

제 2 장 아날로그 신호의 조절

1. 목 적

Sensor Transducer로부터 나오는 전기적 신호를 신호처리에 적절한 상태로 만들어주는 Signal Conditioning에 대하여 연구함으로써, 일반적인 측정시스템 (General Measurement System)에 대한 이해를 돕고자 한다. 증폭회로, 필터 (Filter)회로, 미분·적분회로 등을 공부하고 제작한다.

2. 예습부문

- (1) Mechanical Measurements(4th Ed.), T. G. Beckwith & R. D. Marangoni, Chapter 7 (pp.201-204, 223-245), Chapter 1 (pp.3-9)

3. 실험장치

- (1) Oscilloscope, F.G., DMM, DC Power Supply
- (2) Breadboard
- (3) Op. Amp. $\mu A741$
- (4) 저항 (1k, 2.2k, 10k Ω) 및 콘덴서(0.1 μF)
- (5) Wire Stripper 및 Wire

4. 이 론

4.1 Signal Conditioning

Table2.1은 일반적인 측정계의 구성요소를 나타낸 것으로서 Signal Conditioning의 역할 및 중요성을 알 수 있다. 흔히들 『에어콘』이라 부르는 장치는, Air Conditioner의 준말로써, 공기의 상태 (온도, 습도, 먼지, 악취 등)를 인간에게 쾌적한 조건이 되게 조절해 주는 것처럼, Signal Conditioner는 Sensor Transducer에서 나오는 전기적 신호(전압, Power, Noise 등)를 Read-Out 장치에 적절한 조건으로 만들어 주는 것이다. Air-Conditioner는 온도가 낮으면 Heating하여 온도를 높여주고, 습도가 너무 낮으면 가습기를

작동시켜 습도를 높여주고, 먼지및 악취는 여과 Filter로써 제거하여 준다. 이와 유사하게 Signal Conditioner는 Sensor Transducer에서 나오는 신호가 Read-out 장치가 받아들이기에 너무 작은 전압이면 이를 증폭하여주고, Power가 미약하면 Power를 증폭하여주고, Noise가 심하면 Filter로써 제거하여 준다. 기타 출력이 미분 또는 적분형태로 되어야 할 경우(예를들면 5장에서의 실험)에는 미분기(Differentiator), 적분기(Integrator)를 추가하여야 할 것이다.

Table2.1 Stage of the General Measurement System

Stage 1: Sensor-Transducer	Stage 2: Signal Conditioning	Stage 3: Terminating Readout
Senses desired input to exclusion of all others and provides analogous output.	Modifies transduced signal into form usable by final stage. Usually increases amplitude and/or power, depending on requirement. May also selectively filter unwanted components and convert signal into pulsed form.	Provides an indication or recording in form that can be evaluated by an unaided human sense or by a computer or controller.
<i>Types and Examples</i>	<i>Types and Examples</i>	<i>Types and Examples</i>
<i>Mechanical:</i> Contacting spindle, springmass, elastic devices (e.g., Bourdon tube for pressure, proving ring for force), gyro	<i>Mechanical:</i> Gearing, cranks, slides, connecting links, cams, etc.	<i>Indicators</i> <i>Displacement types:</i> Moving pointer and scale, moving scale and index, light beam and scale, electron beam and scale (CRO), liquid column
<i>Hydraulic-pneumatic:</i> Buoyant float, orifice, venturi, vane, propeller	<i>Hydraulic-pneumatic:</i> Piping, valving, dash-pots, plenum chambers	<i>Digital types:</i> Direct alphanumeric readout
<i>Optical:</i> Photographic film, photoelectric cell	<i>Optical:</i> Mirrors, lenses, optical filters, light levers, optical fibers	<i>Recorders:</i> Digital printing, inked pen and chart, light beam and photographic film, direct photography, magnetic recording
<i>Electrical:</i> Contactor, resistance, capacitance, piezoelectric crystal, thermocouple, etc.	<i>Electrical:</i> Amplifying or attenuating systems, matching devices, filters, telemetering systems, various special-purpose integrated-circuit devices	<i>Processors:</i> Various types of computing systems, either special-purpose or general, used to feed readout/recording devices and/or controlling systems
		<i>Controllers:</i> All types

4.2 Filter

몇년 전까지 만해도 Oscilloscope는 상당히 구하기 힘들어, 대부분 Tester나

간단한 Logic Analyzer로 실험하는 경우가 많아, 신호를 직접 눈으로 관찰하기 어려웠으나, 이제는 Oscilloscope도 상당히 대중화되어 파형을 파악하기가 훨씬 쉬워졌다. Sensor Transducer로부터 나오는 신호를 Oscilloscope로 관찰하여 보면, 원하지 않는 엉뚱한 신호들이 겹쳐져서, 원래의 신호를 분별하지 못하는 경우가 있다. 심한 경우에는 원하는 신호의 진폭보다 원하지 않는 신호의 진폭이 더 큰 경우도 있는데 (특히 신호가 미약한 경우, 예를 들면, Thermo-Couple의 출력 등), 사람이 보아서 알아내기 힘들면 Read-Out장치도 마찬가지로 읽어내기 힘들다. 여러분들은 Fourier Transform을 배웠기 때문에 어떤 복잡한 파형을 주파수와 진폭이란 시각(視覺)으로 볼 수 있을 것이다. Filter는 입력되어 들어오는 신호를 여러가지 주파수의 Sine파형으로 파악하여 불필요한 주파수에 해당하는 진폭을 감쇠(減衰)시키는 역할을 한다.

Table 2.2는 Filter의 종류와 동작특성을 나타낸 것인데, 통과 또는 감쇠(減衰)되는 주파수의 대역에 따라 종류가 다르다. 이외에도 Audio System에서와 같이 특수한 용도의 Filter들이 많이 있다. 본 실험에서는 Low-Pass Filter와 High-Pass Filter에 대해서만 알아본다.

