

BJT의 DC 해석 용 SPICE 모델 파라미터 추출 방법에 관한 연구

논문

58-9-18

A Study on the SPICE Model Parameter Extraction Method for the BJT DC Model

이 은 구*
(Un Gu Lee)

Abstract - An algorithm for extracting the BJT DC model parameter values for SPICE model is proposed. The nonlinear optimization method for analyzing the device I-V data using the Levenberg-Marquardt algorithm is proposed and the method for calculating initial conditions of model parameters to improve the convergence characteristics is proposed. The base current and collector current obtained from the proposed method shows the root mean square error of 6.04% compared with the measured data of the PNP BJT named 2SA1980.

Key Words : Parameter extractor, Levenberg-Marquardt algorithm, BJT, Parameter optimization, SPICE

1. 서 론

컴퓨터 하드디스크나 플로피 디스크 혹은 CD-ROM, VCR 그리고 CPU에 부착된 Fan 등의 각종 모터를 제어하기 위해 사용하는 구동 드라이버 IC는 전류 구동능력이 뛰어난 집적회로용 BJT가 널리 사용[1][2]되고 있으며, 점차 고출력 동작이 요구되는 추세인 반면[3] 인가된 바이어스에 따라 안정된 동작이 가능하도록 출력 단을 정교하게 제어할 수 있는 회로 설계의 필요성이 대두되고 있다[4]. IT 기기의 수요가 증가함에 따라 고 출력을 제공할 수 있는 회로에 대한 수요가 증가할 것으로 예상되어 큰 규모의 시장이 형성된 상태이나 뛰어난 설계기술을 갖추고 있음에도 불구하고 정확한 SPICE 파라미터가 제공되지 않아 SOA[5][6]와 같은 제품의 신뢰도에 영향을 주는 회로 설계가 불가능하기 때문에 제품개발에 어려움을 겪고 있는 실정이다[7].

아날로그 설계회사는 다양한 제품을 짧은 기간 내에 개발함으로써 제품의 경쟁력을 확보해야 하기 때문에 제품개발기간을 가능한 단축해야 하나 회로를 설계하기 위해 필요한 SPICE 모델 파라미터[8]의 정확도가 떨어지면 제품의 전기적인 특성에 적합한 회로 설계가 불가능하다. 열악한 제품의 특성을 향상시키기 위해서는 회로를 수 회에 걸쳐 재 설계 해야 하나 개발기간과 비용이 증가하므로 이를 최소화하기 위해서는 회로 동작을 정확하게 계산할 수 있는 SPICE 모델 파라미터가 필수적이다[9]. 이러한 SPICE 모델 파라미터를 정교하게 추출하기 위해 MOSFET 소자에 대해 지속적인 연구가 수행되었으나[10][11] BJT 소자에 대해서는 체계적인 연구가 진행되지 않고 있다.

일반적으로 BJT의 DC 해석용 SPICE 파라미터는 실측치

로부터 추출한 값을 사용한다. 컬렉터 전류와 베이스 전류의 크기를 결정하는 주요 파라미터는 트랜지스터 역포화 전류, 일리 전압 V_A , N_F 와 전류이득이 있다[12]. 이러한 주요 파라미터는 V_{BE} 에 대한 I_C, I_B 특성 곡선과 V_{CE} 에 대한 I_C 특성 곡선으로부터 추출할 수 있으나 추출된 파라미터를 이용하여 계산된 SPICE 해석 결과를 역으로 실측치와 비교하면 상당한 오차를 나타낸다. 실측치로부터 파라미터를 추출하는 방법은 주요 파라미터를 제외한 내부 저항과 같은 보조 역할을 하는 파라미터 계산법을 제공할 수 없으며, 인가 바이어스의 일부 구간에서만 파라미터 추출이 가능하기 때문에 해석 영역 전체에 걸쳐 실측치를 추정하는 것은 불가능하고 그 만큼 회로를 설계하기 위해 사용 가능한 BJT 동작 영역이 제한된다.

본 논문에서는 이러한 단점을 해결하기 위해 BJT의 동작 영역 전체에 걸쳐 실측치와 유사한 결과를 갖도록 SPICE 파라미터를 추출하는 방법을 제안한다. 인가전압과 출력전류의 비선형 관계가 높은 BJT의 SPICE 파라미터를 효과적으로 추출하기 위해 Levenberg-Marquardt 방법[13]을 사용하였고 초기조건 계산 방법을 사용함으로써 해의 정확도를 높였다. 또한 BJT의 해석 단계를 4개의 단계를 나누어 파라미터 간 의존 관계가 높은 순서로 Levenberg-Marquardt 해석을 진행함으로써 해의 수렴특성을 높였다. 본 논문에서 제안한 방법의 타당성을 검증하기 위해 2SA1980 PNP BJT 소자에 대한 해석 결과를 제시한다.

