

LİNEER OLMAYAN SİSTEMLER VE EN İYİ
SALINIM SİNYALİ ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

Celal Yaşar

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof.Dr. Atalay Barkana

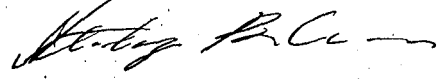
Şubat-1988

Celal Yaşar'ın YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı "Lineer Olmayan Sistemler ve En İyi Salınım Sinyali Üzerine Çalışmalar" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

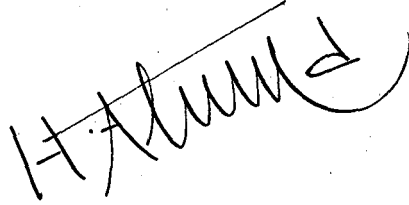
.1./4./1988

İMZA

Üye : Prof.Dr.Atalay BARKANA



Üye : Doç.Dr.Hamdi ATMACA



Üye : Doç.Dr.Atila BARKANA



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 11 NİSAN 1988
gün ve ...174/2..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof.Dr. Rüstem KAYA

Enstitü Müdürü

ÖZET

Lineer olmayan sistemlerin karakteristikleri genellikle lineer duruma getirilmek istenir. Bu sistemlerin karakteristiklerini lineer duruma getirmek için kullanılan metodlardan birisi sistemin giriş sinyaline salınım sinyali eklemektir. Genel olarak alçak frekans geçiş filtresine sahip olan fiziksel sistemler eklenen salınım sinyalini filtre edip ortalama bir çıkış sinyali vermektedirler. Ortalama çıkış sinyali, giriş sinyali arasında meydana gelen ilişki salınım sinyalinin şekline ve genliğine bağlıdır. Tezde; dört değişik lineer olmayan karakteristiği lineer karakteristiğe yaklaştıran, en iyi salınım sinyallerinin şekilleri ve genlikleri araştırılmıştır. Bu karakteristikler sıra ile; ideal çift yönlü röle karakteristiği, doyma eğrisi, ideal ölü bölge karakteristiği, ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristikleridir.

Bu karakteristiklere öncelikle testere dişi, kare, sinüzoidal salınım sinyalleri uygulanıp optimum genlikler bulunmuştur. Sonra lineer olmayan karakteristiklere en uygun polinom ile, salınım sinyaline ise Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim ile yaklaşım yapılmıştır. Ancak elde edilen denklemler çok karmaşık olduğundan nümerik çözümlere gidilmiştir. Ayrıca bulunan bu optimum genlikler orijinal karakteristik üzerinde denenerak \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri bulunmuştur. Elde edilen neticeler grafik olarak gösterilmiştir.

Sonuç olarak; orijinal karakteristik üzerinde bulunan optimum genlikler ile, polinom üzerinde Fourier serisinden alınan terimlerle bulunan optimum genlikler, aynı şartlar altında, orijinal karakteristiğe uygulanmıştır. Elde edilen minimum maliyetler grafikler halinde gösterilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

SUMMARY

It is usually desired to linearize the characteristics of a nonlinear system. One of the methods applied for linearizing the characteristics of these systems is to inject a perturbation signal onto the input signal. Physical systems generally have built-in low pass filters and hence they filter the injected signals and yield averaged outputs. The relation between the input signal and the average output signal depends on the shape and amplitude of the perturbation signal. The best wave shapes and amplitudes of the perturbation signals that are applied to the four different nonlinear characteristics to make them approach to linear characteristics have been searched in this thesis. These characteristics are the ideal on-off relay, the saturation, the ideal dead-zone, the on-off relay with dead-zone respectively.

Optimum amplitudes have been obtained at first when the saw-tooth, square, sinusoidal perturbation signals are applied to the nonlinear characteristics. Secondly, nonlinear characteristics have been approximated by using a suitable polynomial and the perturbation signals using the first one, three and five terms of the Fourier series have been applied to the approximated characteristics. Because equations obtained were too complex, numerical solutions have been preferred. Those optimum amplitudes obtained have been tried on the original characteristics and \bar{m} average output signals have been found. The results thus obtained have been shown graphically.

As a result, all the optimum amplitudes obtained by two main methods are applied to the original characteristics under the same conditions. The values of the minimum cost functions obtained by two main methods, have been shown graphically and compared with each other.

Yüksek Lisans çalışmamda tez danışmanlığımı kabul edip, çalışmalarına yön veren Sayın Hocam Prof.Dr.Atalay BARKANA'ya, gösterdiği ilgi ve yardımlardan dolayı Anadolu Üniversitesi Kütahya Meslek Yüksekokulu Müdürü Sayın Öğr.Grv. Âdil ÖZKAN'a, tez içerisinde bulunan şekillerin çizimlerini büyük bir titizlikle gerçekleştiren Kütahya Meslek Yüksekokulu Mimarı Sayın Cevat ARPINAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ	xxiv
1. GİRİŞ	1
2. LİNEER OLMAYAN SİSTEMLER İLE SALINIM SİNYALİNİN OPTİMUM ŞEKLİ VE GENLİĞİ	10
2.1. Başlangıç Noktası Olarak Kesin Durum Diferansiyel Denklemlerini Kullanan Metodlar .	10
2.2. Sistem Sınıflarının Davranışlarını Tahmin Edebilen Yaklaşık Metodlar	12
2.3. Lineer Olmayan Sistemlerin Sınıflandırılması ve Salınım Sinyali Uygulanması	12
3. LİNEER OLMAYAN KARAKTERİSTİKLERE UYGULANAN SALINIM SİNYALLERİNİN OPTİMUM GENLİKLERİNİN BULUNMASI	21
3.1. İdeal Çift Yönlü Röle Karakteristiği	21
3.1.1. Testere dişi salınım sinyali uygulanması	21
3.1.2. Kare salınım sinyali uygulanması	24
3.1.3. Sinüzoidal salınım sinyali uygulanması	30
3.2. Doyma Eğrisi	34
3.2.1. Testere dişi salınım sinyali uygulanması	34
3.2.2. Kare salınım sinyali uygulanması	44
3.2.3. Sinüzoidal salınım sinyali uygulanması	53
3.3. İdeal Ölü Bölge Karakteristiği	66
3.3.1. Testere dişi salınım sinyali uygulanması	66
3.3.2. Kare salınım sinyali uygulanması	77
3.3.3. Sinüzoidal salınım sinyali uygulanması .	86
3.4. Ölü Bölge Çift Yönlü Röle Karakteristiği ...	98
3.4.1. Testere dişi salınım sinyali uygulanması	98

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.4.2. Kare salınım sinyali uygulanması	108
3.4.3. Sinüzoidal salınım sinyali uygulaması	118
4. LİNEER OLMAYAN KARAKTERİSTİKLERE POLİNOM UYDURARAK SALINIM SİNYALİNİN OPTİMUM ŞEKİL VE GENLİĞİNİN NÜMERİK METODLARLA BULUNMASI	129
4.1. Eğri Uydurma Metodu	129
4.1.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği ..	134
4.1.2. Doyma eğrisi	137
4.1.3. İdeal ölü bölge karakteristiği	140
4.1.4. Ölü bölgeli çift yönlü röle karakteristiği	143
4.2. Gradient Metodu Kullanarak Salınım Sinyalindeki Fourier Katsayılarının Optimum Değerlerinin Bulunması	146
4.2.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği ..	156
4.2.2. Doyma eğrisi	187
4.2.3. İdeal ölü bölge karakteristiği	218
4.2.4. Ölü bölgeli çift yönlü röle karakteristiği	249
4.3. Optimum Fourier Katsayılarının Orijinal Karakteristiklere Uygulanarak \bar{m} Ortalama Çıkış Sinyalinin Bulunması	280
4.3.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği ..	280
4.3.2. Doyma eğrisi	289
4.3.3. İdeal ölü bölge karakteristiği	298
4.3.4. Ölü bölgeli çift yönlü röle karakteristiği	307
5. DEĞERLENDİRMELER	316
5.1. Sinüzoidal Salınım Sinyallerinin Karşılaştırılması	316
5.1.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği ..	316
5.1.2. Doyma eğrisi	317
5.1.3. İdeal ölü bölge karakteristiği	324
5.1.4. Ölü bölgeli çift yönlü röle karakteristiği	324
5.2. Optimum Salınım Sinyallerinin Değerlendirilmesi	331
5.2.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği ..	331

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.2.2. Doyma eğrisi	331
5.2.3. İdeal ölü bölge karakteristiği	332
5.2.4. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiği	332
5.3. Ortalama Çıkış Sinyallerinin İncelenmesi	333
5.3.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği ..	333
5.3.2. Doyma eğrisi	333
5.3.3. İdeal ölü bölge karakteristiği	333
5.3.4. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiği	334
5.4. Minimum Maliyeti Veren Optimum Salınım Sinyallerinin Şekilleri ve Genlikleri	334
5.4.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği ..	334
5.4.2. Doyma eğrisi	335
5.4.3. İdeal ölü bölge karakteristiği	339
5.4.4. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiği	344
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	351
6.1. Sonuçlar	351
6.2. Öneriler	353
KAYNAKLAR DİZİNİ	354

EKLER

1. Sinüzoidal Salınım Sinyalini Orijinal Karakteristik Üzerine Uygulayarak Optimum Genliğin Bulunmasını Maliyet Fonksiyonu Cinsinden Veren Bilgisayar Programı
2. Lineer Olmayan Karakteristiklere Polinom Uydurmak İçin Kullanılan Bilgisayar Programı
3. Gradient Metoduyla Optimum Değer Bulan Bilgisayar Programı
4. Optimum Salınım Sinyalini Orijinal Karakteristiğe Uygulayarak Ortalama Çıkış Sinyalini Hesaplayan, İdeal Çift Yönlü Röle Karakteristiğine Ait Bilgisayar Programı

İÇİNDEKİLER (devam)

5. Optimum Salınım Sinyalini Orijinal Karakteristiğe Uygulayarak Ortalama Çıkış Sinyalini Hesaplayan Doyma Eğrisine Ait Bilgisayar Programı
6. Optimum Salınım Sinyalini Orijinal Karakteristiğe Uygulayarak Ortalama Çıkış Sinyalini Hesaplayan İdeal Ölü Bölge Karakteristiğine Ait Bilgisayar Programı
7. Optimum Salınım Sinyalini Orijinal Karakteristiğe Uygulayarak Ortalama Çıkış Sinyalini Hesaplayan Ölü Bölge Çift Yönlü Röle Karakteristiğine Ait Bilgisayar Programı
8. İdeal Çift Yönlü Röle Karakteristiğine Sinüzoidal Salınım Sinyali Uygulanması Halinde, Minimum Maliyeti Veren Optimum Genliği Bulan Bilgisayar Programı
9. Doyma Eğrisine Sinüzoidal Salınım Sinyali Uygulanması Halinde, Minimum Maliyeti Veren Optimum Genliği Bulan Bilgisayar Programı
10. İdeal Ölü Bölge Karakteristiğine Sinüzoidal Salınım Sinyali Uygulanması Halinde, Minimum Maliyeti Veren Optimum Genliği Bulan Bilgisayar Programı
11. Ölü Bölge Çift Yönlü Röle Karakteristiğine Sinüzoidal Salınım Sinyali Uygulanması Halinde, Minimum Maliyeti Veren Optimum Genliği Bulan Bilgisayar Programı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği	6
1.2. Doyma eğrisi	6
1.3. İdeal ölü bölge karakteristiği	7
1.4. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiği	7
1.5. Testere dişi salınım sinyali	9
1.6. Kare salınım sinyali	9
1.7. Sinüzoidal salınım sinyali	9
3.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiğine testere dişi salınım sinyali uygulanarak eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması	23
3.2. Testere dişi salınım sinyali ile elde edilen eşdeğer karakteristik	25
3.3. Kare salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması	26
3.4. Kare salınım sinyali uygulandığında elde edilen eşdeğer karakteristik	29
3.5. Sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması	31
3.6. Sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında elde edilen eşdeğer karakteristik	33
3.7. Doyma eğrisine testere dişi salınım sinyali uygulanarak eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A_0 > A $ olması hali)	35
3.8. Testere dişi salınım sinyali uygulandığında \bar{m} -e karakteristiği ($ A_0 > A $ olması hali)	38
3.9. Testere dişi salınım sinyali uygulanarak eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	39
3.10. Testere dişi salınım sinyali uygulandığında \bar{m} -e karakteristiği ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	42
3.11. Testere dişi salınım sinyali uygulanarak eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	43
3.12. Testere dişi salınım sinyali uygulandığında \bar{m} -e karakteristiği ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	45
3.13. Kare salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A_0 > A $ olması hali)	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.14. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($ A_0 > A $ olması hali) ...	49
3.15. Kare salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	49
3.16. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	51
3.17. Kare salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	52
3.18. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($ A > 2 A_0 $ olması hali) ..	54
3.19. Sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A_0 > A $ olması hali) ...	56
3.20. Sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında \bar{m} -e karakteristiği ($ A_0 > A $ olması hali)	58
3.21. Sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	59
3.22. Sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında \bar{m} -e karakteristiği ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	63
3.23. Sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A > 2 A_0 $ olması hali) ..	64
3.24. Sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında \bar{m} -e karakteristiği ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	67
3.25. İdeal ölü bölge karakteristiğine testere dişi salınım sinyali uygulanarak eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A_0 > A $ olması hali)	69
3.26. Testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($ A_0 > A $ olması hali)	71
3.27. Testere dişi salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	72
3.28. Testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	75

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.29. Testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	76
3.30. Testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	78
3.31. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A_0 > A $ olması hali) ...	79
3.32. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($ A_0 > A $ olması hali) ...	81
3.33. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	82
3.34. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	84
3.35. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	85
3.36. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($ A > 2 A_0 $ olması hali) ..	87
3.37. Sinüzoidal şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A_0 > A $ olması hali)	88
3.38. Sinüzoidal şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($ A_0 > A $ olması hali)	90
3.39. Sinüzoidal şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	92
3.40. Sinüzoidal şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	95
3.41. Sinüzoidal şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	96

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.42. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında m -e karakteristiği ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	99
3.43. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine testere dişi salınım sinyali uygulanarak eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A_0 > A $ olması hali)	100
3.44. Testere dişi şekilde salınım sinyali uygulandığında m -e karakteristiği ($ A_0 > A $ olması hali).....	102
3.45. Testere dişi salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	104
3.46. Testere dişi şekilde salınım sinyali uygulandığında m -e karakteristiği ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	106
3.47. Testere dişi salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	107
3.48. Testere dişi salınım sinyali uygulandığında m -e karakteristiği ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	109
3.49. Kare şekilde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A_0 > A $ olması hali)	110
3.50. Kare şekilde salınım sinyali uygulandığında m -e karakteristiği ($ A_0 > A $ olması hali)	112
3.51. Kare şekilde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	113
3.52. Kare şekilde salınım sinyali uygulandığında m -e karakteristiği ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	115
3.53. Kare şekilde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	116
3.54. Kare şekilde salınım sinyali uygulandığında m -e karakteristiği ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	117
3.55. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($ A_0 > A $ olması hali)	119
3.56. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında m -e karakteristiği ($ A_0 > A $ olması hali)	121

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.57. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğın grafikte bulunması ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	122
3.58. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($2 A_0 > A > A_0 $ olması hali)	125
3.59. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğın grafikte bulunması ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	127
3.60. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($ A > 2 A_0 $ olması hali)	128
4.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiğine uydurulan polinom	136
4.2. Doyma eğrisine uydurulan polinom	139
4.3. İdeal ölü bölge karakteristiğine uydurulan polinom	142
4.4. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine uydurulan polinom	145
4.5. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğın eğimi $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali ...	163
4.6. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğın eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	164
4.7. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğın eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	165
4.8. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğın eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	166

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.9. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali	173
4.10. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	174
4.11. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	175
4.12. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	176
4.13. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali	183
4.14. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	184
4.15. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	185
4.16. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	186

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.17. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alındığında elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali	194
4.18. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	195
4.19. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	196
4.20. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	197
4.21. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alındığında elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali	204
4.22. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	205
4.23. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	206
4.24. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	207
4.25. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alındığında elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali .	214

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.26. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	215
4.27. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	216
4.28. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	217
4.29. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali	225
4.30. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	226
4.31. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	227
4.32. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	228
4.33. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali	235

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.34. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	236
4.35. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	237
4.36. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	238
4.37. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali ...	245
4.38. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	246
4.39. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	247
4.40. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	248
4.41. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali ...	256

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.42. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	257
4.43. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	258
4.44. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	259
4.45. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali	266
4.46. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	267
4.47. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	268
4.48. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	269
4.49. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali ...	276

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.50. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	277
4.51. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	278
4.52. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali	279
4.53. Şekil 1.1'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için, 4.2.1 bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali	282
4.54. Şekil 1.1'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için 4.2.1. bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali	285
4.55. Şekil 1.1'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için 4.2.1. bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali	288
4.56. Şekil 1.2'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için 4.2.2. bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen m ortalama çıkış sinyalleri	291
4.57. Şekil 1.2'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için 4.2.2. bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen m ortalama çıkış sinyalleri	294

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.58. Şekil 1.2'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için 4.2.2. bölümünde bulunan optimum_salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri	297
4.59. Şekil 1.3'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için 4.2.3. bölümünde bulunan optimum_salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri	300
4.60. Şekil 1.3'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için 4.2.3 bölümünde bulunan optimum_salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri	303
4.61. Şekil 1.3'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için 4.2.3. bölümünde bulunan optimum_salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri	306
4.62. Şekil 1.4'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için 4.2.4. bölümünde bulunan optimum_salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri	309
4.63. Şekil 1.4'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için 4.2.4. bölümünde bulunan optimum_salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri	312
4.64. Şekil 1.4'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için 4.2.4. bölümünde bulunan optimum_salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri	315
5.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiğine, $e=0.5$ alınıp sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.3$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği	318
5.2. İdeal çift yönlü röle karakteristiğine, $e=0.5$ alınıp sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.5$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği	319
5.3. İdeal çift yönlü röle karakteristiğine, $e=0.5$ alınıp sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.7$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği	320

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.4. Doyma eğrisine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.3$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği	321
5.5. Doyma eğrisine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.5$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği	322
5.6. Doyma eğrisine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.7$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği	323
5.7. İdeal ölü bölge karakteristiğine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.3$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği	325
5.8. İdeal ölü bölge karakteristiğine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.5$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği	326
5.9. İdeal ölü bölge karakteristiğine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.7$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği	327
5.10. Ölü bölgeli çift yönlü röle karakteristiğine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.3$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği	328
5.11. Ölü bölgeli çift yönlü röle karakteristiğine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.5$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği	329
5.12. Ölü bölgeli çift yönlü röle karakteristiğine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.7$ iken elde edilen $J=(b(t))$ grafiği	330
5.13. Çift yönlü röle karakteristiğine ait, $K=0.3$ için minimum maliyet fonksiyonunun uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi	336
5.14. Çift yönlü röle karakteristiğine ait, $K=0.5$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi	337
5.15. Çift yönlü röle karakteristiğine ait, $K=0.7$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi	338
5.16. Doyma eğrisine ait, $K=0.3$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi	340

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.17. Doyma eğrisine ait, $K=0.5$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi	341
5.18. Doyma eğrisine ait, $K=0.7$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi	342
5.19. İdeal ölü bölge karakteristiğine ait, $K=0.3$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi	343
5.20. İdeal ölü bölge karakteristiğine ait, $K=0.5$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi	345
5.21. İdeal ölü bölge karakteristiğine ait, $K=0.7$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi	346
5.22. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine ait, $K=0.3$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi .	347
5.23. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine ait, $K=0.5$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi .	349
5.24. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine ait, $K=0.7$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi .	350
6.1.. Maliyet fonksiyonunun genliğe göre değişimi	352

SİMGELER DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
δ	Küçük değişim
δ_c	Adım büyüklüğü
λ_n	Lagrange çarpanı
W	Açısal frekans
A	Salınım sinyalinin genliği veya matris
A_o	Giriş sinyalinin aldığı sabit değerler
a_n	Kuvvet serisi veya Fourier serisi katsayıları
B	Salınım sinyalinin genliği veya matris
b	Salınım sinyali
b_n	Fourier katsayısı
C	Matris veya sabit sayı
P	Matris
F	Matris
C_n	Fourier katsayısı
d_{ni}	Türev polinomunun katsayısı
d_n	İstenilen Fourier katsayıları
E	Giriş sinyalinin maksimum değeri
e	Giriş sinyali
f	Fonksiyon
G	Gradient vektörü veya matrisi
i	Toplam giriş sinyali
J	Maliyet fonksiyonu
K	Linear karakteristiğin eğimi veya sabit sayı
k	Sabit sayı
m	Çıkış sinyali

SİMGELELER DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
\bar{m}	Ortalama çıkış sinyali
\bar{m}_d	İstenilen ortalama çıkış sinyali
h	Çıkış sinyalinin aldığı sabit değer
s	Lineer olmayan karakteristiklerin eğimi
T	Periyod
t	Zaman
W_i	i noktasına verilen ağırlık
ΔW	Açısal değişim

1. GİRİŞ

Otomatik kontrol sistemleri bir veya birkaç fiziksel aracı kapsayan ünite ve üniteler topluluğundan meydana gelen blok diyagramları ile gösterilir. Bütün fiziksel araçların giriş-çıkış karakteristiği, n'inci mertebeden sabit katsayılı (=time invariant) lineer diferansiyel denklem ile ifade edilebiliyorsa, Laplace dönüşümünün uygulanmasıyla analiz işlemleri kolaylaşmaktadır. Fakat her fiziksel aracın giriş-çıkış karakteristiği n'inci mertebeden lineer diferansiyel denklemlerle ifade edilemeyebilir.

Giriş-çıkış karakteristiği, sıfırıncı dereceden lineer olmayan diferansiyel denklemlerle ifade edilebilen fiziksel araçlarda, aracın m çıkış sinyali, e giriş sinyalinin lineer olmayan fonksiyonudur.

$$m=f(e) \quad (1.1)$$

Giriş-çıkış karakteristiği bu şekilde lineer olmayan fiziksel araçlardan, lineer olmayan fiziksel araçlar veya lineer olmayan sistemler diye bahsedilecektir. Lineer olmayan bir fiziksel aracın karakteristiğinin, aracın girişine yüksek frekanslı salınım sinyali ve aracın çıkışına alçak frekans geçiş filtresi koyarak daha düzgün bir duruma getirebileceği bilinmektedir (1),(2),(3). Salınım sinyalinin frekansı, alçak frekans geçiş filtresinin kesme (=cut off) frekansına ve fiziksel aracın e giriş sinyaline göre çok yüksektir.

Lineer olmayan fiziksel aracın girişine salınım sinyali eklenmiş olduğundan, "m" çıkış sinyali, "e" giriş sinyali ile "b" salınım sinyalinin toplamının fonksiyonu olacaktır. Hem "e" giriş sinyali hem de "b" salınım sinyali zamanın bir fonksiyonu olarak değişmektedirler. Salınım sinyalinin frekansı çok yüksek alındığından, giriş sinyalinin zamanla değişimi, salınım sinyali ile karşılaştırıldığında hiç yokmuş veya giriş sinyali sabit kalıyormuş gibi kabul edilebilir. Bu durumda fiziksel aracın çıkış sinyali;

$$m(t)=f(e+b(t)) \quad (1.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Salınım sinyalinin frekansı çok yüksek olduğundan, alçak frekans geçiş filtresi, lineer olmayan fiziksel aracın çıkış sinyalini integre edip ortalamasını alacaktır. Böylece alçak frekans geçiş filtresinin \bar{m} çıkış sinyali;

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_0^T m(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T f(e+b(t)) dt \quad (1.3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradaki matematiksel işlemde, salınım frekansının, dolayısıyla fiziksel aracın çıkış sinyalinin periyodik olacağı ve periyodunun T'ye eşit olduğu kabul edilmiştir. Önceki kabullenmelerden anlaşılacağı üzere, fiziksel aracın e giriş sinyali salınım sinyalinin bir periyodu boyunca sabit kabul edilmiş ve alçak frekans geçiş filtresinin \bar{m} çıkış sinyali bu periyod boyunca sabit bulunmuştur.

Sinyal salınımı metodu, lineer olmayan kontrol sistemlerinde sistemi kararlı duruma getirmek ve özellikle limit çevrimlerini (=limit cycle) yok etmek için kullanılmıştır (14). Metodun, özellikle şekli tanıma sistemlerine, uygulanışı konusunda yapılmış ve yayınlanmış araştırmalar vardır.

Araştırmacılardan Mc Vey ve Chen fotodiyotlardan yapılmış olan bir boyutlu ve iki boyutlu matrislerden meydana getirilmiş olan fiziksel araçlarla, boyutları optik sistemle normalize edilmiş ışıklı cisimlerin yer ve hızlarını ölçmek istemişlerdir. Fotodiyotlardan meydana getirilmiş olan matrislerin, giriş-çıkış karakteristiklerinin aşırı derecede lineer olmaması özellikle fotodiyotlar arasında bulunan boşlukların imalat da zorunlu olarak bırakılması belirli büyüklükte giriş sinyaline karşılık, çıkış sinyalinin sıfır olarak kalacağı bölgeler bulunması, araştırmacıları sinyal salınımı metodları kullanmaya zorlamıştır (3). Böylece fotodiyotlardan meydana gelen fiziksel aracın ka-

rakteristiklerini lineerleştirmek veya bu duruma yaklaştırmak mümkün olmuştur.

Mc Vey ve Chen bir ve iki-boyutlu fotodiyot matris karakteristiklerinin, sinüzoidal salınım sinyali uygulayarak kullanmaya daha elverişli şekle getirilebileceğini teorik olarak göstermişlerdir (1),(3). Yine aynı araştırmacılar, sinyal salınımının mekanik yolla veya fotodiyotlarının eşik seviyelerini değiştirmek suretiyle elde edilebileceğini göstermişlerdir (1),(4). Daha sonra araştırmacı Parrish ve Aylor fotodiyotlara değişik bir ağırlık sistemi koyarak sinyal salınımı metodunun daha iyi neticeler verebileceğini göstermiştir (5). Aylor, Parrish ve Cook ise yaptıkları araştırmada sinüzoidal salınım sinyalinin, fotodiyot matrisleri için optimum genliğini bulmaya çalışmışlardır (6). Parrish ve Stoughton fotodiyot matrisine, üçgen şeklinde salınım sinyali uygulandığı takdirde daha iyi yer ve hız tayininin mümkün olacağını göstermişlerdir (7),(8). Yine Parrish ve Aylor, fotodiyot matrisini ve üzerine uygulanan salınım sinyalini sinüzoidal ve üçgen olmak üzere deneysel olarak gerçekleştirmiştir (9),(10). Yine aynı araştırmacılar fotodiyot matrisi üzerine uygulanan sinyalin gelişigüzel gürültü şeklinde olması halinde elde edilebilecek karakteristikleri teorik olarak tayin etmişlerdir (4),(11).

Araştırmacı Atila Barkana salınım sinyalini bir boyutlu fotodiyot matrisi ile yalnız siyah ve beyazdan meydana gelmiş şekillerin sınırlarını kesin olarak belirlemek için de kullanılmıştır (12). Böylece sınırları tayin edilmiş şeklin film üzerine çizimi ışık veren diyetlarla (=light emitting diodes) yapılmak istendiğinde yine salınım sinyalinden faydalanılmıştır.

Salınım sinyalinin başka bir uygulaması araştırmacı Atalay Barkana tarafından A/D çeviricileri üzerinde yapılmıştır (13). A/D çeviricinin giriş-çıkış karakteristiği, bir merdiveni andırır şekilde, yer-hız tayininde kullanılan fotodiyot matrisinin karakteristiğine benzemektedir. A/D

çeviricinin giriş sinyali üzerine üçgen salınım sinyali eklenerek bilgisayarın analog bilgiyi, çeviricinin yalnız olarak verilebileceği sayıdan daha kesin olarak okuması sağlanmıştır. Burada bilgisayar aynı zamanda alçak frekans geçiş filtresi olarak kullanılmıştır. Yine aynı araştırmacı salınım sinyali kullanarak lineer olmayan fiziksel araçların karakteristiklerini lineer hale getirirken en uygun olabilecek salınım sinyallerinin genliğini ve şeklini bulmaya çalışmıştır (15). Bu salınım sinyaline, en iyi anlamında optimum salınım sinyali adı verilmiştir. Optimum salınım sinyalini bulmak için sürekli değişmeler kalkyulusu metodlarından faydalanarak bilgisayar işlemlerinin yapılabilmesi için gerekli algoritma ve programlar hazırlamış ve çalıştırmıştır.

Lineer olmayan aracın karakteristiklerinin orijine göre simetrik olduğu dolayısıyla giriş-çıkış sinyali arasındaki bağıntının, kuvvet serisi şeklinde açıldığında m çıkış sinyali, e giriş sinyalinin tek kuvvetleri şeklinde ifade edilebileceğini göstermiştir.

Böylece $m=f(e)$ ifadesinin en iyi şekilde lineer sisteme yaklaştıran salınım sinyalinin Fourier Katsayılarını b_i ($i=1,2,3,\dots$ için) bulmuştur.

Ayrıca nümerik metodları kullanarak belirli bazı lineer olmayan sistemler için optimum salınım sinyalinin nasıl bulunduğunu göstermiştir. Sonra lineer olmayan karakteristiklere eğri uydurma tekniği (=curve fitting) uygulayarak eğriyi lineer karakteristiğe en iyi yaklaştıran Fourier serisi katsayılarını Gradient metoduyla bilgisayar kullanarak bulmuştur. Bulunan Fourier katsayılarına göre optimum salınım sinyalinin şekli yine bilgisayar programı yardımıyla ortaya çıkmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken eğriye beşinci dereceden bir polinomla yaklaşmıştır.

Tezde Fourier serisinden beş terim alınarak, seçilen dört örnek üzerinde, en iyi şekilde lineer sisteme yaklaştıran salınım sinyali bulunmaya çalışılacaktır. Bu lineer

olmayan karakteristikler; ideal çift-yönlü röle (=ideal on-off relay) karakteristiği, Doyma (=saturation) eğrisi, ideal ölü bölge (=ideal dead-zone) karakteristiği, ölü bölgeli çift yönlü röle (=on-off relay with dead-zone) karakteristikleridir. Bu karakteristiklerden Şekil 1.1 de ideal çift yönlü röle karakteristiği adı ile anılan lineer olmayan karakteristik;

$$\begin{aligned} 0 > e & \quad m=-h, (h > 0) \\ e > 0 & \quad m=+h \end{aligned} \quad (1.4)$$

Şekil 1.2 deki Doyma eğrisi adı ile anılan lineer olmayan karakteristik;

$$\begin{aligned} e < -A_0 & \quad m=-h, (h=sA_0) \\ -A_0 < e < +A_0 & \quad m=se \\ e > +A_0 & \quad m=+h \end{aligned} \quad (1.5)$$

Şekil 1.3 deki ideal ölü bölge karakteristiği;

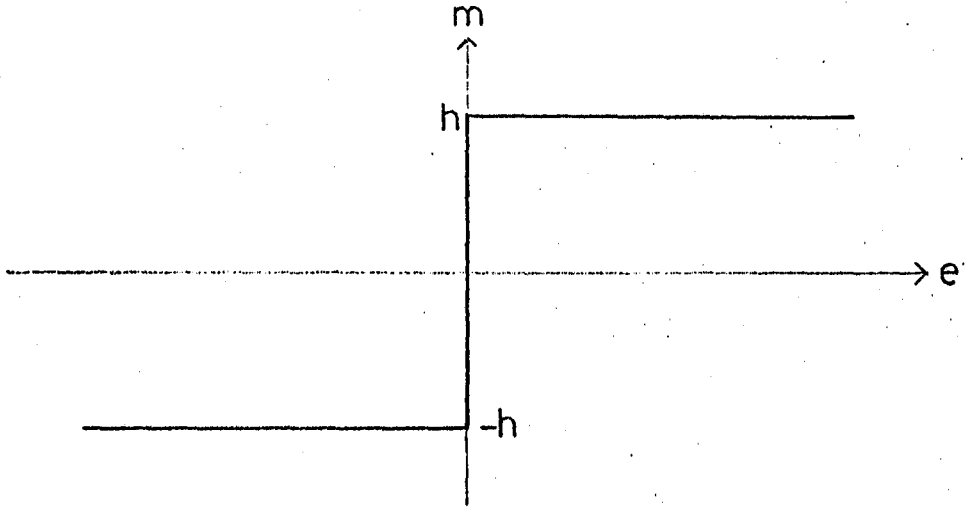
$$\begin{aligned} e < -A_0 & \quad m=s(A_0-e) \\ -A_0 < e < +A_0 & \quad m=0 \\ e > +A_0 & \quad m=s(e-A_0) \end{aligned} \quad (1.6)$$

Şekil 1.4 deki ölü bölgeli çift yönlü röle karakteristiği;

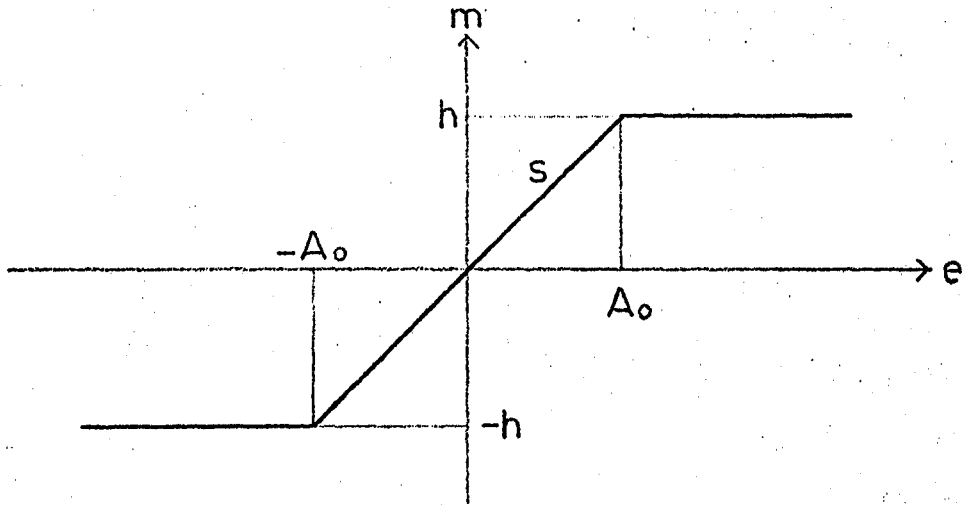
$$\begin{aligned} e < -A_0 & \quad m=-h \\ -A_0 < e < +A_0 & \quad m=0 \\ e > +A_0 & \quad m=+h \end{aligned} \quad (1.7)$$

şeklinde ele alınarak incelenecektir.

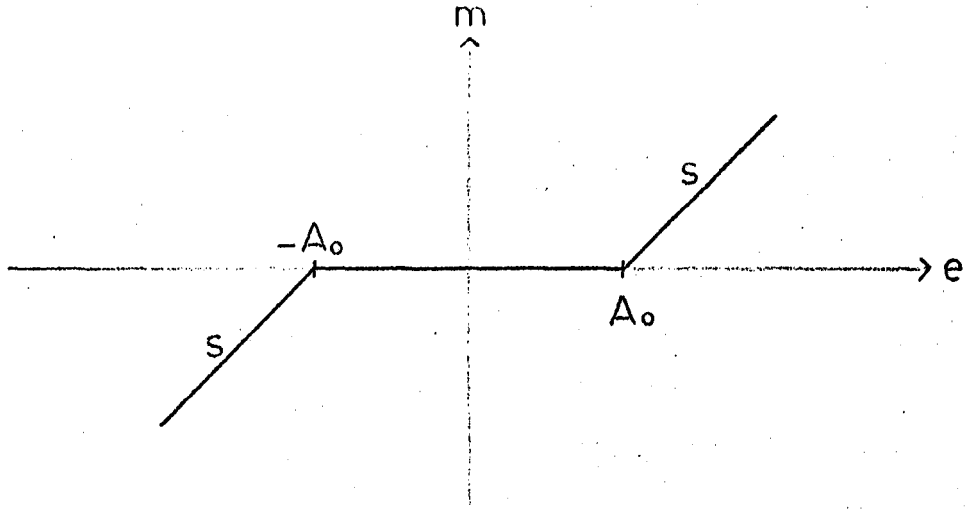
İkinci bölümde lineerlik ve lineer olmama durumları tartışılarak, lineer olmayan sistemlerin analizinden kısaca bahsedilmiştir. Daha sonra salınım sinyali ve hesaplama yöntemi ile ilgili Değişmeler Kalkulusunun Genel Yöntemlerine yer verilmiştir.



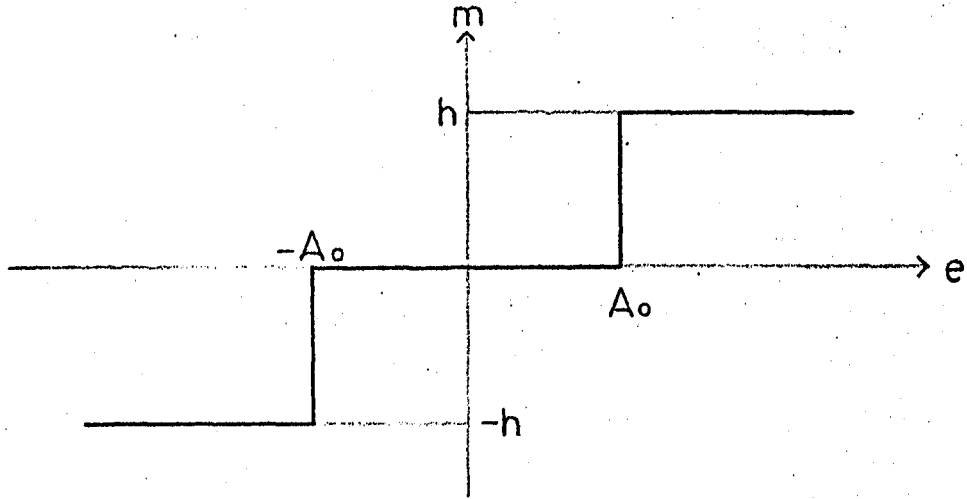
Şekil 1.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği



Şekil 1.2. Doyma eğrisi



Şekil 1.3. İdeal ölü bölge karakteristiği



Şekil 1.4. Ölü bölgeli çift yönlü röle karakteristiği

Üçüncü bölümde seçilen örneklere uygulanan salınım sinyallerinin testere dişi, kare, sinüzoidal olması halinde optimum genlikleri bulunmaya çalışılmıştır. Salınım sinyali, testere dişi salınım sinyali olması halinde (Şekil 1.5);

$$0 < t < T \quad b(t) = \frac{2A}{T} t - A \quad (1.8)$$

Kare salınım sinyali olması halinde (Şekil 1.6);

$$\begin{aligned} 0 < t < T/2 \quad b(t) &= +A \\ T/2 < t < T \quad b(t) &= -A \end{aligned} \quad (1.9)$$

Sinüzoidal salınım sinyali olması halinde de (Şekil 1.7);

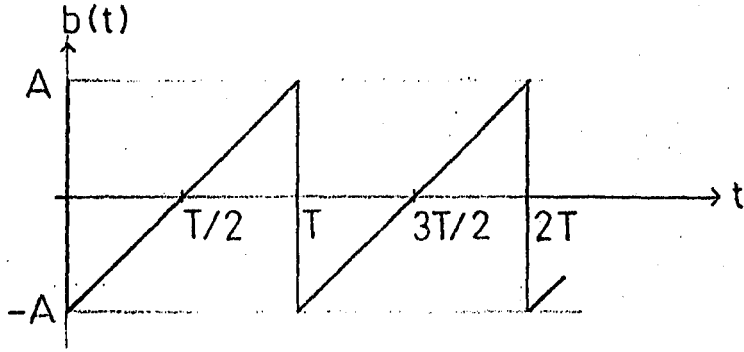
$$0 < t < T \quad b(t) = A \sin wt \quad (1.10)$$

şeklinde alınarak, Şekil 1.2, Şekil 1.3, Şekil 1.4'deki lineer olmayan karakteristiklere uygulanan salınım sinyallerinin genlikleri; $|A_0| > |A|$, $2|A_0| > |A| > |A_0|$, $|A| > 2|A_0|$ alınarak optimum genlikler bulunmaya çalışılmıştır.

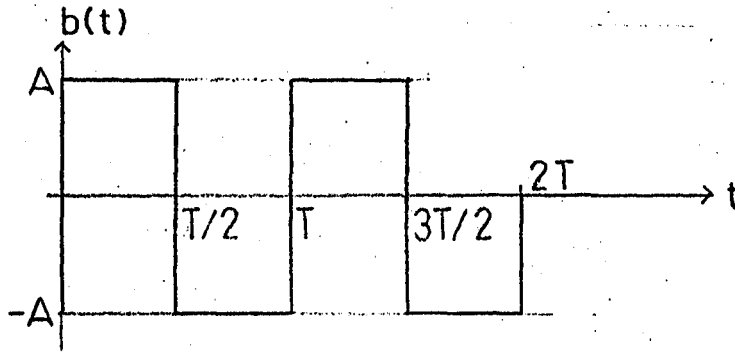
Dördüncü bölümde; nümerik optimizasyon tekniği kullanılarak, lineer olmayan karakteristiğe beşinci dereceden polinom uydurulmuş ve Fourier serisinden bir terim, üç terim ve beş terim olarak optimum genlik bulunmaya çalışılmıştır. Optimum genlik bulunurken Fourier serisi katsayıları Gradient Metodundan faydalanılarak programlama ile elde edilmiştir.

Beşinci bölümde testere dişi, kare, sinüzoidal salınım sinyali uygulanarak elde edilen optimum genliklerle, nümerik optimizasyon tekniği uygulanarak bulunan optimum genlikler karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

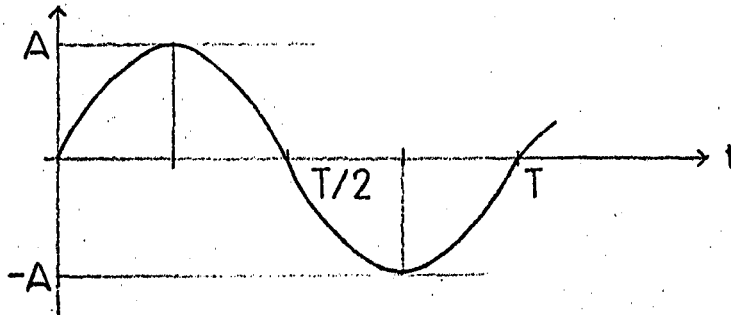
Altıncı bölümde ise, çıkan değerlere göre bazı sonuçlara varılmış ve ileride yapılabilecek diğer araştırmalara yön verebilmek için öneriler de bulunmuştur.



Şekil 1.5. Testere dişi salınım sinyali



Şekil 1.6. Kare salınım sinyali



Şekil 1.7. Sinüzoidal salınım sinyali

2. LINEER OLMAYAN SİSTEMLER İLE SALINIM SİNYALİNİN OPTİMUM ŞEKLİ VE GENLİĞİ

Fiziksel sistemler taşıdıkları özellikler cinsinden iki ana grupta incelenir.

1. Lineer Sistemler
2. Lineer Olmayan Sistemler

İki grup sistemi birbirinden ayırmak için, başlangıç değerleri sıfır ise süperpozisyon prensibinden yararlanılır. Süperpozisyon prensibinde; lineer olup olmadığı araştırılacak sisteme eğer çok girişli ise, giriş sinyal vektörü uygulanır. Durum(=state) değişkenlerinin bu giriş sinyal vektörüne cevabı alınır. Aynı işlem değişik bir başka giriş sinyal vektörü için tekrarlanır. Daha sonra sisteme bu iki giriş sinyal vektörünün toplamı uygulanır. Durum değişkenlerinin toplam giriş sinyaline cevabının daha önceki durum değişkenlerinin cevaplarının toplamına eşit olup olmadığına bakılır. Eşitse o sistem lineerdir, değilse sistem lineer değildir, denir. Kısaca; süperpozisyon prensibinin uygulanabildiği sistemler lineer, uygulanamadığı sistemler lineer olmayan sistemlerdir (14),(15).

Lineer sistemlerle çalışmak her zaman mümkün olmadığından, lineer olmayan sistemlerle uğraşmak gerekebilir. Lineer olmayan sistemlerin analizi temelde iki değişik metodla yapılabilir;

1. Başlangıç noktası olarak kesin durum diferansiyel denklemlerini kullanan metodlar,
2. Sistem sınıflarının davranışlarını tahmin edebilen yaklaşık metodlar.

2.1. Başlangıç Noktası Olarak Kesin Durum Diferansiyel Denklemlerini Kullanan Metodlar

Bu metodlardan ilki durum-*yer* (=state space) metodu olarak alınabilir. Metodda diferansiyel denklemler yazılarak sistemin faz yörüngeleri (=phase trajectory) çizilir ve çözümün tipiyle ilgili önemli sonuçlar çıkarılabilir.

Tekil nokta (=Singular point)'da veya denge nokta (=equilibrium point)'sında denge durumundaki bir sistem durum-yer metodunda sıfır hareketle karakterize edilir. Yani hız vektörü sıfırdır. Belirli bir sistem için yörüngeleri meydana getirmek gerekince ikinci derecenin üzerindeki sistemler için bu aşırı ölçüde güçtür. İki boyutlu durumda durum-yer faz düzlemi (=phase plane) veya durum düzlemi (=state-plane) adı verilir. Girişler sabit tutulursa yörüngelerin şekli zaman içerisinde sabit kalacaktır.

Faz yörüngelerinin bulunmasının en açık metodu diferansiyel denklemlerinin direk çözümüdür. Bu çözümde yörüngelerin eğimleri bulunarak çizimleri yapılır. Sistem, yörüngelerin durumlarına bakılarak değerlendirilir.

Lineer olmayan kontrol sisteminin dengesini, lineer zamana bağlı parçalarına karşılık gelen durumlarıyla kıyaslama yapılarak değerlendirmek yararlı olur. Bu tür sistemlerin dengesine, s-düzlemi içinde köklerin (=eigenvalue) değerlerine bakılarak karar verilir. Aynı zamanda bu tür sistemlerin dengesi büyük ölçüde giriş değerine ve tipine bağlı olduğu gibi, durum-yerin belli bölgesinde durum vektörünün farklılaşmasına da bağlıdır. Ayrıca güç verilmemiş sistemin dengesi başlangıç durumuna bağlı olabilir.

Diğer metodlar ise; kısmi (=Lokal) denge, sonlu (=Finite) denge, Global denge metodlarıdır. Denge tayininde bu metodlara endirek metodlar denilir. Daha zarif bir metod yaklaşık bir asır önce Liapunov tarafından ortaya atılmıştır. Bu metod vasıtasıyla diferansiyel denklemleri çözmeden veya hatta faz yörüngelerini hesaplamadan denge hakkında bilgi edinmek mümkündür. Buna Liapunov'un direk metodu denir. Metod teorik açıdan sistemde depolanan enerji ve sistem dinamiği arasında önemli ilişkileri açıkladığından bazı kısıtlamaları olmasına rağmen çok önemlidir.

2.2. Sistem Sınıflarının Davranışlarını Tahmin Edebilen Yaklaşık Metodlar

İkinci derecenin üzerindeki sistemleri analitik olarak kumanda edebilmek için, faz düzlemi tekniklerinin yerine geçebilecek ve daha geniş sistem sınıflarının davranışlarını tahmin edebilen yaklaşık teknikler de vardır. Bu tür metodlar harmonik lineerleştirme metodları (=The Method of Harmonic Linearization=MHL) adı altında toplanabilir. Bu metodların ana özelliği; araştırılan lineer olmayan sisteme yaklaşık olan ilgili lineer sistemi bulabilmektir. Bütün durumlar için geçerli olabilecek lineer bir modeli elde etmekten çok, kabul edilebilir yaklaşık limitlere erişmek yeterlidir. Harmonik yaklaşık metodlarının en çok kullanılabildiği tanımlama fonksiyonu (=Describing function=DF) fikridir. Tanımlama fonksiyonu kullanılmadan önce tanımlama fonksiyonunun hesaplandığı baz elde olmalıdır.

Diğer bir harmonik yaklaşım metodu da çift girişli tanımlama fonksiyonudur (=Dual input describing function=DIDF). Bu metodda; lineer olmayan bir kontrol sistemine yüksek frekanslı bir salınım sinyali uygulanır. Bu sinyal bazı durumlarda sistemin performansını arttıracaktır. Bu sinyalin frekansı genellikle sistemin kesme (=cut-off) frekansının oldukça üstünde tutulur. Salınım sinyali çıkışta yeni frekans bileşenlerinin önemli bir spektrumunu yaratır. Aynı zamanda salınımın genliğinin alçak frekans kazancını etkiler.

2.3. Lineer Olmayan Sistemlerin Sınıflandırılması ve Salınım Sinyali Uygulanması

Tezde ilgilenilen konuda sinyal salınımlı metodunun değişik örnekler üzerinde uygulamasıdır. Lineer olmayan sistemler için bulunmuş olan bütün metodlar genelleştirilemediği gibi, sinyal salınımlı metodunda her lineer olmayan sistem için uygulanabileceği söylenemez. Bu metod

ancak belirli bir grup lineer olmayan sistemler için geçerlidir. O halde salınım sinyali metodunun uygulanabileceği lineer olmayan sistemleri belirtebilmek amacıyla gruplandırma yapmak faydalı olacaktır. Lineer olmayan sistemleri durum değişkenlerine ve giriş-çıkış sinyal karakteristiklerine göre iki gruba ayırmak mümkündür.

1. Diferansiyel denklemlerle ifade edilenler,
2. Cebirsel denklemlerle ifade edilenler.

Cebirsel denklemlerde durum değişkenlerinin veya giriş-çıkış sinyallerinin zamana göre türevini içine alan terimler yoktur. Dolayısıyla cebirsel denklemler sıfırdan itibaren diferansiyel denklem olarak tanımlanabilir. Diferansiyel denklemlerde ise durum değişkenlerinin veya giriş-çıkış sinyallerinin zamana göre türevini içine alan terimler vardır.

Cebirsel denklemlerle ifade edilen lineer olmayan sistemleri tekrar iki gruba ayırmak mümkündür.

1. Hafızalı olanlar,
2. Hafızasız olanlar

Matematikte hafızalı olanlara çok değerli, hafızasız olanlara ise tek-değerli fonksiyonlar denir. Hafızalı olan karakteristiklerde, histerizis eğrisinde olduğu gibi, çıkış sinyali giriş sinyalinin sadece o andaki değerine değil aynı zamanda geçmişte almış olduğu değerlere bağlıdır. Hafızasız, tek değerli olan karakteristiklerde çıkış sinyali, giriş sinyalinin yalnız belirli bir andaki değerine bağlıdır. Salınım sinyali metodunun uygulandığı sistemler bu son gruba dahil olan sistemlerdir. Tek-değerli aynı zamanda genel-tipte yazılabilme özelliğine de sahiptir. Çıkış sinyali m , giriş sinyali e 'ye e 'nin belli bir aralıktaki değerleri için sürekli ve bütün türevleri sürekli olan bir fonksiyonla bağlı ise o aralıkta sonsuz kuvvet serisi şeklinde ifade edilebilir;

$$m(t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n e^{n(t)} \quad (2.1)$$

Bunların dışında sistemler giriş ve çıkış sayılarına göre guruplandırılabilir. Ancak tezde ele alınacak sistemlerde bir girişin ve yalnız bir çıkışın bulunduğu kabul edilecek, giriş ve çıkış için skaler büyüklükler kullanılacaktır.

Pratikte 2.1 deki kuvvet serisini, fonksiyon olarak verilen giriş-çıkış sinyalleri arasındaki bağıntı belirli bir doğruluk derecesine göre polinom ile ifade edilebilir. İstenilen doğruluğun derecesi arttıkça polinomdaki değişkenin kuvveti de ona göre artar. Bu yaklaşık olarak polinomla ifadeye eğri uydurma (=curve fitting) adı verilir.

Eğer m çıkış sinyali, e giriş sinyalinin çeşitli aralıklarında ayrı ayrı fonksiyonlarla ifade ediliyorsa veya m çıkış sinyalinin, e 'nin sonlu sayıda değerleri için türevi yoksa, bu durumda da eğri uydurma metotları kullanılarak m çıkış sinyali fonksiyon gurubuna en yakın eğri bir polinom şeklinde bulunabilir. Giriş derecesi e ; büyüdükçe, polinomun fonksiyona yakınlık derecesi artar.

Polinomun diğer özellikleri şöyle sıralanabilir. Eğer eğri orijinden geçiyorsa yani $e=0$ için $m=0$ ise bu durumda $C_0=0$ olur. Eğri orijin etrafında noktaya göre simetrik ise yani $e=-e$ için $m=-m$ ise polinom sadece e 'nin tek kuvvetlerinden meydana gelir;

$$m = C_1 e + C_3 e^3 + C_5 e^5 + \dots + C_{2n+1} e^{2n+1} \quad (2.2)$$

Bu ifade bahsedilen özellikleri taşıyan bütün fonksiyonlar için doğrudur.

Tezde genel olarak (2.2) denklemleri ile ifade edilebilen hafızasız, karakteristikleri orijine göre simetrik olan fakat lineer olmayan fiziksel sistemlere uygulanabilecek sınımlı sinyalinin en iyi şekli bulunmaya çalışılacaktır.

Değişmeler Kalkulusu kullanılarak yapılacak maliyet fonksiyonunun minimize edilmesi incelenirse, lineer olmayan hafızasız araçta veya sistemde m çıkış sinyali, e giriş sinyalinin f fonksiyonu olarak yazılabilir.

$$m=f(e) \quad (2.3)$$

$b(t)$ salınım sinyali sistemin e giriş sinyaline eklendiğinde yeni $i(t)$ giriş sinyali;

$$i(t)=e+b(t) \quad (2.4)$$

olur. (2.3) denklemde e giriş sinyali yerine $i(t)$ yeni giriş sinyali konulduğunda, çıkış sinyali;

$$m=f(i(t))$$

veya

$$m(t)=f(e+b(t)) \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Lineer araçtan sonra alçak frekans geçiş filtresi varsa ve salınım sinyalinin frekansı filtrenin kesme frekansından çok yüksekte ise filtrenin çıkış sinyalinin, (2.5) denklemi ile ifade edilen $m(t)$ değerinin salınım sinyalinin bir T periyoduboyunca ortalama-sını alır. Buna göre filtreden çıkan $\bar{m}(T)$ ortalama çıkış sinyali,

$$\bar{m}(T)=\frac{1}{T} \int_0^T f(e+b(t))dt \quad (2.6)$$

olacaktır. $\bar{m}(T)$ ortalama çıkış sinyali (2.6) denklemden anlaşılacağı üzere T periyodunun bir fonksiyonudur. (2.6) daki integral denklemi, zamana göre değişen salınım sinyalinin giriş sinyali ile toplamının belirli bir fonksiyonunu zamana göre integre ettiğinden, ortalama çıkış sinyalinin elde edilen değeri, salınım sinyalinin zamana göre nasıl değiştiği hakkındaki bütün bilgiyi yok etmektedir. 0 halde \bar{m}

ortalama çıkış sinyali $b(t)$ salınım sinyalinin zamanı cinsinden ifade edilebilirse $b(t)$ 'nin en iyi şeklinin bulunabilme olasılığı vardır.

Değişmeler Kalkülusunun Genel Yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalarda maliyet fonksiyonu doğrudan doğruya minimize edilmeye çalışılacaktır. Böylece yeni meydana gelen sistemin giriş sinyalinin e , çıkış sinyalinin ise \bar{m} olduğu kabul edilir. Yeni sistemin giriş-çıkış sinyalleri arasındaki bağıntının lineer olması istenirse, \bar{m}_d ; istenilen çıkış sinyalini, K ise gerçek sabit bir sayıyı tanımlamak üzere;

$$\bar{m}_d = Ke \quad (2.7)$$

yazılır. Bu durumda yeni maliyet fonksiyonu,

$$J = \int_{e_{\min}}^{e_{\max}} (\bar{m} - \bar{m}_d)^2 de \quad (2.8)$$

olarak tanımlanabilir. J reel sayısının minimize edilmesi, \bar{m}^* optimum çıkış sinyalinin \bar{m}_d istenilen çıkış sinyaline mümkün olduğu kadar yaklaştırılması demektir.

(2.6) ve (2.7) denklemleri (2.8) denklemi ile birleştirilirse maliyet fonksiyonu,

$$J = \int_{e_{\min}}^{e_{\max}} \left[\frac{1}{T} \int_0^T f(e+b(t)) dt - eK \right]^2 de \quad (2.9)$$

olarak bulunur. (2.8) ve (2.9) maliyet fonksiyonlarında belirtilen e giriş sinyalinin maksimum ve minimum değerleri fiziksel olarak belirli sistem için sınırlanmıştır. Salınım sinyalinin T periyodu ise alçak frekans geçiş filtresinin kesme frekansı ile belirlenmiştir, yani f_c kesme frekansı ise;

$$\frac{1}{T} \gg f_c \quad (2.10)$$

olması gerekir.

Mühendis, sistemin tüm kazancına bakarak K sabit sayısının ne olması gerektiğine karar verir. O halde maliyet fonksiyonu yalnız salınım sinyalinin fonksiyonu olarak düşünülebilir. Yani

$$J=J(b(t)) \quad (2.11)$$

yazılabilir. Salınım sinyali üzerinde herhangi bir sınırlandırma yoksa,

$$\frac{\partial J}{\partial b(t)} = 0 \quad (2.12)$$

denklemini maliyet fonksiyonunu ekstremum yapan salınım sinyalinin bulunmasını sağlar, yani

$$\int_{e_{\min}}^{e_{\max}} \frac{d \int_0^T f(e+b(t)) dt}{d b(t)} \left[\frac{1}{T} \int_0^T f(e+b(t)) dt - Ke \right] de = 0 \quad (2.13)$$

denklemini optimum salınım sinyalini tanımlar. (2.13) denkleminin zamanın bir fonksiyonu olarak değiştiği kabul edilen salınım sinyalini tayin etmek hemen hemen imkansızdır.

Eğer $b(t)$ salınım sinyali sabit bir parametre olsaydı, bulunması o kadar güç olmazdı. O halde $b(t)$ salınım sinyalini bir takım sabit sayılarla ifade etmenin yolları araştırılmalıdır. Bunlardan bir yol, salınım sinyali periyodik, sürekli ve bir periyod içinde tek değerli ise Fourier serisi olarak açılabilir. Diğer yol ise yine aynı şartlar altında salınım sinyalini kuvvet serisi veya polinom şeklinde yazmaktır. Bu ikinci yol gelecek bölümde denenecektir.

$b(t)$ salınım sinyali bir periyod boyunca Fourier serisine açılacak olursa,

$$0 < t < T \quad \text{için}$$

$$b(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (2.14)$$

elde edilir. Burada ω temel açısal frekanstır ve bilindiği üzere,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilir. a_n ve b_n ise Fourier katsayılarıdır. Bu durumda (2.6) denklemi ile ifade edilen ortalama çıkış sinyali,

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_0^T f \left[e + \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \right] dt \quad (2.16)$$

olur. Böylece sistemden çıkan ortalama çıkış sinyali e giriş sinyalinin ve a_0, a_n, b_n Fourier katsayılarının bir fonksiyonu olarak elde edilir, yani,

$$\bar{m} = \bar{m}(e, a_0, a_1, a_2, \dots, b_1, b_2, b_3, \dots) \quad (2.17)$$

Maliyet fonksiyonu da aynı şekilde yalnız Fourier katsayılarının bir fonksiyonu olacaktır.

$$J = \int_{e_{\min}}^{e_{\max}} [\bar{m}(e, a_0, a_1, a_2, \dots, b_1, b_2, b_3, \dots) - Ke]^2 de \quad (2.18)$$

veya

$$J = J(a_0, a_1, a_2, \dots, b_1, b_2, b_3, \dots) \quad (2.19)$$

elde edilir.

(2.18) ve (2.19) denklemlerinden anlaşılacağı üzere maliyet fonksiyonunun Fourier katsayılarına göre parametrik olarak minimize edilmesiyle bulunacak olan sabitler, salınım sinyalinin optimum şeklini tayin edecektir.

(2.19) denkleminde Fourier katsayılarını optimum değerlerinden $\delta a_0, \delta a_1, \delta a_2, \dots, \delta b_1, \delta b_2, \delta b_3, \dots$ kadar saptırarak Taylor açılımının birinci türevede kadar olan kısmından yararlanılırsa,

$$J(a_0 + \delta a_0, a_1 + \delta a_1, \dots, b_1 + \delta b_1, \dots) = J(a_0, a_1, \dots, b_1, \dots) + \delta J \quad (2.20)$$

elde edilir. Fourier katsayılarına göre maliyet fonksiyonunun türevlerine sahip δJ , skaler bir büyüklüktür. Taylor açılımı (2.18) denkleminde uygulanacak olursa,

$$J(a_0 + \delta a_0, a_1 + \delta a_1, \dots, b_1 + \delta b_1, \dots) = \int_{e_{\min}}^{e_{\max}} [\bar{m}^2(a_0 + \delta a_0, a_1 + \delta a_1, \dots, b_1 + \delta b_1, \dots) - 2K e \bar{m}(a_0 + \delta a_0, a_1 + \delta a_1, \dots, b_1 + \delta b_1, \dots) - K^2 e^2] de \quad (2.21)$$

elde edilir. Taylor serisi açılımı \bar{m} ortalama çıkış sinyali için yalnız birinci türevleri içine alacak şekilde tekrarlanırsa,

$$J(a_0 + \delta a_0, a_1 + \delta a_1, \dots, b_1 + \delta b_1, \dots) = \int_{e_{\min}}^{e_{\max}} \{ \bar{m}^2(a_0, a_1, \dots, b_1, \dots) + 2\bar{m}(a_0, a_1, \dots, b_1, \dots) \frac{\partial \bar{m}}{\partial a_0} \delta a_0 + 2\bar{m}(a_0, a_1, \dots, b_1, \dots) \frac{\partial \bar{m}}{\partial a_1} \delta a_1 + \dots + 2\bar{m}(a_0, a_1, \dots, b_1, \dots) \frac{\partial \bar{m}}{\partial b_1} \delta b_1 + \dots - 2K e \bar{m}(a_0, a_1, \dots, b_1, \dots) - 2K e \frac{\partial \bar{m}}{\partial a_0} \delta a_0 - 2K e \frac{\partial \bar{m}}{\partial a_1} \delta a_1 + \dots - 2K e \frac{\partial \bar{m}}{\partial b_1} \delta b_1 + \dots + K^2 e^2 \} de \quad (2.22)$$

(2.18) ve (2.20) denkleminden yararlanılarak,

$$\delta J = \int_{e_{\min}}^{e_{\max}} \left[2(\bar{m} - eK) \frac{\partial \bar{m}}{\partial a_0} \delta a_0 + 2(\bar{m} - eK) \frac{\partial \bar{m}}{\partial a_1} \delta a_1 + \dots + 2(\bar{m} - eK) \frac{\partial \bar{m}}{\partial b_1} \delta b_1 + \dots \right] de \quad (2.23)$$

elde edilir. $\delta a_0, \delta a_1, \delta a_2, \dots, \delta b_1, \delta b_2, \dots$ değerleri birbirine bağımsız olarak değiştirildiklerinden δJ değerini özdeş olarak sıfır yapacak eşitlikler aşağıda verilmiştir;

$$\int_{e_{\min}}^{e_{\max}} (\bar{m} - eK) \frac{\partial \bar{m}}{\partial a_0} de = 0$$

$$\int_{e_{\min}}^{e_{\max}} (\bar{m} - eK) \frac{\partial \bar{m}}{\partial a_1} de = 0$$

⋮

$$\int_{e_{\min}}^{e_{\max}} (\bar{m} - eK) \frac{\partial \bar{m}}{\partial b_1} de = 0$$

⋮

(2.24) de verilmiş sıfıra eşit olan integraller bütün Fourier katsayıları için geçerlidir (15).

3. LİNEER OLMAYAN KARAKTERİSTİKLERE UYGULANAN SALINIM SİNYALLERİNİN OPTİMUM GENLİKLERİNİN BULUNMASI

Bu bölümde Şekil 1.1, 1.2, 1.3, 1.4'de gösterilen lineer olmayan karakteristiklere, sıra ile Şekil 1.5, 1.6, 1.7'de gösterilen salınım sinyalleri uygulanıp, değişmeler kalkyulusunun genel yöntemlerini kullanarak optimum genlikler bulunmaya çalışılacaktır. Bu genlikler bulunurken, \bar{m} -e karakteristikleri simetrik olduklarından, e'nin negatif değerleri için denklem türetilmeksizin çizilecektir. Ayrıca denklem 2.7'deki K katsayısı, optimum genlik bulunurken sıra ile 0.3; 0.5; 0.7 alınacaktır. Bu değerlerin alınmasındaki amaç, dördüncü bölümde nümerik optimizasyon tekniğindeki yapılacak hesaplamalarla uygunluğu sağlamaktır.

3.1. İdeal Çift Yönlü Röle Karakteristiği

Şekil 1.1'de gösterilen lineer olmayan karakteristik aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} 0 > e \quad \text{için} \quad m(t) &= -h, \quad (h > 0) \\ e > 0 \quad \text{için} \quad m(t) &= h \end{aligned} \quad (1.4)$$

Bu karakteristiğe uygulanan salınım sinyalleri için optimum genlik hesaplamaları, genel olarak yapılacaktır. Sonunda; K'ya değerler vererek optimum genlik A^* , nümerik olarak bulunacaktır.

3.1.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiğine testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulanması

Salınım sinyalinin ortalaması sıfır olarak alındığından;

$$0 \leq t \leq T \quad \text{için} \quad b(t) = \frac{2A}{T}t - A \quad (1.8)$$

olur. Burada T, salınım sinyalinin periyodunu, A ise genliğini göstermektedir. Bir periyod içinde lineer olmayan

aracın giriş sinyalinin, sabit kaldığı kabul edilebilir. Şekil 3.1'de lineer olmayan karakteristiğe testere dişi salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması gösterilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere m çıkış sinyali,

$$\begin{aligned} 0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t) &= -h \\ t_1 \leq t \leq T \text{ için } m(t) &= +h \end{aligned} \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece t_1 anı;

$$i(t_1) = e + b(t_1) = 0$$

veya

$$i(t_1) = e + \frac{2A}{T} t_1 - A = 0 \quad (3.2)$$

olmaktadır. 3.2'den t_1 çözülecek olursa;

$$t_1 = \frac{T}{2A} (A - e) \quad (3.3)$$

bulunur. Bu denklemlerden faydalanarak, filtre edilen çıkış sinyali, 2.6 denklemini ile verilen tek katlı integralle bulunabilir;

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_0^T m(e + b(t)) dt \quad (2.6)$$

Denklem 3.1'deki veriler kullanılarak \bar{m} ortalama,

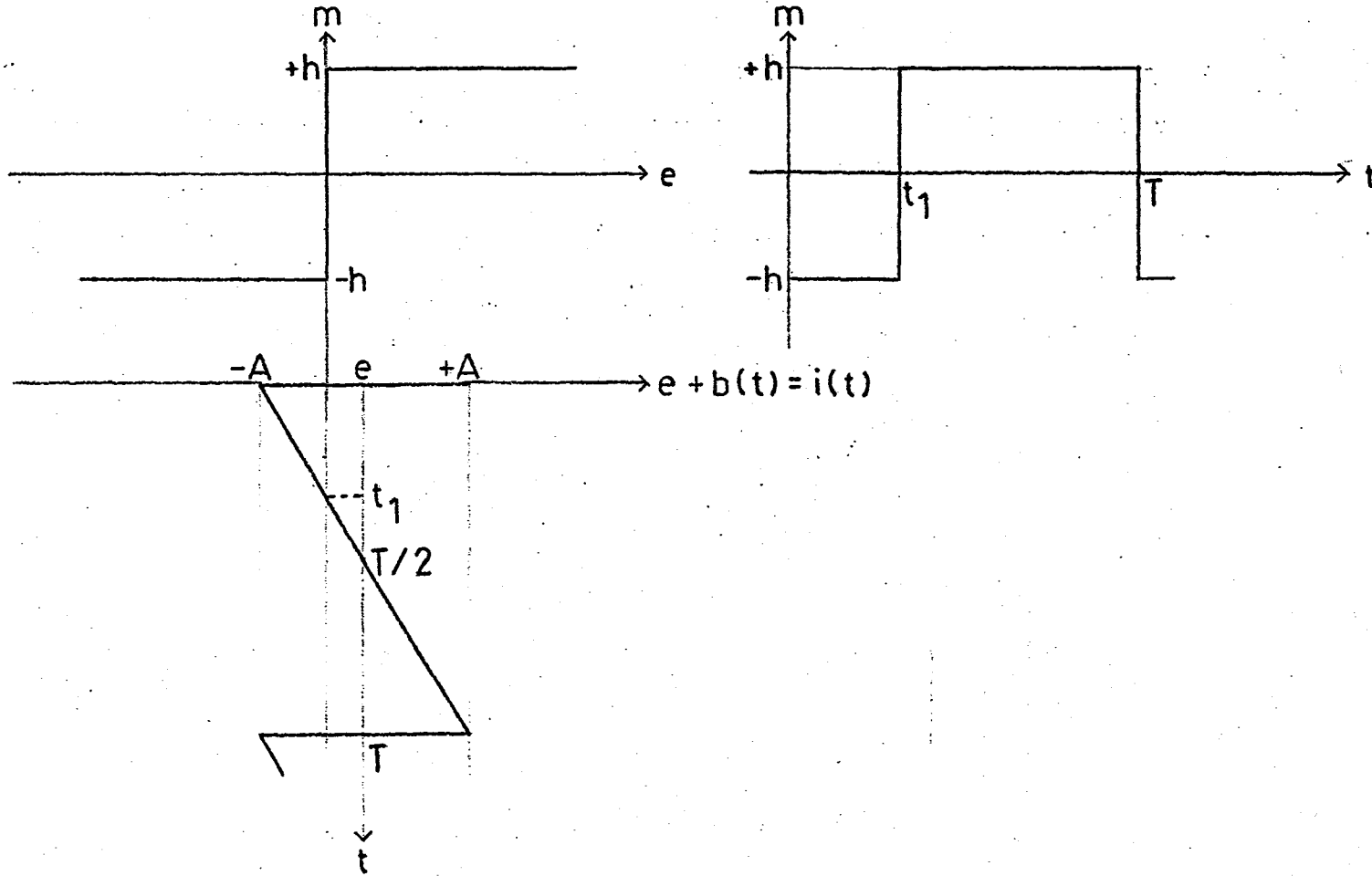
$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_1} (-h) dt + \int_{t_1}^T h dt \right] \quad (3.4)$$

$$\bar{m} = \frac{h}{T} [T - 2t_1]$$

veya t_1 , denklem 3.3'ten yerine konularak,

$$\bar{m} = \frac{h}{A} e \quad (3.5)$$

$-A \leq e \leq +A$ aralığında geçerli olarak bulunur. e 'nin A 'dan büyük değerleri için salınım sinyali, "+h" de-



Şekil 3.1. Lineer olmayan karakteristiğe testere dişi salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması

ğerine eşit bölgede kalmaktadır. Dolayısıyla;

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_0^T h dt = h \quad (3.6)$$

olur. $-A \leq e \leq A$ aralığında yaklaştırılmak istenen lineer karakteristik 2.7 denkleminde belirtilen ifade olduğuna göre;

$$k = \frac{h}{A} \quad (3.7)$$

olduğundan, optimum genlik A^* ise,

$$A^* = \frac{h}{K} \quad (3.8)$$

olarak bulunur. Optimum genlik $h=1$ ve K 'ya değerler verilerek hesaplandığında, aşağıdaki sonuçlar bulunur.

$$K=0.3 \text{ için } A^*=3.333 \quad (3.9)$$

$$K=0.5 \text{ için } A^*=2$$

$$K=0.7 \text{ için } A^*=1.428$$

Çıkartılan 3.5 ve 3.6 denklemlerinden faydalanarak; \bar{m} ortalama çıkış sinyalinin, e giriş sinyaline göre çizimi, 3.9 denkleminde $A^*=2$ alınarak Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Grafik simetrik olduğundan e 'nin "-A" dan küçük değerleri için denklem türetilmeksizin çizilmiştir.

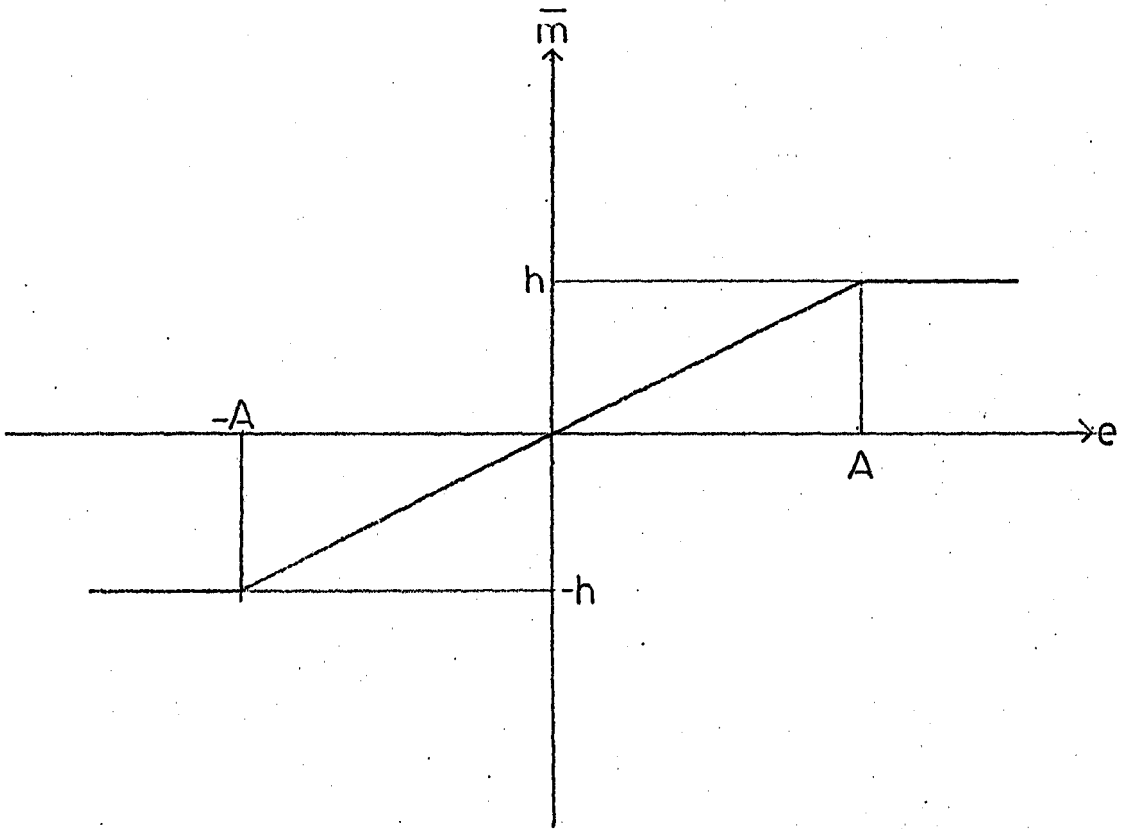
3.1.2. İdeal çift yönlü röle karakteristiğine kare şeklinde salınım sinyali uygulanması

Şekil 1.6'da gösterilen salınım sinyali,

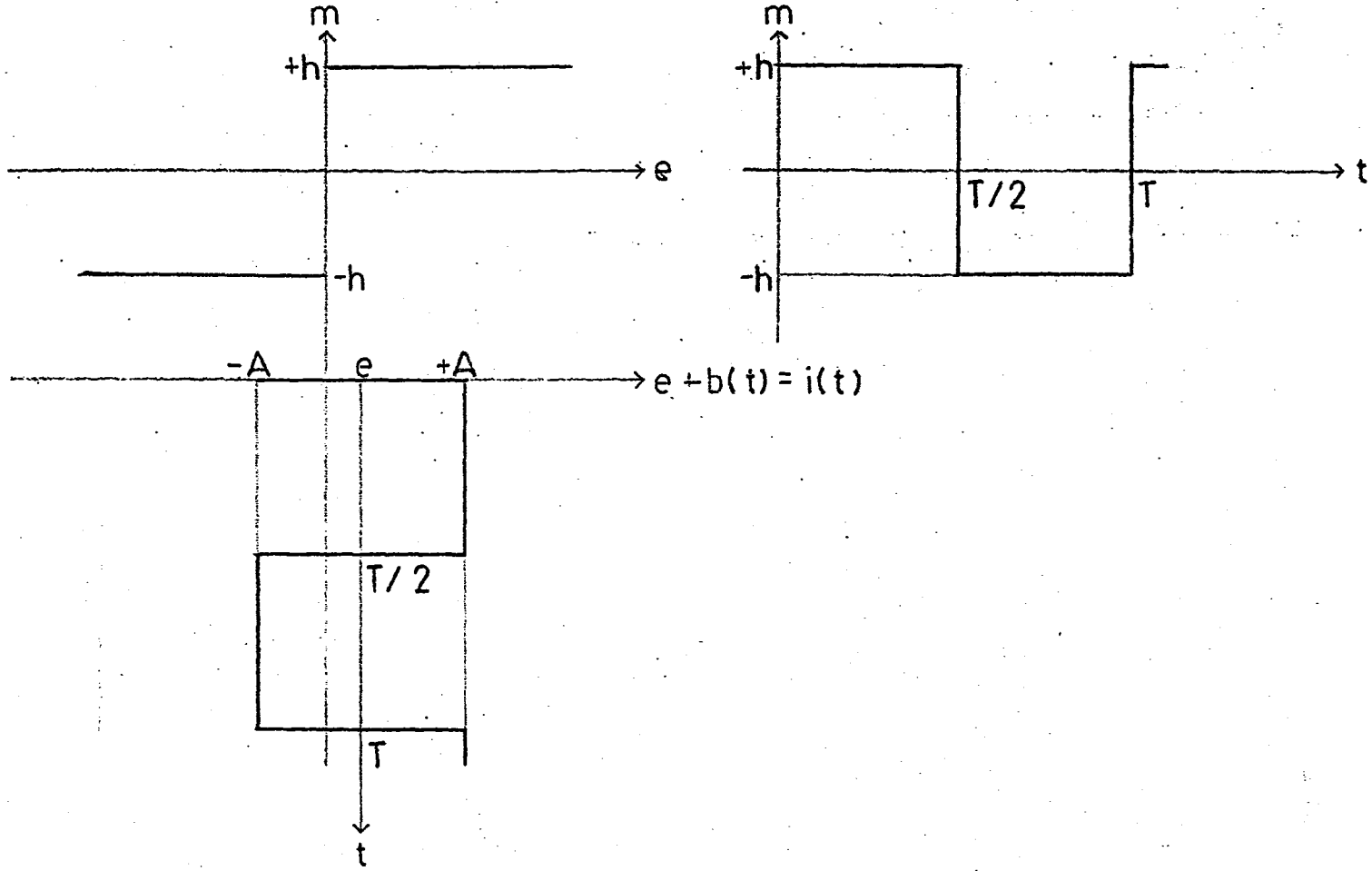
$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } b(t)=A \quad (1.9)$$

$$T/2 \leq t \leq T \text{ için } b(t)=-A$$

şeklindedir. Lineer olmayan karakteristiğe kare salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Testere dişi salınım sinyali ile elde edilen eşdeğer karakteristik



Şekil 3.3. Kare salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması

Şekilden de görüleceği üzere m çıkış sinyali,

$$\begin{aligned} 0 \leq t \leq T/2 \quad \text{için } m(t) &= +h \\ T/2 \leq t \leq T \quad \text{için } m(t) &= -h \end{aligned} \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Çıkış sinyalinin \bar{m} ortalama değerini bulmak için, Şekil 3.3'den faydalanıp, denklem 2.6 kullanılırsa;

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{T/2} h dt + \int_{T/2}^T (-h) dt \right] \quad (3.11)$$

$$\bar{m} = 0 \quad (3.12)$$

bulunur. Bu ise $-A \leq e \leq +A$ aralığında geçerlidir. Burada da e'nin A'dan büyük değerleri için salınım sinyali hep "+h" değerine eşit bölgede kalmaktadır. Yani;

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_0^T h dt = h \quad (3.13)$$

Çıkartılan 3.12 ve 3.13 denklemlerini kullanarak, \bar{m} -e karakteristiğine ait optimum genlik; e'nin "-A" dan küçük değerleri için denklem türetilmeksizin hesaplanabilir. Çünkü \bar{m} -e karakteristiği orijine göre simetriktir. Bu nedenle, hesaplamalarda kolaylık sağlamak için, işlemler karakteristiğin pozitif tarafında yapılmak istenirse; 2.8 denklemi ile ifade edilen, maliyet fonksiyonu da buna göre düzenlenmesi gerekir. 0 halde maliyet fonksiyonu;

$$J = 2 \int_0^{e_{\max}} (\bar{m} - \bar{m}_d)^2 de \quad (3.14)$$

olarak gösterilebilir. Denklem 3.14'deki integral üst sınırı e_{\max} yerine, $|C| > |A|$ olmak şartı ile C kullanıldığında, 2.7 denklemindeki K katsayısı,

$$K = \frac{h}{C} \quad (3.15)$$

alınacak ve maliyet fonksiyonu,

$$J=2 \int_0^C (\bar{m}-\bar{m}_d)^2 de \quad (3.16)$$

olarak hesaplanacaktır. 3.12 ve 3.13 denklemlerinden faydalanarak maliyet fonksiyonu;

$$J=2 \left[\int_0^A \left(0-\frac{h}{C}e\right)^2 de + \int_A^C \left(h-\frac{h}{C}e\right)^2 de \right] \quad (3.17)$$

ifadesinden hesaplanarak,

$$J=2h^2 \left[\frac{A^2}{C} - A + C \right] \quad (3.18)$$

şeklinde bulunur. Maliyet fonksiyonunun minimize edilebilmesi için 2.12 denkleminin düzenlenmesi,

$$\frac{\partial J}{\partial A} = 0 \quad (3.19)$$

şeklinde yazılarak, işlem yapıldığında optimum genlik;

$$A^* = \frac{1}{2}C$$

veya

$$A^* = \frac{h}{2K} \quad (3.20)$$

olarak bulunur. Optimum genlik, $h=1$ alınarak ve K 'ya değerler verilerek hesaplandığında, aşağıdaki sonuçlar alınır.

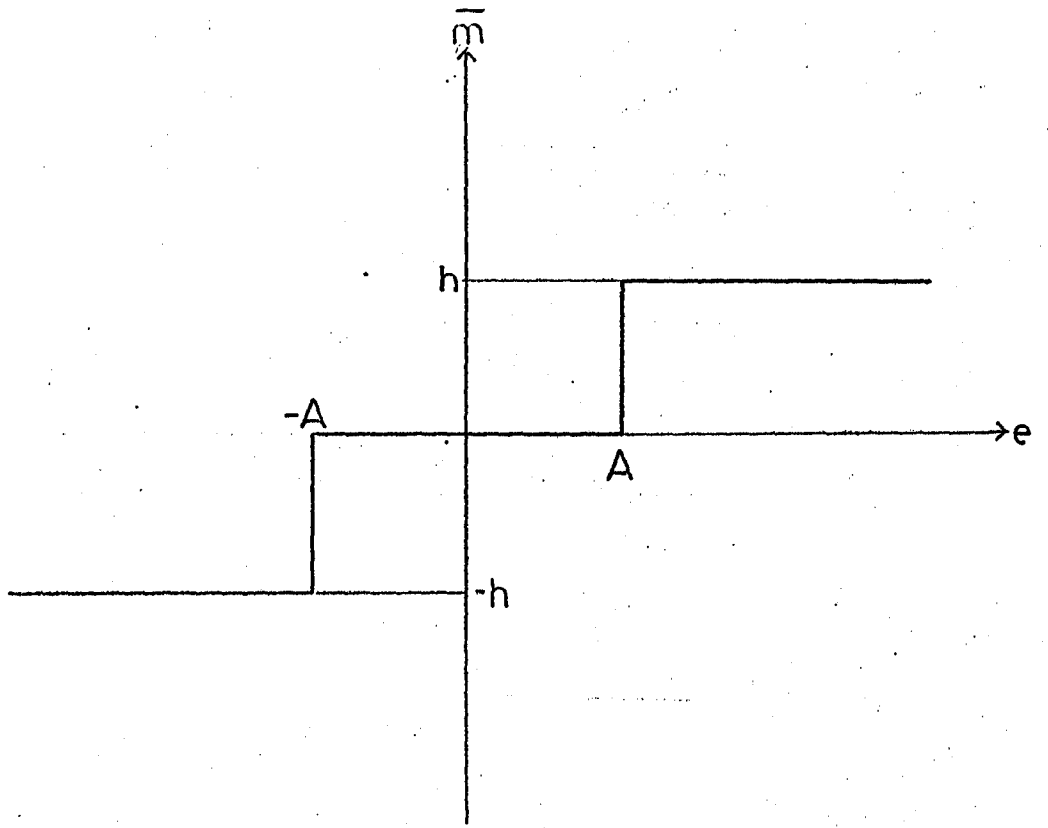
$$K=0.3 \text{ için } A^*=1.666$$

$$K=0.5 \text{ için } A^*=1$$

$$K=0.7 \text{ için } A^*=0.714$$

(3.21)

Burada; \bar{m} ortalama -e karakteristiğinin, denklem 3.21'den $A^*=1$ alınarak çizimi, Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Kare sinyal uygulandığında elde edilen eşdeğer karakteristik

3.1.3. İdeal çift yönlü karakteristiğine sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulanması

Şekil 1.7'de gösterilen salınım sinyali;

$$0 \leq t \leq T \text{ için } b(t)=A.\sin\omega t \quad (1.10)$$

Şekil 3.5'de lineer olmayan karakteristiğe sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere m çıkış sinyali;

$$\begin{aligned} 0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t) &= +h \\ t_1 \leq t \leq t_2 \text{ için } m(t) &= -h \\ t_2 \leq t \leq T \text{ için } m(t) &= +h \end{aligned} \quad (3.22)$$

şeklinde ifade edilir. Böylece t_1 ve t_2 anında;

$$i(t_1)=e+b(t_1)=e+A\sin\omega t_1=0 \quad (3.23)$$

$$i(t_2)=e+b(t_2)=e+A\sin\omega t_2=0 \quad (3.24)$$

olmaktadır. 3.23 ve 3.24 denklemlerinden t_1 ve t_2 çözülecek olursa;

$$t_1 = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{e}{A} \right) \right] \quad (3.25)$$

$$t_2 = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{e}{A} \right) \right] \quad (3.26)$$

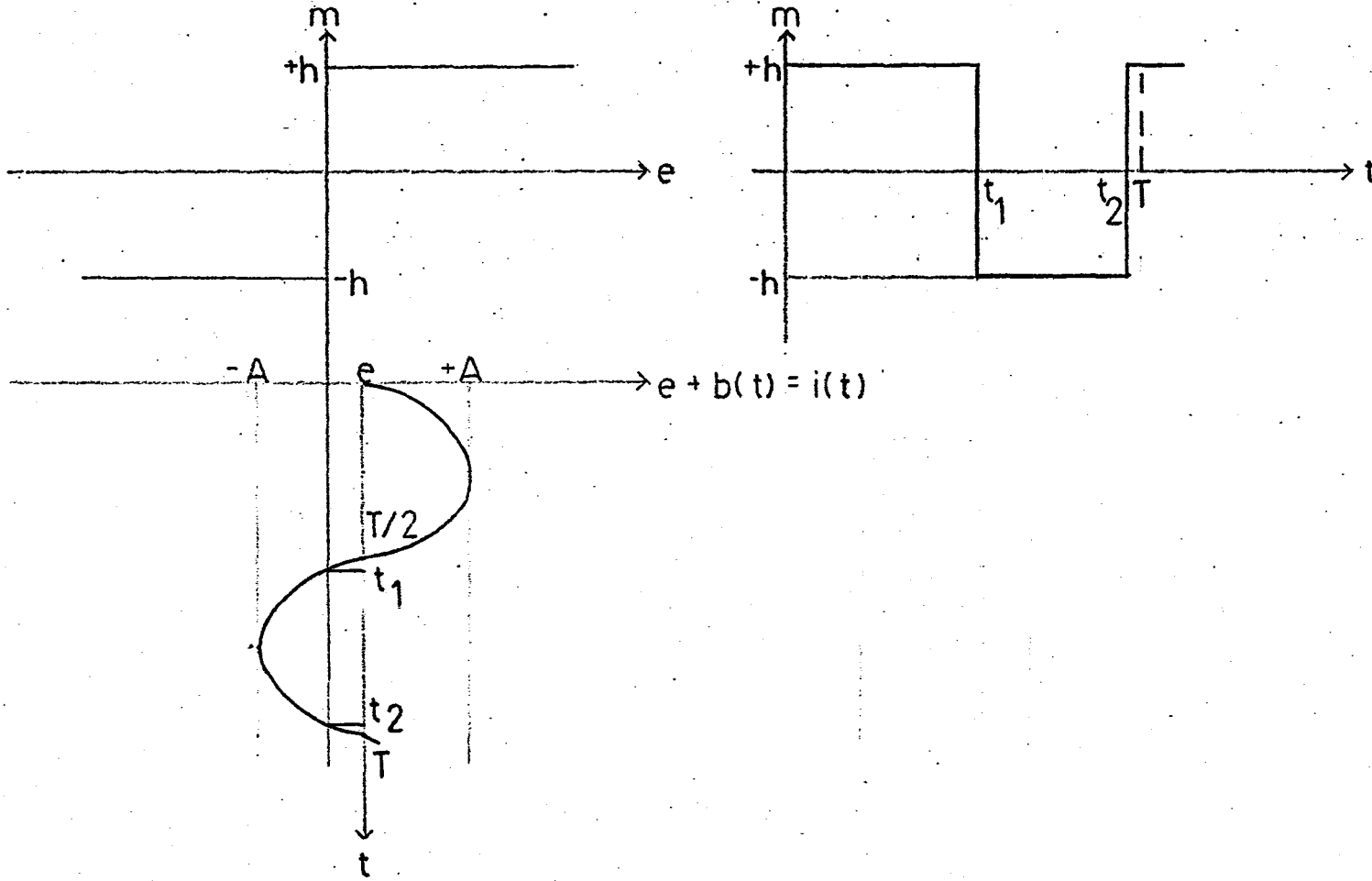
bulunur. Bu denklemlerden faydalanarak filtre edilen çıkış sinyali denklem 2.6'dan yararlanarak,

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_1} h dt + \int_{t_1}^{t_2} (-h) dt + \int_{t_2}^T h dt \right] \quad (3.27)$$

$$\bar{m} = \frac{h}{T} [T + 2t_1 - 2t_2]$$

veya t_1 ve t_2 , 3.25 ve 3.26 denkleminden yerine konularak,

$$\bar{m} = h \left[1 - \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{e}{A} \right) \right] \quad (3.28)$$



Şekil 3.5. Linear olmayan karakteristiğe sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikte bulunması

olarak bulunur. Bu değer $-A \leq e \leq +A$ aralığında geçerlidir. Yine e 'nin A 'dan büyük değerleri için salınım sinyali hep "+h" ye eğit bölgede kaldığından 3.6 veya 3.13 denklemleri aynen burada geçerlidir. \bar{m} -e karakteristiğine ait optimum genlik, yine e 'nin "-A" 'dan küçük değerleri için denklem türetilmeksizin hesaplanabilir. Denklem 2.8 ve 3.15 göz önünde tutularak, 3.16 denklemi ile ifade edilen maliyet fonksiyonu; 3.28 ve 3.16 denklemeden faydalanarak hesaplanmak istenirse,

$$J=2 \left[\int_0^A \left[\left(h - \frac{2h}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{e}{A} \right) \right) - \frac{h}{C} e \right]^2 de + \int_A^C \left(h - \frac{h}{C} e \right)^2 de \right] \quad (3.29)$$

yazılır. Denklem \bar{m} in çözülmesiyle,

$$J=h^2 \left[\frac{2}{3} C + \frac{A^2}{C} - \frac{16A}{\pi^2} \right] \quad (3.30)$$

olarak bulunur. Maliyet fonksiyonu da 3.19 denklemi yardımıyla çözülürse, optimum genlik;

$$A^* = \frac{8}{\pi^2} C = 0.810 C$$

veya

$$A^* = 0.810 \frac{h}{K} \quad (3.31)$$

ęeklinde bulunur. Optimum genlik, $h=1$ alınarak, ve K 'ya değerler verilerek hesaplandığında, ağağıdaki sonuçlar alınır.

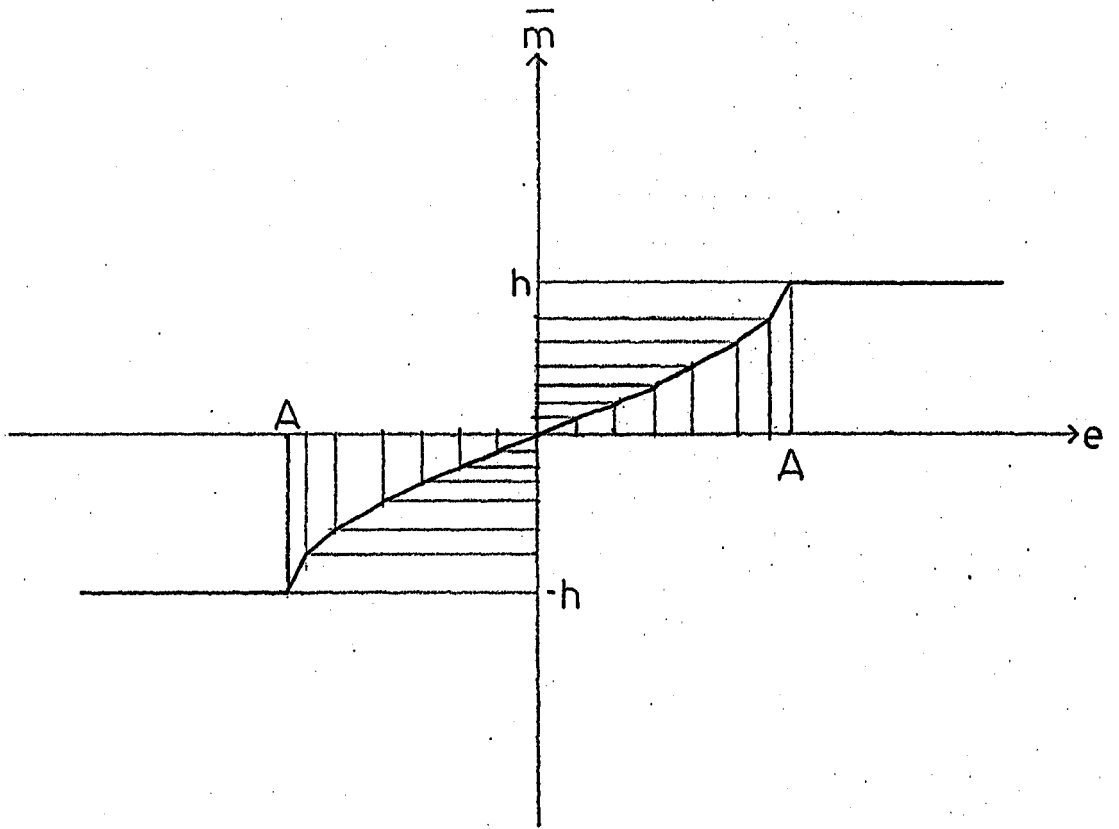
$$K=0.3 \text{ için } A^*=2.701$$

$$K=0.5 \text{ için } A^*=1.621$$

$$K=0.7 \text{ için } A^*=1.157$$

(3.32)

Burada; \bar{m} ortalama -e karakteristiğinin, denklem 3.32'den $A^*=1.621$ alınarak çizimi, ęekil 3.6'da gsterilmiętir.



Şekil 3.6. Sinüzoidal sinyal uygulandığında elde edilen eşdeğer karakteristik

3.2. Doyma Eğrisi

Şekil 1.2'de gösterilen lineer olmayan karakteristik aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}
 e < -A_0 & \quad \text{için } m(t) = -h, \quad (h = sA_0) \\
 -A_0 \leq e \leq A_0 & \quad \text{için } m(t) = se \\
 A_0 < e & \quad \text{için } m(t) = +h
 \end{aligned} \tag{1.5}$$

Bu karakteristiğe uygulanan salınım sinyalleri için optimum genlik, hesap kargaşasından kurtulmak için nümerik olarak bulunacaktır. Yani $s=1$, $h=1$, $A_0=1$ alınacaktır. Ayrıca salınım sinyalinin genliği üç ayrı şekilde, yani $|A_0| > |A|$, $2|A_0| > |A| > |A_0|$ ve $|A| > 2|A_0|$ olarak, incelenecektir. Burada optimum genliği bulmak için kullanılan maliyet fonksiyonu, her salınım sinyalinin $|A| > 2|A_0|$ olması halinde uygulanacaktır. Bundan amaç, tez boyunca aynı hesaplamaları tekrar tekrar yapmamaktır. İstendiğinde diğer durumlar içinde aynı yöntemle maliyet fonksiyonu hesaplanabilir.

3.2.1. Doyma eğrisine testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulanması

Şekil 1.5'de gösterilen salınım sinyali;

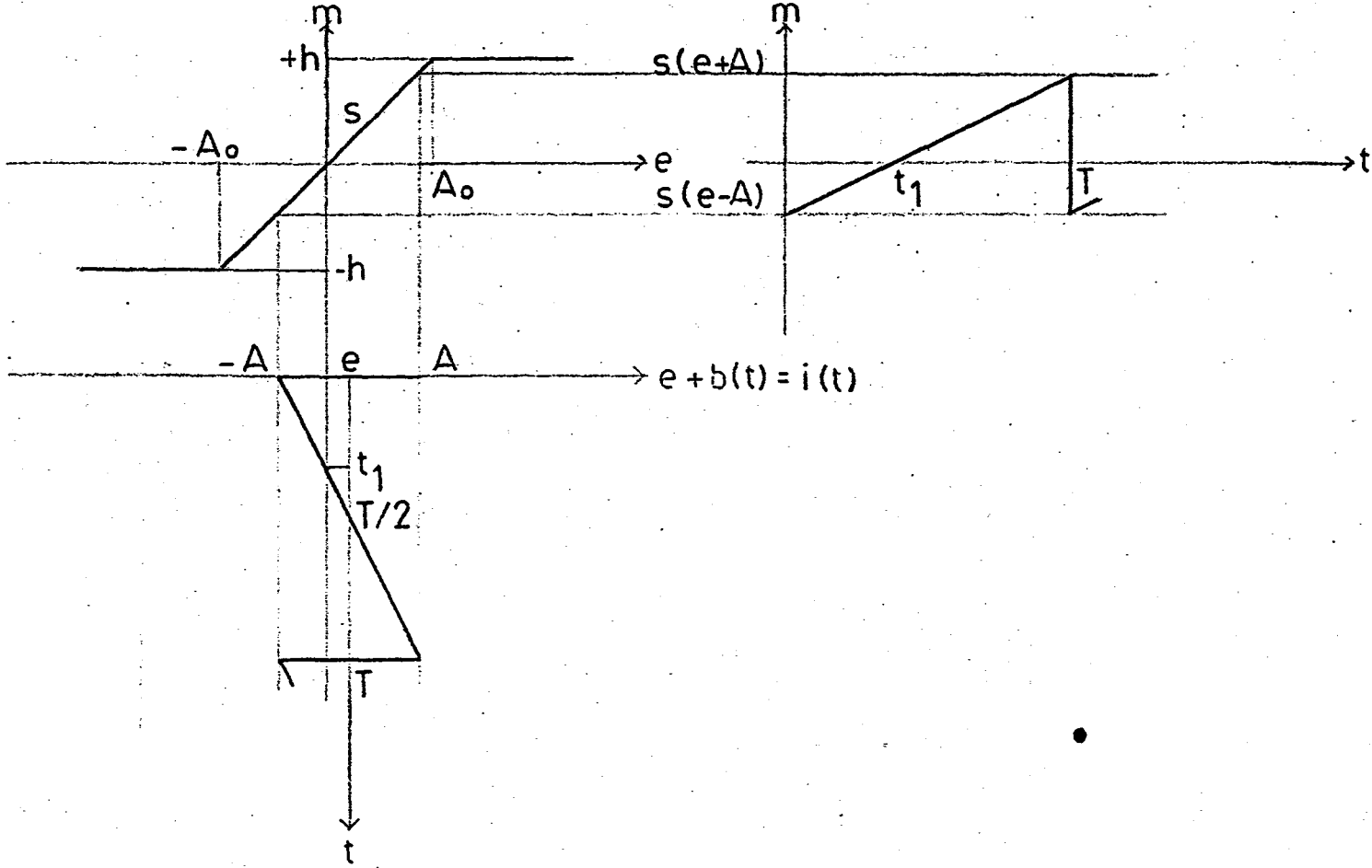
$$0 < t < T \quad \text{için } b(t) = \frac{2A}{T}t - A \tag{1.8}$$

şeklindedir. Bu kısımda filtre edilen çıkış sinyali, üç ayrı hal için ayrı ayrı incelenecektir.

3.2.1.1. $|A_0| > |A|$ olması hali

Şekil 3.7'den görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 < t < T \quad \text{için } m(t) = \frac{2As}{T}t + s(e-A) \tag{3.33}$$



Şekil 3.7. Lineer olmayan karakteristiğe testere dişi salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikle bulunması ($|A_0| > |A|$ olması hali)

şeklinde ifade edilir. Filtre edilen çıkış sinyali ise, 2.6 denkleminde aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{2As}{T} t + s(e-A) \right] dt \quad (3.34)$$

Denklemin çözülmesiyle,

$$\bar{m} = se \quad (3.35)$$

bulunur. Bu denklem $e-A \geq -A_0$ ve $e+A \leq A_0$ denklemleriyle belirlenen e 'nin aralığında geçerlidir. Şekil 3.7'de e ek-seni sağa doğru kaydırıldığında çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq t_1 \quad \text{için } m(t) = \frac{2As}{T} t + s(e-A) \quad (3.36)$$

$$t_1 \leq t \leq T \quad \text{için } m(t) = h = sA_0$$

şeklinde ifade edilir. Böylece t_1 anı,

$$i(t_1) = e + b(t_1) = e + \frac{2A}{T} t_1 - A = A_0 \quad (3.37)$$

olmaktadır. 3.37 denkleminde t_1 çözülürse,

$$t_1 = \frac{T}{2A} [A_0 + A - e] \quad (3.38)$$

bulunur. e 'nin $(-A+A_0)$ 'dan büyük ve (A_0+A) 'dan küçük değerleri için denklem 2.6'daki integral aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_1} \left[\frac{2As}{T} t + s(e-A) \right] dt + \int_{t_1}^T h dt \right] \quad (3.39)$$

Bu denklem çözülürse,

$$(A_0 - A) \leq e \leq (A_0 + A) \quad \text{için}$$

$$\bar{m} = \frac{s}{4A} [2(Ae + AA_0 + A_0 e) - A^2 - A_0^2 - e^2] \quad (3.40)$$

bulunur. e 'nin $(A+A_0)$ 'dan büyük değerleri için salınım sinyali m 'nin hep "+h" değerine eşit bölgede kalmaktadır. Dolayısıyla,

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_0^T h dt = h \quad (3.41)$$

olmaktadır. Çıkartılan 3.35, 3.40, 3.41 denklemlerinden yararlanarak \bar{m} ortalama çıkış sinyali, e giriş sinyaline göre çizilebilir. Bu şekil 3.8'de gösterilmiştir.

