

ECAP에 의한 Gyrator 특성解析과 改善

Analysis and Improvement of Gyrator Characteristics by ECAP

李 太 遠*

(Rhee, Tae Weon)

要 約

能動 filter 에 쓰이는 Gyrator 를 構成하여 그 特性을 ECAP(Electronic Circuit Analysis Program)로써 解析하였고 그 結果로 나타난 問題點을 解決하고 特性을 改善하기 위한 措置로서 Collector 側의 抵抗을 높이기 위하여 定電流電源回路를 利用하여 電源電壓을 줄이고 ECAP 로써 解析하여 그 措置가 正當함을 確認하였다.

Abstract

ECAP(Electronic Circuit Analysis Program) is used for analysis of a gyrator network obtained by conventional approach. Thus obtained characteristics of the original network showed the necessity of some improvement. Modification of the network was made through DC Analysis of ECAP for improved behavior of gyrator, by the replacement of resistors in collector circuits with constant current source circuits, thus decreasing the required voltage of collector bias source voltage, and in turn, increasing collector resistances. The modified network was again analyzed through ECAP AC Analysis. The result justified the modification of networks and the utilization of a computer program for network analysis instead of a "breadboard" experiment.

序 論

1838년에 Scott 가 그의 論文¹⁾에서 高利得增幅回路의 feedback loop 에 RC twin-T 回路를 利用함으로써 增幅回路의 周波數選擇性이 높아짐을 보여준 以後에 1948년에 Tellegen 이 受動非相反性を 나타내는 回路網素子로서 Gyrator 의 概念을 發表하였다.²⁾ 眞空管이나 Transistor 와 같은 能動素子는 그 自體가 非相反性素子임으로 impedance 反轉作用을 나타내도록 回路網을 構成하면 Gyrator 를 만들 수 있다. 誘導素子が 없는 RC 能動 filter 의 能動素子로서 負性 impedance 變換

周圍條件에 對한 安定度 등의 면에서 從來의 LC filter 의 領域에까지 到達하기 어려웠으나 半導體 能動素子の 發明에 뒤이은 集積回路의 開發로 因하여 從前같은 能動素子の 數가 增加할때 生기는 價格과 所要電力의 問題가 解消되어 LC filter 의 長點을 그대로 살려서 LC filter 의 L 을 Gyrator 와 C 로 바뀌놓은 能動 filter 가 急激하게 注目의 對象이 되어 Gyrator 의 實現方法 filter 에의 應用 등에 關하여 研究가 進行되어 왔다.

本論文에서는 Gyrator 의 實現方法을 說明하고 그 特性을 小形電子計算機에서 使用할 수 있도록 筆者가 modify 한 ECAP AC analysis 로써 解析하고 그 特性改善을 爲한 措置를 ECAP DC Analysis 로써 取한 다음 改善된 回路를 다시 AC Analysis 로써 解析하여 特性의 改善을 確認함으

* 正會員, 中央大學校 工科大學 電子工學科.
Electronics Dept., College of Engineering,
Jung-ang Univ.

器와 演算增幅器가 쓰이게 되었는데 이러한 filter 를 量産機器에서 使用할때에는 素子值의 餘裕度, 로써 그 措置의 正當함을 證明하였다.

Gyrator의 構成

Gyrator의 Y-matrix는 다음 式과 같다.

$$\begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \pm G_1 \\ \mp G_2 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

이 式의 Y-matrix는 다음과 같이 分解될 수 있다.

$$\begin{pmatrix} 0 & G_1 \\ -G_2 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & G_1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -G_2 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