2. SPICE 파라미터 추출 알고리즘

BJT의 SPICE 파라미터를 정확하게 추출하기 위해서는 인가전압과 출력 전류의 비선형 관계를 살펴야 한다. 식(1)과 식(2)는 베이스와 에미터 간 인가전위 V_{BE} 와 베이스와 컬렉터 간 인가전위 V_{BC} 에 대한 베이스 전류와 컬렉터 전류 식이다[14].

* 정 회 원 : 부천대학교 정보통신과 교수

E-mail : leg@bc.ac.kr

접수일자 : 2009년 7월 22일

최종완료 : 2009년 8월 17일

$$I_C = \frac{I_S}{q_B} \left[e^{\frac{V_{BE}}{N_F V_T}} - e^{\frac{V_{BC}}{N_R V_T}} \right] - \frac{I_S}{\beta_R} \left[e^{\frac{V_{BC}}{N_R V_T}} - 1 \right] - I_{SC} \left[e^{\frac{V_{BE}}{N_C V_T}} - 1 \right] \quad (1)$$

$$I_B = \frac{I_S}{\beta_F} \left[e^{\frac{V_{BE}}{N_F V_T}} - 1 \right] + \frac{I_S}{\beta_R} \left[e^{\frac{V_{BC}}{N_R V_T}} - 1 \right] + I_{SE} \left[e^{\frac{V_{BE}}{N_C V_T}} - 1 \right] \quad (2)$$

여기서 I_S 는 트랜지스터 역포화 전류이고 N_F 는 BJT의 순방향 이미션(emission) 계수이다. q_B 는 베이스 전하 성분이고 저전압 조건에서는 1이다. BJT의 동작영역을 순방향 활성영역으로 제한하면 베이스와 에미터 간에는 순바이어스가 인가되고 베이스와 컬렉터 간에는 역바이어스가 인가되므로 식(1)과 식(2)에서 V_{BC} 를 포함한 항은 무시될 수 있을 정도의 작은 값을 갖으며 식(1)과 식(2)는 식(3)과 식(4)로 간략화 된다.

$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{N_F V_T}} \quad (3)$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} \quad (4)$$

식(3)에 포함된 I_S 와 N_F 는 지수함수 관계를 갖고 있으며 식(4)에 포함된 전류이득 또한 N_F 와 지수함수 관계를 갖는다. 지수함수의 지수 항에 해당하는 N_F 와 계수 항에 해당하는 I_S 및 β_F 는 파라미터 간 의존성이 높기 때문에 I_S 및 β_F 와 N_F 를 동시에 추출하는 것은 불가능하다. N_F 의 작은 변화에도 I_S 와 β_F 는 큰 폭으로 변화하므로 해가 수렴하지 못하거나 물리적으로 의미 없는 값을 갖는다.

N_F , I_S 와 β_F 는 BJT의 컬렉터 및 베이스 전류의 크기를 결정하는 주요 파라미터이므로 본 논문에서는 해석의 처음 단계에서 파라미터 추출을 진행한다. 또한 실측치로부터 추출된 값을 초기 조건으로 사용함으로써 수렴특성을 높인다. 특히 N_F 는 지수 항에 위치하여 다른 파라미터에 많은 영향을 주므로 해를 특정한 범위로 제한하거나 실측치로 추출된 값을 사용한다. 주요 파라미터를 제외한 나머지는 주요 파라미터를 구한 후 단계적으로 해석을 진행한다.

2.1 실측치로부터 SPICE 파라미터 추출 방법

DC 해석 시 중요한 파라미터는 N_F , I_S , β_F 와 열리전압 V_A 가 있으며 실험 데이터로부터 잡음영역을 제외한 낮은 인가전압 범위에서 추출이 가능하다. 그림 1은 V_{BE} 에 대한 I_B 와 I_C 곡선이고 N_F , I_S 와 β_F 의 실측치를 구하는 방법을 제공한다.

식(5)는 그림 1에서 V_{BE} 가 A에서 B까지 변화 할 경우 자연로그 형태의 I_C 를 선형 근사화한 식이고 식(6)은 식(3)의 양변에 대해 자연로그를 취한 식이다. 여기서 Y 는 컬렉터 전류의 자연로그 값이고 Y_0 는 Y 축과의 절점이며 H 는 선형 함수의 기울기이다.