3.2.1.2. $2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali

Şekil 3.9'dan görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$\begin{aligned} 0 \leq t \leq t_1 & \text{ için } m(t) = -h \\ t_1 \leq t \leq t_2 & \text{ için } m(t) = s \left[e + \frac{2A}{T} t - A \right] \\ t_2 \leq t \leq T & \text{ için } m(t) = +h \end{aligned} \quad (3.42)$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece t_1 ve t_2 anları,

$$i(t_1) = e + \frac{2A}{T} t_1 - A = -A_0 \quad (3.43)$$

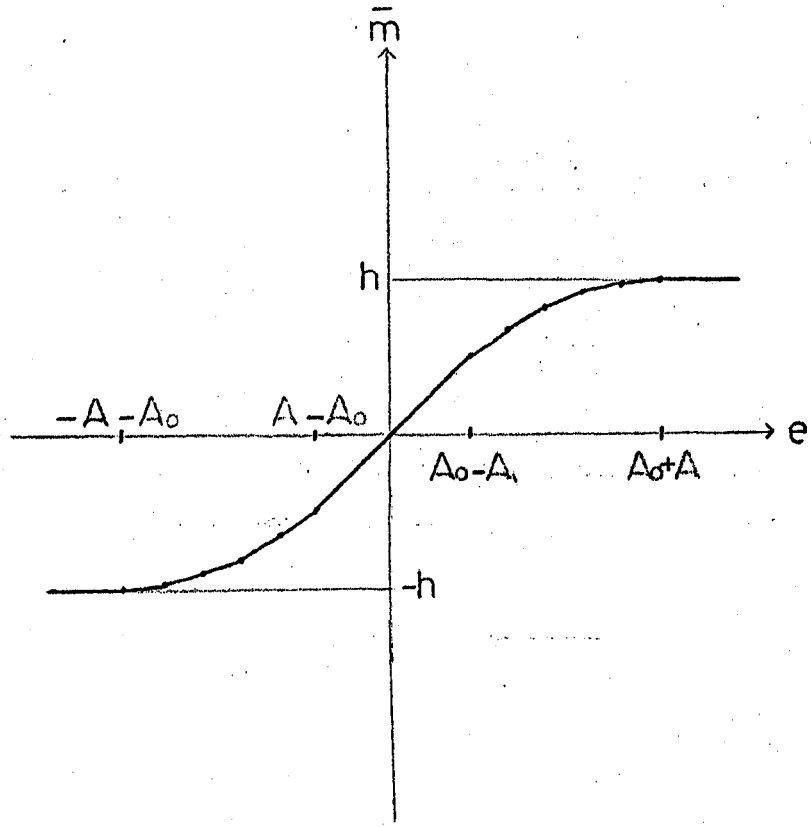
$$i(t_2) = e + \frac{2A}{T} t_2 - A = A_0 \quad (3.44)$$

olmaktadır. 3.43 ve 3.44 denklemlerinden t_1 ve t_2 çözülmüşse,

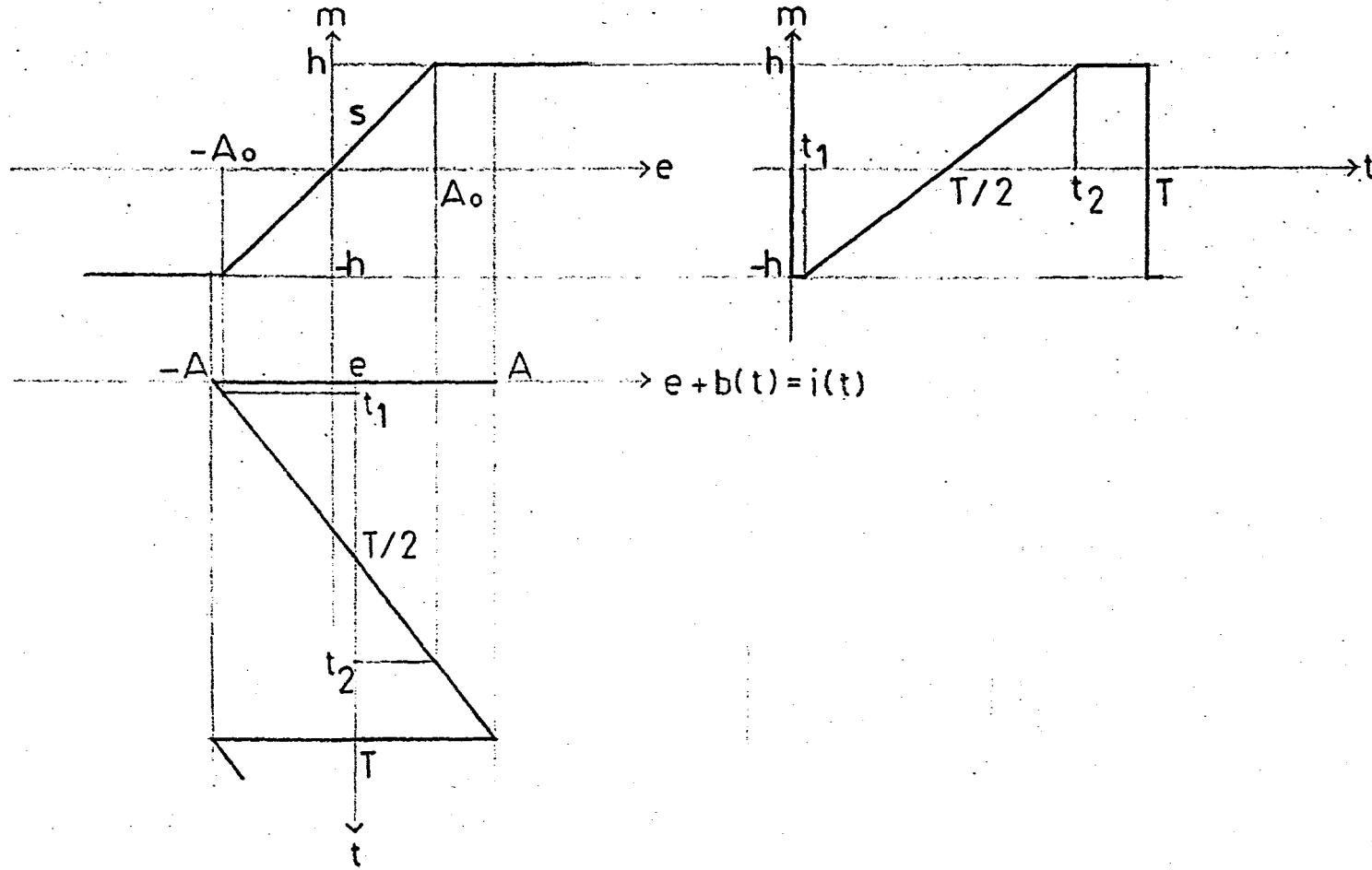
$$t_1 = \frac{T}{2A} [A - A_0 - e] \quad (3.45)$$

$$t_2 = \frac{T}{2A} [A + A_0 - e] \quad (3.46)$$

bulunur. Bu denklemlerden faydalanarak $(e-A) \leq -A_0$ ve $(e+A) \geq A_0$ denklemleriyle belirlenen e 'nin aralığında geçerli filtre edilen çıkış sinyali,



Şekil 3.8. Testere dişi salınım sinyali uygulandığında m - e karakteristiği ($|A_0| > |A|$ olması halinde)



Şekil 3.9. Linear olmayan karakteristiğe testere dişi salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_1} (-h) dt + \int_{t_1}^{t_2} s \left[e + \frac{2A}{T} t - A \right] dt + \int_{t_2}^T h dt \right] \quad (3.47)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem çözüldüğünde,

$$(A_0 - A) \leq e \leq (A + A_0) \text{ için}$$

$$\bar{m} = \frac{h}{A} e \quad (3.48)$$

bulunur. e 'nin $(A - A_0)$ 'dan büyük ve $(A + A_0)$ 'dan küçük değerleri için çıkış sinyali yazılmak istenirse, Şekil 3.9'da e eksenini sağa doğru kaydırılır. Böylece çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t) = \frac{2As}{T} t + s(e - A) \quad (3.49)$$

$$t_1 \leq t \leq T \text{ için } m(t) = h$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki t_1 anı,

$$i(t_1) = e + \frac{2A}{T} t_1 - A = A_0 \quad (3.50)$$

şeklinde yazılır. Bu denklemden t_1 çözümlerse,

$$t_1 = \frac{T}{2A} [A + A_0 - e] \quad (3.51)$$

olarak bulunur. Bu denklemlerden faydalanarak 2.6 denklemi-
mindeki integral aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_1} \left[\frac{2As}{T} t + s(e - A) \right] dt + \int_{t_1}^T h dt \right] \quad (3.52)$$

Bu denklemin çözülmesiyle,

$$(A - A_0) \leq e \leq (A + A_0) \text{ için}$$

$$\bar{m} = \frac{s}{4A} \left[2(AA_0 + A_0 e + Ae) - A_0^2 - A^2 - e^2 \right] \quad (3.53)$$

bulunur. e 'nin $(A+A_0)$ 'dan büyük değerleri için salınım sinyali, m 'nin hep "+h" değerine eşit bölgede kaldığından, sonuç 3.41 denklemindeki gibidir. Çıkartılan 3.48, 3.53 ve 3.41 denklemlerinden yararlanarak \bar{m} ortalama çıkış sinyalinin, e giriş sinyaline göre çizilişi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

3.2.1.3. $|A| > 2|A_0|$ olması hali

Şekil 3.11'den görüleceği üzere çıkış sinyali, denklem 3.42'deki gibidir. Dolayısıyla e 'nin (A_0-A) ile $(A-A_0)$ değerleri arasındaki \bar{m} ortalama değeri de, denklem 3.48'e eşittir. e 'nin $(A-A_0)$ ile $(A+A_0)$ değerleri arasındaki \bar{m} ortalama değeri de, denklem 3.53'e eşittir. e 'nin $(A+A_0)$ 'dan büyük değerleri için salınım sinyali, m 'nin hep "+h" değerine eşit olduğu bölgede kaldığından, sonuç 3.41 denklemindeki gibidir.

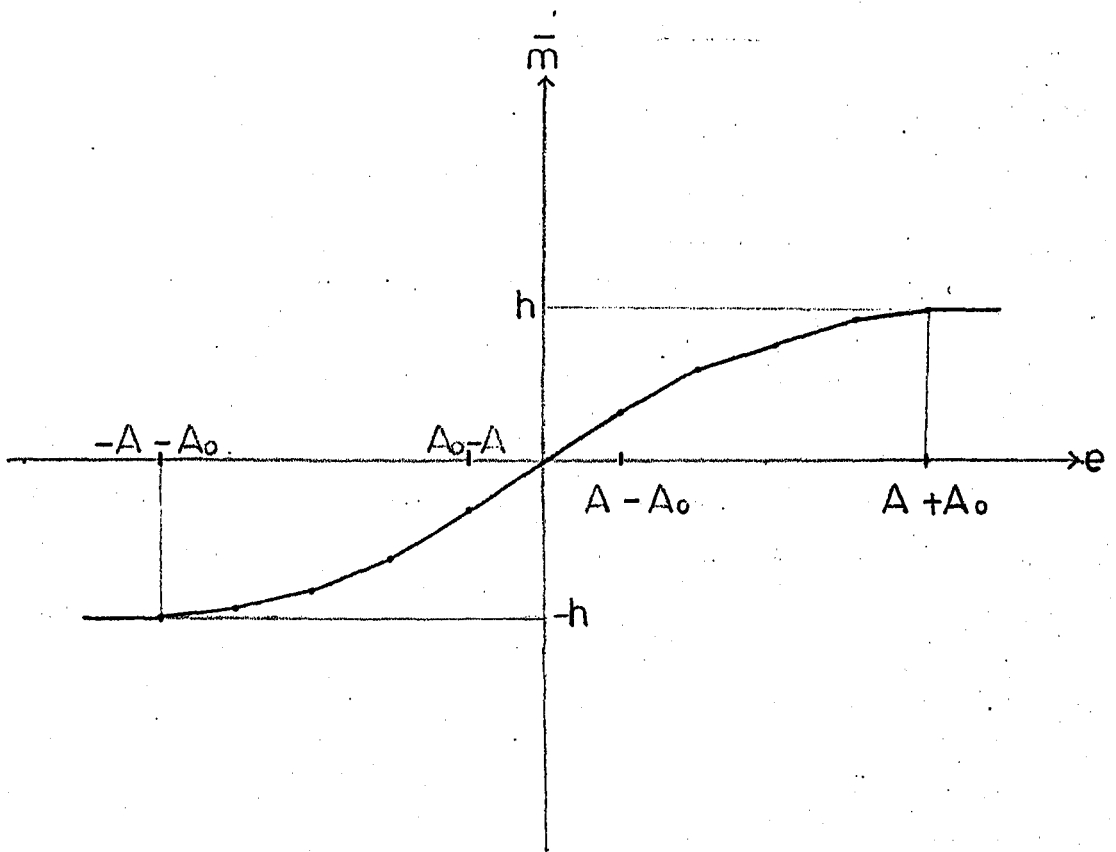
Denklem 2.8 ve 3.15 göz önünde tutularak 3.16'daki maliyet fonksiyonu; çıkartılan 3.48, 3.53 ve 3.41 denklemleri kullanılarak aşağıdaki şekilde yazılabilir,

$$J=2 \left\{ \int_0^{A-A_0} \left(\frac{h}{A} e - ke \right)^2 de + \int_{A-A_0}^{A+A_0} \left\{ \frac{s}{4A} [2(AA_0 + A_0 e + Ae) - A_0^2 - A^2 - e^2] - ke \right\}^2 de \right. \\ \left. + \int_{A+A_0}^C (h-ke)^2 de \right\} \quad (3.54)$$

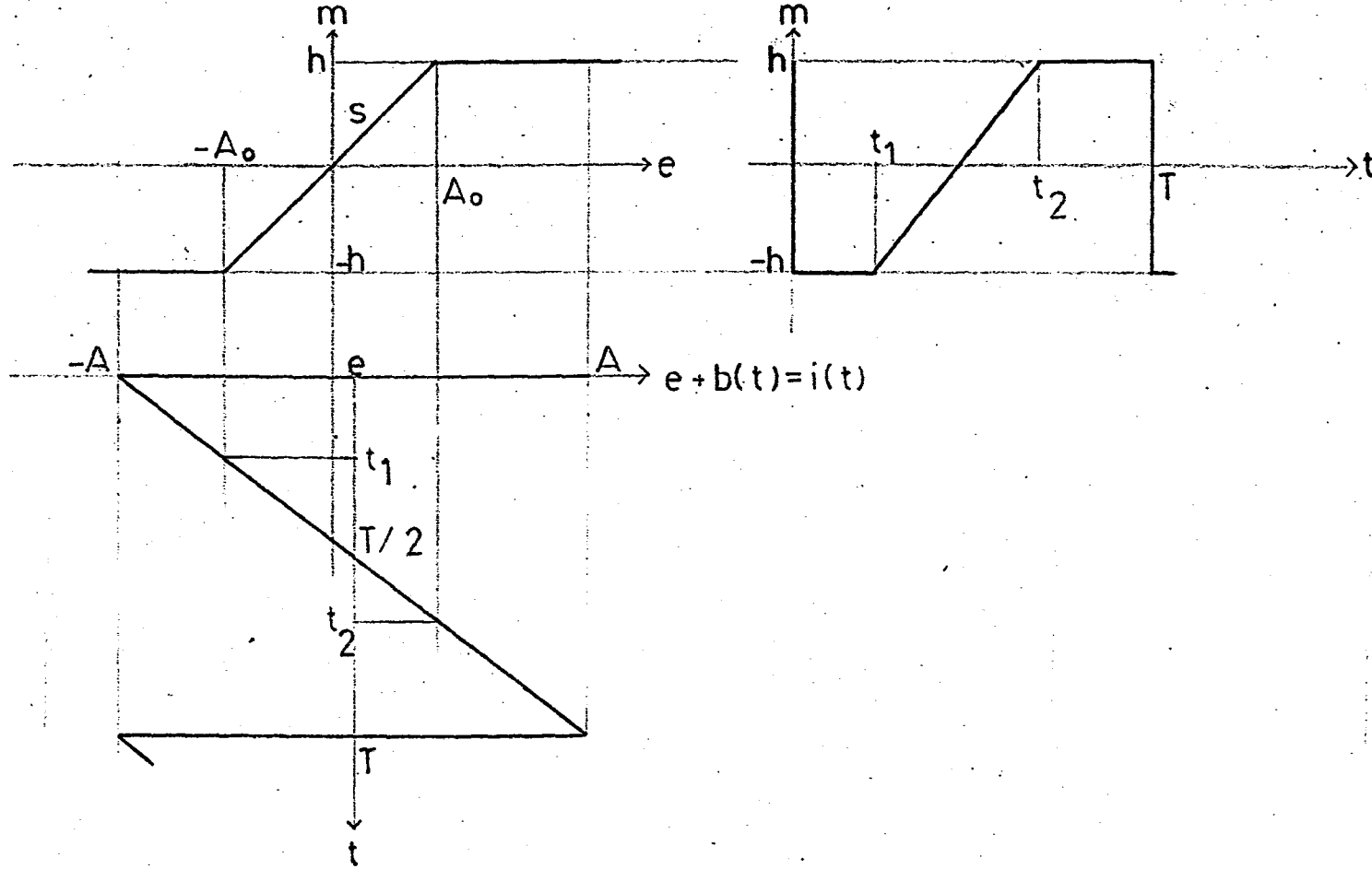
Bu denklem nümerik olarak çözüldüğünde,

$$J = \frac{2kA^2}{3} + \frac{2}{15A^2} - \frac{4A}{3} - \frac{2}{3A} + \frac{2k}{3} + \frac{2}{3K} \quad (3.55)$$

şeklinde bulunur. Maliyet fonksiyonu 3.19 denklemini yardımı ile çözümlerse,



Şekil 3.10. Testere dişi salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması halinde)



Şekil 3.11. Lineer olmayan karakteristiğe testere dişi salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)

$$K=0.3 \text{ için } A^4-3.333A^3+1.666A-0.666=0$$

$$K=0.5 \text{ için } A^4-2A^3+A-0.4=0 \quad (3.56)$$

$$K=0.7 \text{ için } A^4-1.428A^3+0.714A-0.285=0$$

şeklinde bulunur. Bu denklemlerden Routh-Hurwitz yöntemi ile optimum genlikler:

$$K=0.3 \text{ için } A^*=3.190$$

$$K=0.5 \text{ için } A^*=1.747 \quad (3.57)$$

$$K=0.7 \text{ için } A^*=1.000$$

şeklinde bulunur. Burada, \bar{m} ortalama-e karakteristiğinin, denklem 3.57'den $A^*=1.747$ alınarak çizimi, Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

3.2.2. Doyma eğrisine kare şeklinde salınım sinyali uygulanması

Şekil 1.6'da gösterilen salınım sinyali,

$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } b(t)=+A \quad (1.9)$$

$$T/2 \leq t \leq T \text{ için } b(t)=-A$$

şeklindedir. Bu kısımda da filtre edilen çıkış sinyali üç hal için ayrı ayrı incelenecektir.

3.2.2.1. $|A_0| > |A|$ olması hali

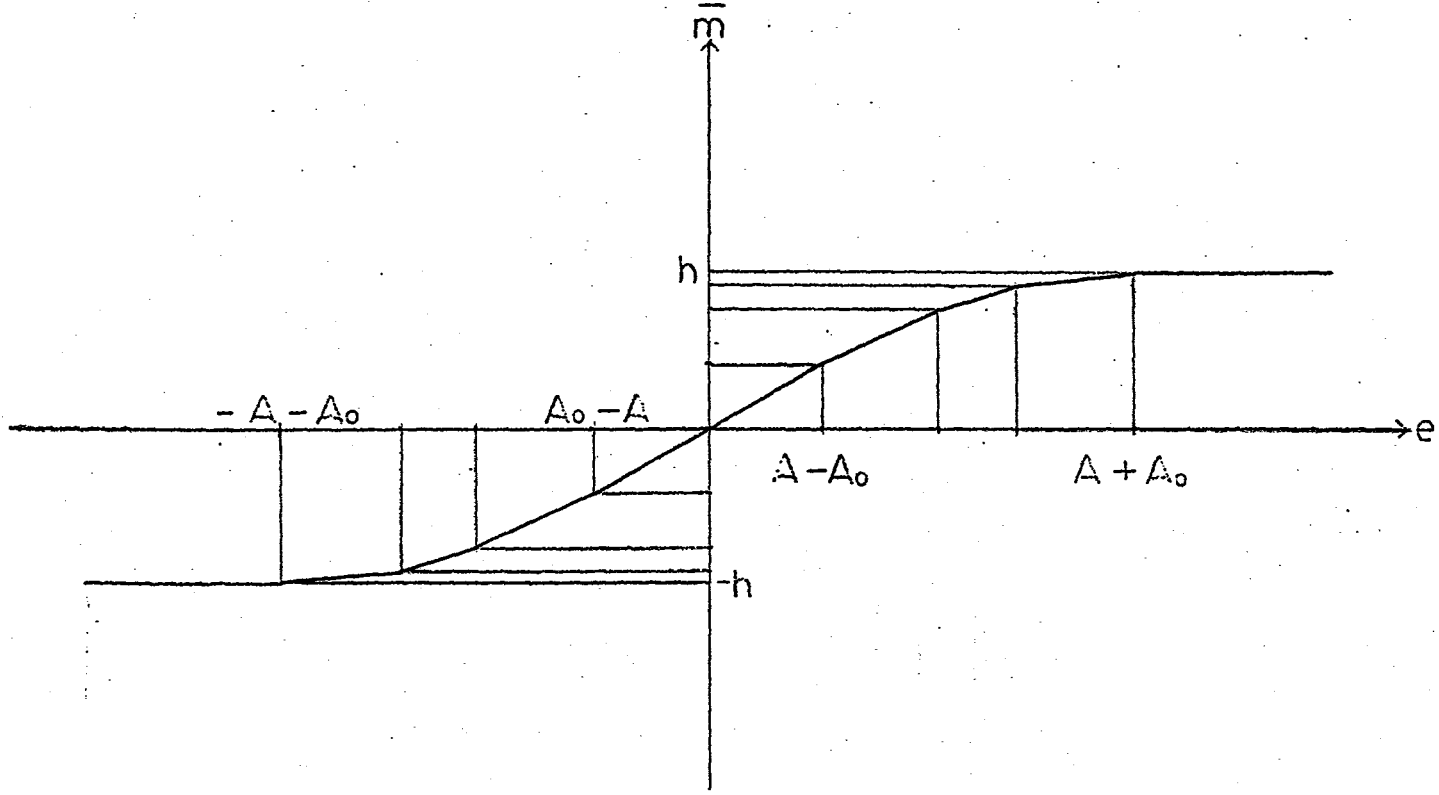
Şekil 3.13'den görüleceği üzere çıkış sinyali;

$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } m(t)=s(e+A) \quad (3.58)$$

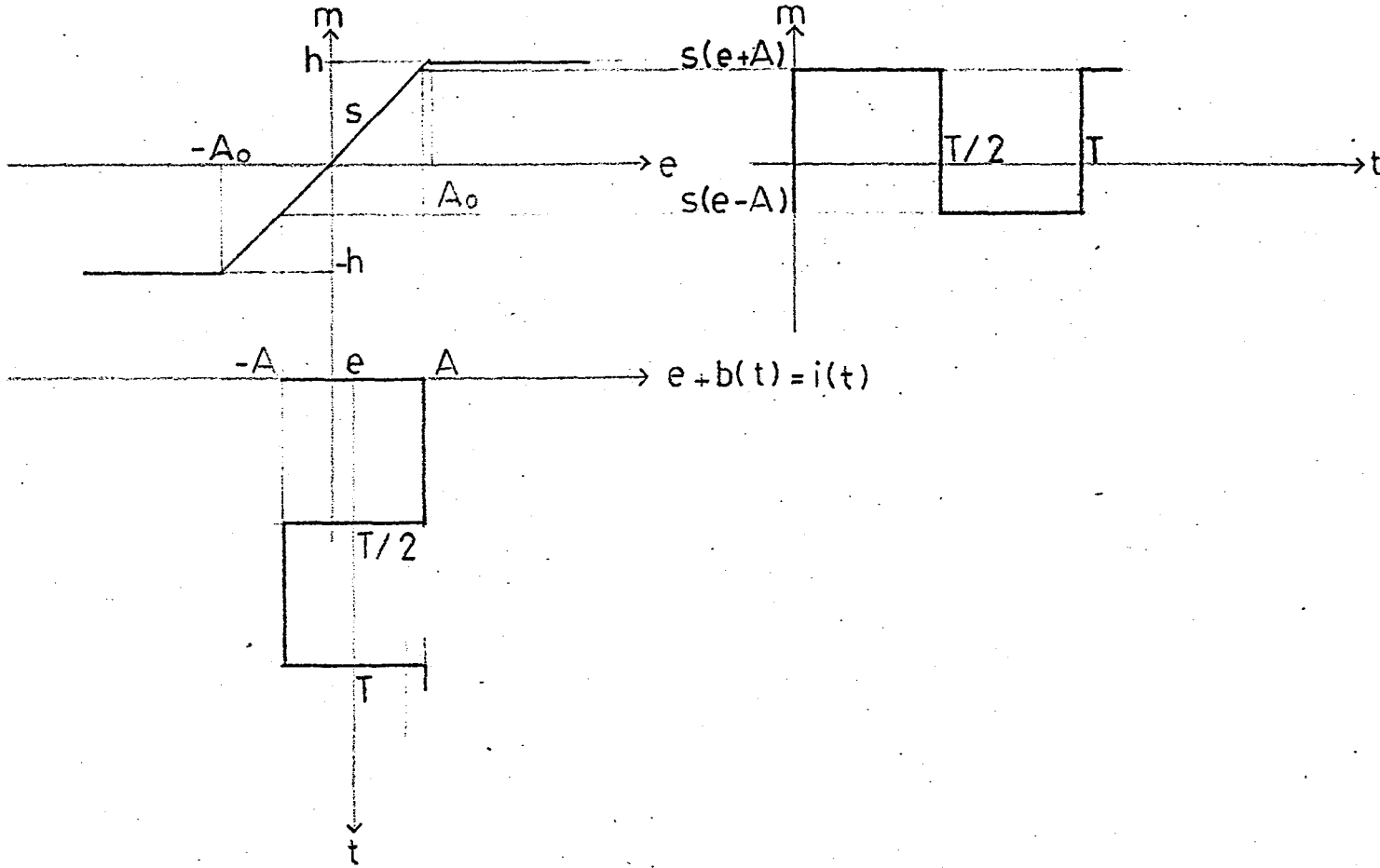
$$T/2 \leq t \leq T \text{ için } m(t)=s(e-A)$$

şeklinde ifade edilebilir. e 'nin $(e-A) \geq -A_0$ ile $(e+A) \leq A_0$ aralığında filtre edilen çıkış sinyali denklem 2.6'dan yararlanarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{T/2} s(e+A) dt + \int_{T/2}^T s(e-A) dt \right] \quad (3.59)$$



Şekil 3.12. Testere dişi salınım sinyali uygulandığında
m-e karakteristiği ($|A| > 2|A_0|$ olması halinde)



Şekil 3.13. Lineer olmayan karakteristiğe kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($|A_0| > |A|$ olması hali)

Bu denklemin çözülmesiyle,

$$(A-A_0) \leq e \leq (A_0-A) \text{ için} \\ \bar{m}=se \quad (3.60)$$

bulunur. Şekil 3.13'de e eksenini sağa doğru kaydırıldığında, e'nin (A_0-A) 'dan büyük ve (A_0+A) 'dan küçük değerleri için çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } m(t)=h \\ T/2 \leq t \leq T \text{ için } m(t)=s(e-A) \quad (3.61)$$

şeklinde ifade edilebilir. Filtre edilen çıkış sinyali aşağıdaki şekilde 2.6 denkleminde yazılabilir.

$$\bar{m}=\frac{1}{T} \left[\int_0^{T/2} h dt + \int_{T/2}^T s(e-A) dt \right] \quad (3.62)$$

Bu denklemin çözülmesiyle,

$$(A_0-A) \leq e \leq (A+A_0) \text{ için} \\ \bar{m}=\frac{s}{2} [A_0-A+e] \quad (3.63)$$

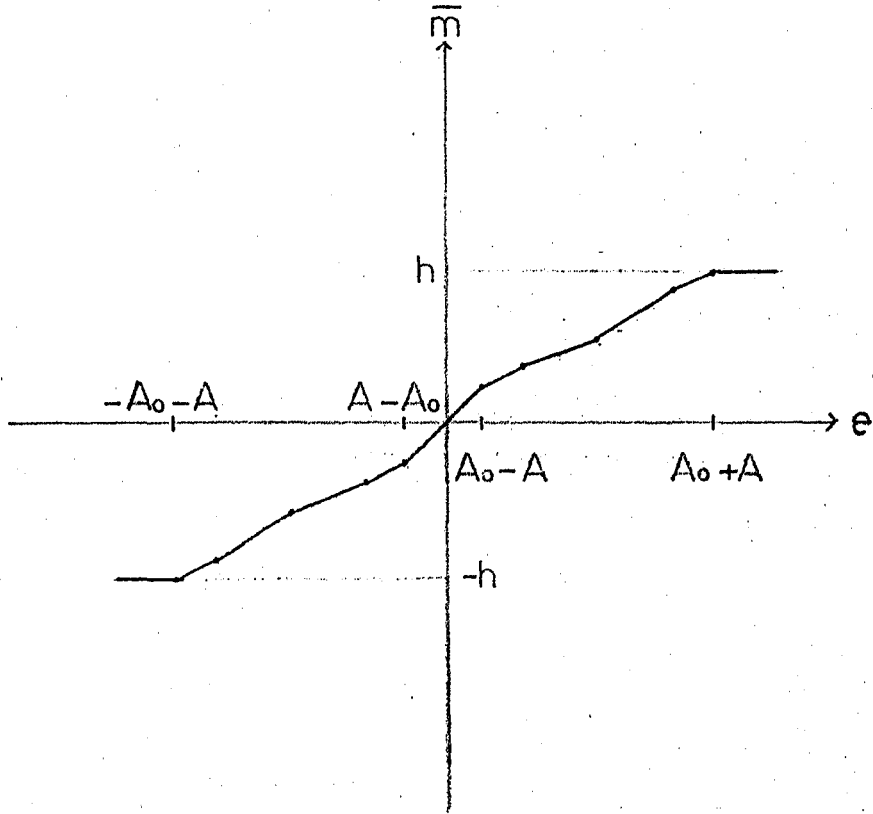
bulunur. e'nin $(A+A_0)$ 'dan büyük değerleri için salınım sinyali, m'nin "+h" değerine eşit bölgede kaldığından, sonuç 3.41 denklemindeki gibidir. Çıkarılan 3.60, 3.63 ve 3.41 denklemlerinden yararlanarak, \bar{m} ortalama çıkış sinyalinin, e giriş sinyaline göre çizilişi Şekil 3.14'de gösterilmiştir.

3.2.2.2. $2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali

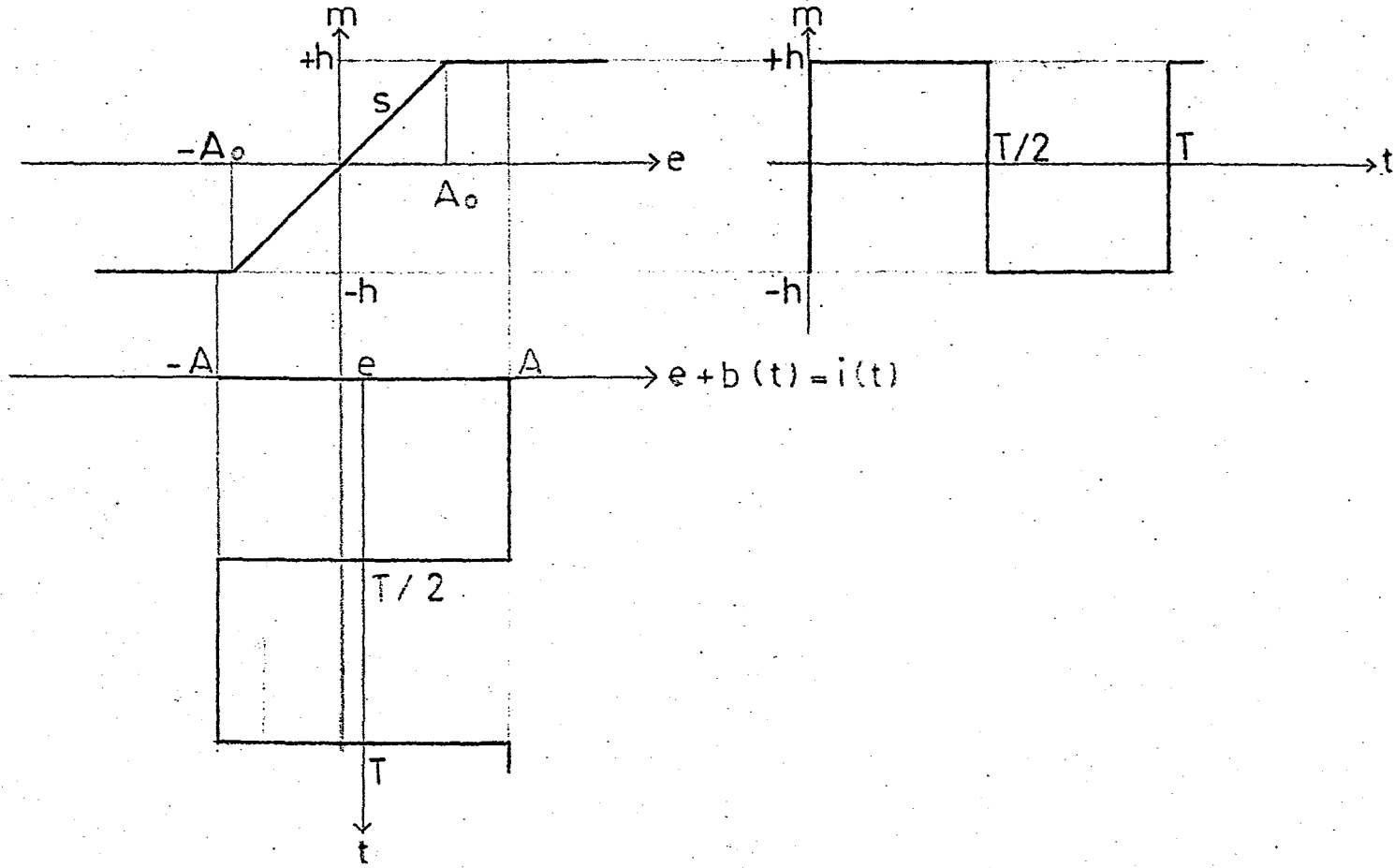
Şekil 3.15'den görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } m(t)=h \\ T/2 \leq t \leq T \text{ için } m(t)=-h \quad (3.64)$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklem 2.6'dan yararlanarak filtre edilen çıkış sinyali,



Şekil 3.14. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında m - e karakteristiği ($|A_0| > |A|$ olması halinde)



Şekil 3.15. Lineer olmayan karakteristiğe kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{T/2} h dt + \int_{T/2}^T (-h) dt \right] \quad (3.65)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem çözüldüğünde,

$$(A_0 - A) \leq e \leq (A - A_0) \text{ için}$$

$$\bar{m} = 0 \quad (3.66)$$

bulunur. Yine Şekil 3.15'de e eksenini kaydırılarak, e'nin $e - A \geq -A_0$ ile $e - A \leq A_0$ aralığındaki çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } m(t) = h \quad (3.67)$$

$$T/2 \leq t \leq T \text{ için } m(t) = s(e - A)$$

şeklinde ifade edilebilir. Filtre edilen çıkış sinyali 2.6 denkleminde aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{T/2} h dt + \int_{T/2}^T s(e - A) dt \right] \quad (3.68)$$

Bu denklemin çözülmesiyle,

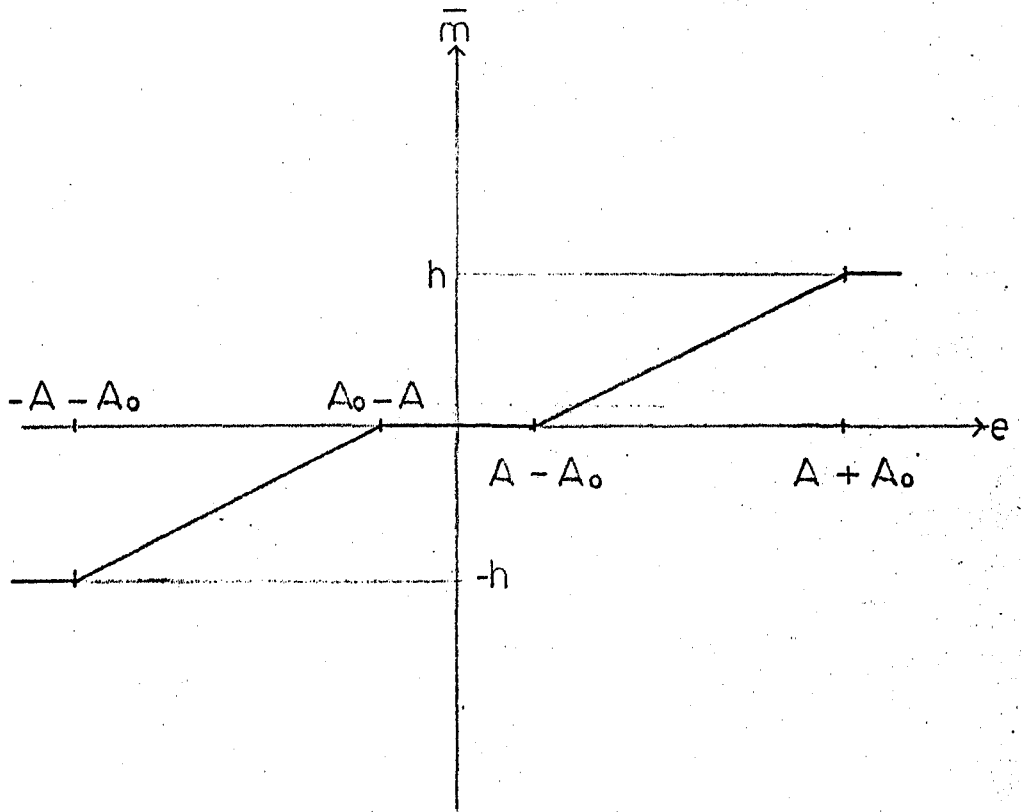
$$(A - A_0) \leq e \leq (A + A_0) \text{ için} \quad (3.69)$$

$$\bar{m} = \frac{s}{2} [A_0 - A + e]$$

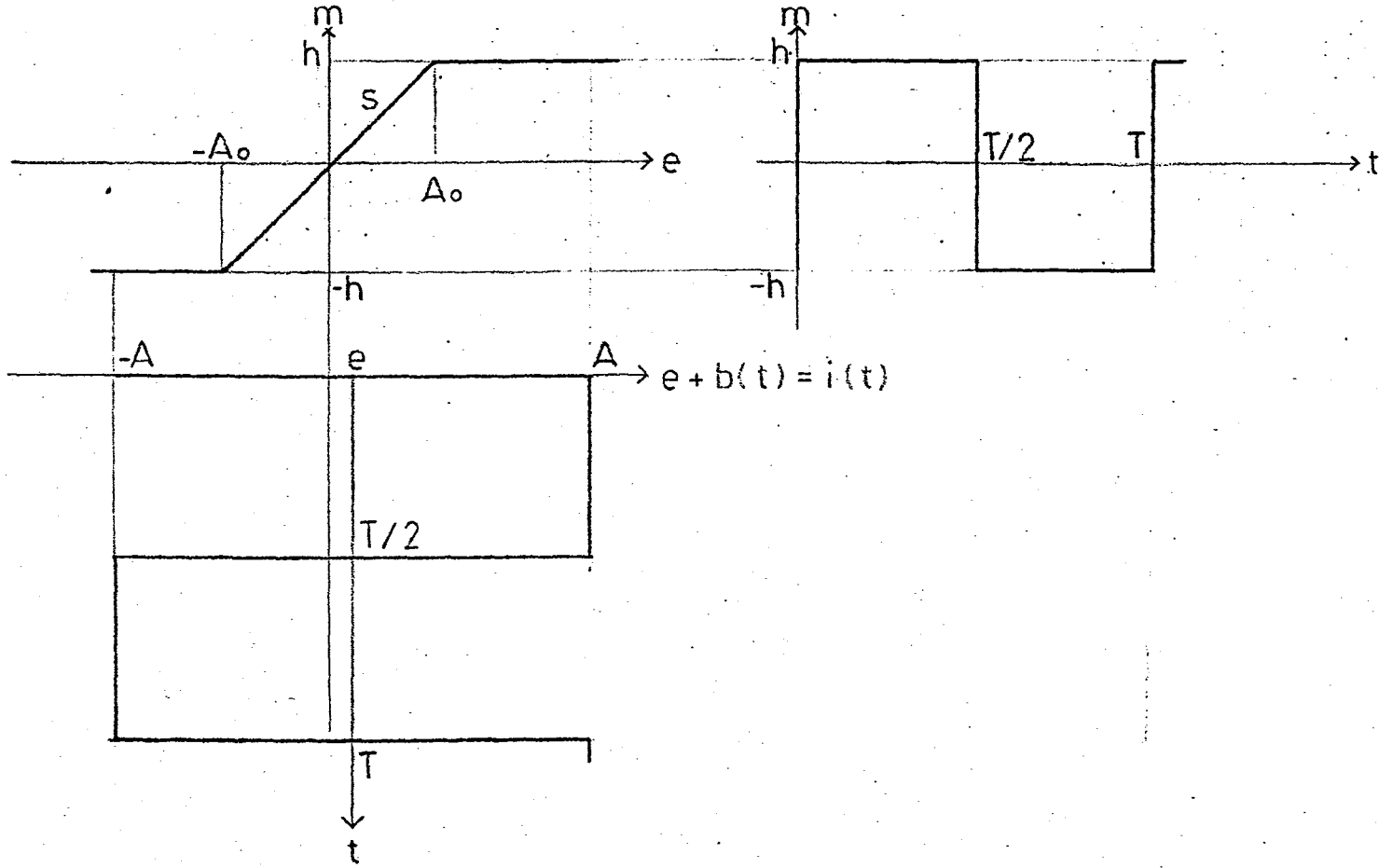
bulunur. e'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için yine 3.41 denklemi geçerlidir. Çıkartılan 3.66, 3.69 ve 3.41 denklemlerinden yararlanarak çizilen, \bar{m} ortalama çıkış sinyalinin e giriş sinyaline göre çizilişi, Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

3.2.2.3. $|A| > 2|A_0|$ olması hali

Şekil 3.17'den görüleceği üzere, e'nin $(e - A) \leq -A_0$ ile $(e + A) \geq A_0$ aralığındaki çıkış sinyali 3.64 denklemindeki gibidir. Sonuç olarak da bu aralıktaki filtre edilmiş çıkış sinyali, 3.66 denkleminin aynısıdır. e'nin $(A - A_0)$ ile $(A + A_0)$ değerleri arasındaki \bar{m} ortalama değeri, denklem 3.69'deki gibidir. e'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için \bar{m} ortalama değeri de 3.41 denkleminin aynısıdır.



Şekil 3.16. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında \bar{m} -e karakteristiği ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması halinde)



Şekil 3.17. Lineer olmayan karakteristiğe kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)

Bulunan 3.66, 3.69 ve 3.41 denklemleri kullanılarak, 3.16 denklemindeki maliyet fonksiyonu

$$J=2 \left\{ \int_0^{A-A_0} (0-ke)^2 de + \int_{A-A_0}^{A+A_0} \left[\frac{s}{2} (A_0 - A + e) - ke \right]^2 de + \int_{A+A_0}^C (h-ke)^2 de \right\} \quad (3.70)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemde k ve A değişkenlerinin dışındaki sabitlere, sayfa 34'de sözü edilen nümerik değerler verilir. Dolayısıyla, k ve A'ya bağlı bulunan maliyet fonksiyonu,

$$J=2KA^2 - 2A + \frac{2}{3}K + \frac{2}{3K} - \frac{2}{3} \quad (3.71)$$

şeklinde bulunur. 3.19 denklemi uygulanarak bulunan optimum genlik,

$$A^* = \frac{1}{2K} \quad (3.72)$$

şeklinde bulunur. Optimum genlik, K'ya değerler verilerek hesaplandığında, aşağıdaki sonuçlar bulunur.

$$K=0.3 \text{ için } A^*=1.666$$

$$K=0.5 \text{ için } A^*=1 \quad (3.73)$$

$$K=0.7 \text{ için } A^*=0.714$$

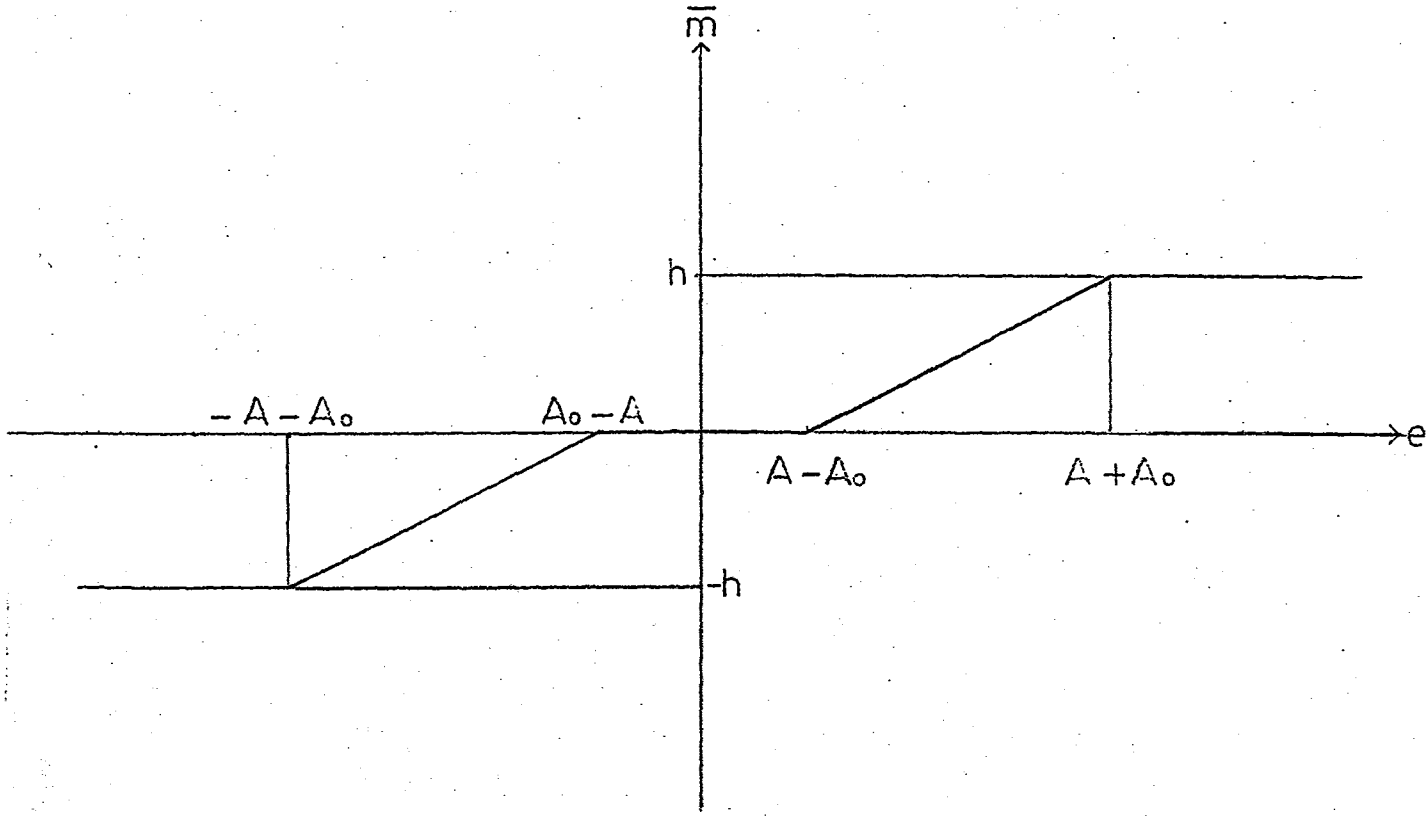
Burada, \bar{m} ortalama-e karakteristiğinin denklem 3.73'den $A^*=1.666$ alınarak çizimi şekil 3.18'de gösterilmiştir.

3.2.3. Doyma eğrisine sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulanması

Şekil 1.7'de gösterilen salınım sinyali,

$$0 \leq t \leq T \text{ için } b(t) = A \sin \omega t \quad (1.10)$$

şeklindedir. Burada da filtre edilen çıkış sinyali üç hal



Şekil 3.18. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında \bar{m} -e karakteristiği
 ($|A| > 2|A_0|$ olması halinde)

için ayrı ayrı incelenecektir.

Bu kısımda hesaplanan maliyet fonksiyonu çok karmaşık olduğundan, denklemleri analitik yoldan hata yapmadan çözmek, hemen hemen imkansızdır. Bu nedenle burada optimum genlik bilgisayar programı yardımıyla nümerik olarak hesaplanacaktır (Bkz. Ek-1).

3.2.3.1. $|A_0| > |A|$ olması hali

Şekil 3.19'dan görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq T \text{ için } m=s(e+ASinwt) \quad (3.74)$$

şeklinde ifade edilir. Filtre edilen çıkış sinyali, denklemin 2.6'dan yararlanılarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{m}=\frac{1}{T} \int_0^T s(e+ASinwt)dt \quad (3.75)$$

Bu denklemin çözülmesiyle,

$$(A-A_0) \leq e \leq (A_0-A) \text{ için}$$

$$\bar{m}=se \quad (3.76)$$

bulunur. Şekil 3.19'da e eksenini kaydırılarak e'nin $(e-A) \leq A_0$ ile $(e+A) \geq A_0$ aralığındaki değeri için çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t)=s(e+ASinwt)$$

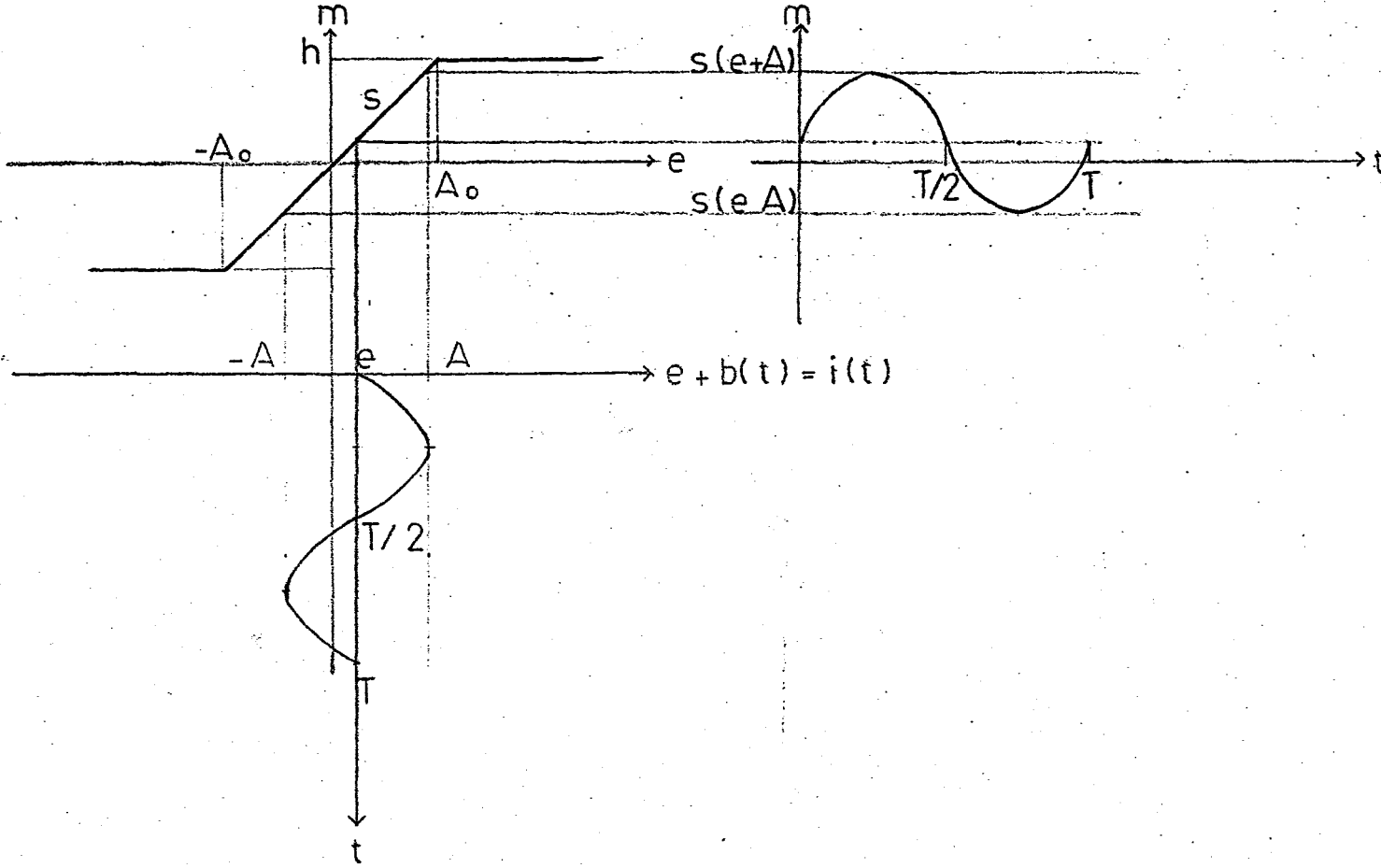
$$t_1 \leq t \leq t_2 \text{ için } m(t)=h \quad (3.77)$$

$$t_2 \leq t \leq T \text{ için } m(t)=s(e+ASinwt)$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece t_1 ve t_2 amları,

$$i(t_1)=e+ASinwt_1=A_0 \quad (3.78)$$

$$i(t_2)=\frac{T}{2} - i(t_1) \quad (3.79)$$



Şekil 3.19. Linear olmayan karakteristiğe sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında, eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikle bulunması ($|A_0| > |A|$ olması halinde)

olmaktadır. Buradan t_1 ve t_2 anları çözülürse,

$$t_1 = \frac{T}{2\pi} \sin^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \quad (3.80)$$

$$t_2 = \frac{T}{2} - t_1 \quad (3.81)$$

olarak bulunur. e 'nin $(e-A) \leq A_0$ ile $(e+A) \geq A_0$ aralığında geçerli filtre edilen çıkış sinyali, denklem 2.6 dan yararlanarak,

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left\{ \int_0^{t_1} s(e+A \sin wt) dt + \int_{t_1}^{t_2} h dt + \int_{t_2}^T s(e+A \sin wt) dt \right\} \quad (3.82)$$

şeklinde yazılabilir. Denklemin çözülmesiyle,

$$(A_0 - A) \leq e \leq (A + A_0) \text{ için}$$

$$\bar{m} = s \left[\frac{e+A_0}{2} - \frac{\sqrt{A^2 - A_0^2 + 2Ae - e^2}}{\pi} + \frac{e-A_0}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{A_0 - e}{A} \right) \right] \quad (3.83)$$

bulunur. e 'nin $(A+A_0)$ 'dan büyük değerleri için salınım sinyali, m 'nin hep "+h" değerine eşit bölgede kalmaktadır. Bu nedenle sonuç 3.41 denklemi gibidir. Bulunan 3.76, 3.83 ve 3.41 denklemlerinden yararlanarak \bar{m} ortalamanın, e giriş sinyaline göre çizimi Şekil 3.20'de gösterilmiştir.

3.2.3.2. $2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali

Şekil 3.21'den görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t) = s(e+A \sin wt)$$

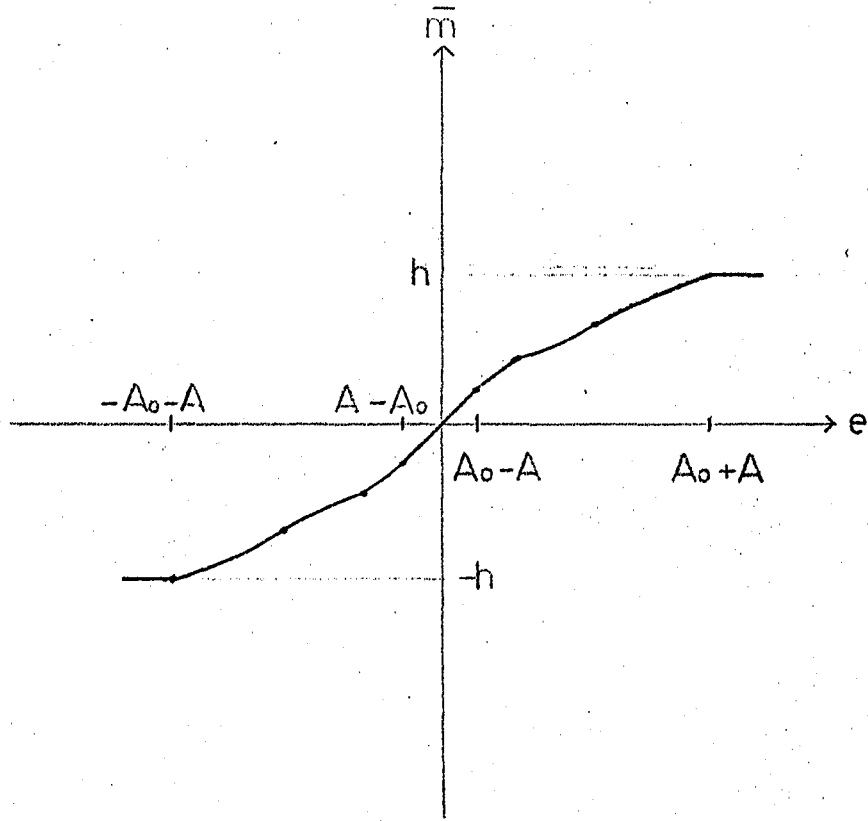
$$t_1 \leq t \leq t_2 \text{ için } m(t) = h$$

$$t_2 \leq t \leq t_3 \text{ için } m(t) = s(e+A \sin wt)$$

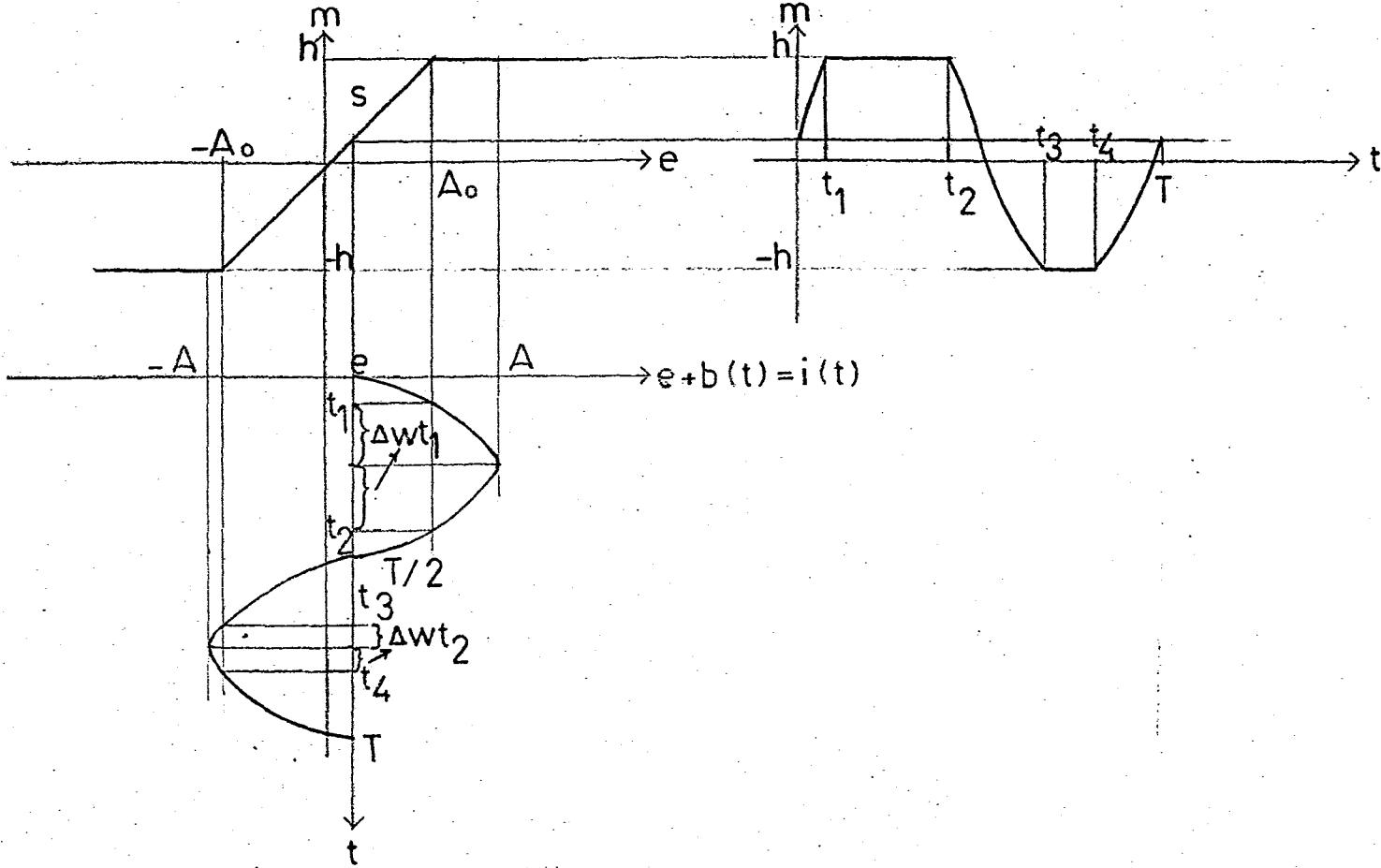
$$t_3 \leq t \leq t_4 \text{ için } m(t) = -h$$

$$t_4 \leq t \leq T \text{ için } m(t) = s(e+A \sin wt)$$

(3.84)



Şekil 3.20. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında \bar{m} - e karakteristiği ($|A_0| > |A|$ olması halinde)



Şekil 3.21. Linear olmayan karakteristiğe sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında, eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)

şeklinde ifade edilebilir. Böylece t_1 ve t_3 anları,

$$i(t_1) = e + A \sin\left(\frac{\pi}{2} - \Delta \omega t_1\right) = A_0 \quad (3.85)$$

$$i(t_3) = e + A \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \Delta \omega t_2\right) = -A_0 \quad (3.86)$$

olmaktadır. Burada Şekil 3.21'de gösterilen $\Delta \omega t_1$ ve $\Delta \omega t_2$ çözümlerse,

$$\Delta \omega t_1 = \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \quad (3.87)$$

$$\Delta \omega t_2 = \cos^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \quad (3.88)$$

bulunur. Bu durumda t_1 , t_2 , t_3 ve t_4 anları,

$$t_1 = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{\Delta \omega t_1}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.89)$$

$$t_2 = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{\Delta \omega t_1}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.90)$$

$$t_3 = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} - \frac{\Delta \omega t_2}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right] \quad (3.91)$$

$$t_4 = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} + \frac{\Delta \omega t_2}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right] \quad (3.92)$$

olarak bulunur. Bu denklemlerden faydalanarak 2.6 denklemden, filtre edilen çıkış sinyali aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned} \bar{m} = \frac{1}{T} \left\{ \int_0^{t_1} s(e + A \sin \omega t) dt + \int_{t_1}^{t_2} h dt + \int_{t_2}^{t_3} s(e + A \sin \omega t) dt \right. \\ \left. + \int_{t_3}^{t_4} (-h) dt + \int_{t_4}^T s(e + A \sin \omega t) dt \right\} \quad (3.93) \end{aligned}$$

Denklemin çözülmesiyle,

$(A_0 - A) \leq e \leq (A - A_0)$ için

$$\begin{aligned} \bar{m} = s & \left[1 - \frac{1}{\pi} \left(\cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} + \cos^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right) \right] e \\ & + \frac{s}{\pi} \left(\sqrt{A^2 - (A_0 + e)^2} - \sqrt{A^2 - (A_0 - e)^2} \right) \\ & + \frac{h}{\pi} \left(\cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} - \cos^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right) \end{aligned} \quad (3.94)$$

elde edilir. e 'nin $(A - A_0)$ ile $(A + A_0)$ arasındaki değerleri için çıkış sinyali, e ekseninin sağa doğru kaydırılmasıyla aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$0 \leq t \leq t_1 \quad \text{için } m(t) = s(e + A \sin \omega t)$$

$$t_1 \leq t \leq t_2 \quad \text{için } m(t) = h \quad (3.95)$$

$$t_2 \leq t \leq T \quad \text{için } m(t) = s(e + A \sin \omega t)$$

Böylece t_1 ve t_2 anları,

$$i(t_1) = e + A \sin \left(\frac{\pi}{2} - \omega t_1 \right) = A_0 \quad (3.96)$$

olmaktadır. Buradan ωt çözülürse,

$$\Delta \omega t = \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \quad (3.97)$$

bulunur. Bu durumda t_1 ve t_2 anları,

$$t_1 = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{\Delta \omega t}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.98)$$

$$t_2 = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{\Delta \omega t}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.99)$$

olarak hesaplanabilir. Bu denklemlerden faydalanarak filtre edilen çıkış sinyali,

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_1} s(e + A \sin \omega t) dt + \int_{t_1}^{t_2} h dt + \int_{t_2}^T s(e + A \sin \omega t) dt \right] \quad (3.100)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemin çözümüyle, e'nin $(A-A_0)$ ' dan büyük $(A+A_0)$ ' dan küçük değerleri için filtre edilen çıkış sinyali,

$$(A-A_0) \leq e \leq (A+A_0) \text{ için}$$

$$\bar{m}=s \left[1 - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] e - \frac{s}{\pi} \sqrt{A^2 - (A_0 - e)^2} + \frac{A_0}{\pi} \left[\cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.101)$$

olarak bulunur. e'nin $(A+A_0)$ ' dan büyük değerleri için salınım sinyali, m'nin "+h" değerine eşit bölgede kalmaktadır. Dolayısıyla sonuç 3.41 denkleminin aynısıdır. Çıkartılan 3.94, 3.101 ve 3.41 denklemlerinden yararlanarak \bar{m} ortalamanın, e giriş sinyaline göre çizimi şekil 3.22'de gösterilmiştir.

3.2.3.3. $|A| > 2|A_0|$ olması hali

Şekil 3.23'den görüleceği üzere çıkış sinyali, denklem 3.84'deki gibidir. Dolayısıyla, e'nin $(A_0 - A)$ ile $(A - A_0)$ değerleri arasındaki \bar{m} ortalama değeri, denklem 3.94'e eşittir. e'nin $(A - A_0)$ ' dan büyük $(A + A_0)$ ' dan küçük değerleri için çıkış sinyali,

$$\begin{aligned} 0 \leq t \leq t_1 & \text{ için } m(t) = h \\ t_1 \leq t \leq t_2 & \text{ için } m(t) = s(e + A \sin \omega t) \\ t_2 \leq t \leq T & \text{ için } m(t) = h \end{aligned} \quad (3.102)$$

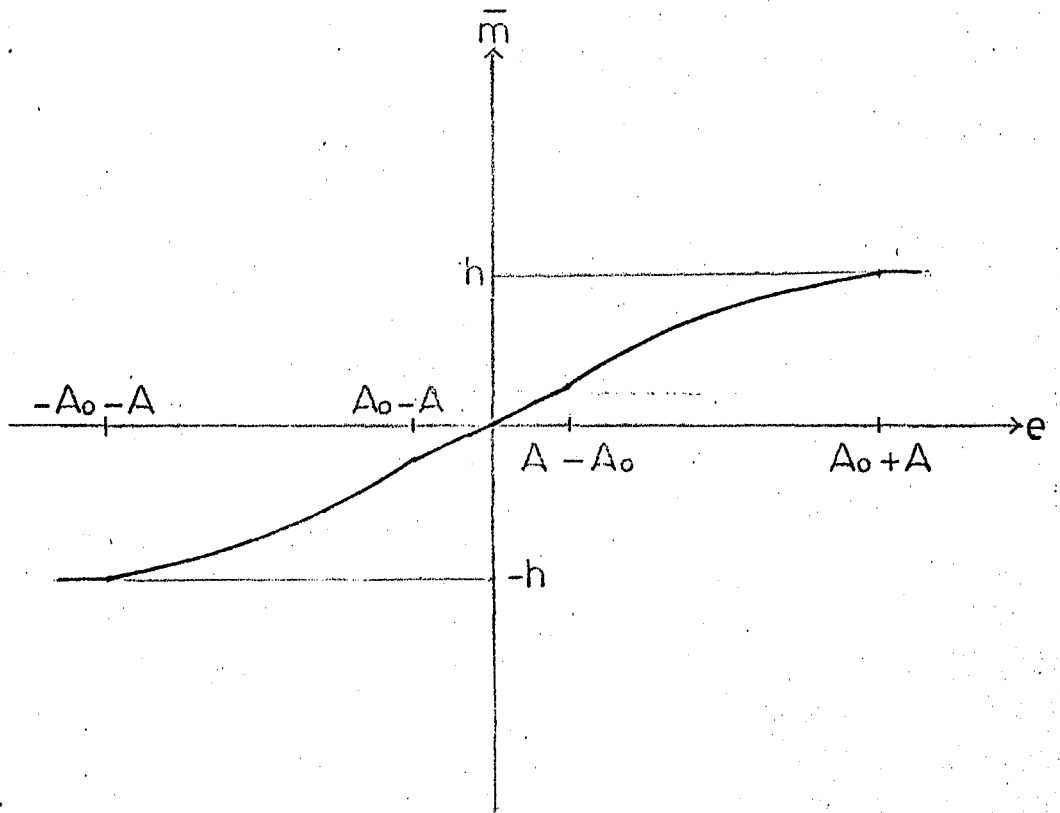
şeklinde yazılabilir. Burada t_1 anı,

$$i(t_1) = e + A \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \Delta \omega t\right) = A_0 \quad (3.103)$$

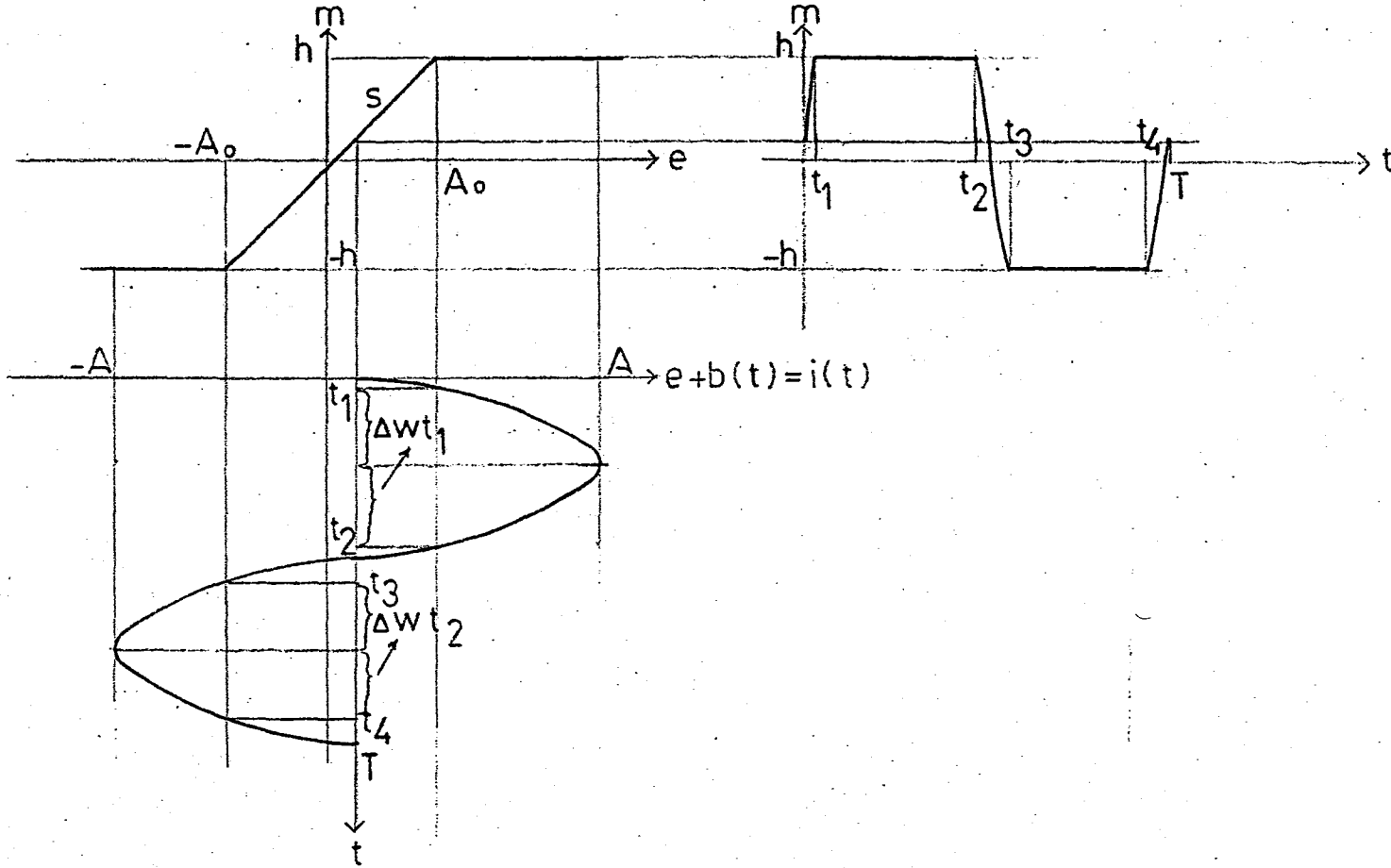
olmaktadır. Buradan $\Delta \omega t$ çözülürse,

$$\Delta \omega t = \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \quad (3.104)$$

bulunur. Bu durumda t_1 ve t_2 anları çözülürse,



Şekil 3.22. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında m - e karakteristiği. ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)



Şekil 3.23. Lineer olmayan karakteristiğe sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında, eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)

$$t_1 = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} - \frac{\Delta wt}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.105)$$

$$t_2 = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} + \frac{\Delta wt}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.106)$$

olarak hesaplanır. Bu denklemlerden faydalanarak filtre edilen çıkış sinyali,

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_1} h dt + \int_{t_1}^{t_2} s(e + A \sin wt) dt + \int_{t_2}^T h dt \right] \quad (3.107)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemin çözülmesiyle e 'nin $(A - A_0)$ 'dan büyük $(A + A_0)$ 'dan küçük değerleri için filtre edilen çıkış sinyali,

$(A - A_0) \leq e \leq (A + A_0)$ için

$$\bar{m} = h \left[1 - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{e - A_0}{A} \right] + \frac{se}{\pi} \cos^{-1} \frac{e - A_0}{A} - \frac{s}{\pi} \sqrt{A^2 - (e - A_0)^2} \quad (3.108)$$

olarak bulunur. e 'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için sınırlanmış sinyali, m 'nin "+h" değerine eşit bölgede kaldığından 3.41 denklemi aynen burada geçerlidir.

Denklem 3.16'daki maliyet fonksiyonu, çıkartılan 3.94, 3.108 ve 3.41 denklemleri kullanılarak, aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned} J = & 2 \int_0^{A-A_0} s \left[1 - \frac{1}{\pi} \left(\cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} + \cos^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right) \right] e \\ & + \frac{h}{\pi} \left(\cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} - \cos^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right) \\ & - \frac{s}{\pi} \left(\sqrt{A^2 - (A_0 - e)^2} - \sqrt{A^2 - (A_0 + e)^2} \right) - ke \int^2 de \\ & + \int_{A-A_0}^{A+A_0} h \left[1 - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{e - A_0}{A} \right] + \frac{se}{\pi} \left[\cos^{-1} \frac{e - A_0}{A} \right] \end{aligned}$$

$$\frac{-s}{\pi} \sqrt{A^2 - (e - A_0)^2 - ke} \}^2 de + \int_{A+A_0}^C (h-ke)^2 de \} \quad (3.109)$$

Bu denklemin analitik yoldan çözülmesinin zor olduğu görülmektedir. Bu nedenle, nümerik olarak çözülen maliyet fonksiyonundan elde edilen optimum genlik, K'ya değerler verilerek hesaplandığında, aşağıdaki sonuçlar bulunur.

$$K=0.3 \text{ için } A^*=2.5$$

$$K=0.5 \text{ için } A^*=1.4 \quad (3.110)$$

$$K=0.7 \text{ için } A^*=1$$

Burada, \bar{m} ortalama-e karakteristiğinin denklem 3.110'dan $A^*=1.4$ alınarak çizimi Şekil 3.24'de gösterilmiştir.

3.3. İdeal Ölü Bölge Karakteristiği

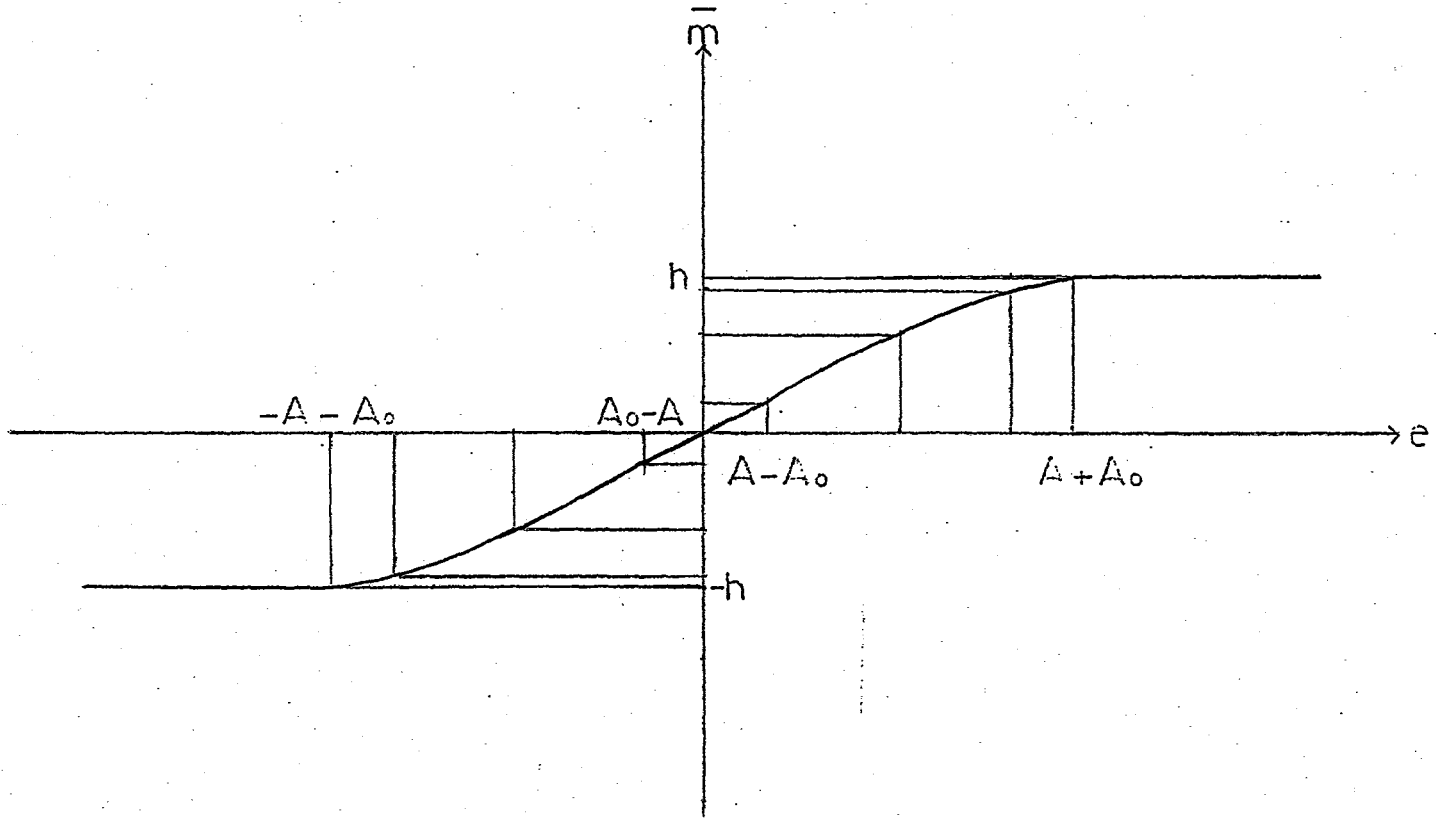
Şekil 1.3'de gösterilen lineer olmayan karakteristik aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} e < -A_0 & \text{ için } m=s(A_0 - e) \\ -A_0 \leq e \leq +A_0 & \text{ için } m=0 \\ A_0 < e & \text{ için } m=s(e - A_0) \end{aligned} \quad (1.6)$$

Bu karakteristiğe uygulanan salınım sinyalleri için optimum genlik, bölüm 3.2'deki gibi yapılacaktır.

3.3.1. İdeal ölü bölge karakteristiğine testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulanması

Bu kısımda, karakteristiği şekil 1.5 ve denklem 1.8'le ifade edilen salınım sinyali uygulanacaktır. Bu durumda, elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali, üç ayrı hal için incelenecektir.



Şekil 3.24. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında \bar{m} - e karakteristiği ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)

3.3.1.1. $|A_0| > |A|$ olması hali

Şekil 3.25'den görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq T \text{ için } m(t)=0 \quad (3.111)$$

şeklinde ifade edilebilir. Filtre edilen çıkış sinyali ise, 2.6 denkleminde yazılarak, denklemin çözülmesiyle,

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_0^T (0) dt = 0 \quad (3.112)$$

bulunur. Bu denklem $e-A \geq -A_0$ ve $e+A \leq A_0$ denklemleriyle belirlenen e 'nin aralığında geçerlidir. Şekil 3.25'de e eksenini sağa doğru kaydırıldığında çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t)=0$$

$$t_1 \leq t \leq T \text{ için } m(t) = s \left[e + \frac{2A}{T} t - A - A_0 \right] \quad (3.113)$$

şeklinde ifade edilir. Böylece t_1 anı,

$$i(t_1) = e + b(t_1) = A_0$$

veya

$$i(t_1) = e + \frac{2A}{T} t_1 - A = A_0 \quad (3.114)$$

olmaktadır. Buradan t_1 çözülürse,

$$t_1 = \frac{T}{2A} [A_0 + A - e] \quad (3.115)$$

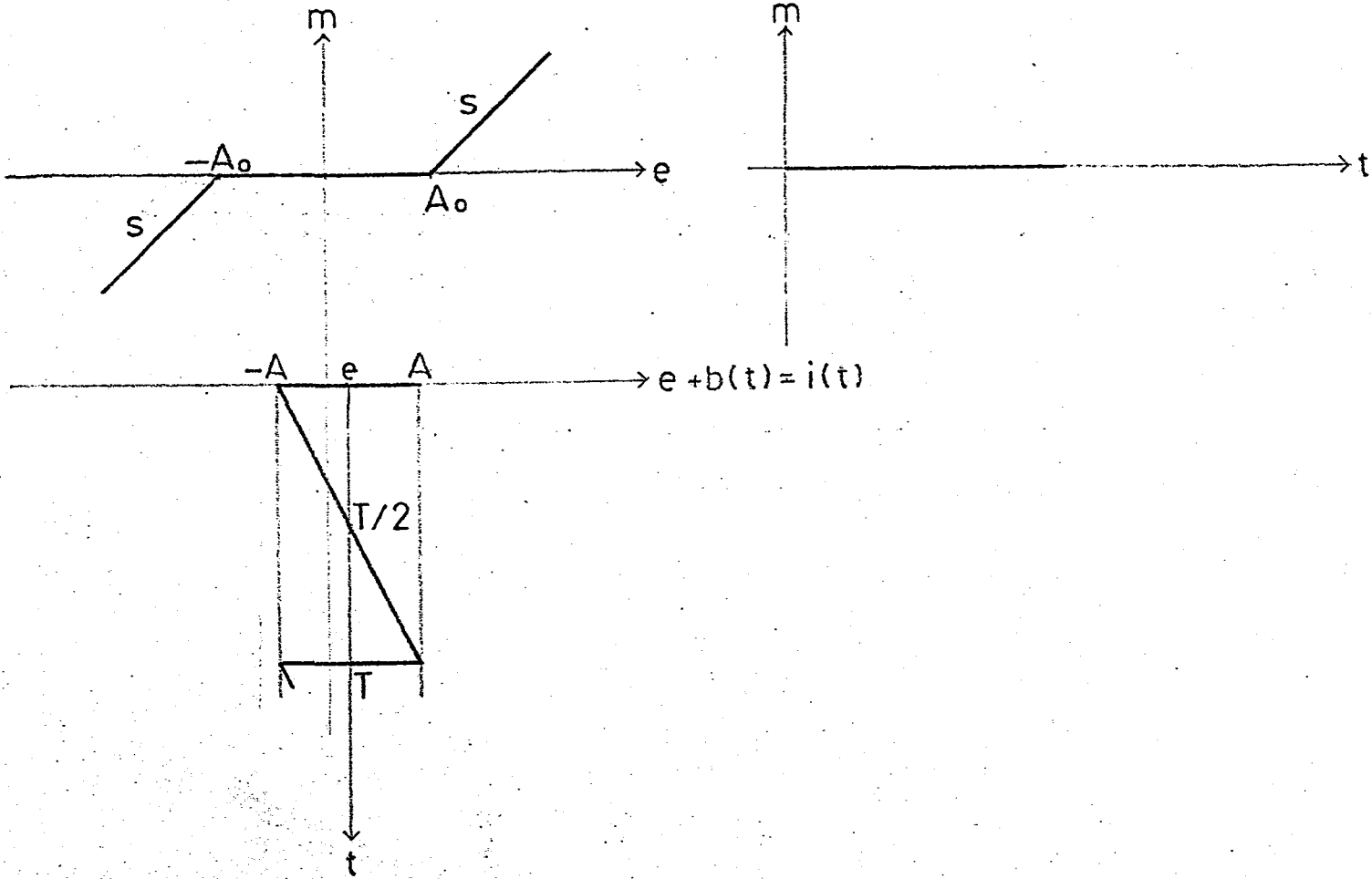
bulunur. e 'nin $(A_0 - A)$ 'dan büyük ve $(A_0 + A)$ 'dan küçük değerleri için denklem 2.6'daki integral aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^T s \left[e + \frac{2A}{T} t - A - A_0 \right] dt \quad (3.116)$$

Bu denklem çözülürse,

$$(A_0 - A) \leq e \leq (A_0 + A) \text{ için}$$

$$\bar{m} = \frac{s}{4A} [2(Ae + AA_0 - A_0 e) + A_0^2 + A^2 + e^2] \quad (3.117)$$



Şekil 3.25. Linear olmayan karakteristiğe testere dişi salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikle bulunması ($|A_0| > |A|$ olması hali)

bulunur. e 'nin $(A+A_0)$ 'dan büyük değerleri için salınım sinyali m 'nin hep " $s(e-A_0)$ " değerine eşit bölgede kalmaktadır. Dolayısıyla,

$$\bar{m} = \frac{1}{T_0} \int_0^T s(e + \frac{2A}{T}t - A - A_0) dt = s(e - A_0) \quad (3.118)$$

olmaktadır. Çıkartılan 3.112, 3.117 ve 3.118 denklemlerinden faydalanarak \bar{m} ortalama çıkış sinyali, e giriş sinyaline göre çizilebilir. Bu şekil 3.26'da gösterilmiştir.

3.3.1.2. $2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali

Şekil 3.27'den görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t) = s[A_0 + \frac{2A}{T}t - A - e]$$

$$t_1 \leq t \leq t_2 \text{ için } m(t) = 0 \quad (3.119)$$

$$t_2 \leq t \leq T \text{ için } m(t) = s[e + \frac{2A}{T}t - A - A_0]$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece t_1 ve t_2 anları,

$$i(t_1) = e + \frac{2A}{T}t_1 - A = -A_0 \quad (3.120)$$

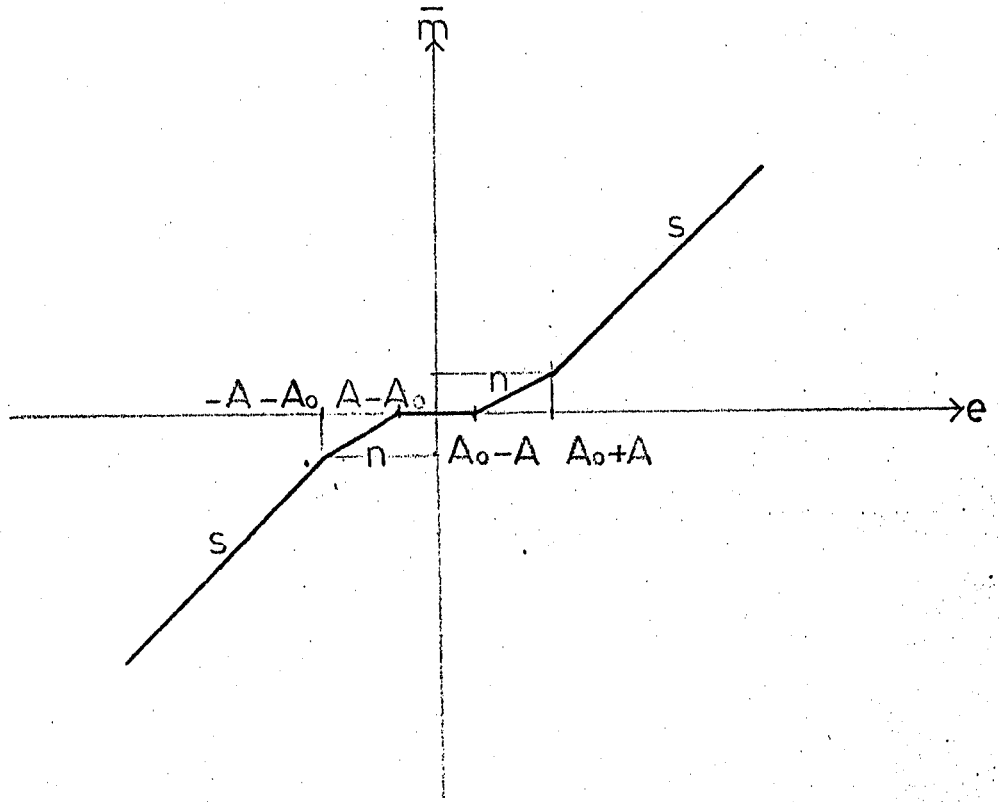
$$i(t_2) = e + \frac{2A}{T}t_2 - A = A_0 \quad (3.121)$$

olmaktadır. 3.120 ve 3.121 denklemlerinden t_1 ve t_2 çözümlürse,

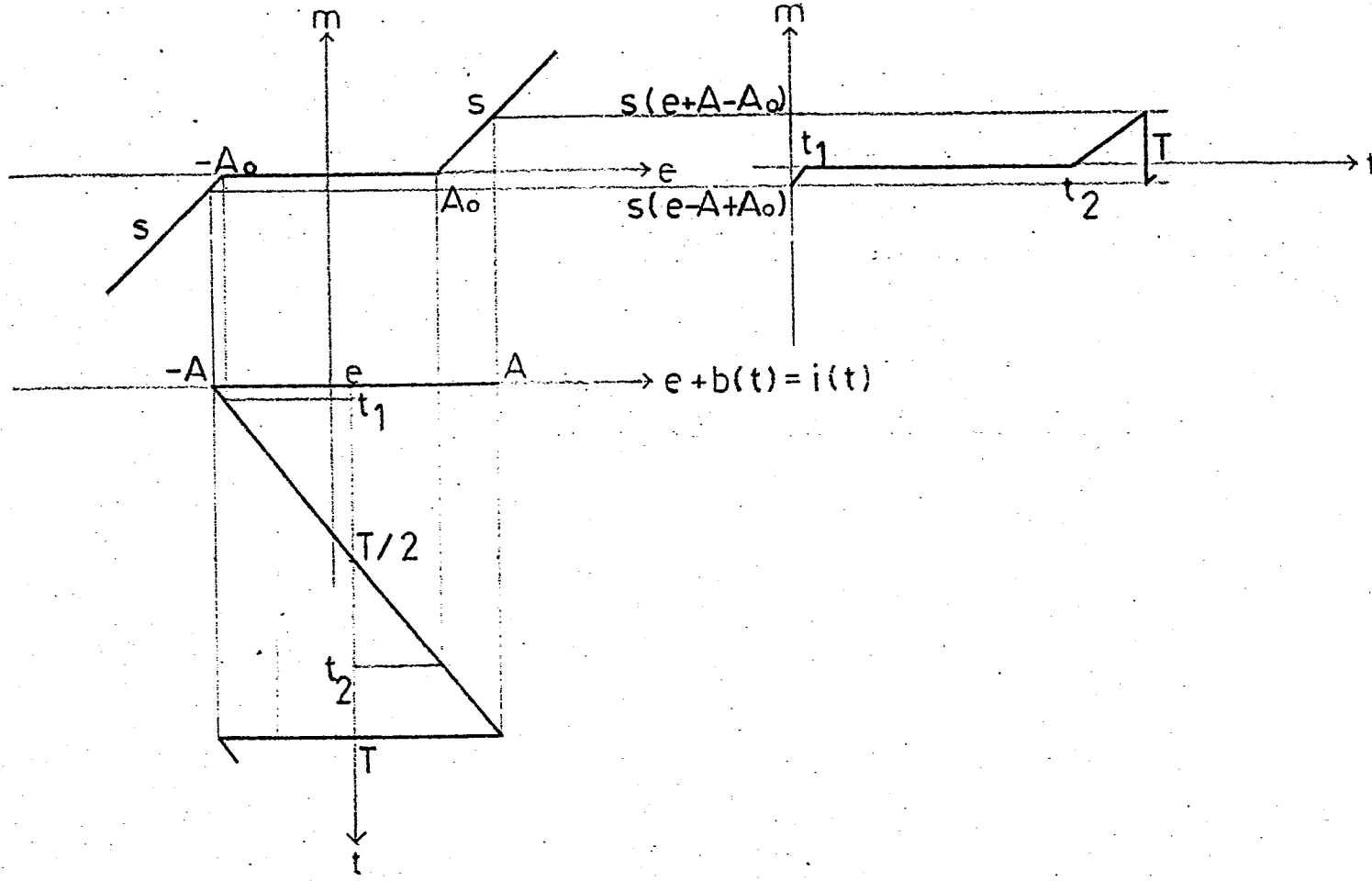
$$t_1 = \frac{T}{2A} [A - A_0 - e] \quad (3.122)$$

$$t_2 = \frac{T}{2A} [A + A_0 - e] \quad (3.123)$$

bulunur. Bu denklemlerden faydalanarak e 'nin $(A_0 - A)$ ile $(A - A_0)$ aralığında geçerli filtre edilen çıkış sinyali,



Şekil 3.26. Testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında \bar{m} -e karakteristiği ($|A_0| > |A|$ olması hali)



Şekil 3.27. Linear olmayan karakteristiğe testere dişi salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_1} s \left[A_0 + \frac{2A}{T} t - A - e \right] dt + \int_{t_2}^T s \left[e + \frac{2A}{T} t - A - A_0 \right] dt \right] \quad (3.124)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem çözüldüğünde,

$$(A_0 - A) \leq e \leq (A - A_0) \text{ için,}$$

$$\bar{m} = \frac{S}{A} e^2 \quad (3.125)$$

bulunur. e 'nin $(A - A_0)$ 'dan büyük ve $(A + A_0)$ 'dan küçük değerleri için çıkış sinyali yazılmak istenirse, Şekil 3.27'de e eksenini sağa doğru kaydırılır. Böylece çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t) = 0 \quad (3.126)$$

$$t_1 \leq t \leq T \text{ için } m(t) = s \left[e + \frac{2A}{T} t - A - A_0 \right]$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki t_1 anı,

$$i(t_1) = e + \frac{2A}{T} t_1 - A = A_0 \quad (3.127)$$

şeklinde yazılır. Bu denklemden t_1 çözümlerse,

$$t_1 = \frac{T}{2A} [A + A_0 - e] \quad (3.128)$$

olarak bulunur. Bu denklemlerden faydalanarak 2.6 denklemiindeki integral aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^T s \left[e + \frac{2A}{T} t - A - A_0 \right] dt \quad (3.129)$$

Bu denklemin çözülmesiyle,

$$(A - A_0) \leq e \leq (A + A_0) \text{ için,}$$

$$\bar{m} = \frac{S}{4A} [2(Ae - AA_0 - A_0 e) + A_0^2 + A^2 + e^2] \quad (3.130)$$

bulunur. e 'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için salınım sinyali, m 'nin hep " $s(e - A_0)$ " değerine eşit bölgede kaldığından, sonuç 3.118 denklemiindeki gibidir. Çıkarılan 3.125, 3.130 ve 3.118 denklemlerinden yararlanarak \bar{m} orta-

lama çıkış sinyalinin, e giriş sinyaline göre çizilişi şekil 3.28'de gösterilmiştir.

3.3.1.3. $|A| > 2|A_0|$ olması hali

Şekil 3.29'dan görüleceği üzere e'nin $(e-A) \leq -A_0$ ile $(e+A) \geq A_0$ aralığındaki çıkış sinyali 3.119 denklemindeki gibidir. Sonuç olarak da bu aralıktaki filtre edilen çıkış sinyali 3.125 denkleminin aynısıdır. e'nin $(A-A_0)$ ile $(A+A_0)$ değerleri arasındaki \bar{m} ortalamanın değeri, denklem 3.130'daki gibidir. e'nin $(A+A_0)$ 'dan büyük değerleri için \bar{m} ortalamanın değeri 3.118 denklemine eşittir.

Denklem 3.16'daki maliyet fonksiyonu, çıkartılan 3.125, 3.130, 3.118 denklemleri kullanarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$J=2 \left[\int_0^{A-A_0} \left(\frac{se^2}{A} - ke \right)^2 de + \int_{A-A_0}^{A+A_0} \left[s \left(\frac{e^2}{4A} - \frac{A_0 e}{2A} + \frac{A_0^2}{4A} + \frac{A}{4} - \frac{A_0}{2} + \frac{e}{2} \right) - ke \right]^2 de + \int_{A+A_0}^{sA_0/(1-k)} (se - sA_0 - ke)^2 de \right] \quad (3.131)$$

Bu denklem nümerik olarak çözüldüğünde,

$$J = \frac{kA^3}{3} - \frac{4A^3}{15} + 2A^2 - 2kA^2 + \frac{2}{5A^2} - 4A + 2kA + \frac{k}{3A} - \frac{2}{A} + \frac{2k^2}{3(1-k)^3} \quad (3.132)$$

$$- \frac{4k}{3(1-k)^3} + \frac{2k}{(1-k)^2} - 2k + \frac{2}{3(1-k)^3} - \frac{2}{(1-k)^2} + \frac{2}{(1-k)} + \frac{10}{3}$$

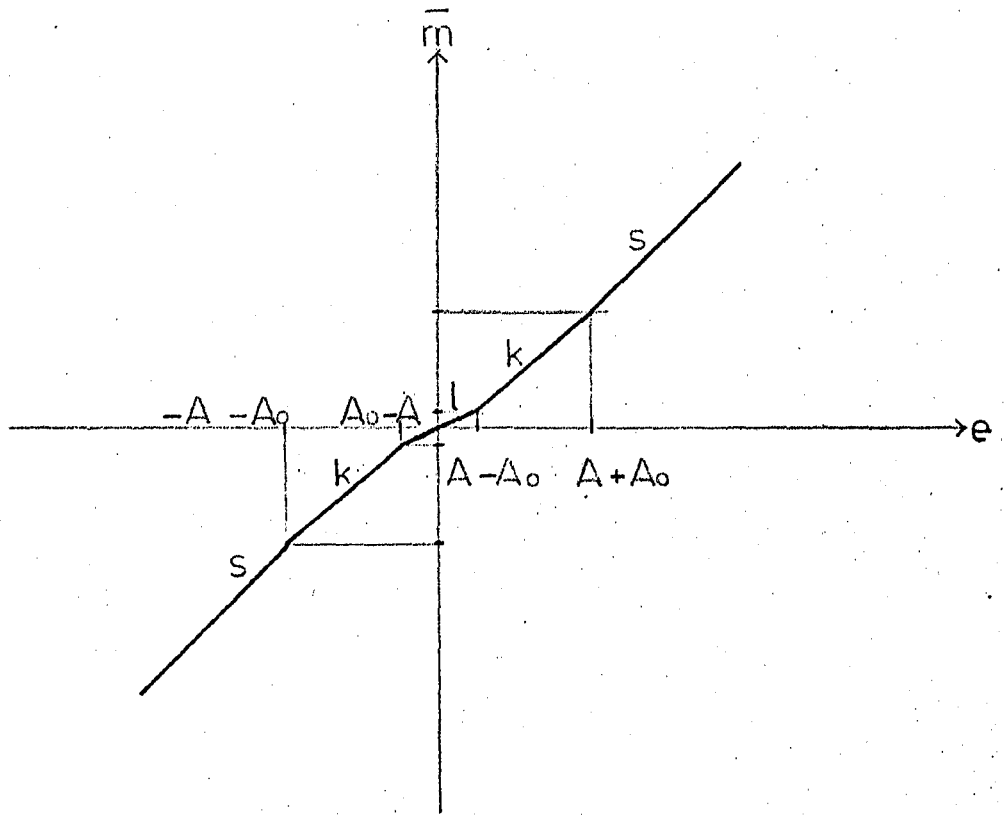
şeklinde bulunur. Maliyet fonksiyonu 3.19 denklemini yardımıyla çözümlerse,

$$K=0.3 \text{ için } A^5 - 5.6A^4 + 6.8A^3 - 3.8A + 1.6 = 0$$

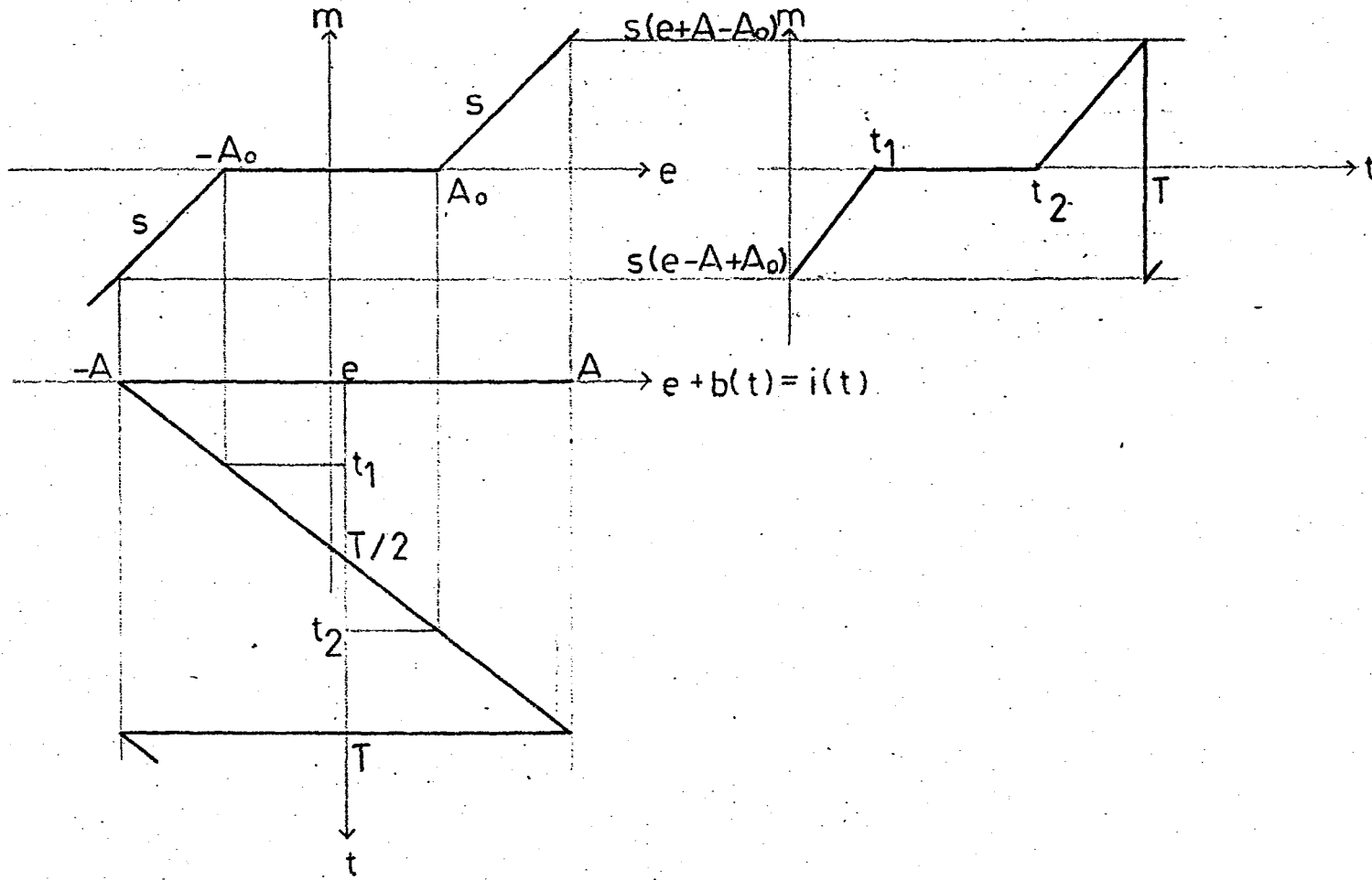
$$K=0.5 \text{ için } A^5 - 6.666A^4 + 6.8A^3 - 6.111A + 2.666 = 0 \quad (3.133)$$

$$K=0.7 \text{ için } A^5 - 12A^4 + 26A^3 - 17.666A + 8 = 0$$

şeklinde bulunur. Bu denklemlerden optimum genlikler,



Şekil 3.28. Testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında m - e karakteristiği ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)



Şekil 3.29. Lineer olmayan karakteristiğe testere dişi salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)

$$K=0.3 \text{ için } A^*=3.922$$

$$K=0.5 \text{ için } A^*=5.453$$

(3.134)

$$K=0.7 \text{ için } A^*=9.194$$

olarak bulunur. Burada, \bar{m} ortalama-e karakteristiğinin denklem 3.134 den $A^*=3.922$ alınarak çizimi, Şekil 3.30'da gösterilmiştir.

3.3.2. İdeal ölü bölge karakteristiğine kare şeklinde salınım sinyali uygulanması

Bu kısımda da, karakteristiğe şekil 1.6 ve denklem 1.9' la ifade edilen salınım sinyali uygulanacaktır. Bu durumda, elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali, üç ayrı hal için incelenecektir.

