



HEMT'in 300K Sıcaklığındaki Transfer Fonksiyonunun Bulunması

Levent GÖKREM^{a,1} (levent.gokrem@gop.edu.tr)

^aGaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fak., Mekatronik Müh. Bölümü, 60150 Tokat

Özet – Bu çalışmada, doğrusal olmayan bir transistör olan HEMT'in doğrusal davranışı Y ve Z parametreleri çıkarılarak bulunmuştur. Doğrusal davranışının elde edilmesinde HEMT'in küçük sinyal eşdeğer devresinden faydalanılmıştır. HEMT'in küçük sinyal eşdeğer devresine göre Y-parametre değerleri belirlenmiştir. Y-parametre değerleri Z-parametrelere dönüştürülmüş, giriş ve çıkış empedans değerleri bulunmuştur. HEMT'in 300K sıcaklığındaki devre parametre değerlerine göre transfer fonksiyonu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler –
HEMT, transfer
fonksiyonu, eşdeğer
devre, Y-parametre, Z-
parametre

Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research 3 (2013) 16-24

The Determination of HEMT's Transfer Function at 300K

Abstract – In this study, the linear behavior of non-linear transistor HEMT was obtained by finding the parameters of Y and Z. It was benefited from small-signal equivalent circuit of HEMT in the determination of its linear behavior. For this aim, Y-parameter values were determined by means of the small signal equivalent circuit of HEMT. Y-parameter values were transformed into Z-parameter values, and its input and output impedance values were determined. The transfer function of HEMT was determined by using the values of circuit parameter at 300K temperature.

Keywords -
HEMT, transfer function,
equivalent circuit, Y-
parameter, Z-parameter

Received: 10.12.2012

Accepted: 25.01.2013

1. Giriş

HEMT (High Electron Mobility Transistor) (Yüksek Elektron Taşıyıcı Transistör) Japonların 1980 yılında icat ederek ticarileştirdiği bir çeşit alan etkili transistördür. Yarı iletken teknolojisine göre yarı iletken katmanında elektron oluşturmak için katmana N tipi katkı eklenmesi gerekmektedir. Ancak bu işlem sırasında elektron oluşturmada kullanılan

¹ Baş Yazar

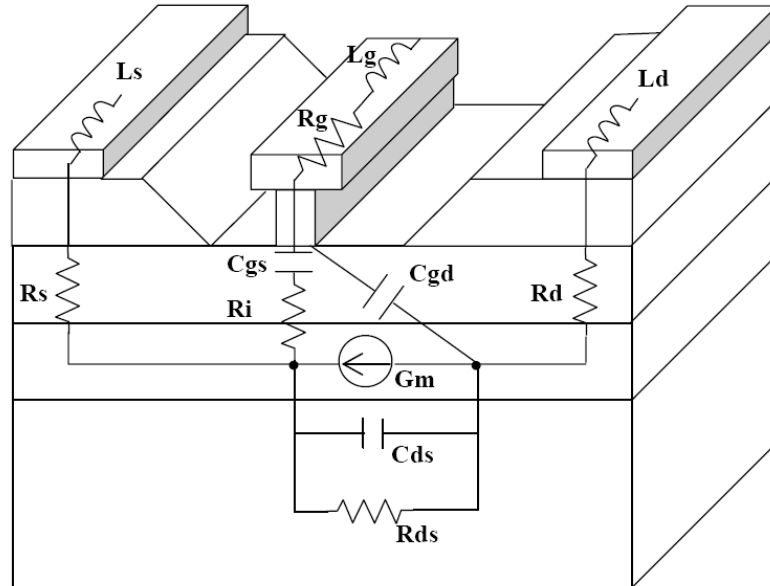
ve aynı bölgede yerleşmiş olan katmanda elektronların çarpışmasıyla sonuçlandığı için elektronların yavaşlamasına neden olmaktadır. HEMT bu çelişkiyi çözmek için tasarlanmış devre elemanıdır. HEMT bu yavaşlamayı yüksek oranda N tipi AlGaAs katılmış ince katmanla katkısız GaAs katmanın çoklu birleşmesiyle oluşturulmuş yüksek hareketli elektronlar kullanarak ortadan kaldırmıştır. N tipi AlGaAs da ortaya çıkan elektronlar tükenmiş AlGaAs katmanını oluşturmak için tamamıyla bir sonraki GaAs katmanına düşerler. Çünkü farklı malzemenin oluşturduğu çoklu birleşme, elektronların çarpışmadan çok çabuk hareket edebildikleri yüksek bir hız oluşturmaktadır [1].

