

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜNÜN
İNDİRGENMİŞ VERİ İLE MODELLENMESİ**

AHMET ULUSLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
HABERLEŞME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. FİLİZ GÜNEŞ**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜNÜN
İNDİRGENMİŞ VERİ İLE MODELLENMESİ**

Ahmet ULUSLU tarafından hazırlanan tez çalışması 18.06.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mesut KARTAL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği anabilim dalı Haberleşme programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Günümüzde gelişen teknoloji ile beraber her şeyin en hızlı olarak elde edilmesi istenmiştir.

Bu talep göz önünde bulundurularak, bu çalışmada yüksek maliyetlerle elde edilen Mikrodalga Transistör parametrelerinin tek bir kutuplama noktasında bilinen değerler yardımı ile çevresindeki diğer parametrelerinin düşük maliyet (cost effective) ile tahmin edilerek büyük oranda doğruluk sağlandığı gösterilmektedir. Daha önce bu ANN, SVM, RBE, RB ve MLP gibi farklı eğitme yöntemleri ile yapılmış fakat GRNN deki kadar büyük bir doğrulukta tahmin edilememiştir. Daha sonraki çalışmalarımda GRNN i antenler üzerinde yapmış olduğumda çalışmaların tahmininde ve bunun gibi birçok alanda kullanımı üzerinde çalışmalardada öncülük edeceğine inanıyorum.

Bu tezin hazırlanmasında ve çalışmalarım sırasında değerli yardımlarını esirgemeyen gerek bilgi ve gerekse moral açısından bana destek olan sayın hocam Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ'e teşekkür eder, ayrıca çalışmalarım esnasında takıldığım noktalarda ve matLAB kodlarının yazımında bana destek veren Yrd. Doç. Dr. Ufuk ÖZKAYA hocama buradan teşekkürlerimi iletirim ve kendisi asistan olmadığı halde her türlü teknik destek ve bilgiyi bana aktaran Peyman MAHOUTİ arkadaşşıma da çok teşekkür ederim.

Tezimin bu konu üzerinde çalışacak araştırmacılara faydalı olması dileğiyle.

Mayıs, 2013

Ahmet ULUSLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜ PARAMETRELERİ	3
2.1 Saçınım Parametreleri (S- Parametreleri)	3
2.2 Gürültü Parametreleri.....	5
BÖLÜM 3	
YAPAY SİNİR AĞLARI	6
3.1 Uygulamada İzlenmesi Gereken Ana Adımlar	6
3.2 Yapay Sinir Ağlarının Genel Yapısı.....	7
3.2.1 Giriş Katmanı	8
3.2.2 Çıkış Katmanı	8
3.2.3 Ara (gizli) Katman	8
3.3 Yapay Sinir Ağlarının Tanımı ve Modeli	9
3.3.1 Yapay Sinir Ağlarının Tanımı	9

3.3.2	Nöronun Biyolojik Yapısı ve Nöron Modeli	9
3.4	Öğrenme Kuralı	11
BÖLÜM 4		
GENELLEŞTİRİLMİŞ REGRESYON SİNİR AĞLARI (GRNN)		12
4.1	Algoritma	12
4.2	Düzeltilme Parametresinin Seçimi.....	15
4.2.1	Gizleme Yöntemi	19
BÖLÜM 5		
BİR MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜNÜN GRNN TEMELLİ İŞARET-GÜRÜLTÜ SİNİR AĞI MODELİ		22
5.1	Bir Mikrodalga Transistörün İşaret-Gürültü Sinir Ağı Modeli	24
5.2	İşaret-Gürültü Sinir Ağı Modelleri.....	25
5.2.1	GRNN Temelli Sinir Ağı Modelleri.....	26
5.2.2	Hata Analizi Hesaplamaları.....	27
5.3	Uygulama Örneği: VMMK-1225'in Gürültü Modeli	27
5.3.1	Tek Kutuplamalı Eğitim Modeli ve Test Verisi	27
5.3.2	Sinir Ağı Model Sonuçları.....	28
5.3.2.1	Ekstrapolasyon-I Uygulaması	29
5.3.2.2	Ekstrapolasyon-II Uygulaması	32
5.3.2.3	Ekstrapolasyon-III Uygulaması	34
5.3.2.4	Ekstrapolasyon-IV Uygulaması.....	37
5.4	Uygulama Örneği: VMMK-1225'in İşaret Modeli	39
5.4.1	İki Kutuplamalı Eğitim Modeli ve Test Verisi	39
5.4.1.1	Sinir Ağı Model Sonuçları	40
5.4.1.1.1	İnterpolasyon-I Uygulaması.....	41
5.4.1.1.2	İnterpolasyon-II Uygulaması.....	43
5.4.1.1.3	Ekstrapolasyon-I Uygulaması.....	46
5.4.1.1.4	Ekstrapolasyon-II Uygulaması.....	48
5.4.2	Tek Kutuplamalı Eğitim Modeli ve Test Verisi	50
5.4.2.1	Sinir Ağı Model Sonuçları	51
5.4.1.2.1	Ekstrapolasyon Uygulaması.....	51
5.4.3	Diğer Modeller İle Karşılaştırılmalı Eğitim ve Test Verileri	56
5.4.3.1	Sinir Ağı Model Sonuçları	56
5.4.3.1.1	İnterpolasyon Uygulaması	57
5.5	Uygulama Örneği: ATF-551M4'ün Gürültü Modeli.....	60
5.5.1	Modelin Eğitim ve Test Verisi	60
5.5.2	Sinir Ağı Model Sonuçları.....	60
5.5.2.1	İnterpolasyon Uygulaması.....	61
5.5.2.2	Ekstrapolasyon Uygulaması	64
5.6	Uygulama Örneği: ATF-551M4'ün İşaret Modeli.....	66
5.6.1	Modelin Eğitim ve Test Verisi	66
5.6.2	Sinir Ağı Model Sonuçları.....	67
5.6.2.1	İnterpolasyon Uygulaması.....	67

5.6.2.2 Ekstrapolasyon Uygulaması	72
5.7 Sonuçlar	76
BÖLÜM 6	
SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR.....	79
EK-A	
VMMK-1225 MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜNÜN ÜRETİCİ VERİLERİ	81
EK-B	
ATF-551M4 MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜNÜN ÜRETİCİ VERİLERİ.....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	96

SİMGE LİSTESİ

a_1	Giren dalga
b_1	Yansıyan dalga
a_2	Giren dalga
b_2	Yansıyan dalga
S_{11}	Uygun çıkış sonlandırma ile giriş yansıma katsayısı
S_{21}	Uygun çıkış sonlandırma ile ileri iletim katsayısı
S_{22}	Uygun giriş sonlandırma ile çıkış yansıma katsayısı
S_{12}	Uygun giriş sonlandırma ile ters iletim katsayısı
F	Gürültü parametresi
N	Gürültü vektörü
Γ_S	Yansıma katsayısı
F_{min}	Minimum gürültü parametresi
R_n	Gürültü direnci
Γ_{opt}	Optimum yansıma katsayısı
G_T	Dönüştürücü kazancı
G_P	Güç kazancı
G_A	Elde edilebilir güç kazancı
P_L	Yüke dağıtılan güç
P_{AVS}	Kaynaktan elde edilebilir güç
P_{IN}	Ağa giren güç
P_{AVN}	Ağdan elde edilebilir güç
Γ_{IN}	Giriş tarafındaki yansıma katsayısı
Γ_{OUT}	Çıkış tarafındaki yansıma katsayısı
Z_L	Yük empedansı
Γ_L	Yük yansıma katsayısı
Z_1	Jeneratör empedansı
Z_0	Hat empedansı
r_n	Gürültü direnci
ζ	Yayıma parametresi

KISALTMA LİSTESİ

Ca	Kalsiyum
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
exp	$e^{\wedge}$
GRNN	Genel regresyon sinir ağı
Hz	Hertz
kg	Kilogram
mA	Mili amper
m ²	Metre kare
MLP	Çok katmanlı algılayıcı
mse	Ortalama hata oranı
Na	Sodyum
RB	Radyal tabanlı
RBE	Radyal tabanlı fonksiyon
RF	Radio frequency
RL	Dönüş kaybı
S	Saçılma
V	Volt
VSWR	Duran dalga oranı
YSA	Yapay sinir ağı

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	İki-kapılı devre için S- parametrelerini tanımlayacak giren ve yansıyan dalgaların gösterimi	3
Şekil 3. 1	Üç katmanlı tam birleştirilmiş yapay sinir ağı	8
Şekil 3. 2	Basit bir nöron yapısı	10
Şekil 3. 3	Nöron modeli	11
Şekil 3. 4	YSA'nın genel blok şeması	11
Şekil 4. 1	Bireysel terimler tahmini için $\sigma=0.1$ de GRNN katkısı	14
Şekil 4. 2	GRNN paralel sinir ağı olarak kullanılabilecek şekilde şeması	15
Şekil 4. 3	Aşırı wiggle yöntemiyle bireysel sinyaller dahil GRNN tahmini $\sigma=0.027$	17
Şekil 4. 4	Düzgün bir çizgi boyunca GRNN tahmini $\sigma=1$	19
Şekil 4. 5	Gizleme yöntemi sonucu	20
Şekil 4. 6	Gizleme yöntemi için farklı düzeltme salınım grafikleri.....	21
Şekil 5. 1	Bir mikrodalga transistörün işaret ve gürültü sinir ağı kara kutuları	24
Şekil 5. 2	Gürültü GRNN mimarisinin şematik diyagramı.....	25
Şekil 5. 3	İşaret GRNN mimarisinin şematik diyagramı	26
Şekil 5. 4	Yayılma parametresi ile hata değişimi	28
Şekil 5. 5	Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi	31
Şekil 5. 6	Frekans ile $ \Gamma_{opt} $ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi	31
Şekil 5. 7	Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi	31
Şekil 5. 8	Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi	33
Şekil 5. 9	Frekans ile $ \Gamma_{opt} $ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi	33
Şekil 5. 10	Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi	34
Şekil 5. 11	Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi	36
Şekil 5. 12	Frekans ile $ \Gamma_{opt} $ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi	36
Şekil 5. 13	Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi	36
Şekil 5. 14	Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi	38
Şekil 5. 15	Frekans ile $ \Gamma_{opt} $ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi	38
Şekil 5. 16	Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi	39
Şekil 5. 17	Frekans ile $ S_{11} $ ve S_{11} (açı) değişimi.....	41
Şekil 5. 18	Frekans ile $ S_{21} $ ve S_{21} (açı) değişimi	42
Şekil 5. 19	Frekans ile $ S_{12} $ ve S_{12} (açı) değişimi.....	42
Şekil 5. 20	Frekans ile $ S_{22} $ ve S_{22} (açı) değişimi	42

Şekil 5. 21	Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi	43
Şekil 5. 22	Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi	43
Şekil 5. 23	Frekans ile $ S_{11} $ ve S_{11} (açı) değişimi	44
Şekil 5. 24	Frekans ile $ S_{21} $ ve S_{21} (açı) değişimi	44
Şekil 5. 25	Frekans ile $ S_{12} $ ve S_{12} (açı) değişimi	44
Şekil 5. 26	Frekans ile $ S_{22} $ ve S_{22} (açı) değişimi	45
Şekil 5. 27	Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi	45
Şekil 5. 28	Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi	45
Şekil 5. 29	Frekans ile $ S_{11} $ ve S_{11} (açı) değişimi	46
Şekil 5. 30	Frekans ile $ S_{21} $ ve S_{21} (açı) değişimi	46
Şekil 5. 31	Frekans ile $ S_{12} $ ve S_{12} (açı) değişimi	47
Şekil 5. 32	Frekans ile $ S_{22} $ ve S_{22} (açı) değişimi	47
Şekil 5. 33	Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi	47
Şekil 5. 34	Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi	48
Şekil 5. 35	Frekans ile $ S_{11} $ ve S_{11} (açı) değişimi	48
Şekil 5. 36	Frekans ile $ S_{21} $ ve S_{21} (açı) değişimi	49
Şekil 5. 37	Frekans ile $ S_{12} $ ve S_{12} (açı) değişimi	49
Şekil 5. 38	Frekans ile $ S_{22} $ ve S_{22} (açı) değişimi	49
Şekil 5. 39	Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi	50
Şekil 5. 40	Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi	50
Şekil 5. 41	Frekans ile $ S_{11} $ ve S_{11} (açı) değişimi	52
Şekil 5. 42	Frekans ile $ S_{21} $ ve S_{21} (açı) değişimi	52
Şekil 5. 43	Frekans ile $ S_{12} $ ve S_{12} (açı) değişimi	52
Şekil 5. 44	Frekans ile $ S_{22} $ ve S_{22} (açı) değişimi	53
Şekil 5. 45	Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi	53
Şekil 5. 46	Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi	53
Şekil 5. 47	Frekans ile $ S_{11} $ ve S_{11} (açı) değişimi	54
Şekil 5. 48	Frekans ile $ S_{21} $ ve S_{21} (açı) değişimi	54
Şekil 5. 49	Frekans ile $ S_{12} $ ve S_{12} (açı) değişimi	54
Şekil 5. 50	Frekans ile $ S_{22} $ ve S_{22} (açı) değişimi	55
Şekil 5. 51	Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi	55
Şekil 5. 52	Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi	55
Şekil 5. 53	Frekans ile $ S_{11} $ ve S_{11} (açı) değişimi	57
Şekil 5. 54	Frekans ile $ S_{21} $ ve S_{21} (açı) değişimi	57
Şekil 5. 55	Frekans ile $ S_{12} $ ve S_{12} (açı) değişimi	58
Şekil 5. 56	Frekans ile $ S_{22} $ ve S_{22} (açı) değişimi	58
Şekil 5. 57	Frekans ile $ S_{11} $ ve S_{11} (açı) değişimi	58
Şekil 5. 58	Frekans ile $ S_{21} $ ve S_{21} (açı) değişimi	59
Şekil 5. 59	Frekans ile $ S_{12} $ ve S_{12} (açı) değişimi	59
Şekil 5. 60	Frekans ile $ S_{22} $ ve S_{22} (açı) değişimi	59
Şekil 5. 61	Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi	60
Şekil 5. 62	Frekans ile $ \Gamma_{opt} $ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi	62
Şekil 5. 63	Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi	62
Şekil 5. 64	Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi	62
Şekil 5. 65	Frekans ile $ \Gamma_{opt} $ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi	63
Şekil 5. 66	Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi	63

Şekil 5. 67	Frekans ile $F_{\min}$ ve $R_n / 50$ değişimi	64
Şekil 5. 68	Frekans ile $ \Gamma_{\text{opt}} $ ve φ_{opt} (açı) değişimi	64
Şekil 5. 69	Frekans ile φ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi	65
Şekil 5. 70	Frekans ile $F_{\min}$ ve $R_n / 50$ değişimi	65
Şekil 5. 71	Frekans ile $ \Gamma_{\text{opt}} $ ve φ_{opt} (açı) değişimi	65
Şekil 5. 72	Frekans ile φ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi	66
Şekil 5. 73	Frekans ile $ S_{11} $ ve S_{11} (açı) değişimi	68
Şekil 5. 74	Frekans ile $ S_{21} $ ve S_{21} (açı) değişimi	68
Şekil 5. 75	Frekans ile $ S_{12} $ ve S_{12} (açı) değişimi	68
Şekil 5. 76	Frekans ile $ S_{22} $ ve S_{22} (açı) değişimi	69
Şekil 5. 77	Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi	69
Şekil 5. 78	Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi	69
Şekil 5. 79	Frekans ile $ S_{11} $ ve S_{11} (açı) değişimi	70
Şekil 5. 80	Frekans ile $ S_{21} $ ve S_{21} (açı) değişimi	70
Şekil 5. 81	Frekans ile $ S_{12} $ ve S_{12} (açı) değişimi	70
Şekil 5. 82	Frekans ile $ S_{22} $ ve S_{22} (açı) değişimi	71
Şekil 5. 83	Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi	71
Şekil 5. 84	Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi	71
Şekil 5. 85	Frekans ile $ S_{11} $ ve S_{11} (açı) değişimi	72
Şekil 5. 86	Frekans ile $ S_{21} $ ve S_{21} (açı) değişimi	72
Şekil 5. 87	Frekans ile $ S_{12} $ ve S_{12} (açı) değişimi	73
Şekil 5. 88	Frekans ile $ S_{22} $ ve S_{22} (açı) değişimi	73
Şekil 5. 89	Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi	73
Şekil 5. 90	Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi	74
Şekil 5. 91	Frekans ile $ S_{11} $ ve S_{11} (açı) değişimi	74
Şekil 5. 92	Frekans ile $ S_{21} $ ve S_{21} (açı) değişimi	74
Şekil 5. 93	Frekans ile $ S_{12} $ ve S_{12} (açı) değişimi	75
Şekil 5. 94	Frekans ile $ S_{22} $ ve S_{22} (açı) değişimi	75
Şekil 5. 95	Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi	75
Şekil 5. 96	Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi	76

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5. 1	Sinir ağı modellerinin eğitim performansları 29
Çizelge 5. 2	Sinir ağı modellerinin test performansları 29
Çizelge 5. 3	$V_{ds}=1,5V$ $I_{ds}=5mA$ eğitim için hedef ve öngörülen veriler 30
Çizelge 5. 4	$V_{ds}=3V$ $I_{ds}=20mA$ test için hedef ve öngörülen veriler 30
Çizelge 5. 5	$V_{ds}=2V$ $I_{ds}=10mA$ eğitim için hedef ve öngörülen veriler 32
Çizelge 5. 6	$V_{ds}=1,5V$ $I_{ds}=15mA$ test için hedef ve öngörülen veriler 33
Çizelge 5. 7	$V_{ds}=3V$ $I_{ds}=15mA$ eğitim için hedef ve öngörülen veriler 35
Çizelge 5. 8	$V_{ds}=4V$ $I_{ds}=10mA$ test için hedef ve öngörülen veriler 35
Çizelge 5. 9	$V_{ds}=4V$ $I_{ds}=20mA$ eğitim için hedef ve öngörülen veriler 37
Çizelge 5. 10	$V_{ds}=2V$ $I_{ds}=5mA$ test için hedef ve öngörülen veriler 38
Çizelge 5. 11	Sinir ağı modellerinin eğitim performansları 40
Çizelge 5. 12	Sinir ağı modellerinin test performansları 41
Çizelge 5. 13	Sinir ağı modellerinin eğitim performansları 51
Çizelge 5. 14	Sinir ağı modellerinin test performansları 51
Çizelge 5. 15	Sinir ağı modellerinin eğitim performansları 56
Çizelge 5. 16	Sinir ağı modellerinin test performansları 56
Çizelge 5. 17	Sinir ağı modellerinin eğitim performansları 60
Çizelge 5. 18	Sinir ağı modellerinin test performansları 61
Çizelge 5. 19	Sinir ağı modellerinin eğitim performansları 67
Çizelge 5. 20	Sinir ağı modellerinin test performansları 67

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜNÜN İNDİRGENMİŞ VERİ İLE MODELLENMESİ

Ahmet ULUSLU

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ

Elektronikle ilgili sistemlerin gelişip, üstün seviyeye gelmesi yarı iletken temelli transistörlerin bulunmasından sonra olmuştur. Elektronikte transistörün önemi kadar, transistörlerde de işaret-gürültü parametreleri o kadar önemlidir. Bu parametrelerin uygun maliyetli elde edilmesi adına bu tez gürültü ve işaret parametrelerinin kara kutu modellemesi ile yapılan çalışmasını içermektedir.

Yapmış olduğumuz çalışma VMMK-1218, VMMK-1225, ATF-551M4, ATF-35143, ATF-55143 transistörlerinde denenmiş tezde VMMK-1225, ATF-551M4 üzerinde yapılan çalışmalar gösterilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar şu şekilde özetlenebilir: (i.i) Bir mikrodalga transistörün gürültü davranışları tek kutuplamalı eğitim modeli ve test verisi ile modellenmiştir. (ii.i) Bir mikrodalga transistörün işaret davranışları iki kutuplamalı eğitim modeli ve test verisi ile modellenerek interpolasyon ve ekstrapolasyon uygulamaları yapılmıştır. (ii.ii) Bir mikrodalga transistörün işaret davranışları tek kutuplamalı eğitim modeli ve test verisi ile modellenmiştir. (ii.iii) Bir mikrodalga transistörün işaret davranışları diğer modeller ile karşılaştırılmalı eğitim modeli ve test verisi ile modellenmiştir. VMMK-1225 mikrodalga transistöründe $V_{ds}= 1,5; 2; 3; 4V$ da $I_{ds}= 5; 10; 15; 20mA$ için N-parametreleri 2-18 GHz, S-parametreleri 2-45 GHz frekans aralığında üretici verilerine dayanarak kara kutu modellemesi yapılmıştır. ATF-551M4 mikrodalga transistöründe ise $V_{ds}= 2; 2,7; 3V$ da $I_{ds}= 10; 15; 20mA$ için N ve S-parametreleri 2-18 GHz frekans aralığında üretici verilerine dayanarak kara kutu modellemesi yapılmıştır.

Sonuçlanan modeller doğruluğu açısından birbiri ile karşılaştırıldı ve aralarında yaklaşık benzer hatalar görüldü. Bu karşılaştırmalar kartezyen düzlem, polar düzlem ve smith abağı ile çizilerek gösterildi. Tezin bölüm 4.4.3. de diğer modeller ile karşılaştırılmalı eğitim ve test verileri başlığı altındaki bölümde MLP, RB, RBE ve GRNN için VMMK-1225 mikrodalga transistoründe $V_{ds} = 1,5$; 4V eğitim verisi, $V_{ds} = 3V$ test verisi olarak kullanılarak, herbir sinir ağı için ayrı bir yapı kurulmuş ve çıkan sonuçlar tek bir grafikte gösterilmiştir. Gerek eğitim-test performansları(çizelge 4.15, çizelge 4.16) olsun, gerek grafikler (şekil 4.53-60) olsun kullandığımız sinir ağının başarısı göstermektedir.

Özellikle, modelleme tekniği başarısı şekil 4.6 ve şekil 4.17 te görüldüğü gibi ani değişimler GRNN tarafından yakalanmıştır. Ek olarak karşılaştırmalı modeller arasındaki başarısı için şekil 4.54 e göz atılabilir. Optimum kaynak yansıma açısı değişimleri inceleyerekte araştırılabilir.

Anahtar Kelimeler: Gürültü Parametreleri, Saçılma parametreleri, Karşılıklı iki kapılı devre, Optimum Gürültü Yansıma Katsayısı, Yapay Sinir Ağları, Regresyon

ABSTRACT

GENERALIZED REGRESSION NEURAL NETWORK - WITH REDUCED DATA MODELING FOR MICROWAVE TRANSISTORS

Ahmet ULUSLU

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ

Attaining today's high technologic level of electronics systems appeared after the invention of semiconductor devices. In electronics, not only the transistors are of importance but also are the signal to noise parameters. This thesis tackles with works which are realized by occupying block box modelling in order to obtain mentioned parameters effectively.

The work of the thesis is performed by using VMMK-1218, VMMK-1225, ATF-551M4, ATF-35143, ATF-55143 microwave transistors and the results which are obtained from the tests in which the transistors VMMK-1225, ATF-551M4 are used shown in this study. This study can be summarized as follows: (i.i) Noise characteristic of a microwave transistor is modelled by one polar training model and the practical results. (ii.i) Small signal characteristics modelling of a microwave transistor by means of two polar training model and practical results is performed and then interpolation and extrapolation applications are realized. (ii.ii) Small signal characteristics modelling of a microwave transistor by means of one polar training model. (ii.iii) Small signal characteristics modelling of a microwave transistor is performed by comparison of other modelling examples and practical results. Black box modelling of the VMMK-1225 microwave transistor is performed with the values of $V_{ds} = 1,5; 2; 3; 4V$ and $I_{ds} = 5; 10; 15; 20mA$ also frequency ranges 2-18 GHz for N-parameters, 2-45 for S-parameters.

As for ATF-551M4 microwave transistor, values $V_{ds}= 2; 2,7; 3V$ and $I_{ds}= 10; 15; 20mA$ also the frequency gaps 2-18 GHz for N and S-parameters are used for its black box modelling.

Resulting models are compared with each other to check the consistency and similar error rates are observed for each. These comparisons are depicted on cartesian coordinate system, polar system and smith chart. In the 4.3.3 section of the thesis work, in the topic “Comparison of training and practical values with other models”, VMMK-1225 microwave transistor as a test device and the values of $V_{ds}= 1,5; 4V$ training data and $V_{ds}= 3V$ practical test value are used and seperated incidences are realized for MLP, RB, RBE and GRNN and finally the results are demonstrated on the same graphic. Either traning-practical test results performances (drawing 4.15 and 4.16) or graphics (figures 4.53-60) show the success of the occupied neural network.

Especially, just as the achievement of the modelling technique are observed in the figures 4.6 and 4.17, so too instantaneous fluctuations are detected by GRNN. Moreover, figure 4.54 can be referred to observe the success of comparative models. Also optimum source reflection angles can also be seen.

Keywords: Noise Figure, Scattering Parameters, Reciprocal, Optimum Noise Reflaction Coefficient, Artificial Neural Networks, Regression.

1.1 Literatür Özeti

Bugünün RF ve mikrodalga devreleri, simülasyon sırasında optimizasyonu ve istatistiksel analizler gibi tüm süreç güvenilir elde edilebilir. Bu nedenle verimli modelleme yöntemleri gerektiren pasif hesaplamalı görevleri nedeniyle sistem entegrasyonuna giderek artan yüksek düzeyde bir talep vardır. Bu tür aktif cihazlar transistörler gibi, modern RF / Mikrodalga sistemlerinin çekirdeği modellenmiş şekilde olduklarından, hassasiyet ve esneklik açısından önem arz etmektedir. Böylece genel sistem performansında sistem tasarımı etkili olacaktır. Özellikle düşük gürültü transistörler kullanılan ön uç bilgi iletim sistemlerinin özel öneme sahip olarak bunlarda genel sistem belirleyici olarak gürültü figürü hakim rol oynamaktadır.

Son yıllarda, mikrodalga modelleme, simülasyon ve optimizasyon için yapay zeka dayalı bir CAD yaklaşımı getirilmiştir. Ölçülmüş ya da simüle veri geliştirilen, hızlı, doğru, güvenilir ve CAD modelleri tasarımı hızlandırmak için eğitim denilen bir işlem aracılığıyla aktif / pasif cihazların hesaplama yoğun fizik / elektromanyetik modelleri yerine kullanılabilir. Bu gibi transistör modelleme, çok katmanlı-Algılayıcı (MLP) Sinir Ağı (YSA) ve Destek Vektör Makinesi sinyal ve gürültü modelleri ile ilgili İstanbul'da Yıldız Teknik Üniversitesi'nde araştırmacılar CAD kullanarak, küçük sinyal mikrodalga kuvvetlendiricileri üzerine çalışmalar yapmıştır. [1-3]

1.2 Tezin Amacı

İki portlu cihazın eşdeğer normalleştirilmiş gürültü direncini R_n , F_{min} minimum gürültü figürünü, Γ_{opt} ise minimum gürültüyü veren uygun miktarda yansımaya katsayısını göstermektedir. Bu nicelikler gürültü parametreleri olarak bilinir ve bunların değerleri ya transistör üreticisi tarafından verilir. Ayrıca transistörlerin 4 adet saçılma parametreleri bulunmaktadır. Bu parametrelerin ölçümü labrotuarlarda yüksek maliyet ve uzun zaman sonucu belirlenmektedir. Çoğu aktif cihazlarda ise bu parametreler kısıtlı V_{ds} için verilmektedir. Biz bu çalışmada üretici tarafından verilen az sayıda gürültü ve saçılma parametresini diğer kutuplama tahminleri için yeterli olduğunu gösterdik.

1.3 Hipotez

Bu çalışmanın ikinci kısmında mikrodalga transistörü parametreleri hakkında en temel bilgiler verilecektir. Üçüncü kısımda ise yapay sinir ağları temel teorilere değinilecektir. Dördüncü kısımda GRNN hakkında teorik bilgiler verilecektir. Beşinci kısımda ise tezimi oluşturan çalışmalar anlatılarak çalışmayı görsel açıdan daha etkin kılabilmek adına grafik ve tablolarla desteklenecektir.

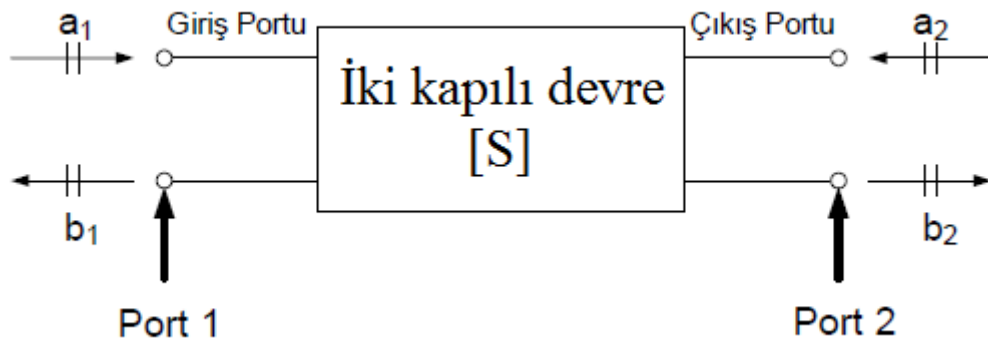
MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜ PARAMETRELERİ

Bu kısımda transistör işaret parametreleri ve gürültü parametreleri hakkında bilgi verilmiştir.

2.1 Saçınım Parametreleri (S- Parametreleri)

Hemen hemen bütün ders kitaplarında ve RF sistemlere dair teknik literatürde saçınım yani S-parametre gösterimi önemli bir rol oynamaktadır. Bunun sebebi yüksek frekanstaki pratik sistem karakterizasyonlarının düşük frekans uygulamalarında yapılan basit açık veya kapalı devre ölçümleriyle artık yapılamamasındandır [4].

Şekil 2.1’de iki-kapılı bir devre için giren ve yansıyan dalgalar görülmektedir. Port 1’e giren dalga a_1 , yansıyan dalga ise b_1 ile gösterilirken port 2’ye giren dalga a_2 , yansıyan dalga ise b_2 ile gösterilmektedir.



Şekil 2.1 İki-kapılı devre için S- parametrelerini tanımlayacak giren ve yansıyan dalgaların gösterimi

Port 1 ve port 2’de ölçülen S_{11} , S_{12} , S_{21} ve S_{22} parametreleri, iki kapılı devrenin saçınım parametreleridir ve gösterim şekli

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$[S]$ ifadesi bu ağın saçınım matrisidir [5].

S- parametreleri yansıma veya iletim katsayılarını simgelerler. Port 1 ve port 2’nin özel durumlarında ölçülen S- parametreleri aşağıdaki ifadelerle tanımlanmaktadır:

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (\text{Uygun çıkış sonlandırma ile giriş yansıma katsayısı}) \quad (2.2)$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (\text{Uygun çıkış sonlandırma ile ileri iletim katsayısı}) \quad (2.3)$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (\text{Uygun giriş sonlandırma ile çıkış yansıma katsayısı}) \quad (2.4)$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (\text{Uygun giriş sonlandırma ile ters iletim katsayısı}) \quad (2.5)$$

Eğer iki-kapılı devre bir transistörü simgelerse bu durumda transistör uygun bir biçimde kutuplandırılır ve böylece transistörün S- parametreleri küçük-sinyal koşulları altında, verilen bir Q çalışma noktasında ölçülür. Ayrıca S-parametreleri frekansla değiştiğinden dolayı ölçümler çeşitli frekans değerlerine göre yapılmaktadır [5].

2.2 Gürültü Parametreleri

Bir aktif cihazın F olan gürültü parametresi giriş ve çıkışlardaki uygun oranlardaki sinyalin gürültüye oranı olarak tanımlanır. Gürültü $\vec{N}$ vektörü, transistör gürültü parametresi olan F in giriş kaynağındaki yansıma katsayısı olan Γ_s e bağımlılığını tanımlar.

Bunlar (2.6) daki ilişki ile birbirine bağlıdır.

$$F(\Gamma_s, \vec{N}) = F_{\min} + 4 \frac{R_N}{Z_0} \frac{|\Gamma_s - \Gamma_{opt}|^2}{(1 - |\Gamma_s|^2) |1 + \Gamma_{opt}|^2} \quad (2.6)$$

gürültü vektörü olarak gösterilen $\vec{N}$ 4 adet ölçülebilir gürültü parametresi içerir. Ayrıca bunlar transistörü kendi yapısından bağımsız olarak iki portlu bir şekilde nitelendirebilir.(2.7)

$$\vec{N} = [F_{\min}, |\Gamma_{opt}|, \phi_{opt}, R_n / 50]^t \quad (2.7)$$

Burada, $F_{\min}$, transistörün uygun olan minimum gürültü parametresidir. Ayrıca bu parametre, transistörün Γ_{opt} ve R_n gürültü direnci ile sürüldüğü zaman elde edilebilir.

YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağılar ya da kısaca yazacak olursak YSA; insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetmesi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. En genel anlamda bir YSA insan beynindeki birçok nöronun (sinir hücresinin), ya da yapay olarak basit işlemcilerin birbirlerine farklı etki seviyeleri ile bağlanması sonucu var olan karmaşık bir sistem olarak düşünülebilir. İlk başlarda temel tıp birimlerinde insan beynindeki nöronların matematiksel modelleme çabaları ile başlayan çalışmalar, geçtiğimiz onbeş sene içerisinde, disipline bir şekil almıştır. YSA bugün fizik, matematik, elektrik mühendisliği ve mikrodalga elektroniği gibi çok farklı bilim dallarında araştırmalarda kullanılır hale gelmiştir. Yapay sinir ağlarının pratik kullanımı genelde, çok farklı yapıda ve formlarda bulunabilen bilgi verilerini hızlı bir şekilde tanımlama ve algılama üzerinedir. Aslında mühendislik uygulamalarında yapay sinir ağlarının geniş çaplı kullanımının en önemli nedeni, klasik tekniklerle çözümü zor problemler için etkin ve hızlı bir alternatif oluşturmalarıdır. Çünkü bilgisayarlar insanın beyinsel yeteneğinin en zayıf olduğu çarpma, bölme gibi matematiksel ve algoritmik hesaplama işlemlerinde hız ve doğruluk açısından yüzlerce kat başarılı olmalarına rağmen insan beyninin öğrenme ve tanıma gibi işlevlerini hala yeteri kadar hızlı gerçekleştirememektedir.

3.1 Uygulamada İzlenmesi Gereken Ana Adımlar

Seçilmiş olan yapay sinir ağı modeli, elde edilecek sonuçlar için kritik bir etkiye sahiptir. Bu tür çalışmalarda literatür taraması çok önem teşkil etmektedir. Daha önceki

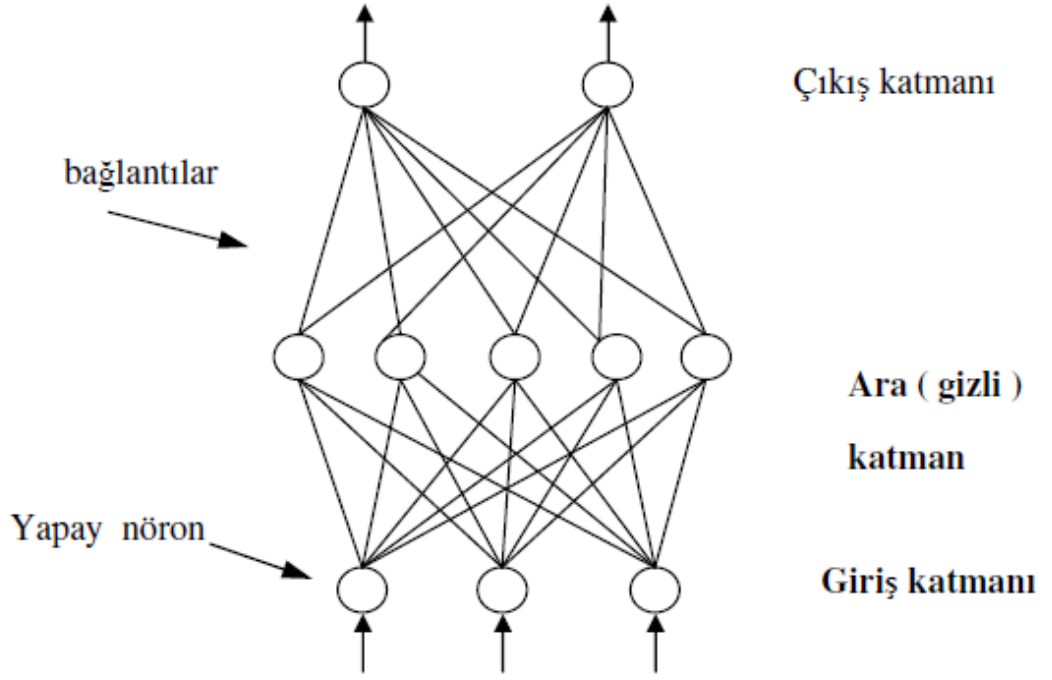
Çalışmalarda araştırmacılar ne yapmış ne kadar verimli sonuçlar elde etmişden yola çıkarak çalışmanız için en doğru eğitim modeli şeilmelidir. Uygulamada kullanılacak olan ağ modelini gerçekleştirmek istediğimiz işlemin amacına uyacak biçimde belirlemeliyiz. Çeşitli çalışmalardan elde edilen sonuçlara dayanarak, sinir ağı modelinin kompleksliliğini belirleyen ve başta kararlaştırılan serbest parametreler (düzeltme parametresi v.s.) problemin yapısına ve kullanılacak eğitici örneklerin sayısına uygun şeilmelidir. Ağ çok fazla karmaşık olduğu takdirde, eğitim setini çok iyi öğrenecek, fakat genelleme işlemi zayıf olacaktır. İyi bir genelleme yapabilmek için yapının karmaşıklığı da iyi belirlenip akış diyagram şeması çıkarılmalıdır.

Yapay sinir ağı uygulamalarında göz önünde bulundurulması gereken faktörler şunlardır:

- Verilerin düzenlenmesi ve en uygun işlenebilir duruma getirilmesi.
- Ağ yapısının dizayn edilmesi (şekil 5.2 ve şekil 5.3 de görülmektedir).
- Verilen problem için verilerin işlenmesi.
- En az hata için uygun yayılma parametresi (düzeltme parametresi değerini) belirlemek.
- ğrenme sonucunda ağın performansını hesaplamak (ortalama karesel hata).

3.2 Yapay Sinir Ağlarının Genel Yapısı

Ağ modelinin belirli bir uygulama için yapılandırılmasında işlem elemanları, diğer adıyla nöronlar belirli bir şekilde düzenlenmelidir. Genel olarak bazı yapısal ünitelerin oluşturulmasında nöronlar birbirleriyle bağlı şekildedir ve çizgisel bir sırada dizilidir. Bu izgisel şekilde dizilmiş nöronların oluşturduğu ünitelere katman denilmektedir. En çok kullanılan ağ modelleri çok katmalı modellerdir. şekil 3.1' de üç katmanlı nöronları tam olarak birleştirilmiş bir ağ modeli görülmektedir. Bu katmanlar giriş katmanı, ara (gizli) katman ve çıkış katmanıdır. [11]



Şekil 3.1 Üç katmanlı tam birleştirilmiş yapay sinir ağı

3.2.1 Giriş Katmanı

Bu katman dışarıdan gelen bilginin ağı alınmasını sağlar. Giriş katmanı kendi çıkışını ara katmana giriş olarak göndermektedir. Giriş katmanındaki nöronların sayısı, belirli bir problemi karakterize etmek için yeterli olan giriş değerlerinin sayısıdır. [11] Bu kısımda biz 5. bölüm çalışmasında gürültü parametreleri girildi, yine aynı bölümde ise saçılma parametreleri girildi.

3.2.2 Çıkış Katmanı

Çıkış katmanı, giriş katmanına girilen giriş sinyaline uygun olarak bir çıkış üretir. Çıkış katmanı nöronları, kendi giriş değerlerini ara katmandan elde ederler. Bu katmanda gerekli olan nöronların sayısı, tanımlanan problem için gerekli olan çıkışa eşittir. Bu kısımda ise eğitilen verilere denk gelen karşılıklar elde edildi. [11]

3.2.3 Ara (gizli) Katman

Bu katman, giriş ve çıkış katmanları arasında yer alır. Buradaki nöronlar, çıkış katmanı ve giriş katmanındaki nöronlara veya başka bir ara katman varsa oradaki nöronlara

bağlı olmak zorundadır. Kesinlikle dış çevre ile doğrudan bağlantıları yoktur. Ne dışarıdan doğrudan giriş sinyali alabilir, ne de dışarıya doğrudan çıkış sinyali üretebilir. Ara katmanlar genellikle sinir ağı problemlerinde yer alır. Bunun nedeni, problemin çözümü için giriş ve çıkış katmanının yeterli olmayışıdır. Ara katman, ağı problem için kendi sembol setini yapılandığı katmandır. [11] Kısacası bu kısım gerek veri işlemede gerek ise veri çıkışında görülmeyen gizli kısımdır.

3.3 Yapay Sinir Ağlarının Tanımı ve Modeli

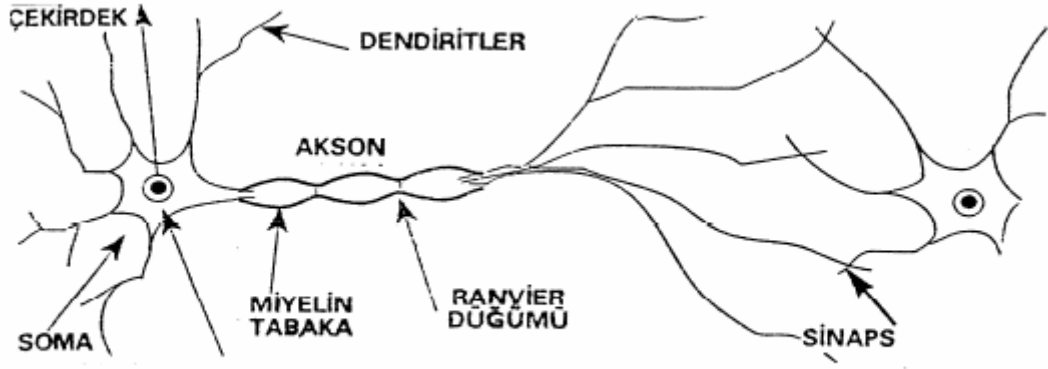
3.3.1 Yapay Sinir Ağlarının Tanımı

YSA paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemidir. Yani, YSA'nın temelinde, zekâ gerektiren işlemlerden oluşan bilgi işleme işlevi mevcuttur. Bu sistem tek yönlü işaret bağlantıları ile birbirine bağlanan işlem elemanlarından oluşur. Çıkış işareti bir tane olup isteğe göre çoğaltılabilmektedir. YSA yaklaşımının temel düşüncesiyle, insan beyninin fonksiyonları arasında büyük benzerlik vardır. Bu yüzden YSA sistemine insan beyninin modeli de denilebilir. YSA çevre şartlarına göre davranışlarını şekillenebilir. Girişler ve istenen çıkışların sisteme verilmesi ile kendisini farklı cevaplar verebilecek şekilde ayarlayabilir. Yani son derece esnektir. Ancak son derece karmaşık bir iç yapısı vardır. Onun için bugüne kadar gerçekleştirilen YSA; biyolojik fonksiyonların temel nöronlarını örnek alarak yerine getiren kompozite elemanlar olmuştur.[6]

3.3.2 Nöronun Biyolojik Yapısı ve Nöron Modeli

İnsanın bilgi işleme olayı beyinde gerçekleşir. Gerçektende en karmaşık sinir ağı Cerebral Cortex denilen “beyin”dir. Sinir sisteminin en basit yapısı nöronlardır. Beyinde yaklaşık olarak 10^{10} sinir hücresi vardır. Yine hücre başına bağlantı sayısı ise 10^4 mertebesinde.

