu\text{F}$ )

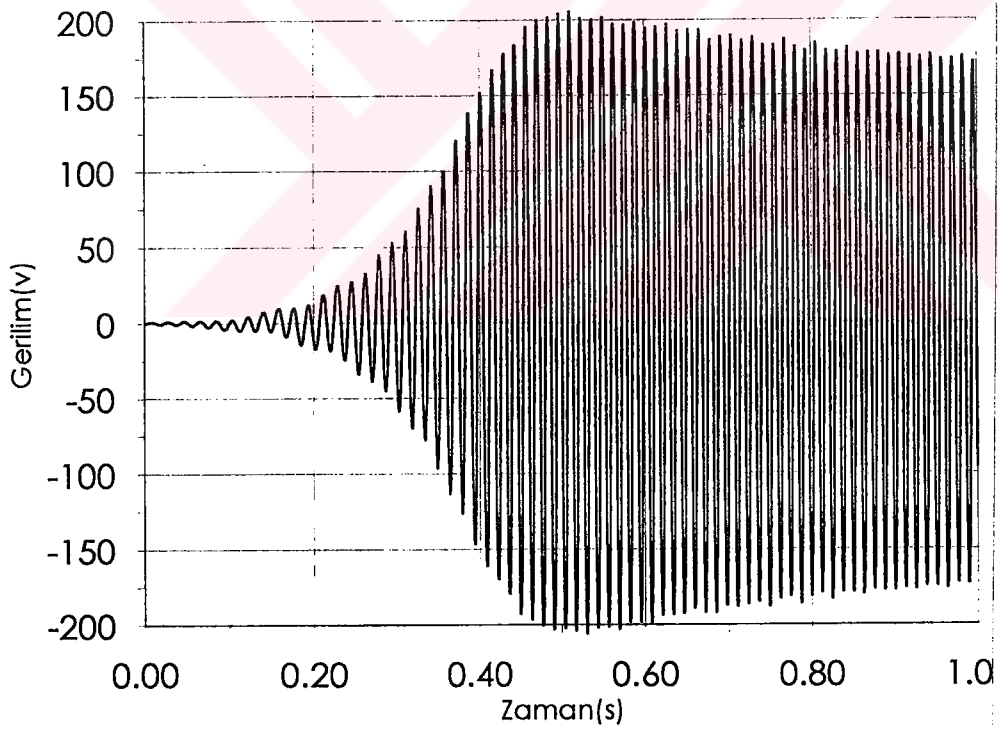
(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu





(a)

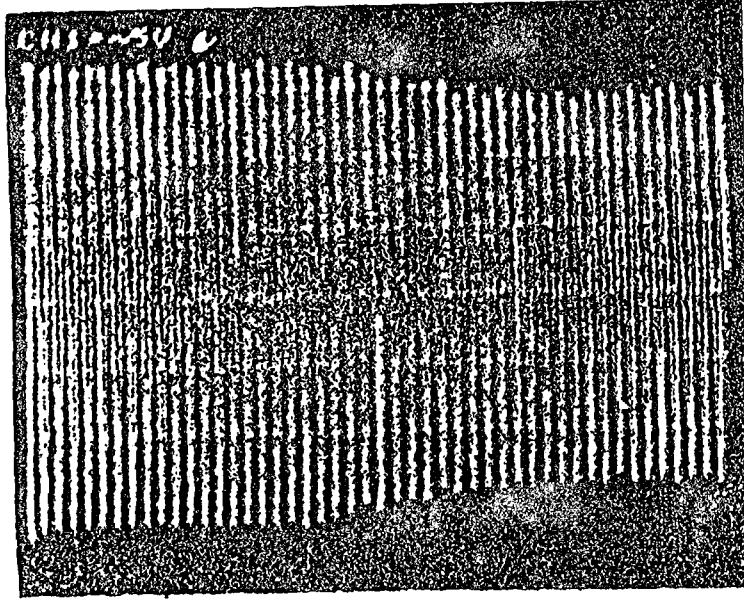


(b)