$$Y = H V_{BE} + Y_0 \quad (5)$$

$$\ln(I_C) = \frac{1}{N_F V_T} V_{BE} + \ln(I_S) \quad (6)$$

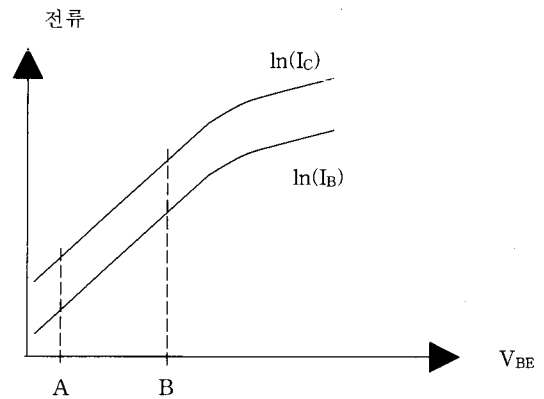


그림 1 $V_{BE} - I_B, I_C$ 곡선
Fig. 1 $V_{BE} - I_B, I_C$ curve

실측치로부터 유도한 식(5)와 SPICE 계산식 (6)은 동일한 수식이므로 I_S 와 N_F 는 식(7)과 식(8)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$I_S = e^{Y_0} \quad (7)$$

$$N_F = \frac{1}{H V_T} \quad (8)$$

V_{BE} 가 0.8[V] 이상 인가되면 BJT는 순방향 포화영역에서 동작하고 전류이득이 크게 감소하기 때문에 그림 1의 V_{BE} 를 A영역에서 부터 B영역까지로 제한한다면 식(4)로부터 일정한 값을 갖는 β_F 를 구할 수 있다.

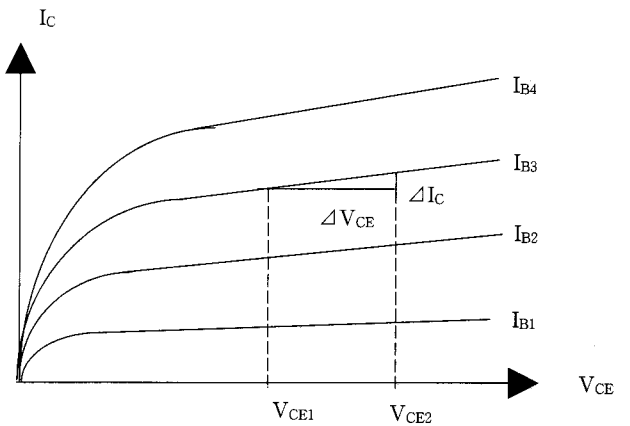


그림 2 $V_{CE} - I_C$ 곡선
Fig. 2 $V_{CE} - I_C$ curve

그림 2는 V_{CE} 에 대한 I_C 곡선이다. V_{CE} 가 증가하면 유효 베이스 폭이 감소하므로 동일한 베이스 전류가 인가된 조건에서 V_{CE} 가 증가함에 따라 I_C 가 증가한다. 그림 2에서 I_{B3} 의 직선 영역의 기울기로부터 V_A 을 구할 수 있다. 식(9)는 V_A 을 구하기 위한 수식이다. V_A 은 V_{CB} 의 변화량에 대해 I_C 의 변화량을 사용해야[12] 하나 베이스 전류가 일정하고 BJT가 순방향 활성영역에서 동작한다면 V_{CB} 의 변화량은

V_{CE} 의 변화량과 유사한 값을 가지므로 식(9)를 이용하여 V_A 를 근사적으로 추출할 수 있다[12].

$$V_A = I_C \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \quad (9)$$

2.2 DC 해석용 SPICE 파라미터 최적화 알고리즘

SPICE 파라미터 최적화 알고리즘은 BJT의 V_{BE} 에 대한 I_B, I_C 곡선 및 V_{CE} 에 대한 I_C 곡선의 실측치와 SPICE 모의 실험 결과의 오차가 최소가 되도록 파라미터를 설정하는 방법을 제공한다. 식(10)은 컬렉터 전류의 실측치와 식(1)의 계산 결과의 오차를 나타내는 Least-Square 함수[15]이다. 실측치와 계산치의 오차가 최소가 되기 위해서는 $F(\bar{p})$ 의 값이 최소가 되는 \bar{p} 를 찾아야 한다[13].

$$F(\bar{p}) = \sum_{i=1}^m w_i [r_i(\bar{p})]^2 \quad (10)$$

여기서 r_i 는 컬렉터 전류의 실측치와 식(1)의 계산 결과의 상대오차이고 w_i 는 weight 항이다. 잡음 성분을 포함한 데이터의 w_i 를 작은 값으로 설정하면 잡음성분을 해석에서 제외시킬 수 있다[13].