Günümüzde HEMT'ler 10–110 GHz arasındaki frekans aralığında kullanılan en önemli elektronik elemanlardan birisidir. HEMT bu durumunu çok yönlü kullanımından dolayı elde etmiştir. HEMT'ler yüksek frekans katmanlarında ve düşük gürültü uygulamalarında kullanılır. Her iki uygulamada da performansının yüksek olması, HEMT'in analog ve sayısal haberleşme alanında büyük oranda kullanımına olanak sağlamıştır [2,3].

2. HEMT'in Eşdeğer Devre Modeli

Yarı iletken elemanların küçük-ışaret eşdeğerini doğru olarak modellemek büyük ışaret modelinin gerçekleştirilmesinde zorunludur. Bir transistörün küçük-ışaret davranışı, ağ analizörü ile doğrudan ölçülebilen saçılma parametreleriyle tanımlanabilir [4].

Küçük-ışaret analizine geçmeden önce yapılacak ilk adım en uygun devre modelinin seçilmesidir. HEMT uygulamalarında birçok devre modeli mevcuttur. Seçilen modeldeki fazla sayıdaki devre elemanı daha doğru fakat daha karmaşık bir modellemeye sebep olabileceğinden en uygun modeli bulmak önemlidir. Şekil 1'de HEMT elemanının devre modelinin oluşturulmasında kullanılan genel içyapısı verilmiştir.

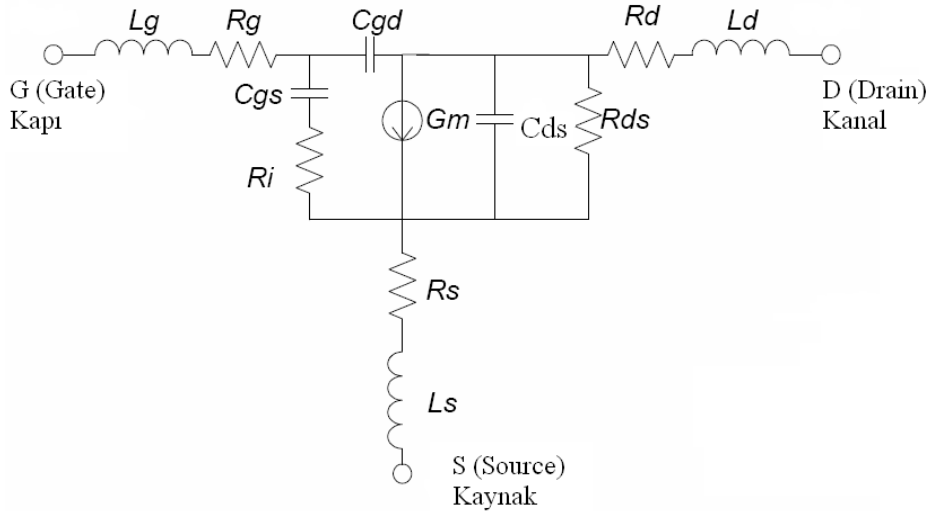


Şekil 1. HEMT genel fiziki yapısı

HEMT'in fiziki yapısından Şekil 2'de gösterilen eşdeğer devre modeli oluşturulur. HEMT eşdeğer devre modelindeki elemanlar dâhili ve harici elemanlar diye iki grupta incelenilir. Harici elemanlar parazitik elemanlardır ve bunlar eşdeğer devrede L_g , L_s ve L_d parazitik indüktanslar, R_g , R_s ve R_d parazit dirençler olarak gösterilmiştir. Dâhili elemanlar bir melez Pi modeli oluştururlar. Kanal akımı kapı-kaynak kapasitansı (C_{gs}) üzerindeki gerilim tarafından kontrol edilir. Çünkü transkondüktans (g_m) mikrodalga bölgesindeki ani kapı gerilimi değişimine cevap veremez. R_{gs} kapı yükleme rezistansıdır [5,6].

