

論文

Switched Capacitor를 이용한 Gyrator濾波器의 設計

正會員 元 淸 六* 正會員 李 文 秀**

Design of Gyrator Filter using Switched Capacitors

Cheung Youk WON* and Mun Soo LEE**, *Regular Members*

要約 최근 switched capacitors 및 고정 capacitors와 능동소자를 이용한 analog여파기 실현에 큰 관심을 갖게 되었다. Switched capacitor는 저항에 비해 온도특성 및 선형특성이 양호한 뿐 아니라 Si chip면적이 훨씬 적게 소요되고 MOS 기술에 의해 워전 IC화가 가능하다. 본 논문에서는 저항과 switched capacitor를 사용해 Gyrator여파기내의 모든 저항을 switched capacitor로 대신시킨 SC-Gyrator여파기를 실현했다. 실험결과 Gyrator여파기와 SC-Gyrator여파기의 특성이 만족할 만큼 일치함을 확인했다.

ABSTRACT Recently, there has been a great interest in the realization of analog filters using switched and fixed capacitors and active elements. It is known that a switched capacitor has a performance much better than a resistor in the characteristics of temperature and linearity, and can be fabricated on the much smaller area than the resistor.

In this paper all the resistors in the gyrator filter network are replaced by the switched capacitors for an SC-Gyrator filter circuit can be fully integrated into a single chip by using MOS technology. By experiments we show that the response of designed SC-Gyrator filter is much similar to that of its prototype gyrator filter.

1. 서론

전자systems내에서 가장 널리 응용되는 회로의 하나가 여파기이다. systems를 IC화하기 위해 LSI가 사용될 때는 이 여파기들을 효율적으로 실현하기 위한 기술이 중요하게 된다. 종래 사용되는 박막IC, 혼성IC를 system LSI에 사용하는 것은 부적당하다. 그러므로 능동 여파기내 모든 저항을 switched capacitor로 대신한 SC능동여파기에 대한 이론이 연구되어 왔다^{(1),(2)}.

SC는 switch, capacitor로 구성 되었으며 MOS FET switch의 이상적 특성, MOS의 고밀도, 고정확도, 안정도가 양호하므로 MOS공법은 이 여파기들을 실현하는데 적합하다.

본 논문에서는 G. C. Temes⁽³⁾가 제안한 SC회로를 이용해 low pass third order Gyrator 여파기를 SC-Gyrator여파기로 변환하여 Gyrator 여파기 특성과 비교 고찰했다.

2. Gyrator

Gyrator는 그림 1과 같이 4 단자망으로서 다음과 같은 Chain matrix로서 주어진다.

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & R \\ 1/R & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

단, R은 Gyrator 저항으로서 상수이다.

그림 1(b)의 2-2'가 Z_L로 단락된 경우 전압 V₂는

* 東洋工業專門大學通信科
Dept. of Communication Engineering, Dongyang Junior Technical College, Seoul, 150 Korea

** 濟州大學校通信工學科
Dept. of Communication Engineering, Jeju National University, Jeju-Do, 590 Korea

論文番號 : 82-02 (接受 1981. 11. 2)

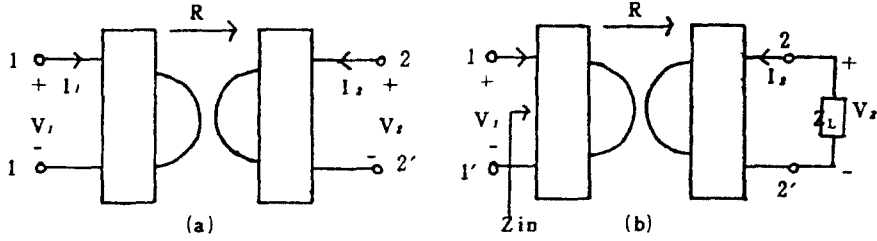


그림 1 (a)무손실 Gyrator (a)Lossless Gyrator (b) Z_L 로 단락된 Gyrator (b)Gyrator terminated Z_L

$$V_2 = -Z_2 I_2 \quad (2)$$

이다. 식 (1),(2)으로부터 입력 Z_{in} 는

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{R^2}{Z_L} \quad (3)$$

이다. 만일 Z_L 이 용량 C 라면 Z_{in} 는

$$Z_{in} = SCR^2 \quad (4)$$

이다. 따라서 용량 C 로 단락된 Gyrator는 전기적으로 $Leq = CR^2$ [H] (5)

이다.

