

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNDE AŞIRI GERİLİM

HARMONİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek. Müh. Ekrem ÇEŞTEPE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 16 Ocak 1995

Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Şubat 1995

Tez Danışmanı :Prof. Dr. Nurdan GÜZELBEYOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri :Prof. Dr. İlhami ÇETİN

Doç. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR

**F.E. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ŞUBAT 1995

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, güç transformatörlerinde aşırı gerilimde sargıda oluşan yüksek dereceli harmonikler incelenmiş ve bu harmoniklere ait grafikler α_1 ' nin çeşitli değerleri için ($t=0$ anında), Turbo C programlama diliyle yazılan bir program yardımıyla çizdirilmiştir.

Tez çalışmalarım sırasında beni yönlendiren ve her türlü desteği sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Nurdan GÜZELBEYOĞLU' na ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İstanbul 1995

Ekrem Çeştepe

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
SEMBOL LİSTESİ.....	XI
SEKİL LİSTESİ.....	XIII
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNDE AŞIRI GERİLİM DAĞILIMI.....	7
2.1. Başlangıç Gerilim Dağılımı.....	9
2.1.1. Sonu topraklanmış Silindirik Sarılmış Sargıda Başlangıç Gerilim Dağılımı.....	9
2.1.2. Sonu topraklanmamış Silindirik Sarılmış Sargıda Başlangıç Gerilim Dağılımı.....	12
2.2. Son Gerilim Dağılımı.....	13
2.2.1. Sonu topraklanmış Silindirik Sarılmış Sargıda Son Gerilim Dağılımı.....	13
2.1.2. Sonu topraklanmamış Silindirik Sarılmış Sargıda Son Gerilim Dağılımı.....	15
BÖLÜM 3. GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNDE AŞIRI GERİLİMDE EŞDEĞER DEVRE ELEMANLARININ HESAPLANMASI.....	17
3.1. Kapasiteler.....	18
3.1.1. Paralel Kapasite.....	18
3.1.1.1.Sargılar Arasındaki Kapasite.....	18
3.1.1.2.Fazlar Arasındaki Kapasite.....	19
3.1.1.3.Sargılar Ve Toprak Arasındaki Kapasite..	20
3.1.2. Seri Kapasite.....	20
3.1.2.1.Helical Sargılar İçin Seri Kapasite.....	21
3.1.2.2.Disk Tipi Sargılar İçin Seri Kapasite...	22
3.1.2.3.İçiçe Sarılmış Disk Tipi Sargılar İçin Seri Kapasite.....	27

3.1.2.4.	Silindirik Tip Sargılar İçin	
	Seri Kapasite.....	28
3.1.2.5.	İçiçe Sarılmış Silindirik Tip	
	Sargılar İçin Seri Kapasite.....	28
3.2.	Öz Ve Ortak Endüktanslar.....	30
BÖLÜM 4.	BAŞLANGIÇ GERİLİM DAĞILIMINDAN SON	
	GERİLİM DAĞILIMINA GEÇİŞTE OLUŞAN	
	SERBEST TİTREŞİMLER.....	34
4.1.1	Sonu Topraklanmış Silindirik Sarılmış	
	Sargı İçinde Oluşan Gerilim	
	Titreşimlerinin Genel İfadesi.....	35
4.1.2.	Sonu Topraklanmamış Silindirik	
	Sarılmış Sargı İçinde Oluşan Gerilim	
	Titreşimlerinin Genel İfadesi.....	38
4.2.	Serbest Titreşimlerin Genel İfadesinin	
	Bilgisayar Programı.....	39
4.2.1.	Programın Akış Diyagramı.....	41
4.3.	α' 'nin Çeşitli Değerleri İçin Serbest	
	Titreşimlerin Harmonikleri Ve Zarf	
	Eğrileri.....	44
4.3.1.	Sonu Topraklanmış Silindirik Sarılmış	
	Sargılar İçin Serbest Titreşimlerin	
	Harmonikleri Ve Zarf Eğrileri.....	44
4.3.2.	Sonu Topraklanmamış Silindirik	
	Sarılmış Sargılar İçin Serbest	
	Titreşimlerin Harmonikleri Ve Zarf	
	Eğrileri.....	55
BÖLÜM 5.	SONUÇ.....	66
	KAYNAKLAR.....	68
	EK A.....	69
	ÖZGEÇMİŞ.....	78

ÖZET

Şebekelerde meydana gelen aşırı gerilimler ışık hızı ile yürüyerek transformatör sargısından içeri girer. Bu aşırı gerilimler, transformatör sargısının nötr noktasının topraklanmış ve topraklanmamış olmasına göre, sargının sarımlar arası, sargıyla toprak arası kapasiteleri ile sargı endüktansı ve direncine göre sargı boyunca dağılır.

Çalışmada iç ve dış etkiler sonucu oluşan aşırı gerilim dağılımları incelenmiştir. Gerek sonu topraklanmış silindirik sarılmış güç transformatörlerinin sargılarında ve gerekse sonu topraklanmamış silindirik sarılmış güç transformatörlerinin sargılarında başlangıç gerilim dağılımlarının matematiksel ifadeleri ve son gerilim dağılımlarının matematiksel ifadeleri sırasıyla incelenmiştir. Ayrıca başlangıç gerilim dağılımından son gerilim dağılımı oluşuncaya kadar sargı içinde yüksek dereceli harmoniklerin matematiksel ifadeleri incelenmiştir. Transformatör sargısının eşdeğer devre parametrelerinin gerilim dağılışının matematiksel ifadeleri çıkartılmıştır. Transformatör sargılarında oluşan başlangıç gerilim dağılımı, son gerilim dağılımı ve serbest titreşimlerin harmonikleri ile bu harmoniklerin zarf eğrileri Turbo C bilgisayar programlama dilinde hazırlanan bir program yardımıyla $t=0$ anında α' nin çeşitli değerleri için çizdirilmiştir.

S U M M A R Y

A TREATISE ON OVERVOLTAGE HARMONICS IN POWER TRANSFORMERS

This is a study about the higher order harmonics in power transformers due to the over voltages in windings. Both for the earthed-end cylindrical windings and for the open-end cylindrical windings, the analysis is carried out on a theoretical basis yielding a family of parametric curves, which, in turn has turned out to be the structure of a Turbo - C program for the application part of this thesis.

Transformers, one of the most functional devices of networks, are sometimes exposed to different types of over voltages occurring in the networks, the reasons being; switching in the network, atmospheric effects and earth faults along the lines. These over voltages propagate with the speed of light and enter into the transformer windings. Depending on whether the neutral line of the winding is earthed or not and according to the functional winding parameters like the mutual capacitance, self capacitance, self inductance, resistive impedance of the winding the distribution of those over voltages vary along the winding.

The simplified mathematical model for such a winding is a single loop LC circuit formed by series and parallel capacitances and inductances. The family of partial differential equations expressing the transients in the windings is as follows:

$$\frac{\partial i_L}{\partial x} + \frac{\partial i_{cs}}{\partial x} = -C_T \frac{\partial u}{\partial t}$$

$$i_{cs} = -C_s \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -L \frac{\partial i_L}{\partial t}$$

The above three equations can be reduced to a single one:

$$\frac{1}{L} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - C_T \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + C_s \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial t^2} = 0$$

This equation is the most general expression for the distributions on a cylindrical winding with the input point at a potential of $u(x,t)$ volts. In this equation, C_T [F/m] is the self capacitance of the winding, C_s [Fm] is the series capacitance per unit length and L [H/m] is the series inductance per unit length of the winding.

$$\sqrt{\frac{C_T}{C_s}} = \alpha \quad \left[\frac{1}{m} \right]$$

This equation defines the parameter α .

The value of the parameter α $l=0$ is related with the final voltage distribution which is equal to the initial voltage distribution. Nonetheless practically it is almost impossible to realize this α $l=0$ condition for the normal winding structures.

Thus, the general expression for the initial voltage distribution is as follows when the over voltage u_0 enters into the earthed-end winding:

$$u = u_0 \frac{\text{Sh} \alpha (1-x)}{\text{Sh} \alpha l}$$

For the open-end windings that will be as follows:

$$u = u_0 \frac{\text{Ch} \alpha (1-x)}{\text{Ch} \alpha l}$$

For the earthed-end cylindrical windings, the mathematical expression for the voltage distribution occurring after time t will be as follows:

$$u_{ks} = u_0 \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

The above expression for the open-end windings will be:

$$u_{ks} = 1 \cdot u_0$$

In both of these windings, when the over voltage loading occurs, up to the final voltage distribution formation, the transient process is caused by free voltage oscillations along the windings. Generally for $t=0$ condition, these free oscillations are expressed by:

$$u_0(x) = u(x,0) + u_{ks}(x,0)$$

Here, $u_0(x)$ is the initial voltage distribution; $u(x,0)$ is the value of free oscillations and $u_{ks}(x,0)$ is the final voltage distribution.

On a very general basis, these oscillations are expressed as:

$$u(x,t) = \sum (a_n \cos \lambda_n x + b_n \sin \lambda_n x) \cos \omega_n t$$

For the earthed-end cylindrical winding at the application of a unit voltage on the input node of the winding, when $x=0$ (that is, at the very beginning of the winding), this most general expression is reduced to $u(0,t)=0$ and when $x=l$ (at the end of the winding), the result will be $u(l,t)=0$. That means; there is no oscillation at the boundaries (the beginning and the end points) of the winding. Using the boundary conditions for this most general expression,

$$a_n = 0$$

and

$$b_n = -\frac{2}{n\pi} \frac{\alpha^2 l^2}{\alpha^2 l^2 + n^2 \pi^2}$$

When the above analysis is carried out for an open-end winding with the boundary conditions $u(0,t)=0$ for $x=0$ and $(\frac{\partial u}{\partial x})$ for $x=l$ the parameters are obtained as follows:

$$a_n = 0$$

and

$$b_n = -\frac{4}{n\pi} \frac{\alpha^2 l^2}{\alpha^2 l^2 + \frac{n^2 \pi^2}{4}}$$

If, along the winding, the initial voltage distribution differs much from the final one, then the free oscillations will possess very large amplitudes ending up with a possible breakdown of the insulation material and with a short circuit fault. To prevent such results, the factor αl should have small values.

For $\alpha l = 0$, the initial voltage distribution is linear. Since, this was stated to be practically impossible to realize, in order to provide $\alpha l = 0$ approximately; it is necessary either to increase C_S (the series capacitance) or decrease C_T (the self capacitance of the winding) and that will yield the required approximate linear characteristics.

To decrease C_T it is necessary to distort the electromagnetic space distribution of the present fields in and around the winding. Several screens placed on the certain points of the winding will be sufficient for this distortion.

Increasing C_S provides higher winding insulation. Many different methods have been developed for this aim. One is to increase the mutual inductance between the windings, which is, very expensive when applied to the whole winding. Hence only the input windings are supplied with better insulation which normally are exposed to very high voltages. Another method is to electrically separate the windings. This application is capable of increasing 200 - 400 times the series capacitance. In this case there is no need to increase the insulation threshold values for the windings.

It is clearly seen that, when αl has larger values the free oscillation harmonics have also great amplitudes and the relevant envelope belongs to the area on the winding (first %20 part) where over voltage stresses also present.

Practically, it is known that the envelope of free oscillation harmonics obtained mathematically and its experimental value are nearly equal.

Thus, a computer program on free oscillation harmonics is valuable tool for the determination of the most stressed winding due to over voltages for different values of αl , which is also effectively used in this analysis.

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılan semboller ve bunların anlamları aşağıdaki tabloda verilmiştir:

A	:Manyetik alanın geçtiği demir çekirdek kesidi [m^2]
A1	:Dalga'nın genliği
A2	:Dalga'nın genliği
b	:Komşu bacak eksenleri arasındaki uzaklık [m]
Cd	:Ayrık diskler arasındaki kapasite değeri [F]
Cf	:Fazlar arasındaki kapasite değeri [F]
Cp	:İki sargı arasında karşılıklı kapasite [F]
Cs	:Tüm sargının seri kapasitesi [F]
Cs'	:Sargım içi seri kapasite değeri [F]
C _S	:Birim uzunluğun seri kapasite değeri [Fm]
Ct	:Dış ve iç dönümler arasındaki kapasite değeri [F]
Ct'	:Komşu sarımlar arasındaki kapasite değeri [F]
C _T	:Birim uzunluğun toprağa karşı kapasitesi [F/m]
d	:Sargılar arası mesafe [m]
d _i	:Sargının iç çapı [m]
d _o	:Sargının dış çapı [m]
f _k (t)	:Salınım elemanı fonksyonu
h	:Geometrik yükseklik [m]
h'	:Eşdeğer yükseklik [m]
lk	:Demir çekirdeğin uzunluğu [m]
L	:Birim uzunluğun öz endüktansı [H/m]
l	:Sargı uzunluğu [m]
L ₁	:Bir sargı elemanının endüktansı [H]
L _{n1}	:Güç transformatörünün yüksüz endüktansı [H]
L _r	:Eş eksenli r sargısının endüktansı [H]
L _s	:Eş eksenli s sargısının endüktansı [H]

$M(x,y)$	:Xile y arasındaki ortak endüktans [H]
M_{rs}	:Eşeksenli r ve s sargısı arasındaki ortak endüktans [H]
m_s	:Ayar adımlarının sayısı
m_t	:Her bir diskin sarım sayısı
N	:Sarım sayısı
n	:Harmonik derecesi
n_s	:Ayar adımlarının dönüş sayısı
n_t	:Her bir diskin sarım sayısı
q	:Ortak endüktif kuplajı karakterize eden katsayı
R	:Demirin birim uzunluktaki bölümündeki demir kayıplarına karşı gelen direnç [Ω/m]
r	:Radyal boyut
t_j	:Sarımlar arasındaki yalıtım kalınlığı [m]
u	:Bir disk boyunca oluşan gerilim dağılımı
$U(x,0)$	:Serbest titreşimler
$U_0(x)$	:Başlangıç gerilim dağılımı
$U_{ks}(x)$	:Son gerilim dağılımı
x	:Sarım uzunluğunu veren koordinat
w	:Dönüşler ve diskler arası disk başına depolanan kapasite değeri [F]
w_d	:Diskler arasındaki kapasite değeri [F]
w_t	:Dönüş kapasite değeri [F]
y	:Sarım uzunluğunu veren koordinat
α	:Kapasitif gerilim dağılımı dış dağıtım sabiti [$1/m$]
α_i	:İç dağıtım sabitesi
β_m	:Uzay domeninde harmonik titreşim frekansı
ϵ_r	:Bağıl dielektrik sabiti
δ	:Sönüm faktörü
δ_k	:k. harmoniğin sönüm faktörü
μ_0	:Boşluğun geçirgenliği [H/m^{-1}]
μ_r	:Çekirdeğin bağıl geçirgenliği [H/m^{-1}]

ŞEKİL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılan şekiller çalışma içinde aşağıdaki sıraya göre verilmiştir.

- Şekil 1.1 :Seri kapasiteyi 100 defa büyüten düzenler
Şekil 1.2 :Seri kapasiteyi 400 defa büyüten düzenler
Şekil 2.1 :Dağılmış sabiteli eşdeğer devre
Şekil 2.2 :Transformatör sargısının aşırı gerilimdeki eşdeğer devresi
Şekil 2.3 :Şekil 2.2' deki devrenin bir göz elemanı
Şekil 2.4 : $t=0$ anında sadece kapasitelerden oluşan eşdeğerdevre
Şekil 2.5 :Sonu topraklanmış silindirik sarılmış transformatör sargısında $\alpha l'$ nin çeşitli değerleri için başlangıç gerilim dağılım eğrileri
Şekil 2.6 :Sonu topraklanmamış silindirik sarılmış transformatör sargısında $\alpha l'$ nin çeşitli değerleri için başlangıç gerilim dağılım eğrileri
Şekil 2.7 :Sonu topraklanmış silindirik sarılmış transformatör sargısında $\alpha l'$ nin çeşitli değerleri için son gerilim dağılım eğrileri
Şekil 2.8 :Sonu topraklanmamış silindirik sarılmış transformatör sargısında $\alpha l'$ nin çeşitli değerleri için son gerilim dağılım eğrileri
Şekil 3.1 :Transformatör sargısının eşdeğer devresi
Şekil 3.2 :Sargılar arasındaki kapasite
Şekil 3.3 :Transformatördeki paralel kapasiteler
Şekil 3.4 :Helical sargı
Şekil 3.5 :Disk tipi sargılar
Şekil 3.6 :Disk tipi sargılar için eşdeğer devre
Şekil 3.7 :Disk tipi sargılar için eşdeğer devre

Şekil 3.8 :Seri kapasite değeri

Şekil 3.9 :Tek bir disk

Şekil 3.10:İççe sarılmış disk sargı

Şekil 3.11:

Şekil 3.12:İççe geçmiş silindirik sargı

Şekil 3.13:Söndürüm dirençli transformatör sargısının
matematiksel modeli

Şekil 4.1 : $\alpha=0$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.2 : $\alpha=1$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.3 : $\alpha=2$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.4 : $\alpha=3$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.5 : $\alpha=4$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.6 : $\alpha=5$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.7 : $\alpha=6$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.8 : $\alpha=7$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.9 : $\alpha=8$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.10: $\alpha=9$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.11: $\alpha=10$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.12: $\alpha=0$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.13: $\alpha=1$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.14: $\alpha=2$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.15: $\alpha=3$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara
ait zarf eğrisi

Şekil 4.16: $\alpha_1=4$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi

Şekil 4.17: $\alpha_1=5$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi

Şekil 4.18: $\alpha_1=6$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi

Şekil 4.19: $\alpha_1=7$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi

Şekil 4.20: $\alpha_1=8$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi

Şekil 4.21: $\alpha_1=9$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi

Şekil 4.22: $\alpha_1=10$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yüksek gerilim hava hatlarında ve bunlara bağlı transformatörlerde işletme sırasında meydana gelen arızaların bir çok nedenleri olmakla beraber bu nedenlerin başında aşırı gerilimler gelir.

Aşırı gerilimler meydana geliş nedenlerine göre başlıca üç kısımda toplanır.

- 1.1. Devre açma kapamalardan dolayı meydana gelen iç aşırı gerilimler.
- 1.2. Atmosferik etkenlerden dolayı meydana gelen dış aşırı gerilimler.
- 1.3. Alternatif akım tesislerinde işletme sırasında toprak kısa devrelerinden dolayı meydana gelen aşırı gerilimler.[1]

Çeşitli bağlama olayları ve toprak temaslı hatalar sonucunda meydana gelen kısa süreli ve orta veya yüksek frekanslı aşırı gerilimler, tesislerde yalıtımın boyutlandırılması bakımından çok önemlidir. Yüksek gerilim şebekeleri titreşime elverişli devrelerdir. Bunlarda bir bağlama olayı, geçici rejime, dolayısıyla bir aşırı gerilime neden olabilir. Ayrıca çeşitli kısa devreler, toprak teması, toprak kısa devresi veya hat kopması gibi istenmeyen olaylarda da aşırı gerilimler meydana gelebilir. Bu sırada meydana gelen aşırı gerilimler, sadece elektrik tesislerinden kaynaklandıklarından ve şebekelere bağlı olduklarından iç aşırı gerilimler olarak adlandırılırlar. İç aşırı gerilimler, yüksek gerilim şebekesinin özelliğine göre orta veya yüksek frekanslı, az

veya çok sönümlü ve nisbeten kısa süreli gerilimler olup çok kez frekansın değerine göre, işletme frekansının yarı dalgası içinde sönerler.

Yüksek gerilim hatlarında dış aşırı gerilimler, ya doğrudan doğruya yıldırım düşmesiyle veya tesirle elektriklenme sureti ile meydana gelirler. Yıldırımın faz hattına, direğe veya toprak hattına düşmesi halinde meydana gelen aşırı gerilimlere direkt yıldırım düşmesiyle meydana gelen aşırı gerilimler denir.

Yıldırım bulutundaki elektrik yükü ile hatta tesirle elektriklenme sonucu bir yük dalgası meydana geldikten sonra, yıldırımın yüksek gerilim hattının dışında herhangi bir yere düşmesiyle hatta serbest kalan yük dalgasının her iki tarafa doğru hareketiyle meydana gelen aşırı gerilimlerde tesirle elektriklenme sonucu meydana gelen aşırı gerilimler denir.[2]

$$\frac{1}{L} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - C_T \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + C_S \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial t^2} = 0$$

Bu diferansiyel denklem, giriş ucuna $u(x,t)$ gibi bir gerilim uygulanmış silindirik sarılmış sargıdaki olayların en genel matematiksel ifadesini vermektedir. Bütün yüksek gerilim sargısının birim uzunluğa düşen toprağa karşı kapasitesi C_T [F/m] ve birim uzunluğa düşen seri kapasitesi C_S [F.m] birim uzunluğa düşen endüktansı L [H/m] dir ve:

$$\sqrt{\frac{C_T}{C_S}} = \alpha \quad \left[\frac{1}{m} \right]$$

olarak tanımlanır.[3]

$\alpha l=0$ son gerilim dağılımını vermektedir. Yani aşırı gerilim sargıya girdikten t süre sonra olan dağılımdır. $\alpha l=0$ için başlangıç gerilim dağılımı son gerilim dağılımına eşittir. Fakat $\alpha l=0$ olmasını sağlamak normal sargı düzenlerinde mümkün değildir. Bu durumda sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargılarda u_0 aşırı gerilimin sargıya girmesi halinde başlangıç gerilim dağılımının genel ifadesi:

$$u = u_0 \frac{\text{Sh} \alpha (1-x)}{\text{Sh} \alpha l}$$

şeklindedir. Sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargılarda başlangıç gerilim dağılımının genel ifadesi:

$$u = u_0 \frac{\text{Ch} \alpha (1-x)}{\text{Ch} \alpha l}$$

şeklindedir. Sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargıda t süre sonra oluşan son gerilim dağılımının matematiksel ifadesi:

$$u_{ks} = u_0 \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

ve sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargıdaki t süre sonra oluşan son gerilim dağılımının matematiksel ifadesi ise:

$$u_{ks} = 1. u_0$$

dir.

Gerek sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargılarda gerekse sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargılarda sargı girişine bir aşırı gerilim geldiği zaman başlangıç gerilim dağılımından son gerilim dağılımı oluşuncaya kadar sargı içinde titreşimler oluşur. Genel olarak $t=0$ anı için bu serbest titreşimler :

$$u_0(x) = u(x, 0) + u_{ks}(x, 0)$$

şeklinde ifade edilirler. Burada $u_0(x)$ başlangıç gerilim dağılımı, $u(x, 0)$ serbest titreşimler ve $u_{ks}(x, 0)$ son gerilim dağılımıdır.

Bu titreşimler en genel olarak :

$$u(x, t) = \sum (a_n \text{Cos} \lambda_n x + b_n \text{Sin} \lambda_n x) \text{Cos} \omega_n t$$

şeklinde ifade edilirler. Sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargıda bu en genel bağıntıda sargı girişine birim gerilim uygulanması halinde $x=0$ için $u(0,t)=0$ ve sargı sonunda $x=l$ için $u(l,t)=0$ dır. Yani sargı girişinde ve sargı sonunda titreşim yoktur. Bu en genel bağıntıda sınır şartları kullanılarak :

$$a_n = 0$$

$$b_n = -\frac{2}{n\pi} \frac{\alpha^2 l^2}{\alpha^2 l^2 + n^2 \pi^2}$$

olduğu bulunur. Sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargıda sargı girişine birim gerilim uygulanması halinde $x=0$ ' da $u(0,t)=0$ ve $x=l$ ' de $(\frac{\partial u}{\partial x})_{x=l} = 0$ sınır şartlarını kullanarak :

$$a_n = 0$$

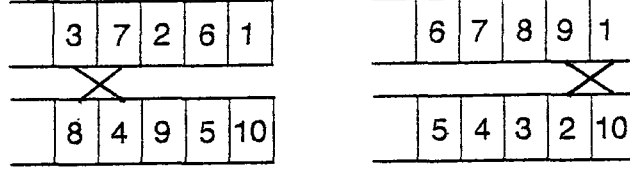
$$b_n = -\frac{4}{n\pi} \frac{\alpha^2 l^2}{\alpha^2 l^2 + \frac{n^2 \pi^2}{4}}$$

bulunur.