3.3.2.1. $|A_0| > |A|$ olması hali

Şekil 3.31'den görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq T \text{ için } m(t)=0 \quad (3.135)$$

şeklinde ifade edilebilir. e 'nin $(e-A) \geq -A_0$ ile $(e+A) \leq A_0$ aralığında filtre edilen çıkış sinyali, denklem 2.6'dan yararlanarak çözüldüğünde,

$$(A-A_0) \leq e \leq (A_0-A) \text{ için}$$

$$\bar{m}=0 \quad (3.136)$$

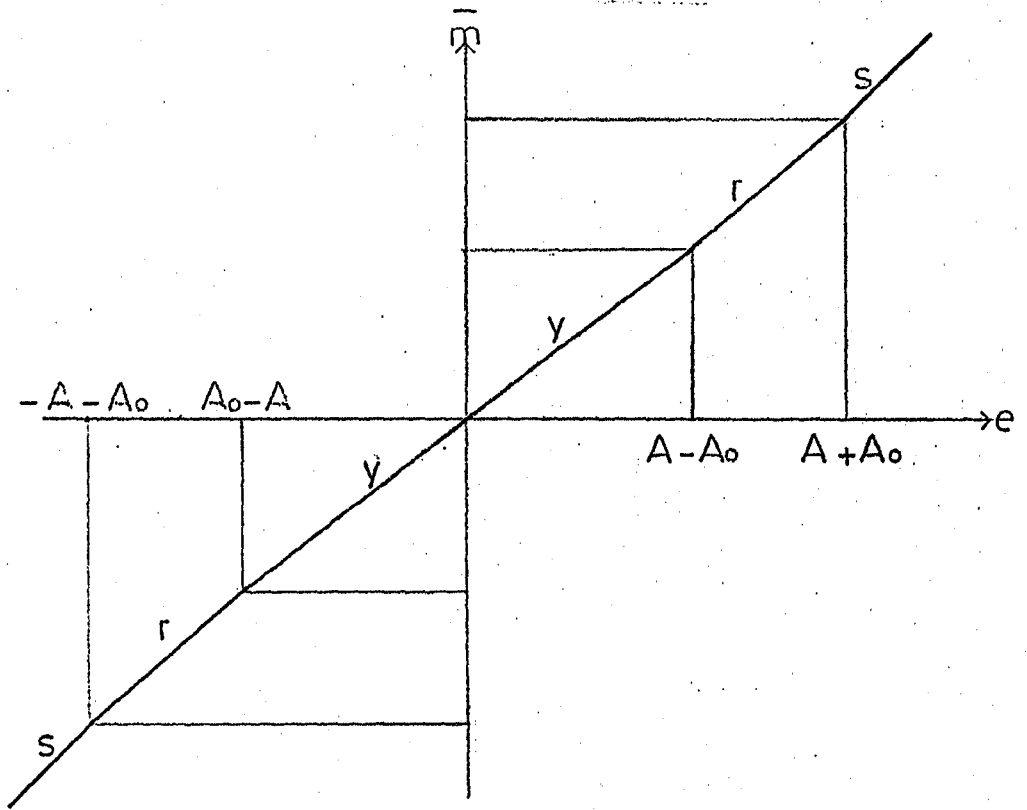
olarak bulunur. Şekil 3.31'de e ekseni sağa doğru kaydırıldığında, e 'nin (A_0-A) 'dan büyük ve $(A+A_0)$ 'dan küçük değerleri için çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } m(t)=s[e+A-A_0]$$

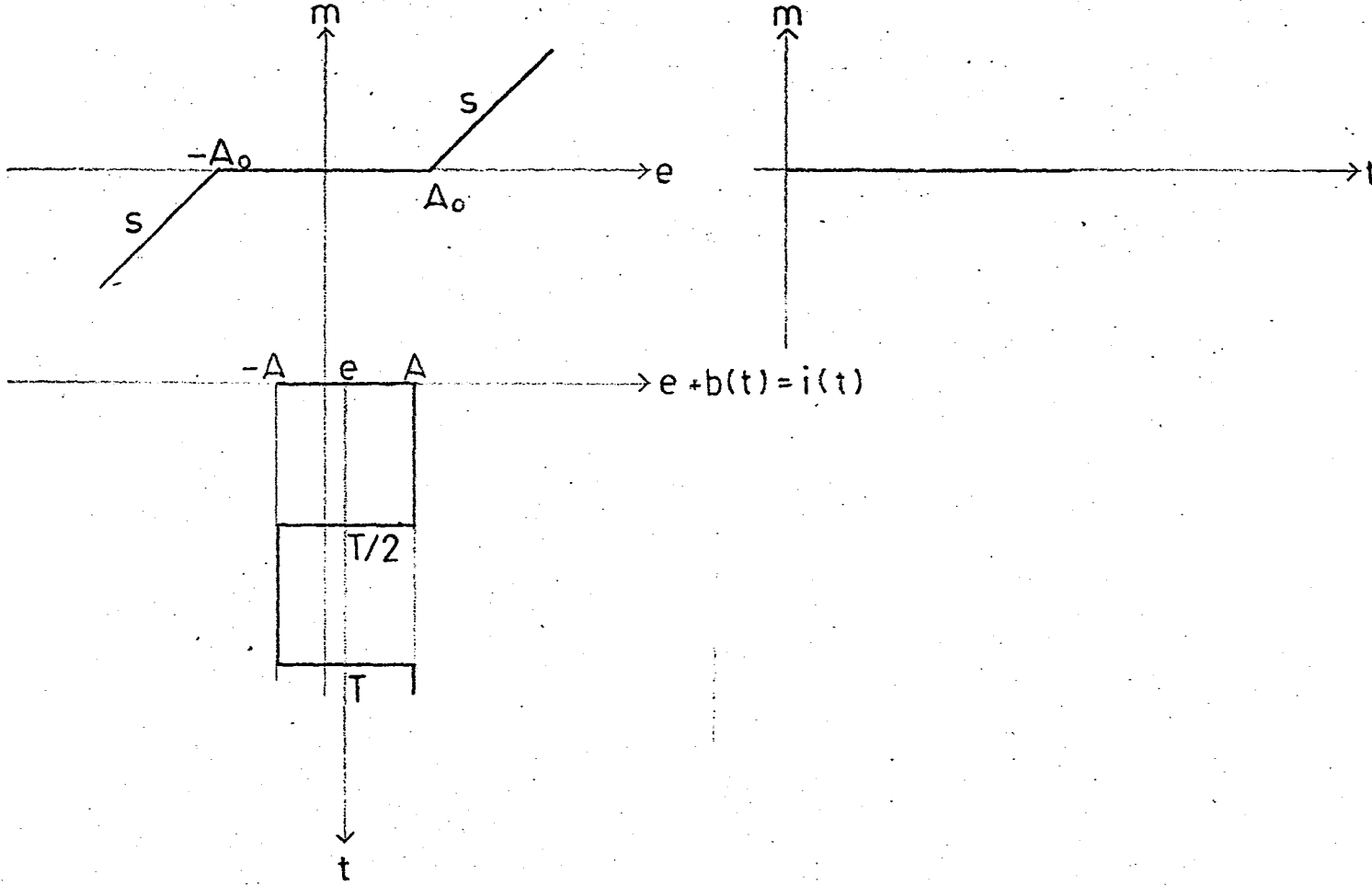
(3.137)

$$T/2 \leq t \leq T \text{ için } m(t)=0$$

şeklinde ifade edilebilir. Filtre edilen çıkış sinyali aşağıdaki şekilde 2.6 denkleminde yazılabilir.



Şekil 3.30. Testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)



Şekil 3.31. Linear olmayan karakteristiğe kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($|A_0| > |A|$ olması hali)

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} s[e+A-A_0] dt \quad (3.138)$$

Bu denklemin çözülmesiyle,

$$(A_0 - A) \leq e \leq (A + A_0) \text{ için,}$$

$$\bar{m} = \frac{s}{2} [e + A - A_0] \quad (3.139)$$

bulunur. e 'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için salınım sinyali, m 'nin hep " $s(e - A_0)$ " değerine eşit bölgede kaldığından sonuç 3.118 denklemindeki gibidir. Bulunun 3.136, 3.139 ve 3.118 denklemlerinden yararlanarak, \bar{m} ortalama çıkış sinyalinin, e giriş sinyaline göre çizilişi şekil 3.32'de gösterilmiştir.

3.3.2.2. $2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali

Şekil 3.33'den görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } m(t) = s[e + A - A_0] \quad (3.140)$$

$$T/2 \leq t \leq T \text{ için } m(t) = s[A_0 - e - A]$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklem 2.6'dan yararlanarak filtre edilen çıkış sinyali,

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{T/2} s[e + A - A_0] dt + \int_{T/2}^T s[A_0 - e - A] dt \right] \quad (3.141)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem çözüldüğünde,

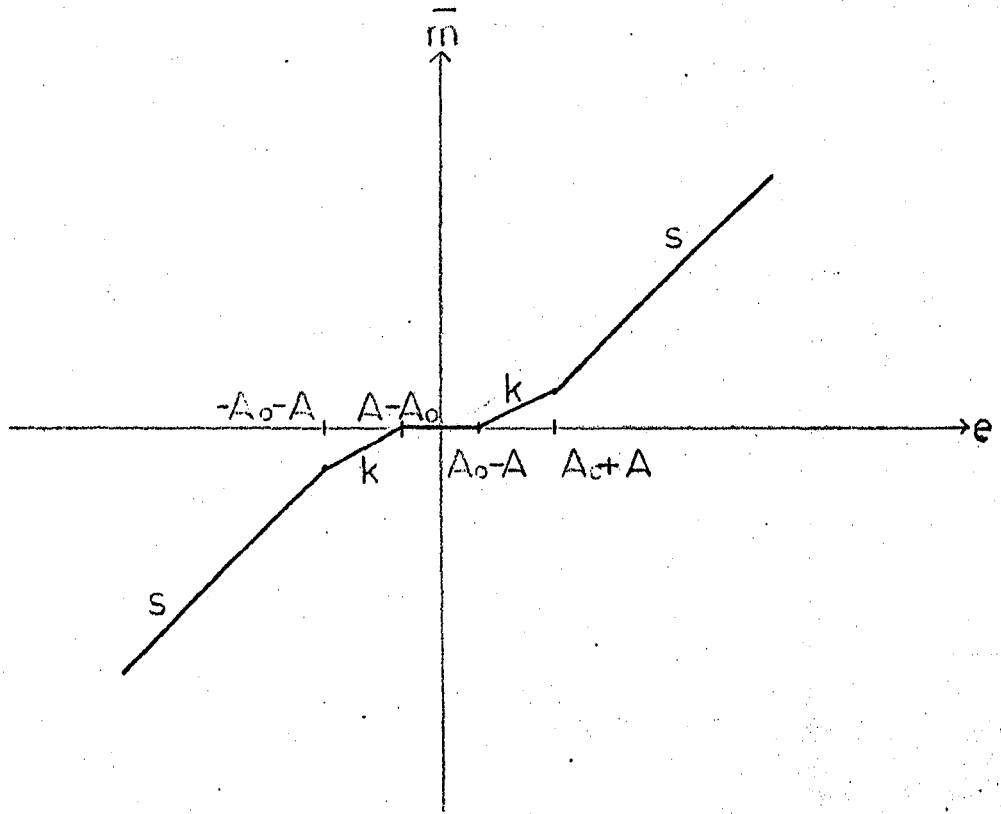
$$(A_0 - A) \leq e \leq (A - A_0) \text{ için,}$$

$$\bar{m} = 0 \quad (3.142)$$

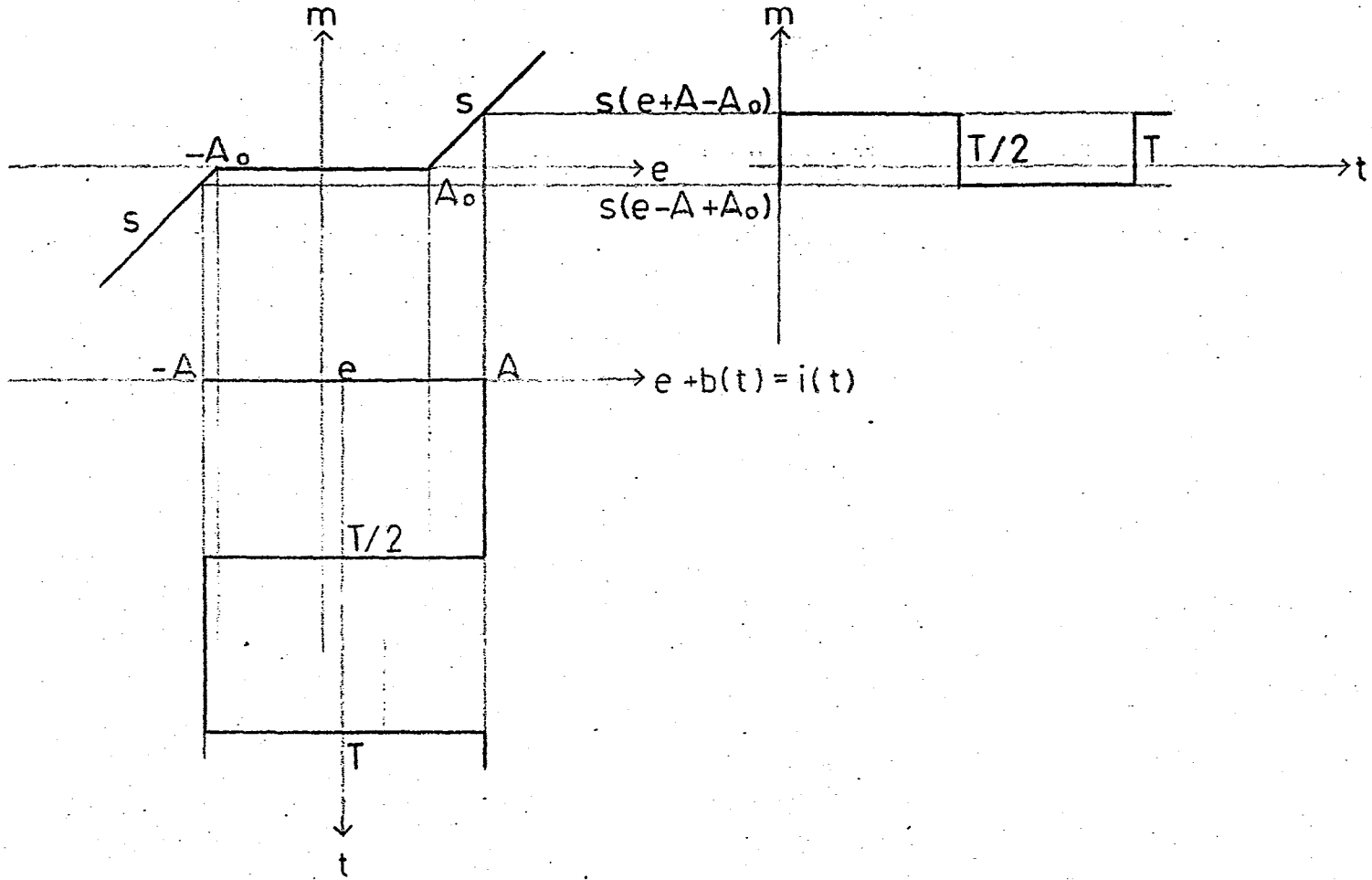
bulunur. Yine şekil 3.33'de e eksenini kaydırılarak, e 'nin $e - A \geq -A_0$ ile $e - A \leq A_0$ aralığındaki çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } m(t) = s[e + A - A_0] \quad (3.143)$$

$$T/2 \leq t \leq T \text{ için } m(t) = 0$$



Şekil 3.32. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında m - e karakteristiği ($|A_0| > |A|$ olması hali)



Şekil 3.33. Linear olmayan karakteristiğe kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)

şeklinde ifade edilebilir. Filtre edilen çıkış sinyali 2.6 denkleminde aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} s[e+A-A_0] dt \quad (3.144)$$

Denklemin çözülmesiyle,

$$(A-A_0) \leq e \leq (A+A_0) \text{ için} \quad (3.145)$$

$$\bar{m} = \frac{s}{2} [A+e-A_0]$$

bulunur. e 'nin $(A+A_0)$ 'dan büyük değerleri için yine 3.118 denklemi geçerlidir. Bulunan 3.142, 3.145 ve 3.118 denklemlerinden yararlanarak çizilen, \bar{m} ortalama çıkış sinyalinin e giriş sinyaline göre çizimi, şekil 3.34'de gösterilmiştir.

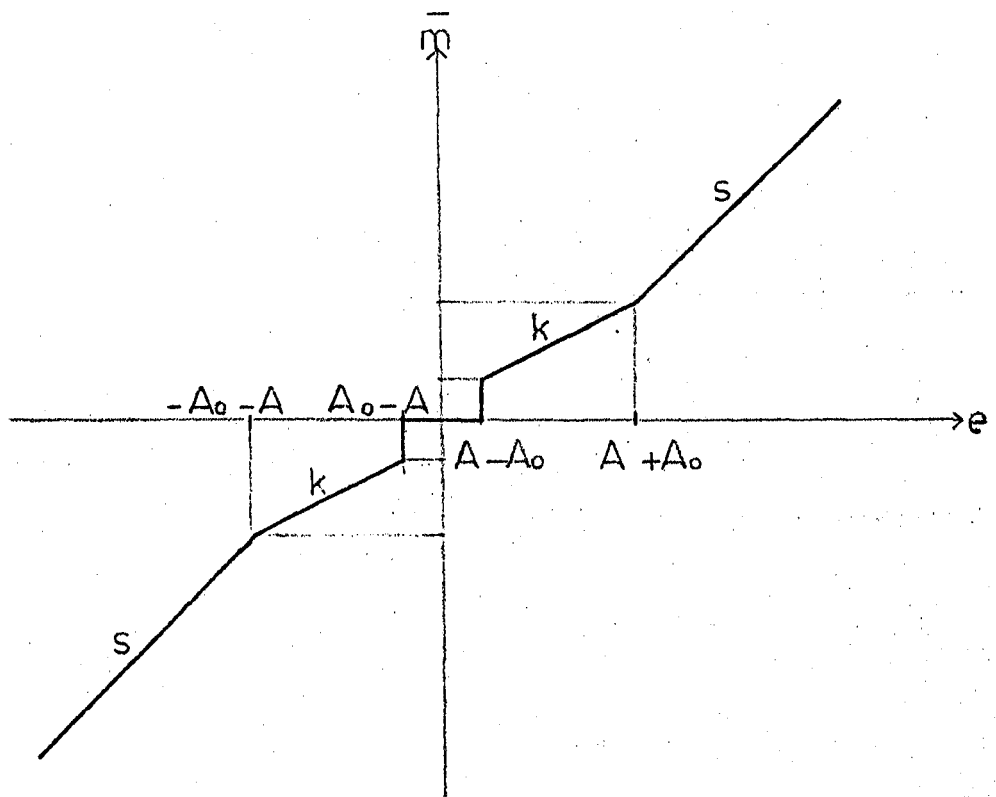
3.3.2.3. $|A| > 2|A_0|$ olması hali

Şekil 3.35'den görüleceği üzere, e 'nin $(A-A_0)$ ile (A_0-A) değerleri arasındaki çıkış sinyali, 3.140 denklemindeki gibidir. Sonuç olarak da bu aralıktaki filtre edilen çıkış sinyali, 3.142 denkleminin aynısıdır. e 'nin $(A-A_0)$ 'dan büyük $(A+A_0)$ 'dan küçük değerleri arasındaki \bar{m} ortalama değeri, denklem 3.145'deki gibidir. e 'nin $(A+A_0)$ 'dan büyük değerleri için \bar{m} ortalama değeri de, 3.118 denkleminin aynısıdır.

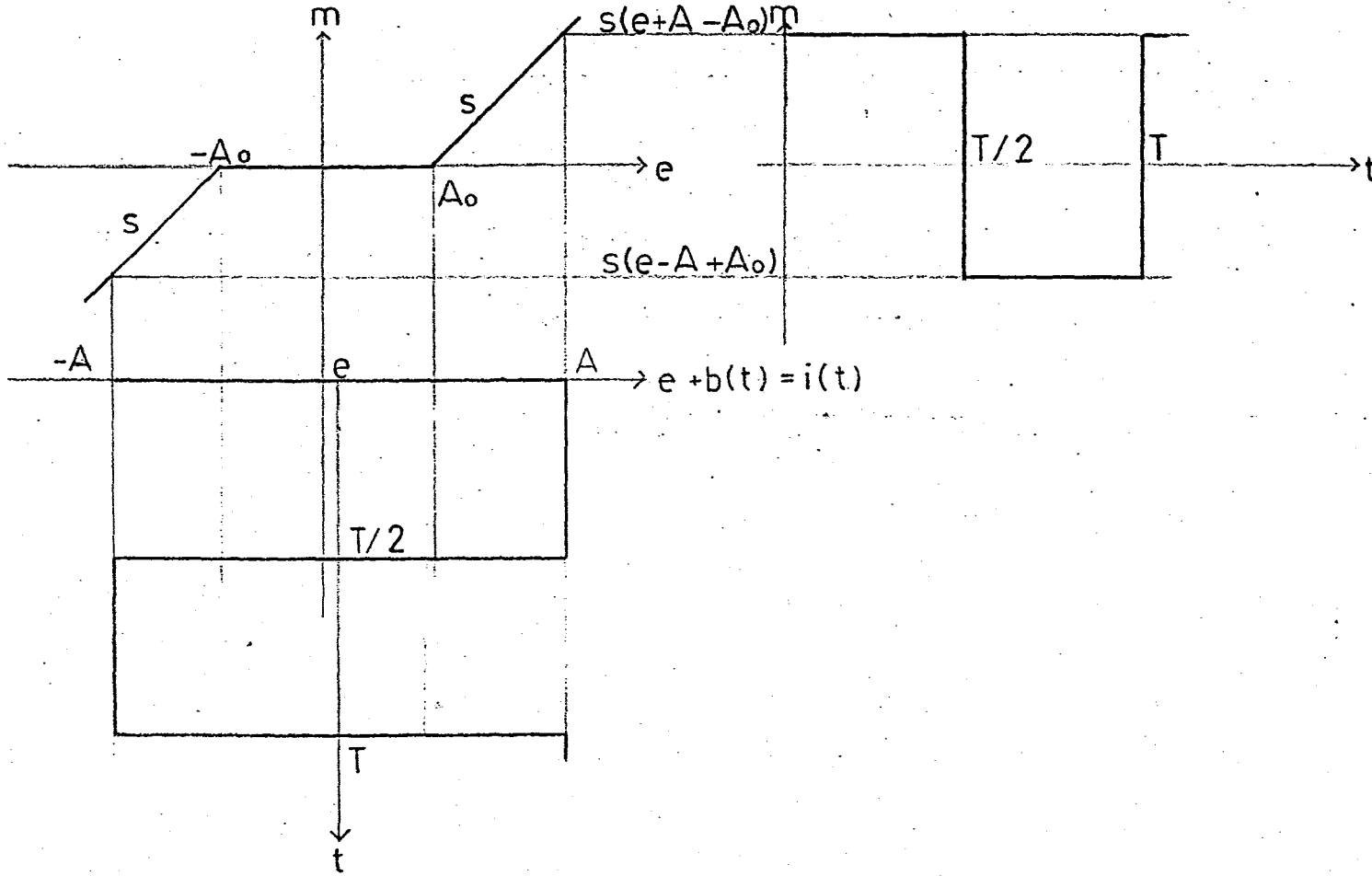
Bulunan 3.142, 3.145 ve 3.118 denklemleri kullanılarak 3.16 denklemindeki maliyet fonksiyonu

$$J = 2 \left[\int_0^{A-1} \frac{1}{(0-ke)^2} de + \int_{A-1}^{A+1} \frac{s(e+A-A_0)}{2} \frac{1}{(-ke)^2} de + \int_{A+1}^{\infty} \frac{1/(1-K)}{(s(e-A_0)-ke)^2} de \right] \quad (3.146)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem nümerik olarak çözüldüğünde, K 'ya bağlı maliyet fonksiyonu,



Şekil 3.34. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında \bar{m} - e karakteristiği ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)



Şekil 3.35. Linear olmayan karakteristiğe kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikle bulunması ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)

$$J=4A^2-4A-6kA^2+4kA-\frac{2A^3}{3}+\frac{4kA^3}{3}+\frac{2k^2}{3(1-k)^3}-\frac{4k}{3(1-k)^3}$$

$$+\frac{2}{3(1-k)^3}+\frac{2k}{(1-k)^2}-\frac{2}{(1-k)^2}+\frac{2}{1-k}-2k+\frac{2}{3} \quad (3.147)$$

şeklinde bulunur. 3.19 denklemi uygulanarak bulunan maliyet fonksiyonunu K'ya değerler verilerek,

$$K=0.3 \text{ için } A^2-5.5A+3.5=0$$

$$K=0.5 \text{ için } 2A-2=0 \quad (3.148)$$

$$K=0.7 \text{ için } A^2-0.5A-1.5=0$$

şeklinde bulunur. Bu denklemlerden optimum genlikler,

$$K=0.3 \text{ için } A^*=0.735$$

$$K=0.5 \text{ için } A^*=1$$

$$K=0.7 \text{ için } A^*=1.5 \quad (3.149)$$

olarak bulunurlar. Burada, \bar{m} ortalama-e karakteristiğinin denklem 3.149'dan $A^*=1.5$ olarak çizimi, Şekil 3.36'da gösterilmiştir.

3.3.3. İdeal ölü bölge karakteristiğine sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulanması

Burada karakteristiğe Şekil 1.7 ve denklem 1.10'la ifade edilen salınım sinyali uygulanacaktır. Bu durumda, elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali, üç ayrı hal için incelenecektir.

3.3.3.1. $|A_0| > |A|$ olması hali

Şekil 3.37'den görüleceği üzere çıkış sinyali,

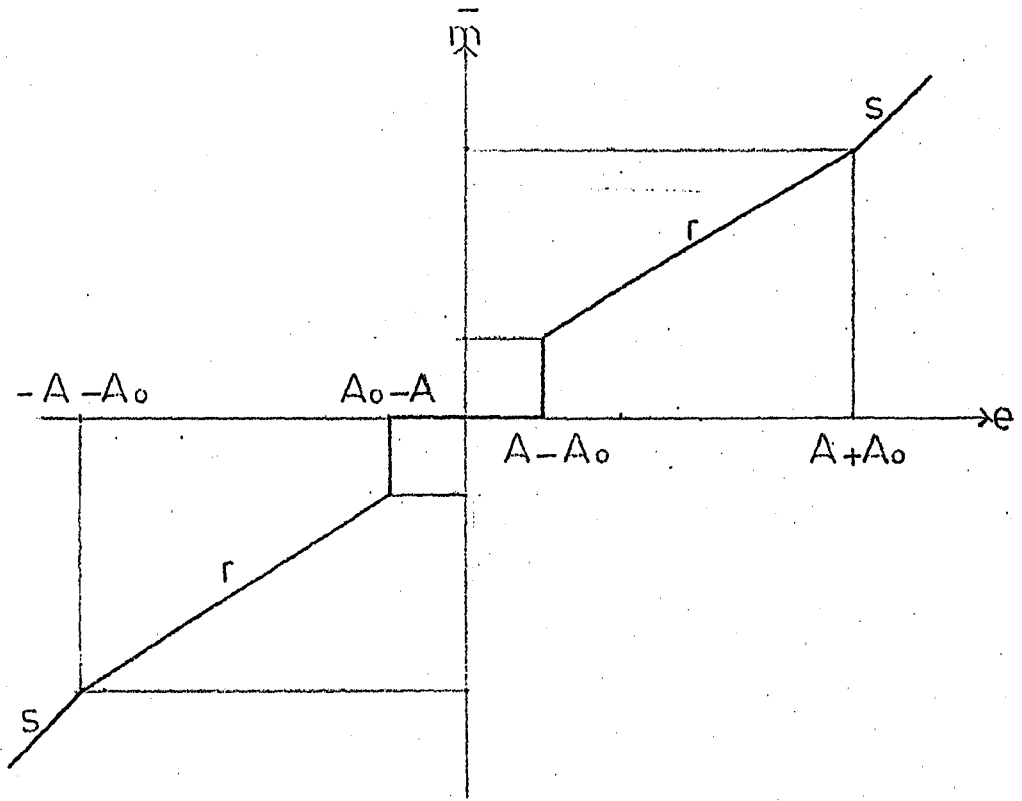
$$0 \leq t \leq T \text{ için } m(t)=0 \quad (3.150)$$

şeklinde ifade edilir. Filtre edilen çıkış sinyali, denklem 2.6'dan yararlanarak yazılıp, denklemin çözülmesiyle,

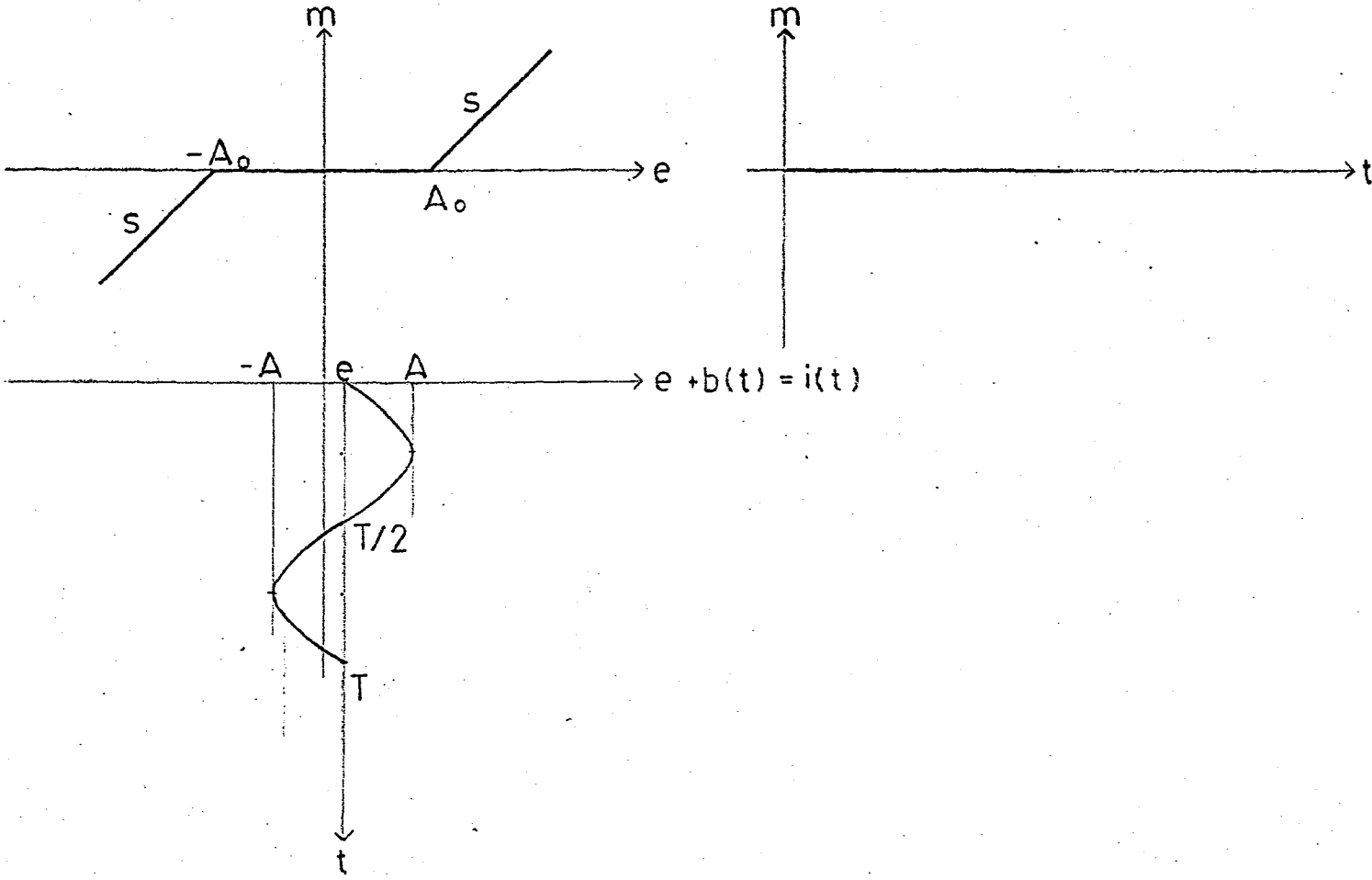
$$(A-A_0) \leq e \leq (A_0-A) \text{ için} \quad (3.151)$$

$$\bar{m}=0$$

bulunur. Şekil 3.37'de e eksenini sağa doğru kaydırılarak, e'nin $(e-A) \leq A_0$ ile $(e+A) \geq A_0$ aralığındaki değeri için çıkış sinyali,



Şekil 3.36. Kare şeklinde sınırlanmış sinyal uygulandığında \bar{m} -e karakteristiği ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)



Şekil 3.37. Linear olmayan karakteristiğe sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikle bulunması ($|A_0| > |A|$ olması hali)

$$0 \leq t \leq t_1 \quad \text{için } m(t)=0$$

$$t_1 \leq t \leq t_2 \quad \text{için } m(t)=s[e+ASinwt-A_0] \quad (3.152)$$

$$t_2 \leq t \leq T \quad \text{için } m(t)=0$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece t_1 ve t_2 anları,

$$i(t_1)=e+ASinwt_1=A_0 \quad (3.153)$$

$$i(t_2)=\frac{T}{2} - i(t_1) \quad (3.154)$$

olmaktadır. Buradan t_1 ve t_2 anları çözülürse,

$$t_1 = \frac{T}{2} \text{Sin}^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \quad (3.155)$$

$$t_2 = \frac{T}{2} - t_1 \quad (3.156)$$

olarak bulunur. e 'nin $(e-A) \leq A_0$ ile $(e+A) \geq A_0$ aralığında geçerli filtre edilen çıkış sinyali, denklem 2.6'dan yararlanarak,

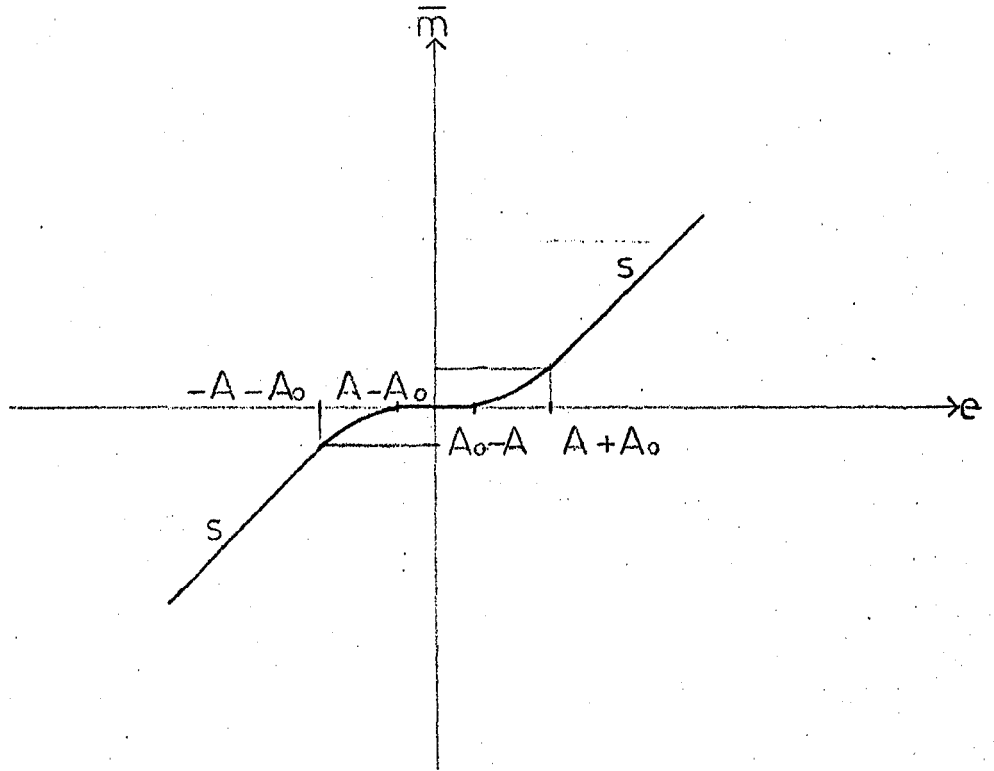
$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} s[e+ASinwt-A_0] dt \quad (3.157)$$

şeklinde yazılabilir. Denklemün çözülmesiyle,

$$(A_0 - A) \leq e \leq (A + A_0) \quad \text{için,}$$

$$\bar{m} = s \left[(e - A_0) \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \text{Sin}^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right) + \frac{1}{\pi} \sqrt{A^2 - (A_0 - e)^2} \right] \quad (3.158)$$

bulunur. e 'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için salınım sinyali, m 'nin hep " $s(e - A_0)$ " değerine eşit bölgede kalmaktadır. Bu nedenle sonuç, 3.118 denklemi gibidir. Bulunan 3.151, 3.158 ve 3.118 denklemlerinden yararlanarak \bar{m} ortalamanın, e giriş sinyaline göre çizimi şekil 3.38'de gösterilmiştir.



Şekil 3.38. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında m - e karakteristiği ($|A_0| > |A|$ olması hali)

3.3.3.2. $2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali

Şekil 3.39'dan görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq t_1 \quad \text{için } m(t)=0$$

$$t_1 \leq t \leq t_2 \quad \text{için } m(t)=s[e+ASinwt-A_0]$$

$$t_2 \leq t \leq t_3 \quad \text{için } m(t)=0 \quad (3.159)$$

$$t_3 \leq t \leq t_4 \quad \text{için } m(t)=s[A_0+ASinwt-e]$$

$$t_4 \leq t \leq T \quad \text{için } m(t)=0$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece t_1 ve t_3 anları,

$$i(t_1)=e+ASin\left(\frac{\pi}{2}-\Delta wt_1\right)=A_0 \quad (3.160)$$

$$i(t_3)=e+ASin\left(\frac{3\pi}{2}-\Delta wt_3\right)=-A_0 \quad (3.161)$$

olmaktadır. Buradan şekil 3.39'da gösterilen Δwt_1 ve Δwt_3 çözümlürse,

$$\Delta wt_1 = \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \quad (3.162)$$

$$\Delta wt_3 = \cos^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \quad (3.163)$$

olarak bulunur. Bu durumda t_1 , t_2 , t_3 ve t_4 anları,

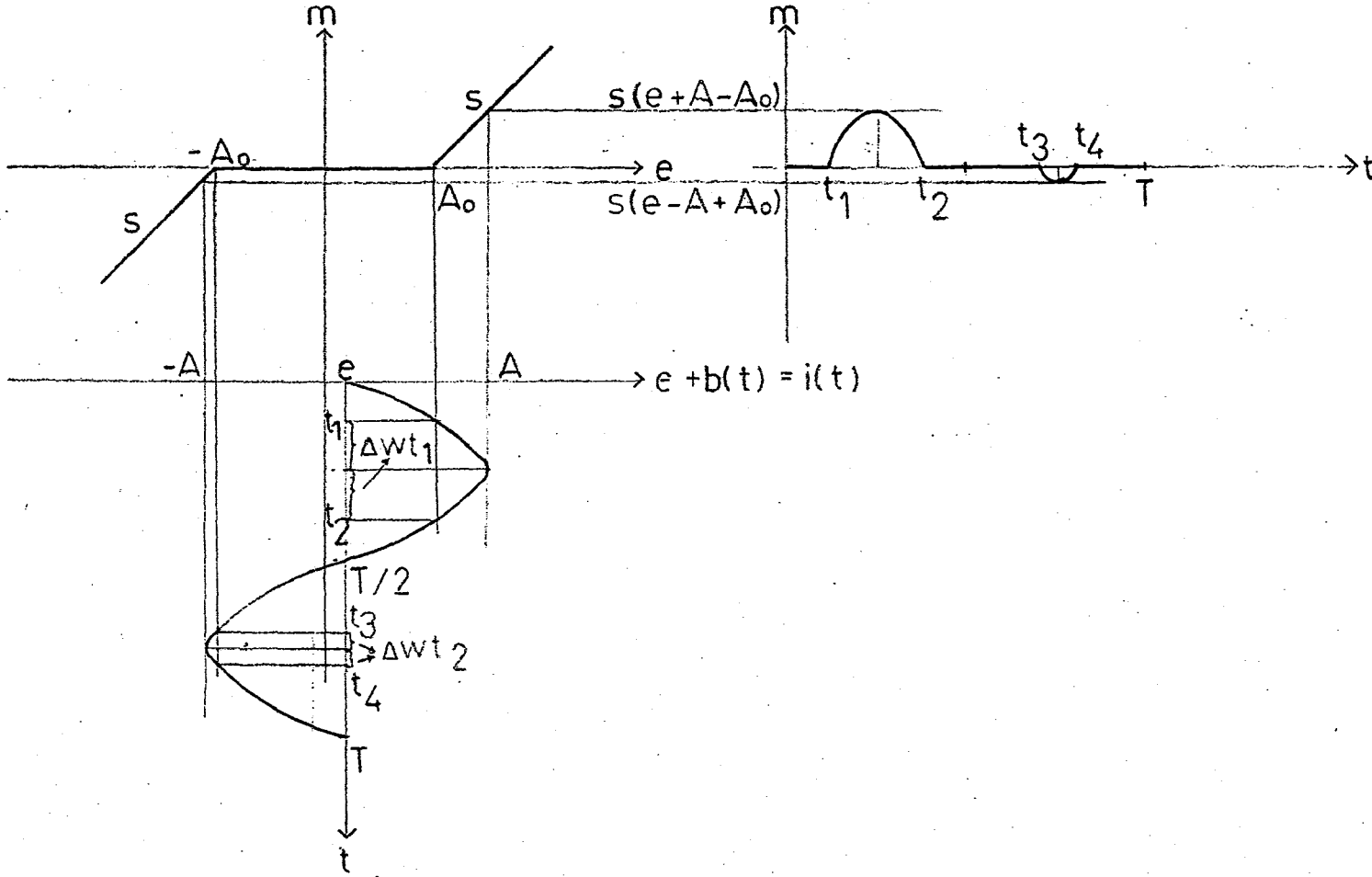
$$t_1 = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{\Delta wt_1}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.164)$$

$$t_2 = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{\Delta wt_1}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.165)$$

$$t_3 = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} - \frac{\Delta wt_3}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right] \quad (3.166)$$

$$t_4 = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} + \frac{\Delta wt_3}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right] \quad (3.167)$$

olarak bulunur. Bu denklemlerden faydalanarak 2.6 denkle-



Şekil 3.39. Linear olmayan karakteristiğe sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikle bulunması ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)

minden, filtre edilen çıkış sinyali aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_{t_1}^{t_2} s[e + A \sin \omega t - A_0] dt + \int_{t_3}^{t_4} s[A_0 + A \sin \omega t - e] dt \right] \quad (3.168)$$

Denklemin çözülmesiyle,

$$(A_0 - A) \leq e \leq (A + A_0) \text{ için}$$

$$\bar{m} = s \left[\frac{e - A_0}{\pi} \left(\cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} - \cos^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right) - \frac{1}{\pi} \left(\sqrt{A^2 - (A_0 + e)^2} - \sqrt{A^2 - (A_0 - e)^2} \right) \right] \quad (3.169)$$

elde edilir. e 'nin $(A - A_0)$ ile $(A + A_0)$ değerleri arasındaki çıkış sinyali, e ekseninin sağa doğru kaydırılmasıyla aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t) = 0$$

$$t_1 \leq t \leq t_2 \text{ için } m(t) = s[e + A \sin \omega t - A_0] \quad (3.170)$$

$$t_2 \leq t \leq T \text{ için } m(t) = 0$$

Burada t_1 anı,

$$i(t_1) = e + A \sin\left(\frac{\pi}{2} - \Delta \omega t\right) = A_0 \quad (3.171)$$

olmaktadır. Buradan $\Delta \omega t$ çözülürse,

$$\Delta \omega t = \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \quad (3.172)$$

bulunur. Bu durumda t_1 ve t_2 anları,

$$t_1 = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{\Delta \omega t}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.173)$$

$$t_2 = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{\Delta \omega t}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.174)$$

olarak hesaplanabilir. Bu denklemlerden faydalanarak filt-re edilen çıkış sinyali,

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} s[e + A \sin \omega t - A_0] dt \quad (3.175)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemin çözülmesiyle, e'nin $(A - A_0)$ 'dan büyük $(A + A_0)$ 'dan küçük değerleri için filtre edilen çıkış sinyali,

$$(A - A_0) \leq e \leq (A + A_0) \text{ için}$$

$$\bar{m} = s \left[\frac{e - A_0}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} + \frac{1}{\pi} \sqrt{A^2 - (A_0 - e)^2} \right] \quad (3.176)$$

olarak bulunur. e'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için s-alınım sinyali, m'nin "s(e - A₀)" değerine eşit bölgede kalmaktadır. Dolayısıyla sonuç 3.118 denkleminin aynısıdır. Çıkartılan 3.169, 3.176 ve 3.118 denklemlerinden yararlanarak \bar{m} ortalamanın, e giriş sinyaline göre çizimi şekil 3.40'da gösterilmiştir.

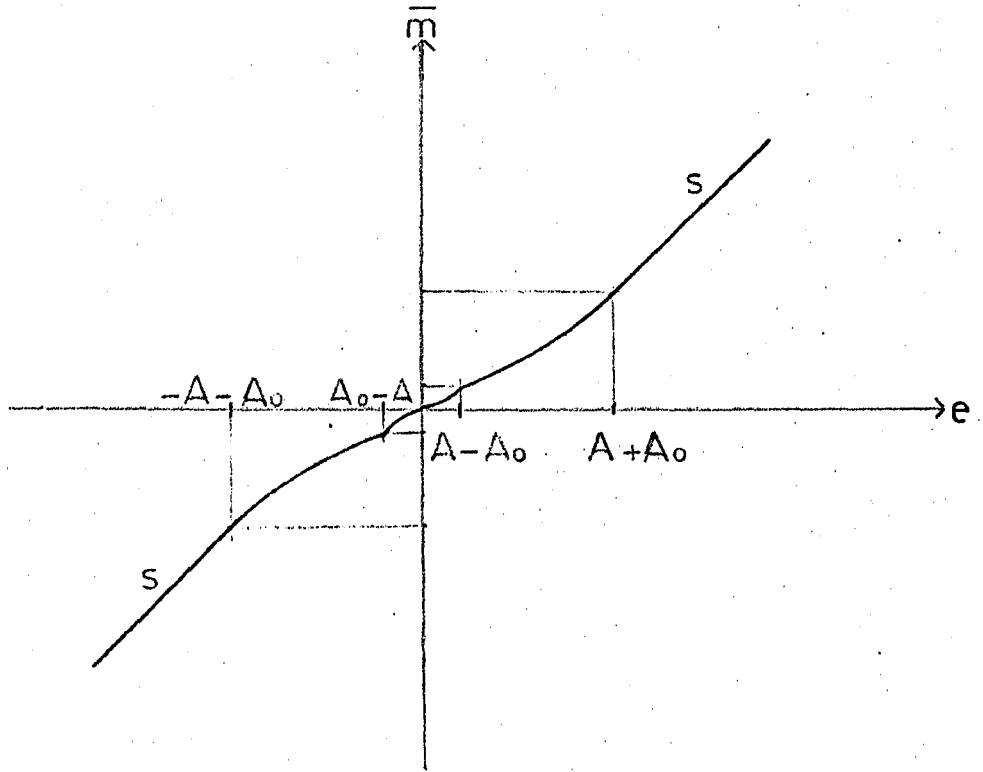
3.3.3.3. |A| > 2|A₀| olması hali

Şekil 3.41'den görüleceği üzere çıkış sinyali 3.159 denklemindeki gibidir. Dolayısıyla, e'nin $(A_0 - A)$ ile $(A - A_0)$ aralığındaki \bar{m} ortalamanın değeri denklem 3.169'un aynısıdır. e'nin $(A - A_0)$ 'dan büyük $(A + A_0)$ 'dan küçük değerleri için çıkış sinyali, e eksenini sağa doğru kaydırılarak, aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

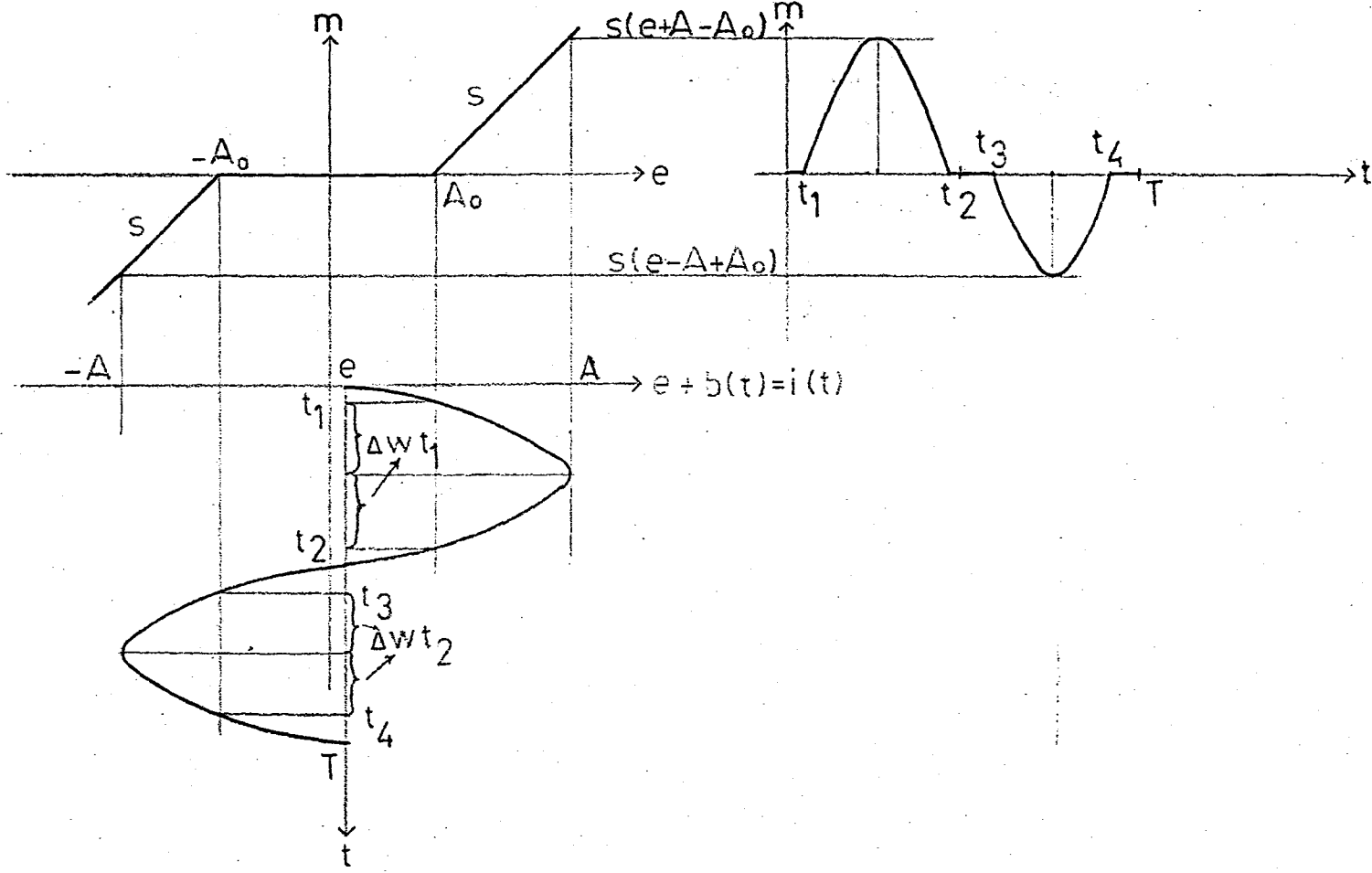
$$\begin{aligned} 0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t) &= s[e + A \sin \omega t - A_0] \\ t_1 \leq t \leq t_2 \text{ için } m(t) &= 0 \\ t_2 \leq t \leq T \text{ için } m(t) &= s[e + A \sin \omega t - A_0] \end{aligned} \quad (3.177)$$

Böylece t_1 anı,

$$i(t_1) = e + A \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \Delta \omega t\right) = A_0 \quad (3.178)$$



Şekil 3.40. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında m - e karakteristiği ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)



Şekil 3.41. Linear olmayan karakteristiğe sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikle bulunması ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)

olmaktadır. Buradan Δwt çözülürse,

$$\Delta wt = \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \quad (3.179)$$

olarak bulunur. Bu durumda t_1 ve t_2 anları çözülürse,

$$t_1 = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} - \frac{\Delta wt}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.180)$$

$$t_2 = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} + \frac{\Delta wt}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.181)$$

olarak hesaplanır. Bu denklemlerden faydalanarak filtre edilen çıkış sinyali 2.6 denkleminde,

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_1} s[e + A \sin wt - A_0] dt + \int_{t_2}^T s[e + A \sin wt - A_0] dt \right] \quad (3.182)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemin çözülmesiyle, e 'nin $(A - A_0)$ 'dan büyük, $(A + A_0)$ 'dan küçük değerleri için filtre edilen çıkış sinyali,

$(A - A_0) \leq e \leq (A + A_0)$ için,

$$\bar{m} = s \left[(e - A_0) \left(1 - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{e - A_0}{A} \right) + \frac{1}{\pi} \sqrt{A^2 - (e - A_0)^2} \right] \quad (3.183)$$

olarak bulunur. e 'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için sınırlanmış sinyali, m 'nin hep " $s(e - A_0)$ " değerine eşit bölgede kaldığından, 3.118 denklemi aynen geçerlidir.

Denklem 3.16'daki maliyet fonksiyonuna göre denklem yazıldığında çok karmaşık bir işlemle karşılaşılır. Bu nedenle, burada da 3.2.3.3 bölümünde olduğu gibi, nümerik olarak optimum genlik bulunacaktır. Buna göre K 'nın aldığı değerlere ait optimum genlikler aşağıda verilmiştir.

$$K=0.3 \text{ için } A^*=0.9$$

$$K=0.5 \text{ için } A^*=1.4 \quad (3.184)$$

$$K=0.7 \text{ için } A^*=2.2$$

Burada da \bar{m} ortalama-e karakteristiğinin denklem 3.184'den $A^*=1.4$ alınarak çizimi, şekil 3.42'de gösterilmiştir.

3.4. Ölü Bölgesi Çift Yönlü Röle Karakteristiği

Şekil 1.4'de gösterilen lineer olmayan karakteristik aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$e < -A_0 \text{ için } m=-h, (h > 0)$$

$$-A_0 \leq e \leq A_0 \text{ için } m=0 \quad (1.7)$$

$$A_0 < e \text{ için } m=+h$$

Bu karakteristiğe uygulanan salınım sinyalleri için optimum genlik, bölüm 3.2'deki gibi hesaplanacaktır.

3.4.1. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulanması

Bu kısımda, karakteristiğe şekil 1.5 ve denklem 1.8'le ifade edilen salınım sinyali uygulanacaktır. Bu durumda, elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali, üç ayrı hal için incelenecektir.

3.4.1.1. $|A_0| > |A|$ olması hali

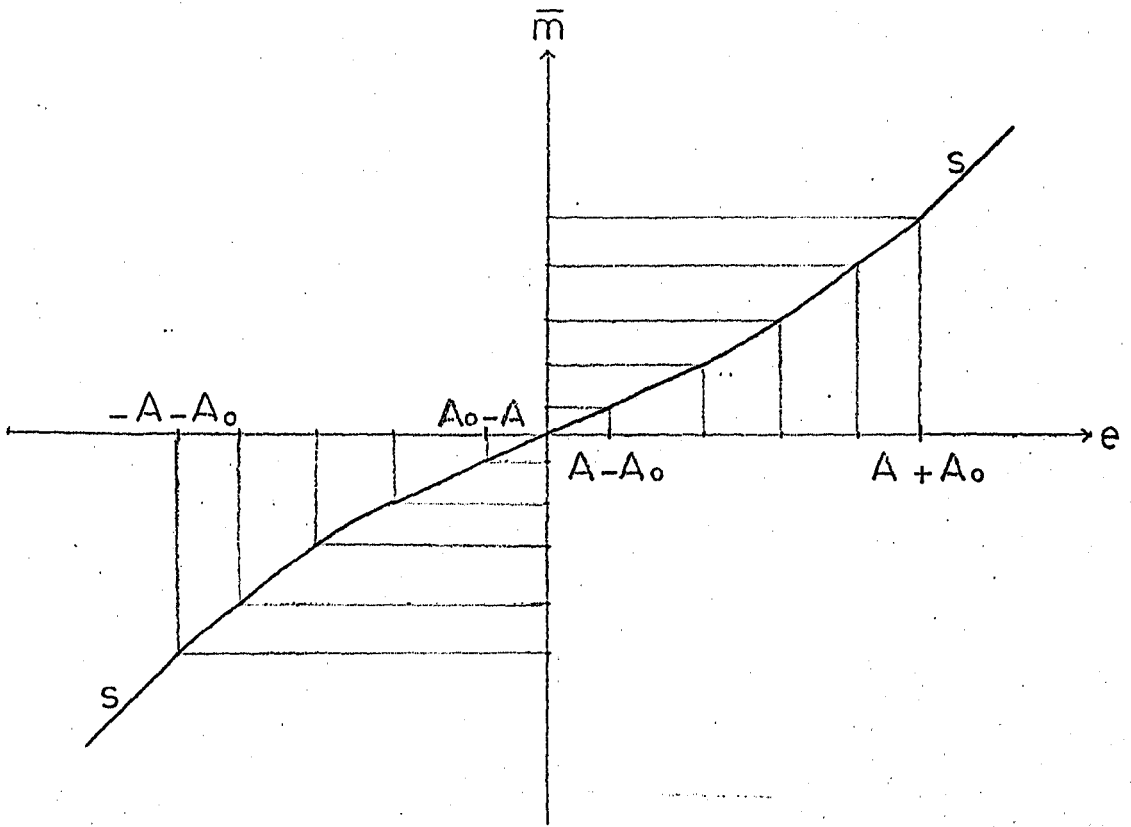
Şekil 3.43'den görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq T \text{ için } m(t)=0 \quad (3.185)$$

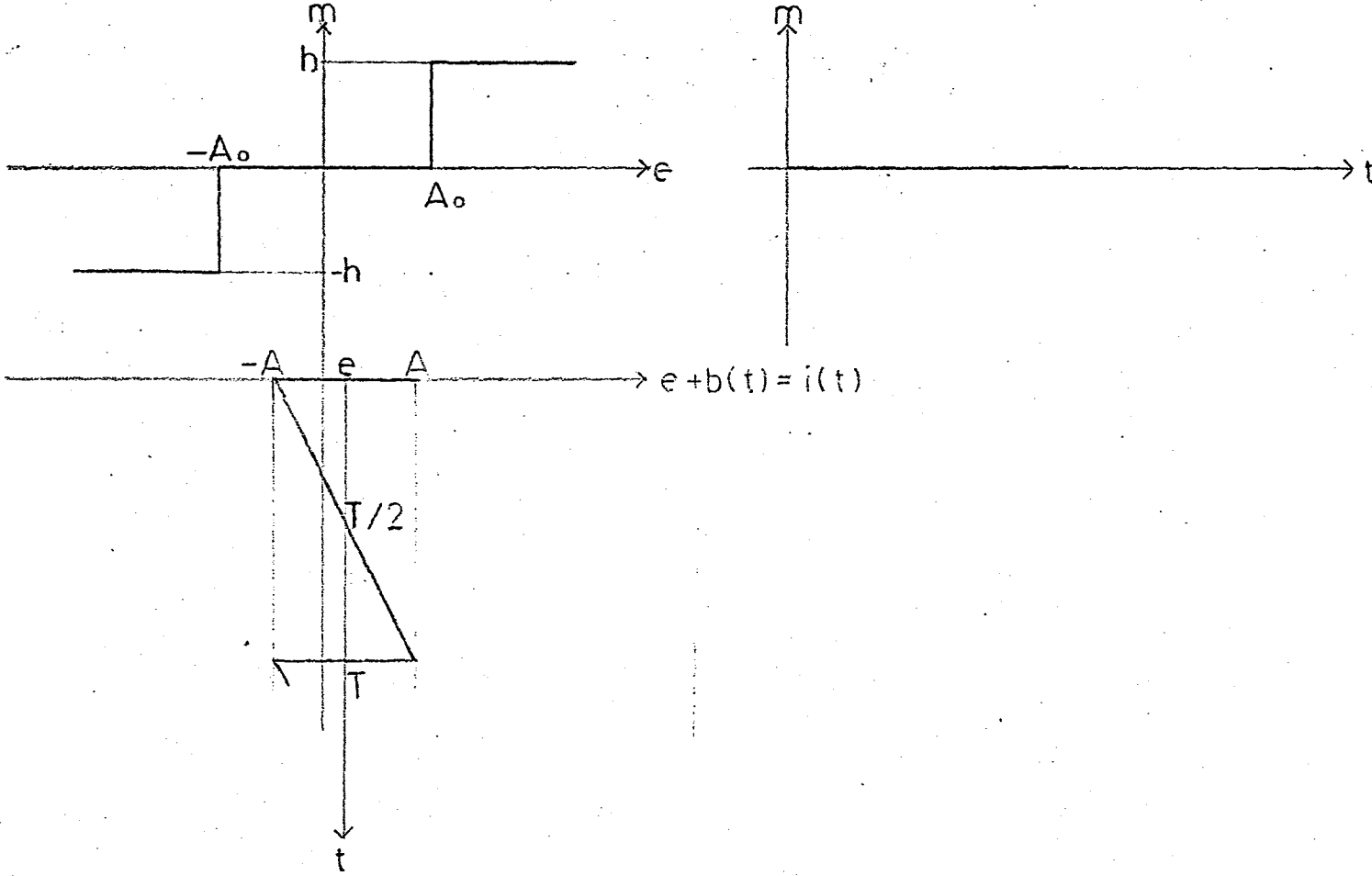
şeklinde ifade edilebilir. Filtre edilen çıkış sinyali ise, 2.6 denkleminde yazılarak çözüldüğünde,

$$(A-A_0) \leq e \leq (A_0-A) \text{ için} \quad (3.186)$$

$$\bar{m}=0$$



Şekil 3.42. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında \bar{m} - e karakteristiği ($|A| > 2|A_0|$ olması hali),



Şekil 3.43. Linear olmayan karakteristiğe testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($|A_0| > |A|$ olması hali)

bulunur. Şekil 3.43'de e ekseni sağa doğru kaydırıldığında çıkış sinyali,

$$\begin{aligned} 0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t) &= 0 \\ t_1 \leq t \leq T \text{ için } m(t) &= h \end{aligned} \quad (3.187)$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece t_1 anı,

$$i(t_1) = e + \frac{2A}{T} t_1 - A = A_0 \quad (3.188)$$

olmaktadır. Buradan t_1 çözülürse,

$$t_1 = \frac{T}{2A} [A_0 + A - e] \quad (3.189)$$

bulunur. e 'nin $(A_0 - A)$ 'dan büyük ve $(A + A_0)$ 'dan küçük değerleri için denklem 2.6'daki integral aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^T h dt \quad (3.190)$$

Bu denklem çözüldüğünde,

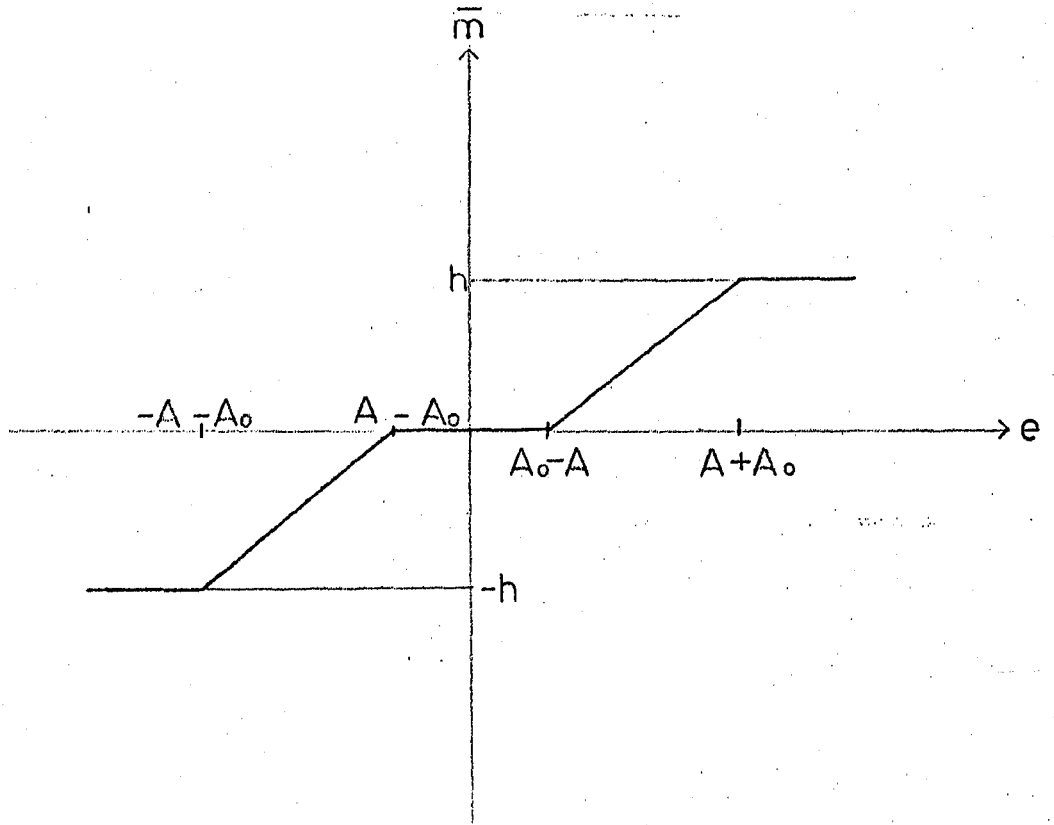
$$(A_0 - A) \leq e \leq (A + A_0) \text{ için,}$$

$$\bar{m} = \frac{h}{2A} [A - A_0 + e] \quad (3.191)$$

bulunur. e 'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için salınım sinyali m 'nin hep "+h" değerine eşit bölgede kalmaktadır. Dolayısıyla,

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_0^T h dt = h \quad (3.192)$$

olmaktadır. Çıkartılan 3.186, 3.191 ve 3.192 denklemlerinden faydalanarak, \bar{m} ortalama çıkış sinyali, e giriş sinyaline göre çizilir. Bu, şekil 3.44'de gösterilmiştir.



Şekil 3.44. Testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında \bar{m} - e karakteristiği ($|A_0| > |A|$ olması hali)

3.4.1.2. $2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali

Şekil 3.45'den görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq t_1 \quad \text{için } m(t) = -h$$

$$t_1 \leq t \leq t_2 \quad \text{için } m(t) = 0 \quad (3.193)$$

$$t_2 \leq t \leq T \quad \text{için } m(t) = h$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece t_1 ve t_2 anı,

$$i(t_1) = e + \frac{2A}{T} t_1 - A = -A_0 \quad (3.194)$$

$$i(t_2) = e + \frac{2A}{T} t_2 - A = A_0 \quad (3.195)$$

olmaktadır. 3.194 ve 3.195 denklemlerinden t_1 ve t_2 çözümlürse,

$$t_1 = \frac{T}{2A} [A - A_0 - e] \quad (3.196)$$

$$t_2 = \frac{T}{2A} [A + A_0 - e] \quad (3.197)$$

bulunur. Bu denklemlerden faydalanarak e 'nin $(A_0 - A)$ ile $(A - A_0)$ aralığında geçerli filtre edilen çıkış sinyali,

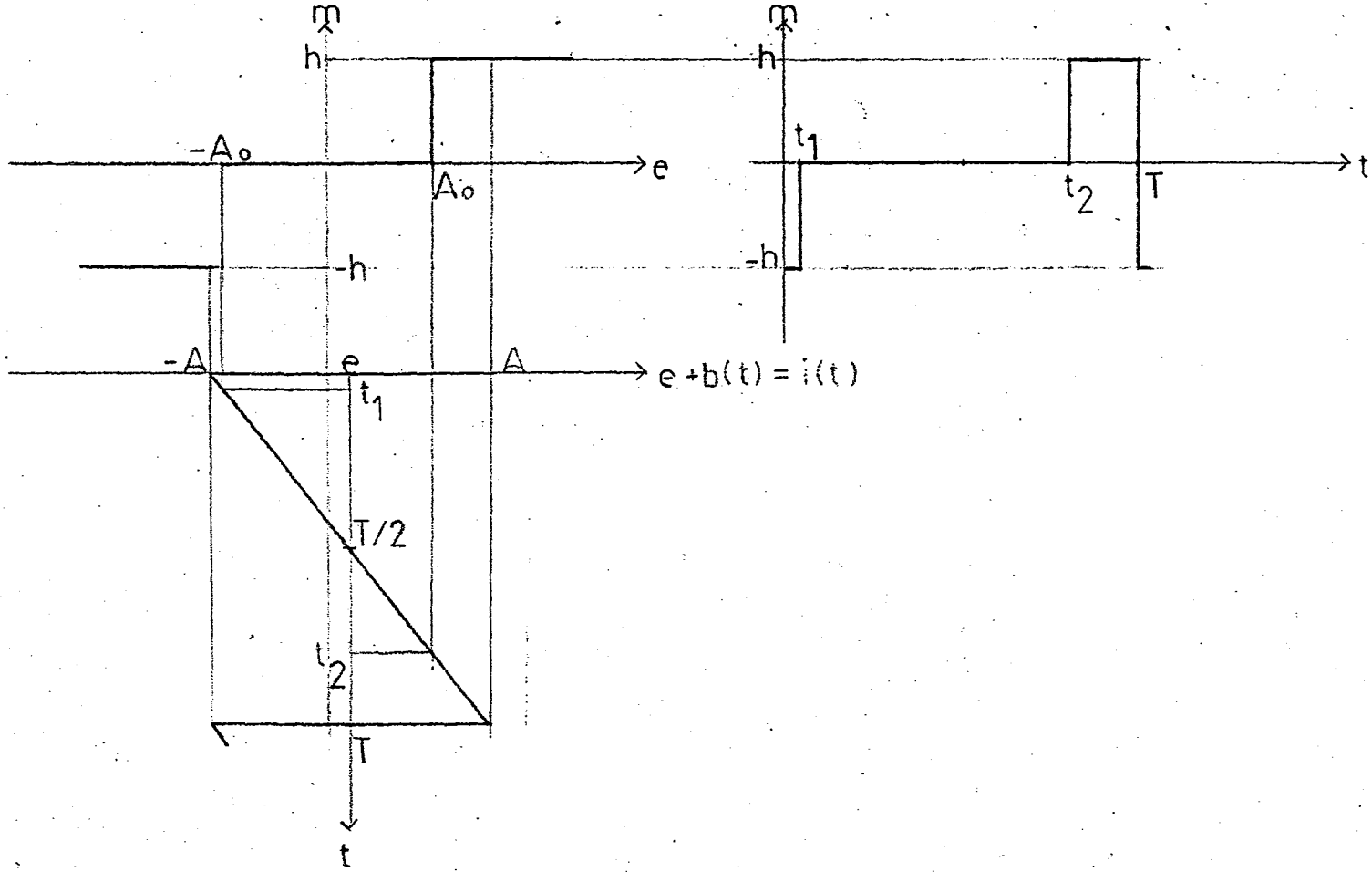
$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_1} (-h) dt + \int_{t_2}^T h dt \right] \quad (3.198)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem çözüldüğünde,

$$(A_0 - A) \leq e \leq (A - A_0) \quad \text{için}$$

$$\bar{m} = \frac{h}{A} e \quad (3.199)$$

olarak bulunur. e 'nin $(A - A_0)$ 'dan büyük, $(A + A_0)$ 'dan küçük değerleri için çıkış sinyali yazılmak istenirse, Şekil 3.45' de e eksenini sağa doğru kaydırılır. Böylece çıkış sinyali denklem 3.187'deki gibidir. e 'nin $(A - A_0)$ ile $(A + A_0)$ değerleri arasında \bar{m} ortalama değeri de 3.191 denklemindeki gi-



Şekil 3.45. Linear olmayan karakteristiğe testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)

bidir. e 'nin $(A+A_0)$ 'dan büyük değerleri salınım sinyali, m 'nin hep "+h" değerine eşit bölgede kaldığından sonuç 3.192 denklemindeki gibidir. Çıkartılan 3.199, 3.191 ve 3.192 denklemlerinden yararlanarak \bar{m} ortalama çıkış sinyalinin, e giriş sinyaline göre çizilişi Şekil 3.46'da gösterilmiştir.

3.4.1.3. $|A| > 2|A_0|$ olması hali

Şekil 3.47'den görüleceği üzere çıkış sinyali denklem 3.193'de belirtildiği gibidir. e 'nin (A_0-A) ile $(A-A_0)$ değerleri arasında \bar{m} ortalama değeri 3.199 denkleminin aynıdır. e 'nin $(A-A_0)$ ile $(A+A_0)$ değerleri arasındaki \bar{m} ortalama değeri de denklem 3.191'dekininki aynıdır. e 'nin $(A+A_0)$ 'dan büyük değerleri için \bar{m} ortalama değeri de denklem 3.192'ye eşittir.

Denklem 3.16'daki maliyet fonksiyonu, çıkartılan 3.199, 3.191, 3.192 denklemleri kullanılarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$J=2\left[\int_0^{A-A_0}\left(\frac{h}{A}e-ke\right)^2de+\int_{A-A_0}^{A+A_0}\left[\frac{h}{2A}(A-A_0+e)-ke\right]^2de+\int_{A+A_0}^C(h-ke)^2de\right] \quad (3.200)$$

Bu denklem nümerik olarak çözüldüğünde,

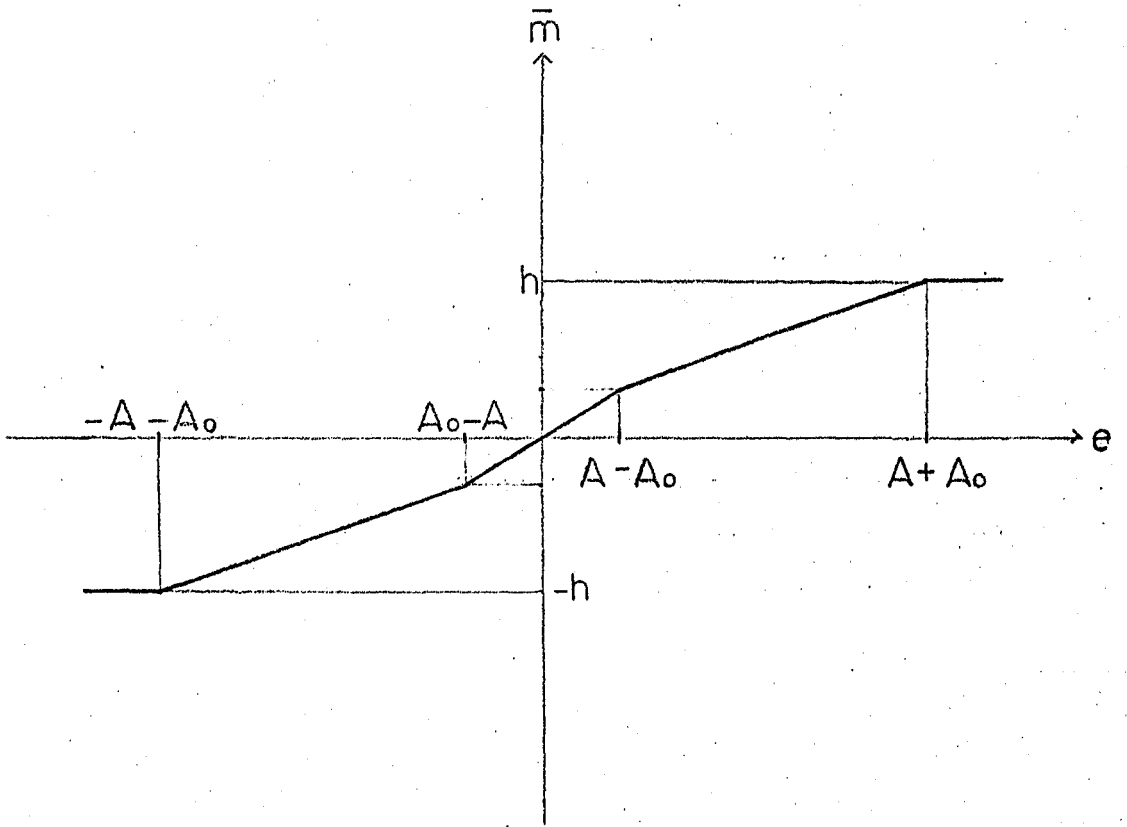
$$J=\frac{2kA^2}{3}+\frac{2}{3A^2}-\frac{4A}{3}-\frac{2}{A}+2k+\frac{2}{3k} \quad (3.201)$$

şeklinde bulunur. Maliyet fonksiyonu 3.19 denklemini yardımıyla çözümlerse,

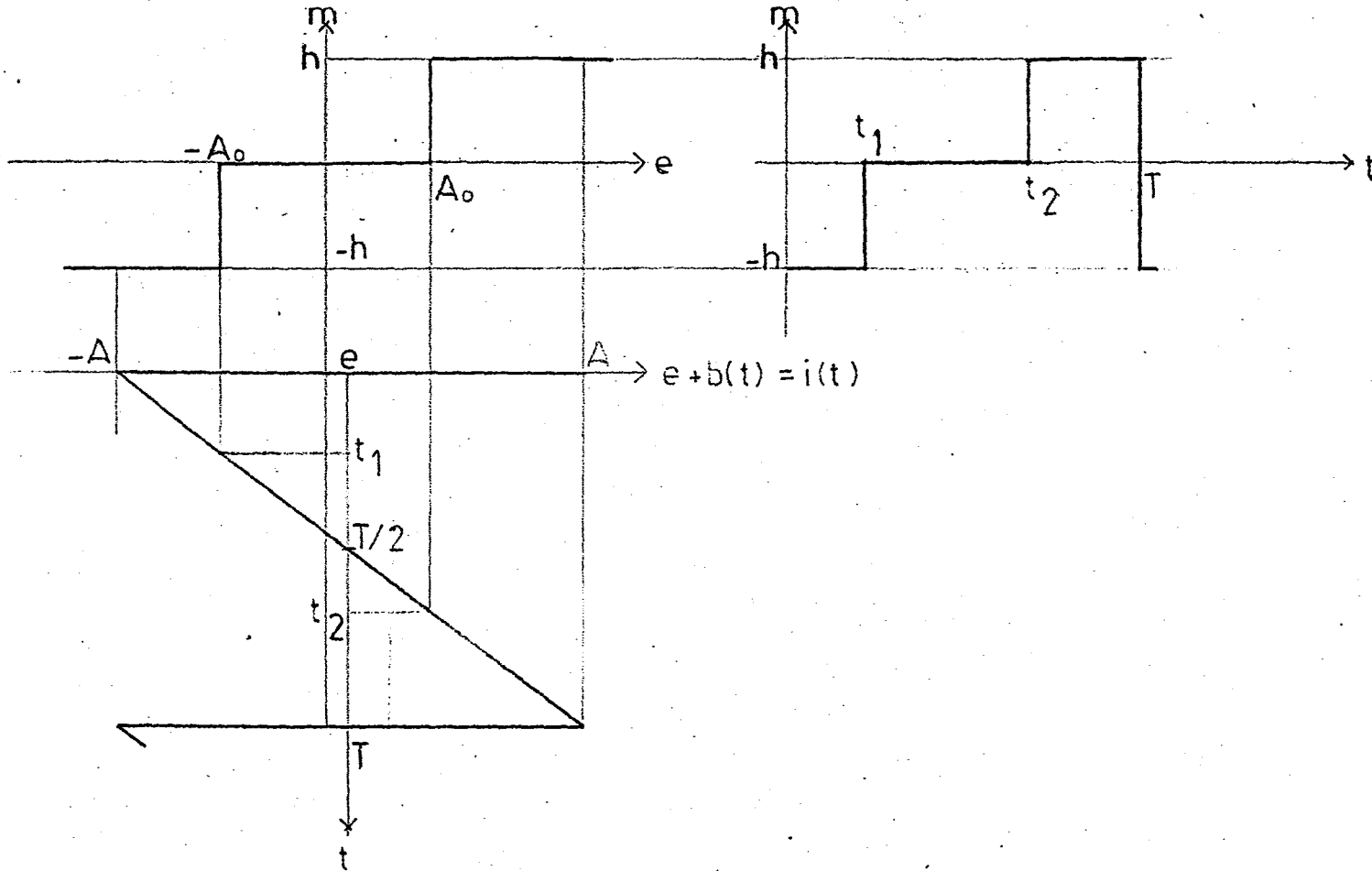
$$K=0.3 \text{ için } A^4-3.333A^3+5A-3.333=0$$

$$K=0.5 \text{ için } A^4-2A^3+3A-2=0 \quad (3.202)$$

$$K=0.7 \text{ için } A^4-1.428A^3+2.142A-1.428=0$$



Şekil 3.46. Testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında m - e karakteristiği ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)



Şekil 3.47. Linear olmayan karakteristiğe testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)

şeklinde bulunur. Bu denklemlerden optimum genlikler,

$$K=0.3 \text{ için } A^*=2.865$$

$$K=0.5 \text{ için } A^*=1.000 \quad (3.203)$$

$$K=0.7 \text{ için } A^*=0.825$$

olarak bulunur. Burada, \bar{m} ortalama-e karakteristiğinin denklem 3.203'den $A^*=2.865$ alınarak çizimi Şekil 3.48'de gösterilmiştir.

3.4.2. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine kare şeklinde salınım sinyali uygulanması

Bu kısımda, karakteristiğe Şekil 1.6 ve denklem 1.9'la ifade edilen salınım sinyali uygulanacaktır. Bu durumda, elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali, üç ayrı hal için incelenecektir.

3.4.2.1. $|A_0| > |A|$ olması hali

Şekil 3.49'dan görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq T \text{ için } m(t)=0 \quad (3.204)$$

şeklinde ifade edilir. e 'nin $(e-A) \geq -A_0$ ile $(e+A) \leq A_0$ aralığında filtre edilen çıkış sinyali, denklem 2.6'dan yararlanarak çözüldüğünde,

$$(A-A_0) \leq e \leq (A_0-A) \text{ için} \quad (3.205)$$

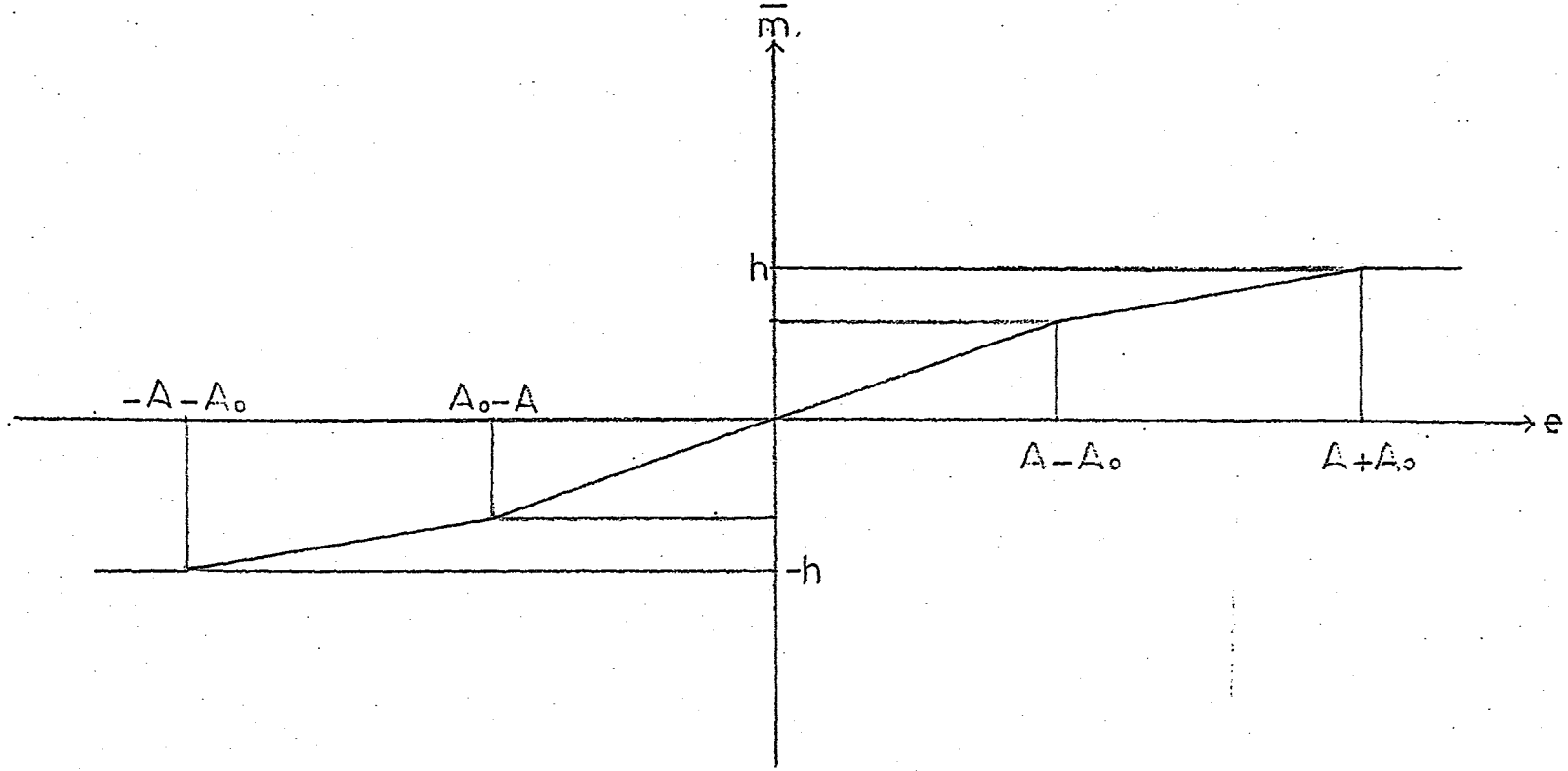
$$\bar{m}=0$$

olarak bulunur. Şekil 3.49'da e eksenini sağa doğru kaydırıldığında, e 'nin (A_0-A) 'dan büyük ve $(A+A_0)$ 'dan küçük değerleri için çıkış sinyali,

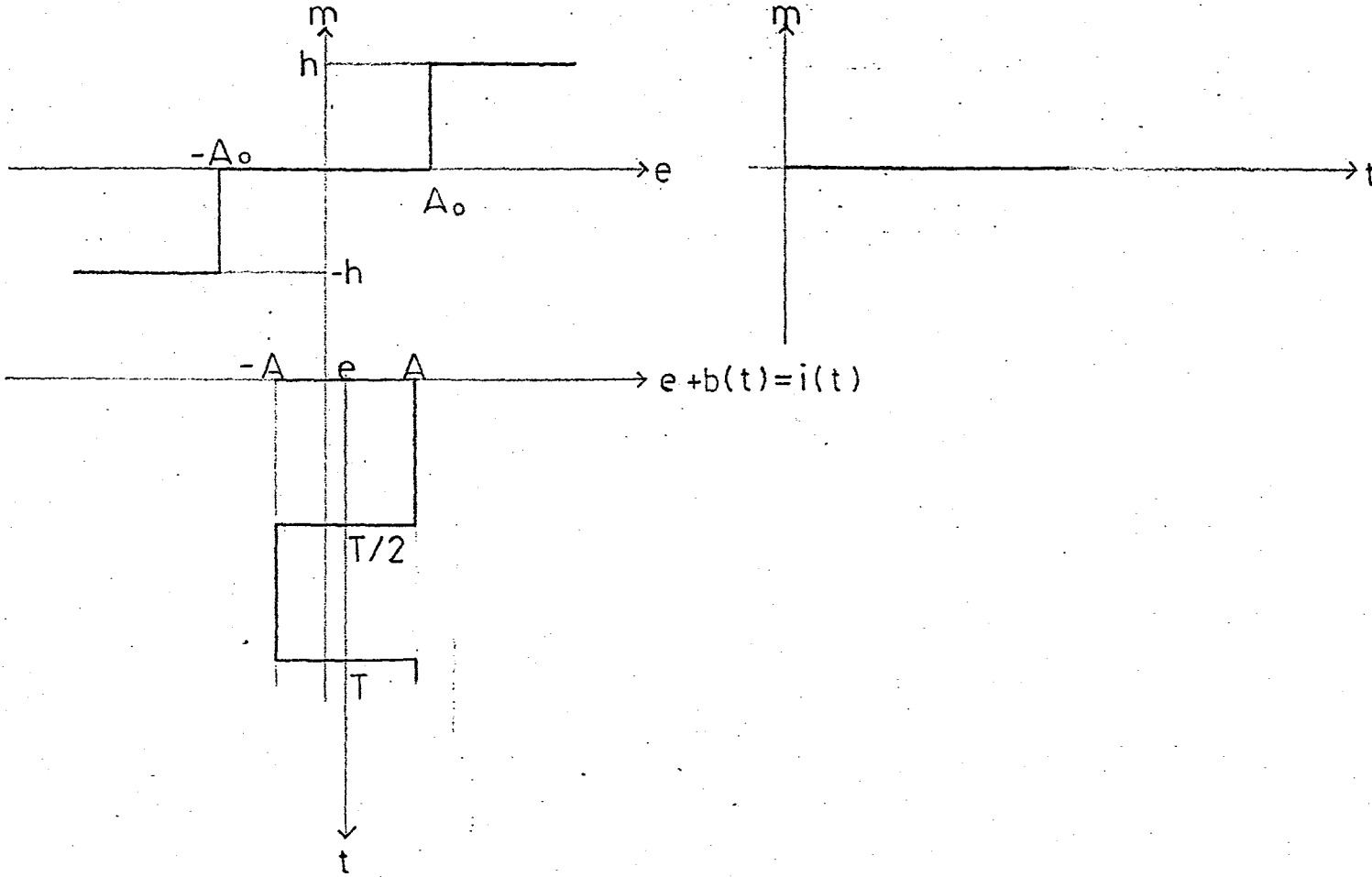
$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } m(t)=h \quad (3.206)$$

$$T/2 \leq t \leq T \text{ için } m(t)=0$$

şeklinde ifade edilebilir. Filtre edilen çıkış sinyali aşağıdaki şekilde 2.6 denkleminde yazılabilir.



Şekil 3.48. Testere dişi şeklinde salınım sinyali uygulandığında \bar{m} - e karakteristiği ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)



Şekil 3.49. Lineer olmayan karakteristiğe kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($|A_0| > |A|$ olması hali)

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} h dt \quad (3.207)$$

Bu denklemin çözülmesiyle,

$$(A_0 - A) \leq e \leq (A + A_0) \text{ için}$$

$$\bar{m} = \frac{h}{2} \quad (3.208)$$

olarak bulunur. e 'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için sınırlı sinyal, m 'nin hep " h " değerine eşit bölgede kaldığından sonuç 3.192 denklemindeki gibidir. Bulunan 3.205, 3.208 ve 3.192 denklemlerinden yararlanarak, \bar{m} ortalama çıkış sinyalinin, giriş sinyaline göre çizilişi şekil 3.50'de gösterilmiştir.

3.4.2.2. $2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali

Şekil 3.51'den görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq T/2 \text{ için } m(t) = h \quad (3.209)$$

$$T/2 \leq t \leq T \text{ için } m(t) = -h$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklem 2.6'dan yararlanarak filtre edilen çıkış sinyali,

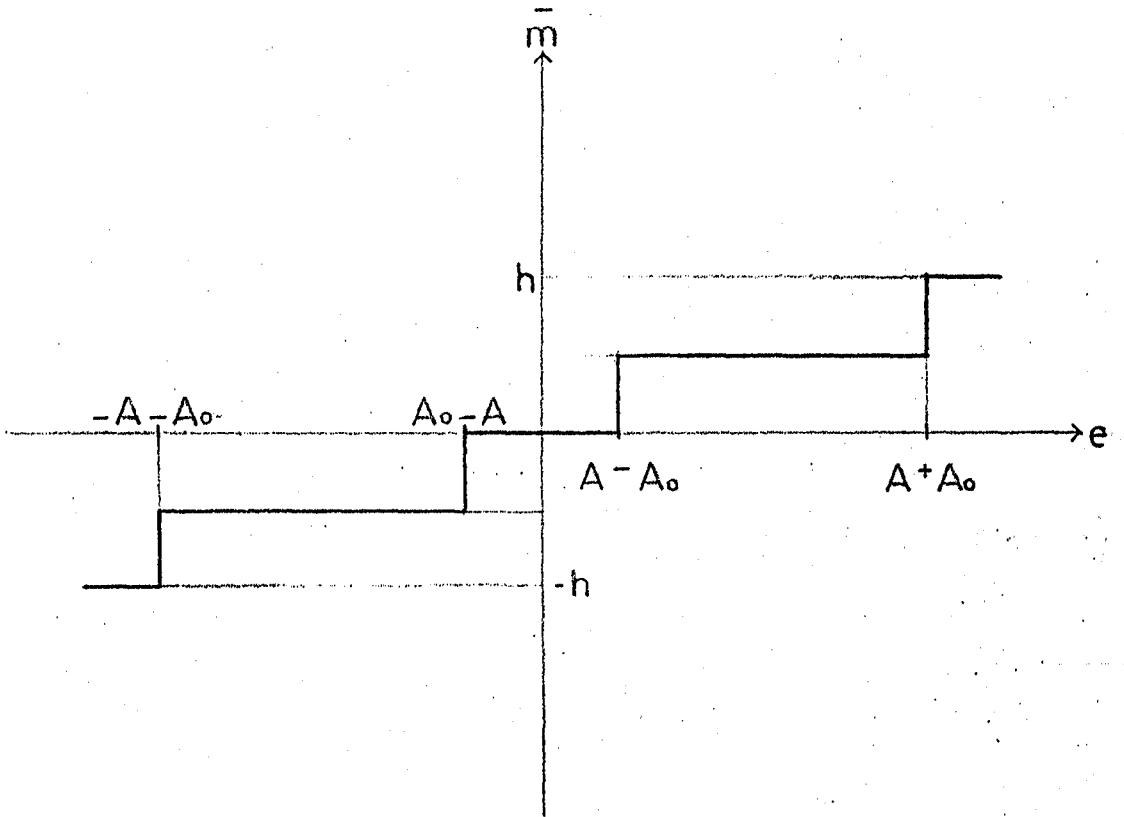
$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{T/2} h dt + \int_{T/2}^T (-h) dt \right] \quad (3.210)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem çözüldüğünde,,

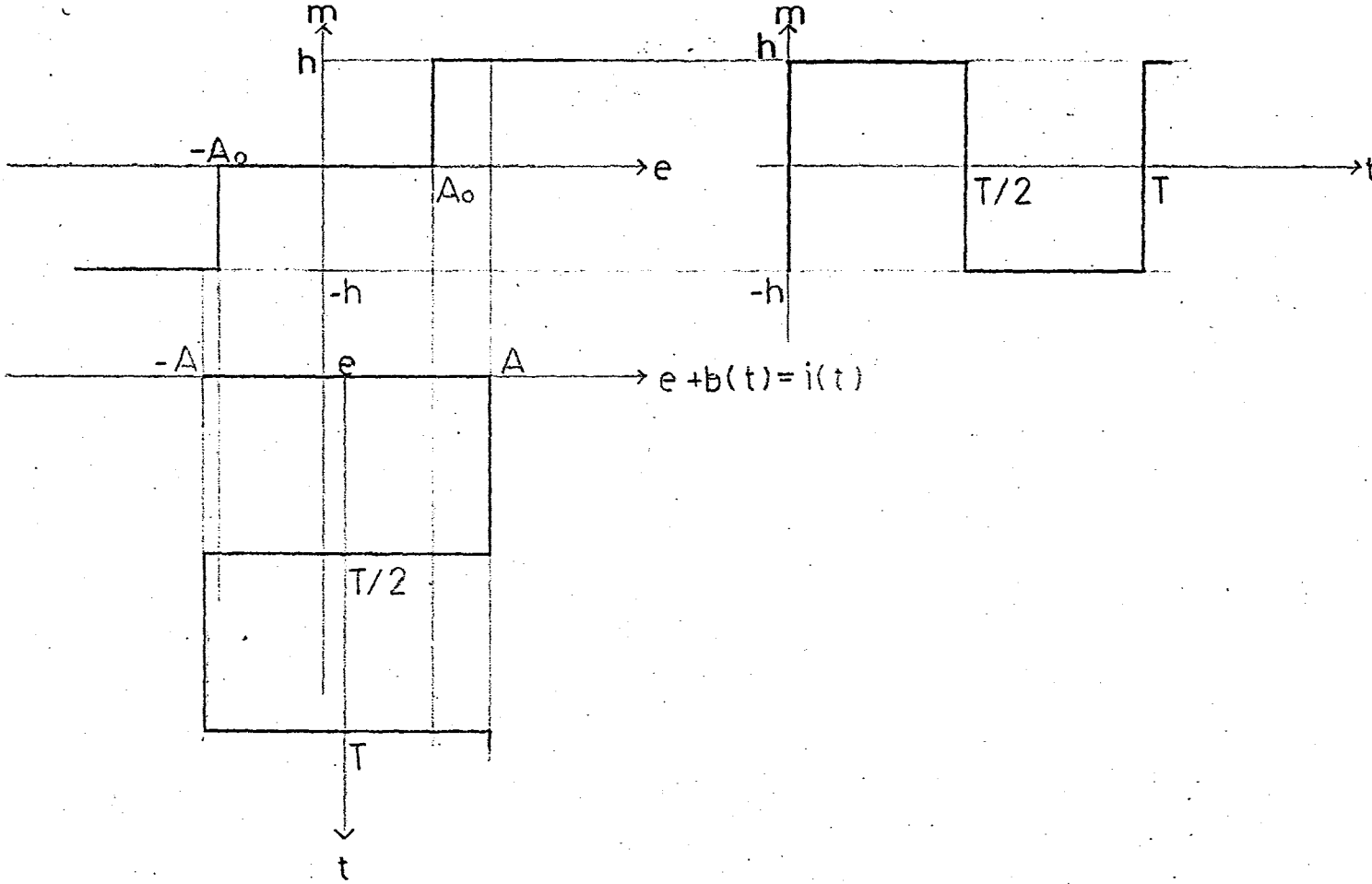
$$(A_0 - A) \leq e \leq (A - A_0) \text{ için} \quad (3.211)$$

$$\bar{m} = 0$$

bulunur. Yine şekil 3.51'de e ekseni sağa kaydırılarak e 'nin $e - A \geq -A_0$ ile $e - A \leq A_0$ aralığındaki çıkış sinyali denklem 3.206'daki gibidir. Dolayısıyla e 'nin $(A - A_0)$ ile $(A + A_0)$ arasındaki \bar{m} ortalama değeri de denklem 3.208'dekinin aynıdır. e 'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için yine 3.192 denklemi geçerlidir. Bulunan 3.211, 3.208 ve 3.192



Şekil 3.50. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($|A_0| > |A|$ olması hali)



Şekil 3.51. Linear olmayan karakteristiğe kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)

denklemlerinden yararlanarak çizilen, \bar{m} ortalama çıkış sinyalinin e giriş sinyaline göre çizimi, şekil 3.52'de gösterilmiştir.

3.4.2.3. $|A| > 2|A_0|$ olması hali

Şekil 3.53'den görüleceği üzere e'nin $(A-A_0)$ ile (A_0-A) aralığındaki çıkış sinyali 3.209 denklemindeki gibidir. Sonuç olarak da bu aralıkta filtre edilen çıkış sinyali 3.211 denkleminin aynısıdır. e'nin $(A-A_0)$ ile $(A+A_0)$ değerleri arasında \bar{m} ortalama değeri, denklem 3.208'deki gibidir. e'nin $(A+A_0)$ 'dan büyük değerleri için \bar{m} ortalama değeri de 3.192 denklemine eşittir.

Bulunan 3.211, 3.208 ve 3.192 denklemleri kullanılarak 3.16'daki maliyet fonksiyonu,

$$J=2 \left[\int_0^{A-A_0} (o-ke)^2 de + \int_{A-A_0}^{A+A_0} \left(\frac{h}{2}-ke\right)^2 de + \int_{A+A_0}^C (h-ke)^2 de \right] \quad (3.212)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem nümerik olarak çözüldüğünde k'ya bağlı maliyet fonksiyonu,

$$J=2kA^2-2A+2k+\frac{2}{3k}-1 \quad (3.213)$$

şeklinde bulunur. Optimum genlik,

$$A=\frac{1}{2k} \quad (3.214)$$

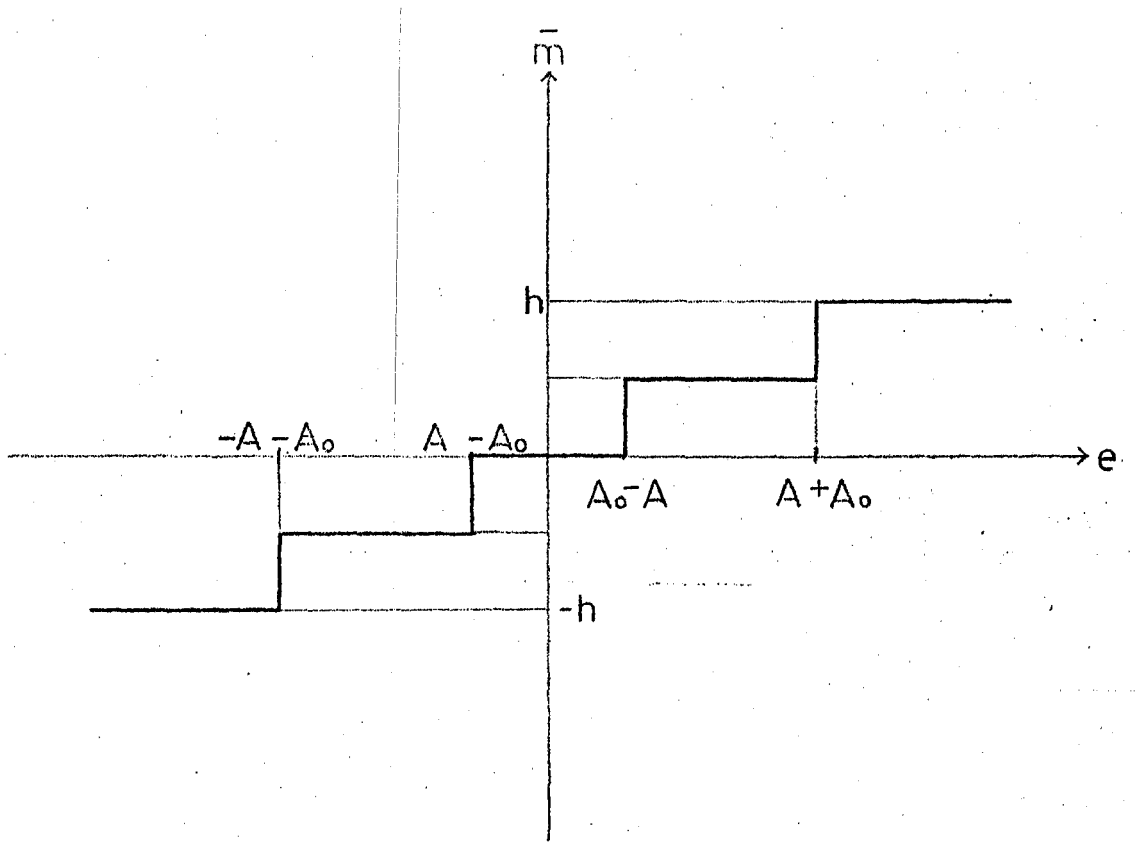
olarak bulunur. Optimum genlik K'ya değerler verilerek hesaplandığında aşağıdaki sonuçlar bulunur.

$$K=0.3 \text{ için } A^*=1.666$$

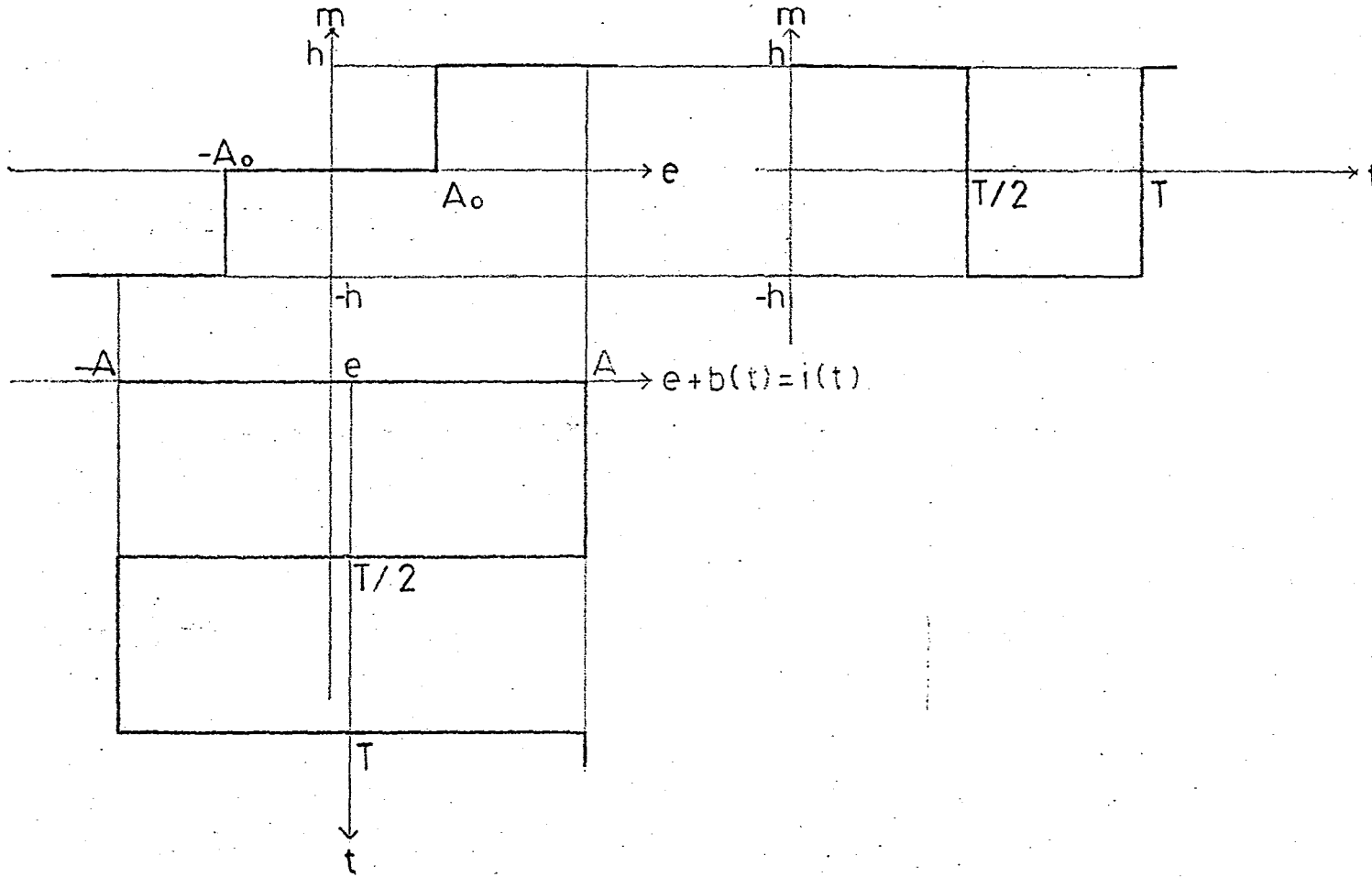
$$K=0.5 \text{ için } A^*=1 \quad (3.215)$$

$$K=0.7 \text{ için } A^*=0.714$$

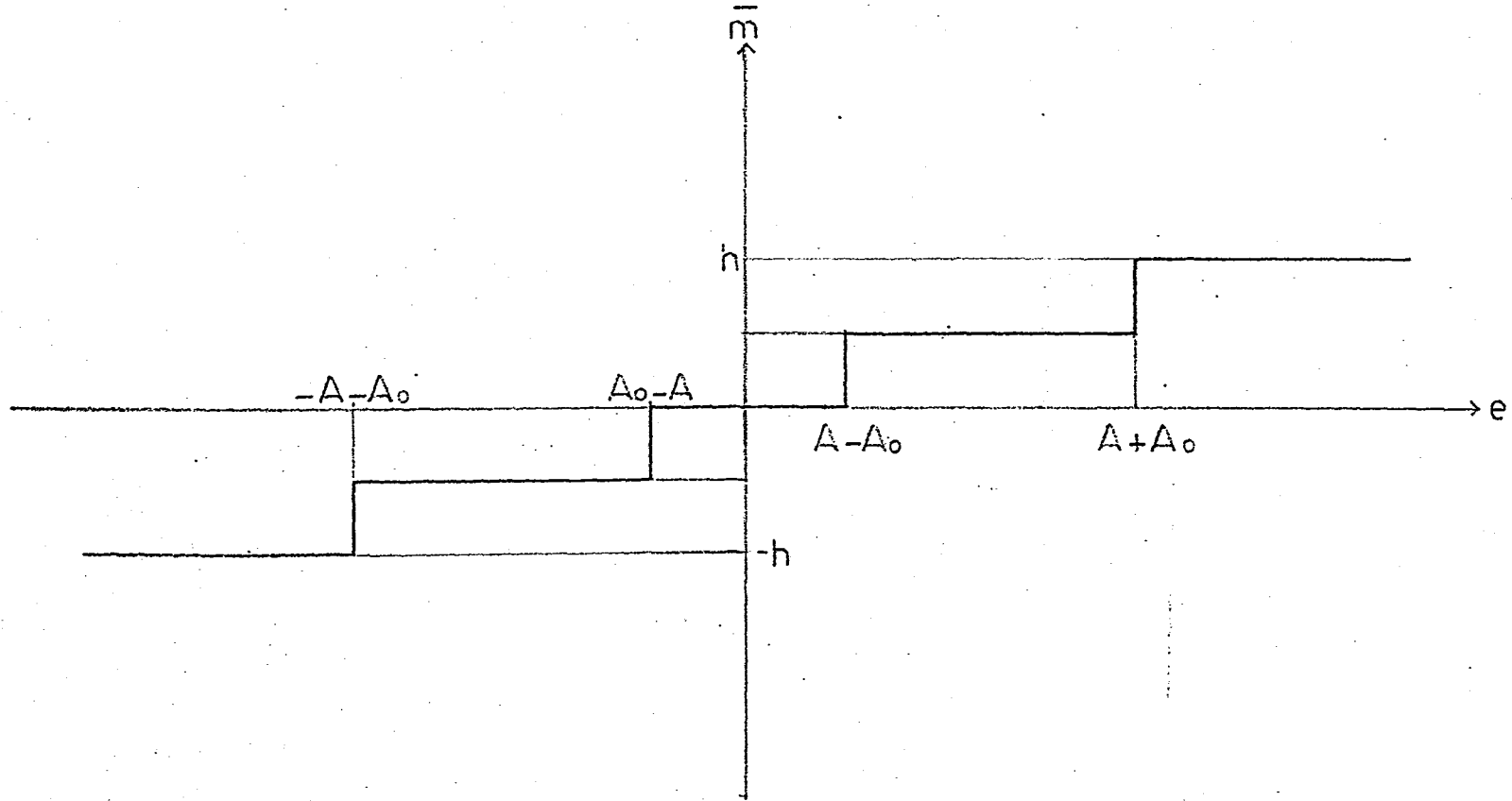
Burada, \bar{m} ortalama-e karakteristiğinin denklem 3.215'den $A^*=1.666$ alınarak çizimi şekil 3.54'de gösterilmiştir.