이 式의 右邊의 第1項은 逆相의 傳達 Conductance, 第2項은 正相의 傳達 Conductance를 뜻함으로 이

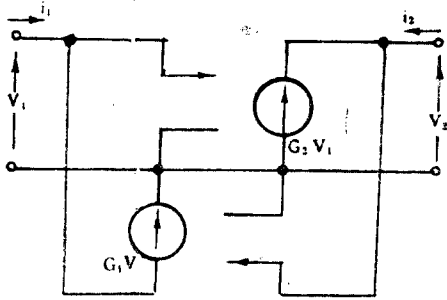


그림 1. Gyrator 等價回路
Fig. 1. Equivalent circuit of gyrator

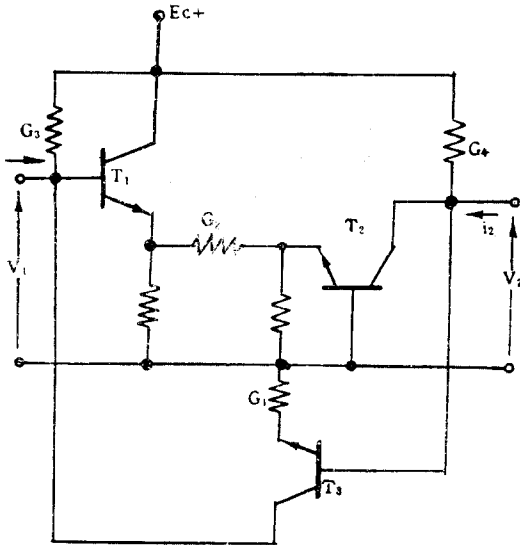


그림 2. Gyrator 基本回路
Fig. 2. Basic circuit of gyrator

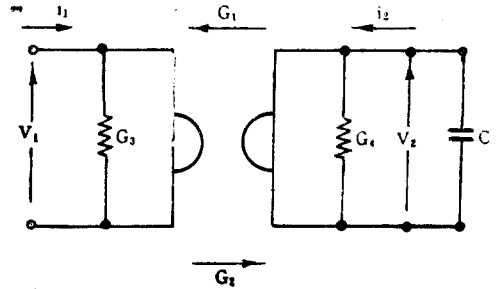


그림 3. C를 連結한 nonideal gyrator의 等價回路
Fig. 3. Equivalent circuit of nonideal gyrator with C

式을 等價回路로 나타내면 그림 1과 같으며 그 基本回路는 그림 2와 같다.

이 基本回路에서 transistor의 h_{fe} 가 充分히 크다면 Y-matrix는 近似的으로 다음과 같이 表示되며 나머지 素子들의 支配를 받지 않는다.

$$\begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_3 & G_1 \\ -G_2 & G_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

이 回路의 出力端에 C를 連結할때의 nonideal gyrator로서의 等價回路는 그림 3과 같이 되는데 入力端에서 본 入力 admittance y 는

$$\begin{aligned} \dot{Y}(p) &= G_3 + \frac{G_1 G_2}{pC(1 + \frac{G_4}{pC})} \\ &= \frac{\Delta y}{G_4} \left\{ \frac{\frac{G_3 pC}{\Delta y} + 1}{\frac{pC}{G_4} + 1} \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

但 $\Delta y = G_1 G_2 + G_3 G_4$

$$\dot{Z}(p) = \frac{G_4}{\Delta y} \left\{ \frac{1 + \frac{p}{w_2}}{1 + \frac{p}{w_1}} \right\} \quad (5)$$

여기서 $w_1 = \Delta y / G_3 C$

$w_2 = G_4 / C$

$p = j\omega$ 를 代入하고

$$\dot{Z}(j\omega) = R_{eq}(j\omega) + j\omega L_{eq}(j\omega) \quad (6)$$

라고 놓으면

$$R_{eq} = \frac{G_4}{\Delta y} \left\{ \frac{1 + \frac{\omega^2}{w_1 w_2}}{1 + \frac{\omega^2}{w_1^2}} \right\} \quad (7)$$

$$L_{eq} = \frac{G_4}{\Delta y} \left\{ \frac{1}{w_2} - \frac{1}{w_1^2} \right\} \quad (8)$$

따라서

$$Q(w) = \frac{wL_{eq}}{R_{eq}} = w \left[\frac{w_2}{1 + \frac{w_1}{w_2}} \right] \quad (9)$$

$G_1, G_2 \gg G_3, G_4$ 일때 이회로의 最大 Q 는

$$Q_{max} = \frac{w_1 - w_2}{2\sqrt{w_1 w_2}} = \frac{G_1 G_2}{2\sqrt{G_3 G_4} \Delta y} \approx \frac{1}{2} \sqrt{\frac{G_1 G_2}{G_3 G_4}} \quad (10)$$

그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 Gyrator 는 negative feedback amplifier 인데 式 (10)에서 $G_1 G_2 / G_3 G_4$ 는 兩端開放 loop 利得이며 Q_{max} 는 loop 利得의 平方根에 比例하고 理想的인 Gyrator 는 兩端을 開放하면 利得이 無限大인 negative

feedback amplifier 가 된다. Q_{max} 는 傳達 conductance 를 만드는 transistor 의 collector bias 抵抗에 依해서 制限을 받으므로 이 抵抗의 값은 可能的 限度에서 크게 잡아야한다.

Gyrator의 實現 및 ECAP 解析

그림 2의 基本回路에 立脚하여 Gyrator 를 實現한 例가 그림 4의 回路이다. 이것은 B. A. Shenoi³⁾가 考案한 回路의 正相部分과 逆相部分을 서로 바꾼 回路를 試驗的으로 利用하였다.

