

## ECAP를 이용한 트랜지스터 증폭기의 주파수 특성에 관한 연구

A study on the Frequency characteristics of a transistor amplifier by using ECAP

朴圭泰\* · 金容得\*\*

(Park, Kyu Tae) · (Kim, Yong Deak)

要 約

ECAP을 사용하여 직류, 교류, 과도현상에 대한 회로해석을論하였으며 2단 가청주파 증폭기의 저주파 및 고주파 영역에서의 주파수 특성을 ECAP 방식을 사용하여 해석하였다.

또한 근사식과 실험을 통하여 전류, 전압의 이득을 구하여 컴퓨터에 의한 값과 비교하여 본 결과 잘 일치함을 보였다.

Abstract

To deal with electronic circuits analysis, the matrix-topological formulation is described. In addition to the classical mesh, node and cutset method, a mixed analysis is described, and it is presented that any electronic circuits problem, including dc, ac, transient analysis, can be analyzed by the electronic circuit analysis program.

In this paper a model of two stage transistor audio amplifier is made and frequency characteristics for the circuits are analyzed by ECAP. The measured results give good agreement with the ECAP analysis.

1. 서 론

최근 디지털 컴퓨터는 공업적인 설계와 해석에 매우 유용한 도구가 되어왔다. 특히 전자회로의 설계와 해석에서 컴퓨터의 사용은 필수적인 것이다.

전자회로의 해석과 설계에 있어서 다음과 같은 기본적인 토폴로지적인 행렬(topological matrix)이 사용된다.

(A) 枝-節 行列(Branch-node matrix) 列(column)에는 枝(branch), 行(row)에는 節(node)에 해당하며 선형 그래프에 정해진 방향에 따라 0, +1, -1로 표시되는 배열(Array)로 구

성된다.

(B) 節-基準點 경로 行列(Node-to-datum path matrix) 枝-節 行列과 비슷하며 (A)의 역(inverse)은 (B)의 transpose와 같다. 즉  $A_T^{-1} = B_T'$  이다.

(C) 枝網 行列(Branch-mesh matrix) 회로망의 그래프를 그려 枝電流의 번호와 부호를 정하고 木을 선택한다.

루프전류(Loop current) 방향은 링크 방향과 같게하여 列엔 루프전류를, 行엔 枝電流의 관계를 표시한다.

(D) 컷셋 行列(Cut-set matrix) 회로망의 그래프상에 모든 枝電位 번호와 木을 선택한다.

木枝 電位와 節間電位(node-pair potential)를 같게하여 枝電位를 列에, 節間電位는 行에 쓴 行列이다.

\*\*正會員, 延世大學校 電子工學科

\*, Dept. of Electronic Eng., Sci. & Eng. College of Yonsei University.

接受日字: 1973. 3. 30

여기에 (그림 1)과 같은 일반적인 전기 회로망의  $r$  번째 枝는 電源  $E_r$  과 電流源  $I_r$  에 임피던스 소자  $Z_r$  가 연결되어 있다.

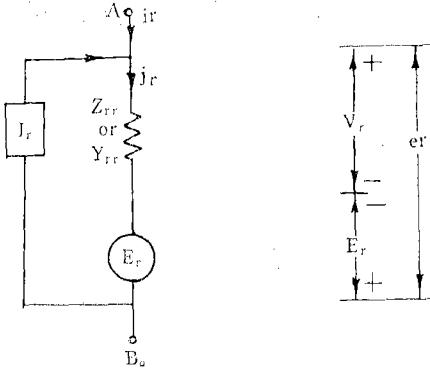


그림 1 전기적 회로망의  $r$  번째 枝

이 회로의 전류, 전압에 대하여 쓰면

$$J_r = I_r + i_r \tag{1}$$

$$V_r = E_r + e_r \tag{2}$$

또  $E$  와  $I$  는 罫이 아니므로 罫 회로망에 대하여 罫의 법칙은 行列로 표시된다.

$$V = ZJ \tag{3}$$

내부 접속에 의한 枝電壓  $e$  와 枝電流  $i$  를 계산하기 위하여 키르히호프의 전압, 전류 법칙은 다음과 같은 행렬 관계식으로 쓴다.

$$C'e = 0, A'i = 0 \tag{4}$$

여기서  $C'$  는 枝網行列의 transpose 이며

$A'$  는 枝節 行列의 transpose 이다.

(4)식과 같이 주어진 회로망과 그의 임피던스 행렬  $Z$ , 전압원 벡터  $E$ , 전류원 벡터  $I$  와 키르히호프의 법칙을 사용하여 다음의 4가지 방법으로 枝電壓  $e$  와 枝電流  $i$  를 구할수 있다.

- 1) 網 방법(mesh method)
- 2) 節 방법(node method)
- 3) 컷셋 방법(Cut set method)
- 4) 혼합 방법(Mixed method)

## 2. 일반 트랜지스터-다이오드 罫의 표시

대부분의 전자에 대한 罫은 소신호 罫이며 동작점을 찾아내어 모든 특성이 그점에서 선형적이라고 가정하여 해석한다.

