

PSPICE'a AIT BJT MODELİNİN GELİSTİRİLMESİNE YÖNELİK YENİ BİR YÖNTEM

¹Suayb YENER

²Gürsel DÜZENLİ

^{1,2}Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği, Sakarya

¹e-posta: syener@rt.net.tr

²e-posta: gursel@duzenli.net

Anahtar Sözcükler: BJT, PSpice, Modelleme

ABSTRACT

Requirements for circuit simulation are increasing according to the development of system integration with many different functions. To assist the development, the most important modeling issue is to guarantee sufficient simulation accuracy and applicability for any advanced technology. For achieving this task it is inevitable to maintain a physically correct modeling of the real technology processes which govern the function of these BJT's, even in the circuit simulation model. Here the approaches to realize the outlined requirements are summarized.

1. GİRİŞ

Sürekli gelişen teknolojiyle birlikte elektronik cihazların küçülmesi ya da aynı büyüklükteki cihaza daha fazla özellik eklenmesi aynı yonga içine daha fazla yapı elemanının sigdırılması sayesinde mümkün olmaktadır. Bu durum ise aynı elektronik elemanın fiziksel yapısında ve elektriksel özelliğinde sürekli bir değişimin olması demektir. Üretim teknolojisine bu şekilde sürekli gelişimi, bu sistemleri analiz edecek simülasyon programlarının da yapıdaki değişime duyarlı şekilde geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu ise, simülasyon programının modele ait değişimleri algılayabilecek esnekliği kullanıcıya sunmasıyla mümkün olabilir. [1-4]

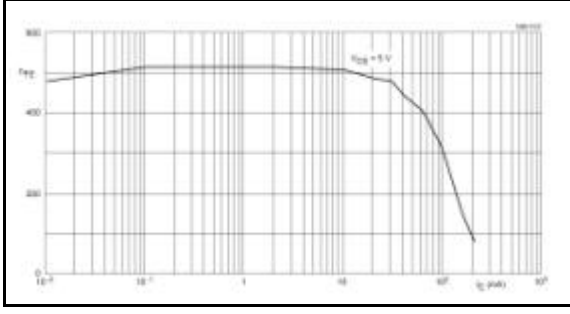
Kullanılabilir simülasyon programları çoğunlukla bir VLSI üretim teknolojisine bağlı parametrelere göre analiz yaptığından bunlar dışında kalan modeller için simülasyonlar bir anlam ifade etmemektedir. İyi bir simülasyon yazılımı, gerçek karakteristiklere ait az sayıda verinin modele dahil edilmesiyle doğru sonuç verecek şekilde tasarlanmalıdır. [5]

Bu çalışmada BC547C transistora ait PSpice simülasyon programıyla elde edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçlarıyla aynı sonuçları vermeyen simülasyon programının ölçüm sonuçlarıyla aynı değerleri verecek şekilde geliştirilmesini sağlayacak yeni bir model önerilmiştir. Önerilen bu yeni model, deney sonuçlarıyla elde edilen eğriye ilişkin veriler kullanılarak ampirik bir ifade olarak geliştirilmiştir. Bu ifade PSpice simülasyon programına kolayca eklenecek şekilde geliştirilmiş olup [6], üretim teknolojilerinden bağımsızdır. Böylece aynı üretim teknolojisi kullanılarak üretilecek tüm transistörler için doğru simülasyon sonuçları elde etme imkanı sağlanmış olmaktadır.

2. ÜRETİCİ FIRMA VERİLERİ İLE PSPICE SİMÜLASYONUN KARSILASTIRILMASI

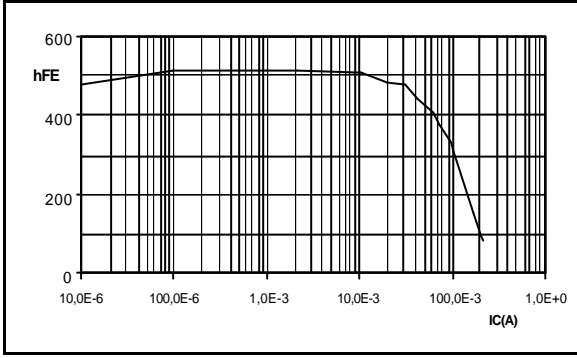
Çalışma boyunca BJT transistörün geçiş karakteristiğinin çıkarılmasına yönelik ölçüm, simülasyon ve hesaplamalar BC547C transistörü üzerinden yapılmıştır. Temel alınan üreticiye ait referans karakteristik de yine BC547C transistör modeline aittir. Üretici firmaya ait değerlerin tam olarak alınması mümkün olmadığından, değerlerin elde edilmesinde bu karakteristik kullanılmıştır. Üreticinin veri kitabından alınan bu eğri şekli 1'de verilmiştir. [7]