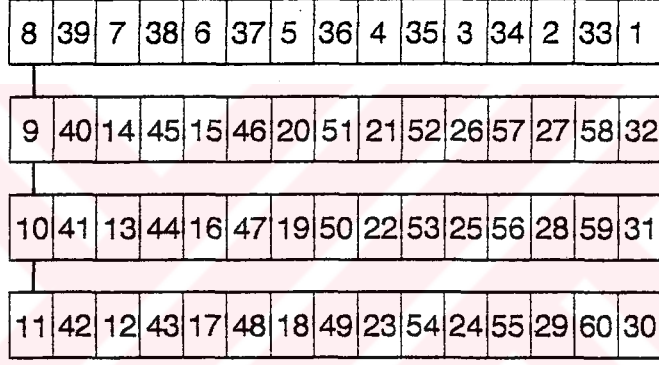
Nötr noktası topraklanmış transformatörün, yüksek gerilim sargılarından birine bir aşırı gerilim dalgası gelmesi durumunda ilk anda sargı boyunca gerilim dağılımı doğrusal değildir (başlangıç gerilim dağılımı). Bir zaman sonra bu gerilim dağılımı doğrusal olur (son gerilim dağılımı). Başlangıç gerilim dağılımından son gerilim dağılımı oluşana kadar sargı içinde serbest titreşimler meydana gelir. Eğer, sargı boyunca başlangıç gerilim dağılım eğrisi, son gerilim dağılım eğrisinden oldukça uzakta olacak şekilde farklı ise serbest titreşimlerin genlikleri çok büyük olur. Serbest titreşimlerin bu şekilde yüksek genlikte olması transformatör sargısında, komşu sarımlar ve bobinler arası dielektrik zorlanmaların kuvvetlenmesine, dolayısıyla izolasyon malzemelerinin delinerek sargının kısa devre olmasına neden olur.[4]

$\alpha l = 0$ için başlangıç gerilim dağılımı doğrusaldır. C_S 'i büyüterek yada C_T 'yi küçültmek doğrusala yakın bir başlangıç gerilim dağılımı elde etmek mümkündür. C_S 'i büyütme için sargı yalıtımı kuvvetlendirilir. C_T 'yi küçültmek için ise, sargıdaki elektrostatik alan dağılımına etki edilir. Bunun için ise sargının çeşitli yerlerine ekranlar yerleştirilir. Sargı seri kapasitesinin büyütülmesi veya sargının toprağa karşı kapasite etkisinin küçültülmesi için bir çok çalışmalar yapılmış ve pratikte büyük güçlü transformatörlerde çok çeşitli konstrüktif düzenler geliştirilmiştir. Sargı seri kapasitesinin büyütülmesi, sargıyı oluşturan bobinlerin karşılıklı kapasitelerinin ve sarımlar arası kapasitenin büyütülmesi ile olur. Bunu bütün yüksek gerilim sargısı boyunca yapmak maliyeti çok yükseltir. Bu sebepten, pratikte zaman zaman dielektrik zorlanmaların çok olduğu giriş bobinlerinde yalıtım kuvvetlendirilir. Bu önlem sargı seri kapasitesinin çok az büyütülmesine karşılık, sargı radyal genişliği bütün bobinlerde eşit tutulmak istendiğinden yalıtım kuvvetlendirildiği yerlerde sarım sayısının değişmesine yol açar. Sarım sayısının değişmesi ise yalıtımın kuvvetlendirildiği yerlerde sargı empedansını değiştirir. Bu nedenle sargıda girişte küçük ve sonra gittikçe artan bir endüktans dağılımı oluşur. Bu ise empedansın değişmesine ve empedansın değiştiği yerlerde aşırı gerilimin yansımaya neden olur.

Seri kapasiteyi artırmanın başka bir yöntemi ise sarımları birbirinden ayırmak diğer bir ifadeyle geometrik olarak birbirine komşu sarımları elektriksel olarak birbirinden ayırmaktır. Böylece normal disk sargıların seri kapasitesi birkaç katına çıkarılabilir. Sarımları birbirinden ayırmak komşu sarımlar arasındaki gerilimlerde arttıracaktır. Sarımları birbirinden ayırarak, yalıtımda herhangi bir güçlendirmeye gerek duymaksızın, aşırı gerilimdeki zorlanmalara dayanabilen sargılar tasarlanabilir. Dilimli sargıda çaprazlama yapmak sureti ile hiçbir izolasyon kuvvetlendirilmesi yapılmadan seri kapasiteyi 200 ve hatta 400 defa büyütme mümkün olmuştur. Şekil 1.1' de seri kapasiteyi 100 defa büyüten ve Şekil 1.2' de seri kapasiteyi 400 defa büyüten düzenler görülmektedir. [4]



Şekil 1.1 Seri kapasiteyi 100 defa büyüten düzenler

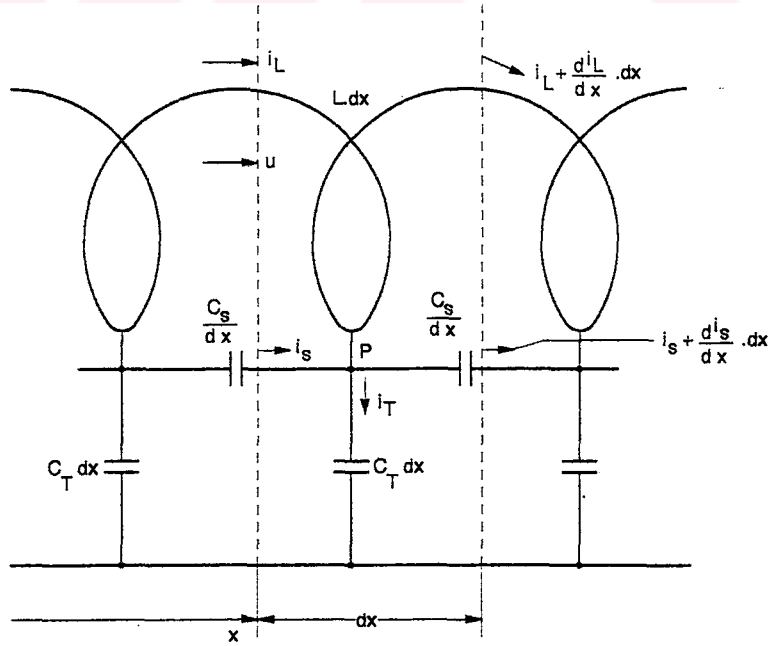


Şekil 1.2 Seri kapasiteyi 400 defa büyüten düzenler

BÖLÜM 2

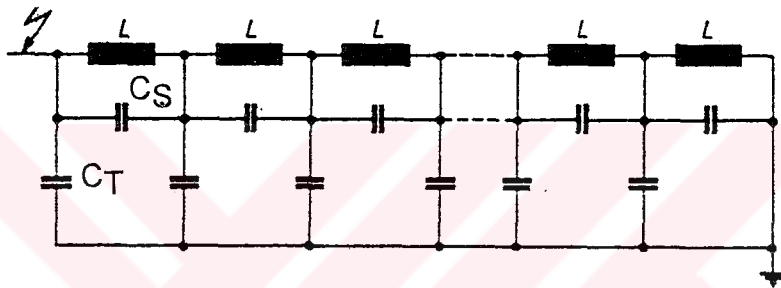
GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNDE AŞIRI GERİLİM DAĞILIMI

Şebekelerin en önemli cihazlarından olan transformatörler, şebekelerde meydana gelen çeşitli aşırı gerilimlere maruz kalırlar. Devre açıp kapamalardan, atmosferik etkenlerden, tesislerde işletme sırasında toprak kısa devrelerinden dolayı çeşitli aşırı gerilimler oluşur. Bu şekilde oluşan aşırı gerilim, transformatör sargısının nötr noktasının topraklanmış ve topraklanmamış olmasına göre sargı boyunca yayılır. Silindirik sarılmış, nötr noktası topraklanmış bir sargının eşdeğer devresi aslında dağılmış sabiteli bir sistemdir. Dağılmış sabiteli böyle bir eşdeğer devreyi ilk olarak K.W. Wagner 1915' de vermiştir.(Şekil 2-1)



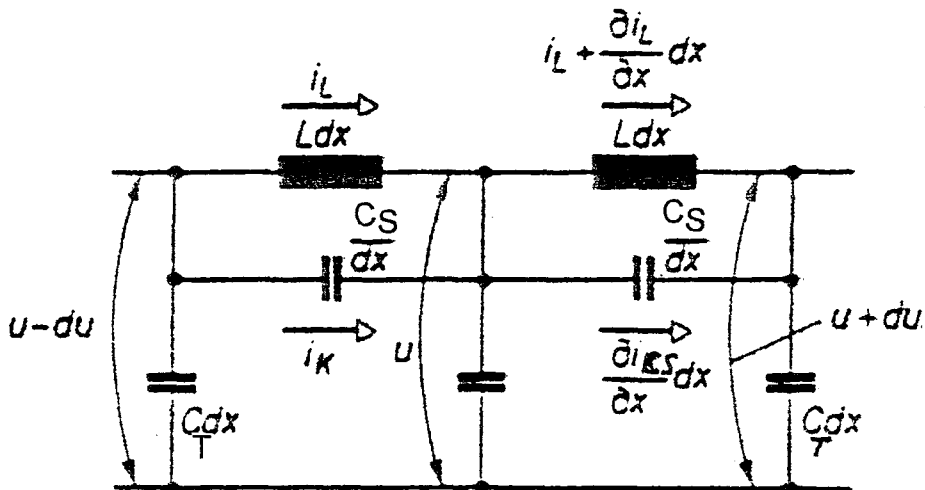
Şekil 2.1 Dağılmış sabiteli eşdeğer devre

Böyle bir sargının basitleştirilmiş bir matematik modeli endüktans, seri ve paralel kapasitelerden oluşan gözlü bir devredir. (Şekil 2.2). Burada C_S birim uzunluğun seri kapasitesi, C_T birim uzunluğun toprağa karşı kapasitesi, L birim uzunluğun özendüktansıdır. C_S 'in birimi [F.m], C_T 'nin birimi [F/m], L 'nin birimi [H/m] dir. Bu matematiksel model basitleştirilmiş bir enerji iletim hattı devresinden seri kapasitenin bulunması sebebiyle farklılık gösterir.



Sekil 2.2 Transformatör sargısının aşırı gerilimdeki eşdeğer devresi

Şekil 2.3 'deki devredeki işaretlemelerin yönleri dikkate alınarak sargıda oluşan geçici olayı ifade eden kısmi diferansiyel denklem takımları aşağıdaki şekilde bulunur. [4]



Şekil 2.3 Şekil 2.2' deki eşdeğer devrenin bir göz elemanı

$$\frac{\partial i_L}{\partial x} + \frac{\partial i_{cs}}{\partial x} = -C_T \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$i_{cs} = -C_s \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -L \frac{\partial i_L}{\partial t} \quad (2.3)$$

Denklemlerde ortaya çıkan akım ve gerilimler zaman ve uzayın fonksiyonudurlar. Yukarıdaki üç denklemden oluşan denklem takımı sadece gerilimleri içeren tek bir denkleme dönüştürülebilir.

$$\frac{1}{L} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - C_T \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + C_s \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial t^2} = 0 \quad (2.4)$$

Bu diferansiyel denklem, giriş ucuna $u(x,t)$ gibi bir gerilim uygulanmış sargıdaki olayların en genel matematiksel ifadesini verir.[3]

2.1. Başlangıç Gerilim Dağılımı

2.1.1. Sonu Topraklanmış Silindirik Sarılmış Sargıda Başlangıç Gerilim Dağılımı

Sonu topraklanmış silindirik sarılmış bir sargının girişine $u=u_0(x,0)$ olan bir gerilim uygulandığında, $t=0$ anında $\frac{\partial u}{\partial t}$ çok büyük olduğundan $L=\infty$ alınarak ilk anda sadece kapasitelerden oluşan bir eşdeğer devre verilebilir. (Şekil 2.4) . (2.4) nolu denklemde $t=0$ ve $L=\infty$ konularak:

$$C_s \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial t^2} - C_T \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (2.5)$$

bulunur. $U_0=u(x,0)$ değeri için u_0 'ın x ve t 'ye göre ayrı ayrı ikinci dereceden türevleri alınırsa:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u_0}{\partial t^2} = u_0 \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial t^2} = \frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} \quad (2.8)$$

denklemleri bulunur. (2.6), (2.7), (2.8) denklemleri (2.5) denkleminde yerine konursa:

$$\frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} - \frac{C_T}{C_s} u_0 = 0 \quad (2.9)$$

(2.9) denklemi bulunur. Bu denklemin genel çözümü :

$$\frac{\sqrt{C_T}}{\sqrt{C_s}} = \alpha$$

dersek:

$$u_0 = A e^{\alpha x} + B e^{-\alpha x} \quad (2.10)$$

şeklindedir. Sargı girişinde $x=0$, $u_0=1$ birim basamak gerilim uygulanması durumunda, sargı uzunluğu l ise sargı sonunda $x=l$ de $u_0=0$ sınır şartları yazılıp yerlerine konursa:

$$A = \frac{e^{-\alpha l}}{e^{-\alpha l} - e^{\alpha l}}$$

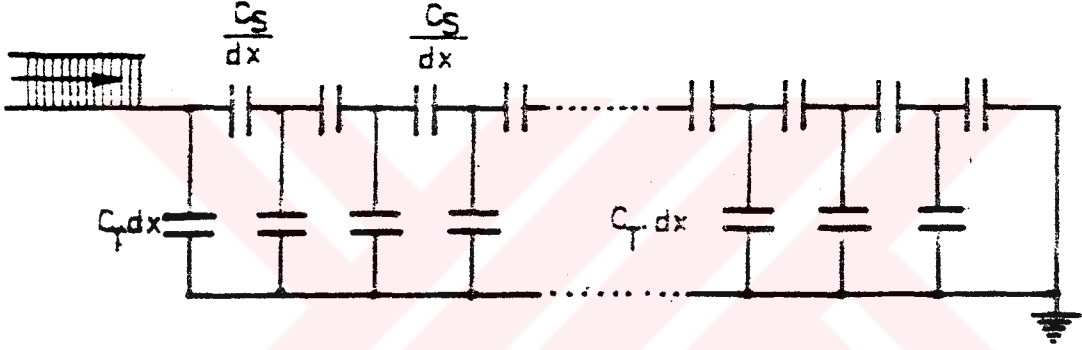
ve

$$B = -\frac{e^{\alpha l}}{e^{-\alpha l} - e^{\alpha l}}$$

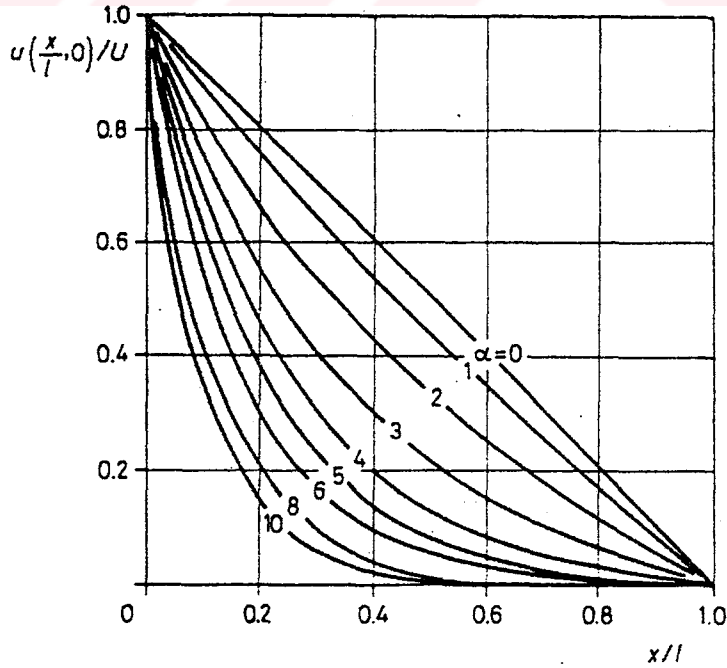
bulunur. Buradan u_0 için:

$$u_o = \frac{\text{Sh} \alpha (1-x)}{\text{Sh} \alpha l} \quad (2.11)$$

bulunur. Aşırı gerilim gelmesi anına $t=0$ anı dersek bu anda sadece kapasiteler rol oynar.(Şekil 2-4) Bulunan bu ifade, $u_0=u(x,0)=1$ birim gerilim uygulanması halinde sadece bobin kapasitelerinin olması durumunda, sonu topraklanmış transformör sargısında başlangıç gerilim dağılımını vermektedir. Sonuç olarak başlangıç gerilim dağılımı α faktörüne bağlı olduğu yukarıdaki ifadelerden görülmektedir. (2.11) nolu denklemde birim gerilim uygulanması durumunda farklı α değerleri için oluşan başlangıç gerilim dağılım eğrileri şekil 2-5' de görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi α değeri ne kadar büyük olursa (toplam seri kapasitenin küçük olması durumu) sargı boyunca başlangıç gerilim dağılımı lineerlikten o kadar uzaklaşmaktadır. Seri kapasiteleri arttırarak yada α değerini azaltarak lineer bir başlangıç gerilim dağılımına yaklaşılr.



Şekil 2.4 $t=0$ anında sadece kapasitelerden oluşan eşdeğer devre



Şekil 2.5 Sonu topraklanmış silindirik sarılmış transformör sargısında α 'nin çeşitli değerleri için başlangıç gerilimdağılımı eğrileri

2.1.2. Sonu Topraklanmamış Silindirik Sarılmış Sargıda Başlangıç Gerilim Dağılımı

Sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargının girişine $u_0=u(x,0)=1$ birim gerilim uygulanması halinde başlangıç gerilim dağılımını bulmak için (2.10) denklemi gözönüne alınarak sargı başında birim basamak gerilim $u_0=1$ uygulanması halinde:

$$x=0' \text{ da } u_0=1,$$

sargı sonunda da:

$$x=l \text{ ve } \left(\frac{\partial u_0}{\partial x} \right)_{x=l} = 0$$

sınır şartları uygulanırsa:

$$\frac{\partial u_0}{\partial x} = A\alpha e^{\alpha x} - B\alpha e^{-\alpha x} \quad (2.12)$$

denklemi bulunur. $\alpha \neq 0$ olduğu gözönüne alınıp sınır şartları uygulanırsa:

$$A = \frac{e^{-\alpha l}}{e^{\alpha l} + e^{-\alpha l}}$$

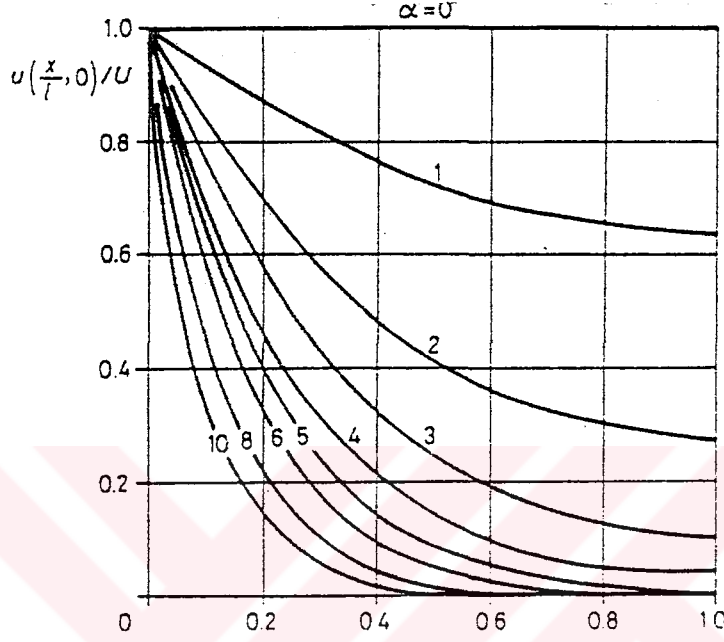
ve

$$B = \frac{e^{\alpha l}}{e^{\alpha l} + e^{-\alpha l}}$$

bulunur ve bu değerler $u_0=A e^{\alpha x} + B e^{-\alpha x}$ denkleminde yerine konursa:

$$u_0 = \frac{Ch\alpha(1-x)}{Ch\alpha l} \quad (2.13)$$

bulunur. Farklı α değerleri için sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargıya ait başlangıç gerilim dağılımı eğrileri şekil 2.6' daki gibidir.



Şekil 2.6 Sonu topraklanmamış silindirik sarılmış transformatör sargısında α ' nin çeşitli değerleri için başlangıç gerilimdağılımı eğrileri

2.2. Son Gerilim Dağılımı

2.2.1. Sonu Topraklanmış Silindirik Sarılmış Sargıda Son Gerilim Dağılımı

Sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargıya ait son gerilim dağılımını bulmak için (2.4) nolu diferansiyel denklem göz önüne alınıp $u_{KS}=u(x,0)=1$ birim gerilim uygulanması durumunda, gerilim dağılımı zamandan bağımsız olduğundan zamana göre türevleri gösteren terimler sıfırdır. Bu durumda (2.4) nolu denklem:

$$\frac{1}{L} \frac{\partial^2 u_{ks}}{\partial x^2} = 0 \quad (2.14)$$

olur. $L \neq 0$ olduğundan yani özendüktansın bu durumda belli bir değeri olduğundan denklem:

$$\frac{\partial^2 u_{ks}}{\partial x^2} = 0$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemin genel çözümü :

$$u_{ks} = Ax + B \quad (2.15)$$

şeklindedir.

Sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargı için sınır şartlarını yazacak olursak:

$$x=0$$

$$u_{ks}=1$$

$$x=l$$

$$u_{ks}=0$$

dır. Bu değerler (2.15)' de yerine konulursa:

$$A = -\frac{1}{l}$$

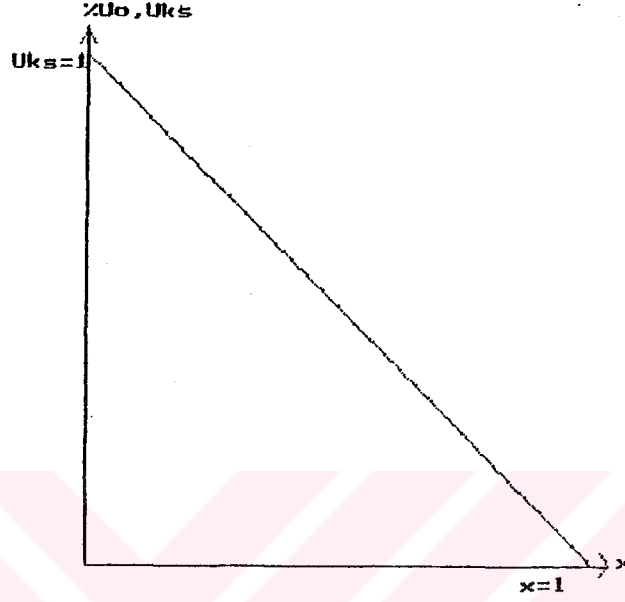
ve

$$B = 1$$

bulunur. Buradan da:

$$u_{ks} = 1 - \frac{x}{l} \quad (2.16)$$

Bulunan bu ifade, $u_{ks}=u(x,0)=1$ birim gerilim uygulanması halinde sonu topraklanmış transformatör sargısında son gerilim dağılımını vermektedir. (Şekil2.7)



Şekil 2.7 Sonu topraklanmış silindirik sarılmış transformatör sargısında son gerilim dağılımı eğrileri

2.2.2. Sonu Topraklanmamış Silindirik Sarılmış Sargıda Son Gerilim Dağılımı

Sonu topraklanmamış sargıda her an sargının sonuna kadar $u_{ks}=1$ gerilimi bulunmaktadır.

