

# 2017-1 기초전자 및 실험

## 〈목차〉

### 제 1장 기초회로 실험

1-1 kirchhoff 법칙 .....	2
1-2 Theveni Theorem .....	8
1-3 Mesh & Node Method .....	13

### 제 2장 반도체 실험

2-1 (1) 반도체 Diode의 특성실험 .....	20
(2) 반도체 Diode 실험 .....	25
2-2 (1) Gener Diode 실험 .....	29
(2) 발광 Diode(LED)의 특성실험 .....	35
2-3 (1) NPN PNP Transistor의 실험 .....	39
(2) Emitter 접지 Transistor의 특성실험 .....	44

### 제 3장 전자회로 실험

3-1 Emitter 접지 증폭기의 특성실험 .....	51
3-2 직류 증폭기 .....	60
3-3 상보 대칭형 전력 증폭기 .....	66
3-4 차등 증폭기 .....	76

# 제 1장 기초회로 실험

## 실험 1-1. 키르히호프의 전기회로 법칙

### 【목 적】

전기 회로에 흐르는 전류와 전압을 측정하여 키르히호프의 법칙을 실험적으로 증명하고, 이론적 지식을 확인한다.

### 【서 론】

전기 회로를 분석할 때는 여러 가지 기본적인 법칙들을 숙지한 후에 분석해야 한다. 키르히호프의 전기회로 법칙은 이런 법칙들 중에서도 매우 간단하면서도 효과적으로 회로를 분석할 수 있도록 도움을 주는 법칙이다. 키르히호프의 전기회로 법칙은 간단하게 키르히호프의 법칙이라고도 부르며, 크게 두 가지 법칙으로 이루어진다.

키르히호프의 첫 번째 법칙은 전류에 대한 법칙으로, 키르히호프의 전류 법칙, 분기점 법칙이라고도 부른다. 도선 상의 전류의 손실은 없다고 가정했을 때, 전선과 전선이 만나는 분기점의 전후 전류의 합, 다시 말해 들어온 전류량과 나간 전류량은 같다. 즉, 들어온 전류량과 나간 전류량을 더한 값은 0이다.

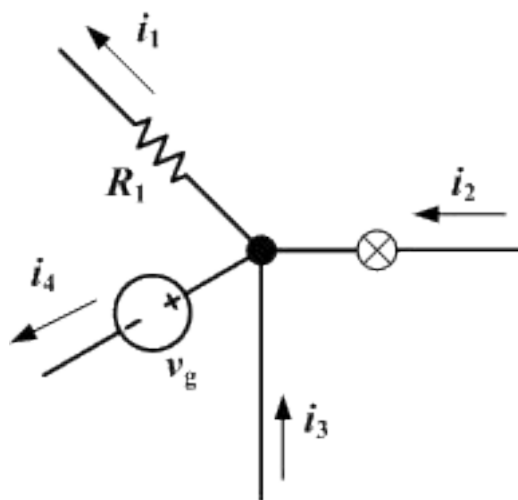


그림 1. 키르히호프의 첫 번째 법칙.

전선과 전선이 만나는 분기점 전후의 전류량의 합은 같다.

$$i_1 + i_4 = i_2 + i_3$$

키르히호프의 두 번째 법칙은 전압에 대한 법칙으로, 키르히호프의 루프 법칙이라고도 부른다. 닫혀있는 한 개의 루프 안에서 전압, 혹은 전위차의 합은 0이다. 다르게 말하면 한 개의 루프 안에서 도체에 걸린 전압의 합과, 루프에 공급된 전압의 합은 같다.

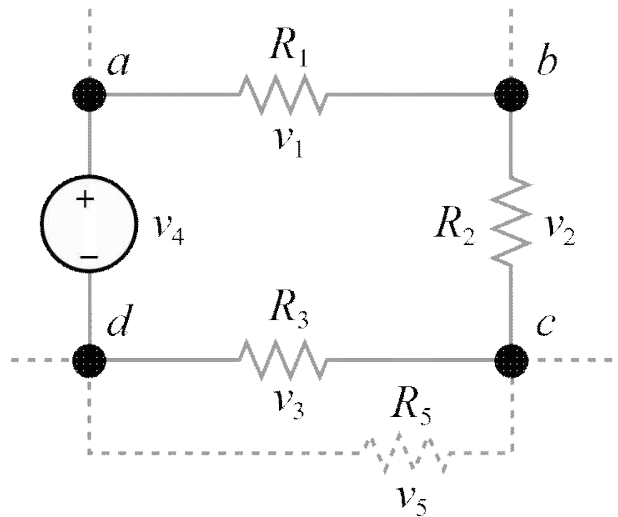


그림 2. 키르히호프의 두 번째 법칙.

닫혀있는 한 개의 루프 안에서 전압, 혹은 전위차의 합은 0이다.

$$V_1 + V_2 + V_3 - V_4 = 0$$

이번 실험에서는 회로 실험을 통해 위의 키르히호프의 법칙을 실험적으로 증명해본다.

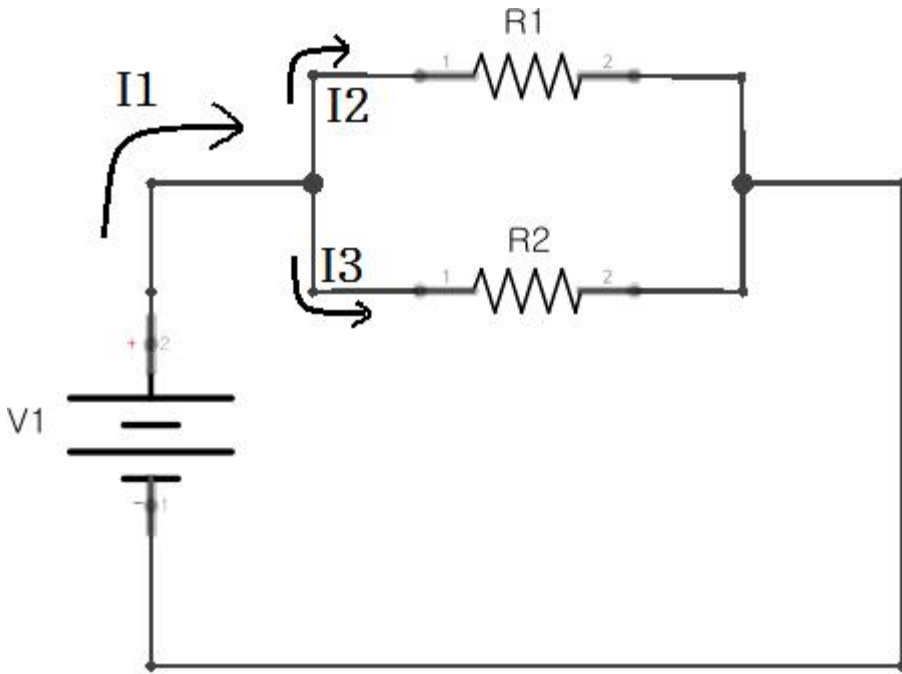
《필요 부품 및 기기》

- 전자실험기 1대
- 멀티미터
- 저항

【실험 순서】

[키르히호프의 첫 번째 법칙]

① 회로도 1과 같이 회로를 구성한다.



회로도 1. 키르히호프의 첫 번째 법칙

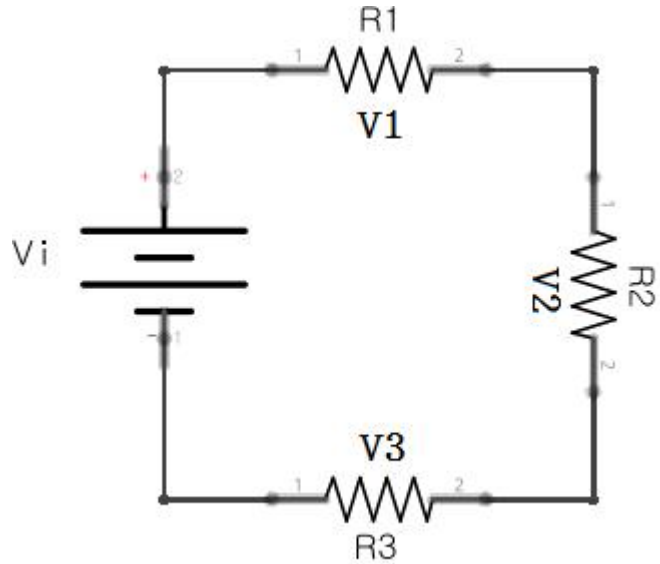
② I1~I3까지 전류를 측정한다.

③  $I_1 = I_2 + I_3$ 인지 계산해본다.

회차	전압[V]	전류[mA]			$I_1 - I_2 - I_3$
		$I_1$	$I_2$	$I_3$	
1	3				
2	6				
3	9				
4	12				

[키르히호프의 두 번째 법칙]

④ 회로도 2와 같이 회로를 구성한다.



회로도 2. 키르히호프의 두 번째 법칙

⑤ 전류와 저항의 값을 이용해 V1~V4까지 전압을 구한다.

⑥ V1~V4의 합이 처음 인가한 전압과 같은지 확인한다.

회차	$V_i$	측정된 전압[V]			$V_1 + V_2 + V_3 - V_i$
		$V_1$	$V_2$	$V_3$	
1	10				
2	12				
3	15				

## 【실험 요점】

이 실험에서는 전기 회로에서 가장 기본적이면서도 널리 사용되는 키르히호프의 법칙을 실험적으로 증명해보았다.

키르히호프의 첫 번째 법칙은 한 눈에 보기에도 굉장히 간단한 내용이지만, 모든 선형회로에 적용되는 강력한 법칙으로, 회로를 해석하고 반도체를 디자인 하는 기본 법칙으로 활용한다.

키르히호프의 두 번째 법칙은 에너지 인가와 출력, 공급과 소비의 퍼텐셜장 (에너지 보유장)에서 기초 원칙이 되지만, 실제 전자기장에서는 전하량 보존의 법칙이 성립되지 않아, 실질적으로 완전하고 완벽한 폐쇄 회로를 만들 수 없으면 루프의 법칙이 적용되는 회로는 존재할 수 없다는 한계점을 지니고 있다.



## 실험 1-2 직류회로

### Mesh-current Method & Node-voltage Method

#### 【목적】

Mesh Method와 Node Method를 이용해 전기 회로를 분석해보고, 각각의 방법의 장단점을 이해한다.

#### 【서론】

전기 회로를 분석할 때에는 키르히호프의 전기 회로 법칙을 기본으로 사용한다. 이 키르히호프의 전기 회로 법칙 이용하여 전기 회로를 분석하는 가장 기본적인 방법 중 하나가 바로 Mesh Method이다.

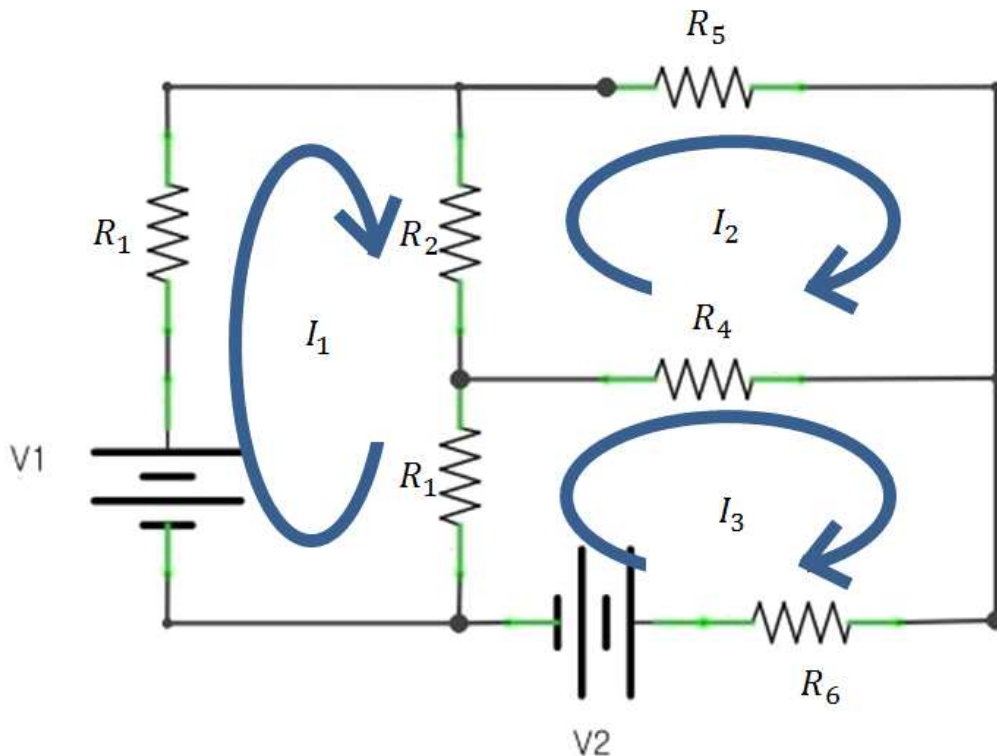


그림 1 Mesh Method (constant-voltage source)

Mesh란 그림 1의 화살표로 표현된 것처럼 닫혀있는 경로 하나하나를 말한다. 그림 1에서는 보시다시피 3개의 Mesh가 존재한다고 말할 수 있다. 그림 1의 회로는 키르히호프의 첫 번째 법칙을 만족하며, 이에 따라 각각의 Mesh에는  $I_1, I_2, I_3$ 의 전류가 흐른다. 이 때 키르히호프의 두 번째 법칙에 따라서 정리한다면

$$\begin{aligned} I_1 R_3 + (I_1 - I_2) R_2 + (I_1 - I_3) R_1 &= V_1 \\ (I_2 - I_1) R_2 + I_2 R_6 + (I_2 - I_3) R_4 &= 0 \\ (I_3 - I_1) R_1 + (I_3 - I_2) R_4 + I_3 R_6 &= -V_2 \end{aligned}$$

와 같이 나타낼 수 있으며, 이를 다시 전류에 대한 식으로 정리하면

$$\begin{aligned} (R_1 + R_2 + R_3) I_1 - R_2 I_2 - R_1 I_3 &= V_1 \\ -R_2 I_1 + (R_2 + R_4 + R_6) I_2 - R_4 I_3 &= 0 \\ -R_1 I_1 - R_4 I_2 + (R_2 + R_4 + R_6) I_3 &= -V_2 \end{aligned}$$

이 된다. 이러한 과정을 통해서 각 Mesh에 흐르는 Mesh 전류  $I_1, I_2, I_3$ 와 각각의 저항에 걸리는 전압을 구할 수 있다.

키르히호프의 전기 회로 법칙을 이용해 분석하는 또 다른 방법은 Node Method이다. 키르히호프의 두 번째 법칙을 이용하는 Mesh Method와는 달리, Node Method에서는 키르히호프의 첫 번째 법칙을 이용한다.

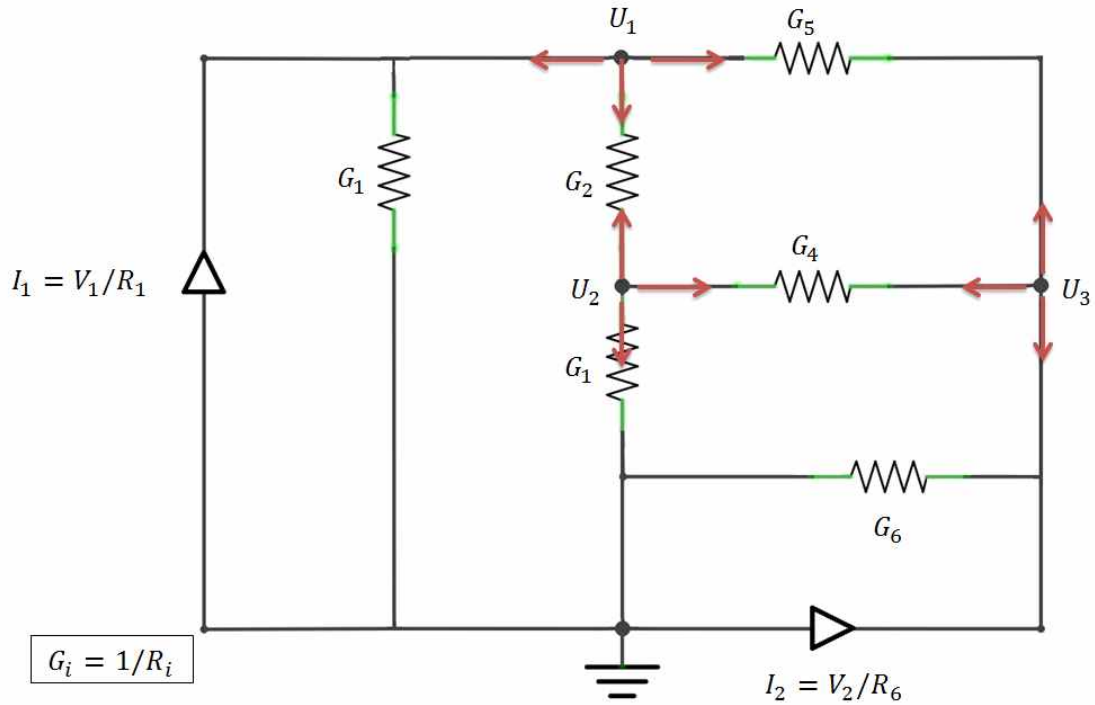


그림 2 Node Method (constant-current source)

그림 2는 Mesh Method에서 사용한 그림 1의 전기 회로에서 전압을 공급해 주던 전원을 전류로 바꾼 것이다. 그림 2에서  $G$ 는 저항  $R$ 의 역수를 뜻하며,  $U$ 는 퍼텐셜 에너지, 즉 전위를 뜻한다. Node Method를 이용하는 회로는 키르히호프의 두 번째 법칙을 기본적으로 만족한다. 회로를 키르히호프의 첫 번째 법칙에 따라 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (U_1 - 0)G_1 + (U_1 - U_2)G_2 + (U_1 - U_3)G_5 &= I_1 \\ (U_2 - U_1)G_2 + (U_2 - 0)G_3 + (U_2 - U_3)G_4 &= 0 \\ (U_3 - U_1)G_5 + (U_3 - U_2)G_4 + (U_3 - 0)G_6 &= I_2 \end{aligned}$$

위 식을 다시 퍼텐셜 에너지에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$(G_1 + G_2 + G_5)U_1 - G_2U_2 - G_5U_3 = I_1$$

$$\begin{aligned}
 -G_2 U_1 + (G_1 + G_2 + G_4) U_2 - G_4 U_3 &= 0 \\
 -G_5 U_1 - G_4 U_2 + (G_4 + G_5 + G_6) U_3 &= I_2
 \end{aligned}$$

이렇게 정리된 식을 이용하여 퍼텐셜 에너지 U, 다시 말해 전위를 구할 수 있다. 이 때 전압은 전위의 차이와 같으므로 이를 이용해 구한다.

《필요 부품 및 기기》

- 전자 실험기 (ED-2100) 1대
- 멀티미터 1대
- 저항 560Ω, 1kΩ, 1.5kΩ
- 리드선

【실험순서】

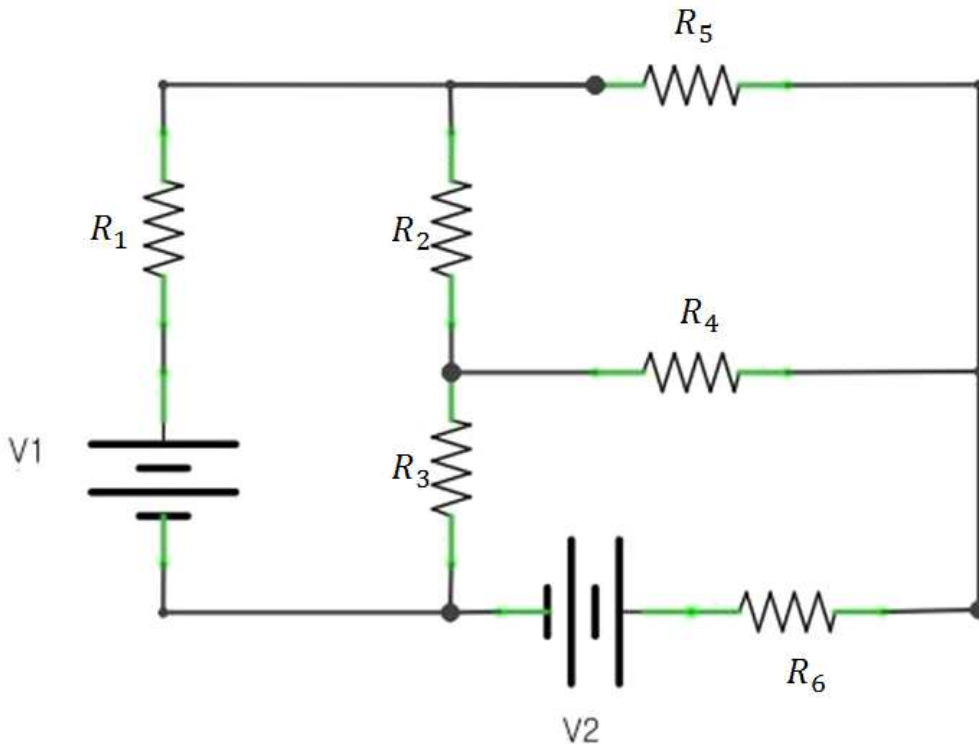


그림 3 실험 회로

1. 그림 3의 회로를 구성한다. 이때,  $V_1 = 9V$   $V_2 = 6V$   $R_1 = 1k\Omega$   $R_2 = 560\Omega$

$R_3 = 1k\Omega = R_4 = 1k\Omega$   $R_5 = 560\Omega$   $R_6 = 1.5k\Omega$  이다.

2. 멀티미터로 각 저항에 흐르는 전류를 측정하여 <표1>을 작성한다.

<Mesh Method>

3. 각 Mesh에 가상의 Mesh 전류  $I_1, I_2, I_3$ 를 부여하고, Kirchhoff's Second Law를 통해 방정식을 세워  $I_1, I_2, I_3$ 를 계산한다.

$$I_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} \quad I_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} \quad I_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

4. 계산한  $I_1, I_2, I_3$ 을 통해 각 저항에 흐르는 전류를 계산하여 <표1>의 이론값에 작성한다.

<Node Method>

5. 각 Node에 가상의 Node 전압  $U_1, U_2, U_3$ 를 부여하고, Kirchhoff's Second Law를 통해 방정식을 세워  $U_1, U_2, U_3$ 를 계산한다.

$$U_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \quad U_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} \quad U_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

6. 계산한  $U_1, U_2, U_3$ 과 Ohm's law를 이용하여 각 저항에 흐르는 전류를 계산하여 <표1>의 이론값에 작성한다.

7. 실험값과 이론값들이 일치하는지 확인해본다.

<표 1> Mesh-current Method

각 저항의 전류(mA)		$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
실험값							
이론값	Mesh						
	Node						

## 【실험 요점】

이번 실험에서는 지난 실험에서 배운 키르히호프의 전기 회로 법칙을 이용한 전기 회로 분석 방법인 Mesh Method와 Node Method를 이용해 전류와 전압을 계산해보았다. 이 방법들은 전자공학의 회로이론에서 기초 중 하나로, 전기 회로를 해석, 분석하는 데에 굉장히 기본적으로면서 광범위하게 활용된다. 실제로 회로 이론을 배울 때 회로가 어떻게 이루어지는지와 필요한 용어들을 배운 뒤에 처음으로 배우는 해석법이 Mesh Method와 Node Method이다. 회로 이론에 있어서 없어서 안 될 방법들이므로 실험이 끝난 뒤에도 잊지 않도록 반드시 복습할 것을 권장한다.

## 실험 1-3 직류회로 테브난 정리(Thevenin Theorem)

### 【목적】

회로에 흐르는 전류와 전압의 관계를 실험적으로 확인하여 테브난 정리(Thevenin Theorem)를 이해한다.

### 【서론】

테브난 정리(Thevenin Theorem)는 회로를 표준 등가 형태로 단순화시켜 주는 방법이며 이를 이용하여 직-병렬 회로를 쉽게 해석할 수 있다.

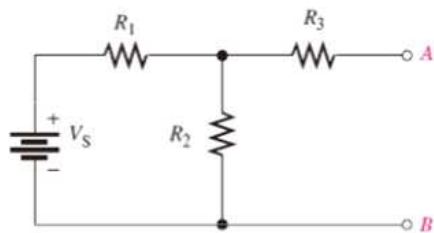


그림 1 2단자 저항성 회로

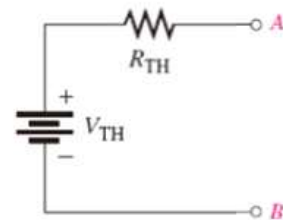
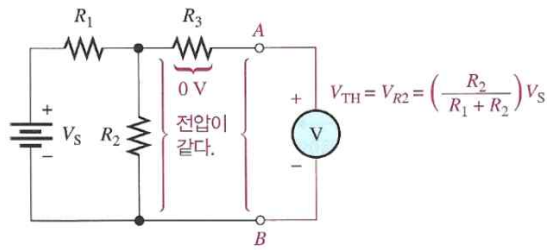


그림 2 테브난의 등가회로

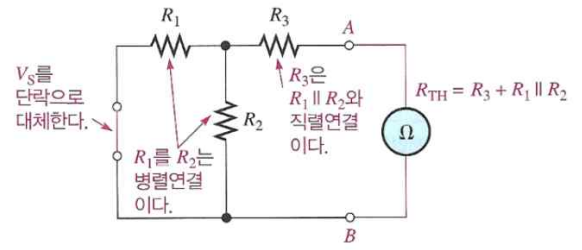
회로의 테브난 등가를 구하기 위해서는 등가 전압  $V_{TH}$ 와 등가저항  $R_{TH}$ 를 구해야 한다. 예를 들어 출력단자 A와 B 사이 회로의 테브난 등가 회로는 다음과 같이 구한다.

그림 3-(a)에서 단자 A와 단자 B사이의 전압은 테브난 등가 전압이다. 이 회로에서  $R_2$ 에 흐르는 전류는 없고 전압강하도 없으므로 A와 B사이의 전압은  $R_3$ 에 걸리는 전압과 같다, 여기서  $V_{TH}$ 는 다음과 같다.

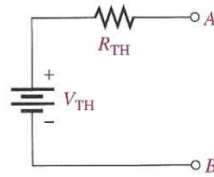
$$V_{TH} = \left( \frac{R_3}{R_1 + R_2} \right) V_s$$



(a)  $V_{TH}$  구하기



(b)  $R_{TH}$  구하기



(c) 테브난의 등가회로

그림 3 테브난 정리에 의해 회로를 단순화시킨 회로

그림 3-(b)에서 전원의 내부 저항이 0이란 것을 나타내기 위해 단락시킨 것으로 대체하였을 때, 단자 A와 B사이의 저항이 테브난 등가 저항이다. 이 회로에서, A와 B 사이의 저항은  $R_1$ 과  $R_3$ 의 병렬 연결에  $R_2$ 이 직렬로 연결된 것이다. 결과적으로  $R_{TH}$ 는 다음과 같다.

$$R_{TH} = R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}$$

테브난 등가 회로를 그림 3-(c)에 보였다.



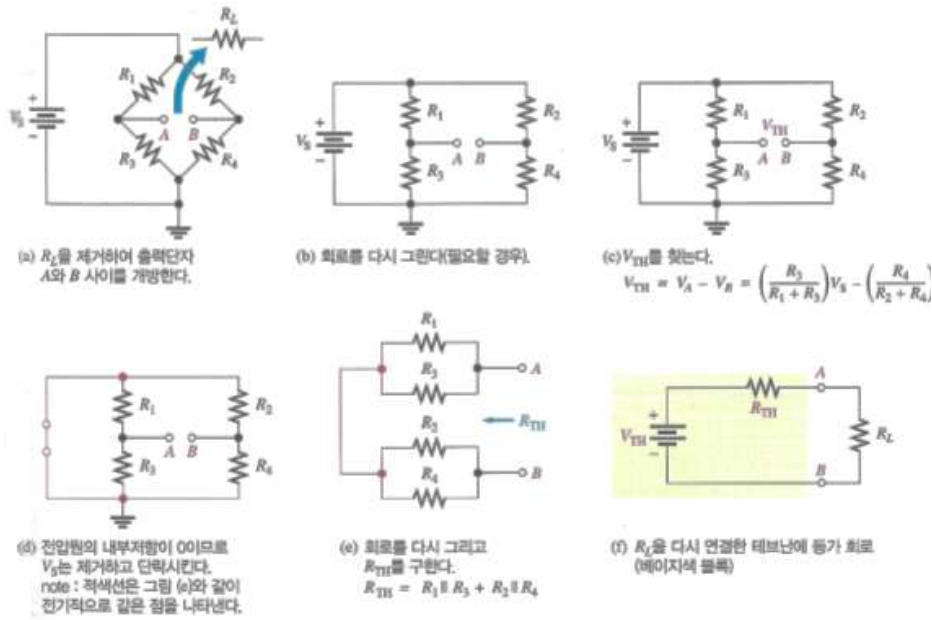


그림 4 테브난 정리를 적용하여 휘트스톤 브리지를 단순하게 만들기

테브난 정리를 휘트스톤 브리지 회로에 적용시킬 때 그 유용성을 잘 알 수 있다. 예를 들어 그림 에서와 같이 부하저항이 휘트스톤 브리지의 출력점에 연결된 경우를 살펴보자. 출력 저항이 출력 단자 A와 B 사이에 연결되어 있는 경우 직-병렬 관계가 간단치 않아 브리지 회로는 해석하기가 대단히 어렵다. 어느 저항도 다른 저항과 직렬도 아니고 병렬도 아니다.

그림에서 단계적으로 보인 것처럼 테브난의 정리를 이용하여 브리지 회로를 부하저항에서 바라본 등가 회로를 간단하게 만들 수 있다. 그림에 보인 각 단계들을 주의 깊게 살펴보자. 브리지의 등가회로만 만들면, 부하 저항들의 전압과 전류는 옴의 법칙을 이용하여 쉽게 구할 수 있다.

### 【실험 기기】

- 전자 실험기 (ED-2100) 1대
- 멀티미터 1대
- 저항 100Ω, 220Ω, 330Ω, 470Ω  
1kΩ, 3.3kΩ

- 리드선

【실험순서】

1. ED-2100의 전원 스위치가 꺼져 있음을 확인하고서 ED-2100을 전원에 꽂는다.

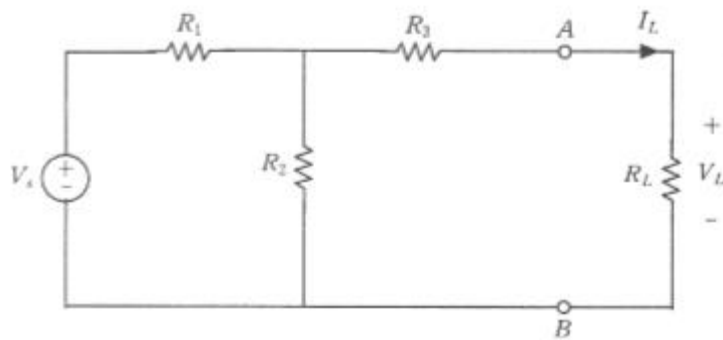


그림 7-4 테브난 정리의 실험 회로

(  $V_s = 5[V]$ ,  $R_1 = 1[k\Omega]$ ,  $R_2 = 330[\Omega]$ ,  $R_3 = 220[\Omega]$  )

2. 그림 5의 회로를 구성한다.
3. <표 1>의 각 부하 저항에 대해  $V_L$ 과  $I_L$ 을 측정 한 후, 그 결과를 <표 1>에 기록하여라.
4. 두 단자 A, B 사이의 부하 저항을 제거하여 두 단자 사이에 인가되는 테브난 등가 전압  $V_{TH}$ 을 측정하고, 입력전원을 단락시킨 다음 두 단자 사이에 나타나는 테브난 등가저항  $R_{TH}$ 를 측정하여 <표 1>에 기록한다.
5. <표 1>의 각 부하 저항에 대해 (4)에서 측정된 등가전압과 등가저항을 사용하여 테브난 등가회로를 결선한 후,  $V_L$ 과  $I_L$ 을 측정하여 그 결과를 <표 1>에 기록하여라.

<표 1> 테브난 정리를 위한 실험

부하저항( $R_L$ )	원회로		테브난 등가 회로	
	$V_L$	$I_L$	$V_L$	$I_L$
470 $\Omega$				
1k $\Omega$				
3.3k $\Omega$				
무부하				
$V_{TH}$				
$R_{TH}$				

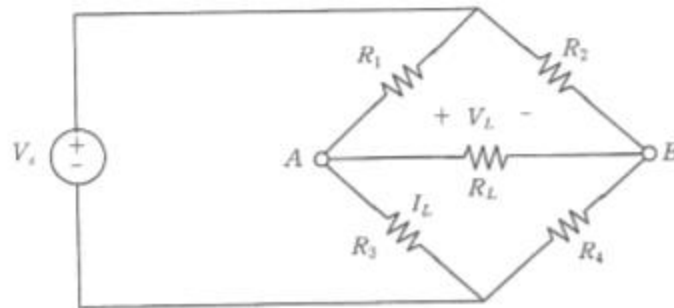


그림 7-5 브릿지 회로

(  $V_s = 5[V]$ ,  $R_1 = 100[\Omega]$ ,  $R_2 = 220[\Omega]$ ,  $R_3 = 330[\Omega]$ ,  $R_4 = 470[\Omega]$  )

6. 그림 6의 브릿지 회로를 구성한다.
7. 그림 6의 회로에 대해 (3)~(4)을 반복하고 등가 전압  $V_{TH}$ 와 등가저항  $R_{TH}$ 의 측정치를 <표 2>에 기록하여라.
8. 그림 6의 회로에 대해 (5)를 반복하고 그 결과를 <표 2>에 기록하여라.