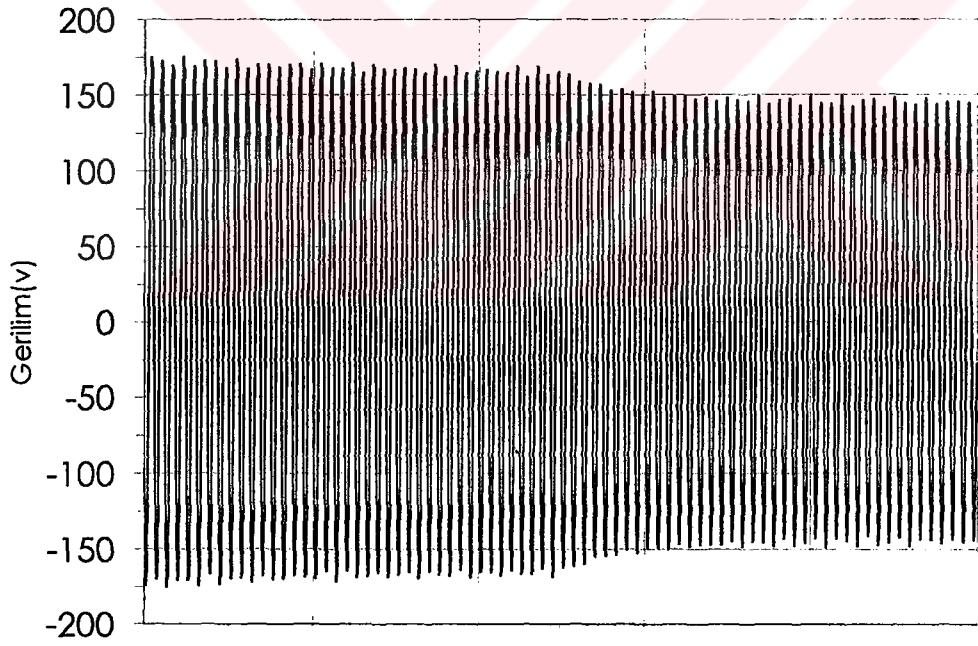
Şekil 32. Kendi kendini uyarma sürecinde uç gerilimi ( $C_a=25\mu\text{F}$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu



(a)

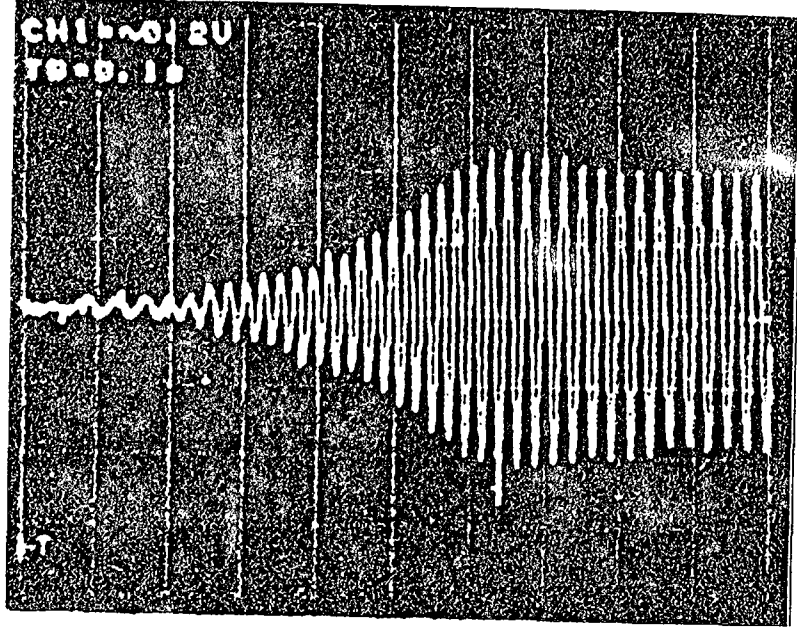


(b)

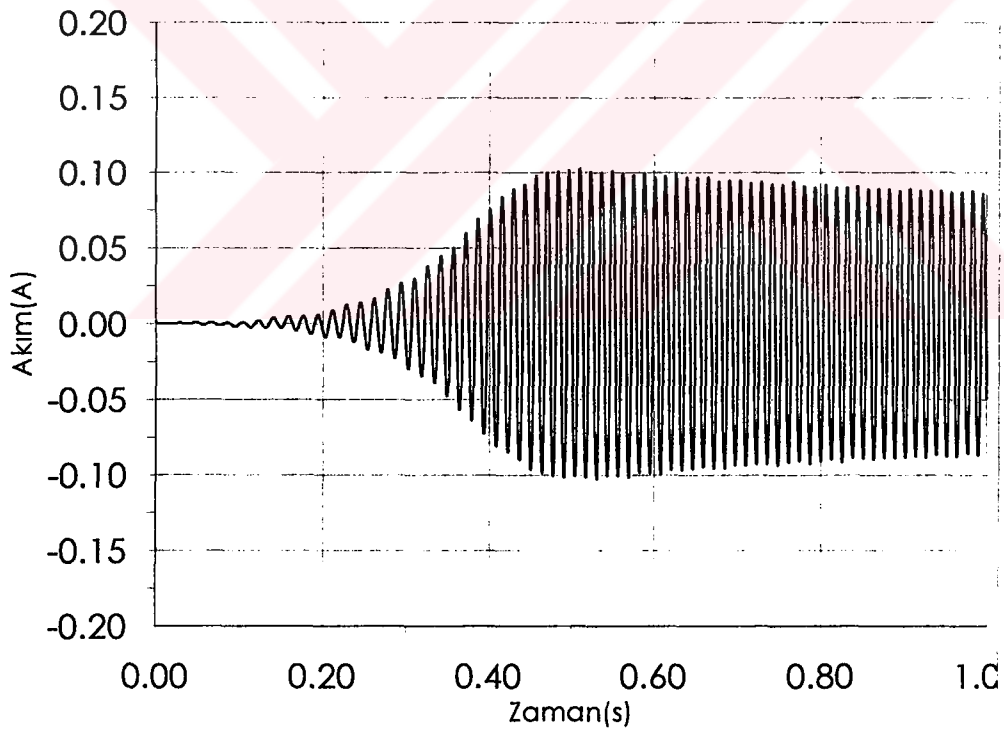
Şekil 33. Yük artışı durumunda uç gerilimi ( $C_a = 25\mu\text{F}$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu



(a)

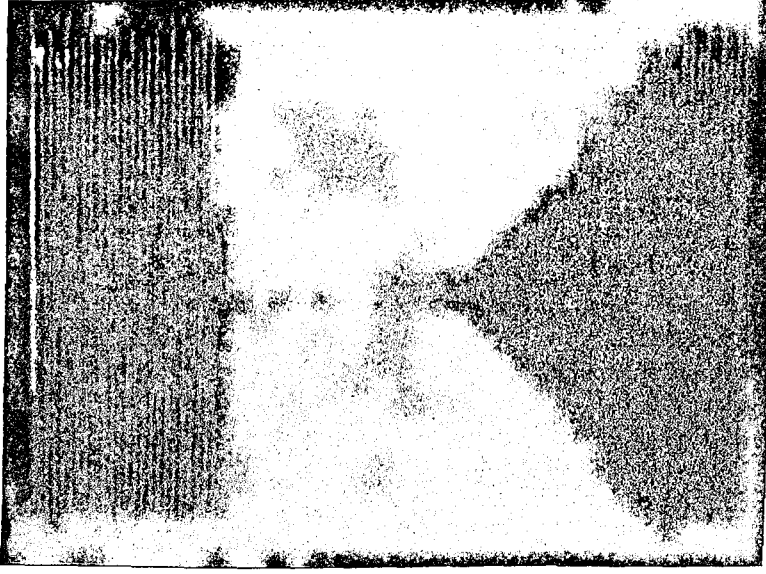


(b)

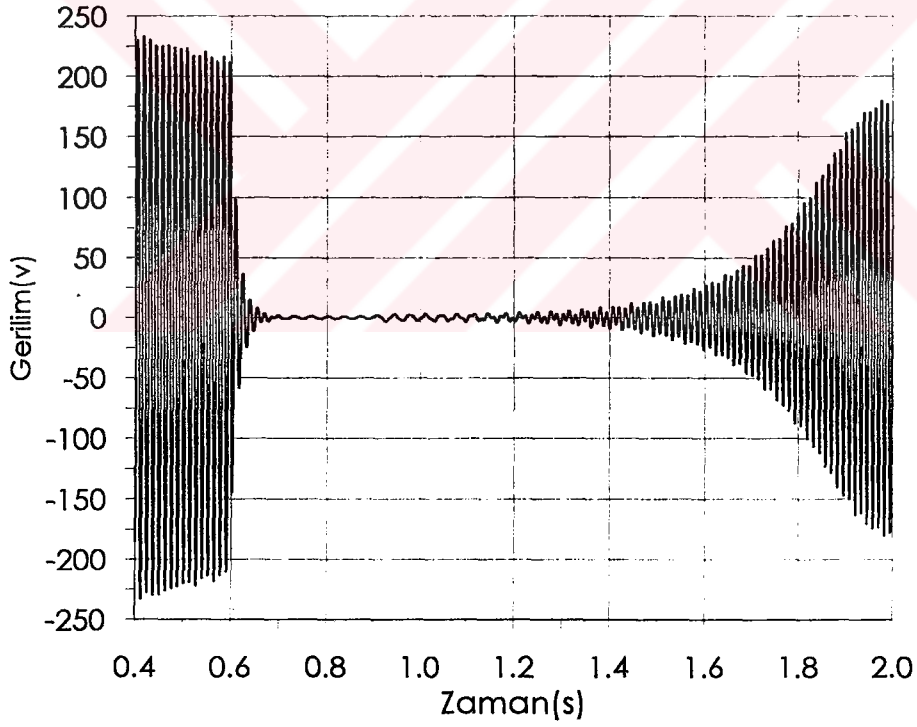
Şekil 34. Kendi kendini uyarma sürecinde yük akımı ( $C_a=25\mu\text{F}$ ,  $R_{\text{yük}}=2\text{k}\Omega$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu



(a)



(b)

Şekil 35. Kısa devre durumundan uyarıya geçişte uç gerilimi ( $C_a=25\mu F$ )

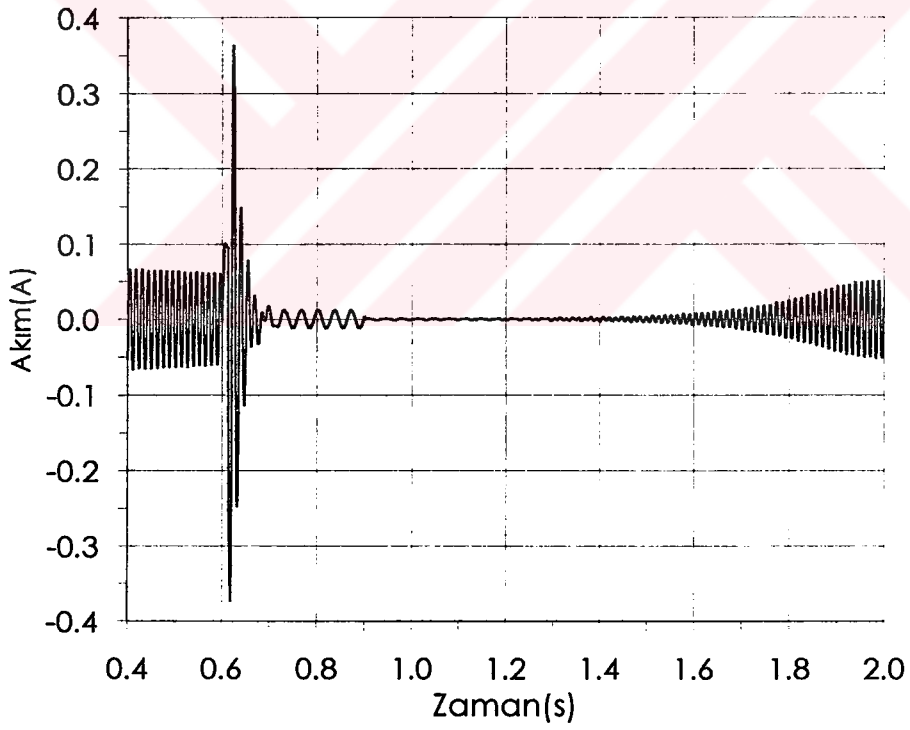
(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu





(a)



(b)

Şekil36. Kısa devre durumunda uyardıya geçişte yük akımı ( $C_a=25\mu\text{F}$ ,  $R_{\text{yük}}=3\text{k}\Omega$ )

(a) deneysel sonuç

(b) bilgisayar sonucu

#### 4. İRDELEME

Daha önceki bölümlerde söz edildiği gibi, asenkron generatörler doyum bölgesinde çalıştıkları için doyum olgusu ihmal edilemez. Bu nedenle bu çalışmada doyum göz önüne alınmış olup farklı kondansatör değerleri ve farklı yük akımları için makinanın davranışı incelenmiştir.

Dinamik denklemler çözülürken asenkron generatör ve doğru akım motoru birlikte düşünülmüş olup her iki makinanın dinamik denklemleri birleştirilmiştir.

Asenkron generatörün kendi kendini uyarabilmesi için bir artık mıknatıslığın olması gerektiği daha önceki bölümlerde ifade edilmişti. Yapılan deneylerde aşırı yük durumlarında ve generatörün kendini uyaramadığı durumlarda artık mıknatıslığın çok zayıfladığı görülmüş olup generatör çalışma için makine kısa bir süre motor olarak çalıştırılmıştır. Yeterli artık mıknatıslık sağlandığında makinanın tekrar kendi kendini uyardığı belirlenmiştir. Bilgisayar benzeşim programında artık mıknatıslığı karşılayacak şekilde mıknatıslanma akımına küçük bir değer verilmiştir.

Dinamik denklemlerin çözümünde dönüşüm matrisleri kullanılmamış olup denklemlerin doğrudan çözümüne gidilmiştir. Dinamik değişken olarak stator ve rotor akımları, yardımcı sargı kondansatörünün yükü, generatörün uç gerilimi ,doğru akım motorunun endüvi akımı ve açılma hızı seçilmiştir. Dinamik denklem takımı çözümünde dört adımlı Runge-Kutta yöntemi ; FORTRAN derleyicisinde kullanılmıştır.

Yapılan deneylerde yardımcı sargı kondansatörü değiştirilmeden sadece uyarma kondansatörü Ca değiştirilmiş ve bu durum incelenmiştir.