Sınır şartlarını yazarsak:

$$x=0$$

$$u_{ks}=1$$

$$x=l$$

$$\left(\frac{\partial u_0}{\partial x}\right)_{x=l}=0$$

(2.4) nolu denklem:

$$\frac{1}{L} \frac{\partial^2 u_{ks}}{\partial x^2} = 0$$

durumunu alır. $L \neq 0$ olduğundan:

$$\frac{\partial^2 u_{ks}}{\partial x^2} = 0 \quad (2.17)$$

olur. Bu denklemin genel çözümü:

$$u_{ks} = Ax + B$$

şeklindedir. Sınır şartları yerine konulursa:

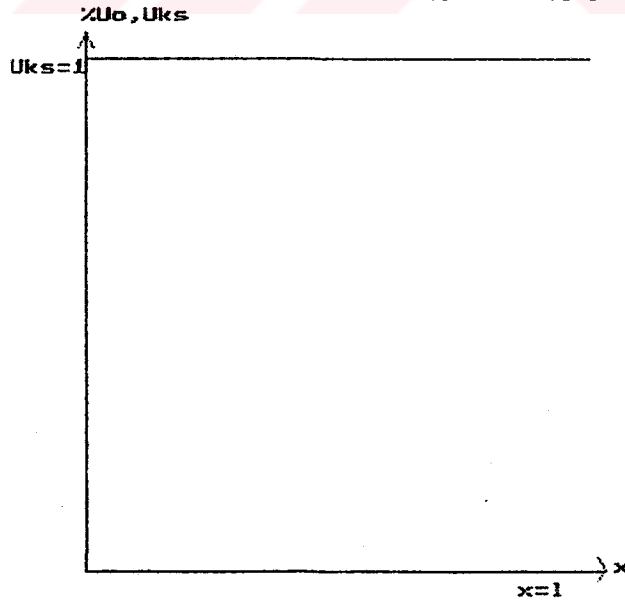
$$A=0$$

$$B=-1$$

bulunur. Buradan da:

$$u_{ks}=1 \quad (2.18)$$

bulunur. Bulunan bu ifade, $u_{ks}=1$ için sonu topraklanmamış transformatör sargısında son gerilim dağılımını vermektedir. (Şekil 2.8)[4]

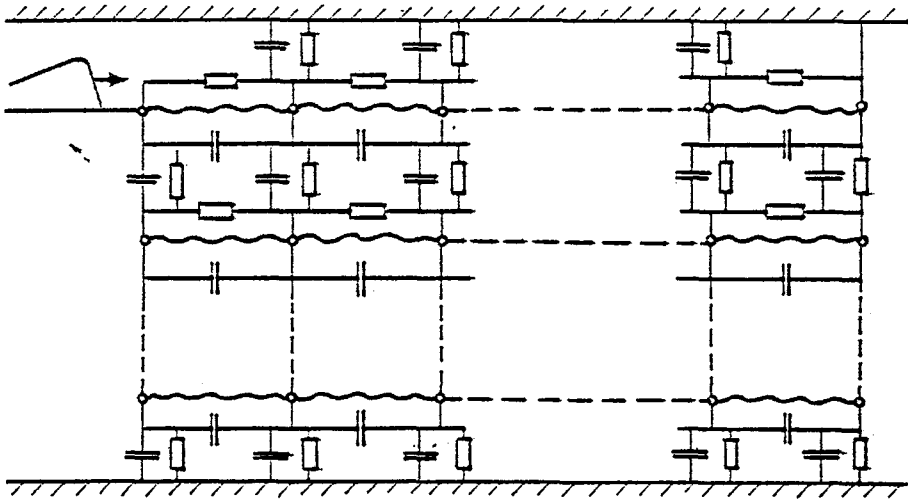


Şekil 2.8 Sonu topraklanmamış silindirik sarılmış transformatör sargısında son gerilim dağılımı eğrileri

BÖLÜM 3

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNDE AŞIRI GERİLİMDE EŞDEĞER DEVRE ELEMANLARININ HESAPLANMASI

Bir transformatör çeşitli değerlerdeki aşırı gerilimlere dayanacak şekilde tasarımı yapılmalıdır. Aşırı gerilimler bağlı oldukları şebekelerde açma kapama olaylarından ve yıldırımlardan dolayı oluşabilir. Bölüm 2' de incelenmiş toplu sabiteli eşdeğer devrenin dağılmış sabiteli olarak en genel şekilde Şekil 3.1 deki gibi gösterilebilir. Bu bölümde eşdeğer devreye ilişkin parametrelerin nasıl hesaplandıkları incelenmektedir.[5]



Şekil 3.1. Transformatör sargısının eşdeğer devresi

3.1.Kapasiteler

Eşdeğer devredeki kapasite elemanlarını doğru hesaplayabilmek için transformatör içinde kullanılan malzemelerin bağıl dielektrik değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Tablo 3.1' de transformatör yalıtımı için kullanılan malzemelerin bağıl dielektrik sabiti değerleri görülmektedir.[5]

Tablo 3.1.Bağıl dielektrik değerleri

	BAĞIL DİELEKTRİK SABİTİ ϵ_r	
	YAĞ EMDİRİLMİŞ	YAĞ EMDİRİLMEMİŞ
KAĞIT	3.3	2.2
pb	4.4	3.5
YAĞ	2.2	2.2

Bağıl geçirgenliğin frekanstan bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Bir transformatör sargısının eşdeğer devresinde iki çeşit kapasite değeri bulunmaktadır. Bunlar sargılar arasında ve sargılardan toprağa olan paralel kapasite değerleri ve bir sargıdan diğerine olan seri kapasite değerleridir.

3.1.1.Paralel Kapasite

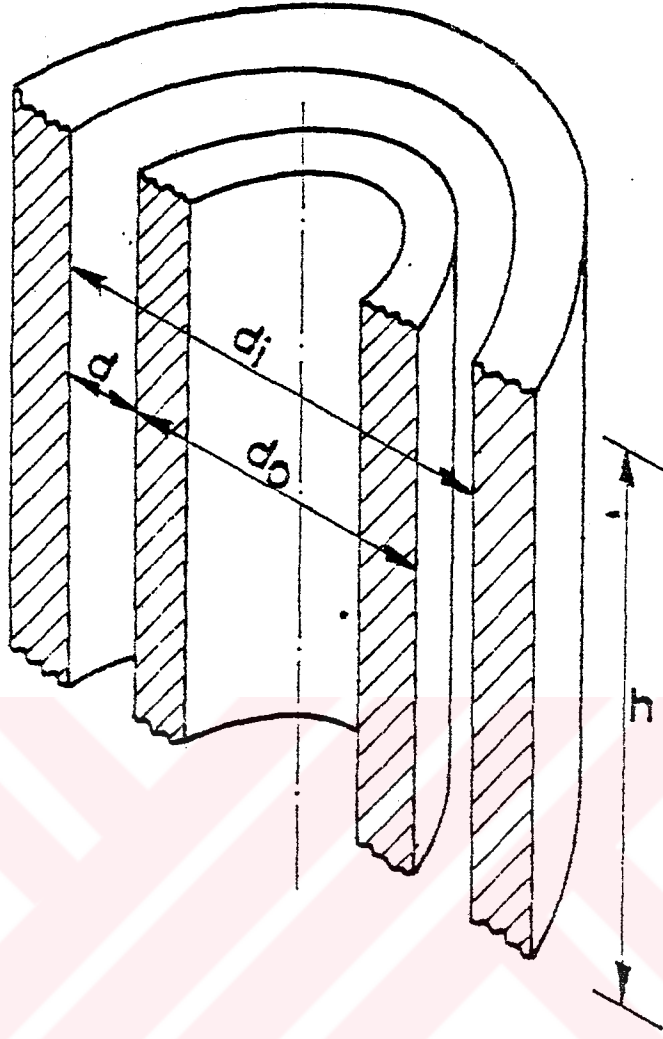
Uniform olarak dağılmış transformatör sargılarında paralel kapasite değerleri aşağıdaki şekilde bulunur.

3.1.1.1.Sargılar Arasındaki Kapasite

İç içe iki sargı arasındaki karşılıklı kapasite :

$$C_p = \frac{2\pi\epsilon_r\epsilon_0}{\ln \frac{d_i}{d_o}} \quad [F] \quad (3.1)$$

olarak hesaplanabilir.



Şekil 3.2. Sargılar arasındaki kapasite

3.1.1.2.Fazlar Arasındaki Kapasite

Fazlar arasındaki kapasite değerini bulmak için aşağıdaki formül kullanılır. Formülde görülen eşdeğer yükseklik, h' , geometrik yükseklik ile (h) sargılar arası mesafenin (d) toplamıdır ve b komşu bacak eksenleri arasındaki uzaklıktır. ϵ_r dielektrik sabiti yalıtım malzemesinin cinsine göre tablo 3.1' den bulunabilir.[5]

$$C_f = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 \pi h'}{\ln\left(\frac{b}{d_o} + \sqrt{\left(\frac{b}{d_o}\right)^2 - 1}\right)}$$

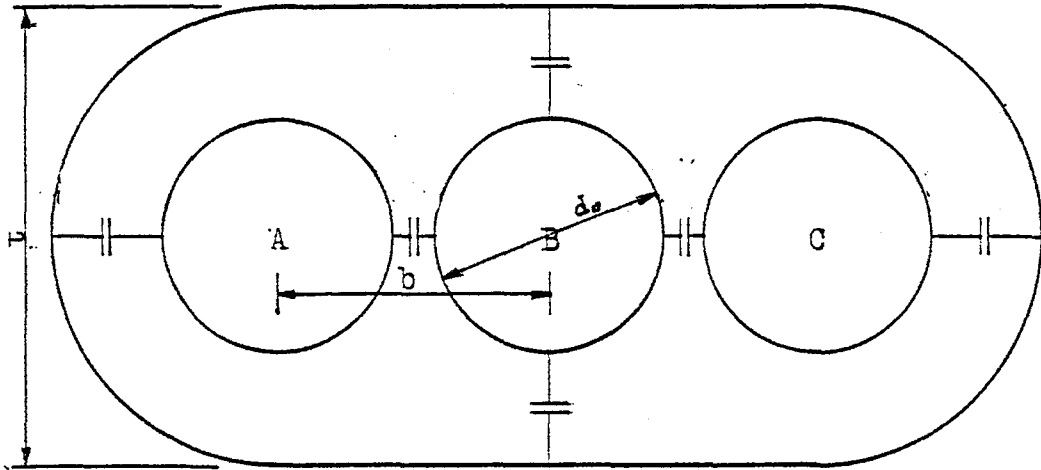
[F] (3.2)

3.1.1.3 Sargılar ve Toprak Arasındaki Kapasite

Bir iç sargı ile çekirdek arasındaki kapasite değeri (3.1)' deki formülden hesaplanabilir. (3.2)' deki formül tam anlamıyla iki paralel silindirik elektrod arasındaki kapasite değerini vermektedir. Şekil 3.3' deki gibi bir transformatör tankı söz konusu olduğu zaman t/b oranı (3.2) denkleminin ne kadar geçerli olduğunu belirler. Benzer bir problem orta fazla tank arasındaki kapasite değerini hesaplarken de ortaya çıkmaktadır. Bu temelde bir düzlem üzerine yerleştirilmiş bir silindir probleminin değişik bir şeklidir. Tek farkı diğer fazların varlığıdır. b ve t ' nin tüm değerleri için pratik olarak fazlar arasındaki kapasite değerlerinin C_f hesaplanması için (3.2)' deki formül kullanılır. Orta fazla (B fazı) tank arası kapasite C_t ' de aynı zamanda (3.2)' deki formüle göre hesaplanır.. (formülde b ' nin yerini t alıyor). Diğer iki fazla tank arası kapasite değeri C_q ise (3.1) formülünü 0.75 katsayısıyla çarparak hesaplanır. Bu tankın tam ideal bir daire olmamasından kaynaklanmaktadır. Üniform olarak dağılmış transformatör sargılarında paralel kapasite değerleri yukarıdaki gibi hesaplanmaktadır.[5]

3.1.2 Seri Kapasite

Seri kapasitenin hesaplanması için beş değişik sargı tipi gözönüne alınmıştır.



Şekil 3.3. Tranformatördeki paralel kapasiteler

3.1.2.1. Helical Sargılar İçin Seri Kapasite

Şekil 3.4' de görülen helical sargının sarım içi seri kapasitesi:

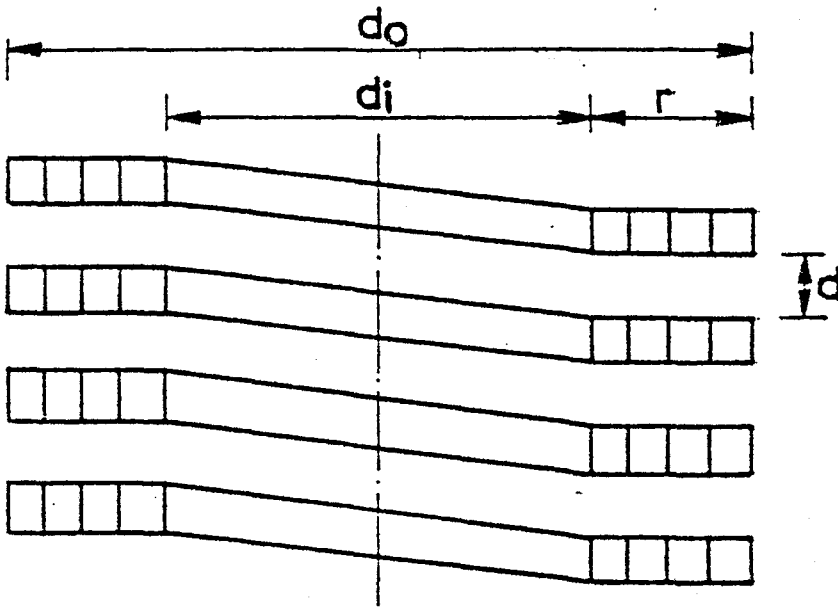
$$C_s' = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{d_0' - d_i'}{4d} \pi \quad (3.3)$$

olarak hesaplanır. Formülde d sarımlar arası mesafe, d_0' ; sargının dış çapı ile sarımlar arası mesafenin toplamı ($d_0' = d_0 + d$), d_i' ; ise sargının iç çapı ile sarımlar arası mesafenin farkıdır. ($d_i' = d_i - d$)

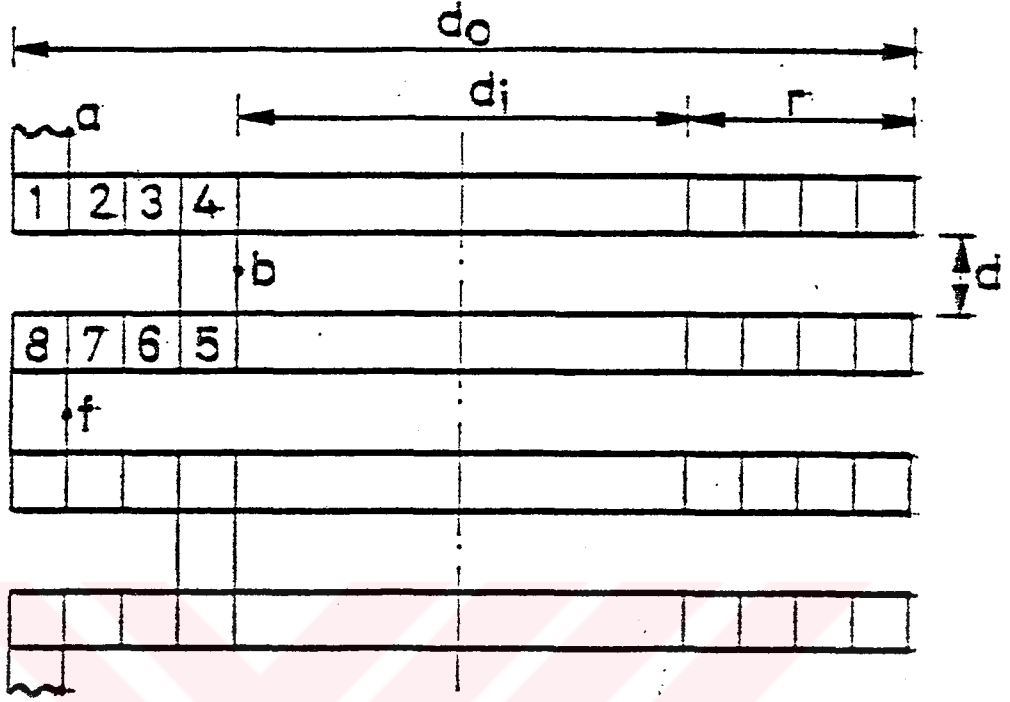
Tüm sargı boyunca seri kapasite değeri ise:

$$C_s = \frac{1}{n_t - 1} C_s' \quad (3.4)$$

formülünden hesaplanır. Burada n_t sarım sayısıdır. Paralel iletkenler arasındaki gerilim farkı ihmal edilebilir. Her sargı boyunca gerilim dağılımının lineer olduğu kabul edilmektedir.[5]



Şekil 3.4 Helical sargı



Şekil 3.5.Disk tipi sargılar

3.1.2.2 Disk Tipi Sargılar İçin Seri Kapasite

Şekil 3.5' de görüldüğü gibi eğer diskler birbirinden ayrılmışsa, eşitlik (3.3) kendi aralarındaki seri kapasite değerlerinin bulunması için kullanılır. Disk tipi sargıların eşdeğer devresi şekil 3.6' da görülmektedir. Amaç şekilde görüldüğü gibi b ile f arasındaki seri kapasite değerini her disk için ayrı ayrı bulmaktır. Şekil 3.7' de ise bb' ve ff' birleştirilmiştir. Bu çizgiler eşpotansiyel tabakaları göstermektedir. Bu problem farklı yaklaşımlarla bir kaç yazar tarafından tartışılmıştır. Burada Stein' ın bulduğu sonuçlar üzerinde durulacaktır. Şekil 3.7' de bb' ve ff' çizgileri görülmektedir. Bu çizgiler b ve f potansiyellerindeki eşpotansiyel yüzeyleri göstermektedir. Bu yüzeylerin sonsuz ince tabakalardan oluştuğu ve sargılara b ve f noktalarından bağlandığı düşünülebilir. Aynı zamanda bu yüzeylerin diskler arasındaki kanalların ortasına yerleştirildiği düşünülmektedir. Problem şekil 3.7' deki ideal modele yaklaştırılarak bb' ve ff' tabakaları arasındaki kapasite değeri

bulunabilir. Üç disk ile ilgili simetrik gerilim dağılımı bu model seçilerek kolayca bulunabilir. Gerilim dağılımı lineer olarak kabul edilmiştir.[5]

Stein' a göre bir tek diskin iç alana olan yaklaşımı bütün bir sargı içinde aynı olmalıdır. İç alan için dönüşler ve disk arasındaki benzerlik ile dış alan için disk ve tüm sargı arasındaki benzerlikle aynıdır.

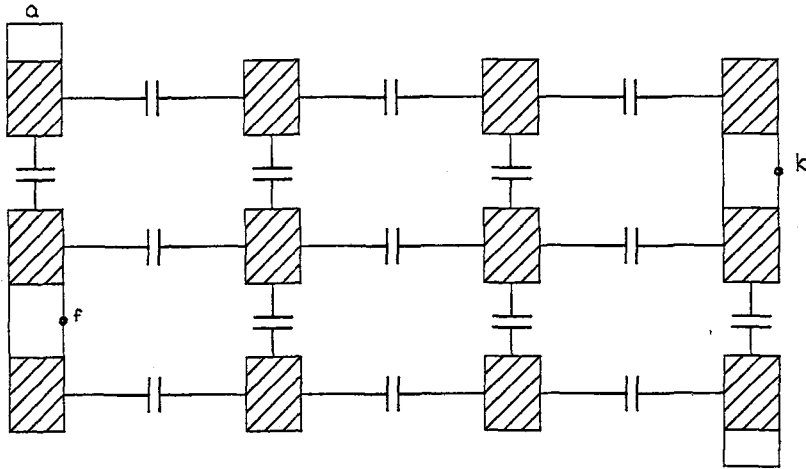
Tüm sargı için geçerli olan kapasitif gerilim dağılımı dış dağıtım sabiti:

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_T}{C_S}}$$

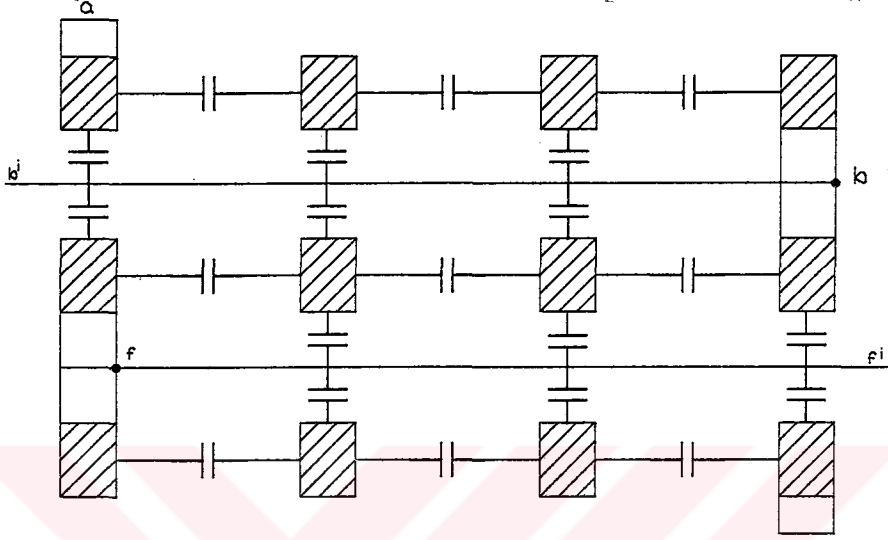
ile belirlenir. Burada C_T sargının toprağa karşı kapasite değerini, C_S ise sargının seri kapasite değerini göstermektedir. Aynı şekilde şekil 3.7' deki gibi bir disk içindeki gerilim dağılımı:

$$\alpha_i = \sqrt{\frac{4C_d}{C_t}} \quad (3.5)$$

gibi bir iç dağıtım sabitesi ile belirlenebilir. Burada C_d ayrı diskler arasındaki kapasite değerini C_t dış ve iç dönüşler arasındaki kapasite değerini göstermektedir.[5]



Şekil 3.6 Disk tipi sargı için eşdeğer devre



Şekil 3.7 Disk tipi sargı için eşdeğer devre

Amaç b ve f fazı arasındaki iç bölgede olan C_s' kapasite değerini bulmaktır. Bu kapasite değeri içinde depolanan enerji iç kapasitif şebekenin içindeki değerle aynıdır. α_i iç dağıtım sabitine bağlı olarak Stein bu enerji değerini bulmuştur. Böylece C_s' değeri bulunabilir. Stein aşağıdaki formülün geçerli olabileceğini göstermiştir:

$$\frac{C_s'}{C_d + C_t} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\alpha_i}\right)^2} \left(1 + \frac{1}{\alpha_i} \coth \alpha_i\right) \quad (3.6)$$

$$\alpha_i' = \frac{1}{2} \alpha_i = \sqrt{\frac{C_d}{C_s}} \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.6 aynı zamanda aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{C_s'}{C_d} = (1 + \frac{1}{\alpha_i'} \coth g \alpha_i') \quad (3.8)$$

Buradan:

$$C_s' = \frac{4}{3} C_d + C_t \quad (3.9)$$

ve

$$\frac{C_s'}{C_d} = (1.33 + (\frac{1}{\alpha_i'})^2) \quad (3.10)$$

dır.

Şekil 3.8' de (3.8) ve (3.10) nolu denklemler karşılaştırılmıştır. Bu iki ifade arasındaki temel fark (3.10) nolu denklemin diskler içindeki lineer bir gerilim dağılımına bağlı olmasıdır. Oysa denklem (3.8)' de sadece simetrik bir dağılım gözönüne alınmıştır. Bu çalışmada (3.12) denklemini disk tipi sargının seri kapasite değerini bulmak için kullanılmaktadır:

$$C_d = \epsilon_r \epsilon_0 \pi \frac{d_o'^2 - d_i'^2}{4} \frac{1}{d} \quad (3.11)$$

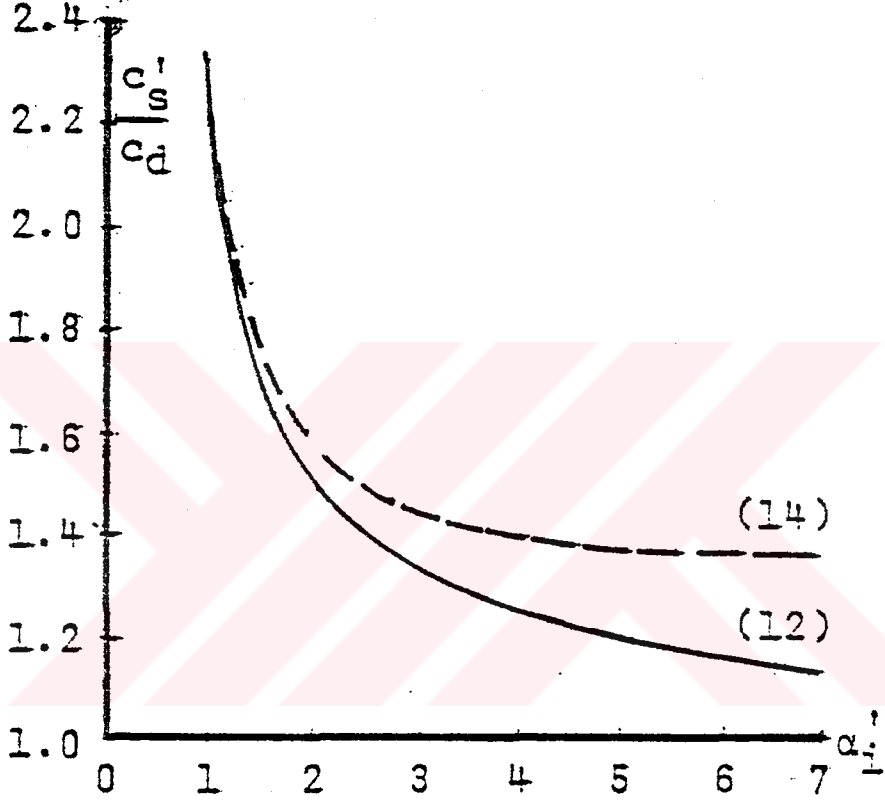
$$C_s = \frac{1}{n_d} C_s' = C_d \frac{1}{n_d} (1 + \frac{1}{\alpha_i'} \coth g \alpha_i') \quad (3.12)$$

(3.7) nolu denklem de dış ve iç dönümler arasındaki C_t kapasite değeri, α_i olarak sadeleştirilir. C_t paralel kollar arasındaki kapasite değeri paralel kollar arasında gerilim farkı olmadığı düşünülerek hesaplanmıştır:

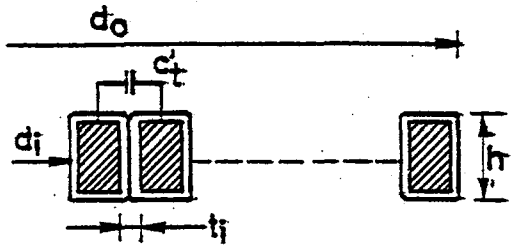
$$C_t' = \epsilon_r \epsilon_0 \pi \frac{d_o + d_i}{2} \frac{h}{t_i} \quad (3.13)$$

$$C_t = \frac{1}{m_t - 1} C_t' \quad (3.14)$$

Burada h , yalıtılmış iletkenin aksial yüksekliği, t_i sarımlar arasındaki yalıtım kalınlığı ve m_t , her bir diskin sarım sayısını göstermektedir.