<표 2> 브리지 회로에 대한 테브난 등가회로 실험

부하저항( $R_L$ )	원회로		테브난 등가 회로	
	$V_L$	$I_L$	$V_L$	$I_L$
470Ω				
1kΩ				
3.3kΩ				
무부하				
$V_{TH}$				
$R_{TH}$				

**【실험요점】**

저항성 회로에 대한 테브난의 등가 회로는 등가 저항과 등가 전원의 직렬 연결 형태이다. 테브난 정리의 중요성은 어떤 외부 부하가 연결되어 있어도 그것을 간단한 등가회로로 대체할 수 있다는 것이다. 테브난 등가회로의 단자 사이에 연결된 부하 저항의 전압과 전류값은 원래의 회로에서와 똑같은 값을 갖는다.

테브난 정리의 적용을 단계별로 요약하면 다음과 같다.

테브난 등가 회로를 구하려고 하는 두 단자 사이를 개방시킨다. (그 사이의 부하를 제거한다.)

1단계 개방된 두 단자 사이의 전압  $V_{TH}$ 를 구한다.

2단계 모든 정원을 내부 저항으로 대체하고, 두 단자 사이의 저항  $R_{TH}$ 를 구한다(이상적인 전압원은 단락으로 대체한다.)

3단계  $V_{TH}$ 와  $R_{TH}$ 를 직렬로 연결하여 원래의 회로에 대한 테브난 등가를 완성시킨다.

4단계 1단계에서 제거한 부하 저항을 테브난 등가 회로의 단자 사이에 연결한다. 옴의 법칙을 이용하여 부하전류와 부하 전압을 계산한다. 그 값들은 본래 회로의 부하 전류 및 부하 전압과 같은 값을 갖는다.

# 제 2장 반도체 실험

# 실험 1. 반도체 다이오드의 특성 실험

## 【목 적】

대표적인 게르마늄(Germanium)과 실리콘(Silicon) 다이오드의 특성에 대해 조사한다.

## 【서 론】

반도체 다이오드는 한쪽 방향으로만 전류를 잘 통과시키지만 반대 방향으로 거의 전류를 통과시키지 않는다. 이것은 순방향 저항은 낮은 반면에 역방향 저항은 매우 높기 때문이다. 모든 반도체 다이오드는 대체적으로 단방향 특성을 가지고 있다. 그러나 이와 같은 다이오드는 독특한 광범위한 특성을 가지고 있다.

이 실험에서는 대표적인 게르마늄과 실리콘 다이오드에 대한 전압대 전류의 곡선(전압 전류 곡선)을 그려 가며 구체적으로 그 특성을 조사한다.

### 《필요 부품 및 기기》

• 전자 실험기 (ED-2100)	1대
• 전압계	1대
• 실리콘 다이오드	1개
• 게르마늄 다이오드	1개
• 저항 1k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개
• 저항 100k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개

## 【실험순서】

1. ED-2100의 전원이 꺼져 있는가를 확인한 다음 전원 Plug를 꽂는다.
2. 그림 1-1의 회로를 ED-2100에 그림 1-2와 같이 배선한다. 다이오드를 ED-2100에 접속시킬 때는 그림 1-2에서와 같이 극성에 주의해야 한다.

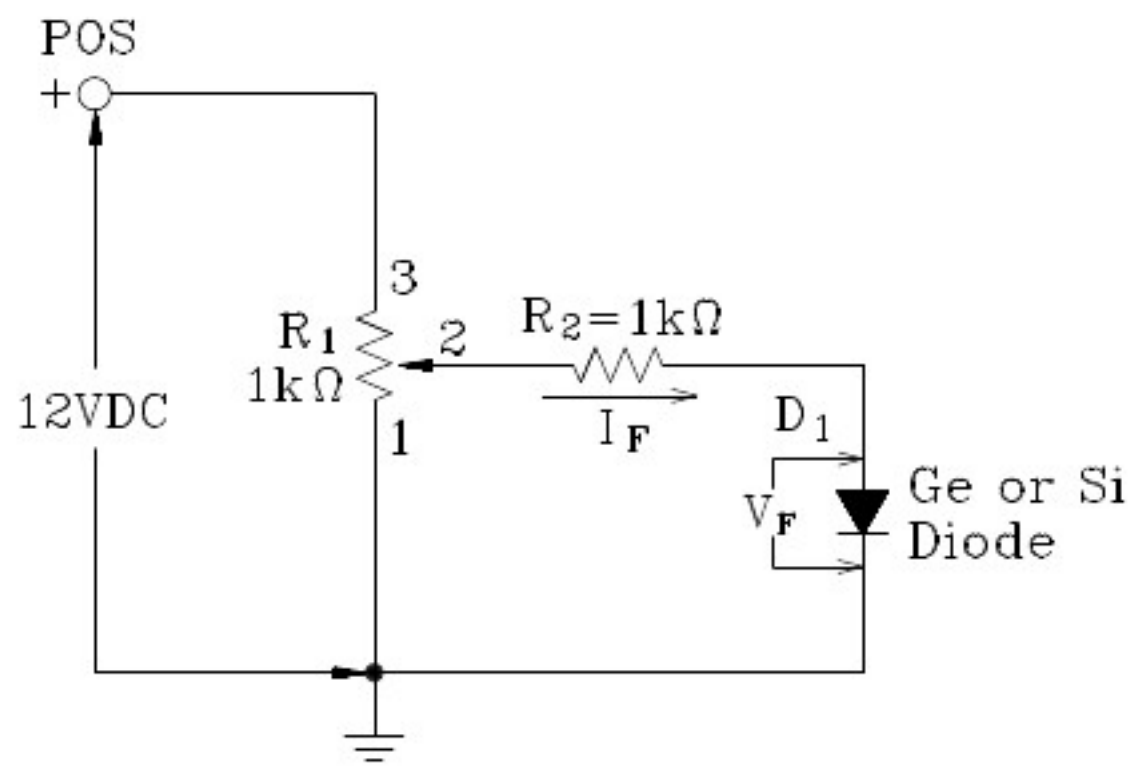


그림 1-1 다이오드 실험회로

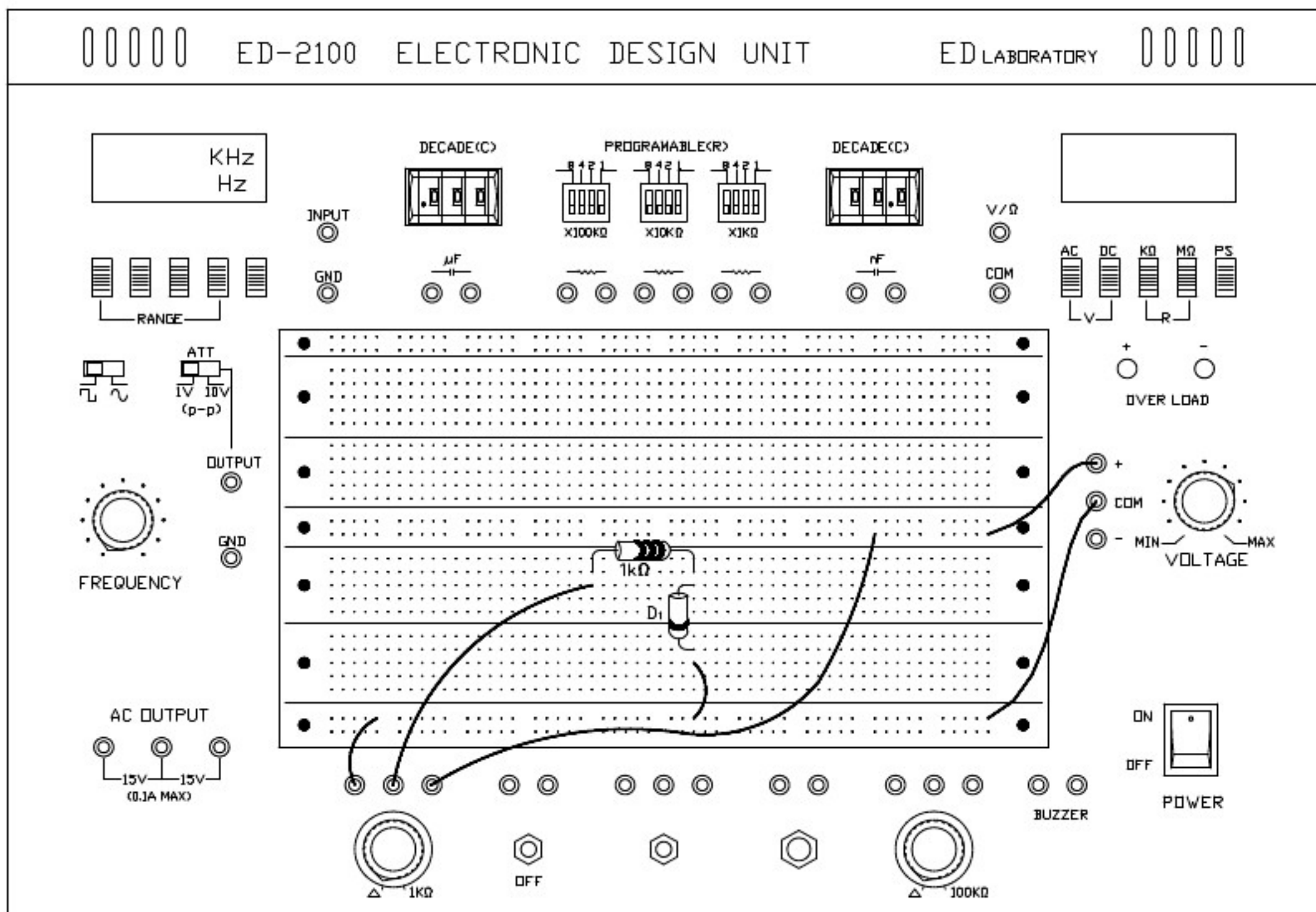


그림 1-2 다이오드 실험회로 배선도

- ED-2100의 전원 스위치를 켜고 VOLTAGE의 (+)전압 조정 손잡이를 돌려 (+)와 (COM)단자간에 정확히 12V가 되게 한다. 이때 ED-2100의 1kΩ의 VR는 다이오드 D<sub>1</sub>과 저항 R<sub>2</sub>에 가해지는 전압을 조정하게 된다. 전원이 전위차계를 통하여 다이오드 D<sub>1</sub>에 인가되면 가변 전압은 다이오드의 순방향 바이어스 전압이 되며 저항 R<sub>2</sub>는 다이오드 D<sub>1</sub>에 흐르는 순방향 전류를 안전 전류로 제한하는 역할을 한다.
- 전압계를 R<sub>2</sub>양단에 접속하고 R<sub>1</sub>을 조절하여 R<sub>2</sub>양단 전압이 0.1V가 되게 하여 다이오드의 순방향 전류가 0.1mA가 흐르게 한다. 이와 같은 현상은 다음과 같이 설명할 수가 있다. 만약에 R<sub>2</sub>(1kΩ) 저항에 0.1V의 전압 강하가 생겼다면 옴의 법칙에 의해서 I = 0.1mA가 되어 즉 전압계의 눈금은 등가적으로 회로의 전류를 mA로 나타내는 결과가 된다.
- 전압계로 D<sub>1</sub>양단의 전압을 그림 1-2에서와 같이 측정하여 도표 1-1의 해당 I<sub>F</sub>란의 V<sub>F</sub>-G<sub>e</sub>(게르마늄 다이오드인 경우)란에 기입한다.

I <sub>F</sub> (mA)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
V <sub>F</sub> (V) G <sub>e</sub>											
V <sub>F</sub> (V) S <sub>i</sub>											

도표 1-1 I-V(전류-전압) 기록표

- 실험순서 4 및 5에서와 같은 방법으로 도표에 기재된 I<sub>F</sub>의 각 전류 값에 대하여 V<sub>F</sub>-S<sub>i</sub>(실리콘 다이오드인 경우)를 구하여 도표를 완성하라.
- 다음에는 실험순서 6에서 완성한 도표로서 그림 1-3 그래프에 I-V곡선을 작성하라. 이 I-V 곡선은 다이오드의 순방향 전류와 순방향 바이어스 전압과의 관계를 나타낸다.
- ED-2100의 전원 스위치를 끄고 D<sub>1</sub>의 극성을 반대로 돌려서 ED-2100에 다시 접속시킨다. 또 1kΩ저항 R<sub>2</sub>를 100kΩ으로 바꾸어 접속시킨다. 여기서 회로 구성도는 여전히 그림 1-2와 같고 다이오드 D<sub>1</sub>의 극성이 바뀌어졌기 때문에 B<sub>1</sub>의 바이어스 전압은 역방향이 되어 R<sub>2</sub>(100kΩ으로 바뀌어 졌음)를 통과하여 가하여 진다.



$V_R = 12V$	
$I_R$ ( $\mu A$ ) $G_e$	
$I_R$ (nA) $S_i$	

도표 1-2 실험순서 9 및 10의 기록표

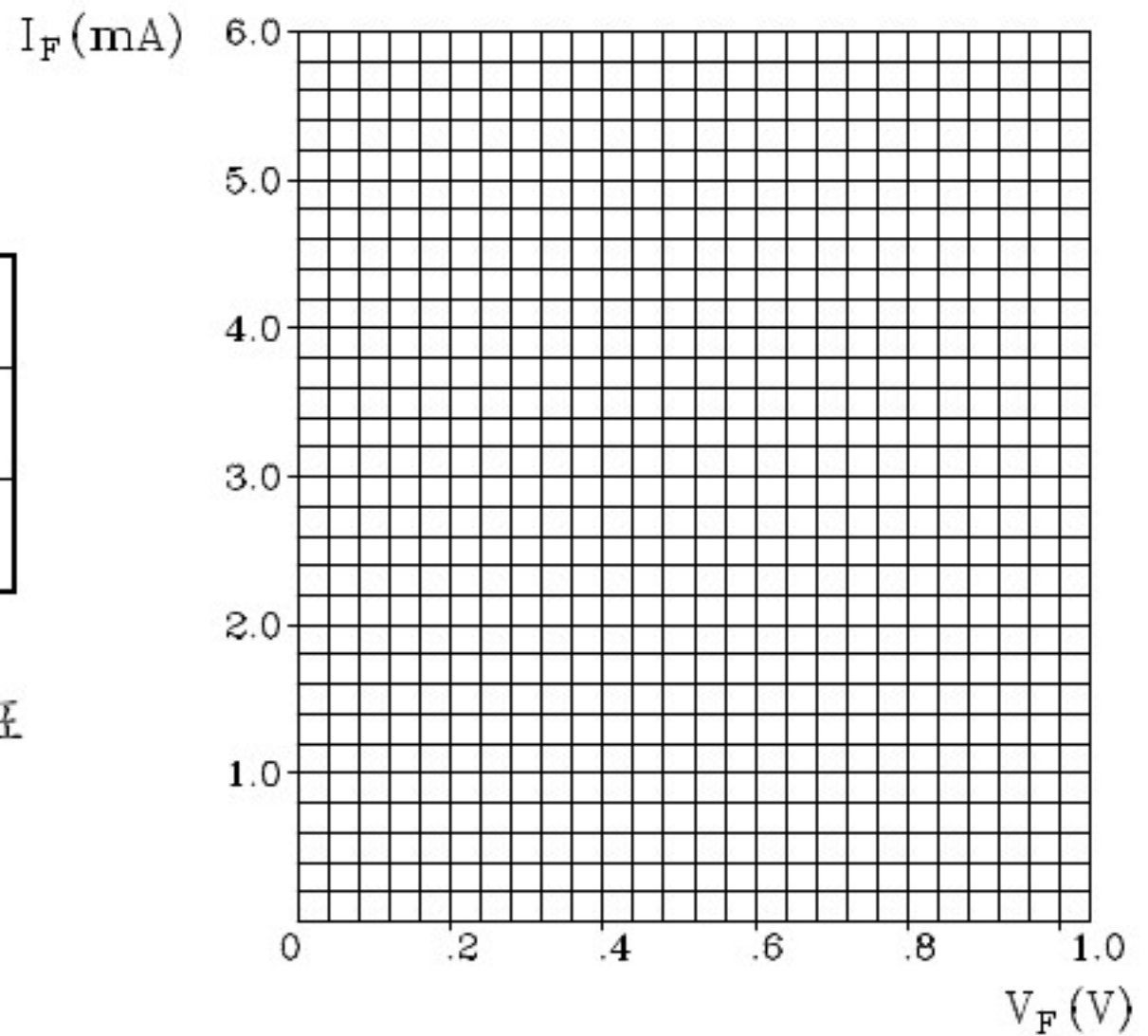


그림 1-3 I-V 곡선

9. ED-2100의 전원 스위치를 켜고 VOLTAGE의 (+)전압 조정 손잡이를 시계방향으로 끝까지 돌려놓는다.

이제  $D_1$  양단의 역바이어스 전압( $V_R$ )을 측정해 본다. 전압계를 그림 1-1에서와 같이  $D_1$  양단에 접속하고  $R_1$ 을 서서히 시계 방향으로 돌려 가면서 다이오드 역바이어스 전압이 12V가 될 때까지 돌린다.

10. 그림 1-2에서 보인 것과 같이 전압계로  $R_2$  양단의 전압을 측정하여 옴의 법칙으로 전류를 계산한다.

$$I = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{V_{R2}}{100000}$$

여기서  $R_2$ 와  $D_1$ 이 직렬로 되어 있고  $D_1$ 에 역바이어스 전압이 걸려 있으므로 계산된 값은  $D_1$ 을 통하여 흐르는 역방향 전류를 나타낸다. 여기서 산출된 전류를 도표 1-2에 기록하라. 도표 1-2에 기록된 전류는  $V_R$  전압이 12V가 되었을 때  $D_1$ 에 흐르는 역방향 전류를 나타낸다.

이 역방향 전류는 매우 적어서 특히 Si 다이오드에서는 측정하는데 곤란하다.

11. ED-2100의 전원 스위치를 끄고 게르마늄 다이오드( $D_1$ )를 회로에서 떼어낸 다음 대신에 실리콘 다이오드를 회로에 연결하고 100k $\Omega$  저항 대신에 1k $\Omega$  저항으로 교체한다. 이렇게 되면 회로는 다시 그림 1-1과 같이되고 회로 구성은 그림 1-2와 같이된다.

12. 다시 실험순서 3에서 10까지를 게르마늄 다이오드 대신 실리콘 다이오드에 대해서 실험해 보자. 이때 실험 결과를 도표 1-1의 해당 공란(실리콘)에 기록하고 그림 1-3의 그래프를 그릴 때는 도표에 실리콘이라고 표시해 둔다. 실험순서 10이 끝났으면 ED-2100의 POWER 스위치를 끈다.

## 【요점정리】

지금까지의 실험에서 처음은 게르마늄 다이오드에 대해서 다음에는 실리콘 다이오드에 대해서 순방향 바이어스 전압을 여러 가지로 가하여 전류를 0.1mA에서 6mA범위로 조정하였다. 여기서 구한 전압과 전류의 관계를 도표에 그려 게르마늄 및 실리콘 다이오드에 관한 특성 곡선을 구하였다. 이 곡선은 또한 다이오드 양단의 순방향 바이어스가 증가함에 따라서 순방향 전류( $I_F$ )가 서서히 증가하다가 어느 점에 와서는 급격히 직선적으로 비례하여 증가함을 볼 수 있다. 여기서 전류가 급격히 증가하기 시작하는 점을 곡선의 무릎(Knee of curve)이라고 한다.

이 곡선의 무릎점(Knee point)은 게르마늄 다이오드에서는 0.3~0.4V정도이고 실리콘 다이오드에서는 0.6~0.7V정도가 된다. 무릎점 이하에서의 각 다이오드의 V-I곡선에서 전류 및 전압의 관계는 비직선적이지만 무릎점 이상에서는 전류가 순방향 바이어스 전압에 정비례함을 알 수 있다.

그림 1-3에서 그린 곡선을 관찰하여 보면 같은 전류에 대해서 게르마늄 다이오드가 실리콘 다이오드보다 전압이 뚜렷이 적음을 알 수 있다.

또한 순방향 전압이 고정되어 있지 않고 순방향 전류에 비례하여 변화하고 있으며 이 변화분은 광범위한 전류 변화에 비하여 극히 적은 순방향 전압이 변화하고 있음을 알 수 있다. 그렇기 때문에 대부분의 응용 분야에서는 순방향 전압을 일정하게 보고 있다.

다음 실험에서는 게르마늄 다이오드와 실리콘 다이오드의 역방향 전압에 대해서 실험을 하여 이들 다이오드의 역방향 및 누설 전류를 측정하였다.

여기서 게르마늄 다이오드의 역방향 누설 전류는 실리콘 다이오드보다 큼을 알 수 있다.

## 실험 2. 반도체 다이오드 실험

### 【목 적】

반도체 다이오드의 시험 방법을 숙달한다.

### 【서 론】

반도체 다이오드는 여러 가지 방법으로 시험할 수 있다. 오실로스코프를 이용한 특성 곡선 트레이서나 특별히 제작된 트랜지스터 시험기를 이용하여 다이오드의 특성 및 상태를 결정할 수 있다. 그러나 대부분의 경우 일차적으로 다이오드의 특성을 알기 이전에 이들 다이오드의 양부를 간단히 알 필요가 있다. 그러므로 다이오드의 양부를 빠르고 쉽게 분별하기 위하여 표준형 저항계를 이용하면 이들 다이오드의 양부를 알 수 있다. 이 실험에서는 이와 같은 방법에 대해서 이론과 시험을 해 본다.

#### 《필요 부품 및 기기》

• 전자 실험기 (ED-2100)	1대
• 저항계	1대
• 게르마늄 다이오드	1개
• 실리콘 다이오드	1개

### 【실험순서】

1. 이 실험에서는 저항계를 사용하여 게르마늄 다이오드를 시험한다. 저항계의 측정 범위를 가장 낮은 저항을 측정할 수 있도록( $R \times 1$ )하고 저항계의 리드를 그림 2-1과 같이 다이오드 양단에 접속시킨다. 여기서 검은색 리드는 다이오드 캐소드(Cathode)쪽에, 빨간색 리드는 애노드(Anode)쪽에 접속시켜서 다이오드의 순방향 저항( $R_F$ )을 측정하게 된다.

이때 저항계의 눈금이 너무 낮게 지시되면 저항계의 지시가 계기의 중간쯤 되도록 저항 측정 범위를 한 단계( $R \times 10$ )올려서 계기의 지시된 저항 값을 아래 도표 2-1에 기록한다.

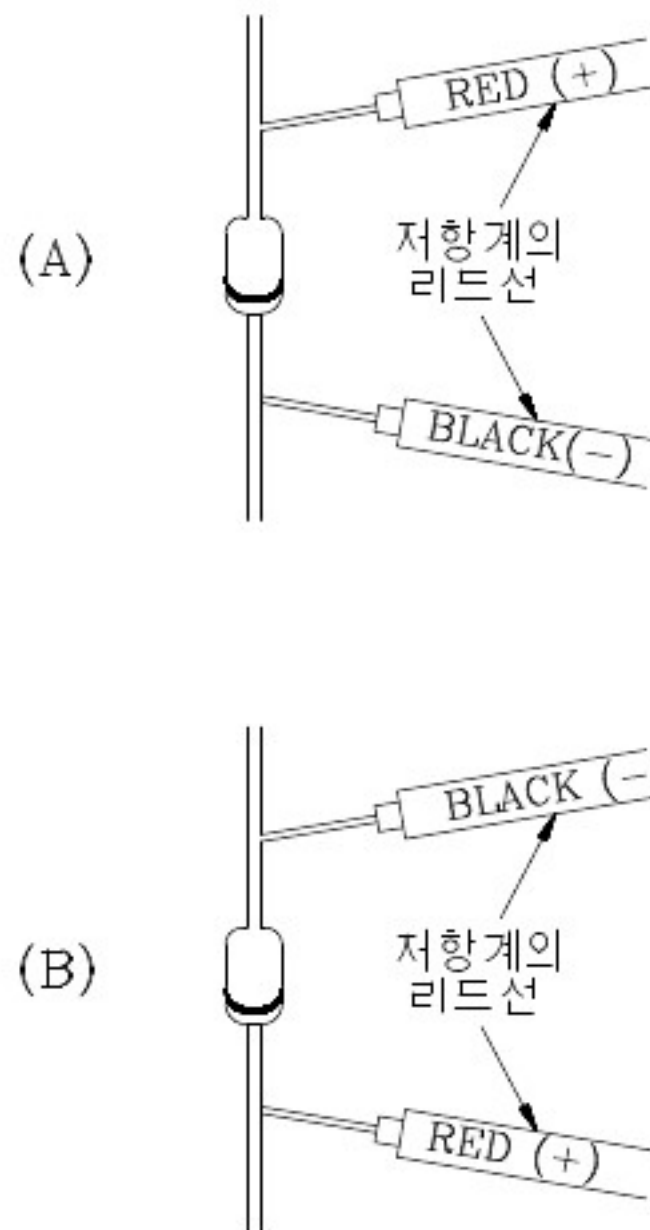


그림 2-1 다이오드의 순방향 및 역방향저항 측정법

- 이번에는 저항계의 저항 측정 범위를  $R \times 10K$  또는  $R \times 100K$ 에 놓고 저항계를 그림 2-1B와 같이 다이오드에 접속시킨다. 여기서 저항계의 각 리드의 접속은 실험순서 1의 반대가 되어 다이오드의 역방향 저항( $R_R$ )을 측정하게 된다. 여기서 계기의 지시가 너무 높거나 낮을 경우 저항계의 측정 범위를 낮추거나 높여서 계기의 지시가 중간에 오게 하여 계기의 지시된 저항 값을 아래 도표 2-1에 기록하라.
- 실험순서 1 및 2를 실리콘 다이오드에 대해서 행하고 순방향 저항( $R_F$ ) 및 역방향 저항( $R_R$ )을 도표 2-1에 기록하라.

DIODE	$R_F$	$R_R$	$R_R/R_F$
$G_e$			
$S_i$			

도표 2-1 다이오드의 순방향 및 역방향 저항 측정표

- 도표 2-1에 기록된 각 다이오드의 순방향 및 역방향 저항비( $R_R/R_F$ )를 산출하여 도표 2-1에 기록하라.

## 【요점정리】

지금까지의 실험에서 게르마늄 다이오드의 순방향 저항은 대단히 낮아서 그 값은 수 옴에서 수백 옴 정도가 된다. 그러나 역방향 저항은 대단히 높아서 100kΩ이상이고 높을 경우는 수 MegΩ이나 된다.

또 다음 실험에서 실리콘 다이오드의 순방향 저항은 게르마늄 보다 높지만 수백Ω에 지나지 않고 역방향 저항은 게르마늄 다이오드 보다 아주 높아서 계기 상으로는 거의 무한대의 저항 값을 지시하게 된다.

역방향대 순방향 저항비( $R_R/R_F$ )는 다이오드가 얼마나 순방향으로 전류를 잘 흐르게 해주고 또 역방향으로 얼마나 전류를 차단하는가를 나타낸다.

역방향대 순방향 저항비가 높을수록 좋은 다이오드이다. 실험순서 4에서 실리콘 다이오드의 저항비가 게르마늄 다이오드의 저항비보다 훨씬 높으며 그 이유는 게르마늄 다이오드에서는 많은 누설 전류가 흐르기 때문이다.

또한 다이오드의 어느 방향의 저항 값도 저항계의 측정 범위의 위치에 따라 저항 값이 달라진다. 그림 2-2A는 다이오드의 순방향 저항 측정시 등가 회로이며 여기서 저항계의 -리드선이 다이오드의 캐소드에 연결되고 +리드는 다이오드의 애노드에 연결되어 있음을 알 수 있다.

저항계에는 그림에서와 같이 그 내부에 저항 회로와 전지가 연결되어 있으며 여기서 전지는 다이오드와 내부저항에 적은 량의 순방향 전류를 흐르게 한다.

만약 저항계에서 다른 측정 범위를 사용하면 계기내의 내부 저항 값이 변화하며 따라서 다이오드에 흐르는 전류도 변하게 되어 저항계의 측정 범위에 따라 각기 다른 다이오드의 순방향 저항 값을 나타내게 되고 또 다른 저항계를 사용해도 다른 순방향 저항값을 갖게 된다. 이와 같은 현상은 그림 2-2B와 같이 다이오드의 역방향 저항측정에서도 일어난다.

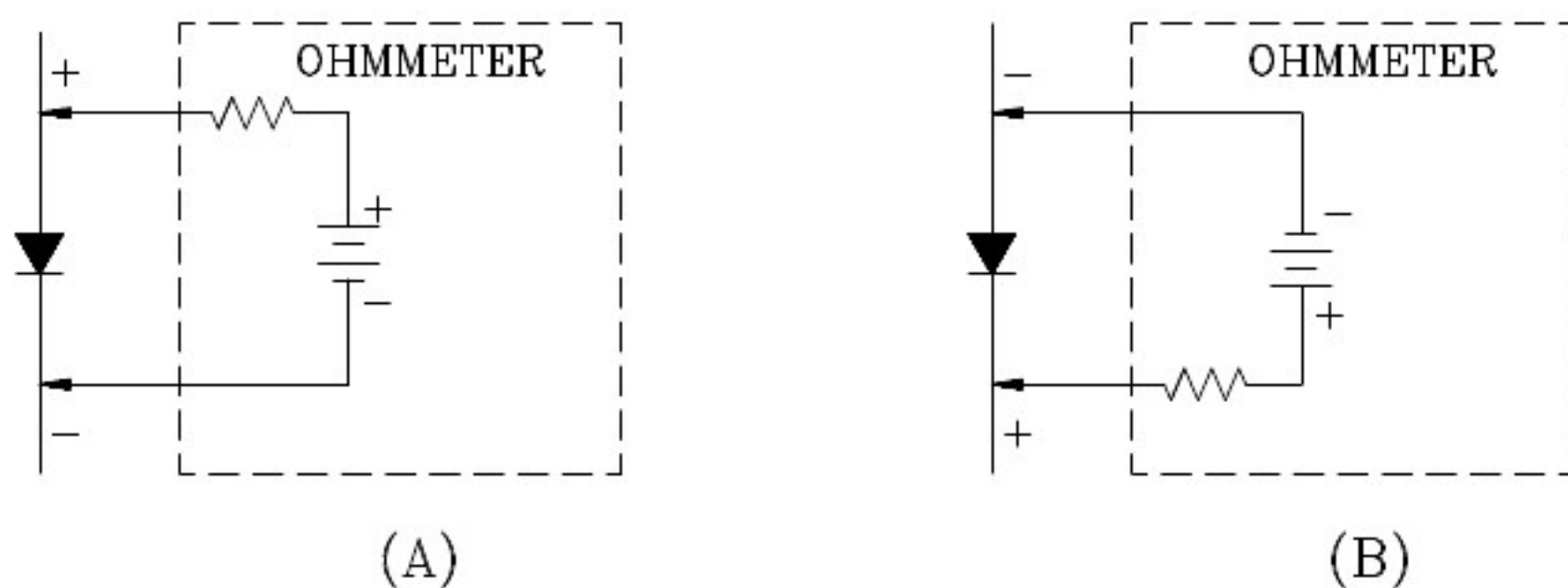


그림 2-2 저항계의 등가 회로

그림 2-2에서와 같이 저항계의 검은 색 리드는 저항계의 내부 전지의 -쪽에 연결되어 있고 적색 리드는 내부 전지의 +쪽에 연결되어 있다.

그러나 대개의 경우 검은색 리드는 +가 되고 적색리드는 -가 되어 그림 2-1에서 리드에 다이오드의 연결이 반대로 되게 하면 된다. 정확한 다이오드 시험은 저항계의 내부 회로에 관계없이 어떤 저항계로도 할 수 있다.

# 실험 3. 제너 다이오드 실험

## 【목 적】

제너 다이오드의 특성에 대하여 관찰하고 또한 제너 다이오드의 전압 안정기로서 응용해 보고자 한다.

## 【서 론】

이 실험에서는 일반적인 저 전력 제너 다이오드에 관해 그 동작 특성을 실험하고 순방향 및 역방향 바이어스 상태에서 기능을 관찰한다.

다음에는 이 다이오드를 전압 안정기로서 사용하는 실험을 한다. 또한 입력 전압과 부하 변화에 대한 보상 회로의 기능을 보여준다.

### 《필요 부품 및 기기》

• 전자 실험기 (ED-2100)	1대
• 전압계	1대
• 저항 100Ω, 1/4W 5%	1개
• 저항 200Ω, 1/4W 5%	2개
• 저항 470Ω, 1/4W 5%	1개
• 저항 1kΩ, 1/4W 5%	1개
• 제너 다이오드 6V ±10%	1개

## 【실험순서】

1. 그림 3-1의 회로를 그림 3-2와 같이 회로를 ED-2100에 접속시킨다.
2. 正(+) 전압 조정 손잡이를 시계 방향 끝까지 돌려 15V 전압이 ED-2100에 있는 1 kΩ의 VR에 걸리게 한다.  
이 VR는 직렬로 되어 있는 200Ω 저항과 제너 다이오드의 인가전압 조정용으로 사용된다.

그림 3-1에서 제너에 인가된 전압의 극성을 관찰하여 순방향 또는 역방향 바이어스 중 어느 것인가 생각해 보라.