Gyrator 실현을 위한 중요한 building block에는 GIC와 GH가 있다.

그림 2는 GIC나 GH의 실현을 하는데 이용되는 Riordan의 기본회로이다.

그림 2의 입력 Impedance Z 는 다음과 같다.

$$Z = \frac{V}{I} \approx \frac{Z_1 Z_3 Z_5}{Z_2 Z_4} \quad (6)$$

여기서 Z_5 를 부하 Impedance로 정하면 이는 GI C 동작을 하며

$$Z(s) = f(s) \cdot Z_5(s), \quad f(s) = \frac{Z_1(s) \cdot Z_3(s)}{Z_2(s) \cdot Z_4(s)} \quad (7)$$

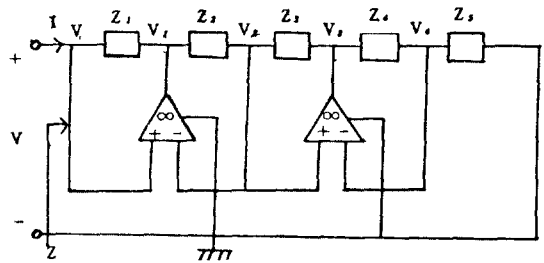


그림 2 Riordan 기본회로
Riordan basic circuit.

이다. 여기서 $Z_2 = 1/SC$ 로, 다른 모든 Impedance를 R 로 선정하면 $f(s) = R^2$ 이므로

$$Z = SCR^2 \quad (8)$$

가 된다. 그러므로 그림 2는 $Leq = CR^2$ [H]인 등가 Inductance가 된다. 일반적으로 출력단자를 Z_1 (or Z_3, Z_5)를 선정할 때 GIC이고, Z_2 (or Z_4)를 선정할 때 GH이다. 이상은 접지된 Inductor를 Gyrator로 실현하는 과정이며 Floating Inductor인 경우는 Gyrator를 2개 back-to-back으로 하

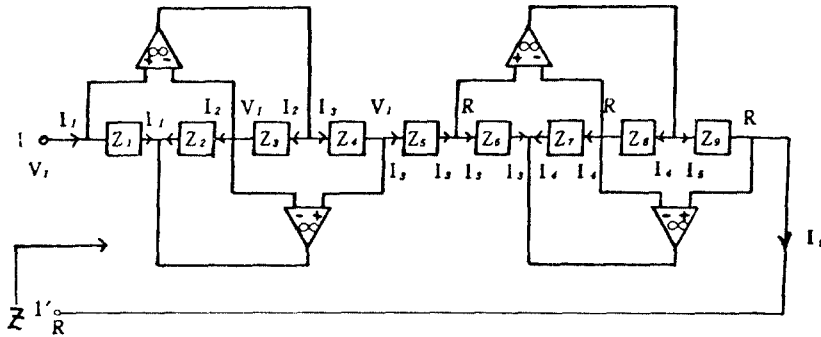


그림 3 비접지 Gyrator
Floating Gyrator.

면 된다. 그림 3은 Floating Inductor를 Gyrator로 실현한 것을 보인 것이다.

3. SC-Gyrator여파기 설계

그림 4와 같은⁽⁹⁾통과대역 $0 \leq \Omega_p \leq 1$, 감쇠대역 $2.7904 \leq \Omega_s \leq \infty$, 반사계수 $\rho = 20\%$, 통과대역 감쇠량 $\alpha_p = 0.18\text{dB}$, 감쇠대역 감쇠량 $\alpha_s = 36.14\text{dB}$, pole 수 $\Omega_p = 3.1951$ 인 3차 SC-Gyrator여파기를 설계하고자 한다.