Şekil 3.8 Seri kapasite değeri



Şekil 3.9 Tek bir disk

3.1.2.3 İçiçe Sarılmış Disk Tipi Sargılar İçin Seri Kapasite

Kullanımda olan iç içe geçmiş çok sayıda sargı arasında sadece şekil 3.10' da gösterilen sargı gözönüne alınacaktır. Amaç toprağa karşı olan ve sargılar arasındaki gerilim değerini hesaplamak olduğundan yapılan çalışmada sadece düşük harmonik değerleri gözönüne alınmıştır. Diskler arasındaki yüksek frekans hesapları etkilemeyecektir. Şekil 3.10' da a ve b arasındaki eş kapasite değeri aşağıdaki denklemle gösterilmiştir.

$$\frac{1}{2} C_s' u^2 = w \quad (3.15)$$

Burada w , dönüşler ve diskler arası disk başına depolanan kapasite değerini, u , bir disk boyunca oluşan gerilim değerini göstermektedir. İç içe geçmiş bir sargı için her disk içindeki gerilim dağılımının lineer olduğu kabul edilmiştir. Bu varsayımdan hareketle enerji depolanması için aşağıdaki ifadeler kabul edilir. Dönüş kapasite değerleri için:

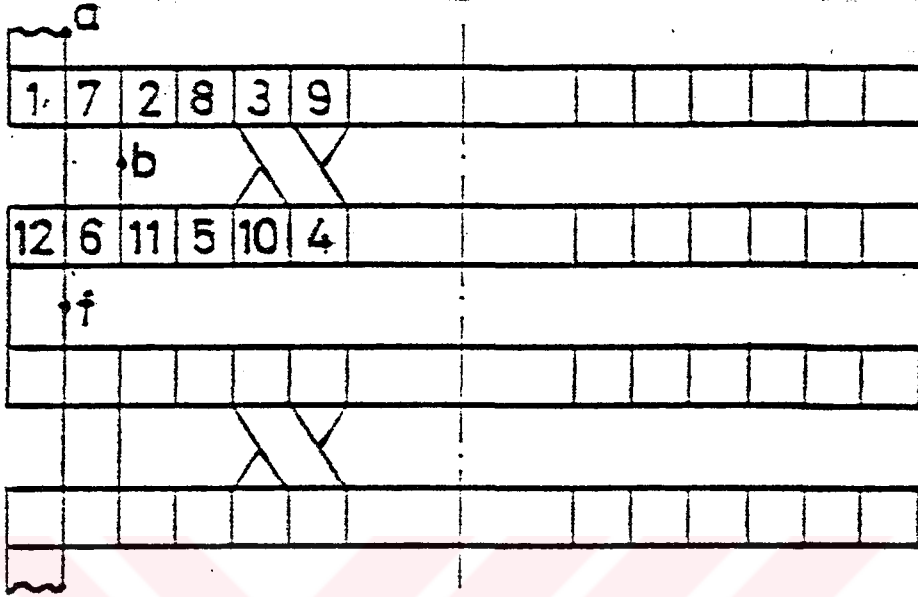
$$w_t \cong \frac{1}{2} u^2 C_t' (m_t - 1) \quad (3.16)$$

(3.16) nolu denklem geçerlidir. Burada C_t' komşu sarımlar arasındaki kapasite değerini göstermektedir. Diskler arası kapasite değeri içinse:

$$w_d = \frac{1}{2} u^2 \left(\frac{4}{3} C_d \right) \quad (3.17)$$

(3.17) denklemi kullanılır. (3.15), (3.16) ve (3.17) denklemlerinin ortak bir çözümü olarak bütün bir sargının seri kapasitesi (3.18) denklemi gibidir.[5]

$$C_s = \frac{1}{n_d} C_s' = \left[(m_t - 1) C_t' + 1.33 C_d \right] \frac{1}{n_d} \quad (3.18)$$



Şekil 3.10 İç içe sarılmış disk sargı

3.1.2.4. Silindirik Tip Sargılar İçin Seri Kapasite

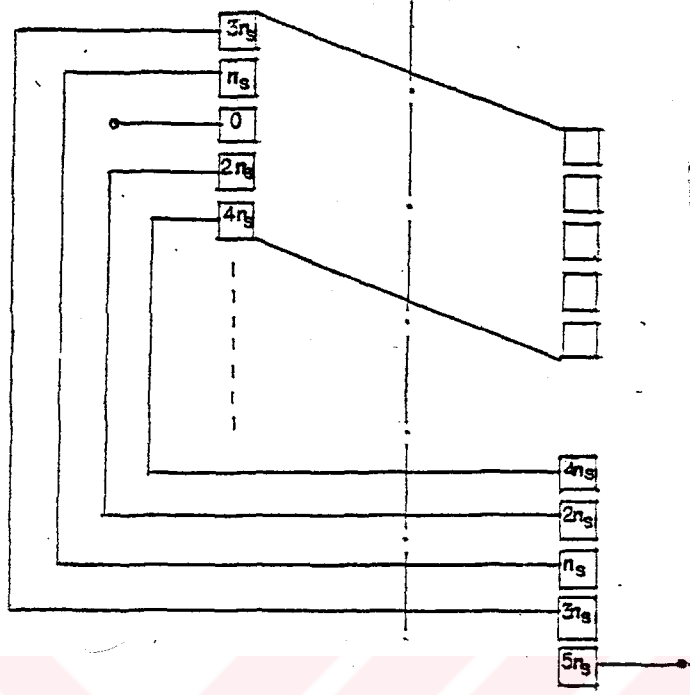
Bu sargı tipi helical sargı tipine çok benzemektedir. Tek farkı silindirik sargıların çok küçük olan radyal boyutudur. Silindirik tip sargılar için seri kapasite değeri:

$$C_s = \epsilon_r \epsilon_0 \pi (d_i + r) \frac{r}{d} \frac{1}{n_t - 1} \quad (3.19)$$

formülü ile hesaplanabilir. (r =radyal boyut)

3.1.2.5. İç içe Sarılmış Silindirik Tip Sargılar İçin Seri Kapasite

Bu sargı tipi alışlagelmiş ayar sargısının dizaynı demektir. Sarımlar şekil 3.11' de gösterildiği gibi bağlanabilir.



Şekil 3.11 İççe geçmiş silindirik sargı

Lineer bir gerilim dağılımı olduğu kabul edilerek, n_s , ayar sargısının dönüş sayısı, m_s , ayar adımlarının sayısı, u , tüm ayar sargısı boyunca olan gerilim olmak üzere denklem 3.16' ya bağlı olarak:

$$\frac{1}{2}u^2 = \frac{1}{2} \left(\left(\frac{u}{m_s} \right)^2 2 \right) (m_s - 2) + \left(\frac{u}{m_s} \right)^2 2 C_t' n_s \quad (3.20)$$

ve

$$C_s = \frac{4n_s}{m_s} C_t' \left(1 - \frac{3}{2m_s} \right) \quad (3.21)$$

denklemleri ortaya çıkar. C_t' denklem (3.14) ile verilmiştir. Burada h , aksiyelden ziyade radyal boyutu ifade etmektedir. Kapasitif kuplajın sadece bitişik sarımlar arasında olduğu varsayılmıştır. Denklem (3.22) kuplaj mesafesinin biraz daha fazla olması durumu gözönüne alınmıştır.[5]

$$C_s \cong \frac{8n_s}{m_s} C_t' \left(1 - \frac{3}{2m_s} \right) \quad (3.22)$$

3.2.Öz ve Ortak Endüktanslar

Kapasite değerlerinin hesaplanması için kolay metodlar geliştirilse de endüktans değerleri için bu yapılamamaktadır. Demir nüvenin etkisi endüktansın bir fonksiyonudur. Şekil 3.12' de 8 parçalı bir sarım gözükmemektedir. Bu sarımların gerilim dağılımını hesaplayabilmek için her sarımın özendüktans ve ortak endüktans değerlerine ihtiyaç vardır. İlk sarıma bir gerilim uygulandığını varsayarak, burdan akacak olan akımın 2. sarımda bir manyetik akı oluşturduğu görülür. ϕ_m ortak akan akı, ϕ_l diğer sarımlara fazla etkimeyen akıdır. Sistem doğrusal olduğu için bu akılar ve etkileri ayrı ayrı ele alınabilir. Sadece ϕ_m ' in etkisi her sarım başına bütün sargılarda az çok aynı gerilimi oluşturmaktadır. Şekil 3.12' de tek bir sarım için uyarılmayan terminal yalıtılırsa ϕ_m sonuçta sadece harmonikleri etkileyebilir. Bunun yerine bir terminal topraklanırsa ϕ_m sadece sarıma uygulanan gerilim sonucunda akması gereken akımı etkilemektedir. Bir sargıda oluşan harmonikler sadece tek bir frekanstan ibaret değildir. Temel harmoniğe ek olarak daha yüksek harmoniklerde görülür. Deneyler sonucunda transformatörün darbe gerilim hesaplarında endüktansın frekans bağımlılığının hesaba katılmasının gerekmediği görülmüştür. Büyük güçlü bir transformatörün yüksüz endüktansı yaklaşık olarak:

$$L_{n1} = \mu_r \mu_0 \frac{A}{l_k} N^2 \quad (3.23)$$

bağıntısından bulunabilir. Burada μ_r çekirdeğin bağıl geçirgenliği, $\mu_0 = 1,256.10^{-6}$ H/m⁻¹ olan boşluğun geçirgenliği, A [m²] boyutunda manyetik akının geçtiği demir çekirdek kesidi, l_k [m] demir çekirdeğin uzunluğu ve N sarım sayısıdır.

Böylece darbe gerilim dağılımı incelenecek endüktansın bağıntısı:

$$L = \frac{1}{15-40} L_{n1} \quad (3.24)$$

şeklini alır.

Hesaplarda gözönüne alınacak karşılıklı endüktans her bir sargıda ve eş eksenli sargılar arasında mevcuttur. Deneylere göre l uzunluğundaki homojen sargının bir ucundan ölçülerek bulunan sarım uzaklığını veren koordinatlar x ve y ise iki sargı arasındaki ortak endüktans:

$$M(x, y) = L \sqrt{\frac{|x-y|}{l}} \quad (3.25)$$

dır. Burada L birim uzunluktaki sargının özendüktansıdır. Üstteki v büyüklüğü sargının geometrik boyutlarına ve manyetik koşullarına bağlıdır.[5]

Pratikte (3.24) denkleminde direkt olarak bulunan değer tüm sargının özendüktansıdır. Bir elemanın endüktansı L_1 , eleman sayısı n , her bir sargı elemanının arasındaki ortak endüktif kuplajı karakterize eden katsayı q ve tüm sargı eşdeğer endüktansı L olmak üzere tüm sargı endüktansı için:

$$L = nL_1 \left[1 + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{n-k}{\frac{n}{2}} q^k \right] \quad (3.26)$$

bağıntısı geçerlidir. Endüktansları L_r ve L_s olan iki eş eksenli sargı arasındaki ortak endüktans şu bağıntıdan hesaplanabilir:

$$M_{rs} = q_{rs} \sqrt{L_r L_s} \quad (3.27)$$

q_{rs} katsayısı sargılar arasındaki kuplajın gevşek yada sıkı olduğunu gösterir. Bu endüktif kuplaj aynı nüve üzerindeki iki sargı arasında çok sıkıdır. Bu tür durumlarda $q_{rs} = 0,97 - 0,99$ dir. Şayet biri veya sargıların her ikisi birden birkaç elemana ayrılmışsa, başka sargıların sargı elemanlarıyla bu sargı elemanları arasındaki ortak endüktif kuplaj da belirlenmelidir.[3]

Bir sargıda meydana gelen gerilim titreşimleri sargı direnci ve demir kayıpları tarafından söndürülür. Şekil 3.13' de şayet sönüm durumunda gözönüne alınacaksa sargı direnci eklenmiş bir model görülmektedir. Sargı direnci endüktanslara seri bağlanarak, demir kayıplarını gösteren direnç onlara paralel bağlanarak hesaba katılır. Burada r , sargının birim uzunluğundaki bir bölümün direnci ve R , demirin birim uzunluktaki bölümündeki demir kayıplarına karşılık gelen dirençlerdir. Bu modele

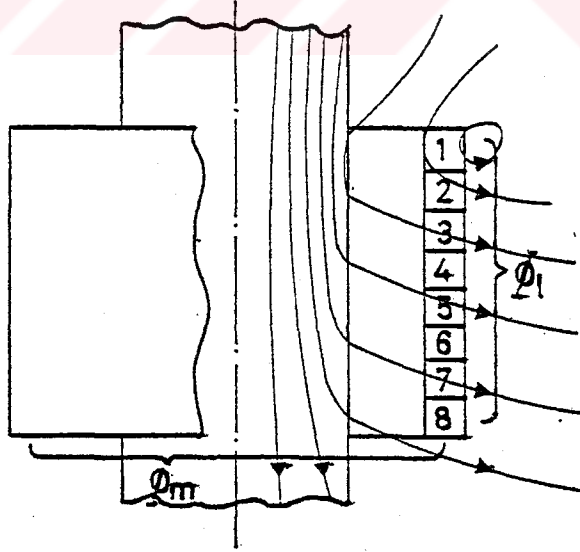
uygulanabile diferansiyel denklem takımı gerilim dağılımının sadece kendisini çıkartmak amacı için çok karmaşıktır fakat sönüm faktörünü hesaplamak için uygundur. Uzay domeninde harmonik titreşim frekansının:

$$\beta_m = \frac{m\pi}{l}$$

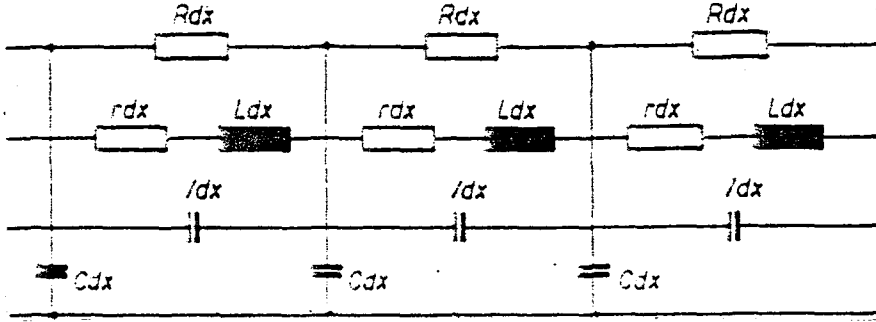
sönüm faktörü:

$$\delta = \frac{r_1}{2L_1} + \frac{m^2 \pi^2}{2R_1(C_{T1} + C_{S1}m^2 \pi^2)} \quad (3.28)$$

dir. Bu bağıntıda $r_1=r.l$, $L_1=L.l$, $R_1=R.l$, $C_{T1}=C_T.l$ ve $C_{S1}=C_S/l$ tüm sargıya ait değerlerdir. l sarım uzunluğunu göstermektedir. Sönüm faktörünün ilk terimi sargı direncinden kaynaklanmaktadır. İkinci terim ise demir kayıplarının sebep olduğu sönümdür ve büyük güçlü transformatörlerde ikinci terim birinciden çok büyüktür.[5]



Şekil 3.12



Şekil 3.13-Söndürüm dirençli transformatör sargısının matematik modeli

Pratikte sönüm faktörü genellikle deneysel bilgilere bağlı olarak belirlenir. Sönümün karakteristiği, benzer polaritede ard arda gelen iki yarı dalganın A_1 ve A_2 genliklerinin oranıdır. Büyük güçlü transformatörlerde yapılan ölçümlere göre, bu oranlar ele alınan transformatörün salınım paterninde oluşan tüm harmonikler için sabit kalır yani oranın değeri frekanstan bağımsızdır. k . harmoniğin sönüm faktörü aşağıdaki formüle göre bulunur.

$$\delta_k = \frac{\omega_k}{2\pi} \ln \frac{A_1}{A_2}$$

Burada $\frac{A_1}{A_2}$ oranının değeri, transformatör tasarımına bağlı olarak 1,2 - 1,4 arasındadır. Oysa frekansa bağlı olarak sönüm faktörünün değeri birkaç 1000 s^{-1} ile 20000 s^{-1} arasındadır. Sönüm etkisi hesaba salınım elemanlarını:

$$f_k(t) = e^{-\delta_k t}$$

fonksiyonuyla çarparak katılır. Gerilim titreşimlerinin başında, söndürüm etkisi fark edilmez ve bu yüzden söndürümün genellikle yalıtım dizaynına etki eden maksimum gerilim üzerine bir etkisi yoktur.[3]

BÖLÜM 4

BAŞLANGIÇ GERİLİM DAĞILIMINDAN SON GERİLİM DAĞILIMINA GEÇİŞTE OLUŞAN SERBEST TİTREŞİMLER

Gerek sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargılarda ve gerekse sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargılarda, başlangıç gerilim dağılımından son gerilim dağılımı oluşuncaya kadar sargı içinde gerilim titreşimleri meydana gelir.

Transformatör sargısı içinde oluşan bu titreşimlerin bulunması için $t=0$ anındaki sınır koşulları kullanılarak (2.4) nolu diferansiyel denkleminde yararlanılır. Genel olarak $t=0$ anı için bu titreşimlerin bağıntısı aşağıdaki gibidir:

$$u_0(x) = u(x, 0) + u_{ks}(x, 0) \quad (4.1)$$

Burada, $u_0(x)$ başlangıç gerilim dağılımı, $u(x, 0)$ serbest titreşimler, $u_{ks}(x, 0)$ son gerilim dağılımıdır. Serbest titreşimler en genel olarak:

$$u(x, t) = \sum (a_n \cos \lambda_n x + b_n \sin \lambda_n x) \cos \omega_n t \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargıda sınır koşullarını kullanarak herhangi bir t anında x noktasındaki serbest titreşimlerin ifadesi (4.2)'deki gibidir. Sınır koşulları yerine konarak:

$$x=0 \text{ için}$$

$$u(0, t) = 0$$

$$\text{ve } a_n = 0$$

$$x=l \text{ için } u(l,t)=0 \text{ ve } \lambda_n = \frac{n\pi}{l} \quad (n=1,2,3,\dots)$$

olduğu bulunur. Buradan da sonu topraklanmış sargıda serbest titreşimlerin ifadesi genel olarak:

$$u(x,t) = \sum_n b_n \sin \frac{n\pi}{l} x \cos \omega_n t \quad (4.3)$$

şeklindedir. (n=1,2,3,4,5..) Sonu topraklanmamış sargıda serbest titreşimler:

$$u(x,t) = \sum_n b_n \sin \frac{n\pi}{l} x \cos \omega_n t \quad (4.4)$$

şeklindedir. (n=1,3,5,7,..).

4.1.1. Sonu Topraklanmış Silindirik Sarılmış Sargı İçinde Oluşan Gerilim Titreşimlerinin Genel İfadesi

Sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargıdaki serbest titreşimlerin genel ifadesi (4.3)' deki gibidir. Burada b_n sabitini bulmak için sonu topraklanmış sargıda sargı girişine birim gerilim uygulanması durumunda $t=0$ için başlangıç gerilim dağılımı:

$$u_0(x,0) = \frac{\text{Sh} \alpha (1-x)}{\text{Sh} \alpha l}$$

son gerilim dağılımı:

$$u_{ks}(x,0) = 1 - \frac{x}{l}$$

ve serbest titreşimler:

$$u(x,0) = \sum_n b_n \sin \frac{n\pi}{l} x$$

dir. Bu değerler (4.1) nolu bağıntıda yeryerine konursa:

$$\frac{\text{Sh} \alpha(1-x)}{\text{Sh} \alpha l} = 1 - \frac{x}{l} + \sum_n b_n \sin \frac{n\pi}{l} x$$

bulunur. Buradan:

$$\sum_n b_n \sin \frac{n\pi}{l} x = \frac{\text{Sh} \alpha(1-x)}{\text{Sh} \alpha l} - \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

bulunur. Yukarıdaki eşitliğin sol tarafı için:

$$\sum_n b_n \sin \frac{n\pi}{l} x = f(x) \quad (4.5)$$

denirse ve sargı girişine birim gerilim uygulanması durumunda $x=0$ da $u_0=1$:

$$u_{ks}=1 \quad u_0(0,0)=1 = \frac{\text{Sh} \alpha(1-x)}{\text{Sh} \alpha l}, \text{ den}$$

$$u_0(0,0)=1 = \frac{\text{Sh} \alpha(1-x)}{\text{Sh} \alpha l}$$

ve

$$u_{ks}(0,0)=1 = 1 - \frac{x}{l}$$

bulunur. Bu bağıntılar aşağıdaki denklemde yerine konulursa:

$$u_0(x,t) = u(x,t) + u_{ks}(x,t) \quad (4.6)$$

$$u_0(0,0) = u(0,t) + u_{ks}(0,0)$$

$$1 = u(0,t) + 1$$

$$u(0,t) = 0$$

bulunur. Yani sargı başında titreşim yoktur. Sargı sonunda $x=l$ için:

$$u_0(l,0) = 0 = \frac{\text{Sh} \alpha(1-x)}{\text{Sh} \alpha l}$$

$$u_{ks} = 0 = 1 - \frac{x}{l}$$

değerleri (4.6) nolu bağıntıda yerlerine konulursa:

$$u_0(l, 0) = u(l, t) + u_{ks}(l, 0)$$

$$0 = u(l, t) + 0$$

$$u(l, t) = 0$$

bulunur. Yani sargı sonunda titreşim yoktur. (4.5) nolu denklemin her iki tarafı $\sin \frac{k\pi}{l} x$ ile çarpılırsa:

$$\sum_n b_n \sin \frac{n\pi}{l} x \sin \frac{k\pi}{l} x = f(x) \sin \frac{k\pi}{l} x$$

bulunur. Bu bağıntının n.'ci harmonik için $x=0$ ' dan $x=l$ ye kadar integrali alınırsa:

$$\int_{x=0}^{x=l} \sin \frac{n\pi}{l} x \sin \frac{k\pi}{l} x dx = \left| \frac{\sin(n-k) \frac{\pi}{l} x}{2(\frac{n\pi}{l} - \frac{k\pi}{l})} - \frac{\sin(n+k) \frac{\pi}{l} x}{2(\frac{n\pi}{l} + \frac{k\pi}{l})} \right|$$

$$b_n = -\frac{2}{n\pi} \frac{\alpha^2 l^2}{\alpha^2 l^2 + n^2 \pi^2} \quad (4.7)$$

bulunur. Serbest titreşimler sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargıda en genel olarak:

$$u(x, t) = \sum_n -\frac{2}{n\pi} \frac{\alpha^2 l^2}{\alpha^2 l^2 + n^2 \pi^2} \sin \frac{n\pi}{l} x \cos \omega_n t \quad (4.8)$$

ifade edilir.