식(10)의 $F(\bar{p})$ 가 최소 값을 갖는 조건이 최적의 SPICE 파라미터이므로 $F(\bar{p})$ 의 파라미터에 대한 미분 값이 0이 되는 조건에서 오차를 최소화 할 수 있다. 식(11)은 식(10)을 파라미터에 대해 미분한 결과 식이다[13].

$$\left[\frac{\partial F(\bar{p})}{\partial p_i} \right] = \left[2 \sum_{k=1}^m \left\{ w_k r_k \frac{\partial r_k}{\partial p_i} \right\} \right] = 0 \quad (11)$$

식(11)을 해석하는 방법으로 Steepest Decent 방법[13], Gauss-Newton 방법[15]과 Levenberg-Marquardt 방법[13]을 사용할 수 있다. Steepest Decent 방법은 계산량이 적고 해의 방향으로 수렴하기 때문에 반드시 해를 찾지만 수렴 특성이 좋지 않아 계산시간이 많이 걸리는 단점이 있고 Gauss-Newton 방법은 수렴특성이 우수하나 초기 조건이 참값에 근사하지 않으면 해를 구하지 못하는 단점이 있다. Levenberg-Marquardt 방법은 Gauss-Newton 방법을 기반으로 하고 있어 수렴특성이 우수하고 초기조건이 참값에서 많이 벗어난다 해도 Steepest Decent 방법과 같이 반드시 참값을 찾아간다는 장점을 갖는다[16]. 본 논문에서는 SPICE 파라미터를 최적화하기 위해 Levenberg-Marquardt 방법을 사용한다. 식(12)는 Levenberg-Marquardt 방법에서 사용하는 해석식이다. 식(13)은 식(12)의 좌변 미분항을 계산하기 위한 수식이고 식(12)의 수렴방향을 결정한다. 여기서 D_{ij} 는 Constant Diagonal 행렬이고 λ 는 Eigenvalue[13]이고 λ 는 수렴 경로 상에서 오차가 최소가 되도록 설정한다 [16].

$$\left[\frac{\partial^2 F}{\partial p_i \partial p_j} \right] (\Delta p_j) = - \left[\frac{\partial F}{\partial p_i} \right] \quad (12)$$

$$\left[\frac{\partial^2 F(\bar{p})}{\partial p_i \partial p_j} \right] = \left[2 \sum_{k=1}^m \left\{ w_k \frac{\partial r_k}{\partial p_i} \frac{\partial r_k}{\partial p_j} \right\} \right] + \lambda [D_{ij}] \quad (13)$$

식(14)는 현 단계에서 수렴 해를 구하기 위한 식이다. λ 를 변화시키면 수렴 방향을 식 (10)을 이용하여 오차가 최소가 되는 조건을 수렴 해로 구할 수 있다[16].

$$p^{k+1} = p^k - \left[2 \sum_{k=1}^m \left\{ w_k \frac{\partial r_k}{\partial p_i} \frac{\partial r_k}{\partial p_j} \right\} + \lambda D_{ij} \right]^{-1} \left[\frac{\partial F}{\partial p_i} \right] \quad (14)$$

2.3 전체 흐름도

본 논문에서는 SPICE 파라미터 간 의존 관계를 고려해서 단계별로 추출하는 방법을 사용한다. BJT는 해석에 필요한 SPICE 파라미터 간 의존 관계가 크기 때문에 전체 파라미터를 동시에 추출하면 해에 수렴하지 못하거나 물리적으로 의미 없는 값을 갖는다. 따라서 V_{BE} 와 I_C 간 지수함수 관계에 직접 영향을 주는 파라미터를 우선 계산함으로써 다른 파라미터에 의해 해의 수렴특성이 악화되는 것을 막을 수 있다.

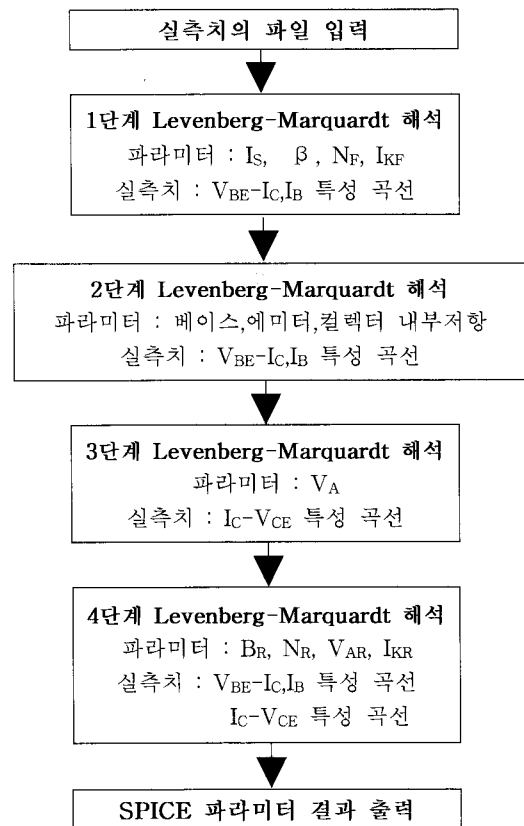


그림 3 4 단계로 구분된 전체 흐름도
Fig. 3 The flow chart of 4 step analysis

그림 3에서 파라미터는 각 단계에서 추출되는 파라미터를 의미하고 실측치는 파라미터를 추출하기 위해 사용되는 베이스와 컬렉터 전류를 의미한다. BJT 해석에 사용되는 주요 SPICE 파라미터로는 I_s , β_F , N_F , V_A 와 I_{KF} 이다. 실험 데이터로부터 추출한 값을 초기 조건으로 사용함으로써 해의 정