Table 2.2 Filter의 종류와 동작특성

형식	주파수특성 * (감쇠량)	주파수특성 * (통과량)
밴드패스 필터 (BPF)		
밴드-에리미네이트 필터 (노지 필터) (BEF)		
로우 패스 필터 (LPF)		
하이패스 필터 (HPF)		

* 출력 X Y축 모두 대수지로그

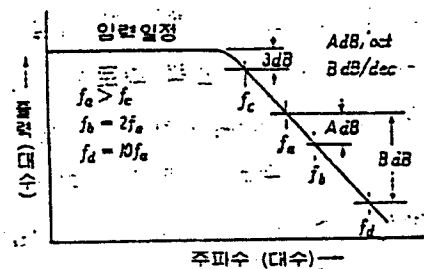


Fig. 2.1 Low-Pass Filter의 특성곡선

Filter의 특성을 얘기할때 Cut-off Frequency가 중요하다. Fig. 2.1은 Low Pass Filter의 특성곡선으로서, 어느 주파수 이하의 진폭은 Input이나 Output

이나 그 크기가 변화가 없으나 어느 주파수 이상의 진폭은 크게 줄어들어 출력됨을 알 수 있다. 그러면 이 Filter는 몇 Hz Low-Pass Filter인가? 흔히 「3-dB point」 즉 「 $10\log 2$ 」를 얘기하는데 이것은 Output과 Input의 비가 -3dB인 점을 그 Low-Pass Filter의 cut-off Frequency, f_c 라 정의하는 것이다. 여기서 데시벨은, A , B 를 진폭이라 할때,

$$\left[\frac{B}{A} \right]_{dB} = 20 \log_{10} \left[\frac{B}{A} \right]$$

로 정의되며 -3dB은 $(B/A)^2 = 1/2$ 정도일 때이다. 마찬가지로 하여 High Pass Filter도 Cut-off Frequency를 정의할 수 있을 것이다.

* 참고로 한 가지 더 기억해 둘 것은, Filter를 쓰면 어느 주파수 범위는 진폭이 작아질 뿐만 아니라 Phase도 변하는데 이것은 4.4절에서 얘기하자

그러면 어떻게 회로를 구성하면 될까? Filter는 회로를 구성하는 방법에 따라 Passive Filter와 Active Filter로 구분할 수 있는데 Passive Filter는 L-C 또는 R-C로 구성하는 것이며 Active Filter는 OP. Amp.를 사용하여 구성하는 것이다. 여기서는 Passive Filter에 대해서만 얘기한다.

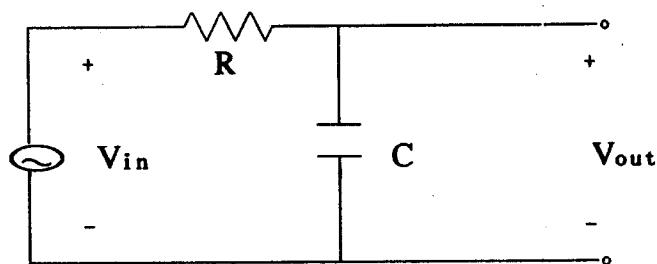


Fig.2.2 RC Low Pass Filter

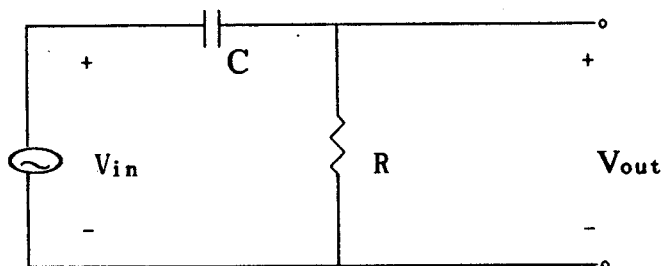


Fig. 2.3 The RC High Pass Filter

Fig.2.2 Fig.2.3은 R, C로 Low-Pass Filter와 High-Pass Filter를 구성한

것인데, 저항과 콘덴서의 위치만 바뀌었음에 유의하라. 이 경우에 Cut-off Frequency f_c 는

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

R : 저항 [Ω]

C : Capacitance [F]

f_c : Cut-off Frequency [Hz]

가 되는데, 이것은 그 회로에 상응하는 미분방정식을 푼 결과이며 응용수학이나 기초 전기·전자에 관한 책을 참조하여 유도하여 보라.

4.3 Op. Amp. $\mu A741$

IC는 그 종류가 무수히 많겠지만, 일단 Digital IC와 Linear IC로 구분하여 보면, Digital IC는 여러분들이 전기·전자 실습에서 주로 많이 다룬 TIL(SN7400 Series)이나 C-MOS(DC4000 Series, MC14500 Series)등이 여기에 속하며, 본 실험에서 주로 등장할 Op. Amp.는 Linear IC에 속한다. 이밖에도 Interface IC, Memory IC, Regulator등 여러가지 IC들이 있다.

참고 2.1에는 $\mu A741$ 의 일반적인 특성과 여러가지 종류들이 나와 있으며, 여러분들이 쓰게될 chip은 8핀 짜리이다. 8개의 다리번호와 기능에 유의하기 바라며, 특히 Power극성이 반대로 연결되면 대부분 연기를 내며 깨어질 것이다. 참고 2.2에는 chip의 내부 구조와 특성이 나와 있고, 참고 2.3에는 Power 전압이 $\pm 15V$ 일때의 특성이 나와있다. 참고 2.4에는 offset 조정방법이 나와 있고 참고 2.5에는 특성들이 graph로 나와 있다. 이와 같이 chip 하나에 대해 수 page에 이르는 data들이 규격집에 나타나 있으니 chip을 사용할 때는 그 chip의 규격표를 참조하여야 한다. 참고로 $\mu A741$ 의 가격은 개당 2-3백원 정도 할 것이다.