4.1.2. Sonu Topraklanmamış Silindirik Sarılmış Sargı İçinde Oluşan Gerilim Titreşimlerinin Genel İfadesi

Sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargıda sınır koşullarını kullanarak herhangi bir t anında x noktasındaki serbest titreşimlerin ifadesi (4.4)' deki gibidir. Sınır koşulları yerine konarak:

$$x=0$$

$$u(0,t)=0' \text{ dan}$$

$$a_n=0$$

$$x=l \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=l}=0' \text{ dan}$$

$$\cos \lambda_n l = 0 \text{ dan}$$

$$\lambda_n l = \frac{\pi}{2}$$

kullanılarak $\lambda_n = \frac{n\pi}{2l}$ $(n=1,3,5,\dots)$

bulunur. Daha önce:

$$u(x,t) = \sum_n b_n \sin \frac{n\pi}{l} x \cos \omega_n t$$

bulunmuştu. Buradan:

$$b_n = -\frac{4}{n\pi} \frac{\alpha^2 l^2}{\alpha^2 l^2 + \frac{n^2 \pi^2}{4}} \quad (4.9)$$

bulunur.

Sargının her noktasında aşırı gerilim $t=0$ anından itibaren başlangıç değerinden başlayarak ilerleyecek ve son gerilim dağılışı etrafında titreşim yaparak sargılara dağılacaktır. Sargının çeşitli noktalarındaki geçici gerilim titreşimlerinin maksimum değerleri sargı uzunluğunun fonksyonu olarak çizilirse zarf eğrileri elde edilir. Serbest titreşimlerin harmoniklerinin genlikleri ne kadar küçük olursa başlangıç gerilim dağılımı son gerilim dağılımına o kadar yaklaşır. Dolayısıyla α faktörünü düşürerek hem başlangıç gerilim dağılımının doğrusal olması hemde gerilim titreşimlerinin genliklerinin düşük olması sağlanır.[4], [5], [6], [7]

4.2.Serbest Titreşimlerin Genel İfadesinin Bilgisayar Programı

Daha öncede belirtildiği gibi transformatör sargısına bir aşırı gerilim geldiği zaman, sargının her noktasında gerilim $t=0$ anından itibaren başlangıç değerinden başlayarak ilerleyecek ve son gerilim dağılışı etrafında titreşim yaparak sargılara dağılacaktır. Sargının çeşitli noktalarındaki geçici gerilim titreşimlerinin maksimum değerleri sargı uzunluğunun fonksyonu olarak çizilirse zarf eğrileri elde edilmektedir. Bu çalışmada bu gerilim titreşimleri ve bunların toplamını oluşturan zarf eğrileri sırasıyla hem sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargı için hemde sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargı için incelenip ilgili matematiksel bağıntıları çıkartılmış ve Turbo C bilgisayar programlama dili kullanılarak αl 'nin 0' dan 10' a kadar değerleri için tek tek çizdirilmiştir.

Hazırlanan bu program başlıca iki ana bölümden oluşmaktadır.

1. Bölümde sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargı ve sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargı için başlangıç gerilim dağılımı eğrileri ve son gerilim dağılımı eğrilerinin çizimi yapılmaktadır.
2. Bölümde ise αl 'nin çeşitli değerleri için sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargı ve sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargı için sargı içinde oluşan serbest titreşim eğrileri ve bunların toplamını oluşturan zarf eğrileri çizdirilmiştir.

1. Bölümde sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargıda başlangıç gerilim dağılımını çizdirmek için 2.11 denklemi son gerilim dağılımını çizdirmek için ise 2.16 denklemi kullanılmıştır. Aynı şekilde sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargıda başlangıç gerilim dağılımını çizdirmek için 2.13 denklemi ve son gerilim dağılımını çizdirmek için 2.18 denklemi kullanılmıştır.

2. Bölümde sargılarda oluşan serbest titreşimleri αl 'nin çeşitli değerlerine göre çizdirmek için sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargı için 4.8 denklemi sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargı içinse 4.9 denklemi kullanılmıştır. Burada αl 'nin 0' dan 10' a kadar değiştiği $t=0$ olduğu ve n harmonik derecesinin 1' den 10' a kadar değiştiği kabulleri yapılmıştır.

Program yazılırken grafikler için koordinat adı altında bir function yazılmıştır. Bu function'a eksenin çizileceği kordinatlar ve her bir eksenin isimleri gönderildiği zaman istenen noktaya eksen çizdirilmektedir. Program mono chrome hercules ekranda hazırlanmıştır. Bu ekranda yatay 720 adet düşey 348 adet nokta bulunmaktadır. Ayrıca ölçek x ve ölçek y' den oluşan iki değişken atanmıştır. Bu görüntünün yaratıldığı ekran haricindeki diğer

ekranlarda da grafiklerin aynı şekilde görölmesini sağlamaktadır. Çizimler yaptırılırken dikkat edilen en önemli nokta yatay koordinatları verirken ölçek x, düşey koordinatları verirken ölçek y ile çarpım yapılmıştır.

Çizim programı yapılırken üç önemli noktaya dikkat edilmiştir.

4.2.1. Bütün ekranlarda aynı görüntüyü elde etmek

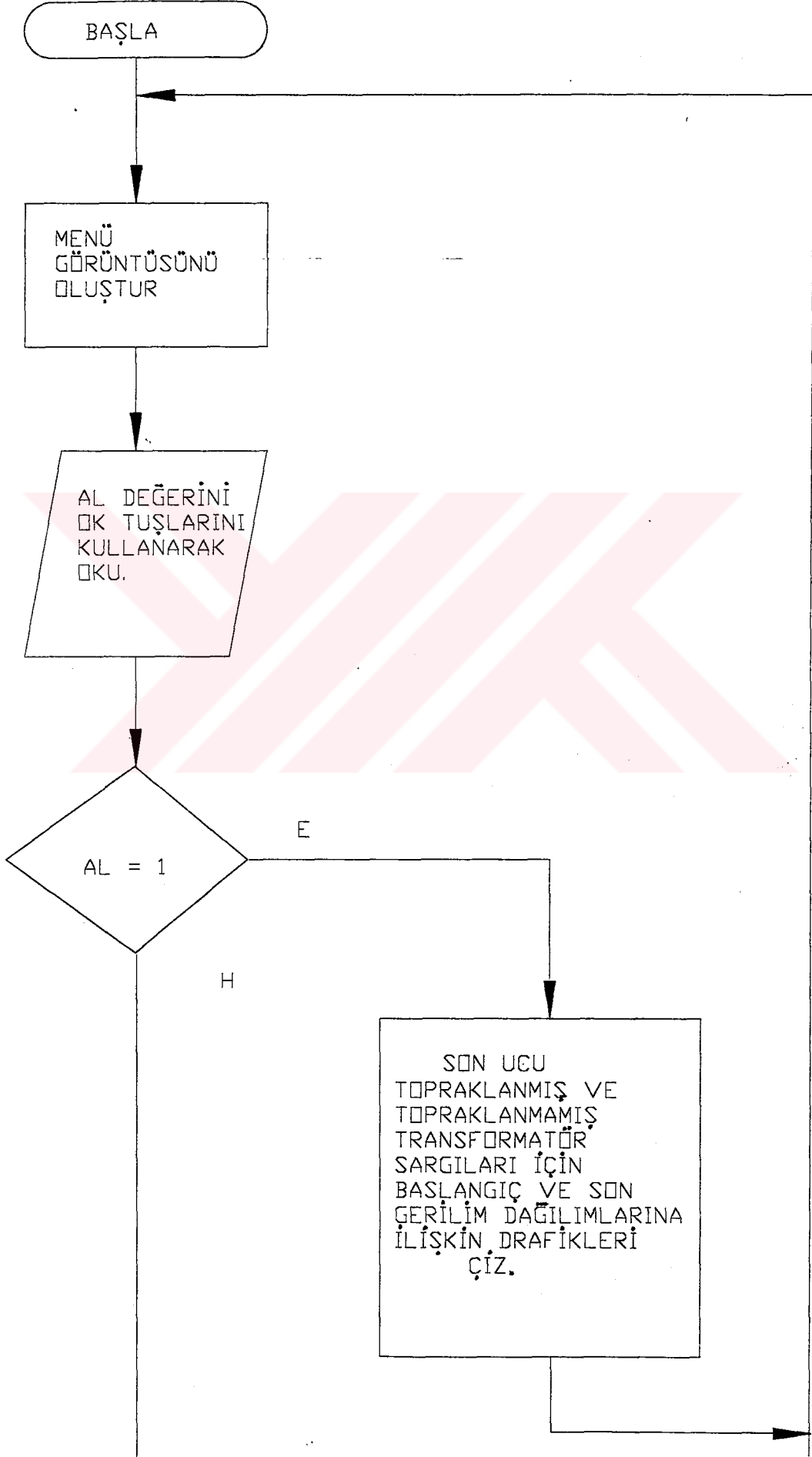
4.2.2. Doğru ölçeklemeyi gerçekleştirmek

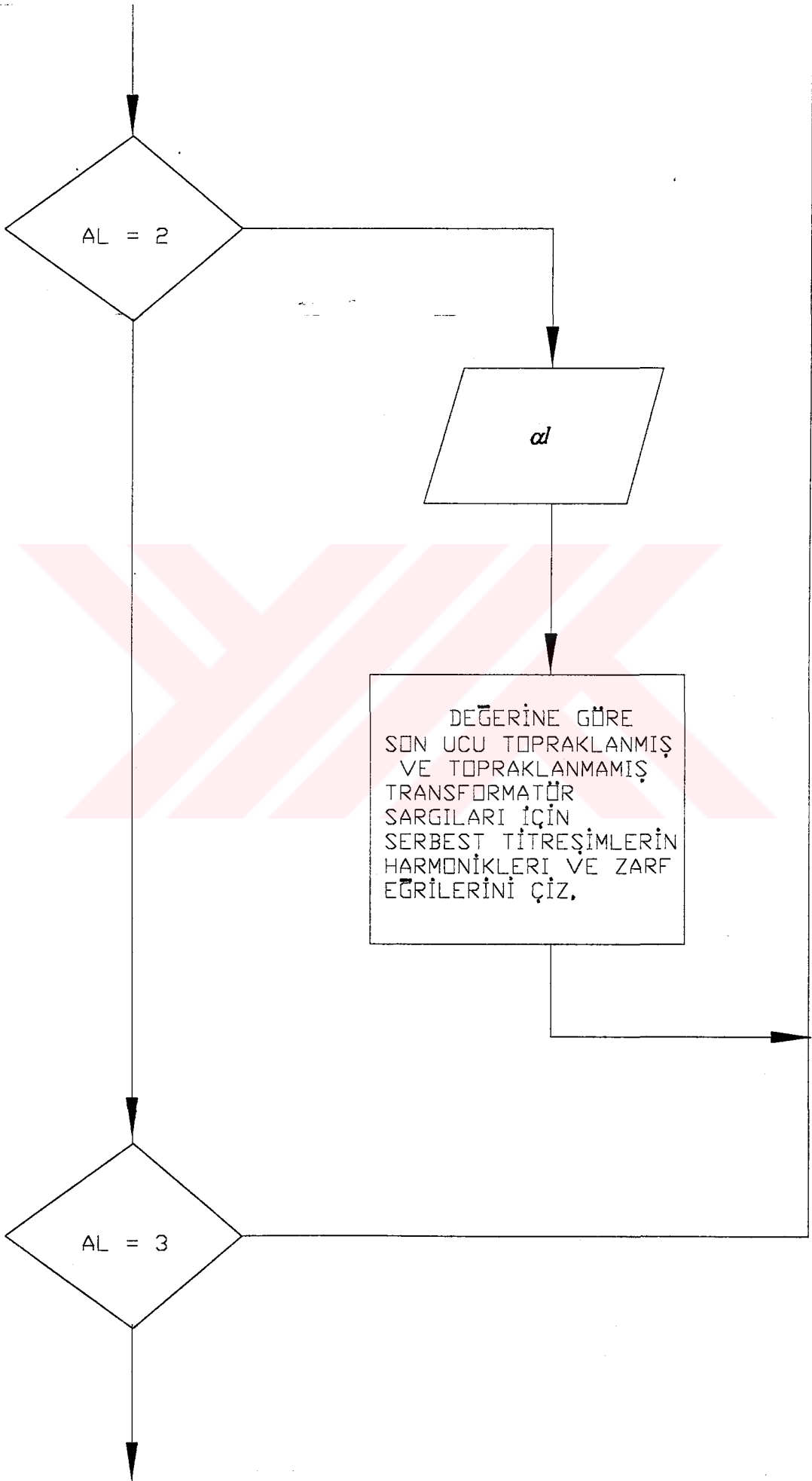
4.2.3. Doğru genliği vererek ekranda oluşabilecek görüntü taşmasını engellemek

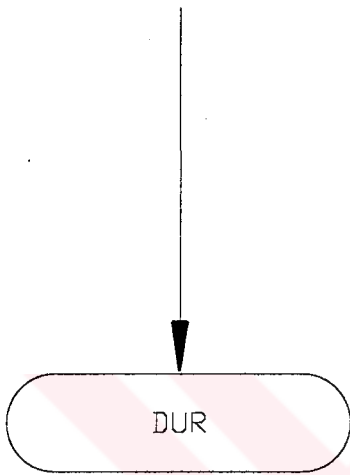
Ayrıca mümkün olduğu kadar kullanıcının değer girişlerinde hata yapması engellenmeye çalışılmıştır. Programda bir bölümden diğer bir bölüme geçişte bölümler arası bekleme yapılmaktadır. Böylece kullanıcının grafikleri karıştırmadan incelemesi sağlanmıştır.

Sonuç olarak α 'nin büyük olması durumunda serbest titreşim harmoniklerinin ve bunların toplamını oluşturan zarf eğrisinde ilk %20' lik bölümünün en fazla karşılaşılan bölümünün aşırı gerilim zorlanmaları ile en fazla karşılaşılan yeri olduğu görölmüştür. Hazırlanan bu programın dökümü Ek A' da verilmektedir.[8], [9]

4.2.1. Programın Akış Diyagramı



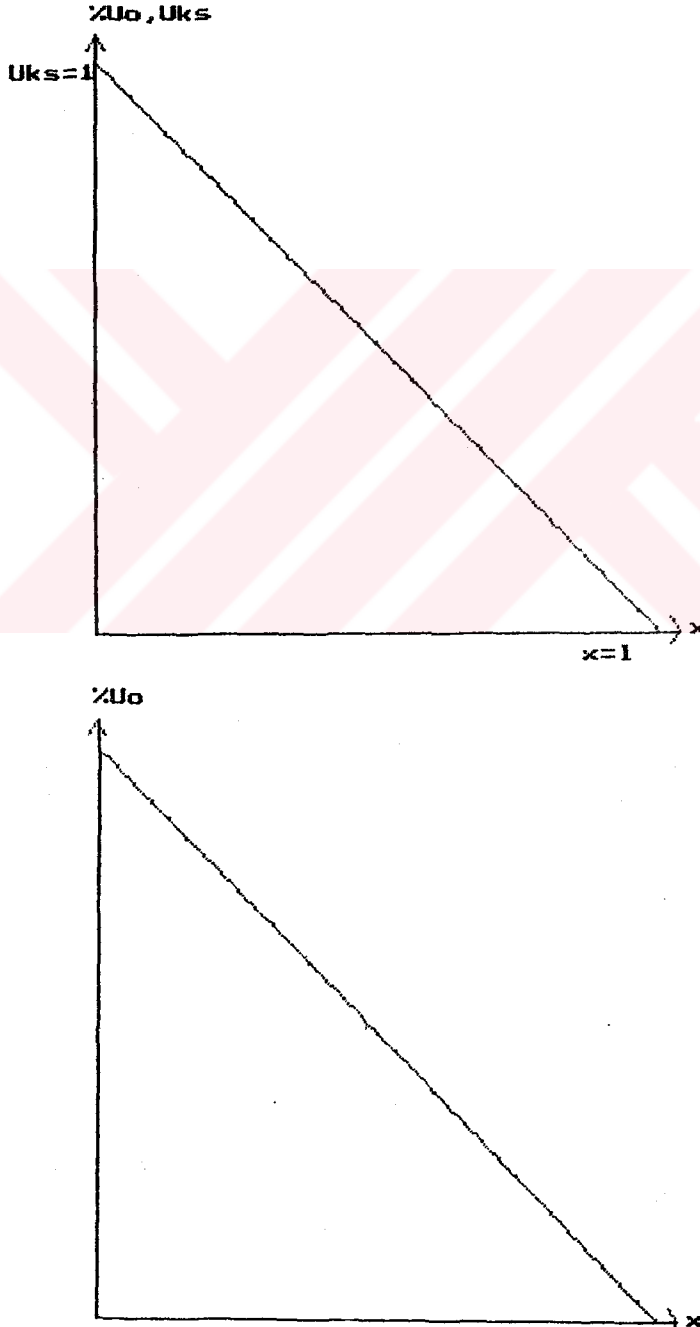




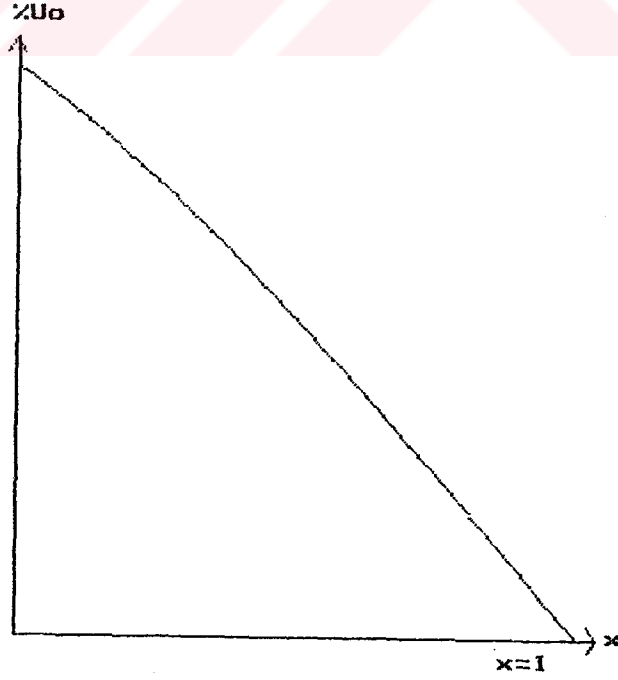
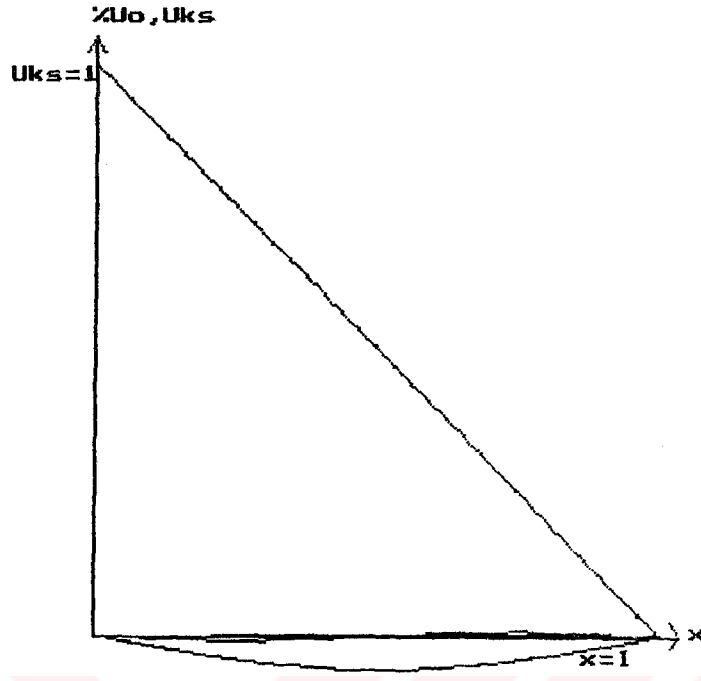
4.3. α 'nin Çeşitli Değerleri İçin Serbest Titreşimlerin Harmonikleri Ve Zarf Eğrileri

Bu bölümde α 'nin 1'den 10' a kadar çeşitli değerleri için çizdirilen grafikler sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargılar ve sonu topraklanmamış silindirik sarılmış sargılar için ayrı ayrı incelenmiştir.

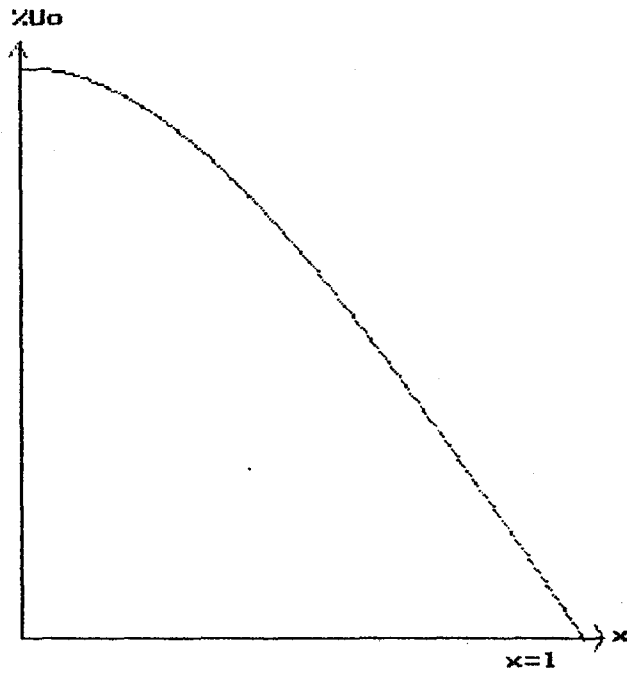
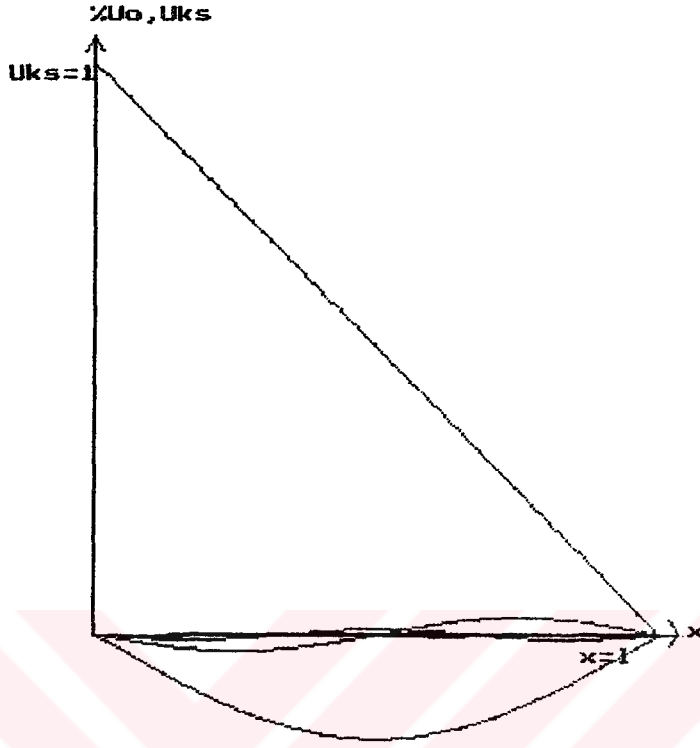
4.3.1. Sonu Topraklanmış Silindirik Sarılmış Sargılar İçin Serbest Titreşimlerin Harmonikleri Ve Zarf Eğrileri



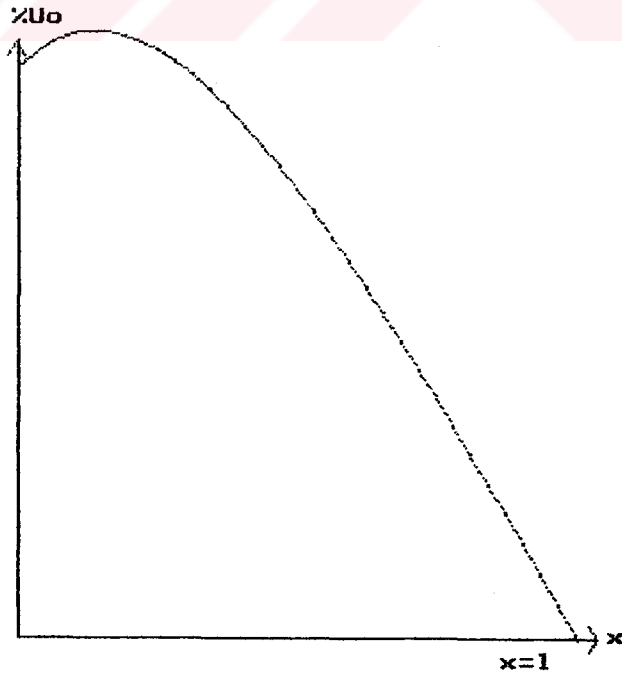
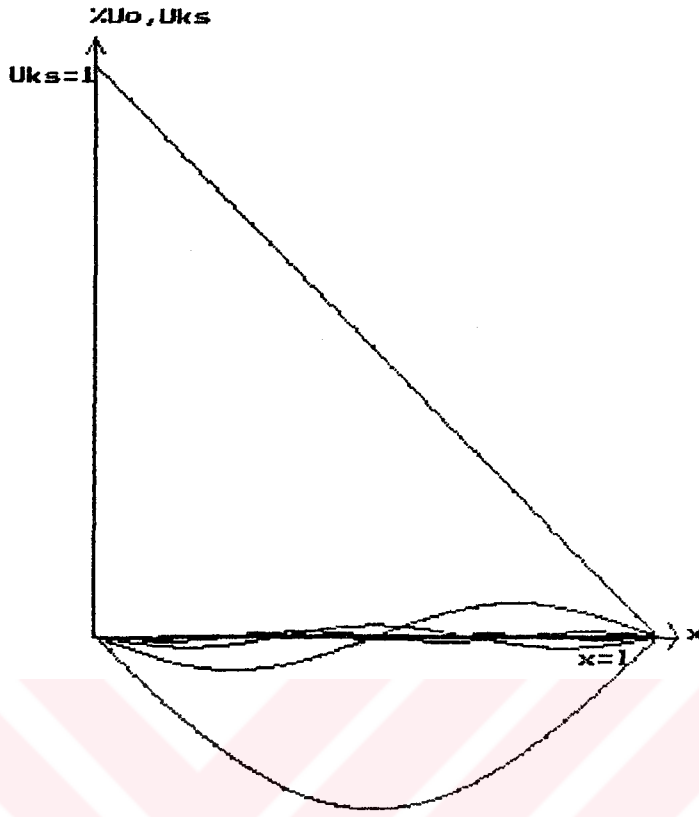
Şekil 4.1 $\alpha=0$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