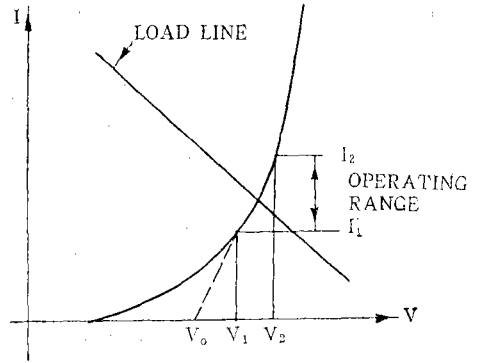


그림 2 diode 의 소신호 동작영역

그림 2 는 일반 다이오드의  $V-I$  특성 곡선을 보여주며 전류가  $I_1 \sim I_2$  범위에 있는한 DC 동작에 대한 罫은 그림 3 과 같다.

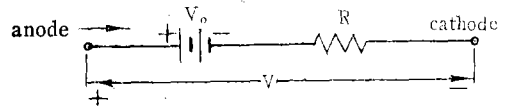


그림 3 소신호 Diode 罫.

여기서  $R$  의 값은  $Q$  점에서 접선 기울기의 역수

$$R = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} \tag{5}$$

로 주어지며  $V_0$  는  $V$  축상에 접선이 맞닿는 전압이다.

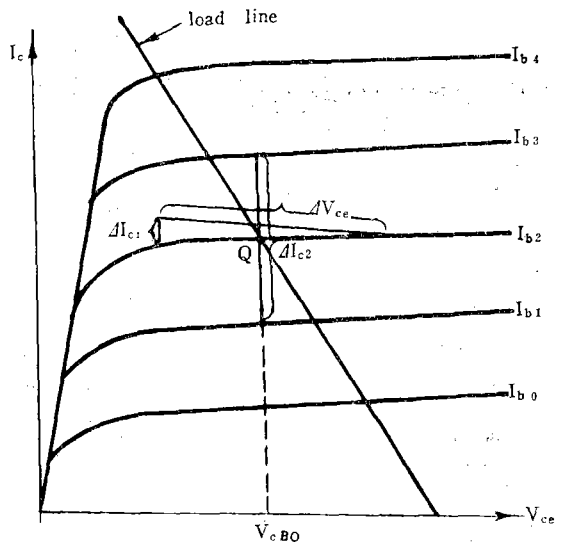


그림 4 TR collector 특성( $E$  접지)

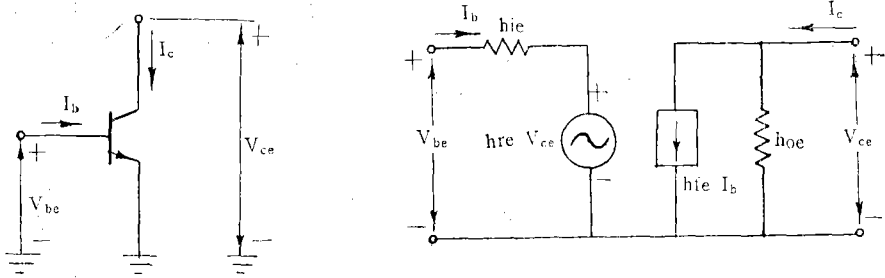


그림 5 TR과 h-라미터의 등가회로

그림 4와 그림 5에 TR 클럭터 특성과 에미터 접지 TR과 그의 등가회로를 보였다. 보통 소신호 등가회로에서는 h-파라미터가 사용되며 TR의 동작을 표시하는 식은 다음과 같다.

$$V_{be} = h_{ie} I_b + h_{re} V_{ce} \quad (6)$$

$$I_c = h_{fe} I_b + h_{oe} V_{ce} \quad (7)$$

또한 비선형 함수는 어떤 제한된 범위에서 몇 개의 선형 절편(linear segment)으로 구성되며 많은 절편을 사용하면 정확도는 증가된다.

특수한 반도체 능동소자형. 예를들면 Zener 다이오드, Tunnel 다이오드, UJT, FET, SCR 등은 그의 특성표로부터 등가회로를 그려 해석한다.

### 3. ECAP의 사용

ECAP(Electronic Circuit Analysis Program)을 사용한 어떤 전자 회로의 동작을 해석하기 위하여 모든 전자 소자(device)는 위에서 논의된 회로소자(Circuit element)로 구성된 등가회로로 대체 되어야 하며 직류, 교류, 과도현상에 대한

해석은 다음과 같다.

1) 직류해석 DC 해석 프로그램은 저항, 電壓源, 電流源, 종속 전류원으로 구성된 등가회로로 대체 되어야 하며 인덕터는 단철 회로로, 캐패시터는 개방회로로 대체한다.

2) 교류해석 AC 해석 프로그램은 고정된 주파수에서 정현파 구동에 따르는 선형회로에 대한 시간 독립해이며 저항, 캐패시터, 인덕터, 전압원, 전류원, 상호 인덕턴스, 독립 전류원을 포함한 등가회로로 대체된다.

3) 과도 현상의 해석 과도현상의 해석 프로그램은 우리가 특별히 지정한 함수에 따르는 회로의 시간응답을 갖는다.