* 참고로 이상적인 Op. Amp.는 다음과 같은 특성을 갖는다.

- $R_i = \infty$ (input Impedance)
- $R_o = 0$ (output Impedance)
- $A_v = -\infty$ (voltage gain)
- Band width = ∞
- 온도변화에 따른 특성 변화가 없다.

참고 2.1

LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

TYPES μ A741M, μ A741C GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIER

DS20, NOVEMBER 1970—REVISED AUGUST 1983

- Short-Circuit Protection
- Offset-Voltage Null Capability
- Large Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- No Frequency Compensation Required
- Low Power Consumption
- No Latch-up
- Designed to be Interchangeable with Fairchild μ A741M, μ A741C

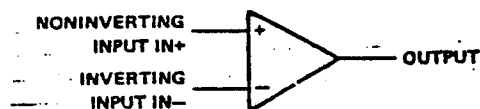
description

The μ A741 is a general-purpose operational amplifier featuring offset-voltage null capability.

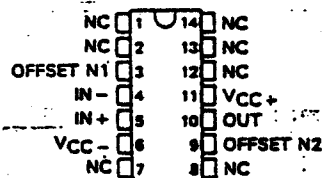
The high common-mode input voltage range and the absence of latch-up make the amplifier ideal for voltage-follower applications. The device is short-circuit protected and the internal frequency compensation ensures stability without external components. A low potentiometer may be connected between the offset null inputs to null out the offset voltage as shown in Figure 2.

The μ A741M is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C ; the μ A741C is characterized for operation from 0°C to 70°C .

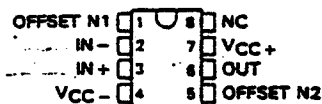
symbol



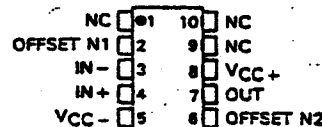
μ A741M ... J PACKAGE
(TOP VIEW)



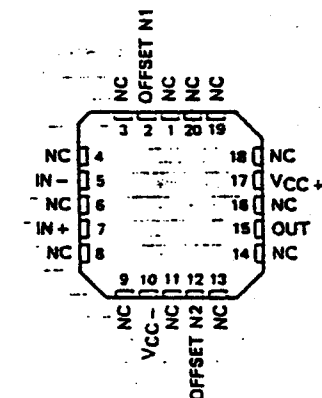
μ A741M ... JG PACKAGE
 μ A741C ... D, P, OR JG PACKAGE
(TOP VIEW)



μ A741M ... U FLAT PACKAGE
(TOP VIEW)



μ A741M ... FH, FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC—No internal connection

Copyright © 1983 by Texas Instruments Incorporated

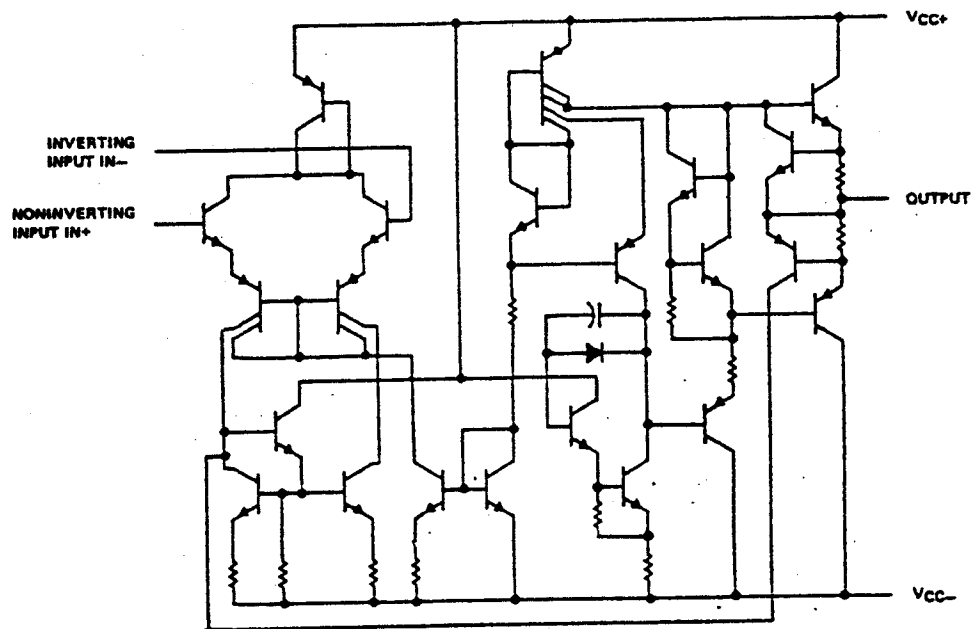
TEXAS
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75205

참고 2.2

TYPES μ A741M, μ A741C
GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

schematic



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	μ A741M	μ A741C	UNIT
Supply voltage V_{CC+} (see Note 1)	22	18	V
Supply voltage V_{CC-} (see Note 1)	-22	-18	V
Differential input voltage (see Note 2)	± 37	± 30	V
Input voltage any input (see Notes 1 and 3)	± 15	± 15	V
Voltage between either offset null terminal (N1/N2) and V_{CC-}	± 0.5	± 0.5	V
Duration of output short-circuit (see Note 4)	unlimited	unlimited	
Continuous total power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Note 5)	500	500	mW
Operating free-air temperature range	-55 to 125	0 to 70	°C
Storage temperature range	-65 to 150	-65 to 150	°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 30 seconds (FH, FK, J, JG, or U package)	300	300	°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds (D, N or P package)		260	°C

- NOTES: 1. All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between V_{CC-} and V_{CC+} .
2. Differential voltages are at the noninverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
4. The output may be shorted to ground or other power supply. For the μ A741M only, the unlimited duration of the short-circuit applies at (or below) 125°C case temperature or 75°C free-air temperature.
5. For operation above 25°C free-air temperature, refer to Dissipation Derating Curves, Section 2. In the J and JG packages, μ A741M chips are alloy mounted; μ A741C chips are glass mounted.