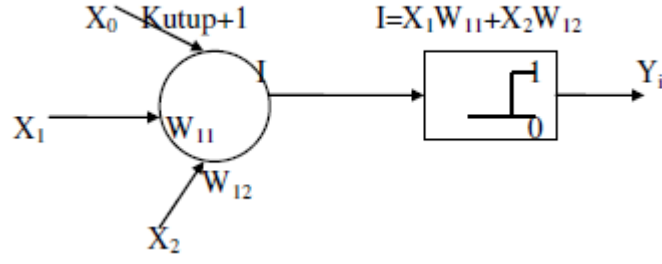
Beyin için çalışma frekansı 100 Hz'dir. Fiziksel boyutları ise 1.3 kg ve 0.15 m² kesitlidir. Vücudun değişik yerleri ile bilgi alışverişi yapan nöron hücresidir. Şekil 3.2 de basit bir nöron hücresi görülmektedir.



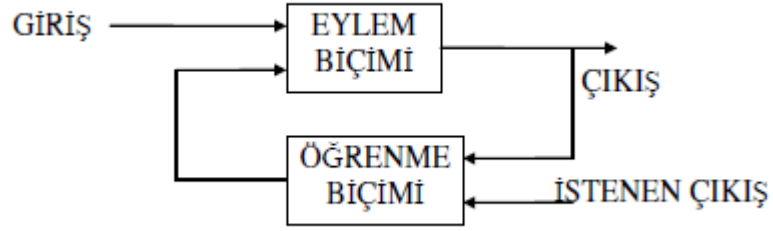
Şekil 3.2 Basit bir nöron yapısı

Nöron, soma adı verilen hücre gövdesi dentrit denilen kıvrımlı uzantılar ve somanın dalları sayesinde nöronu dallarına bağlayan tek sinir fiberli aksondan oluşur. Dendrit'ler hücreye gelen girişleri toplarlar. Dendrit tarafından alınan işaretler hücrede birleştirilerek bir çıkış darbesi üretilip üretilmeyeceğine karar verilir. Eğer bir iş yapılacaksa üretilen çıkış darbesi aksonlar tarafından taşınarak diğer nöronlarla olan bağlantılara veya terminal organlara iletilir. Beyindeki korteksde her nöronun bir karşılığı vardır. Bir nöronun çıkışı ona bağlı olan bütün nöronlara iletilir. Fakat korteks, işin yapılabilmesi için hangi nöron harekete geçirilecekse, sadece ona komut gönderir. Somanın içinde ve çevresinde sodyum, kalsiyum, potasyum ve klor iyonları vardır. Potasyum yoğunluğu nöronun içinde, sodyum yoğunluğu dışındadır. Somanın zarı elektriksel olarak uyarılınca (söz konusu uyarı genellikle bir gerilim düşmesidir) zar, Na ve Ca gibi diğer iyonların içeri geçmesine izin verir ve somanın iç durumunu değiştirir. Nöronlar arasındaki bağlantılar hücre gövdesinde veya "sinaps" adı verilen dendritlerde ki geçitlerde olur. [11]

Yardımcı bir benzetme aksonlarla, dendritleri elektrik sinyallerini nörona ileten değişik empedansdaki yalıtımın iletken olmasıdır. Sinir sistemi milyarlarca nöron ile tek bir nörondan çıkan aksonun 10000 kadar diğer nöronu bağlayan bir ağıdır. Sinapslarla düzeltilen işaretleri taşıyan aksonlar ve dendritlerle içiçe geçmiş nöronlar bir sinir ağı oluştururlar. Şekil 3.3'de en basit formda gösterilen nöron modeli, bir eğik birimi olarak algılanabilir. Şekil 3.4'de ise YSA'nın genel blok şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Nöron modeli



Şekil 3.4 YSA'nın genel blok şeması

Eşik birimi, çıkışları toplayan ve sadece girişin toplamı iç eşik değerini aştığında bir çıkış üreten işlem elemanıdır. Bir eşik birimi olarak nöron sinapslarındaki işaretleri alır ve hepsini toplarlar. Eğer toplanan işaret gücü eşiği geçecek kadar güçlü ise diğer nöronları ve dendritleri uyaran akson boyunca bir işaret gönderilir. Kesişen dendritlerden gelen sinapslarla kapılanan bütün işaretleri soma toplar. Toplam işaret daha sonra nöronun iç eşik değeri ile karşılaştırılır ve eşik değerini aşmışsa aksona bir işaret yayar. YSA, bu basit nöronların (düğümlerin ya da ünitelerin) bağlanarak bir ağ'a dönüştürülmesiyle meydana getirilir.

3.4 Öğrenme Kuralı

Yapay sinir ağlarının öğrenme kuralı, çeşitli kontrol faktörlerine bağlıdır. Yakınsama oranını seçerken bir çok nokta göz önünde bulundurulmalıdır. Yavaş öğrenme oranı sistemi yeterli derecede eğitmek için daha çok süre demektir. Hızlı öğrenme oranlarında ağ, ayrımları (sınıflandırmayı) yeteri kadar doğru biçimde yapmayabilir.

Genel olarak, ağ yapısının kompleksliliği, boyutu, parametre seçimi, mimarisi, öğrenme kuralının tipi ve istenilen doğruluk gibi çeşitli faktörler ağın ne kadar süre ile eğitileceğini belirleyen faktörleri oluşturmaktadır.[6]

GENELLEŞTİRİLMİŞ REGRESYON SİNİR AĞLARI (GRNN)

GRNN olasılıksal sinir ağıları katagorilere ayrılır. Katagorilere ayrılan bu sinirsel ağılar, diğer olasılıksal sinirsel ağılar gibi bir sinir ağının ihtiyacı olarak uygulanan geri yayılım örneklerinin parçalarına gerek duyar. Bir işletim sisteminde ölçümlerden gelen veri genel olarak geri yayımlı bir sinir ağı için yeterli değildir. Bu yüzden olasılıksal bir sinir ağının kullanılması yalnızca birkaç örnek girişin uygulanması ile verinin karakteristik fonksiyonunun anlaşılması açısından avantajlıdır. Beklentiyi karşılayacak bir şekilde uyumu sağlamak için gerekli olan ek bilgi ise nisbeten küçüktür ve kullanıcı tarafından ayrı bir giriş verilmeden gerçekleştirilebilir. Bu özellik GRNN'i sistem performanslarını tahmin etmede ve sistemlerin pratikteki performanslarını kıyaslamada kullanışlı bir araç haline dönüştürür.[6]

4.1 Algoritma

GRNN'de kullanılan olasılık yoğunluk fonksiyonu normal dağılımlıdır. Her uygulanan örnek dizi girişi X_j normal dağıtımı ifade etmek için kullanılır.

$$Y(X) = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \exp\left(-D_i^2 / 2\sigma^2\right)}{\sum_{i=1}^n \exp\left(-D_i^2 / 2\sigma^2\right)}$$
$$D_i^2 = (X - X_i)^T \cdot (X - X_i)$$

(4.1)

Uzaklık (D_j), uygulanan örnek input diziler arasındaki uzaklık ve tahmin noktası, uygulanan her giriş dizisinin tahmin noktasını (X) ne kadar iyi bir şekilde gösterdiğini ölçmede kullanılır. Eğer uygulanan input dizisi ile tahmin noktası arasındaki uzaklık D_j , küçük ise $\exp(-D_j^2/2\sigma^2)$ büyür. $D_j = 0$ için $\exp(-D_j^2/2\sigma^2)$ uygulanan dizilerde belirtilen değerlendirme noktalarından bir tanesi olacaktır. Diğer bütün uygulanan dizi noktalarına olan uzaklık ise daha büyüktür. Büyük bir uzaklık, D_j , $\exp(-D_j^2/2\sigma^2)$ ifadesinin küçülmesine ve böylece diğer uygulanan dizi girişlerinin tahmine olan katkılarının nisbeten küçük olması anlamına gelir.[6]

$Y_j \cdot \exp(-D_j^2/2\sigma^2)$ ifadesi j_{th} uygulanan dizi girişi olup en büyük değerli olanıdır ve tahmine katkısı çok fazladır. Standart sapma yada düzeltme parametresi (σ), aranan hedefdir. Büyük bir düzeltme parametresi için, olası değerlendirme noktasının uygulanan dizi girişi tarafından gösterimi daha büyük bir X değeri ile mümkündür. Küçük bir düzeltme parametresi gösterimi ise daha dar bir X mesafesine karşılık gelecektir.[6]

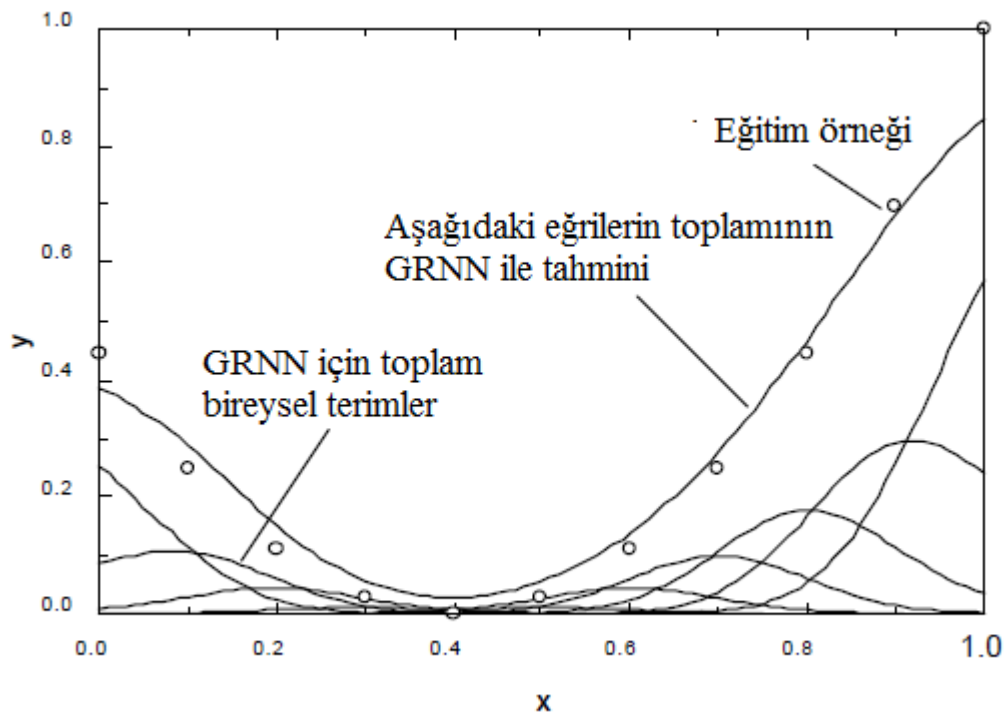
Eşitlik 4.1 ile şunlar mümkündür.

- Az sayıda uygulanacak örnek dizi ile sistem tavrının tahmini
- Tutarlı çok boyutlu eğrilerin tahmini
- Uygulanan diziler arasında bağlantılar kurma

Şekil 4.1’de GRNN ile gerçekleştirilmiş bir tahmin gösteriliyor. Çemberler veri noktalarını ya da örneklerden geçen sürekli bir doğru elde etmek için uygulanan örnek dizileri göstermektedir. Zil şeklindeki eğriler ise eşitlik 4.1’in bağımsız terimleridir. Bu

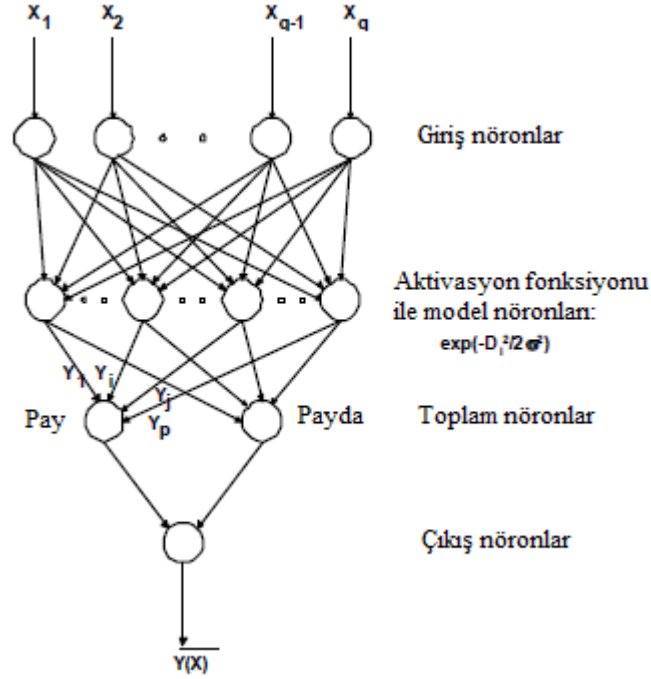
eğrilerden her biri GRNN tahmininde kullanılan eşitlik 4.1 ifadesindeki $Y_j \cdot \exp(-D_j^2/2\sigma^2) / \sum_{i=1}^n \exp(-D_i^2/2\sigma^2)$ teriminin bir terimidir.

Bu terimler normalleştirilmiş normal dağıtımlardır. Her bir terimin her bir pozisyondaki değerlerinin toplamı tahmin edilen değeri yani veri noktalarından geçen sürekli doğruyu verir. Düzeltme parametresi rasgele σ seçilmiştir.[6]



Şekil 4.1 Bireysel terimler tahmini için $\sigma=0.1$ de GRNN katkısı

GRNN mimarisi basitçe gösterilecek olursa şekil 4.2 ye göz atılabilir.



Şekil 4.2 GRNN paralel sinir ağı olarak kullanılabilecek şekilde şeması

4.2 Düzeltme Parametresinin Seçimi

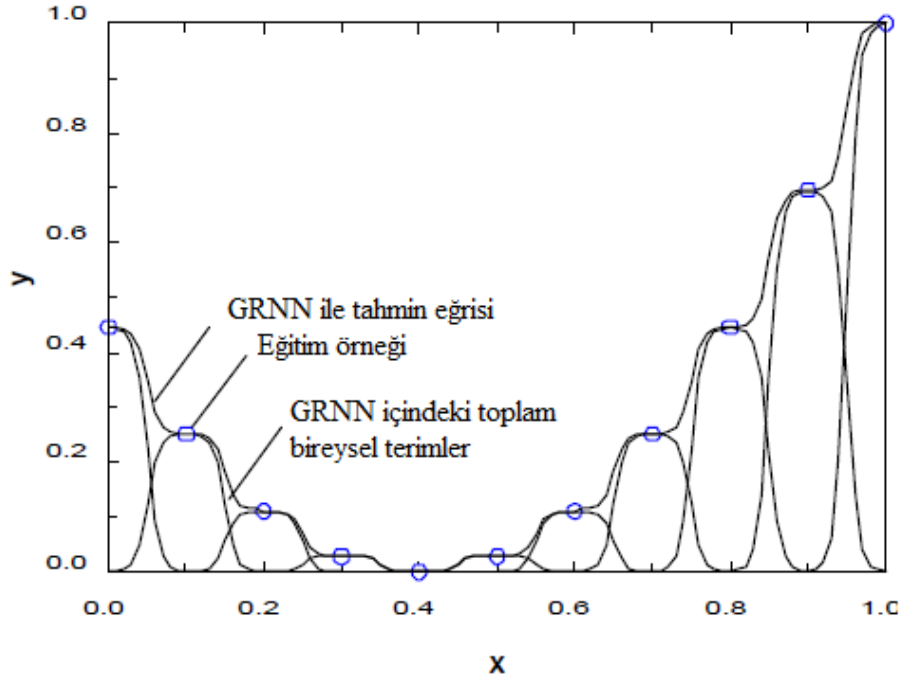
Girişin ön kontrolü için herhangi bir tahmin aracı potansiyel olarak kullanılabilir. Türetilmiş bir algoritma kullanan tahmin aracı kendisi de türetilme içeren algoritmalarda değerlere ihtiyaç duyar. Bunun anlamı şudur ki tahmin aracı yalnızca tahminde yapılan hassaslığın gerçekçiliğini gösteren bir tahmin sunmak değil ayrıca tahmin eğrisini de sunmak zorundadır. Kontrol aracının kullandığı algoritmaya bağlı olarak bu tahmin eğrisi tahmin değerinden daha büyük öneme sahip olabilir. Tahmin aracının kullanımına bağlı olarak hassaslık yahut doğruluk ya da ikisine birden değinmek gereklidir. Yanlış tespit ve bunun düzeltilmesi çeşitli metodları içerebilir, bunlar bir eğri içeren algoritmaları da yaklaşımlarında kullanabilirler, fakat tekrar değinmek lazım ki tahmin aracının kullanımına göre birçok yön önemlidir.

Düzeltilme parametresi uygulama prosedüründeki tek önemli parametredir. Düzeltilme parametresinin aranması için tahmin edilen çıkış değerinin kullanılacağı uygulamaya göre değişen bir çok yön göz önüne alınmak zorundadır.

GRNN'in gösterdiği kötü bir karakteristikte eğride salınımlar olur.(Şekil 4.3) Bir salınım kıvrılma olmaması gereken bir yerde kıvrılma olması olarak tanımlanır. Bu salınımlar o kadar bozucu olabilir ki merdiven şeklinde görünen, olmaması gerektiği halde ortaya çıkan ani değişimli tahminlere yol açar. Şekil 4.3'de yine GRNN kullanılarak yapılmış tahmin gösterilmektedir. Şekil 4.1 ile karşılaştırıldığında eğriler üzerindeki öğelerde çok yakın etkileşim mesafeleri bulunuyor. Her bir terim neredeyse tek başına bu dar yakınlıkta uygulanan örnek dizi tahminini etkileyecek durumda bulunuyor.

Salınımların görünmesindeki yegane bağlantı σ düzeltme katsayısı iledir. Uygulanan dizi örneklerinde birisine yakın bir tahmin için ve yeteri kadar küçük bir düzeltme parametresi için uygulanan komşu dizilerin birbirlerine olan etkisi küçüktür. $\exp(-D_k^2/2\sigma^2)$, değerinin tahmine katkısı, $\exp(-D_j^2/2\sigma^2)$ ifadesinin tahmin edilen değere en yakın olan uygulanmış diziye olan katkısından çok daha küçüktür. Tahmin noktasından uzakta olan uygulanmış dizilerin etkileri göz ardı edilebilir. Normalizasyondan dolayı tahmin değeri kendisine yakın olan uygulanmış örnek dizi değerine ulaşacaktır. (eşitlik 4.2)

Daha büyük bir düzeltme parametresi için komşu etkiler gözardı edilemez. Böyle bir durumda tahmin diğer noktalardan daha çok etkilenecektir ve daha düzeltilmiş, gerçeğe daha yakın şekilde gerçekleştirilecektir.



Şekil 4.3 Aşırı wiggle yöntemiyle bireysel sinyaller dahil GRNN tahmini $\sigma=0.027$

$$\lim_{\sigma \rightarrow 0} \left(\frac{\sum_{i=1}^n Y_i \exp\left(-D_i^2 / 2\sigma^2\right)}{\sum_{i=1}^n \exp\left(-D_i^2 / 2\sigma^2\right)} \right)$$

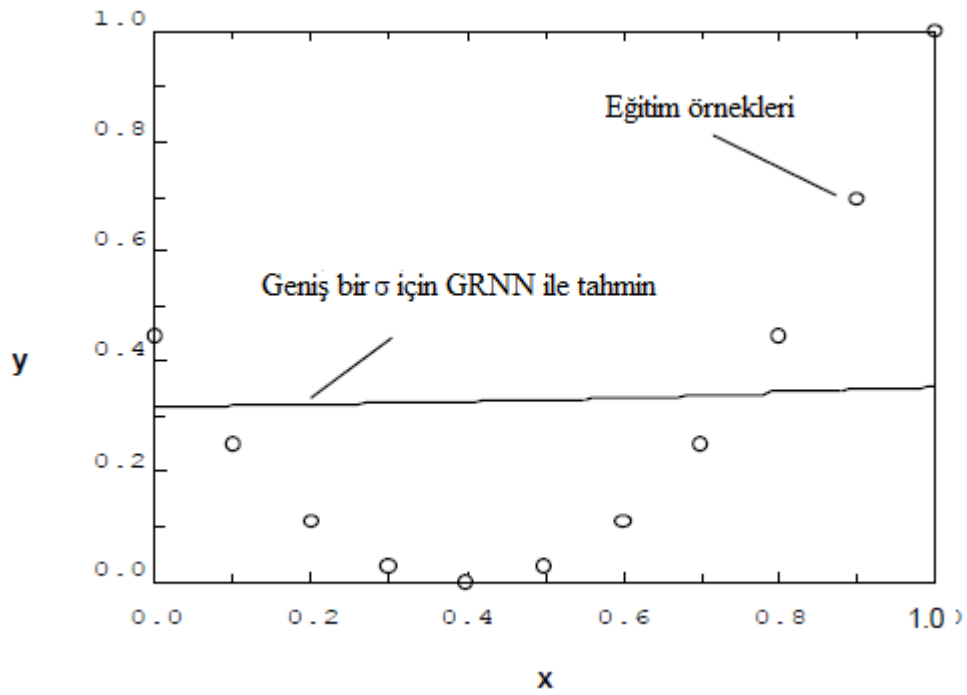
X yakınsar X_j

$$\begin{aligned} & Y_j \lim_{\sigma \rightarrow 0} \exp\left(-D_j^2 / 2\sigma^2\right) + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n Y_i \lim_{\sigma \rightarrow 0} \exp\left(-D_i^2 / 2\sigma^2\right) \\ &= \frac{Y_j \lim_{\sigma \rightarrow 0} \exp\left(-D_j^2 / 2\sigma^2\right) + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n \lim_{\sigma \rightarrow 0} \exp\left(-D_i^2 / 2\sigma^2\right)}{\lim_{\sigma \rightarrow 0} \exp\left(-D_j^2 / 2\sigma^2\right) + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n \lim_{\sigma \rightarrow 0} \exp\left(-D_i^2 / 2\sigma^2\right)} \\ &= \frac{Y_j \lim_{\sigma \rightarrow 0} \exp\left(-D_j^2 / 2\sigma^2\right)}{\lim_{\sigma \rightarrow 0} \exp\left(-D_j^2 / 2\sigma^2\right)} = Y_j \end{aligned}$$

(4.2)

Daha büyük bir σ değeri ile tahmin eğrisi daha düzgün ve salınımsız olacaktır, bazı durumlarda istenen de budur. Mesela eldeki veri çok fazla gürültü içerdiğinde eğer veri bozulmamış doğru bir veri ise tahmin veriyi ayıklamak zorundadır. GRNN veriye daha hassas bir şekilde uyumlu olmak durumundadır ve verinin izlediği yolu izlemek zorundadır. Eğer σ sonsuza ulaşırsa bu durumda tahmin sırasında alınmış olan tüm örnek noktaların ortaması olacaktır. (eşitlik 4.3) [6]

Daha büyük bir düzeltme değerinin etkisi ilk başlarda görünebilir. Şekil 4.4’de bir düzeltme parametresi gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Düzgün bir çizgi boyunca GRNN tahmini $\sigma=1$

$$\begin{aligned}
\lim_{\sigma \rightarrow \infty} \left(\frac{\sum_{i=1}^n Y_i \exp\left(-D_i^2 / 2\sigma^2\right)}{\sum_{i=1}^n \exp\left(-D_i^2 / 2\sigma^2\right)} \right) &= \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \lim_{\sigma \rightarrow \infty} \exp\left(-D_i^2 / 2\sigma^2\right)}{\sum_{i=1}^n \lim_{\sigma \rightarrow \infty} \exp\left(-D_i^2 / 2\sigma^2\right)} \\
&= \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}
\end{aligned} \tag{4.3}$$

Verilerin her zaman ölçüm hatalarından arındırılmamış olduğu gerçeği göz önüne alınarak diyebiliriz ki ortaya çıkan durumlar uygulamadan uygulamaya değişir ve bu yüzden σ seçiminde doğru ya da yanlış yol vardır denilemez.

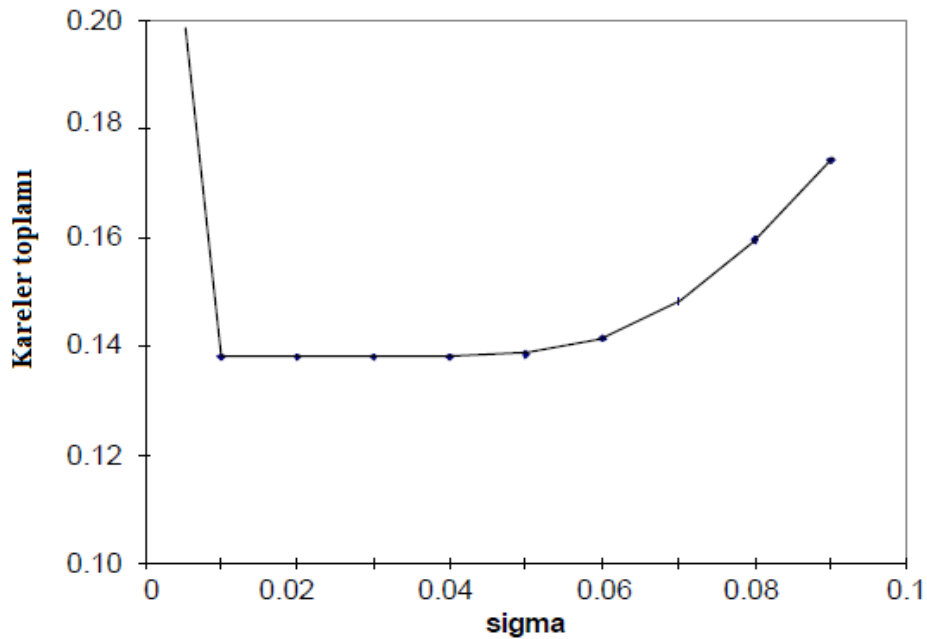
Tahminin uygulaması ve gerekli özellikler σ değerinin seçiminde önemli rol oynarlar. Veriye ve uygulamasına göre düşük hata oranı ile düzgünlük-salınımsızlık arasında bir orta yol bulunmalıdır.

4.2.1 Gizleme Yöntemi

Bazı YSA'cılar şu şekilde bir öngöründe bulunur: iyi bir σ sigma değeri için gizleme metodu kullanılabilir. Gizleme metodunda, tüm örnek kümesinden bir tanesi dikkate alınmaz ve kümeden çıkarılır ve sabit bir σ için kümeden çıkarılan değerin tahmininin geriye kalan verilerle elde edilmesi için GRNN kullanılır. Tahmin değerinin silinmiş örnek değerden farkının karesi hesaplanır ve saklanır. Bu şekildeki tahminler her küme elemanı için aynı σ değeri için yapılır. Bu işlemi bitirdikten sonra elde edilmiş farkların karelerinin ortalaması hesaplanır (ortalama karesel hata). Aynı kümeden silme ve sonra silinen değerinin tahmini için geride kalan değerlerin kullanılması metodu farklı σ değerleri için tekrar edilir. Bütün farkların karelerinin ortalamasının toplamının en

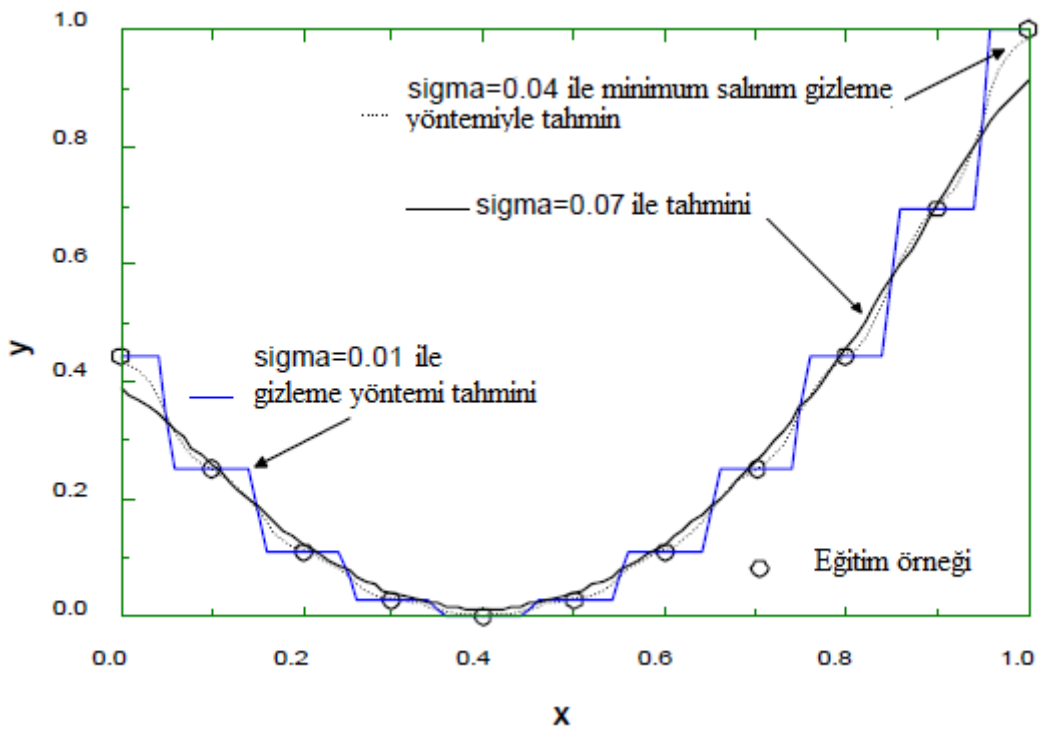
küçük değere ulaşmasını sağlayan σ değeri örnek uygulama dizileri kullanılarak yapılacak tahminde kullanılacak değerdir. Başlarda bu tarzda bir işlemde sınır yoktur ancak sonradan anlaşıldı ki bu süreç bazı koşullar altında istenilen sonuçları vermemektedir. [6]

Gizleme (holdout) metodu çok küçük düzeltme parametreleri ile doğru çalışmaktadır. Eksponansiyel fonksiyonların değerlendirmeleri bu yüzden sayısal hatalara hatta 64 bit veri saklama hatalarına sebep olmaktadır. Diyelim ki sayısal hatalar olmasın, diğer sorun ise kareleri alınmış ifadelerin minimum toplamı, tanımlansada çok geniştir, şekil 4.5’de bu yüzden ulaşılan σ değeri çok kaba bir değerdir. Minimum ölçek içinde seçilen σ değeri yukarıda belirttiğimiz problemlerden bir tanesini ya aşırı salınım ile ya da kabul edilemeyecek derece büyük interpolasyon (veriden farklı ara değerler) şeklinde görünecektir ancak daha çok salınım şeklinde görülmektedir. Şekil 4.5’de gizleme metodunun sonucunu gösteren bir örnek verilmektedir.



Şekil 4.5 Gizleme yöntemi sonucu

Kareli değerlerin toplamı düzeltme parametresine göre bu eğri çizilmiştir. Gizleme metodu $\sigma=0.01$ şeklinde bir düzeltme parametresi kullanımını öngörmüştür. Çıplak gözle gizleme metodu düzeltme parametresi σ 'e kadar bir genişleme öngörüyor. Şekil 4.6'da yukarıdaki örneğe göre seçilmiş düzeltme parametrelerini çizilmiştir. Her iki eğride salınımlar içermektedir. $\sigma=0.01$ düzeltme parametresi için salınımlar merdiven şeklindedir. $\sigma=0.04$ düzeltme parametresi için ise salınımlar daha az keskindir. Tahmin hassasiyeti açısından bu uygulanmış örnek diziler için sonuç çok iyidir ancak eğride görülen değişimler birçok uygulama için kabul edilebilir değildir. Karşılaştırma yapmak amacıyla $\sigma=0.07$ düzeltme parametresi için yapılmış tahmin de eklenmiştir. Bu tahmin salınımsızdır fakat bu yüzden aynı örnek dizi girişlerinde daha az hassasiyettedir. Hangi eğrinin daha iyi olduğu konusunda bir karar verilmek durumundadır. Bu karar ise tahmin kullanılacağı uygulamaya göre yapılacaktır. [6]



Şekil 4.6 Gizleme yöntemi için farklı düzeltme salınım grafikleri

BİR MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜNÜN GRNN TEMELLİ İŞARET-GÜRÜLTÜ SİNİR AĞI MODELİ

Mikrodalga elektroniği bilgisayar destekli tasarımın en önemli alanlarından biride aktif eleman modellemesidir. Günümüz bilgisayar destekli tasarımında izlenen metodlardan biride toplu bir eşdeğer devreye dayalı yaklaşımdır, tabi burada minimum veri kullanımıda önemlidir. Bu amaçla geçmişte birçok eşdeğer devre modeli geliştirilmiş ve günümüzde halen geliştirilmeye devam etmektedir. Bunun nedeni ise transistörün her türlü davranışını gösterebilen bir eşdeğer devre olmamasındadır. Örneğin herhangi bir cihaz için optimize edilen bir eşdeğer devre modeli diğer cihazlar için modelin tam olarak çalışmamasına neden olmaktadır. Toplu eşdeğer devre tasarımının için diğer bir dezavantaj ise gerçekleştirilen çalışmalarda küçük-ışaret ve gürültü performansının birbirinden ayrı ele alınmış olmasıdır. Pasif elemanların mikrodalga frekans bölgesinde davranışlarının daha karmaşık hale geldiği bilindiğine göre, yarı-iletken aktif eleman davranışları, ancak geniş parametre kümeleri içeren ve karmaşık ilişkilere sahip yüksek dereceli lineer olmayan elemanları içeren modeller ile karakterize edilebilirler. Bu sebepten ötürü netice olarak başarılı sonuç veren modelleme tekniklerine ihtiyaç vardır. Bunun yanında teknolojinin hızla gelişimiyle, sürekli yeni yarı iletken cihazlar üretilmektedir. Bunların her bir voltaj ve kutuplama akımı için işaret- gürültü parametrelerinin laboratuarlarda tespit edilmesi hem maddi olarak yüksek hem zaman olarak uzun süreler istemektedir. Hem bu “cost effective” yaklaşımına aykırı olmaktadır. Bununla birlikte yeni transistörlerin bütün davranışlarını gösterebilecek modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle, yeni eşdeğer devre teknolojisinin

formülize edilmesi ve doğrusal olmayan mikrodalga elemanlar için formüllerin üretilmesi amacıyla epeyce vakit alan bir deneme-yanılma işlemi gerçekleştirildiğinden transistörün DC, küçük-ışaret, gürültü ve büyük-ışaret davranışlarını gösteren alternatif ve efektif bir yaklaşım olarak yapay sinir ağları kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları, bilgisayar destekli öğrenme yoluyla yeni transistor davranışlarını modelleme ve böylece daha pratik model geliştirme yeteneğine sahiptir. Yapay sinir ağı yaklaşımı cihazın mevcut eşdeğer devre modelleri ile doğru bir biçimde modellenemediği durumlarda bile daha başarılıdır. Devre teorisi/denklemleri mevcut olmasa bile ölçülmüş veriyi kullanarak öğrenme yoluyla, yeni bir yarı iletken cihaz için sinir ağı modelleri geliştirilebilir. [7]

Aktif elemanların ışaret ve gürültü modelleri, aktif devre tasarımında çok önemli bir alana sahiptir. Yapay sinir ağları ile transistörün ışaret ve gürültü figürleri ile fiziksel/işlem/kutuplama parametreleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi öğrenmek için eğitilebilirler. Burada oluşan ışaret sinir ağı modelinin girişlerini transistörün fiziksel/işlem parametreleri ve kutuplama koşulları oluşturur. Kutuplama çıkışlarını ise saçılma ve gürültü parametreleri oluşturmaktadır. Bir mikrodalga transistörün bir kutuplama noktasındaki küçük-ışaret ve gürültü davranışı çalışma band genişliği (frekans) boyunca saçılma parametreleri (S_{11} , S_{12} , S_{21} ve S_{22}) ve gürültü parametreleri (F_{min} , Γ_{opt} , R_n) ile ifade edilir. Saçılma ve gürültü parametreleri transistörün öz değerleri ve frekansa bağlıdır. Saçılma parametreleri transistörün ışaret güç kazancını ve empedans uyumsuzluğu kayıplarını ifade etmekte kullanılırken, gürültü faktörü transistörün girişi ve çıkışı arasındaki ışaret gürültü oranındaki bozulmayı ifade etmektedir. [7] Bir mikrodalga transistörü için saçılma ve gürültü davranışları ile kutuplama koşulları (V_{ds} , I_{ds}) ve frekans f arasındaki yüksek dereceli doğrusal olmayan ilişkiler, yapay sinir ağları [1], destek vektör makineleri [3] ve bulanık mantık [10] gibi yapay zekâ yöntemleri ile modellenmektedir. Yapay sinir ağı modeli genellikle bir ileri beslemeli ağ yapısı çeşidi olan çok katmanlı algılayıcılardan oluşturulmaktadır.

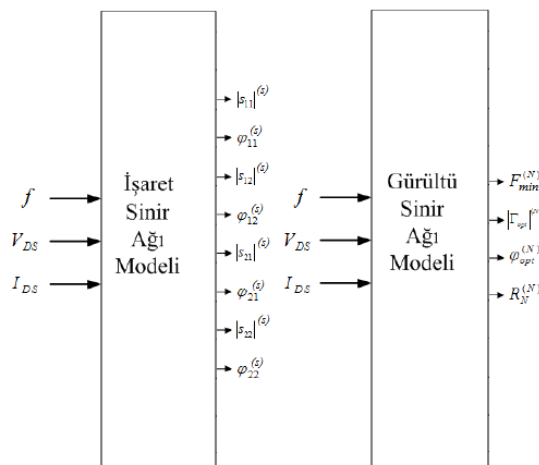
Bu çalışma, mikrodalga transistörün ışaret-gürültü davranışının GRNN temelli sinir ağları ile modellenmesini içeren, ışaret parametresi 0-45 GHz bandında çalışan ilk çalışmadır. Bu çalışmada, daha önce yapay sinir ağı [Şekil 5.2], [Şekil 5.3] modeli

oluşturulan bir kaç mikrodalga transistörün RB, RBE, MLP, temelli sinir ağı oluşturulmuş olan sinir ağlarından daha iyi performans sağladığı gösterilip grafiklerle detaylandırılmıştır.

Süregelen bölümlerde öncelikle bir mikrodalga transistörün işaret ve gürültü davranışına ait olan kara-kutu modeli ve modeli ifade eden veri bileşenleri açıklanacaktır. Daha sonra ise, çalışmada kullanılan yapay sinir ağı yapısı olan çok katmanlı algılayıcıların yapısal, hata hesaplama ve algoritma özellikleri ifade edilecektir. Son kısımlarda ise, gerçekleştirilen modelleme uygulamaları, elde edilen modellerin grafik analizleri ve sayısal sonuçlar verilecektir. Bu kısımların içinde diğer yapay sinir ağları ile karşılaştırmalar içermektedir.

5.1 Bir Mikrodalga Transistörün İşaret-Gürültü Sinir Ağı Modeli

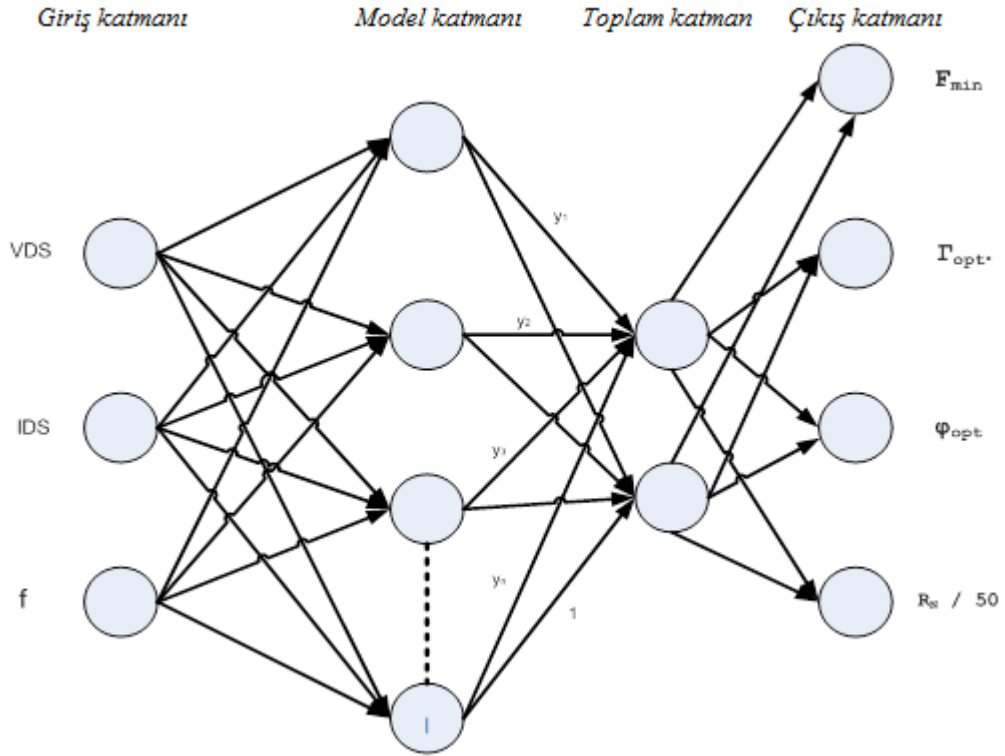
Bir mikrodalga transistörün V_{ds} ve I_{ds} kutuplamaları ve f çalışma frekansındaki işaret figürü (S) ve gürültü figürü (N) davranışı şekil 4.1 deki kara-kutular ile temsil edilebilir. Burada; f , V_{ds} ve I_{ds} giriş uzayı değişkenleri olup, çıkış uzayını ise transistörün işaret ve gürültü davranışını tanımlayan toplam on iki adet fonksiyondan oluşturmaktadır. Sinir ağı modeli, transistörün kutuplama ve işlem parametreleri ile saçılma ve gürültü parametrelerinin genlik ve fazlarının ilişkilendirilmesini sağlamaktadır. Mikrodalga transistörün çalışma noktalarındaki işaret ve gürültü davranışını yüksek doğruluk oranı ile sergileyebilen modeli elde etmek amacıyla çok katmanlı yapay sinir ağları kullanılmıştır.