### 4. ECAP에 의한 TR 증폭기의 해석

그림 6과 같은 에미터 접지 2단 가청주파 증폭기를 고찰하기로 한다.

이의 등가회로에節과枝의 번호를 1부터 시작하는 연속적인 수로 표시하면 그림 7과 같다.

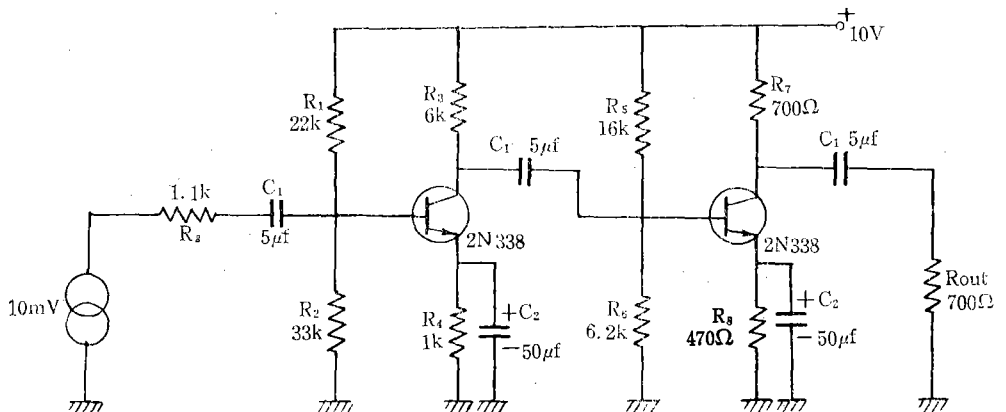


그림 6 CE 2단 가청주파 증폭기

각節電壓의 크기와 위상, 枝電流의 크기와 위상을 주파수의 변화(10Hz~650KHz)에 따라 해석하기 위한 입력과 결과는 부록에 수록 되었으

며 이는 ECAP 1620을 사용하여 IBM 1130으로 얻은 결과이며 그림 8에는 이 결과를 도표로 그린 크기와 위상을 보여준다.

