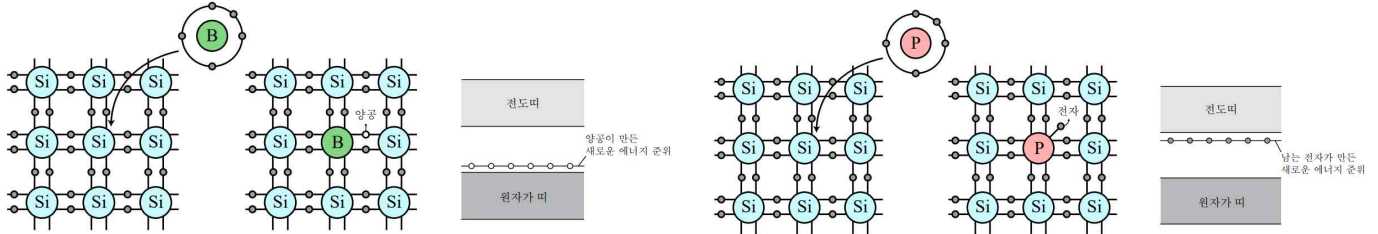


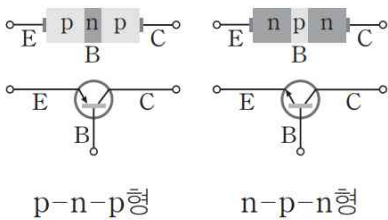
THEME 04 - 트랜지스터

1 반도체

- (1) 반도체 : 전기전도도가 도체와 절연체의 중간 정도의 물질(적절한 전압으로 1,0의 선택을 할 수 있는 물질)
- (2) p형 반도체 : 순수한 반도체에 원자가 전자가 3개인 불순물을 첨가한 반도체. 양공에 의해 전류가 흐른다.
- (3) n형 반도체 : 순수한 반도체에 원자가 전자가 5개인 불순물을 첨가한 반도체. 전자에 의해 전류가 흐른다.



2 트랜지스터의 모양



그림에서 화살표 표시는 이미터-베이스 사이에만 쓴다. 화살표 표시 방향은 전류의 방향이다.

(1) 베이스(Base)

이미터와 컬렉터 사이의 베이스는 두께가 수 μm 정도로 매우 좁은 영역이다.

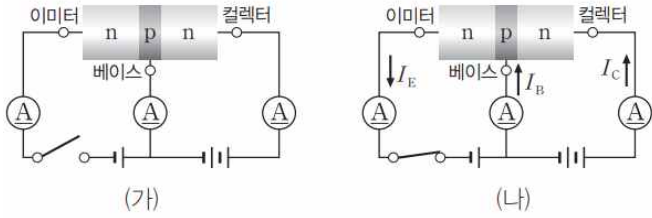
(2) 이미터(Emitter)

- ① 베이스와 순방향 전압을 걸어주는 영역
- ② 이미터가 p형 반도체, 베이스가 n형 반도체라면, 이미터의 전위가 베이스의 전위보다 높아야 한다.
- ③ 이미터가 n형 반도체, 베이스가 p형 반도체라면, 이미터의 전위가 베이스의 전위보다 낮아야 한다.
- ④ 이미터와 컬렉터는 같은 형의 반도체이지만 도핑된 불순물의 양이 달라서 저항이 다르다.

(3) 컬렉터(Collector)

- ① 베이스와 역방향 전압을 걸어 이미터에서 방출된 전하를 모으는 영역
- ② 컬렉터가 p형 반도체, 베이스가 n형 반도체라면, 컬렉터의 전위가 베이스의 전위보다 낮아야 한다.
- ③ 컬렉터가 n형 반도체, 베이스가 p형 반도체라면, 컬렉터의 전위가 베이스의 전위보다 높아야 한다.

3 트랜지스터의 작동 원리



[스위치 개방]

그림 (가)와 같이 스위치가 열려 있으면, 베이스의 p형 반도체와 컬렉터의 n형 반도체 사이에 역방향 전압이 걸린다. 따라서 컬렉터에 연결된 전류계에 전류가 흐르지 않는다.