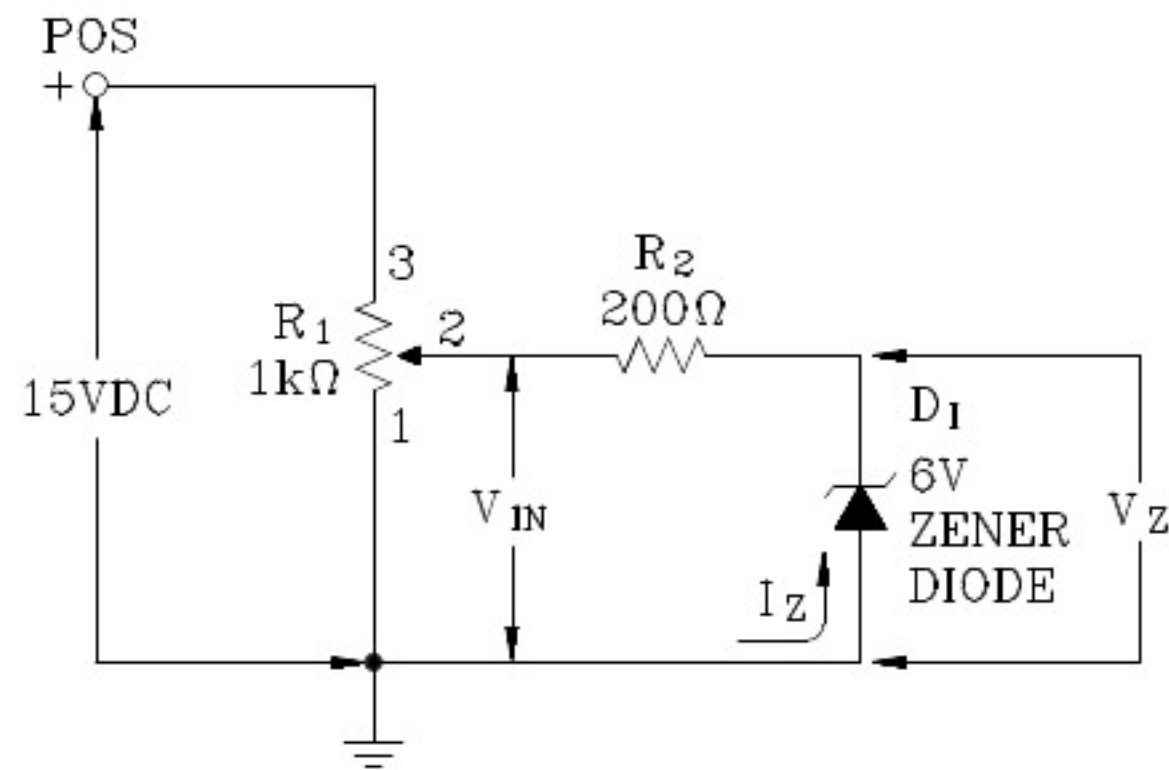


그림 3-1 실험 회로

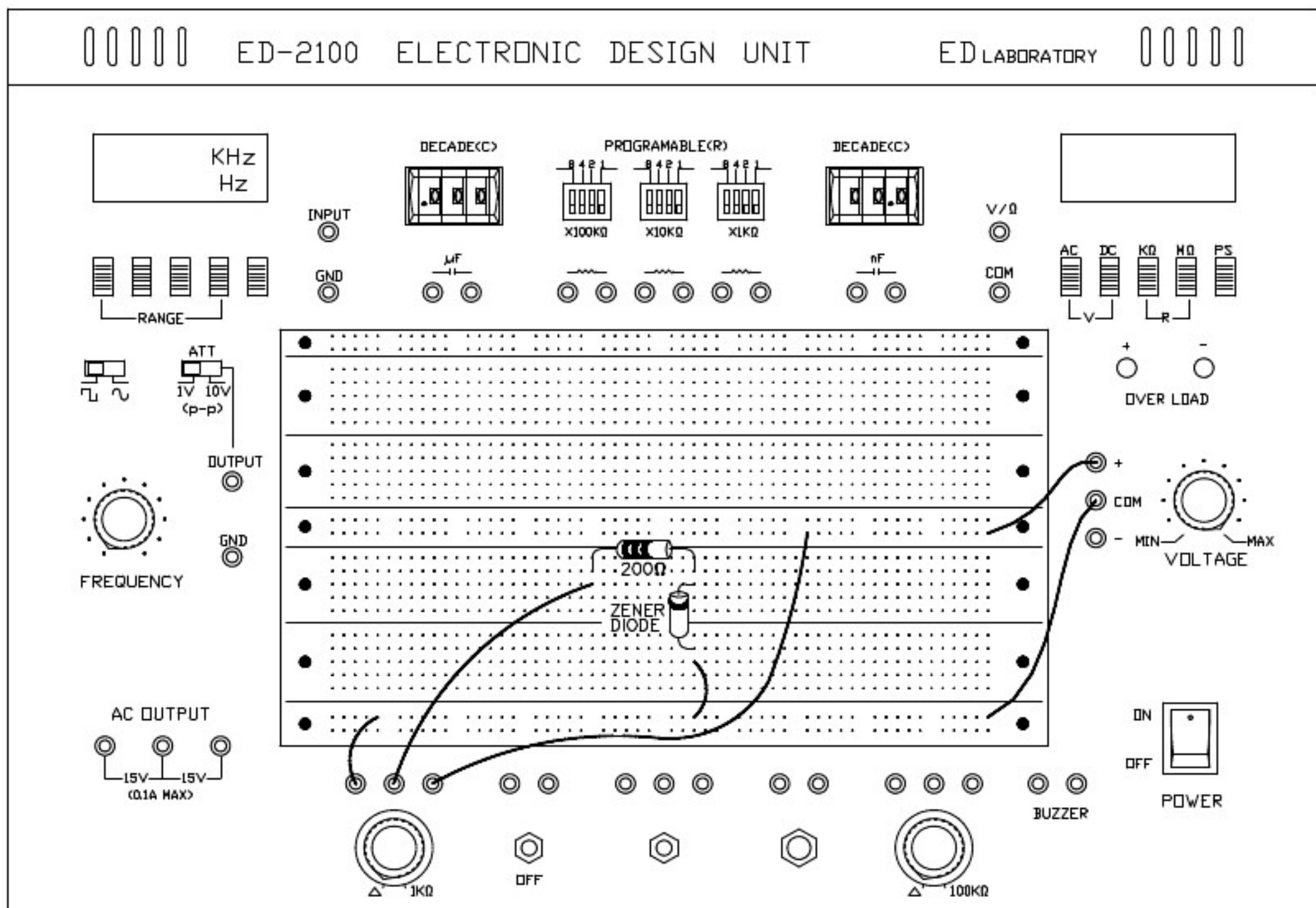


그림 3-2 실험 회로 구성도



3. VR(1kΩ)를 시계반대방향으로 끝까지 돌려놓은 다음 ED-2100의 전원 스위치를 ON한다.
4. 그림 3-2에서와 같이 전압계를 D<sub>1</sub>양단에 접속시킨 다음 1kΩ의 전위차계를 천천히 시계 방향으로 돌려 가면서 D<sub>1</sub>양단의 전압증가를 전압계에서 관찰한다. 계속해서 D<sub>1</sub>양단 접압의 지시가 천천히 상승하다가 더이상 증가하지 않고 일정한 전압 지시를 할 때까지 VR를 시계방향으로 돌린다. 이때 다이오드의 전압을 가능한 정확히 측정하여 도표 3-1의 위쪽의 다이오드 전압란에 기록하라.
5. 다음에는 전압계로 R<sub>2</sub>양단의 전압을 측정하라.  
여기서 측정된 R<sub>2</sub>(200Ω)양단의 전압으로 옴의 법칙 ( $I = \frac{E}{R}$ )을 이용하여 회로에 흐르는 전류를 산출하여 도표 3-1의 위쪽의 다이오드 전류란에 기록한다. 여기서 산출된 전류는 R<sub>2</sub>와 D<sub>1</sub>을 통하여 흐르는 전류가 된다.
6. 1kΩ VR의 접속단자 1과 2간의 회로인가 입력전압(V<sub>in</sub>)을 그림 3-1에서와 같이 측정하여 도표 3-1의 위쪽의 입력 전압란에 기록하라.
7. 이번에는 1kΩ의 VR를 시계방향으로 끝까지 돌려놓은 다음 D<sub>1</sub>양단 전압, 입력 전압(V<sub>in</sub>) 및 R<sub>2</sub>(200Ω)양단 전압을 측정하라. 이때 주의할 것은 다이오드가 열을 받아 파손될 우려가 있으므로 모든 측정을 신속히 한 다음 ED-2100의 전원 스위치를 끄도록 한다.
8. 먼저 D<sub>1</sub>전압을 측정하여 도표 3-1의 아래쪽 다이오드전압란에 기록하고 다음은 입력 전압(V<sub>in</sub>)을 측정하여 도표 3-1의 아래쪽의 입력 전압(V<sub>in</sub>)란에 기록하고 마지막으로 R<sub>2</sub>(200Ω)양단의 전압을 측정하여 이 전압으로 옴의 법칙을 이용하여 회로에 흐르는 전류를 산출하여 도표 3-1의 아래쪽 다이오드 전류란에 기록하라.

R <sub>1</sub> 의 위치	DIODE VOLTAGE	DIODE CURRENT	INPUT VOLTAGE
실험순서4의 R <sub>1</sub> 위치			
시계방향 끝			

도표 3-1 다이오드 전압 전류 기록표

## 【요점정리】 (실험순서 1 ~ 8)

이 실험에서는 제너 다이오드를 주제로 하여 여러 가지 역전압에 대해서 다이오드 양단의 전압 및 전류를 측정하였다. 여기서 캐소드는 애노드에 대해 (+)전압으로 되어 역전압을 다이오드에 인가하였다.

도표 3-1의 위쪽란에 측정 기록된 전압 및 전류는 제너의 항복(Break down) 영역을 의미한다. 이때 제너 전압 레벨은 일정한 전압 값에서 벗어나서 전류가 급속도로 증가하기 시작하는 점이다. 위의 실험에서 다이오드 전압은 제너 전압 6V에서 벗어나기 시작하는 전압이 된다. 그렇지만 위의 실험에서 측정된 제너 전압은 제너 다이오드의 허용오차가 10%이므로 0.5V까지 높거나 낮을 수가 있다. 또 위의 실험에서 측정기록된 전류는 다이오드를 거쳐 흐르는 전류가 항복 점에 도달되기 이전의 것이기 때문에 다소 낮게 기록되어 그 값은 2mA에서 5mA중간의 값이 된다. 이때 입력 전압( $V_{in}$ )은 약 6.5V에서 7V이내가 된다.

다음 실험에서는 1k $\Omega$  VR를 시계방향으로 끝까지 돌려서 입력 전압을 최대로 하였다. 이때  $D_1$  및  $R_2$ 를 통하는 전류는 더욱 많이 흐르게 되었고  $D_1$ 양단전압은 아주 적게 증가하였다. (0.1 또는 0.2V정도 증가함)그렇기 때문에 도표 3-1에 기록된 다이오드전압은 모두 거의 같지만 입력전압을 최대로 하였을 때 측정한 전류는 처음 측정한 전류보다는 훨씬 많이 흐르게 된다. 여기서 측정된 전류는 40mA에서 45mA정도가 되고 이때 제너는 규정 전력 소모의 한계점에서 동작하게 된다. 그리고 이때의 입력 전압은 약 15V가 된다.

도표 3-1에서 제너의 전류와 전압을 비교해 보면 제너 다이오드의 적은 전압 변화에 대해서 전류변화는 제너 영역에서 광범위하게 변화하고 있음을 알 수 있다. 여기서 입력전압과 제너 전압을 비교해 보면 입력 전압이 거의 7V에서 15V까지 변화하여도 제너 전압은 0.2V에서 0.3V정도밖에 변하지 않았다. 이와 같은 현상은 제너 다이오드가 입력 전압변화를 보상하는데 이용가치가 있음을 보여준다.

## 【실험계속】

9. 이번에는 앞에서의 실험회로를 이용하여 6V정전압을 여러 가지 저항성부하에 인가하여 본다.

부하저항이 제너 다이오드 양단에 연결되면 이 회로는 간단한 정전압회로가 된다. 여기서 실험할 회로는 앞에서 이미 실험한 회로로서 모든 부품의 값도 같으며 그렇기 때문에 이 회로는 9V에서 12V까지의 입력전압과 0에서 30mA까지

의 부하 전류를 흐르게 할 수가 있다. 이 실험에서는 회로의 입력전압을 9V에서부터 시작하여 출력 정전압과 여러 가지 부하에 대한 전류를 관찰한다.

10. (+)전압조정 손잡이가 시계 방향 끝까지 돌려져 있는가를 확인한 다음 전압계를  $1k\Omega$  VR의 단자 2와  $D_1$ 의 애노드( $R_2$ 와  $D_1$ 양단)간에 접속하고서 이 VR를 돌려 정확히 9V가 되게 한다. 이때 이 9V는  $R_2$ 와  $D_1$ 의 인가 전압이 된다.
11. 회로에서 부하 저항이  $D_1$ 양단에 접속되어 있지 않은 상태에서  $D_1$ 양단전압을 측정하여 도표 3-2의 출력 전압란에 기록하라.
12. 이번에는 다이오드  $D_1$ 양단에  $1k\Omega$ 저항을 접속하여 부하 저항으로 이용한다. 이때 부하저항에는 6V출력 전압에 대해 약 6mA의 전류가 흐르게 된다.  $D_1$ 양단의 출력전압을 측정하여 도표 3-2의  $1000\Omega$ 에 해당되는 출력 전압란에 기입하라.
13. 실험순서 12에서와 같은 방법으로 470, 220 및  $100\Omega$ 의 부하 저항에 대한 출력 전압을  $D_1$ 양단에서 측정하여 도표 3-2의 해당출력 전압란에 기록하라. 이때 위의 각 부하 저항에 대해 12.7mA, 27.3mA 및 60mA의 전류가 출력전압이 6V로 가정되었을 때 부하에 흐르게 된다. ED-2100의 전원 스위치를 OFF한 다음 기록된 도표에서 비정상 전압변화에 대해 설명해 보라.

### 【요점정리】 (실험순서 9 ~ 13)

이 실험에서는 제너 다이오드가 여러 가지 부하 조건에 대하여 얼마만한 정전압효과를 갖는가를 실험하였다.

이 실험에서 측정된  $D_1$ 양단의 전압은 무부하에서나 또는  $1000\Omega$  및  $470\Omega$ 에 각각 6V( $\pm 10\%$ )정도의 전압이 측정되어야 한다. 그러나  $100\Omega$ 의 부하 저항이 접속되었을 때는 출력전압은 6V이하로 떨어져 약 3V이하로 측정된다. 이와 같은 전압강하는  $100\Omega$ 의 저항이 6V출력 전압에 대하여 60mA의 전류가 흐르게 되어  $200\Omega$ 에서 그만큼 전압강하가 크게되기 때문이다.

이와 같은 과전류 현상은 정전압회로의 입력전압이 최대 9V일 때 최대부하 전류는 15mA가 흐르도록 설계되었기 때문이다.

지금까지의 실험은 입력전압 9V, 안정회로를 실제로 과부하한  $100\Omega$ 의 저항으로 행하였고 따라서 출력전압이 강하하게 되었다.

100Ω의 부하가 접속되었을 때 실제로 어떤 현상이 일어날까?

제너 안정기의 부하 저항이 감소하면 부하전류는 비례하여 증가하여 제너전류를 그 결과 비례한 양만큼 감소한다.

제너전류가 충분하게 유지되는 한 항복 범위에서 동작이 계속되고 상대적인 일정한 부하전압을 공급한다.

부하저항 (OHMS)	대체적인 부하전류(mA)	출력전압 (V)
OPEN (NO LOAD)	0	
1000	6	
470	12.7	
220	21.4(27.3)	
100	30(60)	

※ ( )안은 출력전압이 6V 정상으로 가정한 경우

도표 3-2 부하변화에 대한 출력전압 기록표

# 실험 11. 발광다이오드(LED)의 특성 실험

## 【목 적】

시각적인 발광 다이오드의 동작원리를 익히고자 한다.

## 【서 론】

이 실험에서 붉은 빛을 내는 대표적인 GaAsP LED의 동작과 그 밝기에 따른 순방향 전류와 전압간의 관계 및 역방향 바이어스를 가하였을 때 그 동작을 관찰한다.

### 《필요 부품 및 기기》

• 전자 실험기 (ED-2100)	1대
• 전압계	1대
• LED	1개
• 저항 1k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개

## 【실험순서】

1. 그림 11-1의 회로를 그림 11-2와 같이 배선하고 다시 LED가 잘 접속되었는지 자세히 검사한다. 캐소드의 리드는 측평면 쪽에 있다.
2. 전압조정기를 15V로 돌려 1k $\Omega$ 의 VR(R<sub>1</sub>) 에 직류 약 15V가 가해지게 하고 이 전위차계(R<sub>1</sub>)로 LED와 직렬 연결된 R<sub>2</sub>의 공급전압을 조절한다.  
이 실험을 계속할 때 입력전압이 증가할 것이며 흐르는 전류와 LED의 양단전압을 관찰한다. 다음과 같은 절차를 행할 때 LED의 밝기의 변화를 주시한다.
3. VR(R<sub>1</sub>)을 완전히 반시계 방향으로 돌리고 전자 실험기를 켜다.

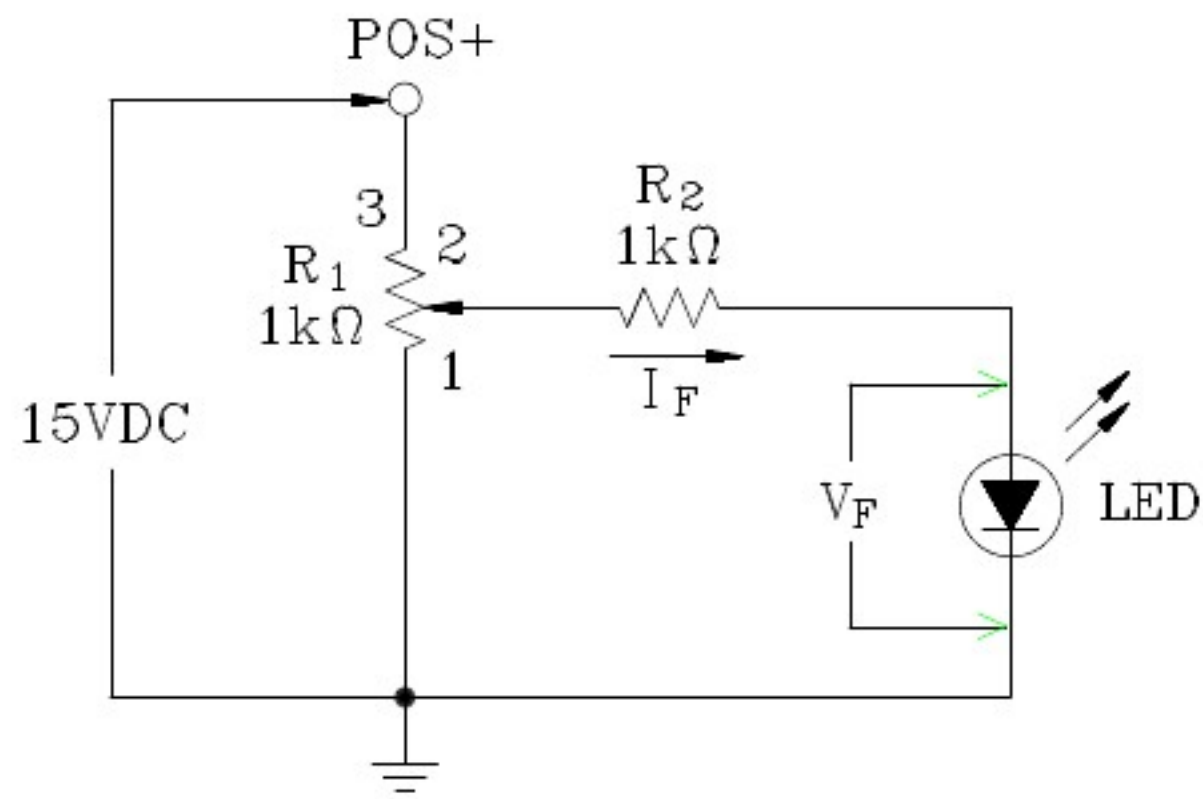


그림 11-1 실험회로

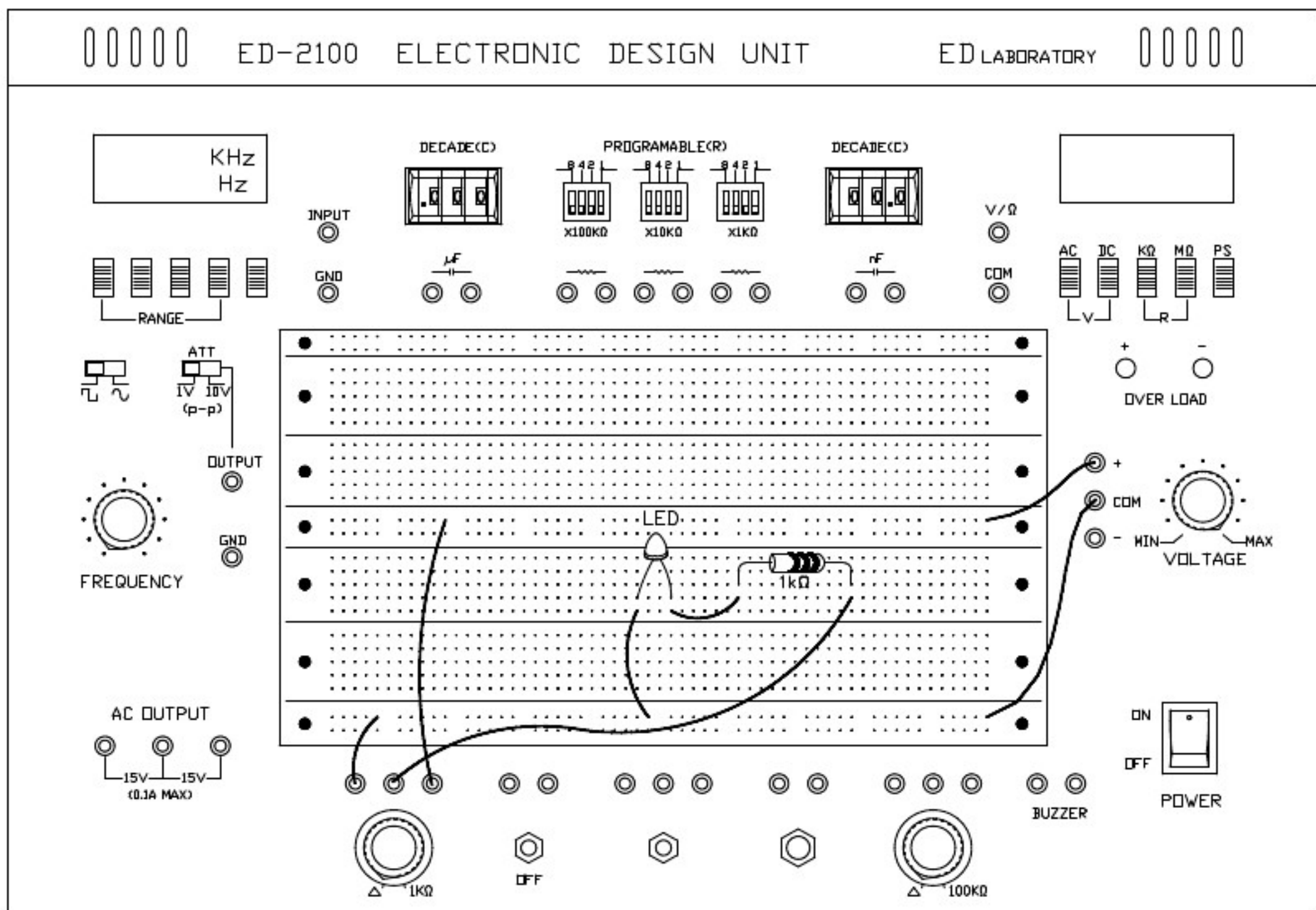


그림 11-2 LED 실험회로 구성도

4. 이제  $R_2$ 의 양단 전압이 1V(전압계로 측정한다)가 되게  $R_1$ 을 시계방향으로 돌린다.  $R_2$ 는  $1k\Omega$ 이고 흐르는 전류는 강하된 전압을 저항으로 나누면 (옴의 법칙) 다음과 같이 구해진다.

$$I = \frac{1}{1000} = 1mA$$

이와 같은 전류가 LED에 흐르면 LED 순방향 전류( $I_F$ )는 이제 1mA가 된다.

5. 이제 LED에 강하된 순방향전압( $V_F$ )을 측정하고 도표 11-1의  $I_F = 1mA$  아래란에 기록한다. 이 값은 순방향전류 ( $I_F$ )가 1mA일 때 LED양단에 강하한 순방향 전압 ( $V_F$ )을 지시한다.
6. 적혀진 각  $I_F$ 의 값에 따른  $V_F$ 의 값을 도표 11-1에 기록하라. 이렇게 하기 위하여  $I_F$ 값에 대하여 실험순서 4, 5번 항을 반복한다.  
그러나 2, 3 및 4mA의  $I_F$ 값을 각각 얻기 위한 경우에 2, 3 및 4V 등으로  $R_2$  양단전압을 조정한다.
7. 이제 그림 11-3의 그래프에 도표 11-1의  $I_F$ 와  $V_F$ 값으로 곡선을 그린다. 전자 실험기를 끈다.

LED전류 - 전압측정										
$I_F$ (mA)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_F$ (V)										

도표 11-1  $I_F$ 에 대한  $V_F$  측정기록표

### 【요점정리】

이 실험에서 LED를 통한 순방향 전류( $I_F$ )는 서서히 증가하였고 중간 점에서 순방향 전압( $V_F$ )를 정하였다. 또  $I_F$ 와  $V_F$ 의 관계 곡선을 그렸고  $V_F$ 가 비례 정수로 보이지만  $I_F$ 의 증가처럼 미소하게 증가한다.

$V_F$ 의 값은 대략 1.5V와 2V사이에서 시작되었고  $I_F$ 가 최대로 증가할 때 0.1V정도 증가하였다.  $V_F$ 의 값을 정확하게 구하는 것이 중요하지는 않지만 그림 11-4와 비슷한 곡선이 되었을 것이다.

$V_F$ 는  $I_F$ 에 따른 정수로 급히 증가한다.

곡선의 낮은 부분은 (0~1mA범위) 전류가 매우 적어서 측정이 어려워 그릴 수 없다. 전류는 서서히 증가하다가 그림 11-4에서 보인 것처럼 점차 급격히 증가한다.

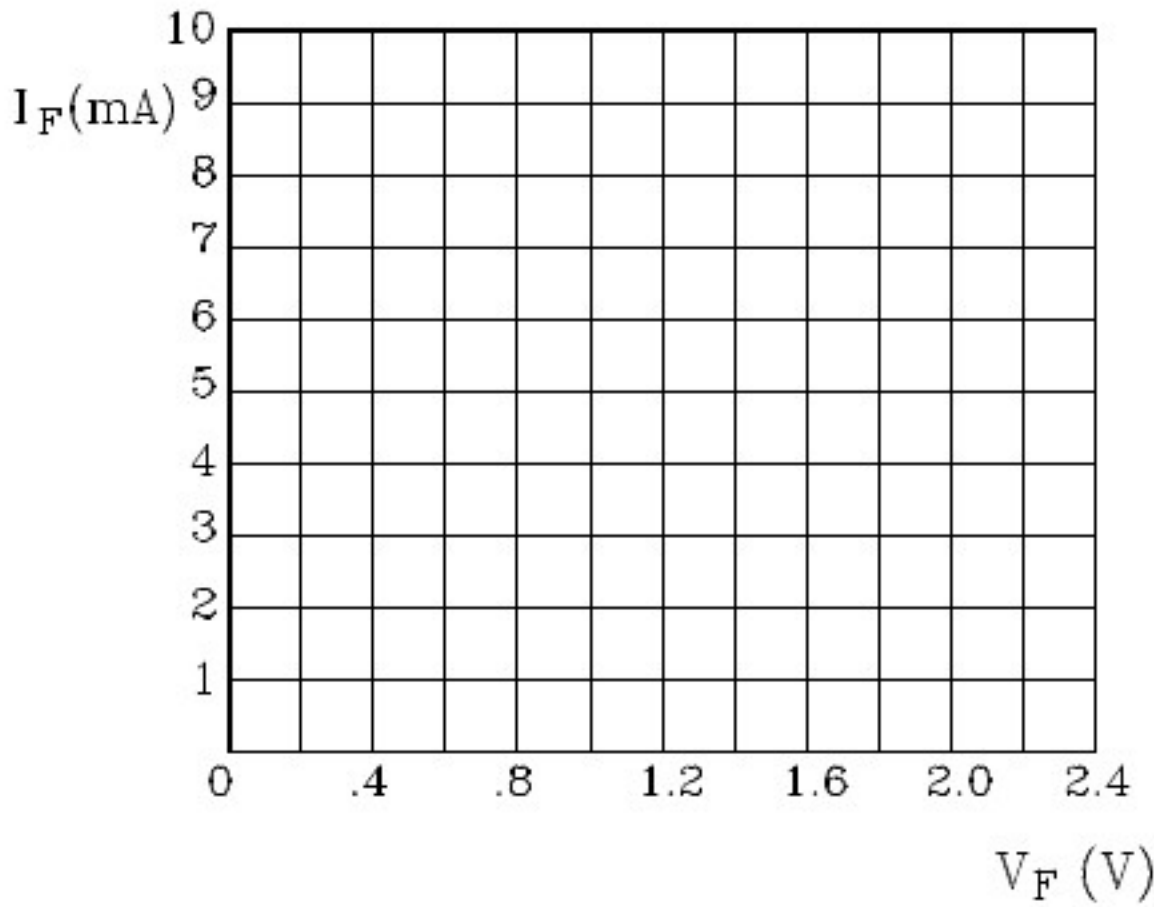


그림 11-3  $I_F - V_F$  그래프

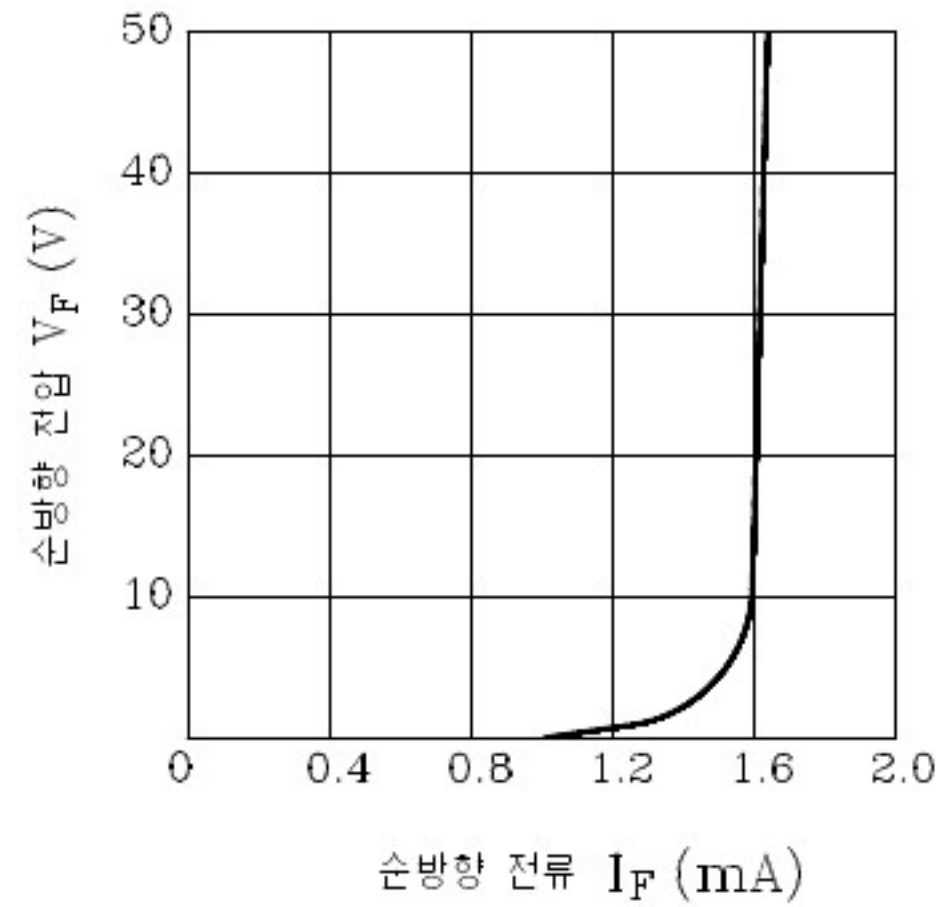


그림 11-4 전형적인 GaAsP LED의 전류전압 특성표

$V_F$ 의 측정은  $I_F$ 의 값에서 정상범위에서 동작할 때 LED양단에 나타나는 값을 지시하므로 중요하다.  $I_F$ 가 높은 값으로 증가될 때마다 LED의 빛의 밝기가 강해졌고 빛을 내는 강도는 LED의 전류증가에 따라 직선적으로 밝아진다.

### 【실험계속】

8. LED를 떼어내고 방향을 바꾸어 리드를 반대로 다시 접속한다. LED와 직렬저항에 전 전원전압이 인가되도록  $R_1$ 을 완전히 시계방향으로 돌리고 전자 실험기를 켜는다.
9. LED의 양단전압을 측정하여 빛의 발광 유무를 관찰한다.

### 【요점정리】 (실험순서 8 ~ 9)

최종 실험에서 LED의 리드를 바꾸어 역 바이어스를 가하여 전압을 측정한 것이 입력 공급전압(약 15V)과 같았다. 이때 개방상태와 같은 즉 일반적인 PN접합 다이오드의 역방향 저항이 높은 것과 똑같다. 이때 LED는 발광하지 않는다.



# 실험 4. NPN PNP 트랜지스터의 실험

## 【목 적】

NPN과 PNP형 트랜지스터의 실험방법을 배우고자 한다.

## 【서 론】

이 실험에서 저항계가 이용되며 저항측정범위는 R×1에서 R×1M정도이다.

### 《필요 부품 및 기기》

- 저항계 1대
- NPN실리콘 트랜지스터 1개
- PNP게르마늄 트랜지스터 1개

## 【실험순서】

1. NPN형 트랜지스터를 놓고 그림 4-1A에 보인 것처럼 측면을 평탄하게 한다. 트랜지스터의 에미터 리드를 그림처럼 왼쪽으로 놓고 베이스 리드는 중앙, 콜렉터는 오른쪽으로 놓고 VOM의 리드를 접속할 때 합선되지 않도록 트랜지스터의 리드를 벌린다. 그림 4-1B는 밑에서 본 리드의 위치이다.