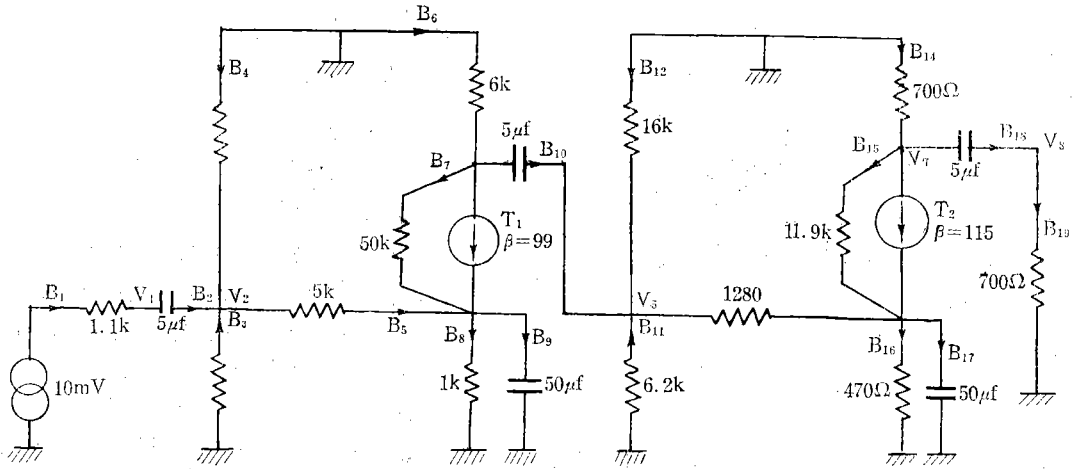


그림 7 2단 CE의 AC 등가 회로

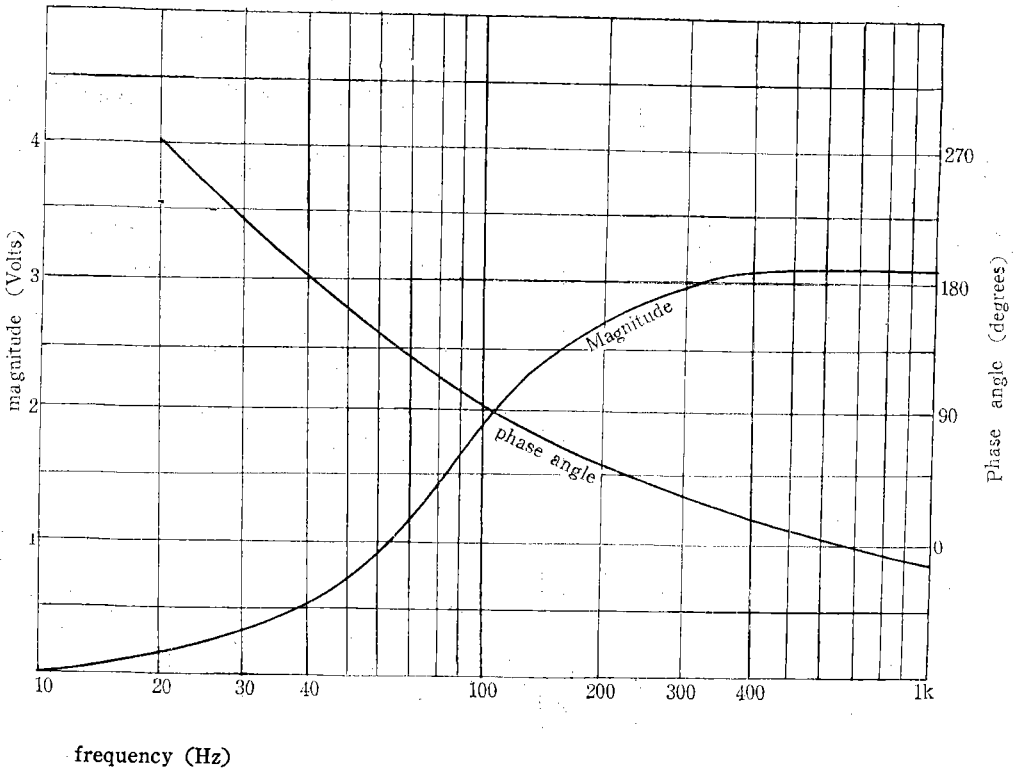


그림 8-A 2단 증폭기의 주파수 특성

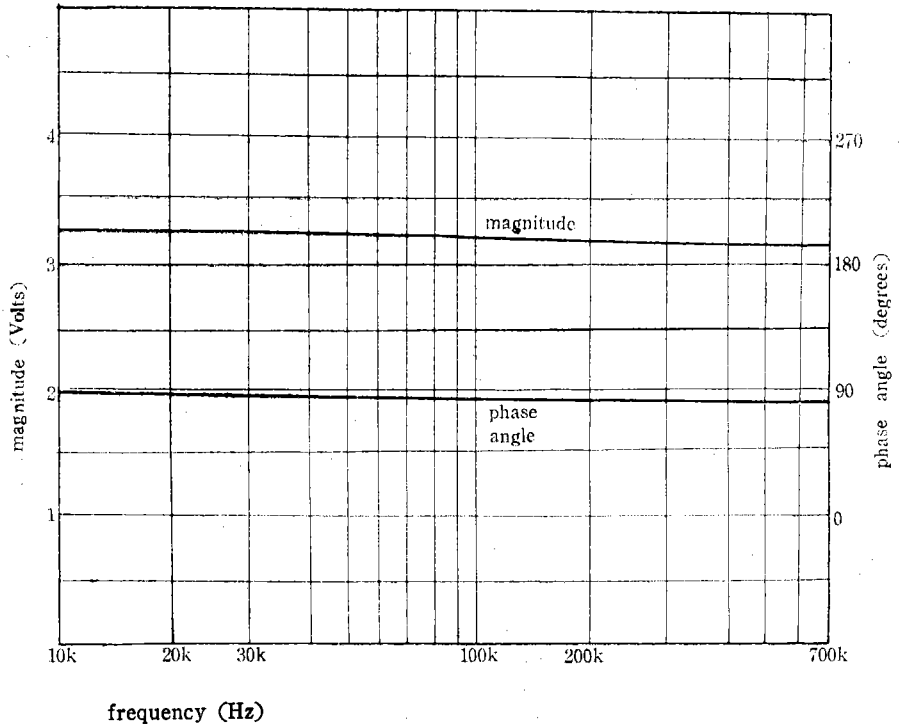


그림 8-B 2단 증폭기의 주파수 특성

5. 근사식에 의한 고찰

그림 9는 그림 6의 AC 등가 회로를 표시하며 표 1의 특성표로부터 h-파라미터의 값을 구하면 다음과 같다.

제 1 단에서의 h-파라미터 값은

$$h_{ie} = \frac{h_{ib}}{1+h_{fb}} = 5000 \text{ ohms}$$

$$h_{re} = \frac{h_{ib} h_{ob}}{1+h_{fb}} - h_{rb} = 700 \times 10^{-6}$$

$$h_{fe} = \frac{-h_{fb}}{1+h_{fb}} = 99$$

$$h_{oe} = \frac{h_{ob}}{1+h_{fb}} = 20 \mu \text{ mhos}$$

같은 방법으로 제 2 단에서의 h-파라미터의 값은

$$h_{ie} = 1280 \text{ ohms}$$

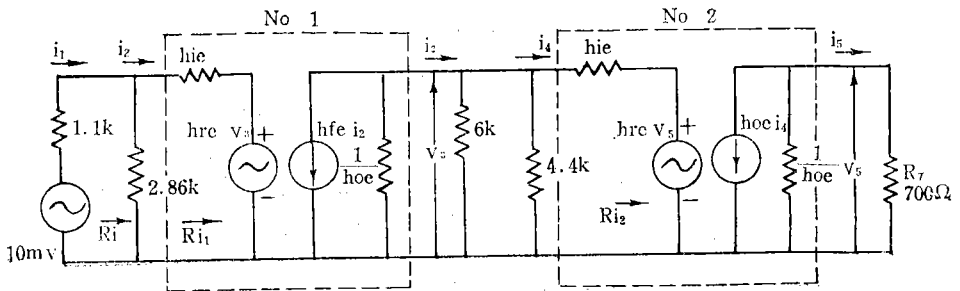


그림 9 AC 등가 회로

표 1 2N 338 TR의 h-파라미터 값

파라미터	특성표에서 얻은 파라미터 값	제2단에서의 補正係數	제1단에서의 補正係數
hib	50ohms	0.22	1
hrb	$300 \times 10^{-6}$	2.0	1
hfb	-0.99	1.0015	1
hob	$0.2 \times 10^{-5}$ mho	3.6	1

$h_{re} = 320 \times 10^{-6}$

$h_{fe} = 115$

$h_{oe} = 84 \mu$  mhos

이 된다.