[스위치 닫힘]

- (1) 그림 (나)와 같이 트랜지스터가 정상적으로 작동할 때, 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸린다.
- (2) 그림 (나)와 같이 스위치를 닫아 이미터와 베이스 사이에 전류가 흐르면, 이미터에서 베이스로 이동하는 전자가 컬렉터와 베이스 사이에 걸린 전압에 의해 컬렉터로도 이동한다. 따라서 모든 전류계에 전류가 흐른다.
- (3) 그림 (나)에서 베이스와 컬렉터로 전류가 들어가고 이미터에서 전류가 나오므로 다음 관계가 성립한다.

$$I_E = I_B + I_C$$

구분	p-n-p형 트랜지스터	n-p-n형 트랜지스터
모습		
전류	작은고리) 이미터 → 베이스 큰고리) 컬렉터 → 이미터	작은고리) 베이스 → 이미터 큰고리) 컬렉터 → 이미터
전압	순방향 전압) 이미터-베이스 사이 역방향 전압) 컬렉터-베이스 사이	
주요 전하 운반자	양공	전자
원리	<p>① 베이스가 매우 얇아서 이미터에서 베이스로 이동하던 대다수의 양공은 컬렉터 쪽의 높은 전압에 끌려 컬렉터 쪽으로 이동하고, 소수의 양공만이 베이스 쪽으로 이동한다.</p> <p>② 이때 컬렉터로 확산된 양공과 V_{BC}에서 공급되는 전자가 계속 결합하므로 베이스에 흐르는 전류(I_B)보다 컬렉터에 흐르는 전류(I_C)가 훨씬 크다.</p> <p>$I_B \ll I_C, I_E = I_B + I_C$</p>	<p>① 컬렉터와 베이스 사이의 전압은 역방향이지만 이미터에서 베이스로 이동하던 대다수의 전자가 베이스를 지나 컬렉터 쪽으로 이동한다.</p> <p>② 이때 컬렉터로 확산된 전자와 V_{CB}에서 공급되는 양공이 계속 결합하므로 베이스에 흐르는 전류(I_B)보다 컬렉터에 흐르는 전류(I_C)가 훨씬 크다.</p> <p>$I_B \ll I_C, I_E = I_B + I_C$</p>

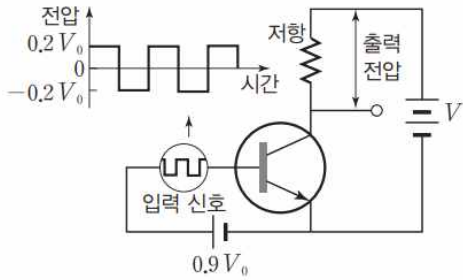
④ 트랜지스터의 스위칭 작용

(1) 이미터와 베이스 사이에 전류가 흐르지 않으면 컬렉터에도 전류가 흐르지 않는다.

이미터와 베이스 사이에 전류를 흐르게 하거나 흐르지 않도록 하여 컬렉터에 전류가 흐르게 할 수도 있고, 흐르지 않도록 할 수도 있는데, 이와 같은 작용을 트랜지스터의 스위칭 작용이라고 한다.

(2) 트랜지스터의 스위칭 작용은 기계적으로 전류를 단속하지 않기 때문에 1초에 천 회 이상 전류를 단속할 수 있으며, 전류를 단속할 때 잡음이 거의 발생하지 않는 장점이 있다.

[트랜지스터의 정상적인 스위칭 작용]

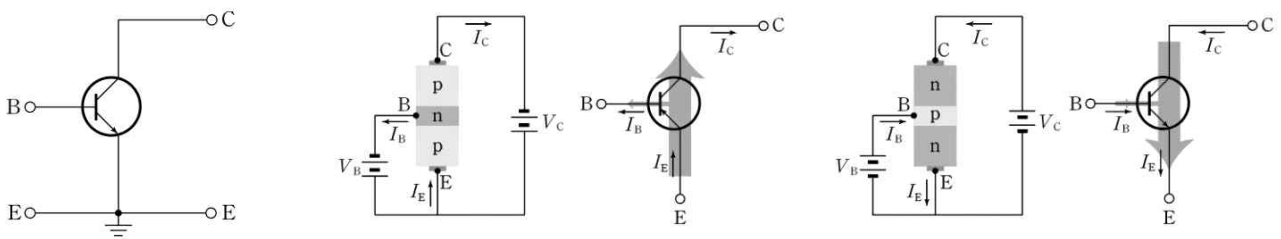


이미터와 베이스 사이에 전류가 흐를 수 있는 최소 전압을 V_0 이라고 할 때, 이미터와 베이스 사이에 $0.9V_0$ 인 전압이 걸려 있고 $+0.2V_0$ 과 $-0.2V_0$ 의 신호가 교대로 입력되는 경우를 생각해보자.