Şekil 5.1 Bir mikrodalga transistörün işaret ve gürültü sinir ağı kara kutuları

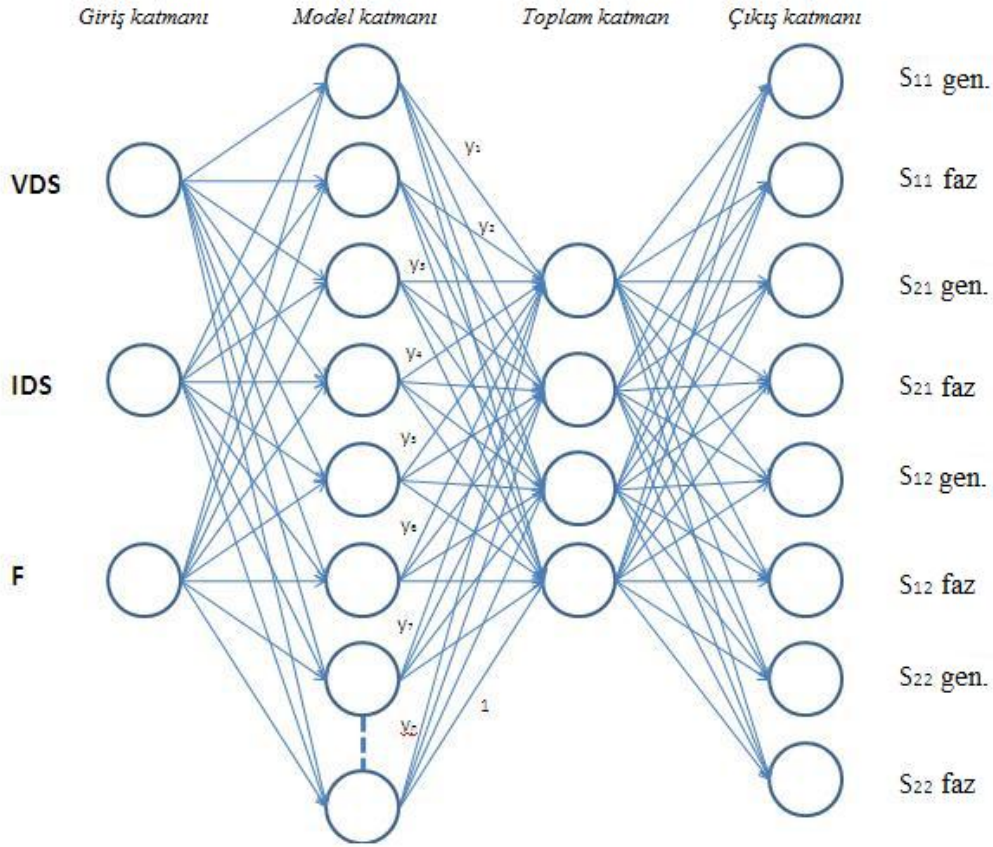
5.2 İşaret-Gürültü Sinir Ağı Modelleri

Belirlenen aktif elemanın işaret-gürültü modelinin oluşturulması amacıyla kutuplama parametreleri ile işaret-gürültü parametrelerinin ilişkilendirilmesi yapay sinir ağı yapıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan sinir ağı modeli iki farklı mimaridedir. Şekil 5.2’de gösterildiği gibi gürültü ağı giriş katmanında 3 adet ve çıkış katmanında ise 4 adet nöron kullanılmıştır. Şekil 5.3’de gösterildiği gibi işaret ağı giriş katmanında 3 adet ve çıkış katmanında ise 8 adet nöron kullanılmıştır.



Şekil 5.2 Gürültü GRNN mimarisinin şematik diyagramı

Oluşturulan sinir ağına transistörün işaret-gürültü davranışını öğretebilmek amacıyla tek bir eğitimde elde edilen GRNN yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen veriler diğer üç sinir ağı (RB, RBE, MLP) ile elde sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Diğer eğitim şekilleri her seferinde farklı sonuç verselerde hiç birisi GRNN kadar başarılı olamamıştır ve böylece üç farklı sinir ağı modeli içinde GRNN nin en iyi sonuç verdiği gösterilmiştir.



Şekil 5.3 İşaret GRNN mimarisinin şematik diyagramı

5.2.1 GRNN Temelli Sinir Ağı Modelleri

Genelleştirilmiş Regresyonlu Ağlar, radyal tabanlı ağların genellikle fonksiyon yaklaşırma problemleri için kullanılmakta olan özel bir halidir. Bu ağlar, belirli sayıda ara katman nöronu ile önemli ölçüde iyi başarı sağlayarak sürekli fonksiyona yaklaşımı gerçekleştirirler. Çok katmanlı ağlardaki gibi sürekli bir eğitime ihtiyaç duymamaktadırlar. Giriş ve çıkış arasında eğitim setinden elde ettiği ilişkiyle herhangi sıradan bir fonksiyona yaklaşabilir. Anlaşılabacağı üzere, eğitim kümesinin boyutları büyüdükçe yaklaşımdaki hata oranı sıfıra yakınsar. GRNN, standart teknikler gibi sürekli değişkenler üzerinde yargıya varılabilmesi için de kullanılır. Temelinde standart bir istatistiksel yöntem olan Kernel yaklaşımını kullanmaktadır. Bu tanıma göre, bağımlı bir y değişkeninin bağımsız bir x değişkenine göre regresyonu, verilen x girişleri ve eğitim kümesine göre y için en çok olasılığa sahip değere yaklaşır. Yaklaşım yöntemi ortalama karesel hatayı (mse) en düşük değere yaklaştıracak şekilde belirlenir. Bu yöntem, belirli bir eğitim kümesinde giriş ve çıkışlar için bileşik olasılık yoğunluk fonksiyonunun da

tahmini için kullanılmaktadır. Ağırlık vektörleri eğitilmez, eğitim setinden belirlenen hedef değerler ağırlık matrisi olarak atanır. [6]

5.2.2 Hata Analizi Hesaplamaları

GRNN temelli sinir ağı modellerinin eğitim ve test performanslarını incelemek ve karşılaştırmak amacıyla (5.1)'de ifade edilen ortalama karesel hata hesabı kullanılmıştır. Sinir ağı modellerinin işaret ve gürültü parametreleri için ortalama karesel hata (mse) oranına göre matlab kodunda bir döngü yapılarak en düşük ortalama karesel hatadaki düzeltme değeri seçilerek o sonuçlar için çalışma gerçekleştirilmiştir.

$$E_{Tr} = \frac{1}{m} \sum_{k \in T_r} \sum_{j=1}^m (y_j(x_k, w) - d_{jk})^2 \quad (5.1)$$

Burada; d_{jk} , j. hedef çıkışını, $Y_j(X_k, W)$ X_k girişi için j. ağ çıkışını ve T_r ise eğitim verisi indeksini sembolize etmektedir.

5.3 Uygulama Örneği: VMMK-1225'in Gürültü Modeli

5.3.1 Tek Kutuplamalı Eğitim Modeli ve Test Verisi

Bu bölümdeki çalışmada, modellenecek aktif mikrodalga eleman olarak VMMK-1225 (Ek-A) transistörü seçilmiştir. Transistörün gürültü parametreleri, $V_{DS} = \{1,5V, 2V, 3V, 4V\}$ kutuplama gerilimi ve her kutuplama gerilimi için $I_{DS} = \{5mA, 10mA, 15mA, 20mA\}$ kutuplama akımından oluşan toplam 16 adet kutuplama koşulunda 2 GHz-17 GHz frekans aralığında elde edilmiş olan üretici verilerinden elde edilmiştir. İşaret ve gürültü verileri 16 ayırık frekans noktasında tanımlanmıştır. Modelin eğitim ve test verisi 4 farklı veri grubu için oluşturulmuştur:

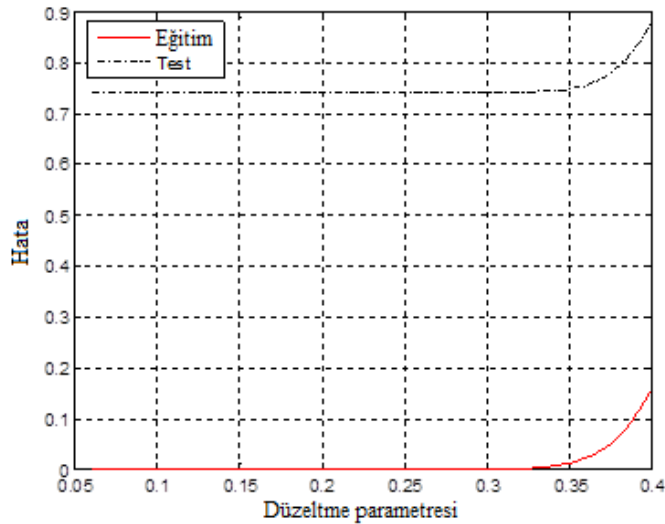
- Ekstrapolasyon-I: Eğitim Verisi, $V_{ds} = 1,5V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20)$ mA olmak üzere 64 veri, test verisi ise $V_{ds} = (2, 3, 4) V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20)$ mA olmak üzere 192 adet veri içermektedir.

- Ekstrapolasyon-II: Eğitim Verisi, $V_{ds} = 2V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20)$ mA olmak üzere 64 veri, test verisi ise $V_{ds} = (1,5, 3, 4)$ V & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20)$ mA olmak üzere 192 adet veri içermektedir.
- Ekstrapolasyon-III: Eğitim Verisi, $V_{ds} = 3V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20)$ mA olmak üzere 64 veri, test verisi ise $V_{ds} = (1,5, 2, 4)$ V & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20)$ mA olmak üzere 192 adet veri içermektedir.
- Ekstrapolasyon-IV: Eğitim Verisi, $V_{ds} = 4V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20)$ mA olmak üzere 64 veri, test verisi ise $V_{ds} = (1,5, 2, 3)$ V & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20)$ mA olmak üzere 192 adet veri içermektedir.

Sinir ağı modelinin eğitim ve test verileri farklı değer aralıklarına sahiptir.

5.3.2 Sinir Ağı Model Sonuçları

Transistörün gürültü davranışını modellemek amacıyla sinir ağı yapısı oluşturulmuş ve bu ağıın eğitim ve test performansları ise farklı veri grupları kullanılarak değerlendirilmiştir. GRNN temelli sinir ağlarının elde ettikleri optimum ağırlık kümesi, aynı verilerle eğitim işleminde farklılık göstermediğinden, eğitim veya test performansları da aynı uygulamayı her denemede aynı değerleri vermektedir. Elde edilen sinir ağı modellerinin farklı veri kümeleri için eğitim ve test performansları takip eden alt bölümlerde verilmiştir.



Şekil 5.4 Yayılma parametresi ile hata değişimi

Çizelge 5.1 Sinir ağı modellerinin eğitim performansları

Ortalama Eğitim Hatası (mse)	
Ekstrapolasyon-I Uygulaması	1.4891e-011
Ekstrapolasyon-II Uygulaması	6.3959e-012
Ekstrapolasyon-III Uygulaması	3.6356e-029
Ekstrapolasyon-IV Uygulaması	1.6075e-014

Çizelge 5.2 Sinir ağı modellerinin test performansları

Ortalama Test Hatası (mse)	
Ekstrapolasyon-I Uygulaması	1.7293e-007
Ekstrapolasyon-II Uygulaması	1.0522e-007
Ekstrapolasyon-III Uygulaması	1.3403e-007
Ekstrapolasyon-IV Uygulaması	1.7900e-007

5.3.2.1 Ekstrapolasyon-I Uygulaması

GRNN temelli sinir ağlarının eğitim performansları Şekil 5.4’de ortalama yakınsama eğrileri ile gösterilmiştir. Ayrıca, eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.

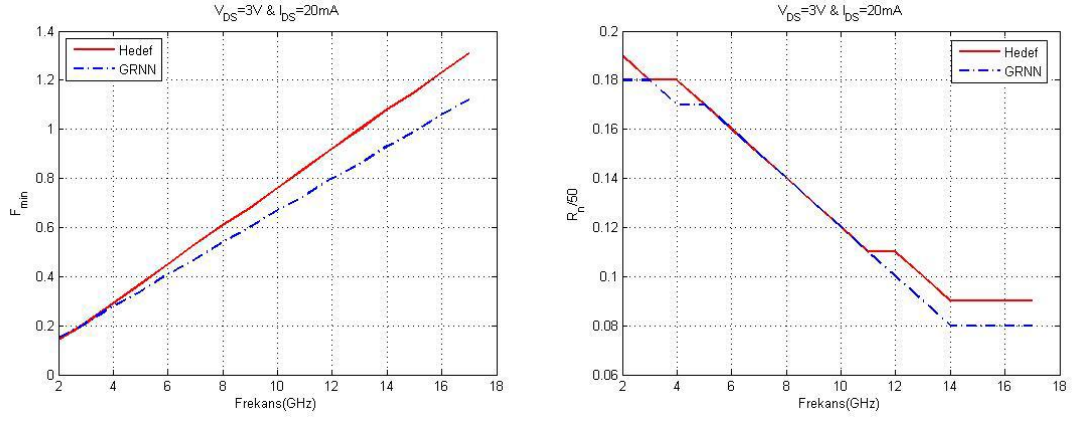
Sinir ağı modellerinden elde edilen test sonuçları hedef değerleri ile karşılaştırmalı olarak iki farklı düzlemde verilmiştir: Eğitim dataları için hedef ve öngörülen çizelge 5.3 de, test için hedef ve öngörülen çizelge 5.4 de gösterilmiştir. $V_{ds} = 3V$ & $I_{ds} = 20mA$ için elde edilen gürültü parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.5-5.6), ϕ_{opt} ’un frekansla değişimleri polar formda (Şekil 5.7) gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 $V_{ds}=1,5V$ $I_{ds}=5mA$ eğitim için hedef ve öngörülen veriler

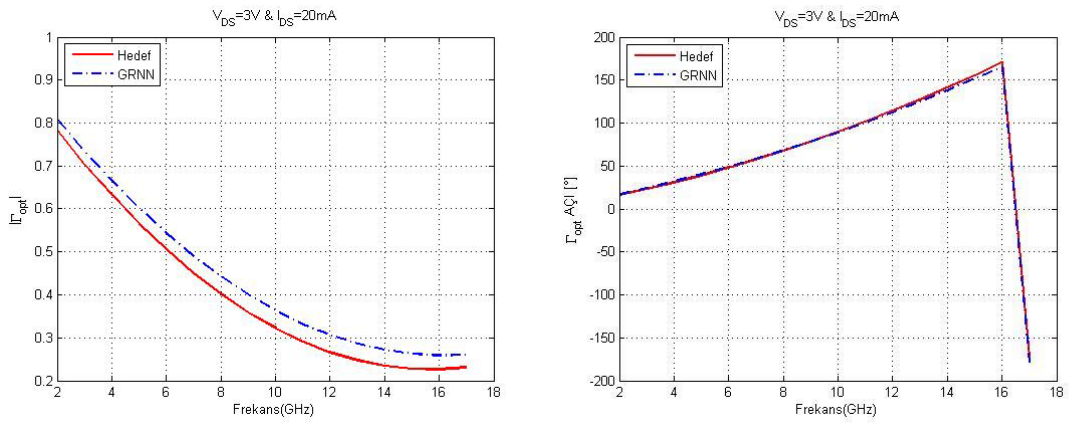
$V_{ds} (V) = 1.5$								
$I_{ds} (mA) = 5$								
Frekans (GHz)	F_{min} (dB)		ϕ_{opt}				$R_n / 50$ (normalize)	
			genlik		açı			
	hedef	tahmin	hedef	tahmin	hedef	tahmin	hedef	Tahmin
2	0.13	0.1301	0.826	0.8259	18.8	18.8099	0.25	0.25
3	0.2	0.2	0.773	0.773	27.4	27.4003	0.25	0.25
4	0.27	0.27	0.723	0.723	36.3	36.3002	0.24	0.24
5	0.34	0.34	0.677	0.677	45.4	45.4002	0.23	0.23
6	0.41	0.41	0.635	0.635	54.7	54.7002	0.21	0.21
7	0.48	0.48	0.596	0.596	64.2	64.2003	0.2	0.2
8	0.55	0.55	0.561	0.561	74	74.0002	0.18	0.18
9	0.63	0.63	0.529	0.529	84	84.0002	0.16	0.16
10	0.7	0.7	0.5	0.5	94.2	94.2003	0.14	0.14
11	0.77	0.77	0.476	0.476	104.7	104.7002	0.12	0.12
12	0.84	0.84	0.454	0.454	115.4	115.4002	0.11	0.11
13	0.91	0.91	0.436	0.436	126.3	126.3003	0.09	0.09
14	0.98	0.98	0.422	0.422	137.5	137.5002	0.08	0.08
15	1.05	1.05	0.411	0.411	148.9	148.9002	0.07	0.07
16	1.12	1.12	0.404	0.404	160.5	160.5002	0.06	0.06
17	1.19	1.1899	0.4	0.4	172.3	172.2865	0.06	0.06

Çizelge 5.4 $V_{ds}=3V$ $I_{ds}=20mA$ test için hedef ve öngörülen veriler

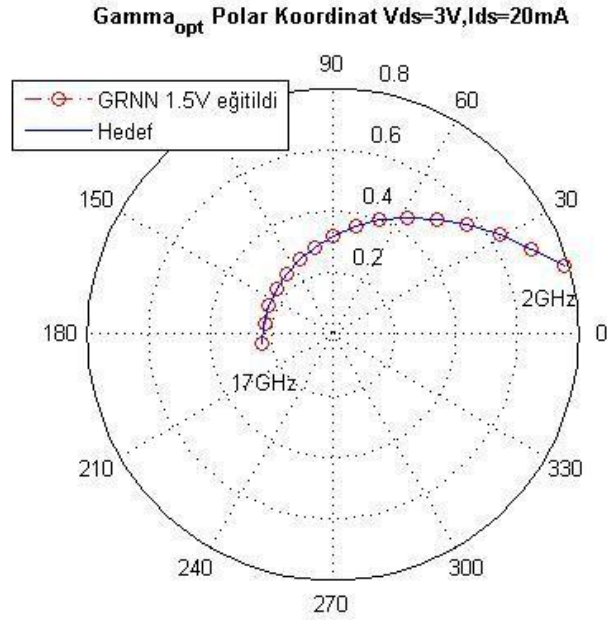
$V_{ds} (V) = 3$								
$I_{ds} (mA) = 20$								
Frekans (GHz)	F_{min} (dB)		ϕ_{opt}				$R_n / 50$ (normalize)	
			genlik		açı			
	hedef	tahmin	hedef	tahmin	hedef	tahmin	hedef	Tahmin
2	0.14	0.1501	0.783	0.8089	16.4	16.8083	0.19	0.18
3	0.21	0.21	0.704	0.734	23.4	24.0007	0.18	0.18
4	0.29	0.28	0.632	0.665	30.9	31.8005	0.18	0.17
5	0.37	0.34	0.565	0.601	39.1	40.0007	0.17	0.17
6	0.45	0.41	0.505	0.543	48	48.8007	0.16	0.16
7	0.53	0.47	0.45	0.49	57.4	58.2005	0.15	0.15
8	0.61	0.54	0.402	0.442	67.6	68.0007	0.14	0.14
9	0.68	0.6	0.359	0.4	78.3	78.4006	0.13	0.13
10	0.76	0.67	0.322	0.363	89.7	89.3006	0.12	0.12
11	0.84	0.73	0.291	0.332	101.7	100.7006	0.11	0.11
12	0.92	0.8	0.266	0.307	114.3	112.6007	0.11	0.1
13	1	0.86	0.247	0.286	127.6	125.1006	0.1	0.09
14	1.08	0.93	0.234	0.272	141.5	138.1006	0.09	0.08
15	1.15	0.99	0.227	0.262	156	151.6006	0.09	0.08
16	1.23	1.06	0.226	0.259	171.2	165.1881	0.09	0.08
17	1.31	1.1199	0.231	0.26	-173	-179.4037	0.09	0.08



Şekil 5.5 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi



Şekil 5.6 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi



Şekil 5.7 Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi

5.3.2.2 Ekstrapolasyon-II Uygulaması

Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.

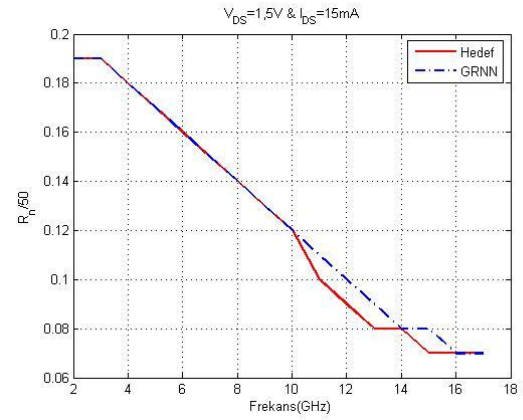
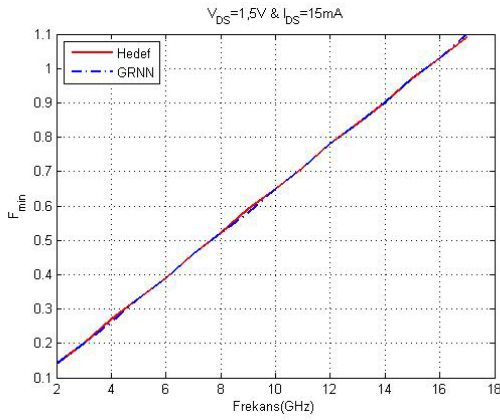
Sinir ağı modellerinden elde edilen test sonuçları hedef değerleri ile karşılaştırmalı olarak iki farklı düzlemde verilmiştir: Eğitim dataları için hedef ve öngörülen çizelge 5.5 de, test için hedef ve öngörülen çizelge 5.6 de gösterilmiştir. $V_{ds} = 1,5V$ & $I_{ds} = 15mA$ için elde edilen gürültü parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.8-5.9), ϕ_{opt} ’un frekansla değişimleri polar formda (Şekil 5.10) gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 $V_{ds}=2V$ $I_{ds}=10mA$ eğitim için hedef ve öngörülen veriler

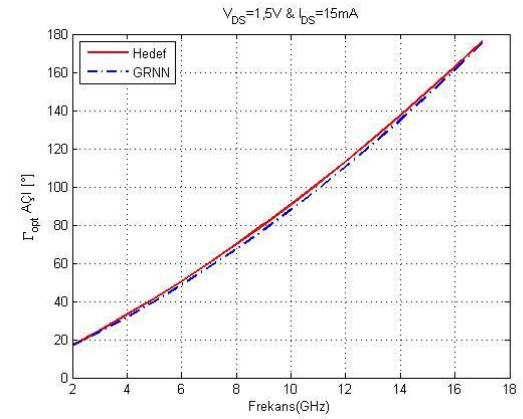
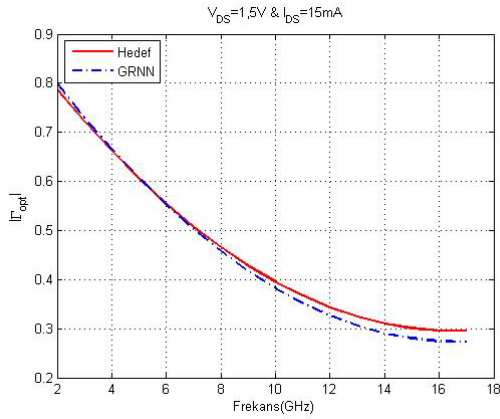
$V_{ds}(V) = 2$								
$I_{ds}(mA) = 10$								
Frekans (GHz)	F_{min} (dB)		ϕ_{opt}				$R_n / 50$ (normalize)	
			genlik		açı			
	hedef	tahmin	hedef	tahmin	hedef	tahmin	hedef	Tahmin
2	0.13	0.1301	0.803	0.8029	17.7	17.7088	0.2	0.2
3	0.2	0.2	0.739	0.739	25.4	25.4005	0.19	0.19
4	0.26	0.26	0.679	0.679	33.5	33.5003	0.19	0.19
5	0.33	0.33	0.623	0.623	41.9	41.9005	0.18	0.18
6	0.4	0.4	0.572	0.572	50.7	50.7003	0.17	0.17
7	0.47	0.47	0.526	0.526	59.8	59.8005	0.16	0.16
8	0.53	0.53	0.484	0.484	69.3	69.3005	0.15	0.15
9	0.6	0.6	0.447	0.447	79.2	79.2003	0.13	0.13
10	0.67	0.67	0.414	0.414	89.4	89.4005	0.12	0.12
11	0.74	0.74	0.386	0.386	100	100.0003	0.11	0.11
12	0.8	0.8	0.363	0.363	110.9	110.9005	0.1	0.1
13	0.87	0.87	0.344	0.344	122.2	122.2003	0.09	0.09
14	0.94	0.94	0.33	0.33	133.8	133.8005	0.08	0.08
15	1	1	0.32	0.32	145.8	145.8005	0.07	0.07
16	1.07	1.07	0.315	0.315	158.2	158.2003	0.07	0.07
17	1.14	1.1399	0.315	0.315	170.9	170.8854	0.07	0.07

Çizelge 5.6 $V_{ds}=1,5V$ $I_{ds}=15mA$ test için hedef ve öngörülen veriler

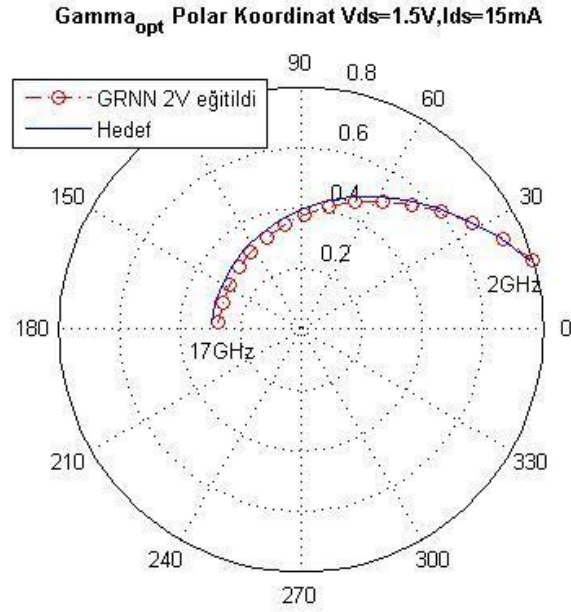
V_{ds} (V)	= 1,5							
I_{ds} (mA)	= 15							
Frekans (GHz)	F_{min} (dB)		ϕ_{opt}				$R_n / 50$	
	hedef	tahmin	genlik	tahmin	hedef	açı	hedef	Tahmin
2	0.14	0.1401	0.787	0.7989	16.9	16.8084	0.19	0.19
3	0.2	0.2	0.722	0.73	24.8	24.1005	0.19	0.19
4	0.27	0.26	0.661	0.665	33	31.8006	0.18	0.18
5	0.33	0.33	0.605	0.606	41.6	40.0005	0.17	0.17
6	0.39	0.39	0.554	0.552	50.6	48.6007	0.16	0.16
7	0.46	0.46	0.507	0.502	60	57.8005	0.15	0.15
8	0.52	0.52	0.465	0.457	69.9	67.4005	0.14	0.14
9	0.59	0.58	0.428	0.417	80.1	77.4007	0.13	0.13
10	0.65	0.65	0.395	0.382	90.7	88.0005	0.12	0.12
11	0.71	0.71	0.367	0.352	101.7	99.0006	0.1	0.11
12	0.78	0.78	0.343	0.327	113.1	110.5006	0.09	0.1
13	0.84	0.84	0.324	0.306	125	122.5005	0.08	0.09
14	0.9	0.9	0.31	0.29	137.2	134.9006	0.08	0.08
15	0.97	0.97	0.301	0.28	149.8	147.8006	0.07	0.08
16	1.03	1.03	0.296	0.274	162.8	161.2005	0.07	0.07
17	1.09	1.0999	0.296	0.273	176.2	174.9842	0.07	0.07



Şekil 5.8 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi



Şekil 5.9 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi



Şekil 5.10 Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi

5.3.2.3 Ekstrapolasyon-III Uygulaması

Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.

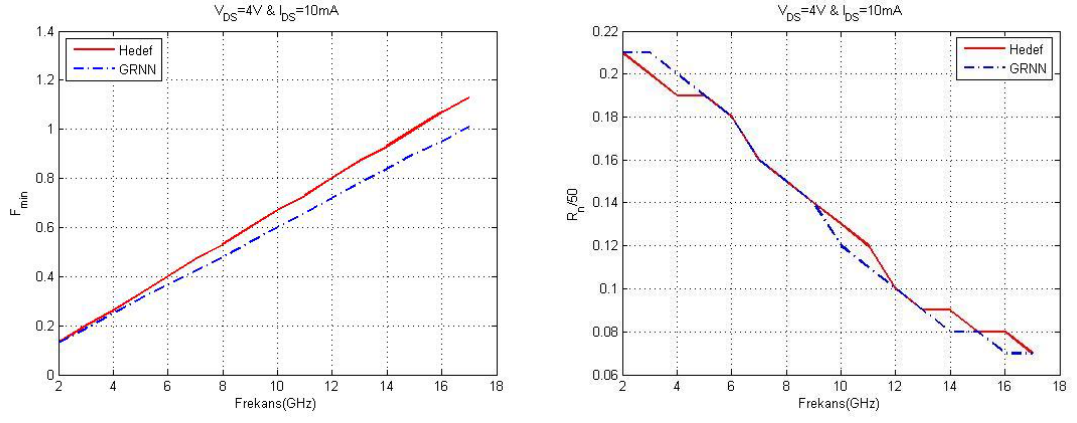
Sinir ağı modellerinden elde edilen test sonuçları hedef değerleri ile karşılaştırmalı olarak iki farklı düzlemde verilmiştir: Eğitim dataları için hedef ve öngörülen çizelge 5.7 de, test için hedef ve öngörülen çizelge 5.8 de gösterilmiştir. $V_{ds} = 4V$ & $I_{ds} = 10mA$ için elde edilen gürültü parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.11-5.12), ϕ_{opt} ’un frekansla değişimleri polar formda (Şekil 5.13) gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 $V_{ds}=3V$ $I_{ds}=15mA$ eğitim için hedef ve öngörülen veriler

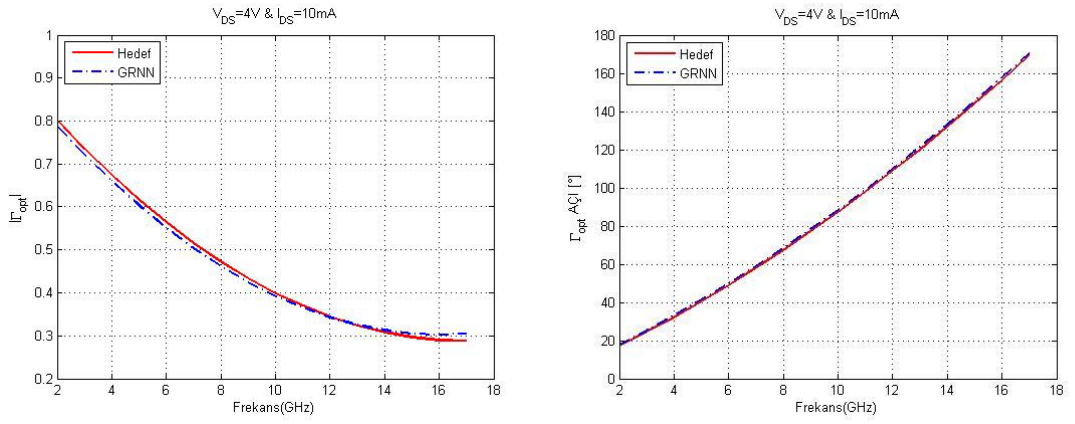
$V_{ds} (V) = 3$								
$I_{ds} (mA) = 15$								
Frekans (GHz)	F_{min} (dB)		ϕ_{opt}				$R_n / 50$	
			genlik		açı		(normalize)	
	hedef	tahmin	hedef	tahmin	hedef	tahmin	hedef	Tahmin
2	0.12	0.1201	0.792	0.7919	16.7	16.7081	0.2	0.2
3	0.18	0.18	0.72	0.72	23.8	23.8006	0.19	0.19
4	0.25	0.25	0.653	0.653	31.4	31.4006	0.18	0.18
5	0.32	0.32	0.592	0.592	39.5	39.5006	0.18	0.18
6	0.38	0.38	0.535	0.535	48.1	48.1006	0.17	0.17
7	0.45	0.45	0.484	0.484	57.2	57.2007	0.16	0.16
8	0.52	0.52	0.438	0.438	66.9	66.9006	0.14	0.14
9	0.58	0.58	0.397	0.397	77.1	77.1006	0.13	0.13
10	0.65	0.65	0.361	0.361	87.8	87.8006	0.12	0.12
11	0.71	0.71	0.331	0.331	99	99.0006	0.11	0.11
12	0.78	0.78	0.305	0.305	110.7	110.7006	0.1	0.1
13	0.85	0.85	0.285	0.285	122.9	122.9006	0.09	0.09
14	0.91	0.91	0.27	0.27	135.6	135.6007	0.09	0.09
15	0.98	0.98	0.26	0.26	148.9	148.9006	0.08	0.08
16	1.05	1.05	0.255	0.255	162.7	162.7005	0.08	0.08
17	1.11	1.1099	0.256	0.256	176.9	176.8837	0.08	0.08

Çizelge 5.8 $V_{ds}=4V$ $I_{ds}=10mA$ test için hedef ve öngörülen veriler

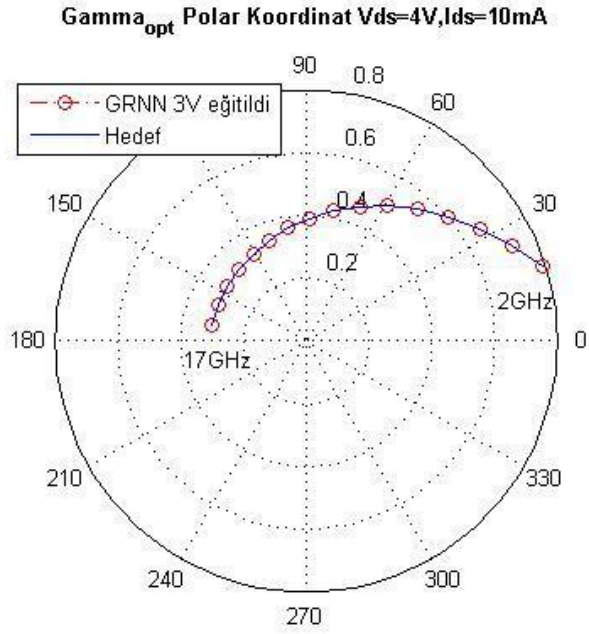
$V_{ds} (V) = 4$								
$I_{ds} (mA) = 10$								
Frekans (GHz)	F_{min} (dB)		ϕ_{opt}				$R_n / 50$	
			genlik		açı		(normalize)	
	hedef	tahmin	hedef	tahmin	hedef	tahmin	hedef	Tahmin
2	0.13	0.1301	0.802	0.7879	17.2	17.5086	0.21	0.21
3	0.2	0.19	0.735	0.722	24.6	25.0006	0.2	0.21
4	0.26	0.25	0.674	0.66	32.3	33.0003	0.19	0.2
5	0.33	0.31	0.616	0.603	40.5	41.3003	0.19	0.19
6	0.4	0.37	0.564	0.551	49	49.9006	0.18	0.18
7	0.47	0.42	0.516	0.504	58	59.0003	0.16	0.16
8	0.53	0.48	0.472	0.462	67.3	68.4006	0.15	0.15
9	0.6	0.54	0.434	0.424	77.1	78.3003	0.14	0.14
10	0.67	0.6	0.399	0.392	87.2	88.5003	0.13	0.12
11	0.73	0.66	0.37	0.365	97.8	99.0006	0.12	0.11
12	0.8	0.72	0.345	0.343	108.7	110.0003	0.1	0.1
13	0.87	0.78	0.324	0.325	120	121.3006	0.09	0.09
14	0.93	0.84	0.308	0.313	131.8	133.1003	0.09	0.08
15	1	0.9	0.297	0.305	143.9	145.2005	0.08	0.08
16	1.07	0.95	0.29	0.302	156.4	157.7003	0.08	0.07
17	1.13	1.0099	0.288	0.305	169.3	170.4853	0.07	0.07



Şekil 5.11 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi



Şekil 5.12 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi



Şekil 5.13 Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi

5.3.2.4 Ekstrapolasyon-IV Uygulaması

Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.

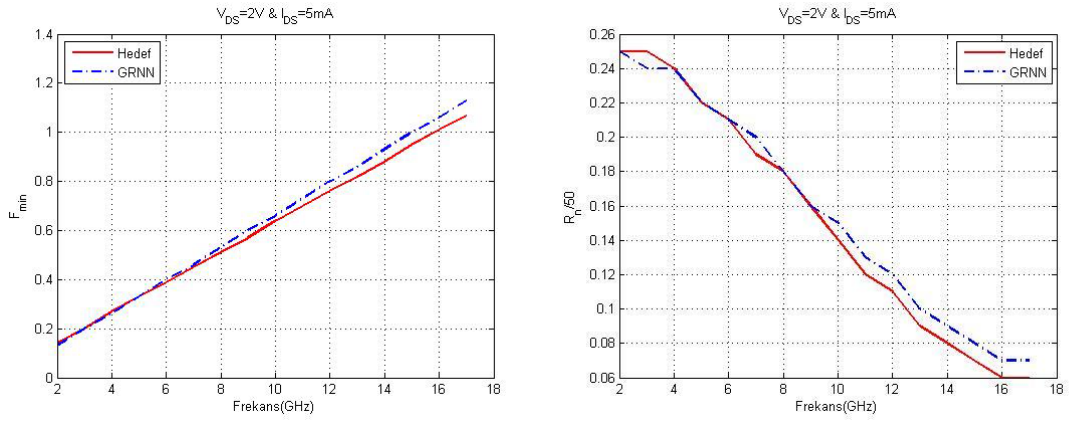
Sinir ağı modellerinden elde edilen test sonuçları hedef değerleri ile karşılaştırmalı olarak iki farklı düzlemde verilmiştir: Eğitim dataları için hedef ve öngörülen çizelge 5.9 de, test için hedef ve öngörülen çizelge 5.10 de gösterilmiştir. $V_{ds} = 2V$ & $I_{ds} = 5mA$ için elde edilen gürültü parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.14-5.15), ϕ_{opt} ’un frekansla değişimleri polar formda (Şekil 5.16) gösterilmiştir.

Çizelge 5.9 $V_{ds}=4V$ $I_{ds}=20mA$ eğitim için hedef ve öngörülen veriler

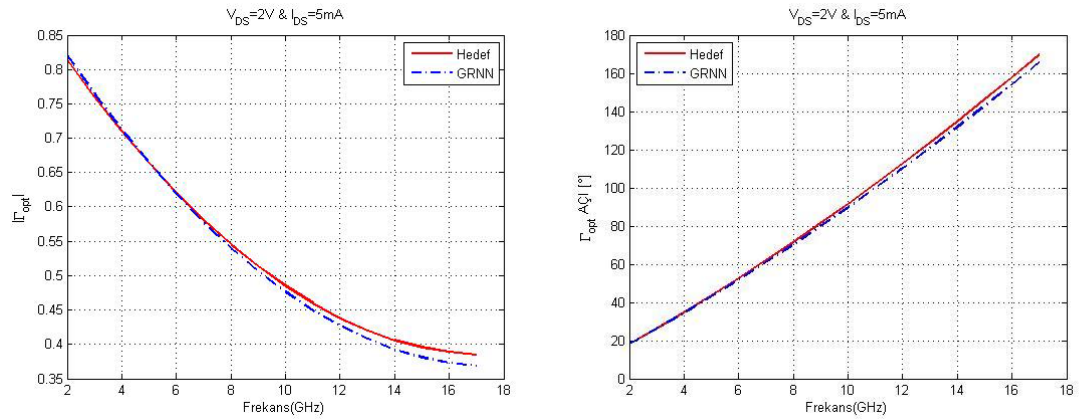
$V_{ds}(V) = 4$								
$I_{ds}(mA) = 20$								
Frekans (GHz)	F_{min} (dB)		ϕ_{opt}				$R_n / 50$ (normalize)	
	hedef	tahmin	genlik		açı		hedef	Tahmin
2	0.14	0.1401	0.776	0.7759	16.4	16.4078	0.2	0.2
3	0.22	0.22	0.697	0.697	23.2	23.2008	0.19	0.19
4	0.3	0.3	0.625	0.625	30.7	30.7008	0.19	0.19
5	0.37	0.37	0.558	0.558	38.9	38.9007	0.18	0.18
6	0.45	0.45	0.498	0.498	47.7	47.7009	0.17	0.17
7	0.53	0.53	0.443	0.443	57.3	57.3007	0.16	0.16
8	0.6	0.6	0.395	0.395	67.5	67.5008	0.15	0.15
9	0.68	0.68	0.352	0.352	78.4	78.4007	0.14	0.14
10	0.75	0.75	0.316	0.316	89.9	89.9008	0.13	0.13
11	0.83	0.83	0.286	0.286	102.1	102.1008	0.12	0.12
12	0.91	0.91	0.261	0.261	115	115.0008	0.11	0.11
13	0.98	0.98	0.243	0.243	128.6	128.6008	0.1	0.1
14	1.06	1.06	0.231	0.231	142.9	142.9007	0.1	0.1
15	1.14	1.14	0.224	0.224	157.8	157.8008	0.09	0.09
16	1.21	1.21	0.224	0.224	173.4	172.9882	0.09	0.09
17	1.29	1.2899	0.23	0.23	-170.3	-169.9056	0.09	0.09

Çizelge 5.10 $V_{ds}=2V$ $I_{ds}=5mA$ test için hedef ve öngörülen veriler

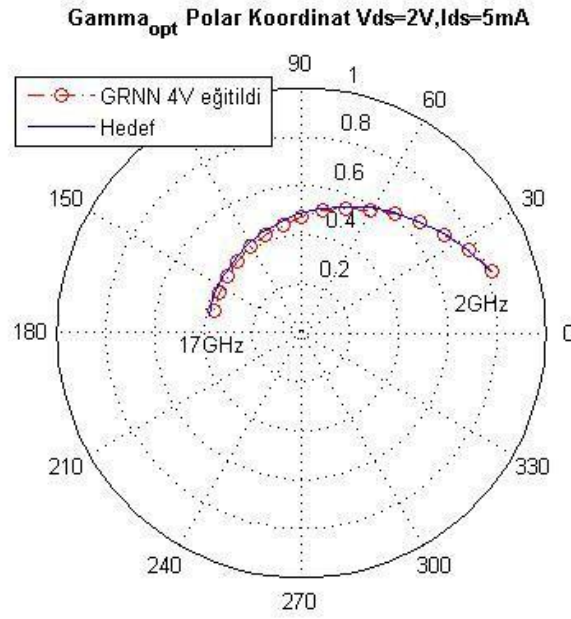
$V_{ds} (V) = 2$								
$I_{ds} (mA) = 5$								
Frekans (GHz)	F_{min} (dB)		ϕ_{opt}				$R_n / 50$	
	hedef	tahmin	genlik	tahmin	hedef	açı	hedef	Tahmin
2	0.14	0.1301	0.814	0.8209	18	18.1092	0.25	0.25
3	0.2	0.2	0.76	0.765	26.3	26.1003	0.25	0.24
4	0.27	0.26	0.71	0.712	34.8	34.4003	0.24	0.24
5	0.33	0.33	0.663	0.664	43.6	43.0002	0.22	0.22
6	0.39	0.4	0.62	0.619	52.7	51.8003	0.21	0.21
7	0.45	0.46	0.581	0.577	62	60.9002	0.19	0.2
8	0.51	0.53	0.545	0.54	71.6	70.2003	0.18	0.18
9	0.57	0.6	0.513	0.506	81.4	79.8002	0.16	0.16
10	0.64	0.66	0.485	0.476	91.5	89.6005	0.14	0.15
11	0.7	0.73	0.46	0.449	101.9	99.8001	0.12	0.13
12	0.76	0.8	0.438	0.427	112.5	110.1005	0.11	0.12
13	0.82	0.86	0.42	0.408	123.4	120.8002	0.09	0.1
14	0.88	0.93	0.406	0.392	134.6	131.7002	0.08	0.09
15	0.95	1	0.396	0.381	146	142.8003	0.07	0.08
16	1.01	1.06	0.389	0.373	157.7	154.2003	0.06	0.07
17	1.07	1.1299	0.385	0.369	169.6	165.8866	0.06	0.07



Şekil 5.14 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi



Şekil 5.15 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi



Şekil 5.16 Frekans ile φ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi

5.4 Uygulama Örneği: VMMK-1225'in İşaret Modeli

Çalışmada, modellenecek aktif mikrodalga eleman olarak VMMK-1225 (Ek-A) transistörü seçilmiştir. Transistörün işaret parametreleri, $V_{ds} = \{1,5V, 2V, 3V, 4V\}$ kutuplama gerilimi ve her kutuplama gerilimi için $I_{ds} = \{5mA, 10mA, 15mA, 20mA\}$ kutuplama akımından oluşan toplam 16 adet kutuplama koşulunda 2 GHz-45 GHz frekans aralığında elde edilmiş olan üretici verilerinden elde edilmiştir. İşaret ve gürültü verileri 44 ayrıık frekans noktasında tanımlanmıştır. Çalışmamızda iki ve tek kutuplama örneklerinin yanı sıra diğer modeller ile karşılaştırmalı sonuçlar gösterilmiştir.