그러므로 그림 9에서의 제2단에서 전류이득은

$$A_{i2} = \frac{I_5}{I_4} = \frac{h_{fe}}{h_{oe} R_7 + 1} = 108$$

$$R_{i2} = \frac{h_{ie} + (h_{oe} h_{ie} - h_{fe} h_{re}) R_7}{1 + h_{oe} R_7} = 1220[\Omega]$$

interstage에서 전류 이득은

$1.22 I_4 = 2.5(I_3 - I_4)$

$3.72 I_4 = 2.5 I_3$

$\frac{I_4}{I_3} = 0.67$  이며

제 1 단에서의 전류 이득은

$$A_{i1} = \frac{I_3}{I_2} = \frac{h_{fe}}{h_{oe} R_{e2} + 1} = \frac{98}{1.016} = 98$$

입력 저항은

$$R_{i1} = \frac{h_{ie} + (h_{oe} h_{ie} - h_{fe} h_{re}) R_{e2}}{1 + h_{oe} R_{e2}} = 4.94 K\Omega$$

이 된다.

前 1 단에서의 전류 이득과 입력 저항은 다음과 같다.

$$A_{i0} = \frac{I_2}{I_1} = 0.366$$

$$R_i = \frac{2.86 \times 4.94}{2.86 + 4.94} = 1.8 K\Omega$$

그러므로 2 단 증폭기의 전류 이득은

$$A_i = \frac{I_5}{I_1} = 0.366 \times 98 \times 0.67 \times 108 = 2560$$

이며 전압 이득은

$$A_v = \frac{R_7 \text{에 걸리는 전압}}{R_i \text{에 걸리는 전압}} = A_i \frac{R_7}{R_i} = 998$$

이 된다.

### 6. 실험에 의한 고찰

본 실험에 이용된 기제는 그림 10 과 같이 배열하여 주파수 변화에 대한 출력 특성을 측정하여 컴퓨터에 의한 해석과 비교하여 표 2에 보였다. 또한 1000Hz에서의 입력과 출력의 전류와 전압은 다음과 같은 결과를 얻었다.

입력전압 = 10mV, 출력전압 = 3.14V

입력전류 = 3.5μA, 출력전류 = 4.5mA

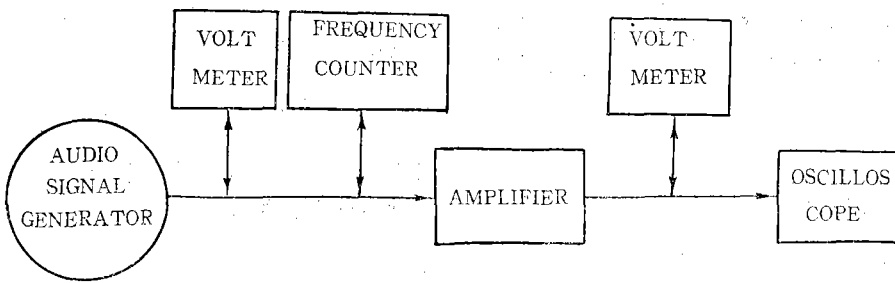


그림 10 실험 도표

### 7. 결과 및 검토

표 2

	컴퓨터에 의 한값	근사식의 의 한값	실험에 의 한값
전류이득	1316	2560	1286
전압이득	3140	998	3400

그림 11의 A,B에서 저주파에서는 실험치와 정성적인 일치함을 보였으나 고주파에서는 다른 결과가 되었다. 이것은 컴퓨터에 의한 고주파의 해석에 TR의 확산용량과 전이용량을 정확히 측정하여 프로그램에 포함시켜야 하는 문제가 생겼으며 표 2에서의와 같이 일반적인 특성표에 의존한 계산식과 실험에 의한 결과도 많은 오차를 보