Şekil 3.52. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında m - e karakteristiği ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)



Şekil 3.53. Linear olmayan karakteristiğe kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikle bulunması ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)



Şekil 3.54. Kare şeklinde salınım sinyali uygulandığında \bar{m} - e karakteristiği ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)

3.4.3. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine : sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulanması

Bu kısımda da, karakteristiğe şekil 1.7 ve denklem 1.10'la ifade edilen salınım sinyali uygulanacaktır. Bu durumda, elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali, üç ayrı hal için incelenecek ve optimum genlik bilgisayara hesaplatılacaktır.

3.4.3.1. $|A_0| > |A|$ olması hali

Şekil 3.55'den görüleceği üzere çıkış sinyali

$$0 \leq t \leq T \text{ için } m(t)=0 \quad (3.216)$$

şeklinde ifade edilir. Filtre edilen çıkış sinyali, denklem 2.6'dan yararlanarak yazılıp, denklemin çözülmesiyle,

$$(A-A_0) \leq e \leq (A_0+A) \text{ için} \quad (3.217)$$

$$\bar{m}=0$$

olarak bulunur. Şekil 3.55'de e eksenini sağa doğru kaydırıldığında, e'nin $(e-A) \leq A_0$ ile $(e+A) \geq A_0$ aralığındaki değeri için çıkış sinyali,

$$\begin{aligned} 0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t) &= 0 \\ t_1 \leq t \leq t_2 \text{ için } m(t) &= h \\ t_2 \leq t \leq T \text{ için } m(t) &= 0 \end{aligned} \quad (3.218)$$

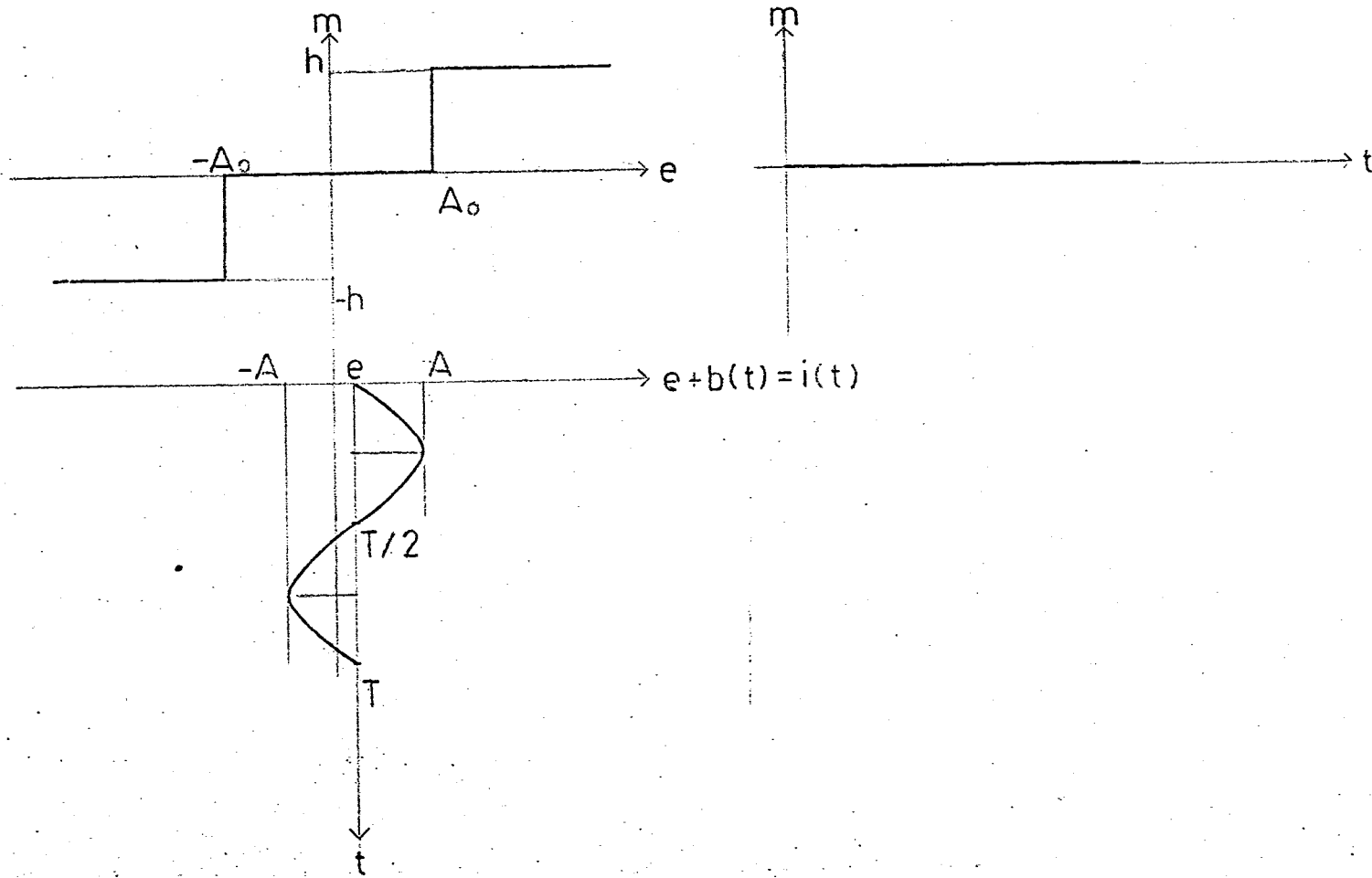
şeklinde ifade edilebilir. Böylece t_1 ve t_2 anları;

$$i(t_1) = e + A \sin \omega t_1 = A_0 \quad (3.219)$$

$$i(t_2) = \frac{T}{2} - i(t_1) \quad (3.220)$$

olmaktadır. Buradan t_1 ve t_2 anları çözümlerse,

$$t_1 = \frac{T}{2} \sin^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \quad (3.221)$$



Şekil 3.55. Lineer olmayan karakteristiğe sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer lineer olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($|A_0| > |A|$ olması hali)

$$t_2 = \frac{T}{2} - t_1 \quad (3.222)$$

olarak bulunur. e 'nin $(e-A) \leq A_0$ ile $(e+A) \geq A_0$ aralığında geçerli filtre edilen çıkış sinyali, denklem 2.6'dan,

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} h dt \quad (3.223)$$

şeklinde yazılabilir. Denklemin çözülmesiyle,

$$(A_0 - A) \leq e \leq (A + A_0) \text{ için}$$

$$\bar{m} = \frac{h}{2} \left[1 - \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.224)$$

elde edilir. e 'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için salınım sinyali, m 'nin hep "+h" değerine eşit bölgede kalmaktadır. Bu nedenle sonuç, 3.192 denklemi gibidir. Bulunan 3.217, 3.224 ve 3.192 denklemlerinden yararlanarak \bar{m} ortalamasının, e giriş sinyaline göre çizimi, şekil 3.56'da gösterilmiştir.

3.4.3.2. $2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali

Şekil 3.57'den görüleceği üzere çıkış sinyali,

$$0 \leq t \leq t_1 \text{ için } m(t) = 0$$

$$t_1 \leq t \leq t_2 \text{ için } m(t) = h$$

$$t_2 \leq t \leq t_3 \text{ için } m(t) = 0 \quad (3.225)$$

$$t_3 \leq t \leq t_4 \text{ için } m(t) = -h$$

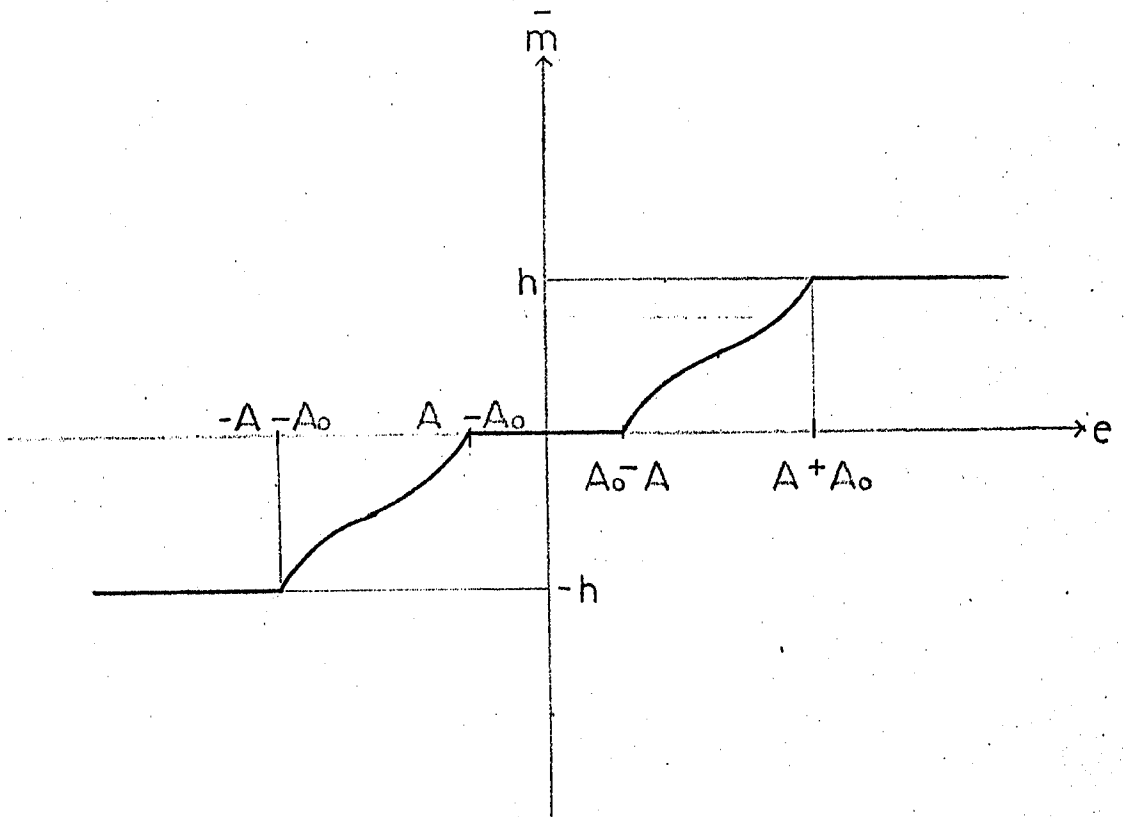
$$t_4 \leq t \leq T \text{ için } m(t) = 0$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece t_1 ve t_3 anları,

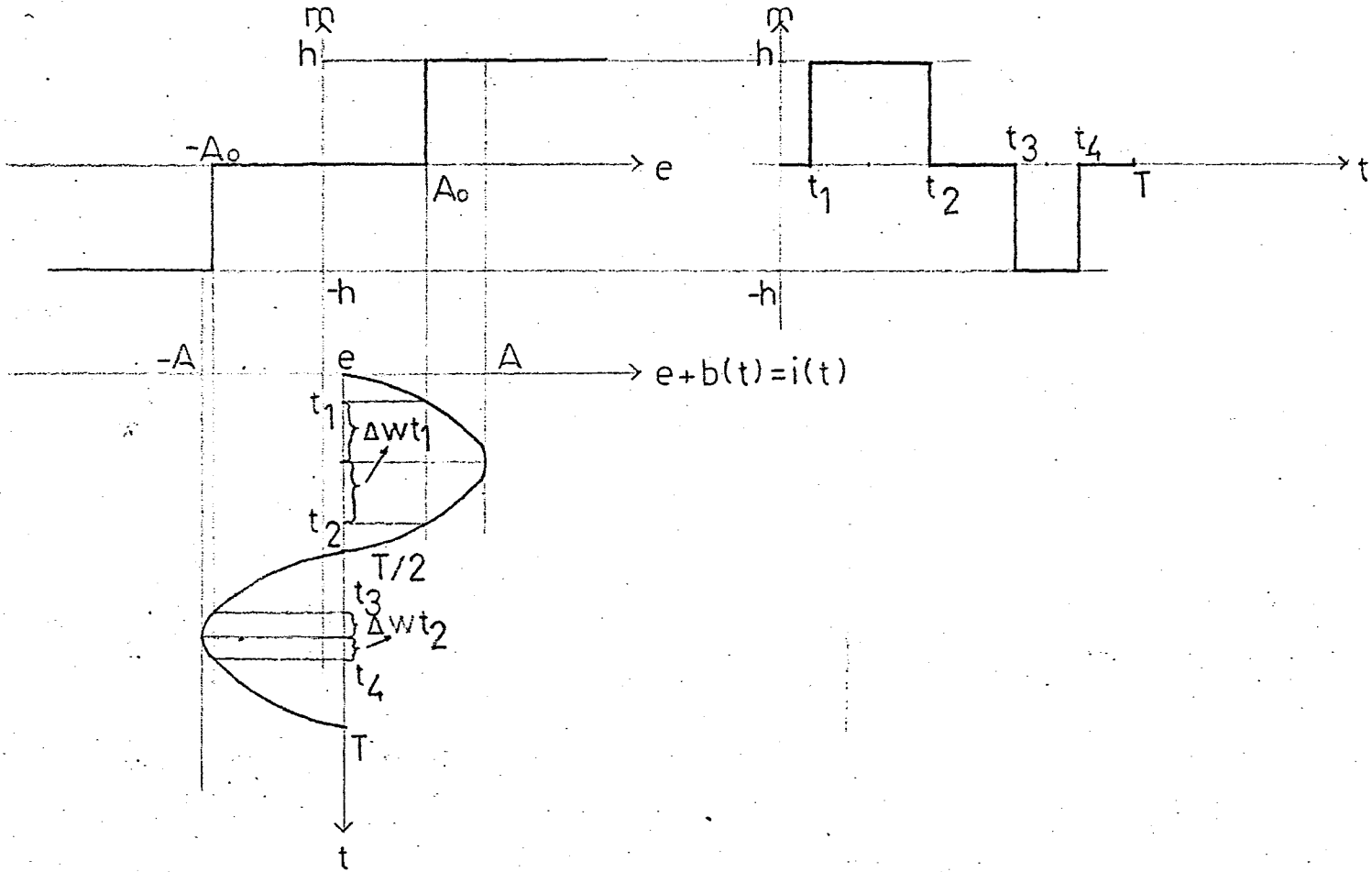
$$i(t_1) = e + A \sin\left(\frac{\pi}{2} - \Delta \omega t_1\right) = A_0 \quad (3.226)$$

$$i(t_3) = e + A \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \Delta \omega t_2\right) = -A_0 \quad (3.227)$$

olmaktadır. Buradan şekil 3.57'de gösterilen $\Delta \omega t_1$ ve $\Delta \omega t_2$ çözümlerse,



Şekil 3.56. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında m - e karakteristiği ($|A_0| > |A|$ olması hali)



Şekil 3.57. Linear olmayan karakteristiğe sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)

$$\Delta wt_1 = \text{Cos}^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \quad (3.228)$$

$$\Delta wt_2 = \text{Cos}^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \quad (3.229)$$

olarak bulunur. Bu durumda t_1 , t_2 , t_3 ve t_4 anları,

$$t_1 = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{\Delta wt_1}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \text{Cos}^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.230)$$

$$t_2 = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{\Delta wt_1}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \text{Cos}^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.231)$$

$$t_3 = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} - \frac{\Delta wt_2}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} - \frac{1}{\pi} \text{Cos}^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right] \quad (3.232)$$

$$t_4 = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} + \frac{\Delta wt_2}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{3}{2} + \frac{1}{\pi} \text{Cos}^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right] \quad (3.233)$$

olarak bulunur. Bu denklemlerden faydalanarak, 2.6 denkleminde filtre edilen çıkış sinyali, aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{m} = \frac{1}{T} \left[\int_{t_1}^{t_2} h dt + \int_{t_3}^{t_4} (-h) dt \right] \quad (3.234)$$

Denklemin çözülmesiyle,

$(A_0 - A) \leq e \leq (A + A_0)$ için

$$\bar{m} = \frac{h}{\pi} \left[\text{Cos}^{-1} \frac{A_0 - e}{A} - \text{Cos}^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right] \quad (3.235)$$

elde edilir. e 'nin $(A - A_0)$ ile $(A + A_0)$ arasındaki değerleri için çıkış sinyali, e ekseninin sağa doğru kaydırılmasıyla aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$0 \leq t \leq t_1$ için $m(t) = 0$

$t_1 \leq t \leq t_2$ için $m(t) = h$

$t_2 \leq t \leq T$ için $m(t) = 0$

(3.236)

Burada t_1 anı yazılmak istenirse,

$$i(t_1) = e + A \sin\left(\frac{\pi}{2} - \Delta \omega t\right) = A_0 \quad (3.237)$$

şeklinde olmaktadır. Buradan $\Delta \omega t$ çözülürse,

$$\Delta \omega t = \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \quad (3.238)$$

olarak bulunur. Bu durumda t_1 ve t_2 anları,

$$t_1 = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{\Delta \omega t}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.239)$$

$$t_2 = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{\Delta \omega t}{\pi} \right] = \frac{T}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \right] \quad (3.240)$$

olarak hesaplanabilir. Bu denklemlerden faydalanarak filtre edilen çıkış sinyali 2.6 denkleminde,

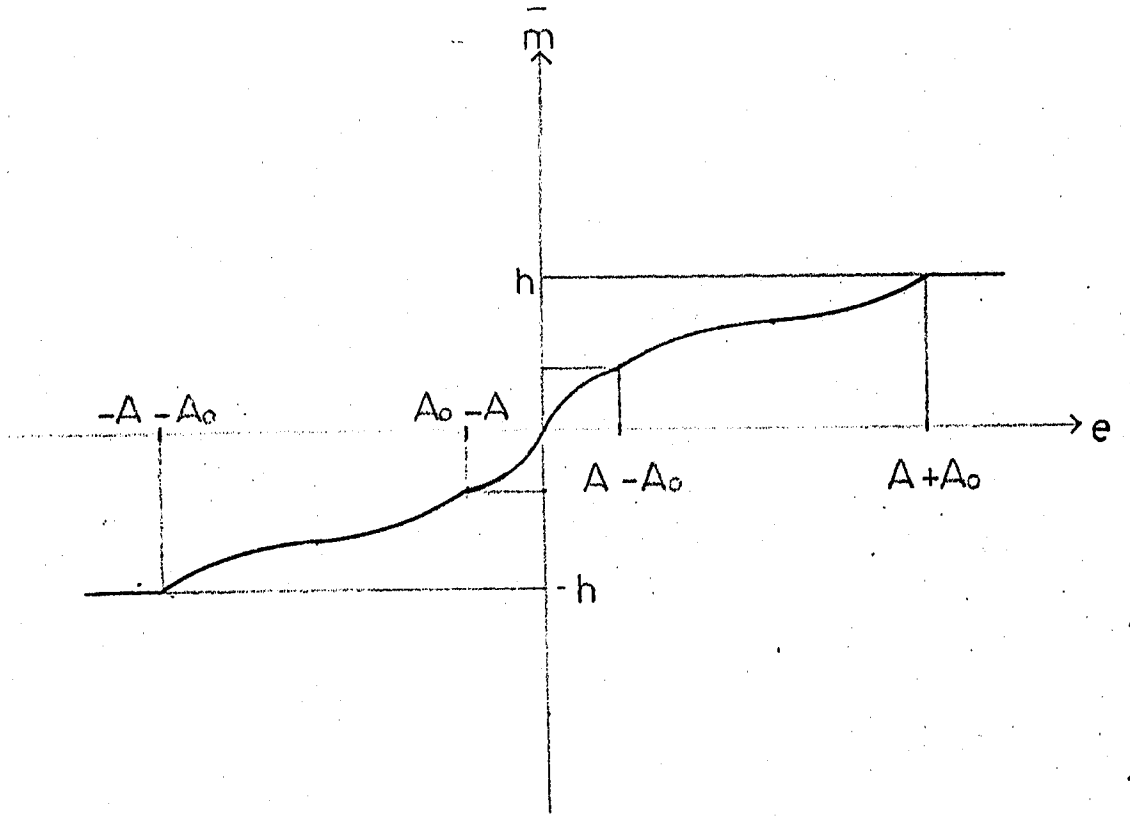
$$\bar{m} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} h dt \quad (3.241)$$

şekline yazılabilir. Bu denklemin çözülmesiyle, e 'nin $(A - A_0)$ 'dan büyük $(A + A_0)$ 'dan küçük değerleri için filtre edilen çıkış sinyali,

$$(A - A_0) \leq e \leq (A + A_0) \text{ için}$$

$$\bar{m} = \frac{h}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} \quad (3.242)$$

olarak bulunur. e 'nin $(A + A_0)$ 'dan büyük değerleri için salınım sinyali, m 'nin "+h" değerine eşit bölgede kalmaktadır. Dolayısıyla sonuç 3.192 denkleminin aynısıdır. Çıkartılan 3.235, 3.242 ve 3.192 denklemlerinden yararlanarak, \bar{m} ortalamasının, e giriş sinyaline göre çizimi şekil 3.58'de gösterilmiştir.



Şekil 3.58. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında m - e karakteristiği ($2|A_0| > |A| > |A_0|$ olması hali)

3.4.3.3. $|A| > 2|A_0|$ olması hali

Şekil 3.59'dan görüleceği üzere çıkış sinyali ($A_0 - A$) ile ($A - A_0$) aralığındaki değeri 3.225 denklemindeki gibidir. Sonuç olarak bu aralıkta filtre edilen çıkış sinyali 3.235 denkleminin aynısıdır. e 'nin ($A - A_0$) ile ($A + A_0$) değerleri arasında \bar{m} ortalama değeri, denklem 3.242'deki gibidir. e 'nin ($A + A_0$)'dan büyük değerleri için \bar{m} ortalama değeri de 3.192 denklemine eşittir.

Denklem 3.16'daki maliyet fonksiyonu 3.235, 3.242 ve 3.192 denklemlerinden faydalanarak yazıldığında,

$$J=2 \left\{ \int_0^{A-A_0} \left[\frac{h}{\pi} \left(\cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} - \cos^{-1} \frac{A_0 + e}{A} \right) - ke \right]^2 de + \int_{A-A_0}^{A+A_0} \left[\frac{h}{\pi} \cos^{-1} \frac{A_0 - e}{A} - ke \right]^2 de \right. \\ \left. + \int_{A+A_0}^C (h-ke)^2 de \right\} \quad (3.243)$$

şeklinde olur. Bu denklem nümerik olarak bilgisayar yardımıyla çözüldüğünde, K 'nin aldığı değerlere göre optimum genlikler aşağıda verilmiştir.

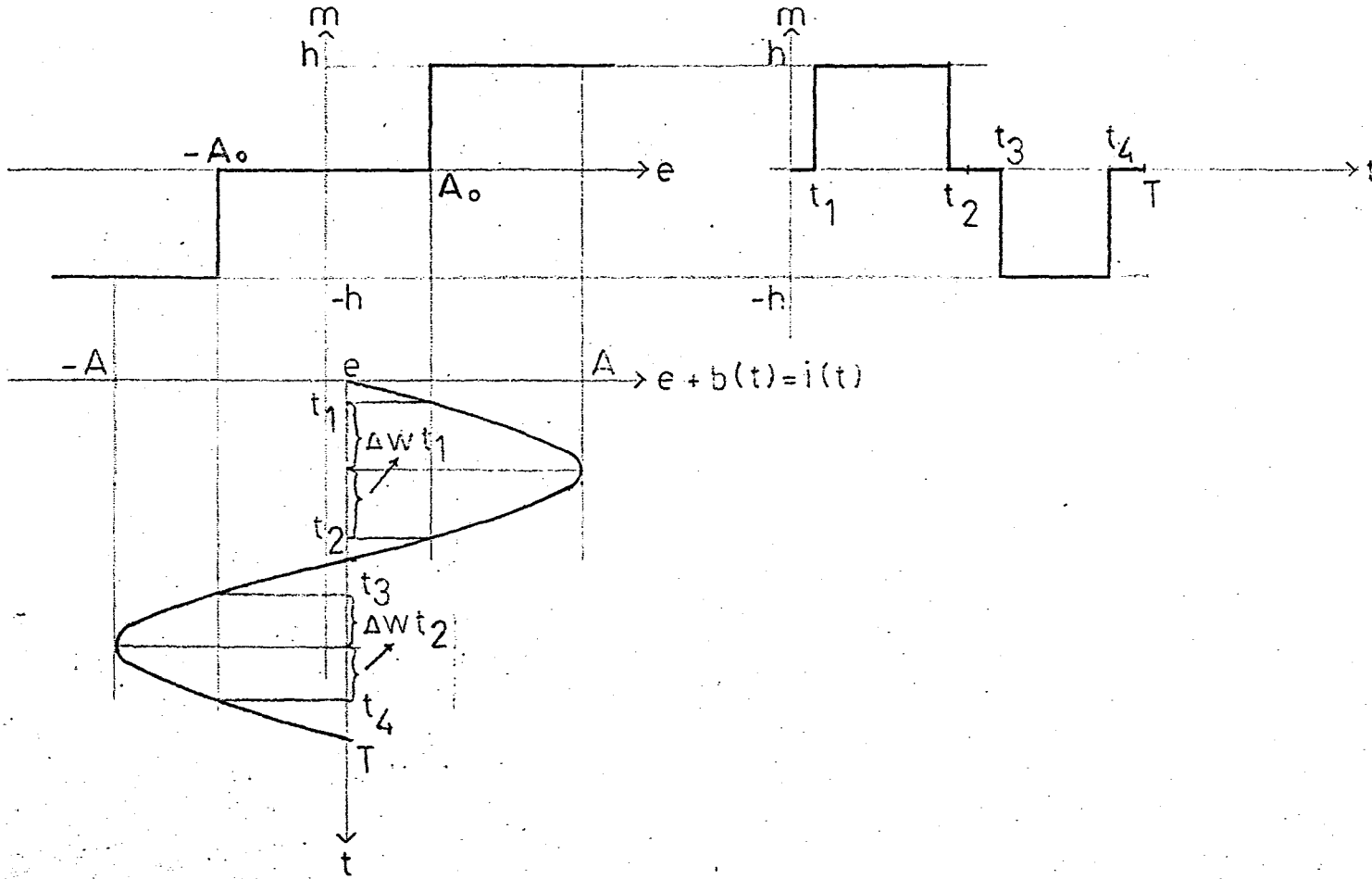
$$K=0.3 \text{ için } A^*=2.2$$

$$K=0.5 \text{ için } A^*=0.8$$

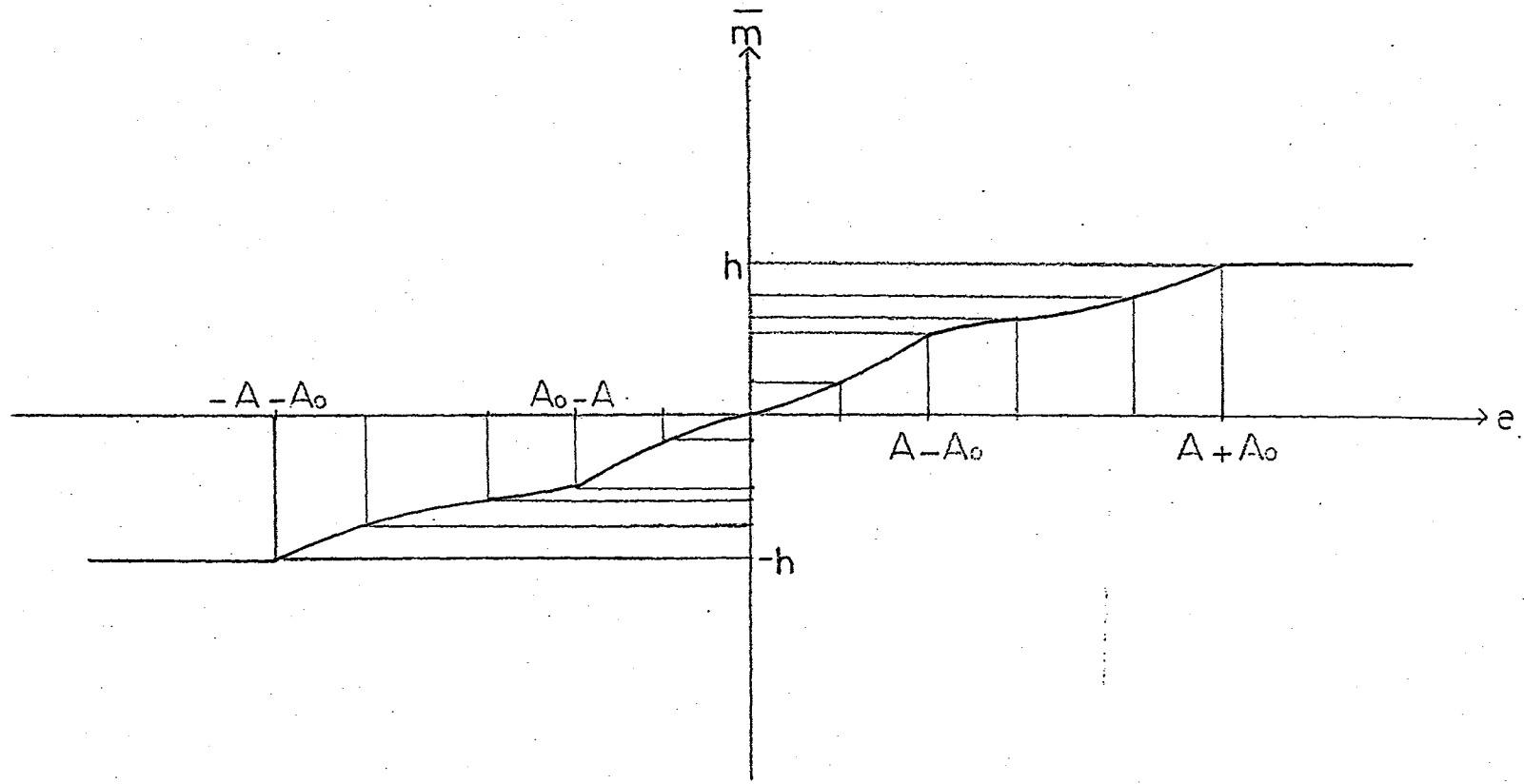
$$K=0.7 \text{ için } A^*=0.8$$

(3.244)

Burada, \bar{m} ortalama- e karakteristiğinin denklem 3.244'den $A^*=2.2$ alınarak çizimi şekil 3.60'da gösterilmiştir.



Şekil 3.59. Linear olmayan karakteristiğe sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında eşdeğer linear olmayan karakteristiğin grafikte bulunması ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)



Şekil 3.60. Sinüzoidal şekilde salınım sinyali uygulandığında m-e karakteristiği ($|A| > 2|A_0|$ olması hali)

4. LİNEER OLMAYAN KARAKTERİSTİKLERE POLİNOM UYDURARAK SALINIM SİNYALİNİN OPTİMUM ŞEKİL VE GENLİĞİNİN NÜMERİK METODLARLA BULUNMASI

Bu bölümde önce lineer olmayan karakteristiklere polinom (=eğri) uydurma metodu anlatılarak, denklem 1.4, 1.5, 1.6, 1.7'de belirtilen karakteristiklere bu metodla eğri uydurulacaktır. Uydurulan bu eğri üzerinde nümerik metodlar kullanılarak, herbir karakteristik için optimum salınım sinyalinin şekil ve genliği Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak bulunmaya çalışılacaktır. Ayrıca bulunan bu optimum salınım sinyali genlikleri, orijinal karakteristik üzerine uygulanacaktır.

4.1. Polinom Uydurma Metodu

Lineer olmayan karakterde m çıkış sinyali, e giriş sinyalinin belli bir aralıktaki değerleri için sürekli ve bütün türevleri sürekli olan bir fonksiyona bağlı ise, o aralıkta sonsuz kuvvet serisi şeklinde ifade edilebileceği 2.1 denklemleri ile belirtilmiştir. Aynı zamanda orijinden geçen ve orijine göre simetrik olan karakteristiklerin çift kuvvetli terimlerinin toplamı sıfır olduğundan, e giriş sinyalinin tek kuvvetlerini içeren bir polinomla ifade edilebileceği, 2.2 denklemleri ile belirtilmiştir.

Bu bölümde, simetrik şekilde tanımlanmış lineer olmayan karakteristiklere, 2.2 denklemleri dikkate alınarak beşinci dereceden bir polinom aşağıdaki şekilde uydurulacaktır.

$$m=c_1e+c_3e^3+c_5e^5 \quad (4.1)$$

Lineer olmayan karakteristik üzerinde seçilmiş olan noktaların cümlesi $(e_1, m_1), (e_2, m_2), (e_3, m_3), \dots, (e_n, m_n)$ olsun. Bu noktalara, m doğrultusunda denklem 4.1 ile ifade edilen en yakın polinom; c_1, c_3 ve c_5 katsayılarını bulmak için, her bir noktaya $W_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ ağırlığı verilerek aşağıdaki toplam meydana getirilir. Aynı zamanda bu toplamı minimum yapan katsayılar tayin edilir. Yani,

$$s = \sum_{i=1}^n W_i (c_1 e_i + c_3 e_i^3 + c_5 e_i^5 - m_i)^2 \quad (4.2)$$

yazılır. Bu toplamı minimum yapan c_1, c_3, c_5 değerlerini bulmak için, toplamın bu katsayılara göre kısmi türevleri alınır ve sıfıra eşitlenir.

$$\frac{\partial s}{\partial c_1} = \sum_{i=1}^n W_i 2e_i (c_1 e_i + c_3 e_i^3 + c_5 e_i^5 - m_i) = 0 \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial s}{\partial c_3} = \sum_{i=1}^n W_i 2e_i^3 (c_1 e_i + c_3 e_i^3 + c_5 e_i^5 - m_i) = 0$$

$$\frac{\partial s}{\partial c_5} = \sum_{i=1}^n W_i 2e_i^5 (c_1 e_i + c_3 e_i^3 + c_5 e_i^5 - m_i) = 0$$

Bu denklemler, c_1, c_3, c_5 katsayılarına göre çözümlenerek aşağıdaki denklem takımı elde edilir.

$$\begin{aligned} c_1 \sum_{i=1}^n W_i e_i^2 + c_3 \sum_{i=1}^n W_i e_i^4 + c_5 \sum_{i=1}^n W_i e_i^6 &= \sum_{i=1}^n W_i e_i m_i \\ c_1 \sum_{i=1}^n W_i e_i^4 + c_3 \sum_{i=1}^n W_i e_i^6 + c_5 \sum_{i=1}^n W_i e_i^8 &= \sum_{i=1}^n W_i e_i^3 m_i \\ c_1 \sum_{i=1}^n W_i e_i^6 + c_3 \sum_{i=1}^n W_i e_i^8 + c_5 \sum_{i=1}^n W_i e_i^{10} &= \sum_{i=1}^n W_i e_i^5 m_i \end{aligned} \quad (4.4)$$

4.4. denklemlerinden elde edilen c_1 , c_3 ve c_5 'in çarpanları bir P matrisinin elemanları, c_1 , c_3 ve c_5 bir C matrisinin ve eşitliğinin diğer tarafı bir F matrisinin elemanları olarak tanımlanırsa, yani

$$P = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n W_i e_i^2 & \sum_{i=1}^n W_i e_i^4 & \sum_{i=1}^n W_i e_i^6 \\ \sum_{i=1}^n W_i e_i^4 & \sum_{i=1}^n W_i e_i^6 & \sum_{i=1}^n W_i e_i^8 \\ \sum_{i=1}^n W_i e_i^6 & \sum_{i=1}^n W_i e_i^8 & \sum_{i=1}^n W_i e_i^{10} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_3 \\ c_5 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$F = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n W_i e_i^{m_i} \\ \sum_{i=1}^n W_i e_i^{3m_i} \\ \sum_{i=1}^n W_i e_i^{5m_i} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

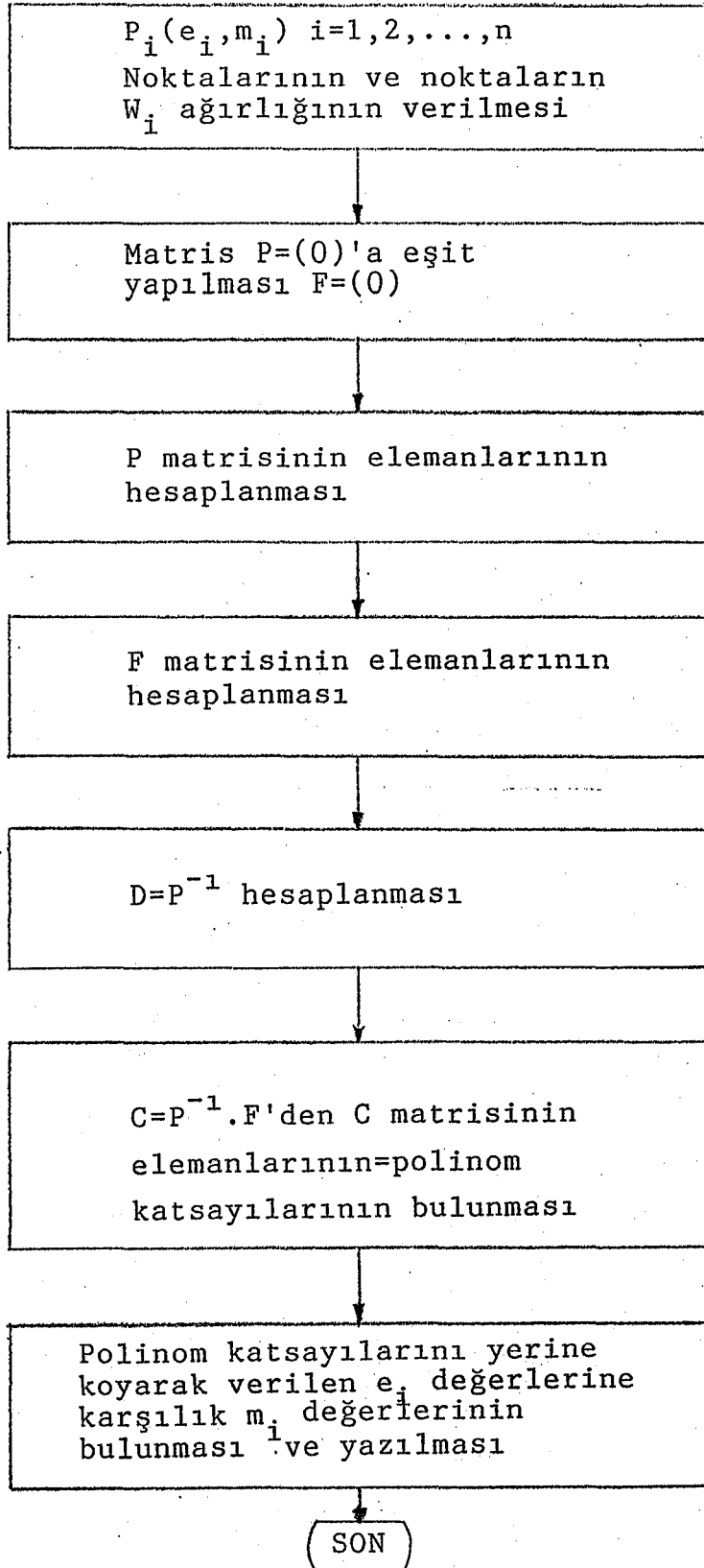
elde edilir. Buradan 4.4 denklem takımı tanımlanmış olan matrislerle ifade edilirse,

$$P.C = F \quad (4.8)$$

ve C matrisinin determinanti sıfır değil ise,

$$C = P^{-1}.F \quad (4.9)$$

elde edilir. Elde edilen bu denklemleri kullanarak yapılmış algoritim bundan sonraki sayfada gösterilmiştir. Bu algoritime göre hazırlanmış BASIC dilindeki program ise Ek-2'de sunulmuştur. Bu program lineer olmayan karakter-

En Uygun Polinomu Bulmak

ristiklere uygulanabilmesi için, karakteristiklere üçüncü bölümde bahsedilen nümerik değerler verilmiş ve işlemler o değerlere göre yürütülmüştür.

4.1.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği

Bu karakteristiğe, nümerik değerler verilerek, denklem 1.4 aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned} -\infty < e < 0 & \text{ için } m=-1 \\ 0 < e < +\infty & \text{ için } m=+1 \end{aligned} \quad (4.10)$$

4.10 denklemini ile tanımlanan lineer olmayan karakteristiğe uydurulan eğri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Eğri e'nin (0,+1.01) aralığındaki değerler için bulunmuştur.

5.DERECEDEKİ POLİNOM UYDURMAK:

<u>E(I)</u>	<u>M(I)</u>	<u>W(I)</u>
0.01	1	1
0.03	1	1
0.05	1	1
0.07	1	1
0.08	1	1
0.1	1	1
0.15	1	1
0.2	1	1
0.25	1	1
0.3	1	1
0.35	1	1
0.4	1	1
0.45	1	1
0.5	1	1
0.55	1	1
0.6	1	1
0.65	1	1
0.7	1	1
0.75	1	1
0.8	1	1
0.85	1	1
0.9	1	1
0.95	1	1
1	1	1
1.01	1	1

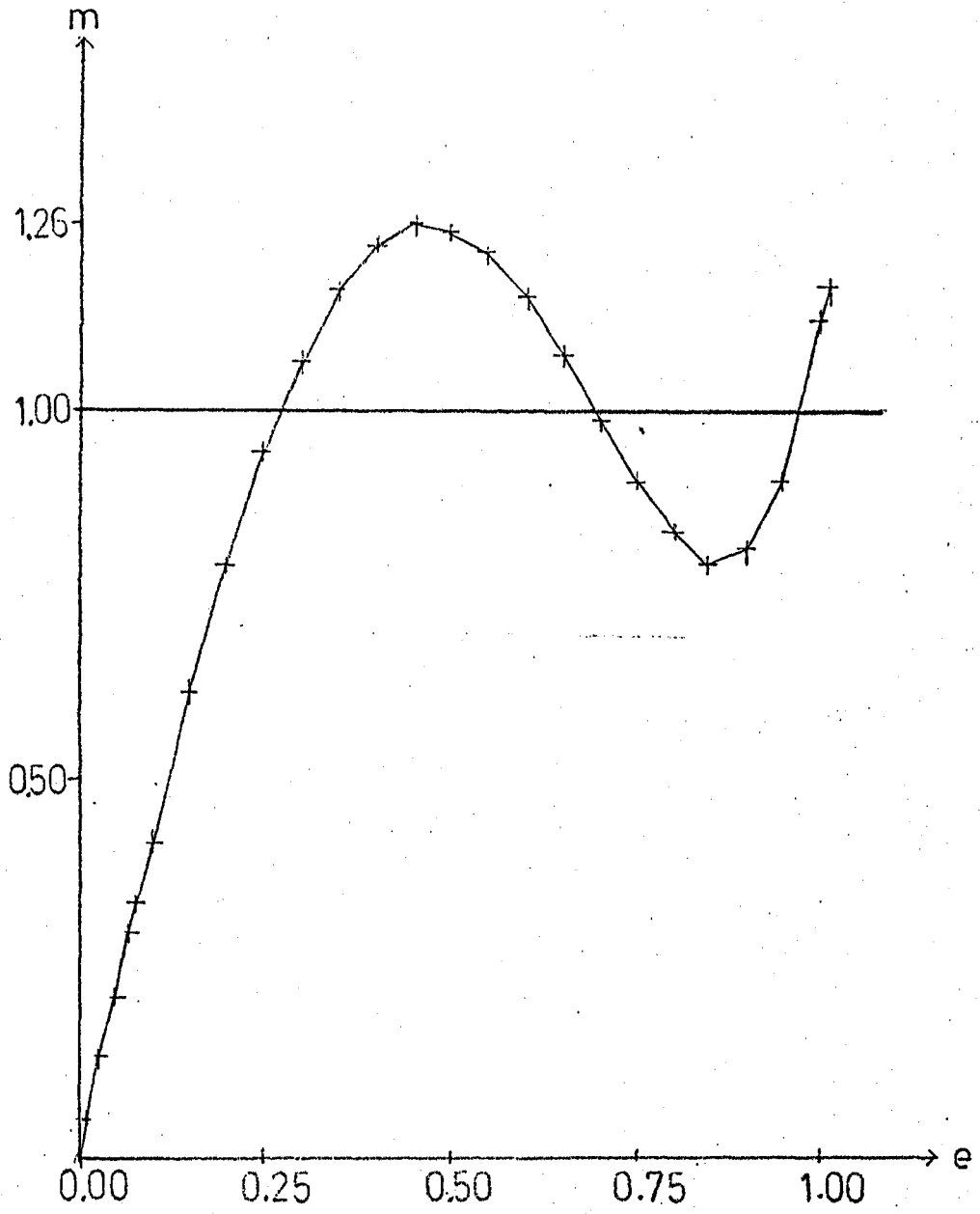
C MATRISI POLINOM KATSAYILARINI VERIR;

C-MATRISI

4.28861393
-8.43279624
5.25818187

UYDURULAN POLINOMUN NOKTALARI ASAGIDADIR:

<u>I</u>	<u>E(I)</u>	<u>M(I)</u>
1	0.01	0.042877707
2	0.03	0.12843086
3	0.05	0.21337824
4	0.07	0.297319364
5	0.08	0.338788753
6	0.1	0.420481179
7	0.15	0.615230696
8	0.2	0.791943034
9	0.25	0.945525985
10	0.3	1.07167606
11	0.35	1.16707569
12	0.4	1.2295904
13	0.45	1.25846596
14	0.5	1.25452562
15	0.55	1.22036726
16	0.6	1.16056059
17	0.65	1.0818443
18	0.7	0.993323269
19	0.75	0.90666574
20	0.8	0.836300504
21	0.85	0.79961408
22	0.9	0.817147891
23	0.95	0.912795453
24	1	1.11399956
25	1.01	1.16958366



Şekil 4.1. Lineer olmayan karakteristiğe uydurulan polinom şekli

4.1.2. Doyma eğrisi

Denklem 1.5'le ifade edilen karakteristiğe nümerik değerler verildiğinde aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$-\infty < e < -1 \text{ için } m=-1$$

$$-1 < e < +1 \text{ için } m=e \quad (4.11)$$

$$+1 < e < +\infty \text{ için } m=+1$$

Bu karakteristiğe uydurulan eğrinin, e'nin (0,+2.4) aralığındaki değerleri için çizimi, Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

5.DERECEDEDEN POLINOM UYDURMAK:

<u>E(I)</u>	<u>M(I)</u>	<u>W(I)</u>
0	0	1
0.1	0.1	1
0.2	0.2	1
0.3	0.3	1
0.4	0.4	1
0.5	0.5	1
0.6	0.6	1
0.7	0.7	1
0.8	0.8	1
0.9	0.9	1
1	1	1
1.1	1	1
1.2	1	1
1.3	1	1
1.4	1	1
1.5	1	1
1.6	1	1
1.7	1	1
1.8	1	1
1.9	1	1
2	1	1
2.1	1	1
2.2	1	1
2.3	1	1
2.4	1	1

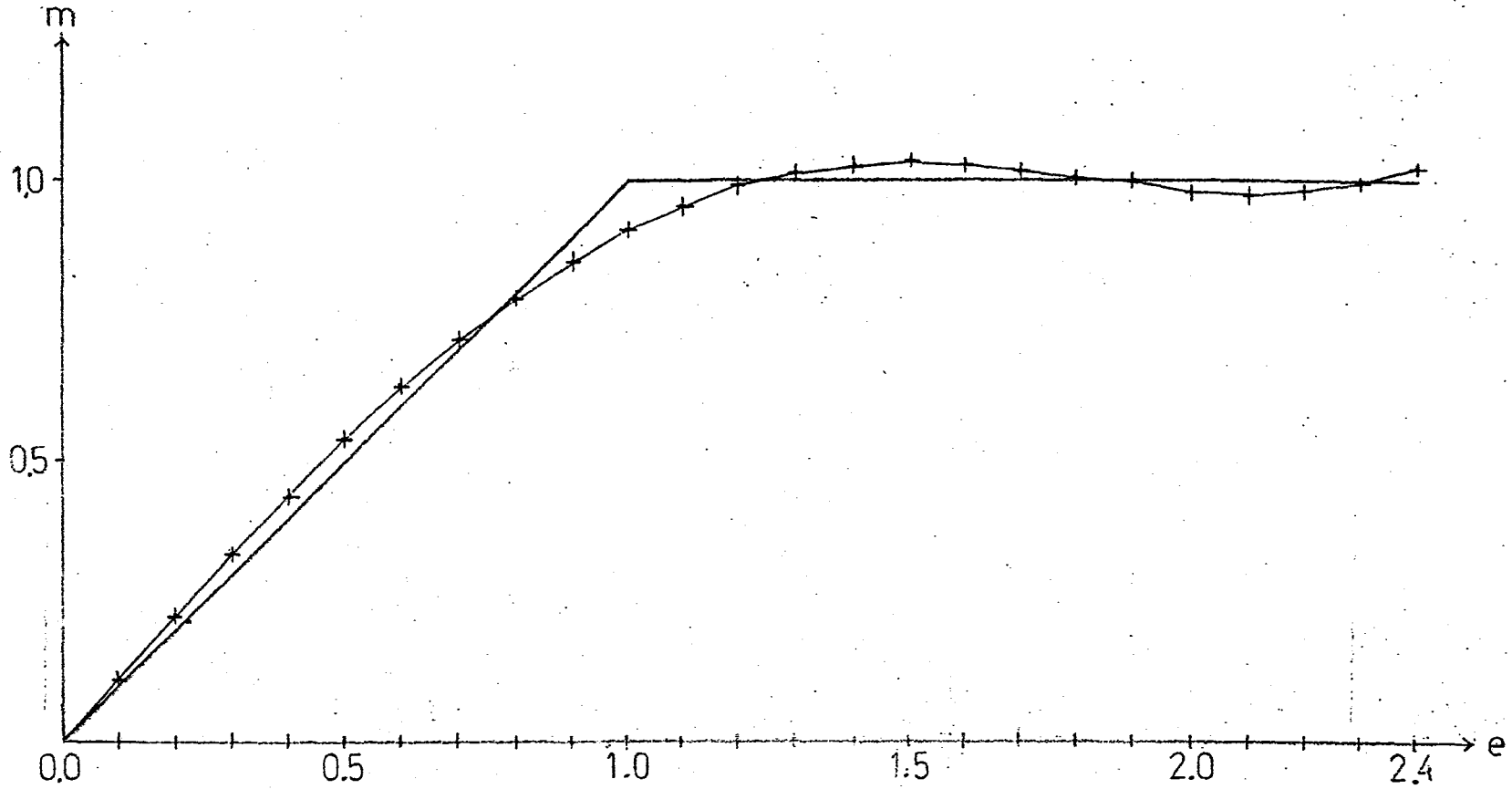
C MATRISI POLINOM KATSAYILARINI VERIR;

C-MATRISI

1.13553548
 -0.247001246
 0.02153796

UYDURULAN POLINOMUN NOKTALARI ASAGIDADIR:

<u>I</u>	<u>E(I)</u>	<u>M(I)</u>
1	0	0
2	0.1	0.113306762
3	0.2	0.225137978
4	0.3	0.334043947
5	0.4	0.43862666
6	0.5	0.537565645
7	0.6	0.62964381
8	0.7	0.713773293
9	0.8	0.789021304
10	0.9	0.854635973
11	1	0.910072193
12	1.1	0.955017468
13	1.2	0.989417759
14	1.3	1.01350332
15	1.4	1.02781457
16	1.5	1.0332279
17	1.6	1.03098154
18	1.7	1.02270143
19	1.8	1.010427
20	1.9	0.996637079
21	2	0.984275714
22	2.1	0.976778011
23	2.2	0.978095989
24	2.3	0.992724429
25	2.4	1.02572671



Şekil 4.2. Lineer olmayan karakteristiğe uydurulan polinom şekli

4.1.3. İdeal ölü bölge karakteristiği

Denklem 1.6'da ifade edilen karakteristiğe, nümerik değerler verildiğinde aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$-\infty < e < -1 \text{ için } m=1-e$$

$$-1 < e < +1 \text{ için } m=0 \quad (4.12)$$

$$+1 < e < +\infty \text{ için } m=e-1$$

Bu karakteristiğe uydurulan eğrinin, e'nin (0,+2.4) aralığındaki değerleri için çizimi, Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

5.DERECE DEN POLINOM UYDURMAK:

<u>E(I)</u>	<u>M(I)</u>	<u>W(I)</u>
0.1	0	1
0.2	0	1
0.3	0	1
0.4	0	1
0.5	0	1
0.6	0	1
0.7	0	1
0.8	0	1
0.9	0	1
1	0	1
1.05	0.05	1
1.1	0.1	1
1.2	0.2	1
1.3	0.3	1
1.4	0.4	1
1.5	0.5	1
1.6	0.6	1
1.7	0.7	1
1.8	0.8	1
1.9	0.9	1
2	1	1
2.1	1.1	1
2.2	1.2	1
2.3	1.3	1
2.4	1.4	1

C MATRISI POLINOM KATSAYILARINI VERIR;

C-MATRISI

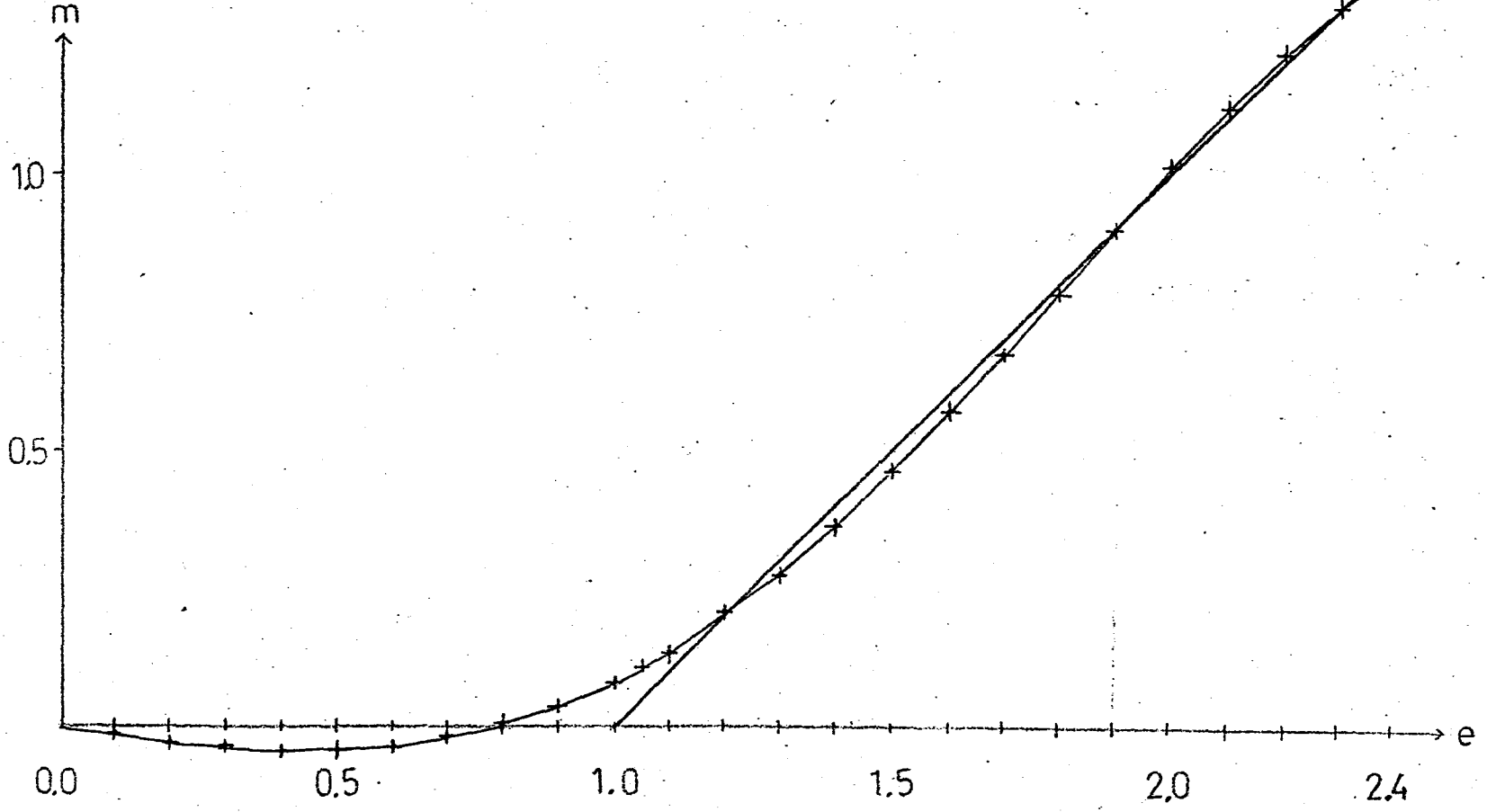
-0.146240301

0.251992233

-2.20923E-02

UYDURULAN POLINOMUN NOKTALARI ASAGIDADIR:

<u>I</u>	<u>E(I)</u>	<u>M(I)</u>
1	0.1	-1.43723E-02
2	0.2	-0.027239192
3	0.3	-3.71220E-02
4	0.4	-4.25948E-02
5	0.5	-4.23115E-02
6	0.6	-3.50318E-02
7	0.7	-1.96479E-02
8	0.8	4.78859E-03
9	0.9	3.90408E-02
10	1	8.36597E-02
11	1.05	0.109964257
12	1.1	0.138957536
13	1.2	0.204981621
14	1.3	0.281487553
15	1.4	0.367912825
16	1.5	0.463350285
17	1.6	0.566521637
18	1.7	0.675750922
19	1.8	0.78893801
20	1.9	0.903532088
21	2	1.01650515
22	2.1	1.12432549
23	2.2	1.22293119
24	2.3	1.3077036
25	2.4	1.37344083



Şekil 4.3. Linear olmayan karakteristiğe uydurulan polinom şekli

4.1.4. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiği

Denklem 1.7'de ifade edilen karakteristiğe nümerik değerler verildiğinde aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$\begin{aligned}
 -\infty < e < -1 & \text{ için } m=-1 \\
 -1 < e < +1 & \text{ için } m=0 \\
 +1 < e < +\infty & \text{ için } m=+1
 \end{aligned} \tag{4.13}$$

Bu karakteristiğe uydurulan eğrinin, e'nin (0,+2.2) aralığındaki değerleri için çizimi, Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

5.DERECEDEKİ POLİNOM UYDURMAK:

<u>E(I)</u>	<u>M(I)</u>	<u>W(I)</u>
0.1	0	1
0.2	0	1
0.3	0	1
0.4	0	1
0.5	0	1
0.6	0	1
0.7	0	1
0.8	0	1
0.9	0	1
1	0.5	1
1.2	1	1
1.4	1	1
1.6	1	1
1.8	1	1
2	1	1
2.1	1	1
2.2	0.5	1

C MATRISI POLINOM KATSAYILARINI VERIR;

C-MATRISI

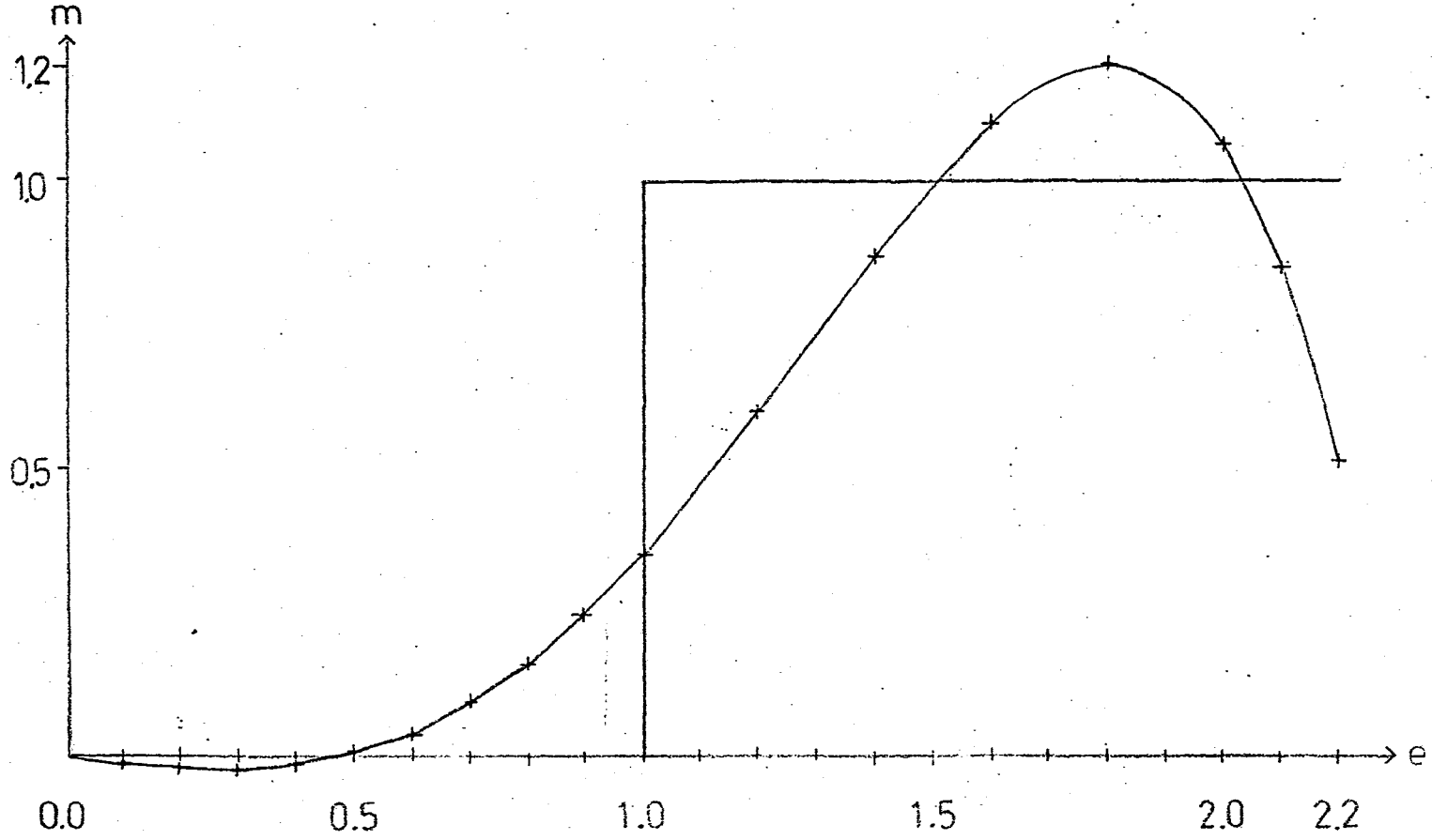
-0.131241221

0.59386389

-0.107081876

UYDURULAN POLINOMUN NOKTALARI ASAGIDADIR:

<u>I</u>	<u>E(I)</u>	<u>M(I)</u>
1	0.1	-0.012531329
2	0.2	-2.15316E-02
3	0.3	-2.35983E-02
4	0.4	-1.55857E-02
5	0.5	5.26607E-03
6	0.6	4.12032E-02
7	0.7	9.38292E-02
8	0.8	0.163976746
9	0.9	0.2515789
10	1	0.355540793
11	1.2	0.602253362
12	1.4	0.869912774
13	1.6	1.09964568
14	1.8	1.20379514
15	2	1.06180864
16	2.1	0.850834947
17	2.2	0.516126175



Şekil 4.4. Lineer olmayan karakteristiğe uydurulan polinom şekli

4.2. Gradient Metodu Kullanarak Salınım Sinyalindeki Fourier Katsayılarının Optimum Değerlerinin Bulunması

Maliyet fonksiyonunun; yalnız salınım sinyalinin fonksiyonu olarak düşünülebildiği, denklem 2.11'de ifade edilmişti. Aynı zamanda salınım sinyalinin bir periyod boyunca Fourier serisine açılabilirdiği de denklem 2.14'de ifade edilmişti. Burada salınım sinyalinin tek fonksiyon olması halinde, yani

$$b(-t) = -b(t) \quad (4.14)$$

durumunda, salınım sinyali sadece sinüzoidal terimleri içine alır. Dolayısıyla,

$$0 < t < T \text{ için } b(t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cdot \text{Sinnwt} \quad (4.15)$$

şeklinde ifade edilir. Salınım sinyali, e giriş sinyali eklendiğinde,

$$m = e + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cdot \text{Sinnwt} \quad (4.16)$$

olur. Bu durumda sisteme uygulanan salınım sinyali, Fourier serisinden ilk beş terimle ifade edildiğinde aşağıdaki şekilde oluşur.

$$b(t) = b_1 \text{Sinwt} + b_2 \text{Sin2wt} + b_3 \text{Sin3wt} + b_4 \text{Sin4wt} + b_5 \text{Sin5wt} \quad (4.17)$$

Buradan Fourier katsayılarının optimum değerlerini verecek denklem takımı bulunmak istenilirse, salınım sinyali kullanılmış \bar{m} ortalama çıkış sinyali, denklem 4.1'den faydalanaarak,

$$\bar{m} = \frac{C_1}{T_0} \int_0^T (e+b(t)) dt + \frac{C_3}{T} \int_0^T (e+b(t))^3 dt + \frac{C_5}{T} \int_0^T (e+b(t))^5 dt \quad (4.18)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemden salınım sinyali çözülmek istenirse,

$$\begin{aligned} \bar{m} = & \frac{C_1}{T} \int_0^T (e+b(t)) dt + \frac{C_3}{T} \int_0^T [e^3 + 3e^2 b(t) + 3eb(t)^2 + b(t)^3] dt \\ & + \frac{C_5}{T} \int_0^T [e^5 + 5e^4 b(t) + 10e^3 b(t)^2 + 10e^2 b(t)^3 + 5eb(t)^4 + b(t)^5] dt \quad (4.19) \end{aligned}$$

ifadesini çözmek gerekir. $b(t)$ salınım sinyalinin tek ve ortalama değerinin bir periyod boyunca integrali sıfır olduğundan denklem 4.19,

$$\begin{aligned} \bar{m} = & \frac{C_1}{T} \int_0^T e dt + \frac{C_3}{T} \int_0^T [e^3 + 3e b(t)^2] dt \\ & + \frac{C_5}{T} \int_0^T [e^5 + 10e^3 b(t)^2 + 5eb(t)^4] dt \quad (4.20) \end{aligned}$$

şeklini alır. Bu denklem çözüldüğünde, \bar{m} ortalama çıkış sinyali,

$$\begin{aligned} \bar{m} = & c_5 e^5 + [c_3 + 5c_5 (b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + b_4^2 + b_5^2)] e^3 \\ & + \left\{ c_1 + \frac{3}{2} c_3 (b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + b_4^2 + b_5^2) + \frac{15}{8} c_5 [b_1^4 + b_2^4 + b_3^4 + b_4^4 + b_5^4 \right. \\ & + 4(b_1^2 b_2^2 + b_1^2 b_3^2 + b_1^2 b_5^2 + b_2^2 b_3^2 + b_2^2 b_4^2 + b_2^2 b_5^2 + b_3^2 b_4^2 + b_1^2 b_4^2 \\ & + b_3^2 b_5^2 + b_4^2 b_5^2 + b_1 b_2^2 b_3 + b_1 b_3^2 b_5 + b_2 b_3^2 b_4 + b_3 b_4^2 b_5 \\ & + 2(b_1 b_2 b_3 b_4 + b_1 b_2 b_4 b_5 + b_2 b_3 b_4 b_5)) - 4(b_1^2 b_2 b_4 \\ & \left. + b_1^2 b_3 b_5 + b_1 b_2^2 b_5 + \frac{1}{3} b_1^3 b_3) \right\} e \quad (4.21) \end{aligned}$$

şeklinde elde edilir. Fourier katsayılarını değiştirerek istenilen lineer karakteristiğe en yakın karakteristik 2.18 denkleminde faydalanarak bulunabilir. Bu durumda maliyet fonksiyonu Fourier katsayılarının ilk beşinin yeni b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 'in fonksiyonu olarak yazılmış olur. Yani 2.19 denkleminde,

$$J=J(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5) \quad (4.22)$$

haline gelir. Maliyet fonksiyonu bu katsayılara göre minimum yapılmak istenirse, Taylor serisi açılımından faydalanabilir veya 2.23 denkleminde,

$$\delta J = \sum_{i=1}^5 \frac{\partial J}{\partial b_i} \delta b_i + \text{Diğer terimler} \quad (4.23)$$

yazılır. Burada kısma türevler 2.24 denkleminde verilen ifadelere eşittir. Yani $i=1,2,3,4,5$ için,

$$\frac{\partial J}{\partial b_i} = 2 \int_{e_{\min}}^{e_{\max}} (\bar{m} - eK) \frac{\partial \bar{m}}{\partial b_i} de = 0 \quad (4.24)$$

olur. Başlangıçta b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 'e tahmini değerler verilip, bu değerlerde maliyet fonksiyonunun kısmi türevleri hesap ettirilir. Bu türevlerin beşinci dereceden polinomlar için hesabı; 2.18 denkleminde tanımlanan maliyet fonksiyonunda, e_{\min} ve e_{\max} değerleri aşağıdaki gibi E gerçek bir pozitif sayı olmak üzere,

$$\begin{aligned} e_{\min} &= -E \\ e_{\max} &= +E \\ J &= \int_{-E}^{+E} (\bar{m} - eK)^2 de \end{aligned} \quad (4.25)$$

şeklinde yazılır. Bu denklemin sabit bir K eğimi için minimize edilmesi gerekir. 4.24 denkleminde yararlanmak için aşağıdaki kısmi türevler hesaplanır.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{m}}{\partial b_1} &= 10C_5 b_1 e^3 + \left\{ 3C_3 b_1 + \frac{15}{2} C_5 [b_1^3 + b_2^2 b_3 + b_3^2 b_5 \right. \\ &\quad \left. - (b_1^2 b_3 + b_2^2 b_5)] + 15C_5 [b_1 b_2^2 + b_1 b_3^2 + b_1 b_4^2 + b_1 b_5^2 \right. \\ &\quad \left. + b_2 b_3 b_4 + b_2 b_4 b_5 - (b_1 b_2 b_4 + b_1 b_3 b_5)] \right\} e \\ \frac{\partial \bar{m}}{\partial b_2} &= 10C_5 b_2 e^3 + \left\{ 3C_3 b_2 + \frac{15}{2} C_5 [b_2^3 + b_3^2 b_4 - b_1^2 b_4] \right. \\ &\quad \left. + 15C_5 [b_1^2 b_2 + b_2 b_3^2 + b_2 b_4^2 + b_2 b_5^2 + b_1 b_2 b_3 \right. \\ &\quad \left. + b_1 b_3 b_4 + b_1 b_4 b_5 + b_3 b_4 b_5 - b_1 b_2 b_5] \right\} e \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{m}}{\partial b_3} = & 10C_5 b_3 e^3 + \left\{ 3C_3 b_3 + \frac{15}{2} C_5 [b_3^3 + b_1 b_2^2 + b_4^2 b_5 \right. \\ & \left. - (b_1^2 b_5 + \frac{1}{3} b_1^3)] + 15C_5 [b_1^2 b_3 + b_2^2 b_3 + b_3 b_4^2 \right. \\ & \left. + b_3 b_5^2 + b_1 b_2 b_4 + b_1 b_3 b_5 + b_2 b_3 b_4 + b_2 b_4 b_5] \right\} e \end{aligned} \quad (4.26)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{m}}{\partial b_4} = & 10C_5 b_4 e^3 + \left\{ 3C_3 b_4 + \frac{15}{2} C_5 [b_4^3 + b_2 b_3^2 - b_1^2 b_2] \right. \\ & \left. + 15C_5 [b_1^2 b_4 + b_2^2 b_4 + b_3^2 b_4 + b_4 b_5^2 + b_1 b_2 b_3 \right. \\ & \left. + b_1 b_2 b_5 + b_2 b_3 b_5 + b_3 b_4 b_5] \right\} e \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{m}}{\partial b_5} = & 10C_5 b_5 e^3 + \left\{ 3C_3 b_5 + \frac{15}{2} C_5 [b_5^3 + b_1 b_3^2 + b_3 b_4^2 \right. \\ & \left. - (b_1^2 b_3 + b_1 b_2^2)] + 15C_5 [b_1^2 b_5 + b_2^2 b_5 + b_3^2 b_5 + b_4^2 b_5 \right. \\ & \left. + b_1 b_2 b_4 + b_2 b_3 b_4] \right\} e \end{aligned}$$

Görüldüğü gibi 4.24 denklemlerini analitik olarak çözmek, bu yoldan gidildiğinde hemen hemen imkansızdır. Ancak, 4.24 denklemleri için genel bir takım denklem dizisi aşağıdaki şekilde yazılabilir. Bunlardan $(\bar{m}-eK)$ için olanı,

$$\bar{m}-eK = a_1 e + a_3 e^3 + a_5 e^5 \quad (4.27)$$

şeklinde, $\frac{\partial \bar{m}}{\partial b_i}$ için olanı ise,

$$\frac{\partial \bar{m}}{\partial b_i} = d_{1i} e + d_{3i} e^3 \quad (i=1,2,3,4,5 \text{ için}) \quad (4.28)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada yine $e_{\min} = -E$ ve $e_{\max} = E$ olması şartıyla, 4.24 denklemleri,

$$\frac{\partial J}{\partial b_i} = \int_{-E}^{+E} (\bar{m} - eK) \frac{\partial \bar{m}}{\partial b_i} de = \int_{-E}^{+E} [a_1 d_{1i} e^2 + (a_1 d_{3i} + d_{1i} a_3) e^4 + (a_3 d_{3i} + d_{1i}) e^6 + d_{3i} e^8] de = 0$$

veya

$$\frac{\partial J}{\partial b_i} = 2 \cdot \left[\frac{a_1 d_{1i}}{3} E^3 + \frac{a_1 d_{3i} + d_{1i} a_3}{5} E^5 + \frac{a_3 d_{3i} + d_{1i}}{7} E^7 + \frac{d_{3i}}{9} E^9 \right] = 0 \quad (4.29)$$

şeklinde olacaktır. Buradan $i=1,2,3,4,5$ için,

$$\frac{a_1 d_{1i}}{3} + \frac{a_1 d_{3i} + d_{1i} a_3}{5} E^2 + \frac{a_3 d_{3i} + d_{1i}}{7} E^4 + \frac{d_{3i}}{9} E^6 = 0 \quad (4.30)$$

elde edilir. Bu denklemde a_1, a_3, a_5 katsayıları ise 4.21, 4.27 denklemlerinden faydalanarak,

$$\begin{aligned} a_1 = & C_1 + \frac{3}{2} C_3 (b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + b_4^2 + b_5^2) + \frac{15}{8} C_5 [b_1^4 + b_2^4 \\ & + b_3^4 + b_4^4 + b_5^4 + 4(b_1^2 b_2^2 + b_1^2 b_3^2 + b_1^2 b_4^2 + b_1^2 b_5^2 + b_2^2 b_3^2 \\ & + b_2^2 b_4^2 + b_2^2 b_5^2 + b_3^2 b_4^2 + b_3^2 b_5^2 + b_4^2 b_5^2 + b_1 b_2^2 b_3 + b_1 b_3^2 b_5 \\ & + b_2 b_3^2 b_4 + b_3 b_4^2 b_5 + 2(b_1 b_2 b_3 b_4 + b_1 b_2 b_4 b_5 + b_2 b_3 b_4 b_5) \\ & - 4(b_1^2 b_2 b_4 + b_1^2 b_3 b_5 + b_1 b_2^2 b_5 + \frac{1}{3} b_1^3 b_3)] - K \end{aligned} \quad (4.31)$$

$$a_3 = C_3 + 5C_5 (b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + b_4^2 + b_5^2)$$

$$a_5 = C_5$$

olarak bulunur.

Denklem 4.25'de belirtilen maliyet fonksiyonu, denklem 4.27 gözönünde bulundurularak yazılırsa,

$$J = \int_{-E}^{+E} (a_1 e + a_3 e^3 + a_5 e^5)^2 de \quad (4.32)$$

şekline gelir. Denklem 4.32 çözüldüğünde maliyet fonksiyonu,

$$J = 2 \cdot E^3 \left[\frac{a_1^2}{3} + \frac{2a_1 a_3}{5} E^2 + \frac{a_3^2 + 2a_1 a_5}{7} E^4 + \frac{2a_3 a_5}{9} E^6 + \frac{a_5^2}{11} E^8 \right] \quad (4.33)$$

olarak bulunur. Bulunan bu denklem nümerik metodla Fourier katsayılarının optimum değerlerini elde etmek için gerekli olacaktır.

Başlangıçta b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 'e tahmini değerler verilip, bu değerlerde maliyet fonksiyonunun kısmi türevleri hesap ettirilmişti. Bu basamakta b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 'in hangi yönde ne kadar azaltılacağı veya arttırılacağına karar vermek için 4.23 denklemi, Taylor serisinin diğer terimlerinin toplamı sıfır kabul edilerek kullanılır. Maliyet fonksiyonunun kısmi türevleri b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 'in tahmin edilen değerinde hesap edilip bir G vektörü meydana getirilir (15),(19).

$$G = \left[\frac{\partial J}{\partial b_1}, \frac{\partial J}{\partial b_2}, \frac{\partial J}{\partial b_3}, \frac{\partial J}{\partial b_4}, \frac{\partial J}{\partial b_5} \right]^T \quad (4.34)$$

ve B vektörü,

$$B = [\delta b_1, \delta b_2, \delta b_3, \delta b_4, \delta b_5]^T \quad (4.35)$$

olarak tanımlanırsa, 4.23 denklemi

$$\delta J = G^T \cdot B \quad (4.36)$$

şeklinde yazılır. B vektörünün elemanlarını çok büyük veya çok küçük değerler olarak hesaplamamak için B vektörünün büyüklüğü sınırlandırılır.

$$\delta C^2 = \delta b_1^2 + \delta b_2^2 + \delta b_3^2 + \delta b_4^2 + \delta b_5^2 = B^T \cdot B \quad (4.37)$$

Burada δC önceden belirlenen sabit bir sayıyı ifade eder. δC 'ye B vektörünün adım büyüklüğü adı da verilebilir.

4.36 denkleminde B vektörünü sınırlama işlemi λ Lagrange çarpımını ifade etmek üzere;

$$\delta J = G^T \cdot B + \lambda (\delta C^2 - B^T \cdot B) \quad (4.38)$$

şeklinde yazılır. Bu durumda δJ 'yi minimum yapan B vektörü 4.38 denkleminin türevinin alınması ile bulunur.

$$\frac{\partial J}{\partial B} = G^T - 2\lambda B^T = 0 \quad (4.39)$$

Burada B vektörü,

$$B = \frac{1}{2\lambda} G \quad (4.40)$$

elde edilir. 4.37 denkleminde bu değer yerine konulursa,

$$\delta C^2 = B^T \cdot B = \frac{1}{4\lambda^2} G^T \cdot G \quad (4.41)$$

λ Lagrange çarpanı buradan bulunabilir.

$$\frac{1}{2\lambda} = \pm \left[\frac{\delta C^2}{G^T \cdot G} \right]^{1/2} \quad (4.42)$$

λ 'nın pozitif veya negatif hangi değerinin alınması gerektiği δJ 'nin ikinci türevinden görülebilir.

$$\frac{\partial^2 \delta J}{\partial B^2} = -2\lambda I \quad (4.43)$$

4.43 denklemindeki matris λ 'nın negatif değeri için pozitif definittir. 0 halde λ 'nın negatif değerleri için δJ minimum olacaktır. Elde edilen bu değer 4.40 denkleminde yerine konursa;

$$B = - \left[\frac{\delta C^2}{G^T \cdot G} \right]^{1/2} \cdot G \quad (4.44)$$

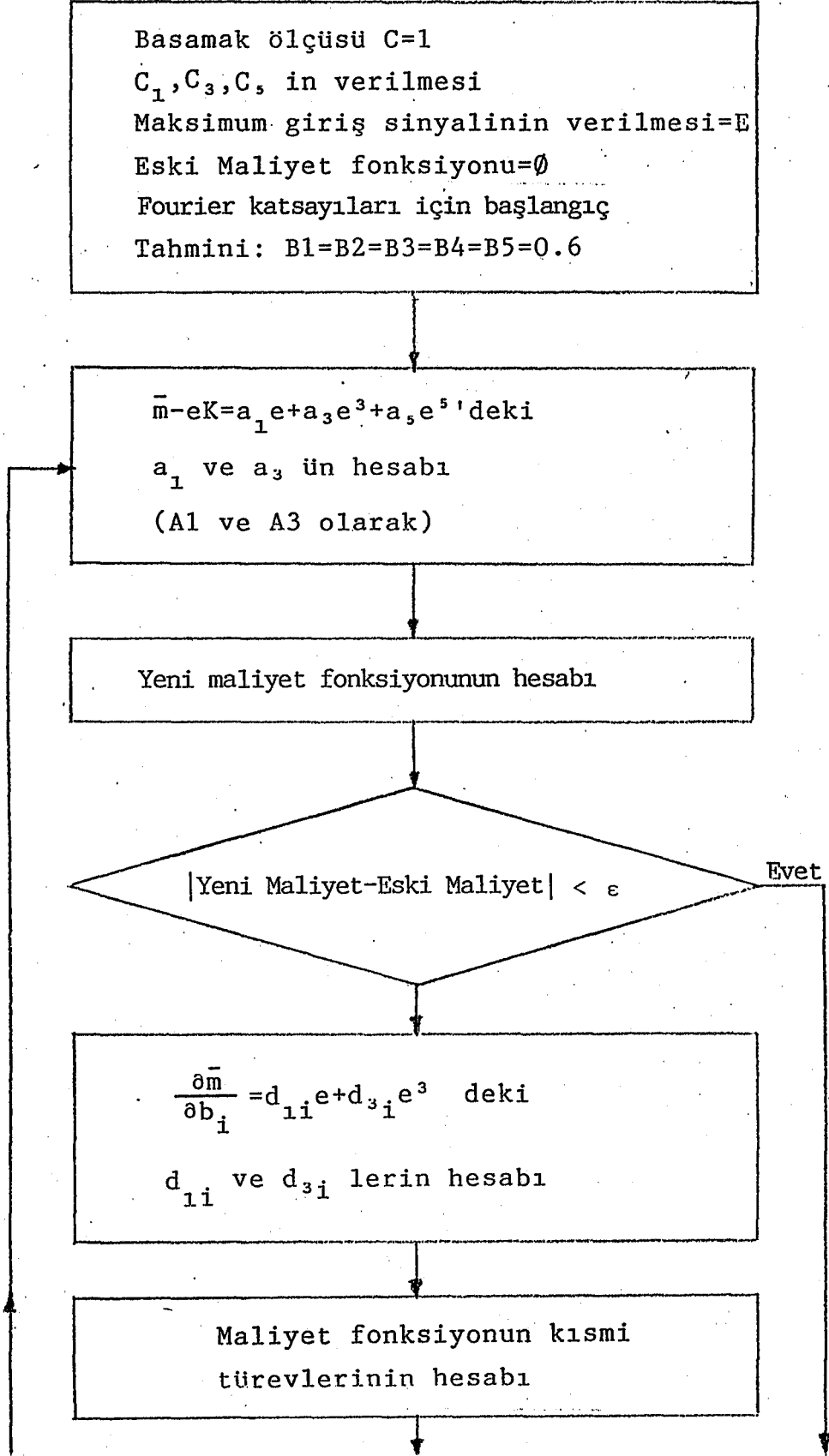
vektörünün elemanları bulunur. Buradan yeni b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , b_5 katsayıları hesap edilir.

$$\begin{aligned} b_{1\text{yeni}} &= b_1 + \delta b_1 \\ b_{2\text{yeni}} &= b_2 + \delta b_2 \\ b_{3\text{yeni}} &= b_3 + \delta b_3 \\ b_{4\text{yeni}} &= b_4 + \delta b_4 \\ b_{5\text{yeni}} &= b_5 + \delta b_5 \end{aligned} \quad (4.45)$$

Katsayıların bu yeni değerleri için G vektörü yeniden hesap edilir ve 4.44 denkleminde B vektörü bulunur. 4.45 denkleminde yerine konularak ve bu işlemi yeteri kadar tekrar ederek katsayıların optimum değerlerine yaklaşılr. Maliyet fonksiyonu her defasında hesaplanıp bir önceki maliyet fonksiyonunun değeriyle karşılaştırılır. Eğer aralarındaki fark, önceden belirlenen bir sayıdan küçükse işlem sayısı yeterlidir. Ayrıca maliyet fonksiyonları arasındaki fark işaret değiştirdiğinde δC adım büyüklüğü yeteri kadar küçültülmelidir. Yapılan işlemlerin sonucunda, δC belirlenen bir sayıdan daha küçük değer alırsa, yine işlem sayısı yeterli kabul edilebilir. Bu durumda maliyet fonksiyonunun elde edilen son birkaç değeri yazdırılıp karşılaştırılmalıdır. Bu bölümde olduğu gibi, ilk türevlerden yararlanarak bulunan optimum değer bulma metoduna, Gradient metodu denilir.

Bu bölümde; 4.1 bölümünde uydurulan eğrilere salınım sinyali olarak bir, üç ve beş terimli Fourier serisi alınarak uygulanacaktır. Salınım sinyalinin optimum şekil ve genlikleri ile \bar{m} ortalama değerleri Gradient metoduna göre bulunacaktır. Elde edilen algoritim bundan sonraki sayfada, BASIC dilinde yazılmış program ise Ek-3'de sunulmuştur.

GRADİENT METODU İLE OPTİMUM BULMAK



4.2.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği

Şekil 4.1'deki uydurulmuş eğriye uygulanan salınım sinyallerinin optimum genlikleri ve şekli ile \bar{m} ortalama değerleri, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan K 'nın aldığı değerlere göre, Ek-3'deki bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır.