Elde edilen bilgisayar sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığı zaman oldukça yaklaşık sonuçların elde edildiği görülecektir. Görülen farklılıkların nedenleri; dinamik denklemler oluşturulurken yapılan varsayımlar, makine parametrelerinin tam doğrulukla ölçülememesi ve sayısal çözümlemede kullanılan yöntemlerin getirdiği hatalar sayılabilir.

Deneylerde 180 w , 1490 dev/dk , 4 Çift kutuplu ,kondansatör başlatmalı bir fazlı asenkron motor ,generatör olarak çalıştırılmıştır.

10.11.2017  
DOKÜMAN YASINCA

## 5. SONUÇLAR

Bilgilendirme bölümünde asenkron generatörlerin genel davranışından söz ederken mekanik gücü sabit olmayan ve küçük güçlü enerji kaynaklarında kullanılabileceği ifade edilmişti. Makinanın miline uygulanan mekanik gücün değişimine göre generatör uç geriliminin genliği , frekansına göre daha fazla değişmektedir. Moment azaltıldığında generatör kendini uyaramamakta ve artık mıknatıslığını tüketmektedir.

Yük değişimlerinde; kullanılan uyarma kondansatörünün değeri generatör uç gerilimini etkilemektedir. Yükün çektiği akım arttıkça ,uç gerilimin düşmemesi için uyarma kondansatörü değeri artırılmalıdır.

Yüksüz çalışma durumunda gerilimde aşmalar olup,kullanılan uyarma kondansatörünün değeri küçültülmelidir.

Uyarma kondansatörü büyüdükçe generatörün uyarma zamanı kısalmakta olup gerilimin genliği artmaktadır. Generatörün kendini uyarmasından sonra kondansatör değeri çok artırılsa üretilen gerilimin genliğinde dalgalanmalar olmaktadır.

Laboratuar aşamasında yapılan deneylerde,ana sargı ve yardımcı sargı ayrı ayrı uyarma kondansatörlerine bağlanma durumu da (iki fazlı asenkron generatör gibi) ayrıca incelenmiş olup seçilecek uyarma kondansatörlerinin sargı özendüktanslarına göre rezonans frekansları eşit olacak şekilde belirlenmesi gerektiği görülmüştür. Bu durumda uyarma sürecinde ve sürekli durumda küçük salınımlar görülmüştür. Zaman yetersizliği nedeniyle bu çalışma buraya dahil edilmemiştir.

Şekil-7'de verilen sistemde generatörün uyarma kondansatörü değerini artırmamak şartıyla fazla yüklenemediği görülmüştür. Buna rağmen kısa süreli olmak üzere generatörde aşırı yük (kısa devre durumu) denenmiştir.Kısa devre durumunda , generatör uç gerilimi aniden sıfıra düşmüş ,kısa devre durumu ortadan kaldırılınca generatör kendini aynı kondansatör değerinde tekrar uyarmıştır. Buna ilişkin deneysel ve bilgisayar benzeşim sonuçları elde edilmiştir. Kısa devre süresi fazla tutulduğunda generatör artık mıknatıslığını tükettiğinden , kısa devre durumunun kaldırılmasından sonra generatör tekrar kendini uyaramamıştır.

## 6.ÖNERİLER

Bu çalışmada modelleme yapılırken sürekli durumda açısal hızın sabit olduğu kabul edilmiştir. yapılan deneylerde yüke bağlı olarak hızın değiştiği görülmüş olup buda asenkron generatörün uç geriliminde dalgalanmalara ve gürültüye neden olmuştur. Yapılacak yeni bir çalışmada bu durum göz önüne alınmalı ve sistemim hızı uygun bir kontrol sistemi ile düzenlenmelidir. Bu kontrol sisteminin modeli generatör dinamik modeline dahil edilerek sayısal çözümleme yapılırsa generatör uç geriliminin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması daha gerçekçi olacaktır.

Sayısal çözümleme yapılırken başka derleyiciler kullanılırsa zaman ve kolaylık sağlayabilir.

Bu çalışmada dinamik değişken olarak akımların seçildiğinden söz edilmişti. Bu durum doymanın kolay gözlenmesi için faydalı olmasına rağmen denklemlerin daha karmaşık olmasına neden olmuştur. Bunun yerine dinamik değişken olarak akılar seçilebilir.

Makine parametreleri ölçülürken daha çok dikkat edilmeli ve gerçek değerlere mümkün olduğu kadar yaklaşılmalıdır. Aksi halde bilgisayar benzeşim programında sorunlar çıkabilmektedir. Özellikle rotor devresi parametreleri daha hassas ölçülmelidir.