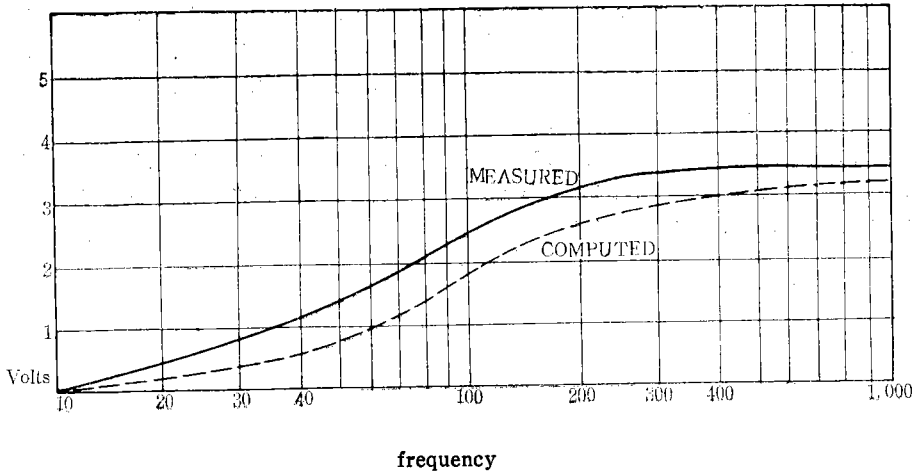


그림 11-A 주파수 특성

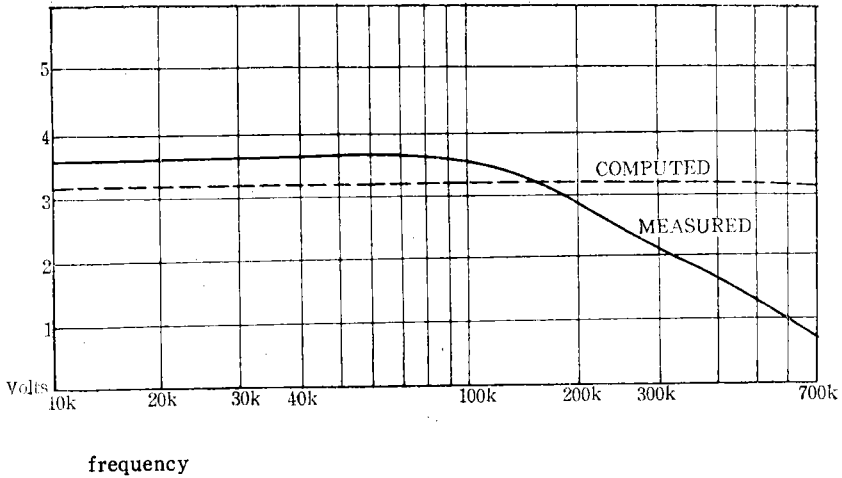


그림 11-B 주파수 특성

였다. 이것은 TR 제조 공정에서 기인한 파라미터의 오차와 주파수에 따른 파라미터 값에 의한 오차라고 생각한다. 파라미터의 정확한 자료로 해석을 하면 만족한 결과가 얻어 질 것으로 생각한다.

### 8. 결 론

컴퓨터에 이용되는 대부분의 회로해석 문제는 토폴로지적인 행렬식이 음의 법칙과 키르히호프의 법칙에 의하여 사용되며 網, 節, 컷셋 방법을 혼합한 혼합 방법이 직류, 교류, 과도현상 해석에 이용된다.

실제적으로 컴퓨터에 의한 해석은 손으로 계산하기에 적당치 않은 선형, 비선형 계통 방정식을 신속, 정확히 풀 수 있음을 보여 주었으며 물리적 효과인 반도체 소자의 내부 오차도 제시 함으로서 효과적으로 이용할 수 있게 되었다. 본 논문에서 채택한 ECAP 방식은 복잡화되는 회로와 특히 직접회로에 공헌할 것으로 전망된다.

### 참 고 문 헌

1. Franklin F. Kuo, Waldo G. Magnuson, Jr. "Computer Oriented Circuit Design." Prentice-

- Hall, Inc., 1969.
2. Joseph A. Walston and John R. Miller. "Transistor circuit design." McGraw-Hill, 1963.
  3. F. F. Kuo and J. K. Kaiser. "System analysis by digital computers." John-Wiley, 1966.
  4. "1620 electronic circuit analysis program." IBM Corporation. Data processing Div. White Plains, N.Y. Application program 1620-EE-02X
  5. Franklin H. Branin, Jr. "Computer methods of network analysis." Proc, IEEE, Vol. 55. November 1967. pp 1787—1900.
  6. M.E. Daniel. "Development of mathematical models of Semiconductors devices for computer-aided circuit analysis." Proc, IEEE, Vol. 55. November 1967. pp. 1913—1920.