Eşdeğer devre parametrelerinin çıkartılmasına ölçülmüş S-parametrelerinden harici elemanların katkıları çıkarılarak başlanır. Kanal-kaynak gerilimi sıfır iken S-parametreleri ölçülür ve harici elemanlar çıkarılarak içsel elemanların değerleri belirlenir [7,8].

Y-parametreleri giriş ve çıkış gerilimleri ve akımlarını iki-uçlu bir devrenin çalışmasını karakterize etmek için kullanılırken, S-parametreleri her bir devre elemanının bozulmuş ve yansıyan dalgaları normalize etmek için kullanılır. Aynı zamanda iki-uçlu elemanların kısa devre yapılmasına ihtiyaç duymazlar. Bu kısa devre transistör gibi aktif elemanların kararsız çalışmasına ve ölçümlerin yapılamamasına sebep verir [9-12].



Şekil 2. HEMT küçük işaret eşdeğer devre modeli

3. Y-Parametrelerinden Transfer Fonksiyonunun Çıkarılması

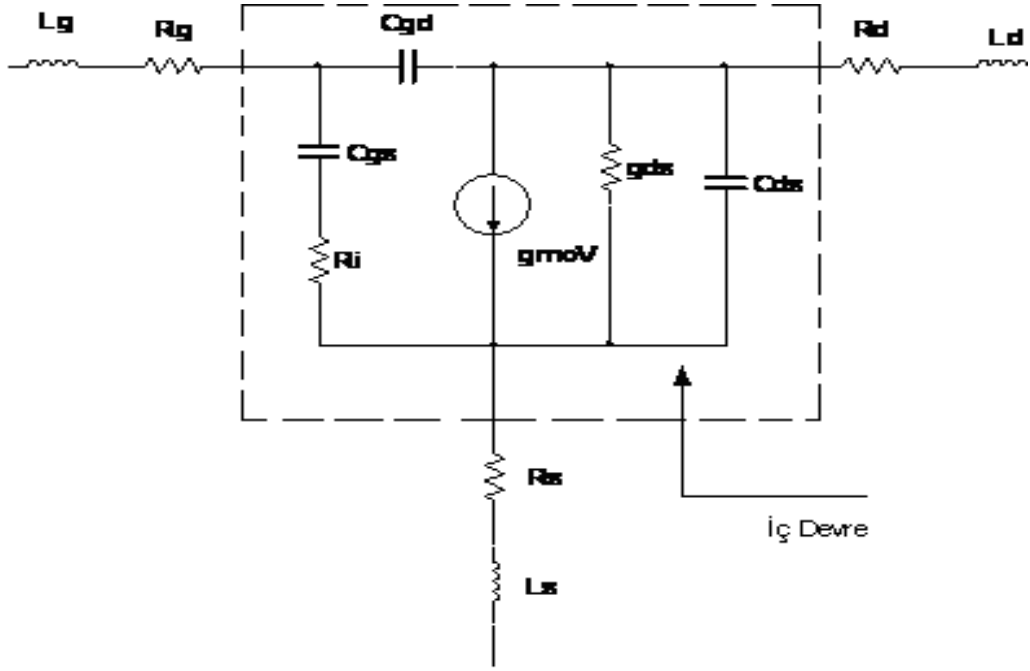
HEMT'in transfer fonksiyonu bulunurken Şekil 3'de görülen iç devre elemanlarının belirlenmesi gerekir.