참고 2.3

TYPES $\mu A741M$, $\mu A741C$
GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC+} = 15\text{ V}$, $V_{CC-} = -15\text{ V}$

PARAMETER		TEST CONDITIONS [†]	μA741M			μA741C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V _{IO}	Input offset voltage	V _O = 0	25°C	1	5	1	6	mV	
			Full range		6		7.5		
ΔV _{IO(adj)}	Offset voltage adjust range	V _O = 0	25°C	±15		±15		mV	
I _{IO}	Input offset current	V _O = 0	25°C	20	200	20	200	nA	
			Full range		500		300		
I _{IB}	Input bias current	V _O = 0	25°C	80	500	80	500	nA	
			Full range		1500		800		
V _{ICR}	Common-mode input voltage range		25°C	±12	±13	±12	±13	V	
			Full range	±12		±12			
V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	R _L = 10 kΩ	25°C	±12	±14	±12	±14	V	
		R _L ≥ 10 kΩ	Full range	±12		±12			
		R _L = 2 kΩ	25°C	±10	±13	±10	±13		
		R _L ≥ 2 kΩ	Full range	±10		±10			
A _{VO}	Large-signal differential voltage amplification	R _L ≥ 2 kΩ	25°C	50	200	20	200	V/mV	
		V _O = ±10 V	Full range	25		15			
r _i	Input resistance		25°C	0.3	2	0.3	2	MΩ	
r _o	Output resistance	V _O = 0. See Note 6	25°C		75		75	Ω	
C _i	Input capacitance		25°C		1.4		1.4	pF	
CMRR	Common-mode rejection ratio	V _{IC} = V _{ICR min}	25°C	70	90	70	90	dB	
			Full range	70		70			
k _{SVS}	Supply voltage sensitivity (ΔV _{IO} /ΔV _{CC})	V _{CC} = ±9 V to ±15 V	25°C	30	150	30	150	μV/V	
			Full range		150		150		
I _{OS}	Short-circuit output current		25°C	±25	±40	±25	±40	mA	
I _{CC}	Supply current	No load, V _O = 0	25°C	1.7	2.8	1.7	2.8	mA	
			Full range		3.3		3.3		
P _D	Total power dissipation	No load, V _O = 0	25°C	50	85	50	85	mW	
			Full range		100		100		

[†]All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified. Full range for $\mu A741M$ is -55°C to 125°C and for $\mu A741C$ is 0°C to 70°C .

NOTE 6: This typical value applies only at frequencies above a few hundred hertz because of the effects of drift and thermal feedback.

TEXAS
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 225012 • DALLAS, TEXAS 75265

참고 2.4

TYPES $\mu A741M$, $\mu A741C$
GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

 operating characteristics, $V_{CC+} = 15\text{ V}$, $V_{CC-} = -15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$\mu A741M$			$\mu A741C$			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
t_r Rise time	$V_i = 20\text{ mV}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$		0.3			0.3		μs
Overshoot factor	$C_L = 100\text{ pF}$, See Figure 1		5%			5%		
SRL Slew rate at unity gain	$V_i = 10\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$ $C_L = 100\text{ pF}$, See Figure 1		0.5			0.5		$\text{V}/\mu\text{s}$