그림 4와 같은 특성을 갖는 표준화된 LC-prototype여파기를 그림 5와 같이 만든다.

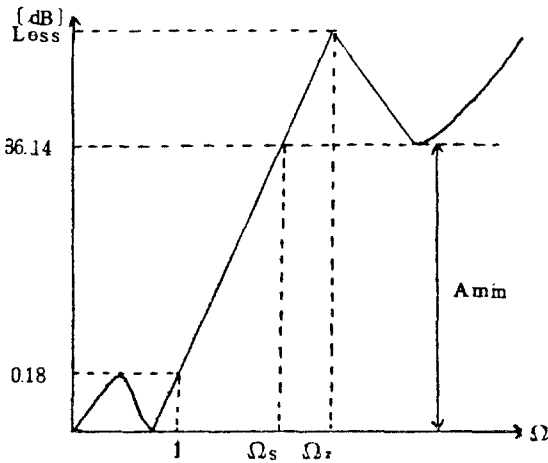


그림 4 설계하고자 하는 여파기 특성
Filter response to be designed.

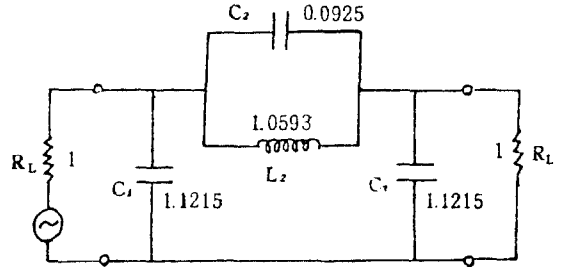


그림 5 표준화된 LC여파기
Normalized LC prototype filter circuit.

그림 5의 각 소자를 주파수 2kHz, 저항 $R_L = 1236\Omega$ 으로 scaling하면 다음 값들을 갖는다.

$$R_L = 1 \times 1236 [\Omega]$$

$$L_2 = \frac{L_N R_L}{\omega_0} = 0.10424 [\text{H}]$$

$$C_1 = C_3 = \frac{C_{N1}, C_{N3}}{\omega_0 R_L} = 72218 [\text{pF}]$$

$$C_2 = \frac{C_{N2}}{\omega_0 R_L} = 5955 [\text{pF}]$$

그림 5의 L_2 는 floating되었기 때문에 그림 3과 같이 Gyrator가 실현되며 그림 5는 그림 6과 같이 Gyrator여파기로 실현된다.

여기서 C, R은 Gyrator의 용량과 저항을 나타낸다.

그림 6을 SC-Gyrator여파기로 실현하기 위해 SC값을 편리하게 정하기 위하여 C 값을 6000

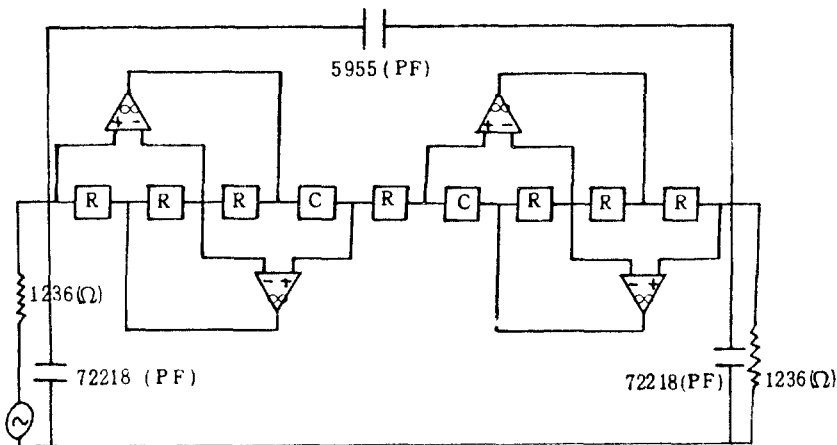


그림 6 Gyrator여파기
Gyrator filter circuit.