확도를 높일 수 있고, 주요 파라미터를 제외하고 파라미터 간 상관관계가 작기 때문에 주요 SPICE 파라미터를 우선적으로 계산함으로써 전체적으로 해의 수렴특성을 높일 수 있다. 주요 파라미터를 추출하기 위해 V_{BE} 에 대한 $I_{C,IB}$ 특성 곡선과 V_{CE} 에 대한 I_C 특성 곡선을 실험 데이터로 사용한다. 주요 파라미터를 추출한 후 다음 해석 단계로 보조 역할을 하는 나머지 파라미터를 추출한다. 나머지 파라미터로는 에미터, 베이스, 컬렉터 내부 저항이 있다. 내부 저항을 계산한 후 B_R, N_R, V_{AR}, I_{KR} 를 계산한다.

그림 3은 4 단계로 구분된 파라미터 추출의 전체 흐름도이다. 1단계 해석에서는 그림 1의 결과를 이용하여 실험 데이터로부터 N_F, I_S 와 β_F 을 추출하고 Levenberg-Marquardt 해석을 진행하여 V_A 를 제외한 주요 파라미터를 계산한다. 2단계에서는 BJT의 DC 해석을 결정하는 보조 파라미터로 에미터, 베이스, 컬렉터 내부 저항을 계산한다. 3단계에서는 BJT의 DC 해석을 결정하는 V_A 를 계산한다. V_A 는 V_{CE} 에 대한 I_C 특성 곡선을 결정하는 주요 파라미터이다. 4단계에서는 보조 파라미터로 B_R, N_R, V_{AR}, I_{KR} 를 계산한다.

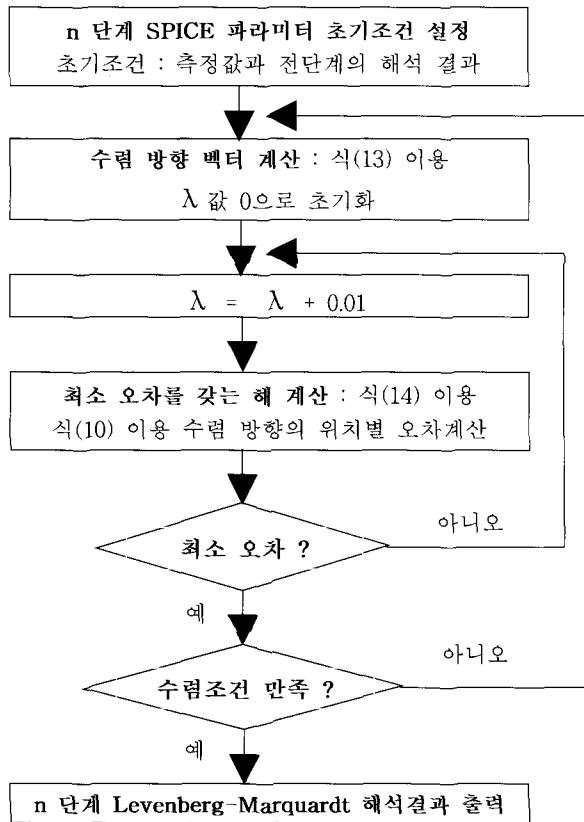


그림 4 n 단계 Levenberg-Marquardt 해석 흐름도
Fig. 4 The flow chart of n step Levenberg-Marquardt analysis

그림 4는 그림 3의 n 단계를 해석하기 위한 Levenberg-Marquardt 해석 방법의 흐름도이다. 여기서 n 단계는 1부터 4까지 4개 단계를 갖는다. 해석의 초기조건은 측정치로부터 추출된 값과 전 단계에서 계산된 SPICE 파라미터를 사용한다. 초기조건 설정이 끝나면 식(13)을 이용하여 수렴

방향 벡터를 계산하고 수렴 벡터 방향을 따라 λ 를 0.01 단위로 변화하면서 오차가 최소가 되는 조건을 찾는다. 오차가 최소가 되는 조건을 현 단계의 수렴 해로 결정하고 이러한 과정을 반복함으로써 현 단계의 수렴 해를 구한다. 현 단계의 해는 계산된 수렴 해가 수렴조건을 만족해야만 하며 해석이 끝나면 n 단계의 Levenberg-Marquardt 해석 결과를 출력한다.