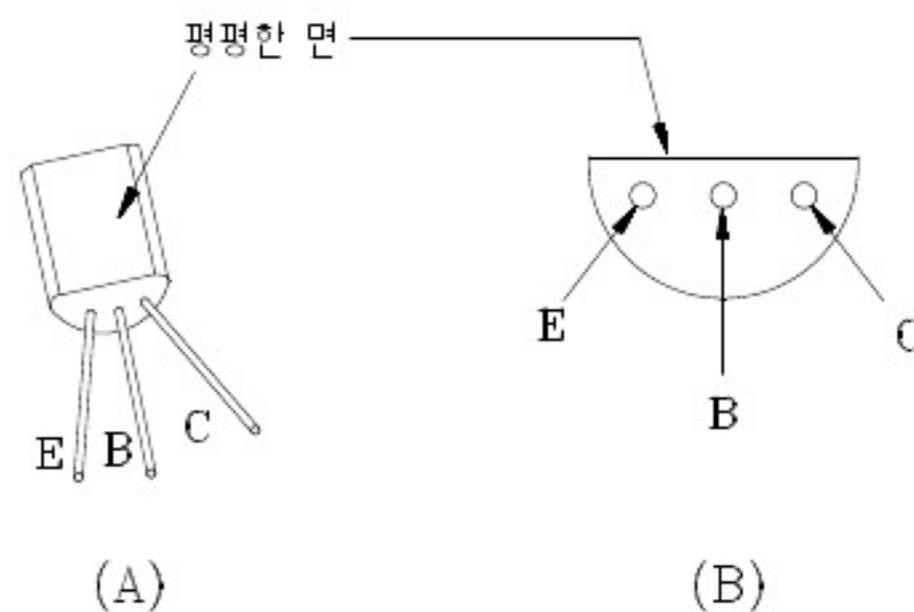


그림 4-1 리드의 위치

※ Transistor에 따라 E, B, C의 위치가 다를 수 있다.

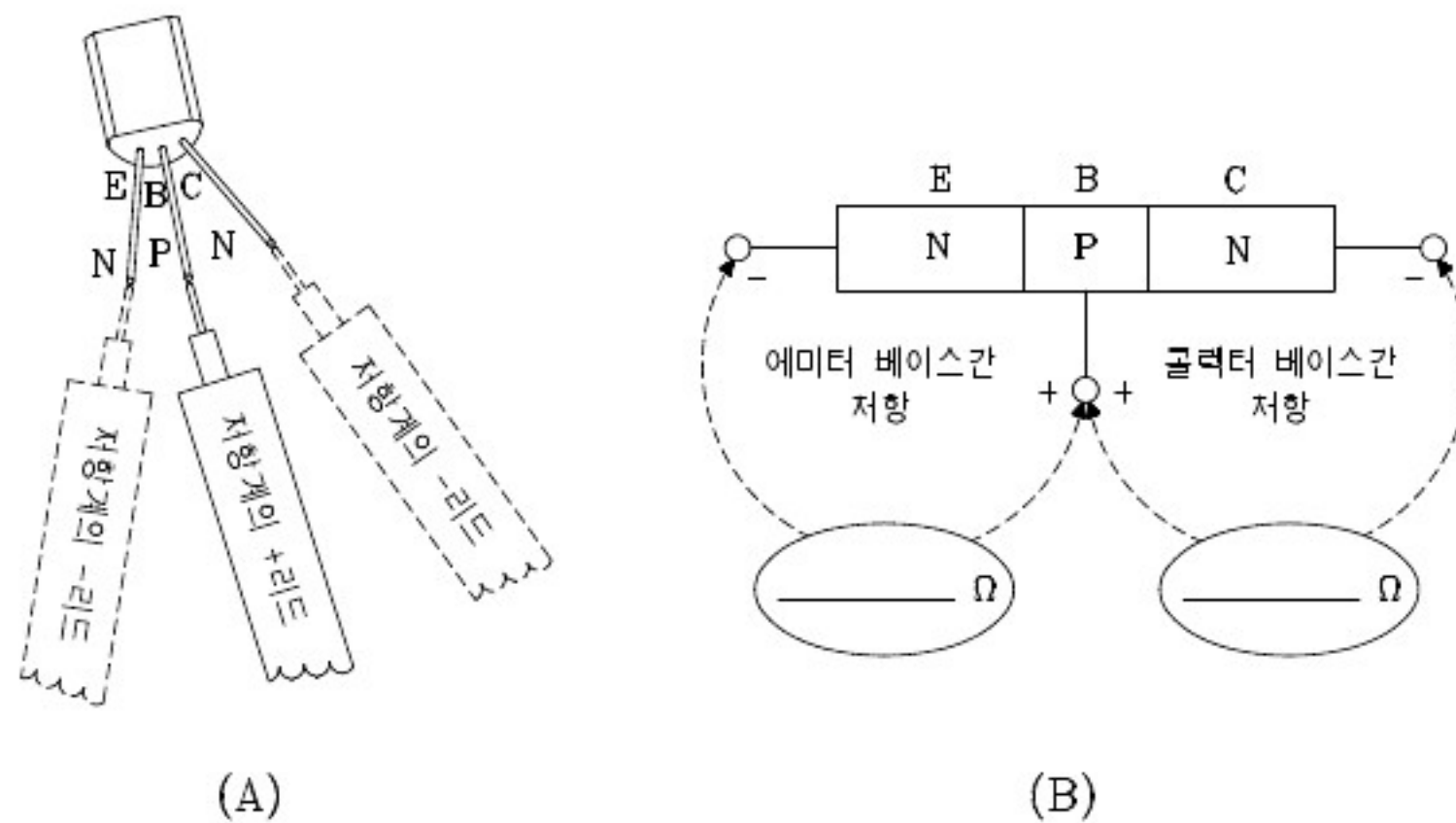


그림 4-2 NPN형의 순방향저항의 점검방법

2. VOM으로 에미터-베이스와 콜렉터-베이스간의 순방향 저항을 측정한다. 이때 VOM을 R×10이나 R×100으로 한다.

그림 4-2A와 같이 베이스 리드에 VOM의 정(+ )의 테스트리드(대개 붉은 색)를 접하고 에미터와 콜렉터리드에 부(-)의 테스트리드를 번갈아 접속한다. 각 접합에 대한 순방향 저항을 주시하고 그림 4-2B의 빈칸에 두 값을 기록하라.

부(-)의 테스트리드가 N형 에미터에 접속할 때 정(+ )의 테스트리드는 P형의 베이스에 접속되도록 주의한다.

3. 다음은 VOM의 저항측정 범위를 R×10K나 R×100K에 놓고 에미터-베이스와 콜렉터-베이스간의 역방향 저항을 측정한다. 부(-)의 테스트 리드를 베이스에 접속하고 정(+ )의 테스트리드는 그림 4-3A와 같이 에미터와 콜렉터에 번갈아 접속한다. 각 저항의 역방향 저항을 주시하고 그림 4-3B의 빈칸에 그 값을 기록하라.

### 【요점정리】 (실험순서 1 ~ 3)

이 실험에서 NPN형 트랜지스터의 에미터-베이스와 콜렉터-베이스 접합간의 순방향과 역방향 저항을 측정하여 PN접합 다이오드의 작용과 같이 각 접합의 순방향 저항은 역방향 저항보다 훨씬 낮다는 것을 알았다.

순방향 저항을  $R \times 100$ 에서 측정하였다면 수백 오옴정도이고  $R \times 10$ 에서 였다면 이보다 낮게 측정됐을 것이다. 그러나 역방향 저항은 (거의 무한대의 값) 매우 높았을 것이다.

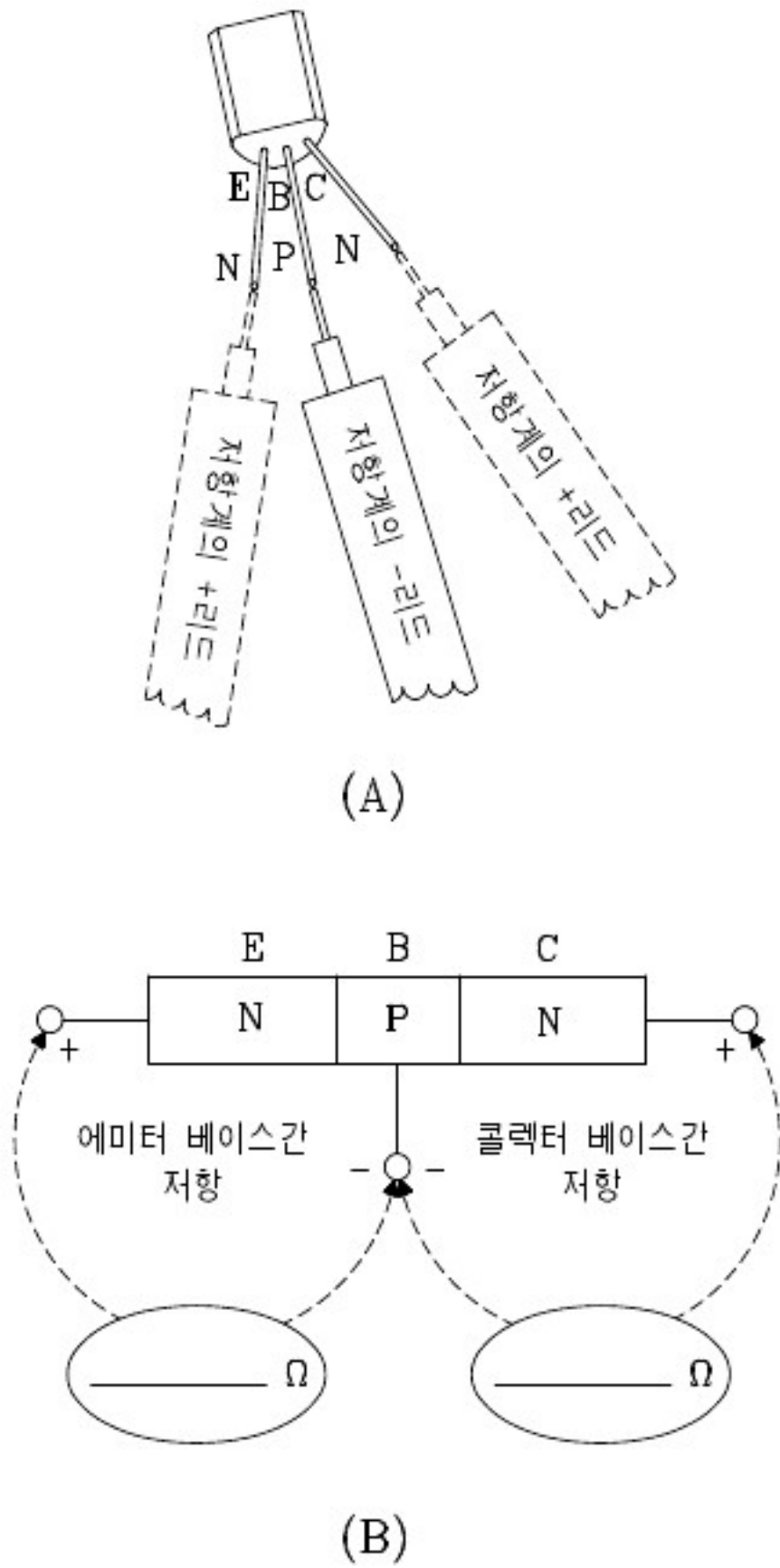


그림 4-3 NPN형의 역방향 저항측정

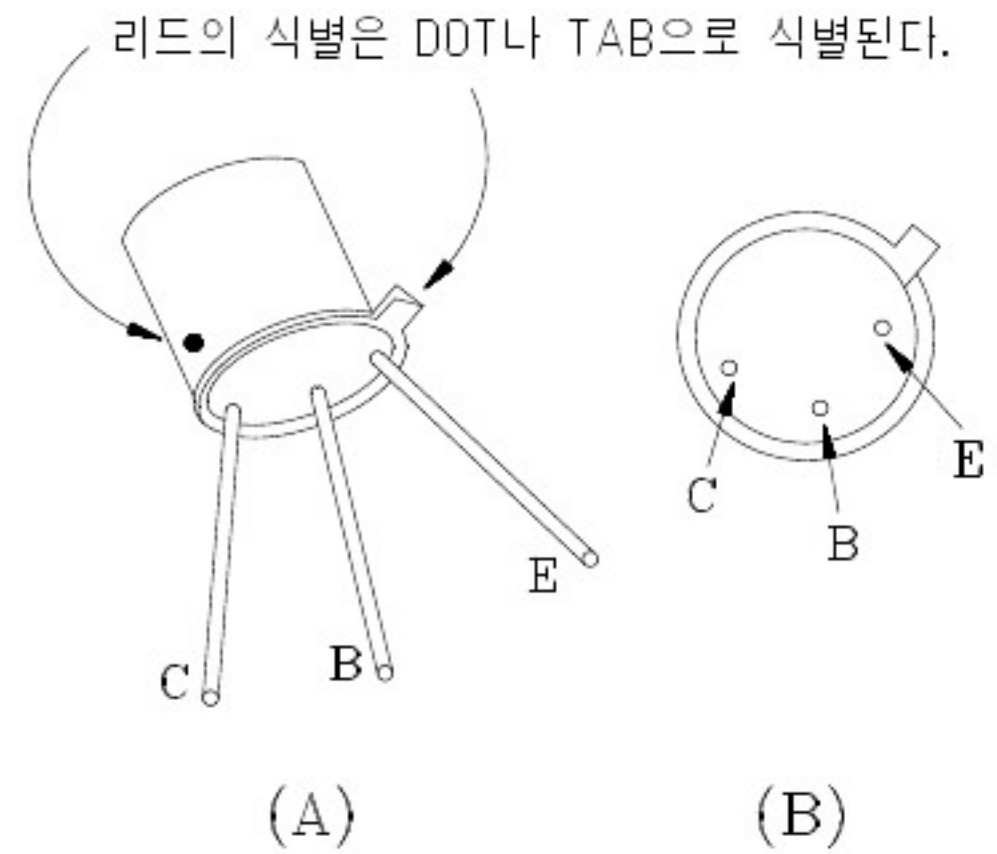


그림 4-4 에미터, 베이스 및 콜렉터 위치

실험에서 얻는 정확한 값은 두 취득 값의 차이만큼 중요하지는 않다. 트랜지스터의 성능이 양호하다면 취득의 값은 상대적으로 낮고 매우 높아야 한다. 다만 각 부의 접합이 단락 되었거나 개방되었다면 양쪽 방향의 저항이 매우 낮거나 높게 될 것이다. NPN형 트랜지스터가 실리콘으로 만들어져 있으므로 역바이어스에서 각 전압간에 흐르는 누설 전류가 극히 적다. 이것은 역저항이 매우 높기 때문이다.

**【실험계속】**

- PNP형 트랜지스터를 그림 4-4A와 같이 놓고 에미터, 베이스 및 콜렉터 리드의 위치에 주의한다.
- 계기의 범위를  $R \times 10$ 이나  $R \times 100$ 에서 에미터-베이스와 콜렉터-베이스접합 순방향 저항을 측정한다. 그림 4-4A처럼 테스트리드를 번갈아 접속하고 그림 4-4B의 빈칸에 그 값을 기록하라.  
정의 테스트 리드가 P형의 에미터나 콜렉터에 접속되어 있을 때 부의 테스트 리드를 N형 베이스에 접속해야 한다.

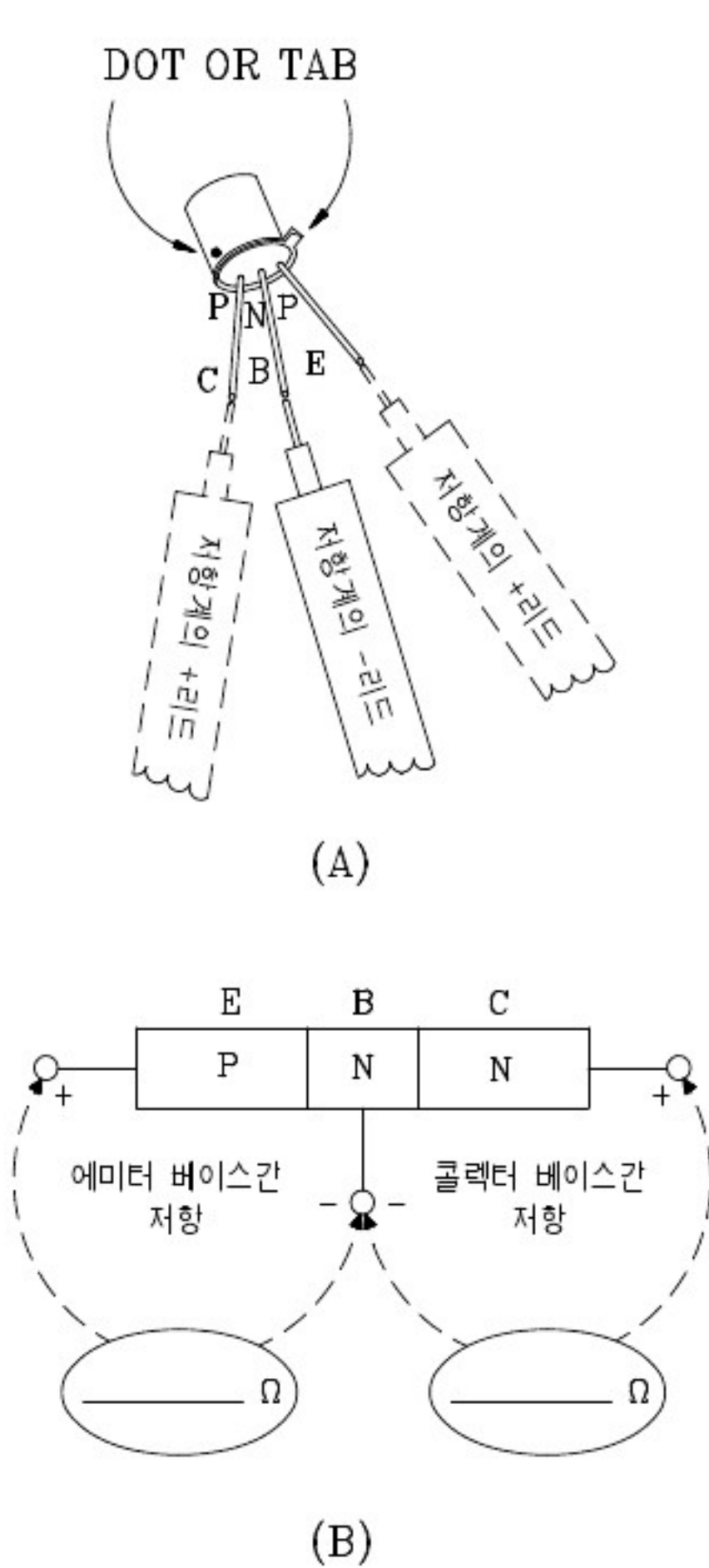


그림 4-4 PNP형의 순방향 저항측정

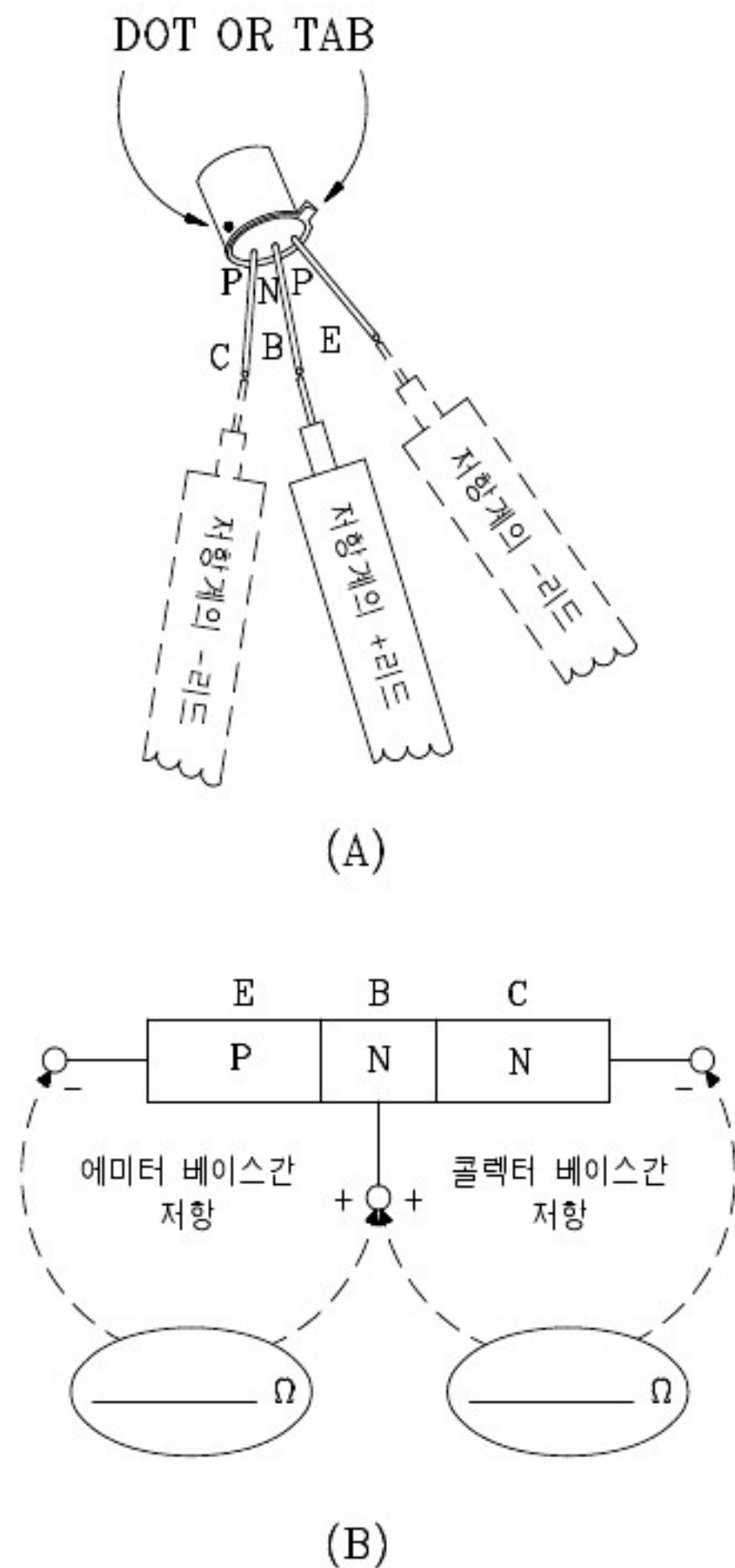


그림 4-5 PNP형의 역방향 저항측정

6. 다음은 계기를  $R \times 10K$ 나  $R \times 100K$ 의 범위로 놓고 각 접합의 역방향 저항을 측정하며 이때 그림 4-5A처럼 접속한다. 그리고 측정값을 그림 4-5B의 빈칸에 기록하라.

**【요점정리】 (실험순서 4 ~ 6)**

이상으로 PNP형 트랜지스터의 순방향과 역방향 저항을 측정하였다. 그 결과 NPN형보다 낮은 순방향과 역방향 저항의 값을 알았다.

그러나 순방향과 역방향간의 저항의 비는 역시 매우 높았을 것이다. 순방향 저항의 취득은  $R \times 100$ 에서 100이나 200 $\Omega$ 정도로 낮고  $R \times 10$ 의 범위에서는 더 낮았을 것이며 역방향 저항 값은 매우 높았을 것이다.(수백k $\Omega$ 보다 더 높은 값) 그러나 이 값은 앞의 실험에서 얻었던 역저항보다 상당히 낮다. 그 이유는 게르마늄으로 만들어졌기 때문이다.(PNP소자로 되어 있기 때문은 아님) 게르마늄 트랜지스터는 실리콘으로 된 것보다 항상 접합저항이 낮음을 알 수 있다.

# 실험 5. 에미터 접지 트랜지스터의 특성 실험

## 【목 적】

에미터 접지 트랜지스터의 동작원리를 배우고 중요한 전기적 특성을 관찰하고 측정하기 위함.

## 【서 론】

에미터 접지는 전압 전류 전력의 증폭율이 커서 베이스나 콜렉터 접지보다 더 많이 사용된다. 그러므로 에미터 접지에 대한 기본 전기적 특성을 이해하는 것은 매우 중요하다. 이 실험에서 베이스, 콜렉터 전류관계와 콜렉터 대 에미터 전압관계를 관찰하고 측정을 하며 콜렉터 특성 곡선을 그리고 그 특성 곡선에서 소자의 전류이득을 얻는다.

### 《필요 부품 및 기기》

• 전자 실험기 (ED-2100)	1대
• 전압계	1대
• NPN 트랜지스터	1개
• 저항 1k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개
• 저항 10k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개

## 【실험순서】

1. ED-2100의 전원 스위치가 꺼져 있음을 확인하고서 ED-2100을 전원에 꽂는다.
2. 그림 5-1의 회로를 그림 5-2와 같이 ED-2100에 구성한다.

ED-2100의 +15V 전원을 1k $\Omega$ 의 VR과 100k $\Omega$ 의 VR에 공동으로 인가하여 100k $\Omega$  VR( $R_1$ )은 NPN트랜지스터의 베이스 전류( $I_B$ )조정용으로 또한 1k $\Omega$  VR( $R_4$ )는 콜렉터-에미터 전압( $V_{CE}$ ) 조정용으로 사용한다. 회로에서  $R_2$ 와  $R_3$ 은 트랜지스터의 안전 전류 제한용으로 사용한다.

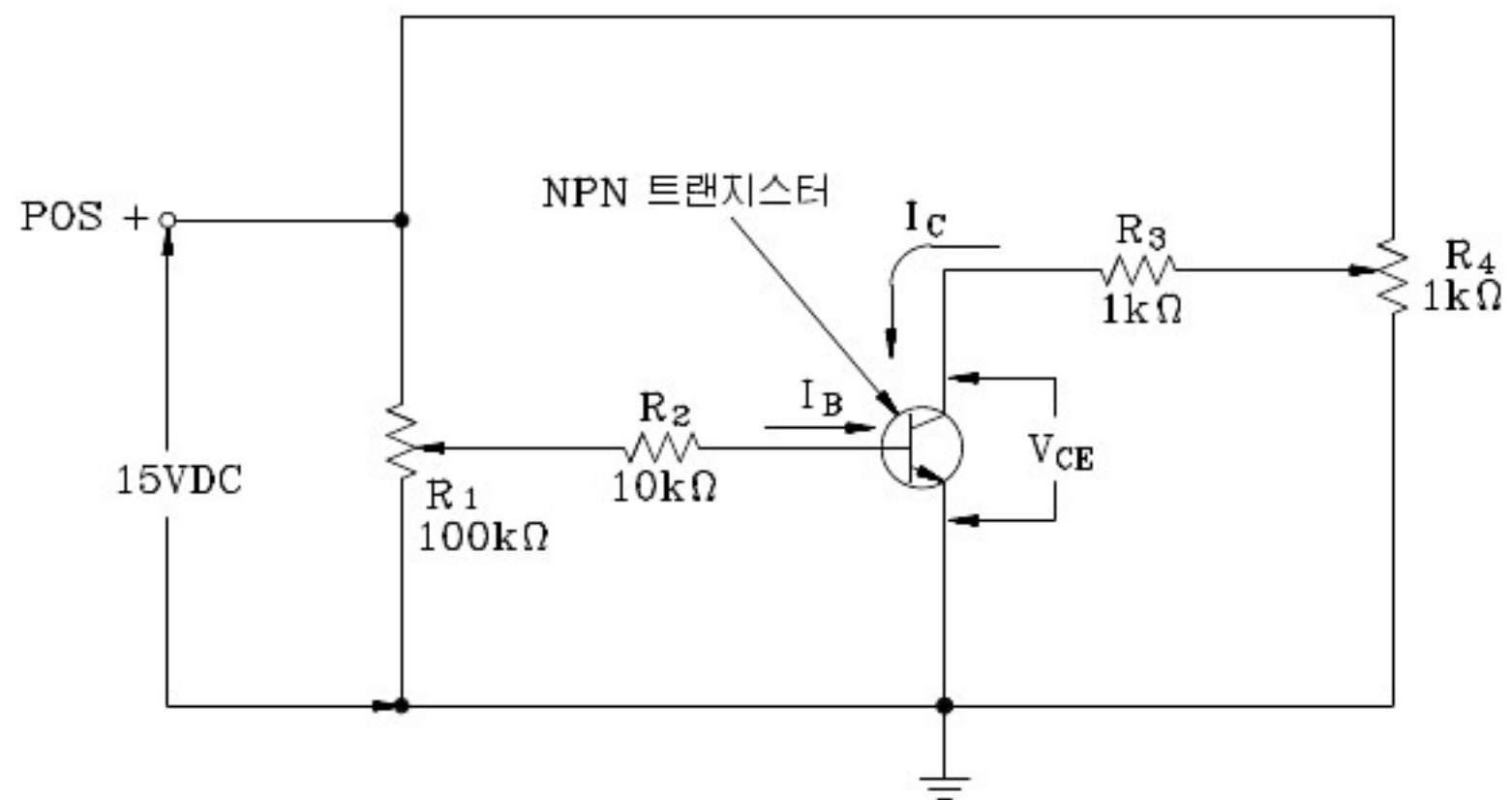


그림 5-1 실험회로

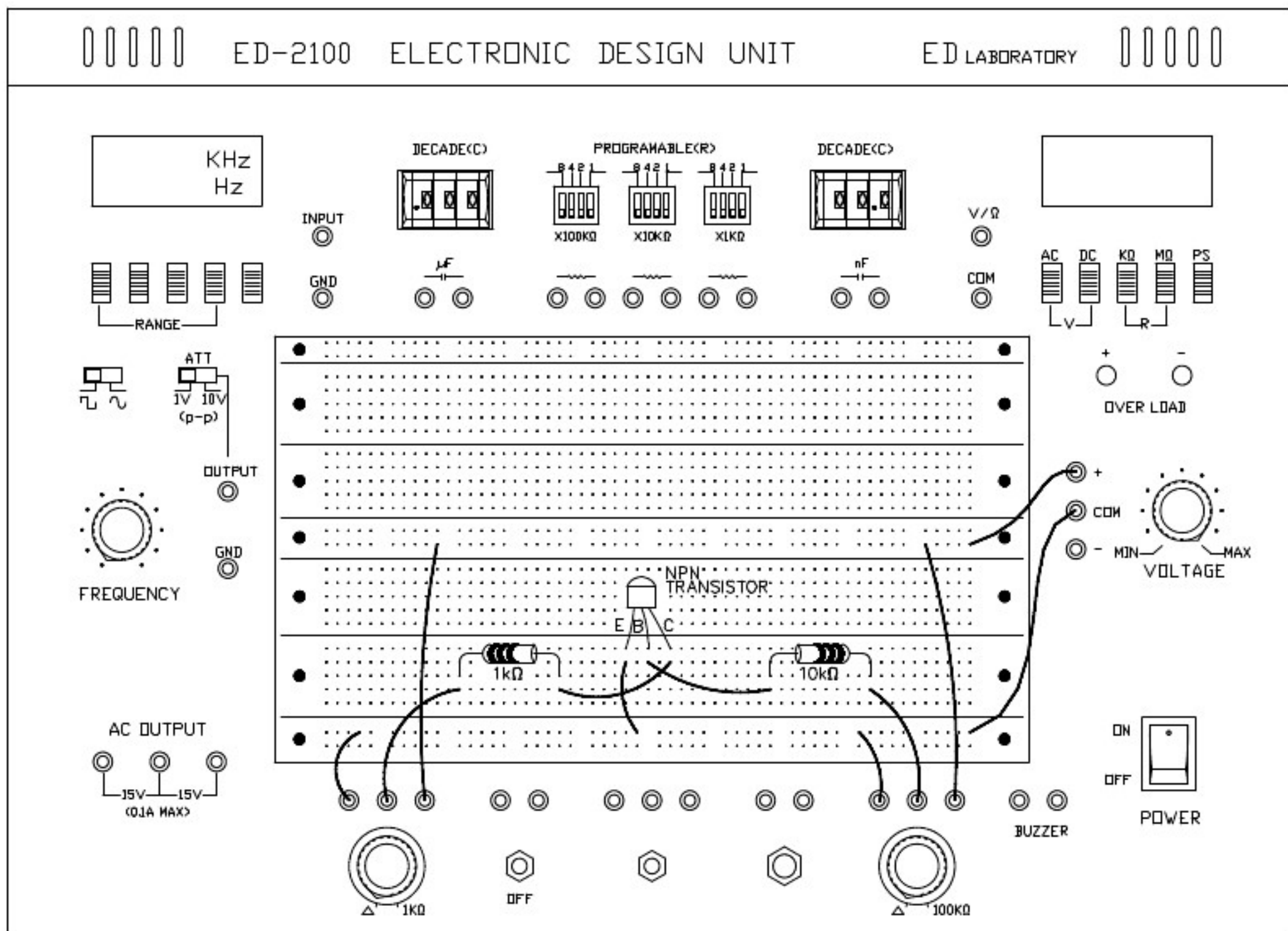


그림 5-2 실험회로 구성도

3. 반시계 방향 끝까지  $R_1$ 의 VR를 돌리고  $R_4$ 를 중간 위치에 놓는다. 그리고 ED-2100의 전원 스위치를 ON한다.
4. 베이스 전류( $I_B$ )를  $10\mu\text{A}$ 로 조절한다. 이렇게 하려면 천천히 시계 방향으로 전위차계  $R_1$ 을 돌려야 하며 이때  $R_2$ (이 전압을 측정함)의 전압 강하가  $0.1\text{V}$ 가 되면 옴의 법칙에서  $R_2$ 를 통한 전류가  $10\mu\text{A}$ 가 되기 위해서는  $10\text{k}\Omega$  양단전압은  $0.1\text{V}$ 가 되어야 하므로  $I_B$ 는  $10\mu\text{A}$ 가 된다.
5.  $R_1$ 을 그대로 고정하고 에미터 대 콜렉터의 전압(전압계로 측정한다.)이  $1\text{V}$ 가 될 때까지 전위차계  $R_4$ 를 조정한다.
6.  $R_3$ 에 강하되는 전압을 측정하고 옴의 법칙으로  $R_3$ 에 흐르는 전류를 계산한다.  $R_3$ 가 콜렉터에 접속되어 있으므로 계산된 전류 값은 또한 트랜지스터를 통하여 흐른 콜렉터 전류( $I_C$ )를 나타낸다.  $V_{CE}$ 의 값이  $1\text{V}$ 가 될 때  $I_C$ 의 값을 구하여 도표 5-1에 기록하라.