Üreticinin verdiği I_C-h_{FE} karakteristiğine ait eğri üzerindeki büküm noktaları bilgisayar yardımıyla saptanarak eğri çok büyük bir doğrulukla yeniden çizdirilmiştir. Aynı zamanda ardışık apsüs ve ordinat noktaları arasındaki doğru denklemlerine ait ifadeler kullanılarak tüm I_C değerlerine karşılık h_{FE} değerleri, yine çok büyük doğrulukla bulunmuştur.



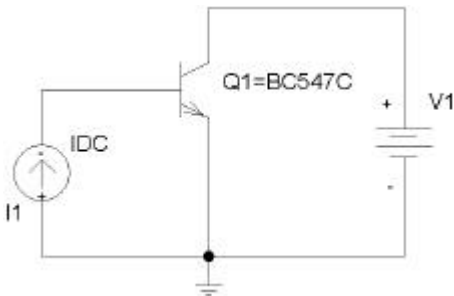
Sekil 1: Ürün kitabından alınan I_C-h_{FE} karakteristigi

Bu şekilde üretici veri kitabından alınan karakteristik üzerinde yapılan bu kapsamlı analiz, PSpice programına ait simülasyon sonuçları ve BJT transistor Gummel-Poon modeline ait DC akım denklemlerine ait sonuçların karşılaştırılmasında kullanılacaktır [8].



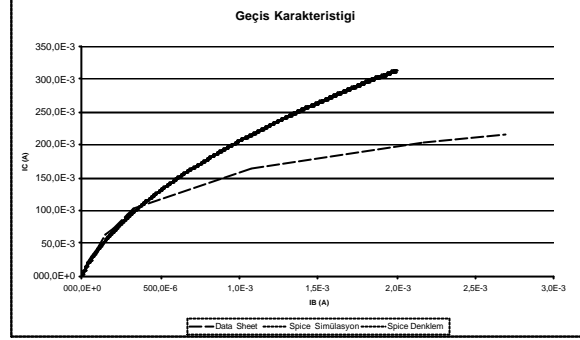
Sekil 2: Bilgisayar ortamına aktarılan üretici I_C-h_{FE} karakteristigi

BC547C transistoruna ait PSpice simülasyonu OrCAD 10.0 altında şekil 3'teki devre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. BJT Gummel-Poon DC akım denklemlerinin matematiksel çözümüne dayalı teorik sonuçlar ise MATLAB 6.5 programı kullanılarak elde edilmiştir. OrCAD ve MATLAB programları kullanılarak elde edilen bu PSpice tabanlı sonuçlar grafiklerde sırasıyla *Spice Simülasyon* ve *Spice Denklem* olarak ifade edilmiştir. Her iki program altında yapılan analizlerde üretici firma tarafından sağlanan BC547C BJT parametreleri kullanılmıştır.



Sekil 3: Simülasyon ve ölçümlerde temel alınan devre şekli

Sekil 4'te üreticiye ait ölçüm, PSpice simülasyon sonuçları ve DC akım denklemlerine ait sonuçlarla oluşturulan geçiş karakteristikleri verilmiştir. Görüldüğü üzere hem PSpice programından simülasyon yoluyla hem de DC akım denklemlerinden teorik olarak elde edilen sonuçlar hemen hemen aynı olmasına rağmen üreticinin verdiği sonuçlar bunu sağlamaktan uzaktır.