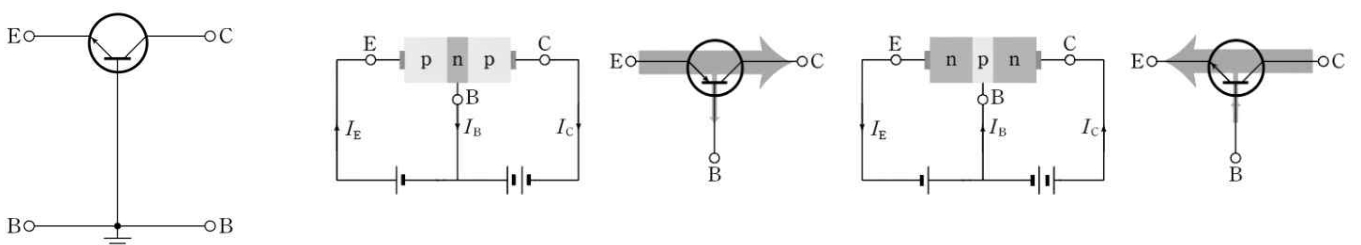
(1) 입력 신호의 전압의 $+0.2V_0$ 일 때는 이미터와 베이스 사이에 걸린 전압이 $1.1V_0$ 이므로 이미터와 베이스 사이에 전류가 흘러 컬렉터에도 전류가 흐른다. 따라서 컬렉터에 연결된 저항에는 V 와 거의 같은 전압이 걸리며, 이 전압을 출력할 수 있다.

(2) 입력 신호 전압이 $-0.2V_0$ 일 때는 이미터와 베이스 사이에 걸린 전압이 $0.7V_0$ 이므로 이미터와 베이스 사이에 전류가 흐르지 않아 컬렉터에 전류가 흐르지 않는다. 따라서 저항에 전류가 흐르지 않아 출력 전압이 0이 된다.

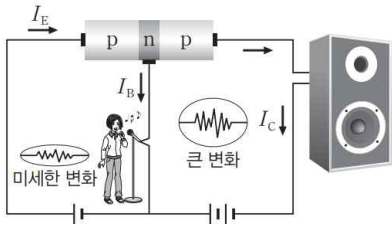
[공통 이미터 회로]



[공통 베이스 회로]



5 트랜지스터의 증폭 작용



(1) 이미터와 베이스 사이의 전압보다 베이스와 컬렉터 사이의 전압을 훨씬 크게 하면, 이미터에서 베이스로 흐르는 전류 대부분이 컬렉터로 흐르게 되어 베이스 전류 I_B 에 비해 컬렉터 전류 I_C 가 훨씬 크다.

(2) 그림과 같이 베이스 단자에 마이크와 같은 입력 장치를 연결하면, 베이스 전류의 미세한 변화가 컬렉터에서 큰 변화로 출력된다. 이와 같이 베이스 전류의 미세한 변화를 컬렉터에서 큰 변화로 출력하는 작용을 트랜지스터의 증폭 작용이라고 한다.

(3) 전류 증폭률

$$\text{전류 증폭률} : \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

(4) 전류 증폭률의 영향력

키르히호프 전류 법칙) $I_E = I_B + I_C$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_C}{I_E - I_C} \rightarrow \frac{I_C}{I_E} = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_E - I_B}{I_B} = \frac{I_E}{I_B} - 1 \rightarrow \frac{I_E}{I_B} = \beta + 1$$

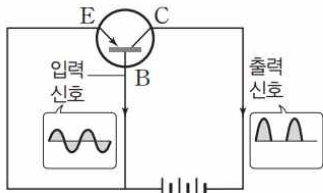
$$\begin{cases} I_E \Rightarrow \beta + 1 \\ I_B \Rightarrow 1 \\ I_C \Rightarrow \beta \end{cases}$$

6 바이어스 전압

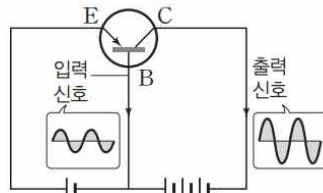
(1) 바이어스 전압

트랜지스터를 정상적으로 작동시키기 위해서는 이미터와 베이스 사이에 적절한 전압을 걸어 주어야 하는데, 이 전압을 바이어스 전압이라고 한다.

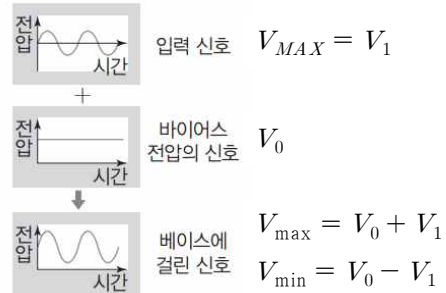
(2) 증폭 회로에서 바이어스 전압의 역할



바이어스 전압을 걸지 않았을 때



바이어스 전압을 걸었을 때



① 바이어스 전압을 걸지 않았을 때

p-n-p형 트랜지스터에서 베이스 단자에 전압이 걸려있지 않은 상태에서는 입력된 교류 신호의 (+)쪽 신호에만 반응하여 (-)쪽 신호가 나오지 않는다. 그 까닭은 (+), (-)가 교대로 되어 있는 교류 형태의 신호에서 스위칭 작용 때문에 (-)부분에서는 컬렉터 쪽으로 전류가 흐르지 않아 신호가 출력되지 않기 때문이다.