$K=0.3$ için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.5'de, salınım sinyallerinin şekli; Fourier serisinden bir terim alındığında Şekil 4.6'da, üç terim alındığında Şekil 4.7'de, beş terim alındığında Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

$K=0.5$ için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.9'da, salınım sinyallerinin şekli; bir terim alındığında Şekil 4.10'da üç terim alındığında Şekil 4.11'de, beş terim alındığında Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

$K=0.7$ için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.13'de, salınım sinyallerinin şekli; bir terim alındığında Şekil 4.14'de, üç terim alındığında Şekil 4.15'de, beş terim alındığında Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 4.288 C3=-8.432 C5= 5.258

EGIM= 0.3

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.650768919 B2= 0 B3= 0

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.5

MALİYET= 4.03917E-02

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.42042058	7.27304E-02
0.2	0.79182656	0.163249159
0.3	1.07151294	0.295654136
0.4	1.22939392	0.506662471
0.5	1.2543125	0.851920003

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$M = (4.288)E + (-8.432)E^3 + (5.258)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1=C \cdot 0.699768198 \cdot XE+K \cdot 2.70181987 \cdot XE^3+K \cdot 5.258 \cdot XE^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.20109911
1	0.382513147
1.5	0.526483957
2	0.618918612
2.5	0.650768919
3	0.618917134
3.5	0.526481148
4	0.382509279
4.5	0.201094564
5	-4.78010E-06
5.5	-0.201103656
6	-0.382517014
6.5	-0.526486767
7	-0.618920089
7.5	-0.650768919
8	-0.618915657
8.5	-0.526478338
9	-0.382505412
9.5	-0.201090018
10	9.56020E-06

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 4.288 C3=-8.432 C5= 5.258

EGİM= 9.3

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.718091236 B2=-1.38040E-04 B3= 0.204882542

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.125

MALİYET= 2.12145E-02

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.42042058	-0.020696373
0.2	0.79182656	-2.44649E-03
0.3	1.07151294	0.100005503
0.4	1.22939392	0.344534664
0.5	1.2543125	0.807944846

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$M = (4.288)E + (-8.432)E^3 + (5.258)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (-0.269770956)E + (-6.22814259)E^3 + (5.258)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.387575463
1	0.616887606
1.5	0.644128559
2	0.562436466
2.5	0.513208694
3	0.562600764
3.5	0.64439232
4	0.6170673
4.5	0.387730087
5	-9.79231E-06
5.5	-0.387745431
6	-0.617073046
6.5	-0.644389932
7	-0.562596715
7.5	-0.51320869
8	-0.562440508
8.5	-0.644130946
9	-0.616801863
9.5	-0.387560145
10	1.95765E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 4.288 C3=-8.432 C5= 5.258

EGİM= 0.3

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.624333238 B2= 2.73634E-05 B3= 0.188579113

B4=-1.90748E-05 B5= 9.79173E-02

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.0625

MALİYET= 1.38062E-02

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.42042058	2.34801E-02
0.2	0.79182656	6.65533E-02
0.3	1.07151294	0.155122318
0.4	1.22939392	0.327709165
0.5	1.2543125	0.641764533

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

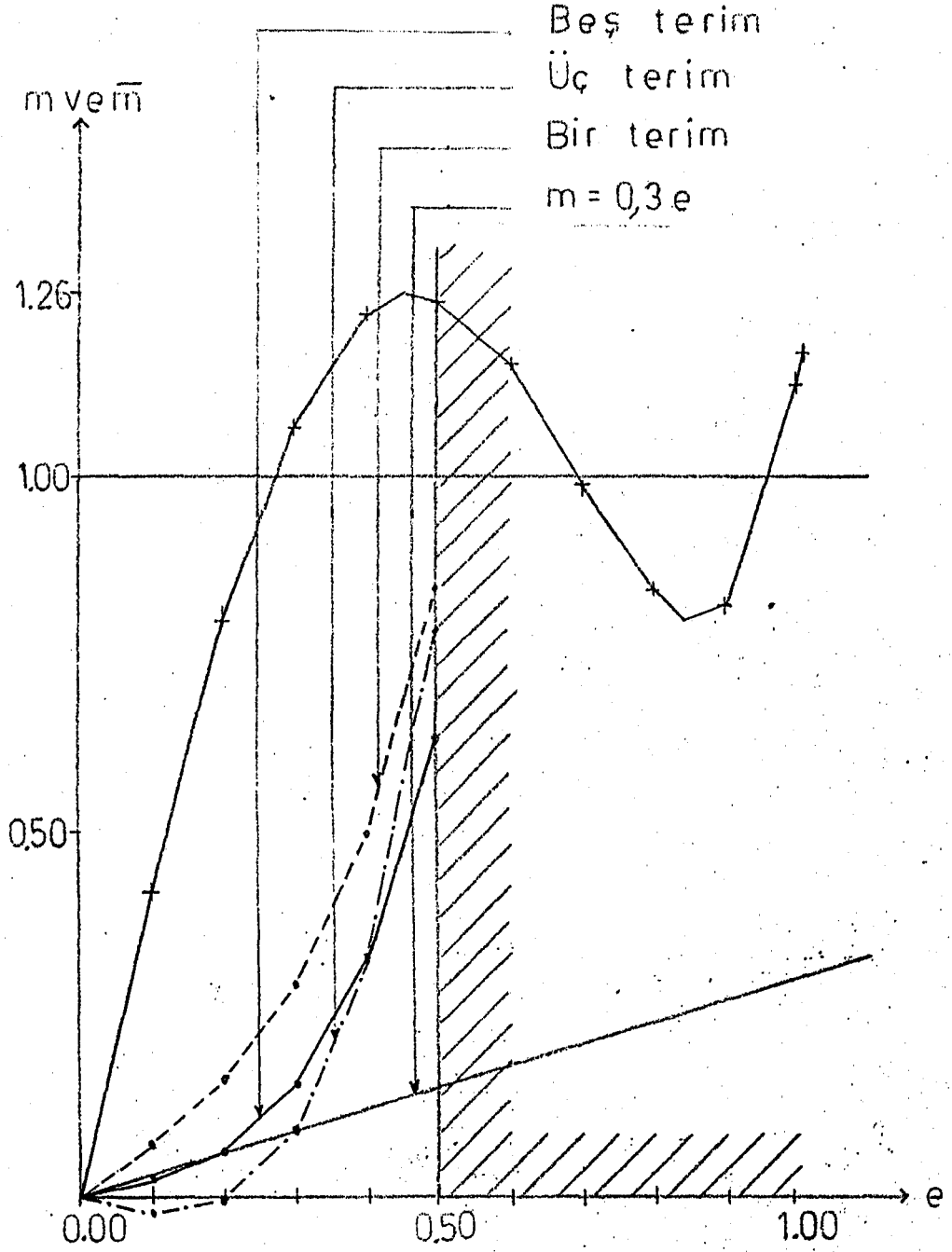
$M = (4.288)E + (-8.432)E^3 + (5.258)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

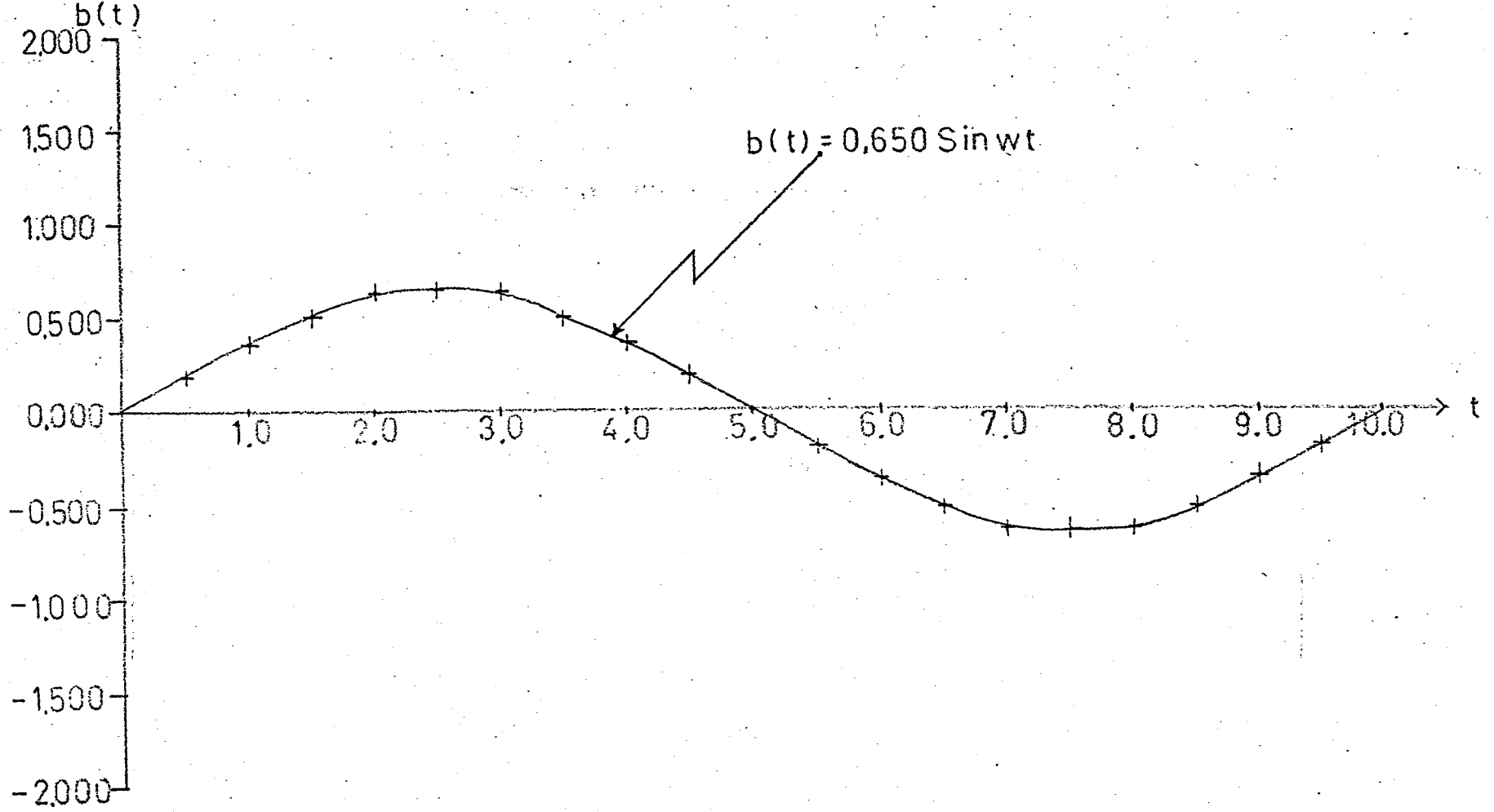
$$M1 = (0.204248639)E + (3.00262171)E^3 + (5.258)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

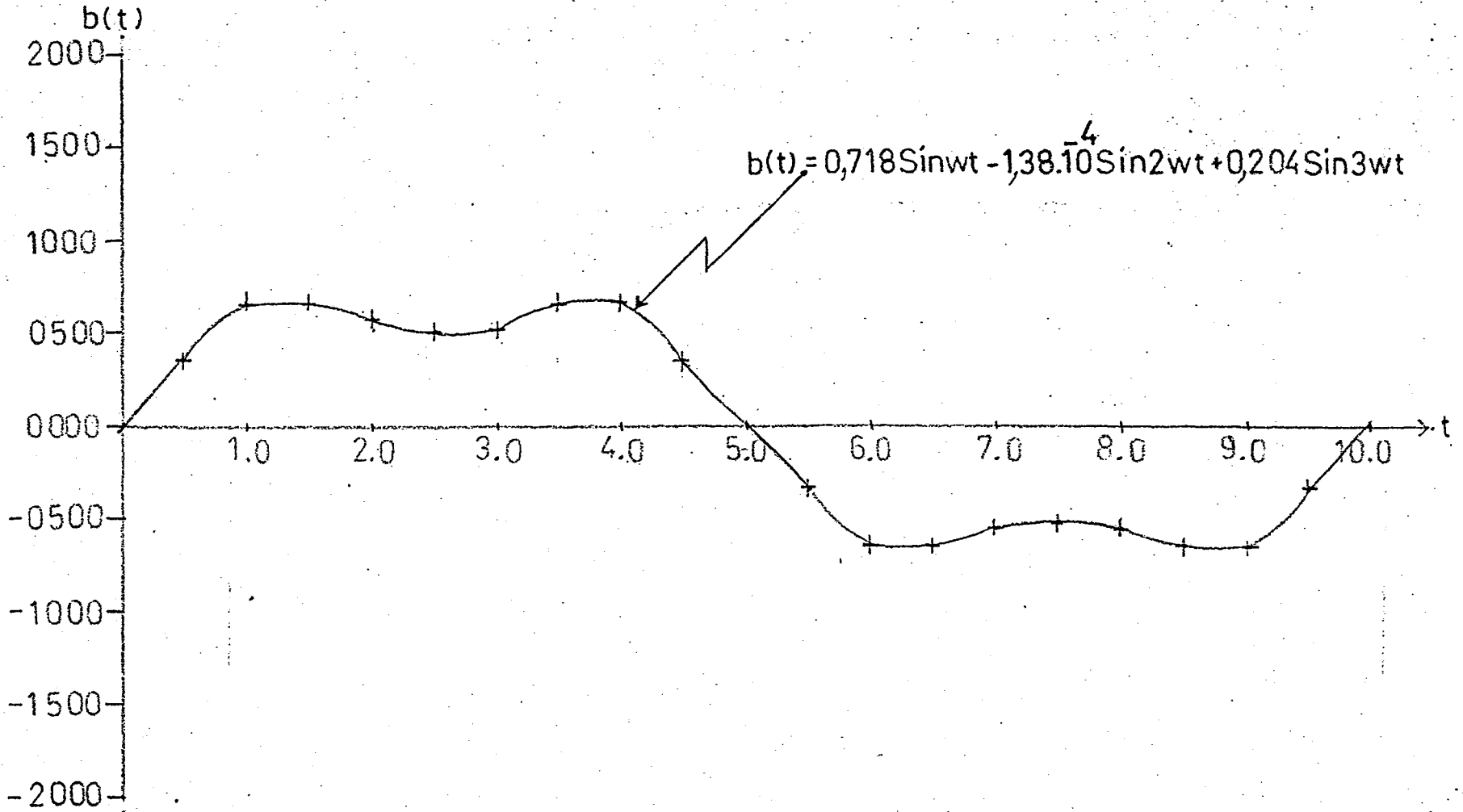
ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.443409191
1	0.546337843
1.5	0.46548993
2	0.482967058
2.5	0.533671403
3	0.482896956
3.5	0.465416715
4	0.546309388
4.5	0.443406501
5	-1.23390E-05
5.5	-0.443420189
6	-0.546307046
6.5	-0.465414201
7	-0.48290026
7.5	-0.533671405
8	-0.482963756
8.5	-0.465492443
9	-0.546340183
9.5	-0.443395582
10	2.46774E-05



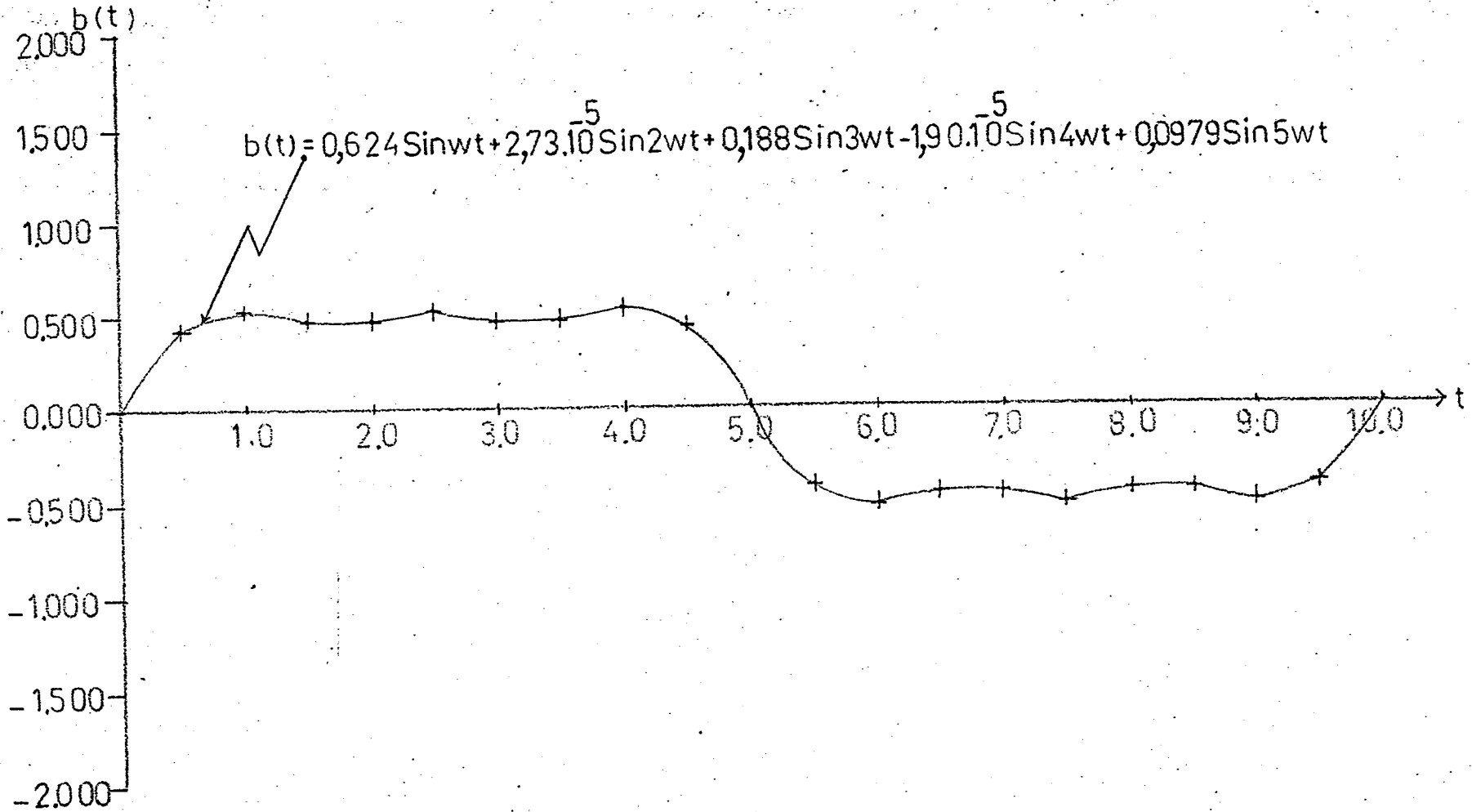
Şekil 4.5. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali



Şekil 4.6. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.7. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.8. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 4.288 C3=-8.432 C5= 5.258

EGIM= 0.5

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.635644972 B2= 0 B3= 0

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.125

MALİYET= 2.62451E-02

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.42042058	8.09534E-02
0.2	0.79182656	0.176526258
0.3	1.07151294	0.308047448
0.4	1.22939392	0.50886519
0.5	1.2543125	0.83165647

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$M = (4.288)E + (-8.432)E^3 + (5.258)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.787105261)E+(2.19033072)E^03 + (5.258)E^05$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.196425543
1	0.373623496
1.5	0.514248488
2	0.60453487
2.5	0.635644972
3	0.604533427
3.5	0.514245664
4	0.373619718
4.5	0.196421103
5	-4.66901E-06
5.5	-0.196429984
6	-0.373627273
6.5	-0.514251153
7	-0.604536313
7.5	-0.635644972
8	-0.604531984
8.5	-0.514242919
9	-0.373615942
9.5	-0.196416662
10	9.33802E-06

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK :

POLINOM KATSAYILARI :

C1= 4.288 C3=-8.432 C5= 5.258

EGİM= 0.5

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEĞERLERİ :

B1= 0.659980352 B2=-1.05824E-05 B3= 0.183026419

SON ADIM BÜYÜKLÜĞÜ= 0.03125

MALİYET= 1.01475E-02

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.42042058	1.59988E-02
0.2	0.79182656	0.056974439
0.3	1.07151294	0.154213591
0.4	1.22939392	0.351621943
0.5	1.2543125	0.712034028

SALINIM SINYALSIZ FONKSİYON AŞAĞIDIR :

$M = (4.288)E + (-8.432)E^3 + (5.258)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

MI: $0.120462507 \times 10^{-4} + 3.8999222 \times 10^{-3} + 5.258 \times 10^{-5}$

PERIOD: 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.352011106
1	0.561985657
1.5	0.590483234
2	0.520091459
2.5	0.476953933
3	0.520105664
3.5	0.59050435
4	0.562003109
4.5	0.352016565
5	-0.88188E-06
5.5	-0.352009528
6	-0.562008461
6.5	-0.590502377
7	-0.520102133
7.5	-0.476953933
8	-0.520094988
8.5	-0.590485207
9	-0.561980306
9.5	-0.351997143
10	1.77631E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 4.288 C3=-8.432 C5= 5.258

EGIM= 0.5

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.623001471 B2= 1.12142E-06 B3= 0.18912908

B4= 2.56023E-05 B5= 9.72102E-02

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.03125

MALİYET= 7.23408E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.42042058	2.44116E-02
0.2	0.79182656	6.81654E-02
0.3	1.07151294	0.156912891
0.4	1.22939392	0.328925129
0.5	1.2543125	0.641401772

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

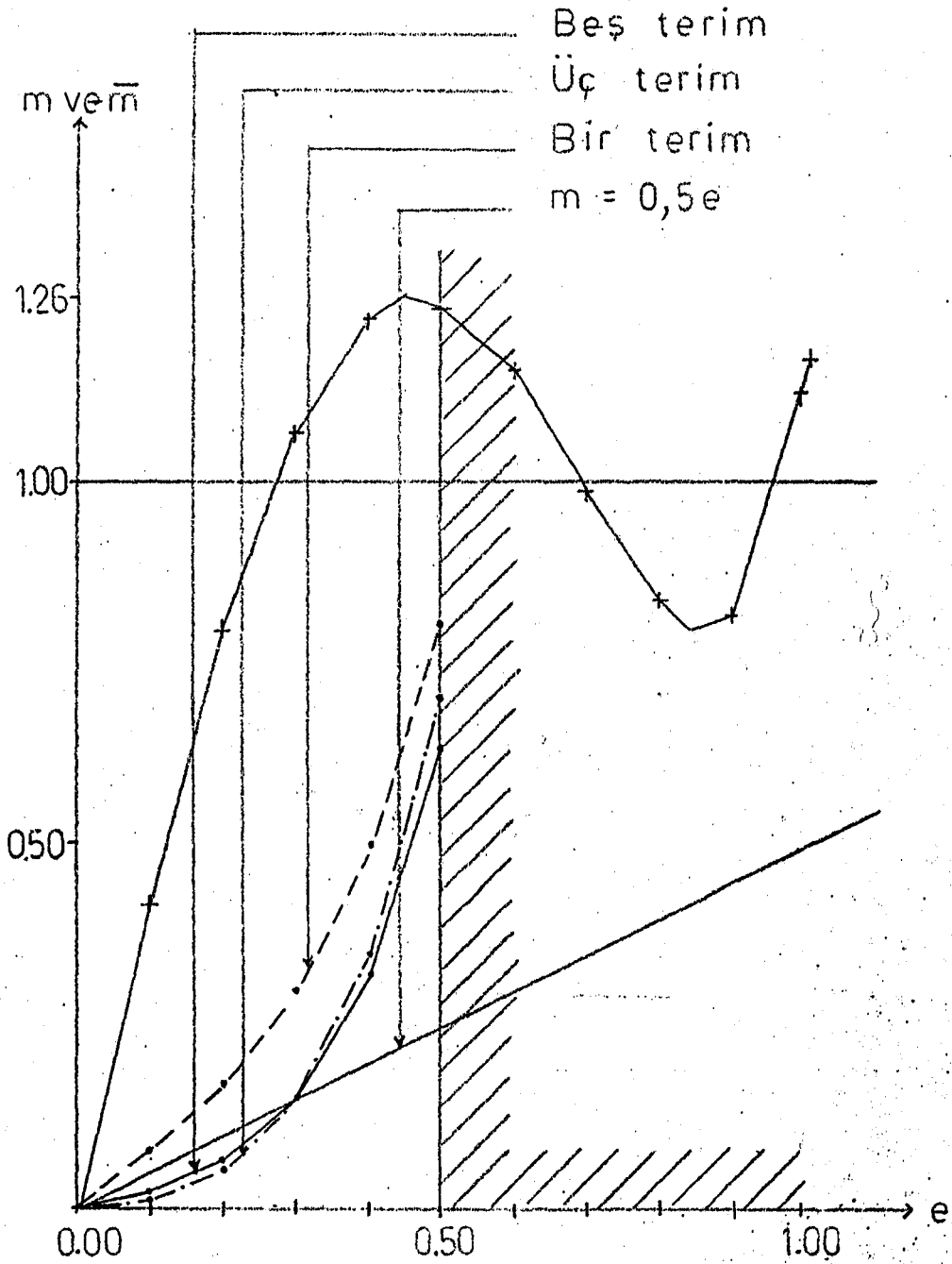
$M = (4.288)E + (-8.432)E^3 + (5.258)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

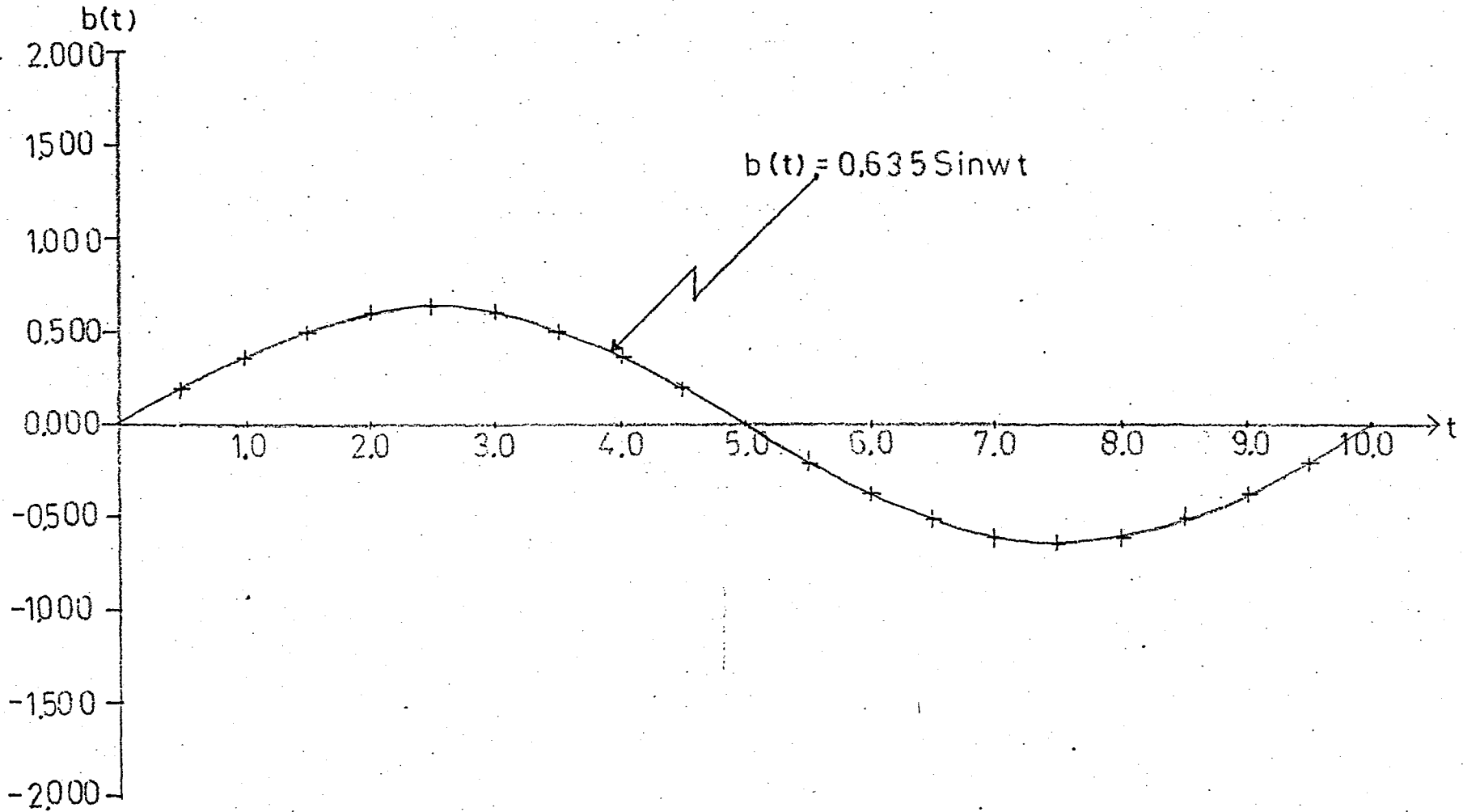
$$M1 = (0.213982649)E+(2.96878358)E^3 + (5.258)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

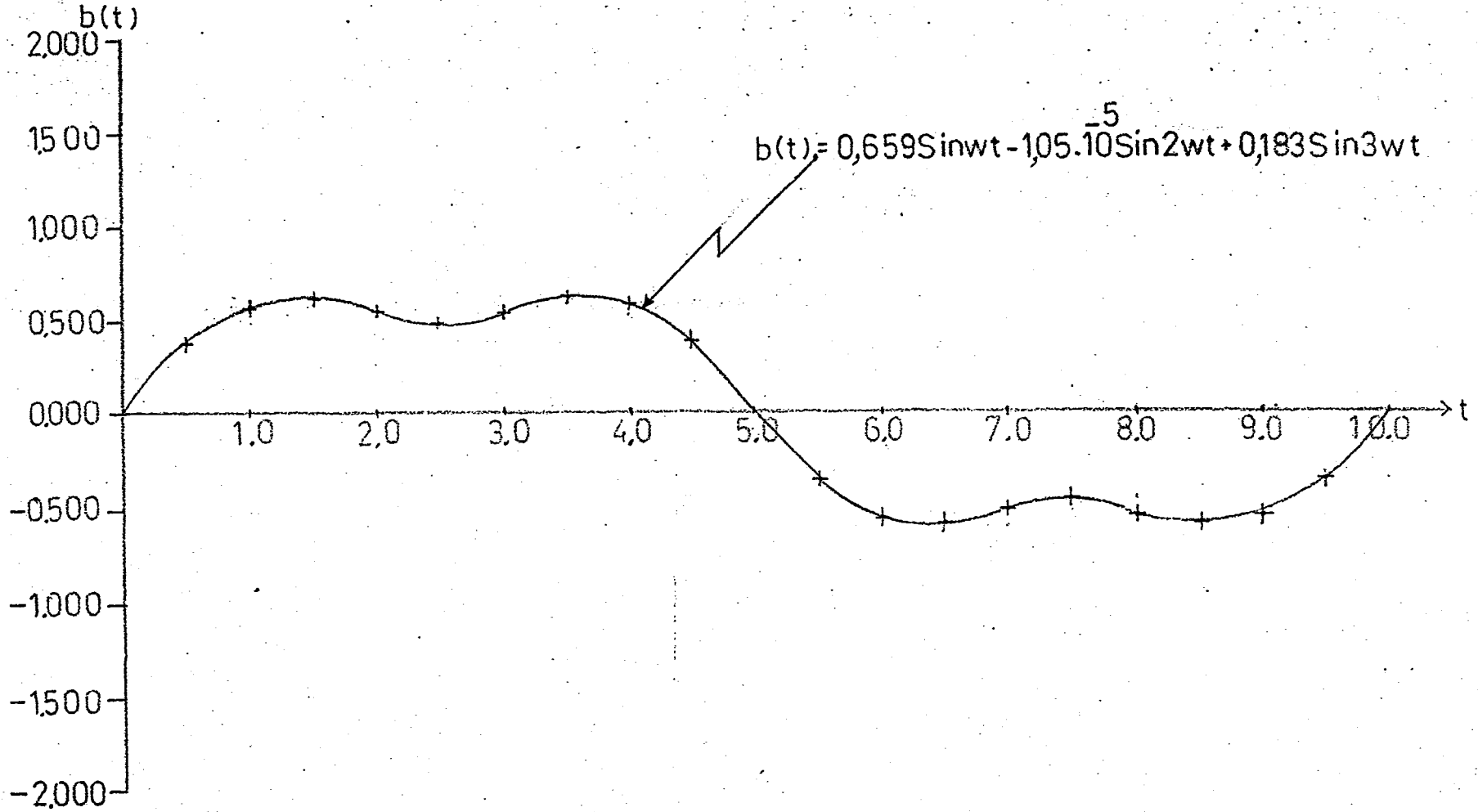
ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.44276254
1	0.546879405
1.5	0.465238344
2	0.48131928
2.5	0.53108256
3	0.481365047
3.5	0.465267582
4	0.54684833
4.5	0.442785721
5	-1.23145E-05
5.5	-0.442719324
6	-0.546846019
6.5	-0.465265035
7	-0.481368272
7.5	-0.531082559
8	-0.481316054
8.5	-0.465240894
9	-0.546881718
9.5	-0.442748935
10	2.46328E-05



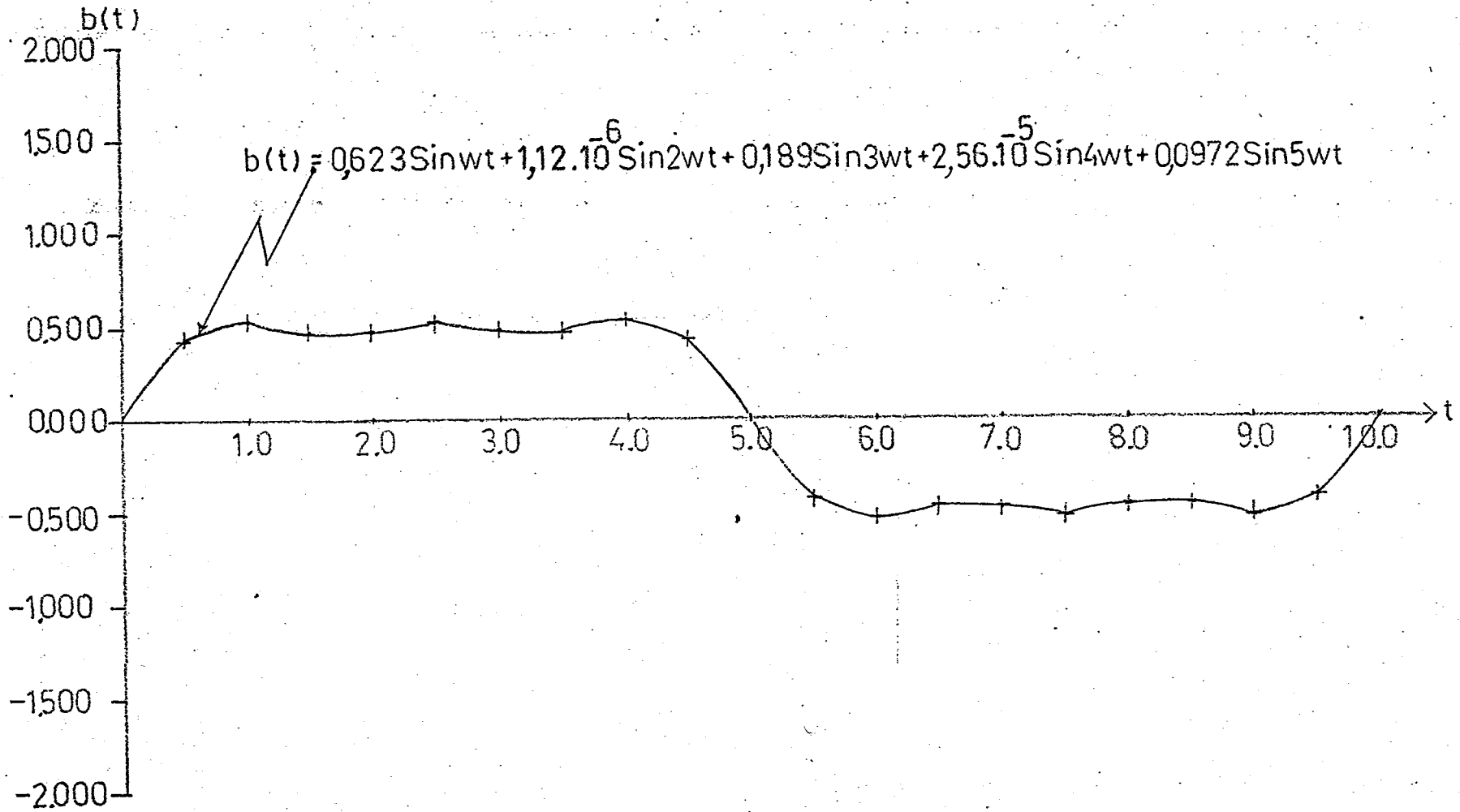
Şekil 4.9. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali, neticesinde yaklaştırılmak istenen linear karakteristiğin eğimi $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali



Şekil 4.10. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.11. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.12. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe; yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 4.288 C3=-8.432 C5= 5.258

EGIM= 0.7

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.638156452 B2= 0 B3= 0

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.25

MALİYET= 1.53099E-02

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.42042058	7.95500E-02
0.2	0.79182656	0.174324094
0.3	1.07151294	0.305855777
0.4	1.22939392	0.508297904
0.5	1.2543125	0.834732089

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$M=(4.288)E+(-8.432)E^3+(5.258)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.77223024)E+(2.27443576)E^3 + (5.258)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.197201635
1	0.37509971
1.5	0.516200242
2	0.606920432
2.5	0.638156452
3	0.606921983
3.5	0.516277486
4	0.375095917
4.5	0.197197177
5	-4.68746E-06
5.5	-0.197206093
6	-0.375103502
6.5	-0.516202997
7	-0.60692488
7.5	-0.638156452
8	-0.606920535
8.5	-0.516274731
9	-0.375092126
9.5	-0.197192719
10	9.37492E-06

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK :

POLINOM KATSAYILARI :

C1= 4.288 C3=-8.432 C5= 5.258

EGİM= 0.7

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI :

B1= 0.599710436 B2= 9.52496E-05 B3= 0.16675449

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.0625

MALİYET= 5.51235E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.42042058	6.09932E-02
0.2	0.79182656	0.134089712
0.3	1.07151294	0.237702391
0.4	1.22939392	0.402863336
0.5	1.2543125	0.679533442

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR :

$M = (4.288)E + (-8.432)E^3 + (5.258)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.591863166)E + (1.75431487)E^3 + (5.258)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.320284554
1	0.511184968
1.5	0.536796222
2	0.472398029
2.5	0.432955945
3	0.472287668
3.5	0.536615952
4	0.511001364
4.5	0.320166233
5	-0.07898E-06
5.5	-0.32017893
6	-0.51100622
6.5	-0.536614141
7	-0.472284446
7.5	-0.432955947
8	-0.472401254
8.5	-0.536798034
9	-0.511180111
9.5	-0.320271853
10	1.61636E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 4.288 C3=-8.432 C5= 5.258

EGİM= 0.7

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.502314748 B2=-7.66241E-04 B3= 0.160938541

B4= 2.36044E-03 B5= 6.93896E-02

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.25

MALİYET= 1.51480E-02

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.42042058	0.130017388
0.2	0.79182656	0.255667283
0.3	1.07151294	0.378891794
0.4	1.22939392	0.514252227
0.5	1.2543125	0.695238691

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

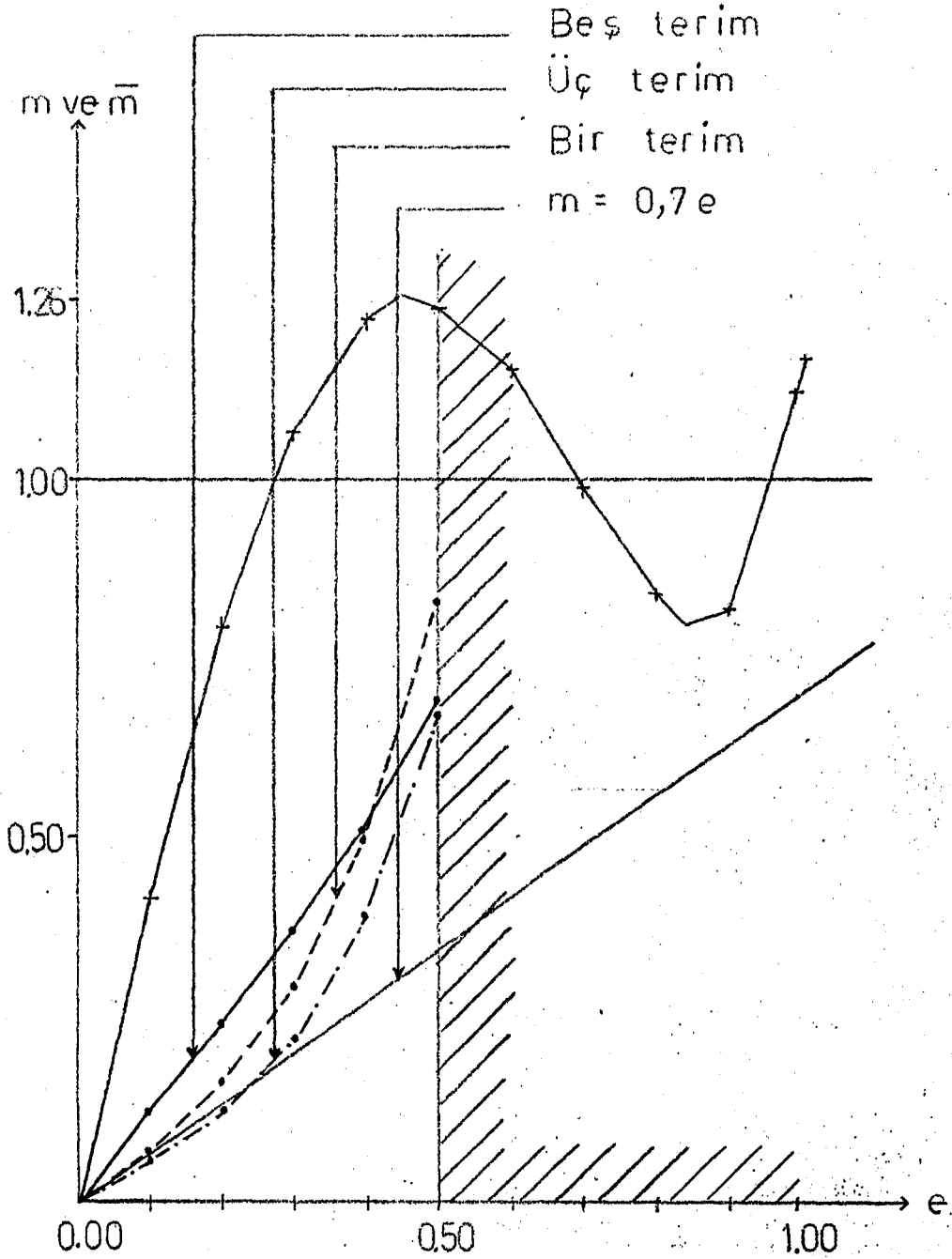
$M = (4.288)E + (-8.432)E^3 + (5.258)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

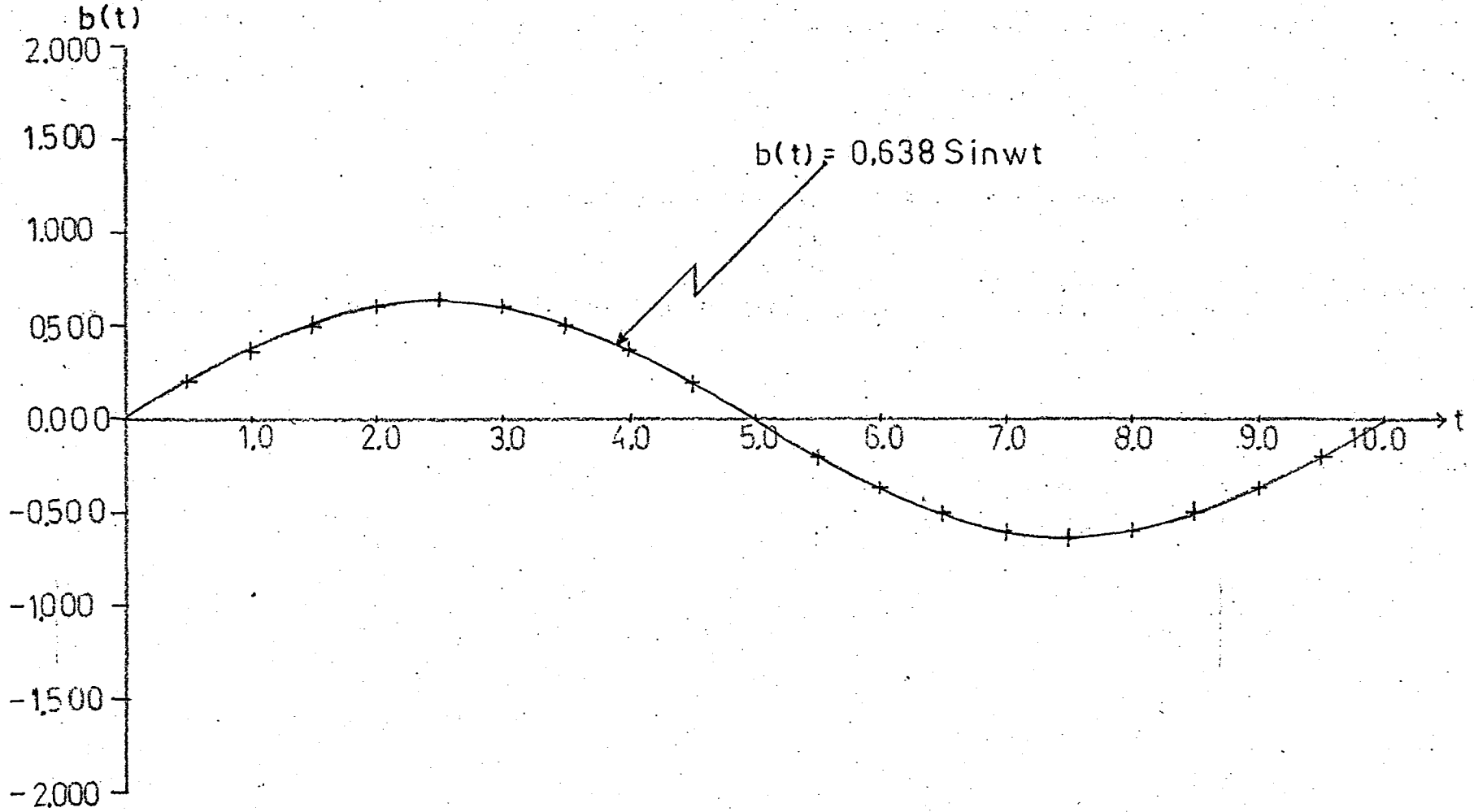
$$M1 = (1.38955623)E + (-0.990815401)E^3 + (5.258)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

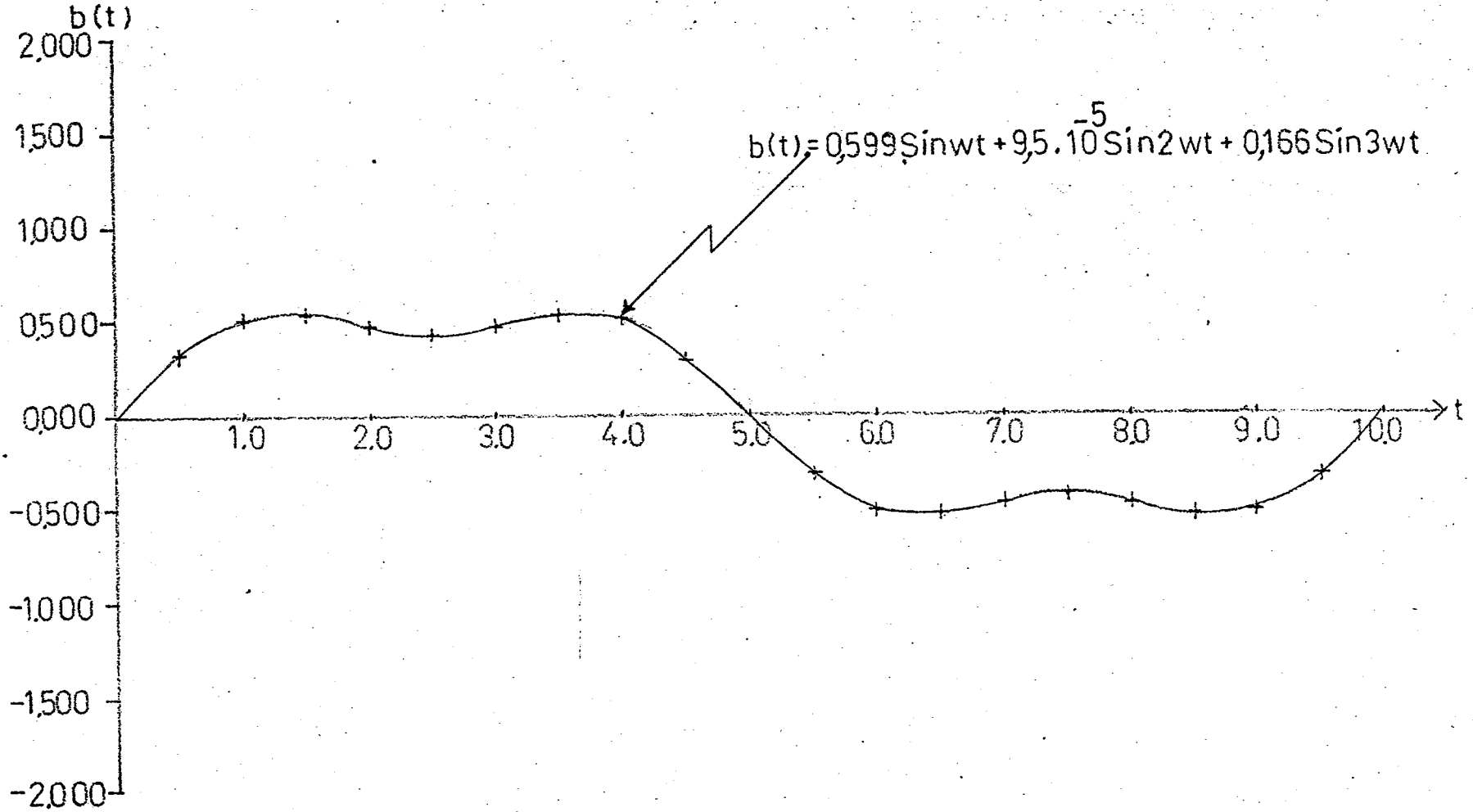
ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.356610502
1	0.448973397
1.5	0.384607757
2	0.380437458
2.5	0.410765855
3	0.385827236
3.5	0.38884128
4	0.447656636
4.5	0.353015867
5	-9.72745E-06
5.5	-0.35302703
6	-0.447655436
6.5	-0.388838977
7	-0.385828814
7.5	-0.410765694
8	-0.380435758
8.5	-0.384610272
9	-0.448974836
9.5	-0.356599269
10	1.96873E-05



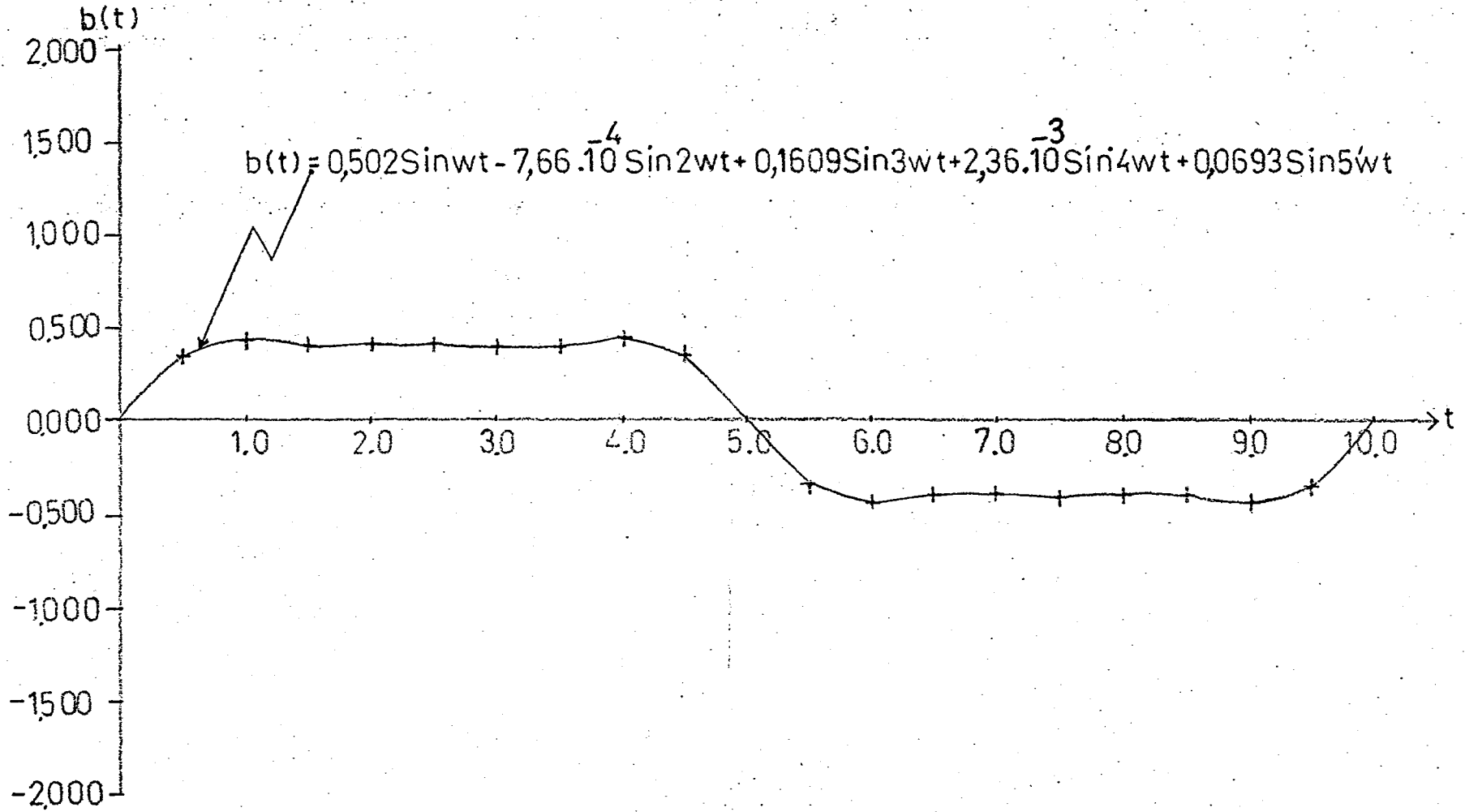
Şekil 4.13. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen m ortalama çıkış sinyali



Şekil 4.14. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.15. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.16. Şekil 4.1'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen linear karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli

4.2.2. Doyma eğrisi

Şekil 4.2'deki uydurulmuş eğriye uygulanan salınım sinyallerinin optimum genlikleri ve şekli ile \bar{m} ortalama değerleri, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan K 'nin aldığı değerlere göre hesaplanmıştır.

$K=0.3$ için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.17'de, salınım sinyallerinin şekli; Fourier serisinden bir terim alındığında Şekil 4.18'de, üç terim alındığında Şekil 4.19'da, beş terim alındığında Şekil 4.20'de gösterilmiştir.

$K=0.5$ için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.21'de, salınım sinyallerinin şekli; bir terim alındığında Şekil 4.22'de, üç terim alındığında Şekil 4.23'de, beş terim alındığında Şekil 4.24'de gösterilmiştir.

$K=0.7$ için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.25'de, salınım sinyallerinin şekli; bir terim alındığında Şekil 4.26'da, üç terim alındığında Şekil 4.27'de, beş terim alındığında Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 1.135 C3=-0.247 C5= 0.0215

EGIM= 0.3

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.85943956 B2= 0 B3= 0

SOM ADIM BUYUKLUGU= 0.5

MALİYET= 5.29937E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.113253215	3.37152E-02
0.2	0.22503088	5.61849E-02
0.3	0.333883245	0.104189524
0.4	0.43841216	0.142560987
0.5	0.537296875	0.18420364
0.6	0.62931984	0.23014503
0.7	0.713392505	0.281511706
0.8	0.78858112	0.339605013
0.9	0.854132535	0.4059019
1	0.9095	0.482085715
1.1	0.954368965	0.570072004
1.2	0.98868288	0.672034315

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$M=(1.135)E+(-0.247)E^3+(0.0215)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.335902802)E + (0.124682912)E^3 + (0.0215)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.574599722
1	1.09295336
1.5	1.50432061
2	1.76843379
2.5	1.85943956
3	1.76842957
3.5	1.50431258
4	1.09294231
4.5	0.574586732
5	-1.36582E-05
5.5	-0.574612712
6	-1.09296441
6.5	-1.50432864
7	-1.76843802
7.5	-1.85943956
8	-1.76842535
8.5	-1.50430455
9	-1.09293126
9.5	-0.574573743
10	2.73163E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 1.135 C3=-0.247 C5= 0.0215

EGİM= 0.3

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEĞERLERİ:

B1= 1.90111802 B2=-4.40954E-04 B3= 0.524687608

SON ADIM BÜYÜKLÜĞÜ= 0.125

MALİYET= 8.71463E-04

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.113253215	1.91949E-02
0.2	0.22503088	3.94231E-02
0.3	0.333883245	6.17435E-02
0.4	0.43841216	8.72666E-02
0.5	0.537296875	0.117180661
0.6	0.62931984	0.152776719
0.7	0.713392505	0.195475024
0.8	0.78858112	0.246850584
0.9	0.854132535	0.308659007
1	0.9095	0.382862299
1.1	0.954368965	0.471654671
1.2	0.98868288	0.577488328

SALINIM SINYALSIZ FONKSİYON AŞAĞIDIR:

$M = (1.135)E + (-0.247)E^3 + (0.0215)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.190235995)E + (0.171126304)E^3 + (0.0215)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	1.01170179
1	1.61603888
1.5	1.69975397
2	1.49940585
2.5	1.37643042
3	1.49992926
3.5	1.7005955
4	1.6168699
4.5	1.01220008
5	-2.55351E-05
5.5	-1.01224025
6	-1.61688535
6.5	-1.70058992
7	-1.49991917
7.5	-1.3764304
8	-1.49941591
8.5	-1.69975954
9	-1.61602343
9.5	-1.01166165
10	5.10442E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 1.135 C3=-0.247 C5= 0.0215

EGIM= 0.3

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.91233999 B2= 8.53081E-02 B3= 0.473701253

B4= 0.109500777 B5= 0.178415588

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.25

MALİYET= 1.01486E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.113253215	1.69500E-02
0.2	0.22503088	3.49609E-02
0.3	0.333883245	5.51195E-02
0.4	0.43841216	7.85641E-02
0.5	0.537296875	0.106510491
0.6	0.62931984	0.14027753
0.7	0.713392505	0.181313188
0.8	0.78858112	0.231220201
0.9	0.854132535	0.291781905
1	0.9095	0.364988038
1.1	0.954368965	0.453060534
1.2	0.98868288	0.558479332

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

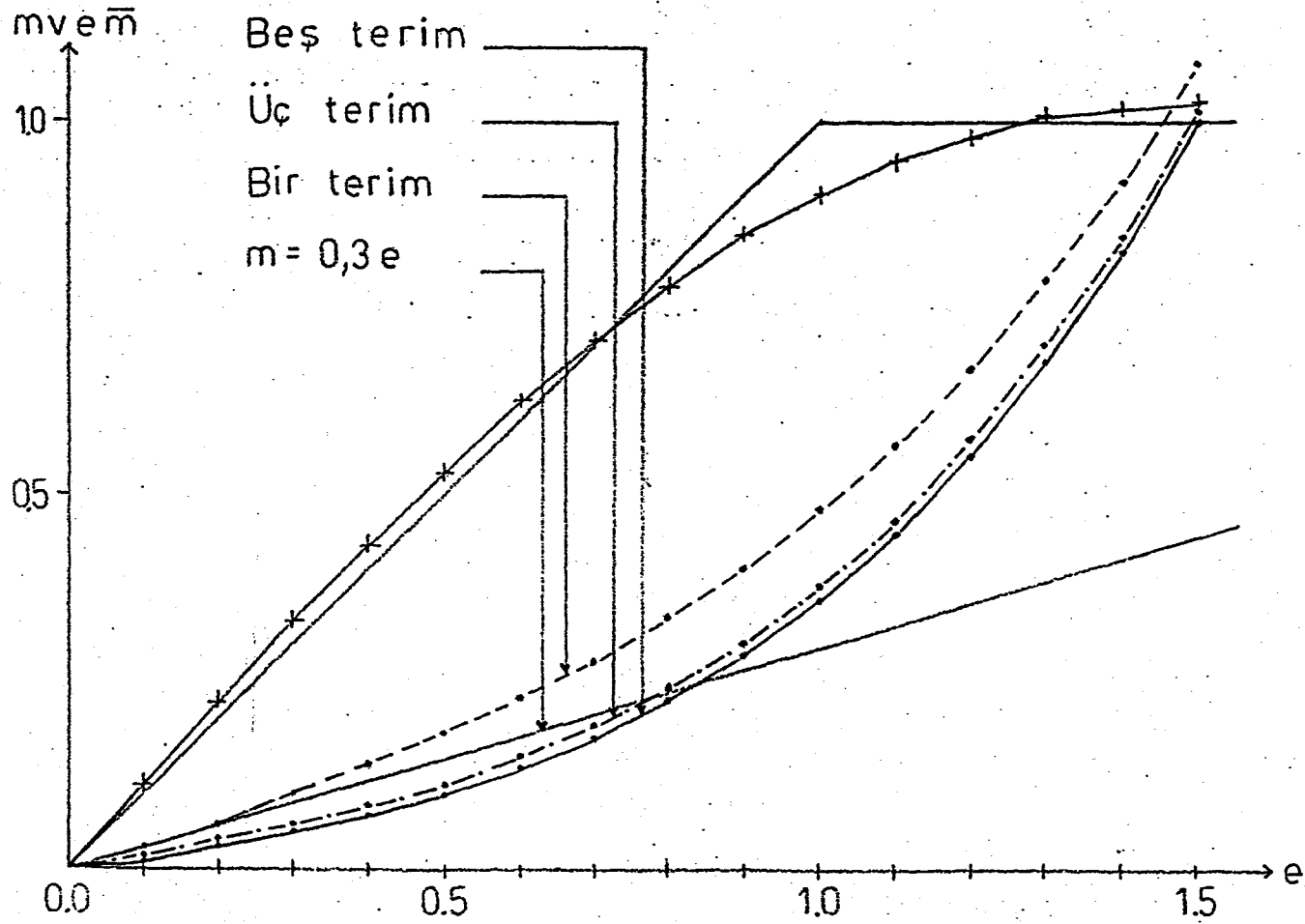
$M = (1.135)E + (-0.247)E^3 + (0.0215)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

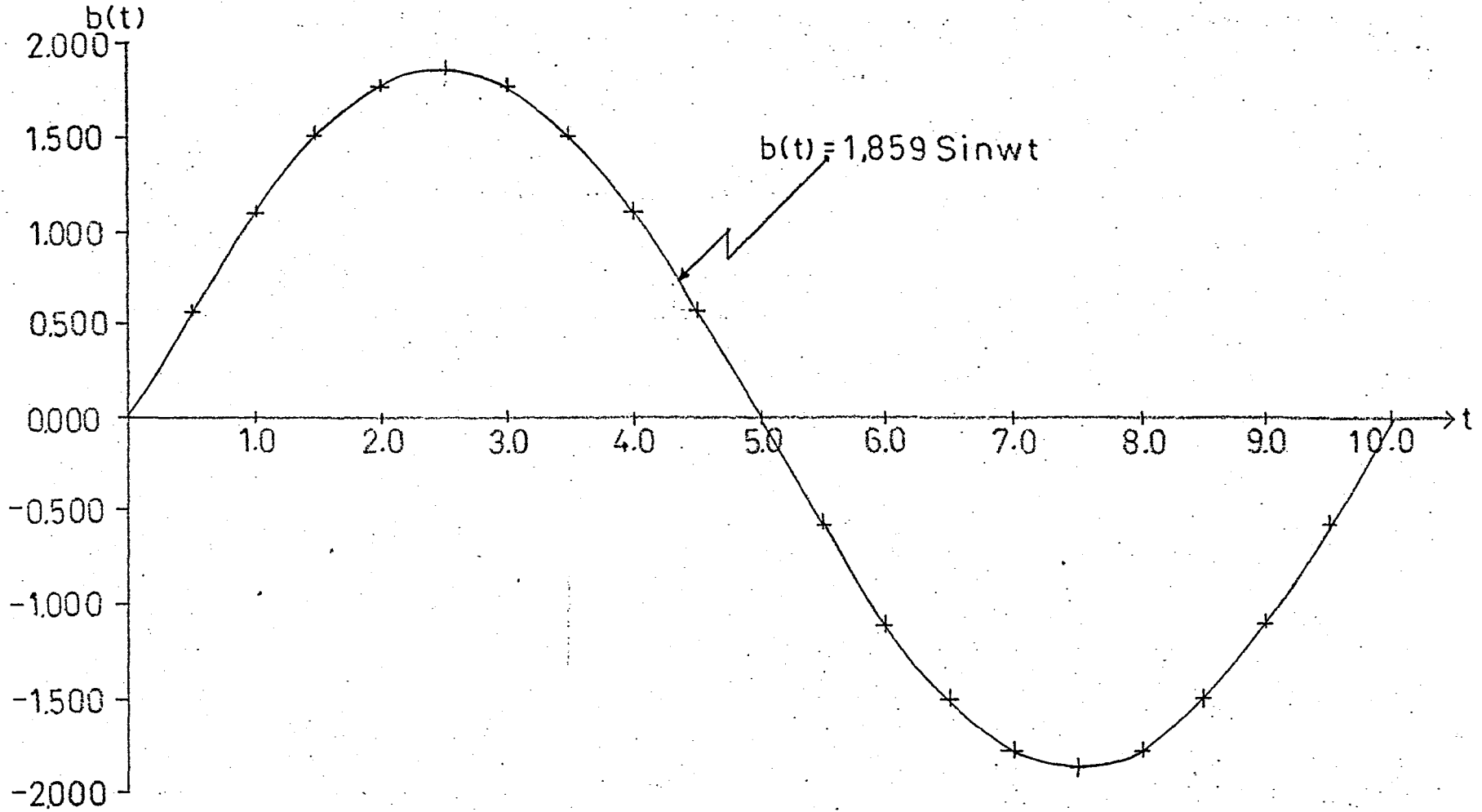
$$M1 = (0.167740298)E + (0.17574774)E^3 + (0.0215)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

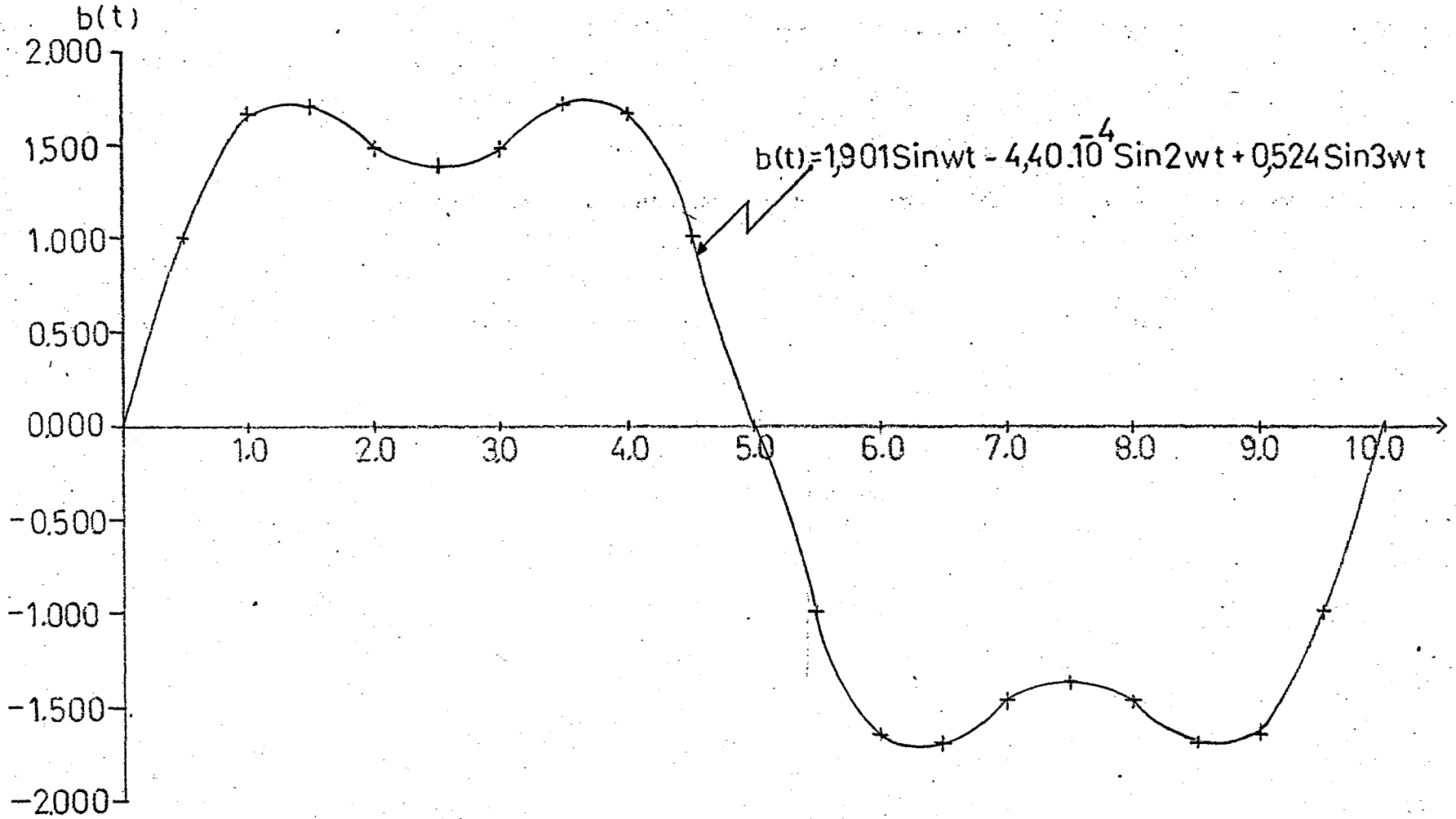
ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	1.30687991
1	1.72005751
1.5	1.53185015
2	1.48631116
2.5	1.6170553
3	1.59430592
3.5	1.49831093
4	1.42906313
4.5	0.998293518
5	-2.65701E-05
5.5	-0.998328492
6	-1.42907073
6.5	-1.49831356
7	-1.59431086
7.5	-1.61705138
8	-1.48630631
8.5	-1.53185948
9	-1.72005677
9.5	-1.3068369
10	7.10223E-05



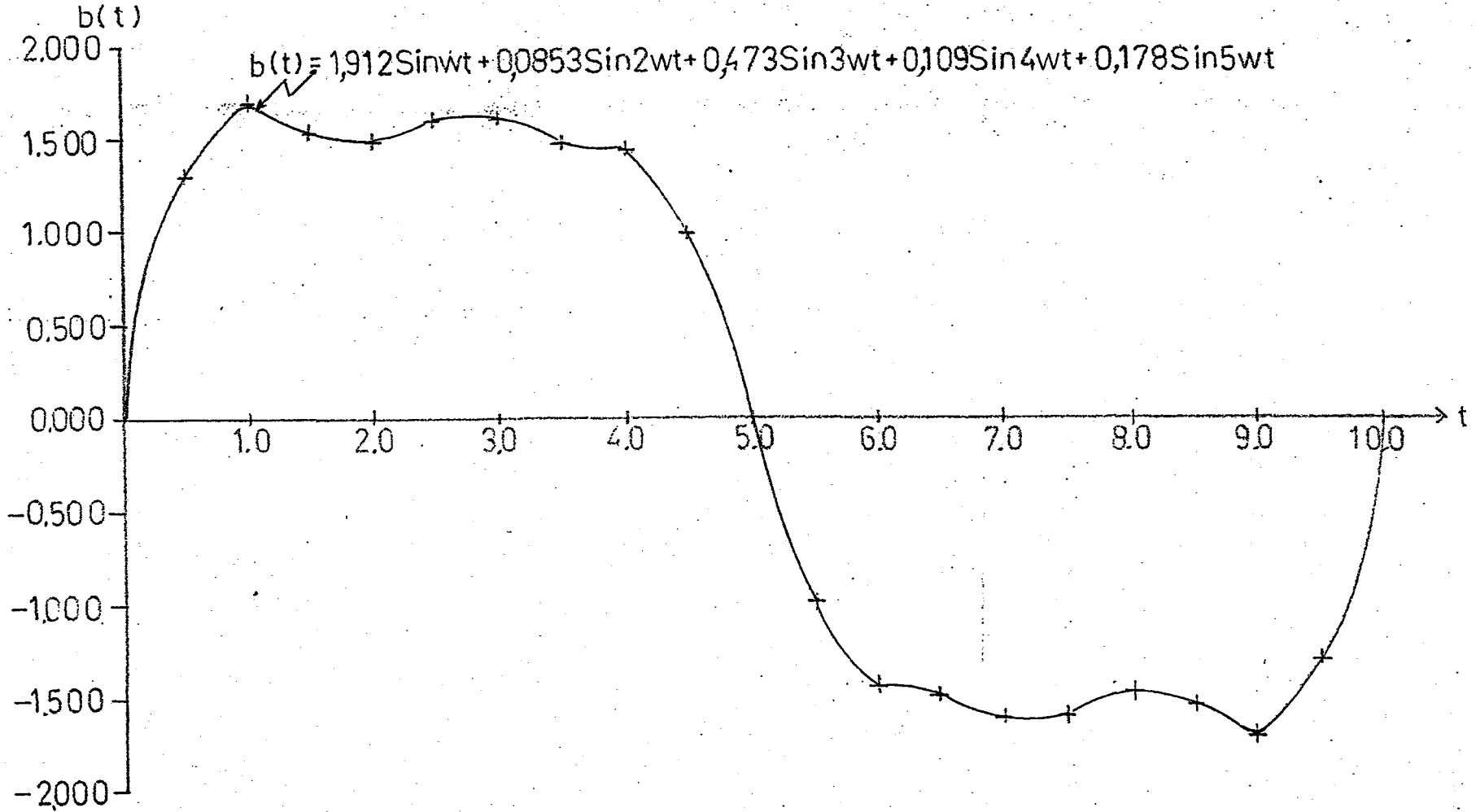
Şekil 4.17. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali



Şekil 4.18. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.19. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.20. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 1.135 C3=-0.247 C5= 0.0215

EGİM= 0.5

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEĞERLERİ:

B1= 1.37625216 B2= 0 B3= 0

SON ADIM BÜYÜKLÜĞÜ= 0.5

MALİYET= 1.25174E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.113253215	5.77436E-02
0.2	0.22503088	0.115233422
0.3	0.333883245	0.172241245
0.4	0.43841216	0.228590644
0.5	0.537296875	0.284182544
0.6	0.62931984	0.339021069
0.7	0.713392585	0.393239346
0.8	0.78858112	0.447125298
0.9	0.854132535	0.501147452
1	0.9095	0.555980731
1.1	0.954368965	0.612532263
1.2	0.98868288	0.671967171

SALINIM SINYALSIZ FONKSİYON AŞAĞIDIR:

$$M=(1.135)E+(-0.247)E^3+(0.0215)E^5$$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.577868207)E + (-4.33875E-02)E^3 + (0.0215)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.425286266
1	0.808942357
1.5	1.11341317
2	1.30889483
2.5	1.37625216
3	1.30889171
3.5	1.11340722
4	0.808934178
4.5	0.425276652
5	-1.01090E-05
5.5	-0.425295881
6	-0.808950535
6.5	-1.11341911
7	-1.30889795
7.5	-1.37625216
8	-1.30888858
8.5	-1.11340128
9	-0.808926
9.5	-0.425267038
10	2.02180E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 1.135 C3=-0.247 C5= 0.0215

EGİM= 0.5

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.04842426 B2= 7.05025E-02 B3= 1.04659243

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.25

MALİYET= 9.05798E-04

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.113253215	5.49005E-02
0.2	0.22503088	0.109744197
0.3	0.333883245	0.164499946
0.4	0.43841216	0.219188315
0.5	0.537296875	0.273907246
0.6	0.62931984	0.328857877
0.7	0.713392505	0.384370351
0.8	0.78858112	0.440929605
0.9	0.854132535	0.499201182
1	0.9095	0.560057021
1.1	0.954368965	0.624601262
1.2	0.98668288	0.694196046

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$M = (1.135)E + (-0.247)E^3 + (0.0215)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.549108648)E + (-0.010551628)E^3 + (0.0215)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	1.21213446
1	1.67866859
1.5	1.23865441
2	0.423372601
2.5	1.83132E-03
3	0.340508085
3.5	1.10456802
4	1.544566
4.5	1.12923362
5	-2.97325E-05
5.5	-1.12927371
6	-1.54456357
6.5	-1.10453384
7	-0.340477201
7.5	-1.83339E-03
8	-0.423406635
8.5	-1.23868967
9	-1.67866974
9.5	-1.21209102
10	6.36079E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 1.135 C3=-0.247 C5= 0.0215

EGİM= 0.5

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.37221712 B2= 0.32931472 B3= 0.85360472

B4=-8.80487E-03 B5= 0.252111147

SON ADIM BUYUKLUGU= 1

MALİYET= 3.56730E-04

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.113253215	4.34064E-02
0.2	0.22503088	8.71328E-02
0.3	0.333883245	0.131524831
0.4	0.43841216	0.176979898
0.5	0.537296875	0.223972728
0.6	0.62931984	0.273081262
0.7	0.713392505	0.32501244
0.8	0.78858112	0.380628004
0.9	0.854132535	0.440970293
1	0.9095	0.50728805
1.1	0.954368965	0.581062213
1.2	0.98868288	0.664031725

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

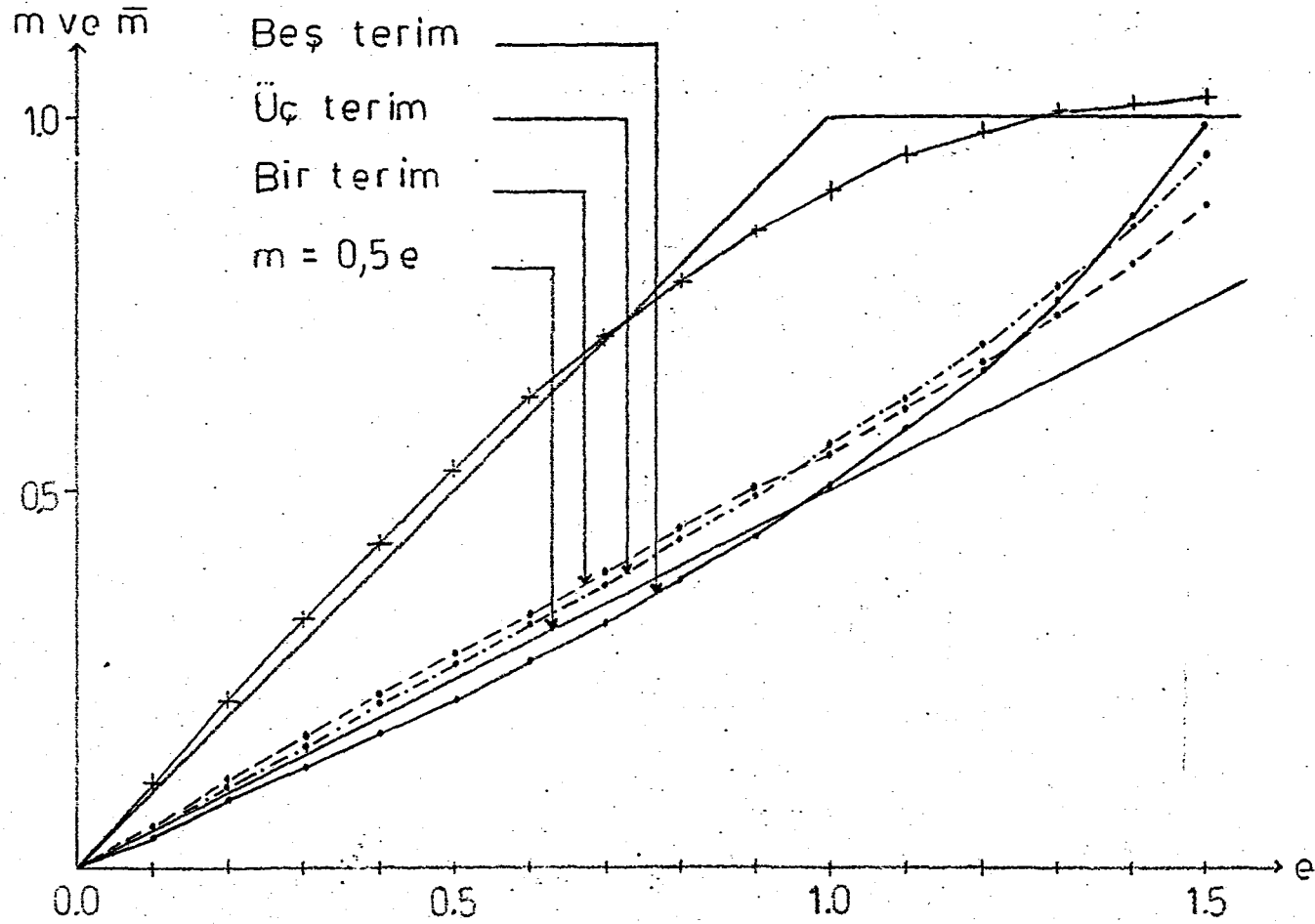
$$M = (1.135)E + (-0.247)E^3 + (0.0215)E^5$$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

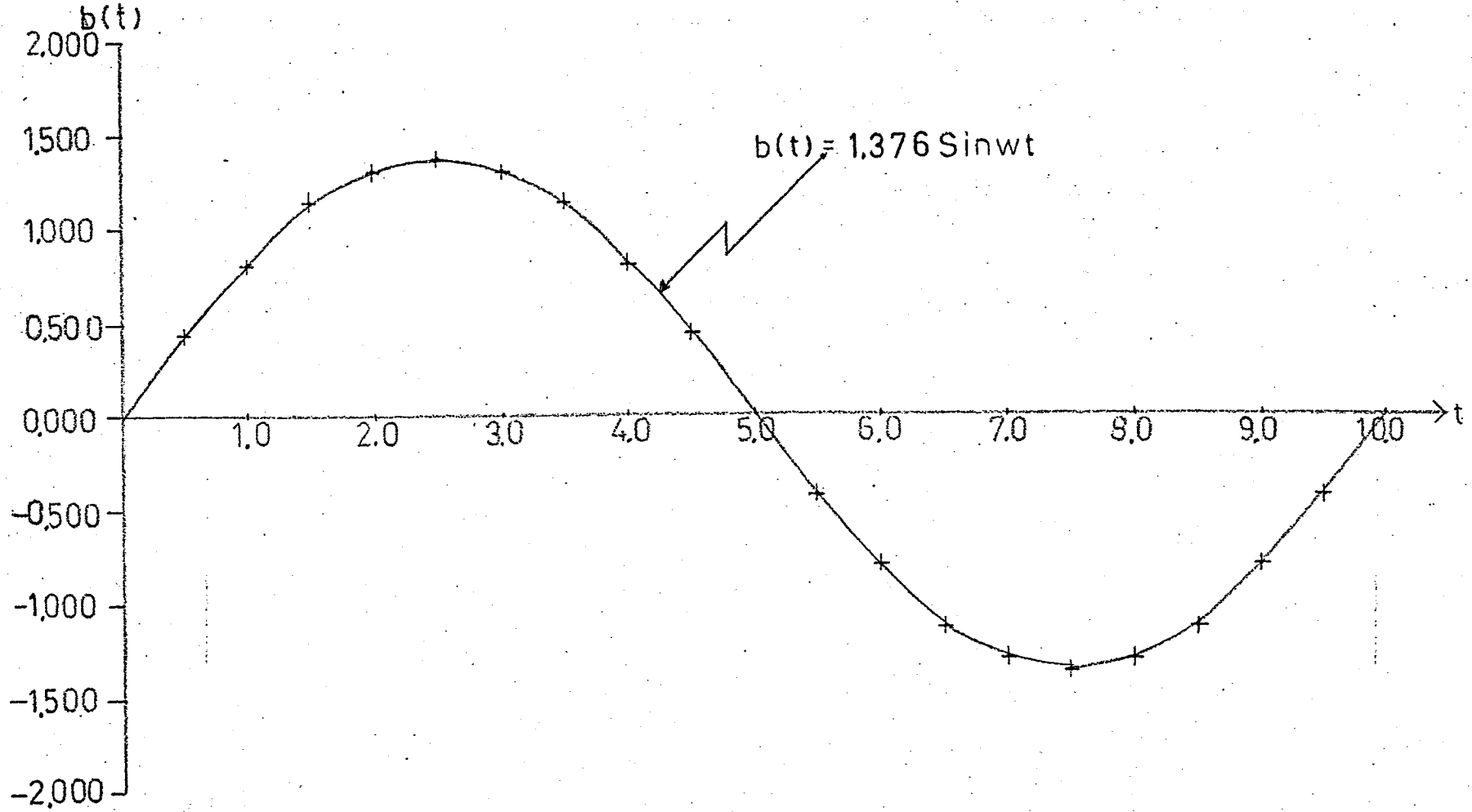
$$M1 = (0.433539592)E + (5.22485E-02)E^3 + (0.0215)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

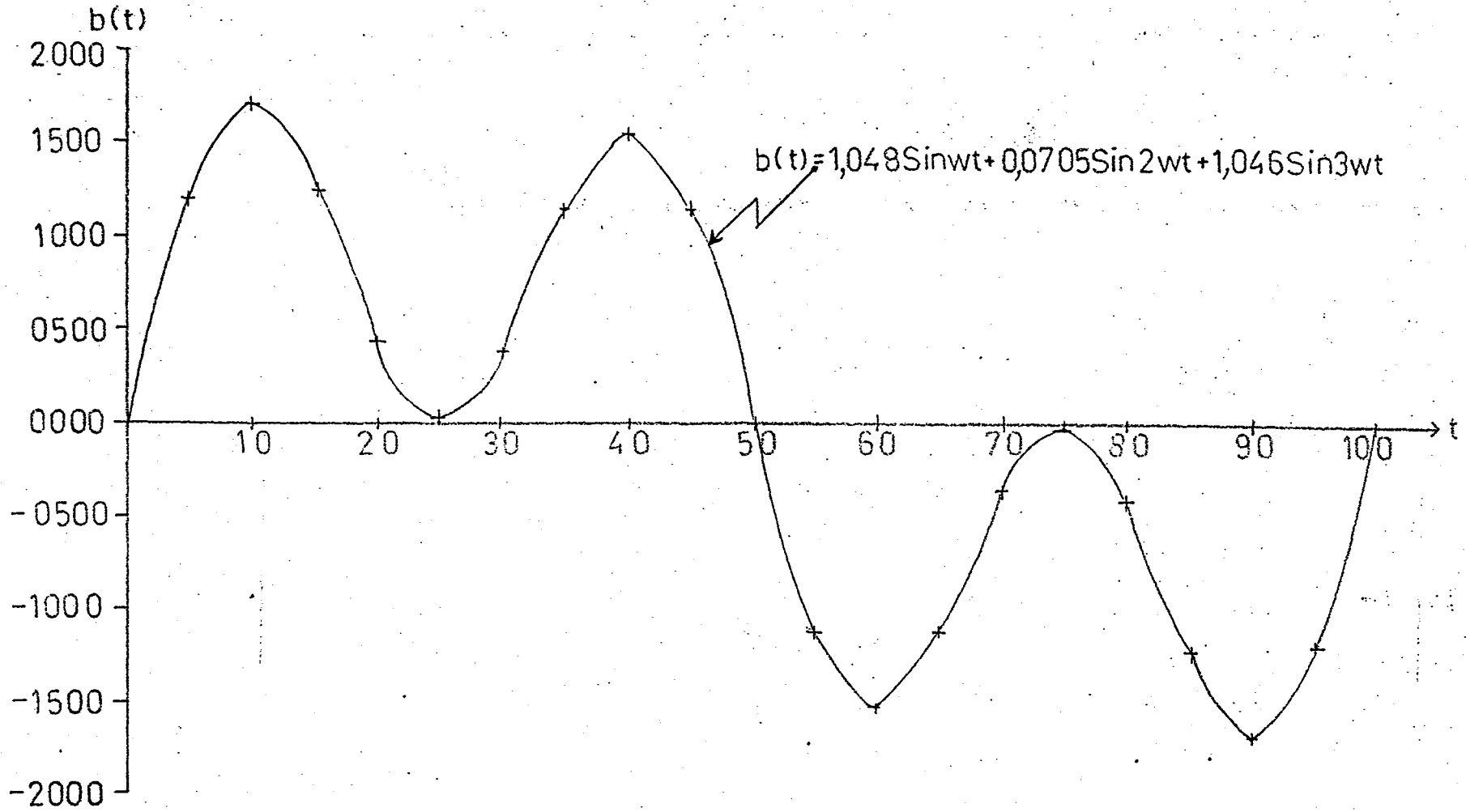
ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	1.55192513
1	1.92641581
1.5	1.4401825
2	1.0052573
2.5	0.770720994
3	0.601378804
3.5	0.803449376
4	1.31036068
4.5	1.18152275
5	-3.35742E-05
5.5	-1.18155637
6	-1.31036343
6.5	-0.803428016
7	-0.601381106
7.5	-0.770731187
8	-1.00527097
8.5	-1.440209
9	-1.92642624
9.5	-1.55187618
10	8.54650E-05



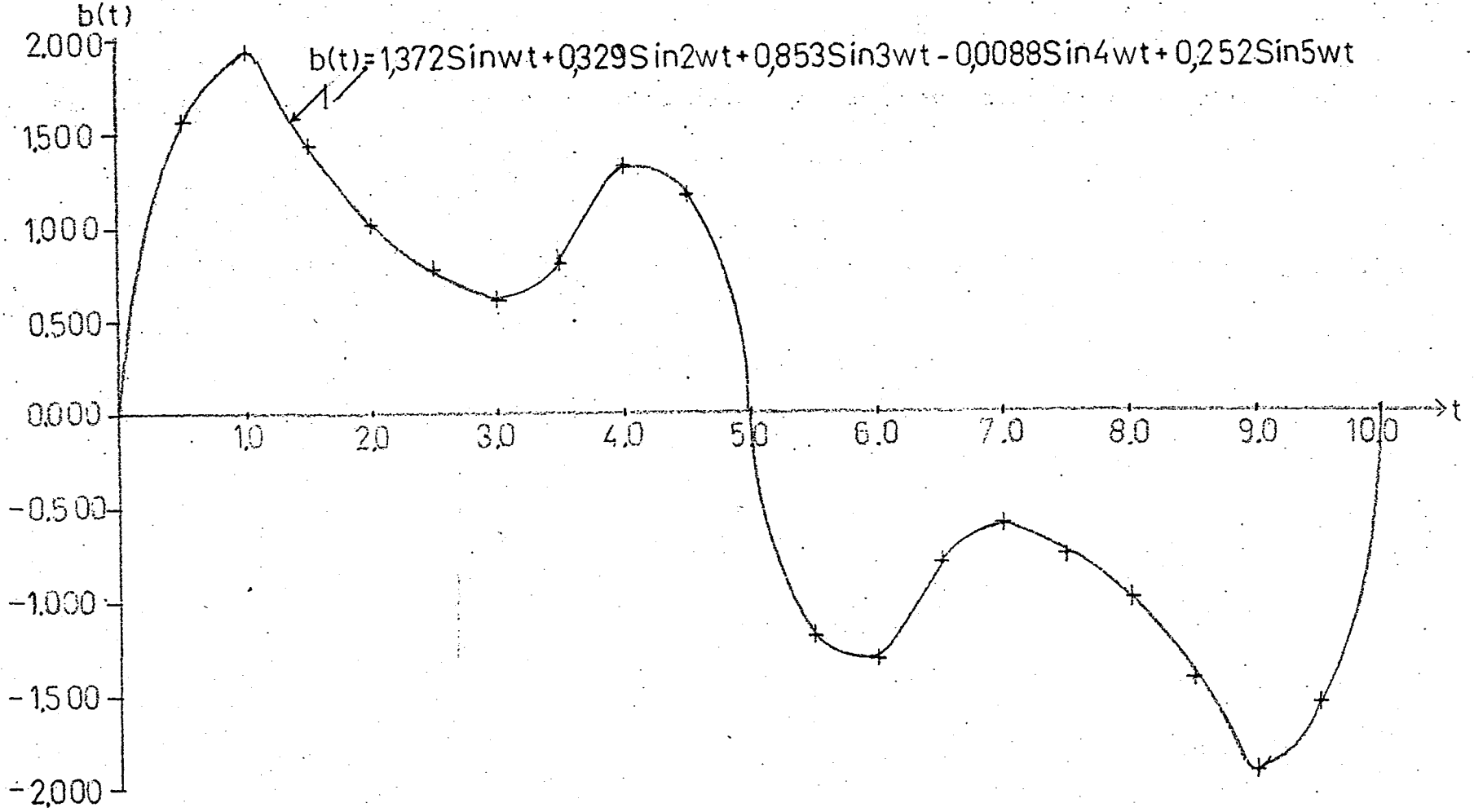
Şekil 4.21. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali



Şekil 4.22. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.23. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali şekli



Şekil 4.24. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 1.135 C3=-0.247 C5= 0.0215

EGİM= 0.7

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.19440293 B2= 0 B3= 0

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.25

MALİYET= 1.25191E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.113253215	6.87554E-02
0.2	0.225030088	0.136955478
0.3	0.333883245	0.204070531
0.4	0.43841216	0.269622603
0.5	0.537296875	0.333211098
0.6	0.62931984	0.394538623
0.7	0.713392505	0.453436784
0.8	0.78858112	0.509891986
0.9	0.854132535	0.564071237
1	0.9095	0.61634794
1.1	0.954368965	0.667327703
1.2	0.98868288	0.717874132

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$M = (1.135)E + (-0.247)E^3 + (0.0215)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.688488615)E+(-9.36407E-02)E^3 + (0.0215)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.369091639
1	0.70205385
1.5	0.966293819
2	1.13594578
2.5	1.19440293
3	1.13594307
3.5	0.966288662
4	0.702046752
4.5	0.369083296
5	-0.77326E-06
5.5	-0.369099983
6	-0.702060948
6.5	-0.966298977
7	-1.13594849
7.5	-1.19440293
8	-1.13594036
8.5	-0.966283505
9	-0.702039655
9.5	-0.369074952
10	1.75465E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 1.135 C3=-0.247 C5= 0.0215

EGİM= 0.7

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.727059618 B2= 0.700092865 B3= 0.784018309

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.25

MALİYET= 5.75518E-05

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.113253215	7.36892E-02
0.2	0.22503088	0.146956386
0.3	0.333883245	0.21940541
0.4	0.43841216	0.290691672
0.5	0.537296875	0.360547985
0.6	0.62931984	0.42881036
0.7	0.713392505	0.495443812
0.8	0.78858112	0.560568152
0.9	0.854132535	0.624483793
1	0.9095	0.687697547
1.1	0.954368965	0.750948428
1.2	0.98868288	0.815233447

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$$M=(1.135)E+(-0.247)E^3+(0.0215)E^5$$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.737603777)E + (-7.14062E-02)E^3 + (0.0215)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	1.27046453
1	1.83882896
1.5	1.49630151
2	0.64213639
2.5	-5.69638E-02
3	-0.18086147
3.5	0.164657768
4	0.507176119
4.5	0.447447429
5	-1.23357E-05
5.5	-0.447461258
6	-0.507167725
6.5	-0.164637539
7	0.180869483
7.5	5.69433E-02
8	-0.642177686
8.5	-1.49633445
9	-1.83882464
9.5	-1.27041742
10	6.58106E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1= 1.135 C3=-0.247 C5= 0.0215

EGİM= 0.7

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.747564879 B2= 0.196090529 B3=-4.90092E-02

B4= 1.22657E-02 B5= 0.379915312

SOM ADIM BUYUKLUGU= 1

MALİYET= 3.82316E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0.113253215	8.89632E-02
0.2	0.22503088	0.176930904
0.3	0.333883245	0.262933292
0.4	0.43841216	0.346052242
0.5	0.537296875	0.42544701
0.6	0.62931984	0.50038005
0.7	0.713392505	0.570242815
0.8	0.78858112	0.634581561
0.9	0.854132535	0.693123141
1	0.9095	0.74580081
1.1	0.954368965	0.792780022
1.2	0.98868288	0.834484232

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

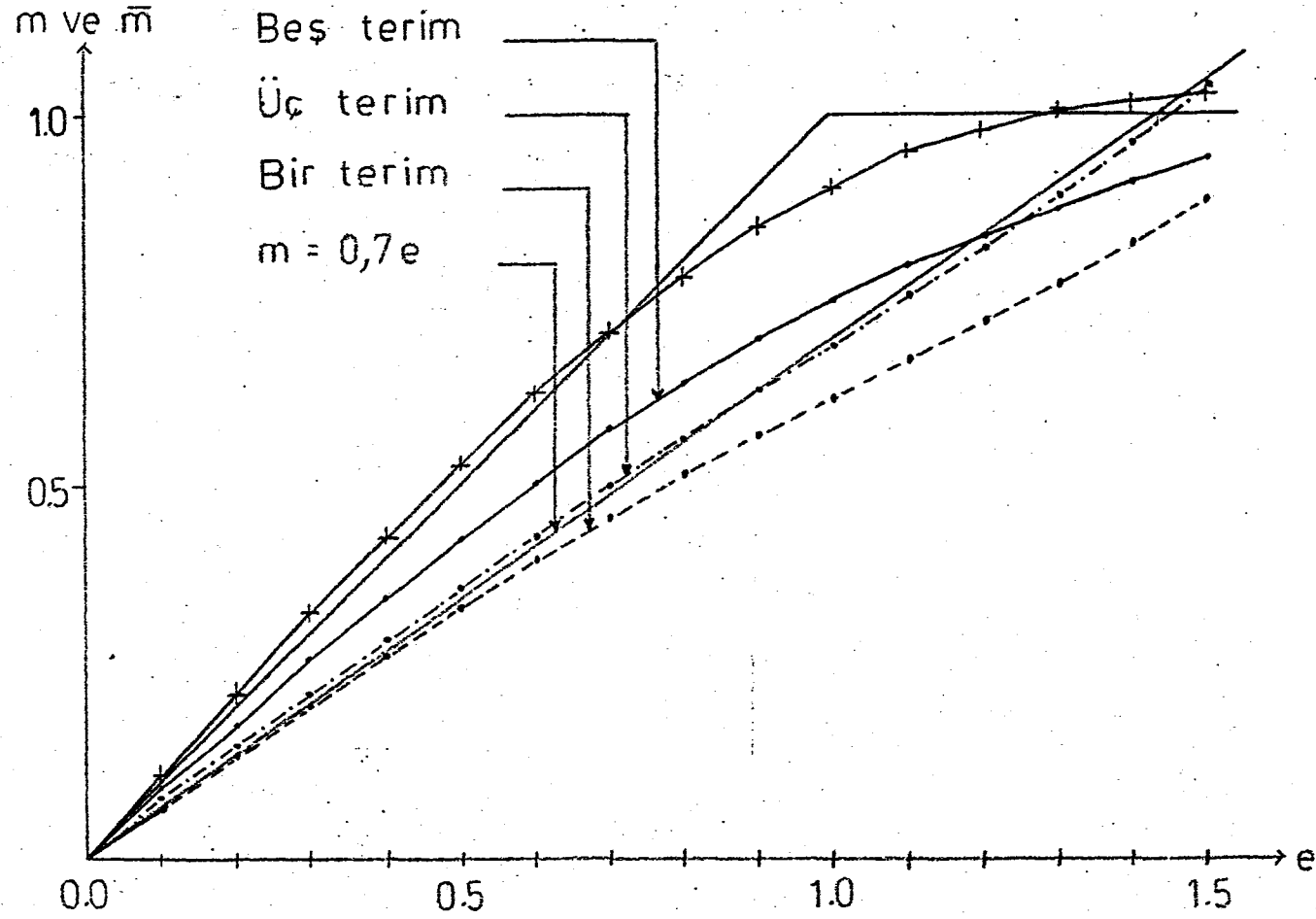
$M = (1.135)E + (-0.247)E^3 + (0.0215)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

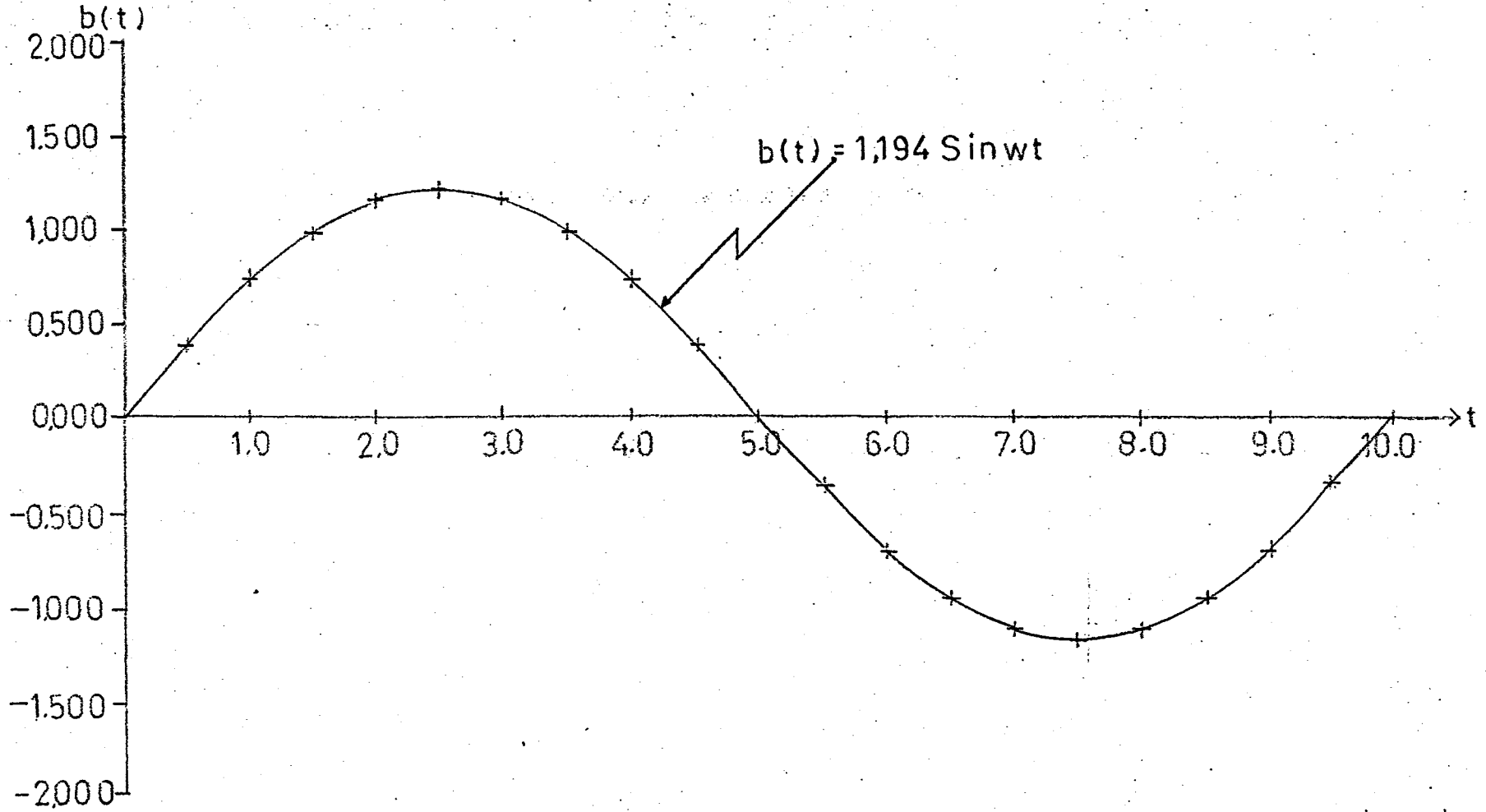
$$M1 = (0.89130009)E + (-0.166999281)E^3 + (0.0215)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

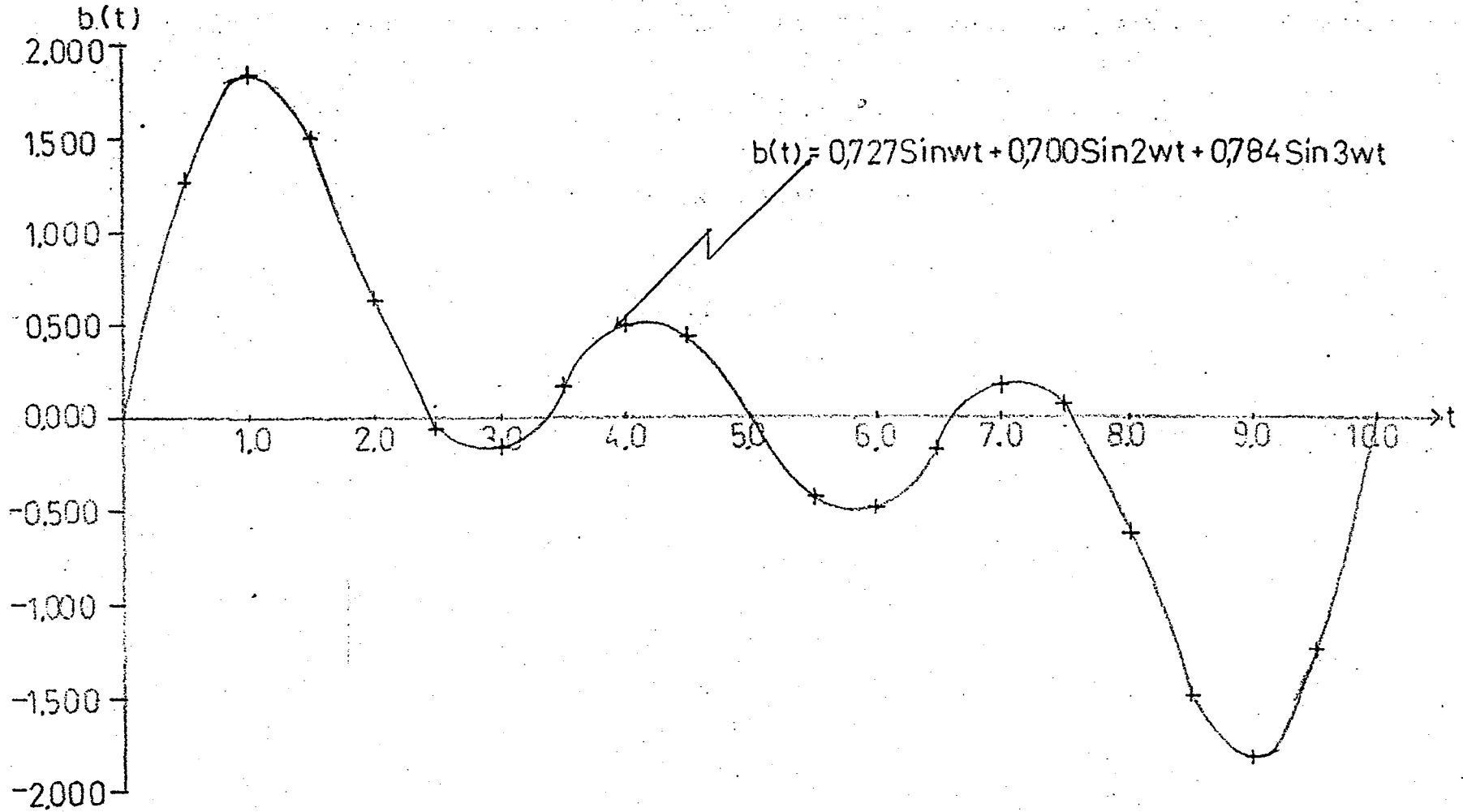
ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.698201545
1	0.586498193
1.5	0.389017182
2	0.84338275
2.5	1.17648811
3	0.636178373
3.5	3.04454E-02
4	0.199102129
4.5	0.444349833
5	-1.51245E-05
5.5	-0.444354125
6	-0.199082575
6.5	-3.04562E-02
7	-0.636215864
7.5	-1.17649315
8	-0.843354141
8.5	-0.389011036
9	-0.586515352
9.5	-0.698187485
10	4.32133E-05



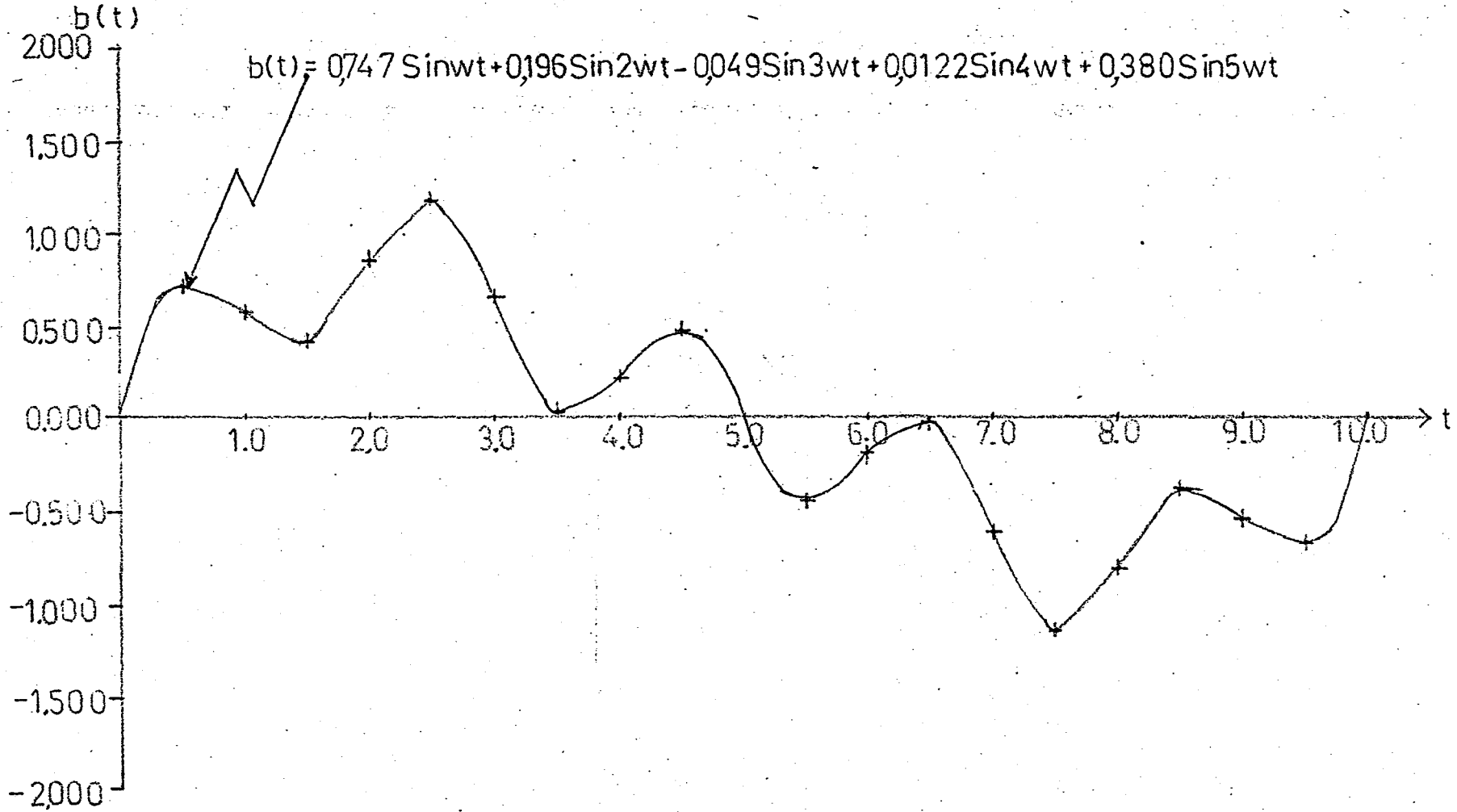
Şekil 4.25. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali



Şekil 4.26. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.27. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.28. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli

4.2.3. İdeal ölü bölge karakteristiği

Şekil 4.3'deki uydurulmuş eğriye uygulanan salınım sinyallerinin optimum genlikleri ve şekli ile \bar{m} ortalama değerleri, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan K 'nın aldığı değerlere göre hesaplanmıştır.

$K=0.3$ için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli, Şekil 4.29'da, salınım sinyallerinin şekli; Fourier serisinden bir terim alındığında Şekil 4.30'da, üç terim alındığında Şekil 4.31'de, beş terim alındığında Şekil 4.32'de gösterilmiştir.

$K=0.5$ için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.33'de, salınım sinyallerinin şekli; bir terim alındığında Şekil 4.34'de, üç terim alındığında Şekil 4.35'de, beş terim alındığında Şekil 4.36'da gösterilmiştir.

$K=0.7$ için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.37'de, salınım sinyallerinin şekli; bir terim alındığında Şekil 4.38'de, üç terim alındığında Şekil 4.39'da, beş terim alındığında Şekil 4.40'da gösterilmiştir.