<부 록>

PAGE 1

// JOB

LOG DRIVE 0000 CART SPEC 1002 CART AVAIL 1002 PHY DRIVE 0000  
V2 MO9 ACTUAL 8K CONFIG 8K

// XEQ ECA

\*LOCALECA01, ECA02, ECA03, ECA04, ECA05, ECA06, ECA07, ECA08

\*LOCALECA40, ECA41, ECA42, ECA43, ECA44, ECB45, ECA46, ECA47,

\*LOCALECA48, ECA49, ECA50, ECA51, ECA52, ECA53, ECA54

C TWO STAGE CASCADED COMMON EMITTER AUDIO AMPLIFIER

C PROGRAMMED BY KIM YONG DEAK

AC ANALYSIS

B1 N(0,1), R=1.1E-3, E=10E-3

B2 N(1,2), C=5E-6

B3 N(0,2), R=3.3E3

B4 N(0,2), R=22E3

B5 N(2,3), R=5E3

B6 N(0,4), R=6E3

B7 N(4,3), R=50E3

B8 N(3,0), R=1E3

B9 N(3,0), C=50E-6

B10 N(4,5), C=5E-6

B11 N(0,5), R=6.2E3

B12 N(0,5), R=16E3

B13 N(5,6), R=1280

B14 N(0,7), R=700

B15 N(7,6), R=11.9E3

B16 N(6,0), R=470

B17 N(6,0), C=50E-6

B18 N(7,8), C=5E-6

B19 N(8,0), R=700

T1 B(5,7), BETA=99

T2 B(13,15), BETA=115

FREQUENCY=1000

PRINT, VOLTAGES, CURRENTS

MODIFY

FREQUENCY=10 (2) 6.5536E5

EXECUTE

END

FREQ=0.1000000E 04

NODES		NODE VOLTAGES			
MAG	1-4	0.62425630E-02	0.62391413E-02	0.38953230E-03	0.10775651E 00
PHA		-0.86528146E 00	0.13296282E 00	-0.85899704E 02	0.17217132E 03
MAG	5-8	0.10701940E 00	0.28825543E-01	0.38953230E-03	0.10775651E 01
PHA		0.17388653E 03	0.99951385E 03	0.82627544E 01	0.10866367E 02

BRANCHES		ELEMENT CURRENTS			
MAG	1-4	0.34175732E-05	0.34175686E-05	0.18906482E-05	0.28359733E-06
PHA		0.14369404E 01	0.14358971E 01	-0.17986685E 03	-0.17986685E 03
MAG	5-8	0.12448663E-05	0.17959417E-04	0.12113094E-03	0.38953226E-06
PHA		0.37123904E 01	-0.78285036E 01	0.39200229E 01	-0.85899704E 02
MAG	9-12	0.12237514E-03	0.10361212E-03	0.17261190E-04	0.66887123E-05
PHA		0.41002912E 01	-0.17405767E 03	-0.61132869E 01	-0.61132850E 01
MAG	13-16	0.80346261E-04	0.44913087E-02	0.89756734E-02	0.61330938E-04
PHA		-0.17048806E 03	-0.17173706E 03	-0.17043585E 03	0.99951385E 02
MAG	17-19	0.90558100E-02	0.44866753E-02	0.44866725E-02	
PHA		-0.17004827E 03	0.10866075E 02	0.10866369E 02	

FREQ=0.1000000E 02

NODES		NODE VOLTAGES			
MAG	1-4	0.85136052E-02	0.53496370E-02	0.49691263E-02	0.49763729E-01
PHA		-0.96369591E 01	0.37055755E 02	0.28200122E 02	-0.10149429E 03
MAG	5-8	0.37252605E-01	0.36284707E-01	0.89494601E-01	0.19221581E-01
PHA		-0.65849853E 02	-0.67874450E 02	0.15669314E 03	-0.12570909E 03

FREQ=0.2000000E 02

NODES		NOE VOLTAGES			
MAG	1-4	0.77790292E-02	0.62760356E-02	0.56602768E-02	0.95942527E-01
PHA		-0.90826034E 01	0.19806217E 02	0.25337543E 01	-0.11480305E 03
MAG	5-8	0.83129376E-01	0.80785840E-01	0.30492311E 00	0.12276285E 00
PHA		-0.98431405E 02	-0.98852203E 02	0.13485760E 03	-0.15888305E 03

FREQ=0.4000000E 02

NODES		NODE VOLTAGES			
MAG	1-4	0.72546098E-02	0.64994664E-02	0.51995553E-02	0.16071352E 00

PHA		-0.82839813E 01	0.88115101E 01	-0.22868961E 02	-0.13721279E 03
MAG	5-8	0.14579445E 00	0.14059862E 00	0.81816673E 00	0.54038107E 00
PHA		-0.12644204E 03	-0.13439083E 03	0.10695904E 03	0.15562271E 03

FREQ=0.80000000E 02

NODES		NODE VOLTAGES			
MAG	1-4	0.67550828E-02	0.64135193E-02	0.37946356E-02	0.20074152E 00
PHA		-0.70640545E 01	0.32316637E 01	-0.47205871E 02	-0.16601318E 03
MAG	5-8	0.18506655E 00	0.17356103E 00	0.16801922E 01	0.14607110E 01
PHA		-0.15971267E 03	-0.17526184E 03	0.76155502E 02	0.10576969E 03

FREQ=0.16000000E 03

NODES		NODE VOLTAGES			
MAG	1-4	0.64206514E-02	0.63049169E-02	0.22505093E-02	0.17681887E 00
PHA		0.47075958E 01	0.11298584E 01	-0.65893264E 02	0.17126266E 03
MAG	5-8	0.16562563E 00	0.14091068E 00	0.25311842E 01	0.24347624E 01
PHA		0.17579534E 03	0.14672821E 03	0.46529670E 02	0.62395103E 02

FREQ=0.32000000E 03

NODS		NODE VOLTAGES			
MAG	1-4	0.62890006E-02	0.62567955E-02	0.11931238E 02	0.13496354E 00
PHA		-0.26090574E 01	0.45686578E 00	-0.77391327E 02	0.16473568E 03
MAG	5-8	0.12980812E 00	0.84513664E-01	0.29700846E 01	0.29405441E 01
PHA		0.16838238E 03	0.12036392E 03	0.25129417E 02	0.33217147E 02