5.4.1 İki Kutuplamalı Eğitim Modeli ve Test Verisi

Modelin eğitim ve test verisi 4 farklı veri grubu için oluşturulmuştur.

- İnterpolasyon-I: Eğitim Verisi, $V_{ds} = (1,5, 4) V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) mA$ olmak üzere 352 veri, test verisi ise $V_{ds} = 2V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) mA$ olmak üzere 176 adet veri içermektedir.
- İnterpolasyon-II: Eğitim Verisi, $V_{ds} = (1,5, 4) V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) mA$ olmak üzere 352 veri, test verisi ise $V_{ds} = 3V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) mA$ olmak üzere 176 adet veri içermektedir.

- Ekstrapolasyon-I: Eğitim Verisi, $V_{ds} = (2, 3) \text{ V}$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) \text{ mA}$ olmak üzere 352 veri, test verisi ise $V_{ds} = 1,5 \text{ V}$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) \text{ mA}$ olmak üzere 176 adet veri içermektedir.
- Ekstrapolasyon-II: Eğitim Verisi, $V_{ds} = (2, 3) \text{ V}$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) \text{ mA}$ olmak üzere 352 veri, test verisi ise $V_{ds} = 4 \text{ V}$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) \text{ mA}$ olmak üzere 176 adet veri içermektedir.

5.4.1.1 Sinir Ağı Model Sonuçları

Transistörün işaret davranışını modellemek amacıyla sinir ağı yapıları oluşturulmuş ve bu ağların eğitim ve test performansları ise farklı veri grupları kullanılarak normalize verilerle değerlendirilmiştir (çizelge 5.11, çizelge 5.12). GRNN temelli sinir ağlarının elde ettikleri optimum ağırlık kümesi, aynı verilerle eğitim işleminde farklılık göstermediğinden, eğitim veya test performansları da aynı uygulamayı her denemede aynı değerleri vermektedir. VMMK transistörüne özgü bir özellik olarak tahminlerde $|S_{12}|$ ve $|S_{22}|$ ye özgü sabit oranda bir sapma olmaktadır. Bu sabit sapma oranı eğitilen verilerin kendi içinde eğitilip test etmesinde de aynı olmaktadır. Eğitilen veriler kendi içlerinde eğitilerek oraki oran bulunup daha sonra tüm yapay sinir ağına ek olarak bu düzeltme yapılmıştır. Elde edilen sinir ağı modellerinin farklı veri kümeleri için eğitim ve test performansları takip eden alt bölümlerde verilmiştir.

Çizelge 5.11 Sinir ağı modellerinin eğitim performansları

Ortalama Eğitim Hatası (mse)	
İnterpolasyon-I Uygulaması	0.0042
İnterpolasyon-II Uygulaması	0.0015
Ekstrapolasyon-I Uygulaması	0.0044
Ekstrapolasyon-II Uygulaması	0.0044

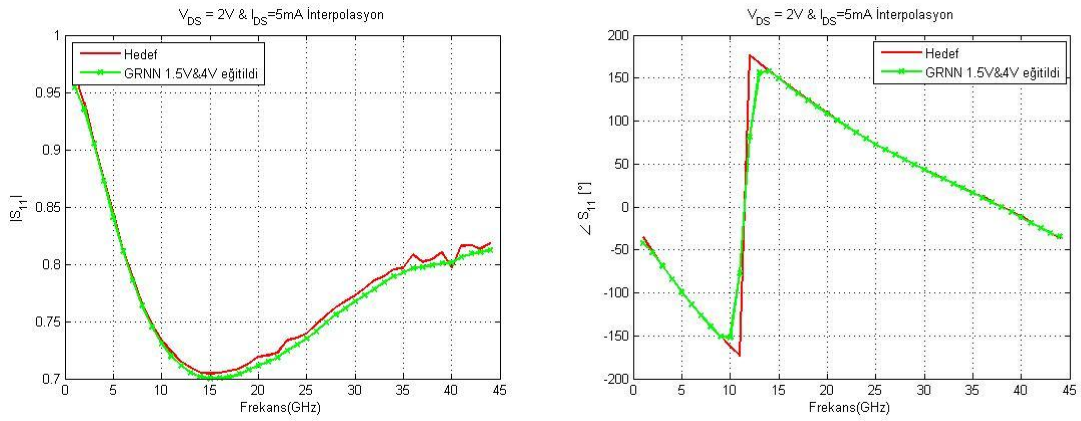
Çizelge 5.12 Sinir ağı modellerinin test performansları

Ortalama Test Hatası (mse)	
İnterpolasyon-I Uygulaması	0.0248
İnterpolasyon-II Uygulaması	0.0112
Ekstrapolasyon-I Uygulaması	0.0270
Ekstrapolasyon-II Uygulaması	0.0121

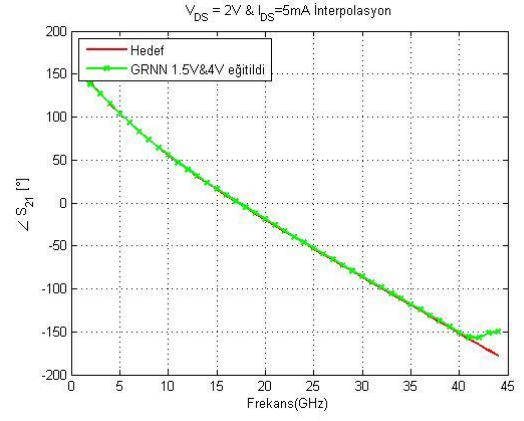
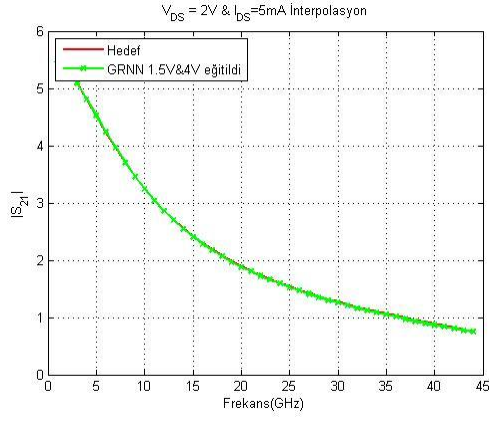
5.4.1.1.1 İnterpolasyon-I Uygulaması

Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.11 ve 5.12’de verilmiştir.

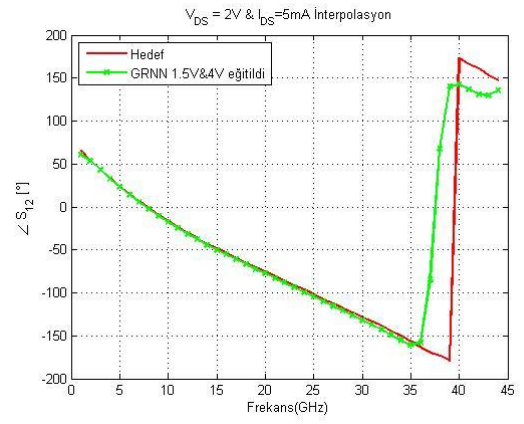
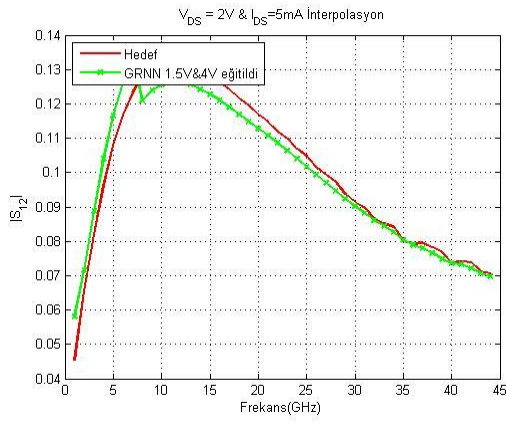
$V_{ds} = 2V$ & $I_{ds} = 5mA$ için elde edilen işaret parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.17-5.20), S_{11} ve S_{22} frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.21) gösterilmiştir. Ek olarak frekans ile S_{21} ve S_{12} değişimi polar koordinat üzerinde (Şekil 5.22) gösterilmiştir.



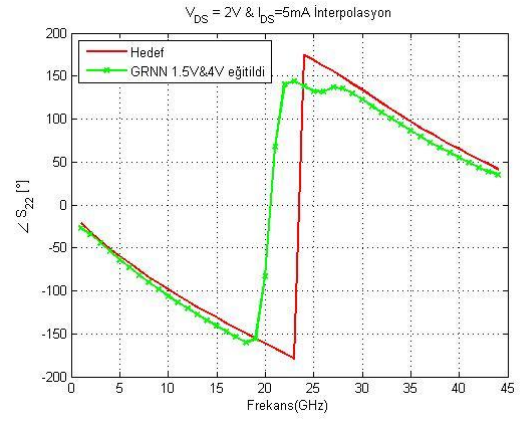
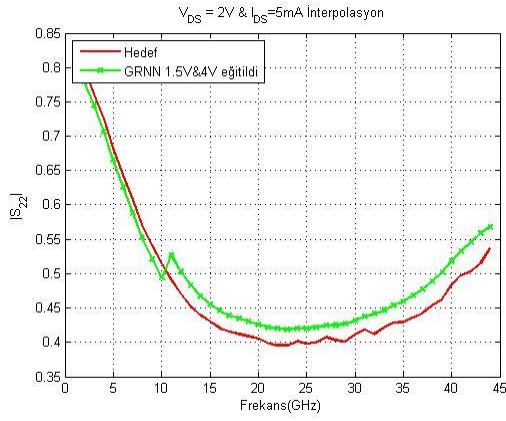
Şekil 5.17 Frekans ile $|S_{11}|$ ve S_{11} (açı) değişimi



Şekil 5.18 Frekans ile $|S_{21}|$ ve S_{21} (açı) değişimi

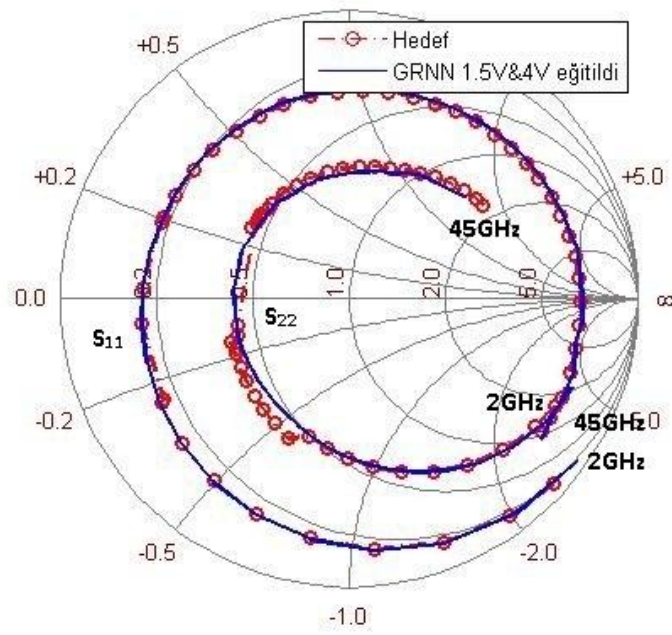


Şekil 5.19 Frekans ile $|S_{12}|$ ve S_{12} (açı) değişimi



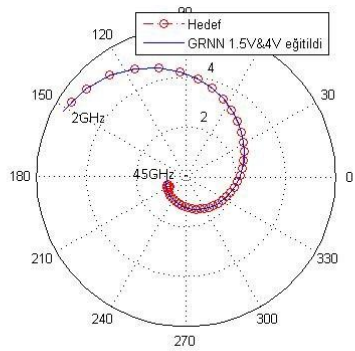
Şekil 5.20 Frekans ile $|S_{22}|$ ve S_{22} (açı) değişimi

S_{11} ve S_{22} Smith Abagında $V_{DS}=2V$ & $I_{DS}=5mA$ Ekstrapolasyon

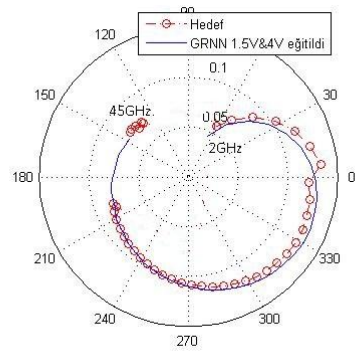


Şekil 5.21 Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi

S_{21} Polar Koordinatta $V_{DS} = 2V$ & $I_{DS}=5mA$ Ekstrapolasyon



S_{12} Polar Koordinatta $V_{DS} = 2V$ & $I_{DS}=5mA$ Ekstrapolasyon

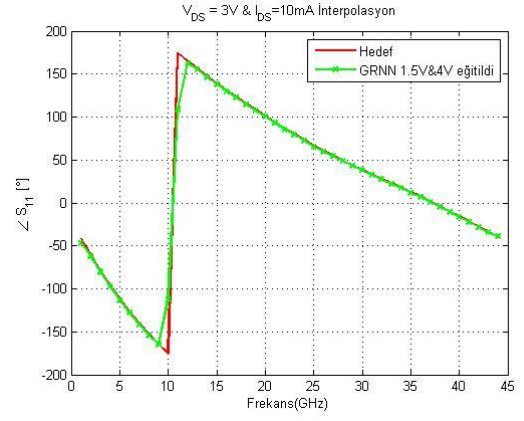
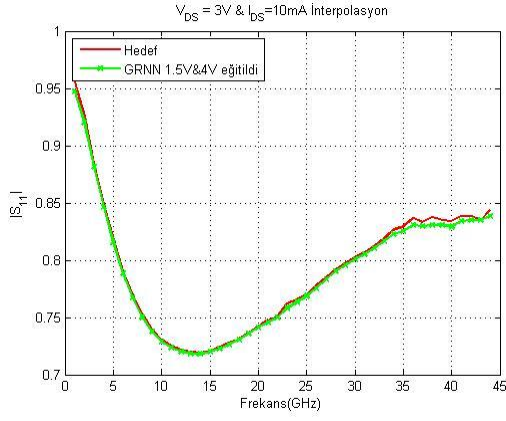


Şekil 5.22 Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi

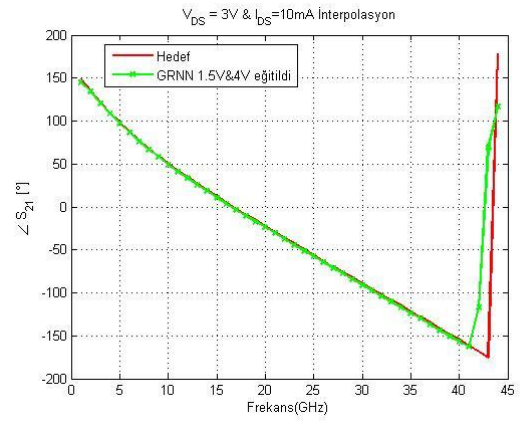
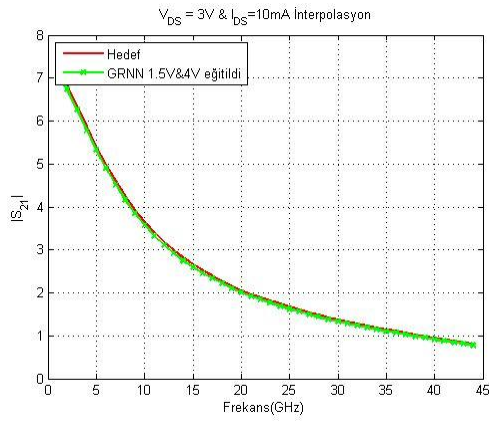
5.4.1.1.2 İnterpolasyon-II Uygulaması

Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.11 ve 5.12’de verilmiştir.

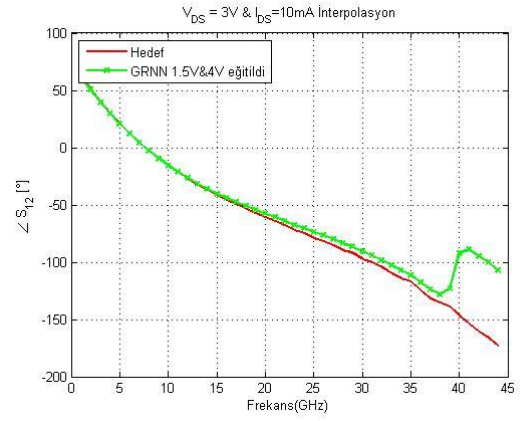
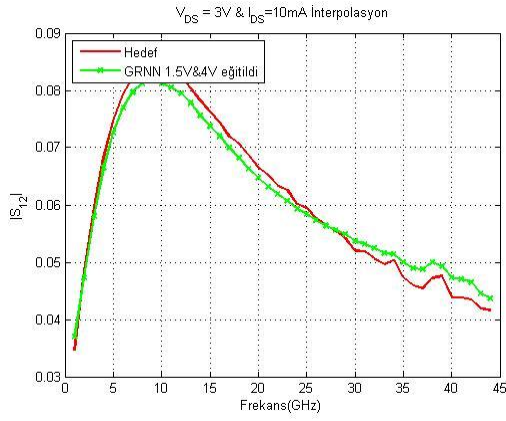
$V_{ds} = 3V$ & $I_{ds} = 10mA$ için elde edilen işaret parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.23-5.26), S_{11} ve S_{22} frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.27) gösterilmiştir. Ek olarak frekans ile S_{21} ve S_{12} değişimi polar koordinat üzerinde (Şekil 5.28) gösterilmiştir.



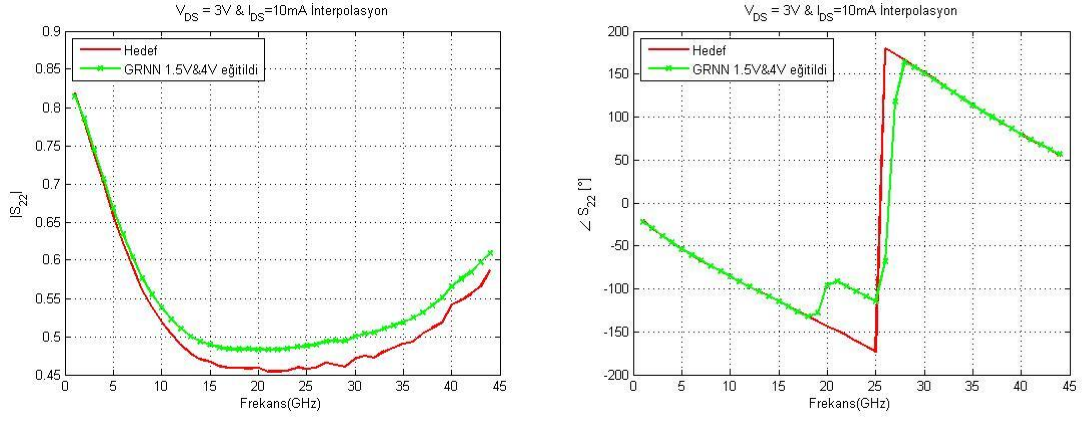
Şekil 5.23 Frekans ile $|S_{11}|$ ve S_{11} (açı) değişimi



Şekil 5.24 Frekans ile $|S_{21}|$ ve S_{21} (açı) değişimi

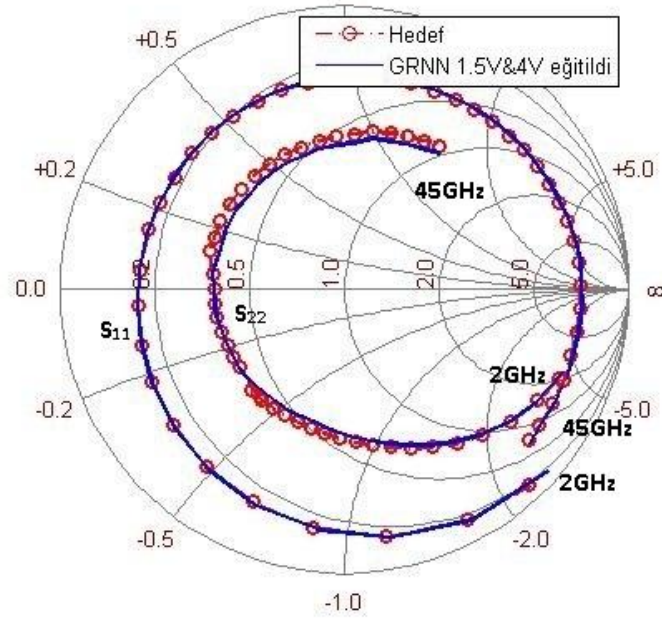


Şekil 5.25 Frekans ile $|S_{12}|$ ve S_{12} (açı) değişimi



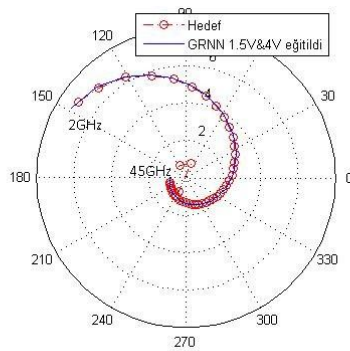
Şekil 5.26 Frekans ile $|S_{22}|$ ve S_{22} (açı) değişimi

S_{11} ve S_{22} Smith Abagında $V_{DS} = 3V$ & $I_{DS} = 10mA$ Ekstrapolasyon

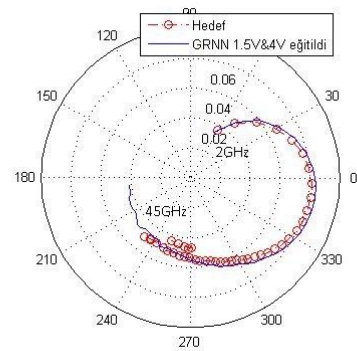


Şekil 5.27 Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi

S_{21} Polar Koordinatta $V_{DS} = 3V$ & $I_{DS} = 10mA$ Ekstrapolasyon



S_{12} Polar Koordinatta $V_{DS} = 3V$ & $I_{DS} = 10mA$ Ekstrapolasyon

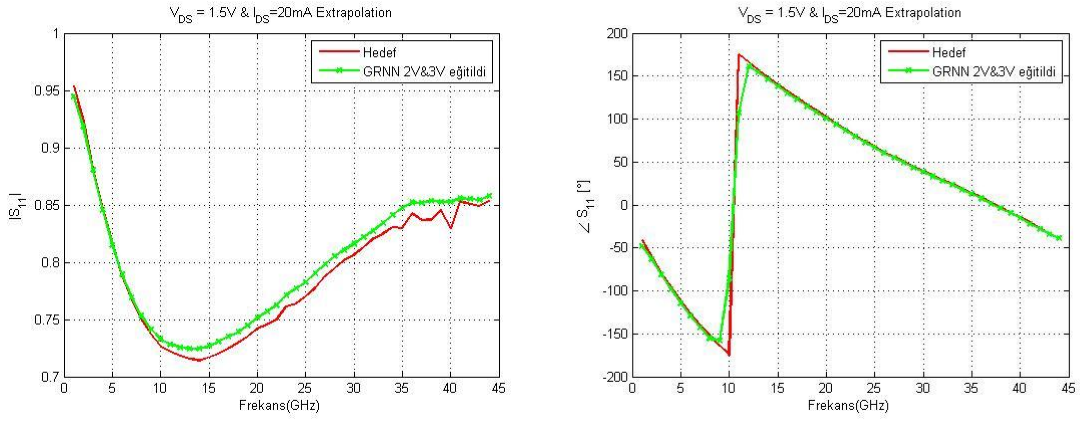


Şekil 5.28 Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi

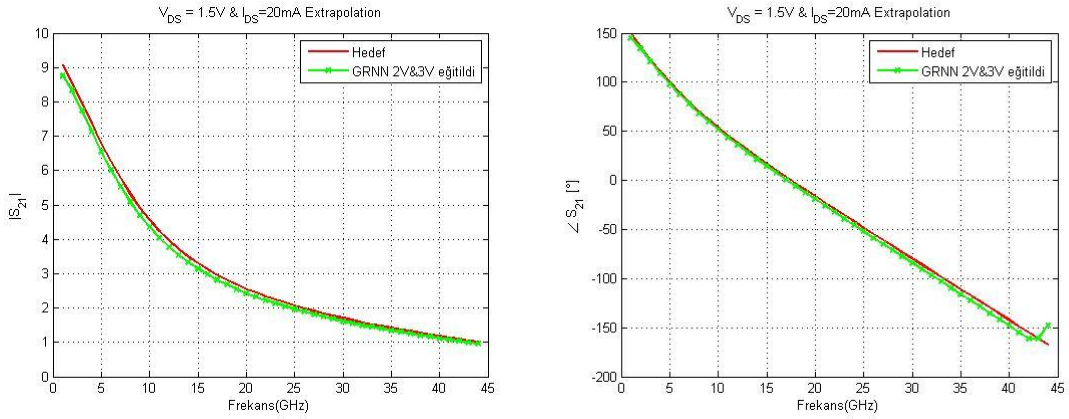
5.4.1.1.3 Ekstrapolasyon-I Uygulaması

Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.11 ve 5.12’de verilmiştir.

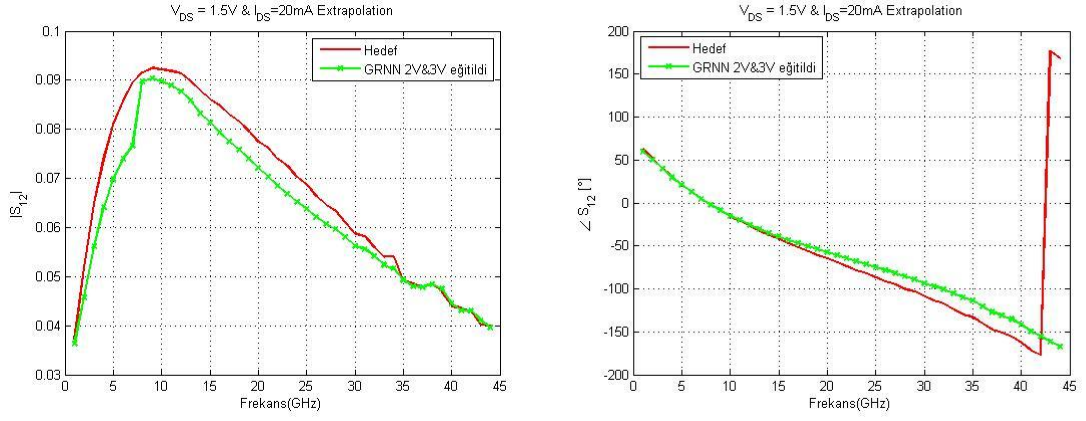
$V_{ds} = 1,5V$ & $I_{ds} = 20mA$ için elde edilen işaret parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.29-5.32), S_{11} ve S_{22} frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.33) gösterilmiştir. Ek olarak frekans ile S_{21} ve S_{12} değişimi polar koordinat üzerinde (Şekil 5.34) gösterilmiştir.



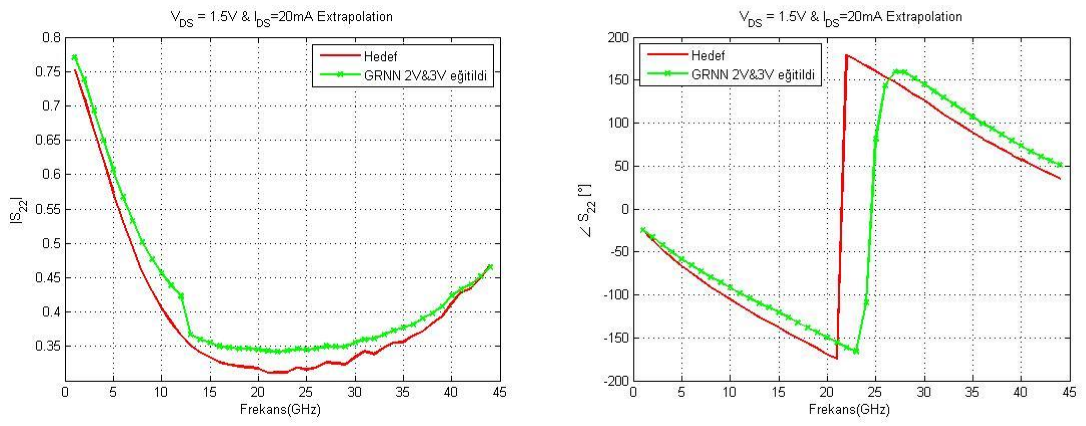
Şekil 5.29 Frekans ile $|S_{11}|$ ve S_{11} (açı) değişimi



Şekil 5.30 Frekans ile $|S_{21}|$ ve S_{21} (açı) değişimi

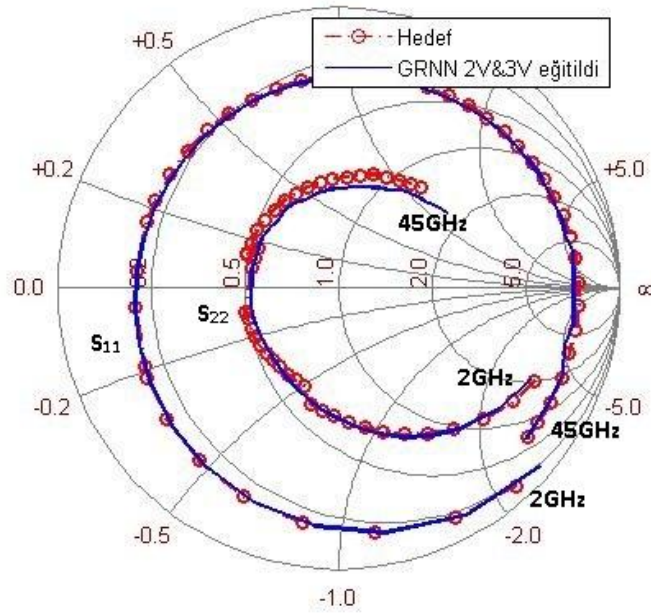


Şekil 5.31 Frekans ile $|S_{12}|$ ve S_{12} (açı) değişimi

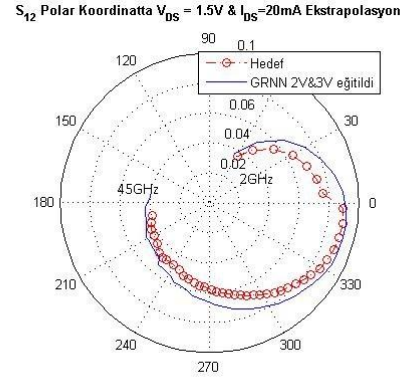
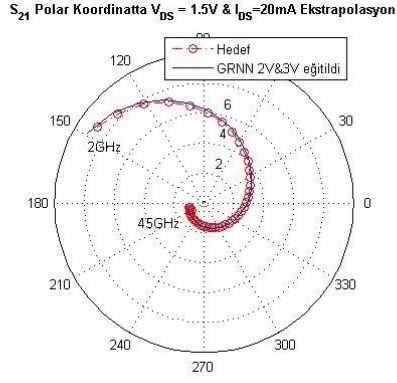


Şekil 5.32 Frekans ile $|S_{22}|$ ve S_{22} (açı) değişimi

S_{11} ve S_{22} Smith Abagında $V_{DS} = 1.5V$ & $I_{DS} = 20mA$ Ekstrapolasyon



Şekil 5.33 Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi

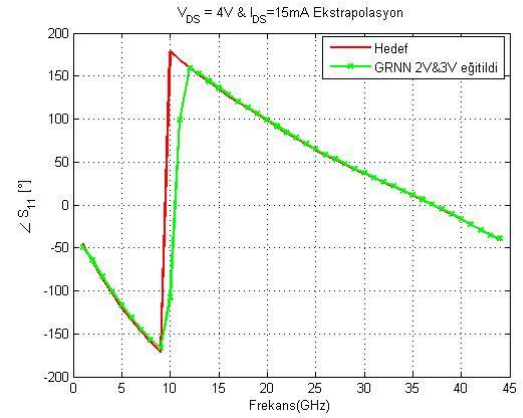
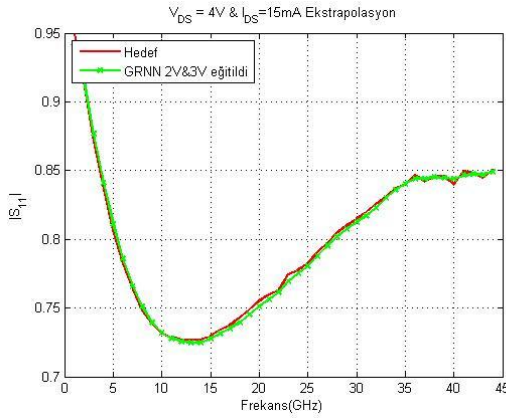


Şekil 5.34 Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi

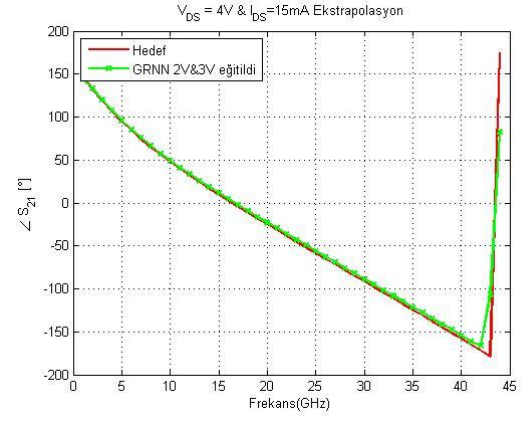
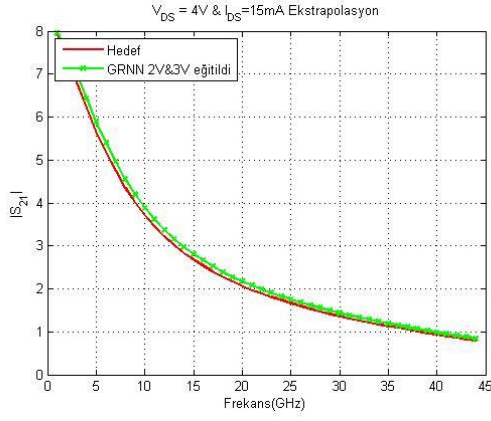
5.4.1.1.4 Ekstrapolasyon-II Uygulaması

Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.11 ve 5.12’de verilmiştir.

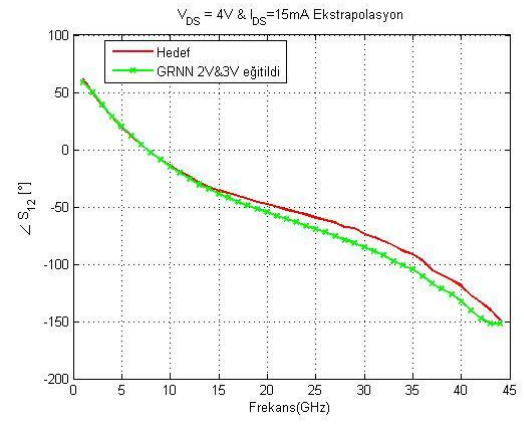
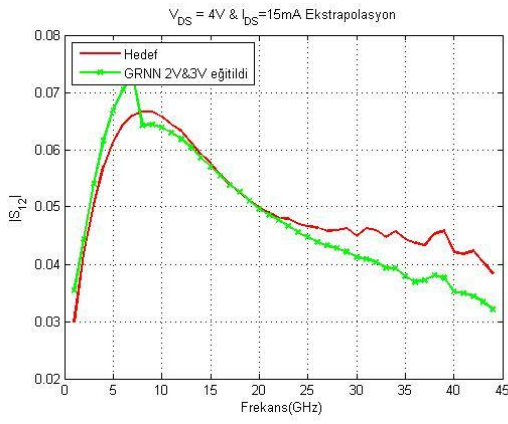
$V_{ds} = 4V$ & $I_{ds} = 15mA$ için elde edilen işaret parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.35-5.38), S_{11} ve S_{22} frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.39) gösterilmiştir. Ek olarak frekans ile S_{21} ve S_{12} değişimi polar koordinat üzerinde (Şekil 5.40) gösterilmiştir.



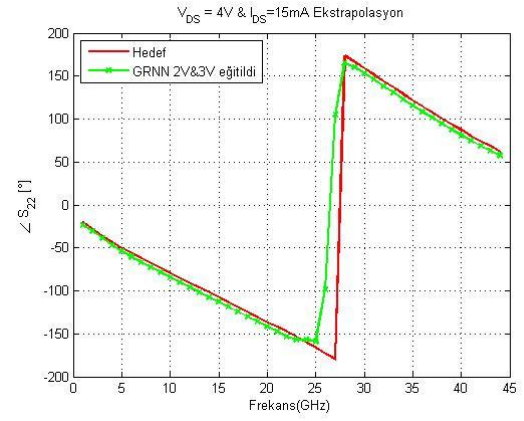
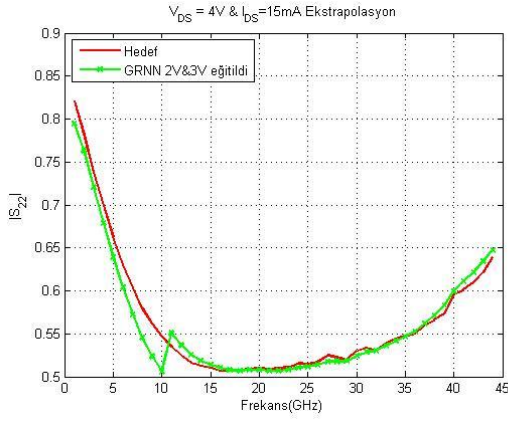
Şekil 5.35 Frekans ile $|S_{11}|$ ve S_{11} (açı) değişimi



Şekil 5.36 Frekans ile $|S_{21}|$ ve S_{21} (açı) değişimi

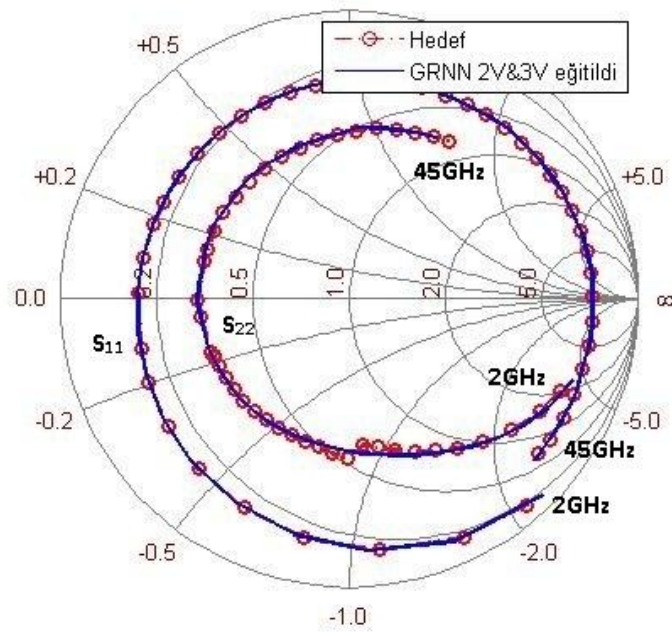


Şekil 5.37 Frekans ile $|S_{12}|$ ve S_{12} (açı) değişimi



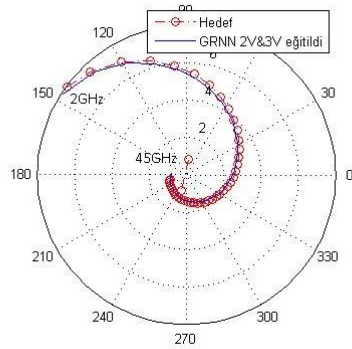
Şekil 5.38 Frekans ile $|S_{22}|$ ve S_{22} (açı) değişimi

S_{11} ve S_{22} Smith Abagında $V_{DS}=4V$ & $I_{DS}=15mA$ Ekstrapolasyon

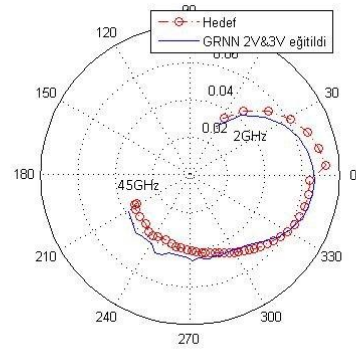


Şekil 5.39 Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi

S_{21} Polar Koordinatta $V_{DS} = 4V$ & $I_{DS}=15mA$ Ekstrapolasyon



S_{12} Polar Koordinatta $V_{DS} = 4V$ & $I_{DS}=15mA$ Ekstrapolasyon



Şekil 5.40 Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi

5.4.2 Tek Kutuplamalı Eğitim Modeli ve Test Verisi

Modelin eğitim ve test verisi tek veri grubu için oluşturulmuştur.