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

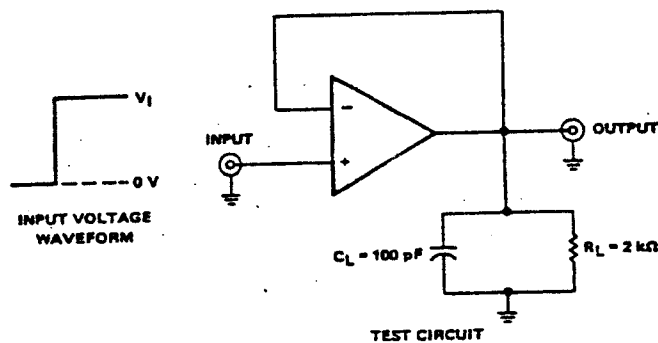


FIGURE 1—RISE TIME, OVERSHOOT, AND SLEW RATE

TYPICAL APPLICATION DATA

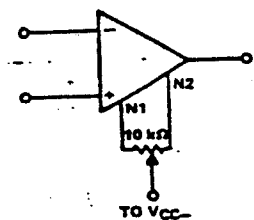


FIGURE 2—INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUIT

참고 2.5

TYPES μ A741M, μ A741C
GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS

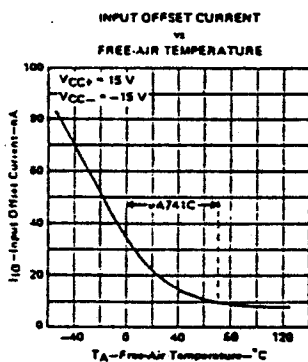


FIGURE 3

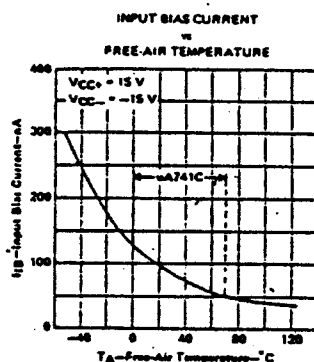


FIGURE 4

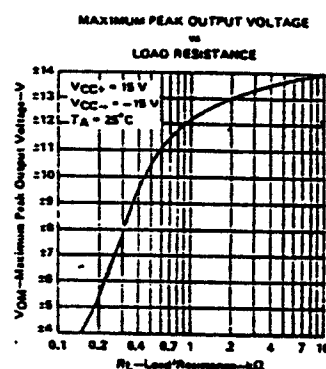


FIGURE 5

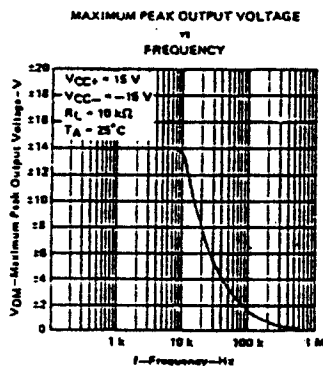


FIGURE 6

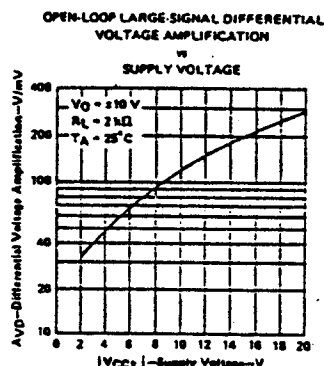


FIGURE 7

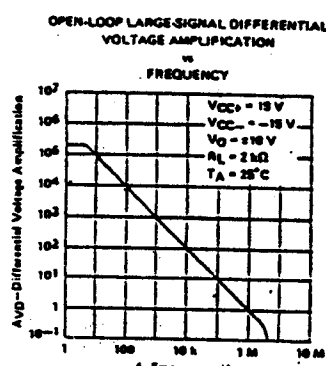


FIGURE 8

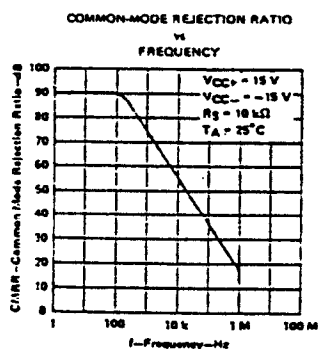


FIGURE 9

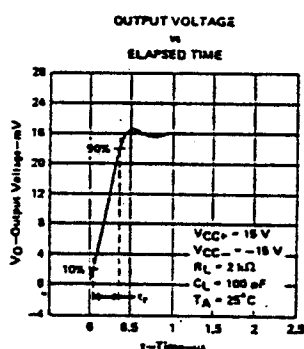


FIGURE 10

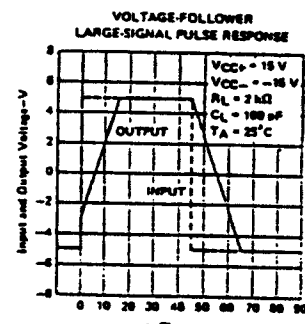


FIGURE 11

4.4 Integrator

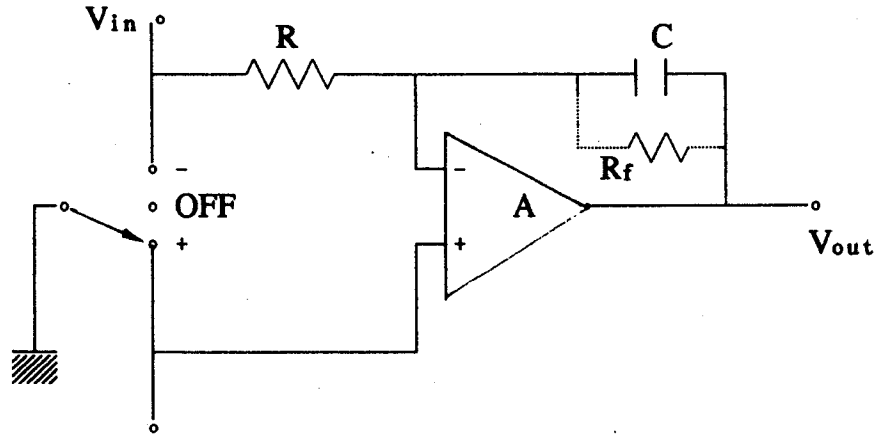


Fig.2.4 The integrator circuit.

Low-Pass Filter가 f_c 이상의 주파수를 가지는 신호에 대해 90° 의 Phase Delay를 가져온다는 것을 미분방정식의 해를 통하여, 또는 실험을 통하여 알 수 있다. 다시 말하면 sine파형을 입력시키면 cosine파형이 출력될 것이며, sine파형의 조합인 방형파(square wave)를 입력시키면 삼각파형이 출력될 것이므로 Integrator의 역할을 하게 된다. 여기서 진폭은 신경을 쓸 필요가 없다. 왜냐하면 진폭은 필요에 따라 어떤 계수를 곱하여 주든가, 다음에 배율 Amplifier로 증폭시켜주면 될 것이다. Fig.2.4는 Op. Amp.를 이용한 Active Low-Pass Filter로서, $f_c = 1/(2\pi RC)$ 이상의 주파수에 대해 적분의 기능을 가지는 Miller 적분회로이다. 그러나 실제로는 입력이 DC 성분을 갖고 있지 않는 경우에도 Op. Amp.의 Off-set에 의해 출력이 포화되어 버리므로 사용이 곤란하다. 따라서 콘덴서 C에 병렬로 적절한 저항 R_f 를 달아 DC부귀환을 걸어 동작점을 안정화시켜야 한다.