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.146 C3= 0.252 C5=-0.0221

EGİM= 0.3

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.19831444 B2= 0 B3= 0

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.25

MALİYET= 1.22526E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.014348221	3.12280E-02
0.2	-0.027191072	6.30093E-02
0.3	-0.037049703	9.58708E-02
0.4	-0.042498304	0.13028616
0.5	-0.042190625	0.166649656
0.6	-0.034886496	0.205249404
0.7	-0.019478347	0.246240932
0.8	4.98227E-03	0.289620552
0.9	3.92582E-02	0.335199333
1	8.39000E-02	0.382575585
1.1	0.139219729	0.43110934
1.2	0.205264128	0.479895326

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$$M = (-0.146)E + (0.252)E^3 + (-0.0221)E^5$$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.311348888)E + (0.093326697)E^3 + (-0.0221)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.370300363
1	0.704352979
1.5	0.969458297
2	1.13966584
2.5	1.19831444
3	1.13966312
3.5	0.969453124
4	0.704345857
4.5	0.370291992
5	-0.80199E-06
5.5	-0.370308735
6	-0.7043601
6.5	-0.969463471
7	-1.13966856
7.5	-1.19831444
8	-1.1396604
8.5	-0.969447949
9	-0.704338737
9.5	-0.370283621
10	1.76040E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.146 C3= 0.252 C5=-0.0221

EGİM= 0.3

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.732153016 B2= 0.696657365 B3= 0.786072538

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.25

MALİYET= 6.94468E-05

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.014348221	0.026002609
0.2	-0.027191072	5.24219E-02
0.3	-0.037049703	7.96480E-02
0.4	-0.042498304	0.108018024
0.5	-0.042190625	0.137789542
0.6	-0.034886496	0.169114013
0.7	-0.019478347	0.20201031
0.8	4.98227E-03	0.236338182
0.9	3.92582E-02	0.271771741
1	8.39000E-02	0.307772938
1.1	0.139219729	0.343565043
1.2	0.205264128	0.378106127

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$$M = (-0.146)E + (0.252)E^3 + (-0.0221)E^5$$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.259322798)E^+ + (7.05501E-02)E^+3 + (-0.0221)E^+5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	1.27285662
1	1.84241123
1.5	1.4996917
2	0.644929285
2.5	-5.39247E-02
3	-0.176381014
3.5	0.170778466
4	0.513488854
4.5	0.451526976
5	-1.24395E-05
5.5	-0.451540963
6	-0.513480506
6.5	-0.170758182
7	0.176389112
7.5	5.39041E-02
8	-0.644970598
8.5	-1.49972467
9	-1.84240689
9.5	-1.27280942
10	6.59338E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.146 C3= 0.252 C5=-0.0221

EGİM= 0.3

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.736056638 B2= 0.193299200 B3=-4.79263E-02

B4= 1.23801E-02 B5= 0.374218351

SON ADIM BUYUKLUGU= 1

MALİYET= 4.55261E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.014348221	9.75651E-03
0.2	-0.027191072	2.05399E-02
0.3	-0.037049703	3.33507E-02
0.4	-0.042498304	0.049136179
0.5	-0.042190625	6.87642E-02
0.6	-0.034886496	0.092996368
0.7	-0.019478347	0.122461942
0.8	4.98227E-03	0.157630884
0.9	3.92582E-02	0.198787563
1	6.39000E-02	0.246004184
1.1	0.139219729	0.299114274
1.2	0.205264128	0.357686162

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

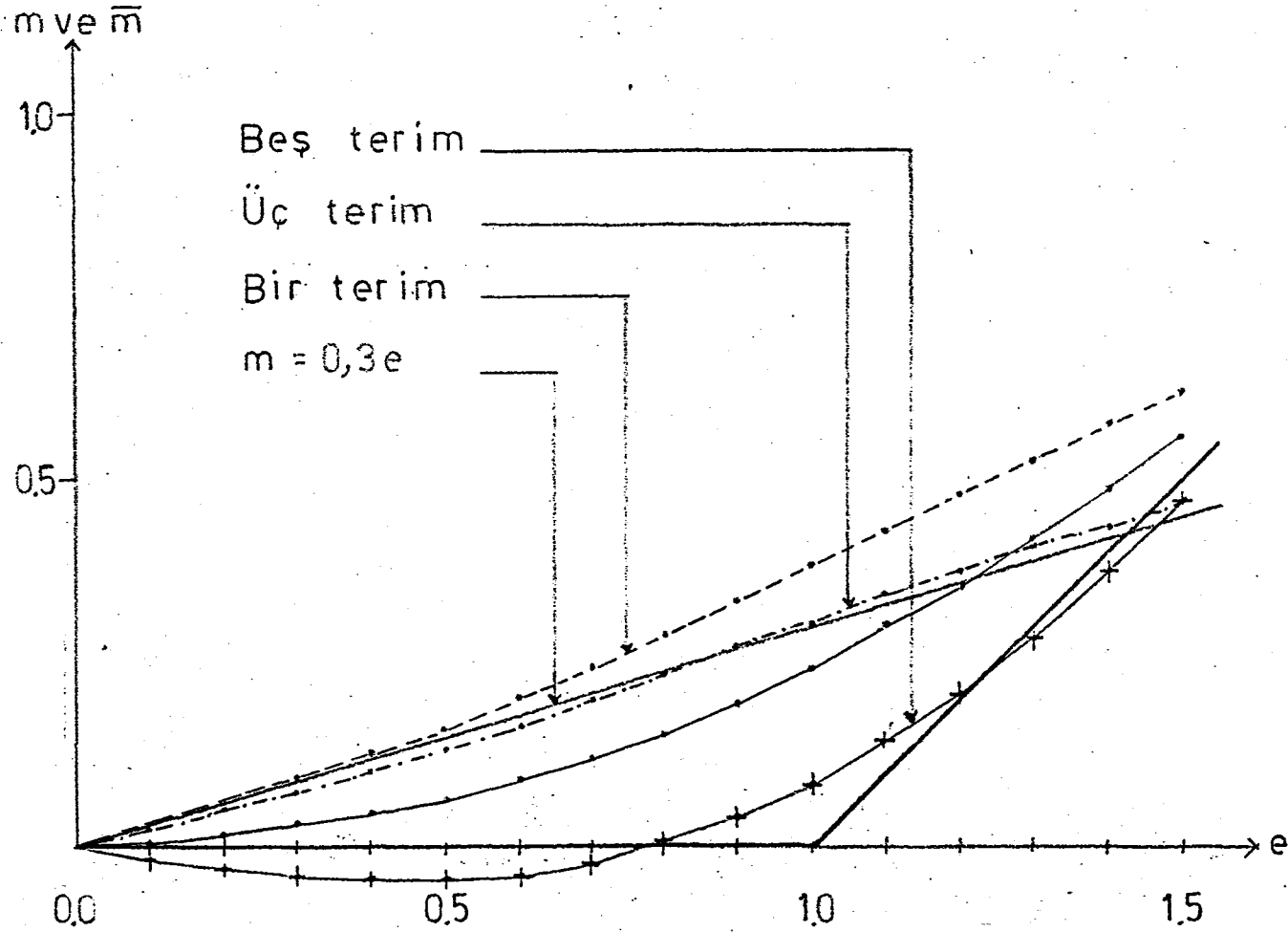
$$M = (-0.146)E + (0.252)E^3 + (-0.0221)E^5$$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

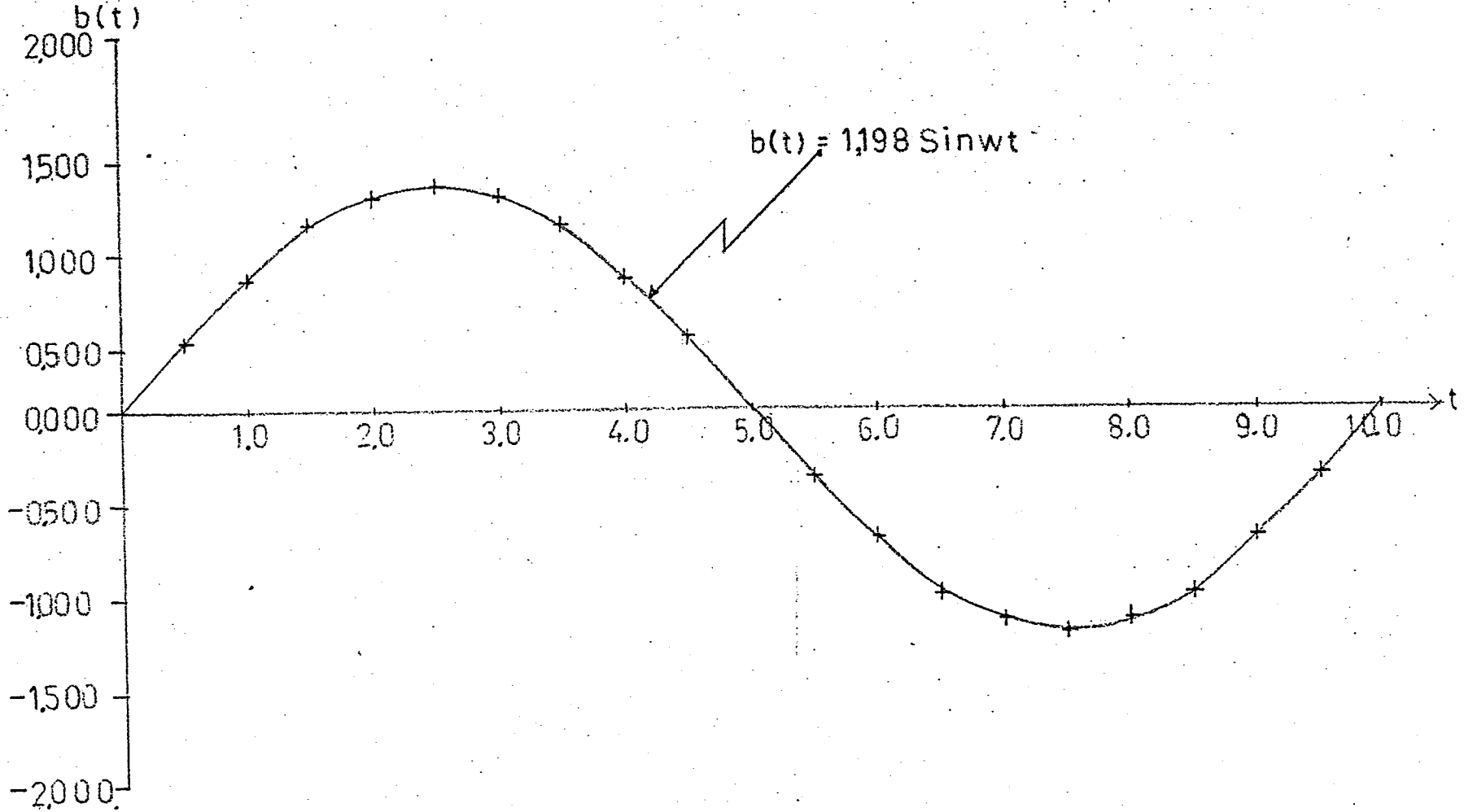
$$M1 = (9.58447E-02)E + (0.172259495)E^3 + (-0.0221)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

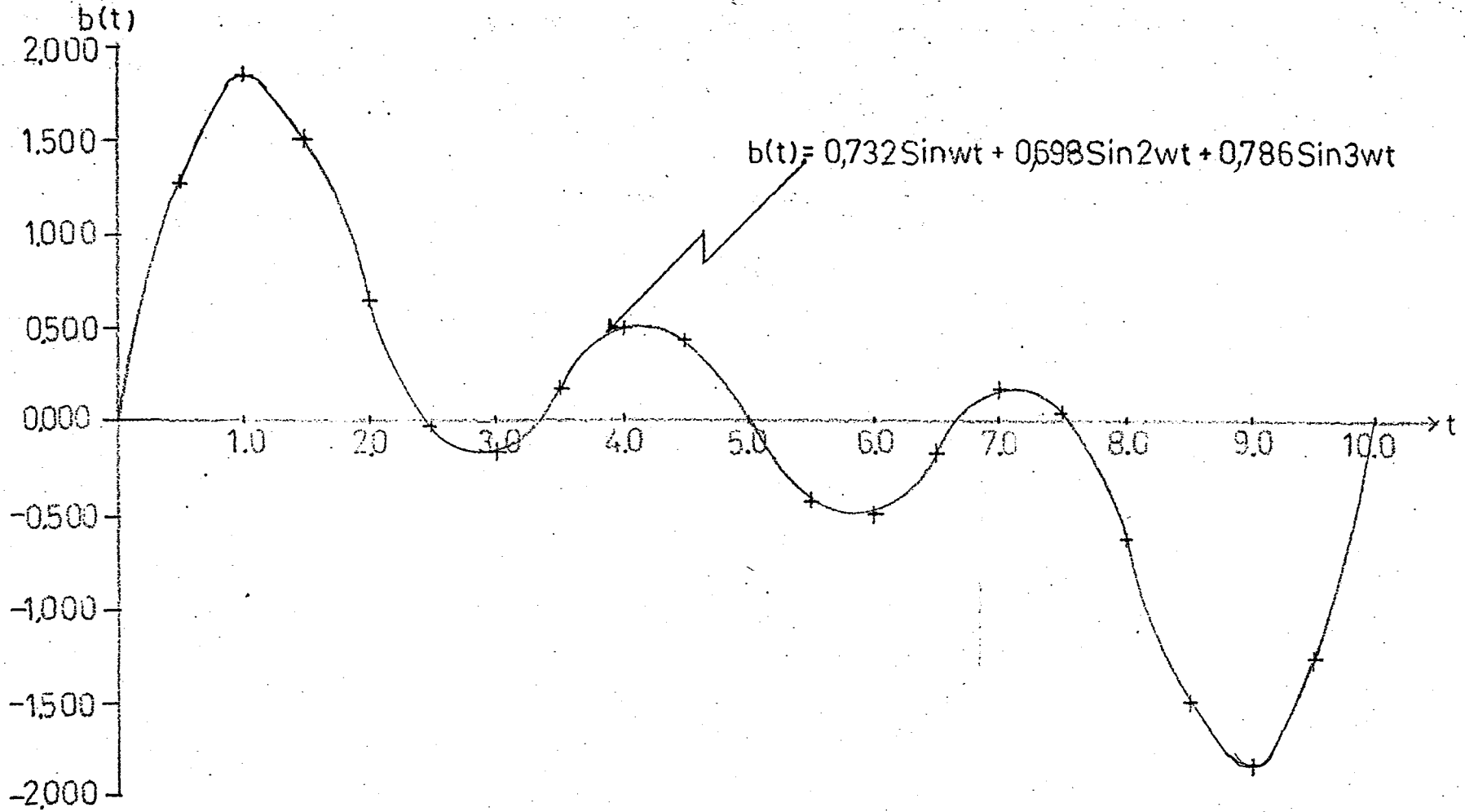
ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.688292413
1	0.578176198
1.5	0.383016487
2	0.830051762
2.5	1.15820007
3	0.626346487
3.5	2.98885E-02
4	0.195955011
4.5	0.437504692
5	-1.48922E-05
5.5	-0.437508914
6	-0.195935755
6.5	-2.98992E-02
7	-0.6263834
7.5	-1.15820502
8	-0.830023594
8.5	-0.383010466
9	-0.57819312
9.5	-0.68827855
10	4.25982E-05



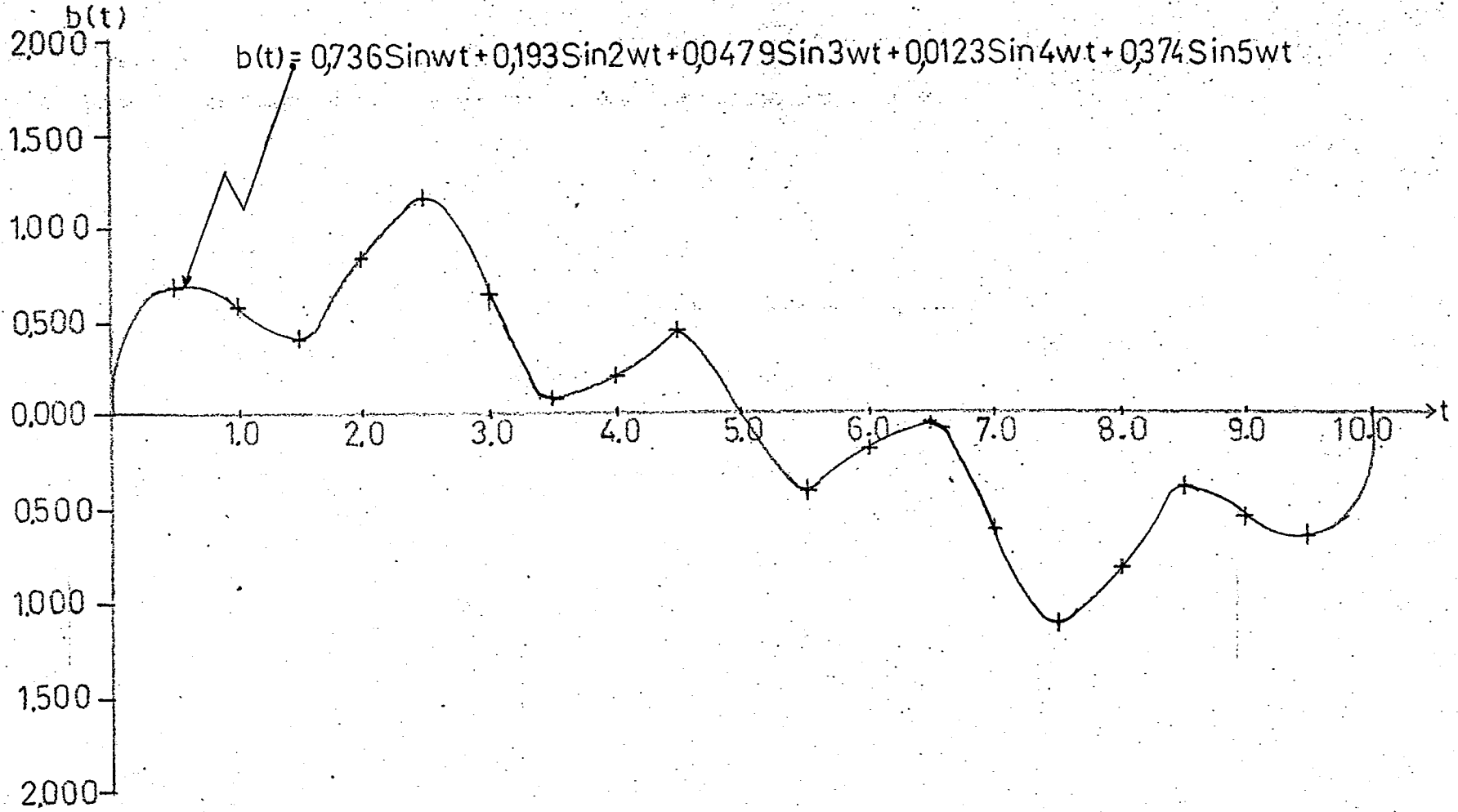
Şekil 4.29. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen linear karakteristiğin eğimi $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali



Şekil 4.30. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.31. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali şekli



Şekil 4.32. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.146 C3= 0.252 C5=-0.0221

EGİM= 0.5

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.38276569 B2= 0 B3= 0

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.5

MALİYET= 1.19789E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.014348221	4.25665E-02
0.2	-0.027191072	8.53707E-02
0.3	-0.037049703	0.128623752
0.4	-0.042498304	0.172483781
0.5	-0.042190625	0.217029358
0.6	-0.034886496	0.262232969
0.7	-0.019478347	0.307934501
0.8	4.98227E-03	0.353814721
0.9	3.92582E-02	0.399368756
1	8.39000E-02	0.443879573
1.1	0.139219729	0.486391458
1.2	0.205264128	0.525683499

SALINIM SINYALSIZ FONKSİYON AŞAĞIDIR:

$$M = (-0.146)E + (0.252)E^3 + (-0.0221)E^5$$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.425260097)E + (4.07195E-02)E^3 + (-0.0221)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.427299062
1	0.812770921
1.5	1.11868273
2	1.31508957
2.5	1.38276569
3	1.31508643
3.5	1.11867676
4	0.812762704
4.5	0.427289403
5	-1.01568E-05
5.5	-0.427308722
6	-0.812779139
6.5	-1.1186887
7	-1.31509271
7.5	-1.38276569
8	-1.31508329
8.5	-1.11867079
9	-0.812754488
9.5	-0.427279743
10	2.03137E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.146 C3= 0.252 C5=-0.0221

EGİM= 0.5

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.08144669 B2= 0.161141231 B3= 1.09082451

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.25

MALİYET= 7.29394E-04

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.014348221	4.70518E-02
0.2	-0.027191072	9.40274E-02
0.3	-0.037049703	0.140824189
0.4	-0.042498304	0.187286484
0.5	-0.042190625	0.233179
0.6	-0.034886496	0.278160394
0.7	-0.019478347	0.32175672
0.8	4.98227E-03	0.363334913
0.9	3.92582E-02	0.40207627
1	8.39800E-02	0.436949926
1.1	0.139219729	0.466686335
1.2	0.205264128	0.489750754

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$$M=(-0.146)E+(0.252)E^3+(-0.0221)E^5$$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.470635692)E + (-1.15858E-02)E^3 + (-0.0221)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	1.31139977
1	1.82634854
1.5	1.3652408
2	0.482055238
2.5	-9.37900E-03
3	0.292638969
3.5	1.05874987
4	1.51984114
4.5	1.12194674
5	-2.96184E-05
5.5	-1.12198628
6	-1.51983768
6.5	-1.05871495
7	-0.292608813
7.5	9.37427E-03
8	-0.482093053
8.5	-1.36527866
9	-1.82634908
9.5	-1.31135257
10	6.87059E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.146 C3= 0.252 C5=-0.0221

EGIM= 0.5

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.37911894 B2= 0.333740784 B3= 0.860595587

B4=-7.85372E-03 B5= 0.253741055

SON ADIM BUYUKLUGU= 1

MALİYET= 3.76982E-04

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.014348221	5.69934E-02
0.2	-0.027191072	0.11362362
0.3	-0.037049703	0.169500799
0.4	-0.042498304	0.224182164
0.5	-0.042190625	0.277145352
0.6	-0.034886496	0.327761919
0.7	-0.019478347	0.375270818
0.8	4.98227E-03	0.418751887
0.9	3.92582E-02	0.457099321
1	8.39000E-02	0.488995156
1.1	0.139219729	0.512882746
1.2	0.205264128	0.526940248

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

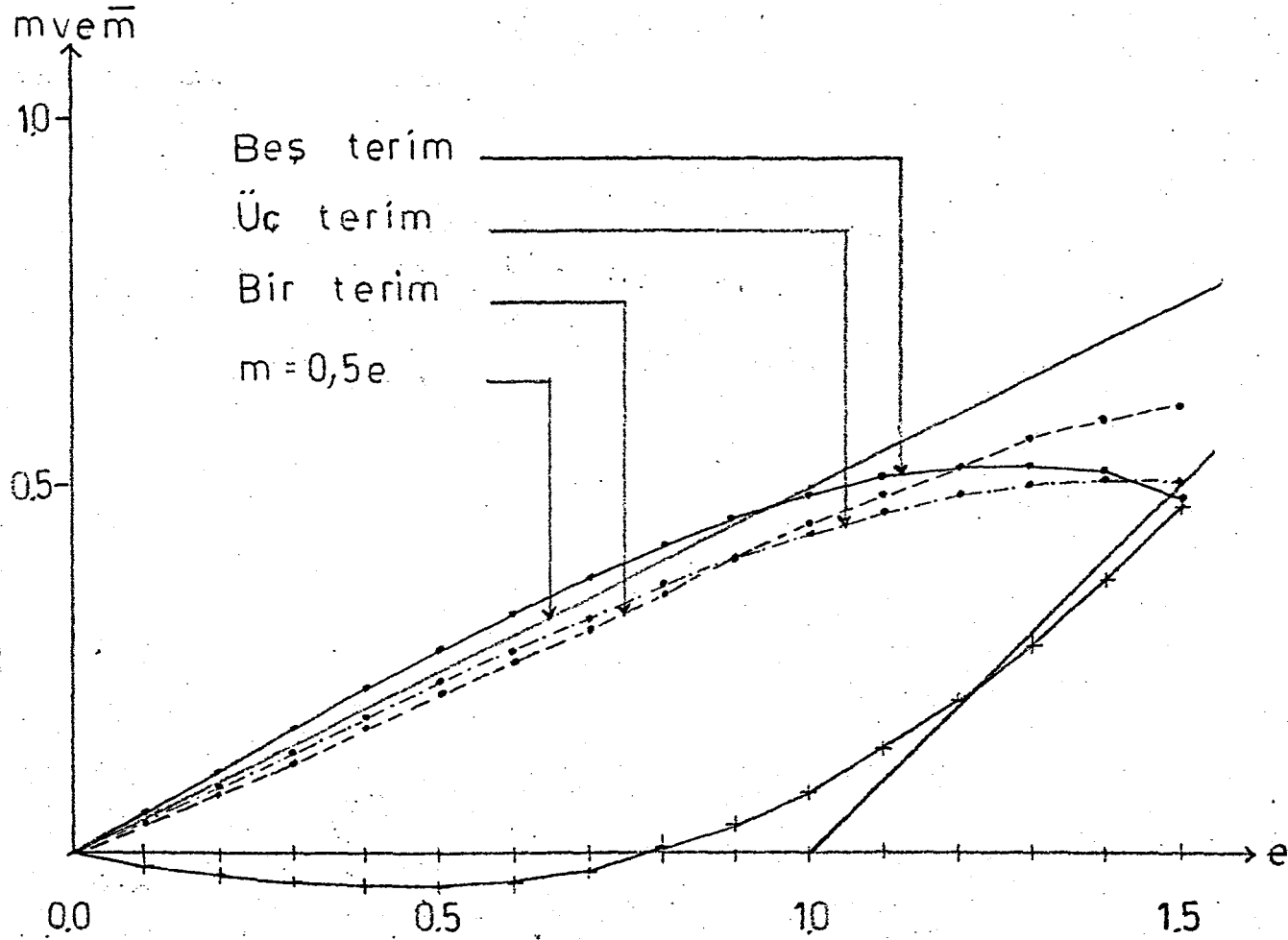
$M = (-0.146)E + (0.252)E^3 + (-0.0221)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

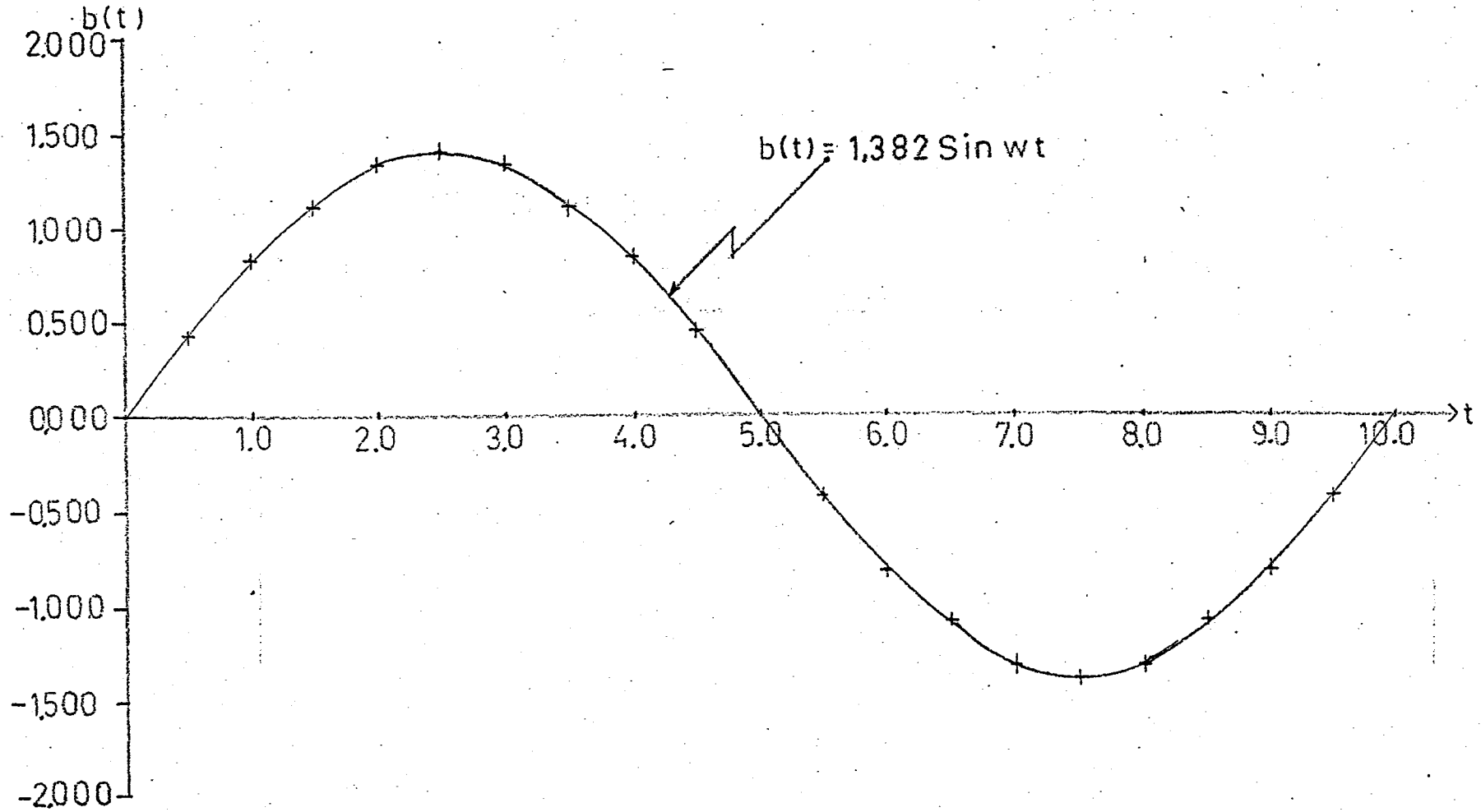
$$M1 = (0.570530888 \times E + (-5.94357E-02) \times E^3 + (-0.0221) \times E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

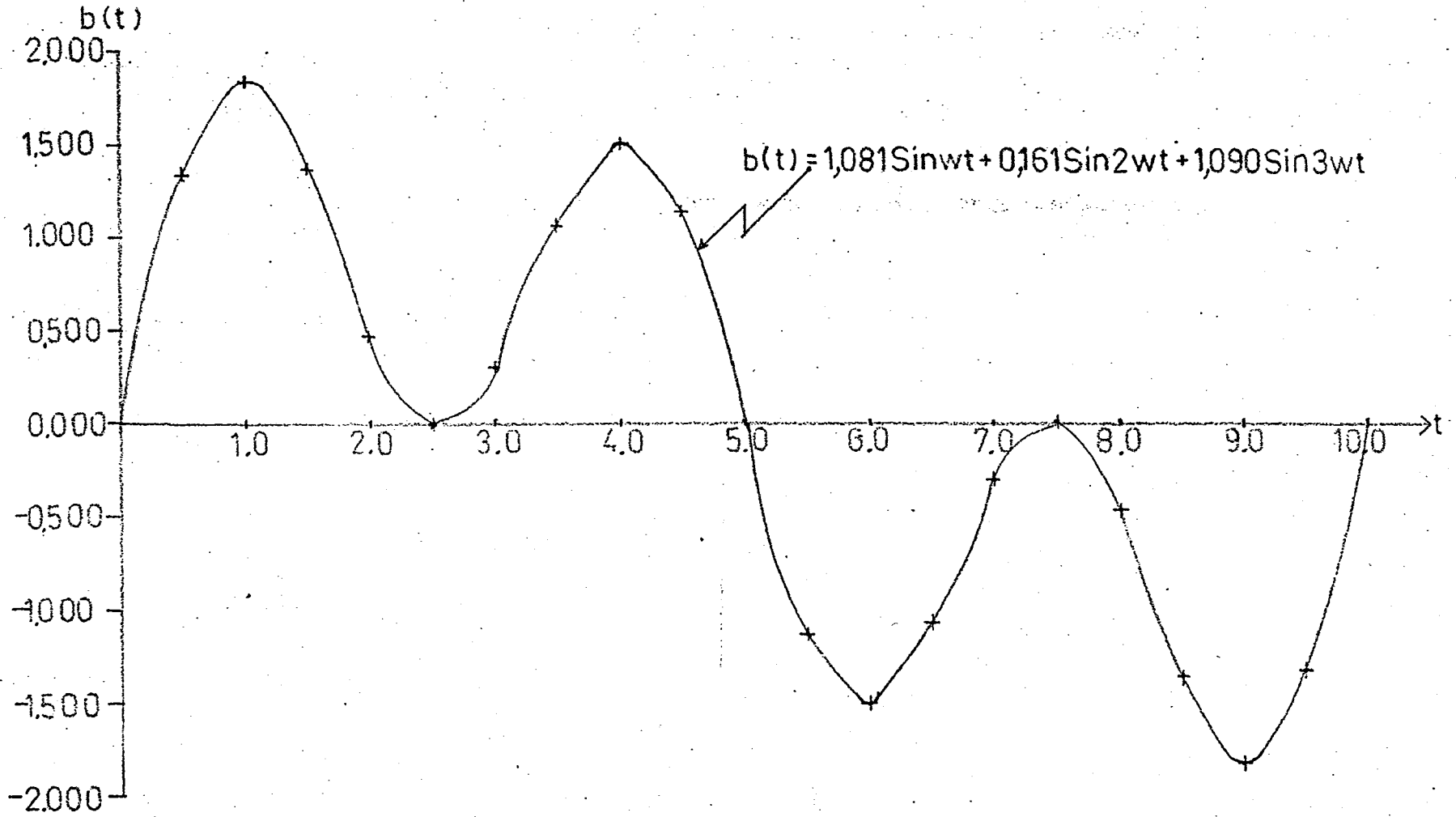
ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	1.56484974
1	1.9418898
1.5	1.44994689
2	1.00940913
2.5	0.772261837
3	0.602136722
3.5	0.805913141
4	1.31631772
4.5	1.18743493
5	-3.37459E-05
5.5	-1.1874687
6	-1.31630034
6.5	-0.805891633
7	-0.602139014
7.5	-0.772272104
8	-1.00942299
8.5	-1.44997371
9	-1.94190037
9.5	-1.56480039
10	8.61802E-05



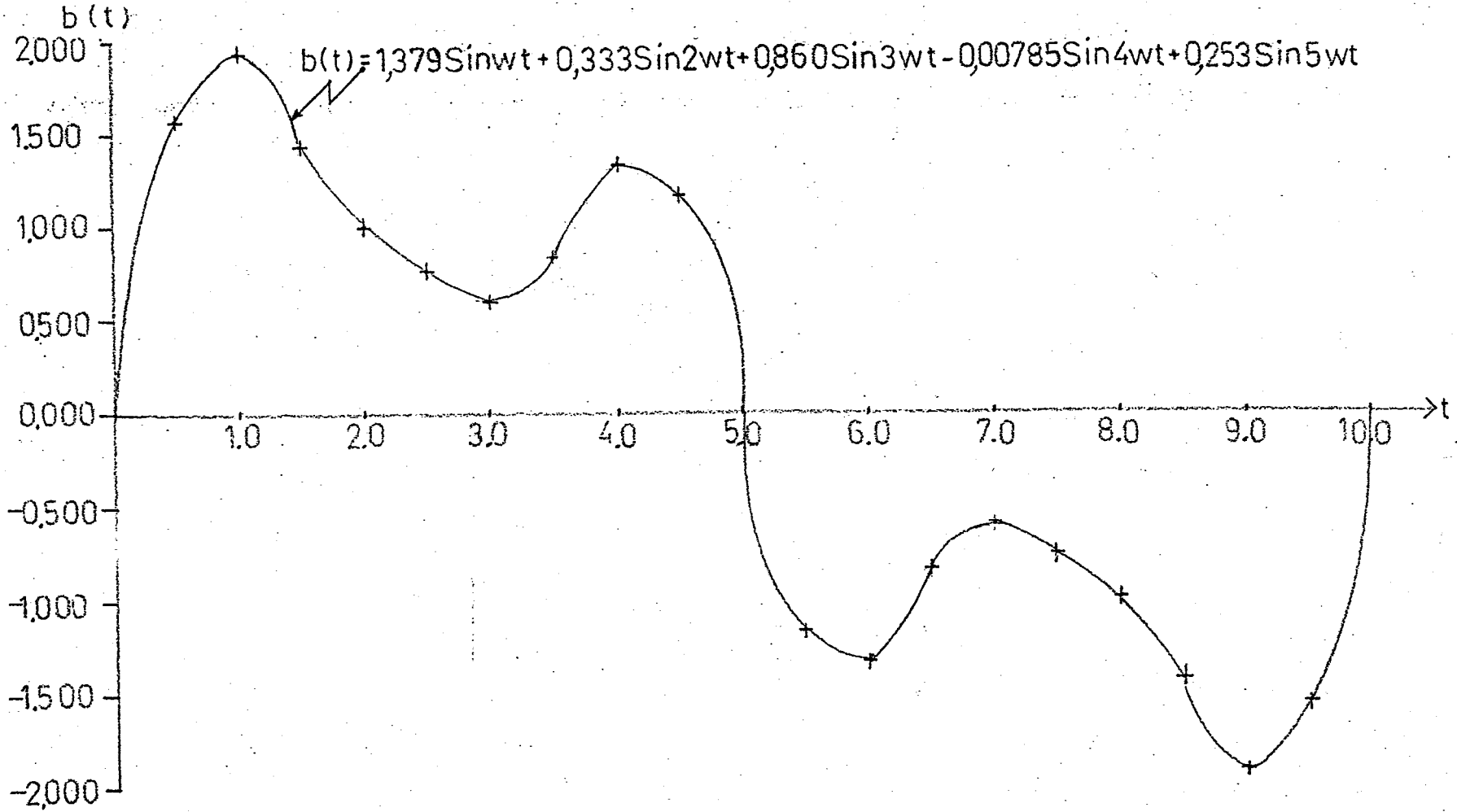
Şekil 4.33. Şekil 4.3'de istenilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen linear karakteristiğin eğimi $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali



Şekil 4.34. -Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.35. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.36. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.146 C3= 0.252 C5=-0.0221

EGİM= 0.7

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.84999221 B2= 0 B3= 0

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.5

MALİYET= 5.55139E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.014348221	6.61060E-02
0.2	-0.027191072	0.131448237
0.3	-0.037049703	0.195236514
0.4	-0.042498304	0.256627526
0.5	-0.042190625	0.314698425
0.6	-0.034886496	0.368420282
0.7	-0.019478347	0.416631568
0.8	4.98227E-03	0.458011635
0.9	3.92582E-02	0.491054195
1	8.39000E-02	0.5140408
1.1	0.139219729	0.52501432
1.2	0.205264128	0.521752429

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$M = (-0.146)E + (0.252)E^3 + (-0.0221)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.662323867)E + (-0.126183067)E^3 + (-0.0221)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.571680326
1	1.08740034
1.5	1.49667754
2	1.75944883
2.5	1.84999221
3	1.75944463
3.5	1.49666955
4	1.08738935
4.5	0.571667403
5	-1.35888E-05
5.5	-0.57169325
6	-1.08741133
6.5	-1.49668553
7	-1.75945303
7.5	-1.84999221
8	-1.75944043
8.5	-1.49666156
9	-1.08737835
9.5	-0.571654479
10	2.71775E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.146 C3= 0.252 C5=-0.0221

EGİM= 0.7

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.89474075 B2= 1.94461E-03 B3= 0.525669215

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.125

MALİYET= 9.16547E-04

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.014348221	8.09633E-02
0.2	-0.027191072	0.160868658
0.3	-0.037049703	0.238631377
0.4	-0.042498304	0.313113907
0.5	-0.042190625	0.383099092
0.6	-0.034886496	0.447263696
0.7	-0.019478347	0.504151882
0.8	4.98227E-03	0.552148695
0.9	3.92582E-02	0.589453538
1	8.39000E-02	0.614053655
1.1	0.139219729	0.623697609
1.2	0.205264128	0.615868764

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$$M = (-0.146)E + (0.252)E^3 + (-0.0221)E^5$$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.811388027)E + (-0.175234373)E^3 + (-0.0221)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	1.01192744
1	1.61549277
1.5	1.69716677
2	1.4941659
2.5	1.36907152
3	1.49188494
3.5	1.69347073
4	1.61178623
4.5	1.00962139
5	-2.54748E-05
5.5	-1.00966143
6	-1.61180157
6.5	-1.69346508
7	-1.49187485
7.5	-1.36907158
8	-1.49417609
8.5	-1.69717246
9	-1.6154774
9.5	-1.0118873
10	5.10639E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.146 C3= 0.252 C5=-0.0221

EGİM= 0.7

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.89962924 B2= 8.32639E-02 B3= 0.478749022

B4= 0.101619388 B5= 0.180101863

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.25

MALİYET= 1.02984E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.014348221	8.31145E-02
0.2	-0.027191972	0.165156966
0.3	-0.037049703	0.245028843
0.4	-0.042498304	0.321578536
0.5	-0.042190625	0.393574891
0.6	-0.034886496	0.459680674
0.7	-0.019478347	0.51842605
0.8	4.98227E-03	0.568182064
0.9	3.92582E-02	0.607134123
1	8.39000E-02	0.633255471
1.1	0.139219729	0.644280674
1.2	0.205264128	0.637679098

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

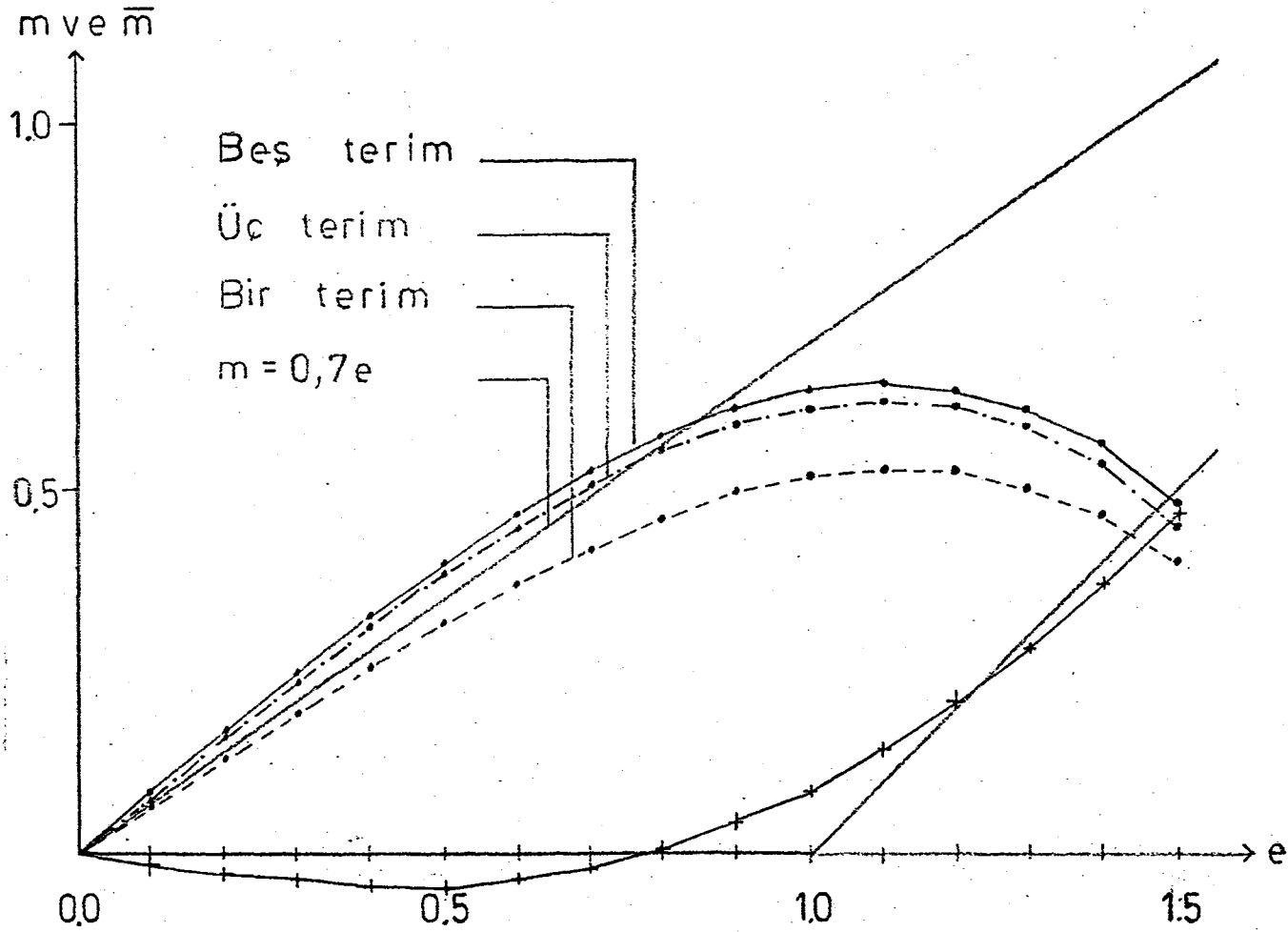
$M=(-0.146)E+(0.252)E^3+(-0.0221)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

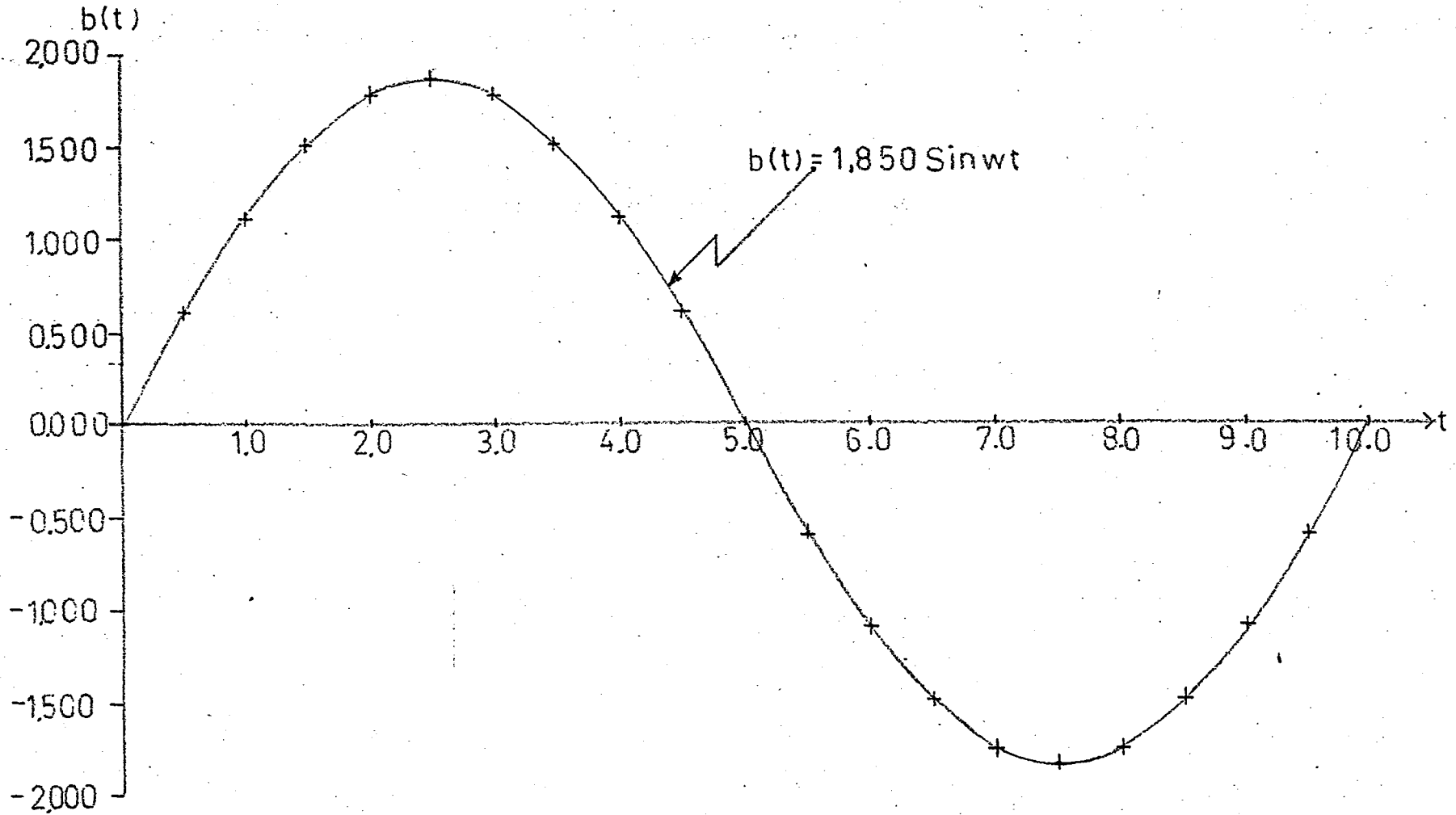
$$M1 = (0.832922886)E + (-0.177567415)E^3 + (-0.0221)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

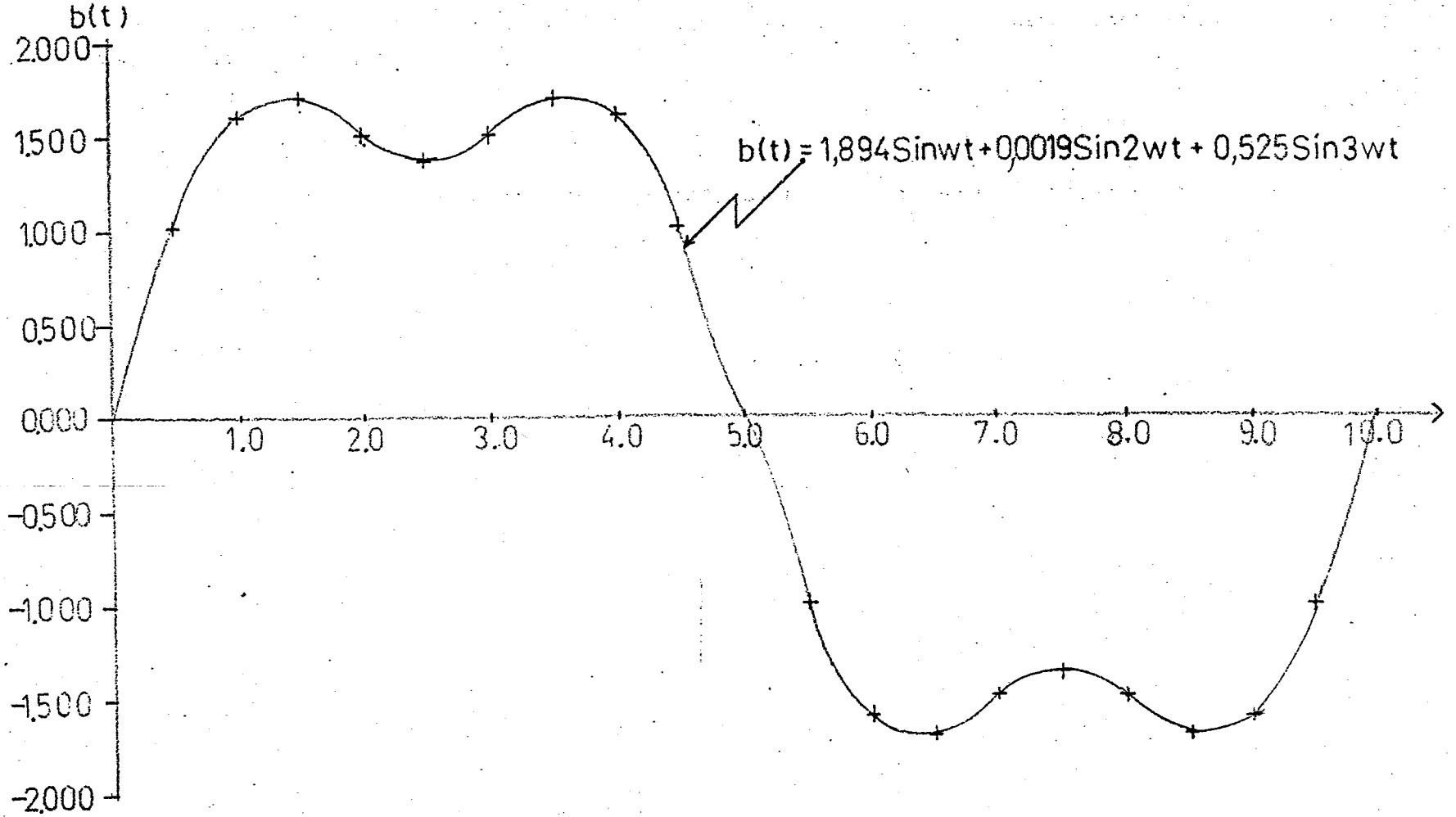
ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	1.3000249
1	1.71081038
1.5	1.52412899
2	1.4775496
2.5	1.60098296
3	1.57295615
3.5	1.48521306
4	1.43296959
4.5	1.00883278
5	-2.69116E-05
5.5	-1.0088679
6	-1.43297649
6.5	-1.48521499
7	-1.57296106
7.5	-1.60097943
8	-1.47754495
8.5	-1.52413824
9	-1.71081163
9.5	-1.29998213
10	7.06587E-05



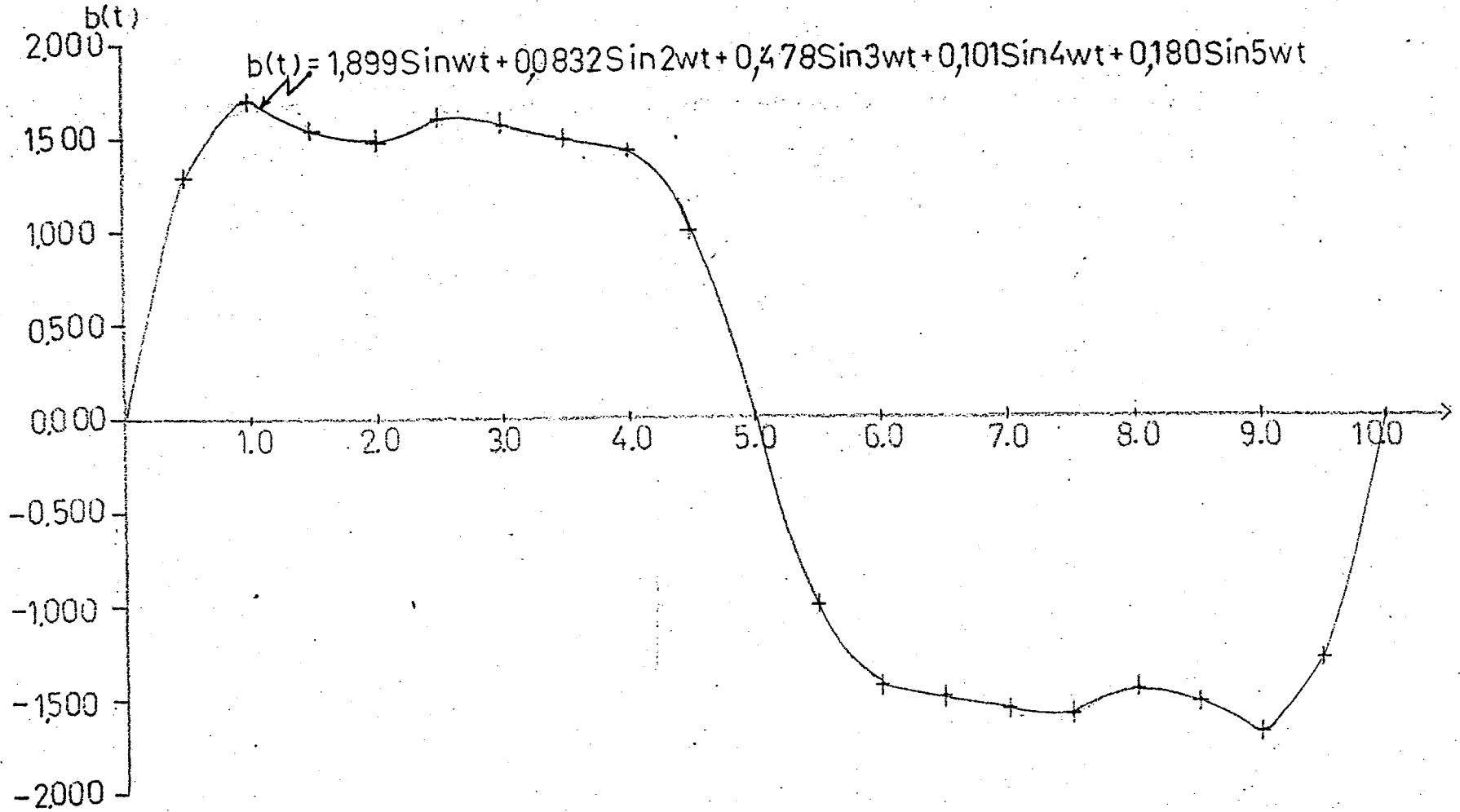
Şekil 4.37. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali



Şekil 4.38. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali şekli



Şekil 4.39. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali şekli



Şekil 4.40. Şekil 4.3'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyali şekli

4.2.4. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiği

Şekil 4.4'deki uydurulmuş eğriye uygulanan salınım sinyallerinin optimum genlikleri ve şekli ile \bar{m} ortalama değerleri, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan K'nın aldığı değerlere göre hesaplanmıştır.

K=0.3 için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.41'de, salınım sinyallerinin şekli; Fourier serisinden bir terim alındığında Şekil 4.42'de, üç terim alındığında Şekil 4.43'de, beş terim alındığında Şekil 4.44'de gösterilmiştir.

K=0.5 için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.45'de, salınım sinyallerinin şekli; bir terim alındığında Şekil 4.46'da, üç terim alındığında Şekil 4.47'de, beş terim alındığında Şekil 4.48'de gösterilmiştir.

K=0.7 için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.49'da, salınım sinyallerinin şekli; bir terim alındığında Şekil 4.50'de, üç terim alındığında Şekil 4.51'de, beş terim alındığında Şekil 4.52'de gösterilmiştir.

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.131 C3= 0.593 C5=-0.107

EGİM= 0.3

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.405331094 B2= 0 B3= 0

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.1984

MALİYET= 3.79077E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.01250807	1.47639E-03
0.2	-0.02149024	5.95130E-03
0.3	-0.02354901	0.016294841
0.4	-0.01554368	3.51203E-02
0.5	5.28125E-03	6.46559E-02
0.6	0.04116768	0.106616082
0.7	9.37155E-02	0.16207336
0.8	0.16375424	0.231329868
0.9	0.251214571	0.313788924
1	0.355000001	0.407826646
1.1	0.472858431	0.510663554
1.2	0.601253762	0.618236166

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$M = (-0.131)E + (0.593)E^3 + (-0.107)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
CIKIS SINYALI ASAGIDIR:

$$M1 = (9.72356E-03)E + (0.505103087)E^3 + (-0.107)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.125254479
1	0.238248121
1.5	0.327920268
2	0.385493146
2.5	0.405331094
3	0.385492226
3.5	0.327918518
4	0.238245712
4.5	0.125251648
5	-2.97728E-06
5.5	-0.125257311
6	-0.23825053
6.5	-0.327922018
7	-0.385494066
7.5	-0.405331094
8	-0.385491306
8.5	-0.327916768
9	-0.238243304
9.5	-0.125248816
10	5.95457E-06

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.131 C3= 0.593 C5=-0.107

EGİM= 0.3

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.461112531 B2= 0.63948164 B3= 0.543226672

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.125

MALİYET= 1.03277E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.01250807	3.40362E-02
0.2	-0.02149024	6.86559E-02
0.3	-0.02354901	0.104313968
0.4	-0.01554368	0.141208772
0.5	5.28125E-03	0.179153304
0.6	0.04116768	0.217446995
0.7	9.37155E-02	0.254747277
0.8	0.16375424	0.288941182
0.9	0.251214571	0.317016941
1	0.355000001	0.334935587
1.1	0.472858431	0.337502551
1.2	0.601253762	0.318239265

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$M = (-0.131)E + (0.593)E^3 + (-0.107)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.339346948)E + (0.102588638)E^3 + (-0.107)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.957850881
1	1.39585798
1.5	1.14909364
2	0.495114833
2.5	-0.21188E-02
3	-0.256633803
3.5	-6.72645E-02
4	0.179494321
4.5	0.206090948
5	-5.96552E-06
5.5	-0.206096264
6	-0.179486596
6.5	6.72775E-02
7	0.256635878
7.5	8.21000E-02
8	-0.49514731
8.5	-1.14911824
9	-1.39585409
9.5	-0.957815164
10	4.95086E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.131 C3= 0.593 C5=-0.107

EGIM= 0.3

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.26153474 B2= 0.13980032 B3= 5.73553E-03

B4= 0.151250804 B5= 0.254037296

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.25

MALİYET= 3.65997E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.01250007	1.95049E-03
0.2	-0.02149024	6.86388E-03
0.3	-0.02354901	1.75747E-02
0.4	-0.01554368	3.66606E-02
0.5	5.28125E-03	6.63141E-02
0.6	0.04116768	0.108214062
0.7	9.37155E-02	0.163397466
0.8	0.16375424	0.232130774
0.9	0.251214571	0.313781689
1	0.355000001	0.406690709
1.1	0.472858431	0.508042735
1.2	0.601253762	0.613738669

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

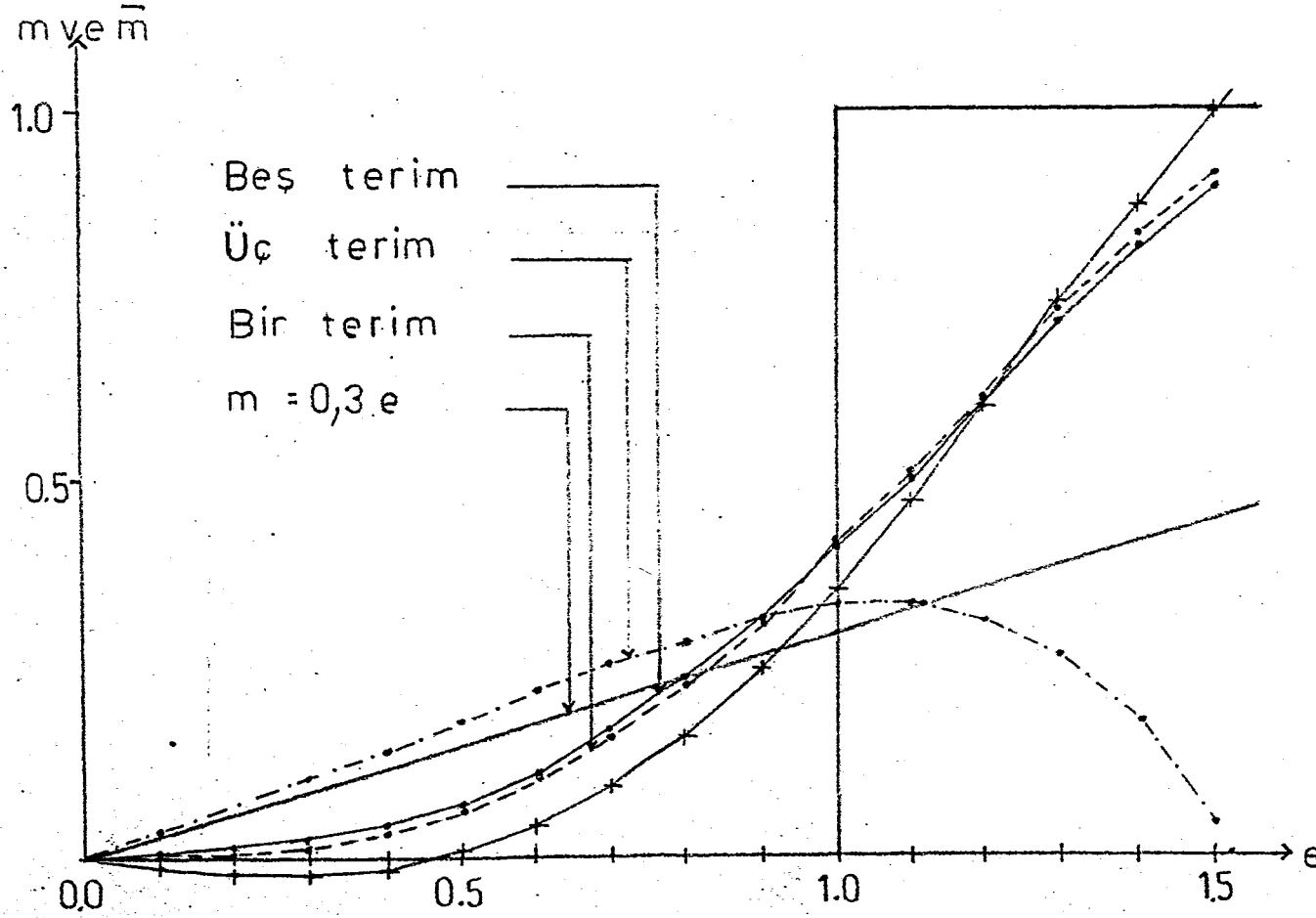
$M = (-0.131)E + (0.593)E^3 + (-0.107)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

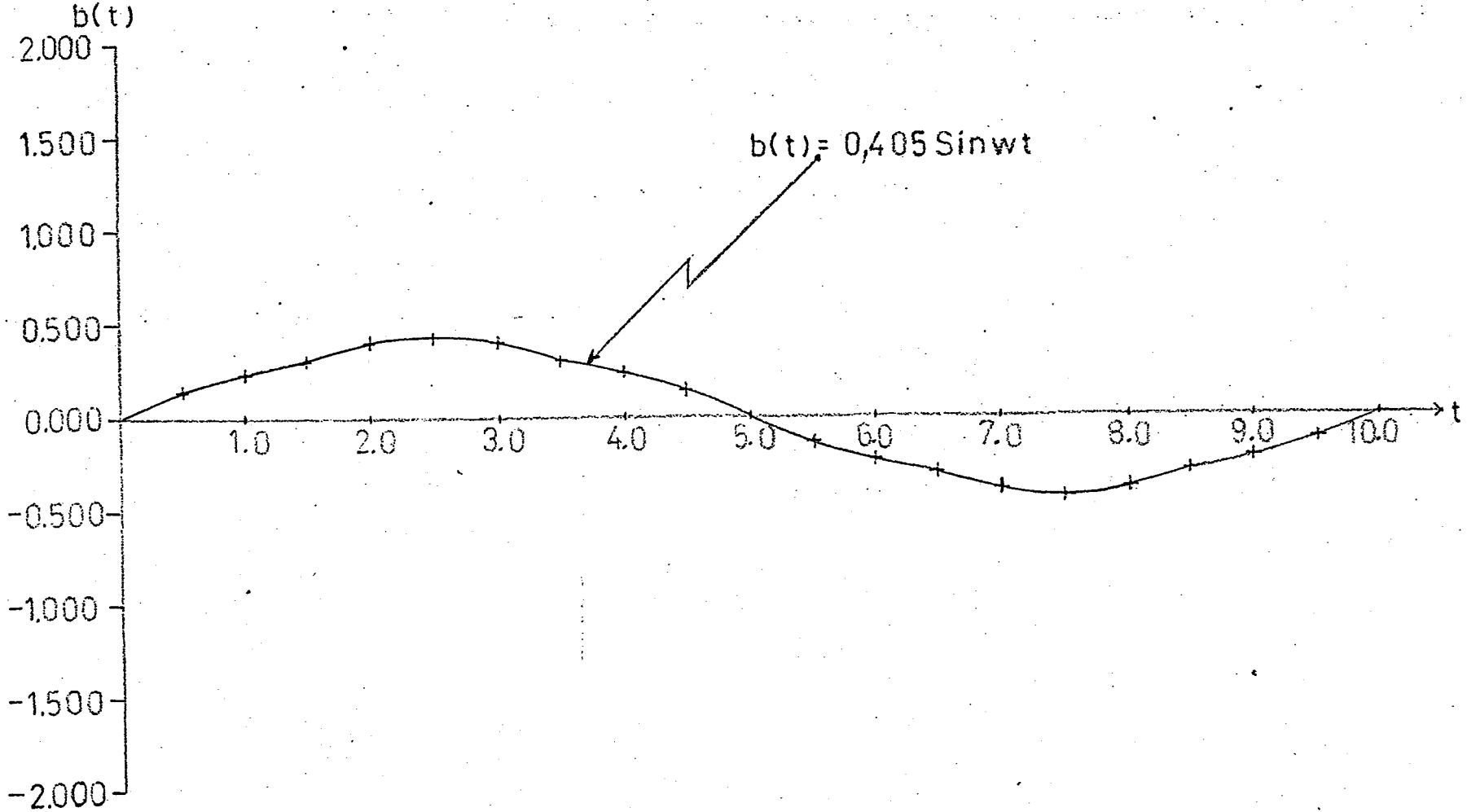
$$M1 = (1.45239E-02)E + (0.499166778)E^3 + (-0.107)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

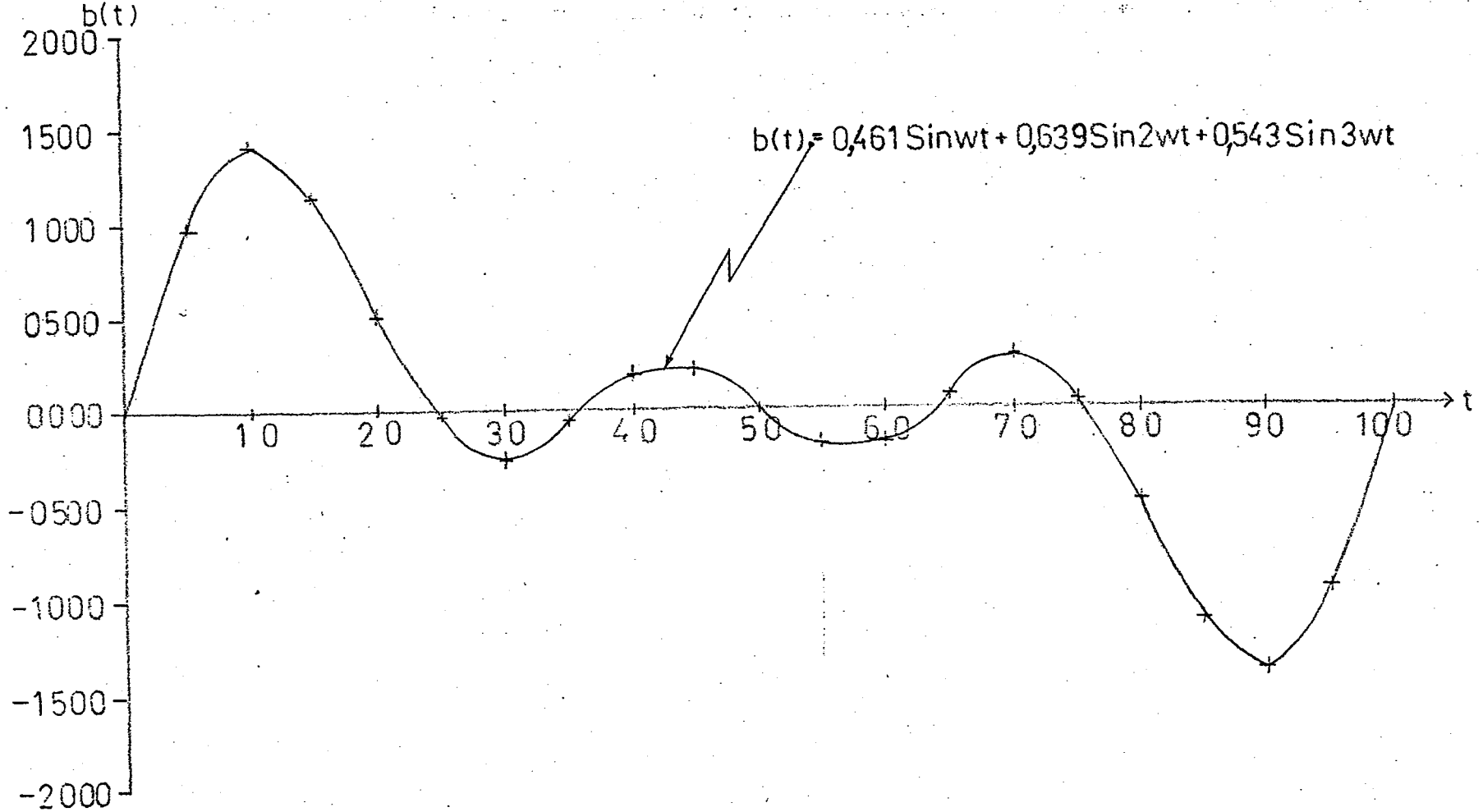
ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.565517238
1	0.381039916
1.5	3.37518E-03
2	0.183691378
2.5	0.509837704
3	0.30703249
3.5	-8.47376E-02
4	-6.26760E-02
4.5	0.113476507
5	-4.88081E-06
5.5	-0.11347424
6	6.26857E-02
6.5	8.47271E-02
7	-0.307052712
7.5	-0.509832924
8	-0.183672312
8.5	-3.38162E-03
9	-0.381061468
9.5	-0.565507365
10	3.57524E-05



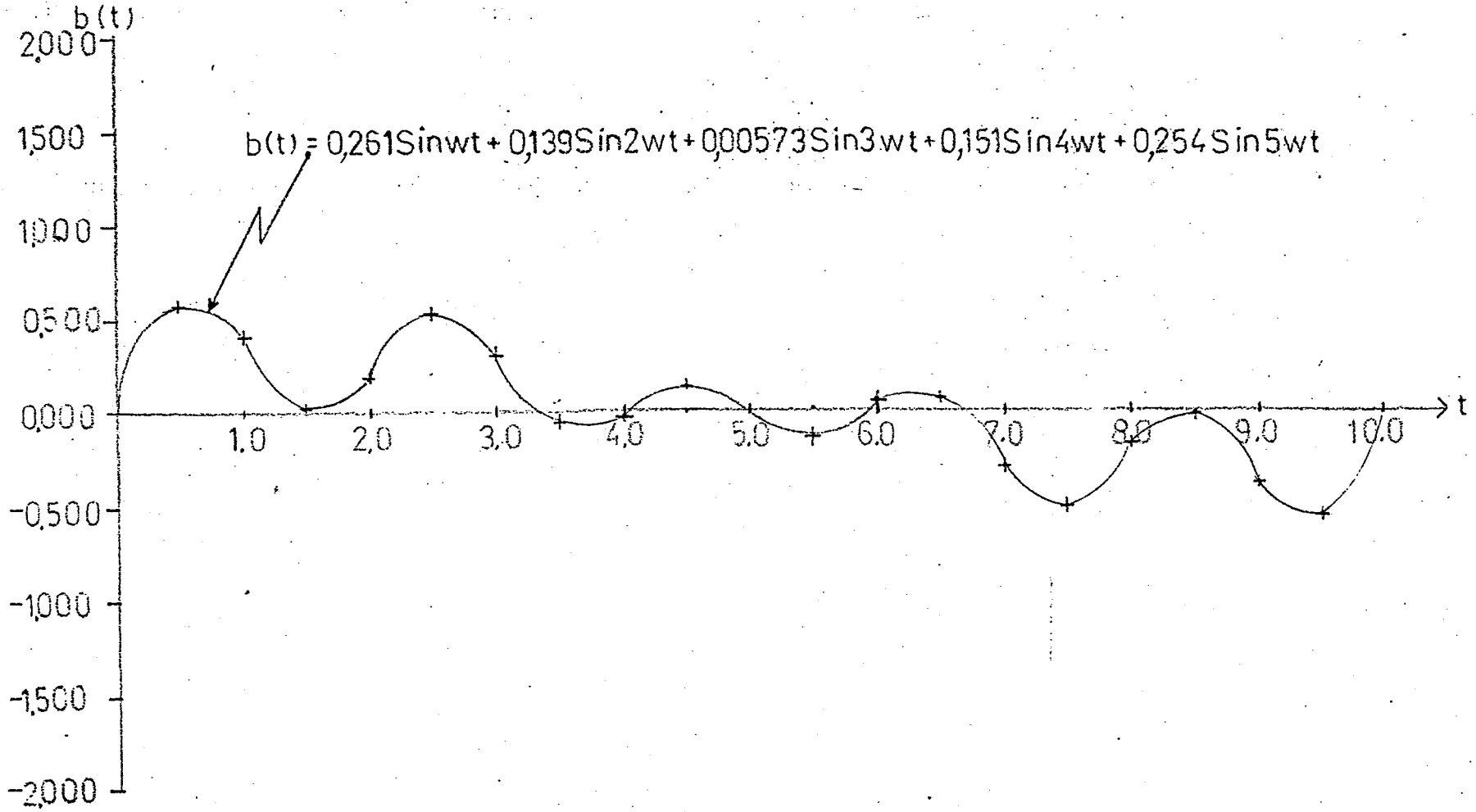
Şekil 4.41. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen linear karakteristiğin eğimi $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali



Şekil 4.42. Şekil 4.4'de gösterilen lineer karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.43. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğinin yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğın eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.44. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.131 C3= 0.593 C5=-0.107

EGİM= 0.5

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.893696555 B2= 0 B3= 0

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.125

MALİYET= 7.52647E-05

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.01250807	4.53103E-02
0.2	-0.02149024	9.15827E-02
0.3	-0.02354901	0.139650941
0.4	-0.01554368	0.190091826
0.5	5.28125E-03	0.243097086
0.6	0.04116768	0.298344814
0.7	9.37155E-02	0.354871105
0.8	0.16375424	0.410941653
0.9	0.251214571	0.46392335
1	0.355000001	0.510155892
1.1	0.472858431	0.544823371
1.2	0.601253762	0.561825881

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$$M=(-0.131)E+(0.593)E^3+(-0.107)E^5$$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.451456931)E + (0.16569896)E^3 + (-0.107)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.276168048
1	0.525302717
1.5	0.723016858
2	0.849956744
2.5	0.893696555
3	0.849954715
3.5	0.723013
4	0.525297406
4.5	0.276161805
5	-6.56448E-06
5.5	-0.276174291
6	-0.525308028
6.5	-0.723020717
7	-0.849958772
7.5	-0.893696555
8	-0.849952686
8.5	-0.723009141
9	-0.525292096
9.5	-0.276155561
10	1.31290E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK :

POLINOM KATSAYILARI :

C1=-0.131 C3= 0.593 C5=-0.107

EGİM= 0.5

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI :

B1= 1.15473056 B2=-0.35678205 B3= 0.178591894

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.5

MALİYET= 3.13446E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.012508807	0.071332739
0.2	-0.02149024	0.14140016
0.3	-0.02354901	0.208808546
0.4	-0.01554368	0.271907379
0.5	5.28125E-03	0.328660942
0.6	0.04116768	0.376519916
0.7	9.37155E-02	0.412292985
0.8	0.16375424	0.43201843
0.9	0.251214571	0.430835734
1	0.355000001	0.402857179
1.1	0.472858431	0.341039448
1.2	0.601253762	0.237055222

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR :

$$M = (-0.131)E + (0.593)E^3 + (-0.107)E^5$$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.715393452)E + (-0.205536273)E^3 + (-0.107)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.291604632
1	0.509265491
1.5	0.650065544
2	0.783530587
2.5	0.976141288
3	1.20295445
3.5	1.32870474
4	1.18789066
4.5	0.711013314
5	-1.76594E-05
5.5	-0.711042554
6	-1.18791319
6.5	-1.32870398
7	-1.20294485
7.5	-0.976130806
8	-0.783523232
8.5	-0.650059819
9	-0.509257439
9.5	-0.291592352
10	1.43535E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.131 C3= 0.593 C5=-0.107

EGİM= 0.5

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 0.667804603 B2= 0.48235342 B3= 3.53680E-02

B4= 1.43770E-02 B5= 0.376027627

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.125

MALİYET= 1.90883E-04

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.01250807	4.34299E-02
0.2	-0.02149024	8.77487E-02
0.3	-0.02354901	0.133716923
0.4	-0.01554368	0.181838406
0.5	5.28125E-03	0.23223164
0.6	0.04116768	0.284501563
0.7	9.37155E-02	0.337611111
0.8	0.16375424	0.389752823
0.9	0.251214571	0.438220437
1	0.355000001	0.47928049
1.1	0.472858431	0.508043919
1.2	0.601253762	0.518337663

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

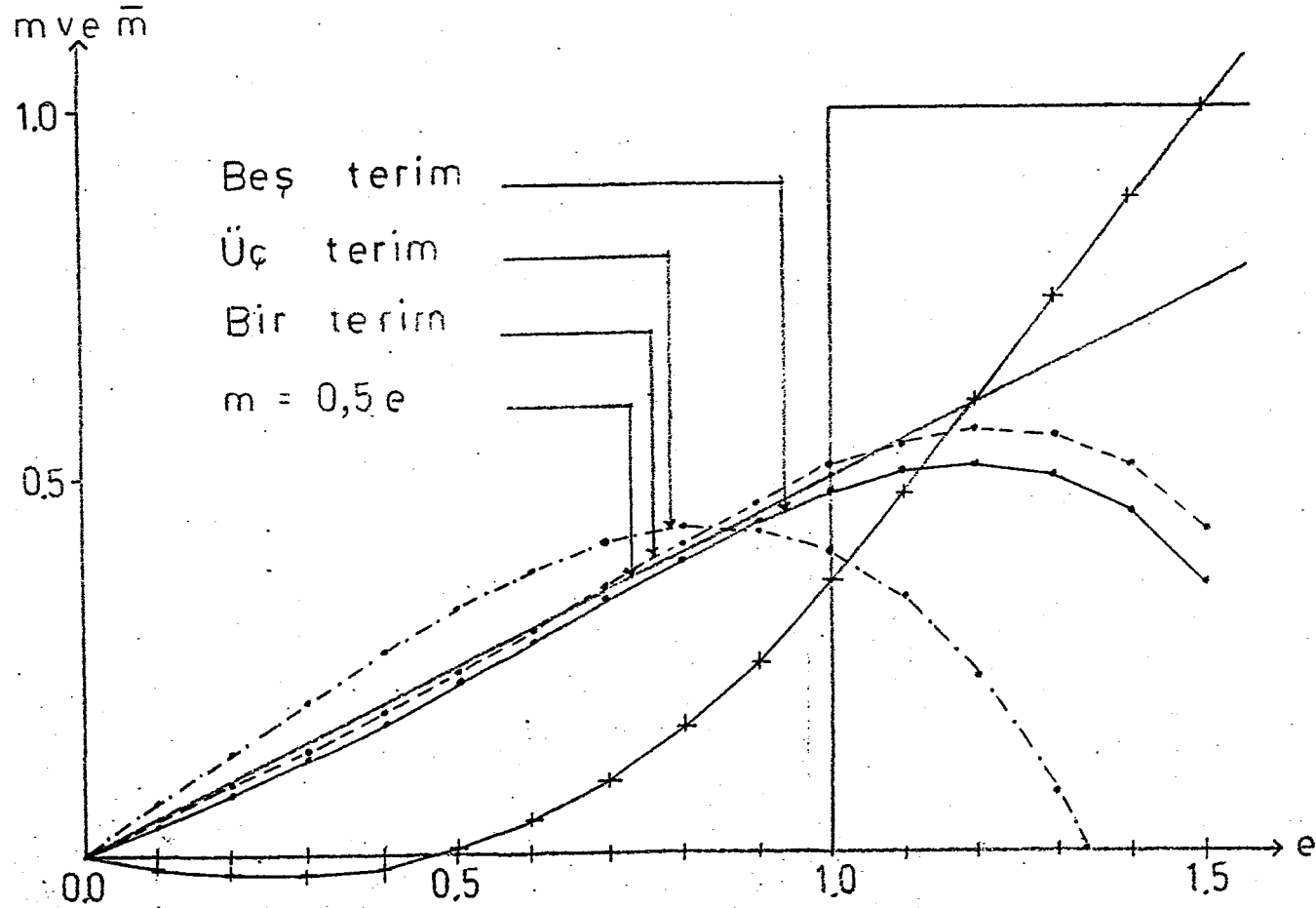
$$M=(-0.131)E+(0.593)E^3+(-0.107)E^5$$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

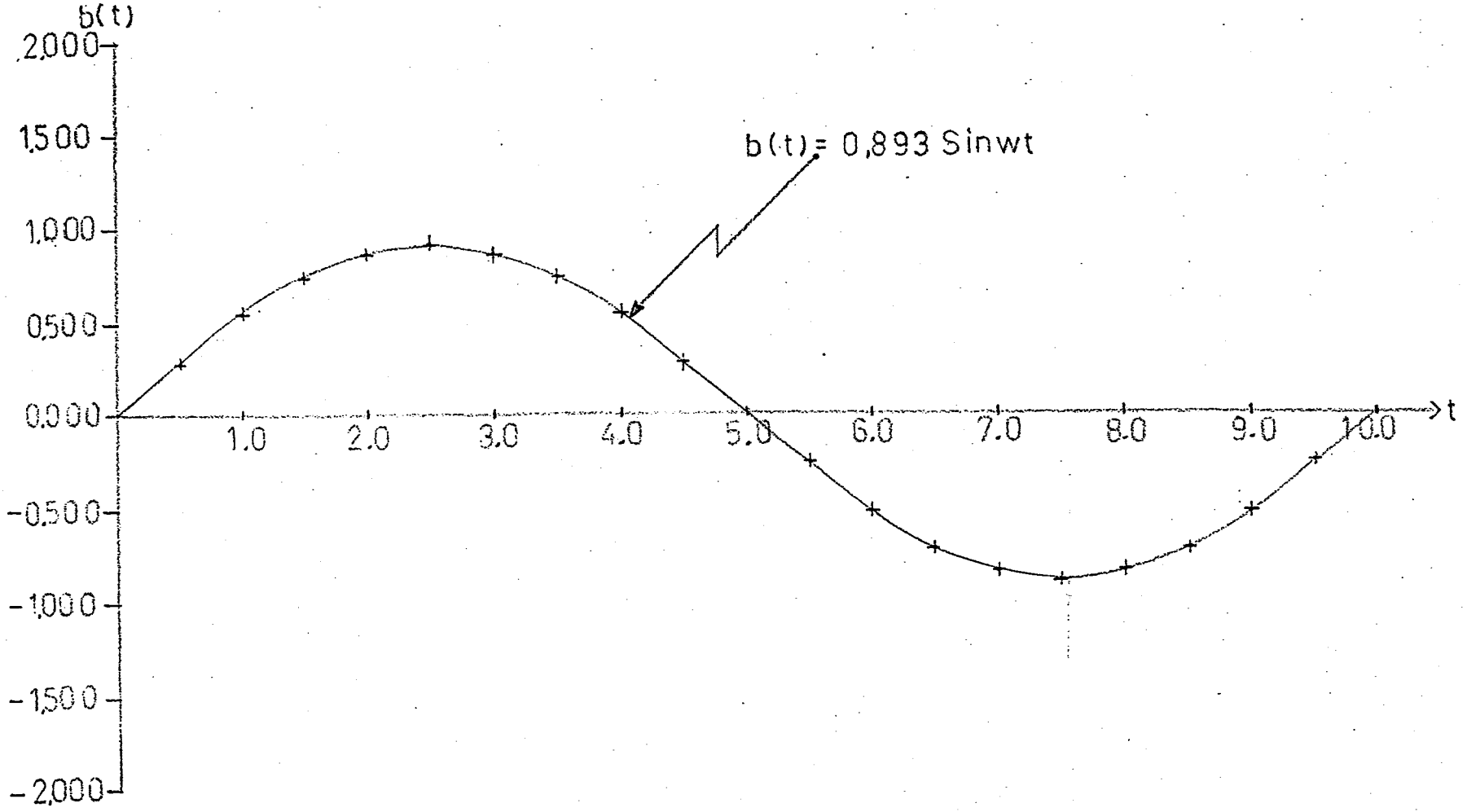
$$M1 = (0.43277421)E + (0.153506279)E^3 + (-0.107)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

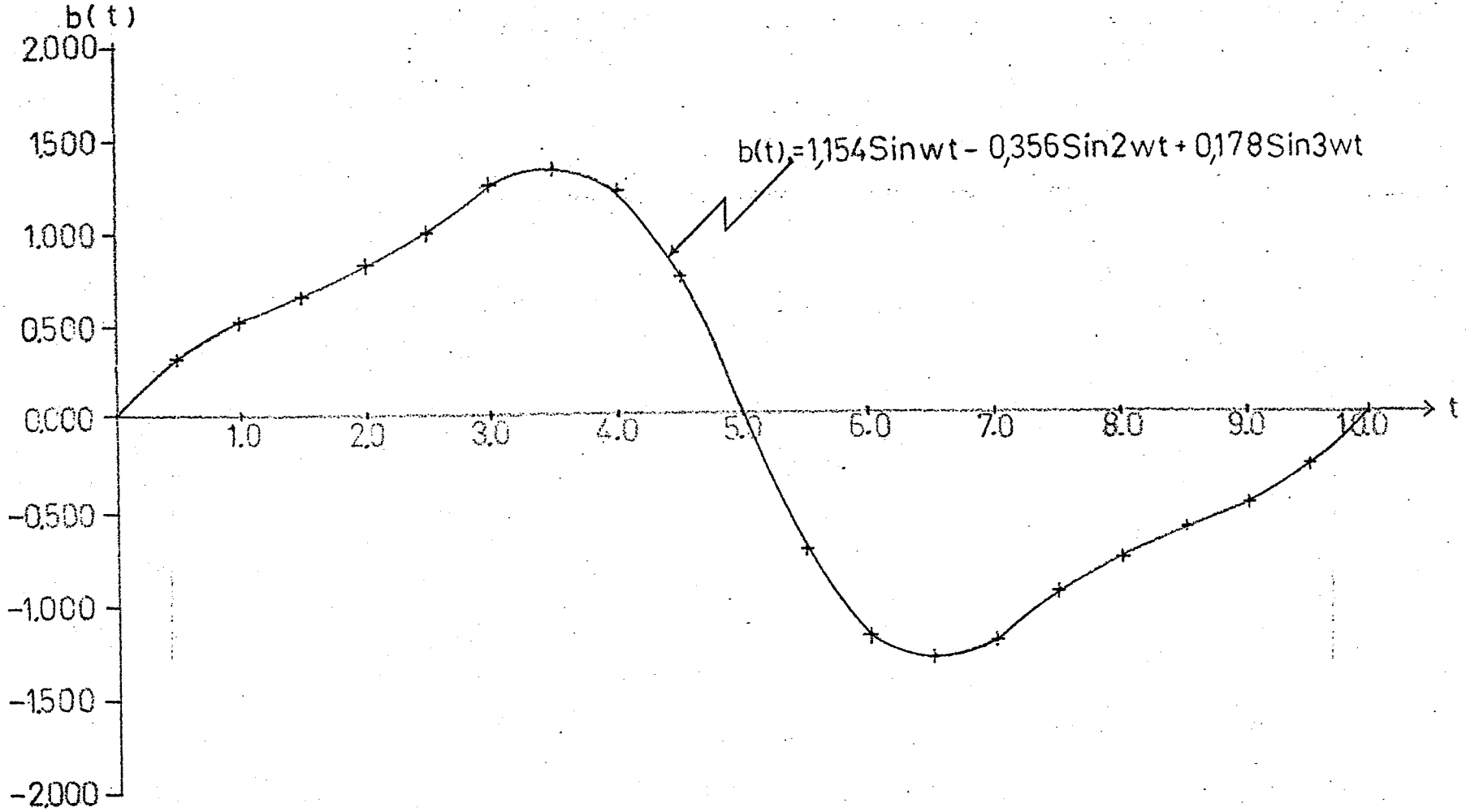
ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.908214684
1	0.893375929
1.5	0.625467813
2	0.884169964
2.5	1.00844093
3	0.344460284
3.5	-0.275124946
4	-4.10047E-02
4.5	0.313827207
5	-1.19886E-05
5.5	-0.313825728
6	0.041028593
6.5	0.275115598
7	-0.344500883
7.5	-1.00845426
8	-0.884151779
8.5	-0.625468593
9	-0.8933924
9.5	-0.908192709
10	5.40111E-05



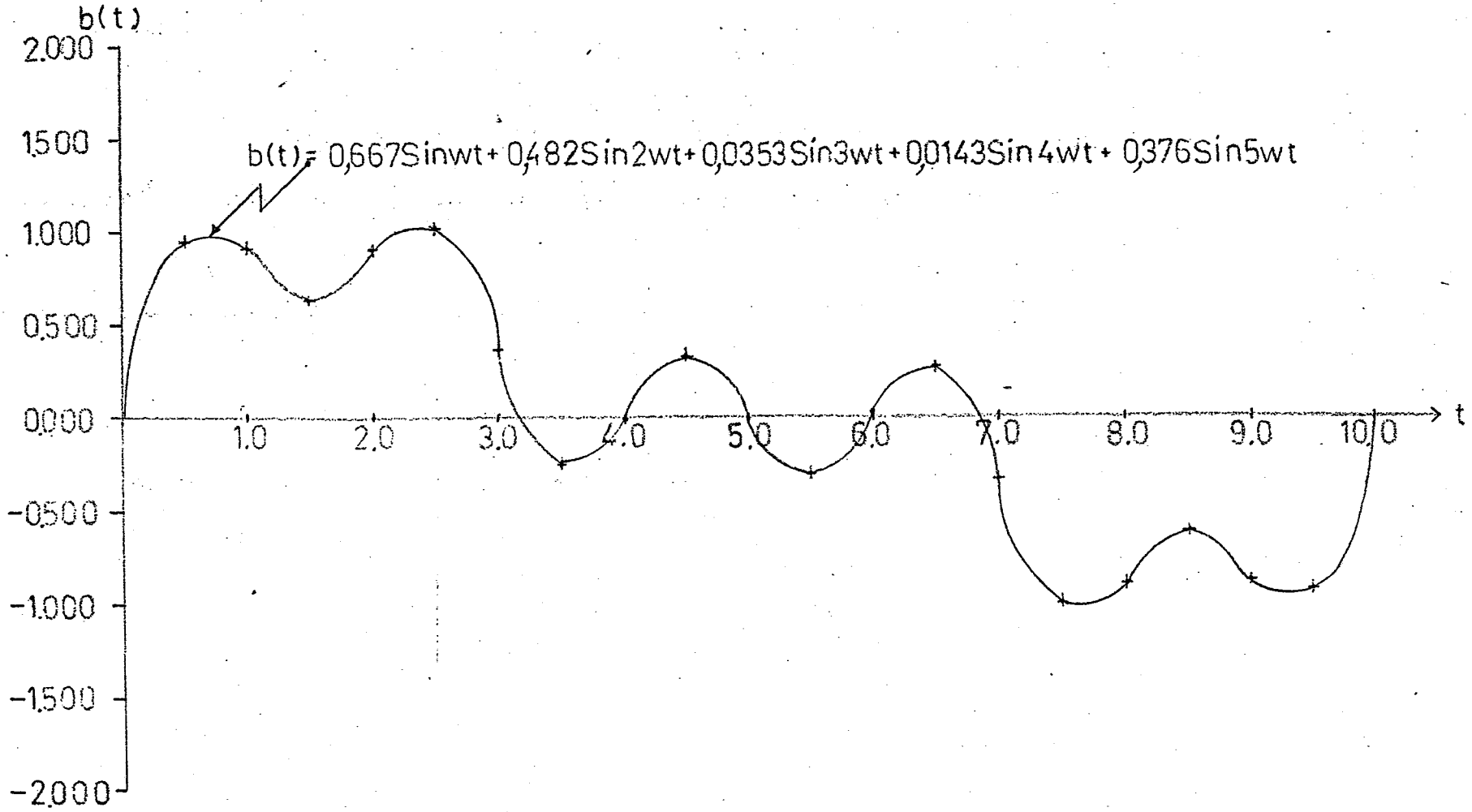
Şekil 4.45. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen linear karakteristiğin eğimi $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali.



Şekli 4.46. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.47. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğineğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.48. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK :

POLINOM KATSAYILARI :

C1=-0.131 C3= 0.593 C5=-0.107

EGİM= 0.7

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI :

B1= 1.085035 B2= 0 B3= 0

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.25

MALİYET= 6.19829E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.01250807	6.37756E-02
0.2	-0.02149824	0.127297995
0.3	-0.02354901	0.190185502
0.4	-0.01554368	0.251799702
0.5	5.28125E-03	0.311116957
0.6	0.04116768	0.366600032
0.7	9.37155E-02	0.416069691
0.8	0.16375424	0.456576297
0.9	0.251214571	0.484271415
1	0.355000001	0.494279409
1.1	0.472858431	0.480569042
1.2	0.601253762	0.435825079

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR :

$M = (-0.131)E + (0.593)E^3 + (-0.107)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.638135415)E + (-3.68560E-02)E^3 + (-0.107)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.335295012
1	0.63776886
1.5	0.877813158
2	1.03193059
2.5	1.085035
3	1.03192813
3.5	0.877808473
4	0.637762411
4.5	0.335287432
5	-7.96992E-06
5.5	-0.335302592
6	-0.637775308
6.5	-0.877817843
7	-1.03193305
7.5	-1.085035
8	-1.03192566
8.5	-0.877803788
9	-0.637755964
9.5	-0.335279852
10	1.59398E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.131 C3= 0.593 C5=-0.107

EGİM= 0.7

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.11072794 B2=-5.34159E-02 B3= 0.297814177

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.125

MALİYET= 2.36170E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.01250807	7.57279E-02
0.2	-0.02149024	0.150727524
0.3	-0.02354901	0.224142399
0.4	-0.01554368	0.294859091
0.5	5.28125E-03	0.361379005
0.6	0.04116768	0.421689947
0.7	9.37155E-02	0.473137721
0.8	0.16375424	0.512297734
0.9	0.251214571	0.53484659
1	0.355000001	0.535433696
1.1	0.472858431	0.507552857
1.2	0.601253762	0.443413877

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

$M = (-0.131)E + (0.593)E^3 + (-0.107)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

$$M1 = (0.758449449 \times E + (-0.116015753 \times E^3 + (-0.107 \times E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.552774585
1	0.885306983
1.5	0.939825561
2	0.849916349
2.5	0.812914154
3	0.912713369
3.5	1.0414301
4	0.986905261
4.5	0.615556565
5	-1.55073E-05
5.5	-0.615581069
6	-0.986914891
6.5	-1.04142672
7	-0.912706522
7.5	-0.812912584
8	-0.849920655
8.5	-0.939827968
9	-0.885298323
9.5	-0.55275262
10	2.78757E-05

GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:

POLINOM KATSAYILARI:

C1=-0.131 C3= 0.593 C5=-0.107

EGİM= 0.7

FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:

B1= 1.13461177 B2= 3.37011E-03 B3= 0.34525039

B4= 3.51606E-03 B5= 0.179040995

SON ADIM BUYUKLUGU= 0.125

MALİYET= 2.13089E-03

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	-0.01250607	8.31300E-02
0.2	-0.02149024	0.165168017
0.3	-0.02354901	0.244893441
0.4	-0.01554368	0.320829045
0.5	5.28125E-03	0.391112353
0.6	0.04116768	0.453367293
0.7	9.37155E-02	0.50457579
0.8	0.16375424	0.540949371
0.9	0.251214571	0.557800763
1	0.355000001	0.549415491
1.1	0.472858431	0.508923482
1.2	0.601253762	0.428170662

SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:

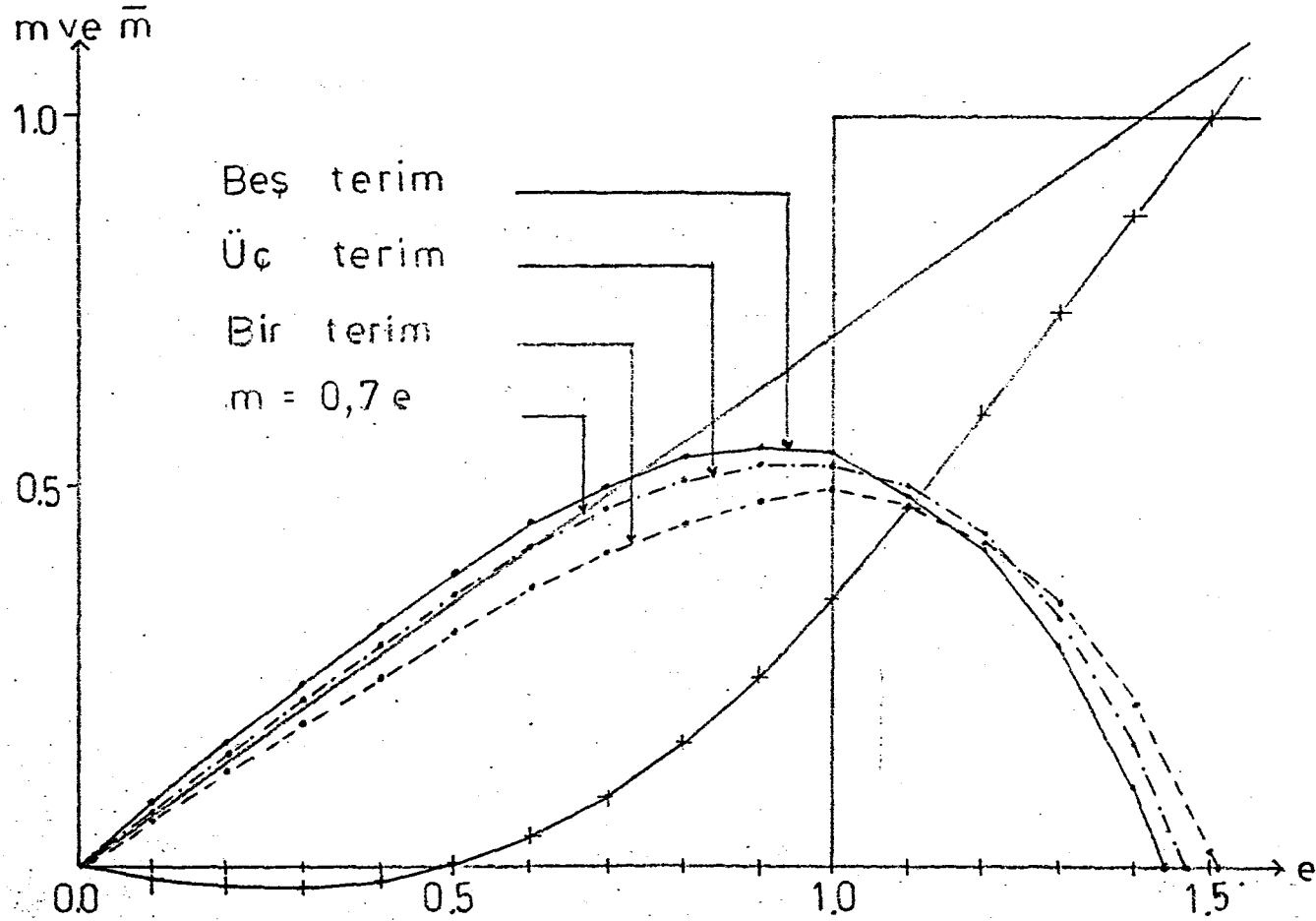
$M = (-0.131)E + (0.593)E^3 + (-0.107)E^5$

SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA
 CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:

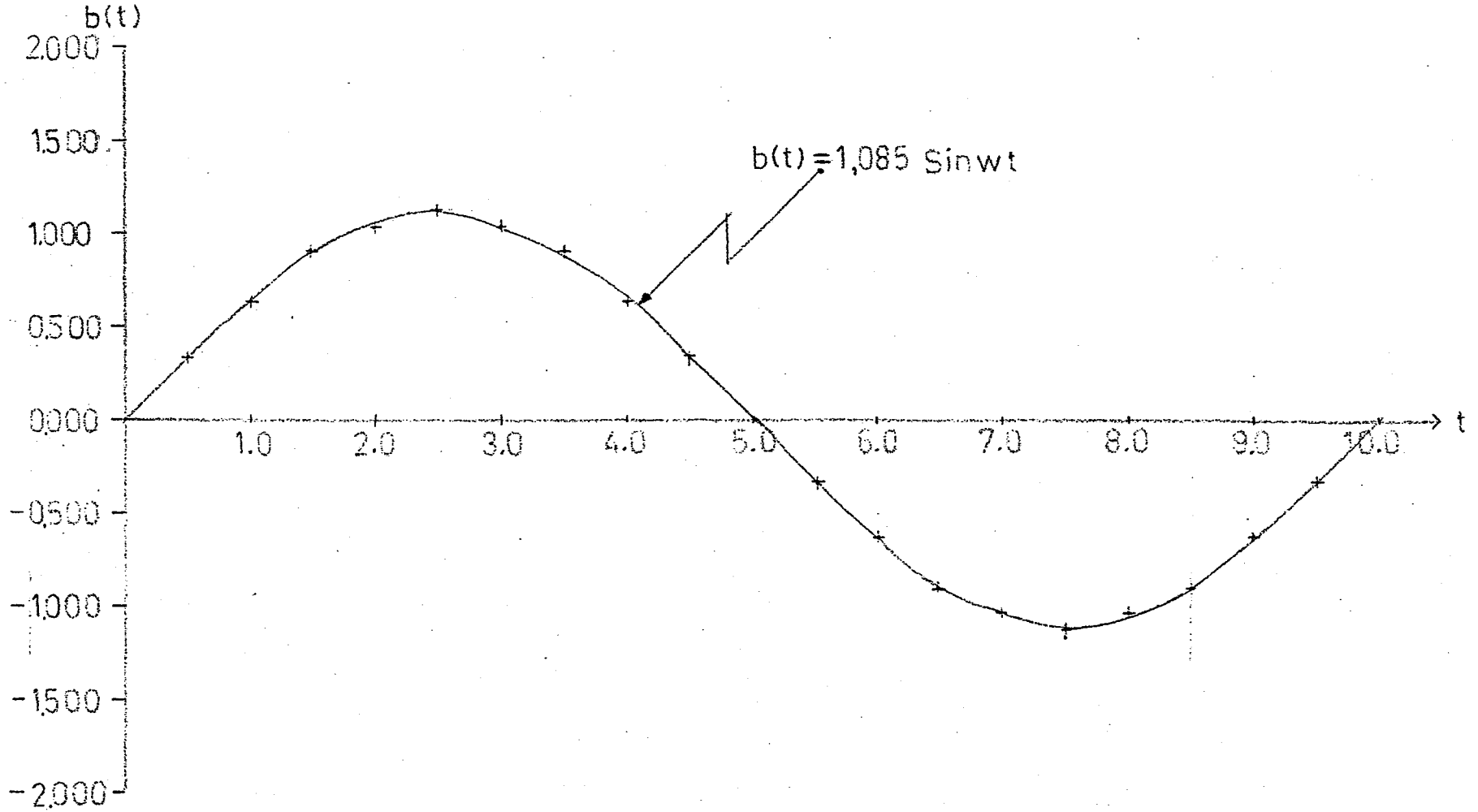
$$M1 = (0.833077777)E + (-0.176662286)E^3 + (-0.107)E^5$$

PERIOD 10 BIRIM ALINDI.

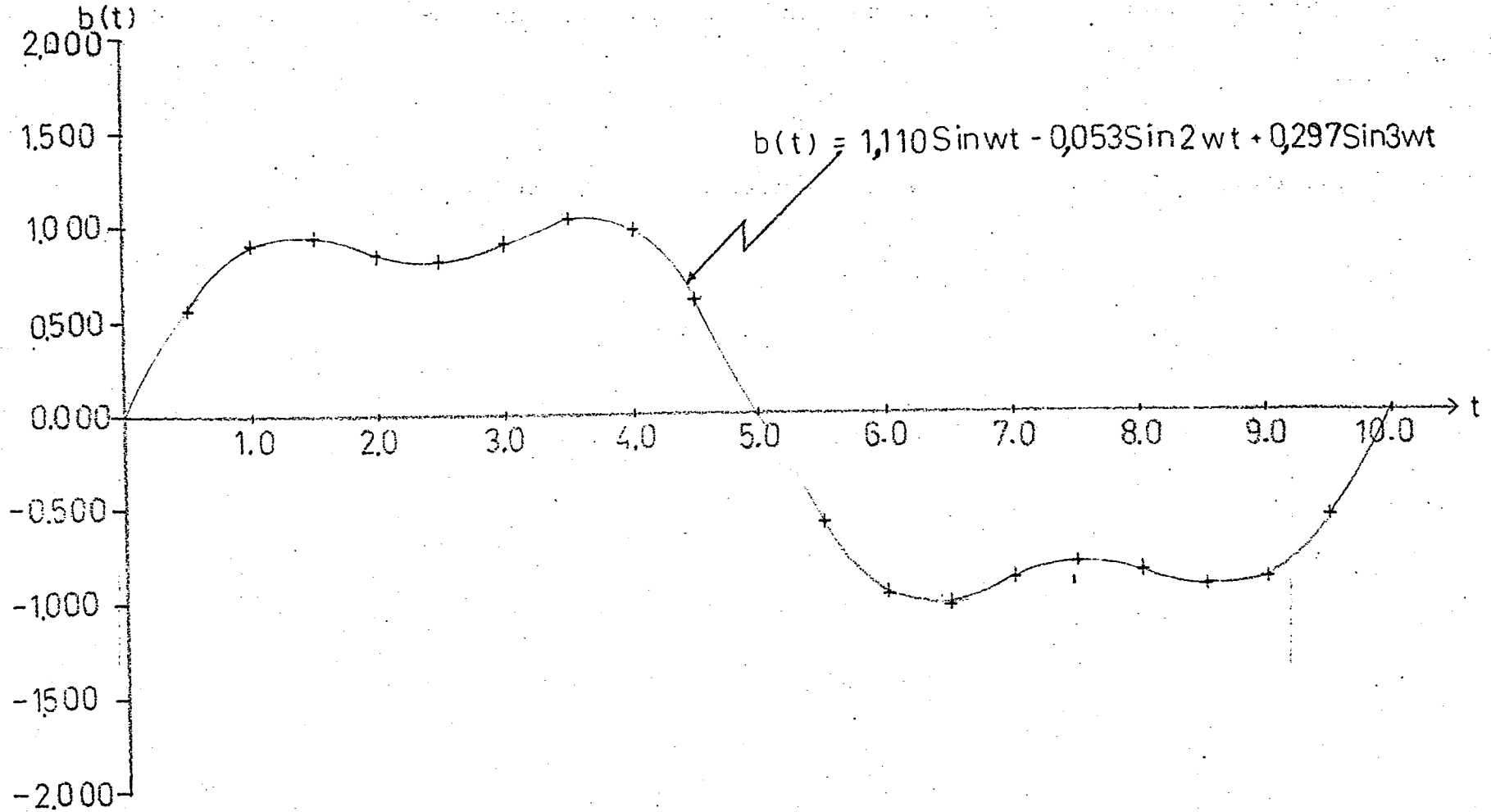
ZAMAN	SALINIM SINYALI
0	0
0.5	0.81429487
1	1.00053211
1.5	0.846705194
2	0.874784953
2.5	0.968402401
3	0.877508097
3.5	0.844430534
4	0.989990533
4.5	0.803632776
5	-2.23670E-05
5.5	-0.803657429
6	-0.9899863
6.5	-0.844426058
7	-0.877514106
7.5	-0.968402293
8	-0.874778978
8.5	-0.846710067
9	-1.00053661
9.5	-0.814269928
10	4.53453E-05



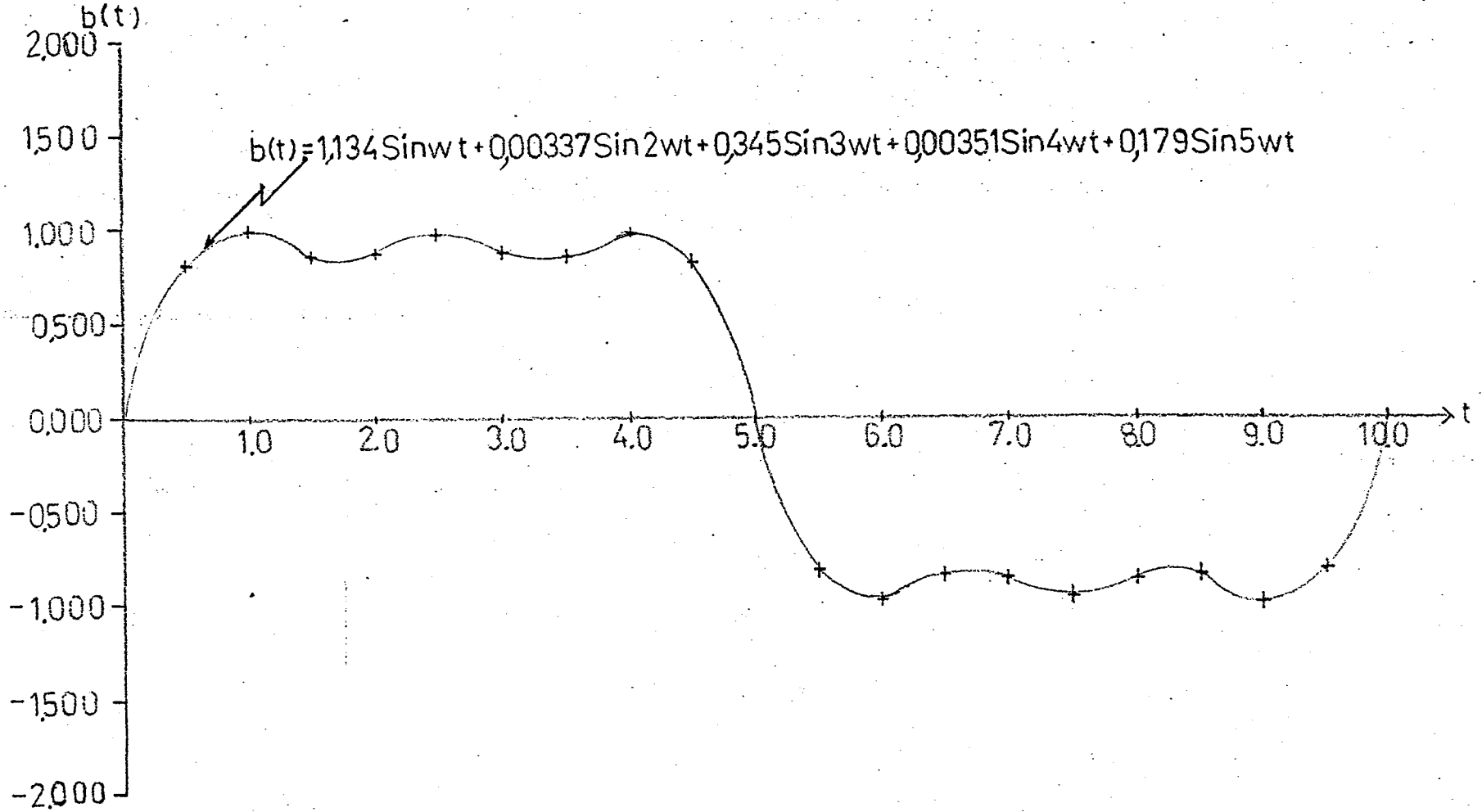
Şekil 4.49. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe uygulanan salınım sinyali neticesinde yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim alınarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyali



Şekil 4.50. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk bir terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.51. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk üç terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli



Şekil 4.52. Şekil 4.4'de gösterilen karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için Fourier serisinden ilk beş terim alındığında uygulanabilecek optimum salınım sinyalinin şekli

4.3. Optimum Fourier Katsayılarının Orijinal Karakteristiğe Uygulanarak \bar{m} Ortalama Çıkış Sinyalinin Bulunması

Bu bölümde; 4.2 bölümünde hesaplanan Fourier katsayılarını, Ek-4-5-6-7'de sunulan bilgisayar programı yardımıyla orijinal karakteristiğe uygulayıp, \bar{m} ortalama değerleri hesaplatılacaktır.