- Ekstrapolasyon: Eğitim Verisi, $V_{ds} = 2V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20)$ mA olmak üzere 176 veri, test verisi ise $V_{ds} = (1,5, 3, 4)$ V & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20)$ mA olmak üzere 528 adet veri içermektedir.

5.4.2.1 Sinir Ağı Model Sonuçları

Transistörün işaret davranışını modellemek amacıyla sinir ağı yapıları oluşturulmuş ve bu ağların eğitim ve test performansları ise farklı veri grupları kullanılarak normalize verilerle değerlendirilmiştir (çizelge 5.13, çizelge 5.14). GRNN temelli sinir ağlarının elde ettikleri optimum ağırlık kümesi, aynı verilerle eğitim işleminde farklılık göstermediğinden, eğitim veya test performansları da aynı uygulamayı her denemede aynı değerleri vermektedir. VMMK transistörüne özgü bir özellik olarak tahminlerde $|S_{12}|$ ve $|S_{22}|$ ye özgü sabit oranda bir sapma olmaktadır. Bu sabit sapma oranı eğitilen verilerin kendi içinde eğitilip test etmesinde de aynı olmaktadır. Eğitilen veriler kendi içlerinde eğitilerek oraki oran bulunup daha sonra tüm yapay sinir ağına ek olarak bu düzeltme yapılmıştır. Elde edilen sinir ağı modellerinin farklı veri kümeleri için eğitim ve test performansları takip eden alt bölümlerde verilmiştir.

Çizelge 5.13 Sinir ağı modellerinin eğitim performansları

Ortalama Eğitim Hatası (mse)	
Ekstrapolasyon Uygulaması	0.0040

Çizelge 5.14 Sinir ağı modellerinin test performansları

Ortalama Test Hatası (mse)	
Ekstrapolasyon Uygulaması	0.0289

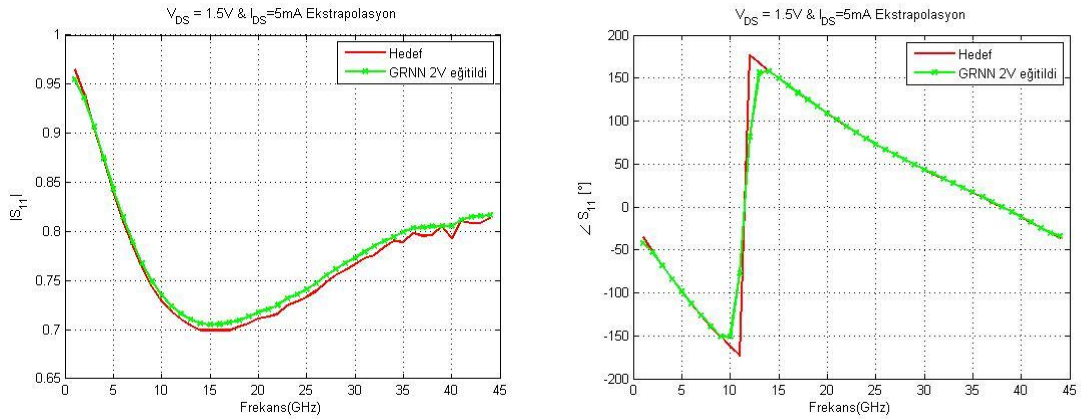
5.4.2.1.1 Ekstrapolasyon Uygulaması

Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.13 ve 5.14’de verilmiştir. Bu kısımda özellikle daha çok veri kullanmak yerine yeteri kadar veri kullanarak tahminlerin yaklaşık aynı başarıyı verdiğini daha net görebilmekteyiz.

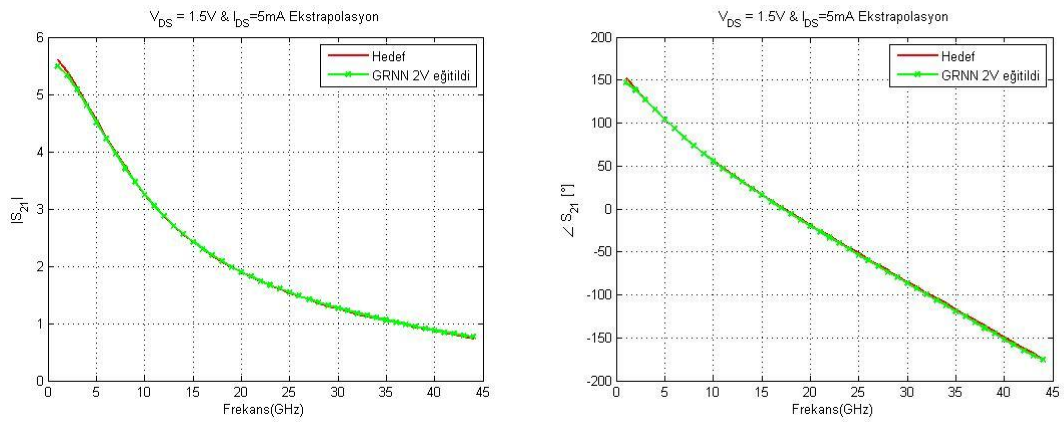
$V_{ds} = 1,5V$ & $I_{ds} = 5mA$ için elde edilen işaret parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.41-5.44), S_{11} ve S_{22} frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.45)

gösterilmiştir. Ek olarak frekans ile S_{21} ve S_{12} değişimi polar koordinat üzerinde (Şekil 5.46) gösterilmiştir.

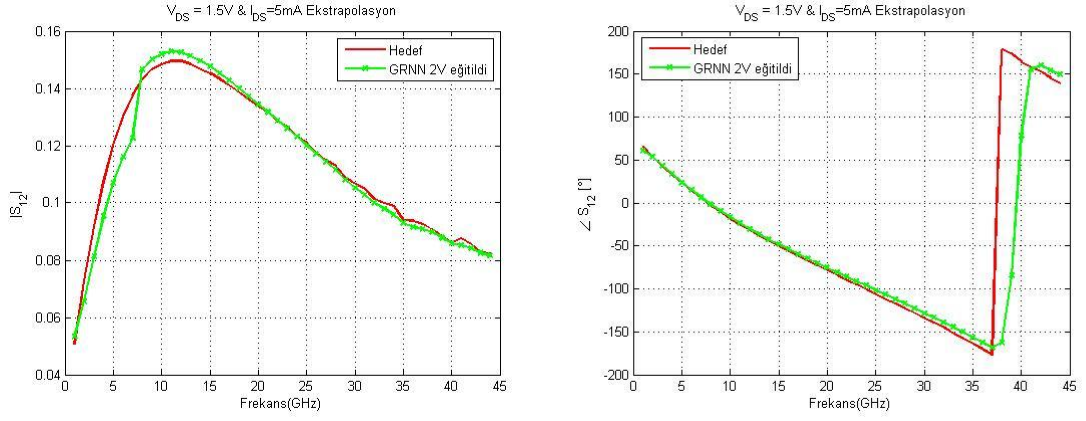
$V_{ds} = 3V$ & $I_{ds} = 10mA$ için elde edilen işaret parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.47-5.50), S_{11} ve S_{22} frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.51) gösterilmiştir. Ek olarak frekans ile S_{21} ve S_{12} değişimi polar koordinat üzerinde (Şekil 5.52) gösterilmiştir.



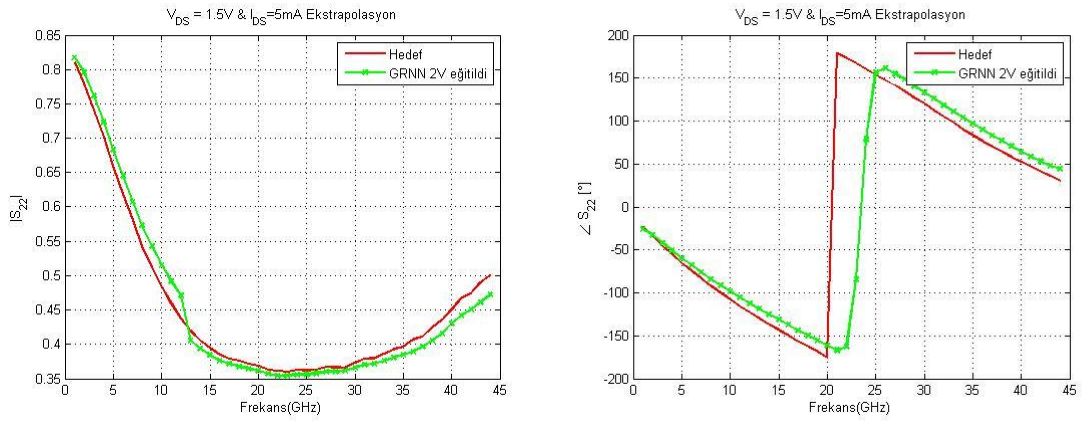
Şekil 5.41 Frekans ile $|S_{11}|$ ve S_{11} (açı) değişimi



Şekil 5.42 Frekans ile $|S_{21}|$ ve S_{21} (açı) değişimi

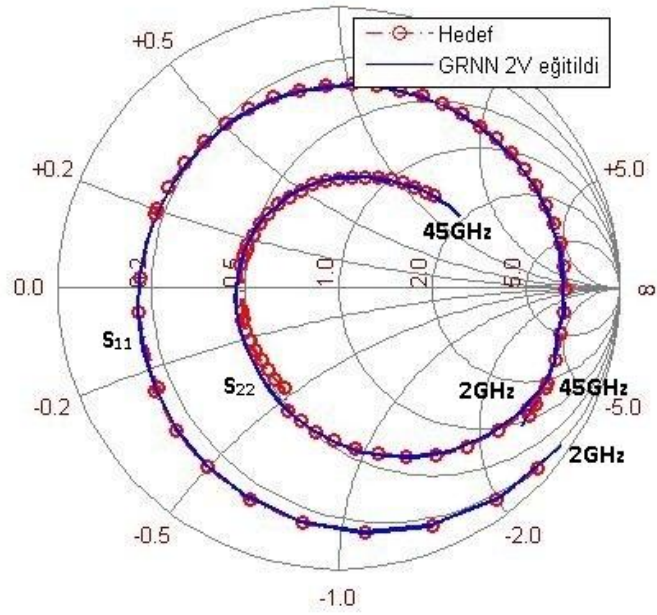


Şekil 5.43 Frekans ile $|S_{12}|$ ve S_{12} (açı) değişimi



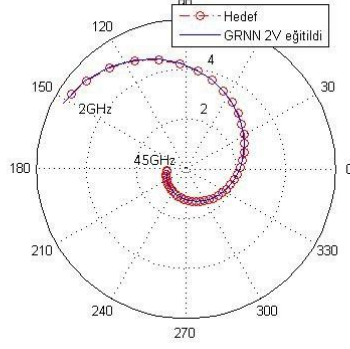
Şekil 5.44 Frekans ile $|S_{22}|$ ve S_{22} (açı) değişimi

S_{11} ve S_{22} Smith Abagında $V_{DS} = 1.5V$ & $I_{DS} = 5mA$ Ekstrapolasyon

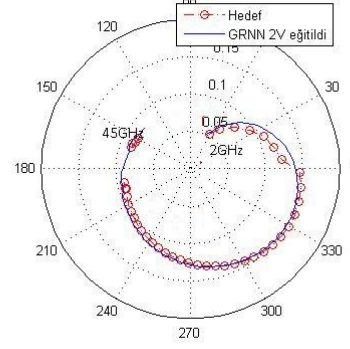


Şekil 5.45 Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi

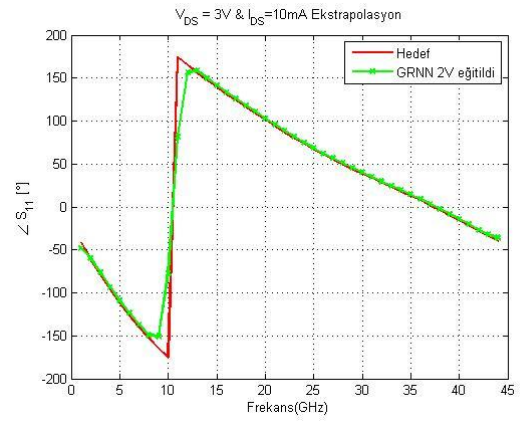
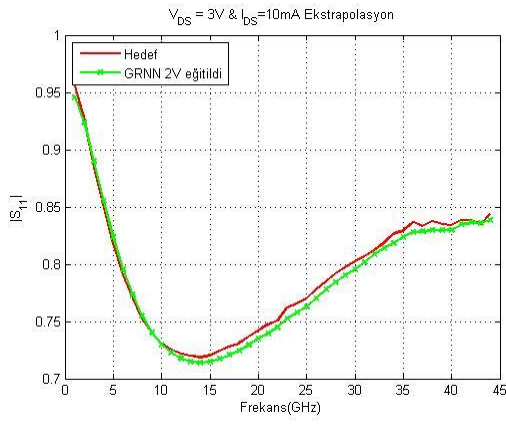
S_{21} Polar Koordinatta $V_{DS} = 1.5V$ & $I_{DS} = 5mA$ Ekstrapolasyon



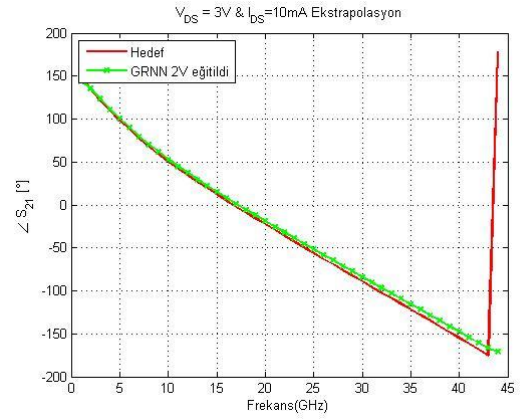
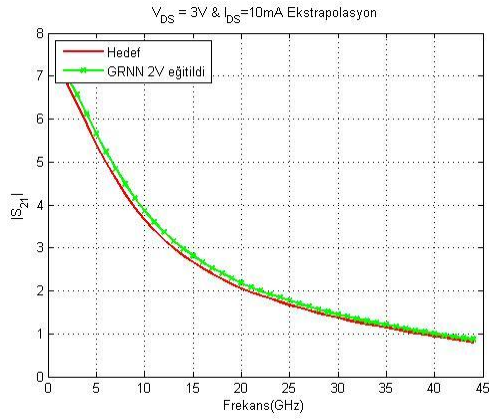
S_{12} Polar Koordinatta $V_{DS} = 1.5V$ & $I_{DS} = 5mA$ Ekstrapolasyon



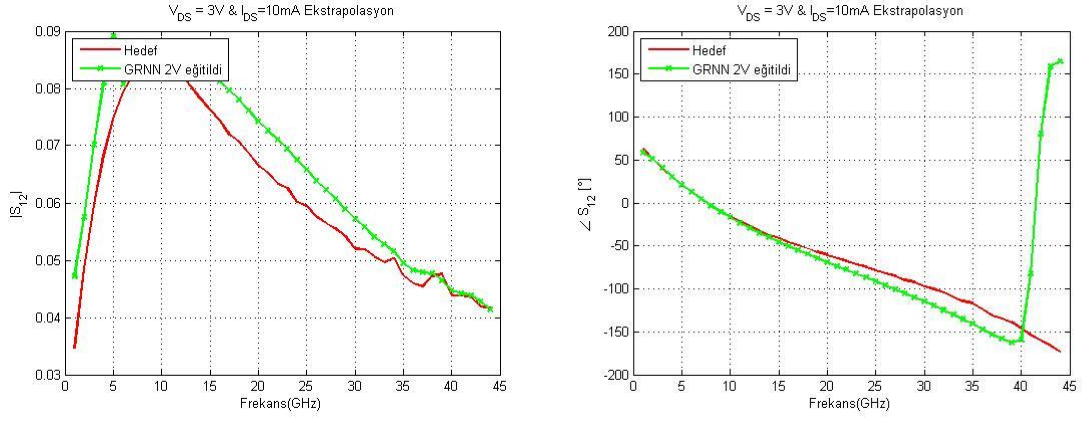
Şekil 5.46 Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi



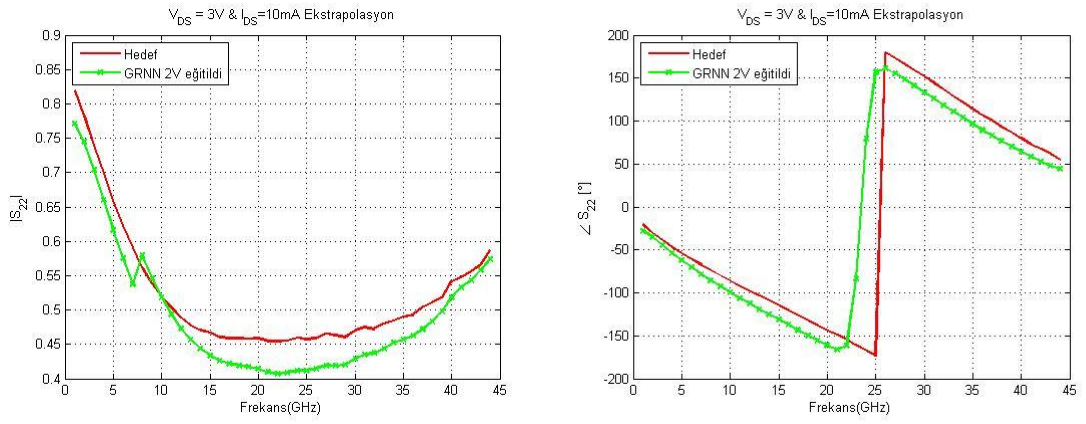
Şekil 5.47 Frekans ile $|S_{11}|$ ve S_{11} (açı) değişimi



Şekil 5.48 Frekans ile $|S_{21}|$ ve S_{21} (açı) değişimi

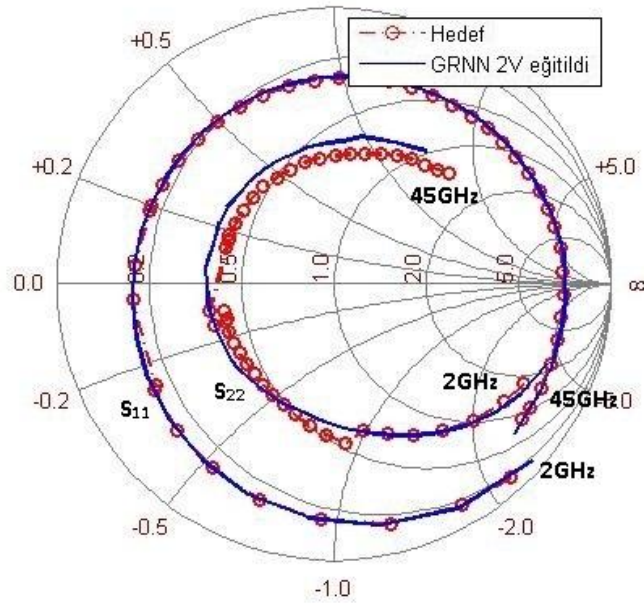


Şekil 5.49 Frekans ile $|S_{12}|$ ve S_{12} (açı) değişimi

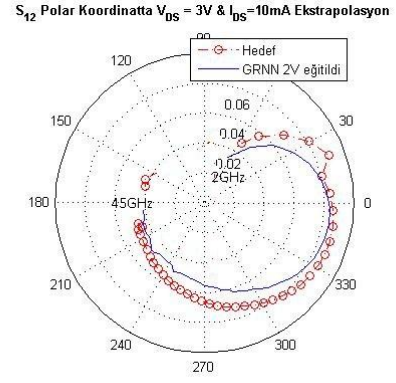
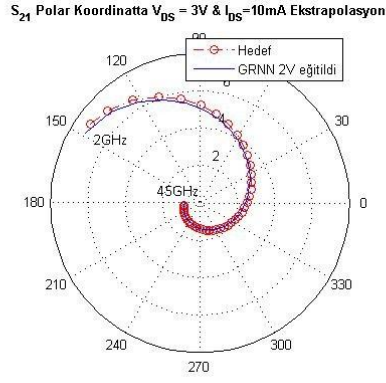


Şekil 5.50 Frekans ile $|S_{22}|$ ve S_{22} (açı) değişimi

S_{11} ve S_{22} Smith Abagında $V_{DS}=3V$ & $I_{DS}=10mA$ Ekstrapolasyon



Şekil 5.51 Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi



Şekil 5.52 Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi

5.4.3 Diğer Modeller İle Karşılaştırılmalı Eğitim ve Test Verileri

Modelin eğitim ve test verisi tek farklı veri grubu için oluşturulmuştur.

- İnterpolasyon: Eğitim Verisi, $V_{ds} = (1,5, 4)$ V & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20)$ mA olmak üzere 352 veri, test verisi ise $V_{ds} = 3V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15, 20)$ mA olmak üzere 176 adet veri içermektedir. Bu çalışmada GRNN, RBE, RB, MLP ile ayrı ayrı sinir ağları ile tahmin yapılarak grafler ortak olarak çizdirilmiştir.

5.4.3.1 Sinir Ağı Model Sonuçları

Transistörün işaret davranışını modellemek amacıyla sinir ağı yapıları oluşturulmuş ve bu ağların eğitim ve test performansları ise farklı veri grupları için normalize veriler kullanılarak değerlendirilmiştir. (çizelge 5.15, çizelge 5.16)

Çizelge 5.15 Sinir ağı modellerinin eğitim performansları

Ortalama Eğitim Hatası (mse)	
İnterpolasyon Uygulaması MLP	0.0025
İnterpolasyon Uygulaması GRNN	0.0015
İnterpolasyon Uygulaması RBE	6.0974e-031
İnterpolasyon Uygulaması RB	1.3748e-030

Çizelge 5.16 Sinir ağı modellerinin test performansları

Ortalama Test Hatası (mse)	
İnterpolasyon Uygulaması MLP	0.0814
İnterpolasyon Uygulaması GRNN	0.0112
İnterpolasyon Uygulaması RBE	0.0308
İnterpolasyon Uygulaması RB	0.0819

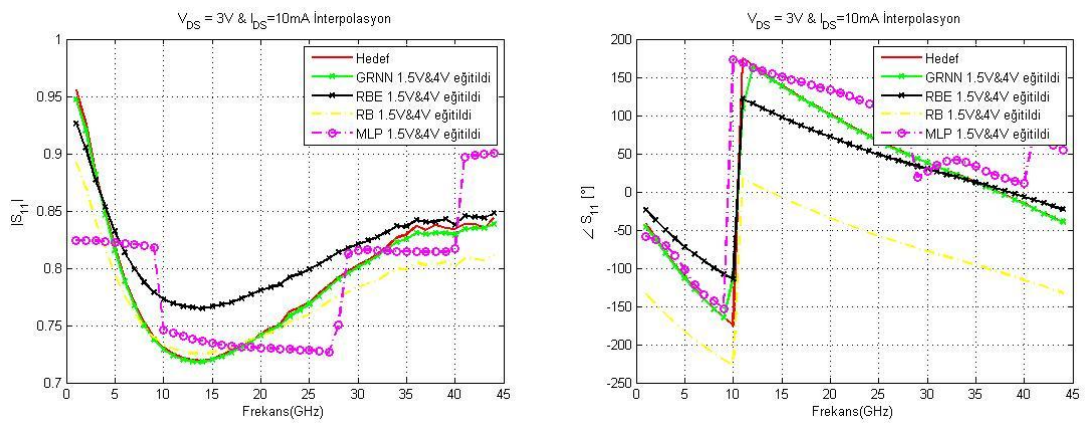
5.4.3.1.1 İnterpolasyon Uygulaması

Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.15 ve 5.16’de verilmiştir. Bu kısımda GRNN, RBE, RB, MLP nin tahmin ve sonuçlarını aynı tabloda görebilmek adına tek grafikte çizim yapılmıştır.

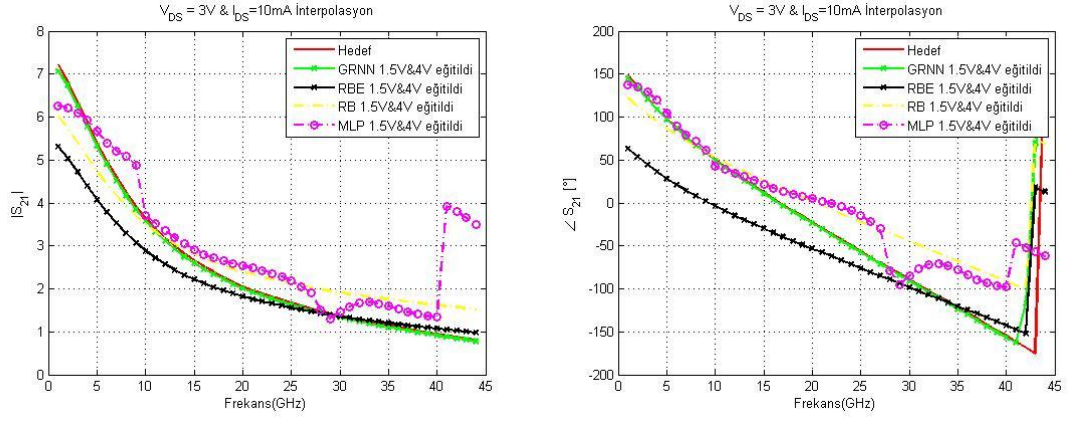
$V_{ds} = 3V$ & $I_{ds} = 10mA$ için elde edilen işaret parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.53-5.56) gösterilmiştir.

$V_{ds} = 3V$ & $I_{ds} = 15mA$ için elde edilen işaret parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.57-5.60) gösterilmiştir.

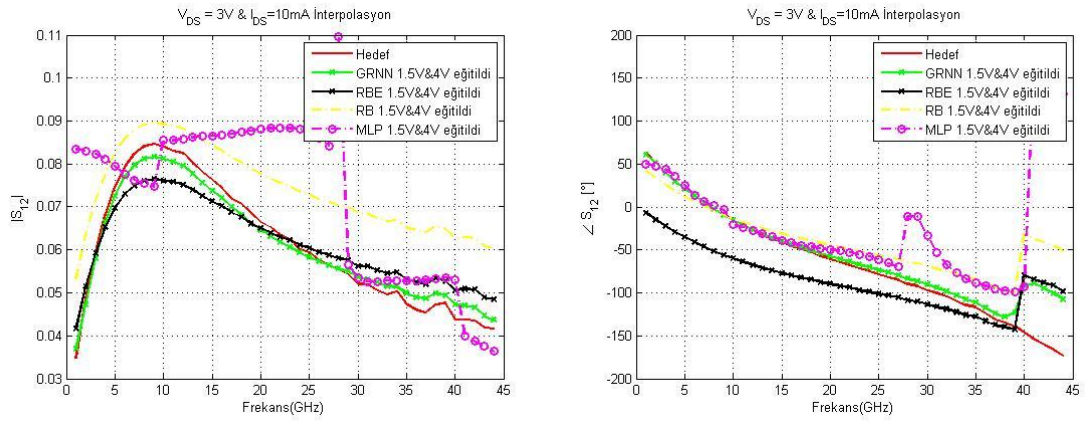
Detay olarak MLP de 300 iterasyon denemesi yapılmış 225 inci iterasyon denemesi en iyi neticeyi vermiştir. Herbiri için üçüncü deneme sonuçları gösterilmiştir. Her deneme de sadece mlp farklı sonuç vermiştir.



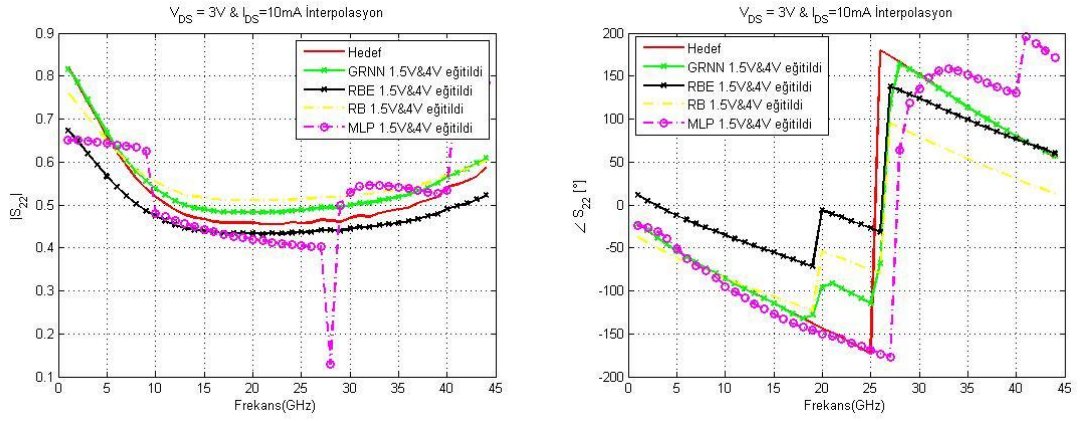
Şekil 5.53 Frekans ile $|S_{11}|$ ve S_{11} (açı) değişimi



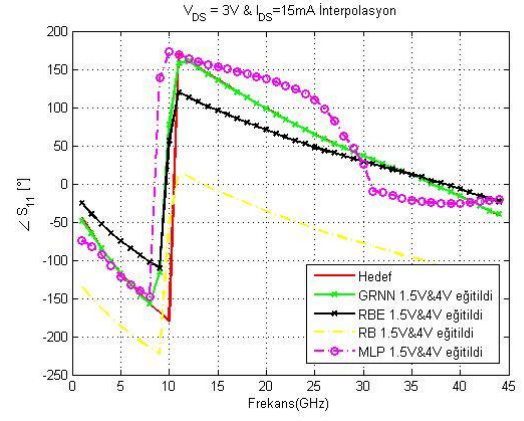
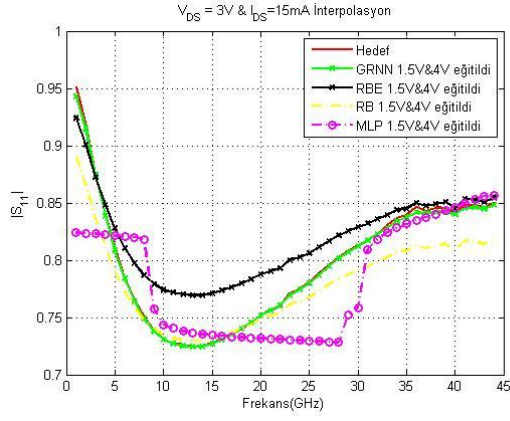
Şekil 5.54 Frekans ile $|S_{21}|$ ve S_{21} (açı) değişimi



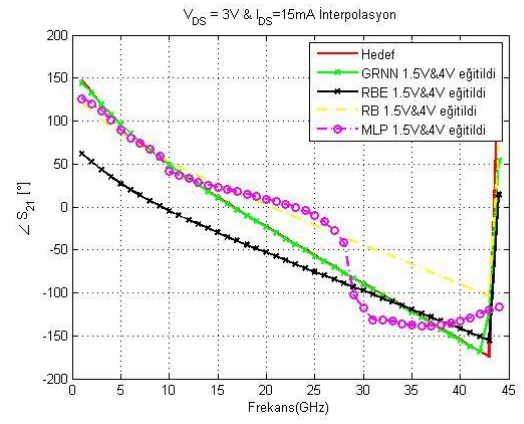
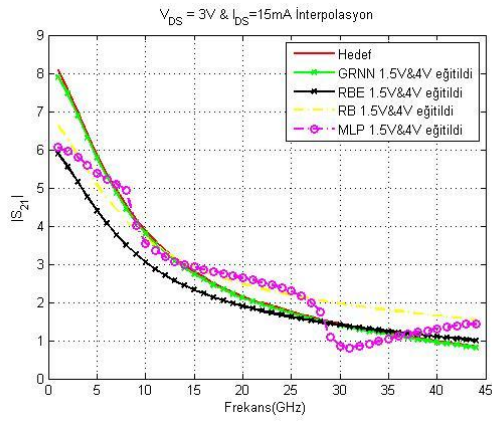
Şekil 5.55 Frekans ile $|S_{12}|$ ve S_{12} (açı) değişimi



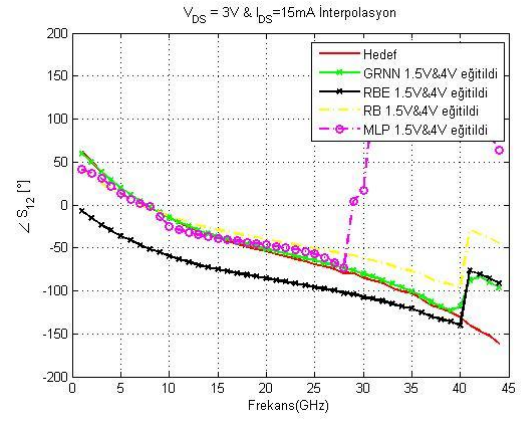
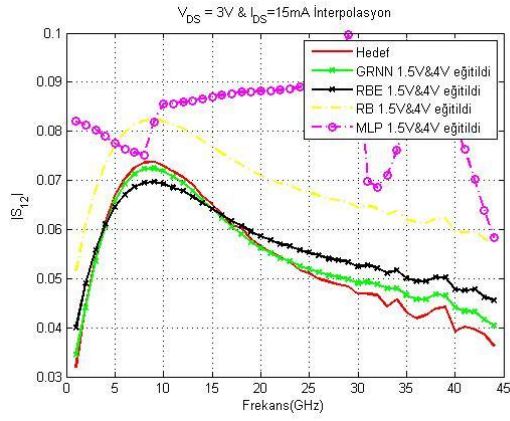
Şekil 5.56 Frekans ile $|S_{22}|$ ve S_{22} (açı) değişimi



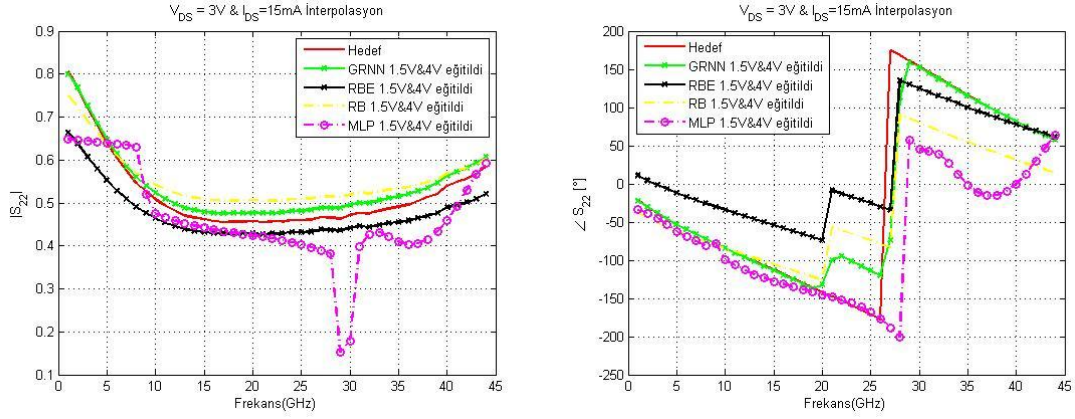
Şekil 5.57 Frekans ile $|S_{11}|$ ve S_{11} (açı) değişimi



Şekil 5.58 Frekans ile $|S_{21}|$ ve S_{21} (açı) değişimi



Şekil 5.59 Frekans ile $|S_{12}|$ ve S_{12} (açı) değişimi



Şekil 5.60 Frekans ile $|S_{22}|$ ve S_{22} (açı) değişimi

5.5 Uygulama Örneği: ATF-551M4'ün Gürültü Modeli

5.5.1 Modelin Eğitim ve Test Verisi

Çalışmada, modellenecek aktif mikrodalga eleman olarak ATF-551M4 (Ek-B) transistörü seçilmiştir. Transistörün gürültü parametreleri, $V_{ds} = \{2V, 2.7V, 3V\}$ kutuplama gerilimi ve her kutuplama gerilimi için $I_{ds} = \{10mA, 15mA, 20mA\}$ kutuplama akımından oluşan toplam 9 adet kutuplama koşulunda 2 GHz-16 GHz frekans aralığında elde edilmiş olan üretici verilerinden elde edilmiştir. İşaret ve gürültü verileri 9 ayrı frekans noktasında tanımlanmıştır. Modelin eğitim ve test verisi 2 farklı veri grubu için oluşturulmuştur:

- İnterpolasyon: Eğitim Verisi, $V_{ds} = (2, 3) V$ & $I_{ds} = (10, 15, 20) mA$ olmak üzere 90 veri, test verisi ise $V_{ds} = 2.7V$ & $I_{ds} = (10, 15, 20) mA$ olmak üzere 45 adet veri içermektedir.
- Ekstrapolasyon: Eğitim Verisi, $V_{ds} = 2.7V$ & $I_{ds} = (10, 15, 20) mA$ olmak üzere 45 veri, test verisi ise $V_{ds} = (2, 3) V$ & $I_{ds} = (10, 15, 20) mA$ olmak üzere 90 adet veri içermektedir.

Sinir ağı modelinin eğitim ve test verileri farklı değer aralıklarına sahiptir.

5.5.2 Sinir Ağı Model Sonuçları

Transistörün gürültü davranışını modellemek amacıyla iki farklı sinir ağı yapıları oluşturulmuş ve bu ağların eğitim ve test performansları ise farklı veri grupları kullanılarak değerlendirilmiştir ve bu ağların eğitim veya test performansları ise normalize verilerle farklı veri grupları kullanılarak değerlendirilmiştir (çizelge 5.17,

çizelge 5.18). Elde edilen sinir ağı modellerinin farklı veri kümeleri için eğitim ve test performansları takip eden alt bölümlerde verilmiştir.

Çizelge 5.17 Sinir ağı modellerinin eğitim performansları

Ortalama Eğitim Hatası (mse)	
İnterpolasyon Uygulaması	1.8004e-004
Ekstrapolasyon Uygulaması	0.0697

Çizelge 5.18 Sinir ağı modellerinin test performansları

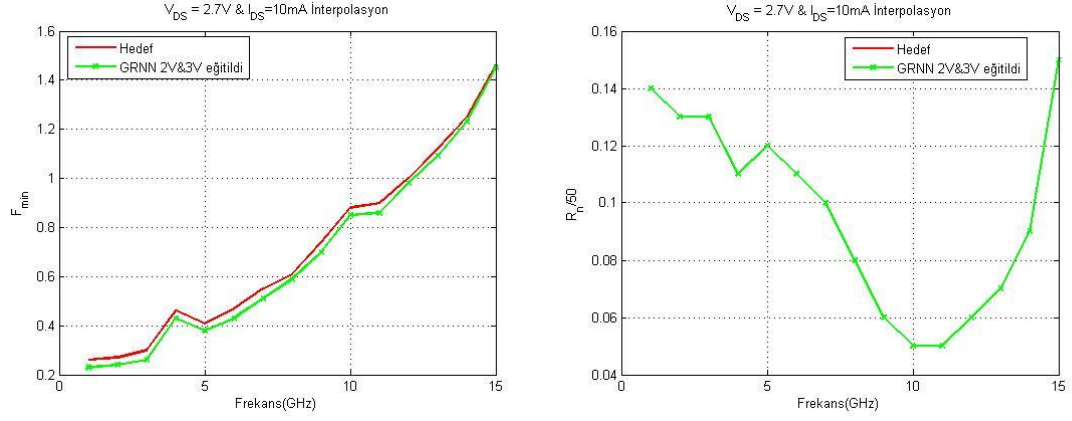
Ortalama Test Hatası (mse)	
İnterpolasyon Uygulaması	0.1624
Ekstrapolasyon Uygulaması	0.5561

5.5.2.1 İnterpolasyon Uygulaması

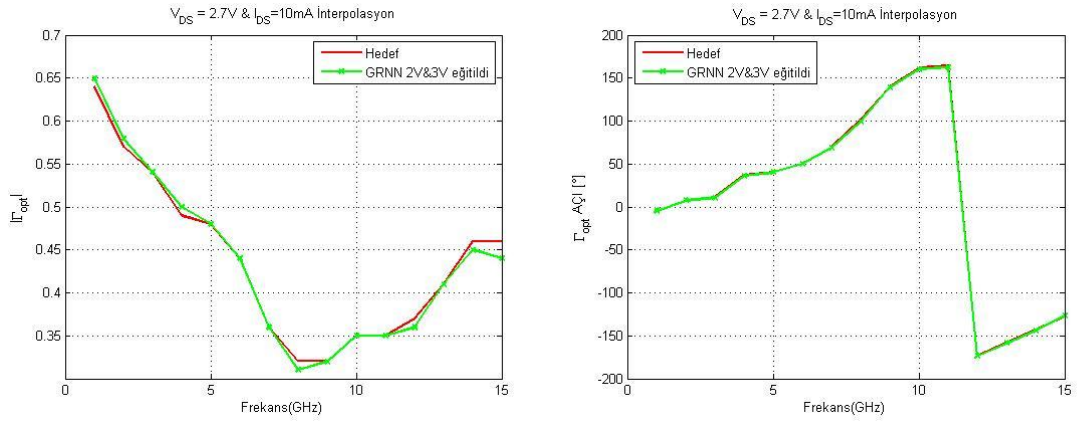
Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.17 ve 5.18’de verilmiştir.

$V_{ds} = 2,7V$ & $I_{ds} = 10mA$ için elde edilen gürültü parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.61-5.62), ϕ_{opt} ’un frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.63) gösterilmiştir.

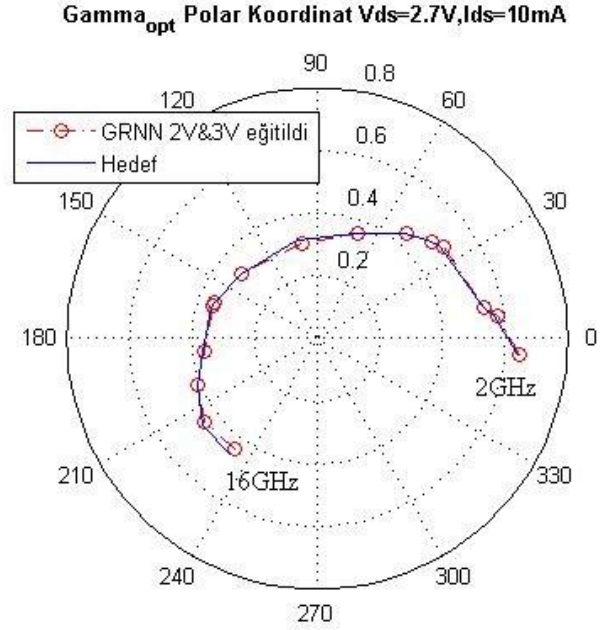
$V_{ds} = 2,7V$ & $I_{ds} = 15mA$ için elde edilen gürültü parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.64-5.65), ϕ_{opt} ’un frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.66) gösterilmiştir.