$I_B = 10 \mu\text{A}$						
$V_{CE}$ (V)	1	2	3	4	5	6
$I_C$ (mA)						

$I_B = 20\mu\text{A}$						
$V_{CE}$ (V)	1	2	3	4	5	6
$I_C$ (mA)						

도표 5-1 실험순서 4, 5, 6, 7항  $I_C$  기록표

도표 5-2 실험순서 8, 9, 10, 11항  $I_C$  기록표

7. 이번에는 도표 5-1에 표시된  $V_{CE}$ 의 각각의 값에 대해서  $I_C$ 의 값을 실험순서 5와 6에서와 같은 방법으로 구하여 해당란에 기록하라. 이와 같이 도표 5-1의 기록이 완료되면 이 도표는  $I_B$ 를  $10\mu\text{A}$ 로 고정시킨 상태에서  $V_{CE}$ 와  $I_C$ 의 변화 관계를 나타낸 것이 된다.
8. 이제 베이스 전류  $I_B$ 를  $20\mu\text{A}$ 로 조정한다. 이렇게 하려면  $R_2$ 의 강하전압(전압계로 측정)이  $0.2\text{V}$ 로 될 때까지 시계방향으로 천천히 전위차계  $R_1$ 을 조정하면 된다.
9.  $R_1$ 을 그대로 고정하고 에미터 대 콜렉터의 전압(전압계로 측정)이  $1\text{V}$ 가 될 때까지 전위차계  $R_4$ 를 조정한다.
10. 이제  $R_3$ 의 양단전압을 측정하고 옴의 법칙(실험순서 6에서와 같이)으로  $R_3$ 에 흐르는 전류를 계산한다.



11. 지시된 값이 유지하도록 조정된  $V_{CE}$ 와 이에 상당한  $I_C$ 의 값을 기록하여 도표 5-2를 완성한다. 이렇게 하려면 지시된  $V_{CE}$ 의 값에 따라 실험순서 9와 10항의 절차를 반복한다. 완성된 표는  $I_B$ 가  $20\mu A$ 일 때 광범위한  $V_{CE}$ 에서 어떻게  $I_C$ 가 달라지는가를 알 수 있다.
12. 베이스 전류( $I_B$ )를  $30\mu A$ 로 조정한다. 이렇게 하려면  $R_2$ 양단의 전압(전압계로 측정)이  $0.3V$ 가 될 때까지  $R_1$ 을 시계 방향으로 돌린다.
13.  $R_1$ 을 고정된 상태에서 에미터 대 콜렉터의 전압이(전압계로 측정)  $1V$ 가 되도록  $R_4$ 를 시계방향으로 조정한다.
14. 이제  $R_3$ 의 양단전압을 측정하여 실험순서 6에서와 같이 옴의 법칙에 의하여  $R_3$ 에 흐르는 전류가 계산되며 이 전류는 콜렉터 전류가 된다. 도표 5-3표에  $V_{CE}$   $1V$ 에서는  $I_C$ 의 값을 기록하라.
15. 지시된 값이 유지되도록  $V_{CE}$ 를 조정하고  $I_C$ 의 상당한 값을 기록하여 도표 5-3을 완성하라.  
이렇게 하려면 지시된  $V_{CE}$ 의 각 값에 대하여 13, 14항을 반복한다. 완성된 표는  $I_B$   $30\mu A$ 에서  $V_{CE}$ 에 따른  $I_C$ 의 값이다.
16. 이제 그림 5-3의 그래프에서 콜렉터 특성 곡선을 그리는데 도표 5-1에 기록한  $I_C$ 와  $V_{CE}$ 의 상당한 값을 이용한다.  
이것은  $I_B = 10\mu A$ 일 때의 곡선이다.

$I_B = 30 \mu A$						
$V_{CE}$ (V)	1	2	3	4	5	6
$I_C$ (mA)						

도표 5-3 실험순서 12, 13, 14, 15항의  $I_C$ 기록표

17. 그림 5-3의 그래프에 두 번째 곡선을 그리기 위하여 도표 5-2의  $I_C$ 와  $V_{CE}$ 의 값을 쓴다. 이것은  $I_B = 20\mu A$ 의 곡선이다. 도표 5-3의  $I_C$ 와  $V_{CE}$ 의 값으로 그림 5-3의 그래프에 또 하나의 곡선을 그린다. 이 곡선은  $I_B = 30\mu A$ 의 것이 된다.

18. 이제 트랜지스터의 콜렉터 특성 곡선을 이용하여  $\beta$ 를 구해 보자.  
 첫째  $V_{CE}(4V\text{이상})$ 의 정수값을 택하고  $I_B$ 의 근소량 변화에 따른  $I_C$ 의 변화를 주시한다.  
 아래 보인  $\beta$ 에 대한 식을 이용하여 트랜지스터의  $\beta$ 값을 구해보자.

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \underline{\hspace{4cm}}$$

19. 트랜지스터  $\alpha$ 의 값을 결정하는데 앞의 절차에서 구한  $\beta$ 의 값을 쓴다. 주어진 관계식으로 아래의 빈칸에서  $\alpha$ 의 값을 구하여 기록하라.

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta+1} \qquad \alpha = \underline{\hspace{4cm}}$$

20. ED-2100의 전원을 끈다.

### 【요점정리】

이제까지의 실험에서 에미터 접지 트랜지스터의  $I_C$ ,  $I_B$  및  $V_{CE}$ 의 상호관계에 대하여 관찰하였다. 여기서  $I_B$ 를 몇 개의 특정 값으로 정하여 놓은 다음  $V_{CE}$ 의 여러 가지 전압변화 범위 내에서  $I_C$ 의 변화를 기록하여 그래프에 콜렉터 특성 곡선을 그렸다. 이 곡선은 일반적으로 그림 5-4의 것과 거의 비슷한 곡선군을 나타낼 것이다. 그렇지만 위에서 구한 곡선에서는 아주 낮은  $V_{CE}$ 전압(0에서 1V사이)에서는 곡선을 그릴 수가 없었다. 그렇기 때문에 각 곡선은  $I_C$ 전류의 처음 상승부분은 그리지 않았고 다만  $I_C$ 전류의 정상값(무릎점)에서부터  $I_C$ 와  $V_{CE}$ 의 관계 곡선을 그렸다. 그러므로 위에서 그린 각 곡선은  $V_{CE}$ 의 증가분에 대하여 거의 일정한 상태로 보인다. 그렇지만 이  $I_C$ 의 변화분은  $I_B$ 의 값에 비하여 많은 변화를 나타낸다.

다음 실험에서는 콜렉터 특성 곡선을 이용하여 트랜지스터의  $\beta$ 의 값은 100이상의 값에서 200정도의 값까지 될 수 있다. 이 값은 이 트랜지스터가 높은 전류 이득을 가지고 있음을 나타낸다. 여기서 정확한  $\beta$ 의 값은 트랜지스터가 같더라도 그  $\beta$ 의 값은 각각 다르기 때문에 그리 중요하지 않다.

다음의 실험에서는 위에서 구한  $\beta$ 의 값으로  $\alpha$ 의 값을 구하였다. 여기서 구한  $\alpha$ 의 값은  $\beta$ 의 값이 충분히 크기 때문에 대부분 0.99이상이 된다. 이 값은 이 트랜지스터의 전류 이득이 1에 가까움을 의미한다.(베이스 접지 경우)

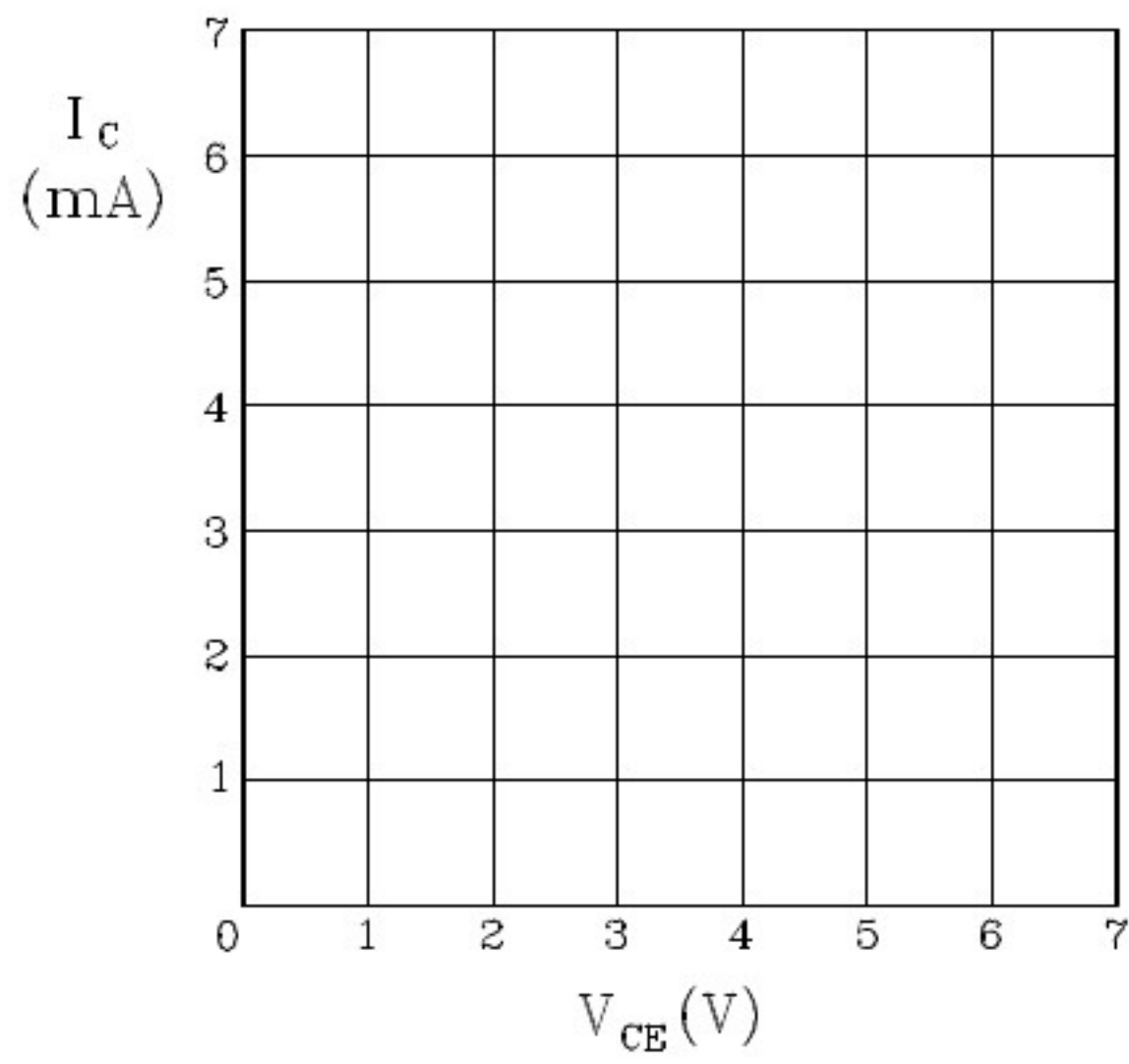


그림 5-3  $V_{CE}$  및  $I_C$  곡선

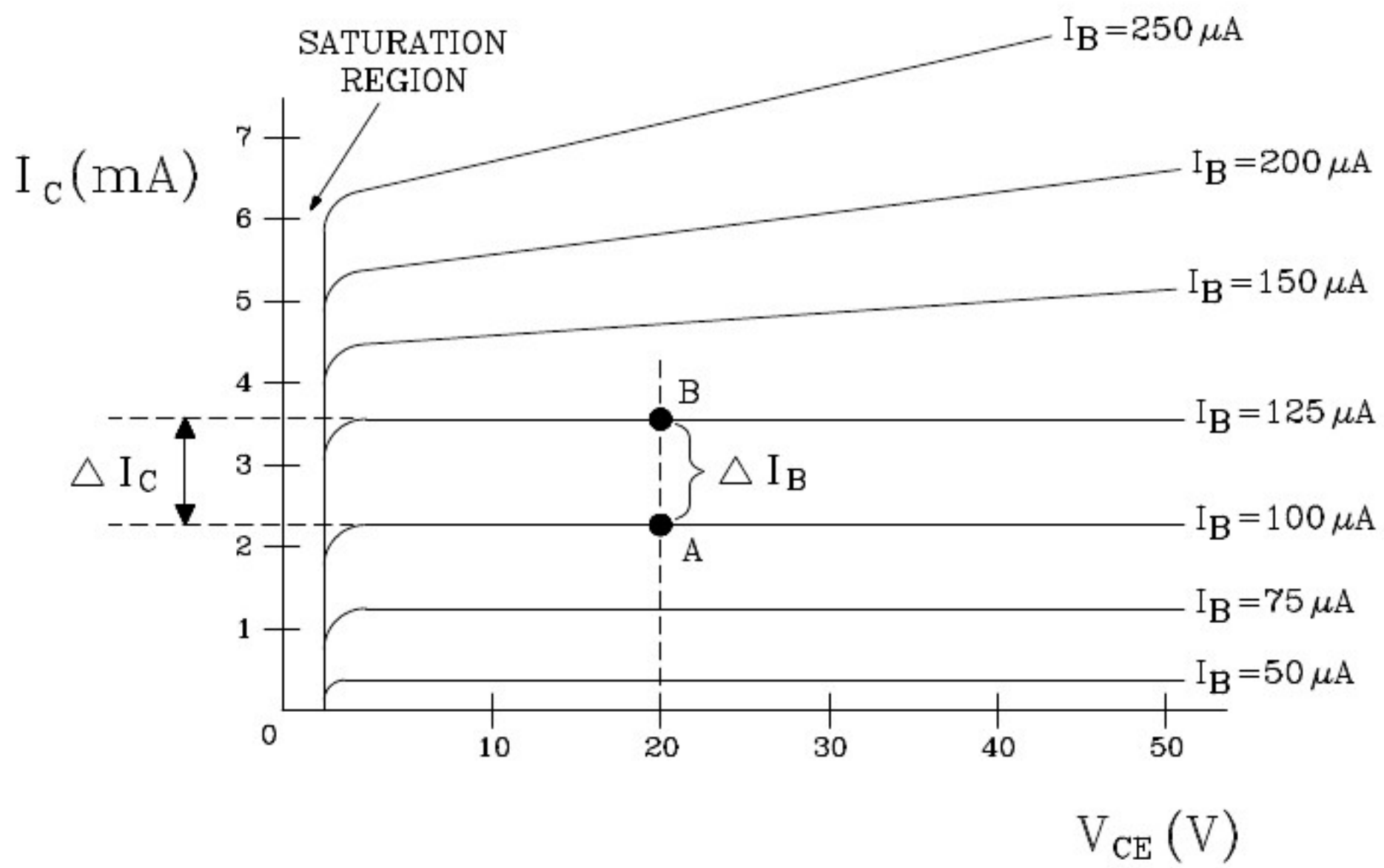


그림 5-4 전형적인 에미터 접지 콜렉터 특성 곡선

# 제 3장 전자회로 실험

# 실험 1. 에미터 접지 증폭기의 특성

## 【목 적】

실용적인 에미터 접지 증폭회로의 동작과 중요한 특성을 배우도록 한다.

## 【서 론】

이 실험에서는 전압 분할 바이어스와 에미터 레환을 채용한 에미터 접지 증폭기를 구성하게 된다.

이 실험에서 구성된 회로는 앞의 절에서 행한 회로와 유사하며 간단하고 실용적인 것으로써 실제로 많이 이용되는 회로이다.

그러나 구성 소자의 값은 최적의 회로 운용에서 조정된 값과 지금까지 사용되어 온 표준 소자 값으로 정해졌다.

또한 입력저항 및 출력저항 뿐만 아니라 사용 할 트랜지스터의 형(type)도 결정해야 한다.

### 《필요 부품 및 기기》

• 전자 실험기 (ED-2100)	1대
• 전압계	1대
• 오실로스코프	1대
• NPN 트랜지스터	1개
• 저항 1k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개
• 저항 4.7k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개
• 저항 10k $\Omega$ , 1/4W 5%	2개
• 저항 56k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개
• 전해 콘덴서 33 $\mu$ F	3개

## 【실험순서】

1. 그림 1-1과 같이 회로를 구성한다. 그림 1-2에 보인 것과 같이 회로를 구성하거나 또는 다른 형태로 구성을 할 수 있다. 구성된 실험 회로는 간단한 에미터 접지 증폭기로서  $R_2(56k\Omega)$ 와  $R_3(10k\Omega)$  저항을 통해서 전압 분할 바이어스를 걸어주고,  $R_5$ 를 통해서 에미터 케환이 행해진다.

$R_4(4.7k\Omega)$ 는 출력 부하저항이 되며 신호발진기로부터 나오는 정현파는 전압 분할기를 통해 인가된다. 전압 분할기는 신호 발진기로부터 나오는 교류 전압 정현파의 진폭을 조절해 준다.

전압 분할기로부터 나온 교류전압은  $C_1(33\mu F)$ 결합 콘덴서를 통해서 증폭기의 입력으로 들어간다.

이 가변교류 정현파는 교류입력 전압  $V_{IN}$ 으로 사용된다.

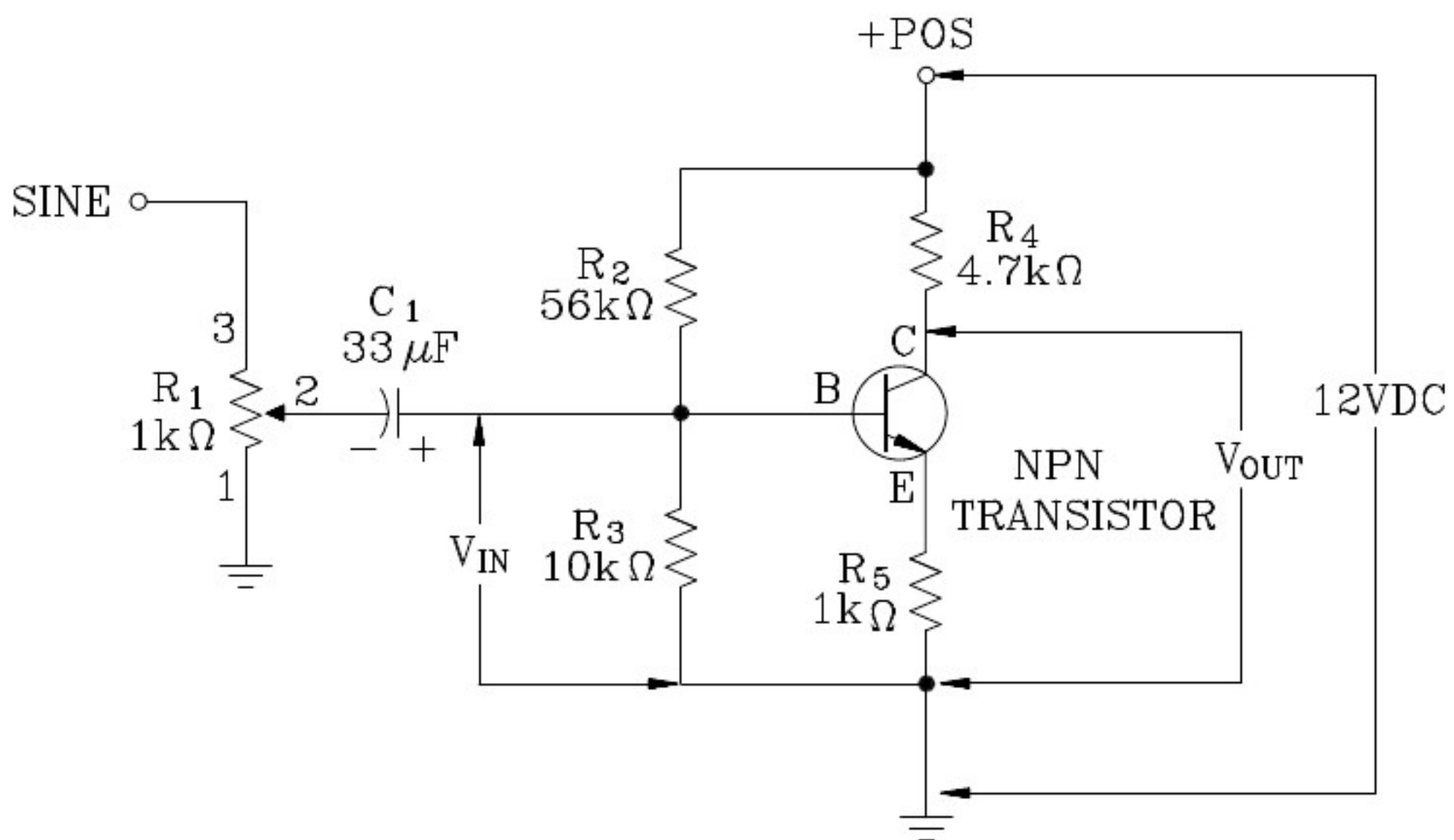


그림 1-1 실험회로

2. 전자 실험기에 전원을 넣고서, 전압 손잡이로 회로 입력 전원 전압이 12V가 되게끔 조정한다.
3. 신호 발진기의 출력 주파수를 약 1,000Hz 정도 되게 조정한다.

4. 오실로스코프에 전원을 넣고 오실로스코프가 안정되게 몇 분간 기다렸다가 계기가 교류 입력전압을 측정하도록, 또 교류 입력신호에 내부 동기를 잡도록 오실로스코프를 조정하라. 그리고 나서 오실로스코프에 선명한 상이 나타나도록 필요한 조정 장치를 조정한다.
5. 이제 신호 발생기에서 공급하는 교류 전압 정현파를 관찰하는데 오실로스코프를 사용하면 된다. 우선 sine 단자에 오실로스코프의 수직 입력선을 접속하고 회로 접지에 오실로스코프의 접지선을 접속한다. 오실로스코프의 sweep 주파수 또는 교류 정현파 전압의 4 또는 5주기가 상에 나타나도록 TIME/DIV 조정 장치를 조절한다. 이때 오실로스코프의 수직 입력 감쇠기를 조정하여 2~4cm사이의 첨두치(peak-to-peak) 진폭을 가진 교류 파형이 생기도록 조정한다. 또한 나타난 파형을 안정시키기 위해 오실로스코프의 트리거 레벨 조정 장치를 사용할 필요가 있을 것이다.

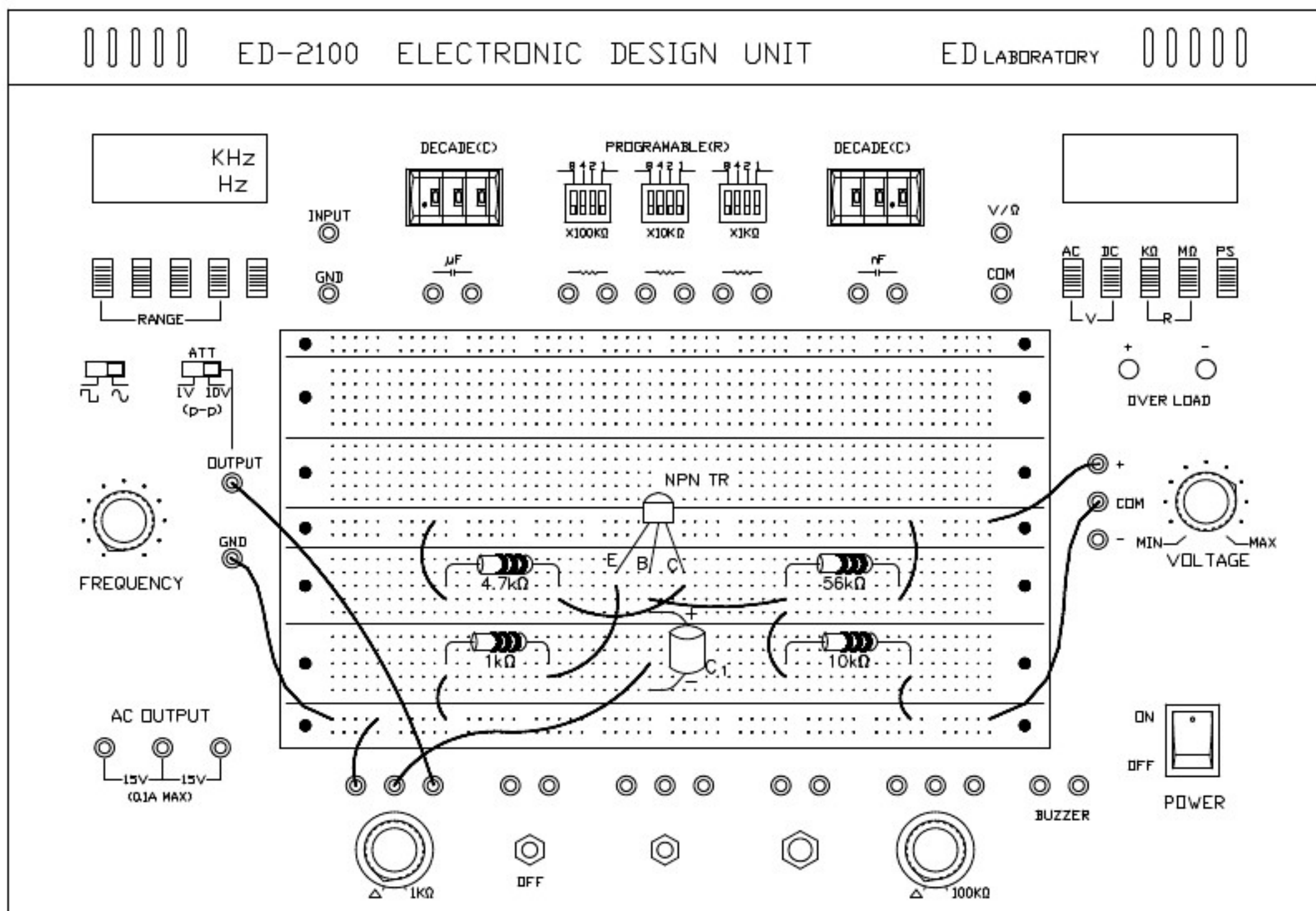


그림 1-2 실험 회로 구성도

6. 이제는 입력 교류 신호 전압( $V_{IN}$ )이 0으로 감소되도록 전압 분할기를 반시계 방향으로 끝까지 돌린다. 이때 트랜지스터의 콜렉터에 오실로스코프의 수직의 입력선을 연결하고 오실로스코프의 접지선이 회로 접지에 연결되었는가를 확인한다. 이것은 증폭기 회로에 공급할 출력 신호 전압( $V_{OUT}$ )을 관찰할 수 있게 한다. 다시 출력 조절기를 시계 방향으로 천천히 돌려서 입력 신호 전압을 증가시키면서 오실로스코프의 상에서  $V_{OUT}$ 의 변화를 관찰한다.

$V_{IN}$ 이 증가하면  $V_{OUT}$ 은 어떻게 되겠는가? 관찰해 보라.

7. 오실로스코프에서  $V_{OUT}$ 을 관찰하면서 출력 조절기를 시계 방향 끝까지 돌린다. 이때  $V_{OUT}$ 의 (+)와 (-)의 첨두치에 어떤 변화가 생기는지 관찰하라. 또 변화가 생겼다면 그 이유는 무엇인지 생각해 보라.

8.  $V_{OUT}$ 의 (+) 또는 (-)의 첨두치에서 왜곡이 보이지 않을 때까지  $R_1$ 을 시계 반대 방향으로 돌린다. 이때  $V_{OUT}$ 의 첨두치 값(정과 부첨두치간의 총변화)을 오실로스코프로 측정하여 아래에 기록하라.

$$V_{OUT} = \underline{\hspace{2cm}} V_{P-P}$$

9. 트랜지스터의 베이스에 오실로스코프의 수직 입력선을 연결하고 회로접지에 연결된 접지선은 그대로 둔다. 이렇게 되면 오실로스코프 입력신호 전압( $V_{IN}$ )을 관찰하게 된다.

$$V_{IN} = \underline{\hspace{2cm}} V_{P-P}$$

10. 실험순서 9에서 얻어진  $V_{IN}$  값으로 실험순서 8에서 얻어진  $V_{OUT}$  값을 나누어서 회로의 전압 이득을 구하여 아래 공란에 기록하라.

$$\text{전압 이득} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

11. 다음에는 에미터 저항  $R_5$ 에  $47\mu\text{F}$ 콘덴서를 연결한다. 콘덴서(콘덴서의 +부분이 트랜지스터의 에미터에 접속해야 한다)를 연결했을 때 극성을 관찰하여 꼭 확인하라.

이 콘덴서는  $R_5$  사이의 바이패스 콘덴서로서 작용하게 된다. 또한 Sine파 출력과와  $33\mu\text{F}$ 의 결합콘덴서  $C_1$ 사이에  $10\text{k}\Omega$  저항기를 연결한다.

이 저항기는 입력 신호 전압의 양을 감소시킨다.



12. 트랜지스터의 콜렉터와 접지 사이의 출력 전압을 관찰하기 위하여 다시 오실로스코프를 사용한다. 이때 실험순서 8, 9 및 10을 반복한다. 새로 측정된 것과 계산 값을 아래 기록하라.

이때 실험순서 8에서와 같이  $R_1$ 을 조정하여 왜곡을 최소로 하는 것에 주의하라.

$$V_{OUT} = \frac{\quad}{\quad} V_{P-P}$$

$$V_{IN} = \frac{\quad}{\quad} V_{P-P}$$

$$\text{전압 이득} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{\quad}{\quad}$$

13. 기초 실험기의 전원을 끈다.

### 【요점정리】 (실험순서 1 ~ 13)

이 부분의 실험에 있어서 회로에 신호전압을 가하여 출력신호를 관찰하였을 때 그 진폭은 증가했다. 출력 조절기를 조정하여  $V_{IN}$ 을 증가시켰을 때  $V_{OUT}$ 의 (+) 및 (-)의 첨두치에서는 평탄해 졌다. 이와 같이 첨두치의 끝이 평탄한 것은 과신호로 인한 트랜지스터가 포화되기 때문이다.

다음에는 증폭기의  $V_{IN}$ 을 조정하여 증폭기에 과신호가 인가되지 않게 하였다. 그리고서 증폭기의 입력 전압( $V_{IN}$ )과 출력 전압( $V_{OUT}$ )의 첨두값을 측정한 다음  $V_{OUT}$ 을  $V_{IN}$ 으로 나누어 전압 이득을 구하였다. 여기서는 바이패스 콘덴서를 사용하지 않았기 때문에 전압 이득은 거의  $R_4(4700\Omega)$ 와  $R_5(1000\Omega)$ 의 비가 되어 약 4.7이 된다.

여기서 다소간의 오차는 저항 값의 오차와 측정상의 오차가 원인이 될 수 있다. 다음의 실험에서는  $R_5$ 양단에 바이패스 콘덴서를 삽입하여  $V_{IN}$ 과  $V_{OUT}$ 을 측정하여 이득을 구하였다. 여기서 구한 전압 이득은 바이패스 콘덴서의 삽입으로 훨씬 높게 약 100이상이 되었다.

이 바이패스 콘덴서는 교류신호 증폭기에서  $R_5$ 와 함께 낮은 임피던스를 갖게 하여 증폭기 이득 결정에 있어서 트랜지스터의  $\beta$ 에 중요한 역할을 하게 된다.

**【실험계속】**

14. 전자 실험기 전원을 ON하고 이때 트랜지스터의 콜렉터와 접지간에 오실로스코프를 연결하여 다시  $V_{OUT}$ 를 측정한다.  $V_{OUT}$ 가 알맞은 첨두값을 가질 때까지 출력 조절기를 조정한다. 이때 증폭기가 정과 부 첨두치에 왜곡이 발생할 수 있으므로 출력 조절기를 조정하는데 너무 높게 올리지 않도록 주의한다.  $V_{OUT}$ 를 기록하라.

$$V_{OUT} = \underline{\hspace{2cm}} V_{P-P}$$

15. 전자 실험기 전원을 OFF하고 이때 트랜지스터의 콜렉터에  $33\mu F$ 의 콘덴서의 (+)리드를 콜렉터에 접속하고 (-)리드는  $100k\Omega$  VR의 1번 단자에 접속시킨다. 또 이 VR의 2번 단자는 접지에 접속한다. (주 :  $100k\Omega$ 대신에 PROGRAMMABLE  $R \times 10k\Omega$ 을 사용해도 좋음) 그림 1-3에 접속 방법을 보여준다.