Bundan sonraki çalışmalarda bir fazlı asenkron generatörlerin bir doğru akım motoru yerine gerçek küçük güçlü bir su türbini veya rüzgar türbini ile sürülmesi ve üretilen enerjinin düzeltilmesi incelenmesi durumunda, bu çalışma bir giriş olabilir.



Bir fazlı asenkron generatörlerin üç fazlı asenkron generatörlerde olduğu gibi kendi kendini uyarması için minimum kondansatör değeri belirlenmelidir. Bu çalışmada parametreleri verilmiş olan asenkron generatörün minimum kondansatör değerleri yüksüz durumda 200 volt uç gerilimi için  $C_y=2.1\mu\text{F}$  ve  $C_a=7.1\mu\text{F}$  deneysel olarak belirlenmiştir.  $2\text{k}\Omega$  'luk direnç yükünde minimum uyarma kondansatörü değeri  $C_a=12\mu\text{F}$  deneysel olarak belirlenmiştir. Ayrıca yük akımı arttıkça sistem gürültünün arttığı gözlenmiştir.

Uyarma alanı için doğru akım kaynağı gerektirmemesi,ucuz maliyetleri,bakım-onarım azlığı ve senkronizasyon kolaylığı gibi üstünlükleri nedeniyle aynı güçteki senkron generatörlere tercih edilebilir.



## 6.ÖNERİLER

Bu çalışmada modelleme yapılırken sürekli durumda açısal hızın sabit olduğu kabul edilmiştir. yapılan deneylerde yüke bağlı olarak hızın değiştiği görülmüş olup buda asenkron generatörün uç geriliminde dalgalanmalara ve gürültüye neden olmuştur. Yapılacak yeni bir çalışmada bu durum göz önüne alınmalı ve sistemim hızı uygun bir kontrol sistemi ile düzenlenmelidir. Bu kontrol sisteminin modeli generatör dinamik modeline dahil edilerek sayısal çözümlene yapılırsa generatör uç geriliminin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması daha gerçekçi olacaktır.

Sayısal çözümlene yapılırken başka derleyiciler kullanılırsa zaman ve kolaylık sağlayabilir.

Bu çalışmada dinamik değişken olarak akımların seçildiğinden söz edilmişti. Bu durum doymanın kolay gözlenmesi için faydalı olmasına rağmen denklemlerin daha karmaşık olmasına neden olmuştur. Bunun yerine dinamik değişken olarak akılar seçilebilir.

Makine parametreleri ölçülürken daha çok dikkat edilmeli ve gerçek değerlere mümkün olduğu kadar yaklaşılmalıdır. Aksi halde bilgisayar benzeşim programında sorunlar çıkabilmektedir. Özellikle rotor devresi parametreleri daha hassas ölçülmelidir.

Bundan sonraki çalışmalarda bir fazlı asenkron generatörlerin bir doğru akım motoru yerine gerçek küçük güçlü bir su türbini veya rüzgar türbini ile sürülmesi ve üretilen enerjinin düzeltilmesi incelenmesi durumunda, bu çalışma bir giriş olabilir.

## 7. KAYNAKLAR

- [1]. Sariođlu K., Elektrik Makinalarının Temelleri III, Asenkron Makinalar, İkinci Baskı, Çađlayan Kitabevi, İstanbul, 1983
- [2]. Krause P.C., Analysis of Electric Machinery, Second Edition, McGraw-Hill Book Co. Singapore, 1987
- [3]. Grantham C., Sutanto D., Mismail B., Steady-state and Transient Analysis of Self-excited Induction Generators, IEE Proceedings, Vol.136,Pt.B,No.2, March 1989,61-68
- [4]. Rahim Y.H.A., Alolah A.I., Al-Mudaiheem R.I., Performance of Single Phase Induction Generators, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.8,No.3, September 1993 389-395
- [5]. Murthy B.P., Nagamani C., Satyanarayana K.V.V., Studies on The Use of Conventional Induction Motors as Self-excited Induction Generators, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.3, No.4, December 1988, 842-848
- [6]. Bonert R., Self-excited Induction Generator with Excellent Voltage and Frequency Control, IEE Proc.-Gener.Transm.Distrib., Vol.145,No.1, January 1988,33-39
- [7]. Haque S.E., Malik M.H., Steady State Analysis and Performance of An Isolated Self-Excited Induction Generator, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.EC-1, No.3, September 1986, 134-139
- [8]. Çadırcı İ., Ermiş M., Double -output Induction Generator Operating at Subsynchronous and Supersynchronous Speeds: Steady-state Performance Optimisation and Wind-energy Recovery, IEE Proceedings-B, Vol.139,No.5, September 1992,429-441