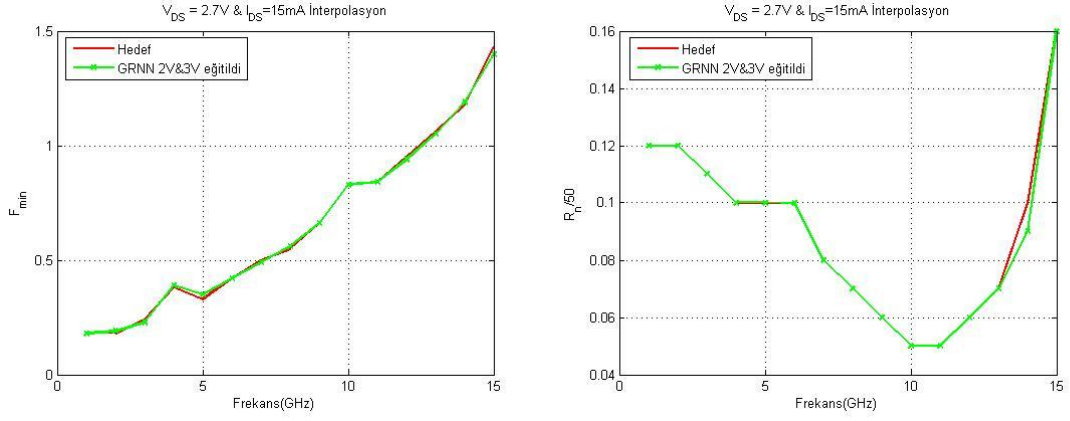
Şekil 5.61 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi



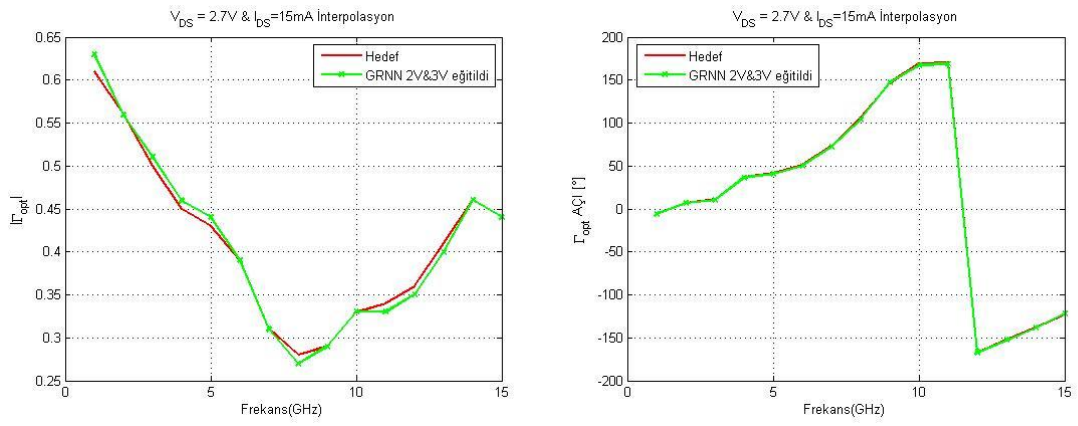
Şekil 5.62 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi



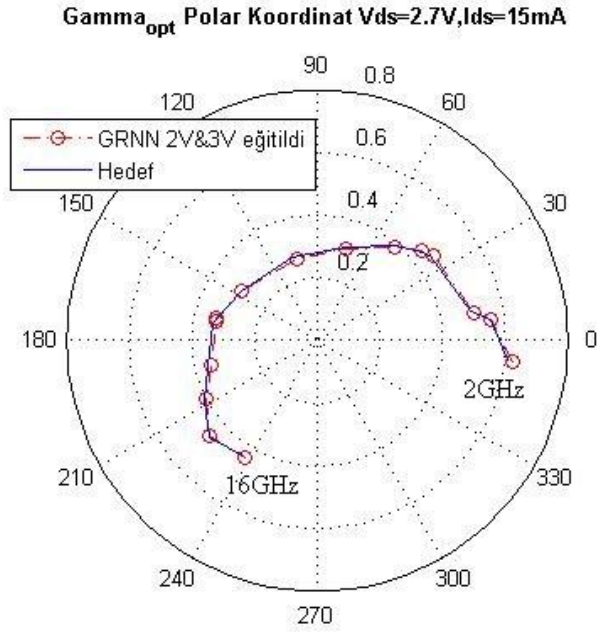
Şekil 5.63 Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi



Şekil 5.64 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi



Şekil 5.65 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi



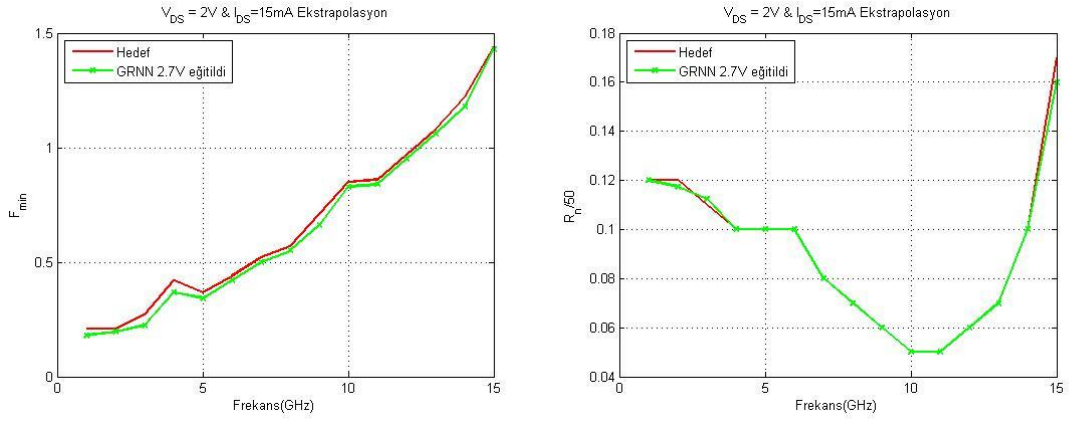
Şekil 5.66 Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi

5.5.2.2 Ekstrapolasyon Uygulaması

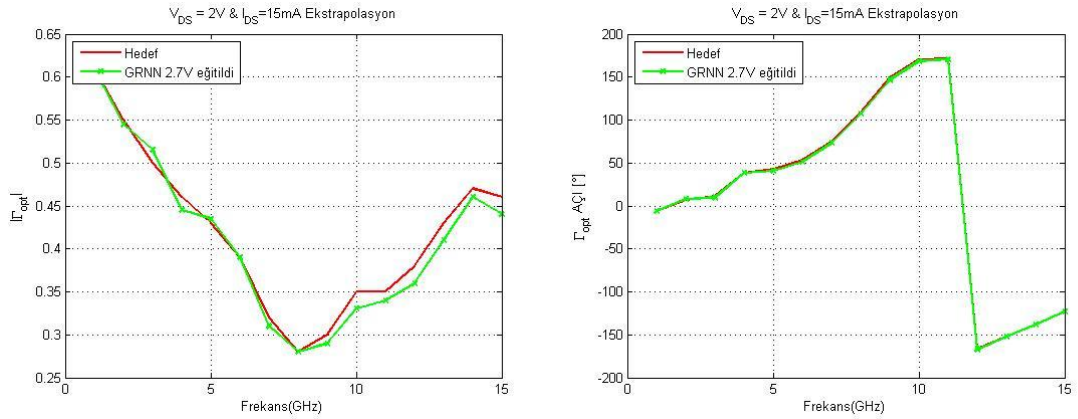
Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.17 ve 5.18’de verilmiştir.

$V_{ds} = 2V$ & $I_{ds} = 15mA$ için elde edilen gürültü parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.67-5.68), ϕ_{opt} ’un frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.69) gösterilmiştir.

$V_{ds} = 3V$ & $I_{ds} = 20mA$ için elde edilen gürültü parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.70-5.71), ϕ_{opt} ’un frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.72) gösterilmiştir.

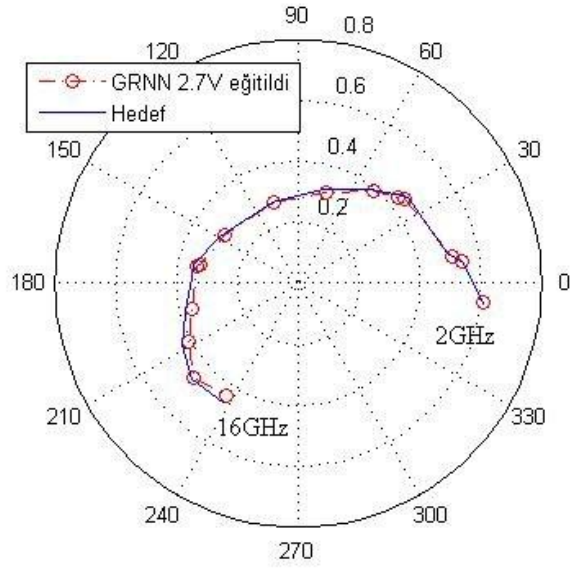


Şekil 5.67 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi

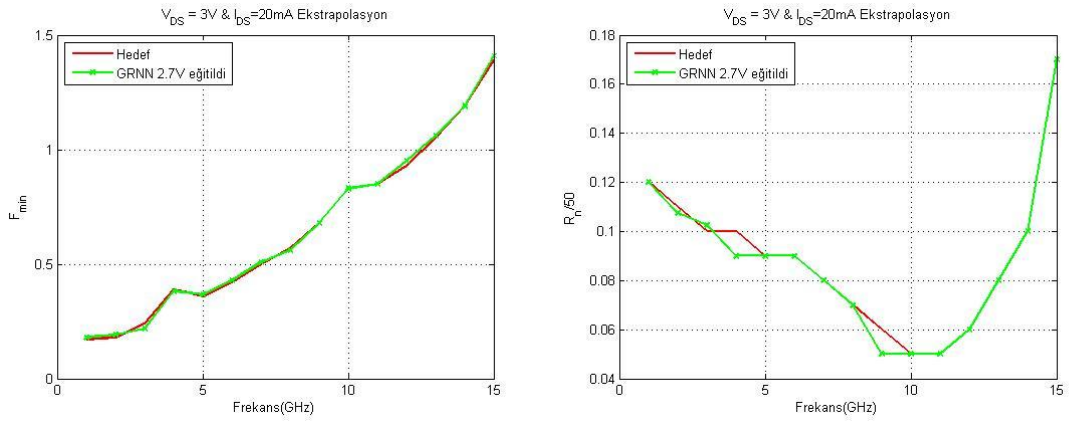


Şekil 5.68 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi

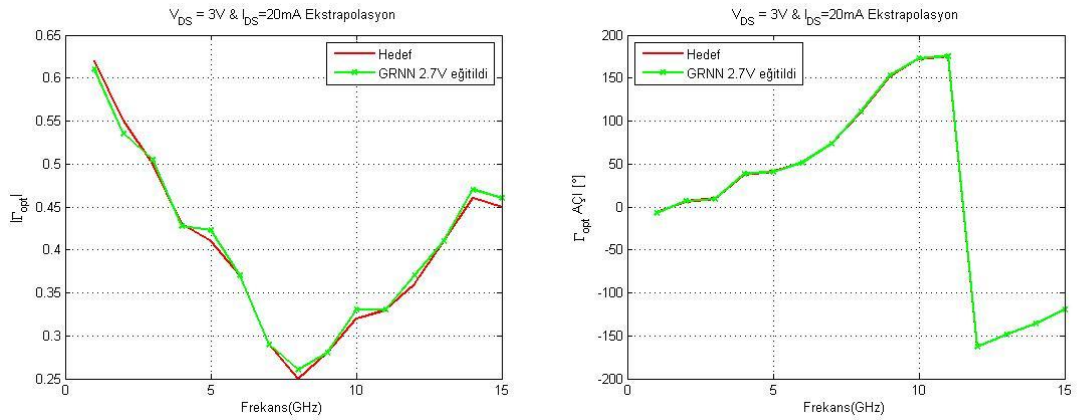
Gamma_{opt} Polar Koordinat V_{ds}=2V, I_{ds}=15mA



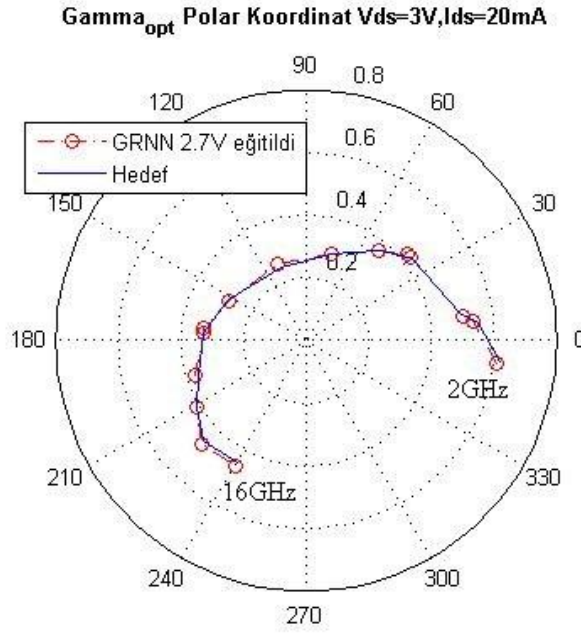
Şekil 5.69 Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi



Şekil 5.70 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi



Şekil 5.71 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi



Şekil 5.72 Frekans ile ϕ_{opt} değişiminin smith abağı ile gösterimi

5.6 Uygulama Örneği: ATF-551M4'ün İşaret Modeli

5.6.1 Modelin Eğitim ve Test Verisi

Çalışmada, modellenecek aktif mikrodalga eleman olarak ATF-551M4 (Ek-B) transistörü seçilmiştir. Transistörün işaret parametreleri, $V_{ds} = \{2V, 2.7V, 3V\}$ kutuplama gerilimi ve her kutuplama gerilimi için $I_{ds} = \{10mA, 15mA, 20mA\}$ kutuplama akımından oluşan toplam 9 adet kutuplama koşulunda 2 GHz-17 GHz frekans aralığında elde edilmiş olan üretici verilerinden elde edilmiştir. İşaret verileri 16 ayrık frekans noktasında tanımlanmıştır. Modelin eğitim ve test verisi 2 farklı veri grubu için oluşturulmuştur:

- İnterpolasyon: Eğitim Verisi, $V_{ds} = (2, 3) V$ & $I_{ds} = (10, 15, 20) mA$ olmak üzere 96 veri, test verisi ise $V_{ds} = 2.7V$ & $I_{ds} = (10, 15, 20) mA$ olmak üzere 48 adet veri içermektedir.
- Ekstrapolasyon: Eğitim Verisi, $V_{ds} = 2.7V$ & $I_{ds} = (10, 15, 20) mA$ olmak üzere 48 veri, test verisi ise $V_{ds} = (2, 3) V$ & $I_{ds} = (10, 15, 20) mA$ olmak üzere 96 adet veri içermektedir.

5.6.2 Sinir Ağı Model Sonuçları

Transistörün işaret davranışını modellemek amacıyla iki farklı sinir ağı yapıları oluşturulmuş ve bu ağların eğitim ve test performansları ise farklı veri grupları kullanılarak normalize verilerle değerlendirilmiştir (çizelge 5.19, çizelge 5.20). GRNN temelli sinir ağlarının elde ettikleri optimum ağırlık kümesi, aynı verilerle eğitim işleminde farklılık göstermediğinden, eğitim veya test performansları da aynı uygulamayı her denemede aynı değerleri vermektedir. Elde edilen sinir ağı modellerinin farklı veri kümeleri için eğitim ve test performansları takip eden alt bölümlerde verilmiştir.

Çizelge 5.19 Sinir ağı modellerinin eğitim performansları

Ortalama Eğitim Hatası (mse)	
İnterpolasyon Uygulaması	0.0062
Ekstrapolasyon Uygulaması	0.0081

Çizelge 5.20 Sinir ağı modellerinin test performansları

Ortalama Test Hatası (mse)	
İnterpolasyon Uygulaması	0.0157
Ekstrapolasyon Uygulaması	0.0259

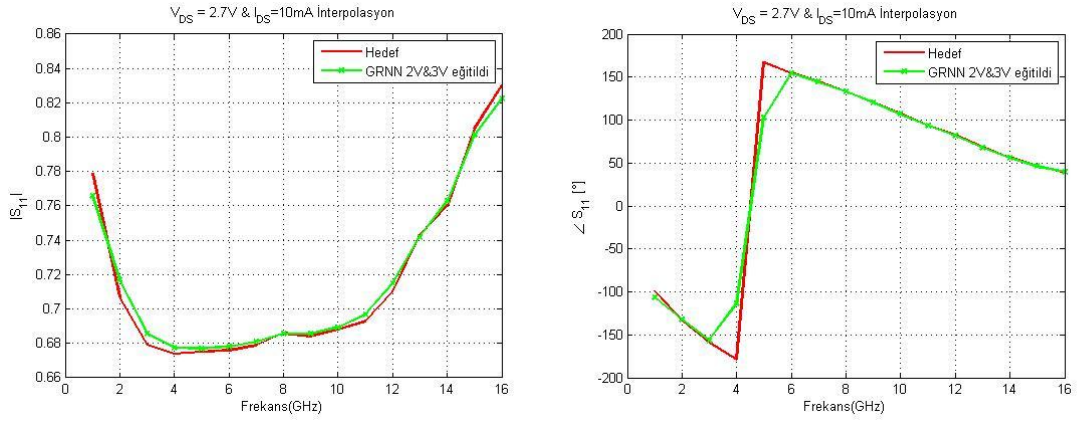
5.6.2.1 İnterpolasyon Uygulaması

Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.19 ve 5.20’de verilmiştir.

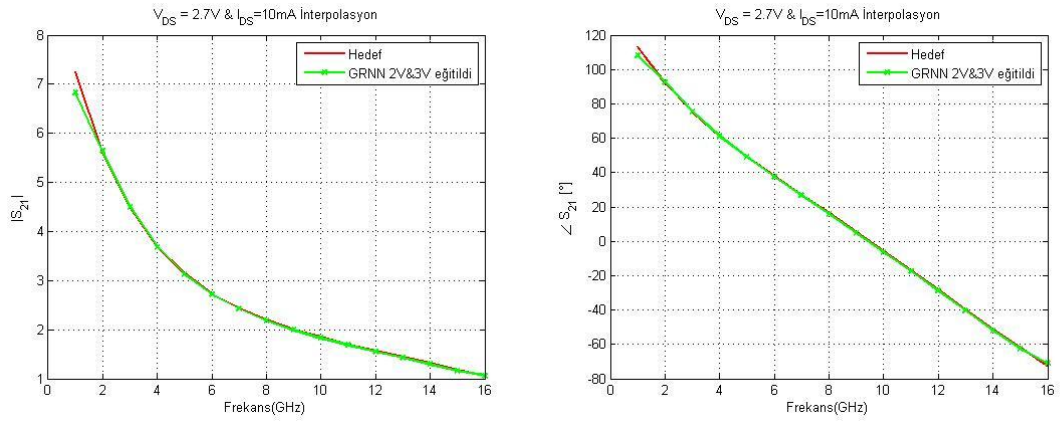
$V_{ds} = 2,7V$ & $I_{ds} = 10mA$ için elde edilen işaret parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.73-5.76), S_{11} ve S_{22} frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.77) gösterilmiştir. Ek olarak frekans ile S_{21} ve S_{12} değişimi polar koordinat üzerinde (Şekil 5.78) gösterilmiştir.

$V_{ds} = 2,7V$ & $I_{ds} = 15mA$ için elde edilen işaret parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.79-5.82), S_{11} ve S_{22} frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.83)

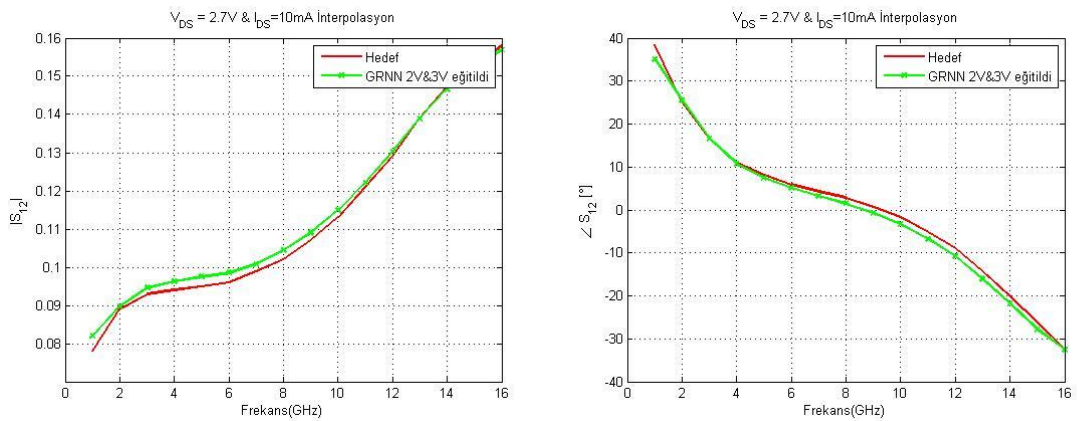
gösterilmiştir. Ek olarak frekans ile S_{21} ve S_{12} değişimi polar koordinat üzerinde (Şekil 5.84) gösterilmiştir.



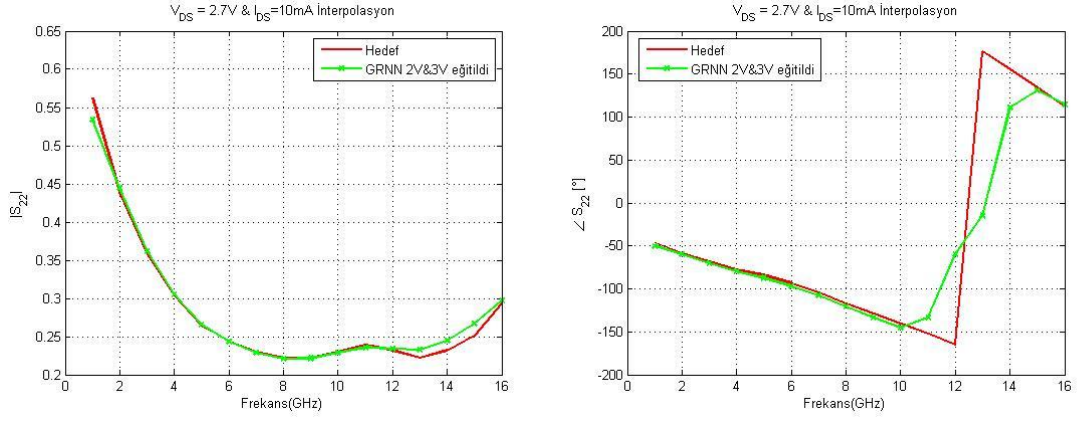
Şekil 5.73 Frekans ile $|S_{11}|$ ve S_{11} (açı) değişimi



Şekil 5.74 Frekans ile $|S_{21}|$ ve S_{21} (açı) değişimi

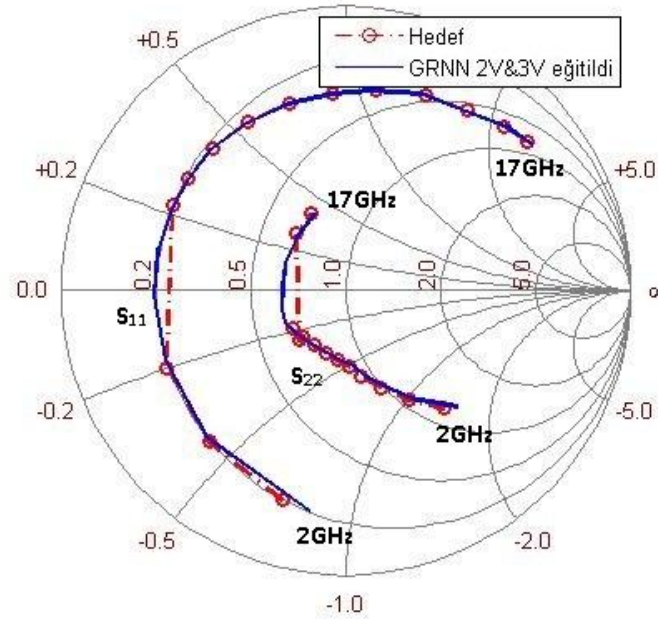


Şekil 5.75 Frekans ile $|S_{12}|$ ve S_{12} (açı) değişimi

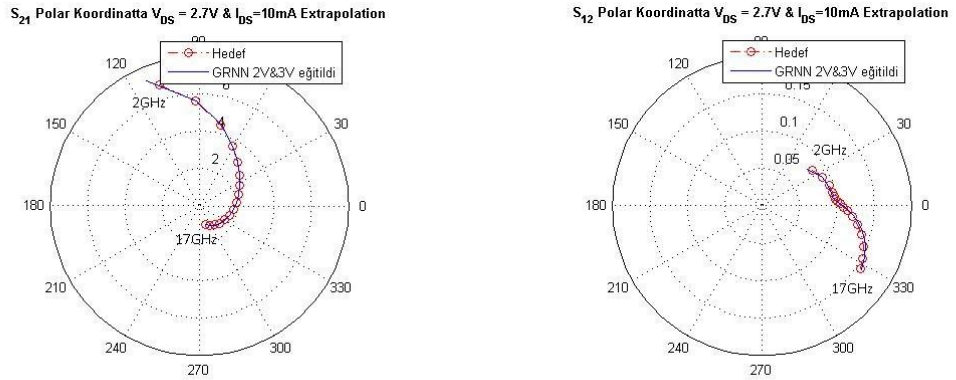


Şekil 5.76 Frekans ile $|S_{22}|$ ve S_{22} (açı) değişimi

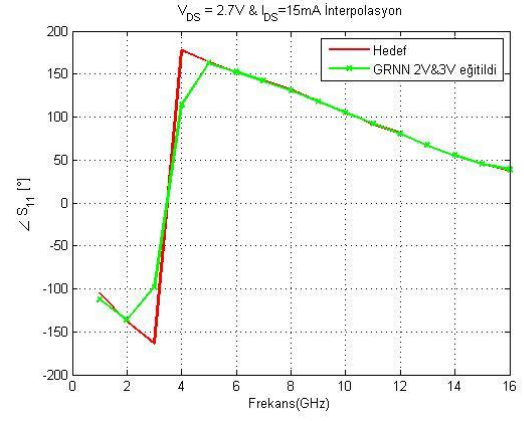
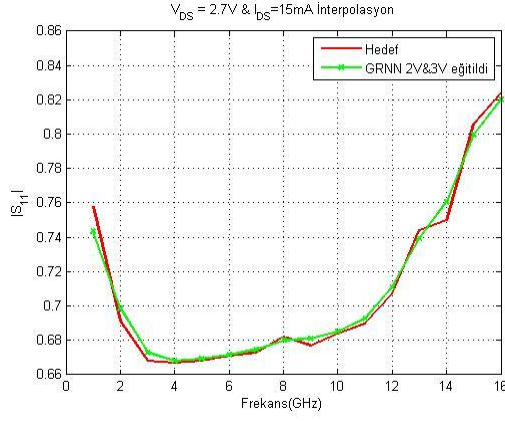
S_{11} ve S_{22} Smith Abagında $V_{DS}=2.7V$ & $I_{DS}=10mA$ Extrapolation



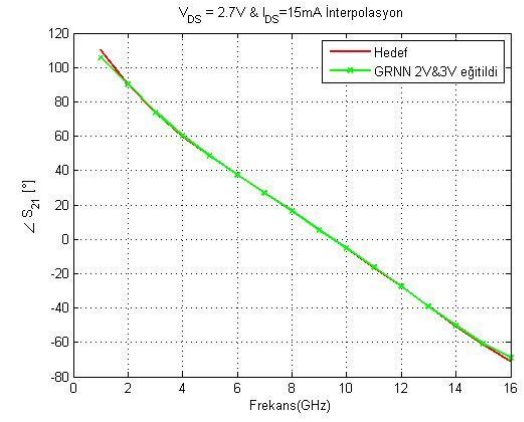
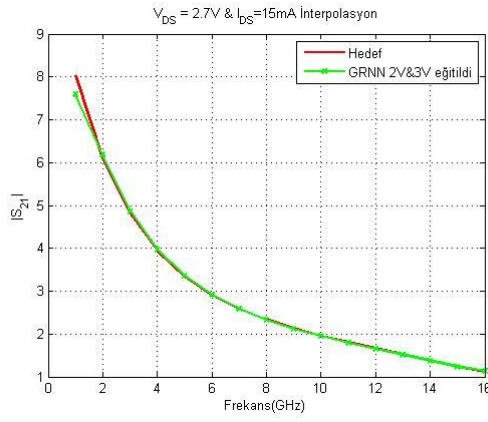
Şekil 5.77 Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi



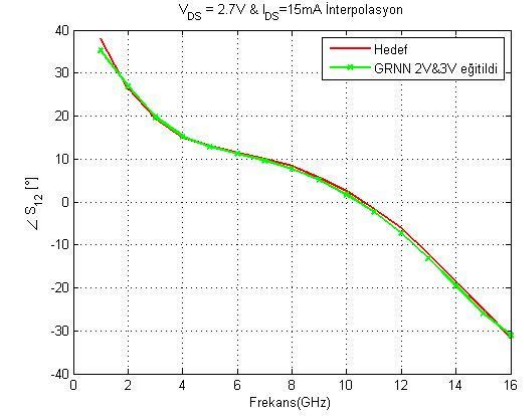
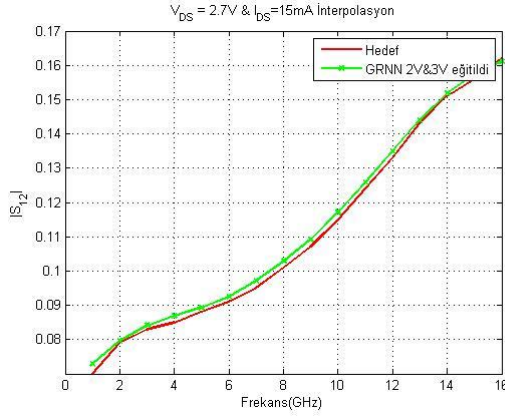
Şekil 5.78 Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi



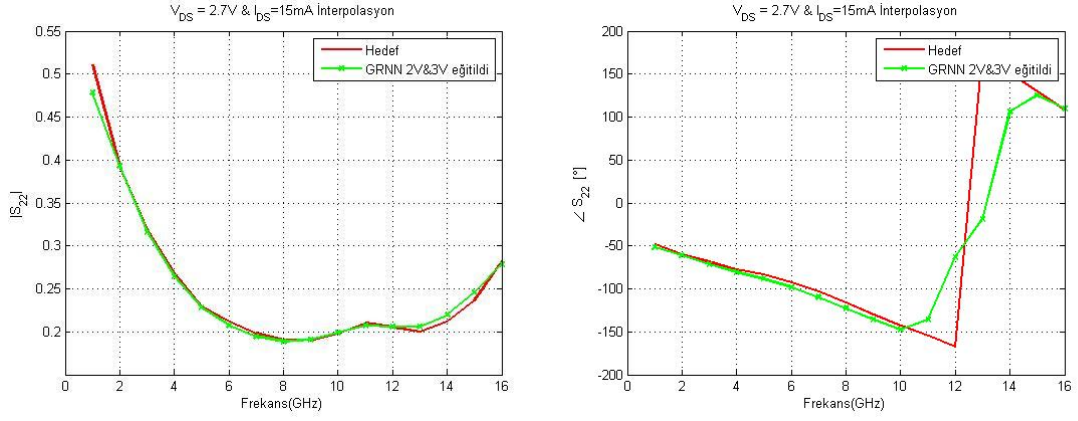
Şekil 5.79 Frekans ile $|S_{11}|$ ve S_{11} (açı) değişimi



Şekil 5.80 Frekans ile $|S_{21}|$ ve S_{21} (açı) değişimi

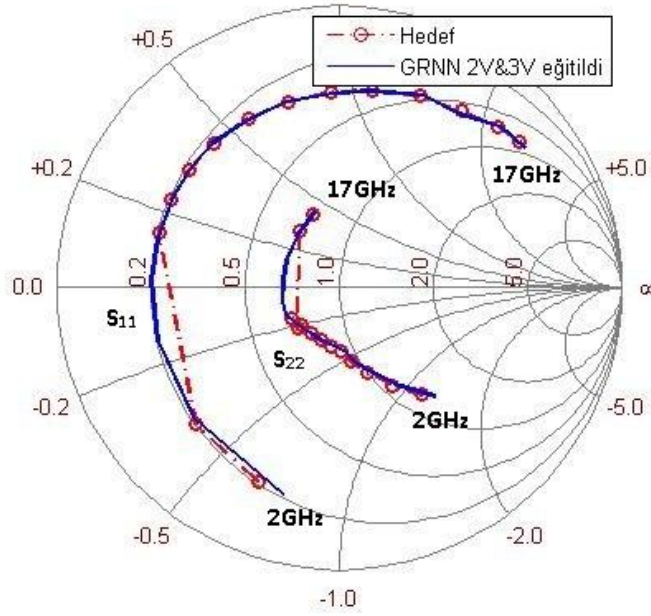


Şekil 5.81 Frekans ile $|S_{12}|$ ve S_{12} (açı) değişimi



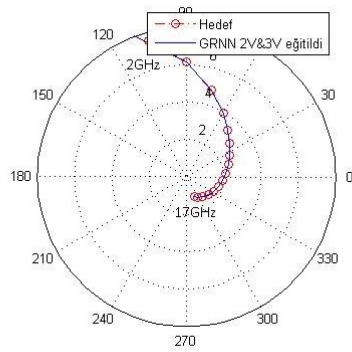
Şekil 5.82 Frekans ile $|S_{22}|$ ve S_{22} (açı) değişimi

S_{11} ve S_{22} Smith Abagında $V_{DS} = 2.7V$ & $I_{DS} = 15mA$ Extrapolation

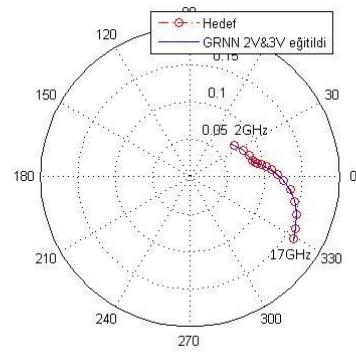


Şekil 5.83 Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi

S_{21} Polar Koordinatta $V_{DS} = 2.7V$ & $I_{DS} = 15mA$ Extrapolation



S_{12} Polar Koordinatta $V_{DS} = 2.7V$ & $I_{DS} = 15mA$ Extrapolation



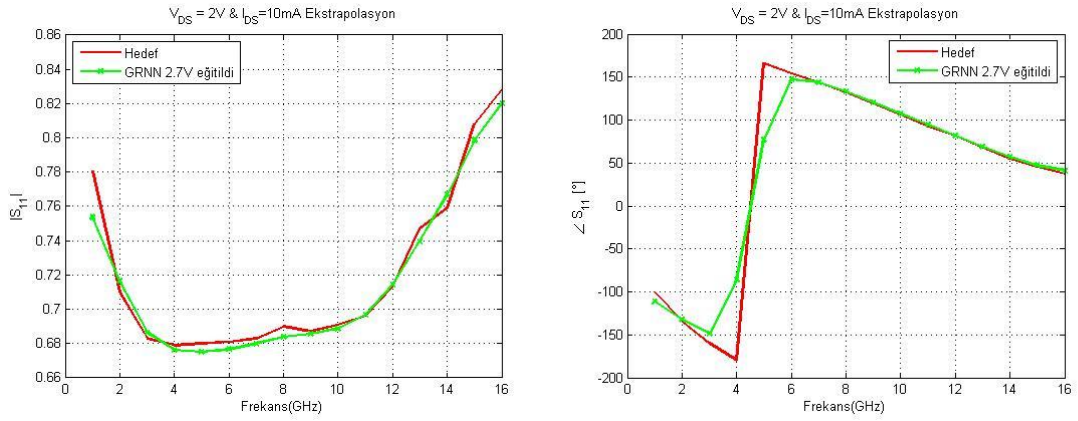
Şekil 5.84 Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi

5.6.2.2 Ekstrapolasyon Uygulaması

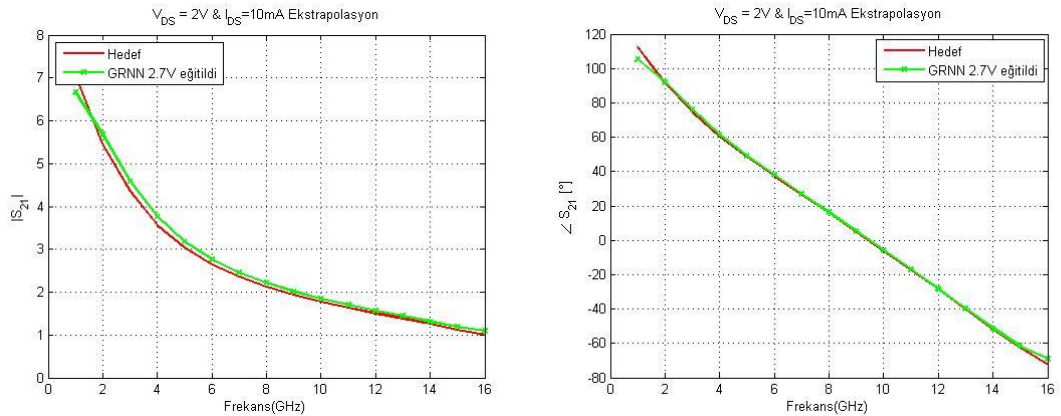
Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Çizelge 5.19 ve 5.20’de verilmiştir.

$V_{ds} = 2V$ & $I_{ds} = 10mA$ için elde edilen işaret parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.85-5.88), S_{11} ve S_{22} frekansla değişimleri smith abağında (Şekil 5.89) gösterilmiştir. Ek olarak frekans ile S_{21} ve S_{12} değişimi polar koordinat üzerinde (Şekil 5.90) gösterilmiştir.

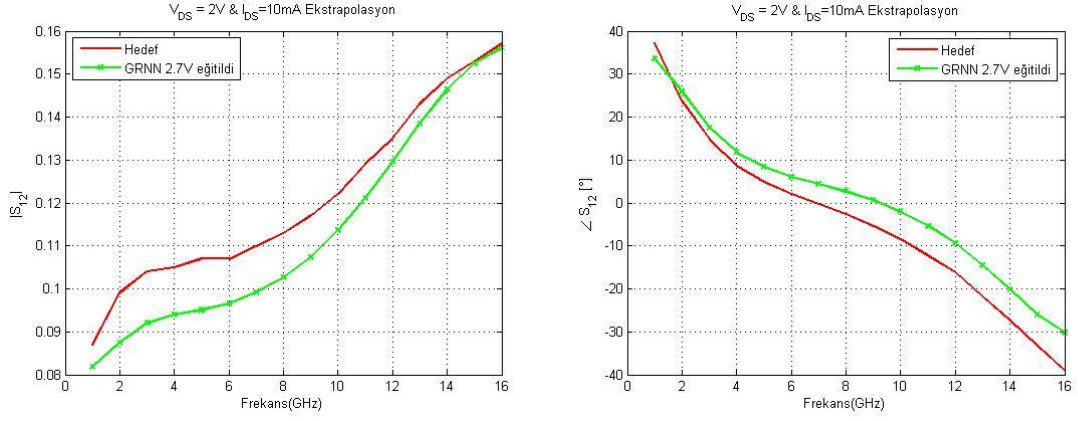
$V_{ds} = 3V$ & $I_{ds} = 20mA$ için elde edilen işaret parametreleri kartezyen koordinatlarda (Şekil 5.91-5.94), S_{11} ve S_{22} frekansla değişimleri Smith abağında (Şekil 5.95) gösterilmiştir. Ek olarak frekans ile S_{21} ve S_{12} değişimi polar koordinat üzerinde (Şekil 5.96) gösterilmiştir.