İç devrenin Y-parametre değerleri yazılır.

$$Y_{11} = \frac{R_i C_{gs}^2 \omega^2}{D} + j\omega \left(\frac{C_{gs}}{D} + C_{gd} \right) \quad (1)$$

$$Y_{12} = -j\omega C_{gd} \quad (2)$$

$$Y_{21} = \frac{g_m \exp(-j\omega t)}{1 + jR_i C_{gs} \omega} - j\omega C_{gd} \quad (3)$$



Şekil 3. HEMT'in transfer fonksiyonunun bulunmasında iç devre elemanlarının belirlenmesi

$$Y_{22} = g_{ds} + j\omega(C_{ds} + C_{gd}) \quad (4)$$

$$D = 1 + \omega^2 C_{gs}^2 R_i^2 \quad (5)$$

Y-parametreleri Z-parametrelerine dönüştürülür.

$$Z_{11} = \frac{Y_{22}}{\Delta_y} \quad (6)$$

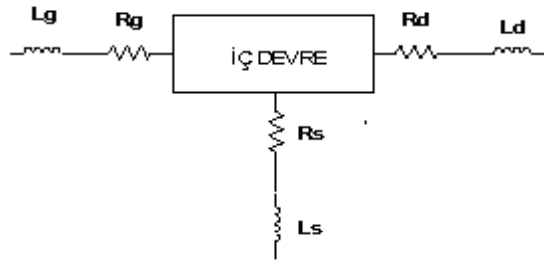
$$Z_{12} = \frac{-Y_{12}}{\Delta_y} \quad (7)$$

$$Z_{21} = \frac{-Y_{21}}{\Delta_y} \quad (8)$$

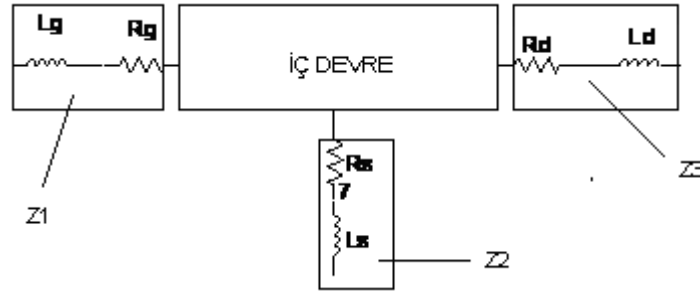
$$Z_{22} = \frac{Y_{11}}{\Delta_y} \quad (9)$$

$$\Delta_y = Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21} \quad (10)$$

Şekil 4 ve Şekil 5'de görülen eşdeğer devre üzerinde harici devre elemanları olan $L_g, R_g, L_s, R_s, L_d, R_d$ elemanlarından Z_1, Z_2 ve Z_3 değerleri tespit edilir.



Şekil 4. Eşdeğer devrede iç devrenin gösterilişi



Şekil 5. Eşdeğer devrede Z_1, Z_2 ve Z_3 'ün gösterilişi

$$Z_1 = R_g + j\omega L_g \quad (11)$$

$$Z_2 = R_s + j\omega L_s \quad (12)$$

$$Z_3 = R_d + j\omega L_d \quad (13)$$

Z_i ve Z_0 bulmak için Şekil 6'daki Z parametreleri eşdeğer devresinden faydalanılır. Eşdeğer devrede;