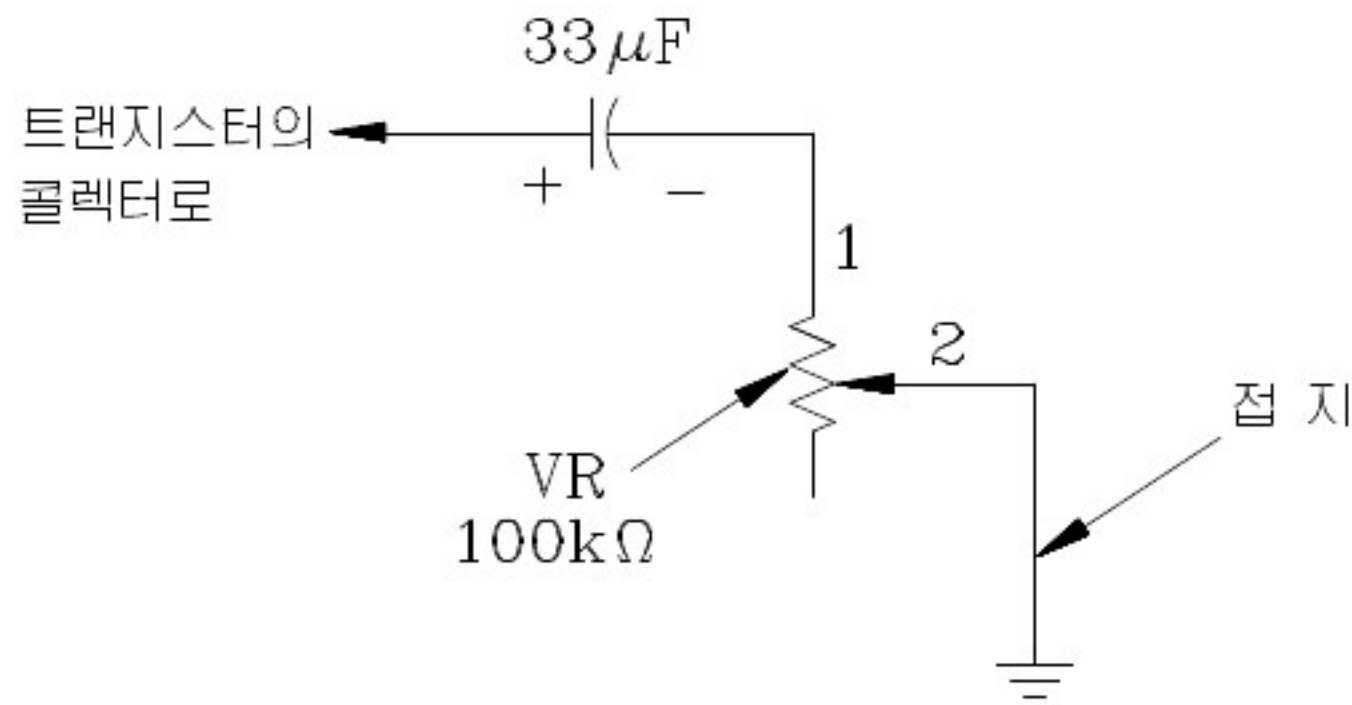


그림 1-3 출력 임피던스 측정을 위한 소자 첨가회로

16. 실험기의 전원을 ON하고 오실로스코프 상에서  $V_{OUT}$ 를 관찰하는 동안  $V_{OUT}$ 가 실험순서 14에서 기록했던 값의 정확하게 1/2이 되는 첨두값을 가질 때까지  $100k\Omega$  VR를 조정하라.
17. 전자 실험기의 전원을 OFF하고 앞의 그림 1-3에서 첨가됐던  $33\mu F$ 의 콘덴서와  $100k\Omega$  VR를 떼어내고 이때  $100k\Omega$  VR의 조정 위치가 변하지 않도록 한다.
18.  $100k\Omega$  VR의 단자 1과 2사이의 저항을 저항계로 측정하여 아래 공란에 기록하라. 이때 이 저항 값은 회로의 출력 임피던스를 나타낸다.

$$\text{출력저항} = \underline{\hspace{2cm}} [\Omega]$$

19. 이제 앞에서 전위차계  $R_1$ 과 콘덴서  $C_1$ 사이에 접속되었던  $10k\Omega$  저항기를 떼어낸다. 이때 VR( $R_1$ )의 단자 2에  $100k\Omega$  전위차계의 단자 1을 접속하고 결합 콘덴서  $C_1$ 에  $100k\Omega$  VR의 단자 2를 접속하라.  
 $100 [k\Omega]$  VR는 지금 그림 1-4에 보여진 것처럼 장치되어야 한다.

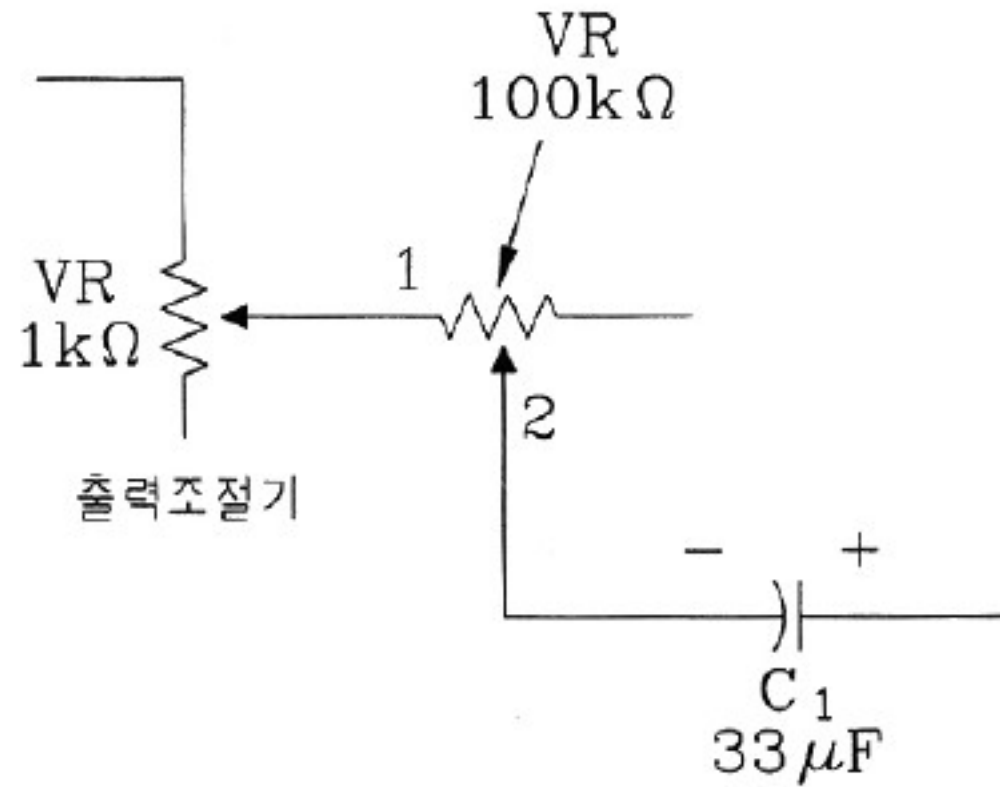


그림 1-4 입력저항 측정을 위한 회로구성

20. 전자 실험기 전원을 ON하고  $100k\Omega$  VR를 시계 반대방향으로(최소저항) 돌려 놓는다. 오실로스코프를 사용하여  $V_{OUT}$ 을 측정하고 이때  $R_1$ 을 조정하여 적당한  $V_{OUT}$ 의 값을 결정하지만 왜곡이 생기지 않는 범위 내에서 출력조절기를 조정하라. 이렇게 되면 오실로스코프상에  $V_{OUT}$  좋은 정현파가 나타나게 된다. 오실로스코프상의  $V_{OUT}$ 의 첨두치 값을 구하여 아래에 기록하라.

$$V_{OUT} = \underline{\hspace{2cm}} V_{P-P}$$

21. 오실로스코프에서  $V_{OUT}$ 를 관찰하는 동안, 실험순서 20에서 기록한  $V_{OUT}$ 의 첨두치가 정확하게 1/2 떨어질 때까지  $100k\Omega$ 의 VR를 오른쪽으로 돌려라.
22. 전자 실험기의 전원을 끄고  $100k\Omega$  VR를 회로에서 분리시킨다. 이때 이 VR의 조정위치가 변하지 않도록 주의한다.
23. 저항계를 사용하여  $100k\Omega$  VR의 단자 1과 2 사이의 저항을 측정하라. 여기서 측정된 저항은 증폭회로의 입력저항을 나타낸다. 이 입력저항 값을 아래에 기입하라.

$$\text{입력저항} = \underline{\hspace{2cm}} [\Omega]$$

## 【요점정리】 (실험순서 14 ~ 23)

이 부분의 실험에서 증폭회로의 입력저항과 출력저항을 결정했다. 출력회로에 가변저항기를 접속함으로써 출력 저항을 결정할 수 있었고 이때 가변 부하 저항기를 조종하여 출력 신호 전압이 1/2로 되게 함으로써 근본적으로 회로의 부하 저항과 회로의 출력 저항을 같게 하였다.

그리고서 이 부하 저항을 저항계로 측정하여 부하 저항 값을 결정하였다.

여기서 출력 저항이 대략 부하저항( $R_4$ )의 값 또는 4.7 [k $\Omega$ ] 에 대해 동등했다는 것을 알았을 것이며 이 부하 저항기의 값은 실제 트랜지스터의 부하 저항값(대략 40k $\Omega$  ~ 50k $\Omega$  정도)보다 매우 낮음을 알 수 있다. 그리고 이 저항기는 회로의 출력 임피던스를 결정한다. 부하저항기  $R_4$ 는 교류신호에 대해서는 트랜지스터에 보다 높은 출력 저항(콜렉터와 에미터 사이의 저항)과 함께 효과적인 병렬 회로를 구성한다.

또한 에미터 저항  $R_5$ 가 바이패스 되었어도 교류 신호에 아무런 영향을 주지 않았다. 다음의 실험에서도 이미 위에서 사용한 같은 방법으로 회로의 입력 저항을 측정하였고 여기서도 같은 저항을 입력에 직렬로 삽입하여 다시 이 저항값을 조종하여 출력 전압이 반으로 되게 하였다. 이때 가변저항의 값은 원래의 입력 신호를 반으로 감소시켰기 때문에 증폭기의 입력 저항과 같게 된다.

여기서 측정된 입력 저항은 대략 3k $\Omega$ ~4k $\Omega$ 사이가 된다. 증폭 회로에서의 입력 저항은 원래 트랜지스터의 내부 입력저항(베이스와 에미터 사이 저항)에 의하여 결정된다. 그러나 트랜지스터의 입력저항은 교류 입력신호가 관계되는한 필수적으로 전압 분배 저항  $R_2$ 와  $R_3$ 에 대해 병렬로 되어 있다. 이 병렬 조합은 회로의 전체 입력저항을 나타낸다. 에미터 저항  $R_5$ 는 바이패스 되었기 때문에 전체의 입력 저항에 영향을 미치지 않았다.  $R_5$ 가 바이패스 되지 않았다면 입력 교류(AC)신호는 회로에서 트랜지스터의 내부 입력 저항과 전체 입력저항과 직렬로  $R_5$ 가 되고 보다 높아질 지도 모른다. 그러나 여기서의 측정은  $R_5$ 를 바이패스 시켰고 이렇게 함으로써 이와 같은 회로에서는 정상 상태가 된다.

저항  $R_2$ 와  $R_3$ 은 효과적으로 트랜지스터의 입력 저항을 분류시킴으로써 회로의 전체 입력저항은 낮추어진다.

**【실험계속】**

24. 실험 회로가 그림 1-1과같이 되어 있는가를 확인하고서 또 VR(R<sub>1</sub>)이 시계 반대 방향 끝까지 돌려져 V<sub>IN</sub>이 0이 되도록 되어 있는지 확인한다.

25. 전자 실험기의 전원을 켜고 전압계로 에미터 저항 R<sub>5</sub>의 양단 직류전압을 측정하여 이 전압을 아래에 기록하라.

$$R_5 \text{ 양단 전압} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [VDC]}$$

26. 같은 방법으로 R<sub>3</sub>의 양단 직류전압을 측정하여 아래에 기록하라.

$$R_3 \text{ 양단 전압} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [VDC]}$$

27. 이번에는 실험순서 25와 26에서 구한 R<sub>3</sub> 양단전압과 R<sub>5</sub> 양단전압의 차를 구하여 아래 기록하라.

$$\text{전압차} \underline{\hspace{2cm}} \text{ [VDC]}$$

28. 이번에는 실험순서 27에서 구한 전압차는 트랜지스터의 순방향 전압 강하를 나타낸다. 이 전압 강하의 값은 트랜지스터가 실리콘이나 게르마늄으로 제작되었는가를 가리키며 위의 경우는 무엇으로 제작 되었는가를 생각해 보라.

$$\underline{\hspace{2cm}} \text{으로 제작}$$

29. 전자 실험기의 전원을 끈다.

**【요점정리】 (실험순서 24 ~ 28)**

최종 실험에서 에미터 저항 R<sub>5</sub>와 R<sub>3</sub>의 전압 강하를 측정하여 이들 전압의 차이를 구하여 트랜지스터의 에미터 접합에서의 순방향 전압 강하를 구하였다. 여기서 구한 이 순방향 전압 강하는 약 0.7V로 나타나게 되고 이것은 이 트랜지스터가 실리콘으로 제작되었음을 의미한다.

## 실험 2. 직류 증폭기

### 【목 적】

트랜지스터의  $\beta$ 와 에미터 저항값에 의해 증폭기의 입력 저항이 얼마의 영향을 받는가를 실험을 통해 알아보고  $\beta$ 가 Darlington회로에서 얼마나 증폭하는가를 설명하기 위함.

### 【서 론】

어떤 증폭기든지 그 중요한 특징은 그 입력저항이다.

이미 반도체 이론에서 배운 것과 같이 콜렉터 접지 증폭기의 입력 저항은 트랜지스터의  $\beta$ 에 에미터 저항을 곱한 것과 같음을 알 수 있을 것이다. 이를 식으로 표시하면  $R_{IN} = \beta \times R_E$  이다.

이와 같은 것을 쉬운 방법으로 보여주기 위하여  $R_{IN}$ 저항을 RC회로의 저항으로 사용하여  $\beta$ 와  $R_E$ 의 값을 변화시켜  $R_{IN}$ 의 시정수를 변화시키는 것이다. 이때 이 시정수를 조심스럽게 측정함으로써  $R_{IN}$ 에 미치는 영향을 결정할 수 있다.

### 《필요 부품 및 기기》

• ED-2100 실험기	1대
• 오실로스코프	1대
• 저항 220 $\Omega$ , 1/4W 5%	2개
• 저항 1k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개
• 저항 2k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개
• 저항 10k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개
• 저항 100k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개
• 세라믹 콘덴서 100 pF	1개
• 마일라 콘덴서 1000 pF	2개
• 실리콘 다이오드(IN 4002)	1개
• NPN 트랜지스터	2개

## 【실험순서】

1. 전자 실험기의 전원 스위치가 꺼져 있는 상태에서 그림 2-1의 RC 필터 회로를 실험기에 구성하고 회로 구성이 완료되면 실험기의 전원 스위치를 ON한다.

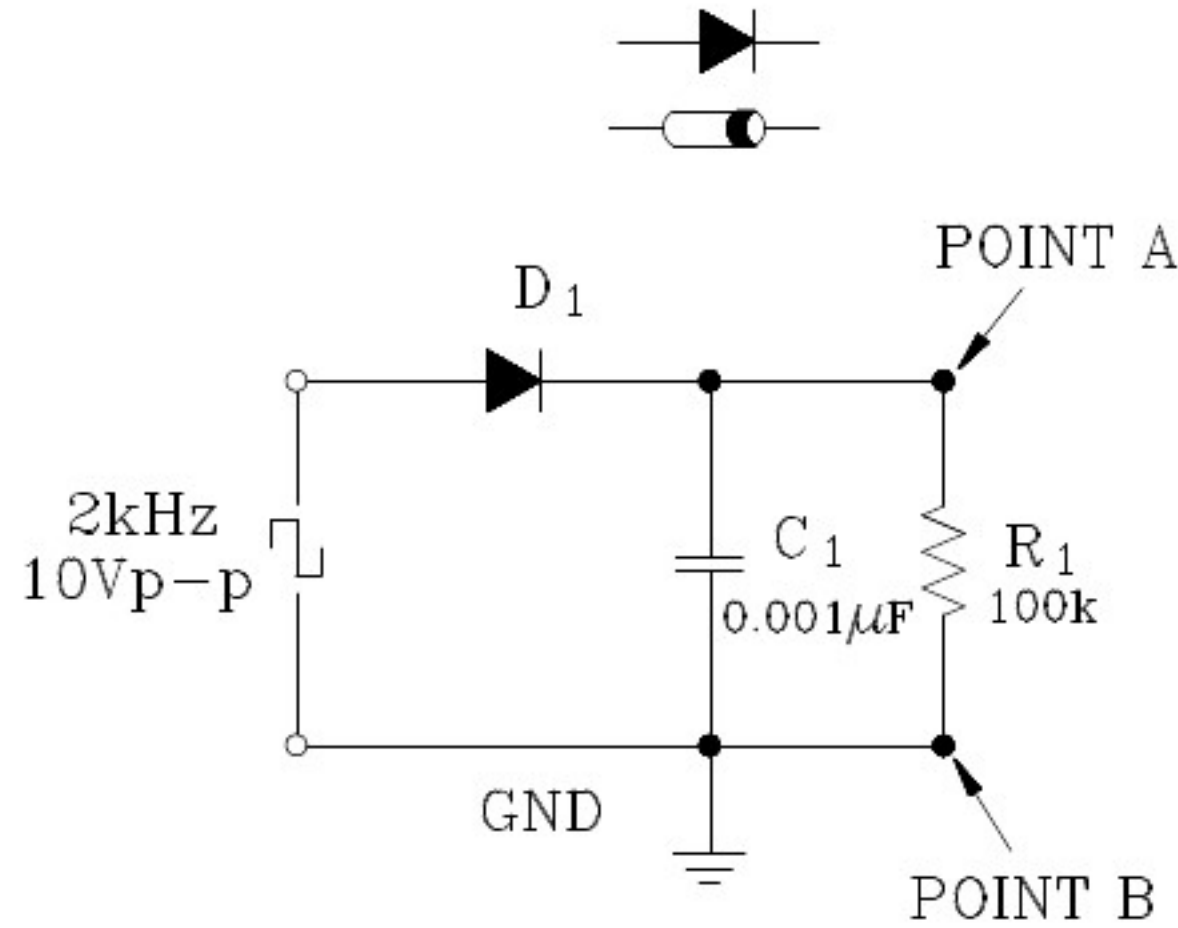


그림 2-1 실험순서 1에서 10까지의 실험회로

2. 오실로스코프에 전원을 넣은 다음 적절히 조정하여 트리거를 INT로 하고 HORIZONTAL 스위프 타임은 0.1ms 되게 Display 시킨다.
3. 오실로스코프의 접지 리드를 회로의 B점에 접속하고 V신호 리드는 A점에 접속시킨다.
4. 실험기의 GENERATOR의 주파수 조정 손잡이를 돌려 입력 주파수가 구형파 2kHz 10V<sub>P-P</sub>에 맞도록 조정하여 Input 단자에 연결시킨다.
5. 그림 2-2에 보인 것과 같이 오실로스코프를 조정하여 파형의 높이가 정확히 5cm가 되게 하고 실험기의 주파수를 조정하여 그림 2-2의 C점이 정확히 그림과 같은 위치에 오게 한다. 이때, 오실로스코프의 측정 Range를 0.1ms/0.5V<sub>P-P</sub>에 설정한다.
6. 그림 2-2의 C점에서 D점으로 떨어지는 시간을 측정한다. 여기서 D점은 파형의 최대 점의 37%까지 강하하는 점이 된다. 시간을 아래에 기록하라.

Time = \_\_\_\_\_ μs

7. 실험기의 전원을 끄고 100kΩ 저항을 10kΩ 저항으로 바꾼다.  
실험기에 전원을 다시 ON 시킨다.
8. 오실로스코프의 스위프 타임을 조정(50μs 정도)하여 실험순서 5항을 실시하여 그림 2-2와 같은 파형이 되게 한다.

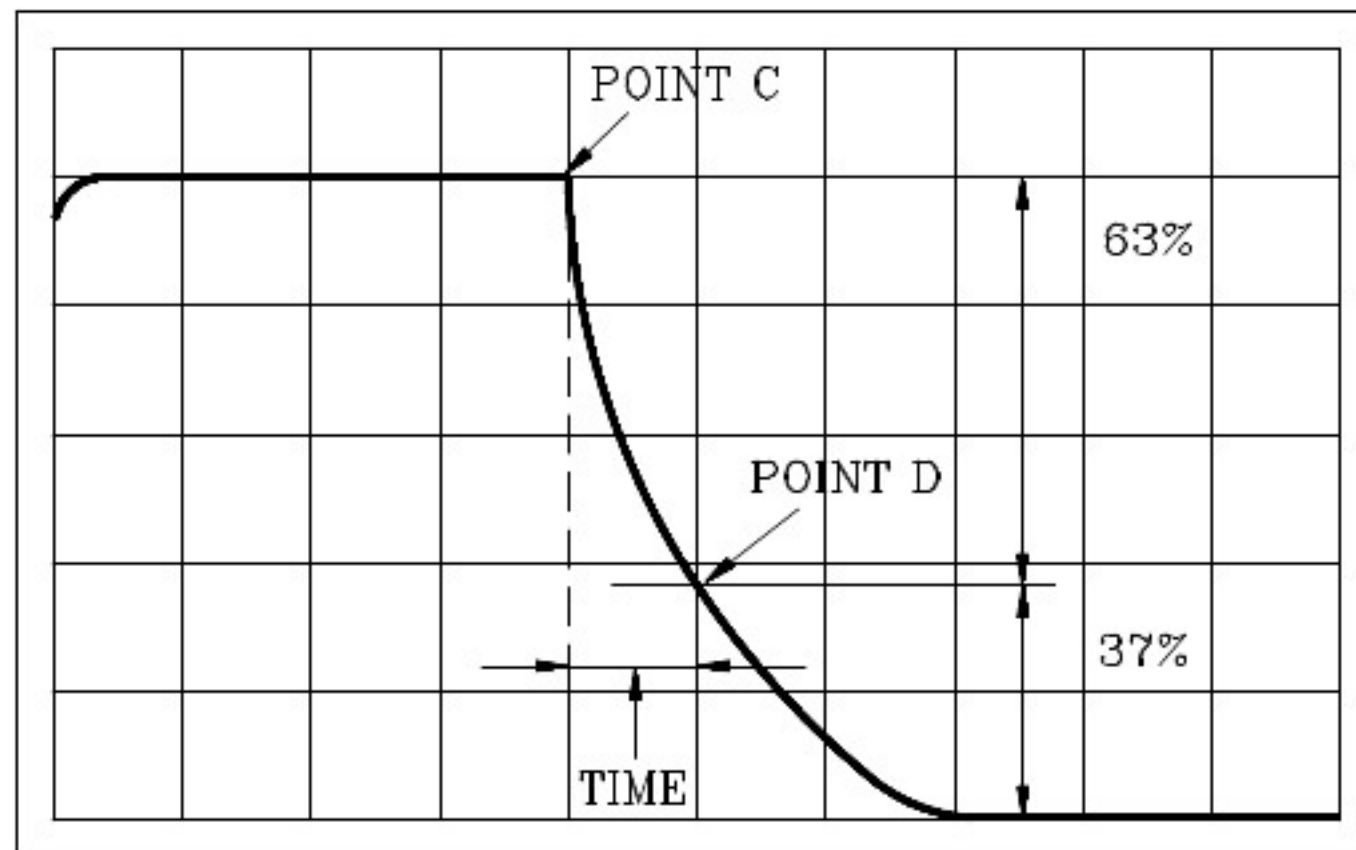


그림 2-2 실험순서 5에서의 파형

9. 실험순서 6에서와 같은 방법으로 C점에서 D점까지의 시간을 측정하여 아래에 기록하라.

Time = \_\_\_\_\_ μs

10. 시정수를 구하는 식  $TC = R \times C$ 를 이용하여 다음의 RC회로의 시정수를 구하여 공란에 기록하라.

(가) 100kΩ 저항과 0.001μF의 TC = \_\_\_\_\_ μs

(나) 10kΩ 저항과 0.001μF의 TC = \_\_\_\_\_ μs

### 【요점정리】 (실험순서 1에서 10까지)

충전 및 방전비는 시정수로 결정하며 이 시정수는 콘덴서가 그 전압의 63%까지 방전하는데 요하는 시간으로서 정의된다.

이 실험에서는 특정 RC 필터회로에 대해서 시정수를 측정하였고 또한 산출하였다.



실험순서 6에서 측정된 시정수는 대략  $100\mu\text{s}$  정도였고 실험순서 10항의 (가)에서는 이와 같이 산출되었다.

실험순서 9에서 측정된 시정수는 약  $10\mu\text{s}$  정도이고 그 산출 값은  $10\mu\text{s}$ 가 된다. 필터 회로의 부품의 오차 및 오실로스코프상의 조정 및 측정상의 오차로 실험순서 6과 10의 (가)에서는 약  $50\mu\text{s}$ 이내의 오차를 기대할 수 있고 실험순서 9와 10. (나) 사이에는 약  $5\mu\text{s}$  이내의 오차를 기대할 수 있다.

그림 2-1에서 구형파 펄스는 다이오드를 통하여 콘덴서를 충전시키는데 사용되었다. 다이오드  $D_1$ 은 도통을 하게 되어 마치 저 저항처럼 된다.

시정수는 두 소자( $C_1$  및  $R_1$ )에 직접적으로 관계되므로 아주 긴 시정수는 큰 값의 소자가 요구된다. 이런 경우 다음 구형파의 leading edge는 콘덴서에 충전된 전압이 완전히 방전되기 전에 발생하게 되어 결과적으로 작은 첨두치(peak to peak)전압을 발생시키게 된다. 이런 작용은 필터 회로의 기초가 되며 또 이런 필터는 직류 펄스를 평활 시키는데 가끔 쓰인다.

실용적이 되게 하려면 이와 같은 회로는 다른 회로에 접속시켜야 하지만 이렇게 되면 접속시켜야 할 다른 회로가 부하가 되어 결과적으로 시정수를 짧게 하게 된다. 이런 현상을 방지하기 위하여 쓰이는 것이 직류 증폭기로서 이들 두 회로 중간에 놓게 함으로써 필터 회로의 출력측과 다른 회로의 입력측을 격리시켜 상호작용을 방지시킨다.

## 【실험계속】

11. 그림 2-3의 회로를 실험기에 구성한다.
12. 실험기의 +전압조정 손잡이를 돌려 +15V 출력이 되게 한다.
13. 오실로스코프를 A점과 접지간에 접속하고 실험순서 4와 5를 반복한다.
14. 그림 2-3의 A점과 B점에서 각각의 파형을 관찰하고 이때 두 파형이 A점에서 전압이 B점에서의 파형보다 약간 높은 것을 제외하고는 거의 같음에 주의하라. 오실로스코프의 리드선을 B점에 접속시켜 둔 채로 실험순서 6에서와 같은 방법으로 시정수를 측정하여 아래 기록하라.

Time = \_\_\_\_\_  $\mu\text{s}$

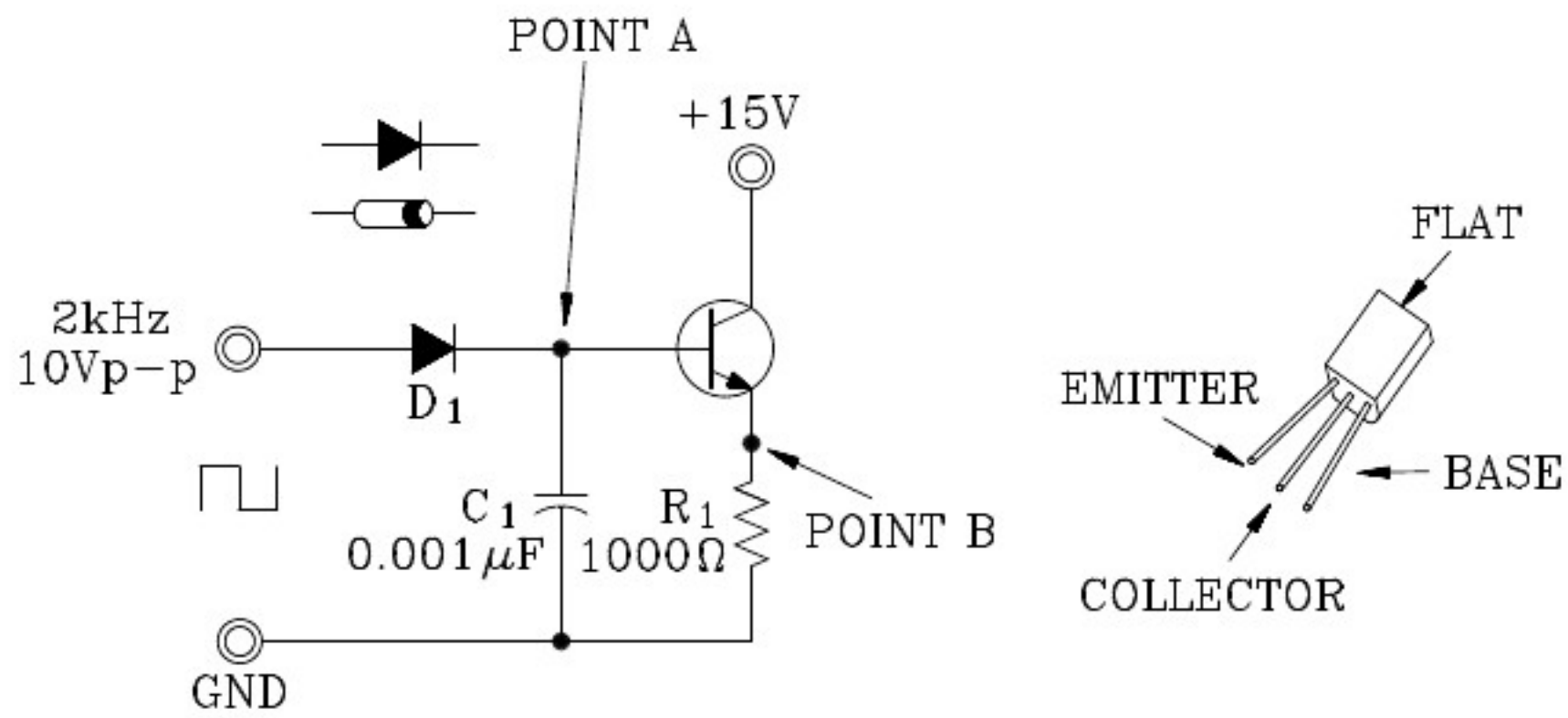


그림 2-3 실험순서 11에서 16까지의 실험 회로

15. 이번에는  $R_1$ 의 값을  $2000\Omega$ 으로 바꾼다. 이때  $1000\Omega$ 을 직렬로  $R_1$ 과 접속시켜 이용한다.
16. 실험순서 6에서와 같은 방법으로 B점에서의 파형의 시정수를 측정하여 아래 기록하라.

Time = \_\_\_\_\_  $\mu$ S

17. 그림 2-4의 회로를 전자실험기에 다시 구성한다.

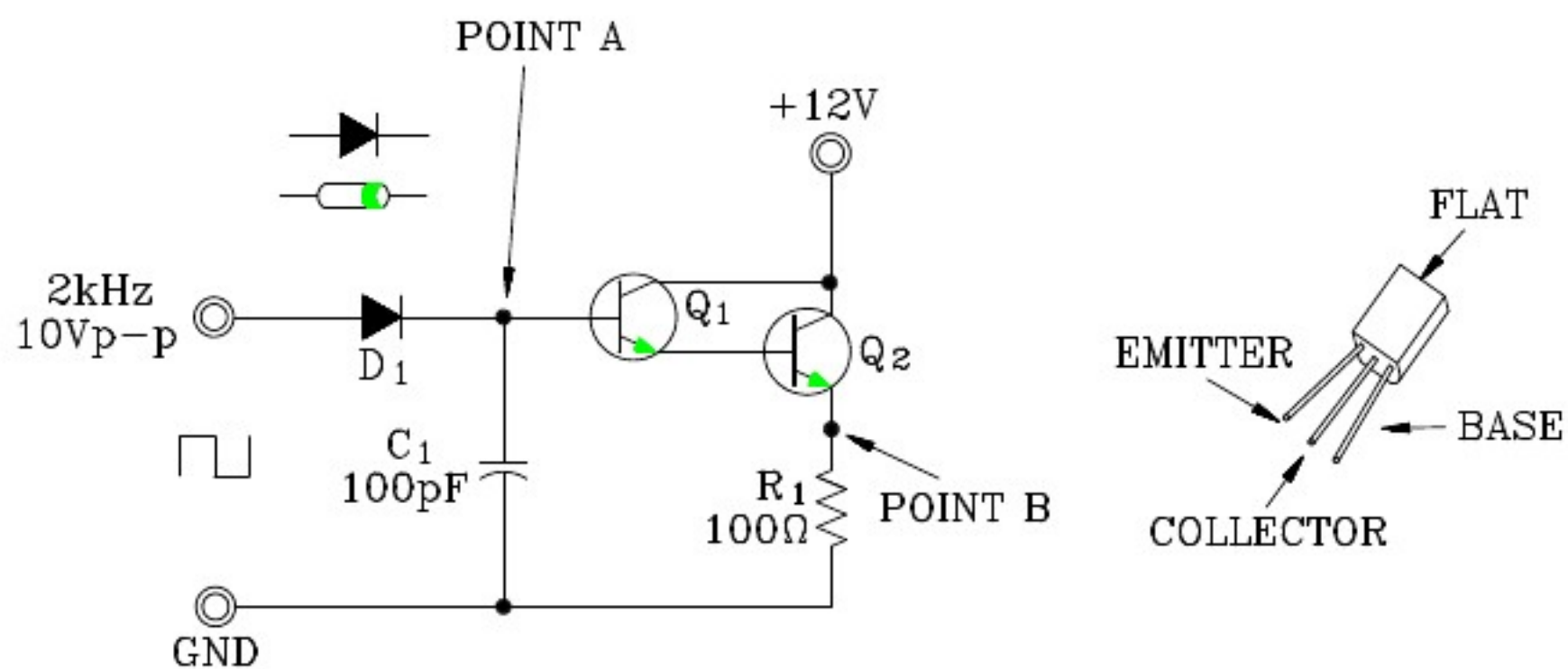


그림 2-4 실험순서 17에서 20까지의 실험 회로

18. 실험기의 +전압을 조정하여 출력 전압이 12V가 되게 한다.

19. 그림 2-4의 B점과 접지간의 파형을 관찰하라. 이때, 오실로스코프는  $0.2V_{P-P}$   $50\mu s$ 에 맞춘다음 실험순서 5를 실시한다.
20. 실험순서 6에서와 같이 B점에서의 파형에 대한 시정수를 측정하여 아래 기록한다.

Time = \_\_\_\_\_  $\mu s$

### 【요점정리】

높은 임피던스 회로와 낮은 임피던스 회로를 서로 결합시키는데는 콜렉터 접지 직류 증폭기를 사용함으로써 편리한 방법이 된다.

앞에서  $100k\Omega$  저항을 부하 저항으로 대신하여 회로에 접속시켰을 때  $0.001\mu F$  콘덴서의 방전 시간(전압의 63%까지)은  $100\mu s$ 가 걸린다.