4.5 Amplifier

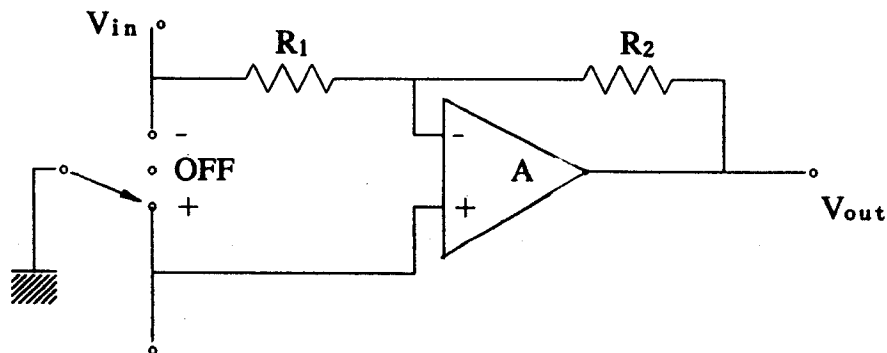
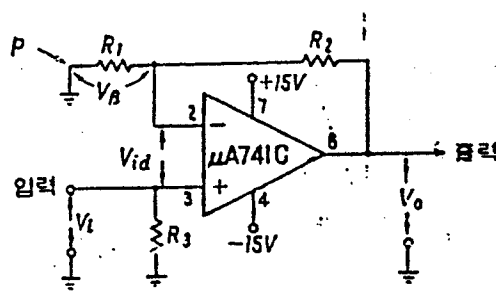


Fig.2.5 Circuit

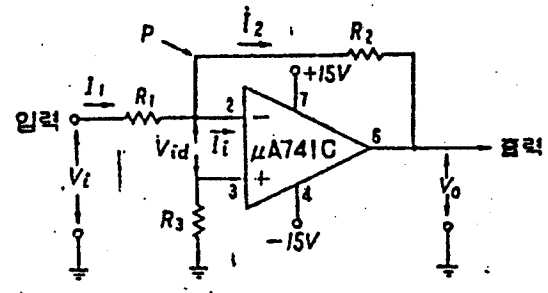
Fig.2.5는 Op. Amp.를 이용한 역상증폭기이다. 그림에서 R_1 은 입력저항, R_2 는 부귀환저항이며 증폭율(Gain)은 $G = R_2/R_1$

참고로 Op. Amp.를 이용한 증폭회로는 3가지가 있는데 Fig.2.6.을 보라. 여기서 특히 중요한 것은 차동앰프(Differential Amplifier)로서, 정상앰프 또는 역상앰프보다 구성이 까다롭지만 동상의 Noise를 제거할 수 있다는 장점이 있다. 정상앰프 또는 역상앰프는 입력 중에서 하나가 Ground되어 있기 때문에 다른 1개의 입력으로만 Noise가 들어와서 이것이 증폭되어 출력에 나타나지만, 차동 Amp.에서는 입력이 둘다 Float 되어 있기 때문에 양쪽으로 같은 Noise가 들어와서 상쇄(相殺)되어 버리므로 출력에 나타나는 Noise가 아주 미약하게 된다.



$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i$$

(a) 정상앰프

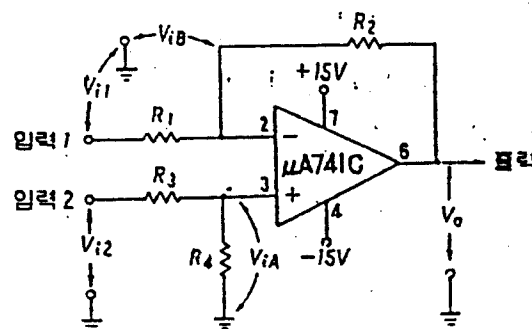


$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i$$

$$R_i = R_1$$

$$R_3 = R_1 \parallel R_2$$

(b) 역상앰프



(c) 차동앰프

$$\begin{cases} V_o = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \frac{V_{i2}}{\beta} - \frac{R_2}{R_1} V_{i1} \\ \beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \quad R_1 \parallel R_2 = R_3 \parallel R_4 \\ V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_{i2} - V_{i1}) \end{cases}$$

Fig.2.6 Op. Amp.에 의한 기본 직렬 앰프

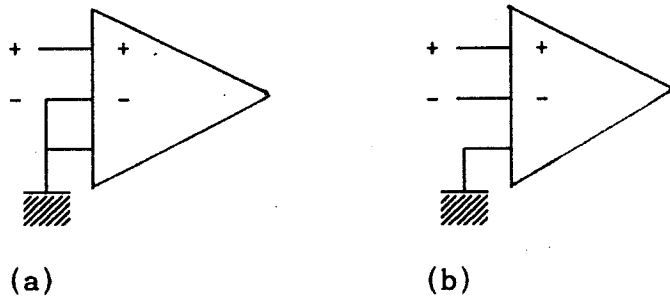


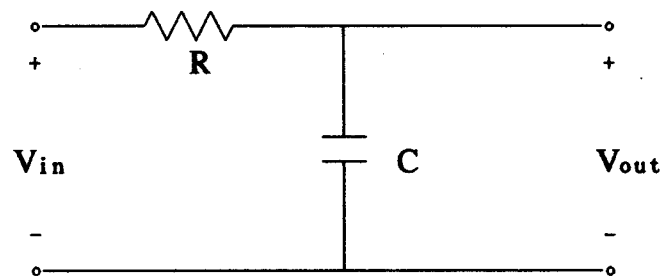
Fig. 2.7 Op. Amp. 연결의 예

일반적으로 측정장치들은 Input 단자가 +(High), -(Low), GND의 세단자로 구성되어 있으나 대부분 -(Low)와 GND는 Close시켜 쓰는 경우가 많다. 그래서 Thermo-Couple의 +, - 두 단자를 Fig.2.7(b)와 같이 연결하였더니 데이터가 엉망이었다. 이것은 Thermo-Couple선이 길고, 주위에 Noise가 심하였기 때문에 Thermo-Couple output에 비해 Noise진폭이 더 컸으므로 당연한 결과이다. 이 경우 성능이 우수한 Oscilloscope로 파형을 관찰했다면 훨씬 쉽게 원인을 알아 낼 수 있었을 것이다. 결국 Fig.2.7(a)와 같이 Ground line을 설치하여 연결한 결과 동상 Noise를 제거할 수 있었다.