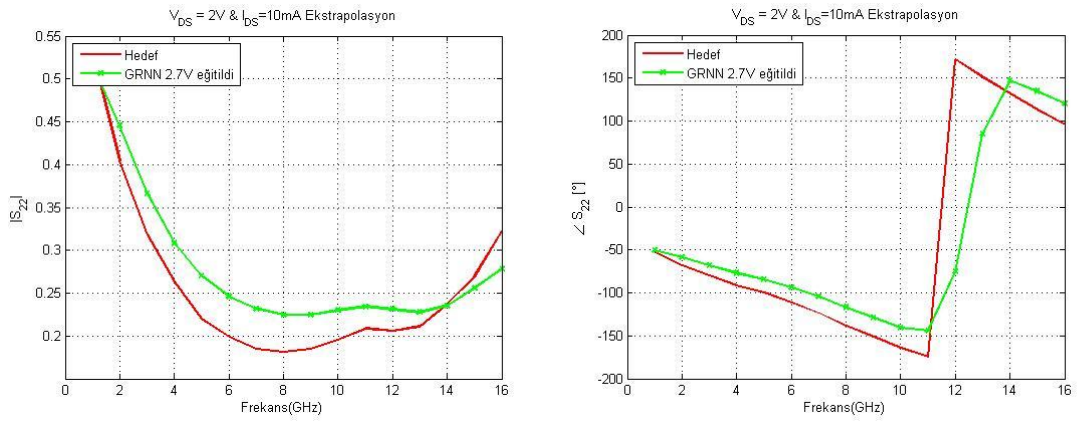
Şekil 5.85 Frekans ile $|S_{11}|$ ve S_{11} (açı) değişimi



Şekil 5.86 Frekans ile $|S_{21}|$ ve S_{21} (açı) değişimi

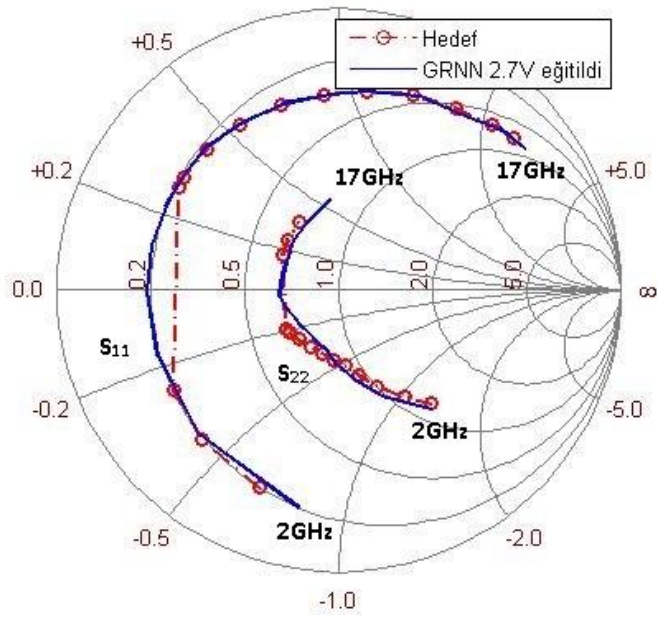


Şekil 5.87 Frekans ile $|S_{12}|$ ve S_{12} (açı) değişimi



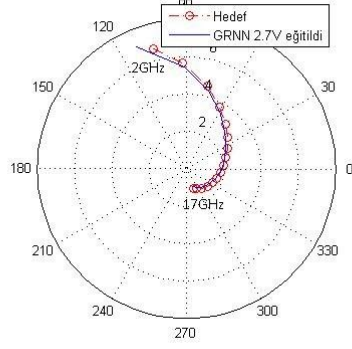
Şekil 5.88 Frekans ile $|S_{22}|$ ve S_{22} (açı) değişimi

S_{11} ve S_{22} Smith Abagında $V_{DS}=2V$ & $I_{DS}=10mA$ İnterpolasyon

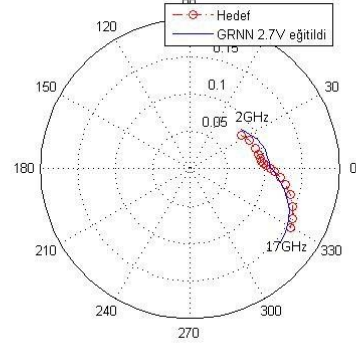


Şekil 5.89 Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi

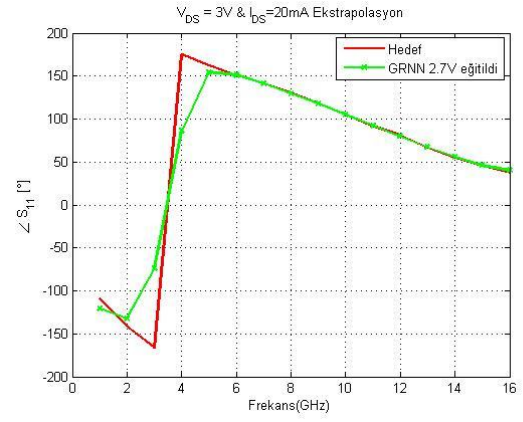
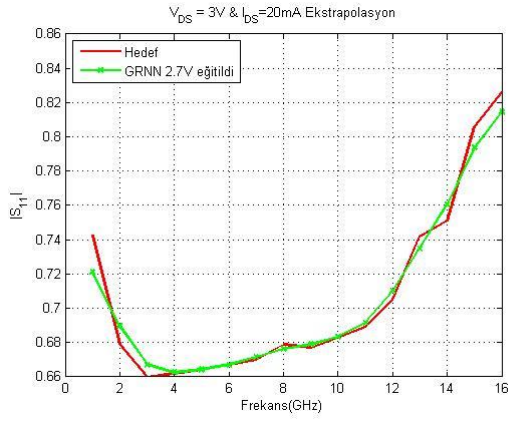
S_{21} Polar Koordinatta $V_{DS} = 2V$ & $I_{DS} = 10mA$ İnterpolasyon



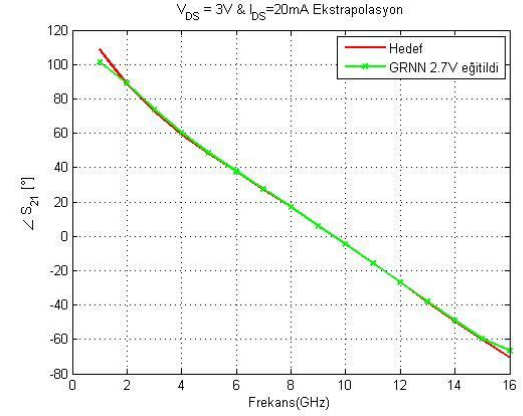
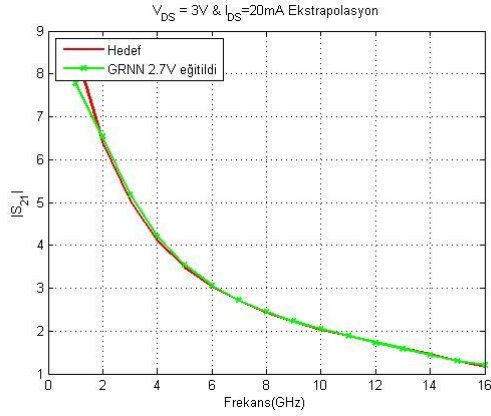
S_{12} Polar Koordinatta $V_{DS} = 2V$ & $I_{DS} = 10mA$ İnterpolasyon



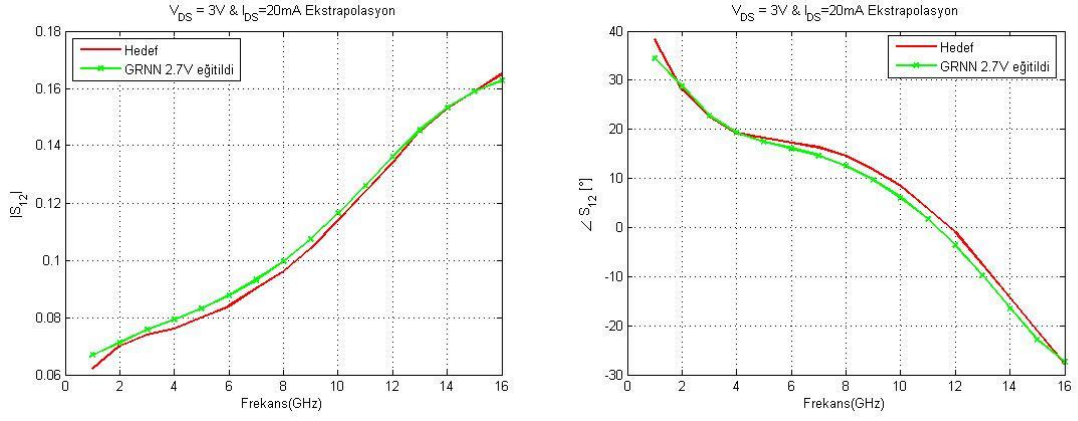
Şekil 5.90 Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi



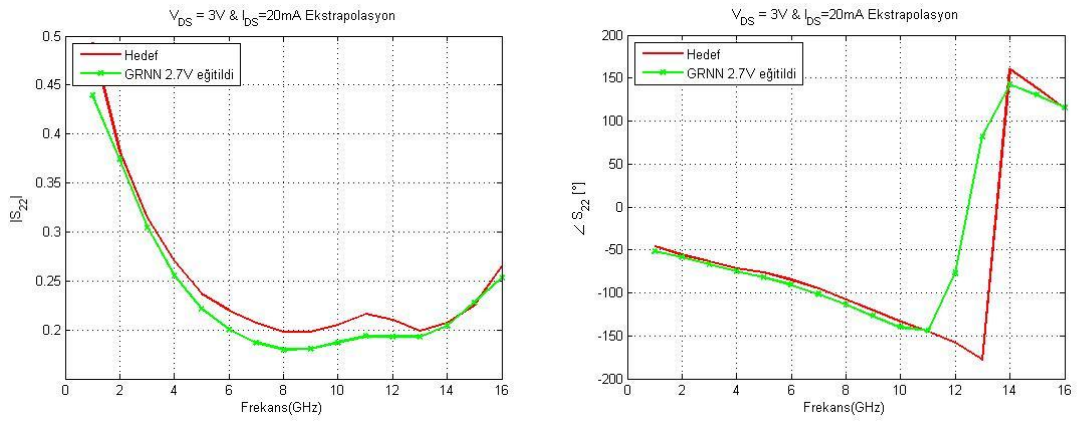
Şekil 5.91 Frekans ile $|S_{11}|$ ve S_{11} (açı) değişimi



Şekil 5.92 Frekans ile $|S_{21}|$ ve S_{21} (açı) değişimi

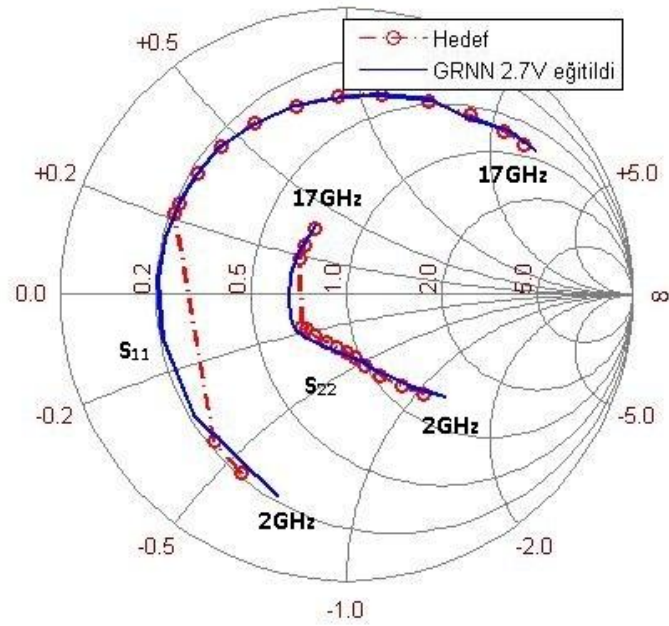


Şekil 5.93 Frekans ile $|S_{12}|$ ve S_{12} (açı) değişimi

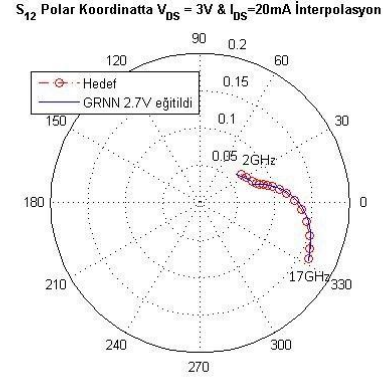
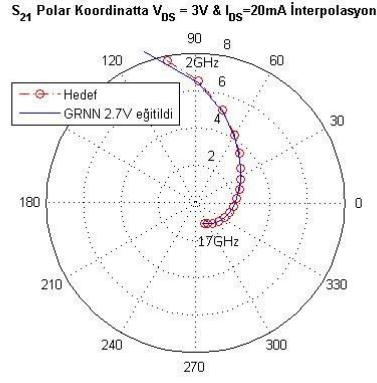


Şekil 5.94 Frekans ile $|S_{22}|$ ve S_{22} (açı) değişimi

S_{11} ve S_{22} Smith Abagında $V_{DS}=3V$ & $I_{DS}=20mA$ Interpolasyon



Şekil 5.95 Frekans ile S_{11} ve S_{22} değişiminin smith abağı ile gösterimi



Şekil 5.96 Frekans ile S_{21} ve S_{12} değişiminin polar form ile gösterimi

5.7 Sonuçlar

Bu çalışmada GRNN metodu, gradyan temelli algoritmalarla alternatif olarak doğrusal olmayan fonksiyonların yapay sinir ağları ile regresyonunda kullanılmıştır. Bu amaçla belirlenen iki tür mikrodalga transistörün işaret ve gürültü modelinin oluşturularak farklı algoritmalar ile kıyaslanmıştır. VMMK ve ATF serili transistörler için uygulamalar yapılarak ATF modelin de çok yüksek oranda başarı sağlanmıştır. Gürültü figürü tahmininde hata oranı çok düşük olmakla birlikte, ATF'nin işaret figürü tahmininde ise başarılı bir sonuç elde edilmiştir. VMMK'nın 2 özel parametresindeki hata düzeltmesi ardından ondada başarı sağlanmıştır. VMMK transistörü için 0-45 GHz gibi geniş bir aralıkta çalışma yapılmıştır. Bölüm 5.4.2 sadece bir kutuplama gerilim verisinin eğitimde kullanılıp; geri kalanın test verisi olarak kullanılması başarı oranında pek bir değişim olmadığı gösterilmiştir. Bölüm 5.4.3 uygulamasında ise diğer YSA lardan MLP, RBE, RB ile GRNN'nin aynı grafikte çizdirerek GRNN'nin başarısı teyit edilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, basit, doğru, hızlı ve güvenilir modelleme verilerin optimum miktarda veri kullanarak mikrodalga transistör gürültü-işaret karakterizasyonu için yapılmıştır. Biz sadece tek bir kutuplama geriliminin dört akımlar için ölçülen gürültü-işaret verileri transistörün tüm alanı içine genelleme için yeterli olduğunu gösterdik. Gelişen teknoloji, her araştırma çalışmasında daha hızlı, daha hassas ve kolay uygulanabilme özellikleri göstermektedir. Gerçekleştirilen çalışmaların literatüre katkısı şu şekilde özetlenebilir:

- Bir mikrodalga transistörün GRNN temelli işaret-gürültü sinir ağı modeli literatüre tanıtılmıştır: Çeşitli uygulamalarda, mlp, rbe, rb gibi sinir ağı modelleri ile örnekleri mevcuttur, aktif elemanın işaret ve gürültü davranışı ilk kez GRNN temelli sinir ağı yapıları ile modellenmiştir.
- Yapay sinir ağları ile gerçekleştirilen sinir ağı uygulamalarında ağın sadece interpolasyon performansları incelenmiştir. Bu ise daha maliyetli bir yöntem olmaktadır. Bu çalışmada ise; hem interpolasyon; hem de ekstrapolasyon incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Hatta ekstrapolasyon incelemeleri tek bir kutuplama gerilimi için farklı kutuplama gerilimine sahip test verileri için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, mevcut transistörün tanımlandığı 4 adet V_{DS} geriliminden sadece bir tanesini eğitim verisi olarak kullanarak, ekstrapolasyon uygulaması için gayet başarılı test performansının elde edildiğini göstermektedir.

- GRNN temelli sinir ağı modelinin eğitim ve test performansını artırabilmek için öncelikle daha fazla iterasyon sayısına ihtiyaç duyulmamaktadır. Çünkü GRNN her defasında aynı net sonucu vermektedir. Buda yapılan çalışmalarda hızlı sonuç almamızı sağlanmıştır.

- Hızla gelişen teknolojide yeni üretilen transistörlerin işaret ve gürültü parametreleri için uygun maliyetli bir yaklaşım olarak GRNN modelleme kullanılabilirliği bu tezde gösterilmiş oldu.

İleride yapmayı planladığımız çalışmalarda gerek antenlerin s parametreleri eğitimi gerek iletim hattı parametrelerinin belirli aralıklarda tahmini için zemin hazırlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Güneş, F., Gürgen, F., ve Torpi, H., (1996). "Signal-noise neural network model for active microwave devices," IEE Proc Circuits Devices Syst 143, 1–8.
- [2] Güneş, F., Torpi, H., ve Gürgen, F., (1998). "Multidimensional signal-noise neural network model," IEE Proc Circuits Devices Syst 145, 111–117.
- [3] Güneş, F., Tokan, N.T., ve Gürgen, F., (2007). "Signal - noise support vector model of a microwave transistor," Int J RF Microwave CAE 17, 404–415.
- [4] Ludwig, R. ve Bretchko, P., (2000), RF Circuit Design, Prentice-Hall, Inc.
- [5] Gonzalez, G., (1997). Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, Prentice-Hall, Inc.
- [6] Specht, D. F., (1991). A general regression neural network, IEEE Trans. Neural Netw. 2 (6): 568–576.
- [7] Özkaya, U., (2011). Parçacık Sürü Algoritmalarının Mikrodalga Kuvvetlendirici Uygulamaları, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Werbos, P., (1974). Beyond regression: New tools for prediction and analysis in behavioral sciences, PhD thesis, Harvard University, Cambridge MA.
- [9] Fernandes, F.A.N. ve Lona, L.M.F., (2005). Neural network applications in polymerization processes, Braz. J. Chem. Eng. 22 (3 Temmuz - 3 Eylül 2005): 401–41
- [10] Cengiz, Y. ve Güneş, F., (2010). "Bir Mikrodalga Transistorunun İşaret Parametrelerinin Bulanık Mantık Temelli Adaptif Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi", V. URSI-Türkiye Bilimsel Kongresi, 25 - 27 Ağustos 2010: 387-390.
- [11] Gülez K., (2004). A general regression neural network. (31): 761-777
- [12] Nadaraya, E.A., (1964). On estimating regression, Theory Probab. Appl. 10: 186–190.
- [13] Watson, G.S., Smooth regression analysis, Sankhya, Ser. A 26 (4)
- [14] Tsoukalas, L. H., ve Uhrig, R. E., (1997). Fuzzy and Neural Approache in Engineering: New York, John Wiley and Sons, Inc., 87.

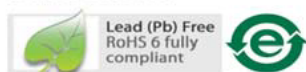
- [15] Schioler, H. ve Hartmann, U., (1992). Mapping neural network derived from the Parzen window estimator, *Neural Netw.* 5 (6): 359–372.
- [16] Rumelhart, D.E., Hinton G.E. ve Williams R. J., (1986). Learning Representations by back-propagating errors,” *Nature* 323: 533-536.

VMMK-1225 MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜNÜN ÜRETİCİ VERİLERİ

VMMK-1225
0.5 to 26 GHz Low Noise E-PHEMT
in a Wafer Scale Package

AVAGO
TECHNOLOGIES

Data Sheet

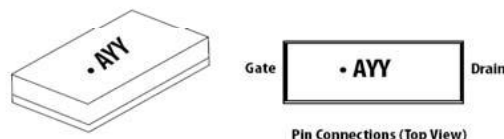


Description

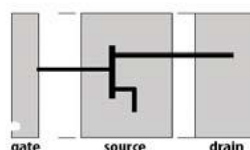
Avago Technologies has combined its industry leading E-pHEMT technology with a revolutionary chip scale package. The VMMK-1225 can produce an LNA with high dynamic range, high gain and low noise figure that operates off of a single position DC power supply. The GaAsCap wafer scale sub-miniature leadless package is small and ultra thin, yet can be handled and placed with standard 0402 pick and place assembly.

The use of 0.25 micron gates allow a ultra low noise figure (below 1dB from 500 MHz to 12 GHz) with respectable associated gain. With a flat transconductance over bias and frequency the VMMK-1225 provides excellent linearity of over 22 dBm and power over 10 dBm at one dB compression. This product is easy to use since it requires only positive DC voltages for bias and low matching coefficients for simple impedance matching to 50 Ω systems. The VMMK-1225 is intended for any 500MHz to 26.5GHz application including 802.11abgn WLAN, WiMax, BWA 802.16 & 802.20 and military applications.

GaAsCap 0402, 1.05mm x 0.55mm x 0.25mm



Notes: Top view package marking provides orientation



Notes:
"A" = Device Code
"YY" = Year Code

Features

- Sub-miniature 0402 (1mm x 0.5mm) Surface Mount Leadless Package
- Low height (0.25mm)
- Frequency Range DC to 26.5 GHz
- Enhancement Mode^[1]
- 0.25 micron gate width
- Tape and Reel packaging option available

Specifications

- 0.87dB Fmin
- 11dB Ga
- +23 dBm output 3rd order intercept
- +8 dBm output power

Applications

- 2.4 GHz, 3.5GHz, 5-6GHz WLAN and WiMax notebook computer, access point and mobile wireless applications
- DBS 10 to 13 GHz receivers
- VSAT and SATCOM 13 to 18 GHz systems
- 802.16 & 802.20 BWA systems
- WLL and MMDS Transceivers
- General purpose discrete E-pHEMT for other ultra low noise applications

Notes:

1. The Avago enhancement mode pHEMT devices do not require a negative gate bias voltage as they are "normally off". They can help simplify the design and reduce the cost of receivers and transmitters in many applications from 500 MHz to 18 GHz



Attention: Observe precautions for handling electrostatic sensitive devices.
ESD Machine Model = MM20 V (class A)
ESD Human Body Model = 100 V (Class 0)
Refer to Avago Application Note A004R:
Electrostatic Discharge, Damage and Control.

VMMK-1225 Typical Scattering Parameters and Noise Parameters, $T_A=25^\circ\text{C}$, $V_{ds}=2\text{V}$, $I_{ds}=20\text{mA}$ [1]

Freq GHz	S11			S21		S12		S22		MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	
2	0.95	-42.72	19.01	8.92	148.51	0.03	62.56	0.78	-22.76	33.45
3	0.92	-62.66	18.46	8.38	134.49	0.05	50.55	0.74	-33.18	30.07
4	0.88	-81.48	17.82	7.78	121.19	0.06	39.47	0.69	-42.88	27.08
5	0.85	-98.49	17.11	7.17	109.28	0.07	29.48	0.65	-51.36	24.89
6	0.81	-114.47	16.36	6.58	98.09	0.07	20.68	0.60	-59.27	23.06
7	0.79	-129.09	15.64	6.05	87.68	0.08	12.23	0.56	-66.63	21.51
8	0.77	-142.63	14.91	5.56	77.86	0.08	4.59	0.53	-73.61	20.20
9	0.75	-155.20	14.16	5.11	68.55	0.08	-2.42	0.50	-80.46	19.02
10	0.74	-166.71	13.47	4.71	59.82	0.08	-8.97	0.47	-86.77	18.01
11	0.73	-177.38	12.81	4.37	51.64	0.08	-15.21	0.45	-92.81	17.11
12	0.73	172.73	12.17	4.06	43.68	0.08	-20.51	0.43	-98.99	16.34
13	0.73	163.36	11.58	3.79	36.07	0.08	-25.92	0.42	-104.88	15.64
14	0.72	154.49	11.00	3.55	28.75	0.08	-31.20	0.40	-110.71	15.00
15	0.72	146.17	10.48	3.34	21.67	0.07	-35.48	0.40	-116.24	14.43
16	0.73	137.93	9.99	3.16	14.53	0.07	-39.63	0.39	-121.82	13.96
17	0.73	129.96	9.52	2.99	7.56	0.07	-43.76	0.38	-127.93	13.52
18	0.73	122.52	9.05	2.83	0.89	0.07	-47.66	0.38	-133.93	13.09
19	0.74	114.96	8.61	2.69	-5.89	0.07	-51.22	0.38	-139.67	12.70
20	0.74	107.64	8.19	2.57	-12.53	0.07	-54.78	0.38	-145.51	12.36
21	0.75	100.69	7.77	2.44	-19.05	0.06	-58.37	0.38	-151.20	12.05
22	0.76	93.20	7.38	2.34	-25.66	0.06	-62.24	0.37	-156.42	11.72
23	0.76	86.08	7.01	2.24	-32.37	0.06	-65.41	0.37	-162.46	11.42
24	0.77	79.35	6.66	2.15	-38.72	0.06	-69.57	0.38	-168.85	11.26
25	0.78	72.88	6.31	2.07	-45.30	0.06	-72.63	0.38	-175.43	10.99
26	0.78	66.18	5.94	1.98	-51.81	0.06	-76.40	0.38	178.40	10.70

Typical Noise Parameters

Freq GHz	Fmin dB	Γ_{opt} Mag.	Γ_{opt} Ang.	Rn/50	Ga dB
2	0.15	0.78	16.80	0.19	21.31
3	0.23	0.707	24	0.19	19.92
4	0.3	0.637	31.7	0.18	18.63
5	0.37	0.573	40	0.17	17.45
6	0.44	0.515	48.8	0.16	16.37
7	0.51	0.462	58.2	0.15	15.41
8	0.58	0.415	68.1	0.14	14.55
9	0.66	0.373	78.6	0.13	13.79
10	0.73	0.338	89.7	0.12	13.15
11	0.8	0.308	101.3	0.11	12.61
12	0.87	0.284	113.5	0.1	12.17
13	0.94	0.265	126.2	0.09	11.85
14	1.01	0.252	139.5	0.09	11.63
15	1.09	0.245	153.4	0.08	11.52
16	1.16	0.244	167.8	0.08	11.51
17	1.23	0.248	-177.3	0.08	11.62

Note:

1. S-parameters are measured in 50 Ohm test environment.

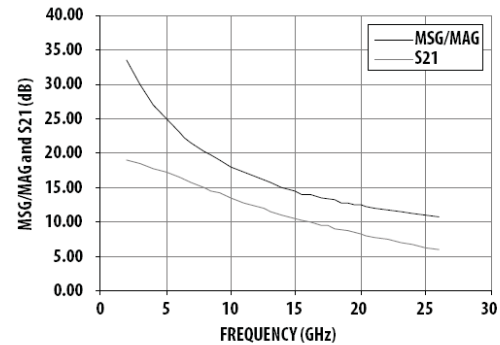


Figure 15. MSG/MAG and S21 vs Frequency at 2V 20mA

VMMK-1225 Typical Scattering Parameters and Noise Parameters, $T_A=25^\circ\text{C}$, $V_{ds}=1.5\text{V}$, $I_{ds}=20\text{mA}$ [1]

Freq GHz	S11			S21			S12		S22		MSG/MAG
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.		Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	dB
2	0.95	-41.45	19.16	9.07	149.23		0.04	63.03	0.75	-25.07	35.71
3	0.92	-60.81	18.64	8.55	135.54		0.05	51.14	0.71	-36.68	32.36
4	0.88	-79.22	18.03	7.97	122.51		0.06	40.08	0.66	-47.70	29.32
5	0.85	-95.99	17.35	7.37	110.76		0.07	30.08	0.62	-57.44	27.04
6	0.82	-111.80	16.64	6.80	99.69		0.08	20.91	0.57	-66.62	25.10
7	0.79	-126.35	15.94	6.26	89.35		0.09	12.49	0.53	-75.19	23.45
8	0.77	-139.88	15.23	5.77	79.62		0.09	4.67	0.49	-83.31	22.05
9	0.75	-152.58	14.50	5.31	70.33		0.09	-2.71	0.46	-91.35	20.76
10	0.74	-164.13	13.82	4.91	61.64		0.09	-9.42	0.43	-98.74	19.66
11	0.73	-174.92	13.16	4.55	53.54		0.09	-15.86	0.41	-105.72	18.68
12	0.72	175.03	12.54	4.24	45.64		0.09	-21.52	0.38	-112.70	17.84
13	0.72	165.58	11.95	3.96	38.11		0.09	-27.32	0.37	-119.39	17.08
14	0.72	156.60	11.38	3.71	30.88		0.09	-32.92	0.35	-125.81	16.37
15	0.71	148.19	10.86	3.49	23.83		0.09	-37.75	0.34	-131.85	15.76
16	0.72	139.78	10.37	3.30	16.76		0.09	-42.36	0.33	-138.18	15.26
17	0.72	131.83	9.89	3.12	9.84		0.08	-47.16	0.33	-144.56	14.79
18	0.72	124.31	9.42	2.96	3.32		0.08	-51.18	0.32	-150.78	14.34
19	0.73	116.48	8.97	2.81	-3.41		0.08	-55.89	0.32	-157.20	13.95
20	0.73	109.16	8.55	2.68	-9.91		0.08	-60.43	0.32	-163.11	13.60
21	0.74	102.09	8.15	2.55	-16.35		0.08	-64.86	0.32	-169.12	13.28
22	0.75	94.51	7.76	2.44	-22.84		0.08	-69.11	0.31	-174.70	12.90
23	0.75	87.43	7.38	2.34	-29.48		0.07	-73.28	0.31	-178.98	12.59
24	0.76	80.52	7.03	2.25	-35.76		0.07	-77.84	0.31	-172.70	12.42
25	0.76	74.22	6.67	2.16	-42.19		0.07	-82.02	0.32	-166.48	12.14
26	0.77	67.45	6.31	2.07	-48.60		0.07	-86.38	0.32	-159.81	11.88

Typical Noise Parameters

Freq	Fmin	Γ_{opt}	Γ_{opt}	Rn/50	Ga
GHz	dB	Mag.	Ang.		dB
2	0.15	0.81	16.80	0.18	21.28
3	0.21	0.734	24	0.18	19.91
4	0.28	0.665	31.8	0.17	18.65
5	0.34	0.601	40	0.17	17.49
6	0.41	0.543	48.8	0.16	16.43
7	0.47	0.49	58.2	0.15	15.48
8	0.54	0.442	68	0.14	14.64
9	0.6	0.4	78.4	0.13	13.9
10	0.67	0.363	89.3	0.12	13.27
11	0.73	0.332	100.7	0.11	12.74
12	0.8	0.307	112.6	0.1	12.32
13	0.86	0.286	125.1	0.09	12
14	0.93	0.272	138.1	0.08	11.79
15	0.99	0.262	151.6	0.08	11.68
16	1.06	0.259	165.6	0.08	11.68
17	1.12	0.26	-179.8	0.08	11.79

Note:

1. S-parameters are measured in 50 Ohm test environment.

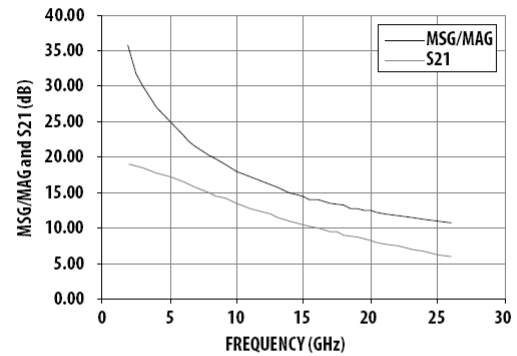


Figure 16. MSG/MAG and S21 vs Frequency at 1.5V 20mA

VMMK-1225 Typical Scattering Parameters and Noise Parameters, $T_A=25^\circ\text{C}$, $V_{ds}=3\text{V}$, $I_{ds}=20\text{mA}$ [1]

Freq GHz	S11			S21			S12		S22		MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.		Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	
2	0.95	-44.16	18.65	8.56	147.52		0.03	62.38	0.80	-20.48	33.25
3	0.92	-64.98	18.10	8.03	132.99		0.04	49.96	0.76	-29.83	29.80
4	0.87	-84.86	17.43	7.44	119.11		0.05	38.25	0.71	-38.52	26.77
5	0.84	-103.02	16.69	6.83	106.61		0.06	28.18	0.67	-46.15	24.51
6	0.81	-119.88	15.89	6.23	94.91		0.06	19.19	0.63	-53.21	22.66
7	0.78	-135.19	15.11	5.69	84.12		0.07	10.75	0.59	-59.80	21.11
8	0.76	-149.25	14.32	5.20	74.00		0.07	3.23	0.56	-66.03	19.78
9	0.75	-161.91	13.51	4.74	64.50		0.07	-3.86	0.53	-72.27	18.59
10	0.74	-173.16	12.77	4.35	55.73		0.07	-9.95	0.52	-78.27	17.60
11	0.74	176.55	12.05	4.01	47.51		0.07	-15.58	0.50	-84.02	16.71
12	0.74	167.27	11.39	3.71	39.54		0.06	-20.57	0.49	-90.13	15.98
13	0.74	158.74	10.77	3.46	32.00		0.06	-25.46	0.48	-96.11	15.29
14	0.74	150.81	10.19	3.23	24.84		0.06	-29.82	0.47	-101.79	14.67
15	0.73	143.18	9.66	3.04	17.76		0.06	-33.52	0.47	-107.60	14.12
16	0.74	135.70	9.16	2.87	10.68		0.06	-36.60	0.47	-113.31	13.64
17	0.74	128.49	8.71	2.73	3.81		0.06	-39.53	0.47	-118.80	13.23
18	0.74	121.25	8.27	2.59	-2.90		0.05	-42.17	0.47	-124.55	12.80
19	0.74	113.89	7.85	2.47	-9.79		0.05	-44.68	0.48	-130.27	12.44
20	0.75	106.67	7.46	2.36	-16.52		0.05	-47.26	0.48	-136.04	12.11
21	0.75	99.29	7.07	2.26	-23.30		0.05	-50.61	0.48	-141.26	11.78
22	0.75	91.51	6.72	2.17	-30.13		0.05	-52.95	0.49	-146.30	11.46
23	0.75	83.74	6.37	2.08	-37.20		0.05	-55.09	0.49	-151.70	11.13
24	0.76	75.90	6.04	2.00	-43.95		0.05	-58.00	0.49	-157.00	10.91
25	0.76	68.74	5.69	1.93	-50.88		0.05	-60.53	0.49	-163.41	10.67
26	0.77	61.14	5.33	1.85	-57.76		0.05	-63.55	0.49	-168.90	10.37

Typical Noise Parameters

Freq GHz	Fmin dB	Γ_{opt} Mag.	Γ_{opt} Ang.	Rn/50	Ga dB
2	0.14	0.783	16.4	0.19	20.73
3	0.21	0.704	23.4	0.18	19.33
4	0.29	0.632	30.9	0.18	18.03
5	0.37	0.565	39.1	0.17	16.85
6	0.45	0.505	48	0.16	15.77
7	0.53	0.45	57.4	0.15	14.81
8	0.61	0.402	67.6	0.14	13.95
9	0.68	0.359	78.3	0.13	13.21
10	0.76	0.322	89.7	0.12	12.57
11	0.84	0.291	101.7	0.11	12.04
12	0.92	0.266	114.3	0.11	11.62
13	1	0.247	127.6	0.1	11.31
14	1.08	0.234	141.5	0.09	11.12
15	1.15	0.227	156	0.09	11.03
16	1.23	0.226	171.2	0.09	11.05
17	1.31	0.231	-173	0.09	11.18

Note:

1. S-parameters are measured in 50 Ohm test environment.

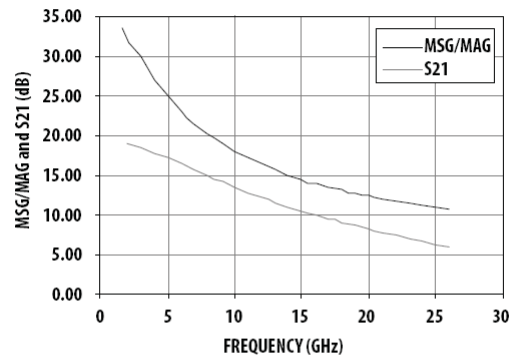


Figure 17. MSG/MAG and S21 vs Frequency at 3V 20mA

VMMK-1225 Typical Scattering Parameters and Noise Parameters, $T_A=25^\circ\text{C}$, $V_{ds}=4\text{V}$, $I_{ds}=20\text{mA}$ [1]

Freq GHz	S11			S21			S12		S22		MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.		Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	
2	0.95	-45.53	18.45	8.37	146.63		0.03	61.48	0.81	-19.63	33.11
3	0.91	-66.85	17.86	7.82	131.81		0.04	49.37	0.77	-28.48	29.56
4	0.87	-87.06	17.16	7.21	117.72		0.05	37.71	0.73	-36.59	26.53
5	0.83	-105.43	16.37	6.59	105.08		0.05	27.63	0.69	-43.74	24.25
6	0.80	-122.38	15.55	5.99	93.35		0.06	18.64	0.65	-50.37	22.41
7	0.78	-137.72	14.73	5.45	82.50		0.06	10.37	0.62	-56.59	20.86
8	0.76	-151.66	13.93	4.97	72.41		0.06	3.27	0.59	-62.52	19.54
9	0.75	-164.20	13.11	4.52	62.92		0.06	-3.88	0.56	-68.53	18.35
10	0.74	-175.38	12.36	4.15	54.12		0.06	-9.86	0.55	-74.35	17.39
11	0.74	174.53	11.64	3.82	45.87		0.06	-14.98	0.53	-80.07	16.51
12	0.74	165.32	10.97	3.54	37.88		0.06	-19.88	0.52	-86.09	15.78
13	0.74	156.90	10.34	3.29	30.28		0.06	-23.98	0.52	-92.05	15.09
14	0.74	149.09	9.76	3.08	23.07		0.06	-28.30	0.51	-97.69	14.48
15	0.74	141.52	9.23	2.89	15.94		0.05	-31.31	0.51	-103.56	13.94
16	0.74	134.12	8.72	2.73	8.83		0.05	-34.13	0.51	-109.35	13.46
17	0.74	126.90	8.27	2.59	1.87		0.05	-35.42	0.51	-114.79	13.05
18	0.74	119.69	7.82	2.46	-4.91		0.05	-38.50	0.51	-120.61	12.65
19	0.74	112.42	7.40	2.34	-11.91		0.05	-40.30	0.52	-126.46	12.27
20	0.75	105.25	7.00	2.24	-18.68		0.05	-42.50	0.52	-132.13	11.94
21	0.75	97.82	6.61	2.14	-25.52		0.05	-43.80	0.53	-137.49	11.61
22	0.75	90.09	6.24	2.05	-32.42		0.05	-46.17	0.53	-142.61	11.28
23	0.75	82.38	5.88	1.97	-39.51		0.05	-48.45	0.53	-148.08	10.95
24	0.76	74.56	5.55	1.89	-46.30		0.05	-50.37	0.53	-153.35	10.73
25	0.77	67.45	5.20	1.82	-53.32		0.04	-52.43	0.53	-159.71	10.48
26	0.77	59.93	4.83	1.74	-60.23		0.05	-55.25	0.53	-165.19	10.18

Typical Noise Parameters

Freq GHz	Fmin	Γ_{opt}	Γ_{opt}	Rn/50	Ga
	dB	Mag.	Ang.		dB
2	0.14	0.78	16.40	0.20	20.28
3	0.22	0.697	23.2	0.19	18.95
4	0.3	0.625	30.7	0.19	17.71
5	0.37	0.558	38.9	0.18	16.58
6	0.45	0.498	47.7	0.17	15.55
7	0.53	0.443	57.3	0.16	14.63
8	0.6	0.395	67.5	0.15	13.81
9	0.68	0.352	78.4	0.14	13.09
10	0.75	0.316	89.9	0.13	12.47
11	0.83	0.286	102.1	0.12	11.96
12	0.91	0.261	115	0.11	11.55
13	0.98	0.243	128.6	0.1	11.24
14	1.06	0.231	142.9	0.1	11.03
15	1.14	0.224	157.8	0.09	10.93
16	1.21	0.224	173.4	0.09	10.94
17	1.29	0.23	-170.3	0.09	11.04

Note:

1. S-parameters are measured in 50 Ohm test environment.

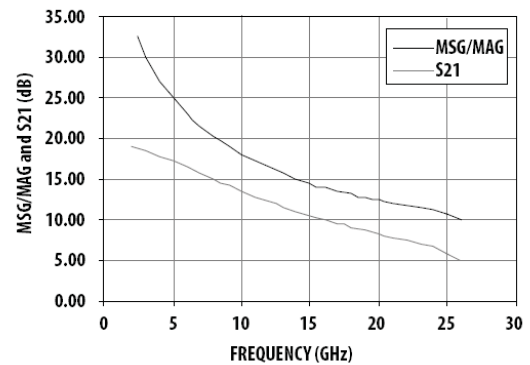
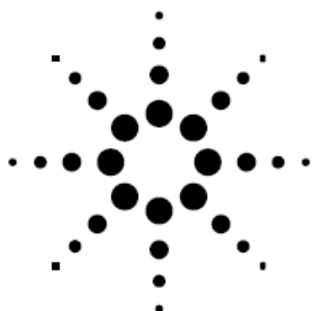


Figure 18. MSG/MAG and S21 vs Frequency at 4V 20mA

ATF-551M4 MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜNÜN ÜRETİCİ VERİLERİ



Agilent ATF-551M4 Low Noise Enhancement Mode Pseudomorphic HEMT in a Miniature Leadless Package Data Sheet

Description

Agilent Technologies' ATF-551M4 is a high dynamic range, super low noise, single supply E-pHEMT GaAs FET housed in a thin miniature leadless package.

The combination of small device size, super low noise (under 1 dB Fmin from 2 to 6 GHz), high linearity and low power makes the ATF-551M4 ideal for LNA or hybrid module designs in wireless receiver in the 450 MHz to 10 GHz frequency band.

Applications include Cellular/PCS/ WCDMA handsets and data modem cards, fixed wireless infrastructure in the 2.4, 3.5 GHz and UNII frequency bands, as well as 2.4 GHz 802.11b, 5 GHz 802.11a and HIPERLAN/2 Wireless LAN PC-cards.

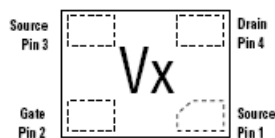
Note:

1. Agilent's enhancement mode E-pHEMT devices are the first commercially available single-supply GaAs transistors that do not need a negative gate bias voltage for operation. They can help simplify the design and reduce the cost of receivers and transmitters in many applications in the 450 MHz to 10 GHz frequency range.

MiniPak 1.4 mm x 1.2 mm Package



Pin Connections and Package Marking



Note:

Top View. Package marking provides orientation, product identification and date code.

"V" = Device Type Code

"x" = Date code character. A different character is assigned for each month and year.