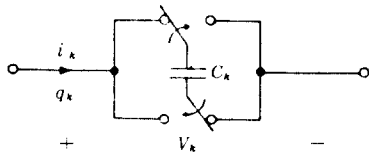


그림 7 저항등가 SC 회로
SC equivalent circuit of a resistor.

[pF]로 하면 R 은 식(5)로부터 $4166.7[\Omega]$ 이 된다.

그림 7은 Gyrator 여파기내 모든 저항을 등가적인 SC로 대체시키하고자 하는 회로이며 C_k 의 값은 다음 식으로 주어진다⁽³⁾.

$$C_k = \frac{1}{4f_c R_k}$$

$$R = 4166.7[\Omega] \text{ --- } 1200[\text{pF}]$$

$$R_L = 1236[\Omega] \text{ --- } 4046[\text{pF}]$$

단, f_c 는 Switching 주파수로서 $50[\text{kHz}]$ 로 정했다. 따라서 실현된 SC-Gyrator는 그림 8과 같다.

4. 실험 및 검토

(1) 실험회로

그림 8의 실험회로는 그림 9와 같다.

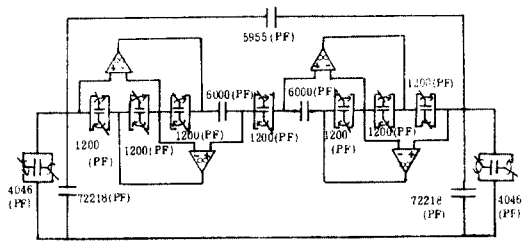


그림 8 SC Gyrator 여파기 회로
Gyrator filter using SC

(2) 실험방법

펄스 발생기 출력단자 중 ⑤에서는 $100[\text{kHz}]$ negative pulse를 만들어 증폭하여 $-15[\text{V}]$ 의 negative pulse를 S/H회로의 sampling용으로 했다. 한편 단자 ⑨에서는 $50[\text{kHz}]$ 를 만들어 SC-Gyrator 여파기의 모든 SC를 동작시켰다.

(3) 실험결과

실험결과와 일례를 그림 10~11에 보인다.

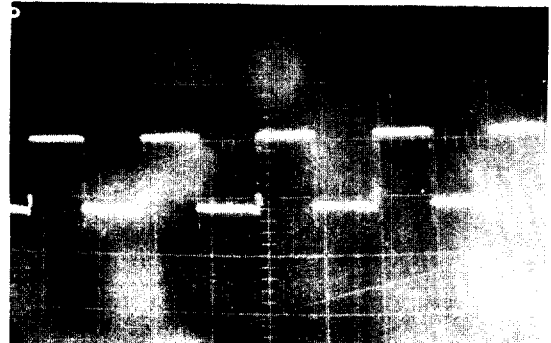
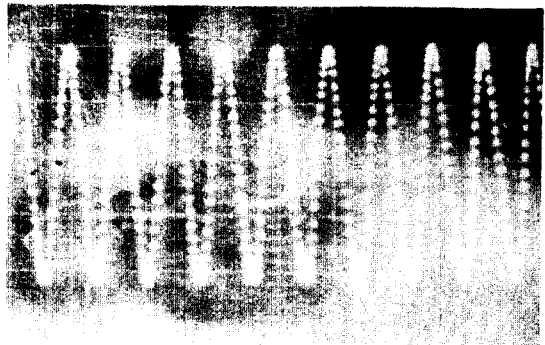
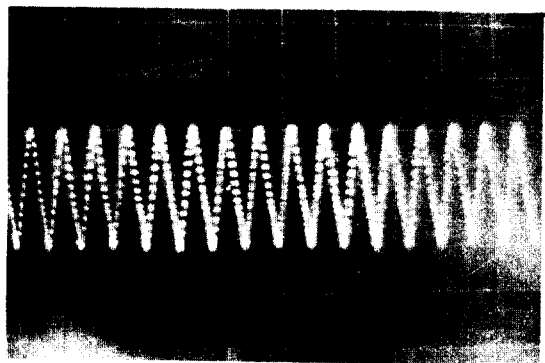