실 험 2 : 아날로그 신호의 조절

1. Low-Pass Filter(Integrator)

(1) 다음과 같이 RC circuit를 만든다.



(2) 저항 $R = 10k\Omega$, 콘덴서 $C = 0.1\mu F$ 를 사용한다.

(3) Oscilloscope와 Function Generator(F.G.)를 ON시킨다.

(4) F.G.의 출력단자(LO)에 T 잭을 꽂고 리드선 둘을 연결한다.

(5) 한 리드선은 Scope의 CH1의 입력단자에 연결한 다음 F.G.의 Function스위치를 ON하며 DC Offset는 OFF시키고 Amplitude 스위치를 돌려 Scope에 sine wave의 Voltage가 peak-to-peak 1 Volt가 되도록 한다. (우선 Frequency는 1kHz가 되도록 한다.)

(6) F.G.의 다른 리드선은 RC circuit의 V_{in} 에 연결한다.

(7) V_{out} 에 Scope의 CH2를 연결한다. (* Scope Mode 선택 스위치를 CHOP에 놓는다.)

(8) Scope의 CH1, CH2의 절환 스위치를 GND에 놓고 가운데 일치시킨 다음 AC에 놓는다.

(9) 실험중에는 AC-GND를 오가며 input과 output을 구별해야 한다.

* V_{out} 은 V_{in} 보다 Amplitude가 작다.

(10) F.G.의 Frequency를 30Hz에 맞춘 다음 Scope상의 V_{out} Voltage (peak-to-peak) 값을 읽는다.

* Scope Volt/DIV의 스위치 상태를 보가며 Scope 한 눈금이 얼마인가 알아야 한다.

(11) 두 Wave의 Phase Shift를 측정한다. Phase Shift는 두파간의 Time difference를 읽음으로써 계산할 수 있다.

* Scope의 Time/DIV의 스위치 상태를 보가며 Scope의 한 눈금 크기를 안다.

(12) Frequency를 30, 100, 160, 300, 1k, 3kHz로 높여가며 V_{out} 를 읽고 Time

difference를 각각 측정한다.

- (13) F.G.의 Function을 Square wave로 바꾸어 Square wave signal에 대해서 30Hz, 3kHz의 두 주파수에서 V_{in} 1 Volt에 대해 V_{out} 을 적고 그 Wave Shape만을 스케치한다.

- (14) Data 정리

- 각 주파수에 대해 V_{in} , V_{out} 값(peak-to-peak)을 적고 저항 R, 콘덴서 C에서 f_c (cut-off-frequency)를 계산한다.
- Time difference t_ϕ 로 부터 Phase shift ϕ 를 아래식에서 구한다.

$$\phi = 360(t_\phi / T) \quad T : \text{Period}$$

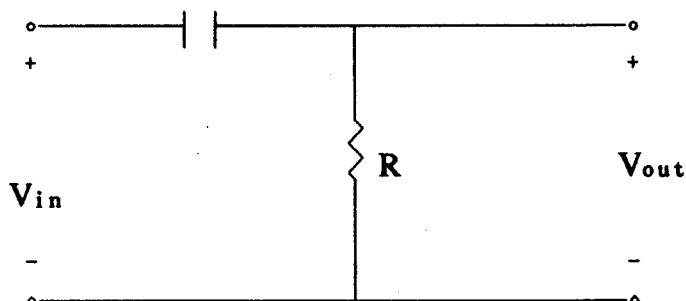
- $(V_{out}/V_{in})_{dB}$ 對 $f(\text{frequency})$ 의 Graph를 Semi-log graph paper에 그린다. [$(B/A)_{dB} = 20 \log(B/A)$]
- ϕ 對 f 의 graph를 그린다.

sine wave input					
Freq (Hz)	$V_{in}(p-p)$ (V)	$V_{out}(p-p)$ (V)	V_{out}/V_{in} (dB)	Time difference t_ϕ (sec)	Phase Shift ϕ degree
30					
100					
160					
1k					
3k					
10k					

square wave input			
Freq.(Hz)	V_{in}	V_{out}	Shape of wave
30			
3k			

2. High-pass filter(Differentiator)

(1) 다음과 같이 RC circuit를 만든다.



(2) 저항 $R=10k\Omega$, 콘덴서 $C=0.1\mu F$ 를 사용한다.

(3) 실험 1과 같이 30, 100, 160, 300, 1k, 3kHz로 높여가며 V_{in} , 1 Volt (peak-to-peak)에 대해서 V_{out} 과 Time difference를 측정한다.

(4) 실험 1 (3) - (12)의 과정을 반복하여 측정한다.

(5) F.G.의 Function을 Triangular wave로 바꾸어 Triangular wave signal에 대해서 30Hz, 3kHz의 두 주파수에서 V_{in} 1 Volt(peak-to-peak)에 대해 V_{out} 을 측정하고 그 Shape를 그린다.