4.3.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği

4.2.1. bölümünde K; 0.3, 0.5, 0.7 alınarak hesaplanan bir terim, üç terim ve beş terim için optimum genlikler denklem 4.10'a uygulanacaktır. K=0.3 için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamasının şekli, Şekil 4.53'de, K=0.5 için Şekil 4.54'de, K=0.7 için Şekil 4.55'de gösterilmiştir. Bilgisayar programı Ek- 4' de sunulmuştur.

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGİM= 0.3

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.650768919

B2= 0

B3= 0

E	M	M ORTALAMA
0	1	0
0.1	1	0.1
0.2	1	0.18
0.3	1	0.3
0.4	1	0.42
0.5	1	0.54
0.6	1	0.74
0.7	1	1
0.8	1	1
0.9	1	1
1	1	1

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.3

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.718091236 B2=-0.00013804 B3= 0.204882542

E	M	M ORTALAMA
0	1	0
0.1	1	0.06
0.2	1	0.1
0.3	1	0.14
0.4	1	0.22
0.5	1	0.26
0.6	1	0.68
0.7	1	1
0.8	1	1
0.9	1	1
1	1	1

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

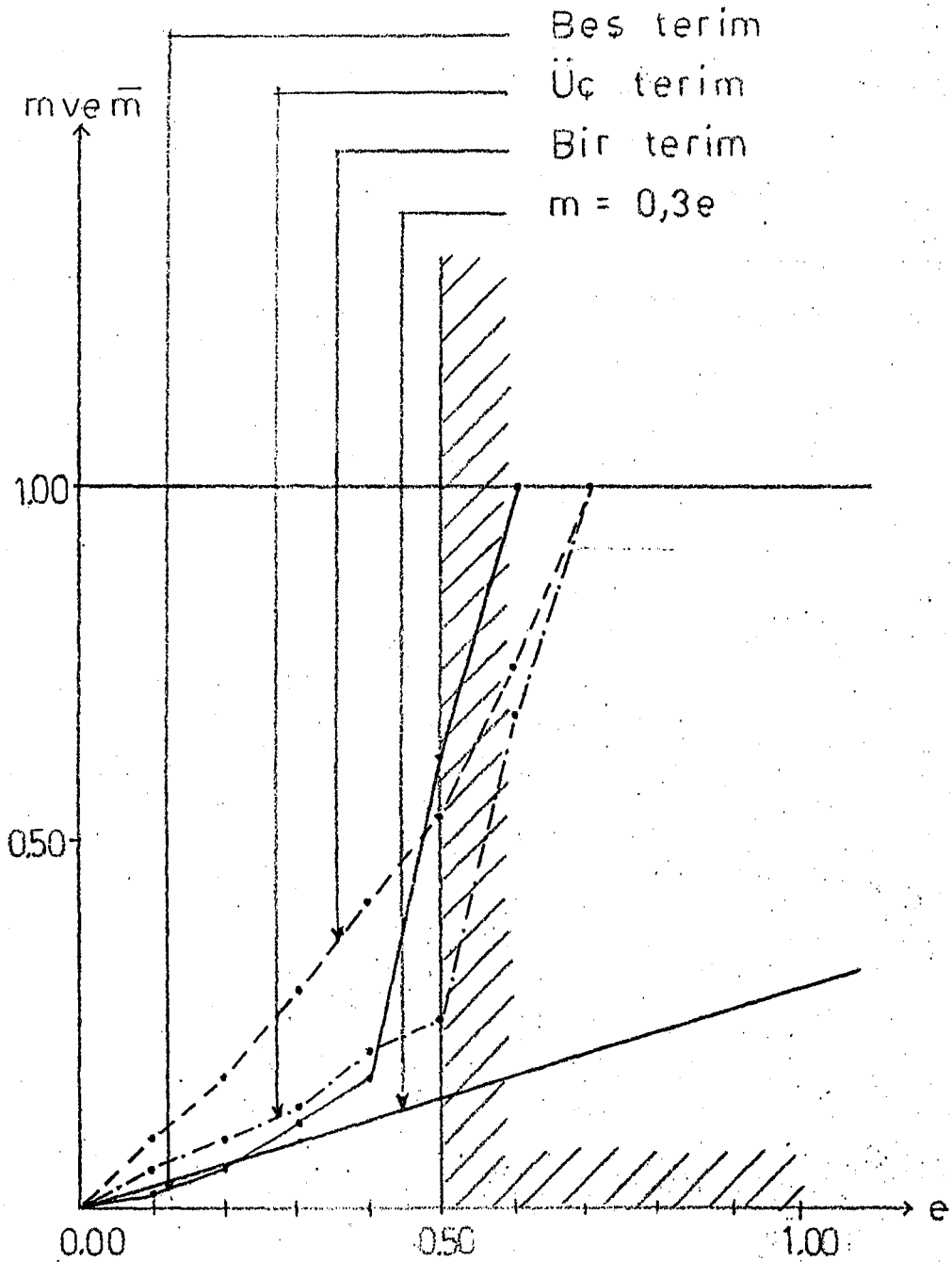
EGIM= 0.3

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.624333238 B2= 2.73634E-05 B3= 0.188579113

B4=-1.90748E-05 B5= 0.0979173

E	M	M ORTALAMA
0	1	0
0.1	1	0.02
0.2	1	0.06
0.3	1	0.12
0.4	1	0.18
0.5	1	0.62
0.6	1	1
0.7	1	1
0.8	1	1
0.9	1	1
1	1	1



Şekil 4.53. Şekil 1.1'de gösterilen orijinal karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için, 4.2.1 bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.5

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.635644972

B2= 0

B3= 0

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	1	0
0.1	1	0.1
0.2	1	0.22
0.3	1	0.3
0.4	1	0.42
0.5	1	0.56
0.6	1	0.78
0.7	1	1
0.8	1	1
0.9	1	1
1	1	1

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.5

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.659980352

B2=-1.05824E-05

B3= 0.183026419

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	1	0
0.1	1	0.06
0.2	1	0.1
0.3	1	0.18
0.4	1	0.22
0.5	1	0.46
0.6	1	1
0.7	1	1
0.8	1	1
0.9	1	1
1	1	1

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

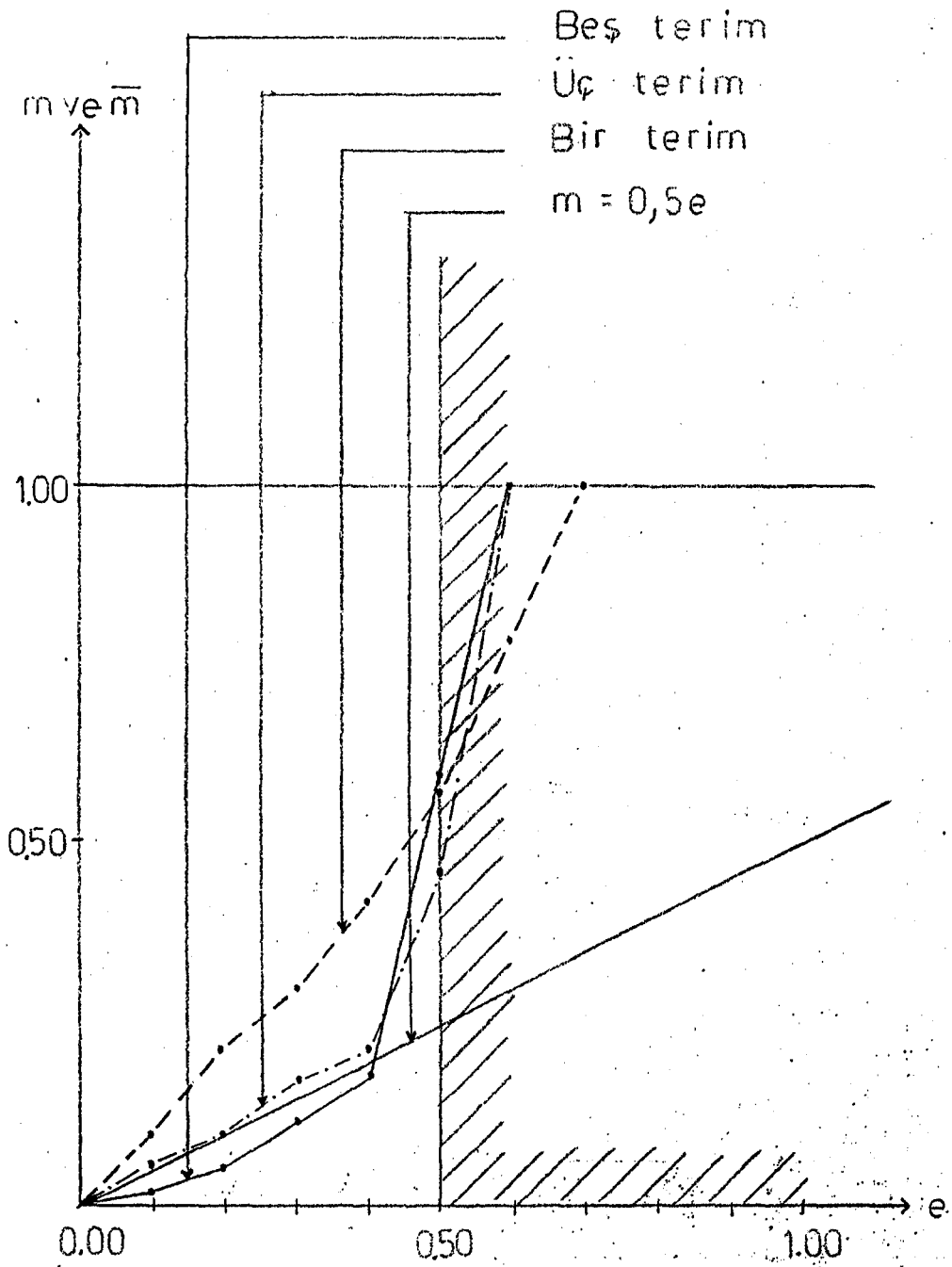
EGIM= 0.5

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.623001471 B2= 1.12142E-06 B3= 0.18912908

B4= 2.56023E-05 B5= 0.0972102

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	1	0
0.1	1	0.02
0.2	1	0.06
0.3	1	0.12
0.4	1	0.18
0.5	1	0.52
0.6	1	1
0.7	1	1
0.8	1	1
0.9	1	1
1	1	1



Şekil 4.54. Şekil 1.1'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için 4.2.1 bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri.

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.7

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.638156452

B2= 0

B3= 0

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	1	0
0.1	1	0.1
0.2	1	0.22
0.3	1	0.3
0.4	1	0.42
0.5	1	0.58
0.6	1	0.78
0.7	1	1
0.8	1	1
0.9	1	1
1	1	1

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.7

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.599710436

B2= 9.52496E-05

B3= 0.16675449

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	1	0
0.1	1	0.06
0.2	1	0.12
0.3	1	0.18
0.4	1	0.26
0.5	1	0.64
0.6	1	1
0.7	1	1
0.8	1	1
0.9	1	1
1	1	1

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI :

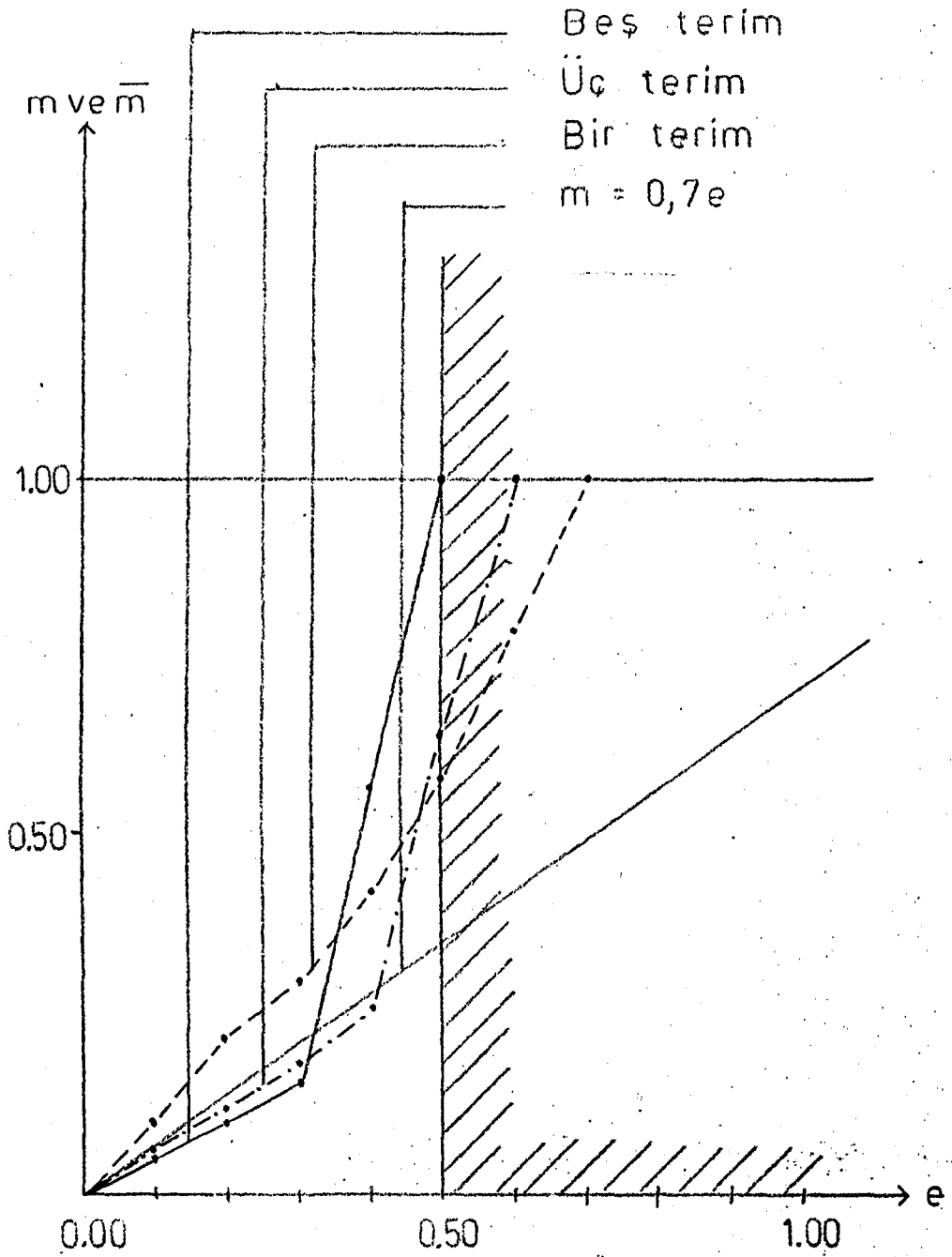
EGIM= 0.7

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI :

B1= 0.502314748 B2=-0.000766241 B3= 0.160938541

B4= 0.00236044 B5= 0.0693896

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	1	0
0.1	1	0.06
0.2	1	0.1
0.3	1	0.16
0.4	1	0.58
0.5	1	1
0.6	1	1
0.7	1	1
0.8	1	1
0.9	1	1
1	1	1



Şekil 4.55. Şekil 1.1'de gösterilen orijinal karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için 4.2.1. bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri

4.3.2. Doyma eğrisi

4.2.2. bölümünde K ; 0.3, 0.5, 0.7 alınarak hesaplanan bir terim, üç terim ve beş terim için optimum genlikler denklem 4.11'e uygulanacaktır. $K=0.3$ için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.56'da, $K=0.5$ için Şekil 4.57'de, $K=0.7$ için Şekil 4.58'de gösterilmiştir. Bilgisayar programı Ek-5'de sunulmuştur.

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.3

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.85943956

B2= 0

B3= 0

E	M	M ORTALAMA
0	0	3.87154E-05
0.1	0.1	3.62138E-02
0.2	0.2	7.25626E-02
0.3	0.3	0.109240452
0.4	0.4	0.146410311
0.5	0.5	0.184233139
0.6	0.6	0.223462177
0.7	0.7	0.264221982
0.8	0.8	0.307584096
0.9	0.9	0.357062728
1	1	0.398033116
1.1	1	0.457033114
1.2	1	0.504396585

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.3

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.90111802 B2=-0.000440954 B3= 0.524687608

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	5.60608E-05
0.1	0.1	1.97824E-02
0.2	0.2	3.95820E-02
0.3	0.3	0.059581988
0.4	0.4	8.10432E-02
0.5	0.5	0.109592645
0.6	0.6	0.14442978
0.7	0.7	0.185593406
0.8	0.8	0.237299444
0.9	0.9	0.288299443
1	1	0.329244082
1.1	1	0.388244082
1.2	1	0.437244082

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

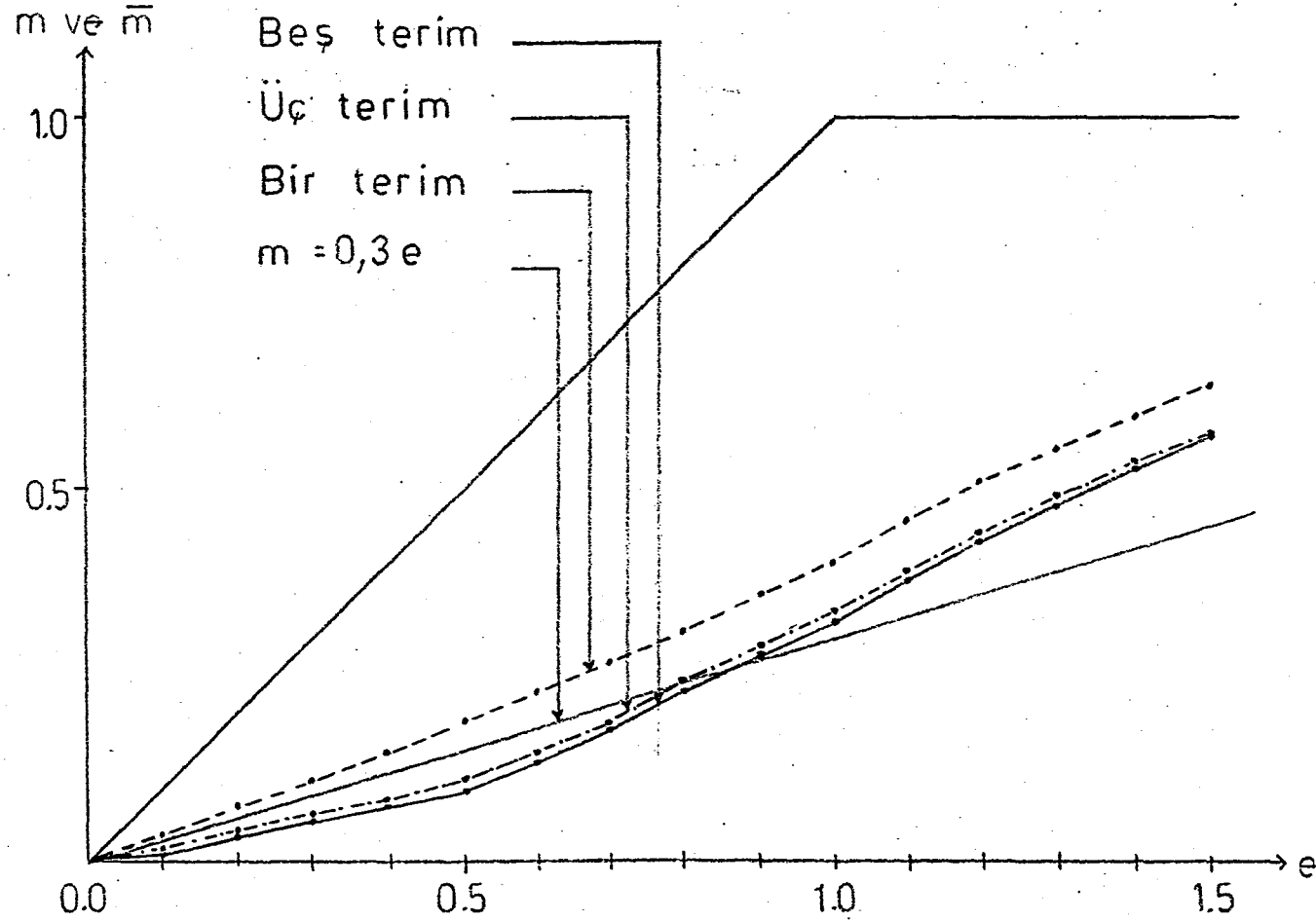
EGIM= 0.3

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.9123399 B2= 0.0853081 B3= 0.47301253

B4= 0.109500777 B5= 0.178415588

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	1.07908E-04
0.1	0.1	1.71079E-02
0.2	0.2	3.46522E-02
0.3	0.3	5.22458E-02
0.4	0.4	0.071439693
0.5	0.5	9.36546E-02
0.6	0.6	0.129409752
0.7	0.7	0.176584085
0.8	0.8	0.227949532
0.9	0.9	0.278949532
1	1	0.31989196
1.1	1	0.37889196
1.2	1	0.427891961



Şekil 4.56. Şekil 1.2'de gösterilen orijinal karakteristiğe, yaklaştırmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için 4.2.2 bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.5

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.37625216 B2= 0 B3= 0

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	2.22446E-05
0.1	0.1	5.18852E-02
0.2	0.2	0.104623562
0.3	0.3	0.159237434
0.4	0.4	0.219544603
0.5	0.5	0.282662608
0.6	0.6	0.34314023
0.7	0.7	0.4012772
0.8	0.8	0.457100577
0.9	0.9	0.51063077
1	1	0.55185954
1.1	1	0.610608847
1.2	1	0.657078645

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.5

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.04842426 B2= 0.0705025 B3= 1.04659243

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	1.21591E-04
0.1	0.1	5.20562E-02
0.2	0.2	0.104717944
0.3	0.3	0.157364873
0.4	0.4	0.210767203
0.5	0.5	0.266146724
0.6	0.6	0.324024973
0.7	0.7	0.384548341
0.8	0.8	0.444200323
0.9	0.9	0.501277299
1	1	0.545483285
1.1	1	0.601191757
1.2	1	0.64410678

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI :

EGIM= 0.5

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI :

B1= 1.37221712 B2= 0.32931472 B3= 0.85360472

B4=-0.00880487 B5= 0.252111147

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	1.22043E-04
0.1	0.1	4.71701E-02
0.2	0.2	9.39089E-02
0.3	0.3	0.139077124
0.4	0.4	0.183782171
0.5	0.5	0.226798149
0.6	0.6	0.270674484
0.7	0.7	0.315392536
0.8	0.8	0.360341409
0.9	0.9	0.407079121
1	1	0.446919765
1.1	1	0.505919766
1.2	1	0.554919765

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.7

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.19440293 B2= 0 B3= 0

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	1.94440E-05
0.1	0.1	6.35519E-02
0.2	0.2	0.130751828
0.3	0.3	0.202466528
0.4	0.4	0.270656393
0.5	0.5	0.335953473
0.6	0.6	0.398146256
0.7	0.7	0.45774997
0.8	0.8	0.514301161
0.9	0.9	0.568289832
1	1	0.60975264
1.1	1	0.668270806
1.2	1	0.714282127

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.7

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.727059618 B2= 0.700092865 B3= 0.784018309

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	1.08979E-04
0.1	0.1	7.14500E-02
0.2	0.2	0.143364146
0.3	0.3	0.214562834
0.4	0.4	0.286735552
0.5	0.5	0.357537346
0.6	0.6	0.423709122
0.7	0.7	0.48811842
0.8	0.8	0.550141145
0.9	0.9	0.608627058
1	1	0.652031732
1.1	1	0.708616237
1.2	1	0.749244627

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

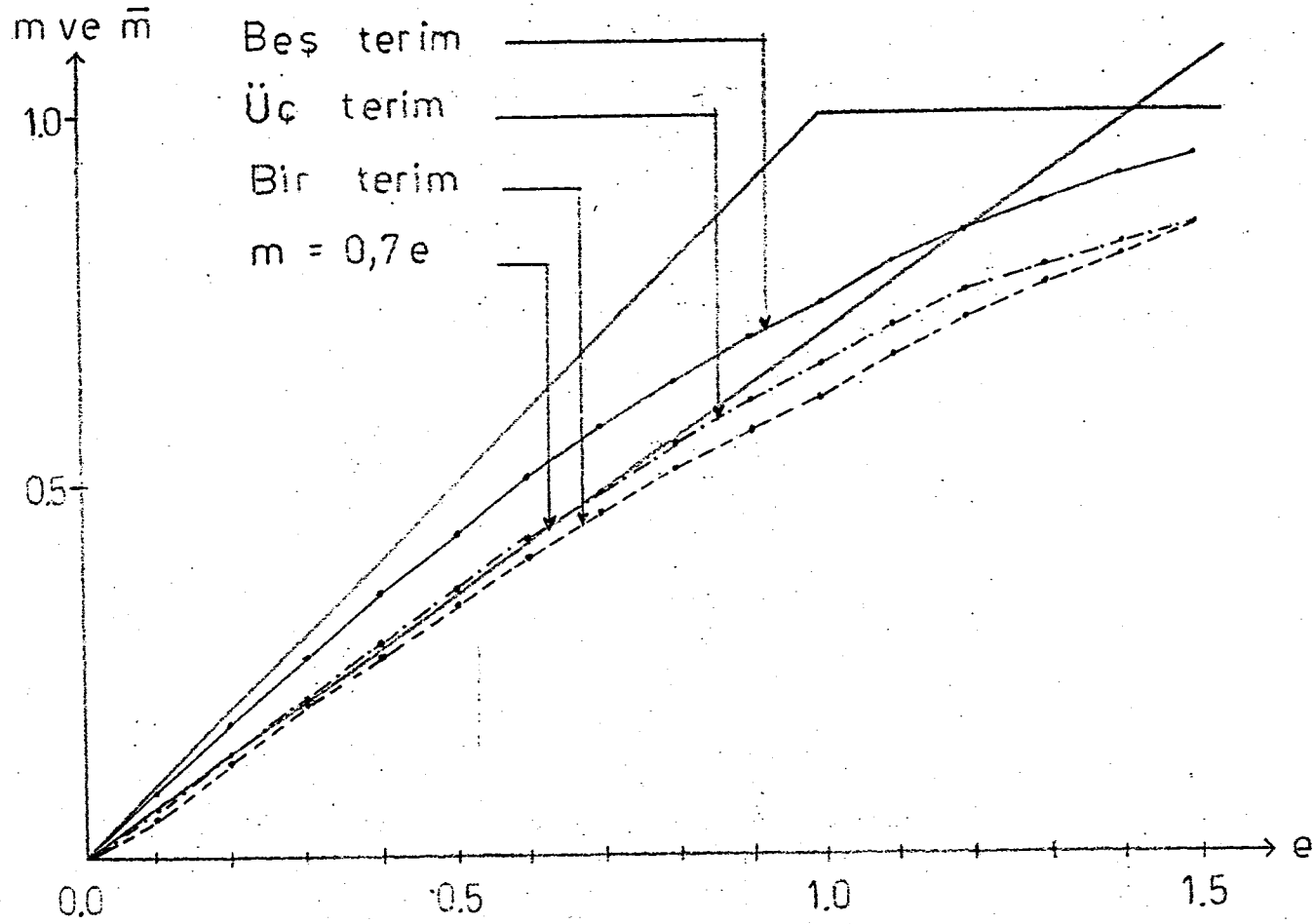
EGIM= 0.7

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.747564879 B2= 0.196090529 B3=-0.0490092

B4= 0.0122657 B5= 0.379915312

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	3.90714E-05
0.1	0.1	0.087923835
0.2	0.2	0.177254524
0.3	0.3	0.266194346
0.4	0.4	0.350045954
0.5	0.5	0.42997941
0.6	0.6	0.504244397
0.7	0.7	0.56975368
0.8	0.8	0.63147685
0.9	0.9	0.689211226
1	1	0.733221489
1.1	1	0.789149837
1.2	1	0.831448054



Şekil 4.58. Şekil 1.2'de gösterilen orijinal karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için 4.2.2 bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri

4.3.3. İdeal ölü bölge karakteristiği

4.2.3 bölümünde K ; 0.3, 0.5, 0.7 alınarak hesaplanan bir terim, üç terim ve beş terim için optimum genlikler denklem 4.12'ye uygulanacaktır. $K=0.3$ için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamanın şekli; Şekil 4.59'da, $K=0.5$ için Şekil 4.60'da, $K=0.7$ için Şekil 4.61'de gösterilmiştir. Bilgisayar programı Ek-6'da sunulmuştur.

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGİM= 0.3

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.19831444 B2= 0 B3= 0

E	M	M ORTALAMA
0	0	5.43953E-07
0.1	0	3.67971E-02
0.2	0	7.02024E-02
0.3	0	0.09858358
0.4	0	0.130435667
0.5	0	0.16520966
0.6	0	0.203045721
0.7	0	0.243466228
0.8	0	0.286949256
0.9	0	0.332970446
1	0	0.381512672
1.1	0.1	0.432989535
1.2	0.2	0.486968353

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI :

EGIM= 0.3

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI :

B1= 0.732153016 B2= 0.698657365 B3= 0.786072538

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	-4.75066E-06
0.1	0	2.86743E-02
0.2	0	5.68353E-02
0.3	0	8.56607E-02
0.4	0	0.113548496
0.5	0	0.14306696
0.6	0	0.177126002
0.7	0	0.212934131
0.8	0	0.251007213
0.9	0	0.292581355
1	0	0.339186424
1.1	0.1	0.392591752
1.2	0.2	0.452026085

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI :

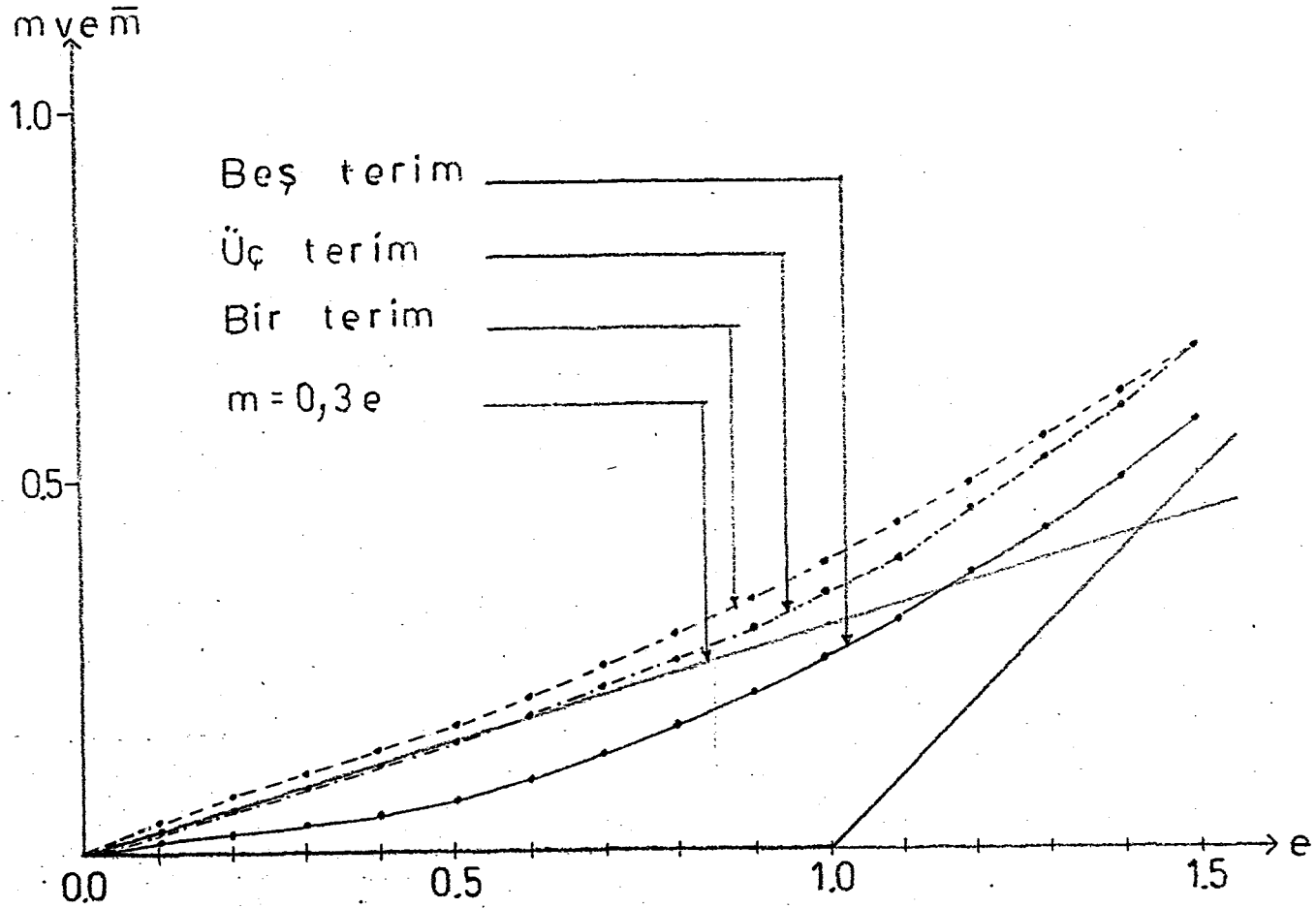
EGIM= 0.3

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI :

B1= 0.736056638 B2= 0.193299208 B3=-0.0479263

B4= 0.0123801 B5= 0.374218351

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	9.85251E-06
0.1	0	1.14995E-02
0.2	0	2.13157E-02
0.3	0	3.18286E-02
0.4	0	4.75650E-02
0.5	0	0.067351702
0.6	0	0.092517845
0.7	0	0.126630721
0.8	0	0.164825722
0.9	0	0.206963898
1	0	0.252918374
1.1	0.1	0.30702436
1.2	0.2	0.364837842



Şekil 4.59. Şekil 1.3'de gösterilen orijinal karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen linear karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için 4.2.3 bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen m ortalama çıkış sinyalleri

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI :

EGIM= 0.5

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI :

B1= 1.38276569 B2= 0 B3= 0

E	M	M ORTALAMA
0	0	7.89757E-07
0.1	0	4.84224E-02
0.2	0	9.60592E-02
0.3	0	0.141868394
0.4	0	0.182326484
0.5	0	0.219312043
0.6	0	0.258874756
0.7	0	0.300770267
0.8	0	0.34497139
0.9	0	0.391457619
1	0	0.440237232
1.1	0.1	0.491479646
1.2	0.2	0.544993426

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI :

EGIM= 0.5

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI :

B1= 1.08144669 B2= 0.161141231 B3= 1.09082451

E	M	M ORTALAMA
0	0	4.83972E-06
0.1	0	4.91557E-02
0.2	0	9.80468E-02
0.3	0	0.146539196
0.4	0	0.194026194
0.5	0	0.240457162
0.6	0	0.28407497
0.7	0	0.327254359
0.8	0	0.371562272
0.9	0	0.414663876
1	0	0.460220353
1.1	0.1	0.514737523
1.2	0.2	0.57199231

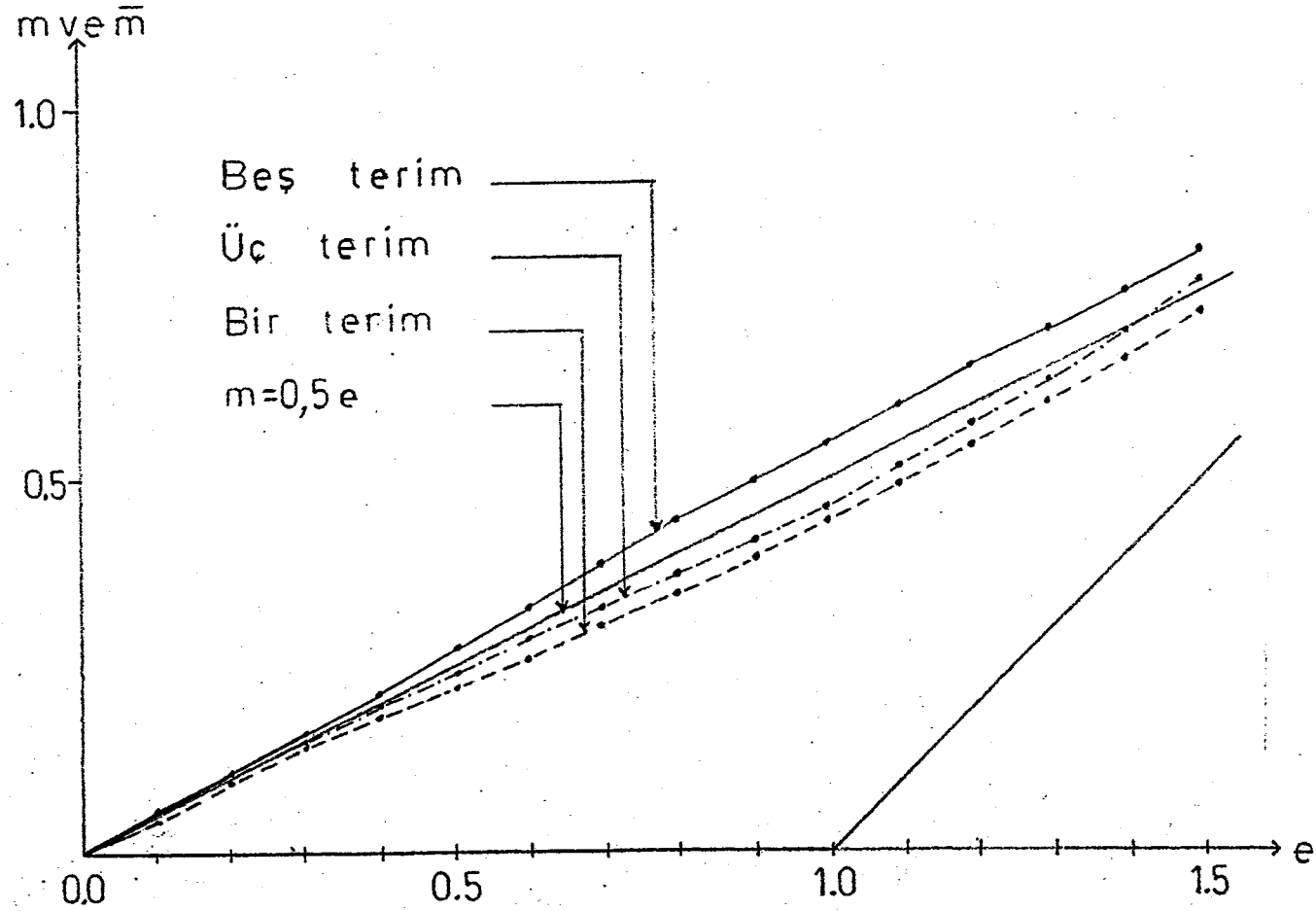
OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.5

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.37911894 B2= 0.333740784 B3= 0.860595587
B4=-0.00785372 B5= 0.253741055

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	-2.34350E-05
0.1	0	5.32907E-02
0.2	0	0.106824724
0.3	0	0.16190789
0.4	0	0.217765651
0.5	0	0.274875428
0.6	0	0.331239896
0.7	0	0.386676308
0.8	0	0.442023267
0.9	0	0.495586411
1	0	0.546217948
1.1	0.1	0.597217948
1.2	0.2	0.648217949



Şekil 4.60. Şekil 1.3'de gösterilen orijinal karakteristiğe yaklaştırılmak istenen linear karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için 4.2.3 bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.7

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.84999221 B2= 0 B3= 0

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	1.23593E-06
0.1	0	6.36049E-02
0.2	0	0.127044449
0.3	0	0.190156634
0.4	0	0.252779326
0.5	0	0.314692713
0.6	0	0.375163761
0.7	0	0.434031841
0.8	0	0.49012929
0.9	0	0.539960743
1	0	0.588990208
1.1	0.1	0.639990207
1.2	0.2	0.692638745

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.7

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.89474075 B2= 0.00194461 B3= 0.525669215

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	3.37178E-06
0.1	0	8.02537E-02
0.2	0	0.160406562
0.3	0	0.240406562
0.4	0	0.318531086
0.5	0	0.389541307
0.6	0	0.454384272
0.7	0	0.512792055
0.8	0	0.568832346
0.9	0	0.609832345
1	0	0.658887577
1.1	0.1	0.709887576
1.2	0.2	0.760887576

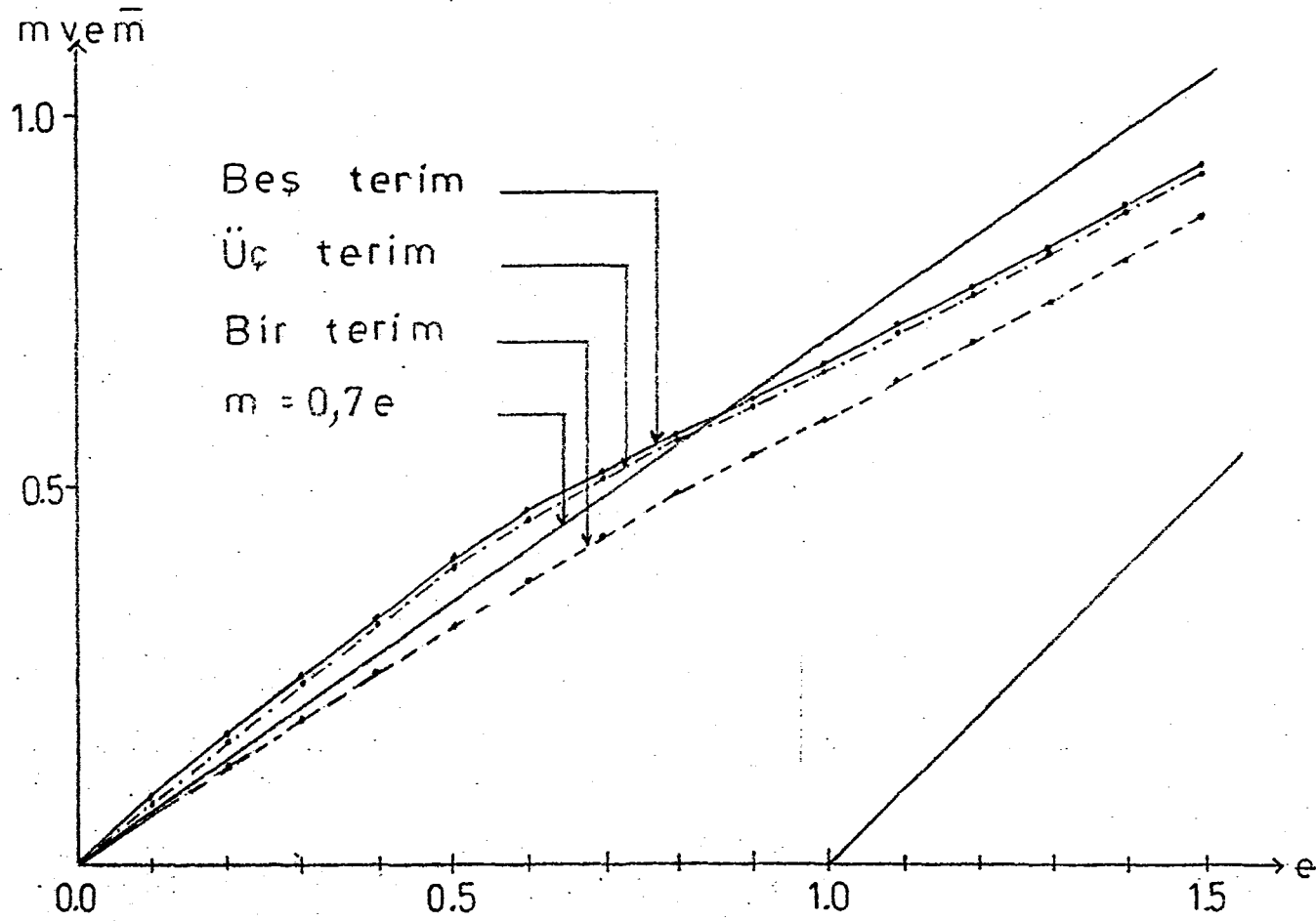
OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.7

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.89962924 B2= 0.0832639 B3= 0.478749022
B4= 0.101619388 B5= 0.180101863

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	2.93927E-05
0.1	0	8.30759E-02
0.2	0	0.165651743
0.3	0	0.248166705
0.4	0	0.329160884
0.5	0	0.406155489
0.6	0	0.468718711
0.7	0	0.520314937
0.8	0	0.568797959
0.9	0	0.617797959
1	0	0.666856304
1.1	0.1	0.717856304
1.2	0.2	0.768856305



Şekil 4.61. Şekil 1.3'de gösterilen orijinal karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen linear karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için 4.2.3 bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri

4.3.4. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiği

4.2.4. bölümünde K ; 0.3, 0.5 ve 0.7 alınarak hesaplanan bir terim, üç terim ve beş terim için optimum genlikler denklem 4.13'e uygulanacaktır. $K=0.3$ için Fourier serisinden bir, üç ve beş terim alınarak hesaplanan \bar{m} ortalamasının şekli; Şekil 4.62'de, $K=0.5$ için Şekil 4.63'de, $K=0.7$ için Şekil 4.64'de gösterilmiştir. Bilgisayar programı Ek-7'de sunulmuştur.

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORJINAL

KARAKTERISTİGE UYGULANMASI:

EGİM= 0.3

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

$B_1= 0.405331094$ $B_2= 0$ $B_3= 0$

E	M	M ORTALAMA
0	0	0
0.1	0	0
0.2	0	0
0.3	0	0
0.4	0	0
0.5	0	0
0.6	0	0.05
0.7	0	0.20
0.8	0	0.33
0.9	0	0.43
1	1	0.51
1.1	1	0.58
1.2	1	0.67

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.3

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.461112531 B2= 0.63948164 B3= 0.543226672

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	0
0.1	0	0.03
0.2	0	0.05
0.3	0	0.09
0.4	0	0.17
0.5	0	0.17
0.6	0	0.19
0.7	0	0.2
0.8	0	0.33
0.9	0	0.42
1	1	0.51
1.1	1	0.59
1.2	1	0.67

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

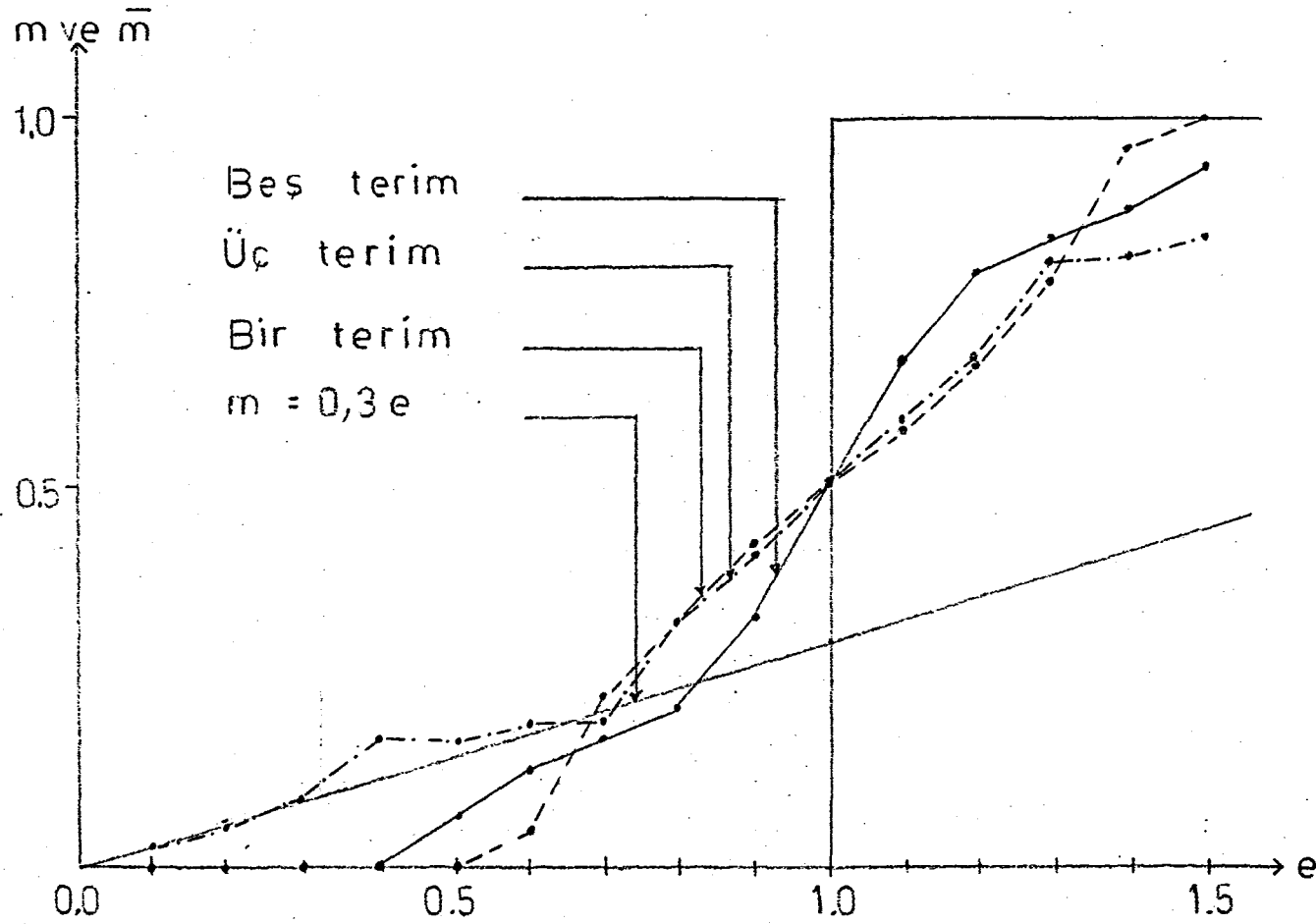
EGIM= 0.3

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.261534474 B2= 0.13980032 B3= 0.00573553

B4= 0.151250804 B5= 0.254037296

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	0
0.1	0	0
0.2	0	0
0.3	0	0
0.4	0	0
0.5	0	0.07
0.6	0	0.13
0.7	0	0.17
0.8	0	0.21
0.9	0	0.33
1	1	0.51
1.1	1	0.67
1.2	1	0.79



Şekil 4.62. Şekil 1.4'de gösterilen orijinal karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.3$ için 4.2.4. bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.5

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.893696555 B2= 0 B3= 0

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	0
0.1	0	0
0.2	0	0.15
0.3	0	0.21
0.4	0	0.27
0.5	0	0.31
0.6	0	0.35
0.7	0	0.39
0.8	0	0.43
0.9	0	0.47
1	1	0.51
1.1	1	0.53
1.2	1	0.57

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.5

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.15473056 B2=-0.35678205 B3= 0.178591894

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	0
0.1	0	0.06
0.2	0	0.14
0.3	0	0.24
0.4	0	0.33
0.5	0	0.37
0.6	0	0.4
0.7	0	0.43
0.8	0	0.45
0.9	0	0.48
1	1	0.51
1.1	1	0.52
1.2	1	0.55

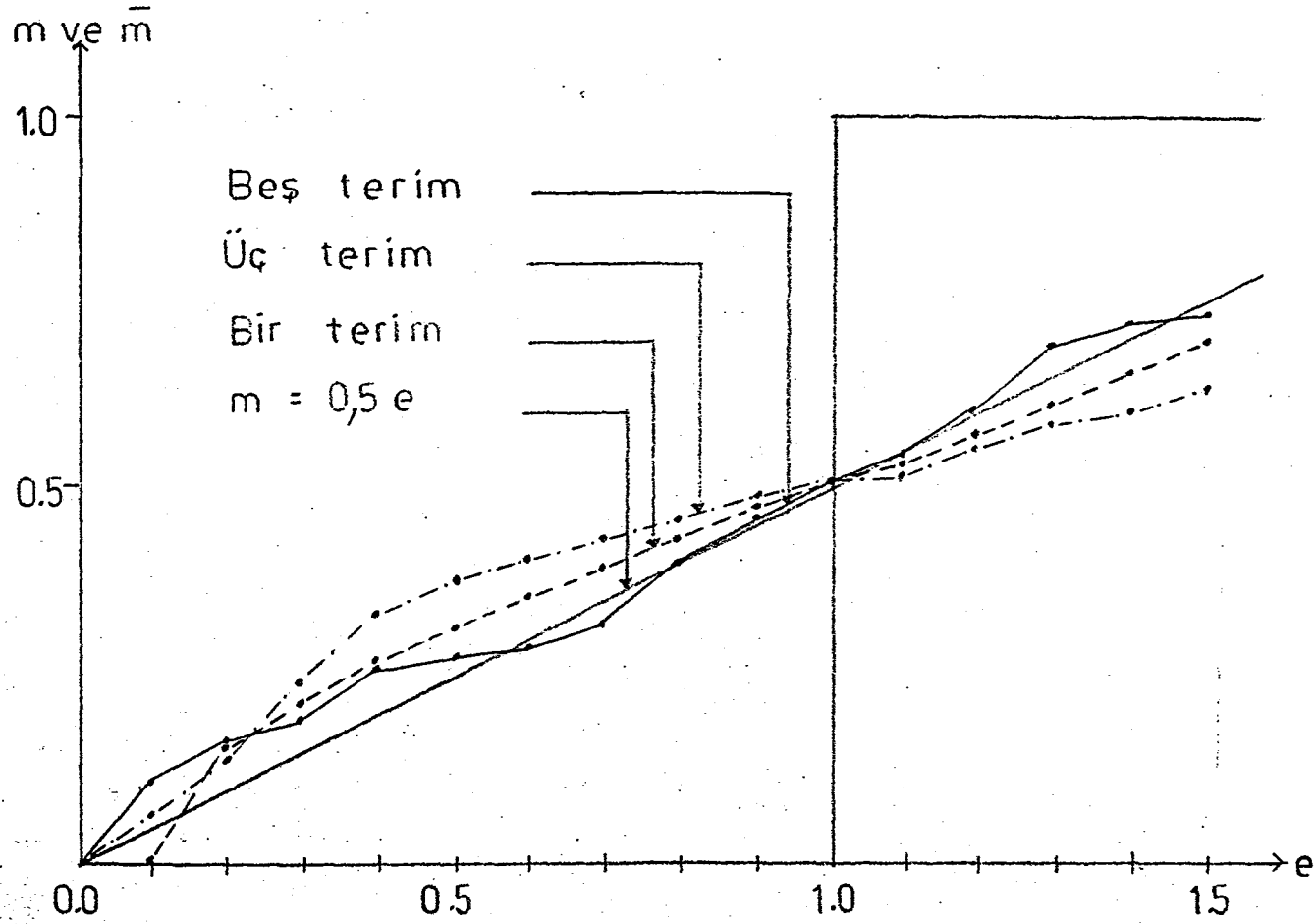
OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.5

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 0.667804603 B2= 0.48235342 B3= 0.035388
B4= 0.014377 B5= 0.376027627

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	0
0.1	0	0.11
0.2	0	0.16
0.3	0	0.19
0.4	0	0.26
0.5	0	0.27
0.6	0	0.28
0.7	0	0.31
0.8	0	0.4
0.9	0	0.46
1	1	0.51
1.1	1	0.55
1.2	1	0.6



Şekil 4.63. Şekil 1.4'de gösterilen orijinal karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğin eğimi olan $K=0.5$ için 4.2.4 bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.7

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.085035

B2= 0

B3= 0

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	0
0.1	0	0.19
0.2	0	0.23
0.3	0	0.27
0.4	0	0.31
0.5	0	0.35
0.6	0	0.39
0.7	0	0.41
0.8	0	0.45
0.9	0	0.47
1	1	0.51
1.1	1	0.53
1.2	1	0.55

OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL

KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.7

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.11072794

B2=-0.0534159

B3= 0.297814177

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	0
0.1	0	0.19
0.2	0	0.35
0.3	0	0.38
0.4	0	0.4
0.5	0	0.42
0.6	0	0.43
0.7	0	0.45
0.8	0	0.47
0.9	0	0.49
1	1	0.51
1.1	1	0.51
1.2	1	0.53

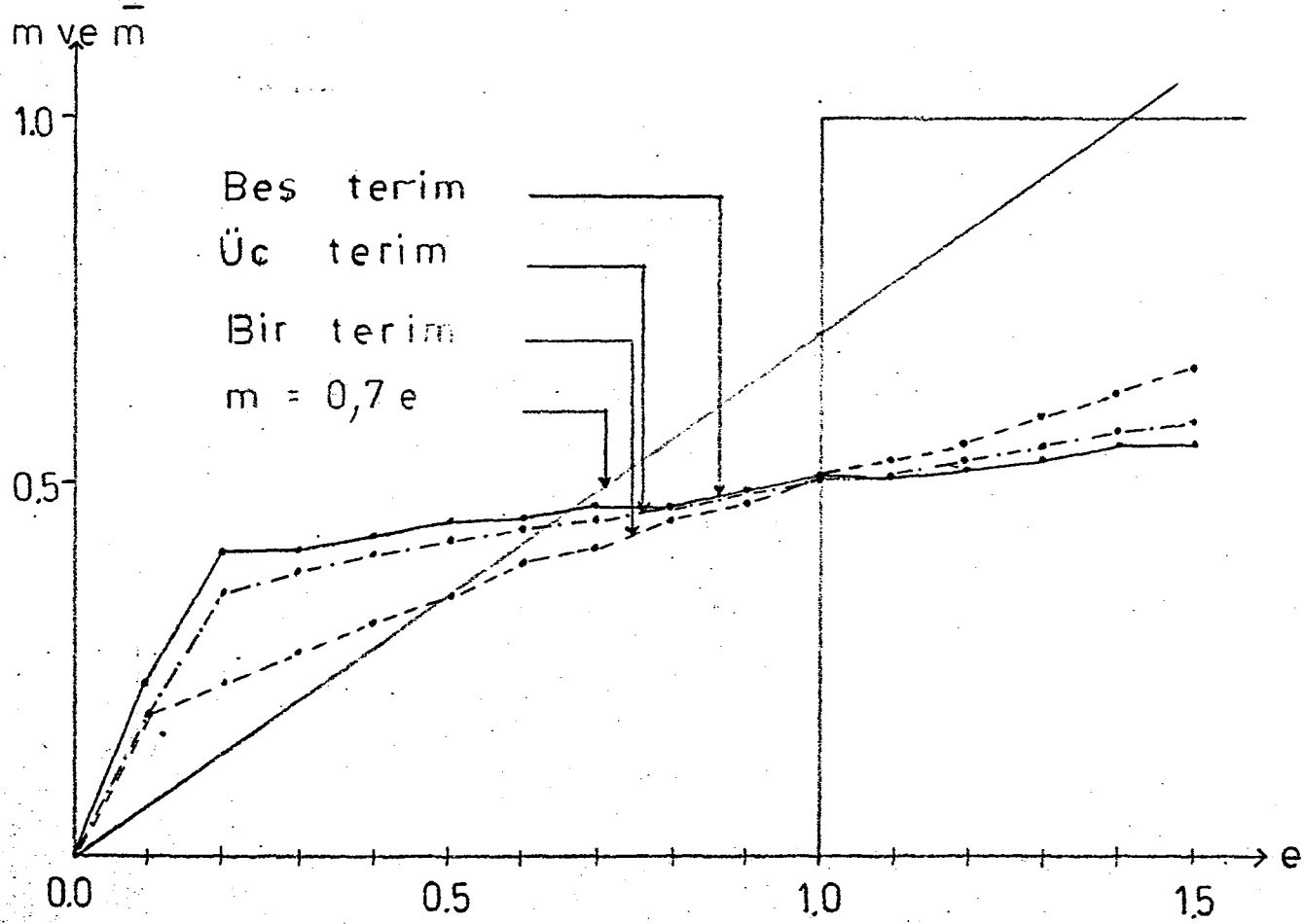
OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL
KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:

EGIM= 0.7

OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:

B1= 1.13461177 B2= 0.00337011 B3= 0.34525039
B4= 0.00351606 B5= 0.179040995

<u>E</u>	<u>M</u>	<u>M ORTALAMA</u>
0	0	0
0.1	0	0.23
0.2	0	0.41
0.3	0	0.41
0.4	0	0.43
0.5	0	0.45
0.6	0	0.45
0.7	0	0.47
0.8	0	0.47
0.9	0	0.49
1	1	0.51
1.1	1	0.51
1.2	1	0.52



Şekil 4.64. Şekil 1.4'de gösterilen orijinal karakteristiğe, yaklaştırılmak istenen linear karakteristiğin eğimi olan $K=0.7$ için 4.2.4. bölümünde bulunan optimum salınım sinyallerinin uygulanarak elde edilen \bar{m} ortalama çıkış sinyalleri

5. DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, üçüncü bölümde bulunan sonuçlarla, dördüncü bölümde bulunan sonuçlar birbirlerine göre karşılaştırılarak, değerlendirilecektir. Ayrıca Fourier serisinden daha fazla terimin alınması veya alınmaması tartışılacaktır. Salınım sinyallerinin, uydurulan polinomlar ve orijinal karakteristiklere uygulanmasıyla elde edilen \bar{m} -e karakteristiklerinin karşılaştırılması yapılacaktır. Aynı zamanda, karakteristiklere ait minimum maliyeti veren optimum genlikler grafikler halinde sunulurken, optimum salınım sinyallerinin şekli ve genlikleri tesbit edilecektir.

5.1. Sinüzoidal Salınım Sinyallerinin Karşılaştırılması

Burada; üçüncü bölümde bulunan sonuçlarla, dördüncü bölümde Fourier serisinden bir terim alındığında bulunan sonuçlar karşılaştırılacaktır. Üçüncü bölümde bulunan optimum genlikler, dördüncü bölümde bulunan optimum genliklerden genellikle büyüktür. Bunun nedeni, $(e+b(t))$ değerine getirilen sınırlamadır. Yani, eğri uydurma bölümünde, her karakteristiğe belirli değerlere kadar eğri uydurulmaya çalışılmıştır. Oysa üçüncü bölümde böyle bir sınırlandırma yoktur. Dolayısıyla, orijinal karakteristiğe uygulanan salınım sinyallerinin optimum genlikleri daha büyük olabilmektedir. Bu nedenle; Ek-8-9-10-11'de sunulan bilgisayar programı yardımıyla, giriş sinyali e üzerine dördüncü bölümde getirilen aynı kısıtlamalar getirilerek sonuçlar bulunacak ve o şekilde dördüncü bölümdeki değerlerle karşılaştırma yapılacaktır. Bu değerler, her karakteristik için bölümler halinde karşılaştırmalı olarak verilecektir.

5.1.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği

Üçüncü bölümde; giriş sinyali e üzerine herhangi bir sınırlandırma getirilmeden, orijinal karakteristiğe ait bulu-

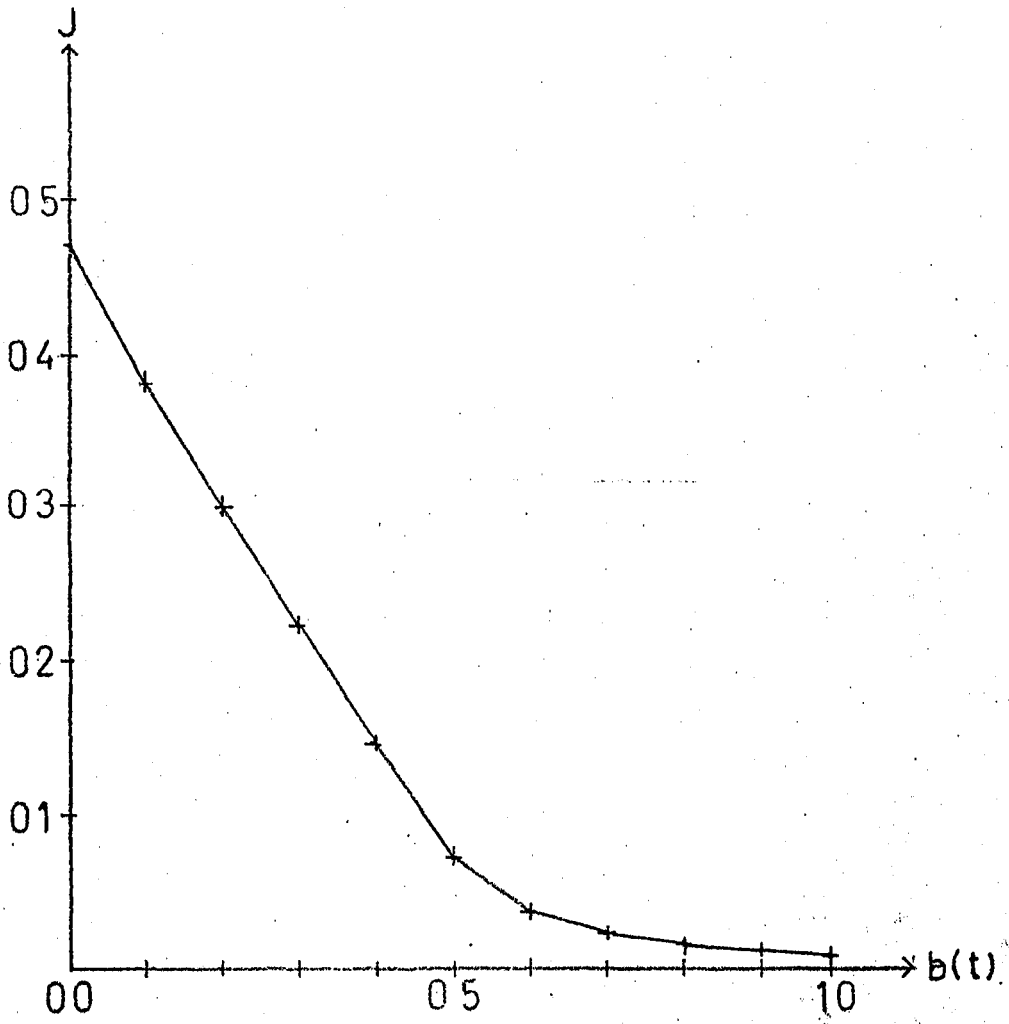
nan optimum genlikler; $k=0.3$ iken 2.705, $k=0.5$ iken 1.621, $k=0.7$ iken 1.157'dir. Halbuki, dördüncü bölümde e üzerine sınırlama getirilerek, $e=0.5$ alınmış ve polinomda 1.01 noktasına kadar uydurulmuştur. Bu duruma göre, ek-8'de sunulan bilgisayar programı yardımıyla bulunan $J=f(b(t))$ grafiği, $k=0.3$ iken Şekil 5.1'de, $k=0.5$ iken Şekil 5.2'de, $k=0.7$ iken Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

Şekil 5.1'den görüleceği üzere; $k=0.3$ alındığında optimum genlik 1.0 iken, dördüncü bölümde uydurulan eğriye ait optimum genlik 0.650'dir. Şekil 5.2'den görüleceği üzere; $k=0.5$ alındığında optimum genlik 1.0 iken, dördüncü bölümde bulunan 0.635'dir. Şekil 5.3'den görüleceği üzere; $k=0.7$ alındığında optimum genlik 0.9 iken, dördüncü bölümde bulunan 0.638'dir.

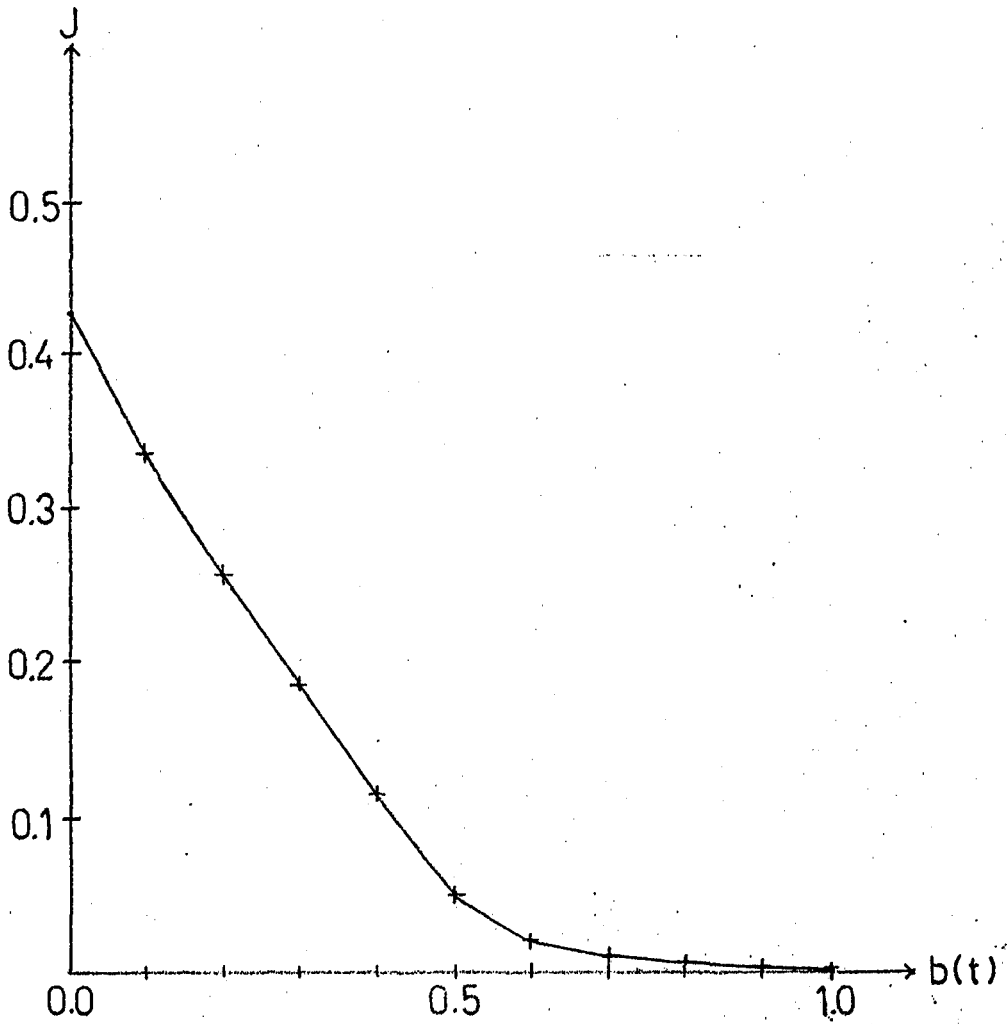
5.1.2. Doyma eğrisi

Üçüncü bölümde; giriş sinyali e üzerine herhangi bir sınırlandırma getirilmeden, orijinal karakteristiğe ait bulunan optimum genlikler, $k=0.3$ iken 2.5, $k=0.5$ iken 1.4, $k=0.7$ iken 1.0'dır. Halbuki, dördüncü bölümde " e " üzerine sınırlama getirilerek, $e=1.0$ alınmış ve polinomda 2.4 noktasına kadar uydurulmuştur. Bu duruma göre; ek-9'da sunulan bilgisayar programı yardımıyla bulunan $J=f(b(t))$ grafiği, $k=0.3$ iken Şekil 5.4'de, $k=0.5$ iken Şekil 5.5'de, $k=0.7$ iken Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

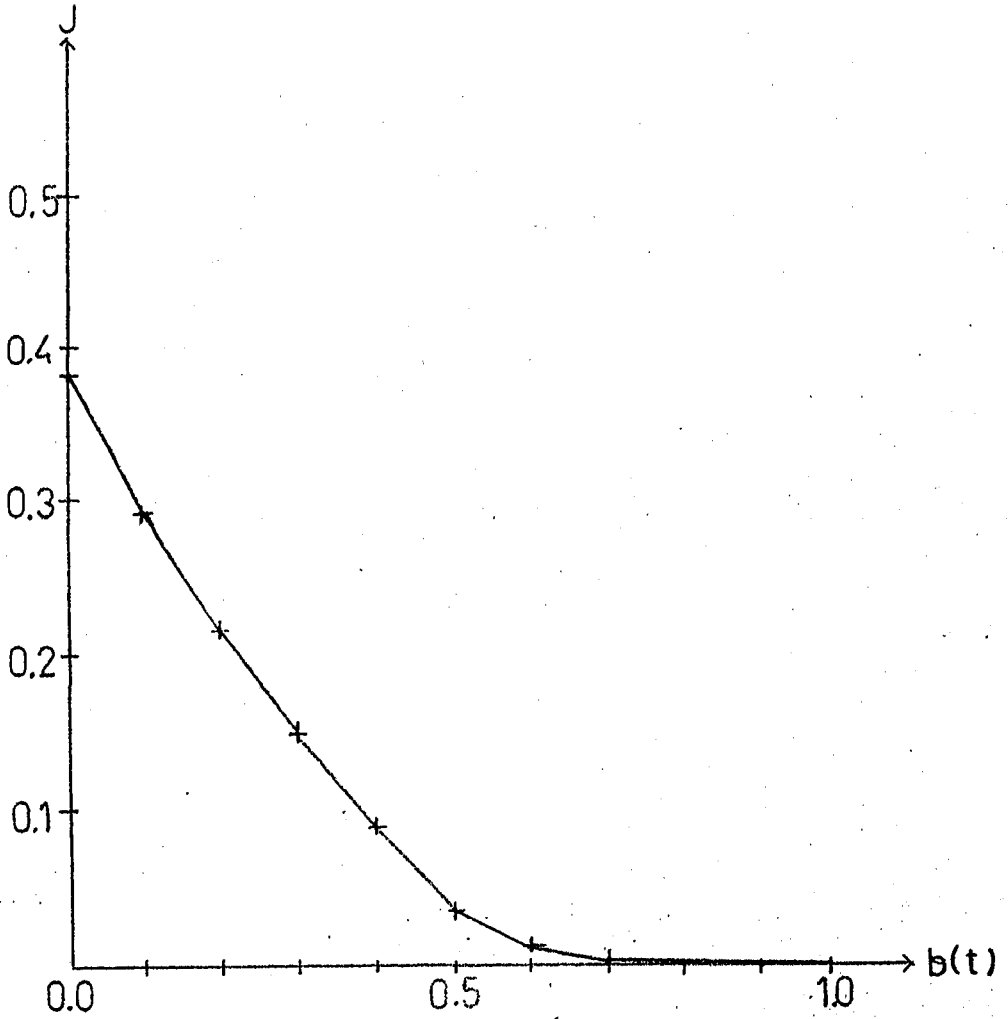
Şekil 5.4'den görüleceği üzere; $k=0.3$ alındığında optimum genlik 1.4 iken, dördüncü bölümde uydurulan eğriye ait optimum genlik 1.859'dur. Şekil 5.5'den görüleceği üzere; $k=0.5$ alındığında optimum genlik 1.2 iken, dördüncü bölümde bulunan 1.376'dır. Şekil 5.6'dan görüleceği üzere; $k=0.7$ alındığında optimum genlik 1.0 iken, dördüncü bölümde bulunan 1.194'dür.



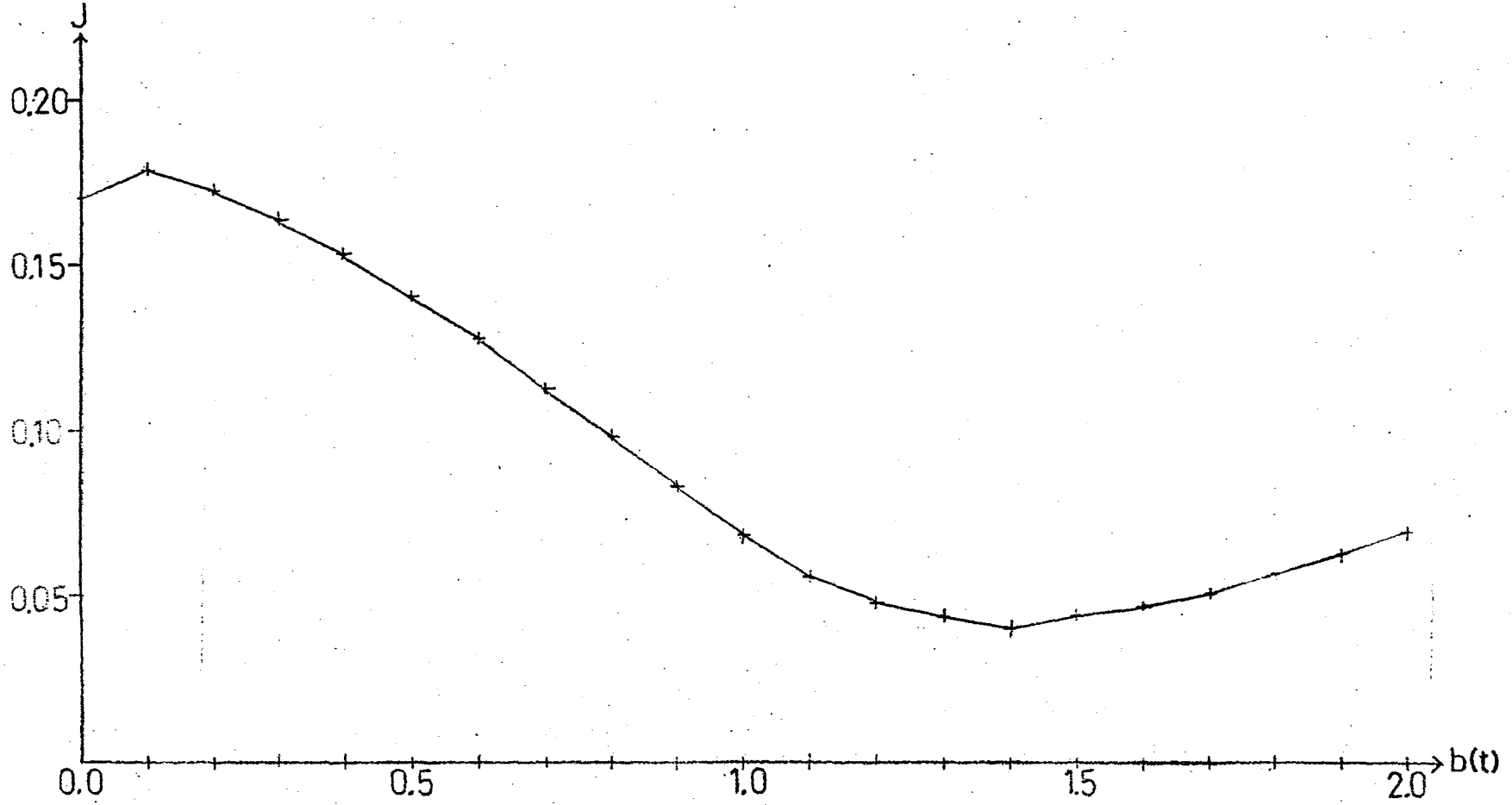
Şekil 5.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiğine, $e=0.5$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $k=0.3$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği



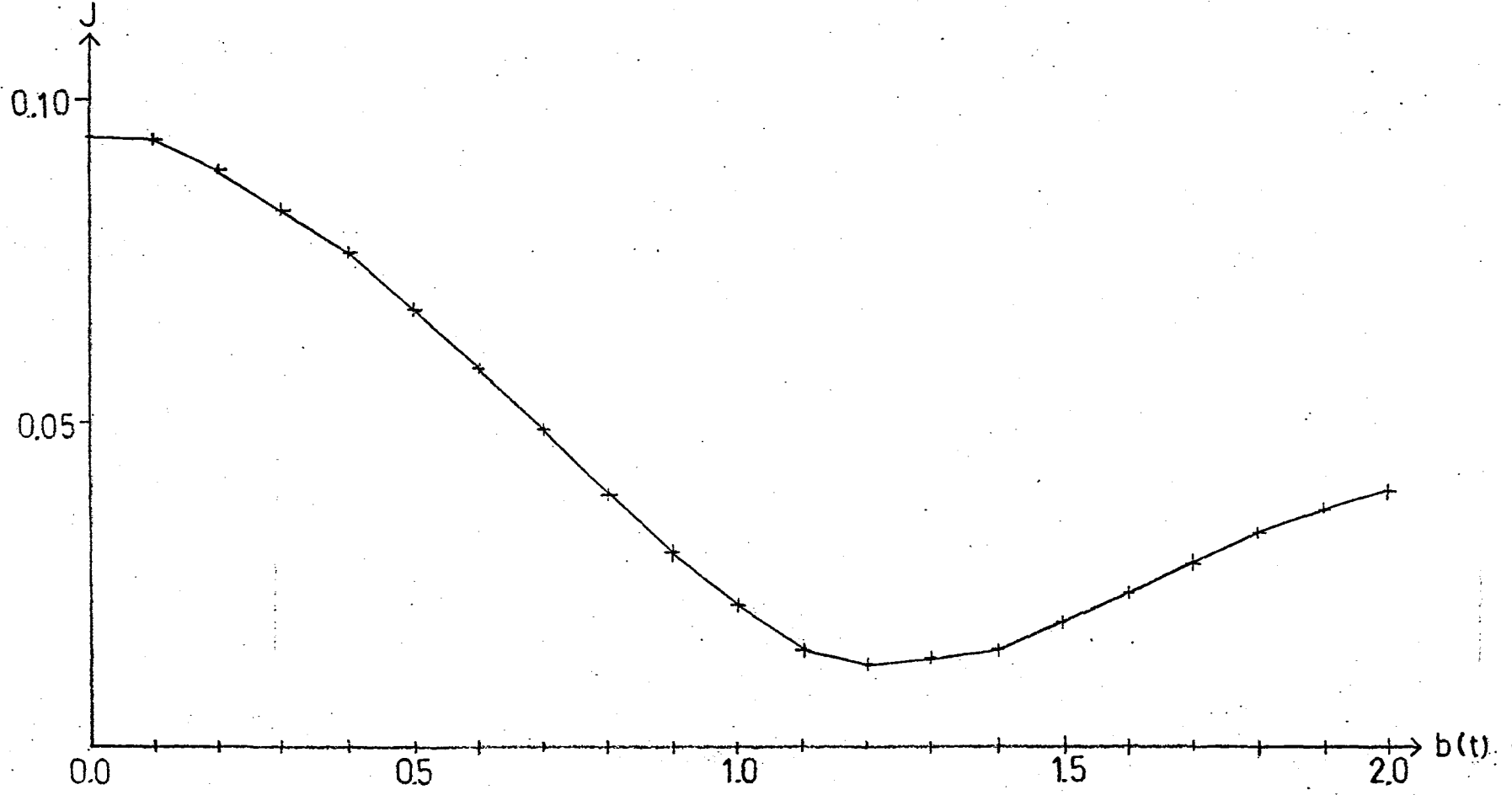
Şekil 5.2. İdeal çift yönlü röle karakteristiğine, $e=0.5$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.5$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği



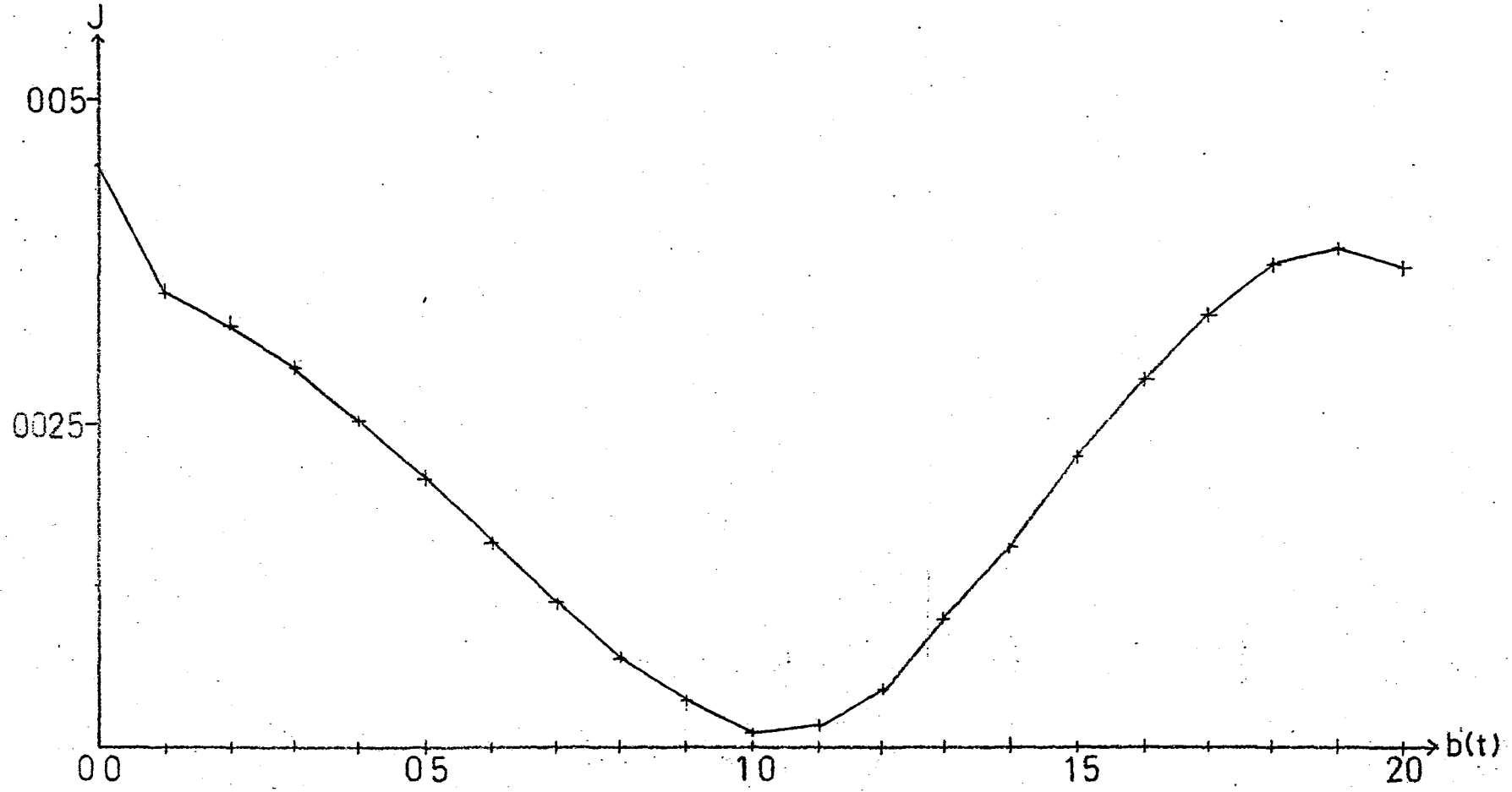
Şekil 5.3. İdeal çift yönlü röle karakteristiğine, $e=0.5$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.7$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği



Şekil 5.4. Doyma eğrisine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.3$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği



Şekil 5.5. Doyma eğrisine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.5$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği



Şekil 5.6. Doyma eğrisine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında $K=0.7$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği

5.1.3. İdeal ölü bölge karakteristiği

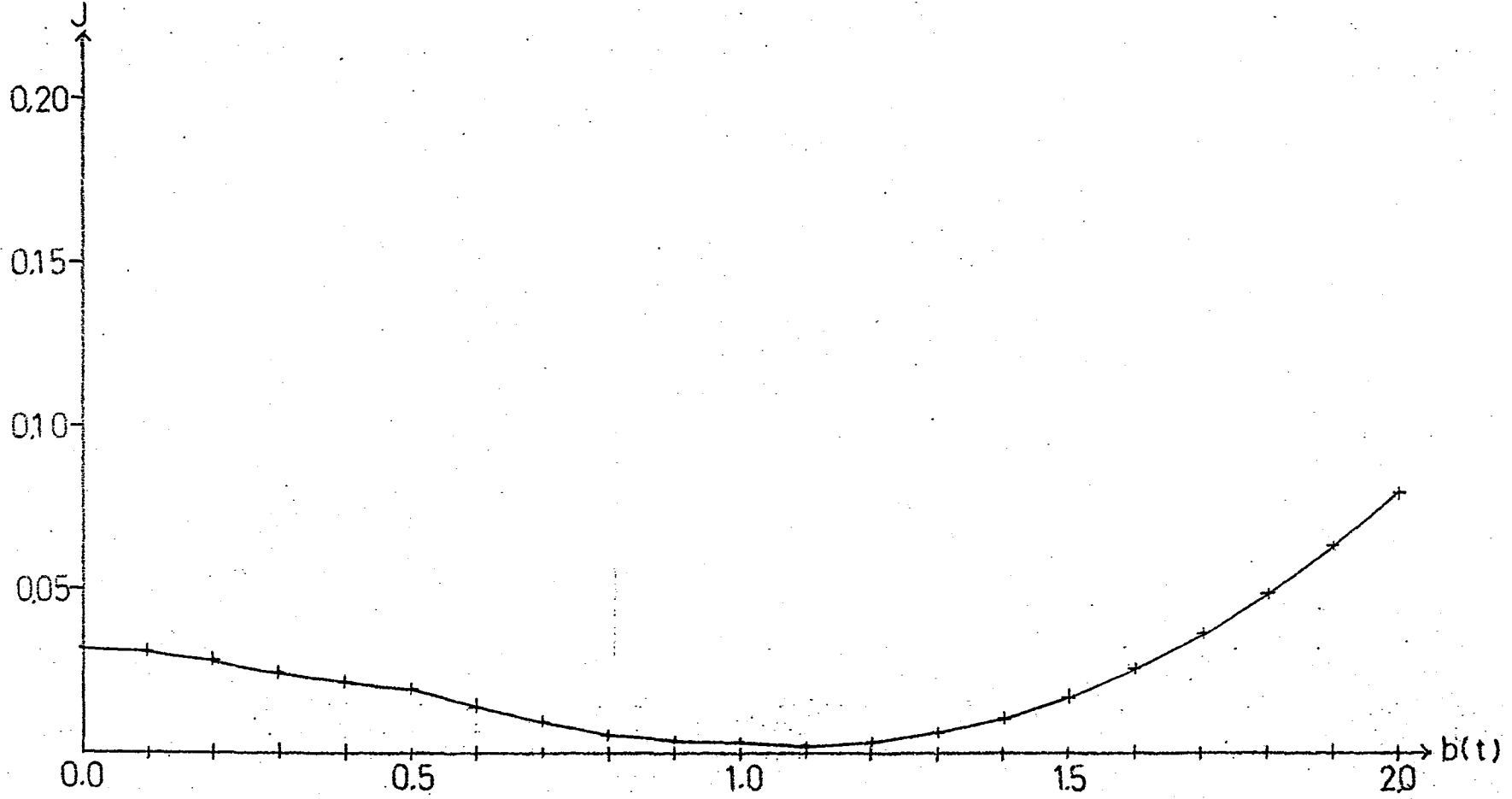
Üçüncü bölümde; giriş sinyali e üzerine herhangi bir sınırlandırma getirilmeden, orijinal karakteristiğe ait bulunan optimum genlikler, $k=0.3$ iken 0.9, $k=0.5$ iken 1.4, $k=0.7$ iken 2.2'dir. Dördüncü bölümde e üzerine sınırlama getirilerek, $e=1.0$ alınmış ve polinomda 2.4 noktasına kadar uydurulmuştur. Bu duruma göre; Ek-10'da sunulan bilgisayar programı yardımıyla bulunan $J=f(b(t))$ grafiği, $k=0.3$ iken Şekil 5.7'de, $k=0.5$ iken Şekil 5.8'de, $k=0.7$ iken Şekil 5.9'da gösterilmiştir.

Şekil 5.7'den görüleceği üzere; $k=0.3$ alındığında optimum genlik 1.1 iken, dördüncü bölümde uydurulan eğriye ait optimum genlik 1.198'dir. Şekil 5.8'den görüldüğü gibi, $k=0.5$ alındığında optimum genlik 1.4 iken, dördüncü bölümde bulunan 1.382'dir. Şekil 5.9'dan görüleceği üzere, $k=0.7$ alındığında optimum genlik 1.8 iken, dördüncü bölümde bulunan 1.850'dir.

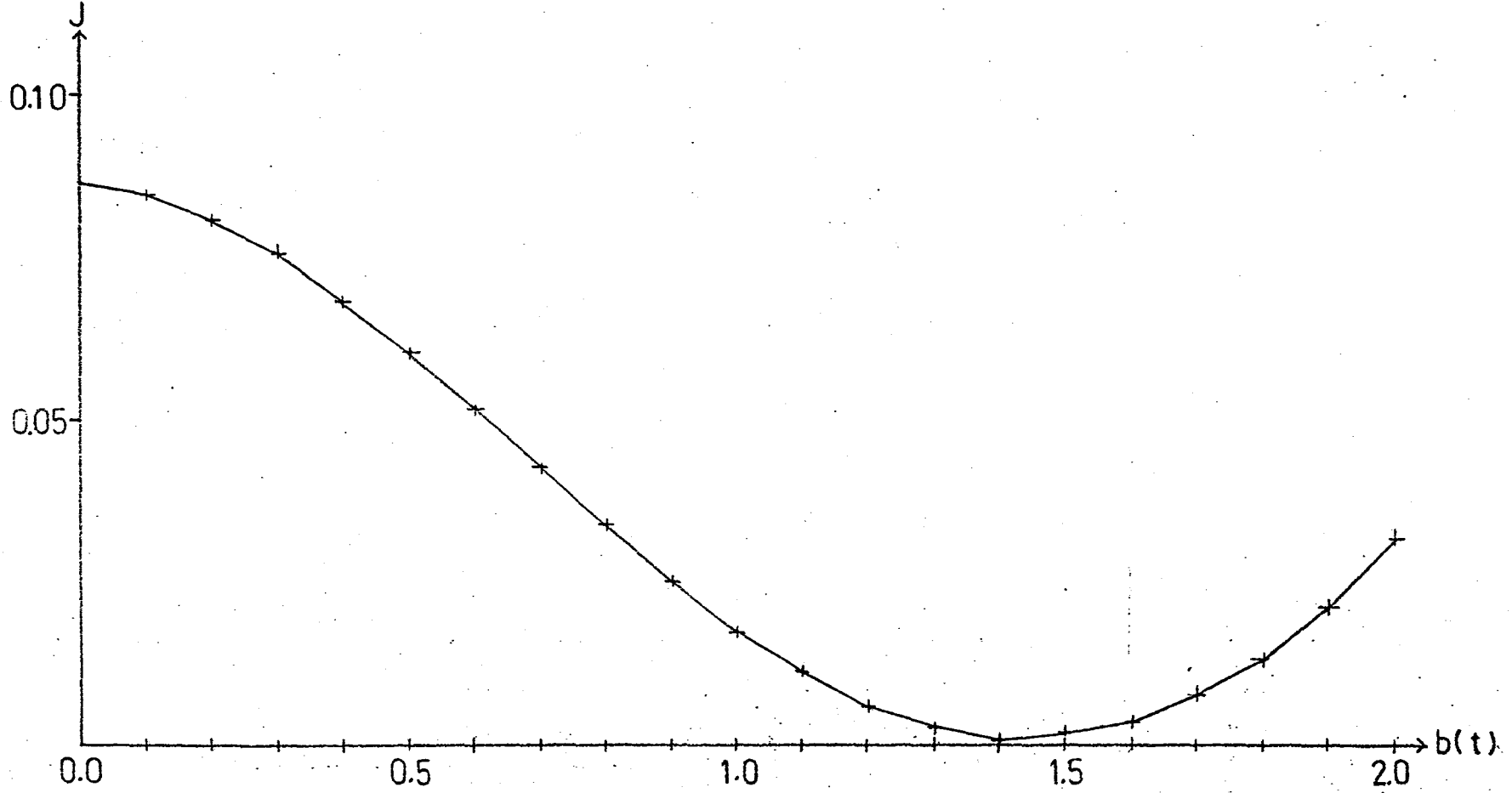
5.1.4. Ölü bölgeli çift yönlü röle karakteristiği

Üçüncü bölümde; giriş sinyali e üzerine herhangi bir sınırlandırma getirilmeden, orijinal karakteristiğe ait bulunan optimum genlikler, $k=0.3$ iken 2.2, $k=0.5$ iken 0.8, $k=0.7$ iken 0.8'dir. Dördüncü bölümde e üzerine getirilen sınırlama; $e=1.0$ alınması ve eğrinin 2.2 noktasına kadar uydurulması şeklindedir. Bu duruma göre; Ek-11'de sunulan bilgisayar programı yardımıyla bulunan $J=f(b(t))$ grafiği, $k=0.3$ iken Şekil 5.10'da, $k=0.5$ iken Şekil 5.11'de, $k=0.7$ iken Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

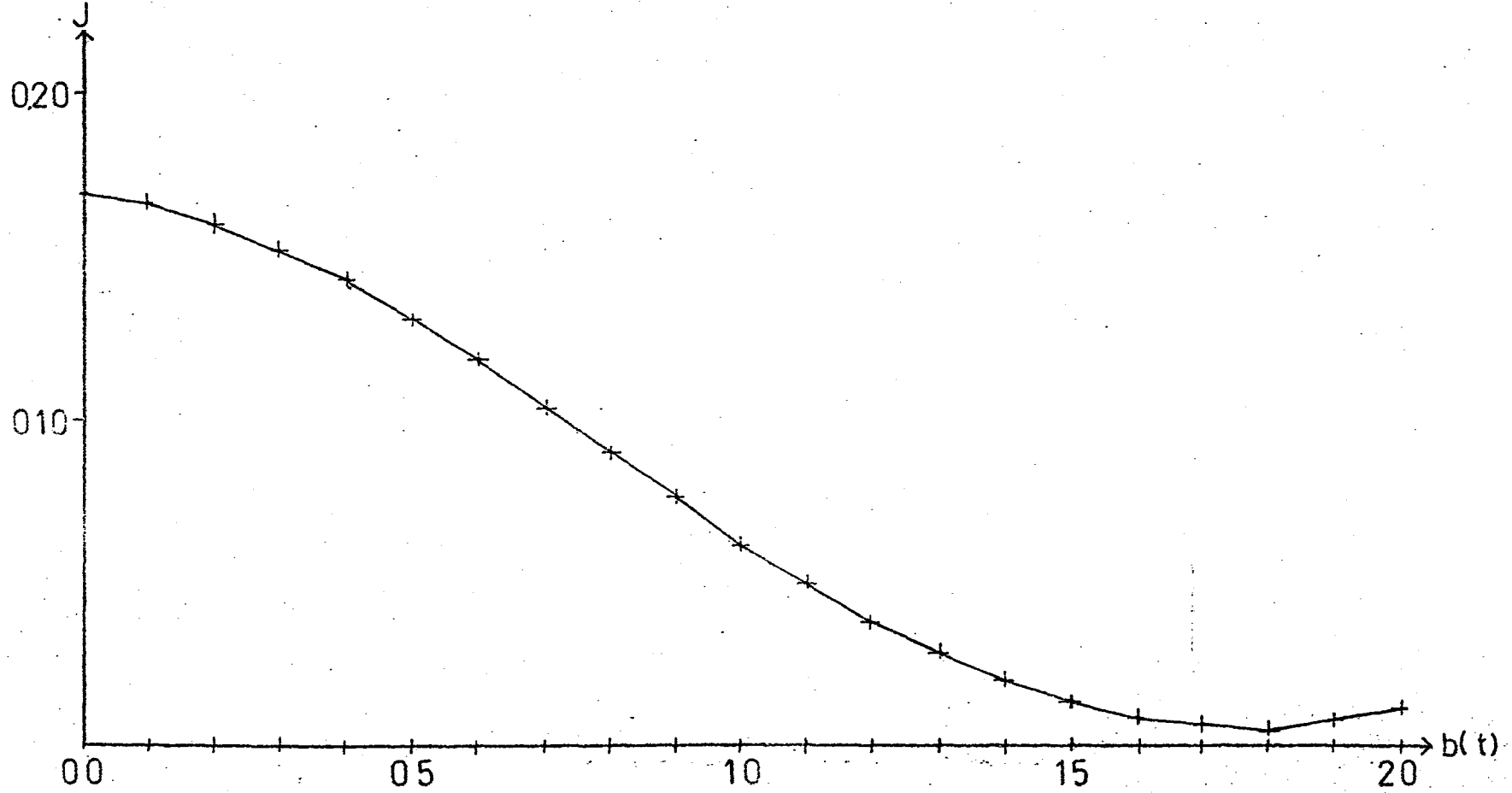
Şekil 5.10'dan görüldüğü gibi; $k=0.3$ alındığında optimum genlik 0.5 iken, dördüncü bölümde uydurulan eğriye ait optimum genlik 0.405'dir. Şekil 5.11'den görüleceği üzere; $k=0.5$ alındığında optimum genlik 0.8 iken, dördüncü bölümde bulunan 0.893'dür. Şekil 5.12'den görüleceği üzere, $k=0.7$ alındığında optimum genlik 0.9 iken, dördüncü bölümde bulunan 1.085'dir.