Sekil 4: Simülasyon sonuçları ve üreticiye ait sonuçlarla oluşturulmuş geçiş karakteristigi

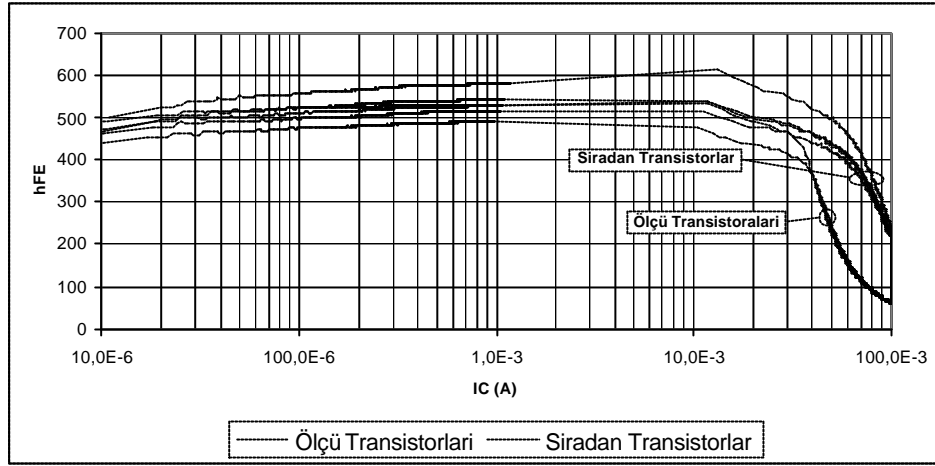
3. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde HP 4155B parametre analizörü kullanılarak BC547C transistörü için yapılan ölçüm sonuçları verilecektir. Ölçümler için Philips firmasından özel olarak getirtilen BC547C ölçü transistörleri ile piyasadan farklı yerlerden farklı zamanlarda alınan BC547C transistörleri kullanılmıştır.

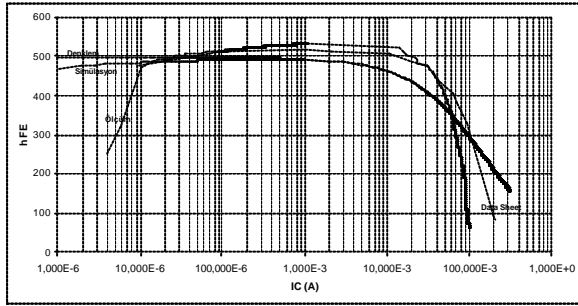
Ölçüm cihazı kullanılarak yapılan deneylerde, şekil 3'teki devre kullanılarak, sabit V_{CE} gerilimi ($V_{CE}=5V$) altında değişen baz akımına (I_B) karşılık gelen kolektör akımı (I_C) değerleri bulunmuştur.

Ölçümü yapılan transistörlerden elde edilen sonuçlarla oluşturulan I_C-h_{FE} karakteristigi şekil 5'te verilmiştir.

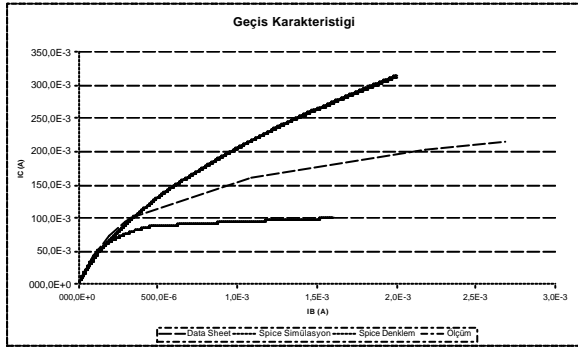
Sekil 6 ve şekil 7'de ise üretici firma verileri, PSpice ve MATLAB sonuçları ve ölçüm sonuçlarıyla elde edilen I_C-h_{FE} karakteristigi ve geçiş karakteristigi verilmiştir.



Sekil 5: Ölçü transistorlari ve sıradan transistorların ölçüleriyle elde edilen I_C-h_{FE} eğrisi



Sekil 6: Üretici verileri, DC denklem, simülasyon ve ölçüm sonuçlarıyla elde edilen I_C-h_{FE} eğrisi



Sekil 7: Üretici verileri, DC denklem, simülasyon ve ölçüm sonuçlarıyla elde edilen geçiş karakteristigi

Sekil 7'den görüldüğü üzere, hem üreticinin ölçüm sonucu olarak verdiği eğrinin hem de HP 4155B üzerinde yapılan gerçek ölçüme ilişkin eğrinin PSpice eğrileri ile uyumlu olmadığı görülmektedir. Aynı zamanda iki eğri sonuçları kendi arasında da örtüşmemektedir. Dolayısıyla, daha önce elde edilen PSpice simülasyonun üretici ölçüm sonuçlarını sağlamadığı sonucunun yanında, burada gerçek transistor davranışının üreticinin verdiği biçimde de olmadığı görülmüştür. Böylece piyasadan alınan herhangi bir transistora ait ölçüm sonucunun; PSpice

ve MATLAB simülasyon sonucu ile üretici veri kitabındaki sonuca uymayacağı görülmüştür.