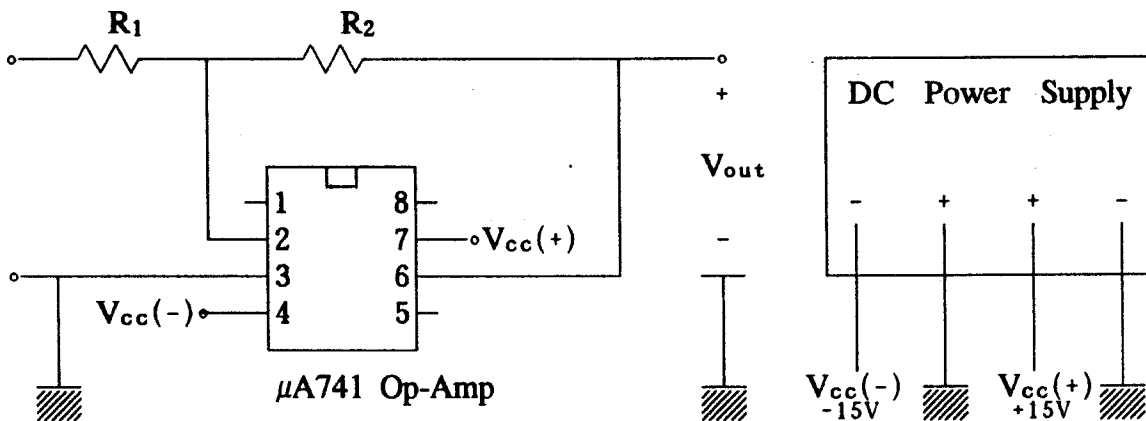
(6) Data 정리 : 실험 1의 (14)와 같이 정리한다.

sine wave input					
Freq (Hz)	$V_{in}(p-p)$ (V)	$V_{out}(p-p)$ (V)	V_{out}/V_{in} (dB)	Time difference $t_{\phi}(\text{sec})$	Phase Shift ϕ degree
30					
100					
160					
1k					
3k					
10k					

Triangular wave input			
Freq.(Hz)	V_{in}	V_{out}	Shape of wave
30			
3k			

3 The Inverting Amplifier with Op-Amp

(1) 다음과 같이 circuit를 만든다. ($R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 2k\Omega$)



(2) F.G.의 output단자 LO 단자에 잭으로 연결하여 2개의 리드선을 연결하고 리드선(1)은 V_{in} 에 연결하고 리드선(2)는 Scope CH1에 연결하여 FG의 Amplitude의 스위치를 이용해 V_{in} 이 sine파 peak-to-peak 1 Volt가 되도록 한다.

(3) V_{out} 에는 Scope CH2에 연결한다.

(4) Scope에서 CH1, CH2를 ground시켜 ground가 일치되게 한 다음 다시 AC로 올린다.

* (그 결과 Scope의 Mode를 Chop에 놓으면 V_{in} 과 V_{out} 를 겹치게 하여 볼 수 있다.)

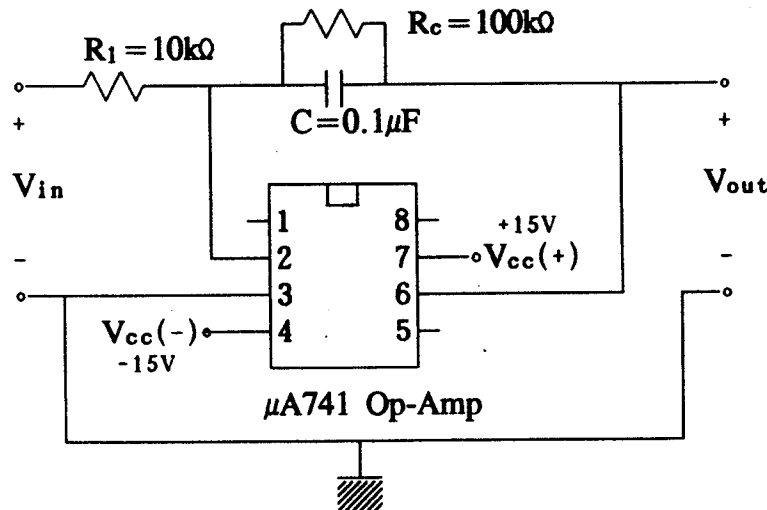
(5) V_{in} , 즉 FG의 frequency를 30Hz, 1kHz로 변화시켜가며 Scope상의 V_{out} 을 측정하고, 파형의 변화를 기록한다.

* 이때 파형을 잘 볼 수 있도록 Time/DIV 스위치를 이용한다.

heet

4 Integrator with Op-Amp

(1) 다음과 같이 circuit를 만든다.



- (2) V_{in} 을 sine과 peak-to-peak 1 Volt로 고정한다.
- (3) V_{out} 은 Scope에 연결하고 전 실험과 같이 Scope상에 V_{in} 과 V_{out} 이 겹치도록 한다.
- (4) V_{in} 의 frequency를 30, 100, 160, 1k, 3k, 10kHz로 변화시켜가며 V_{out} 의 Voltage를 측정한다. 이때 V_{in} 과 V_{out} 의 Time difference를 측정하여 주파수 변화에 따른 Phase Shift를 계산한다.
- (5) $(V_{out}/V_{in})_{dB}$ 對 f (frequency)의 graph를 Semi-log graph paper에 그린다.
- (6) sine wave대신 square wave를 V_{in} 으로 사용한다.
- (7) Square wave에서는 frequency 30Hz, 1kHz만 사용하고 V_{in} 1 Volt에 대한 V_{out} 의 Voltage를 측정하고 V_{in} 과 V_{out} 의 Wave 형태를 같이 그린다.

sine wave input					
Freq (Hz)	$V_{in}(p-p)$ (V)	$V_{out}(p-p)$ (V)	V_{out}/V_{in} (dB)	Time difference t_{ϕ} (sec)	Phase Shift ϕ degree
30					
100					
160					
1k					
3k					
10k					

square wave input			
Freq.(Hz)	V _{in}	V _{out}	Shape of wave
30			
3k			