그림 10 SC Switching용 Pulse 파형 $50[\text{kHz}]$
Pulse waveform for SC Switching $50[\text{kHz}]$
Probe ten x 10:1
Volt division 0.5[V]
Time division 10[μs]



(a) 수파수 2(kHz)
Frequency 2(kHz)



(b) 수파수 3(kHz)
Frequency 3(kHz)

그림 11 SC-Gyrator 여파기 출력
Output of SC-Gyrator filter.
Volt division 0.5[V]
Time division 0.5[ms]

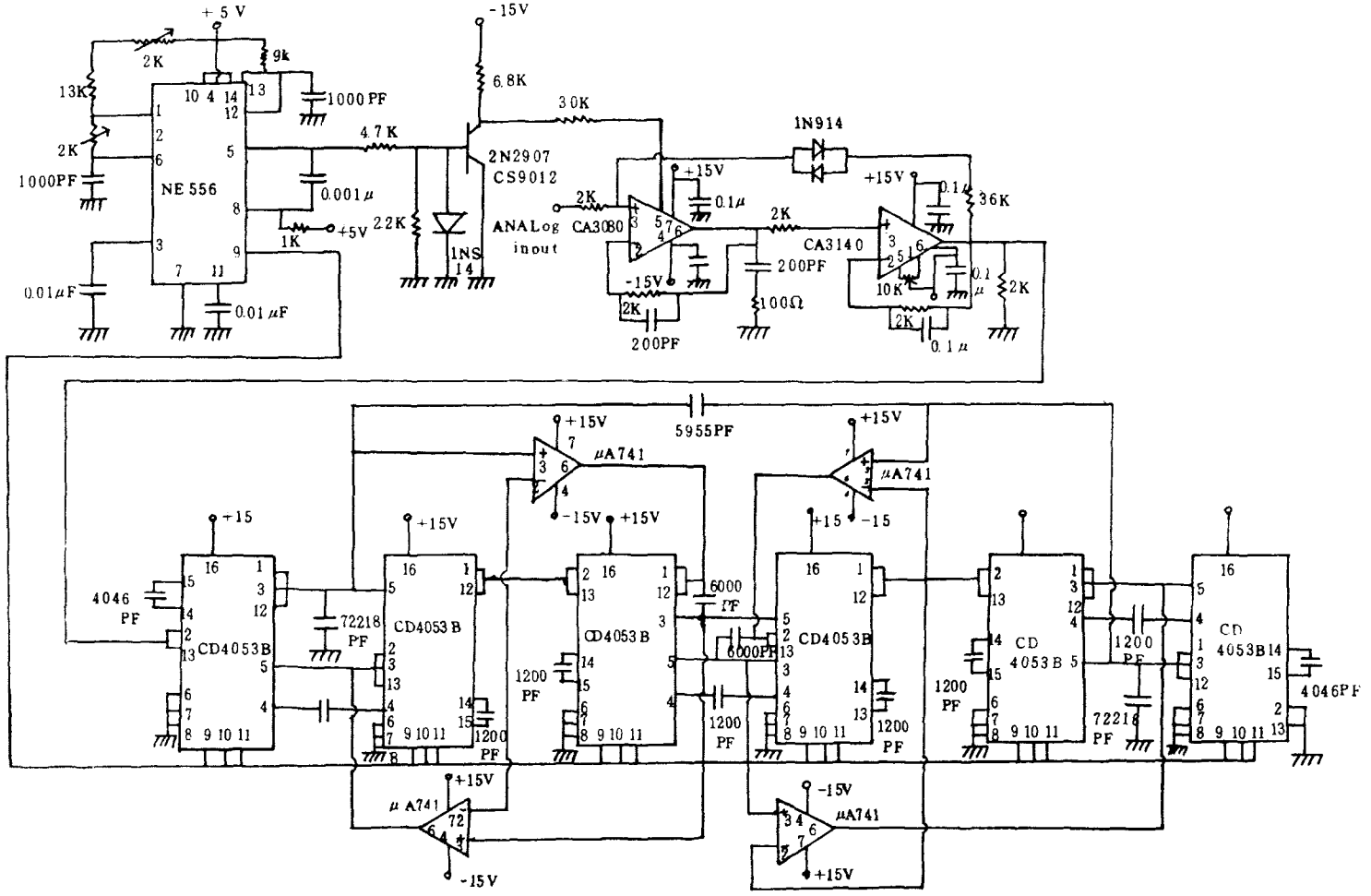


그림 9 실험회로
Experimental circuit

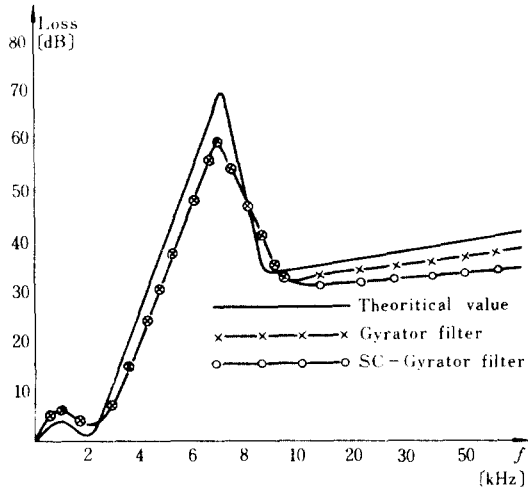


그림12 여파기의 응답곡선
Responses of filters.

(4) 여파기 특성

SC-Gyrator, Gyrator 여파기의 실험 및 이론치에 대한 특성곡선은 그림 12와 같으며 이론치에 대한 주파수 응답값은 부록에 나타냈다.

5. 결 론

실험을 통해 설계된 SC-Gyrator는 통과영역과 감쇠영역 사이의 감쇠량 차이가 30 [dB] 이상 됨은 확인했으나 이론치와 다소 차이가 있음을 알았다. 이 차이의 원인 중 가장 큰 것은 discrete IC소자를 결합하여 회로를 구성했기 때문이다.

이 여파기 전체를 일련 MOS IC화하면 더욱 좋은 특성이 얻어질 것으로 기대된다. SC의 특성때문에 능동 여파기에 비해 여파기를 구동하기 위한 회로가 필요하게 된다. 그러나 이 회로는 LSI화된 회로에 하나만 있으면 되므로 그러한 문제는 없을 것으로 생각된다.

参 考 文 献

(1) J. T. Caves et al., "Sampled analog filtering using switched capacitors as resistor equivalents", IEEE J. Solid state Circuit SC-12 pp.592-599, Dec. 1977.