그림에서 T_1 과 T_2 는 正相의 傳達 conductance 를 擔當하는 transistor 로서 Emitter-follower 와 Common base 接續이 되어있다. 그림의 回路에서 T_2 와 T_3 의 collector 回路의 抵抗을 크게 하면

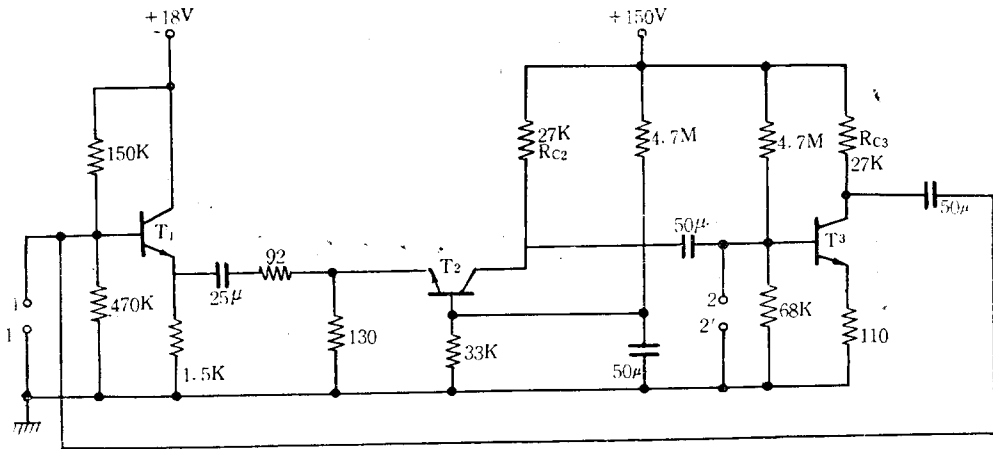


그림 4. Gyrator 回路
Fig. 4. Gyrator circuit

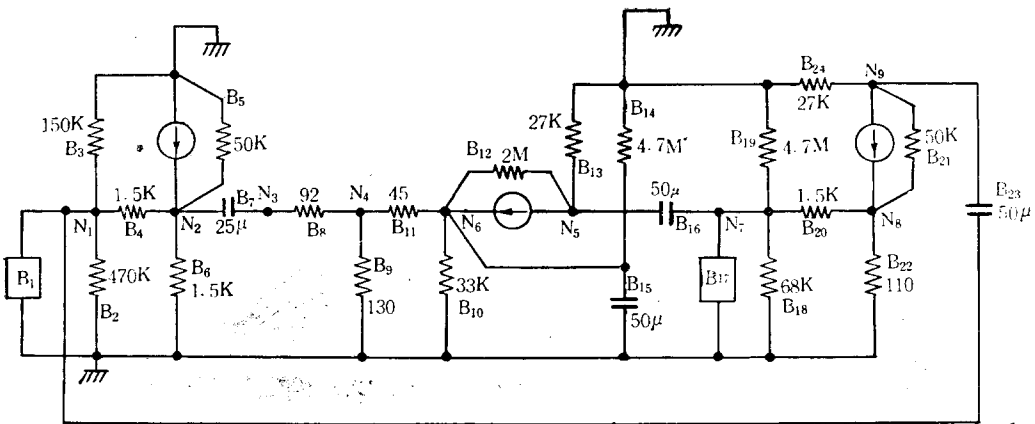


그림 5. ECAP 를 위한 等價回路
Fig. 5. Equivalent circuit of Gyrator for ECAP AC Analysis

Branch JOB	B ₁	B ₁₇
# 1	R=0.01, E=1/0	C=15E-8
# 2	R=0.01, E=1/0	R=0.01
# 3	R=0.01, E=1/0	R=3E7
# 4	C=15E-8	R=0.01, E=1/0
# 5	R=0.01	R=0.01, E=1/0
# 6	R=3E7	R=0.01, E=1/0

```

// JOB
LOG DRIVE  CART SPEC  CART AVAIL  PHY DRIVE
0000      1001      1001      0000

V2 MOP  ACTUAL  BK  CONFIG  BK
*LOCAL ECA01,ECA02,ECA03,ECA04,ECA05,ECA06,ECA07,ECA08
*LOCAL ECA09,ECA11,ECA12,ECA13,ECA14,ECA15,ECA16,ECA17,
*LOCAL ECA18,ECA19,ECA20,ECA21,ECA22,ECA23,ECA24
AC ANALYSIS
R1  N(10,1),R=0.001,E=1/0
R2  N(11,0),R=47E4
R3  N(10,1),R=15E4
R4  N(11,2),R=1500
R5  N(10,2),R=5E4
R6  N(2,0),R=1.5E3
R7  N(2,3),C=25E-6
R8  N(3,4),R=92
R9  N(4,0),R=130
R10 N(6,0),R=33E3
R11 N(4,6),R=45
R12 N(5,6),R=2E6
R13 N(10,3),R=27E3
R14 N(10,6),R=47E3
R15 N(6,0),C=5E-8
R16 N(5,7),C=5E-4
R17 N(7,0),C=15E-8
R18 N(7,0),R=6E3
R19 N(10,7),R=47E3
R20 N(7,8),R=1500
R21 N(9,8),R=5E4
R22 N(8,0),R=110
R23 N(9,1),C=5E-5
R24 N(10,9),R=27E3
T1  B(4,5),BETA=200
T2  B(11,2),BETA=0.995
T3  B(20,21),BETA=200
FREQUENCY=4E3
PRINT,RA,RV
MODIFY
FREQUENCY=6E2 f1=5.32E3
EXECUTE
END
    
```

그림 6. ECAP 入力 List
Fig. 6. ECAP Input List for AC Analysis

Q가 높아지지만 collector 電流가 減少하여 許容信號振幅이 줄어드는것을 막기 위해서 T₂, T₃의 collector 供給電壓을 150V 라는 transistor 回路로서는 높은 값을 잡아놓았다. 이 Gyrator 回路의 特性을 解析하기 위한 ECAP의 AC analysis에 適用할 수 있도록 만든 等價回路가 그림 5이다. 그림 4의 1-1'과 2-2'가 等價回路에서 各 B₁과 B₁₇의 두個의 branch로 나타나 있다.