3. 결과 및 고찰

본 논문에서 제시한 SPICE 파라미터 추출 방법의 타당성을 검증하기 위해 2SA1980 PNP BJT 소자에 대한 측정치와 SPICE 출력 값을 비교한다. 실측치는 V_{BE} 에 대한 $I_{C,IB}$ 특성 곡선과 V_{CE} 에 대한 I_C 특성 곡선을 사용한다. 그림 5는 V_{BE} 에 대한 I_C 특성 곡선으로부터 I_S 와 N_F 에 대한 측정치와 추세선을 나타낸다. x축은 V_{BE} 이고 y축은 로그 값을 취한 컬렉터 전류이다. 추세선은 지수 함수를 이용하여 근사화하였으며 결과식을 그림 5에 표시한다.

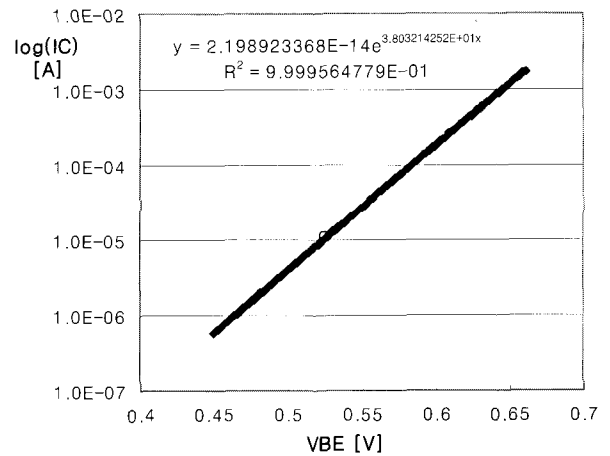


그림 5 I_S 와 N_F 에 대한 측정치
Fig. 5 The Measured data of I_S and N_F

식(7)과 식(8)을 이용하면 I_S 는 2.199×10^{-14} 이고 N_F 는 1.0161이다. 전류이득은 그림 5에서 사용된 영역내의 컬렉터 전류에 대한 베이스전류의 비율로부터 구할 수 있고 추출된 값은 112.6이다. 그림 6은 V_{CE} 에 대한 I_C 특성 곡선으로부터 V_A 의 측정치를 구하는 과정을 나타낸다. x축은 V_{CE} 이고 y축은 컬렉터 전류이다. 베이스 전류는 하측 데이터로부터 상측 데이터까지 각각 $1[\mu A]$ 에서부터 $5[\mu A]$ 까지 $1[\mu A]$ 단위로 증가한다. 그림 6에 실측치와 추세선을 동시에 표시한다. 추세선의 x축 절점의 값이 V_A 이므로 그림 6의 수식을 계산하면 V_A 를 구할 수 있다.

식(9)로부터 V_A 는 하측 데이터로부터 상측 데이터까지 각각 160.5[V], 163.1[V], 178.3[V], 160.3[V] 그리고 163.5[V]이다. V_A 의 평균값은 165.1[V]이다. 그림 7과 그림 8은 V_{BE} 에 대한 I_C, I_B 특성 곡선과 V_{CE} 에 대한 I_C 특성 곡선에 대해 실측치와 실측치로부터 추출된 파라미터를 이용한 SPICE 출

력 값 및 본 논문에서 제안한 Levenberg-Marquardt 해석 결과 값을 이용한 SPICE 출력 값을 비교한다.

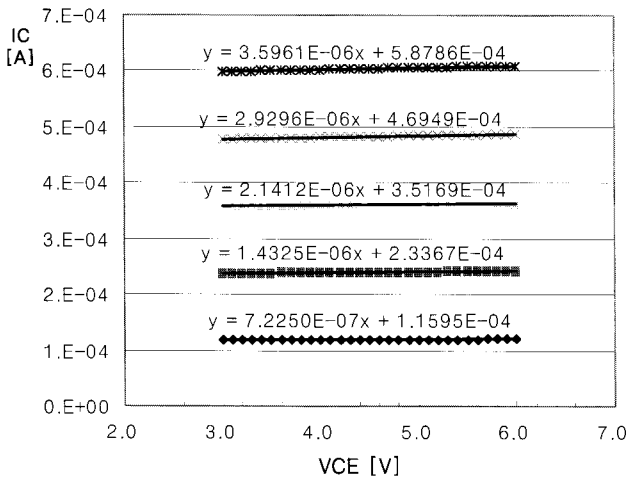


그림 6 V_A 에 대한 측정치

Fig. 6 The Measured data of V_A

그림 7과 그림 8에서 실측치는 실선으로 표시하였고 SPICE 출력 값은 점선으로 표시하였다. x축은 V_{BE} 이고 그림 7에서 y축은 로그 값을 취한 컬렉터 전류와 베이스 전류이고 그림 8에서는 컬렉터 전류이다. 그림 7과 그림 8에서 계산치(초기조건)은 실측치로부터 추출된 파라미터를 이용한 SPICE 출력 값이고 계산치(LM 해석)은 Levenberg-Marquardt 해석 결과 값을 이용한 SPICE 출력 값이다.