4. ÖNERİLEN MODEL

Gerçek karakteristiklere duyarlı bir simülasyon yazılımını oluşturabilmek için, birkaç noktasal değerle elde edilen ölçüm sonuçlarını model içine dâhil etmeyi sağlayacak tüm ölçüm aralığına ait tanımlama oluşturulmalıdır [3,4,9, 10, 11].

Bu çalışmada belli elektriksel davranışa bağlı elde edilen ölçüm değerlerini simülasyon yazılımının içine doğrudan aktarmaya çalışmak yerine, aynı doğruluk derecesine sahip sonuçlar elde edilmesini sağlayan ampirik ifadeler oluşturulacaktır. Bu şekilde bir yöntem kullanılmasının sebebi transistora ait elektriksel davranışını tanımlayabilecek bir fiziksel ifade bulmanın zor olmasıdır. Bundan dolayı son yıllarda yayımlanan makalelerde elektronik elemanın fiziksel ifadesi yerine bu tür ampirik ifadeler kullanılmıştır. [12, 13]

Transistor karakteristigi doğrusal olmadığından çalışma bölgelerine bölünerek (şekil 8) önerilen model geliştirdi [11]. Böylece, önerilen modelle, tüm çalışma bölgelerinde doğruluk sağlanmış olmaktadır.

Önerilen model, ilave bir terim olarak DC Gummel-Poon denklemlerine eklenmektedir. Bu ifadenin genel şekli denklem (1)'de görülmektedir.

$$I_C = I_{C(GP)} + I_{C(SY)} \quad (1)$$

Burada $I_{C(GP)}$ OrCAD 10.0'daki DC Gummel-Poon ifadesine ilişkin denklem, $I_{C(SY)}$ ise önerilen yeni modele ait ampirik ifadedir. $I_{C(SY)}$ 'nin tam ifadesi denklem (2)'de görülmektedir.

$$I_{C(SY)} = SY_1 + SY_2 + SY_3 \quad (2)$$

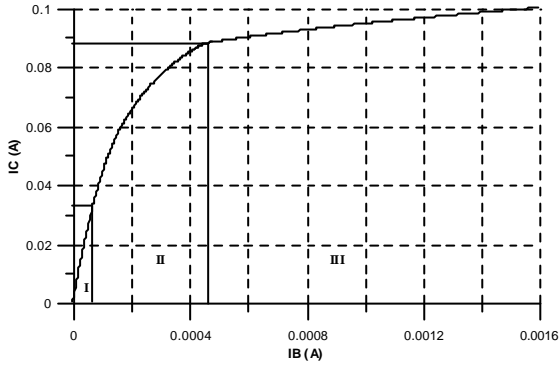
Denkleimde kullanılan SY_1 , SY_2 ve SY_3 parametreleri,

$$SY_1 = A_0(A_1 \cdot 699,373 \cdot 10^3 \cdot I_B^2 - A_2 \cdot 123,954 \cdot I_B + A_3 \cdot 1,053 \cdot 10^{-3}) \quad (3)$$

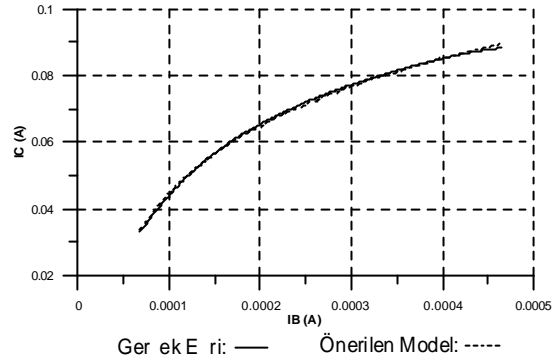
$$SY_2 = B_0(B_1 \cdot 24,528 \cdot 10^3 \cdot I_B^2 + B_2 \cdot 105,231 \cdot I_B - B_3 \cdot 18,599 \cdot 10^{-3}) \quad (4)$$

$$SY_3 = C_0(-C_1 \cdot 29,143 \cdot 10^3 \cdot I_B^2 + C_2 \cdot 181,160 \cdot I_B - C_3 \cdot 40,187 \cdot 10^{-3}) \quad (5)$$

bağıntıları ile tanımlanmaktadır.