그림 2-3에서는 부하 저항을 에미터 회로에 삽입하여 콘덴서로 부터 격리시켰다. 이때 부하 저항은  $1000\Omega$ 으로 감쇄되었고 이 회로에서 콘덴서의 방전율은 트랜지스터의 베이스 회로에 의한 입력 저항에 따라 결정되게 된다.

실험순서 14에서는 베이스와 에미터에서의 파형이 거의 같음을 알았고 단지 베이스 전압이 에미터 전압보다 근소하게 높은것 뿐이다.

콜렉터 접지 회로의 입력저항은 대체적으로 트랜지스터의  $\beta$ 에 에미터 저항을 곱한 것과 거의 같고 이 실험에서 사용된 트랜지스터의  $\beta$ 의 값은 40에서 400정도이고 여기서는 약 100이 된다.

실험순서 14에서 측정된 시정수는 약  $100\mu s$ 가 되고 이 값은 트랜지스터의  $\beta$ 의 값에 따라 약간의 차이는 있을 수 있다.

에미터 저항을  $2000\Omega$ 으로 증가시킴으로서 트랜지스터의 입력 저항을 증가시켰다. 여기서  $2000\Omega$ 의 에미터 저항에  $\beta$ 의 값 100을 곱하여  $200,000\Omega$ 의 입력 저항의 값을 얻게 되어 이 저항 값이 콘덴서와 병렬로 되어 실험순서 16에서 구한 시정수( $200\mu s$ )와 같은 값을 얻게 된다.

그림 2-4에서와 같이 콜렉터 접지 증폭기 다음에 Darlington 증폭기가 따를 경우 입력저항은 아주 높아진다. 이와 같은 결과는  $Q_1$ 의  $\beta$ 와  $Q_2$ 의  $\beta$ 에 에미터 저항을 모두 곱한것이 되기 때문이다. 각 트랜지스터의  $\beta$ 가 각각 100이라 생각하면 이 회로의 입력저항은  $1M\Omega$ 이 된다. 이 저항이  $100pF$ 의 콘덴서와 함께  $100\mu s$ 의 시정수가 되어 실험순서 20에서 구한 값과 같게 된다. (시정수 값의 약간의 오차는  $\beta$ 값의 오차에 의하여 생긴다.)

# 실험 3. 상보대칭형 전력 증폭기

## 【목 적】

상보대칭형의 일그러짐(distortion)을 실험을 통해 알아본다.

상보대칭 형의 왜곡을 식별하는데 오실로스코프를 사용하여 파형을 관측한다.

## 【서 론】

이 실험에서 구성하는 전력 증폭기는 많은 소형 라디오 수신기 및 텔레비전 수상기에서 이용된다. 설계자가 이 회로를 자주 이용하는 이유는 무신호에 대한 전력 소모가 적고 가격이 저렴하기 때문이다.

이 실험에서는 입력 신호의 변화와 또 바이어스 전압이 변화할 때의 파형을 관찰하며 증폭기의 종단에서는 스피커를 이용하여 두 가지 다른 왜곡에 대해 들어본다. 이와 같은 왜곡은 대부분 소자의 결핍이나 잘못된 설계에서 기인된다.

### 《필요 부품 및 기기》

• 전자 실험기 (ED-2100)	1대
• 전압계	1대
• 오실로스코프	1대
• 저항 4.7Ω, 1/4W 5%	1개
• 저항 100Ω, 1/4W 5%	2개
• 저항 330Ω, 1/4W 5%	2개
• 저항 4.7kΩ, 1/4W 5%	1개
• 저항 8.2kΩ, 1/4W 5%	1개
• 저항 10kΩ, 1/4W 5%	1개
• 저항 47kΩ, 1/4W 5%	1개
• 전해 콘덴서 10μF	1개
• 전해 콘덴서 33μF	1개
• 전해 콘덴서 220μF	1개
• 전해 콘덴서 0.1μF	1개

- 마일러 콘덴서  $0.1\mu\text{F}$  1개
- stabistor 다이오드 1개
- NPN 트랜지스터 2개
- PNP 트랜지스터 1개

### 【실험순서】

1. 그림 3-1의 회로를 실험기에 구성하고 점퍼선으로 그림의 점선과 같이 E점과 F 점간을 단락 시킨다.

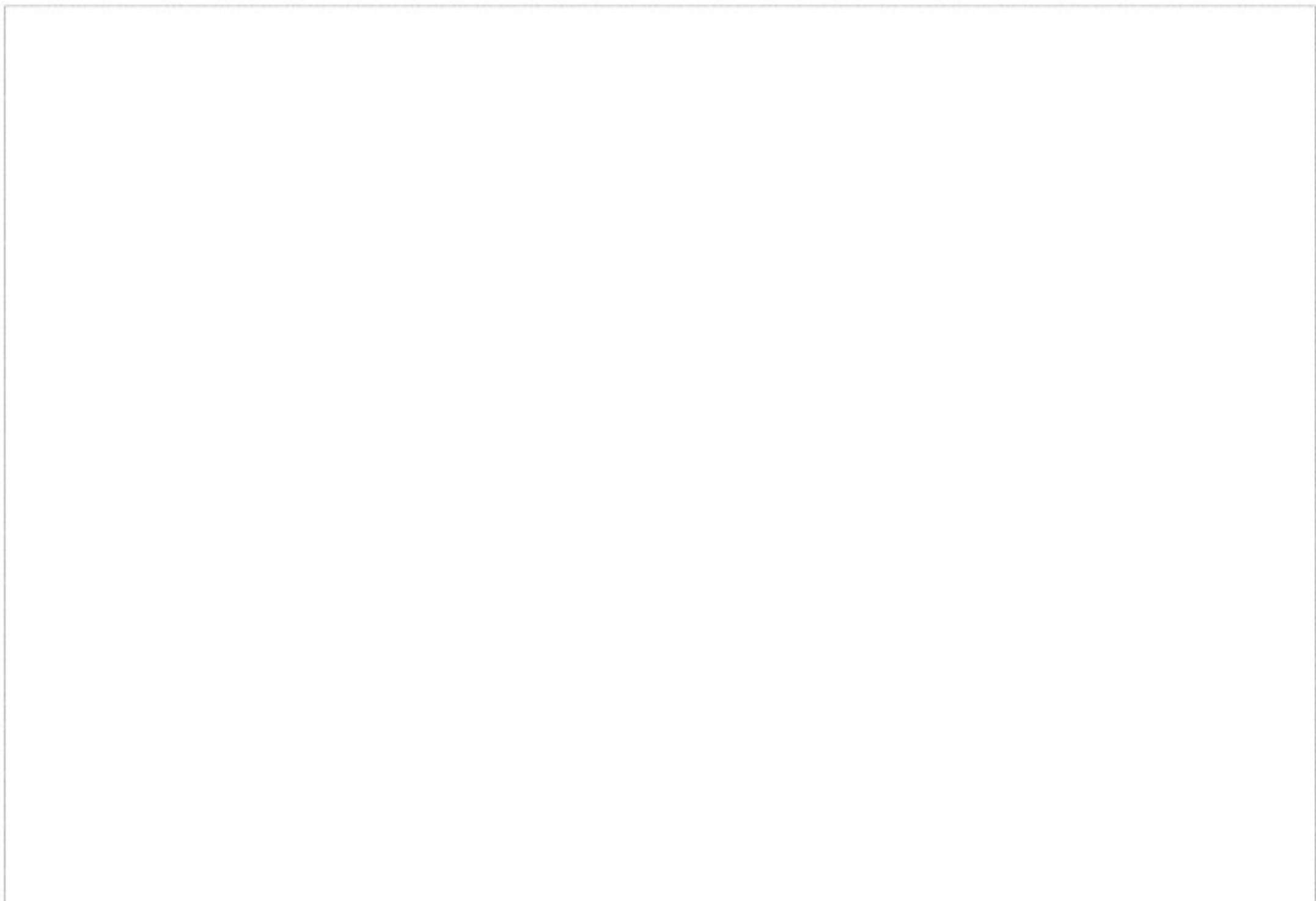


그림 3-1 실험순서 1에서 11까지의 실험 회로

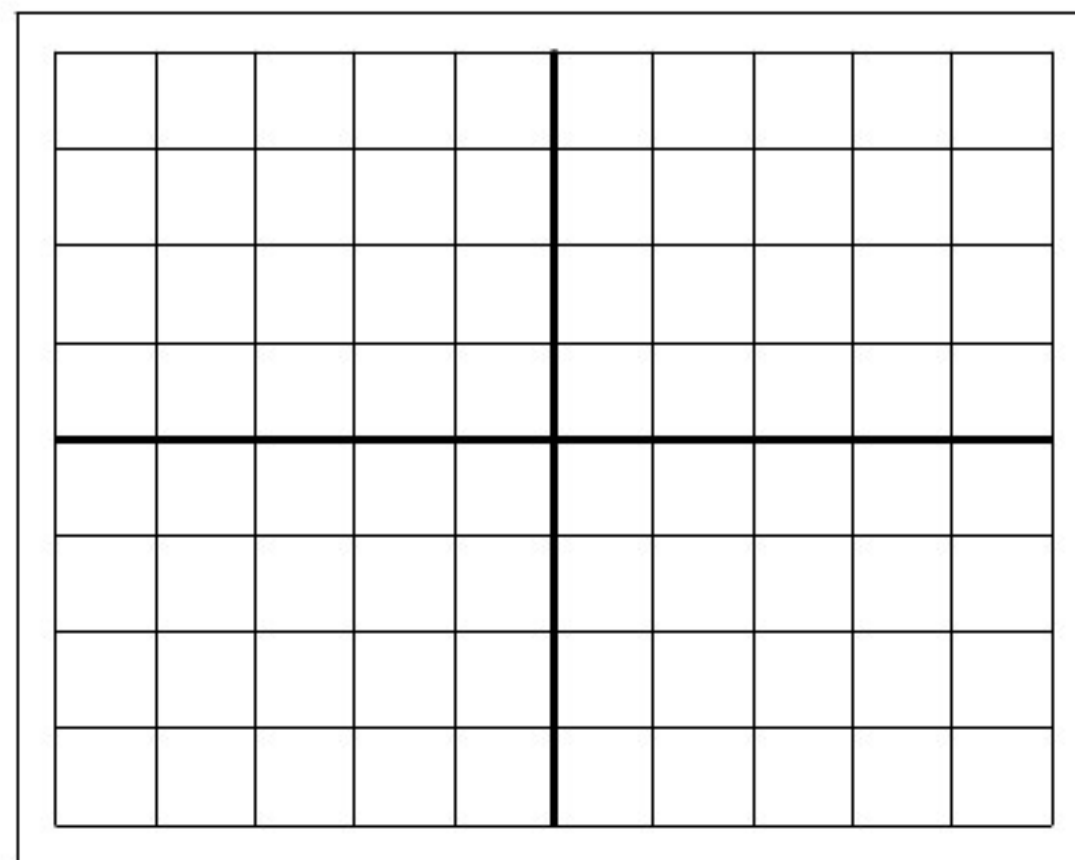
2. ED-2100에 전원을 넣고 출력 조절기  $1\text{k VR}(R_1)$ 를 시계 반대 방향 끝까지 돌려 놓고서 실험기의 “+”전압을 조정하여  $+12\text{V}$ 가 되게 한다. 또 GENERATO의 주파수는  $1\text{kHz}$ 정도 되게 한다.  
전압계를 실험 회로의 A점과 접지에 접속하고서 전위차계  $R_2$ 를 조정하여 전압계의 지시가  $+6\text{V}$ 가 되게 한다.

3. 만약 전류가 트랜지스터의  $Q_1$  및  $Q_2$ 의 콜렉터와 에미터를 통해 흐르게 되면  $R_4$ 에는 전압 강하가 생기게 된다. 전압계의 리드를 D점과 C점 사이에 접속하여  $R_4$ 의 전압 강하를 측정한다.

이때  $D_1$  양단에 점퍼가 계속되어 있는가를 확인하고 전압계의 +쪽 리드가 D점으로 -리드가 C점에 접속되도록 확인한다.  $R_4$ 양단 전압을 아래 기록하라.

$$R_4 \text{ 양단 전압} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

4. 오실로스코프의 리드선을 B점과 접지 사이에 접속한다.
5. 오실로스코프의 수평과 수직을 교정하여 수직이 0.5V/cm가 되게 하고 수평 0.2ms/cm가 되게 조정해 둔다.
6. 출력 조절기( $R_1$ )를 시계방향 끝까지 돌린 다음 파형의 왜곡을 확인한 후 그림 3-2의 그래프에 파형을 그려라.



$$\underline{\text{VOLTS/CM}} = 0.5\text{V} \quad \underline{\text{TIME/CM}} = 0.2\text{ms}$$

그림 3-2 실험순서 6에서의 관측파형

7.  $D_1$  양단의 점퍼 선을 떼어 낸다.
8. 출력 조절기( $R_1$ )를 시계반대방향 끝까지 돌린다.
9. 실험순서 3에서와 같은 방법으로  $R_4$ 양단의 전압을 측정하여 아래 기록한다.

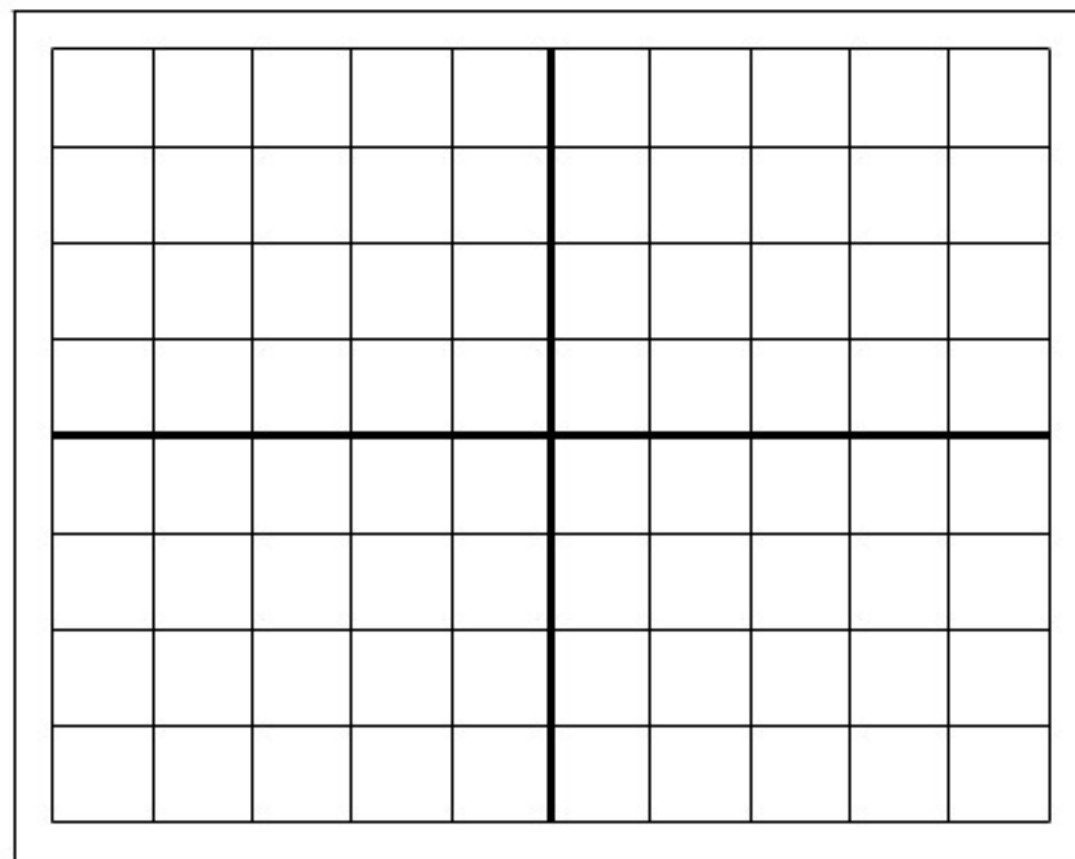
$$R_4 \text{ 양단 전압} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

10. 전압계의 “+”리드를 E점에 “-”리드를 F점에 접속하고서 D<sub>1</sub>양단의 전압을 측정하여 아래 기록한다.

$$D_1\text{양단 전압} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

11. 출력 조절기(R<sub>1</sub>)를 시계 방향 끝까지 돌려 왜곡이 안된 파형을 오실로스코프상에서 확인한 후 그림 3-3의 그래프에 파형을 옮겨 그린다. 또한 R<sub>4</sub> 양단의 전압을 측정하여 아래에 기록한다.

$$R_4\text{ 양단 전압} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$



VOLTS/CM = 0.5V      TIME/CM = 0.2mS

그림 3-3 실험순서 11에서의 관측파형

### 【요점정리】

그림 3-1은 기본 상보대칭형 전력 증폭기이다. 여기서 R<sub>4</sub>는 각 트랜지스터의 콜렉터 에미터 전류를 측정하기 위해 회로에 첨가되었고 보통 사용하지 않는다.

R<sub>2</sub>는 A점에서의 전압이 공급 전원의 반이 되도록 조정되었다.

D<sub>1</sub>양단의 점퍼선은 각 베이스 에미터 접합 점에 역 바이어스 전압이 걸리게 하며 각 트랜지스터가 도통 않는 상태로 되게 한다. 입력 신호가 없을 때 트랜지스터의 콜렉터 에미터 전류는 0이 된다. 그러므로 R<sub>4</sub>양단에서 측정한 전압은 마찬가지로 0이 되어 전류가 흐르지 않음을 의미하게 된다.

출력 조절기를 시계 방향으로 돌렸을 때 B점에서의 파형을 관측하여 그렸다. 이 파형은 그림 3-4와 거의 비슷하게 나타나게 된다. 이런 복잡한 파형은 Q<sub>1</sub>과 Q<sub>2</sub>가 교번적으로 도통하고 어느 기간 동안은 둘 다 도통하고 있지 않기 때문이다.



그림 3-4 교차 왜곡을 나타낸 파형

그림 3-5의 정현파는 증폭기에 인가되는 신호를 나타내며 정현파 신호의  $T_1$ 과  $T_2$ 의 구간은  $Q_1$ 이 도통되어 있는 상태이며  $T_2$ 과  $T_3$ 의 구간은  $Q_1$ 이나  $Q_2$ 가 도통할 수 있는 입력 레벨에 미치지 못하여 입력 신호 변화에 따른 출력 신호를 얻지 못하는 구간이 되어 이 구간을 사지역(dead zone)이라 한다.

이와 같이 한 트랜지스터의 도통에서 다른 트랜지스터의 도통으로 넘어갈 때 생기는 왜곡을 크로스오버(crossover)왜곡이라 한다

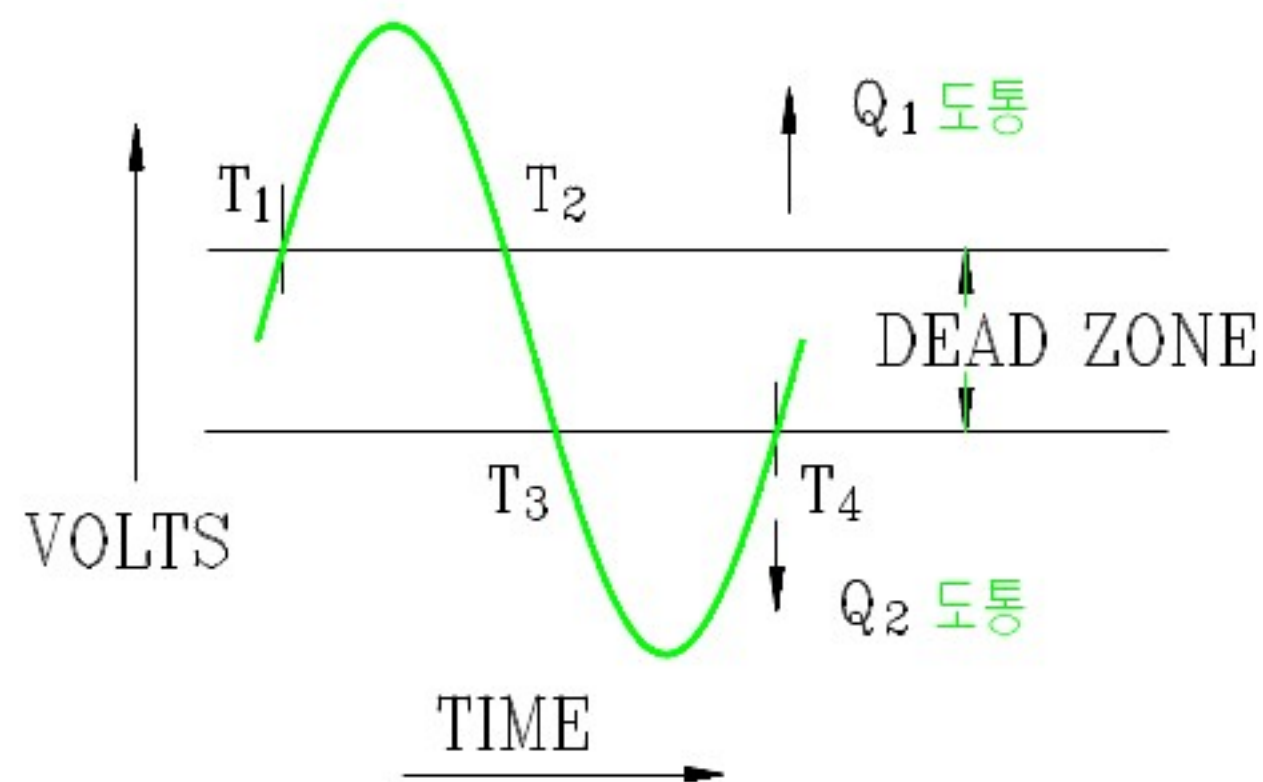


그림 3-5 GENERATOR의 신호 전압



D<sub>1</sub>양단의 점퍼선을 떼어 내게 되면 트랜지스터에 적절한 바이어스가 걸리게 되어 두 트랜지스터에 순방향 바이어스가 조금 걸리게 되어 콜렉터에 에미터 전류가 흐르게 한다. 이때 R<sub>4</sub>양단의 전압은 약 0.5V가 되어 100Ω저항에 나타나므로 결과적으로 5mA의 전류가 흐름을 알 수 있다.

다이오드가 증폭기 회로의 안정에 사용됐을 때 이 다이오드를 스테비스터(stabistor)라 한다. 실제로 스테비스터 다이오드는 한개의 반도체 안에 두개의 반도체가 들어 있으며 양단 전압 강하는 1.21V가 된다.

회로에 적절한 바이어스를 걸므로써 증폭기의 출력은 깨끗하고 찌그러짐이 없는 파형을 얻게 되며 이 파형은 이미 실험순서 11에서 그린것과 그림 3-6은 거의 비슷하게 된다.

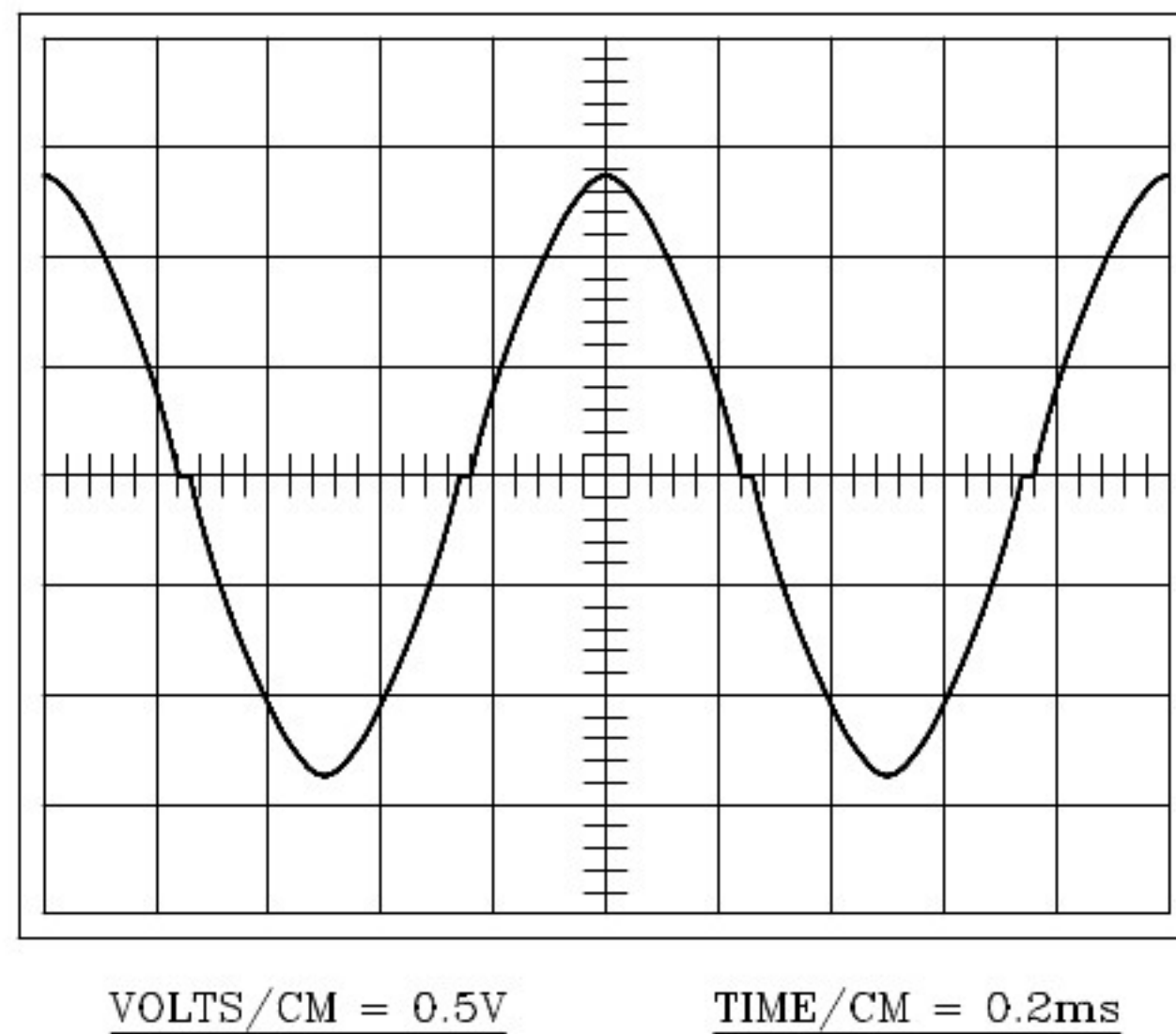


그림 3-6 실험순서 11의 파형

### 【실험계속】

12. 그림 3-7의 회로를 기초 전자 실험기에 구성하고 출력 조절기(R<sub>1</sub>)는 시계방향으로 갈수록 큰 신호가 되는데 주의하라.
13. ED-2100에 전원을 넣고 R<sub>1</sub>을 시계 반대 방향으로 끝까지 돌려놓은 다음 +전원을 조정하여 출력 전압이 +15V가 되게 한다.  
발전기의 주파수를 조정하여 1kHz가 되게 한다.

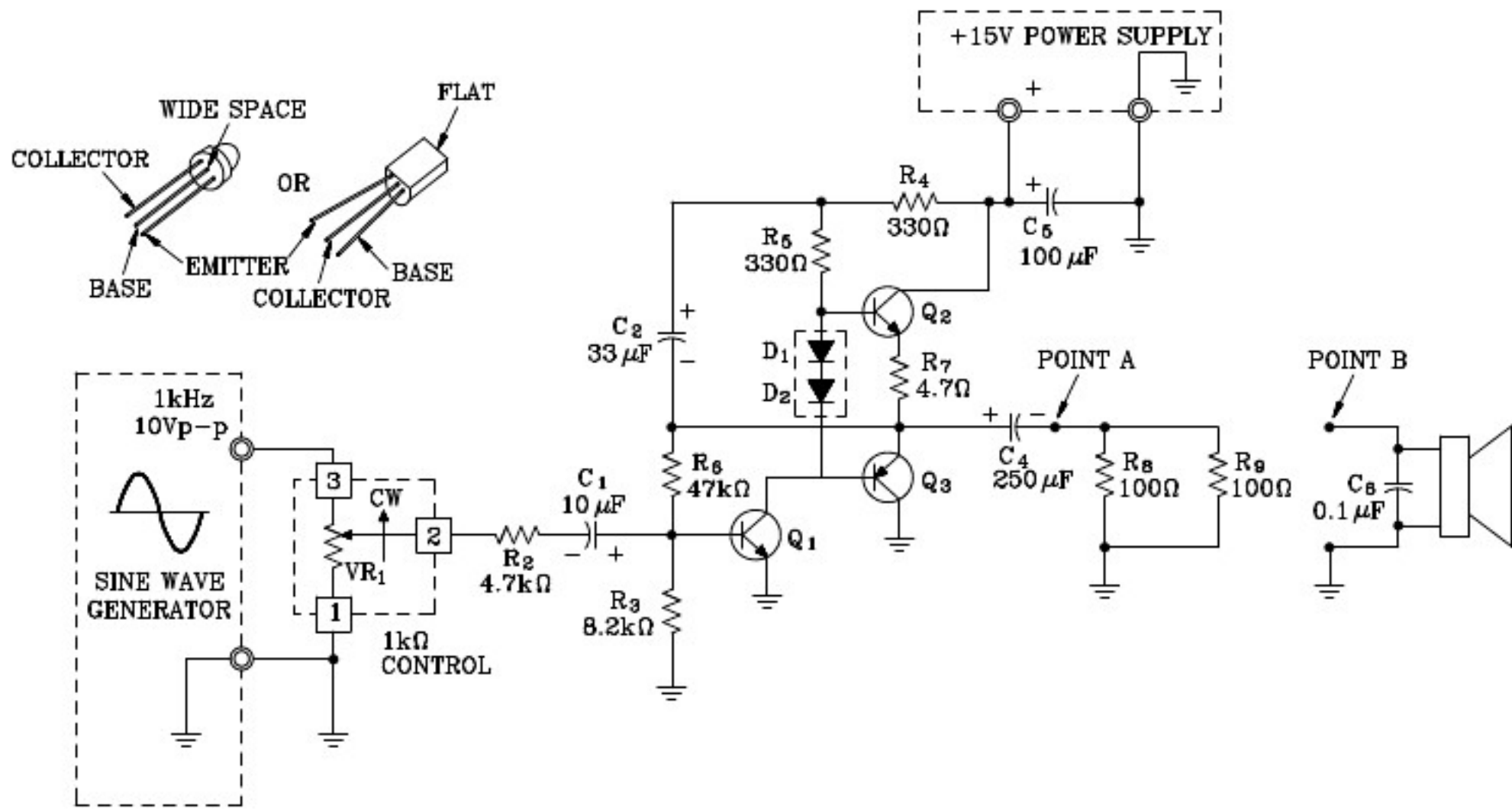


그림 3-7 실험순서 12에서 23까지의 실험 회로

14. 오실로스코프를 조정하여 Time/cm은 0.2ms로 Volt/cm은 2V<sub>P-P</sub>로 하여 놓는다.
15. 오실로스코프의 리드를 그림 3-7의 회로의 A점과 접지간에 접속시킨다.
16. 오실로스코프의 입력을 잠깐 동안 접지와 단락 시키고서 수직 입력을 조정하여 트레이스가 스크프의 중간에 오도록 한다. 입력을 원상태로 해 놓는다.
17. 출력 조절기를 시계 방향으로 돌려서 파형의 위나 아래 부분이 깎여서 평탄하게 되기 직전에서 고정시킨다. 이때의 파형의 첨두치간 전압을 오실로스코프상에서 측정하여 아래 기록한다.

첨두치 전압 = \_\_\_\_\_ V<sub>P-P</sub>

18. 다음의 식을 이용하여 증폭기의 출력 전력을 산출하여 기록하라. 이때 실험순서 17에서 구한 첨두치를 실효치 전압으로 환산할 때는 0.353을 곱하면 된다. 또 이 전압은 50Ω양단에서 측정 되었음에 주의하라.

$$P = \frac{E^2}{R}$$

P = \_\_\_\_\_ W 또는 \_\_\_\_\_ mW

19. 실험기의 + 전원 전압을 조정하여 +10V가 되게 하고서 실험순서 17과 18에서와 같은 방법으로 전압과 전력을 구한다.

$$\text{첨두치 전압} = \underline{\hspace{2cm}} V_{P-P}$$

$$\text{전력} = \underline{\hspace{2cm}} W \text{ 또는 } \underline{\hspace{2cm}} mW$$

20. 출력 조절기를 반시계방향 끝까지 돌려놓는다.
21. 별도의 스피커를 준비하도록 한다.
22. R<sub>8</sub>과 R<sub>9</sub>를 회로에서 떼어 내고 스피커 도선을 A점과 접지간에 접속시키고 그림 3-7에 보인 것과 같이 0.1μF 콘덴서를 스피커 양단에 접속시킨다.
23. “+”전압을 조정하여 +15V가 되게 한다.
24. 오실로스코프를 스피커 양단에 접속시킨다.
25. 출력 조절기를 조정하여 듣기 좋은 정도의 음량으로 낮춘다.
26. 오실로스코프의 V/cm을 조정하여 파형이 오실로스코프면의 반정도 차지하도록 조정한다.
27. 반복해서 점퍼선으로 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> 양단을 단락시켰다 개방시켰다 하면서 오실로스코프의 화면을 관찰하면서 스피커 소리도 들어본다.
28. 출력 조절기를 시계 방향으로 돌리면서 파형이 찌그러지기 시작하는 바로 앞에서 멈추고서 실험순서 27과 같은 방법으로 다시 해 본 다음 점퍼선을 떼어 놓는다. 위의 실험에서 어떤 경우에 더 찌그러지는지 아래 해당란에 표시하라.

\_\_\_\_\_ 높은 음량에서

\_\_\_\_\_ 낮은 음량에서

29. 실험기의 “+15V”전압 조정 손잡이를 시계 반대 방향으로 왜곡이 들리거나 오실로스코프 상에 찌그러짐이 나타날 때까지 돌린다.  
이때 “+”전압의 출력 전압을 측정하고서 다시 “+”전압을 조정하여 +15V가 되게 한다.