FREQ=0.64000000E 03

NODES		NODE VOLTAGES			
MAG	1-4	0.62504755E-02	0.62421746E-02	0.60657749E-03	0.11323769E 00
PHA		-0.13436384E 01	0.21152100E 00	-0.83610763E 02	0.16879843E 03
MAG	5-8	0.11155438E 00	0.44553399E-01	0.31135230E 01	0.31056943E 01
PHA		0.17126120E 03	0.10548641E 03	0.12851470E 02	0.16915580E 02

FREQ=0.12800000E 04

NODES		NODE VOLTAGES			
MAG	1-4	0.62404023E-02	0.62383124E-02	0.30460441E-03	0.10618172E 00
PHA		-0.67742252E 00	0.10308432E 00	-0.86794510E 02	0.17372952E 03
MAG	5-8	0.10572308E 00	0.22586781E-01	0.31522688E 01	0.31502823E 01

PHA 0.17510351E 03 0.97782715E 02 0.64630060E 01 0.84976177E 01

FREQ=0.25600000E 04

NODES

NODE VOLTAGES

MAG	1-4	0.62378542E-02	0.62373308E-02	0.15246879E-03	0.10427579E 00
PHA		-0.33994293E 00	0.50681747E-01	-0.88396393E 02	0.17676901E 03
MAG	5-8	0.10415846E 00	0.11332931E-01	0.31621527E 01	0.31616544E 01
PHA		0.17747747E 03	0.93895675E 02	0.32353963E 01	0.42530241E 01

FREQ=0.51200000E 04

NODES

NODE VOLTAGES

MAG	1-4	0.62372153E-02	0.62370849E-02	0.76255281E-04	0.10378952E 00
PHA		-0.17149850E 00	0.23860398E-01	-0.89199447E 02	0.17836999E
MAG	5-8	0.10376003E 00	0.56714350E-02	0.31646361E 01	0.31645121E 01
PHA		0.17872702E 03	0.91946258E 02	0.16154589E 01	0.21243124E 01

FREQ=0.10240000E 05

NODES

NODE VOLTAGES

MAG	1-4	0.62370589E-02	0.62370263E-02	0.38130267E-04	0.10366742E 00
PHA		-0.86928561E-01	0.10756619E-01	-0.89600860E 02	0.17918145E 03
MAG	5-8	0.10366004E 00	0.28363429E-02	0.31652617E 01	0.31652312E 01
PHA		0.17936032E 03	0.90971237E 02	0.80623388E 00	0.10606658E 01

FREQ=0.20480000E 05

NODES

NODE VOLTAGES

MAG	1-4	0.62370160E-02	0.62370086E-02	0.19065453E-04	0.10363671E 00
PHA		-0.48151299E-01	0.69205695E-03	-0.89805008E 02	0.17958001E 03
MAG	5-8	0.10363487E 00	0.14162475E-02	0.31654110E 01	0.31654038E 01
PHA		0.17966952E 03	0.90475174E 02	0.39097052E 00	0.51818728E 00

FREQ=0.40960000E 05

NODES

NODE VOLTAGES

MAG	1-4	0.62370039E-02	0.62370021E-02	0.95327668E-05	0.10362896E 00
PHA		-0.42819738E-01	-0.18397964E-01	-0.89920944E 02	0.17975396E 03
MAG	5-8	0.10362851E 00	0.70913287E-03	0.31654472E 01	0.31654458E 01
PHA		0.17979870E 03	0.90201645E 02	0.15722614E 00	0.22083464E 00

FREQ=0.16384000E 06

NODES		NODE VOLTAGES			
MAG	1-4	0.62369983E-02	0.62369983E-02	0.23831935E-05	0.10362635E 00
PHA		-0.73965817E-01	-0.67860365E-01	-0.90041885E 02	0.17978909E 03
MAG	5-8	0.10362634E 00	0.17728359E-03	0.31654534E 01	0.31654534E 01
PHA		0.17980032E 03	0.89901977E 02	-0.13663157E 00	-0.12072943E 00

FREQ=0.32768000E 06

NODES		NODE VOLTAGES			
MAG	1-4	0.62369825E-02	0.62369825E-02	0.11915942E-05	0.10362558E 00
PHA		-0.14944630E 00	0.14639362E 00	-0.90130996E 02	0.17964444E 03
MAG	5-8	0.10362558E 00	0.88641245E-04	0.31654315E 01	0.31654315E 01
PHA		0.17965005E 03	0.89702591E 02	-0.37406712E 00	-0.36611610E 00

FREQ=0.65536000E 06

NODES		NODE VOLTAGES			
MAG	1-4	0.62369192E-02	0.62369192E-02	0.59579110E-06	0.10362286E 00
PHA		-0.29964816E 00	-0.29812198E 00	-0.90285690E 02	0.17932211E 03
MAG	5-8	0.10362286E 00	0.44319487E-04	0.31653409E 01	0.31653409E 01
PHA		0.17932489E 03	0.89354507E 02	-0.79853105E 00	-0.79455554E 00