 (2) B. J. Hosticka, R. W. Brodersen and P. R. Gray, "MOS sampled data recursive filters using state variable techniques", Proc. Int. Symp. Circuits and Systems, Phoenix, AZ, pp.525-529, Apr. 1977.

(3) G. C. Temes, H. J. Orchard and M. Johanbegloo, "Switched capacitor filter design using the Bilinear Z transform", IEEE Trans. Circuits and System vol. CAS-25, Dec. 1978.
 (4) G. C. Temes, "The derivation of switched capacitor filters from active RC Prototypes", Electronic Lett. vol 14, No. 12, pp.361-362, June 8, 1978.
 (5) G. C. Temes and I. A. Young, "An improved switched capacitor integrator", "Electronic Lett, vol. 14, No. 9, pp. 287-288, Apr. 27, 1978.
 (6) B. J. Hosticka and G. S. MOS Chytz "Switched capacitor simulation of grounded inductors and gyrators", Electronic Lett. vol. 14, No. 24, Nov. 1978.
 (7) G. Daryanai, Principle of active network Synthesis and design, Bell Laboratories, 1976.
 (8) G. C. Temes and J. W. Lapatra, Introduction to circuit synthesis and design, New York: McGraw Hill, 1977.
 (9) A. I. Zverev, Handbook of filter synthesis, New York: John wiley, 1967.