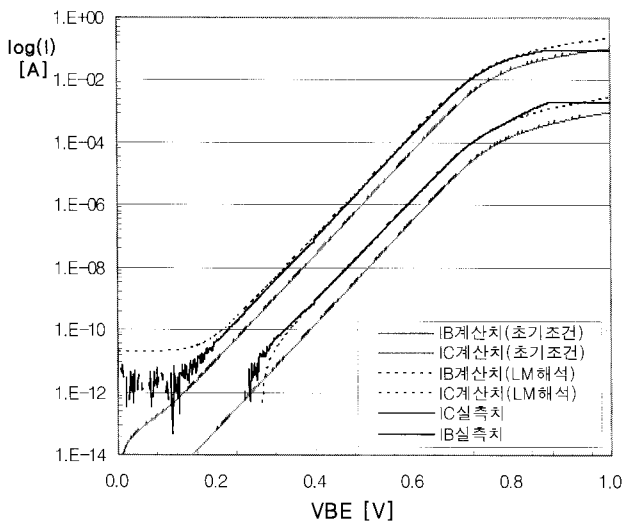


그림 7 $V_{BE}-I_C, I_B$ 특성 곡선에 대해 실측치와 SPICE 출력 값 비교

Fig. 7 The comparison of the SPICE result and measured data for $V_{BE}-I_C, I_B$ curve

그림 7과 그림 8의 V_{BE} 에 대한 I_C, I_B 특성 곡선과 V_{CE} 에 대한 I_C 특성 곡선에 대해 실측치와 본 논문에서 제안한 해석 결과를 이용한 SPICE 출력 값을 비교한 결과 6.04%의 RMS(Root Mean Square) 오차를 갖는다. 그러나 실측치로

부터 추출된 파라미터를 이용한 SPICE 출력 값을 비교한 결과 75%의 비교적 큰 RMS 오차를 갖는다.

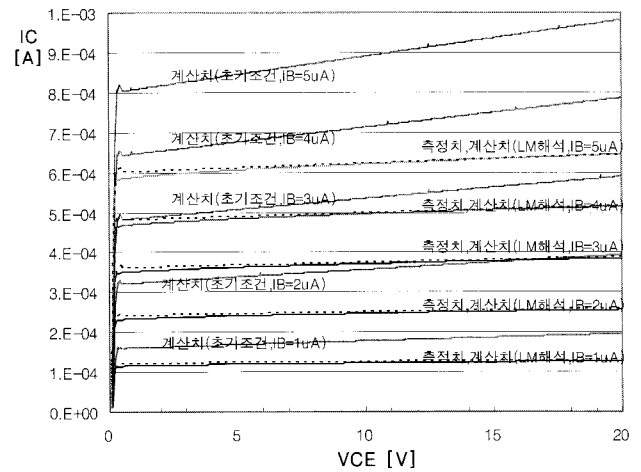


그림 8 $V_{CE}-I_C$ 특성 곡선에 대해 실측치와 SPICE 출력 값 비교

Fig. 8 The comparison of the SPICE result and measured data for $V_{CE}-I_C$ curve

표 1은 실측치로부터 추출된 SPICE 파라미터와 본 논문에서 제시한 방법을 이용하여 추출한 SPICE 파라미터 해석 결과를 비교한다. 실측치로부터 추출된 파라미터를 사용하여 회로 설계를 수행하면 실제 제작된 BJT 소자의 전류-전압 특성과 많은 오차를 보이고 있으므로 정교한 회로를 설계할 수 없으나, 본 논문에서 제안한 방법을 이용하면 실측치와 유사한 결과를 보이므로 BJT로 구성된 회로의 동작을 정교하게 제어할 수 있다.

표 1 실측치와 Levenberg-Marquardt 해석 결과 비교

Table 1 The comparison of the measured DC parameter and that of Levenberg-Marquardt analysis

| DC 조건 | SPICE 파라미터 이름 | 실측치로부터 추출된 파라미터 | Levenberg-Marquardt 해석결과 값 | 단위 |
|---------------------|---------------|-------------------------|----------------------------|-----|
| 주요 SPICE 파라미터 | I_S | 2.199×10^{-14} | 2.78×10^{-14} | [A] |
| | B_F | 112.6 | 126.6 | |
| | N_F | 1.0161 | 1.0161 | |
| | V_{AF} | 165.1 | 280.4 | [V] |
| 보조 SPICE 파라미터 | I_{KF} | 5.46×10^{-2} | 0.3807 | [A] |
| | R_E | - | 0.92946 | [Ω] |
| | R_B | - | 6.2567 | [Ω] |
| 보조 SPICE 파라미터 | R_C | - | 3.81×10^{-5} | [Ω] |
| | B_R | - | 0.348 | |
| | N_R | - | 1.001 | |
| | V_{AR} | - | 13.647 | [V] |
| | I_{KR} | - | 5.08×10^{-2} | [A] |
| Root Mean Square 에러 | | 755 | 6.04 | % |

4. 결 론

본 논문에서는 BJT의 DC 해석용 SPICE 파라미터 추출 알고리즘을 제시하였다. BJT 전압-전류 관계식을 해석하기 위해 Levenberg-Marquardt 방법을 사용하였고 해의 수렴특성을 높이기 위해 초기해 설정 방법을 제안하였다. 또한 인가전압과 출력전류의 비선형 관계가 높은 BJT 소자의 SPICE 파라미터를 효과적으로 추출하기 위해 전체 해석 단계를 4개의 단위로 나누고 각 단계마다 Levenberg-Marquardt 해석을 진행하였다.