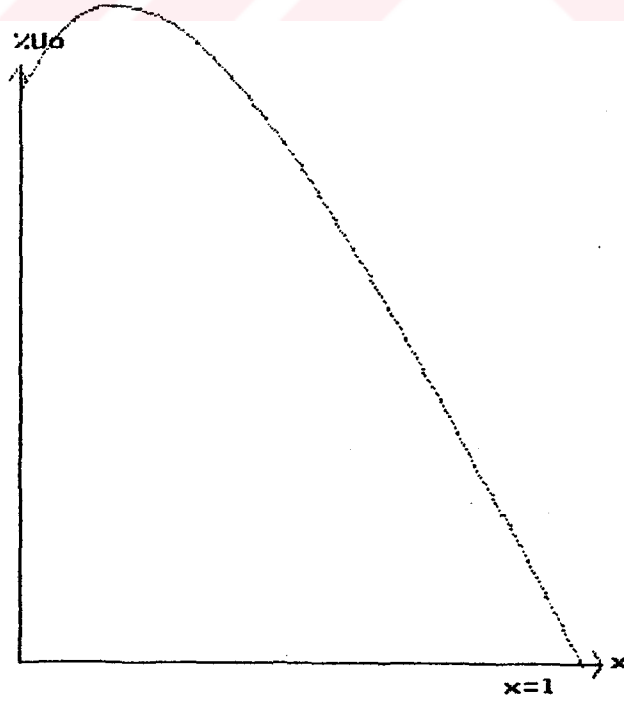
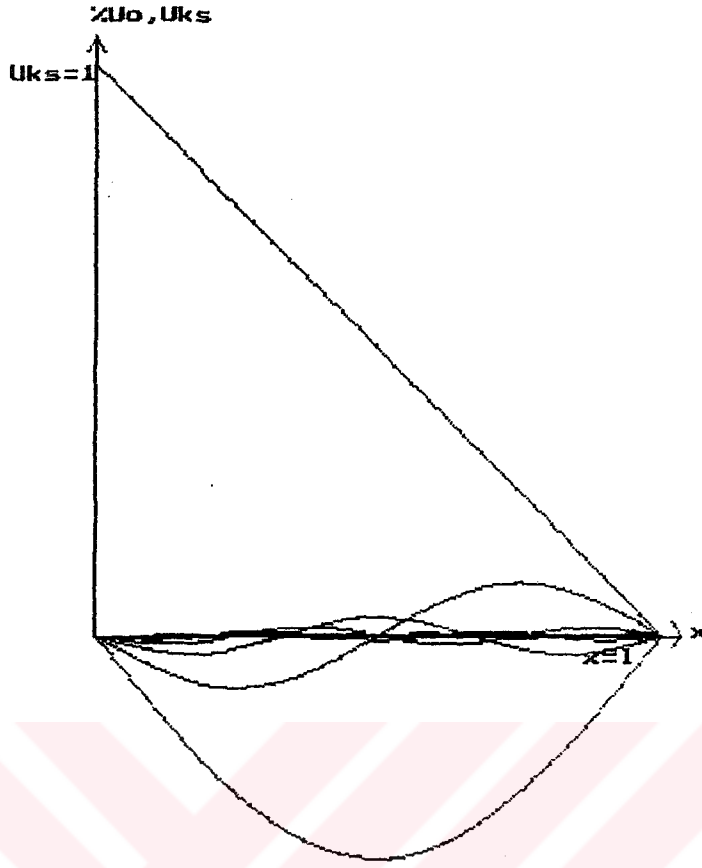
Şekil 4.2 $\alpha l = 1$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



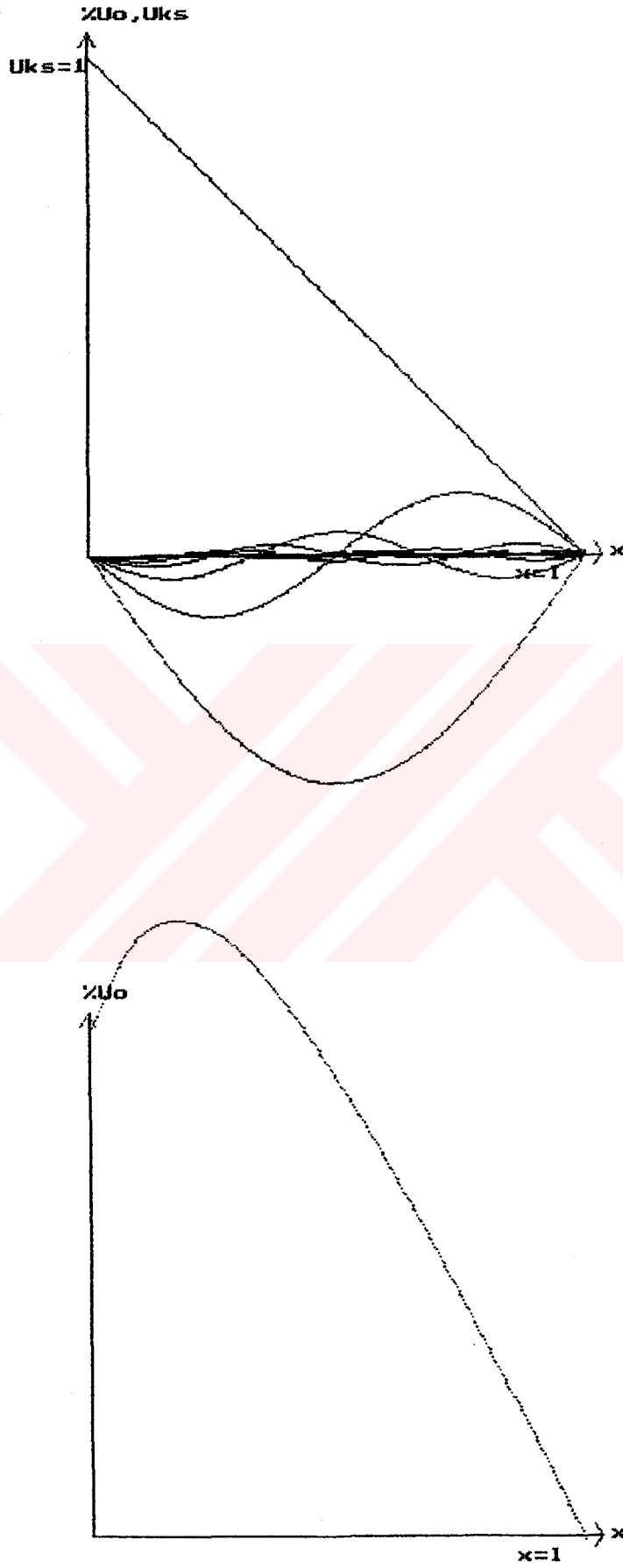
Şekil 4.3 $\alpha l=2$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



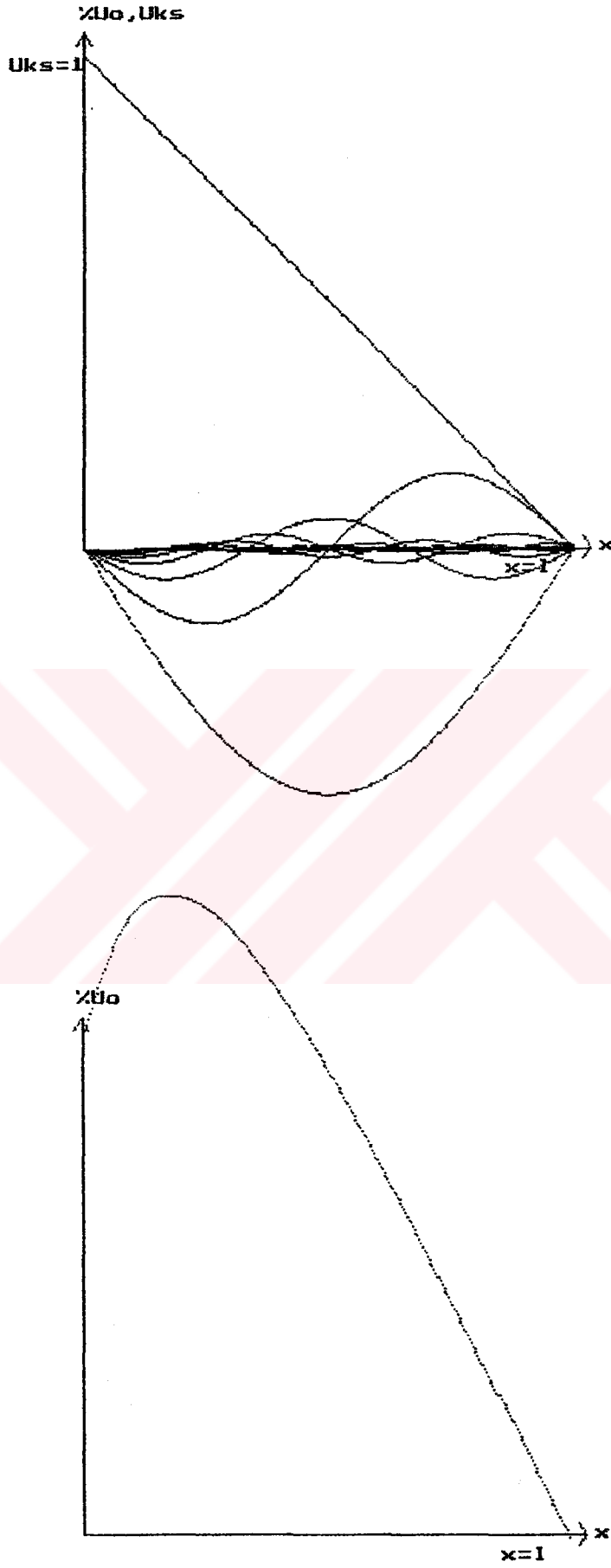
Şekil 4.4 $\alpha=3$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



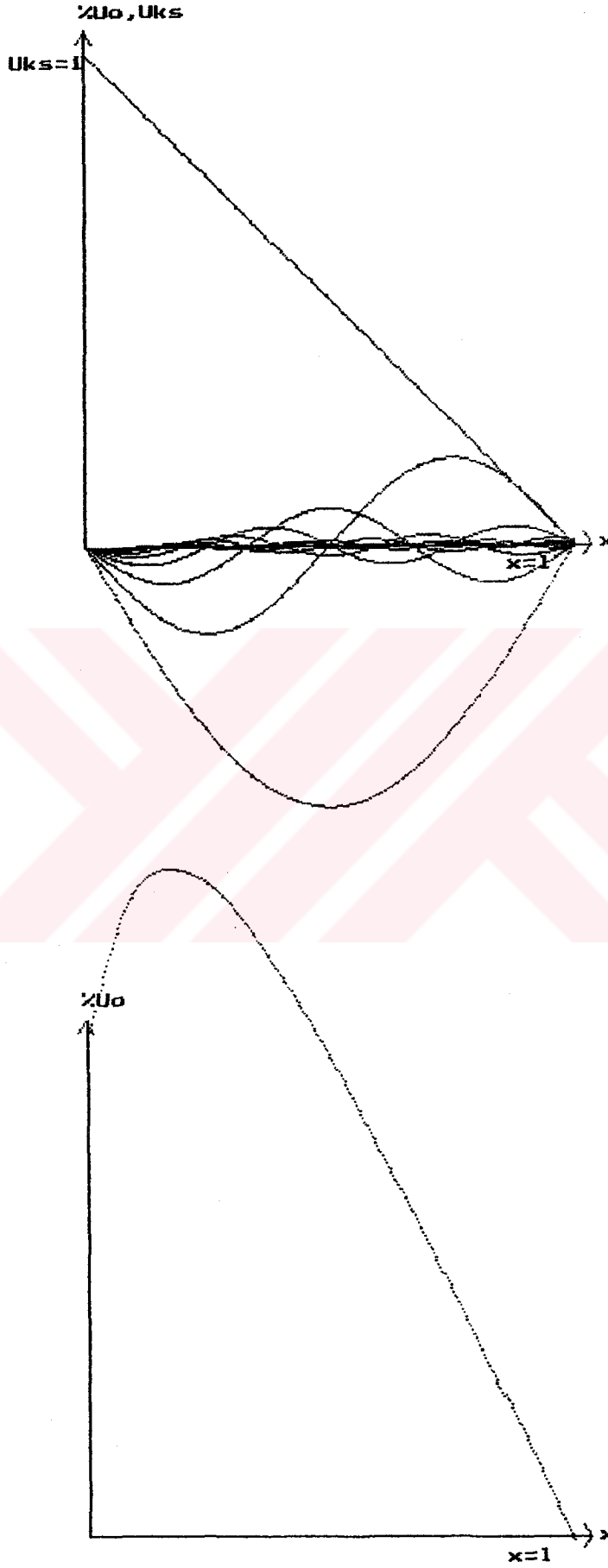
Şekil 4.5 $\alpha l = 4$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



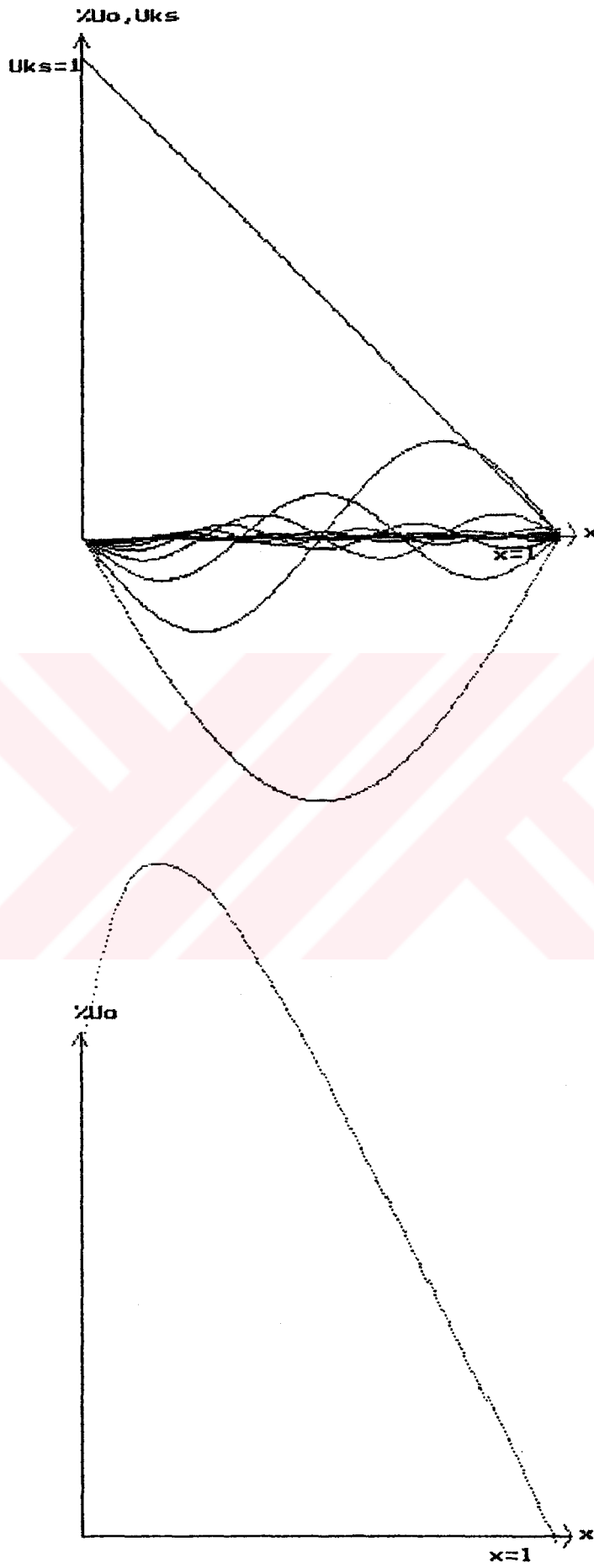
Şekil 4.6 $\alpha=5$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



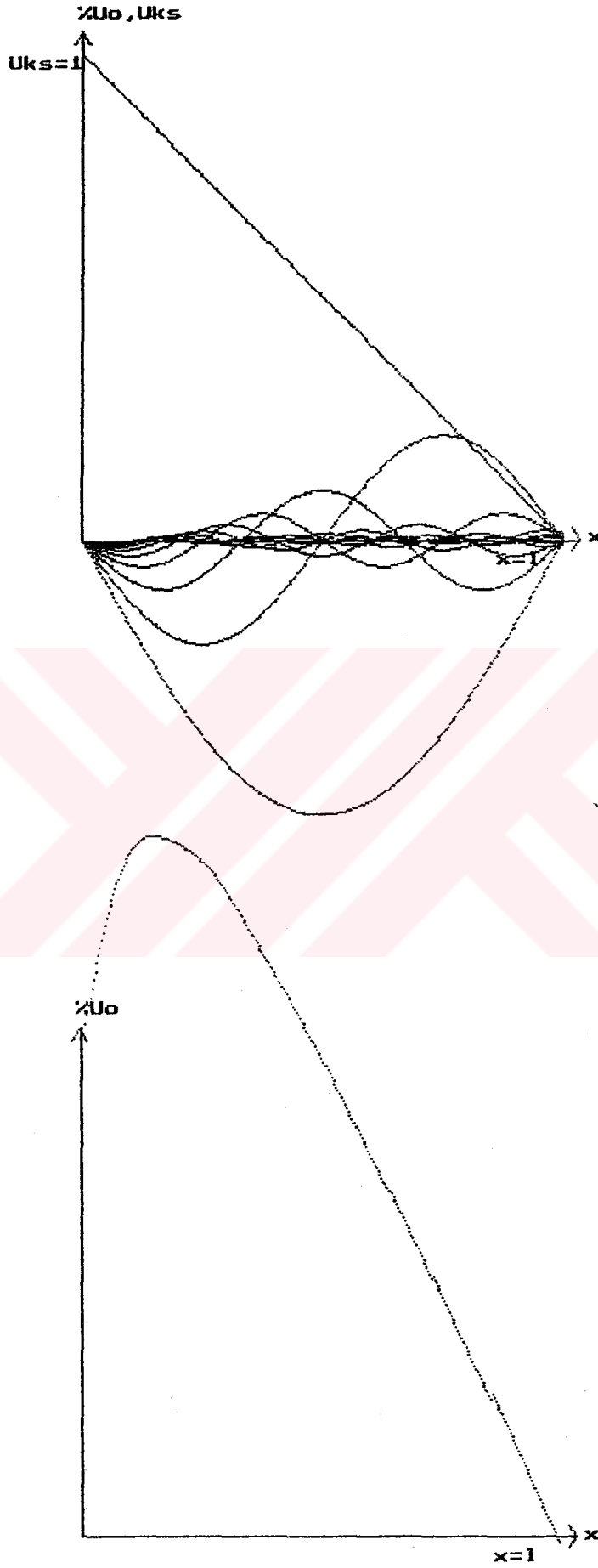
Şekil 4.7 $\alpha l=6$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



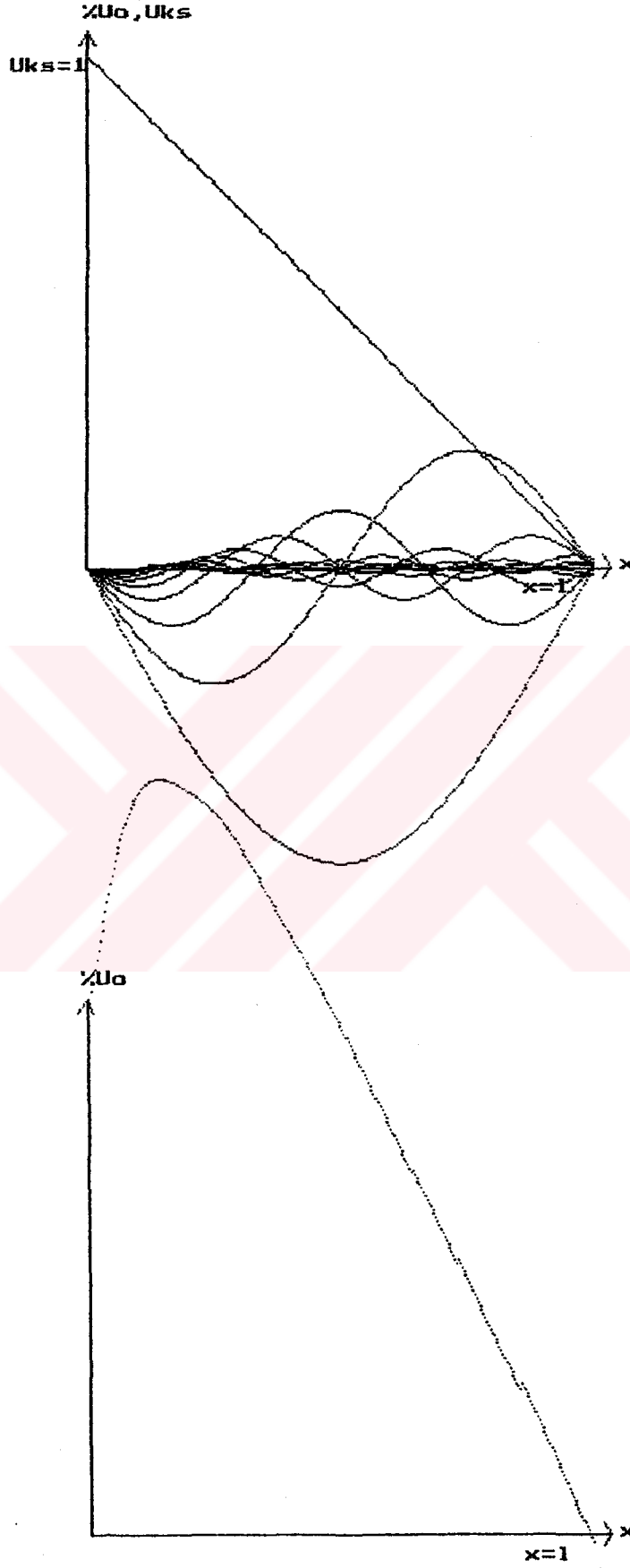
Şekil 4.8 $\alpha d=7$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