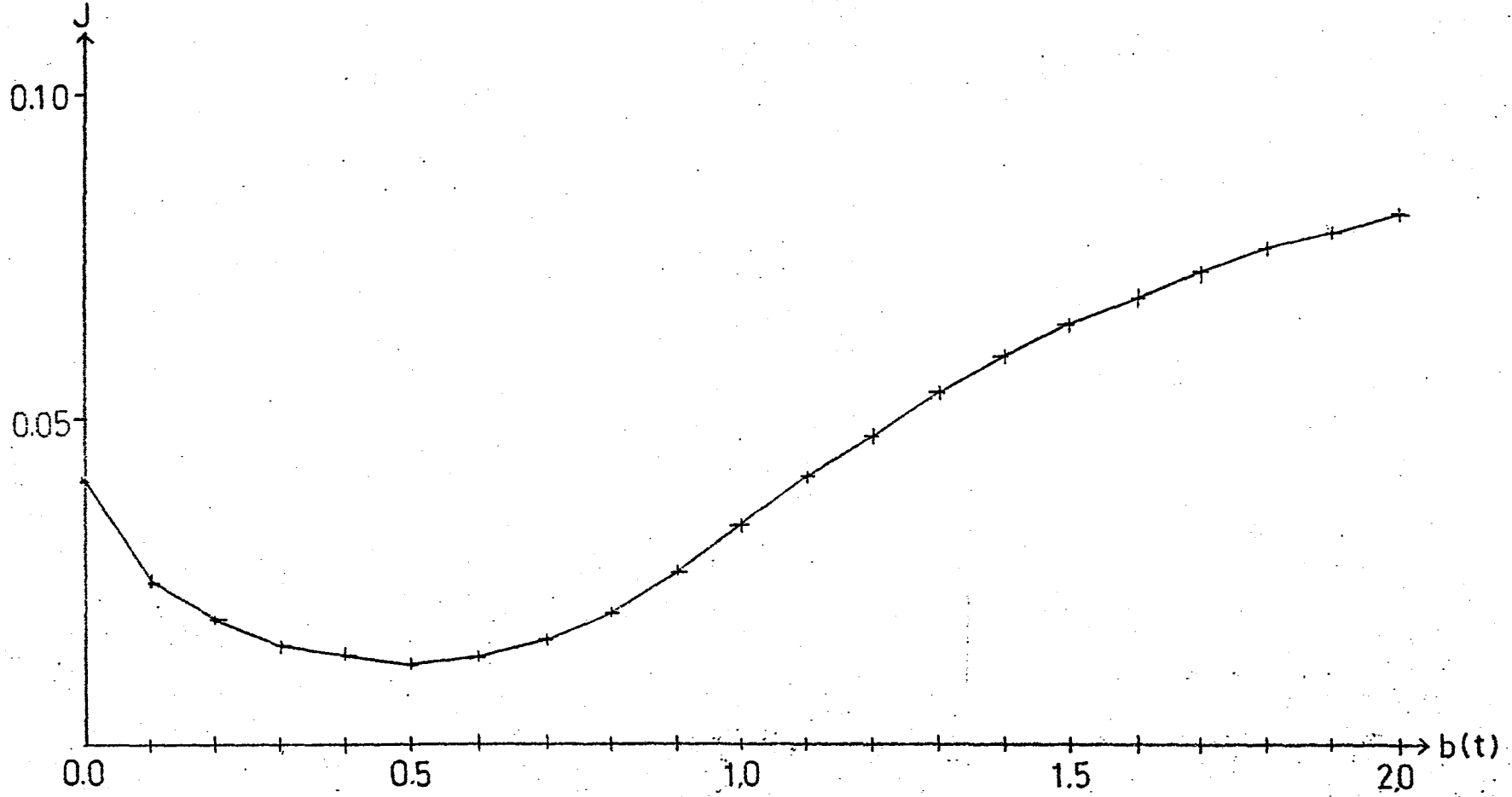
Şekil 5.7. İdeal ölü bölge karakteristiğine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.3$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği



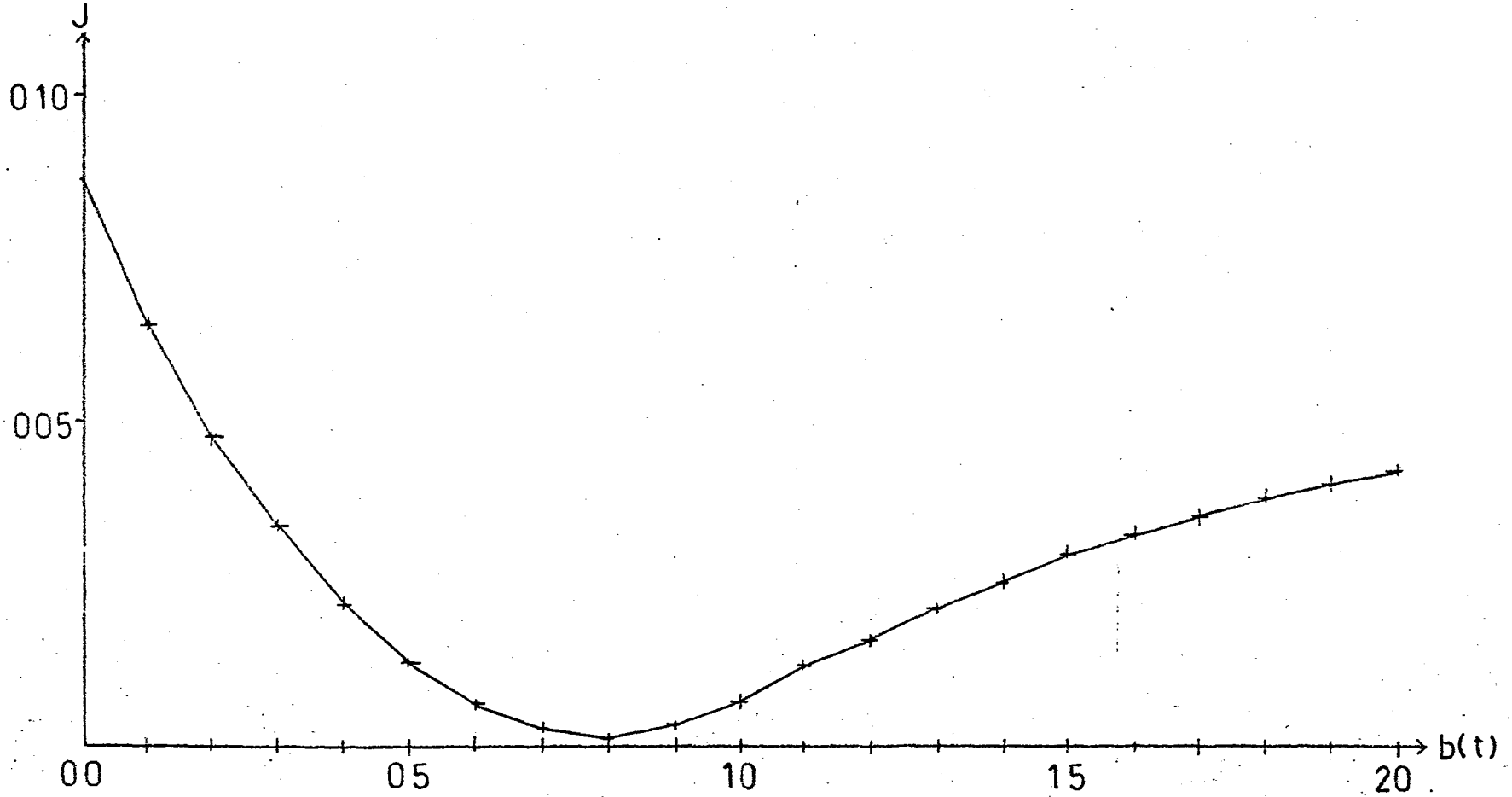
Şekil 5.8. İdeal ölü bölge karakteristiğine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali şeklinde uygulandığında, $K=0.5$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği



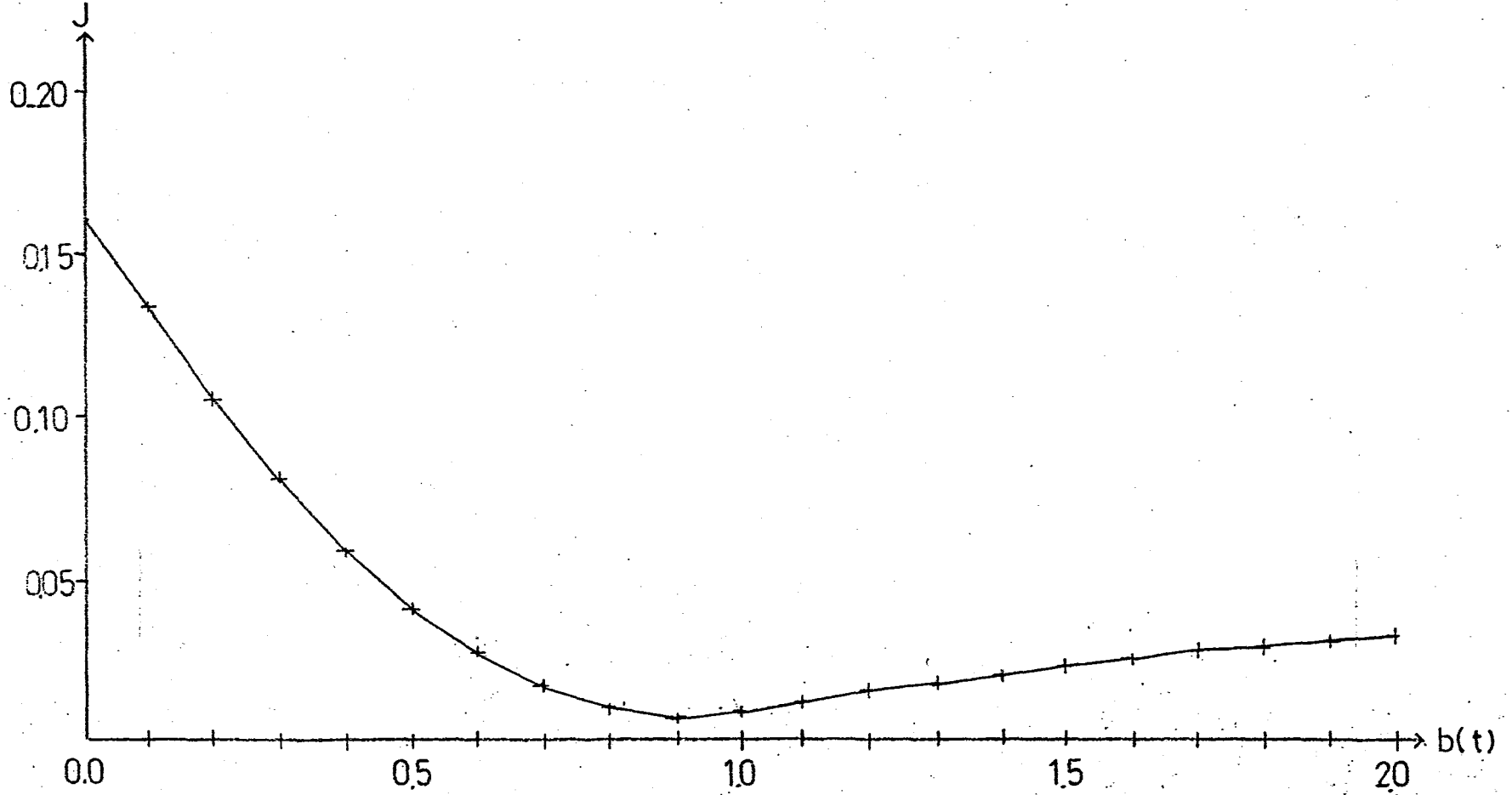
Şekil 5.9. İdeal ölü bölge karakteristiğine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.7$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği



Şekil 5.10. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.3$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği



Şekil 5.11. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.5$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği



Şekil 5.12. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine, $e=1.0$ alınıp, sinüzoidal salınım sinyali uygulandığında, $K=0.7$ iken elde edilen $J=f(b(t))$ grafiği

5.2. Optimum Salınım Sinyallerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde; Fourier serisinden ilk üç ve beş terim alınmasıyla oluşan salınım sinyallerinin, üçüncü bölümde uygulanan salınım sinyallerine göre değerlendirilmesi yapılacaktır.

5.2.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği

$K=0.3$ için çizilmiş, Fourier serisinden ilk üç terim alınmış Şekil 4.7'de gösterilen optimum salınım sinyali, bir yamuk şekline yaklaşmaktadır. Fourier serisinden ilk beş terim alınmış Şekil 4.8'de gösterilen optimum salınım sinyali, bu görüşü doğrular niteliktedir.

K 'nın aldığı 0.5 ve 0.7 değerleri için çizilmiş Şekil 4.11, 4.12, 4.15 ve 4.16'daki optimum salınım sinyalleri için, $K=0.3$ olması halinde belirtilenler aynen tekrarlanabilir.

5.2.2. Doyma eğrisi

$K=0.3$ için çizilmiş, Fourier serisinden ilk üç terim alınmış Şekil 4.19'da gösterilen optimum salınım sinyali, bir yamuğu andırmaktadır. Fourier serisinden ilk beş terim alındığında ortaya çıkan Şekil 4.20'deki optimum salınım sinyali, bunun doğruluğunu ispatlamaktadır.

$K=0.5$ için, çizilen Fourier serisinden ilk üç terim alındığında Şekil 4.23'deki optimum salınım sinyali iki testere dişi sinyale benzemektedir. Fourier serisinden ilk beş terim alınmış Şekil 4.24'deki optimum salınım sinyali de bu benzetme gibidir.

$K=0.7$ için, çizilen Şekil 4.27'deki Fourier serisinden ilk üç terim alınarak bulunan optimum salınım sinyalinde bozuk bir sinüs şekli gözükmemektedir. Aynı zamanda değişik periyodlu testere dişi salınım sinyaline benzemeye çalışmaktadır. Fourier serisinden ilk beş terim alınmış Şekil

4.28, bu görüşü destekler mahiyette görünmektedir.

5.2.3. İdeal ölü bölge karakteristiği

$K=0.3$ iken, çizilen Şekil 4.31 ve 4.32 için, doyma eğrisinde, $K=0.7$ için belirtilenler aynen geçerlidir.

$K=0.5$ için, çizilen Şekil 4.35'deki Fourier serisinden ilk üç terim alınarak bulunan optimum salınım sinyali, değişik periyodlu iki testere dişi sinyale benzemektedir. Fourier serisinden ilk beş terim alınarak çizilen Şekil 4.36'daki optimum salınım sinyali, bu benzetmeyi desteklemektedir.

$K=0.7$ için, çizilen Şekil 4.39'daki Fourier serisinden ilk üç terim alınarak bulunan optimum salınım sinyali yamuğa benzemektedir. Fourier serisinden ilk beş terim alındığında çizilen Şekil 4.40 ise bu görüşü kesinleştirmektedir.

5.2.4. Ölü bölgeli çift yönlü röle karakteristiği

$K=0.3$ için, çizilen Şekil 4.43 ve 4.44 için neye benzerliği konusunda pek bir şey söylemek mümkün değildir.

$K=0.5$ için, çizilen Fourier serisinden ilk üç terim alınarak bulunan Şekil 4.47'deki optimum salınım sinyali, üçgene benzemeye çalışmaktadır. Fakat Fourier serisinden ilk beş terim alındığında Şekil 4.48'de gösterilen optimum salınım sinyali bu görüşü değiştirmektedir.

$K=0.7$ için, çizilen Fourier serisinden ilk üç terim alınarak bulunan Şekil 4.51'deki optimum salınım sinyali yamuğa benzemektedir. Fourier serisinden ilk beş terim alınarak bulunan Şekil 4.52'deki optimum salınım sinyali bu görüşü desteklemektedir.

5.3. Ortalama Çıkış Sinyallerinin İncelenmesi

Bu bölümde \bar{m} -e karakteristiklerinin, Fourier serisinden ilk bir, üç ve beş terim kullanıldığında yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğe göre durumları tartışılacaktır.

5.3.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği

$K=0.3$ için çizilen \bar{m} -e karakteristiği Şekil 4.5'de görülmektedir. Burada Fourier serisinden ilk beş terim alınmasıyla yaklaşım en iyisidir. Şekil 4.9'daki $K=0.5$ alınması durumunda ise, $K=0.3$ alınması durumu gibidir. Ancak Şekil 4.13'deki, $K=0.7$ olan için aynı şeyler söylenemez.

5.3.2. Doyma eğrisi

$K=0.3$ için çizilen \bar{m} -e karakteristiği, Şekil 4.17'de görülmektedir. Burada Fourier serisinden beş terim alınmasıyla yaklaşım, Fourier serisinden bir ve üç terim alınmasıyla yaklaşımlardan daha iyi olduğu görülmektedir. Şekil 4.21'deki $K=0.5$ için çizilen karakteristik için de aynı şeyleri söylemek mümkündür. $K=0.7$ için çizilen, Şekil 4.25 için aynı şeyler söylenemez. Burada Fourier serisinden ilk üç terim almakla, yaklaşılmak istenen karakteristiğe daha iyi yaklaşılabilmektedir.

5.3.3. İdeal ölü bölge karakteristiği

$K=0.3$ için çizilen Şekil 4.29'daki Fourier serisinden ilk beş terim almanın daha iyi olduğu söylenemez. $K=0.5$ için Şekil 4.33'de Fourier serisinden ilk beş terim alınarak yaklaşım daha iyidir. $K=0.7$ için çizilen Şekil 4.37'de de Fourier serisinden ilk beş terim alınarak yaklaşım daha iyidir.

5.3.4. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiği

$K=0.3$ için çizilen Şekil 4.41'deki en iyi yaklaşım, Fourier serisinden ilk üç terim alınmış durumdur. $K=0.5$ için çizilen Şekil 4.45'de Fourier serisinden ilk beş terim alınarak yaklaşım daha iyi gözükmetedir. $K=0.7$ için çizilen Şekil 4.49'da da yine Fourier serisinden ilk beş terim alınarak yaklaşım daha iyidir.

5.4. Minimum Maliyeti Veren Optimum Salınım Sinyallerinin Şekilleri ve Genlikleri

Bu bölümde; salınım sinyallerinin optimum genliklerine ait minimum maliyetler, orijinal karakteristikler üzerinde hesaplanarak, şekil olarak gösterilecek ve buna göre minimum maliyeti veren optimum salınım sinyali şekilleri ve genlikleri tesbit edilecektir.

Üçüncü bölümde, optimum genlik hesaplanırken orijinal karakteristiğe testere dişi, kare ve sinüzoidal salınım sinyalleri uygulanırken giriş sinyali e üzerine bir sınırlama getirilmemiştir. Oysa, dördüncü bölümde e giriş sinyali üzerine bir sınırlama getirilerek, optimum genlikler hesaplanmıştır. Burada, ortak bir değerlendirme yapılabilmesi için üçüncü ve dördüncü bölümde bulunan optimum genliklerin, aynı şartlar altında bulunması gerekir. Bu nedenle; üçüncü bölümde bulunan optimum genlikler, dördüncü bölümde getirilen sınırlamalara göre tekrar bulunarak, buna göre minimum maliyetler hesaplanacaktır. Daha sonra minimum maliyet fonksiyonunun uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi şekiller halinde sunulacak, değerlendirilecektir.

5.4.1. İdeal çift yönlü röle karakteristiği

$K=0.3$ iken giriş sinyali $e=0.5$ alındığında minimum maliyet; testere dişi salınım sinyalinde optimum genlik

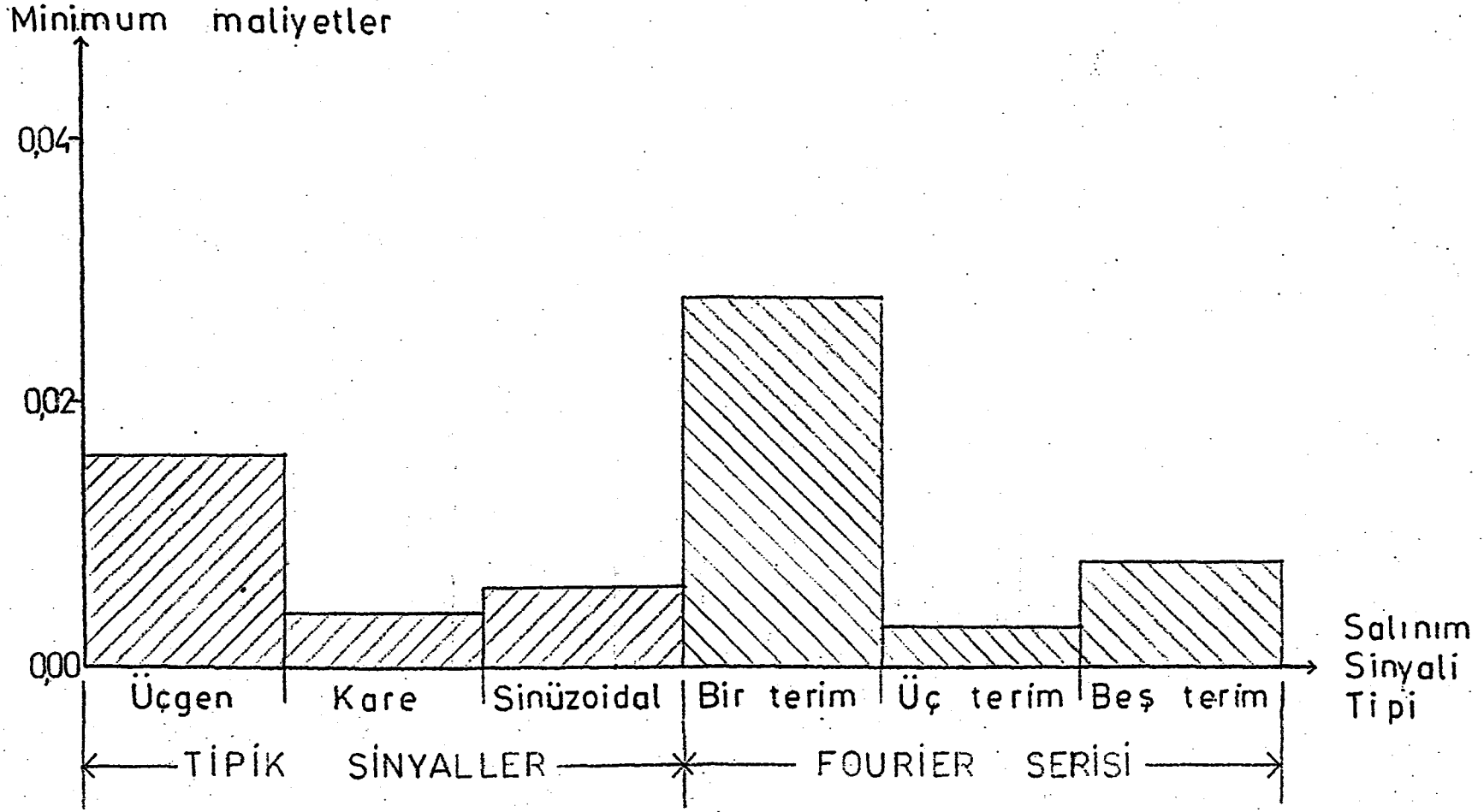
$A=1.0$ olduğunda, kare salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.6$ olduğunda, sinüzoidal salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.0$ olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda; aynı şartlar altında, minimum maliyet fonksiyonlarının, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi, Şekil 5.13'de sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere; $K=0.3$ iken minimum maliyeti veren optimum salınım sinyali şekli ve genliği, Fourier serisinden ilk üç terim alınması halidir.

$K=0.5$ iken giriş sinyali, yine $e=0.5$ alındığında minimum maliyet; testere dişi salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.0$ olduğunda, kare salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.6$ olduğunda, sinüzoidal salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.0$ olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda; minimum maliyet fonksiyonlarının, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi, Şekil 5.14'de sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere; $K=0.5$ iken minimum maliyeti veren optimum salınım sinyali şekli, orijinal karakteristiğe uygulanan sinüzoidal olup, genliği $A=1.0$ 'dir.

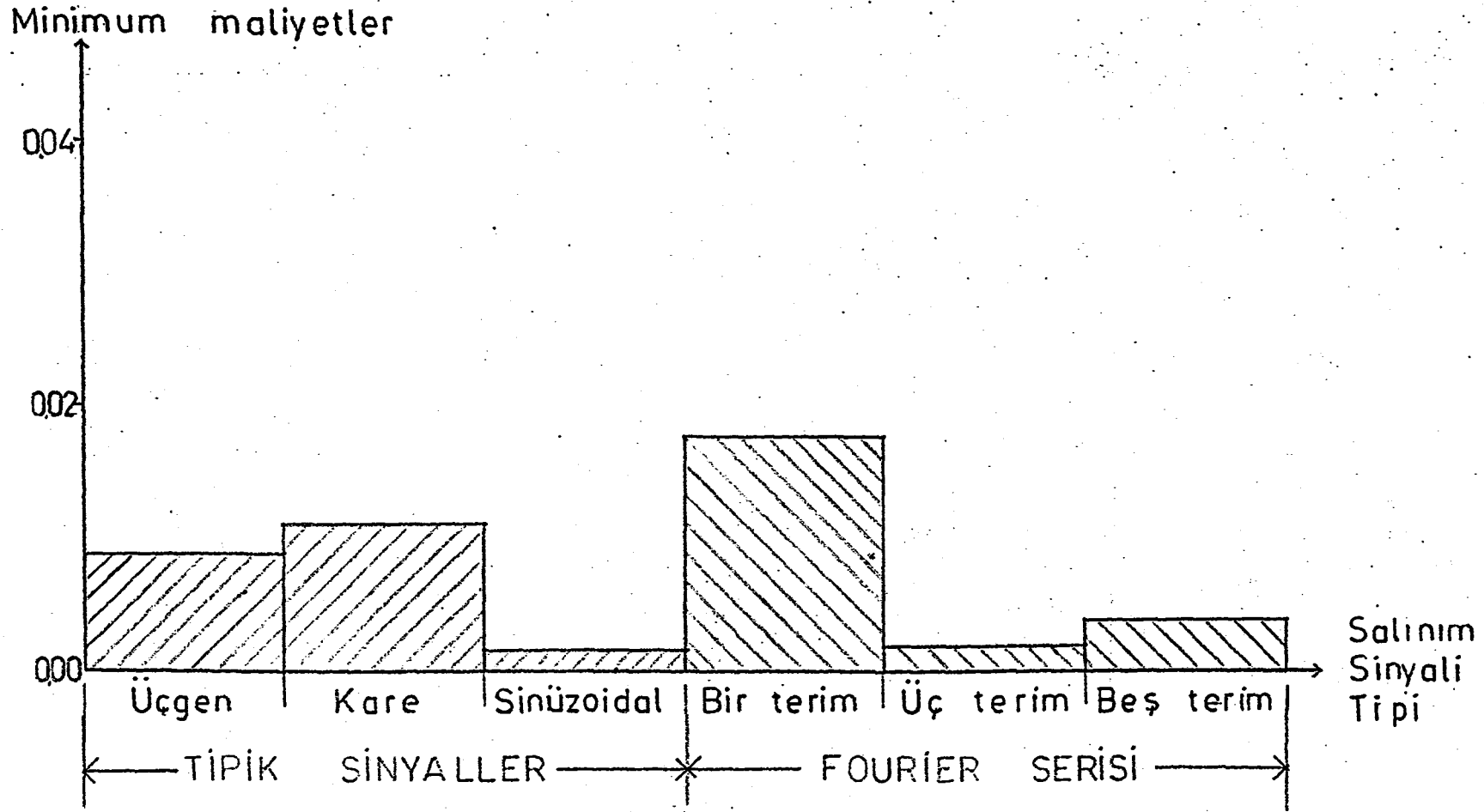
$K=0.7$ iken giriş sinyali, yine $e=0.5$ alındığında minimum maliyet; testere dişi salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.0$ olduğunda, kare salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.6$ olduğunda, sinüzoidal salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.9$ olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda; minimum maliyet fonksiyonlarının, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi, Şekil 5.15'de sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere; $K=0.7$ iken minimum maliyeti veren optimum salınım sinyali şekli, orijinal karakteristiğe uygulanan sinüzoidal olup, genliği $A=0.9$ 'dur.

5.4.2. Doyma eğrisi

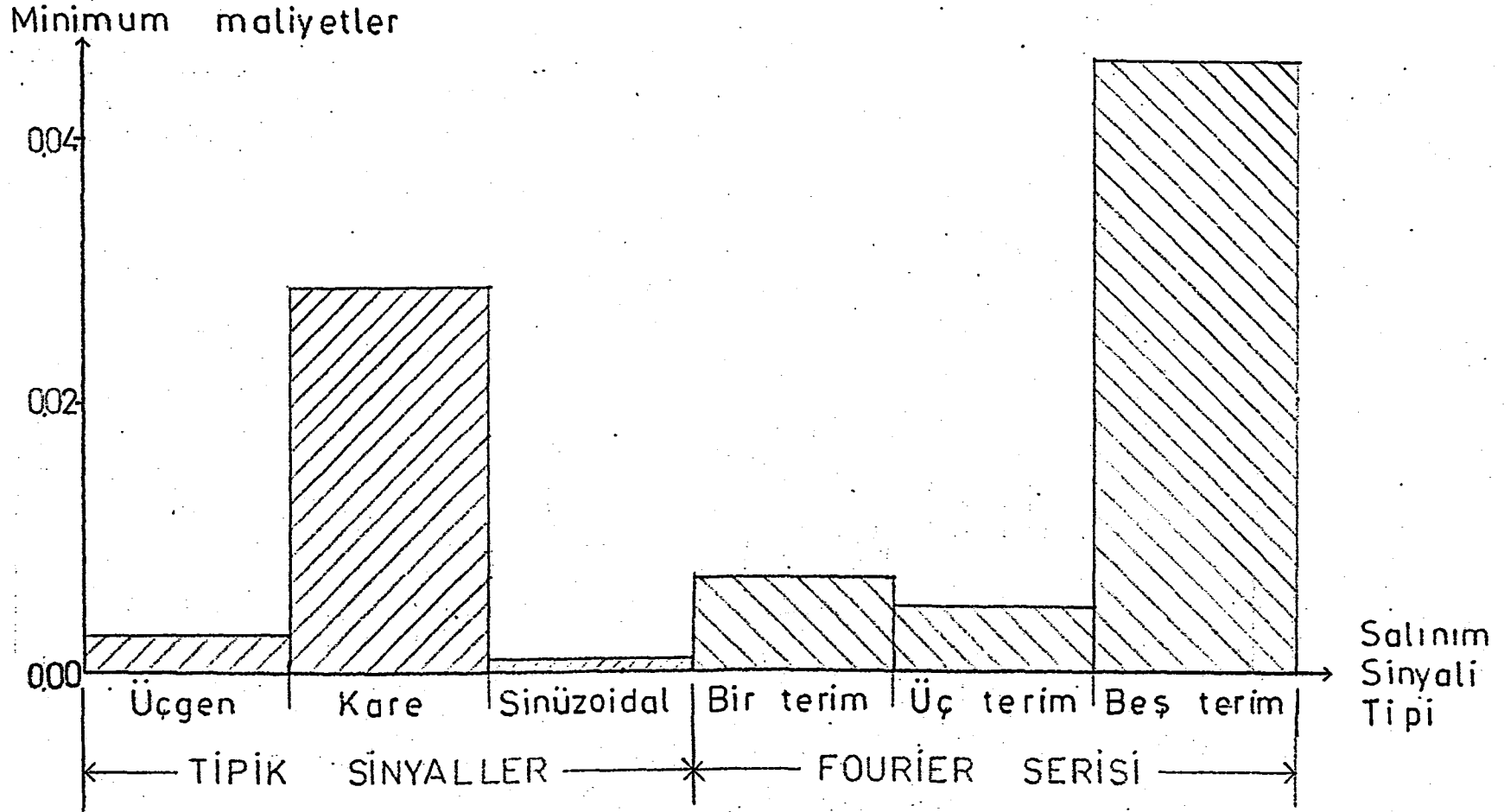
$K=0.3$ iken giriş sinyali $e=1.0$ alındığında minimum maliyet; testere dişi salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.7$ olduğunda, kare salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.0$ olduğunda, sinüzoidal salınım sinyalinde optimum gen-



Şekil 5.13. Çift yönlü röle karakteristiğine ait $K=0.3$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi



Şekil 5.14. Çift yönlü röle karakteristiğine ait, $K=0.5$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi



Şekil 5.15. Çift yönlü röle karakteristiğine ait, $K=0.7$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi

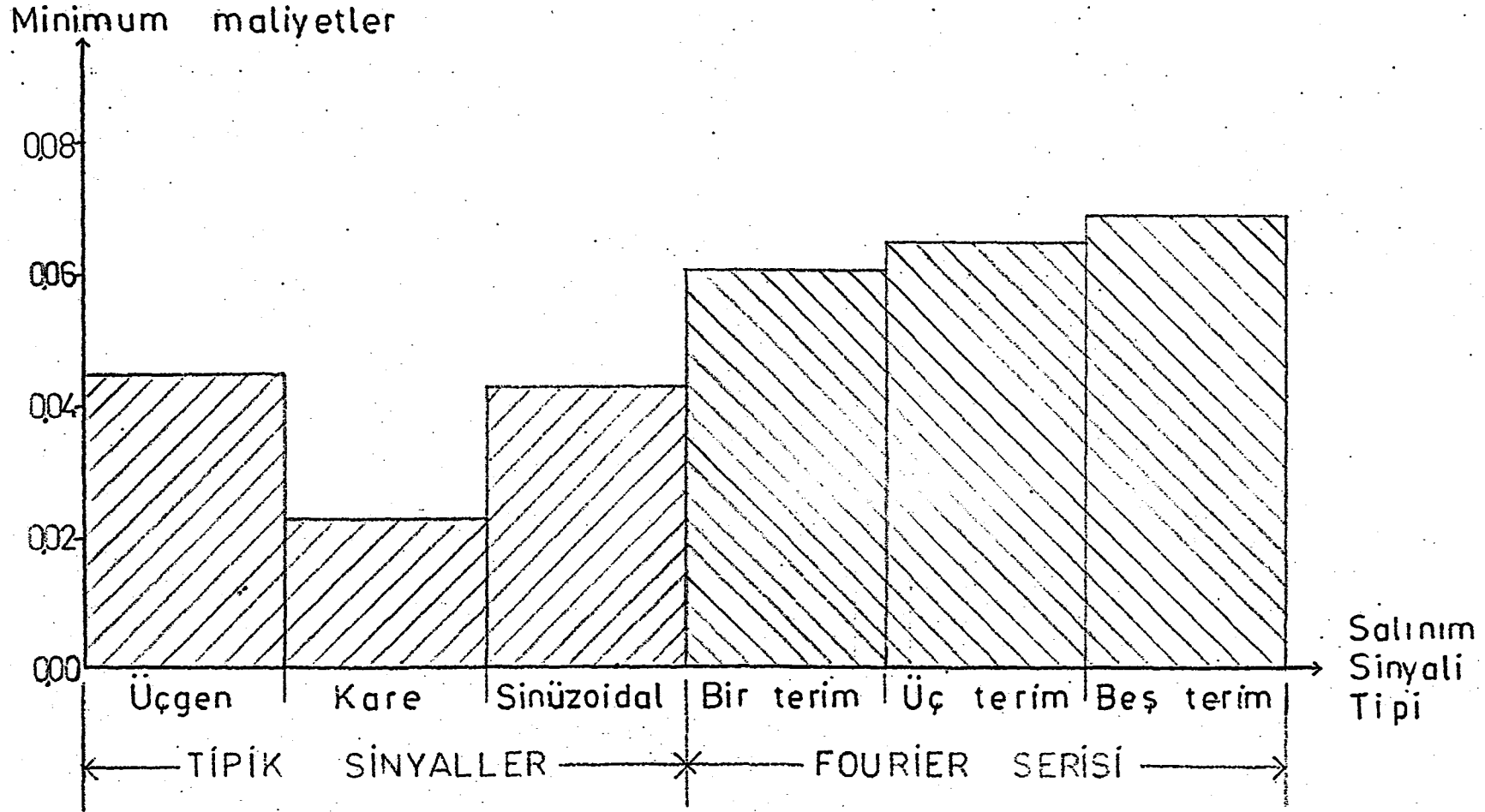
lik $A=1.4$ olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda; minimum maliyet fonksiyonlarının, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi, Şekil 5.16'da sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere; $K=0.3$ iken minimum maliyeti veren optimum salınım sinyali şekli kare olup, genliği $A=1.0$ 'dir.

$K=0.5$ iken giriş sinyali $e=1.0$ alındığında minimum maliyet; testere dişi salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.6$ olduğunda, kare salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.9$ olduğunda, sinüzoidal salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.2$ olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda; minimum maliyet fonksiyonlarının, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi, Şekil 5.17'de sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere; $K=0.5$ iken minimum maliyeti veren optimum salınım sinyali şekli kare olup, genliği $A=0.9$ 'dur.

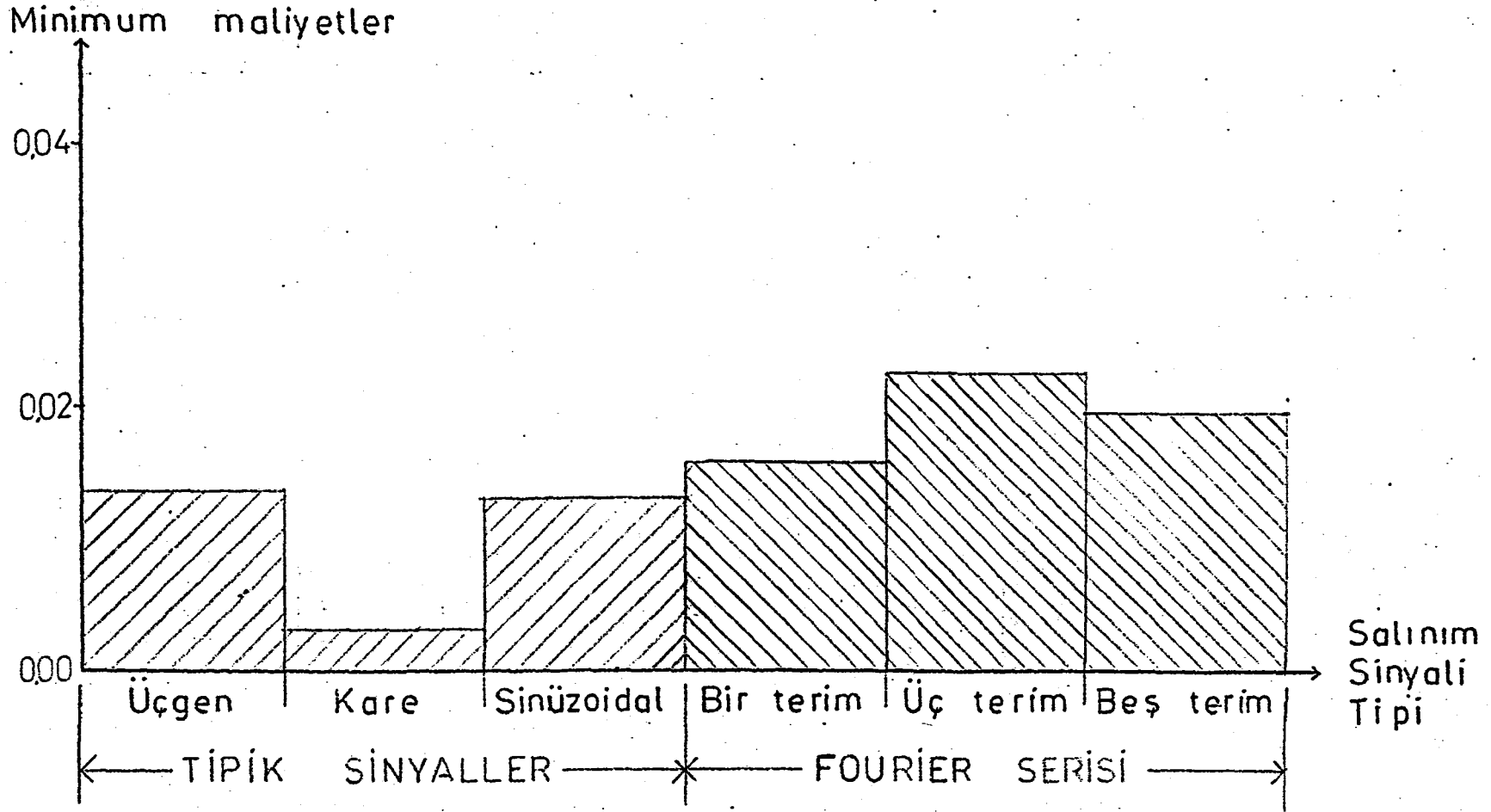
$K=0.7$ iken giriş sinyali $e=1.0$ alındığında minimum maliyet; testere dişi salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.2$ olduğunda, kare salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.8$ olduğunda, sinüzoidal salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.0$ olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda; minimum maliyet fonksiyonlarının, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi, Şekil 5.18'de sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere; $K=0.7$ iken minimum maliyeti veren optimum salınım sinyali şekli üçgen olup, genliği $A=1.2$ 'dir.

5.4.3. İdeal ölü bölge karakteristiği

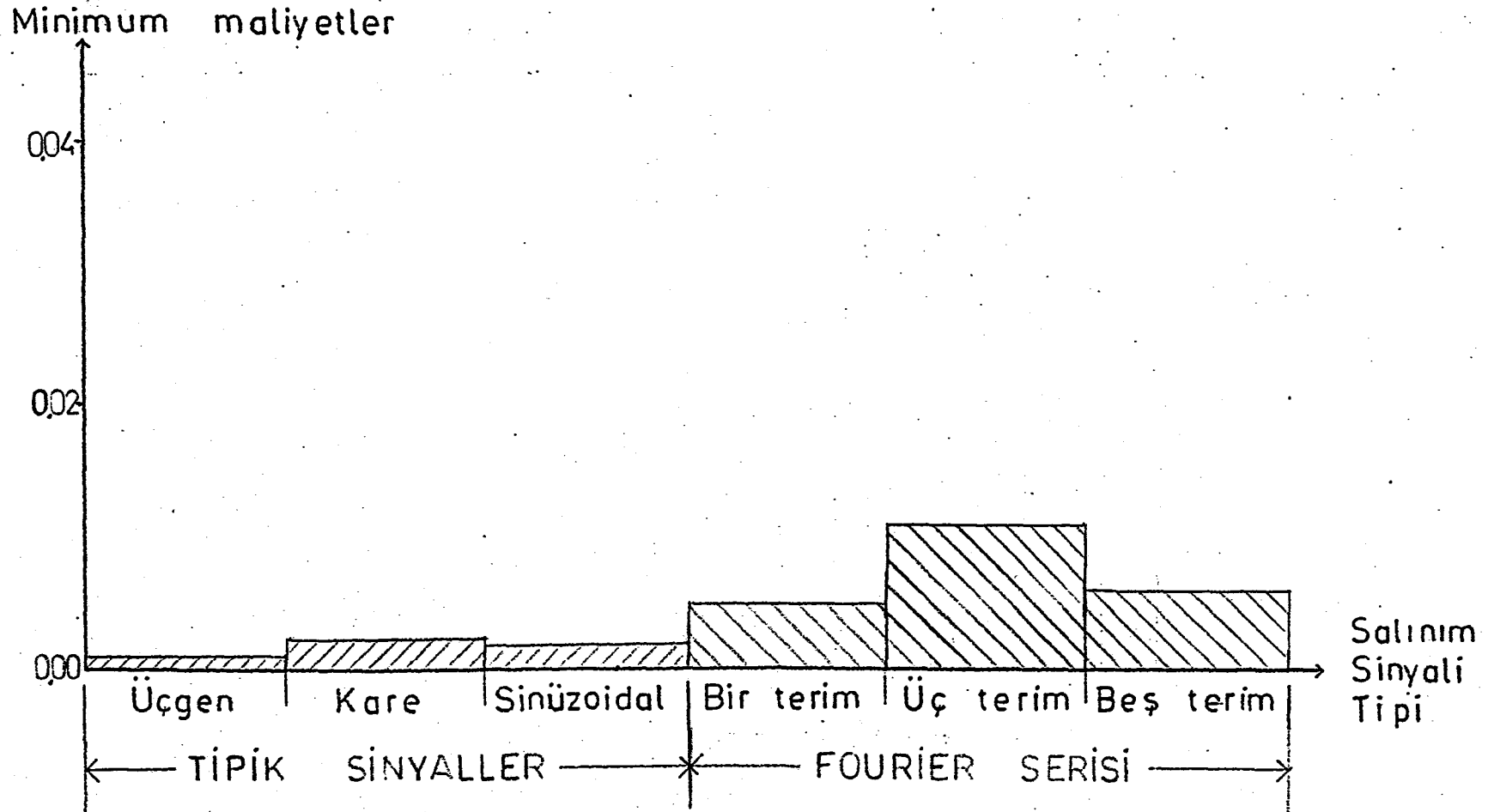
$K=0.3$ iken giriş sinyali $e=1.0$ alındığında minimum maliyet; testere dişi salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.4$ olduğunda, kare salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.7$ olduğunda, sinüzoidal salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.1$ olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda; minimum maliyet fonksiyonlarının, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi Şekil 5.19'da sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere; $K=0.3$ iken minimum maliyeti veren op-



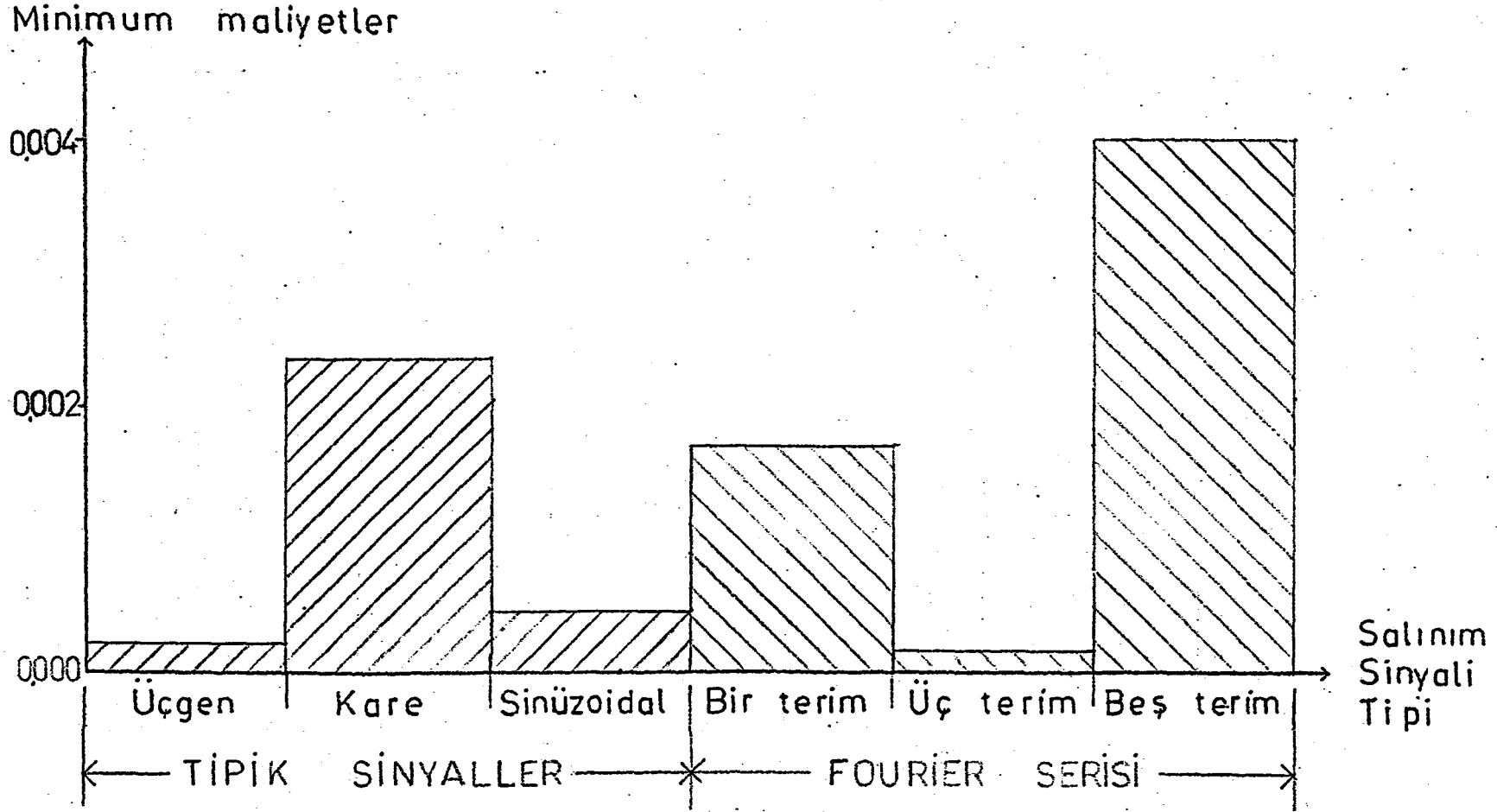
Şekil 5.16. Doyma eğrisine ait, $K=0.3$ için minimum maliyet fonksiyonunun uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi



Şekil 5.17. Doyma eğrisine ait, $K=0.5$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi



Şekil 5.18. Doyma eğrisine ait, $K=0.7$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi



Şekil 5.19. İdeal ölü bölge karakteristiğine ait, $K=0.3$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi

timum salınım sinyali şekli ve genliği, Fourier serisinden ilk üç terim alınması halidir.

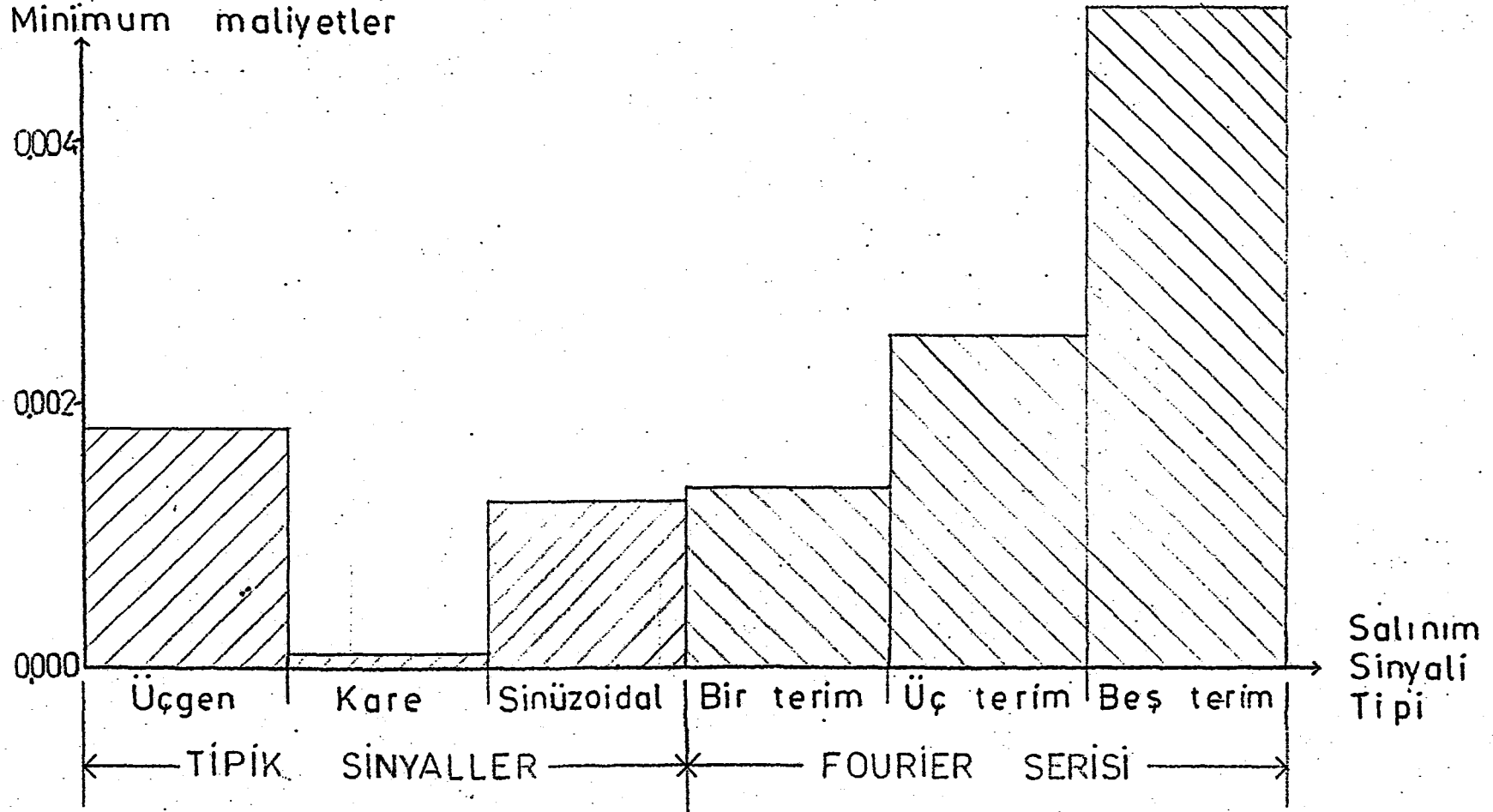
$K=0.5$ iken giriş sinyali $e=1.0$ alındığında minimum maliyet; testere dişi salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.9$ olduğunda, kare salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.0$ olduğunda, sinüzoidal salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.4$ olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda; minimum maliyet fonksiyonlarının, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi Şekil 5.20'de sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere; $k=0.5$ iken minimum maliyeti veren optimum salınım sinyali şekli kare olup, genliği $A=1.0$ 'dir.

$K=0.7$ iken giriş sinyali $e=1.0$ alındığında minimum maliyet; testere dişi salınım sinyalinde optimum genlik $A=2.3$ olduğunda, kare salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.2$ olduğunda, sinüzoidal salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.8$ olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda; minimum maliyet fonksiyonlarının, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi Şekil 5.21'de sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere; $K=0.7$ iken minimum maliyeti veren optimum salınım sinyali şekli kare olup, genliği $A=1.2$ 'dir.

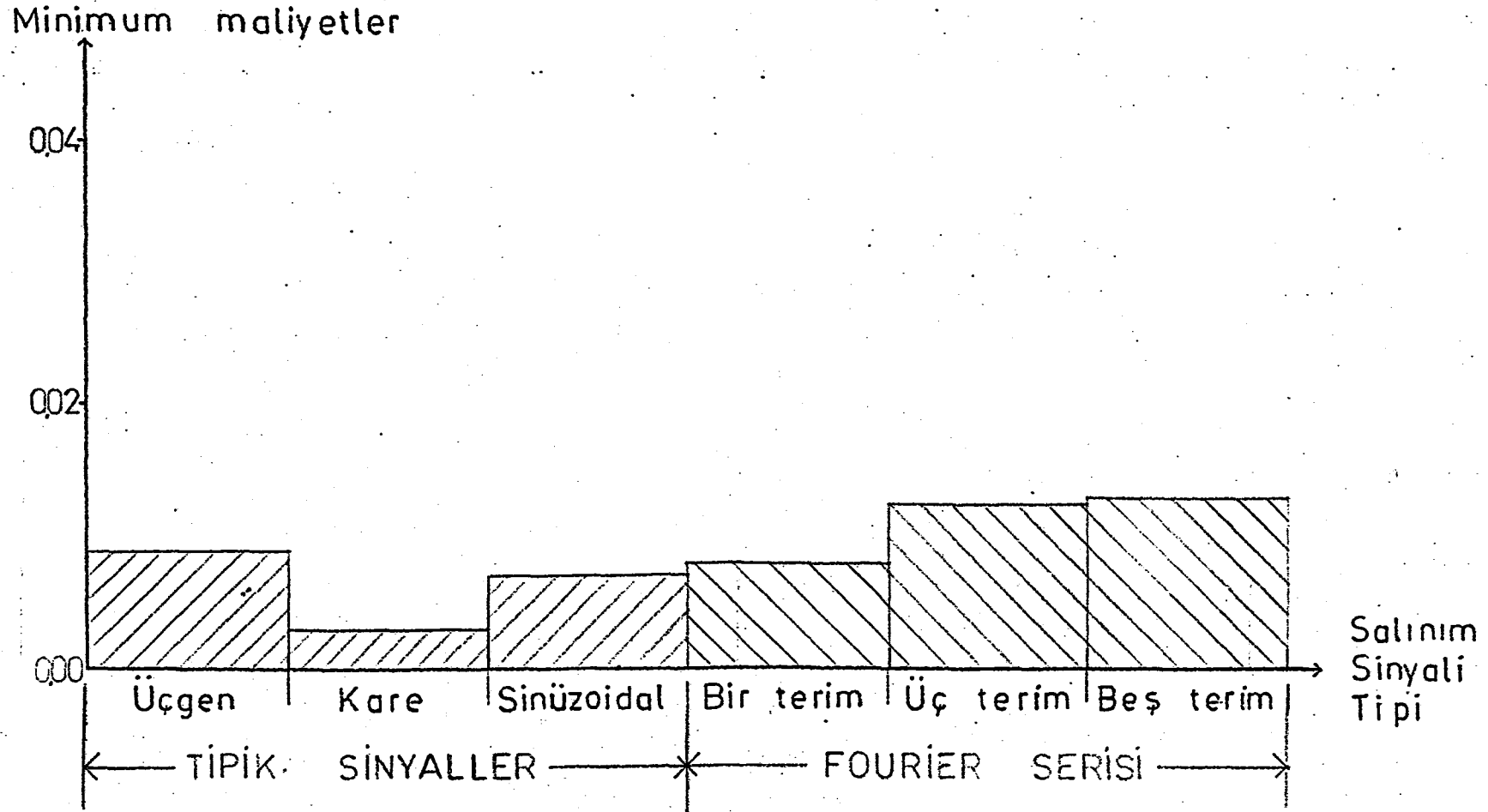
5.4.4. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiği

$K=0.3$ iken giriş sinyali $e=1.0$ alındığında minimum maliyet; testere dişi salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.7$ olduğunda, kare salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.1$ olduğunda, sinüzoidal salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.5$ olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda; minimum maliyet fonksiyonlarının, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi Şekil 5.22'de sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere; $K=0.3$ iken minimum maliyeti veren optimum salınım sinyali şekli ve genliği, Fourier serisinden ilk beş terim alınması halidir.

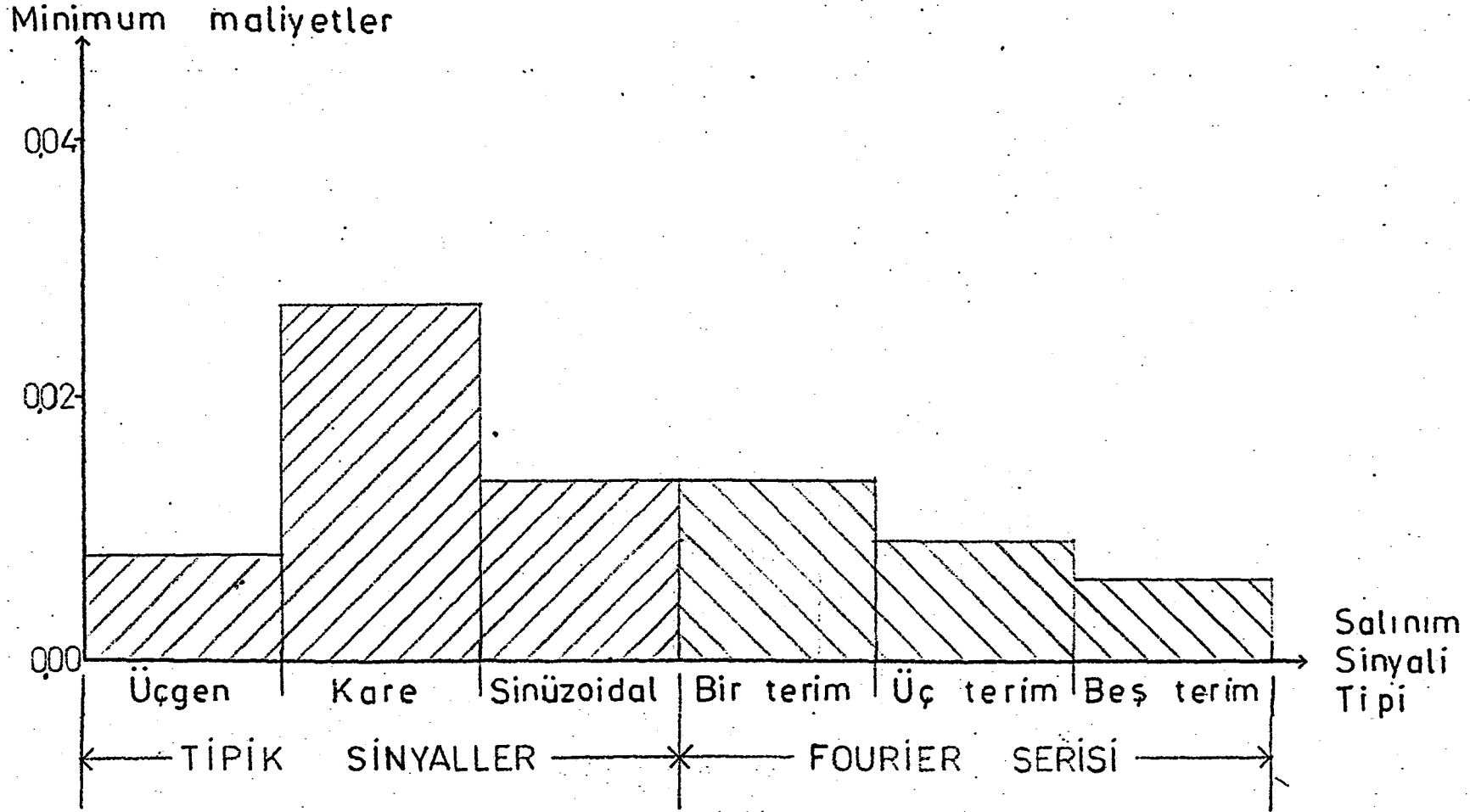
$K=0.5$ iken giriş sinyali $e=1.0$ alındığında minimum maliyet; testere dişi salınım sinyalinde optimum genlik



Şekil 5.20. İdeal ölü bölge karakteristiğine ait, $K=0.5$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi



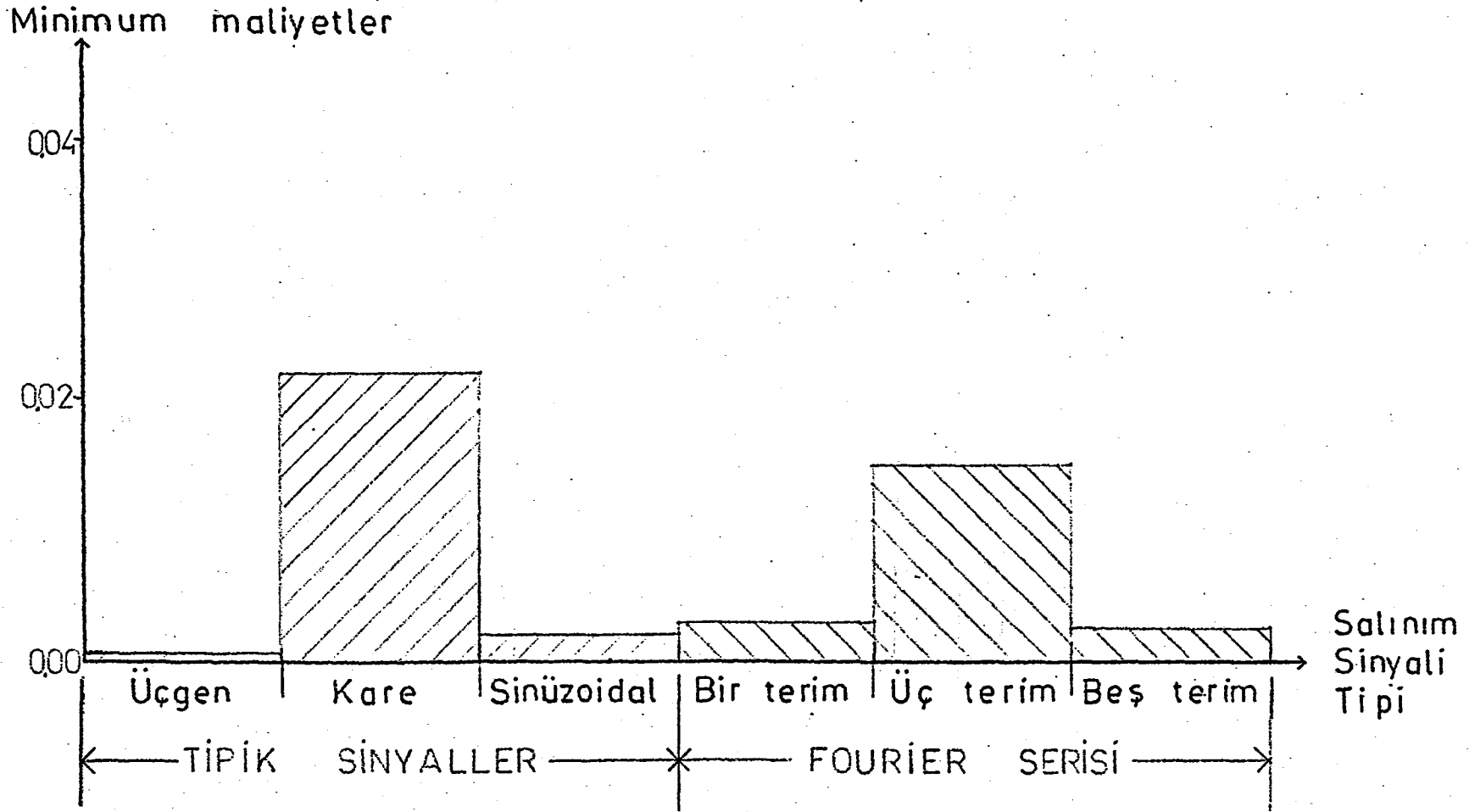
Şekil 5.21. İdeal ölü bölge karakteristiğine ait, $K=0.7$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi



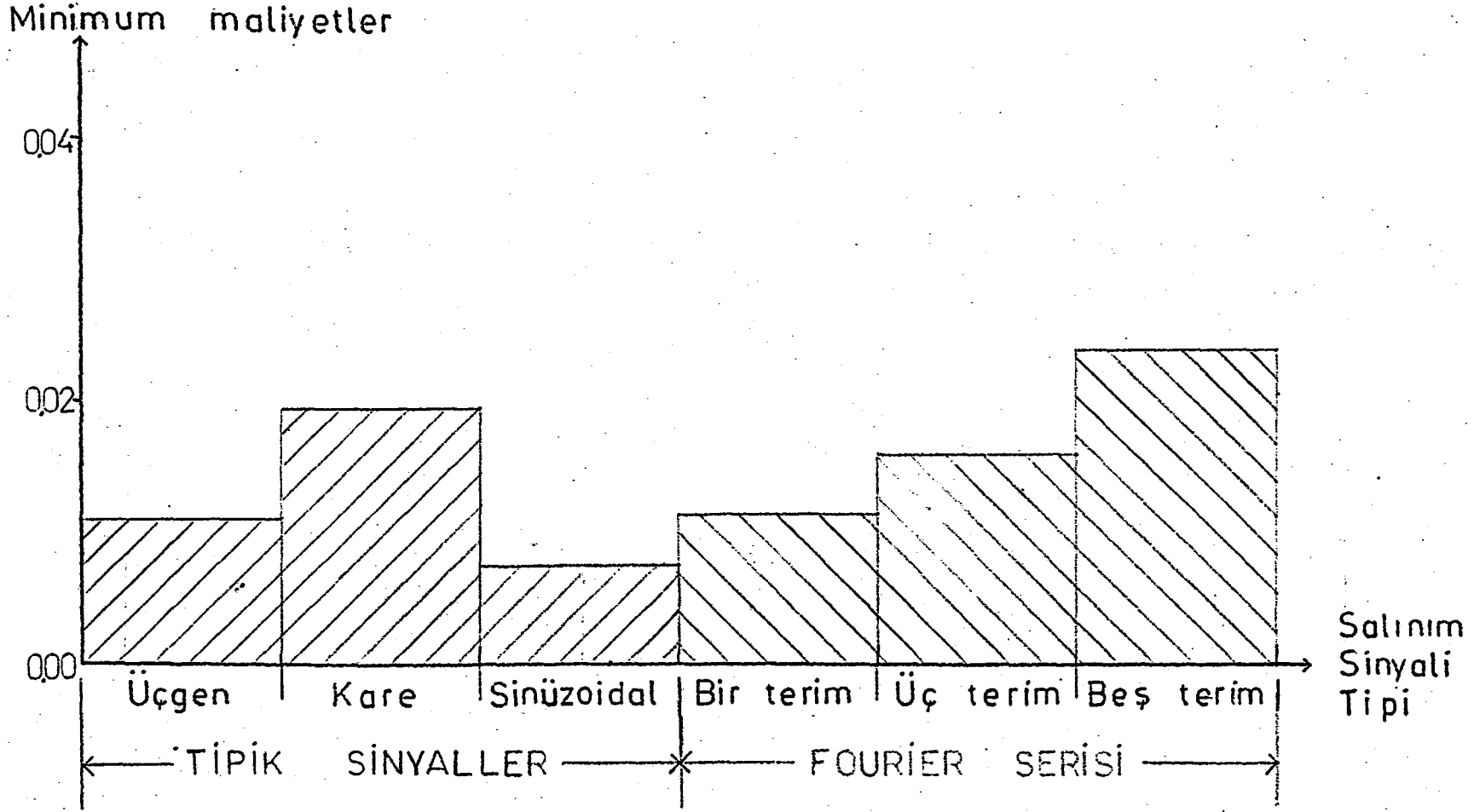
Şekil 5.22. Ölü bölgeyi çift yönlü röle karakteristiğine ait, $K=0.3$ için minimum maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi

$A=1.0$ olduğunda, kare salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.5$ olduğunda, sinüzoidal salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.8$ olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda; minimum maliyet fonksiyonlarının, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi Şekil 5.23'de sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere; $K=0.5$ iken minimum maliyeti veren optimum salınım sinyali şekli testere dişi olup, genliği $A=1.0$ 'dir.

$K=0.7$ iken giriş sinyali $e=1.0$ alındığında minimum maliyet; testere dişi salınım sinyalinde optimum genlik $A=1.3$ olduğunda, kare salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.6$ olduğunda, sinüzoidal salınım sinyalinde optimum genlik $A=0.9$ olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda; minimum maliyet fonksiyonlarının uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi Şekil 5.24'de sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere; $K=0.7$ iken minimum maliyeti veren optimum salınım sinyali şekli orijinal karakteristiğe uygulanan sinüzoidal olup, genliği $A=0.9$ 'dur.



Şekil 5.23. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine ait, $K=0.5$ için, maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi



Şekil 5.24. Ölü bölgesi çift yönlü röle karakteristiğine ait, $K=0.7$ için, maliyet fonksiyonunun, uygulanan salınım sinyallerine göre gösterilişi

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

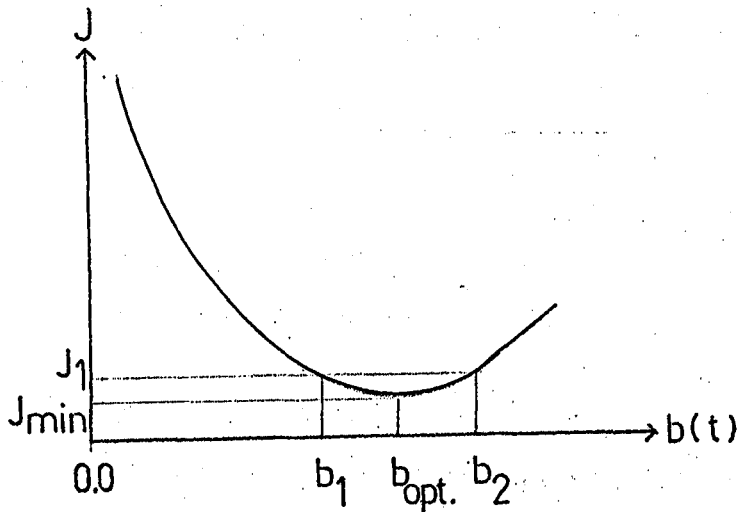
6.1. Sonuçlar

Fourier serisinden alınan terimlerin sayısının etkisi, dördüncü ve 5.2 bölümünden de gözlenmektedir. Bu nedenle; Fourier serisinden kaç terimin alınacağı, fiziksel aracın karakteristiğinde yapılmak istenen gelişmenin derecesine ve salınım sinyali üretecek aracın karakteristiğine göre mühendis tarafından seçilmelidir. Fourier serisinden seçilen ilk üç terim salınım sinyalinin neye yaklaştığı hakkında bir bilgi vermektedir. Ancak emin olmak için Fourier serisinden daha fazla terim seçmenin gerekliliği de 5.2. bölümünde görülmüştür. Örneğin, şekil 4.47'de Fourier serisinden ilk üç terim alınmış optimum salınım sinyali bir üçgene yaklaşmakta gibi görünürken, Fourier serisinden beş terim alındığında öyle olmadığı Şekil 4.48'den gözlenmektedir. Görüldüğü gibi Fourier serisinden daha fazla terim kullanmak, bazı yargılara varmayı kolaylaştırırken, matematiksel hataların yapılabileceğini de anımsatmaktadır. Çünkü, çok fazla terimle uğraşılması, çalışanı daha fazla hata yapmaya itecektir. Ayrıca optimum salınım sinyalinin hassas olmasıyla, \bar{m} ortalama çıkış sinyali; yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğe daha yakın olmaktadır.

Fourier serisinden beş terim alınmasına rağmen yaklaştırılmak istenen lineer karakteristiğe bazılarında daha kötü yaklaşılmıştır. Bunun nedeni de, öncelikle eğri uydurmada kullanılan sınır değerinin aşılmasıdır. Dolayısıyla ilgilenilen alanın dışına çıkılmakta ve yanlış sonuçlara gidilmektedir. Yani, incelenilen karakteristiklerde, eğri uydurmadaki e 'nin maksimum değerini, $(e+b(t))$ geçmemelidir. İkinci bir neden olarak da; optimum salınım sinyalinde ortaya çıkan şekil bozukluklarıdır. Burada da optimum salınım sinyali belirsiz bir şekil olarak ortaya çıkmışsa yaklaşım yine kötüdür, denilebilir.

Optimum salınım sinyallerinin; orijinal karakteristiğe uygulanmasıyla ortaya çıkan farklılık, nümerik optimizasyon tekniklerinde oluşan nümerik hataların büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bu yöntemler tercih edilmemelidir. Çünkü, Şekil 5.25'den görüleceği üzere maliyet fonksiyonunun, genliğe göre minimize olması geniş bir bandı kapsamaktadır. Maliyet fonksiyonunda çok küçük bir oynama, optimum genlik değerinde oldukça büyük değişikliklere yol açmaktadır.

Sonuç olarak; bilinçsizce Fourier serisinden daha fazla terim almak her zaman kârlı olmayabilir. Daha sağlıklı karar verebilmek için, bütün salınım sinyalleri 5.4. bölümünde olduğu gibi karakteristiğe uygulanmalı ve minimum maliyetler hesaplanmalıdır. Bu sinyallerden; minimum maliyeti veren salınım sinyali optimum salınım sinyali olarak alınmalıdır. Ayrıca, fiziksel aracın özelliği ve kullanılmak istenilen yerin özelliğine bakarak, Fourier serisinden daha fazla terim kullanılabilir. Bunu da belirleyen, lineer olmayan sistem ve ardından gelen alçak frekans geçiş filtresidir.



Şekil 6.1.. Maliyet fonksiyonunun genliğe göre değişimi

Genel olarak da; lineer olmayan karakteristiğe polinomun iyi uydurulması halinde, salınım sinyaline Fourier serisi ile yaklaşım iyidir. Polinomun iyi uydurulmaması halinde yaklaşım kötüdür, denilebilir.

Tez boyunca hafızasız, orijinden geçen ve orijine göre simetrik olan, lineer olmayan karakteristikleri; lineer eşdeğer karakteristiğe yaklaştıran salınım sinyallerinin en iyi (=optimum) veya en iyiye yakın (=suboptimum) şekil ve genliğinin bulunabilir olduğu değişik karakteristikler için gösterilmiştir.

6.2. Öneriler

Salınım sinyali kullanarak lineer olmayan karakteristikleri lineer karakteristiğe yaklaştırma üzerinde ileride yapılabilecek araştırmaları yönlendirmek amacıyla aşağıdaki öneriler yapılmıştır.

Karakteristiği hafızalı olan sistemlerde ve orijine göre simetrik olmayanlarda salınım sinyalinin uygulanabilirliği araştırılıp, mümkünse değişik örnekler için optimum şekil aranıp, bulunabilir.

Eğer, beşinci dereceden polinom lineer olmayan karakteristiğe yeteri kadar uymuyor ise daha yüksek dereceden polinomlar kurulup çözüme gidilebilir. Veya aynı durum gerçek lineer olmayan karakteristik giriş sinyaline göre belirli bölgelere ayrılarak, her bölge için yaklaşık polinom ve salınım sinyali tayin edilip röle sistemi ile giriş sinyalinin ayrılan bölgelerinde istenilen salınım sinyali uygulanabilir. Eğer her bölgede elde edilen salınım sinyali birbirine yaklaşık şekil ve genlikte ise ortalama bir sinyal şekli bulunup uygulanabilir.

Ayrıca, elektronik devre elemanlarının lineer olmayan karakteristikleri üzerine polinom iyi bir şekilde uydurulabilir. Dolayısıyla, salınım sinyaline Fourier serisi ile yaklaşım iyi olacağından, elektronikte rahatlıkla kullanılacak bir yöntemdir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. P.F. Chen, "Position and Velocity detecting systems using pattern recognition concepts", D.Sc. dissertation University of Virginia, Charlottesville, Ağustos 1968.
2. R.C. Boyer, "Sinusoidal signal stabilization", M.S. thesis Purdue University, Lafayette, Ind., 1960.
3. E.S. Mc Vey, P.F. Chen "Improvement of position and velocity detecting accuracy by signal perturbation", IEEE Trans. on IECI, Vol. IECI-16, No. 1, Temmuz 1969.
4. P.F. Chen, E.S. Mc Vey, "Improvement of area, position and velocity sensity accuracy by a threshold setting method", University of Virginia'da Project THEMIS, Contract No. DAAB07-68-0066 adı altında yapılan araştırma raporu, 1969.
5. E.A. Parrish, Jr., J.H. Aylor "Comment and "Improvement of position and velocity detecting accuracy by signal perturbation"", IEEE Trans. on IECI, Vol. IECI-18, No.1, Şubat 1971.
6. J.H. Aylor, E.A. Parrish, Jr., and G. Cook "Optimum design of a position detection system with a sinusoidal perturbation signal", IEEE Trans. on IECI, Vol. IECI-19, No. 4, Kasım 1972.
7. E.A. Parrish, "On the improvement of a position-detection accuracy using signal perturbation theory", IEEE Trans. on IECI, Vol. IECI-17, No 1, Şubat 1970.
8. E.A. Parrish, Jr., and J.W Stoughton "Achieving perfect position detection using a modified triangular perturbation signal", University of Virginia'da Project THEMIS, Contract No. DAAB07-68-C-0066 adı altında yapılan araştırma raporu, 1969.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

9. J.H., Aylor, "The investigation of signal perturbation theory for position and velocity detection", MS Thesis, of University of Virginia, Haziran 1971.
10. E.A. Parrish, Jr., and J.H. Aylor, "Hardware implementation of signal perturbation theory", IEEE Trans. on IECI, Vol. IECI-20, No.4, Kasım 1973.
11. E.A. Parrish, Jr., "The effect of random perturbation on position detection accuracy", IEEE Trans. on IECI, Vol. IECI-17, No. 16, Kasım 1970.
12. Atila Barkana, "Signal perturbation and picture making", Ph.D. Thesis, University of Virginia, Mayıs 1975.
13. G. Demas, Atalay Barkana, G. Cook, "Experimental verification of the improvement of resolution when applying perturbation theory to a quantizer", IEEE Trans. on IECI, Vol. IECI-20, No.4, Kasım 1973.
14. O.I. Elgerd, "Control systems theory", Mc Graw-Hill Book Company, 1967, Chapter 8.
15. Atalay Barkana, "Lineer olmayan sistemleri lineer sisteme yaklaştıran en iyi salınım sinyali", Doçentlik tezi, Eskişehir Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi, Şubat 1978.
16. D.P. Atherton, "Nonlinear control engineering", Van Nostrand Reinhold Company, Student edition, 1982.
17. K. Ogata, "Modern control engineering", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. N.J., 1970.
18. R. Yarasa, "Fourier Analizi", IDMMMA Yayınları, Sayı 131, 1976.
19. A. Barkana, Ö.R. Akgün, "Basic programlama ve nümerik hesap", Bilim Teknik Yayınevi, 1984.
20. R.G. Stanton, Bilim ve mühendislik'de nümerik metodlar, (Çev. Ç. Aktaş), IDMMMA Yayınları, Sayı 121, 368 s., 1975.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

21. M. Şenel, "Genel Matematik", Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayını, 1978.

LİNEER OLMAYAN SİSTEMLER VE EN İYİ
SALINIM SİNYALİ ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

EKLER

EK-1

```
10 REM
20 REM 130'UNCU SATIRDAKI SINIR DEGERI
30 REM INTEGRAL SINIR DEGERIDIR.
40 INPUT "EGIMI GIRINIZ";K
50 PRINT#8,TAB(5);"EGIM=";K
60 PRINT#8,
70 FOR J=0 TO 5 STEP 0.1
80 J9=0
90 GOSUB 120
100 NEXT J
110 STOP
120 M1=0
130 FOR N=0 TO 33
140 E1=N*0.1
150 FOR I=-20 TO 19
160 W=I*0.157
170 B=J*SIN(W)
180 D1=0
190 R=B+E1
200 IF R<-1 THEN 290
210 IF R>1 THEN 250
220 IF R<1 THEN 240
230 GOTO 300
240 IF R>-1 THEN 270
250 D1=1
260 GOTO 300
270 D1=R
280 GOTO 300
290 D2=-1
300 M1=M1+D1
310 NEXT I
320 M1=M1/40
330 J9=J9+(M1-K*E1)^2
340 NEXT N
350 PRINT#8,TAB(5);"MAL=";J9;TAB(28);"B1=";J
360 RETURN
```

EK-2

```

10 PRINT M8,"5.DERECEDEDEN POLINOM UYDURMAK:"
20 PRINT M8," "
30 PRINT M8," "
40 PRINT M8," "
50 INPUT "GIRMEK ISTEDIGINIZ DATA SAYISINI VERINIZ";S
60 PRINT
70 PRINT
80 PRINT
90 DIM E(S),M(S),D(3,1),P(3,3),F(3,1),D(3,3)
100 DIM W(S)
110 PRINT M8,"E(I)", "M(I)", "W(I)"
120 PRINT M8,"----", "----", "----"
130 FOR I=1 TO S
140 INPUT E(I),M(I),W(I)
150 PRINT M8, E(I),M(I),W(I)
160 NEXT I
170 FOR I=1 TO 3
180 FOR J=1 TO 3
190 P(I,J)=0
200 NEXT J
210 NEXT I
220 FOR I=1 TO S
230 P(1,1)=P(1,1)+(E(I)^2)*W(I)
240 P(2,1)=P(2,1)+(E(I)^4)*W(I)
250 P(3,1)=P(3,1)+(E(I)^6)*W(I)
260 P(3,2)=P(3,2)+(E(I)^8)*W(I)
270 P(3,3)=P(3,3)+(E(I)^10)*W(I)
280 NEXT I
290 P(1,2)=P(2,1)
300 P(1,3)=P(3,1)
310 P(2,2)=P(3,1)
320 P(2,3)=P(3,2)
330 FOR I=1 TO 3
340 F(I,1)=0
350 NEXT I
360 FOR I=1 TO S
370 F(1,1)=F(1,1)+E(I)*M(I)*W(I)
380 F(2,1)=F(2,1)+(E(I)^3)*M(I)*W(I)
390 F(3,1)=F(3,1)+(E(I)^5)*M(I)*W(I)
400 NEXT I
410 FOR I=1 TO 3
420 D(I, I)=1
430 NEXT I
440 FOR J=1 TO 3
450 T=P(J, J)
460 FOR K=1 TO 3
470 D(J, K)=D(J, K)/T
480 F(J, K)=F(J, K)/T
490 NEXT K
500 FOR I=1 TO 3
510 L=P(I, J)

```

```

520 IF I=J THEN 570
530 FOR K=1 TO 3
540 D(I,K)=D(I,K)-L*D(J,K)
550 P(I,K)=P(I,K)-L*P(J,K)
560 NEXT K
570 NEXT I
580 PRINT
590 NEXT J
600 FOR I=1 TO 3
610 FOR J=1 TO 1
620 Z=0
630 FOR N=1 TO 3
640 C(I,J)=Z+D(I,N)*F(N,J)
650 Z=C(I,J)
660 NEXT N
670 NEXT J
680 NEXT I
690 PRINT M8," "
700 PRINT M8,"C MATRISI POLINOM KATSAYILARINI VERIR;"
710 PRINT M8," "
720 PRINT M8," "
730 PRINT M8,"C-MATRISI"
740 PRINT M8,"-----"
750 FOR I=1 TO 3
760 FOR J=1 TO 1
770 PRINT M8,C(I,J)
780 NEXT J
790 PRINT M8," "
800 NEXT I
810 PRINT M8," "
820 PRINT M8," "
830 PRINT M8,"UYDURULAN POLINOMUN NOKTALARI ASAGIDADIR:"
840 PRINT M8," "
850 PRINT M8," I "," E(I)"," M(I) "
860 PRINT M8,"-----","-----","-----"
870 FOR I=1 TO 3
880 M(I)=C(1,1)*E(I)+C(2,1)*E(I)^3+C(3,1)*E(I)^5
890 PRINT M8,I,E(I),M(I)
900 NEXT I
910 PRINT M8," "
920 PRINT M8," "
930 END

```

EK-3

```

10 REM*****
20 PRINT M8,"GRADIENT METODUYLA OPTIMUM BULMAK:"
30 PRINT M8,
40 PRINT M8,
50 DIM D(5,5),G(5,1)
60 C=1
70 PRINT "POLINOM KATSAYILARINI GIRINIZ"
80 INPUT C1,C3,C5
90 PRINT M8,"POLINOM KATSAYILARI:"
100 PRINT M8,
110 PRINT M8,"C1=";C1,"C3=";C3,"C5=";C5
120 REM "K" LINEER KARAKTERISTIGIN EGIMIDIR.
130 PRINT "EGIMI GIRINIZ"
140 INPUT K
150 PRINT M8,
160 PRINT M8,"EGIM=";K
170 PRINT M8,
180 Z=10
190 N=0
200 M=0
210 REM GIRIS SINYALININ MAX DEGERI
220 E=1
230 REM TAHMINI BASLANGIC DEGERLERI
240 B1=0.6
250 B2=0.6
260 B3=0.6
270 B4=0.6
280 B5=0.6
290 REM (M-EK)'NIN KATSAYILARI
300 A1=(B1*B2*B3*B4)+(B1*B2*B4*B5)+(B2*B3*B4*B5)
310 A1=2*A1+((B1^2)*(B2^2))+((B1^2)*(B3^2))+((B1^2)*(B4^2))
320 A1=A1+((B1^2)*(B5^2))
330 A1=A1+((B2^2)*(B3^2))+((B2^2)*(B4^2))+((B2^2)*(B5^2))
340 A1=A1+((B3^2)*(B4^2))+((B3^2)*(B5^2))+((B4^2)*(B5^2))
350 A1=A1+(B1*(B2^2)*B3)+(B1*(B3^2)*B5)+(B2*(B3^2)*B4)
360 A1=A1+(B3*(B4^2)*B5)
370 A1=A1-(((B1^2)*B2*B4)+(B1^2)*B3*B5)+(B1*(B2^2)*B5)
380 A1=A1-((1/3)*(B1^3)*B3)
390 A1=(4*A1)+(B1^4)+(B2^4)+(B3^4)+(B4^4)+(B5^4)
400 A1=(15/8)*C5*A1+(3/2)*C3*(B1^2+B2^2+B3^2+B4^2+B5^2)
410 A1=A1+C1-K
420 A3=5*(B1^2+B2^2+B3^2+B4^2+B5^2)
430 A3=A3*C5+C3
440 REM MALIYET FONKSIYONU SU SEKILDE OLACAKTIR.
450 J=(E^3)*((A1^2)/3+(2*A1*A3/5)*(E^2))
460 J=J+(E^3)*(((2*A1*C5+A3^2)/7)*(E^4)+(2*A3*C5/9)*(E^6))
470 J=J+(E^11)*(C5^2)/11
480 F=Z-J
490 IF ABS(F)<0.001 THEN 1200
500 IF M=0 THEN 530
510 IF F>0 THEN 530

```

```

520 C=C/2
530 Z=J
540 M=1
550 IF N=1 THEN 1200
560 REM M 'IN KISMI TUREVLERININ KATSAYILARI
570 D(1,1)=(B1*(B2^2))+(B1*(B3^2))+(B1*(B4^2))+(B1*(B5^2))
580 D(1,1)=D(1,1)+(B2*B3*B4)+(B2*B4*B5)
590 D(1,1)=D(1,1)-((B1*B2*B4)+(B1*B3*B5))
600 D(1,1)=2*D(1,1)+(B1^3)+(B2^2)*B3+(B3^2)*B5
610 D(1,1)=D(1,1)-((B1^2)*B3)-((B2^2)*B5)
620 D(1,1)=(15/2)*C5*D(1,1)+3*C3*B1
630 D(3,1)=10*B1*C5
640 D(1,2)=(B2*(B1^2))+(B2*(B3^2))+(B2*(B4^2))+(B2*(B5^2))
650 D(1,2)=D(1,2)+(B1*B2*B3)+(B1*B3*B4)+(B1*B4*B5)
660 D(1,2)=D(1,2)+(B3*B4*B5)-(B1*B2*B5)
670 D(1,2)=2*D(1,2)+(B2^3)+(B3^2)*B4-((B1^2)*B4)
680 D(1,2)=(15/2)*C5*D(1,2)+3*B2*C3
690 D(3,2)=10*B2*C5
700 D(1,3)=(B3*(B1^2))+(B3*(B2^2))+(B3*(B4^2))+(B3*(B5^2))
710 D(1,3)=D(1,3)+(B1*B2*B4)+(B1*B3*B5)+(B2*B3*B4)
720 D(1,3)=D(1,3)+(B2*B4*B5)
730 D(1,3)=2*D(1,3)+(B3^3)+(B1*(B2^2))+(B4^2)*B5
740 D(1,3)=D(1,3)-((B1^2)*B5)-(1/3)*(B1^3)
750 D(1,3)=(15/2)*C5*D(1,3)+3*B3*C3
760 D(3,3)=10*B3*C5
770 D(1,4)=(B4*(B1^2))+(B4*(B2^2))+(B4*(B3^2))+(B4*(B5^2))
780 D(1,4)=D(1,4)+(B1*B2*B3)+(B1*B2*B5)+(B2*B3*B5)
790 D(1,4)=D(1,4)+(B3*B4*B5)
800 D(1,4)=2*D(1,4)+(B4^3)+(B2*(B3^2))-((B1^2)*B2)
810 D(1,4)=(15/2)*C5*D(1,4)+3*B4*C3
820 D(3,4)=10*B4*C5
830 D(1,5)=(B5*(B1^2))+(B5*(B2^2))+(B5*(B3^2))+(B5*(B4^2))
840 D(1,5)=D(1,5)+(B1*B2*B4)+(B2*B3*B4)
850 D(1,5)=2*D(1,5)+(B5^3)+(B1*(B3^2))+(B3*(B4^2))
860 D(1,5)=D(1,5)-((B1^2)*B3)-(B1*(B2^2))
870 D(1,5)=(15/2)*C5*D(1,5)+3*B5*C3
880 D(3,5)=10*B5*C5
890 REM J 'NIN KISMI TUREVLEININ HESAPLANMASI
900 FOR I=1 TO 5
910 G(I,1)=(E^3)*A1*D(1,I)/3
920 G(I,1)=G(I,1)+(E^5)*(A1*D(3,I)+A3*D(1,I))/5
930 G(I,1)=G(I,1)+(E^7)*(A3*D(3,I)+D(1,I)*C5)/7
940 G(I,1)=G(I,1)+(E^9)*D(3,I)*C5/9
950 NEXT I
960 G=G(1,1)^2+G(2,1)^2+G(3,1)^2+G(4,1)^2+G(5,1)^2
970 G=G^(0.5)
980 V1=-G(1,1)*C/G
990 V2=-G(2,1)*C/G
1000 V3=-G(3,1)*C/G
1010 V4=-G(4,1)*C/G
1020 V5=-G(5,1)*C/G

```

```

1030 IF ABS(V1)<0.01 THEN 1050
1040 GOTO 1140
1050 IF ABS(V2)<0.01 THEN 1070
1060 GOTO 1140
1070 IF ABS(V3)<0.01 THEN 1090
1080 GOTO 1140
1090 IF ABS(V4)<0.01 THEN 1110
1100 GOTO 1140
1110 IF ABS(V5)<0.01 THEN 1130
1120 GOTO 1140
1130 N=1
1140 B1=B1+V1
1150 B2=B2+V2
1160 B3=B3+V3
1170 B4=B4+V4
1180 B5=B5+V5
1190 GOTO 300
1200 PRINT M8, "FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERI:"
1210 PRINT M8,
1220 PRINT M8,
1230 PRINT M8, "B1=";B1," B2=";B2," B3=";B3
1240 PRINT M8,
1250 PRINT M8, "B4=";B4," B5=";B5
1260 PRINT M8,
1270 PRINT M8,
1280 PRINT M8, "SON ADIM BUYUKLUGU=";C
1290 PRINT M8,
1300 PRINT M8,
1310 A1=A1+K
1320 PRINT M8, TAB(3);"E";TAB(20);"M";TAB(28);"M ORTALAMA"
1330 FOR N=0 TO 2.1 STEP 0.1
1340 M1=A1*N+A3*(N^3)+C5*(N^5)
1350 M=C1*N+C3*(N^3)+C5*(N^5)
1360 PRINT M8, TAB(2);N;TAB(15);M;TAB(28);M1
1370 NEXT N
1380 PRINT M8,
1390 PRINT M8, "SALINIM SINYALSIZ FONKSIYON ASAGIDADIR:"
1400 PRINT M8,
1410 PRINT M8, " M=( ";C1; " )E+( ";C3; " )E^3+( ";C5; " )E^5"
1420 PRINT M8,
1430 PRINT M8,
1440 REM "M" ORTALAMA DEGER OLACAKTIR.
1450 PRINT M8, "SALINIM SINYALI UYGULANDIGINDA ORTALAMA"
1460 PRINT M8, "CIKIS SINYALI ASAGIDADIR:"
1470 PRINT M8,
1480 PRINT M8, "M1=( ";A1; " )E+( ";A3; " )E^3+( ";C5; " )E^5"
1490 PRINT M8,
1500 PRINT M8, "PERIOD 10 BIRIM ALINDI."
1510 T=10
1520 PRINT M8,
1530 W=2*3.1416/T

```

```
1540 PRINT #8,"ZAMAN","SALINIM SINYALI"  
1550 PRINT #8,"-----","-----"  
1560 FOR N=0 TO 10 STEP 0.5  
1570 F1=B1*SIN(W*N)+B2*SIN(2*W*N)+B3*SIN(3*W*N)  
1580 F=F1+B4*SIN(4*W*N)+B5*SIN(5*W*N)  
1590 PRINT #8,N,F  
1600 NEXT N  
1610 END
```

EK-4

```

10 PRINT#, "OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL"
20 PRINT#,
30 PRINT#, " KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:"
40 PRINT#,
50 E=1
60 PRINT "EGIMI GIRINIZ"
70 INPUT K
80 PRINT#,
90 PRINT#, "EGIM=";K
100 PRINT#,
110 PRINT "FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM "
120 PRINT#,
130 PRINT#, "DEGERLERINI GIRINIZ"
140 INPUT B1,B2,B3,B4,B5
150 PRINT#, "OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:"
160 PRINT#,
170 PRINT#, "B1=";B1,"B2=";B2,"B3=";B3
180 PRINT#,
190 PRINT#, "B4=";B4,"B5=";B5
200 PRINT#,
210 PRINT#, TAB(3);"E";TAB(16);"M";TAB(27);"M ORTALAMA"
220 PRINT#, TAB(2);"--";TAB(14);"----";TAB(27);"-----"
230 FOR N=0 TO 20
240 M2=0
250 E2=0.1*N
260 FOR I=0 TO 99
270 W=I*0.0628
280 B0=B1*SIN(W)+B2*SIN(2*W)+B3*SIN(3*W)
290 B=B0+B4*SIN(4*W)+B5*SIN(5*W)
300 D2=-1
310 R=B+E2
320 IF R>0 THEN 340
330 GOTO 350
340 D2=1
350 M2=M2+D2
360 NEXT I
370 M2=M2/100
380 M3=1
390 PRINT#, E2,M3,M2
400 NEXT N
410 END

```

EK-5

```
10 PRINT#8,"OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL"  
20 PRINT#8,  
30 PRINT#8, " KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:"  
40 PRINT#8,  
50 E=1  
60 PRINT "EGIMI GIRINIZ"  
70 INPUT K  
80 PRINT#8,  
90 PRINT#8, "EGIM=";K  
100 PRINT#8,  
110 PRINT "FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM DEGERLERINI GIRINIZ"  
120 INPUT B1,B2,B3,B4,B5  
130 PRINT#8, "OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:"  
140 PRINT#8,  
150 PRINT#8, "B1=";B1,"B2=";B2,"B3=";B3  
160 PRINT#8,  
170 PRINT#8, "B4=";B4,"B5=";B5  
180 PRINT#8,  
190 PRINT#8, TAB(3);"E";TAB(16);"M";TAB(27);"M ORTALAMA"  
200 PRINT#8, TAB(2);"---";TAB(14);"----";TAB(27);"-----"  
210 FOR N=0 TO 20  
220 M2=0  
230 E2=0.1*N  
240 FOR I=0 TO 99  
250 W=I*0.0628  
260 B0=B1*SIN(W)+B2*SIN(2*W)+B3*SIN(3*W)  
270 B=B0+B4*SIN(4*W)+B5*SIN(5*W)  
280 D2=0  
290 R=B+E2  
300 IF R<-1 THEN 390  
310 IF R>1 THEN 350  
320 IF R<1 THEN 340  
330 GOTO 400  
340 IF R>-1 THEN 370  
350 D2=1  
360 GOTO 400  
370 D2=R  
380 GOTO 400  
390 D2=-1  
400 M2=M2+D2  
410 NEXT I  
420 M2=M2/100  
430 M3=E2  
440 IF E2>1 THEN 460  
450 GOTO 470  
460 M3=1  
470 PRINT#8, E2,M3,M2  
480 NEXT N  
490 END
```

EK-6

```
10 PRINTM8,"OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL"  
20 PRINTM8, " KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:"  
30 PRINTM8,  
40 E=1  
50 PRINT "EGIMI GIRINIZ"  
60 INPUT K  
70 PRINTM8,  
80 PRINTM8, "EGIM=";K  
90 PRINTM8,  
100 PRINT "FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM "  
110 PRINT " DEGERLERINI GIRINIZ"  
120 INPUT B1,B2,B3,B4,B5  
130 PRINTM8, "OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:"  
140 PRINTM8,  
150 PRINTM8, "B1=";B1,"B2=";B2,"B3=";B3  
160 PRINTM8,  
170 PRINTM8, "B4=";B4,"B5=";B5  
180 PRINTM8,  
190 PRINTM8, TAB(3);"E";TAB(16);"M";TAB(27);"M ORTALAMA"  
200 PRINTM8, TAB(2);"--";TAB(14);"---";TAB(27);"----"  
210 FOR N=0 TO 20  
220 M2=0  
230 E2=0.1*N  
240 FOR I=0 TO 99  
250 W=I*0.0628  
260 B0=B1*SIN(W)+B2*SIN(2*W)+B3*SIN(3*W)  
270 B=B0+B4*SIN(4*W)+B5*SIN(5*W)  
280 D2=0  
290 R=B+E2  
300 IF R>1 THEN 330  
310 IF R<-1 THEN 350  
320 GOTO 360  
330 D2=R-1  
340 GOTO 360  
350 D2=R+1  
360 M2=M2+D2  
370 NEXT I  
380 M2=M2/100  
390 M3=0  
400 IF E2>1 THEN 420  
410 GOTO 430  
420 M3=E2-1  
430 PRINTM8, E2,M3,M2  
440 NEXT N  
450 END
```

EK-7

```
10 PRINT#8, "OPTIMUM SALINIM SINYALININ ORIJINAL"  
20 PRINT#8, " KARAKTERISTIGE UYGULANMASI:"  
30 PRINT#8,  
40 E=1  
50 PRINT "EGIMI GIRINIZ"  
60 INPUT K  
70 PRINT#8,  
80 PRINT#8, "EGIM=";K  
90 PRINT#8,  
100 PRINT "FOURIER KATSAYILARININ OPTIMUM "  
110 PRINT"DEGERLERINI GIRINIZ"  
120 INPUT B1,B2,B3,B4,B5  
130 PRINT#8, "OPTIMUM FOURIER KATSAYILARI:"  
140 PRINT#8,  
150 PRINT#8, "B1=";B1,"B2=";B2,"B3=";B3  
160 PRINT#8,  
170 PRINT#8, "B4=";B4,"B5=";B5  
180 PRINT#8,  
190 PRINT#8, TAB(3);"E";TAB(16);"M";TAB(27);"M ORTALAMA"  
200 PRINT#8, TAB(2);"--";TAB(14);"---";TAB(27);"----"  
210 FOR N=0 TO 20  
220 M2=0  
230 E2=0.1*N  
240 FOR I=0 TO 99  
250 W=I*0.0628  
260 B0=B1*SIN(W)+B2*SIN(2*W)+B3*SIN(3*W)  
270 B=B0+B4*SIN(4*W)+B5*SIN(5*W)  
280 D2=0  
290 R=B+E2  
300 IF R>0.999 THEN 330  
310 IF R<-0.999 THEN 350  
320 GOTO 360  
330 D2=1  
340 GOTO 360  
350 D2=-1  
360 M2=M2+D2  
370 NEXT I  
380 M2=M2/100  
390 M3=0  
400 IF E2>0.99 THEN 420  
410 GOTO 430  
420 M3=1  
430 PRINT#8, E2,M3,M2  
440 NEXT N  
450 END
```

EK-8

```
10 REM*****
20 INPUT "EGIMI GIRINIZ";K
30 PRINT#8,"EGIM=";K
40 PRINT#8,
50 INPUT B1,B2,B3,B4,B5
60 PRINT#8, "B1=";B1,"B2=";B2,"B3=";B3
70 PRINT#8,
80 PRINT#8, "B4=";B4,"B5=";B5
90 J9=0
100 M1=0
110 FOR N=0 TO 5 STEP 0.25
120 E1=0.1*N
130 FOR I=-20 TO 19
140 W=I*0.157
150 B=B1*SIN(W)+B2*SIN(2*W)+B3*SIN(3*W)
160 B=B+B4*SIN(3*W)+B5*SIN(4*W)
170 D1=-1
180 R=B+E1
190 IF R>=0 THEN 210
200 GOTO 220
210 D1=1
220 M1=M1+D1
230 NEXT I
240 M1=M1/40
250 J9=J9+(M1-K*E1)^2
260 NEXT N
270 J9=0.025*J9
280 PRINT#8, "MAL=";J9
290 END
```

EK-9

```
10 REM*****
20 INPUT "EGIMI GIRINIZ";K
30 PRINTM8, "EGIM=";K
40 PRINTM8,
50 INPUT B1,B2,B3,B4,B5
60 PRINTM8, "B1=";B1,"B2=";B2,"B3=";B3
70 PRINTM8,
80 PRINTM8, "B4=";B4,"B5=";B5
90 J9=0
100 M1=0
110 FOR N=0 TO 10 STEP 0.25
120 E1=0.1*N
130 FOR I=-20 TO 19
140 W=I*0.157
150 B=B1*SIN(W)+B2*SIN(2*W)+B3*SIN(3*W)
160 B=B+B4*SIN(4*W)+B5*SIN(5*W)
170 D1=0
180 R=B+E1
190 IF R<-1 THEN 280
200 IF R>1 THEN 240
210 IF R<1 THEN 230
220 GOTO 290
230 IF R>-1 THEN 260
240 D1=1
250 GOTO 290
260 D1=R
270 GOTO 290
280 D1=-1
290 M1=M1+D1
300 NEXT I
310 M1=M1/40
320 J9=J9+(M1-K*E1)^2
330 NEXT N
340 J9=0.025*J9
350 PRINTM8, "MAL=";J9
360 END
```

EK-10

```
10 REM*****
20 INPUT "EGIMI GIRINIZ";K
30 PRINT#8, "EGIM=";K
40 PRINT#8,
50 INPUT B1,B2,B3,B4,B5
60 PRINT#8, "B1=";B1,"B2=";B2,"B3=";B3
70 PRINT#8,
80 PRINT#8, "B4=";B4,"B5=";B5
90 J9=0
100 M1=0
110 FOR N=0 TO 10 STEP 0.25
120 E1=0.1*N
130 FOR I=-20 TO 19
140 W=I*0.157
150 B=B1*SIN(W)+B2*SIN(2*W)+B3*SIN(3*W)
160 B=B+B4*SIN(4*W)+B5*SIN(5*W)
170 D1=0
180 R=B+E1
190 IF R>1 THEN 220
200 IF R<-1 THEN 240
210 GOTO 250
220 D1=R-1
230 GOTO 250
240 D1=R+1
250 M1=M1+D1
260 NEXT I
270 M1=M1/40
280 J9=J9+(M1-K*E1)^2
290 NEXT N
300 J9=0.025*J9
310 PRINT#8, "MAL=";J9
320 END
```

EK-11

```
10 REM*****
20 INPUT "EGIMI GIRINIZ";K
30 PRINT#8, "EGIM=";K
40 PRINT#8,
50 INPUT B1,B2,B3,B4,B5
60 PRINT#8, "B1=";B1,"B2=";B2,"B3=";B3
70 PRINT#8,
80 PRINT#8, "B4=";B4,"B5=";B5
90 J9=0
100 M1=0
110 FOR N=0 TO 10 STEP 0.25
120 E1=0.1*N
130 FOR I=-20 TO 19
140 W=I*0.157
150 B=B1*SIN(W)+B2*SIN(2*W)+B3*SIN(3*W)
160 B=B+B4*SIN(4*W)+B5*SIN(5*W)
170 D1=0
180 R=B+E1
190 IF R>0.999 THEN 220
200 IF R<-0.999 THEN 240
210 GOTO 250
220 D1=1
230 GOTO 250
240 D1=-1
250 M1=M1+D1
260 NEXT I
270 M1=M1/40
280 J9=J9+(M1-K*E1)^2
290 NEXT N
300 J9=0.025*J9
310 PRINT#8, "MAL=";J9
320 END
```