全體 branch의 個數는 24이며 이 回路網의 特

性을 解析하기 위하여 入力 및 出力, 即 B₁과 B₁₇의 定數를 바꿔가면서 6個의 JOB를 遂行하였는데 이中에서 代表的으로 JOB#1의 Input List를 그림 6에 보였다.

2-2'의 端子에 0.15μF의 C를 連結하였을때의 1-1'에서 본 Admittance를 JOB#1에서 求하였다. 이때의 周波數는 0.6KHz에서 32KHz의 範圍에서 公比가 1.5인 等比級數가 되게 取하였는데 代表的으로 9.4KHz때의 各 branch 電壓과 電流值가 그림 7의 Output List에 나와있다. 出力端(2-2')에 C(0.15μF)를 連結하였을때 入力端에서 본 admittance는

$$y_L = 0.654033292 \times 10^{-2} \angle -88.441681^\circ \text{ (mho)} \quad (11)$$

實現된 Gyrator 回路의 方程式이

$$\begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} \\ -G_{21} & G_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \quad (12)$$

라면 JOB#2에서

$$G_{22} = \left. \frac{i_2}{v_2} \right|_{v_1=0} = \frac{0.91276759 \times 10^{-4}}{0.99995136} \approx 0.913 \times 10^{-4} \text{ (mho)} \quad (13)$$

$$G_{12} = \left. \frac{i_1}{v_2} \right|_{v_1=0} = \frac{0.8990591 \times 10^{-2}}{0.99995136} \approx 0.899 \times 10^{-2} \text{ (mho)} \quad (14)$$

JOB#5에 依해서

$$G_{11} = \left. \frac{i_1}{v_1} \right|_{v_2=0} = \frac{0.91605194 \times 10^{-4}}{0.99995422} \approx 0.916 \times 10^{-4} \text{ (mho)} \quad (15)$$

$$G_{21} = \left. \frac{i_2}{v_1} \right|_{v_2=0} = -\frac{0.89705503 \times 10^{-2}}{0.99995422} \approx -0.897 \times 10^{-2} \text{ (mho)} \quad (16)$$

出力端子를 開放했을때의 入力 admittance는 JOB#3에 依해서

$$G_1 = \left. \frac{i_1}{v_1} \right|_{i_2=0} = \frac{0.56485641}{0.71757209} \approx 0.787 \text{ (mho)} \quad (17)$$

入力端子를 開放하고 出力端子에서 본 admittance는 JOB#6에 依해서

$$G_0 = \left. \frac{i_2}{v_2} \right|_{i_1=0} = \frac{0.54832309}{0.69989257} \approx 0.783 \quad (18)$$

이 Gyrator 回路가 나타낼 수 있는 最大 Q는 式(10)을 利用하면

BRANCHES		BRANCH CURRENTS			
MAG	1-4	0.05403523E-02	0.01271097E-05	0.00051985E-05	0.17470152E-04
PHA		-0.03941681E 02	0.10781144E 00	0.17981250E 03	0.49161255E 00
MAG	5-8	0.007021074E-02	0.00000000E-00	0.00000014E-02	0.00052000E-01
PHA		0.49140100E 00	0.13605945E 00	0.51113408E 00	0.81543533E 00
MAG	9-12	0.10024900E-02	0.13233010E-03	0.01300530E-02	0.01704003E-02
PHA		0.51400775E 00	-0.01172744E 02	0.51568102E 00	-0.17980074E 02
MAG	13-16	0.27021779E-04	0.03124074E-11	0.12275274E-04	0.01700024E-02
PHA		0.00001504E 02	0.00027072E 02	-0.11720102E 01	0.70000158E 00
MAG	17-20	0.01705208E-02	0.10007820E-04	0.15007700E-00	0.11005010E-04
PHA		0.00023733E 00	-0.00007614E 02	0.00002202E 02	-0.00004521E 02
MAG	21-24	0.055008330E-02	0.05537430E-02	0.05413000E-02	0.07110007E-04
PHA		-0.09000851E 02	-0.09000820E 02	0.0130032E 02	-0.17000087E 03
BRANCHES		BRANCH VOLTAGES			
MAG	1-4	0.99991643E 00	0.99991643E 00	0.99991643E 00	0.87390789E-02
PHA		-0.17981250E 03	0.18751540E 00	-0.17981250E 03	0.49161255E 00
MAG	5-8	0.99117756E 00	0.99117756E 00	0.57193525E-02	0.74300077E 10
PHA		-0.17981510E 03	0.18463045E 00	-0.00400001E 02	0.51543533E 00
MAG	9-12	0.24731463E 00	0.43768605E-05	0.24731475E 00	0.72001762E 01
PHA		0.51400763E 00	-0.01172744E 02	0.51568102E 00	-0.00000270E 02
MAG	13-16	0.72964203E 00	0.43768605E-05	0.43768605E-05	0.21322038E-02
PHA		0.00001531E 02	0.08827072E 02	-0.01172744E 02	-0.00000041E 02
MAG	17-20	0.72745990E 00	0.72745990E 00	0.72745990E 00	0.05479111E-02
PHA		-0.00007614E 02	-0.00007614E 02	0.00002202E 02	-0.00004520E 02
MAG	21-24	0.12263445E 01	0.72091108E 00	0.23135221E-02	0.10022200E 01
PHA		0.00190742E 02	-0.00000020E 02	0.13301951E 01	-0.17980087E 03