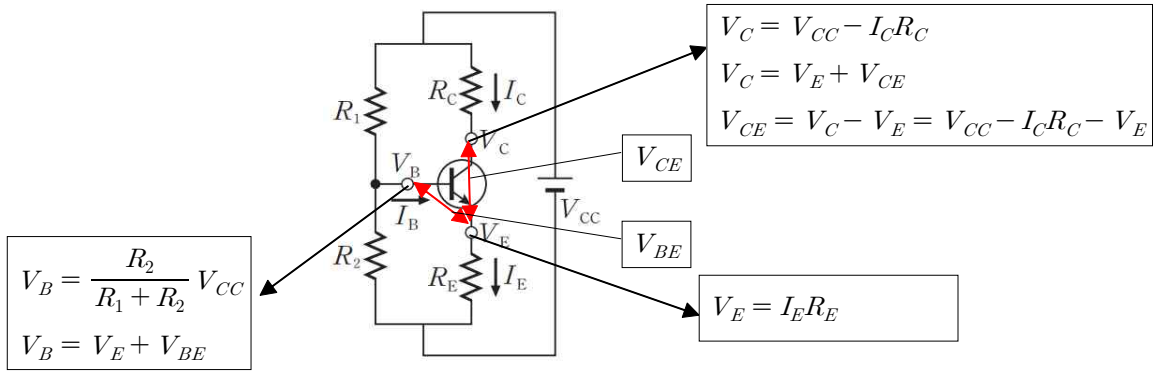
② 바이어스 전압을 걸었을 때

적절한 바이어스 전압을 걸어 주면 신호를 제대로 증폭할 수 있다. 예를 들어 베이스에 공급되는 신호 전압의 진폭이 0.1 V라고 할 때 이미터와 베이스 사이에 바이어스 전압을 1.0 V 걸어 주면 (+)쪽은 바이어스 전압과 신호 전압이 더한 값인 1.1 V가 되고, (-)쪽은 바이어스 전압에서 신호 전압을 뺀 값인 0.9 V가 되므로 모든 신호가 증폭되어 출력된다.

③ 주의할 점

바이어스 전압 > 신호의 MAX값

(3) 전압 분할로 바이어스 전압 결정하기



① 각 소자의 전위 구하기

n-p-n형 트랜지스터를 전원에 연결하여 일정한 전류 증폭률로 작동시킬 때 베이스와 에미터 사이의 전압을 일정한 값 V_{BE} 로, 컬렉터와 에미터 사이의 전압을 일정한 값 V_{CE} 로 정해 놓고 이때 에미터 단자 전위를 V_E 로 정하면, 트랜지스터의 세 단자의 전위는 각각 다음과 같다

에미터 단자 전위 : V_E

베이스 단자 전위 : $V_B = V_E + V_{BE}$

컬렉터 단자 전위 : $V_C = V_E + V_{CE}$

* V_{BE} 가 일정한 이유

베이스와 에미터 간은 pn접합으로 구성되어 있다. 반도체에서 pn접합에는 에너지 준위가 형성되어 순방향 전위가 가해지면 일정한 전압이 걸리게 되는데 (실제로는 다수캐리어 농도, 주변온도, 흐르는 전류에 따라 약간씩 변함) 실리콘 반도체는 약 0.7V가 된다

② 각 소자의 저항 구하기

병렬에 의해 V_{CC} , R_1 과 R_2 에 걸리는 전압의 합이 된다.

R_2 에 걸리는 전압은 $V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{cc}$ 이고, 하단의 전위는 0이므로, 상단의 전위는 $\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{cc}$ 가 된다.

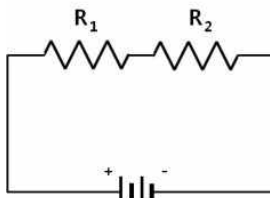
따라서 $V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$ 가 된다.