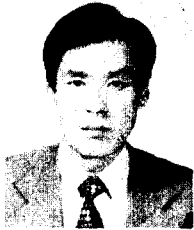
附 录

```

**ELLIPTIC FILTER (ODD)**
(OORDER)=3 (SLOP)=2.7904 (RIPPLE)=0.1773 (dB)
** A (MIN)=36.1374 (DB) **
(MAXIMUM DEVIATION OF ELEMENTS)=0.9548837E-10
C(1)=1.121490
C(2)=0.092476 L(2)=1.059256 (POL.2)=3.195101
C(3)=1.121490
10 DATA 1.12149, 0.092476, 1.059256, 1.12149
20 READ C1, C2, L2, C3
30 INPUT C
40 RO=1/(4*C*50000)
50 CO=C*5
60 L[2]=CO*RO12
70 R=L[2]*2*PI*2000/L2
80 C[1]=C[3]=C1/(2*PI*2000*R)
90 C[2]=C2/(2*PI*2000*R)
100 WRITE (15,130) C1=C3= C[1]*1E+12 C2= C[2]*1E+12
110 WRITE (15,130) Ck= C*1E+12, Cc= CO*1E+12
120 WRITE (15,130) Cr= 1E+12/(R*50000*4), R
130 FORMAT 5X, F7.0, C[1] (PF), C[2] (PF), C[3] (PF), R
140 FORMAT 5X, F7.0, C[1] (PF), C[2] (PF), C[3] (PF), R
150 END
C1=C3=72218 (PF) C2=5955 (PF)
Ck=1200 (PF) Cc=6000 (pF)
Cr=4046 (pF) (Rload=1236ohm)
0 (Hz) ..... 0.0000 (dB)
200 ( ) ..... 0.0148 ( )
400 ( ) ..... 0.0548 ( )
    
```