Şekil 4.9 $\alpha l=8$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi

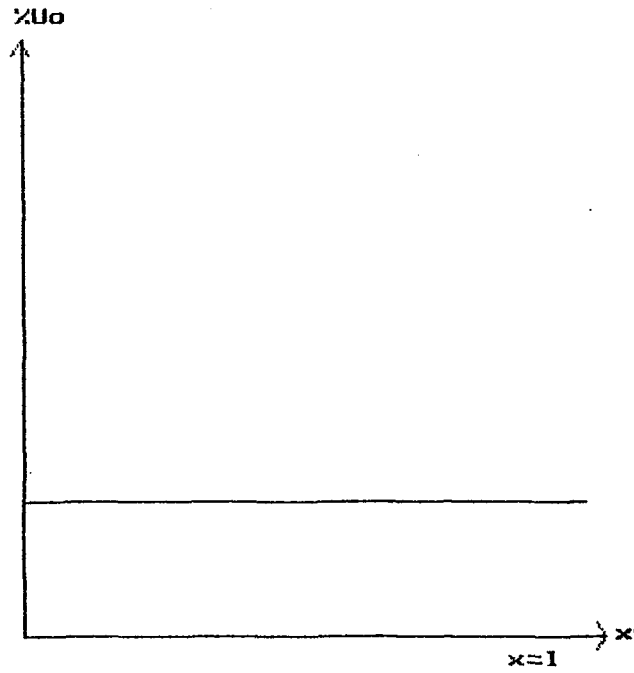


Şekil 4.10' $\alpha l=9$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi

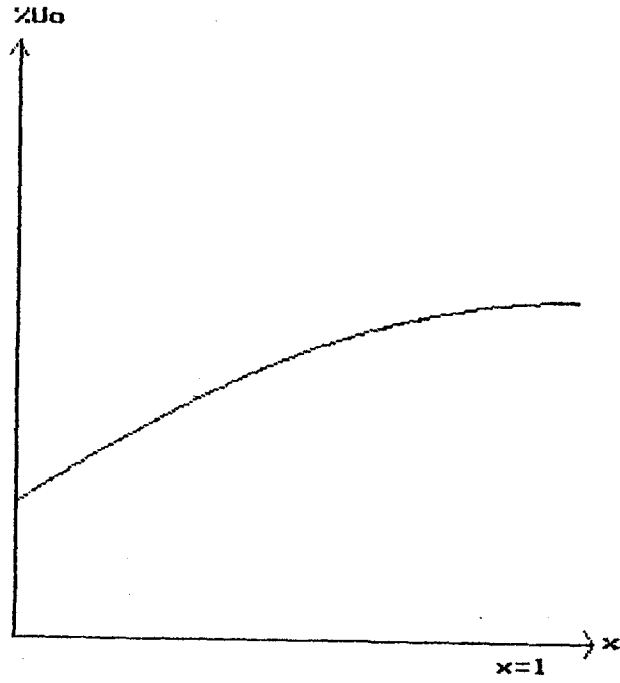
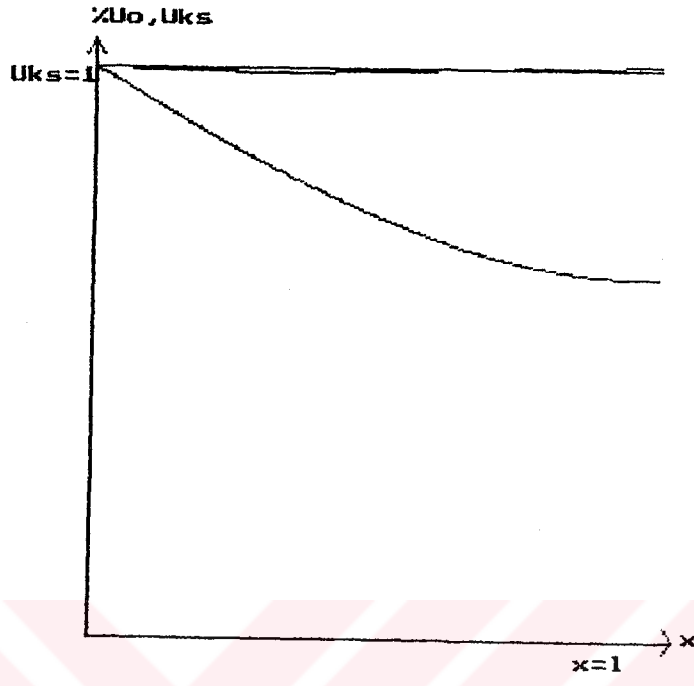


Şekil 4.11 $\alpha=10$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi

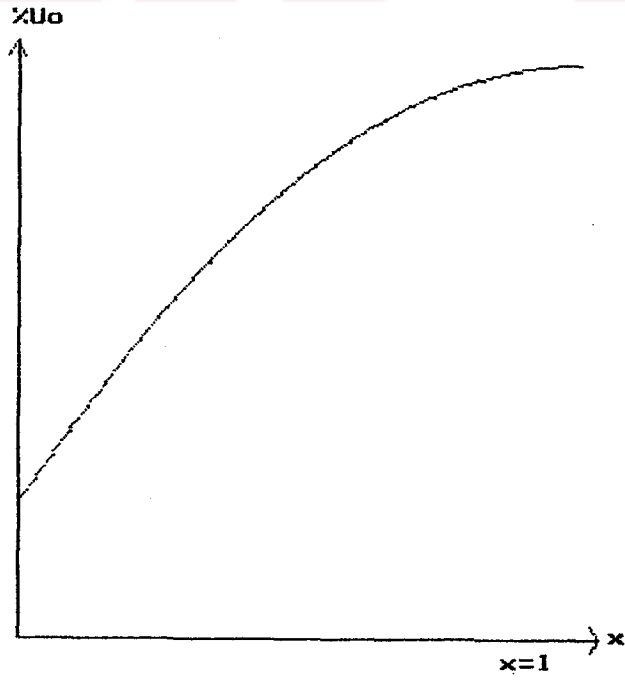
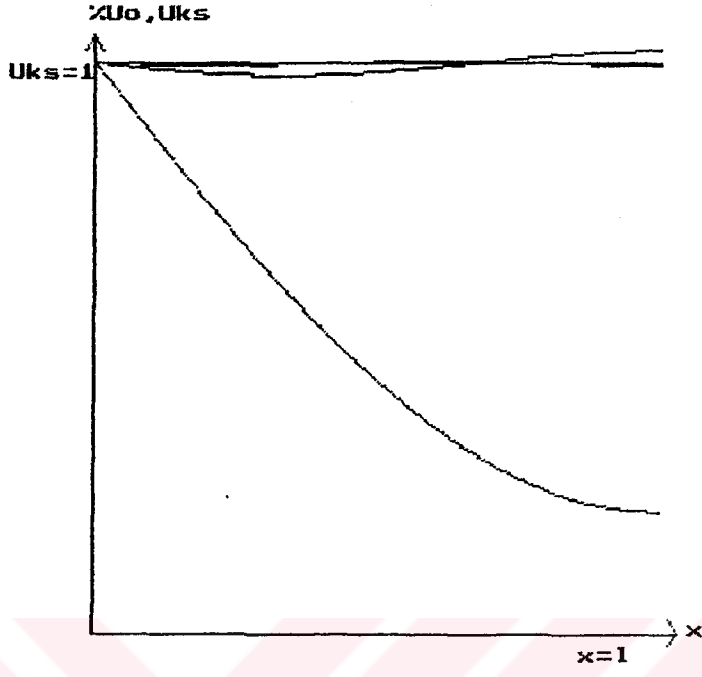
4.3.2. Sonu Topraklanmamış Silindirik Sarılmış Sargılar İçin Serbest Titreşimlerin Harmonikleri Ve Zarf Eğrileri



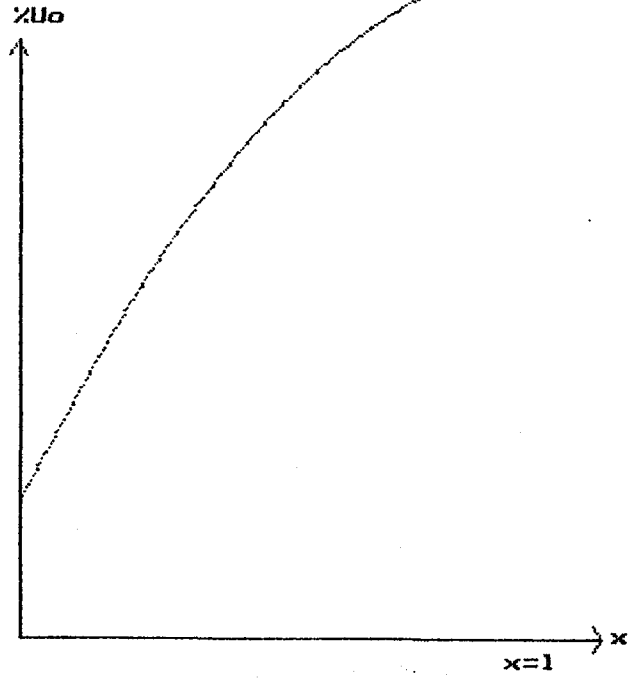
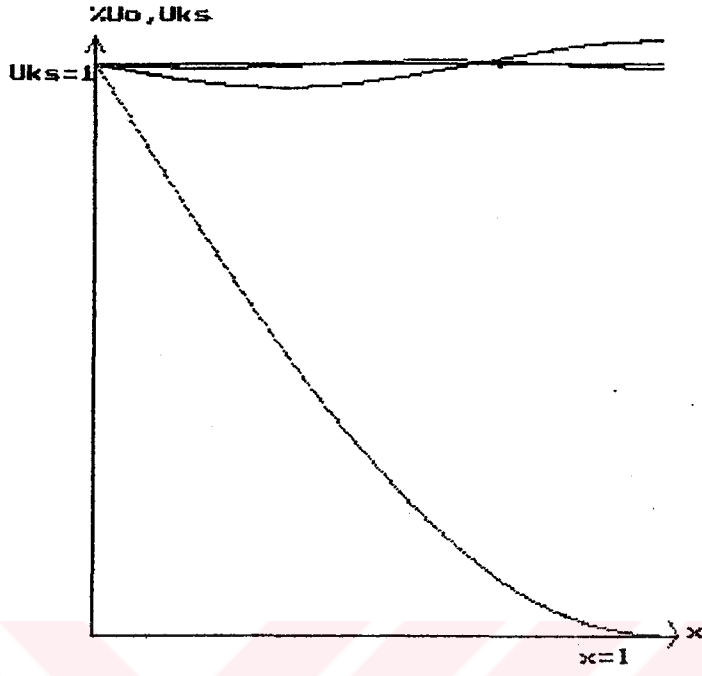
Şekil 4.12 $\alpha=0$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



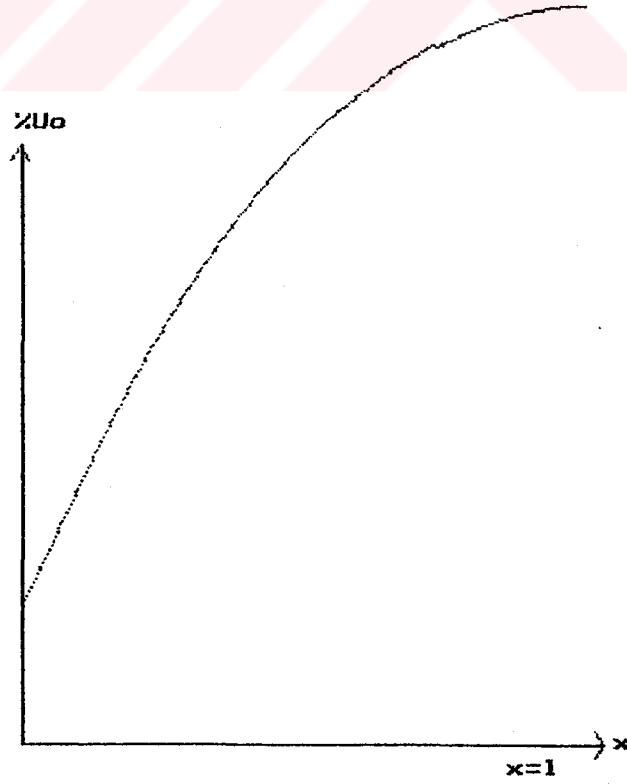
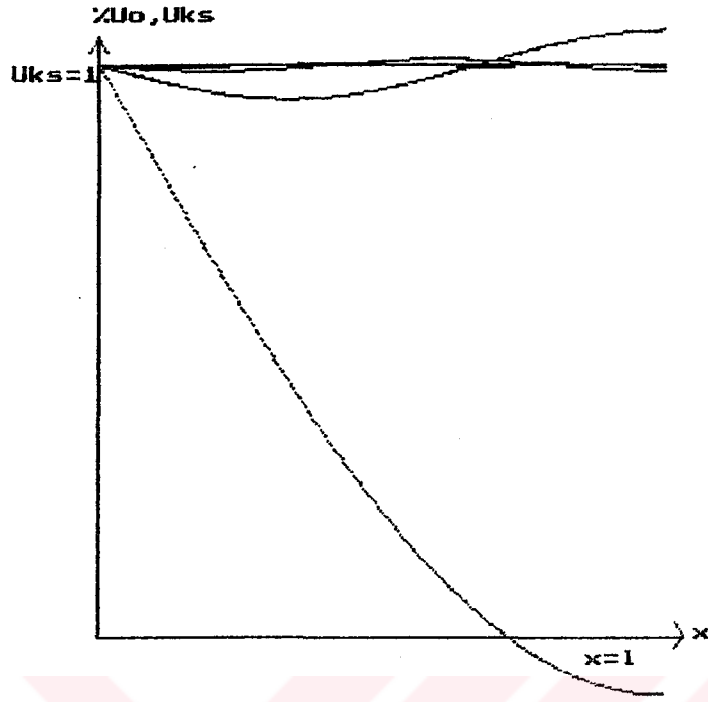
Şekil 4.13 $\alpha l=1$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



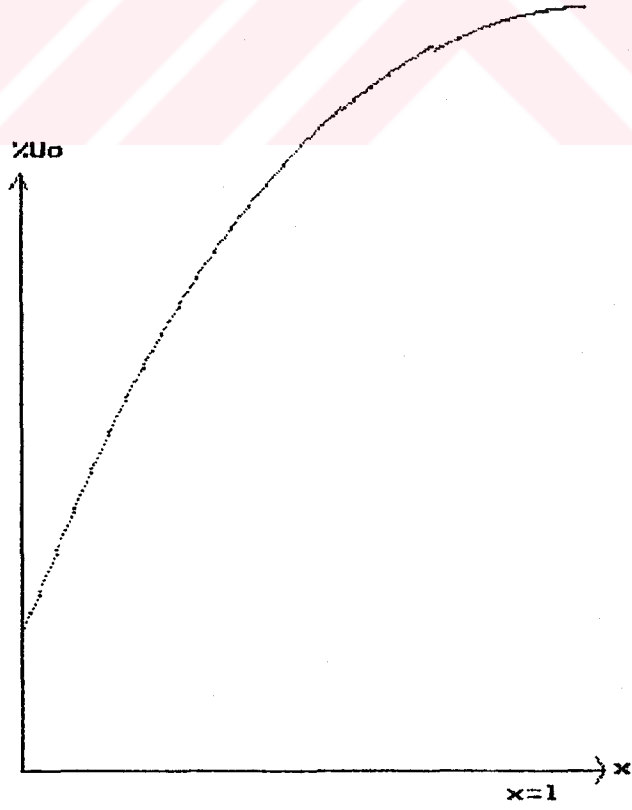
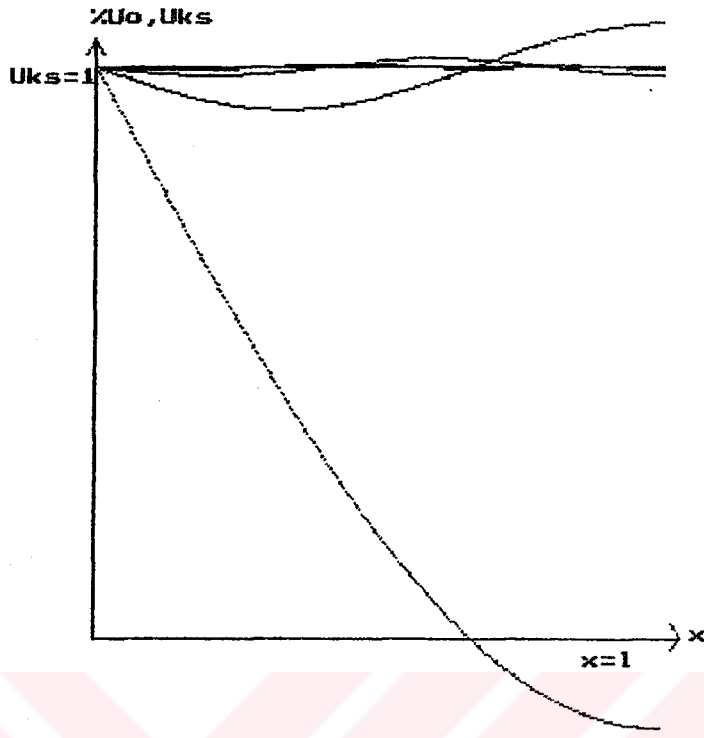
Şekil 4.14 $\alpha l=2$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



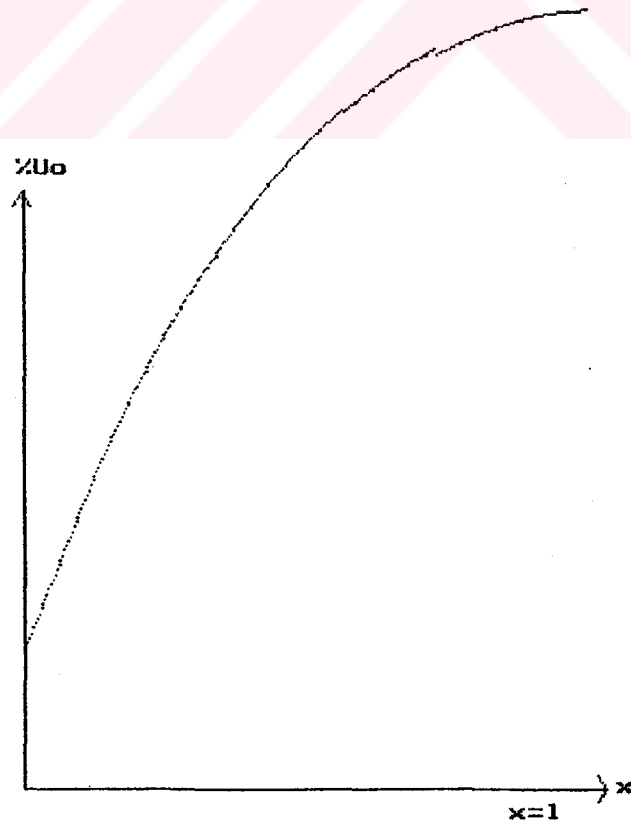
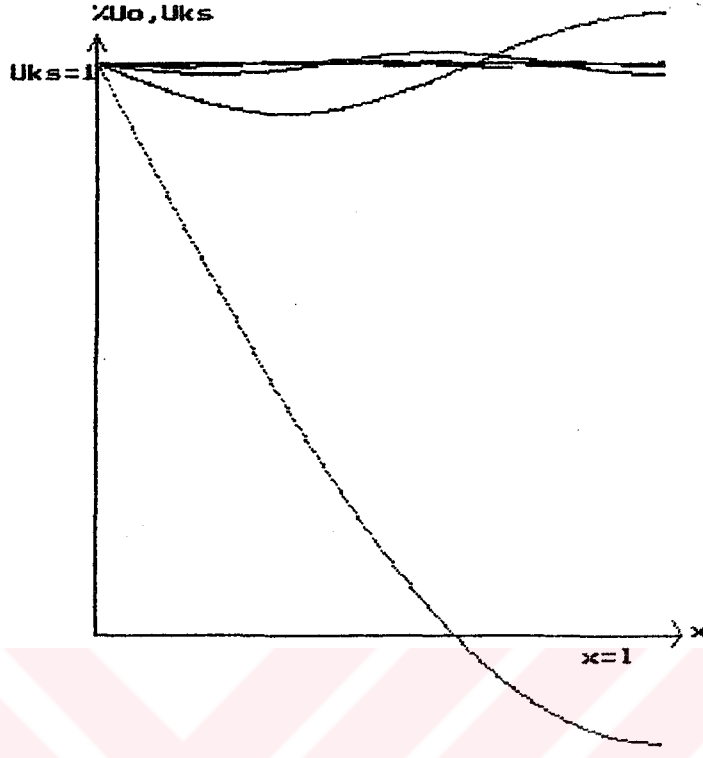
Şekil 4.15 $\alpha l = 3$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



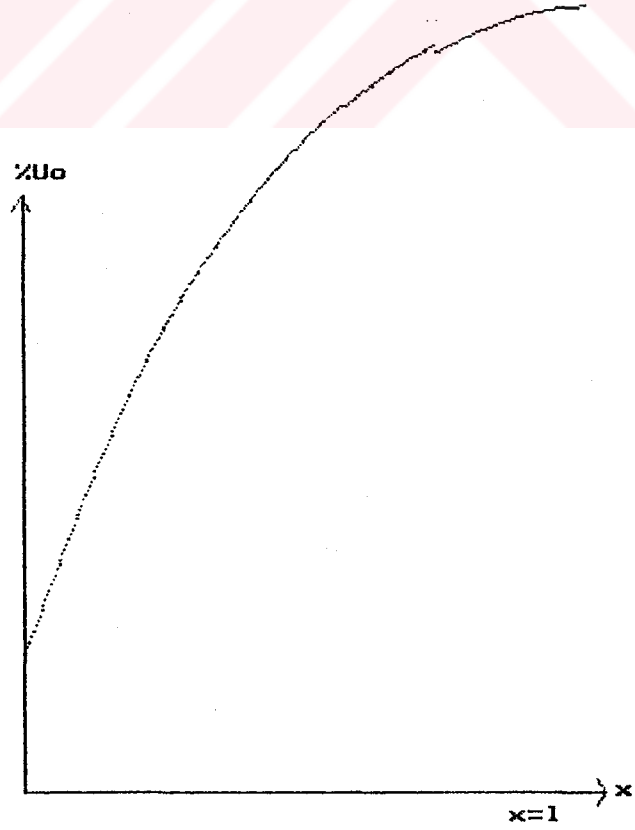
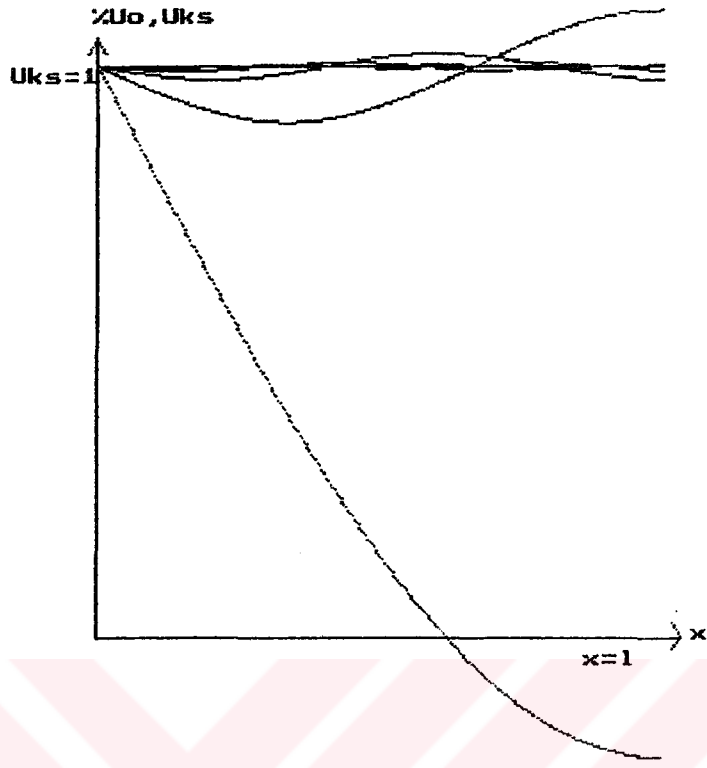
Şekil 4.16 $\alpha l = 4$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