그림 7. ECAP出力 List
Fig. 7. ECAP Output List for JOB #1

회로의改善

$$Q_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0.899 \times 10^{-2} \times 0.897 \times 10^{-2}}{0.916 \times 10^{-4} \times 0.913 \times 10^{-4}}}$$

$$\approx 49.1 \quad (19)$$

그런데 ECAP Analysis에 의한 Q는 식(11)에서 35.9이며 等價的인 Inductance는

$$L_{eq} = 2.7(\text{mH}) \quad (20)$$

前節에서取扱한回路는다음의問題點을지나고있다. 即

- i) Collector 供給電壓이 150V로서 지나치게 높다.
- ii) Gyrator의 Y-matrix의 對稱成分인 G_{11} 과

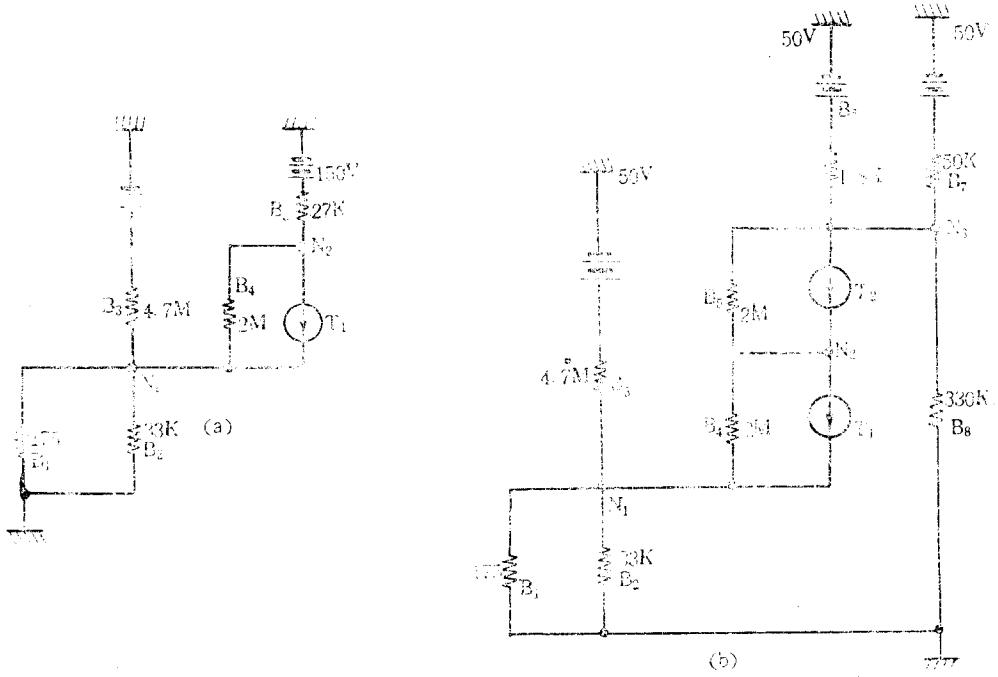


그림 8. ECAP의 DC Analysis 用 等價回路(第2段)
 Fig. 8. Equivalent circuit for ECAP DC Analysis (2nd stage)