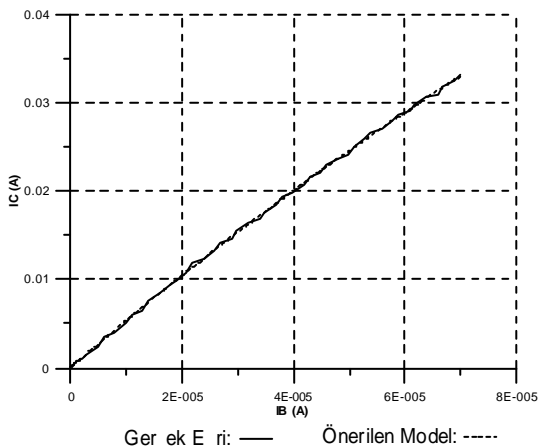


Sekil 8: Ortalama ölçüm sonuçlarına ilişkin geçiş karakteristiği

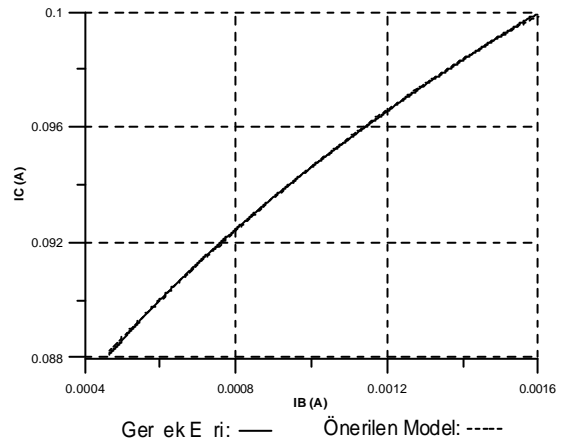


Sekil 10: Büküm bölgesine ilişkin geçiş karakteristiği

Sekil 9, 10 ve 11'de sırasıyla bu üç çalışma bölgesine ait gerçek eğriler ile önerilen modele ait grafikler görülmektedir.

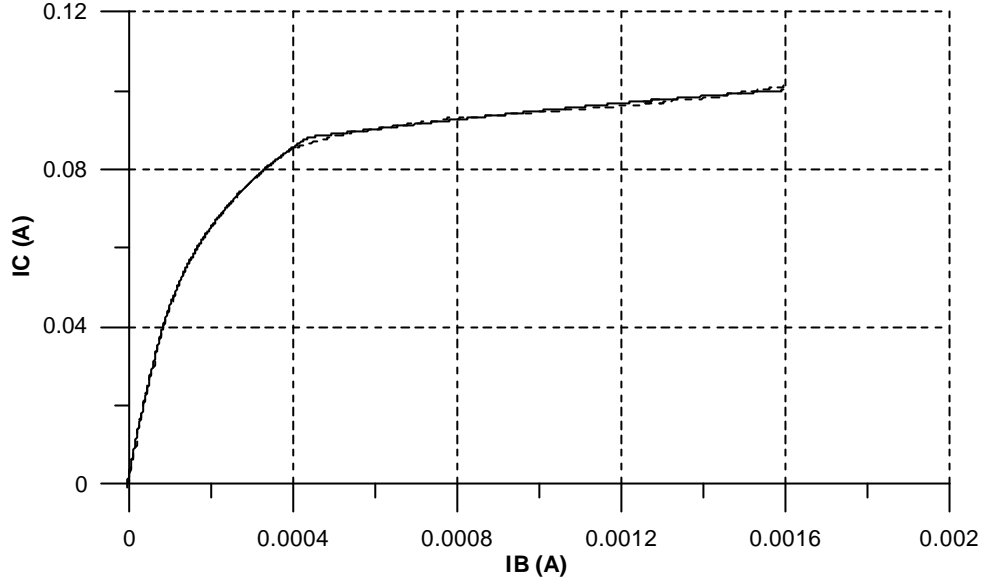


Sekil 9: Doyma bölgesine ilişkin geçiş karakteristiği



Sekil 11: Lineer bölgeye ilişkin geçiş karakteristiği

Sekil 12'de ise geçiş karakteristiğinin tüm çalışma bölgeleri için simülasyon olarak ölçümü ve önerilen model görülmektedir.