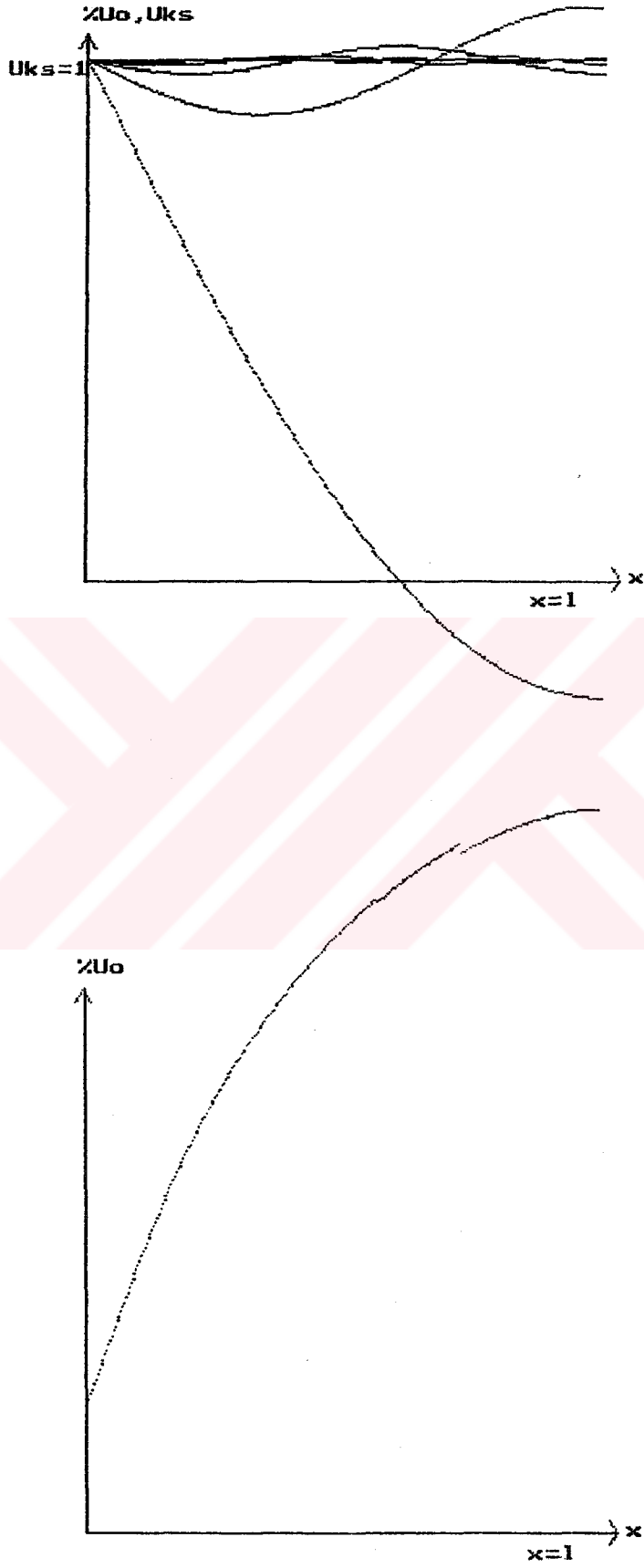
Şekil 4.17 $\alpha l = 5$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



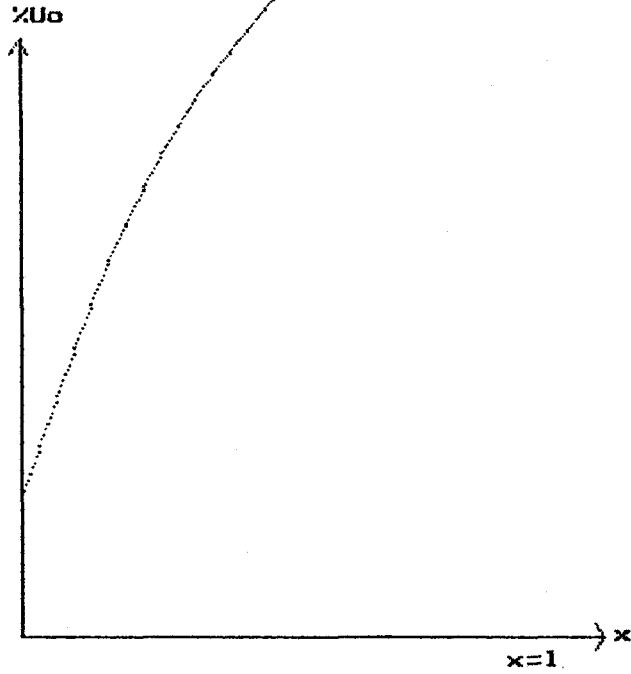
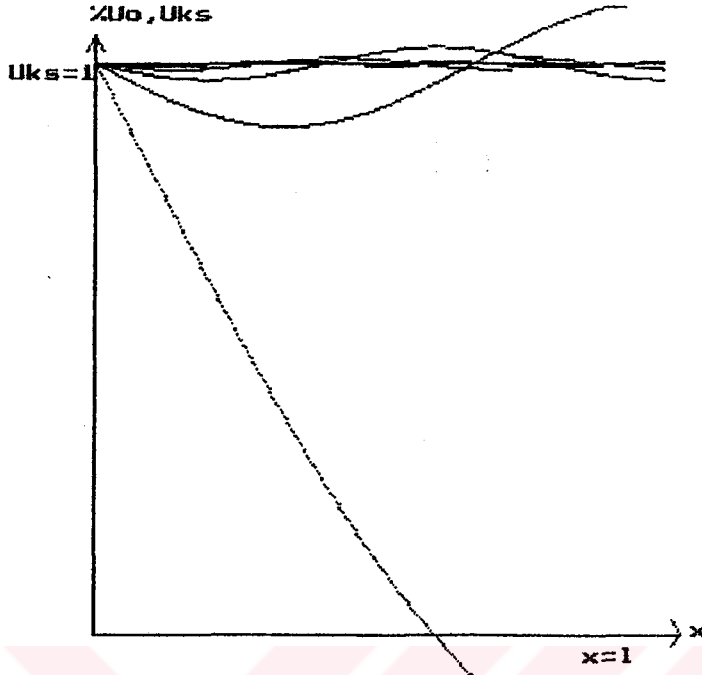
Şekil 4.18 $\alpha l=6$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



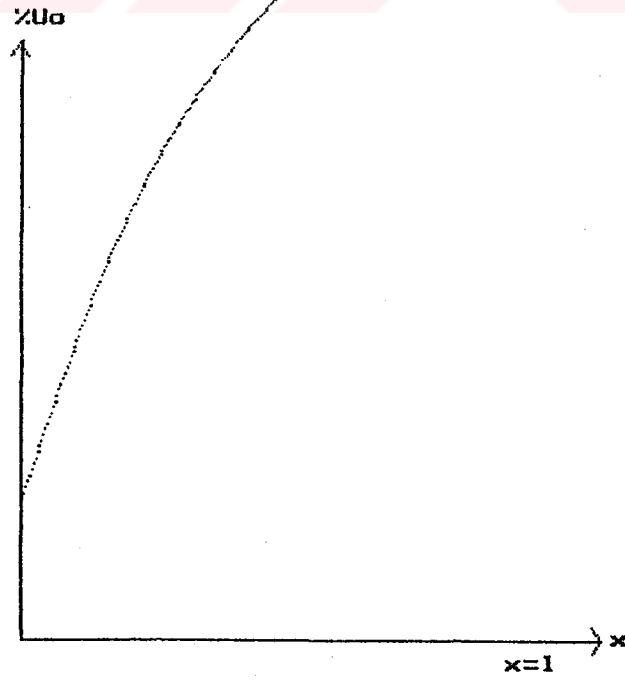
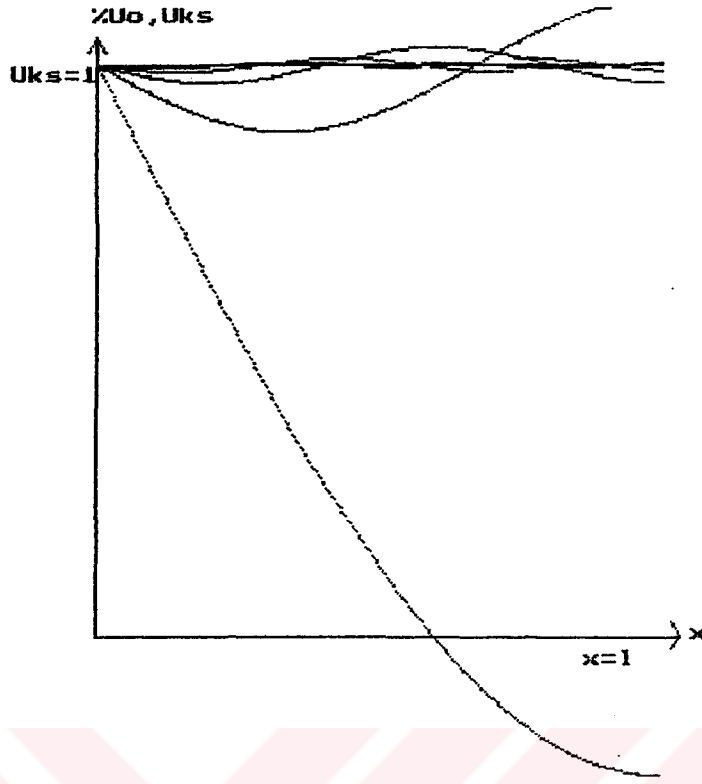
Şekil 4.19 $\alpha l=7$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



Şekil 4.20 $\alpha=8$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



Şekil 4.21 $\alpha=9$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi



Şekil 4.22 $\alpha l=10$ için serbest titreşimlerin harmonikleri ve bunlara ait zarf eğrisi

BÖLÜM 5

SONUÇ

Şebekelerde her türlü elektriksel iç ve dış etkilere maruz kalan güç transformatörlerinin sargıları zaman zaman aşırı gerilimlere maruz kalır. Transformatör sargısına bir aşırı gerilim gelmesi durumunda ilk anda sargılarda başlangıç gerilim dağılımı, başlangıçtan t süre sonra son gerilim dağılımı ve başlangıç gerilim dağılımından son gerilim dağılımı oluşuncaya kadar sargı içinde serbest gerilim titreşimleri oluşur. Eğer sargı boyunca başlangıç gerilim dağılım eğrisi, son gerilim dağılım eğrisinden oldukça uzakta olacak şekilde farklı ise serbest titreşimlerin genlikleri çok büyük olur. Serbest titreşimlerin bu şekilde yüksek genlikte olması transformatör sargısında, komşu sarımlar ve bobinler arası dielektrik zorlanmaların kuvvetlenmesine, dolayısıyla izolasyon malzemelerinin delinmesine ve sargıların kısa devre olmasına neden olur. Sargıda bu şekilde gerilim dağılımlarına meydan vermemek için transformatöre ait α l faktörünün mümkün olabildiğince küçük olması gerekir. Bunun için sargının birim uzunluğa düşen seri kapasitesini büyüterek yada sargının birim uzunluğa düşen toprağa karşı kapasitesini küçülterek doğrusala yakın bir başlangıç gerilim dağılımı elde etmek mümkündür.

Çalışmada aşırı gerilim harmonikleri incelenerek α l' nin büyük olması durumunda zarf eğrisi çıkartılarak, sonu topraklanmış silindirik sarılmış sargı için sargının ilk %20' lik bölümünün aşırı gerilimden dolayı en fazla zorlanan yeri olduğu gözlenmiştir.

Serbest titreşim harmonikleri ve bunlara ilişkin zarf eğrisinin matematiksel ifadesinin, pratikte deneysel bulunan değere çok yakın olduğu bilinmektedir. [10]

Bu nedenle, çalışmada serbest titreşim harmoniklerinin matematiksel ifadesi "Turbo C" bilgisayar programlama dilinde bir bilgisayar programı yapılarak, transformatör sargısında α' nin çeşitli değerleri için gerilim bakımından en çok zorlanan sarımı tesbit etmek kolaylaştırılmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] GÜZELBEYOĞLU, Nurdan: Transformatör Sargılarında Aşırı Gerilim Dağılımı Sorununa Katkılar. İTÜ Elektrik Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, syf:70, İstanbul, (1976)
- [2] ÖZKAYA, Muzaffer: Yüksek Gerilim Tekniği 2, Aşırı Gerilimler Ve Bunlara Karşı Koruma, İTÜ Kütüphanesi sayı:1367,syf:5, İstanbul (1988)
- [3] KARSAI, K., KERENYI, D., KISS, L.:Large Power Transformers, Elsevier Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo,pg:196-234, (1987)
- [4] GÜZELBEYOĞLU, Nurdan: Elektrik Makinalarında Aşırı Zorlanmalar, İTÜ Kütüphanesi Sayı:1400, syf:1-26, İstanbul, (1989)
- [5] FERGESTAD, I., PETTER:Transiet Oscillations İn Transformer Windings, Universitetforlaget, pg:16-39, (1973)
- [6] KONSTENKO, M., PIOTROVSKY., L.: Electrical Machines, English Translation Mir Publishers, pg: 520-527, (1977)
- [7] SİLE , Y.: 380 kV' luk Trafolarda Alan Konsatrasyonu, Darbe Gerilimi, Dağılımı, Isınma Ve Soğutma, Elektrik Mühendisliği 3. Ulusal Kongresi, Cilt 3/1, İstanbul, syf:146-149, (1989)
- [8] SCHİLT, Herbert: C Made Easy, Osborn McGraw-Hill Brekeley California, (1990)
- [9] ERDUN, H., DEMİRALP, F.: Turbo C, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul,(1991)
- [10] BOYAJIAN, B., LENNOX, C., MONTSINGER, M., Transformer Engineering, Chapman & Hall Ltd., London, pg : 470-478, (1951)

EK A

BİLGİSAYAR PROGRAMI



```
#include <math.h>
#include <graphics.h>
#include <io.h>
#include <dos.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
```

```
char *list[]={ "ÖN BİLGİ",
               "BAŞLANGIÇ VE SON GERİLİM DAĞILIM GRAFİKLERİ",
               "SERBEST TİTREŞİM HARMONİK GRAFİKLERİ",
               "DOS'A DÖNÜŞ"};
```

```
char far *ekran;
short kod1,kod2;
float olcekx,olceky,cs,ct,alfa,top,tek;
int c,n;
int a=DETECT,b;
int dizi[5]={1,3,5,7,10},f,y;
double ekrem,ekrem1,p;
```

```
yukle(char karakter[13]){
```

```
    register int t;
    FILE *fp;
    char *a;
    char far *qw;

    if((fp=fopen(karakter,"r"))==0){
        printf("DOSYA AÇILAMADI\n");
        exit(0);
    }
```

```
    qw=malloc(4000);
    a=qw;
    for(t=0;t<4000;t++)
        *a++=getc(fp);
    fclose(fp);
    puttext(1,1,80,25,qw);
```

```
}
```

```
imlec(durum){
```

```
    union REGS r;
```

```
    r.h.ah=1;
    if (durum){
        r.h.ch=12;
        r.h.cl=13;
    }
    else{
        r.h.ch=-1;
        r.h.cl=0;
```

```

    }
    int86(16,&r,&r);
}
degisattr(xq,yq,xboy,attr)
    int xq,yq,xboy,attr;
{
    unsigned int i;

    ekran_adresi();
    i=(yq-1)*160+(xq-1)*2;
    ekran+=i;
    xboy*=2;
    for(i=0;i<xboy;i+=2)
        *(ekran+i)=attr;
}

short menu(x,y,n,z,eski)
    short x,y,n,z;

{
    int i,sec;

    imlec(0);
    sec=eski;
    textattr(7);
    clrscr();
    gotoxy(x,y);
    putch(201);
    gotoxy(x,y+n+1);
    putch(200);
    gotoxy(x+z+1,y);
    putch(187);
    gotoxy(x+z+1,y+n+1);
    putch(188);
    for(i=x+1;i<x+z+1;i++){
        gotoxy(i,y);
        putch(205);
        gotoxy(i,y+n+1);
        putch(205);
    }
    for(i=y+1;i<y+n+1;i++){
        gotoxy(x,i);
        putch(186);
        gotoxy(x+z+1,i);
        putch(186);
    }
    for(i=0;i<n;i++){
        gotoxy(x+1,y+1+i);
        printf("%s",list[i]);
    }
    do{

```

```

        degisattr(x+1,y+sec,z,112);
        kod1=getch();
        degisattr(x+1,y+sec,z,7);
        if (kod1==0){
            kod2=getch();
            if (kod2==80)
                sec++;
            else if (kod2==72)
                sec--;
            if (sec>4)
                sec=1;
            else if (sec<1)
                sec=4;
        }
    }while(kod1!=13);
    imlec(1);
    return(sec);
}

```

```

ekran_adresi(){

```

```

    union REGS r;

```

```

        r.h.ah=15;
        int86(16,&r,&r) ;
        if((r.h.al)==7)
            ekran=0xb0000001;
        else ekran=0xb8000001;
    }

```

```

double hesap(c,x)

```

```

    double x;
    int c;

```

```

{
    double u0;
    u0=(exp(c)*exp(-c*x)-(exp(-c)*exp(c*x)))/(exp(c)-exp(-c));
    return(u0);
}

```

```

double hesap2(c,x)

```

```

    double x;
    int c;

```

```

{
    double u0;
    u0=1-x;
    return(u0);
}

```

```
}
```

```
double hesap3(c,x)
```

```
    double x;
```

```
    int c;
```

```
{
```

```
    double u0;
```

```
    u0=(exp(-c)*exp(c*x)+exp(c)*exp(-c*x))/(exp(c)+exp(-c));
```

```
    return(u0);
```

```
}
```

```
double hesap4(c,x)
```

```
    double x;
```

```
    int c;
```

```
{
```

```
    double u0;
```

```
    u0=1;
```

```
    return(u0);
```

```
}
```

```
void koordinat(int x,int y,char in1[5],char in2[5]){
```

```
    moveto((x-5)*olcekx,(y+5)*olceky);
```

```
    linerel(5*olcekx,-5*olceky);
```

```
    linerel(5*olcekx,5*olceky);
```

```
    line(x*olcekx,y*olceky,x*olcekx,(y+200)*olceky);
```

```
    line(x*olcekx,(y+200)*olceky,(x+300)*olcekx,(y+200)*olceky);
```

```
    moveto((x+295)*olcekx,(y+195)*olceky);
```

```
    linerel(5*olcekx,5*olceky);
```

```
    linerel(-5*olcekx,5*olceky);
```

```
    outtextxy((x-3)*olcekx,(y-10)*olceky,in1);
```

```
    outtextxy((x-45)*olcekx,(y+10)*olceky,in2);
```

```
    outtextxy((x+305)*olcekx,(y+196)*olceky,"x");
```

```
    outtextxy((x+250)*olcekx,(y+205)*olceky,"x=l");
```

```
}
```

```
void cizim(){
```

```
    initgraph(&a,&b,"");
```

```
    olcekx=getmaxx()/719.0;
```

```
    olceky=getmaxy()/348.0;
```

```
    koordinat(45,80,"Uo","Uo=1");
```

```
    koordinat(395,80,"Uks","Uks=1");
```

```

for(y=0;y<291;y++){
    for(f=0;f<5;f++){
        delay(3);
        ekrem=hesap(dizi[f],y/290.0);
        putpixel((45+y)*olcekx,(280-(ekrem*190))*olceky-
ekrem,f);
        ekrem1=hesap2(dizi[f],y/290.0);
        setcolor(4);
        circle((395+y)*olcekx,(280-(ekrem1*190))*olceky-
ekrem1,1);
    }
}
getch();
cleardevice();
setcolor(15);
koordinat(45,80,"Uo","Uo=1");
koordinat(395,80,"Uks","Uks=1");
for(y=0;y<291;y++){
    for(f=0;f<5;f++){
        delay(3);
        ekrem=hesap3(dizi[f],y/290.0);
        putpixel((45+y)*olcekx,(280-(ekrem*190))*olceky-
ekrem,f);
        ekrem1=hesap4(dizi[f],y/290.0);
        setcolor(4);
        circle((395+y)*olcekx,(280-(ekrem1*190))*olceky-
ekrem1,1);
    }
}
getch();
closegraph();
}

```

```

void cizim20{
    cs=0;
    clrscr();
    imlec(0);
    gotoxy(15,9);
    cputs(" SON UCU TOPRAKLANMIŞ TRANSFORMATÖR
SARGILARININ");
    gotoxy(15,11);
    cputs("GİRİŞİNE BİR AŞIRI GERİLİM DALGASI GELMESİ
DURUMUNDA");
    gotoxy(15,13);
    cputs(" SON GERİLİM DAĞILIMI VE SERBEST TİTREŞİMLERİNİN");
    gotoxy(15,15);
    cputs(" HARMONİKLERİ İLE BU HARMONİKLERİN ZARF
EĞRİLERİ");
    gotoxy(15,17);

```

```

cputs(" ÖL NİN ÇEŞİTLİ DEĞERLERİNE GÖRE ÇİZİLECEKTİR.");
getch();
imlec(1);
do{
    if(csl!=0){
        imlec(0);
        gotoxy(10,16);
        cputs("Girdiğiniz değer yanlış bir tuşa basarak tekrar
deneyiniz...");
        getch();
        imlec(1);
    }
    cs++;
    clrscr();
    highvideo();
    gotoxy(10,12);
    cputs("0 ile 10 arasında bir Öl değeri giriniz : ");
    lowvideo();
    gotoxy(57,12);
    scanf("%f",&alfa);
}while(alfa<0||alfa>10);
gotoxy(30,23);
imlec(0);
cputs("GRAFİKLERİ GÖRMEK İÇİN BİR TUŞA BASINIZ...");
getch();
imlec(1);
initgraph(&a,&b,"");
olcekx=getmaxx()/719.0;
olceky=getmaxy()/348.0;
koordinat(45,10,"%Uo,Uks","Uks=1");
koordinat(395,100,"%Uo","");
for(y=0;y<291;y++){
    top=0;
    for(n=1;n<11;n++){
        delay(3);
        ekrem=-
2*alfa*alfa*7/((n*22)/((alfa*alfa)+(n*n*(484.0/49.0)))*sin(n*22*y/290.0/7.0);
        putpixel((45+y)*olcekx,(210-(ekrem*190))*olceky-
ekrem,n);
        top+=ekrem;
        ekrem1=hesap2(0,y/290.0);
        putpixel((45+y)*olcekx,(210-(ekrem1*190))*olceky-
ekrem1,15);
    }
    top=ekrem1-top;
    setcolor(4);
    circle((395+y)*olcekx,(300-(top*190))*olceky-top,1);
}
nosound();
getch();

```

```

    closegraph();
    clrscr();
    imlec(0);
    gotoxy(15,9);
    cputs(" SON UCU TOPRAKLANMAMIŞ TRANSFORMATÖR
SARGILARININ");
    gotoxy(15,11);
    cputs("GİRİŞİNE BİR AŞIRI GERİLİM DALGASI GELMESİ
DURUMUNDA");
    gotoxy(15,13);
    cputs(" SON GERİLİM DAĞILIMI VE SERBEST TİTREŞİMLERİNİN");
    gotoxy(15,15);
    cputs(" HARMONİKLERİ İLE BU HARMONİKLERİN ZARF
EĞRİLERİ");
    gotoxy(15,17);
    cputs(" Öİ NİN ÇEŞİTLİ DEĞERLERİNE GÖRE ÇİZİLECEKTİR.");
    gotoxy(30,23);
    cputs("GRAFİKLERİ GÖRMEK İÇİN BİR TUŞA BASINIZ...");
    getch();
    imlec(1);
    initgraph(&a,&b,"");
    cleardevice();
    koordinat(45,10,"%Uo,Uks","Uks=1");
    koordinat(395,100,"%Uo","");
    for(y=0;y<291;y++){
        top=0;
        for(n=1;n<11;n+=2){
            delay(3);
            ekrem=1-
            ((4*alfa*alfa/n/((n*n*484.0/196.0)+(alfa*alfa)))*(sin(n*22*y/14.0/290.0))/(n*22
            /7.0));
            putpixel((45+y)*olcekx,(210-(ekrem*190))*olceky-
            ekrem,n);
            top+=ekrem-ekrem1;
            ekrem1=hesap3(0,y/290.0);
            putpixel((45+y)*olcekx,(210-(ekrem1*190))*olceky-
            ekrem1,15);
        }
        top=ekrem1-top;
        tek=(300-(top*190))*olceky-top;
        setcolor(4);
        circle((395+y)*olcekx,(300-(top*190))*olceky-top+200,1);
    }
    getch();
    closegraph();
}

main(){
    int al;

```

```

a1=1;
do{
    a1=menu(18,10,4,43,a1);
    clrscr();
    switch(a1){
        case 1: imlec(0);
                yukle("sayfa1.scr");
                kod1=getch();
                if (kod1==0)
                    kod2=getch();
                yukle("sayfa2.scr");
                kod1=getch();
                if (kod1==0)
                    kod2=getch();
                yukle("sayfa3.scr");
                kod1=getch();
                if (kod1==0)
                    kod2=getch();
                yukle("sayfa4.scr");
                kod1=getch();
                if (kod1==0)
                    kod2=getch();
                yukle("sayfa5.scr");
                kod1=getch();
                if (kod1==0)
                    kod2=getch();
                imlec(1);
                break;
        case 2: cizim();
                break;
        case 3: cizim2();
                break;
    }
}while(a1!=4);
}□

```

ÖZGEÇMİŞ

Ekrem Çeştepe 1969 yılında İstanbul' da doğdu. İlköğretimine 1975 yılında, İstanbul Fevzi Çakmak İlkokulunda başladı ve 1980 yılında İstanbul Nazmi Duhani İlkokulunda tamamladı. Aynı yıl Altay Çeşme Ortaokulunda orta öğrenimine başladı ve 1983 yılında mezun oldu. Kartal Endüstri Meslek Lisesi Tesviye bölümünden 1986 yılında mezun oldu.

1987 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesine girdi. 1991 yılında Elektrik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı Elektrik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen ABB Elektrik Sanayi A.Ş., Alçak Gerilim Şalt Cihazları Departmanında Satış Mühendisi olarak çalışmaktadır.