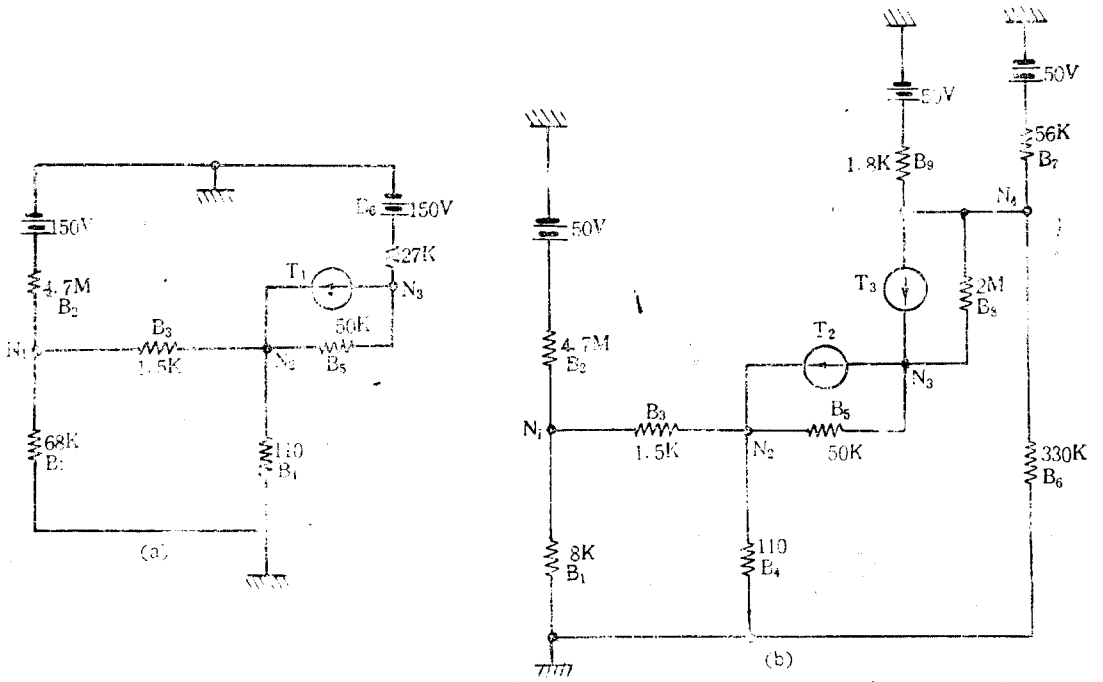


그림 9. 第3段의 DC Analysis 用 等價回路
 Fig. 9. DC Analysis equivalent circuit for the 3rd stage

이 두가지 問題點을 解決하기 위하여 그림 4의 回路의 T_2 와 T_3 의 collector에 連結된 $27K\Omega$ 의 抵抗을 Transistor로 置換하여 定電流電源이 되 $330K\Omega$ 그리고 transistor T_4 는 α 가 0.995이며 $1/h_{os}=2M\Omega$ 이다. Collector 供給電壓은 한 transistor를 最適 region에서 使用하기 위한 電壓이 25V 程度임을 참작하여 定한 것이다. 이 transistor는 β 가 200程度이고 40V에 견디는 小信號 PNP transistor로서 2N4403, 2N3906 또는 MOTOROLA의 MPS 4356, MPS 6534等이 適合할것이다.

그림 4의 第3段인 Common-emitter 增巾段의 DC Analysis用 等價回路가 그림 9의 (a)이며 이 段의 collector의 $27K\Omega$ 을 定電流回路로 置換한 後의 等價回路가 그림 9(b)이다. 이 두回路에서 먼저와 같은 技法으로 N_1, N_2, N_3 의 電壓配定이 서로 같도록 그림 9(b)의 B_6, B_7, B_8, B_9 및 T_3 의

hfb를 決定한 것이 $R_{E5}=1.8K\Omega, R_{B6}=56K\Omega, R_{B7}=330K\Omega$ 그리고 transistor T_6 의 $\alpha = 0.995, \frac{1}{h_{os}}=2M\Omega$ 이며 T_4 와 같은 type의 것을 쓴다.

이러한 改善過程의 結果로 그림 10과 같은 回路가 되었다. 이 새로운 回路의 特性을 알기 위해서 ECAP AC Analysis用의 等價回路를 그림 11에 그렸다. 改善以前의 回路에서의 6回的 電子計算機作業을 通해서 다음의 값을 얻었는데 代表的으로 JOB#1의 入力 List와 出力 List를 그림 12와 그림 13에 보였다.

```
// JOB
LOG DRIVE  CART SPEC  CART AVAIL  PHY DRIVE
  0000      1001      1001      0000

N2 M09  ACTUAL BK  CONFIG BK
*LOCAL ECA01,ECA07,ECA03,ECA04,ECA05,ECA06,ECA07,ECA08
*LOCAL ECA40,ECA41,ECA42,ECA43,ECA44,ECA45,ECA46,ECA47
*LOCAL ECA48,ECA49,ECA50,ECA51,ECA52,ECA53,ECA54
AC ANALYSIS
R1 N(0,1),R=4.001,E=1/0
R2 N(1,0),R=47E4
R3 N(0,1),R=1E4
R4 N(1,2),R=1E00
R5 N(0,2),R=5E4
R6 N(2,0),R=1.5E3
R7 N(0,3),C=2E-8
R8 N(3,4),R=92
R9 N(4,0),R=1E30
R10 N(6,0),R=2E3
R11 N(4,5),R=4E5
R12 N(5,6),R=2E5
R13 N(0,11),R=1.5E3
R14 N(0,9),R=4E7E5
R15 N(6,03),C=5E-5
R16 N(5,7),C=5E-5
R17 N(7,0),C=1E-8
R18 N(7,2),R=6E3
R19 N(0,7),R=4E4
R20 N(7,3),R=1E20
R21 N(0,8),R=8E4
R22 N(8,0),R=110
R23 N(9,1),C=3E-3
R24 N(11,5),R=3E6
R25 N(11,0),R=3E6
R26 N(0,11),R=6E3
R27 N(10,9),R=2E5
R28 N(10,0),R=3E4
R29 N(0,10),R=5E3
R30 N(0,10),R=1.8E3
T1 B(14,5),BETA=200
T2 B(11,2),BETA=0.995
T3 B(2,21),BETA=200
T4 B(11,5),BETA=0.988
T5 B(10,9),BETA=0.988
FCF=0.02V4E3
OB=NT,CA,RV
MODIFY
PREFUNCTIONY=6E2(1,5)32E3
EXECUTE
EXECUTE
END
```