600 (")	0. 1022 (")	11000 (")	36. 1405 (")
800 (")	0. 1543 (")	11200 (")	36. 1497 (")
1000 (")	0. 1772 (")	11400 (")	36. 1664 (")
1200 (")	0. 1613 (")	11600 (")	36. 1896 (")
1400 (")	0. 1041 (")	11800 (")	36. 2185 (")
1600 (")	0. 0287 (")	12000 (")	36. 2526 (")
1800 (")	0. 0055 (")	12200 (")	36. 2912 (")
2000 (")	0. 1770 (")	12400 (")	36. 3338 (")
2200 (")	0. 7462 (")	12600 (")	36. 3800 (")
2400 (")	1. 8721 (")	12800 (")	36. 4292 (")
2600 (")	3. 5342 (")	13000 (")	36. 4813 (")
2800 (")	5. 5524 (")	13200 (")	36. 5359 (")
3000 (")	7. 7314 (")	13400 (")	36. 5927 (")
3200 (")	9. 9437 (")	13600 (")	36. 6514 (")
3400 (")	12. 1284 (")	13800 (")	36. 7119 (")
3600 (")	14. 2649 (")	14000 (")	36. 7738 (")
3800 (")	16. 3536 (")	14200 (")	36. 8372 (")
4000 (")	18. 4048 (")	14400 (")	36. 9017 (")
4200 (")	20. 4341 (")	14600 (")	36. 9673 (")
4400 (")	22. 4607 (")	14800 (")	37. 0337 (")
4600 (")	24. 5073 (")	15000 (")	37. 1010 (")
4800 (")	26. 6014 (")	15200 (")	37. 1690 (")
5000 (")	28. 7783 (")	15400 (")	37. 2375 (")
5200 (")	31. 0866 (")	15600 (")	37. 3065 (")
5400 (")	33. 5978 (")	15800 (")	37. 3760 (")
5600 (")	36. 4291 (")	16000 (")	37. 4458 (")
5800 (")	39. 7972 (")	16200 (")	37. 5159 (")
6000 (")	44. 1898 (")	16400 (")	37. 5863 (")
6200 (")	51. 1973 (")	16600 (")	37. 6568 (")
6400 (")	77. 6990 (")	16800 (")	37. 7274 (")
6600 (")	51. 7910 (")	17000 (")	37. 7981 (")
6800 (")	46. 6597 (")	20000 (")	38. 8474 (")
7000 (")	43. 8655 (")	20500 (")	39. 0176 (")
7200 (")	42. 0396 (")	21000 (")	39. 1860 (")
7400 (")	40. 7376 (")	21500 (")	39. 3525 (")
7600 (")	39. 7645 (")	22000 (")	39. 5170 (")
7800 (")	39. 0138 (")	22500 (")	39. 6795 (")
8000 (")	38. 4223 (")	23000 (")	39. 8400 (")
8200 (")	37. 9497 (")	23500 (Hz)	39. 9984 (dB)
8400 (Hz)	37. 5684 (dB)	24000 (")	40. 1546 (")
8600 (")	37. 2590 (")	24500 (")	40. 3089 (")
8800 (")	37. 0072 (")	25000 (")	40. 4610 (")
9000 (")	36. 8023 (")	25500 (")	40. 6111 (")
9200 (")	36. 6362 (")	26000 (")	40. 7592 (")
9400 (")	36. 5023 (")	26500 (")	40. 9052 (")
9600 (")	36. 3956 (")	27000 (")	41. 0493 (")
9800 (")	36. 3119 (")	27500 (")	41. 1915 (")
10000 (")	36. 2479 (")	28000 (")	41. 3317 (")
10200 (")	36. 2008 (")	28500 (")	41. 4700 (")
10400 (")	36. 1683 (")	29000 (")	41. 6065 (")
10600 (")	36. 1485 (")	29500 (")	41. 7411 (")
10800 (")	36. 1397 (")	30000 (")	41. 8740 (")

30500 (/)	42. 0051 (/)	35500 (/)	43. 2273 (/)
31000 (/)	42. 1345 (/)	36000 (/)	43. 3413 (/)
31500 (/)	42. 2622 (/)	36500 (/)	43. 4540 (/)
32000 (/)	42. 3882 (/)	37000 (/)	43. 5653 (/)
32500 (/)	42. 5127 (/)	37500 (/)	43. 6753 (/)
33000 (/)	42. 6356 (/)	38000 (/)	43. 7841 (/)
33500 (/)	42. 7569 (/)	38500 (/)	43. 8916 (/)
34000 (/)	42. 8767 (/)	39000 (/)	43. 9979 (/)
34500 (/)	42. 9950 (/)	39500 (/)	44. 1029 (/)
35000 (/)	43. 1118 (/)	40000 (/)	44. 2068 (/)



元 清 六 (Cheung Youk WON) 正會員
 1944年 1月20日生
 1969年 2月：韓國航空大學航空通信工學
 科卒業 (工學士)
 1980年 9月：檀國大學校大學院電子工學
 科卒業 (工學碩士)
 1973年 5月～現在：東洋工業專門大學通
 信工學科助教授



李 文 秀 (Mun Soo LEE) 正會員
 1947年 12月29日生
 1970年 2月：韓國航空大學航空通信工學
 科卒業 (工學士)
 1980年 2月：漢陽大學校大學院電子通信
 工學科卒業 (工學碩士)
 1980年 3月～現在：漢陽大學校大學院博
 士課程在學中
 1974年 3～1981年 2：東洋工業專門大學
 助教授
 1981年 3～現在：濟州大學助教授