- [9]. Salameh Z.M.,Kazda L.F., Analysis of the Double Output Induction Generator Using Direct Three-phase Model , IEEE Transactions on Energy Conversion , Vol. EC-2, No .2, June 1987, 182-187
- [10]. Murthy S.S., Nagaraj H.S., Design-based Computational Procedure for Performance Prediction and Analysis of Self-excited Induction Generators Using Motor Packages, IEE Proceedings, Vol.135, Pt.B.No.1, January 1988, 8-16
- [11]. Akpınar S.,Sayısal Çözümleme,KTÜ - MMF Fakülte Ders Notları,No:39,İkinci Baskı Trabzon 1994
- [12]. Özdemir M., Yardımcı Sargılı Bir fazlı Asenkron Motorun Doymalı Davranışının İncelenmesi ,Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Ens.,Trabzon 1991
- [13]. Fidan E., Sığaç Uyarımlı Asenkron Generatörler, Yüksek Lisans Tezi ,KTÜ Fen Bilimleri Ens.,Trabzon 1996
- [14]. Akpınar S., Sürücü Düzenek Ders Notları, KTÜ ,Trabzon 1998

## 8. EKLER

### EK-1 :Bir Fazlı Asenkron Generatörün Doymalı Dinamik Denklemlerini

#### Çözen Bilgisayar Benzeşim Programı

Bu Program  $[A].d/dt[x]=[B]$  biçimine getirilmiş  $nxn$  boyutlu differansiyel denklem takımını çözer ve dataları bir kütükte toplar.

```
dimension a(10,10),dx(10),b(10),fx(10),fa(10),fb(10),fc(10),fd(10)
```

```
dimension x(10),x0(10)
```

```
real La,Ly,M1,M2,qs,Jie,ia,iy,ic,id,Lc,Ld,iae,Le,Lf
```

```
common Va,pi,ndev,Te,t0,Tl
```

```
open(3,file='c:\slm.out')
```

```
open(4,file='c:\slm.bas')
```

```
pi=4.*atan(1.)
```

```
n=9
```

```
dt=0.001
```

```
tmax=2.
```

```
x0(1)=0.0
```

```
x0(2)=0.0
```

```
x0(3)=0.0
```

```
x0(4)=0.0
```

```
x0(5)=0.0
```

```
x0(6)=0.0
```

```
x0(7)=0.0
```

```
x0(8)=0.0
```

```
x0(9)=0.0
```

```
t0=0.0
```

```
Va=0.0
```

```
240 continue
```

```
ndev=x0(8)*60/(2*3.14)
```

```

Va=x0(5)
iae=x0(7)
as=x0(1)
Rl=2000.
if (t0.gt.1.5) then
  Rl=1000.
endif
ys=(Va/Rl)

```

c-----

c Burada as:ana sargı akımı, ys:yük akımı,Va:uç gerilimi  
c ve t0:zaman olarak yazılmak  
c atanmıştır.

c-----

```

write(*,55)t0,as,ndev,Va
55 format('t=',f8.3,2x,'is=',f7.3,1x,'n=',i7,1x,'Va=',f7.1)

```

```

write(4,77)t0,as,ndev,Va,ys
77 format(f8.3,' ',f7.3,' ',i7,' ',f7.1,' ',f7.3)

```

c-----Runge-Kutta yöntemi-----

```

do 1 ,l=1,n
1 x(l)=x0(l)
  t=t0
  call alt(fx,t,x,n)
  do 2 ,ja=1,n
  fa(ja)=fx(ja)
2 x(ja)=x0(ja)+dt*(fa(ja)/2.0)
  t=t0+dt/2.0
  call alt(fx,t,x,n)
  do 3 ,jb=1,n
  fb(jb)=fx(jb)
3 x(jb)=x0(jb)+dt*(fb(jb)/2.0)

```

```

t=t0+dt/2.0
call alt(fx,t,x,n)
do 4 ,jc=1,n
  fc(jc)=fx(jc)
4  x(jc)=x0(jc)+dt*fc(jc)
  t=t0+dt
  call alt(fx,t,x,n)
  do 5 ,jd=1,n
5  fd(jd)=fx(jd)
  do 6 j=1,n
  dx(j)=(dt*(fa(j)+2.0*fb(j)+2.0*fc(j)+fd(j)))/6.0
6  x0(j)=x0(j)+dx(j)
c-----
t0=t0+dt
if (t0.le.tmax) then
go to 240
end if
stop
end"
c  ***  Alt Program  ***
subroutine alt(fx,t,x,n)
dimension a(10,10),x(10),b(10),fx(10)
real La,Ly,M1,M2,Jie,ia,iy,ic,id,Lc,Ld,s,iae,Le,Lf,qs
common Va,Te,pi,ndev,t0,Tl
c data data data data data data data data data data data
ndev=x(5)*60./(2.*3.14)
u=0.52
uu=u*u
M1=(0.3051/(0.41+0.175*x(1)**2))
M2=(0.258/(0.415+0.175*x(2)**2))
La=(0.366/(0.41+0.175*x(1)**2))
Ly=(0.278/(0.4749+0.201*x(2)**2))