그림 12. ECAP 入力 List
Fig. 12. ECAP Input List

$$G_{22} = \frac{i_2}{v_2} \Big|_{v_1=0} = \frac{0.60799902 \times 10^{-4}}{0.9996960} \approx 0.608 \times 10^{-4} (\text{mho}) \quad (21)$$

$$G_{12} = \frac{i_1}{v_2} \Big|_{v_1=0} = \frac{0.891308968 \times 10^{-2}}{0.9996960} \approx 0.891 \times 10^{-2} (\text{mho}) \quad (22)$$

$$G_{11} = \frac{i_1}{v_1} \Big|_{v_1=0} = \frac{0.55168668 \times 10^{-4}}{0.99997258} \approx 0.552 \times 10^{-4} (\text{mho}) \quad (23)$$

$$G_{21} = \frac{i_2}{v_1} \Big|_{v_1=0} = -\frac{0.88637757 \times 10^{-2}}{0.99997258} \approx -0.886 \times 10^{-2} (\text{mho}) \quad (24)$$

$$G_1 = \frac{i_1}{v_1} \Big|_{v_1=0} = \frac{0.90273142}{0.54864430} \approx 1.64 (\text{mho}) \quad (25)$$

$$G_0 = \frac{i_2}{v_2} \Big|_{v_1=0} = \frac{0.10188825 \times 10^1}{0.49102169} \approx 2.06 (\text{mho}) \quad (26)$$

그리고 9.4KHz에서 出力端에 $0.15\mu F$ 의 C 를 連結하였을때의 入力 admittance는

$$y_L = 0.43580550 \times 10^{-2} \angle -89.153497^\circ (\text{mho}) \quad (27)$$

따라서 等價의 inductance는

$$L_{eq} = 4.0 (\text{mH}) \quad (28)$$

그리고

$$Q = 57.2$$

이 回路에서의 最大 Q 는

$$Q_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0.891 \times 10^{-2} \times 0.886 \times 10^{-2}}{0.608 \times 10^{-4} \times 0.552 \times 10^{-4}}}$$