30. 출력 조절기를 시계 반대 방향으로 돌려 소리가 약하게 들리게 하고서 실험순서 29를 다시 반복해 본다. 위의 실험에서 어떤 경우에 더 찌그러지는지 아래 해당란에 표시하라.

\_\_\_\_\_ 높은 음량에서  
 \_\_\_\_\_ 낮은 음량에서

**【요점정리】**

이 실험에서 구성한 회로는 소형 라디오 수신기에서 사용되는 완전한 전력 증폭 회로이다. 이 회로의 출력 전력은 약 100mW에서 1W정도이다. 이 출력은 공급 전원, 트랜지스터의 출력 규격 및 스피커의 임피던스에 따라 결정된다.

이 증폭기의 출력 전력은 얼마만한 교류 전압이 부하 저항에 공급되느냐에 따라 결정된다.

이 실험의 경우에는 100Ω의 저항 2개를 병렬로 하여 50Ω의 부하를 만들었고 이 저항 값은 각자 실험에 사용한 소형 스피커의 임피던스인 8Ω에 가깝다.

그림 3-7에서 출력 신호는 Q<sub>2</sub> 및 Q<sub>3</sub>의 도통과 차단을 교번적으로 행하여 부하 저항에 공급된다. 그러므로 최대 교류 전압은 공급 직류전압과 거의 같아질 수는 있으나 직류 값보다 커지지는 못한다.

실험순서 17에서 기록된 첨두치 전압은 15V보다 낮게 나타났고 이 값이 만약에 10V<sub>P-P</sub>였다면 이 값은

$$10V_{P-P} \times 0.353 = 3.53V_{rms}$$

가 된다.

실험순서 18에서의 출력 전력은

$$\frac{E^2}{R} = P$$

$$\frac{(3.53)^2}{50} = 0.249W \quad \text{또는} \quad 249mW$$

가 된다.

실험순서 27과 28에서 크로스오버 왜곡에 대해서 오실로스코프로 보았고 또 스피커로도 들어보았다.

이와 같은 왜곡은 음성 신호의 음색을 저하시킨다. 이와 같은 현상은 음량이 낮을 때 나타나며 또 음량을 과다하게 올렸을 때는 파형에 사지역(Dead zone)이 생겨 음색을 저하시킨다.

실험순서 29와 30에서 전원을 조정하여 마치 공급 전원이 불량일 경우와 같이 하여 왜곡을 실험하였다. 이럴 때도 마찬가지로 음색이 나빠지고 특히 음량을 낮추었을 때 더욱 심하게 나타난다.

# 실험 4. 차동 증폭기

## 【목 적】

차동 증폭기(Differential Amplifier)의 특성에 대하여 조사한다.

## 【서 론】

이 실험에서는 차동 증폭기를 구성하고 또 실험을 한다.

여기서 사용되는 트랜지스터는 같은 규격이어야 한다. 규격이 다르게 되면  $V_{BE}$ 가 달라지게 되며 또 평형이 되지 않기 때문에 한쪽 트랜지스터에 다른 트랜지스터보다 더 많은 전류가 흐르게 되므로 이런 것을 보상하기 위해서는 VR를 그림 4-1에서 보인 것과 같이 구성하여서 입력 신호가 없을 때 에미터 저항을 조정하여 콜렉터 전압이 같도록 한다.

### 《필요 부품 및 기기》

• 전자 실험기 (ED-2100)	1대
• 전압계	1대
• 오실로스코프	1대
• NPN 트랜지스터(C3198)	3개
• 저항 4.7k $\Omega$ , 1/4W 5%	2개
• 저항 10k $\Omega$ , 1/4W 5%	2개
• 저항 2.2k $\Omega$ , 1/4W 10%	1개
• 저항 33k $\Omega$ , 1/4W 10%	1개
• 저항 47k $\Omega$ , 1/4W 10%	1개
• 저항 1k $\Omega$ , 1/4W 5%	1개
• 저항 100 $\Omega$ , 1/4W 5%	1개
• 전해 콘덴서 10 $\mu$ F	1개
• Audio Transformer	1개

## 【실험순서】

1. 그림 4-1의 회로를 ED-2100에 구성하고 ED-2100의 VOLTAGE VR을 돌려  $\pm 9V$ 가 되게 한다.
2. 전압계의 한쪽 리드를  $Q_1$ 의 콜렉터(OUTPUT 1)에 접속하고 다른 한쪽 리드는  $Q_2$ 의 콜렉터(OUTPUT 2)에 접속하고서 전위차계( $R_5$ ) 200 $\Omega$ 을 조정하여 전압계의 지시가 0V가 되게 한다.
3. 전압계의 측정범위를 가장 낮은 범위에 놓고 전위차계를 다시 조정하여 0V가 되게 한다.
4. 전압계가 접속된 상태에서 트랜지스터  $Q_1$ 에 손을 대고서 전압계의 지시를 관찰한다. 이때 전압계의 지시값이 변하는가? 또 그 이유가 무엇인지 생각하여 아래 기록하라.

\_\_\_\_\_ 변한다. \_\_\_\_\_ 안 변한다.

이유 \_\_\_\_\_

5. 손을  $Q_1$ 에서 떼어낸 다음 전압계의 지시가 어떻게 되는가 관찰한다.

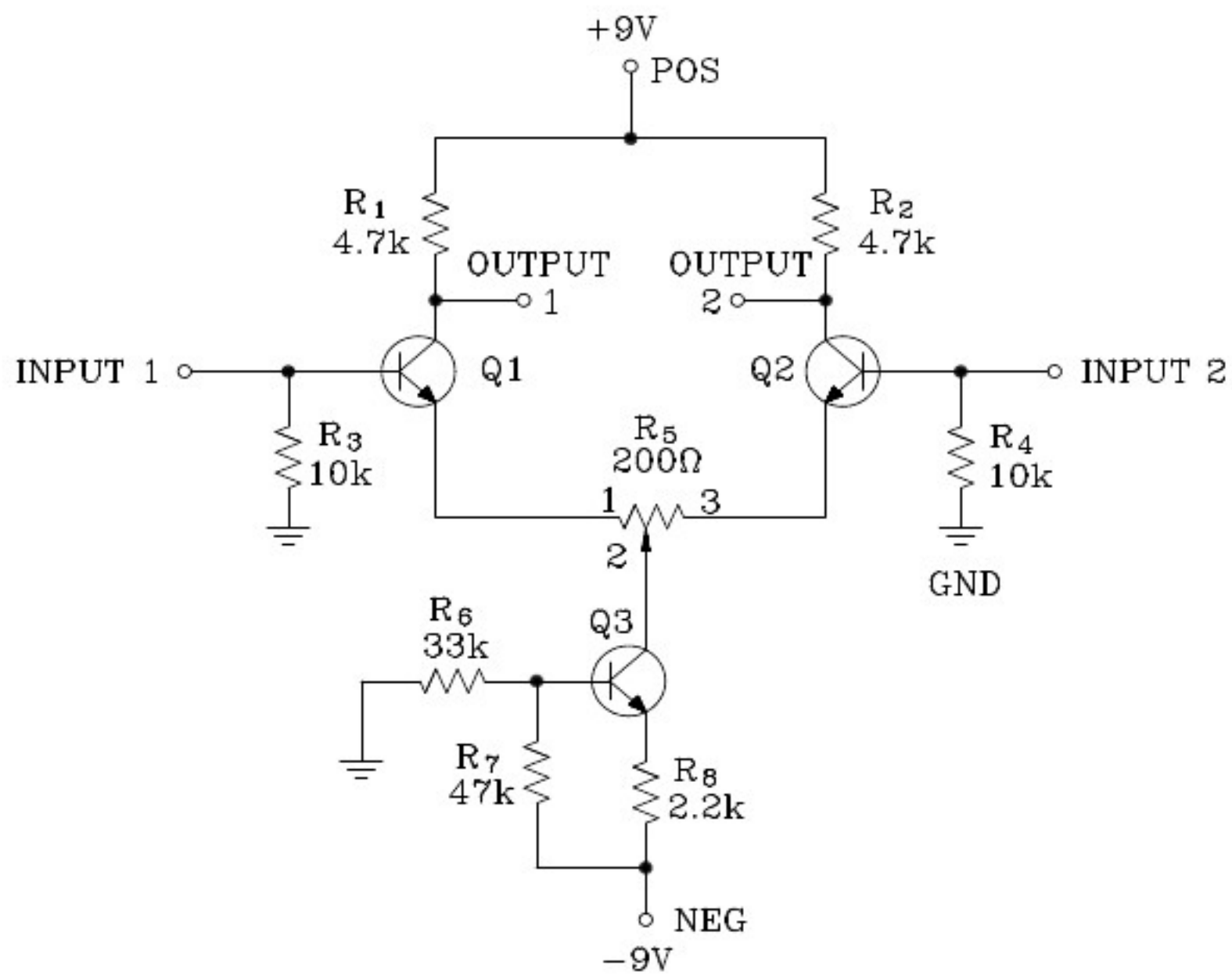


그림 4-1 실험순서 1에서 5까지 실험회로

**【요점정리】 (실험순서 1 ~ 7)**

실험순서 1에서는 일정한 전류원을 갖는 완전한 차동증폭기를 구성하였다. 실험순서 2에서 3까지에서는 Q<sub>1</sub>과 Q<sub>2</sub>에 같은 전류가 흐를 수 있도록 동작점을 조정하여 평형을 이루었다. 여기서 손을 한쪽 트랜지스터에 대어서 따뜻하게 함으로써 평형이 무너져서 이 트랜지스터에 영향을 주고 다른 트랜지스터에는 영향을 주지 않는 것을 보았다. 실제로는 이와 같은 현상을 방지하기 위해서 두 개의 트랜지스터를 한 개의 방열판에 같이 수용함으로써 두 트랜지스터가 동시에 같은 열의 영향을 받게 하여 평형을 이루게 한다.

**【실험계속】**

- 6. 필요하다면 실험순서 2, 3에서와 같이 다시 평형을 잡는다.
- 7. ED-2100의 정현파 신호를 10 $\mu$ F 콘덴서를 통하여 그림 4-2와 같이 차동증폭기의 Q<sub>1</sub>에 인가한다.

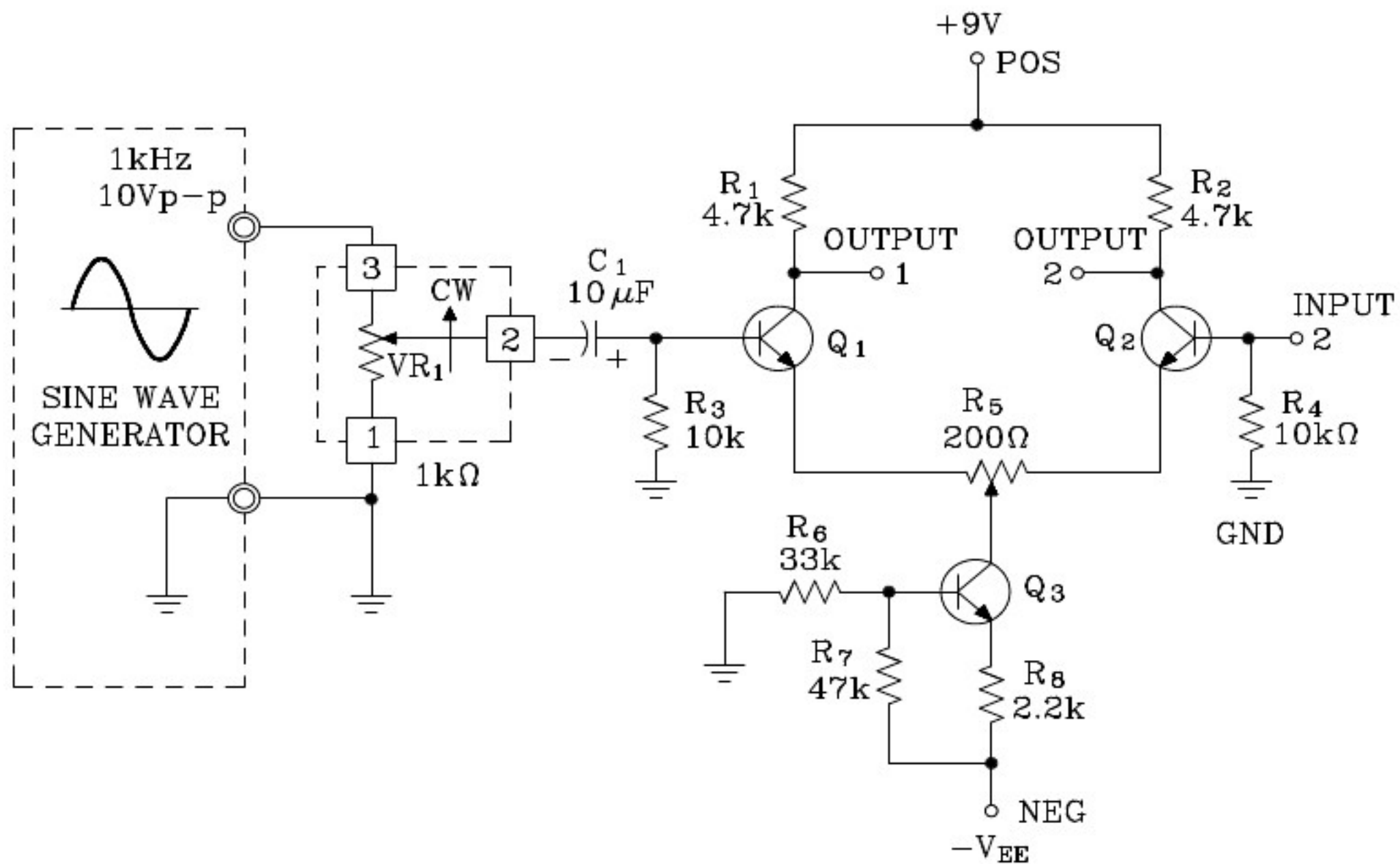


그림 4-2 실험순서 6에서 22까지의 실험회로

- 8. ED-2100의 GENERATOR의 주파수를 조정하여 1kHz가 되게 한다.



9. 오실로스코프의 입력은 ED-2100의 SINE 출력단자에 접속한 다음 Time/cm을 조정하여 오실로스코프상에 정현파 2~3 사이클 정도 나타나게 오실로스코프를 조정한다.
10. 오실로스코프의 HORIZONTAL POSITION을 조정하여 첫 정현파의 “+”주기 상승점이 오실로스코프 좌측 끝에 오도록 조정한다.  
이때 발진기에서 나오는 정현파의 위상과 외부 트리거로 사용되는 구형파의 위상은 어떻게 되는가 아래에 기록하라.

- 
11. 오실로스코프의 수직 입력을 Q<sub>1</sub>의 베이스에 접속하고 출력조절기(VR<sub>1</sub>)를 조정하여 베이스에서의 정현파 첨두치가 0.2V<sub>P-P</sub>가 되도록 한다. 여기서 베이스에 나타나는 정현파의 위상은 어떻게 되는가 아래에 기록하라.

첫 반주기는 \_\_\_\_\_가 된다.  
(+주기 상승 또는 -주기 하강)

12. 오실로스코프를 이용하여 Q<sub>1</sub>의 콜렉터와 접지간의 정현파 전압을 측정하여 아래에 기록하라.

첨두치 전압 = \_\_\_\_\_ V<sub>P-P</sub>

13. 실험순서 12에서 구한 전압을 실험순서 11에서 정해 놓는 전압으로 나누어 이득을 구하여 아래 기록하라.

전압이득 = \_\_\_\_\_

14. Q<sub>1</sub>의 콜렉터에서의 정현파와 또 베이스에서의 정현파와 위상을 비교하여 아래 기록하라.

위상관계는 \_\_\_\_\_이다.  
(동상 또는 180°위상차)

15. 오실로스코프를 이용하여 Q<sub>2</sub>의 콜렉터와 접지간의 정현파 전압을 측정하여 아래 기록하라.

첨두치 전압 = \_\_\_\_\_ V<sub>P-P</sub>

16. 실험순서 15에서 구한 전압을 실험순서 11에서 정해놓은 전압으로 나누어 이득을 구하여 아래 기록하라.

$$\text{전압이득} = \underline{\hspace{4cm}}$$

또 여기서 구한 이득은 실험순서 15에서 구한 것과 어떤 차이가 있는가 생각해 보라.

$$\text{두 이득은 } \underline{\hspace{4cm}} \text{이다.}$$

17.  $Q_2$ 의 콜렉터에서의 정현파의 위상과  $Q_1$ 의 베이스에서의 정현파 위상의 관계를 아래 기록하라.

$$\text{두 신호의 위상은 } \underline{\hspace{4cm}} \text{이다.}$$

(동상 또는 180위상차)

18.  $Q_2$ 의 콜렉터에서와  $Q_1$ 의 콜렉터에서의 정현파의 위상관계는 어떻게 되는가 아래 기록하라.

$$\text{두 신호의 위상은 } \underline{\hspace{4cm}} \text{이다.}$$

(동상 또는 180°위상차)

19. 외부동기 신호를 떼어내고 내부동기가 되도록 오실로스코프를 조정하여 오실로스코프상에 안정된 파형이 보이도록 한다.

20. 실험회로와 오실로스코프간의 접지간의 접속을 떼어낸다.

21. 오실로스코프의 접지 리드선을  $Q_1$ 의 콜렉터에 접속하고 수직입력 리드는  $Q_2$ 의 콜렉터에 접속시키고서 두 콜렉터 간의 정현파 전압을 측정하여 아래 기록한다.

$$\text{정현파 전압} = \underline{\hspace{4cm}} V_{P-P}$$

22. 실험순서 21에서 측정한 전압을 실험순서 11에서 정해놓은 전압으로 나누어 증폭단의 이득을 구하여 아래 기록하라.

$$\text{증폭단 이득} = \underline{\hspace{4cm}}$$

여기서 구한 이득은 실험순서 13 및 16에서 구한 이득과 비교하면 어떤 차이가 있는가 아래 기록하라.

---

---

### 【요점정리】 (실험순서 8 ~ 22)

이 실험에서는 단 입력 차동증폭기의 동작에 대해 시험하였다. 발진기에서 정현파 신호를  $Q_1$ 의 베이스에 인가하였고 또 오실로스코프의 트리거 신호로 외부 구형파 신호를 사용하였다. 그 이유는 이 구형파는 정현파와 위상이 같으므로 회로의 모든 점에서 쉽게 파형을 관찰할 수 있기 때문이다.

실험순서 10과 11에서 정현파의 첫 반주기는 “+”주기 상승방향으로 나타났다.

실험순서 11에서는  $Q_1$ 의 베이스에 정현파 전압이 첨두치로  $0.2V_{P-P}$ 가 되게 출력조절기를 조정하였고 다음에  $Q_1$ 의 콜렉터 전압을 측정하여 그 전압이 약  $2.2V_{P-P}$ 가 되었다. 따라서 회로의 이득은

$$\frac{2.2V_{P-P}}{0.2V_{P-P}} = 11$$

이 된다. 또한  $Q_1$ 의 콜렉터에서의 위상은 베이스에 대해  $180^\circ$ 위상차가 생겼음을 알았다.

실험순서 15에서는  $Q_2$ 의 콜렉터 전압을 측정하였고 이 전압은 거의  $Q_1$ 의 콜렉터 전압과 같음을 알았을 것이다. 그러나 이 신호의 위상은 입력 신호에 동상이 되고  $Q_1$ 의 콜렉터와는  $180^\circ$ 의 위상차를 갖게 된다.

다음에는 오실로스코프를 두 콜렉터간에 접속하여 출력을 관측하였고 이때 차동출력은 각각의 트랜지스터 출력의 거의 2배만큼 크게 나타난다. 그러므로 차동출력을 이용하면 두 배의 출력을 얻을 수 있다.

이제부터는 차동입력을 가지는 증폭기의 특성에 대해 시험한다. 이와 같이 증폭기를 작동시키려면  $180^\circ$ 의 위상차를 갖는 두 입력이 요구된다. 이와 같은 신호를 쉽게 얻는 방법은 2차측에 중간 Tap이 있는 Audio트랜스를 이용하면 된다.

### 【실험계속】

23. 그림 4-3의 회로를 ED-2100에 구성한다.

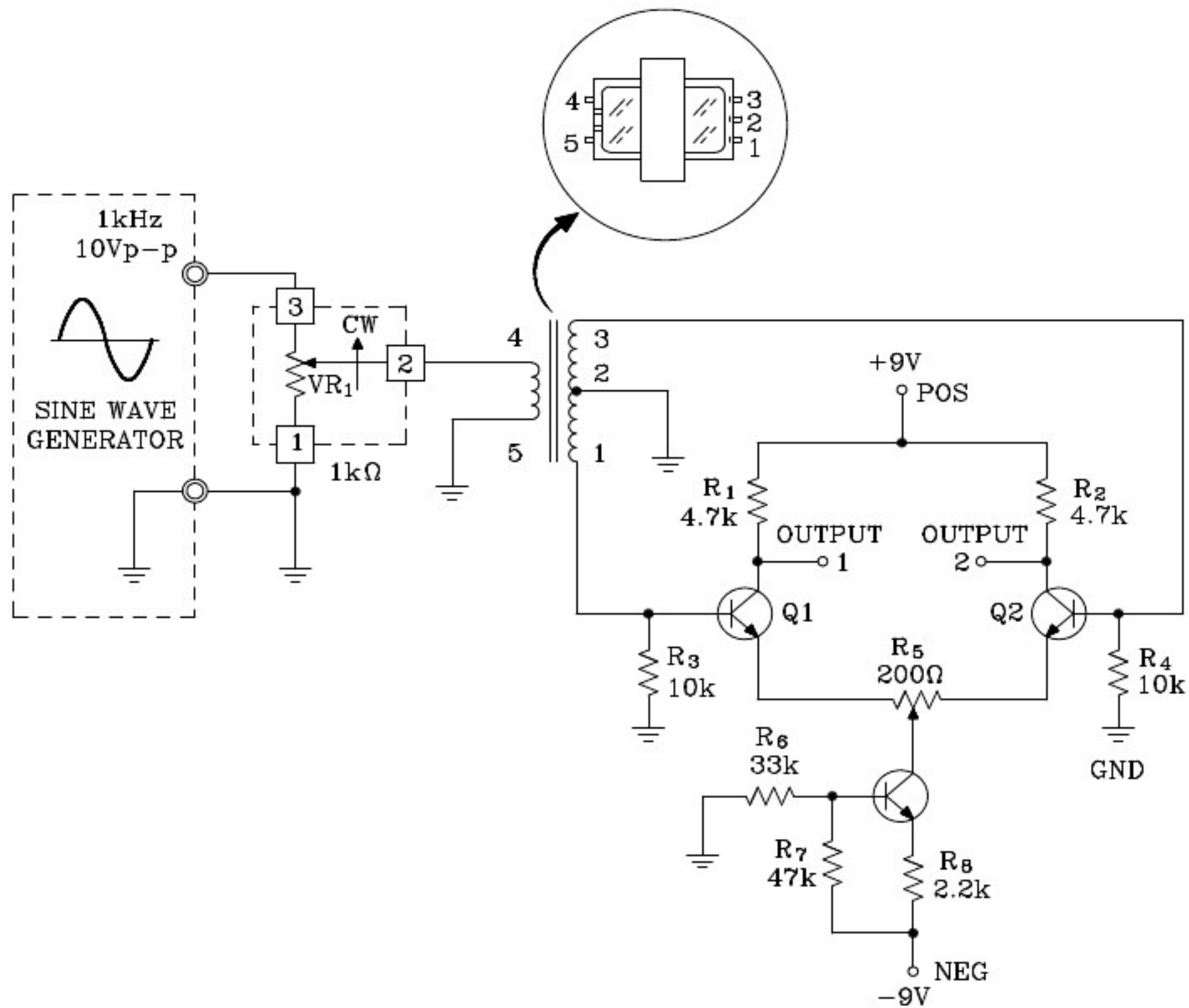


그림 4-3 실험순서 23에서 27까지 실험회로

24. 실험 회로와 오실로스코프간의 접지 접속은 모두 떼어내고 오실로스코프의 접지 리드를 Q<sub>1</sub>의 베이스에 접속하고 수직 입력 리드는 Q<sub>2</sub>의 베이스에 접속시킨다.
25. 출력조절기 VR<sub>1</sub>를 조정하여 베이스간의 차동입력의 0.2V<sub>p-p</sub>가 되도록 한다.
26. 오실로스코프의 접지 리드를 Q<sub>1</sub>의 콜렉터에 접속하고 수직입력 리드는 Q<sub>2</sub>의 콜렉터에 접속시켜 콜렉터 간의 차동출력 전압을 측정하여 아래에 기록한다.

$$\text{차동출력전압} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}_{p-p}$$

27. 실험순서 26에서 측정한 전압을 실험순서 25에서 전압 0.2V<sub>p-p</sub> P로 나누어 증폭단의 이득을 구하여 아래 기록하라.

$$\text{증폭단 이득} = \underline{\hspace{2cm}}$$

**【요점정리】 (실험순서 23 ~ 27)**

이 실험에서도 차동입력을  $0.2V_{P-P}$ 으로 하여 각 베이스와 접지간의 전압  $0.1V_{P-P}$ 에 지나지 않는다. 이때 출력전압은 약  $5.6V_{P-P}$ 가 되어 이득은 28이 된다.

차동 입력형의 증폭기에 있어서의 이점은 이득 증폭이 아니고 공통 부분의 제거에 있다. 회로가 차동 입력에 대해 증폭을 할 때 두 입력의 공통 성분은 제거하게 된다.

**【실험계속】**

28. 그림 4-4에 보인 것과 같이 회로를 변형시킨다. 이 회로는 트랜스의 중간 Tap 을 통하여 높은 60Hz의 신호가 유입되고 있음을 알고 있으라.

29. 오실로스코프의 접지 리드를 회로의 접지에 접속시키고 수직 입력 리드는  $Q_1$ 의 베이스에 접속시킨다. 별도 종이를 준비하여 베이스에 나타나는 파형을 그린다. 60Hz 공통신호를 표시하고 또 1kHz의 차동 신호를 표시해 둔다.

이 두 신호중 진폭은 어느것이 더 큰가? \_\_\_\_\_

30.  $Q_2$ 의 베이스에서 파형을 보고  $Q_1$ 의 베이스에 나타나는 것과 같은가 비교하라.

\_\_\_\_\_ (같다 또는 다르다)

31. 오실로스코프와 실험회로간의 접지 리드를 떼어내고 이 오실로스코프의 접지 리드를  $Q_1$ 의 콜렉터에 접속시키고 수직입력 리드는  $Q_2$ 의 콜렉터에 접속시키고서 콜렉터간의 1kHz의 진폭을 측정하여 아래 기록하라.

콜렉터간 1kHz 전압 = \_\_\_\_\_  $V_{P-P}$

또 이때 60Hz의 공통신호도 콜렉터에 나타나는가 관측하라.

60Hz \_\_\_\_\_  
(나타난다 또는 안 나타난다)

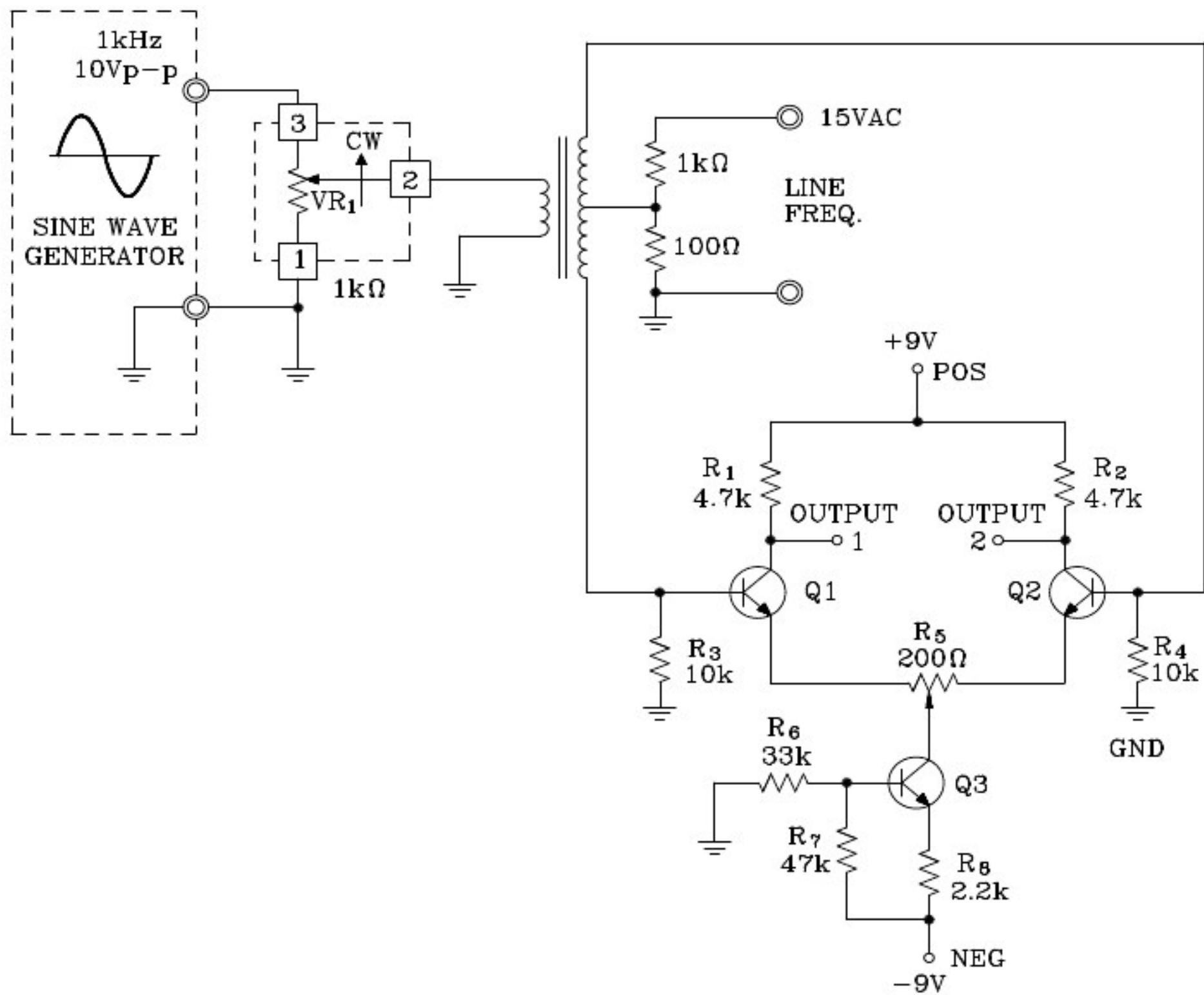


그림 4-4 실험순서 28에서 31까지의 실험회로

### 【요점정리】

이 부분의 실험에서는 차동 증폭기에  $4V_{P-P}$ 의 공통형신호를 인가하였고 이때 이 입력 신호를 별도 종이에 그렸을 때 파형은 그림 4-5와 거의 같게 된다.

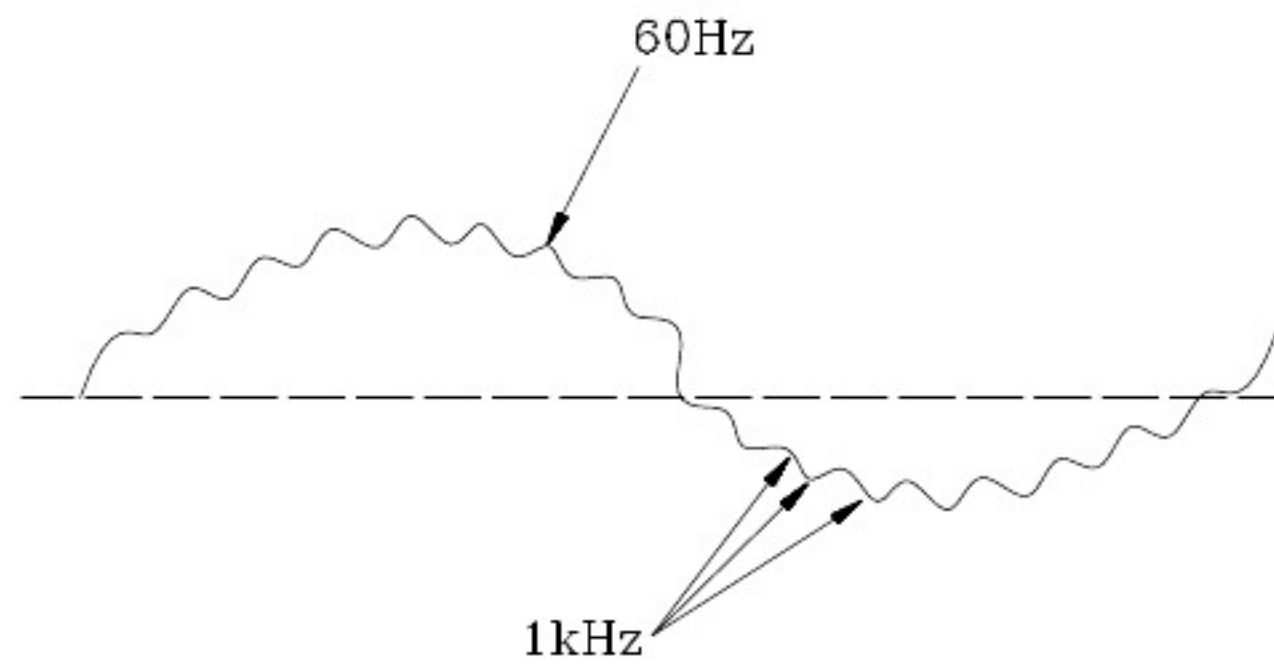


그림 4-5  $Q_1$ 의 베이스의 신호파형

여기서 증폭하고자 하는 신호는 약간 보이고 있지만 회로는 다만 미약한 1kHz에  
만 반응을 보이고 더욱 큰 신호인 공통형 신호에 대해서는 무반응을 나타낸다. 만약  
에 위의 실험회로가 완전하게 평형이 되었다면 1kHz의 신호는 정상 증폭이 되고 60Hz  
의 신호는 미약하게 출력에 나타나게 된다.