```

```

Lα=La/uu
Lβ=Lα /uu
Ra=19.3
Ry=76.2
Rα=Ra/uu
Rβ=Rα
ca=20.1e-6
cy=2.1e-6
jie=0.0111
Le=71.3e-3
Lf=1.076
Po=2.
Rl=2000.
if (t0.gt.1.5) then
  Rl=1500.
endif
c data sonu  data sonu  data sonu  data sonu  data sonu
  do 35 j0=1,n
  do 35 l0=1,n
35 a(l0,j0)=0.0
c-----
  ia=x(1)
  iy=x(2)
  ic=x(3)
  id=x(4)
  Va=x(5)
  qs=x(6)
  iae=x(7)
  pteta=x(8)
  teta=x(9)
c*** Aşağıdaki denklemlerde kullanılan kısaltmalar***
  aa=M1*cos(teta)

```



$$bb=M1*\sin(teta)$$

$$cc=M2*\cos(teta)$$

$$dd=M2*\sin(teta)$$

c\*\*\*\*\*-----\*\*\*

$$Te=Po*(-bb*ic*ia+aa*id*ia-cc*ic*iy-dd*id*iy-bb*ia*ic)$$

$$Tl=Po*(-cc*iy*ic+aa*ia*id-dd*iy*id)+Te$$

c-----

$$a(1,1)=La$$

$$a(1,3)=aa$$

$$a(1,4)=bb$$

$$a(2,2)=Ly$$

$$a(2,3)=-dd$$

$$a(2,4)=cc$$

$$a(3,1)=aa$$

$$a(3,2)=-dd$$

$$a(3,3)=Lc$$

$$a(4,1)=bb$$

$$a(4,2)=cc$$

$$a(4,4)=Ld$$

$$a(5,5)=ca$$

$$a(5,6)=0.$$

$$a(6,6)=1.$$

$$a(7,7)=Le$$

$$a(8,8)=jie$$

$$a(9,9)=1.$$

c\*\*\*\*\*-----\*\*\*\*\*

$$b(1)=Va+Po*pteta*bb*ic-Po*pteta*aa*id+Ra*ia$$

$$b(2)=Va+Po*pteta*cc*ic+Po*pteta*dd*id+Ry*iy+qs/cy$$

$$b(3)=+Po*pteta*bb*ia+Po*pteta*cc*iy-Rc*ic+0.3$$

$$b(4)=-Po*pteta*aa*ia+Po*pteta*dd*iy-Rd*id+0.3$$

$$b(5)=+ia+iy-Va/Rl$$

$$b(6)=iy$$

$$b(7)=130-pteta*Lf*0.33-6.4*iae$$

$$b(8)=-Tl+Lf*0.33*iae-0.018*pteta$$

$$b(9)=pteta$$

c\*\*\*\* \*\*\*\*

---

m=n

mi=m-1

do 170 i=1,n-1

fn=a(i,i)

do 100 j=1,n

100 a(i,j)=a(i,j)/fn

b(i)=b(i)/fn

do 160 k=i+1,n

fm=a(k,i)

if (fm.eq.0.0) go to 160

do 150 nn=1,n

150 a(k,nn)=a(k,nn)-a(i,nn)\*fm

b(k)=b(k)-b(i)\*fm

160 continue

170 continue

fx(m)=b(m)/a(m,m)

i=mi

200 sum=0.0

il=i+1

do 250 j=il,m

250 sum=sum+a(i,j)\*fx(j)

fx(i)=(b(i)-sum)/a(i,i)

i=i-1

if (i.gt.0) go to 200

return

end

## 9. ÖZGEÇMİŞ

Selami KESLER; 1972 yılında Gümüşhane ili Kelkit ilçesinde doğdu. İlköğrenimini 1976-1981 yılları arasında Köse Merkez İlkokulu'nda okudu. Ortakulu 1984 yılında Gümüşhane Atatürk Ortaokulu'nda , liseyi 1987 yılında Gümüşhane Lisesi'nde tamamladı. 1991 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden Elektrik Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. 1992 yılında Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar Bölümü'ne Öğretim Görevlisi olarak atandı. Aynı yıl başladığı yüksek lisansına tez döneminde ara vererek 1995 yılı sonunda askerlik görevini tamamladı. 1997-1998 öğretim yılında yüksek lisansına yeniden başladı. Evli ve iki çocuk babası olup atandığı kurumda Teknik Programlar Bölüm Başkanlığı görevini yürütmektedir.