본 논문에서 제안한 방법의 타당성을 검증하기 위해 2SA1980 PNP BJT의 전류-전압 특성과 비교한 결과, 실측치로부터 추출된 파라미터를 이용한 SPICE 해석 결과는 실측치와 비교하여 75%의 RMS 오차를 보인 반면, 제안된 방법으로 추출된 파라미터를 이용한 SPICE 해석 결과는 실측치와 비교하여 6.04%의 RMS 오차를 보이고 있으므로 본 논문에서 제안한 방법의 타당성을 확인할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Palo Antognetti, *Power Integrated Circuits: Physics, Design, and Applications*, McGraw-Hill Book Co., New York, pp. 10.0~10.38, 1986

[2] Samsung Electronics, *Motor Driver IC*, Samsung Electronics, 1999 Data Book, 1999

[3] Rohm, *3-Phase Motor Driver for CD-ROMs*, Rohm Japan, 2001

[4] 이은구, 김철성, "집적회로용 NPN BJT의 베이스-컬렉터 간 역방향 항복전압 추출 알고리즘", *대한전기학회 논문집* 52C권 2호, pp.67-73, 2003

[5] L.L.Spina, V.d'Alessandro, S.Russo, N.Rinaldi, L.K. Nanver, "Influence of Concurrent Electrothermal and Avalanche Effects on the Safe Operating Area of Multifinger Bipolar Transistors," *IEEE Trans. on Electron Devices*, Vol. 56, No. 3, pp.483-491, 2009

[6] C.P.Lee, F.H.F.Chau, W.Ma,N.L.Wang, "The Safe Operating Area of GaAs-based Heterojunction Bipolar Transistor," *IEEE Trans. on Electron Devices*, Vol. 53, No. 11, pp.2681-2688, 2006

[7] 이은구, 김태한, 김철성, "베이스 영역의 불순물 분포를 고려한 집적회로용 BJT의 역포화전류 모델링", *대한전자공학회 논문집* 제40권 SD편 제4호, pp.203-210, 2003

[8] Paul W. Tuinenga, *SPICE A Guide to Circuit Simulation and Analysis Using PSpice*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988.

[9] 이은구, *BANDIS와 MODIS 프로그램을 이용한 CDP 모터 구동 IC용 BJT 공정개발에 관한 연구*, 인하대학교 대학원 박사논문, 2003

[10] Fei Li, L.F.Registor, M.M,Hassan, S.K.Banerjee, "A Program for Device Model Parameter Extraction from Gate Capacitance and Current of Ultrathin SiO₂ and High-k Gate Stacks," *IEEE Trans. on Electron Devices*, Vol. 53, No. 9, pp.2118-2127, 2006

[11] D.Nam, Y.D.Seo, L.Park,C.H.Park, B.Kim, "Parameter Optimization of an On-Chip Voltage Reference Circuit Using Evolutionary Programming," *IEEE Trans. on Evolutionary Computation*, Vol. 5, No. 4, pp.414-421, 2001

[12] Richard S.Muller, Theodore I.Kamins, *Device Electronics for Integrated Circuits*, Wiley, New York, pp.270-377, 1986.

[13] N. Arora, *MOSFET Models for VLSI Circuit Simulation Theory and Practice*, Springer-Verlag Wien New York, New York, pp.501-535, 1993.

[14] Cadence, *PSpice A/D Reference Guide Product Version 10.3*, Cadence, pp.255-268, 2004.

[15] Richard L.Burden, J.Douglas Faires, *Numerical Analysis*, PWS Publishing Company, Boston, pp.56-61, pp. 449-458, 1985.

[16] K. Doganis, D. L. Scharfetter, "General Optimization and Extraction of IC Device Model Parameters", *IEEE Trans. on Electron Devices*, Vol. ED-30, No. 9, 1983

저 자 소 개



이 은 구 (李 恩 九)

1972년 6월 11일생. 1995년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2003년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1997년 1월~1997년 5월 현대전자 메모리 연구소 근무. 현재 부천대학 정보통신과 부교수 제직. <주관심분야 : Power IC 소자 개발 및 회로 설계임>
E-mail : leg@bc.ac.kr