$$I_2 = -\frac{Z_{21}I_1}{Z_{22} + Z_L + Z_3 + \frac{Z_2}{2}} \quad (14)$$

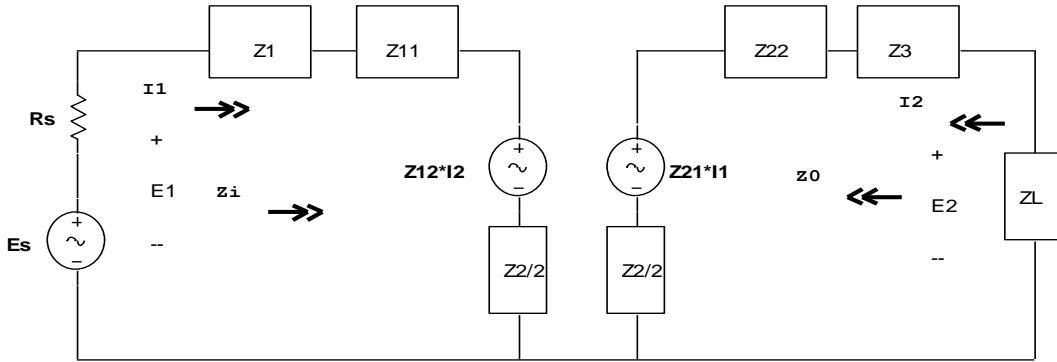
$$I_1 = \frac{E_1 - Z_{12}I_2}{Z_{11} + Z_1 + \frac{Z_2}{2}} \quad (15)$$

$$E_1 = (Z_{11} + Z_1 + \frac{Z_2}{2})I_1 + Z_{12}I_2 \quad (16)$$

veya;

$$E_1 = (Z_{11} + Z_1 + \frac{Z_2}{2})I_1 + Z_{12}(-\frac{Z_{21}I_1}{Z_{22} + Z_L + Z_3 + \frac{Z_2}{2}}) \quad (17)$$

$$Z_i = \frac{E_1}{I_1} = (Z_{11} + Z_1 + \frac{Z_2}{2}) - \frac{Z_{12}Z_{21}}{(Z_{22} + Z_L + Z_3 + \frac{Z_2}{2})} \quad (18)$$



Şekil 6. Z parametreleri eşdeğer devresi

Z_0 'ı bulmak için ise; $E_s = 0$

$$I_1 = -\frac{Z_{12}I_2}{R_s + Z_{11} + Z_1 + \frac{Z_2}{2}} \quad (19)$$

$$I_2 = \frac{E_2 - Z_{21}I_1}{Z_{22} + Z_3 + \frac{Z_2}{2}} \quad (20)$$

$$E_2 = (Z_{22} + Z_3 + \frac{Z_2}{2})I_2 + Z_{21}I_1 \quad (21)$$

veya;

$$E_2 = (Z_{22} + Z_3 + \frac{Z_2}{2})I_2 + Z_{21}(-\frac{Z_{12}I_2}{R_s + Z_{11} + Z_1 + \frac{Z_2}{2}}) \quad (22)$$

$$Z_0 = \frac{E_2}{I_2} = (Z_{22} + Z_3 + \frac{Z_2}{2}) - \frac{Z_{12}Z_{21}}{(R_s + Z_{11} + Z_1 + \frac{Z_2}{2})} \quad (23)$$

Transfer fonksiyonu; $\frac{Z_0}{Z_i}$ dir.

Tablo 1. HEMT transfer fonksiyonunun elde edilmesinde kullanılan devre parametreleri [13]

Parametre	T=100K	T=200K	T=300K	T=400K	T=500K	T=600K
C_{gs1} (pF)	0.5795	0.6226	0.6754	0.7309	0.8191	0.9663
C_{gs2} (pF/V)	-0.1581	-0.1814	-0.2086	-0.2315	-0.28	-0.3668
C_{gs3} (pF/V ²)	0.0567	0.0565	0.0573	0.0567	0.0653	0.0878
g_{m1} (mS/mm)	263.75	221.79	177.33	133.73	89.488	51.64
g_{m2} (mS/mm/V)	275.46	244.63	206.74	163.72	115.68	69.768
g_{m3} (mS/mm/V ²)	-49.085	-32.556	-14.5	2.7313	18.302	24.601
r_{ds1} (k Ω)	395.1	491.992	450.457	588.175	851.343	1000
r_{ds2} (k Ω /V)	-316.772	-398.615	-322.077	-421.463	-616.74	-705.210
r_{ds3} (k Ω /V ²)	84.249	104.863	77.955	100.664	146.691	156.079
C_{gd} (pF)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
C_{ds} (pF)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
R_d (Ω)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
R_i (Ω)	1	1	1	1	1	1

300K oda sıcaklığında HEMT'in transfer fonksiyonu Tablo 1'de verilen 300K sıcaklığındaki değerlere göre;

$$TF = \frac{3.515e - 18s^2 + 5.58e - 27s + 1.961e6}{6.72e - 53s^5 + 1.1e - 39s^4 - 1.1e - 27s^3 + 3.821e - 16s^2 + 5.028e - 5s + 8.5e5}$$

olarak bulunur.