Features

- Very low noise figure and high linearity
- Single Supply Enhancement Mode Technology^[1] optimized for 3V operation
- Excellent uniformity in product specifications
- 400 micron gate width
- Thin miniature package 1.4 mm x 1.2 mm x 0.7 mm
- Tape-and-reel packaging option available

Specifications

- 2 GHz; 2.7V, 10 mA (typ.)
- 24.1 dBm output 3rd order intercept
- 14.6 dBm output power at 1 dB gain compression
- 0.5 dB noise figure
- 17.5 dB associated gain

Applications

- Low Noise Amplifier for:
 - Cellular/PCS/WCDMA handsets and modem cards
 - 2.4 GHz, 3.5 GHz and UNII fixed wireless infrastructure
 - 2.4 GHz 802.11b Wireless LAN
 - 5 GHz 802.11a and HIPERLAN Wireless LAN
- General purpose discrete E-pHEMT for other ultra low noise applications



Agilent Technologies

ATF-551M4 Typical Scattering Parameters, $V_{DS} = 2V$, $I_{DS} = 10\text{ mA}$

Freq. GHz	S_{11}			S_{21}			S_{12}			S_{22}			MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		
0.1	0.995	-6.0	20.41	10.479	175.9		0.007	86.3		0.803	-3.3		31.75
0.5	0.954	-29.1	19.95	9.946	158.2		0.031	71.6		0.758	-15.6		25.06
0.9	0.906	-50.7	19.35	9.280	144.2		0.052	60.8		0.710	-27.4		22.52
1.0	0.896	-55.7	19.18	9.103	141.0		0.056	58.3		0.692	-30.2		22.11
1.5	0.833	-79.5	18.15	8.080	125.6		0.075	46.8		0.611	-42.3		20.32
1.9	0.790	-96.5	17.22	7.260	114.9		0.085	39.0		0.547	-50.4		19.32
2.0	0.781	-100.4	17.00	7.078	112.5		0.087	37.3		0.532	-52.3		19.10
2.5	0.739	-118.5	15.84	6.197	101.1		0.095	29.8		0.463	-60.6		18.14
3.0	0.710	-134.4	14.74	5.459	91.2		0.099	23.7		0.404	-67.6		17.41
4.0	0.683	-160.0	12.75	4.341	74.5		0.104	14.8		0.318	-79.6		16.21
5.0	0.679	-179.8	11.03	3.559	60.3		0.105	8.6		0.263	-91.2		15.30
6.0	0.680	166.5	9.65	3.036	48.5		0.107	5.0		0.220	-99.5		14.53
7.0	0.681	154.0	8.43	2.638	37.2		0.107	2.1		0.199	-111.0		13.92
8.0	0.683	143.7	7.43	2.353	26.4		0.110	-0.3		0.185	-123.4		13.30
9.0	0.690	132.7	6.53	2.122	15.7		0.113	-2.6		0.181	-137.7		11.27
10.0	0.687	119.7	5.72	1.932	4.5		0.117	-5.4		0.185	-151.1		9.97
11.0	0.691	106.5	4.98	1.775	-6.4		0.122	-8.4		0.196	-163.5		9.14
12.0	0.696	92.6	4.28	1.636	-17.7		0.129	-12.3		0.209	-174.4		8.44
13.0	0.713	81.8	3.53	1.501	-28.6		0.135	-16.2		0.206	171.4		7.80
14.0	0.747	67.4	2.82	1.384	-40.4		0.143	-21.8		0.211	151.2		7.62
15.0	0.759	55.5	1.97	1.255	-51.8		0.149	-27.4		0.237	131.8		6.73
16.0	0.808	45.4	1.00	1.122	-62.4		0.153	-33.3		0.269	113.3		6.90
17.0	0.828	37.3	-0.01	0.999	-72.7		0.157	-39.2		0.322	95.4		6.20
18.0	0.870	30.9	-1.04	0.887	-82.6		0.159	-45.2		0.383	80.1		7.47

Typical Noise Parameters, $V_{DS} = 2V$, $I_{DS} = 10\text{ mA}$

Freq GHz	F_{min} dB	Γ_{opt} Mag.	Γ_{opt} Ang.	$R_n/50$	G_n dB
0.5	0.24	0.62	-4.3	0.14	23.50
0.9	0.24	0.56	8.8	0.13	21.66
1.0	0.28	0.52	13.5	0.12	21.61
1.9	0.45	0.47	38.6	0.11	18.04
2.0	0.39	0.47	42.9	0.11	17.88
2.4	0.47	0.42	52.8	0.11	16.76
3.0	0.55	0.35	74.0	0.09	15.66
3.9	0.61	0.32	105.4	0.08	14.10
5.0	0.74	0.33	144.0	0.06	12.74
5.8	0.89	0.36	164.3	0.05	11.83
6.0	0.90	0.37	166.1	0.05	11.63
7.0	1.03	0.38	-170.9	0.06	10.71
8.0	1.13	0.44	-157.2	0.07	9.99
9.0	1.27	0.48	-142.4	0.09	9.36
10.0	1.53	0.46	-126.0	0.17	8.46

Notes:

1. The F_{min} values are based on a set of 16 noise figure measurements made at 16 different impedances using an ATN NP5 test system. From these measurements F_{min} is calculated. Refer to the noise parameter measurement section for more information.
2. S and noise parameters are measured on a microstrip line made on 0.010 inch thick alumina carrier assembly. The input reference plane is at the end of the gate pad. The output reference plane is at the end of the drain pad.

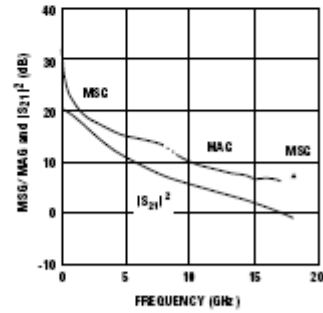


Figure 26. MSG/MAG and $|S_{21}|^2$ vs. Frequency at 2V, 10 mA.

ATF-551M4 Typical Scattering Parameters, $V_{DS} = 2V$, $I_{DS} = 15\text{ mA}$

Freq. GHz	S_{11}			S_{21}			S_{12}			S_{22}			MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		Mag.	Ang.	dB	
0.1	0.995	-6.6	21.93	12.489	175.5		0.006	86.2		0.765	-3.7	33.18	
0.5	0.947	-31.6	21.41	11.757	156.7		0.029	70.9		0.715	-17.0	26.08	
0.9	0.892	-54.7	20.67	10.804	142.0		0.048	59.7		0.659	-29.6	23.52	
1.0	0.880	-60.1	20.46	10.547	138.6		0.052	57.1		0.641	-32.5	23.07	
1.5	0.812	-84.9	19.26	9.186	123.0		0.067	48.0		0.555	-45.0	21.37	
1.9	0.768	-102.1	18.23	8.153	112.3		0.076	38.7		0.489	-53.1	20.31	
2.0	0.758	-106.1	17.98	7.923	109.9		0.077	37.2		0.474	-55.0	20.12	
2.5	0.718	-124.1	16.73	6.859	98.9		0.084	30.5		0.407	-63.2	19.12	
3.0	0.692	-139.7	15.55	5.991	89.3		0.088	25.3		0.352	-70.2	18.33	
4.0	0.671	-164.5	13.47	4.716	73.3		0.092	18.0		0.272	-82.3	17.10	
5.0	0.670	176.6	11.70	3.845	59.7		0.095	13.1		0.222	-94.5	16.07	
6.0	0.671	163.5	10.30	3.273	48.3		0.098	10.5		0.181	-103.2	15.24	
7.0	0.674	151.5	9.06	2.838	37.4		0.101	8.2		0.164	-115.4	14.49	
8.0	0.676	141.6	8.06	2.528	27.0		0.105	6.1		0.152	-128.5	12.66	
9.0	0.684	130.9	7.14	2.276	16.5		0.111	3.7		0.150	-143.3	11.51	
10.0	0.682	118.0	6.33	2.072	5.6		0.117	0.6		0.156	-156.9	10.35	
11.0	0.686	105.1	5.59	1.903	-5.0		0.124	-3.1		0.170	-169.0	9.57	
12.0	0.691	91.4	4.88	1.753	-16.1		0.132	-7.6		0.183	-179.3	8.87	
13.0	0.708	80.9	4.13	1.609	-26.9		0.140	-12.3		0.181	165.9	8.27	
14.0	0.744	66.5	3.42	1.483	-38.5		0.148	-18.6		0.188	145.0	8.14	
15.0	0.756	54.9	2.59	1.347	-49.7		0.155	-24.9		0.217	125.0	7.23	
16.0	0.805	45.0	1.59	1.201	-60.2		0.158	-31.2		0.253	106.8	7.38	
17.0	0.825	37.0	0.61	1.073	-70.4		0.161	-37.5		0.310	89.4	6.61	
18.0	0.870	30.7	-0.41	0.954	-80.1		0.163	-43.8		0.373	74.9	7.67	

Typical Noise Parameters, $V_{DS} = 2V$, $I_{DS} = 15\text{ mA}$

Freq GHz	F_{min} dB	Γ_{opt} Mag.	Γ_{opt} Ang.	$R_n/50$	G_a dB
0.5	0.21	0.61	-6.1	0.12	24.12
0.9	0.21	0.55	7.0	0.12	22.18
1.0	0.27	0.50	11.4	0.11	22.12
1.9	0.42	0.46	38.1	0.10	18.61
2.0	0.37	0.43	42.7	0.10	18.52
2.4	0.44	0.39	52.9	0.10	17.34
3.0	0.52	0.32	74.4	0.08	16.21
3.9	0.57	0.28	108.3	0.07	14.65
5.0	0.71	0.30	149.5	0.06	13.27
5.8	0.85	0.35	170.0	0.05	12.38
6.0	0.86	0.35	171.7	0.05	12.19
7.0	0.97	0.38	-165.9	0.06	11.24
8.0	1.08	0.43	-152.1	0.07	10.49
9.0	1.22	0.47	-138.1	0.10	9.84
10.0	1.44	0.46	-122.5	0.17	8.96

Notes:

1. The F_{min} values are based on a set of 16 noise figure measurements made at 16 different impedances using an ATN NPS test system. From these measurements F_{min} is calculated. Refer to the noise parameter measurement section for more information.
2. S and noise parameters are measured on a microstrip line made on 0.010 inch thick alumina carrier assembly. The input reference plane is at the end of the gate pad. The output reference plane is at the end of the drain pad.

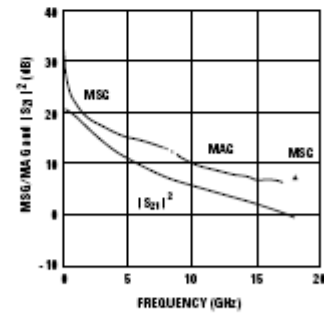


Figure 27. MSG/MAG and $|S_{21}|^2$ vs. Frequency at 2V, 15 mA.

ATF-551M4 Typical Scattering Parameters, $V_{DS} = 2V$, $I_{DS} = 20\text{ mA}$

Freq. GHz	S_{11}			S_{21}			S_{12}			S_{22}			MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		
0.1	0.994	-6.9	22.85	13.876	175.3		0.006	85.6		0.740	-3.9		33.64
0.5	0.942	-33.3	22.27	12.905	155.7		0.027	70.4		0.687	-17.8		26.82
0.9	0.882	-57.3	21.44	11.806	140.5		0.045	59.0		0.627	-30.9		24.19
1.0	0.869	-62.8	21.21	11.491	137.1		0.048	56.5		0.608	-33.8		23.79
1.5	0.798	-88.1	19.90	9.881	121.3		0.062	45.7		0.520	-46.4		22.02
1.9	0.753	-105.5	18.79	8.704	110.7		0.070	38.9		0.455	-54.4		20.95
2.0	0.744	-109.5	18.53	8.443	108.4		0.071	37.4		0.441	-56.3		20.75
2.5	0.706	-127.4	17.22	7.262	97.5		0.077	31.3		0.376	-64.3		19.75
3.0	0.681	-142.7	16.01	6.314	89.2		0.081	26.7		0.323	-71.0		18.92
4.0	0.663	-167.0	13.88	4.943	72.5		0.085	20.3		0.248	-82.9		17.65
5.0	0.664	174.6	12.09	4.021	59.3		0.089	16.2		0.201	-96.2		16.55
6.0	0.666	161.9	10.68	3.418	48.1		0.093	14.1		0.162	-103.7		15.65
7.0	0.670	150.1	9.43	2.962	37.3		0.097	12.0		0.144	-116.4		14.85
8.0	0.673	140.4	8.42	2.637	27.1		0.103	10.0		0.133	-130.0		12.78
9.0	0.681	129.8	7.51	2.373	16.8		0.109	7.4		0.131	-145.9		11.65
10.0	0.678	117.1	6.68	2.158	6.0		0.117	3.7		0.139	-160.3		10.56
11.0	0.682	104.3	5.94	1.982	-4.6		0.125	-0.2		0.154	-172.7		9.80
12.0	0.688	90.6	5.23	1.826	-15.6		0.133	-5.2		0.168	-176.9		9.11
13.0	0.706	80.3	4.48	1.675	-26.3		0.142	-10.3		0.169	-161.6		8.56
14.0	0.743	65.9	3.76	1.542	-38.0		0.150	-17.0		0.182	-139.6		8.46
15.0	0.753	54.4	2.92	1.400	-48.9		0.157	-23.6		0.212	-121.2		7.48
16.0	0.804	44.7	1.93	1.249	-59.3		0.160	-30.1		0.250	-103.8		7.76
17.0	0.824	36.7	0.95	1.116	-69.4		0.163	-36.5		0.306	-87.0		6.93
18.0	0.869	30.6	-0.05	0.994	-78.9		0.165	-43.0		0.367	-73.0		7.80

Typical Noise Parameters, $V_{DS} = 2V$, $I_{DS} = 20\text{ mA}$

Freq GHz	F_{min} dB	Γ_{opt} Mag.	Γ_{opt} Ang.	$R_n/50$	G_n dB
0.5	0.19	0.59	-7.0	0.11	23.50
0.9	0.20	0.54	6.3	0.11	21.66
1.0	0.25	0.48	10.1	0.10	21.61
1.9	0.41	0.43	38.7	0.09	18.04
2.0	0.36	0.41	43.1	0.09	17.88
2.4	0.43	0.37	53.4	0.09	16.76
3.0	0.51	0.29	76.3	0.08	15.66
3.9	0.58	0.26	112.7	0.07	14.10
5.0	0.70	0.29	154.0	0.05	12.74
5.8	0.85	0.34	173.6	0.05	11.83
6.0	0.86	0.35	175.9	0.05	11.63
7.0	0.94	0.37	-162.3	0.06	10.71
8.0	1.07	0.42	-148.2	0.08	9.99
9.0	1.20	0.48	-135.2	0.10	9.36
10.0	1.43	0.46	-119.5	0.17	8.46

Notes:

1. The F_{min} values are based on a set of 16 noise figure measurements made at 16 different impedances using an ATN NP5 test system. From these measurements F_{min} is calculated. Refer to the noise parameter measurement section for more information.
2. S and noise parameters are measured on a microstrip line made on 0.010 inch thick alumina carrier assembly. The input reference plane is at the end of the gate pad. The output reference plane is at the end of the drain pad.

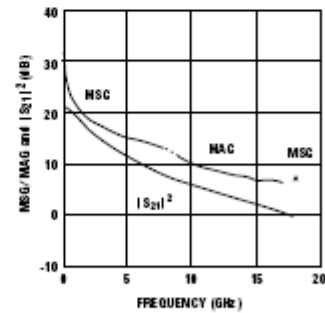


Figure 28. MSG/MAG and $|S_{21}|^2$ vs. Frequency at 2V, 20 mA.

ATF-551M4 Typical Scattering Parameters, $V_{DS} = 2.7V$, $I_{DS} = 10\text{ mA}$

Freq. GHz	S_{11}			S_{21}			S_{12}		S_{22}		MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.		Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	
0.1	0.995	-5.9	20.55	10.656	175.9		0.006	86.3	0.825	-3.0	32.49
0.5	0.955	-28.7	20.11	10.129	158.4		0.028	72.0	0.782	-14.0	25.58
0.9	0.907	-50.0	19.52	9.466	144.6		0.046	61.3	0.735	-24.5	23.13
1.0	0.896	-55.0	19.36	9.292	141.4		0.050	58.8	0.717	-27.0	22.69
1.5	0.833	-78.6	18.34	8.265	126.1		0.067	47.6	0.639	-37.6	20.91
1.9	0.789	-95.5	17.43	7.439	115.4		0.076	40.0	0.577	-44.6	19.91
2.0	0.779	-99.4	17.21	7.255	113.0		0.078	38.4	0.562	-46.2	19.69
2.5	0.737	-117.4	16.07	6.361	101.7		0.085	31.0	0.495	-53.1	18.74
3.0	0.707	-133.4	14.98	5.610	91.8		0.089	25.1	0.439	-58.8	18.00
4.0	0.679	-159.1	13.01	4.471	75.0		0.093	16.6	0.357	-68.3	16.82
5.0	0.674	-178.9	11.30	3.673	60.8		0.094	10.9	0.303	-77.6	15.92
6.0	0.675	167.3	9.93	3.136	49.1		0.095	8.1	0.264	-83.7	15.19
7.0	0.676	154.9	8.72	2.728	37.7		0.096	5.9	0.244	-90.5	14.54
8.0	0.679	144.5	7.73	2.435	27.0		0.099	4.3	0.230	-104.1	12.94
9.0	0.686	133.5	6.84	2.198	16.2		0.102	2.9	0.222	-116.6	11.58
10.0	0.684	129.8	6.03	2.002	5.1		0.107	0.7	0.222	-129.0	10.44
11.0	0.688	107.5	5.30	1.841	-5.9		0.113	-1.7	0.230	-140.8	9.69
12.0	0.693	93.7	4.59	1.696	-17.2		0.121	-5.2	0.239	-151.9	9.02
13.0	0.710	82.7	3.86	1.559	-28.2		0.129	-8.9	0.232	-164.6	8.47
14.0	0.743	68.6	3.19	1.443	-39.8		0.139	-14.3	0.222	-176.6	8.42
15.0	0.760	56.5	2.37	1.314	-51.5		0.147	-20.2	0.232	-155.6	7.69
16.0	0.805	46.2	1.42	1.177	-62.2		0.153	-26.2	0.251	-134.3	8.26
17.0	0.830	38.1	0.43	1.051	-72.8		0.158	-32.5	0.293	-112.0	8.07
18.0	0.872	31.5	-0.58	0.935	-83.1		0.163	-39.1	0.353	-92.7	7.59

Typical Noise Parameters, $V_{DS} = 2.7V$, $I_{DS} = 10\text{ mA}$

Freq GHz	F_{min} dB	Γ_{opt} Mag.	Γ_{opt} Ang.	$R_n/50$	G_n dB
0.5	0.26	0.64	-4.4	0.14	23.79
0.9	0.27	0.57	7.5	0.13	21.80
1.0	0.30	0.54	11.1	0.13	21.60
1.9	0.46	0.49	36.6	0.11	18.06
2.0	0.41	0.48	40.4	0.12	17.92
2.4	0.47	0.44	50.3	0.11	16.79
3.0	0.55	0.36	69.5	0.10	15.70
3.9	0.61	0.32	101.3	0.08	14.24
5.0	0.74	0.32	139.5	0.06	12.86
5.8	0.88	0.35	161.5	0.05	12.01
6.0	0.90	0.35	163.9	0.05	11.82
7.0	1.00	0.37	-173.6	0.06	10.93
8.0	1.12	0.41	-158.2	0.07	10.24
9.0	1.25	0.46	-143.0	0.09	9.66
10.0	1.46	0.46	-127.2	0.15	8.85

Notes:

- The F_{min} values are based on a set of 16 noise figure measurements made at 16 different impedances using an ATN NP5 test system. From these measurements F_{min} is calculated. Refer to the noise parameter measurement section for more information.
- S and noise parameters are measured on a microstrip line made on 0.010 inch thick alumina carrier assembly. The input reference plane is at the end of the gate pad. The output reference plane is at the end of the drain pad.

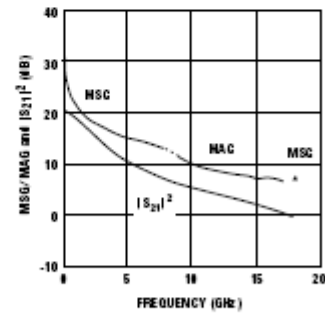


Figure 29. MSG/MAG and $|S_{21}|^2$ vs. Frequency at 2.7V, 10 mA.

ATF-551M4 Typical Scattering Parameters, $V_{DS} = 2.7V$, $I_{DS} = 15\text{ mA}$

Freq. GHz	S_{11}			S_{21}			S_{12}			S_{22}			MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		
0.1	0.995	-6.5	21.98	12.559	175.6		0.006	86.4		0.793	-3.2		33.21
0.5	0.949	-31.2	21.47	11.839	156.9		0.026	71.0		0.745	-15.2		26.58
0.9	0.894	-54.0	20.75	10.905	142.3		0.043	60.1		0.691	-26.4		24.04
1.0	0.882	-59.4	20.55	10.650	138.9		0.047	57.5		0.673	-28.9		23.55
1.5	0.814	-84.0	19.37	9.298	123.4		0.061	46.6		0.589	-39.7		21.83
1.9	0.768	-101.1	18.34	8.265	112.7		0.068	39.5		0.526	-46.6		20.85
2.0	0.758	-105.1	18.10	8.034	110.3		0.070	38.0		0.511	-48.1		20.60
2.5	0.718	-123.1	16.86	6.966	99.3		0.076	31.4		0.447	-54.6		19.62
3.0	0.691	-138.7	15.70	6.095	89.7		0.079	26.3		0.393	-59.9		18.87
4.0	0.668	-163.5	13.64	4.806	73.6		0.083	19.4		0.318	-68.8		17.63
5.0	0.667	177.5	11.88	3.928	59.9		0.085	15.0		0.268	-77.7		16.65
6.0	0.668	164.3	10.49	3.345	48.5		0.088	13.1		0.230	-83.3		15.80
7.0	0.671	152.2	9.26	2.904	37.5		0.091	11.4		0.212	-93.0		15.04
8.0	0.673	142.3	8.27	2.591	27.0		0.095	10.0		0.198	-103.4		12.89
9.0	0.682	131.6	7.37	2.335	16.4		0.101	8.4		0.190	-116.2		11.88
10.0	0.677	118.5	6.56	2.128	5.4		0.107	5.6		0.190	-129.6		10.70
11.0	0.684	105.8	5.83	1.956	-5.3		0.115	2.6		0.198	-142.6		10.06
12.0	0.690	91.7	5.12	1.804	-16.7		0.124	-1.7		0.210	-154.2		9.46
13.0	0.707	81.2	4.38	1.656	-27.5		0.133	-6.1		0.205	-167.8		8.93
14.0	0.744	66.4	3.68	1.528	-39.4		0.143	-12.3		0.200	172.5		9.10
15.0	0.750	55.1	2.85	1.389	-50.6		0.151	-18.7		0.212	150.9		7.85
16.0	0.806	45.2	1.88	1.242	-61.2		0.156	-25.1		0.236	129.7		9.01
17.0	0.824	37.1	0.92	1.112	-71.5		0.162	-31.6		0.282	107.9		8.37
18.0	0.872	31.0	-0.08	0.991	-81.5		0.166	-38.2		0.337	89.7		7.76

Typical Noise Parameters, $V_{DS} = 2.7V$, $I_{DS} = 15\text{ mA}$

Freq GHz	F_{min} dB	Γ_{opt} Mag.	Γ_{opt} Ang.	$R_n/50$	G_n dB
0.5	0.18	0.61	-6.0	0.12	24.49
0.9	0.18	0.56	6.8	0.12	22.38
1.0	0.24	0.5	10.7	0.11	22.32
1.9	0.38	0.45	36.9	0.1	18.78
2.0	0.33	0.43	41.9	0.1	18.65
2.4	0.42	0.39	50.9	0.1	17.47
3.0	0.5	0.31	73.0	0.08	16.37
3.9	0.55	0.28	107.0	0.07	14.83
5.0	0.66	0.29	146.6	0.06	13.4
5.8	0.83	0.33	168.7	0.05	12.54
6.0	0.84	0.34	170.7	0.05	12.36
7.0	0.95	0.36	-166.9	0.06	11.44
8.0	1.06	0.41	-152.3	0.07	10.69
9.0	1.18	0.46	-138.1	0.1	10.12
10.0	1.43	0.44	-122.5	0.16	9.21

Notes:

1. The F_{min} values are based on a set of 16 noise figure measurements made at 16 different impedances using an ATN NPS test system. From these measurements F_{min} is calculated. Refer to the noise parameter measurement section for more information.
2. S and noise parameters are measured on a microstrip line made on 0.010 inch thick alumina carrier assembly. The input reference plane is at the end of the gate pad. The output reference plane is at the end of the drain pad.

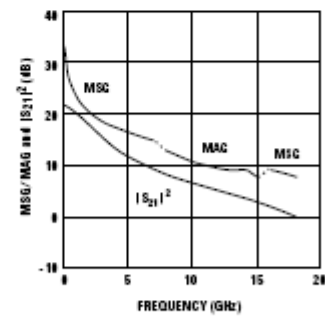


Figure 30. MSG/MAG and $|S_{21}|^2$ vs. Frequency at 2.7V, 15 mA.

ATF-551M4 Typical Scattering Parameters, $V_{DS} = 2.7V$, $I_{DS} = 20\text{ mA}$

Freq. GHz	S_{11}			S_{21}		S_{12}		S_{22}		MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	
0.1	0.995	-6.8	22.92	13.988	175.4	0.005	86.4	0.772	-3.4	34.47
0.5	0.943	-33.0	22.35	13.103	155.9	0.024	70.6	0.72	-15.7	27.37
0.9	0.883	-56.9	21.53	11.932	140.7	0.04	59.4	0.662	-27.1	24.75
1.0	0.87	-62.4	21.30	11.616	137.3	0.043	56.9	0.643	-29.6	24.32
1.5	0.798	-87.6	20.00	10.004	121.6	0.056	46.2	0.557	-40.2	22.52
1.9	0.752	-104.9	18.91	8.822	111.0	0.063	39.6	0.494	-46.7	21.46
2.0	0.743	-108.8	18.65	8.557	108.6	0.064	38.2	0.48	-48.1	21.26
2.5	0.704	-126.7	17.35	7.367	97.8	0.069	32.3	0.417	-54.2	20.28
3.0	0.68	-142.1	16.14	6.411	88.4	0.072	27.8	0.367	-59.0	19.50
4.0	0.66	-166.3	14.02	5.026	72.8	0.076	22.0	0.297	-67.2	18.20
5.0	0.662	175.2	12.25	4.095	59.5	0.079	18.6	0.251	-75.7	17.15
6.0	0.664	162.6	10.84	3.483	48.4	0.083	17.4	0.216	-80.7	16.23
7.0	0.667	150.9	9.61	3.022	37.6	0.087	16.1	0.199	-90.4	14.69
8.0	0.67	141.2	8.61	2.695	27.3	0.093	14.8	0.185	-100.6	13.08
9.0	0.679	130.8	7.71	2.429	16.9	0.099	13.0	0.177	-113.5	12.08
10.0	0.677	118.1	6.90	2.213	6.0	0.107	9.9	0.178	-127.2	11.08
11.0	0.683	105.4	6.17	2.034	-4.6	0.116	6.4	0.186	-140.4	10.44
12.0	0.688	91.4	5.46	1.876	-15.8	0.126	1.8	0.198	-152.2	9.85
13.0	0.705	80.9	4.72	1.722	-26.5	0.136	-3.2	0.193	-165.9	9.37
14.0	0.741	66.5	4.03	1.59	-38.3	0.146	-9.8	0.188	173.7	9.78
15.0	0.75	55.0	3.19	1.444	-49.5	0.154	-16.5	0.2	151.1	8.35
16.0	0.803	45.1	2.22	1.291	-60.1	0.159	-23.2	0.224	129.5	9.10
17.0	0.823	37.2	1.26	1.156	-70.3	0.165	-29.8	0.269	107.3	8.45
18.0	0.872	31.0	0.27	1.032	-80.2	0.168	-36.6	0.325	88.8	7.88

Typical Noise Parameters, $V_{DS} = 2.7V$, $I_{DS} = 20\text{ mA}$

Freq. GHz	F_{min} dB	Γ_{opt} Mag.	Γ_{opt} Ang.	$R_n/50$	G_n dB
0.5	0.18	0.61	-6.7	0.12	24.89
0.9	0.18	0.55	5.9	0.11	22.72
1.0	0.23	0.49	9.9	0.10	22.68
1.9	0.39	0.43	37.8	0.09	19.18
2.0	0.36	0.42	41.6	0.09	18.98
2.4	0.43	0.37	51.7	0.09	17.83
3.0	0.51	0.29	73.6	0.08	16.69
3.9	0.56	0.26	110.7	0.07	15.19
5.0	0.68	0.28	152.8	0.05	13.79
5.8	0.83	0.33	172.9	0.05	12.91
6.0	0.85	0.33	175.6	0.05	12.73
7.0	0.95	0.37	-162.4	0.06	11.80
8.0	1.06	0.41	-148.8	0.08	11.06
9.0	1.19	0.47	-135.5	0.10	10.47
10.0	1.41	0.46	-119.2	0.17	9.59

Notes:

1. The F_{min} values are based on a set of 16 noise figure measurements made at 16 different impedances using an ATN NP5 test system. From these measurements F_{min} is calculated. Refer to the noise parameter measurement section for more information.
2. S and noise parameters are measured on a microstrip line made on 0.010 inch thick alumina carrier assembly. The input reference plane is at the end of the gate pad. The output reference plane is at the end of the drain pad.

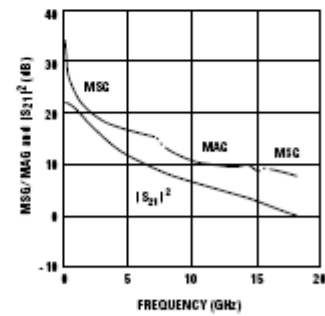


Figure 31. MSG/MAG and $|S_{21}|^2$ vs. Frequency at 2.7V, 20 mA.

ATF-551M4 Typical Scattering Parameters, $V_{DS} = 3V$, $I_{DS} = 10 \text{ mA}$

Freq. GHz	S_{11}			S_{21}			S_{12}			S_{22}			MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		
0.1	0.996	-5.9	20.49	10.578	176.0		0.006	86.1		0.835	-2.8		32.46
0.5	0.957	-28.4	20.05	10.059	158.5		0.027	72.0		0.792	-13.4		25.71
0.9	0.909	-49.6	19.43	9.420	144.8		0.045	61.5		0.747	-23.5		23.21
1.0	0.899	-54.6	19.32	9.246	141.6		0.049	59.1		0.730	-25.9		22.76
1.5	0.836	-78.1	18.32	8.241	126.3		0.065	47.9		0.653	-36.1		21.03
1.9	0.792	-94.9	17.41	7.424	115.7		0.074	40.3		0.593	-42.7		20.01
2.0	0.782	-98.8	17.20	7.241	113.2		0.075	38.6		0.578	-44.2		19.85
2.5	0.740	-116.8	16.07	6.360	101.9		0.082	31.3		0.513	-50.7		18.90
3.0	0.709	-132.8	14.99	5.616	91.9		0.086	25.3		0.458	-56.0		18.15
4.0	0.680	-158.5	13.03	4.481	75.1		0.090	16.9		0.378	-64.9		16.97
5.0	0.675	-178.4	11.33	3.684	60.9		0.091	11.3		0.325	-73.5		16.07
6.0	0.675	167.8	9.96	3.146	49.1		0.092	8.7		0.287	-79.1		15.34
7.0	0.676	155.1	8.75	2.738	37.6		0.093	6.6		0.267	-88.4		14.69
8.0	0.678	144.9	7.77	2.447	26.8		0.095	5.4		0.252	-96.6		12.90
9.0	0.686	133.8	6.88	2.209	16.0		0.099	4.1		0.242	-110.5		11.73
10.0	0.682	120.5	6.09	2.015	4.7		0.104	2.1		0.241	-122.9		10.56
11.0	0.688	107.5	5.37	1.855	-6.3		0.110	0.0		0.247	-135.1		9.88
12.0	0.694	93.3	4.67	1.711	-17.8		0.118	-3.4		0.256	-146.5		9.26
13.0	0.711	82.4	3.92	1.571	-28.8		0.127	-6.9		0.250	-159.0		8.76
14.0	0.746	67.5	3.24	1.452	-40.8		0.137	-12.6		0.240	-176.5		8.90
15.0	0.753	55.9	2.41	1.320	-52.4		0.146	-18.5		0.246	163.0		7.74
16.0	0.807	45.8	1.46	1.183	-63.1		0.152	-24.5		0.260	142.0		8.91
17.0	0.826	37.6	0.48	1.057	-73.7		0.159	-30.8		0.297	119.0		8.23
18.0	0.874	31.3	-0.53	0.941	-84.1		0.164	-37.5		0.349	98.9		7.59

Typical Noise Parameters, $V_{DS} = 3V$, $I_{DS} = 10 \text{ mA}$

Freq. GHz	F_{min} dB	Γ_{opt} Mag.	Γ_{opt} Ang.	$R_n/50$	G_a dB
0.5	0.23	0.65	-4.3	0.14	23.81
0.9	0.24	0.58	7.4	0.13	21.82
1.0	0.26	0.54	10.7	0.13	21.62
1.9	0.43	0.50	36.2	0.11	18.05
2.0	0.38	0.48	40.4	0.12	17.96
2.4	0.43	0.44	49.8	0.11	16.84
3.0	0.51	0.36	69.2	0.10	15.76
3.9	0.59	0.31	99.4	0.08	14.23
5.0	0.70	0.32	139.3	0.06	12.94
5.8	0.85	0.35	160.3	0.05	12.04
6.0	0.86	0.35	162.3	0.05	11.85
7.0	0.98	0.36	-173.7	0.06	10.99
8.0	1.09	0.41	-158.6	0.07	10.29
9.0	1.23	0.45	-143.7	0.09	9.71
10.0	1.45	0.44	-126.8	0.15	8.88

Notes:

1. The F_{min} values are based on a set of 16 noise figure measurements made at 16 different impedances using an ATN NP5 test system. From these measurements F_{min} is calculated. Refer to the noise parameter measurement section for more information.
2. S and noise parameters are measured on a microstrip line made on 0.010 inch thick alumina carrier assembly. The input reference plane is at the end of the gate pad. The output reference plane is at the end of the drain pad.

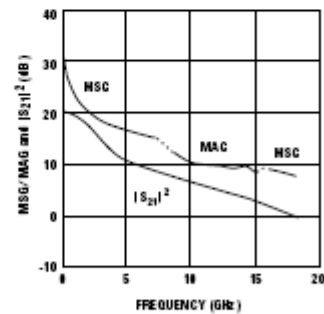


Figure 32. MSG/MAG and $|S_{21}|^2$ vs. Frequency at 3V, 10 mA.

ATF-551M4 Typical Scattering Parameters, $V_{DS} = 3V$, $I_{DS} = 15 \text{ mA}$

Freq. GHz	S_{11}			S_{21}			S_{12}			S_{22}			MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		
0.1	0.995	-6.5	22.02	12.623	175.6		0.005	86.0		0.802	-3.1		34.02
0.5	0.949	-31.2	21.51	11.900	156.9		0.025	71.0		0.754	-14.6		26.78
0.9	0.894	-54.1	20.79	10.958	142.3		0.041	60.1		0.700	-25.4		24.27
1.0	0.882	-59.4	20.59	10.701	138.9		0.045	57.6		0.682	-27.8		23.76
1.5	0.813	-84.0	19.41	9.341	123.3		0.059	46.7		0.599	-38.1		22.00
1.9	0.768	-101.2	18.38	8.301	112.7		0.066	39.7		0.537	-44.5		21.00
2.0	0.758	-105.1	18.14	8.068	110.3		0.067	38.1		0.522	-45.9		20.81
2.5	0.717	-123.1	16.90	6.996	99.2		0.073	31.6		0.459	-52.0		19.82
3.0	0.690	-138.7	15.74	6.120	89.7		0.076	26.7		0.407	-56.9		19.06
4.0	0.668	-163.5	13.68	4.829	73.6		0.080	20.0		0.334	-65.0		17.81
5.0	0.666	177.5	11.93	3.947	59.9		0.082	15.8		0.286	-73.3		16.82
6.0	0.668	164.4	10.53	3.363	48.5		0.084	14.2		0.250	-78.4		16.02
7.0	0.670	152.3	9.31	2.921	37.5		0.087	12.9		0.232	-87.6		14.96
8.0	0.672	142.4	8.32	2.607	27.0		0.092	11.8		0.218	-97.7		12.99
9.0	0.681	131.7	7.43	2.351	16.4		0.098	10.4		0.209	-110.0		12.01
10.0	0.678	118.6	6.62	2.142	5.3		0.104	7.8		0.209	-122.9		10.90
11.0	0.684	105.8	5.89	1.970	-5.5		0.113	4.9		0.215	-135.4		10.28
12.0	0.690	91.8	5.19	1.817	-16.8		0.122	0.7		0.226	-147.1		9.70
13.0	0.707	81.3	4.44	1.667	-27.6		0.132	-3.7		0.221	-160.3		9.23
14.0	0.744	66.6	3.75	1.540	-39.5		0.142	-10.0		0.211	-179.5		9.62
15.0	0.751	55.2	2.93	1.401	-50.7		0.151	-16.4		0.218	159.7		8.26
16.0	0.807	45.3	1.97	1.254	-61.4		0.157	-22.8		0.236	137.8		9.02
17.0	0.824	37.3	1.01	1.123	-71.9		0.163	-29.5		0.277	114.5		8.38
18.0	0.874	31.1	0.02	1.002	-82.0		0.167	-36.2		0.330	95.0		7.78

Typical Noise Parameters, $V_{DS} = 3V$, $I_{DS} = 15 \text{ mA}$

Freq GHz	F_{min} dB	Γ_{opt} Mag.	Γ_{opt} Ang.	$R_n/50$	G_n dB
0.5	0.18	0.63	-6.3	0.12	24.41
0.9	0.19	0.56	6.8	0.12	22.45
1.0	0.23	0.51	10.0	0.11	22.29
1.9	0.39	0.46	36.5	0.10	18.75
2.0	0.35	0.44	40.8	0.10	18.61
2.4	0.42	0.39	50.1	0.10	17.46
3.0	0.49	0.31	72.5	0.08	16.42
3.9	0.56	0.27	104.4	0.07	14.80
5.0	0.66	0.29	146.9	0.06	13.48
5.8	0.83	0.33	167.4	0.05	12.58
6.0	0.84	0.33	169.0	0.05	12.38
7.0	0.94	0.35	-166.9	0.06	11.49
8.0	1.05	0.40	-152.7	0.07	10.77
9.0	1.19	0.46	-138.6	0.09	10.23
10.0	1.40	0.44	-121.9	0.16	9.32

Notes:

1. The F_{min} values are based on a set of 16 noise figure measurements made at 16 different impedances using an ATN NP5 test system. From these measurements F_{min} is calculated. Refer to the noise parameter measurement section for more information.
2. S and noise parameters are measured on a microstrip line made on 0.010 inch thick alumina carrier assembly. The input reference plane is at the end of the gate pad. The output reference plane is at the end of the drain pad.

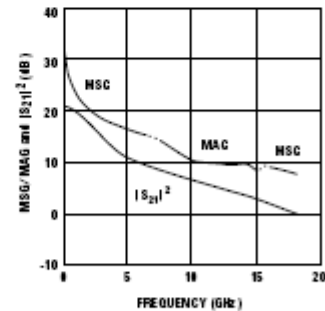


Figure 33. MSG/MAG and $|S_{21}|^2$ vs. Frequency at 3V, 15 mA.

ATF-551M4 Typical Scattering Parameters, $V_{DS} = 3V$, $I_{DS} = 20\text{ mA}$

Freq. GHz	S_{11}			S_{21}			S_{12}			S_{22}			MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		
0.1	0.995	-6.8	22.91	13.987	175.4		0.005	86.1		0.781	-3.3		34.47
0.5	0.943	-33.0	22.35	13.101	155.8		0.024	70.5		0.730	-15.2		27.37
0.9	0.883	-56.9	21.53	11.932	140.7		0.039	59.5		0.672	-26.1		24.86
1.0	0.870	-62.4	21.30	11.614	137.2		0.042	56.9		0.654	-28.5		24.42
1.5	0.798	-87.6	20.00	10.004	121.5		0.054	46.3		0.569	-38.5		22.68
1.9	0.752	-104.9	18.91	8.820	111.0		0.061	39.7		0.506	-44.6		21.60
2.0	0.743	-108.9	18.64	8.555	108.6		0.062	38.3		0.493	-46.0		21.40
2.5	0.704	-126.7	17.35	7.368	97.7		0.067	32.4		0.431	-51.6		20.41
3.0	0.679	-142.1	16.14	6.412	88.4		0.070	28.1		0.383	-56.0		19.62
4.0	0.660	-166.3	14.03	5.028	72.7		0.074	22.5		0.314	-63.5		18.32
5.0	0.662	175.3	12.25	4.099	59.4		0.076	19.2		0.270	-71.5		17.32
6.0	0.664	162.6	10.85	3.488	48.3		0.080	18.3		0.237	-76.2		16.39
7.0	0.667	150.9	9.62	3.027	37.5		0.084	17.2		0.220	-85.2		14.66
8.0	0.670	141.3	8.63	2.701	27.2		0.090	16.3		0.207	-95.2		13.18
9.0	0.679	130.9	7.73	2.435	16.8		0.096	14.6		0.198	-107.6		12.20
10.0	0.677	118.1	6.92	2.219	5.9		0.104	11.7		0.198	-120.6		11.21
11.0	0.683	105.4	6.19	2.040	-4.8		0.114	8.4		0.205	-133.4		10.64
12.0	0.689	91.4	5.49	1.881	-16.0		0.124	3.8		0.216	-145.2		10.10
13.0	0.705	80.9	4.75	1.727	-26.8		0.134	-1.0		0.210	-158.4		9.62
14.0	0.742	66.4	4.05	1.594	-38.6		0.145	-7.7		0.199	-178.0		10.41
15.0	0.751	55.0	3.23	1.451	-48.8		0.153	-14.4		0.207	160.3		8.80
16.0	0.806	45.1	2.27	1.298	-60.4		0.159	-21.1		0.225	138.1		9.12
17.0	0.826	37.2	1.32	1.164	-70.8		0.165	-27.9		0.265	114.0		8.48
18.0	0.874	31.1	0.33	1.039	-80.8		0.170	-34.9		0.320	94.1		7.86

Typical Noise Parameters, $V_{DS} = 3V$, $I_{DS} = 20\text{ mA}$

Freq GHz	F_{min} dB	Γ_{opt} Mag.	Γ_{opt} Ang.	$R_n/50$	G_n dB
0.5	0.17	0.62	-6.2	0.12	24.92
0.9	0.18	0.55	6.0	0.11	22.79
1.0	0.24	0.50	9.5	0.10	22.59
1.9	0.39	0.43	37.5	0.10	19.22
2.0	0.36	0.41	41.2	0.09	19.00
2.4	0.42	0.37	50.9	0.09	17.83
3.0	0.50	0.29	73.6	0.08	16.72
3.9	0.57	0.25	109.4	0.07	15.18
5.0	0.68	0.28	151.6	0.06	13.80
5.8	0.83	0.32	172.5	0.05	12.93
6.0	0.85	0.33	175.6	0.05	12.77
7.0	0.93	0.36	-162.7	0.06	11.84
8.0	1.05	0.41	-149.1	0.08	11.09
9.0	1.19	0.46	-135.5	0.10	10.53
10.0	1.39	0.45	-119.4	0.17	9.64

Notes:

1. The F_{min} values are based on a set of 16 noise figure measurements made at 16 different impedances using an ATN NF5 test system. From these measurements F_{min} is calculated. Refer to the noise parameter measurement section for more information.
2. S and noise parameters are measured on a microstrip line made on 0.010 inch thick alumina carrier assembly. The input reference plane is at the end of the gate pad. The output reference plane is at the end of the drain pad.

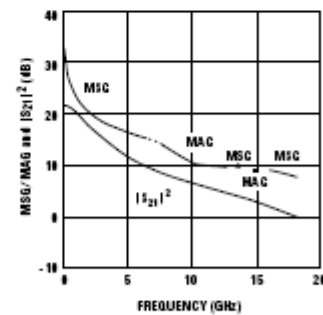


Figure 34. MSG/MAG and $|S_{21}|^2$ vs. Frequency at 3V, 20 mA.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet ULUSLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 11.06.1988 / Amasya
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : aauluslu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Elektronik Mühendisliği	Fatih Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Özel Marmara Evleri Koleji	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-	Belbim A.Ş.	Elektronik Mühendisi
2011-2011	Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü	Bilgi İşlem Personeli

YAYINLARI

Bildiri

1. Güneş F., Özkaya U., Uluslu A., (2011). "Generalized Regression Neural Network -Based Efficient Noise Modeling for Microwave Transistors", INISTA İstanbul.