Ger ek E ri: — Düzeltme Egrisi: - - - -

Sekil 12: Geçiş Karakteristigi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, BJT transistor için PSpice programıyla elde edilen simülasyon sonuçları ile deneysel ölçüm sonuçları karşılaştırılmış, PSpice sonuçlarının gerçek sonuçları sağlamadığı görülmüştür. Simülasyon sonuçlarının deney sonuçlarıyla tamamen uyumlu olması hedefinden yola çıkılarak, matematiksel tanımlı eğri uydurmaya dayanan bir model önerilmiştir. Önerilen modelle, transistörün fiziksel yapısının yeniden modellenmesine gereksinim duyulmadan, var olan PSpice modelinin geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Böylece, transistörün fiziksel yapısının yeniden modellenmesindeki zorluklar ve zaman gereksinimi önerilen bu modelle asılmış olmaktadır. Önerilen modelin ölçüm sonuçlarıyla birebir uyum içinde olduğu görülmektedir.

Elde edilen model kullanılarak bir transistöre ait ölçümler yapıp, aynı üretim teknolojisine ait tüm transistörler için geçerli sonuçlar elde edilebilmektedir. Önerilen model kullanılarak elde edilen gerçekçi simülasyon sonuçlarının devre tasarımcıları için önemli ölçüde kolaylık sağlayacağını düşünmekteyiz.

6. KAYNAKÇA

- [1] LIOU J. J., "Semiconductor Device Physics and Modelling", Part 1: Overview of Fundamental Theories and Equations, IEE Proceedings-G, Vol. 139, No.6, December 1992
- [2] LIOU J. J., "Semiconductor Device Physics and Modelling", Part 2: Overview of Models and Their Applications, IEE Proceedings-G, Vol. 139, No.6, December 1992

- [3] TSIVIDIS Y. P., SUYAMA K., "MOSFET Modeling for Analog Circuit CAD: Problems and Prospects", IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 29, No. 3, March 1994
- [4] DOBRESCU D., DOBRESCU L., RUSU A., "A SPICE Modeling of the Negative Resistance Breakdown Region for the Bipolar Junction Transistor", Proc. 22nd International Conference on Microelectronics (MIEL 2000), Vol. 1, NIS, SERBIA, May 2000
- [5] SIMACEK T. K., SALEH R., "Simulation & Modeling", May 1992
- [6] SIGFRIDSSON B., "MOSFET-MODEL (BSIG1) Implemented in PSPICE Using Device Equations", www.sicon.se/datasht/bsig1.pdf
- [7] "BC546; BC547 NPN general purpose transistors", Data Sheet, Philips Semiconductor, April 1999
- [8] "PSpice A/D Reference Guide", Product Version 10.0, June 2003
- [9] DENG Y., FJELDLY T. A., YTTERDAL T., SHUR M. S., "SPICE Modeling of Neutron Displacement Damage and Annealing Effects in Bipolar Junction Transistors", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 50, No.6, December 2003
- [10] ZHANG Q., LIOU J. J., MCMACKEN J. R., THOMPSON J., LAYMAN P., "SPICE Modeling and Quick Estimation of MOSFET Mismatch Based on BSIM3 Model and Parametric Tests", IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 36, No. 10, October 2001
- [11] KATTO H., "Device Parameter Extraction in the Linear Region of MOSFET's", IEEE Electron Device Letters, Vol. 18, No. 9, September 1997
- [12] MIURA-MATTAUSCH M., UENO H., MATTAUSCH H. J., KUMASHIRO S., YAMAGUCHI T., YAMASHITA K., NAKAYAMA N., "Circuit Simulation Models for Coming MOSFET Generations" IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E85-A, No.4, April 2002
- [13] PRITCHARD R. L., "Transistor Equivalent Circuits", Proceedings of the IEEE, Vol. 86, No.1, January 1998