6. Sonuç

HEMT'in küçük sinyal eşdeğer devresinden faydalanılarak iç devre elemanları belirlenmiştir. İç devrenin Y-parametre değerleri tespit edilmiş ve transfer fonksiyonunun belirlenmesi için Z-parametrelerine dönüştürülmüştür. HEMT'in giriş ve çıkış Z-parametrelerinin belirlenmesinde Z-parametre eşdeğer devresinden faydalanılmıştır. HEMT'in oda sıcaklığındaki doğrusal davranışı bulunarak sistemin transfer fonksiyonu elde edilmiştir. HEMT gibi doğrusal olmayan bir elemanın doğrusal cevabı yeni bir yöntem geliştirilerek sunulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Mimura, T., "The Early History of The HEMT", IEEE Trans. On Micr. Theory and Tech., 50(3): 780-782, 2002.
- [2] Yıldırım, R., Yavuzcan, H.G., Çelebi, F.V., Gökrem, L., "Temperature Dependent Rolletti Stability Analysis of GaN HEMT", Optoelectronics and Advanced Materials- Rapid Communications Vol.3, No.8, p. 781-786, August 2009.
- [3] Yıldırım, R., Çelebi, F.V., Yavuzcan, H.G., Gökrem, L., "Asymmetric Condition Computed from the four tone input GaN HEMT", 3rd International Conference on Application of Information and Communication Technologies, AICT2009, Azerbaijan, Baku, 14-16 October 2009.
- [4] Yıldırım, R., Yavuzcan, H.G., Gökrem, L., "HEMT'in Sıcaklığa Bağlı Kazanç, Güç ve Rolletti Kararlılık Analizi", Teknoloji, Cilt 12 (3), 219-229, 2009.
- [5] Gökrem, L., "Yüksek Elektron Hareketli Transistör (High Electron Mobility Transistor, HEMT) Distorsiyon Analizi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [6] Gökrem, L., Çelebi, F.V., Yıldırım, R., "Dört Ton Küçük İşaret Girişli GaN HEMT Transistörün Farklı Sıcaklıklardaki Asimetrik Genlik Değişimi", J. Fac. Eng. Gazi Uni. Vol: 25, No:4, 779-786, 2010.
- [7] Dambrine, G., Cappy, A., Heliodore, F., Playez, E., "A new method for determining the FET small signal equivalent circuit", IEEE Trans Micr. TheoryTech., (36): 1151-1159, 1988.
- [8] Chalermwisutkul, D.S., "Large Signal Modeling of GaN HEMTs for UMTS Base Station Power Amplifier Design Taking into Account Memory Effects", PhD. Thesis, Aachen University, Germany, 25-49, 2007.
- [9] Anderson, R.W., Smith, L., Gruszynski, J., Patstone, W., "S-Parameter Techniques for Faster More Accurate Network Design", HP Test-Measurement Application Note 95-1, 1-55, 1996.

- [10] Leeson, D.B., "S-Parameter Matrices", *IEEE 194 RF*, 1-10, 1994.
- [11] "S-parameter Design", Application Note AN 154, Agilent Technologies, 1-14, 2006.
- [12] Kurokawa, K., "Power Waves and the Scattering Matrix", *IEEE Trans. Micr.Theory and Tech.*, 194-202, 1965.
- [13] Ahmed, A., Islam, S., Anwar, A.F.M., "A Temperature-Dependent Nonlinear Analysis of GaN/AlGaN HEMTs Using Volterra Series", *IEEE Trans. On Micr.Theory and Tech.*, 49(9): 1518-1524, 2001.