BRANCHES		BRANCH CURRENTS			
MAG	1-4	0.43580550E-02	0.21275899E-03	0.86084604E-03	0.17473473E-04
PHA		-0.78915049E-04	0.12083310E-03	0.17337433E-03	0.33211600E-03
MAG	5-8	0.87298220E-03	0.46041010E-03	0.20833924E-03	0.80887820E-02
PHA		0.33180788E-03	0.18501897E-03	0.34031807E-03	0.26038500E-03
MAG	9-12	0.19025392E-03	0.89388510E-03	0.41212520E-03	0.12718003E-02
PHA		0.36305077E-03	-0.30787380E-03	0.54172373E-03	0.2003833E-03
MAG	13-16	0.70003123E-03	0.33013019E-03	0.18370500E-03	0.81701032E-02
PHA		0.12523867E-03	0.30218708E-03	-0.74278101E-03	0.38731000E-03
MAG	17-20	0.61706444E-03	0.71520037E-03	0.36318771E-03	0.77355000E-03
PHA		0.40542743E-03	-0.80380900E-03	0.30818000E-03	-0.30038500E-02
MAG	21-24	0.43605417E-03	0.43602600E-02	0.13501100E-02	0.13118000E-02
PHA		-0.80502472E-03	-0.80503387E-02	0.80012100E-02	0.30017000E-02
MAG	25-28	0.12902816E-03	0.11324801E-03	0.57150500E-03	0.20270000E-03
PHA		0.3045812E-02	0.90484812E-02	-0.20085100E-02	-0.70017000E-03
MAG	29-30	0.28551881E-03	0.23627033E-03		
PHA		-0.17987457E-03	-0.17987457E-03		
BRANCHES		BRANCH VOLTAGES			
MAG	1-4	0.90897007E-03	0.50007067E-03	0.60110000E-03	0.27387100E-02
PHA		-0.17987457E-03	0.20748818E-03	0.10018000E-03	0.30110000E-03
MAG	5-8	0.09123037E-03	0.09123037E-03	0.09123037E-03	0.48304100E-03
PHA		-0.17987457E-03	0.12301000E-03	-0.17987457E-03	0.34780000E-03
MAG	9-12	0.24737610E-03	0.20185010E-03	0.21773010E-03	0.88814000E-03
PHA		0.34305077E-03	0.30787380E-03	0.54172373E-03	-0.2003833E-03
MAG	13-16	0.23427936E-02	0.28168113E-03	0.28168113E-03	0.18547000E-02
PHA		0.12523867E-03	0.30218708E-03	-0.74278101E-03	0.38731000E-03
MAG	17-20	0.48408237E-03	0.48408237E-03	0.48408237E-03	0.43552851E-02
PHA		-0.89504562E-02	-0.89504562E-02	0.00495254E-02	-0.60038000E-02
MAG	21-24	0.11075887E-03	0.48001710E-03	0.10277447E-02	0.11384864E-02
PHA		0.25841945E-02	-0.89503387E-02	0.51375856E-03	0.20406813E-02
MAG	25-28	0.48529863E-03	0.11364864E-02	0.11364864E-02	0.23427936E-02
PHA		0.3045812E-02	0.90484812E-02	-0.89505005E-02	-0.17987457E-03
MAG	29-30	0.98805496E-03	0.23427936E-02		
PHA		-0.17987457E-03	-0.17987457E-03		

그림 13. ECAP 出力 List
Fig. 13. ECAP Output List

	G_{11}	G_{12}	$-G_{21}$	G_{22}	G_1	G_0	Q	Leq (mH)
原 回 路	0.916×10^{-4}	0.899×10^{-2}	0.897×10^{-2}	0.913×10^{-4}	0.787	0.783	35.9	2.7
改善回路	0.552×10^{-4}	0.891×10^{-2}	0.886×10^{-2}	0.608×10^{-4}	1.64	2.06	57.2	4.0

≈ 78.1 (29)

檢 討

지금까지의 節次에서 나타난 여러 數値를 原回路와 改善回路에 對해서 比較하여 보면 다음의 表와 같다.

Gyrator에서 될 수 있는대로 작을수록 有利한 diagonal element인 G_{11} 과 G_{22} 가 改善後에는 거의 切半으로 減少되었으나 off-diagonal element인 G_{12} 와 G_{21} 의 값은 增加하지 않았고 특히 G_{21} 의 크기는 1.2%라는 적은 率이기는 하지만 減少하였다. 第2 및 第3段의 Collector 供給電壓을 150V에서 50V로 減少시킬 수 있었는데 Collector 回路에 代置한 定電流回路의 抵抗値의 最適値決定은 ECAP를 利用하여도 相當히 時間을 要하는 作業이었다.

Gyrator 回路特性은 改善되었으나 transistor의 個數가 增加한다는 問題는 transistor의 價格이 다른 素子에 比해서 저렴하여 졌고 더구나 回路의 集積化로서 解決된다.

結 論

Transistor의 數를 더욱 增加시키면 Gyrator의 特性을 改善할 수 있겠으나 ECAP가 取扱할 수 있는 回路의 branch 數에 制限이 있다. 8 KWord의 主記憶容量을 가진 小形電子計算機에

서 使用할 수 있도록 筆者가 Modify한 ECAP의 取扱可能 branch 數가 35個인데 本論文에서는 그 數가 30個이며 ECAP의 DC 및 AC Analysis로써 改善 및 解析한 本論文의 改善回路에서 改善前의 回路에 比하여 Gyrator 特性에 有害한 diagonal element가 半減되고 Q는 59%가 增加하고 collector 供給電壓을 $\frac{1}{3}$ 로 減少시킬 수 있었다. 많은 modification을 通하여 實際回路에 依한 實驗보다는 越等히 짧은 時間에 結果를 얻었고 이 Gyrator가 흔히 使用하는 回路가 아니므로 實驗에서 生길 수 있는 部品の 破損이나 時間浪費를 輕減할 수 있었다.

參考文獻

- 1) H. H. Scott, "A new type of selective circuit and some Application", Proc. IRE, 20, Feb, 1938, P. 226-235.
- 2) B. D. H. Tellegen, "The Gyrator, A new electric network element", Phillips Res. Rep., 3, April 1948, P. 81.
- 3) B. A. Sheno, "Practical Realization of a Gyrator circuit and RC-Gyrator Filters", IEEE Trans. on Circuit Theory vol. CT-12 No. 3 Sept. 1965, p. 376.
- 4) IBM, "ECAP User's Manual", GH20-0170-2, IBM, April 1970, p. 73-93.