[전압의 분배 법칙]

전체 전류 : $I = \frac{V}{R_1 + R_2}$

R_1 에 걸리는 전압 : $V_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V$

R_2 에 걸리는 전압 : $V_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$



(4) 가변 저항의 변화에 따른 물리량 변화

① 소자에 걸린 전압과 전류

$$R_2 \uparrow \Rightarrow V_B \uparrow \left(V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \Rightarrow V_E \uparrow (V_B = V_E + V_{BE}) \Rightarrow I_C \uparrow \left(\beta = \frac{I_C}{I_B} = \text{const} \right)$$

$$I_B \uparrow \qquad \qquad \qquad I_E \uparrow \qquad \qquad \qquad V_C \uparrow$$

② 소자 사이의 전위차

V_{BE} 는 0.7V로 일정하다.

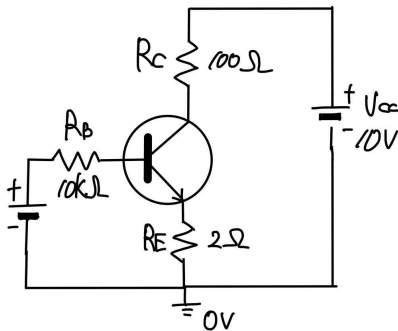
$V_{CE} = V_C - V_E = V_{CC} - I_C R_C - V_E$ 에 의하여 감소한다.

$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$ 에 의하여 감소한다.

③ R_1 에 걸리는 전압

전압 분배 법칙에 의하여 감소한다.

(5) 정량적인 값



(단, 전류 증폭률 $\beta = 150$, $V_{BE} = 0.7V$ 이다.)

[전류]

① $I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / R_B = (5 - 0.7) / 10k = 430\mu A$

② $I_C = \beta I_B = 150 \times 430\mu A = 64.5mA$

③ $I_E = I_C + I_B = 64.5mA + 430\mu A = 64.9mA$

[소자의 전압]

① $V_C = I_C R_C = 6.4V$

② $V_B = I_B R_B = 4.3V$

③ $V_E = I_E R_E = 1.3V$

[소자 사이의 전압]

① $V_{BE} = 0.7V$

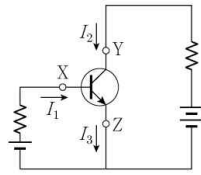
② $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - V_E = 10V - 64.5mA \times 100\Omega - 1.3V = 2.25V$

③ $V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 2.25V - 0.7V = 1.55V$

CASE 1. 단자가 주어짐

[2022년 6월 3번]

3. 그림은 트랜지스터, 저항, 전원을 연결하여 구성된 전류 증폭 회로를 나타낸 것이다. 트랜지스터에 연결된 단자 X, Y, Z에는 화살표 방향으로 세기가 각각 I_1, I_2, I_3 인 전류가 흐른다.



이 회로에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보 기>
- ㄱ. 트랜지스터는 n-p-n형 트랜지스터이다.
 - ㄴ. $I_2 > I_3$ 이다.
 - ㄷ. Z는 컬렉터 단자이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

기호를 해석하면 X:베이스, Y:컬렉터, Z:이미터 이다.

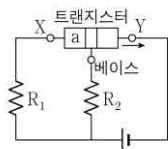
이때 이미터와 베이스는 순방향 전압이 걸려야 하므로 npn형 트랜지스터임을 알 수 있다.

- ㄱ. (O)
- ㄴ. $I_E = I_C + I_B$ 에 의하여 $I_3 > I_2$ (X)
- ㄷ. (X)

CASE 2. 단자 추측

[2022년 9월 7번]

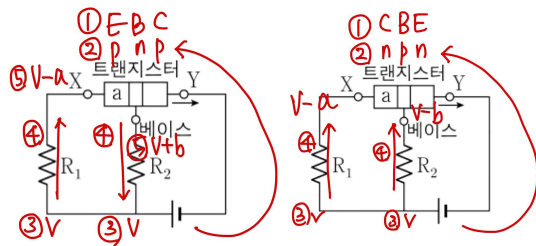
7. 그림과 같이 트랜지스터, 저항 R_1 과 R_2 , 전압이 일정한 전원으로 구성된 회로에서 전류가 증폭되고 있다. a는 p형 반도체와 n형 반도체 중 하나이며, Y에서는 전류가 화살표 방향으로 흐른다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보 기>
- ㄱ. a는 p형 반도체이다.
 - ㄴ. 전류의 세기는 Y에서가 X에서보다 크다.
 - ㄷ. 저항 양단에 걸리는 전압은 R_2 에서가 R_1 에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



↳ 컬렉터-베이스 전류로 추측

단자 EBC → pnp형 → 이미터의 전위 : $V_0 - a$, 베이스의 전위 : $V_0 + b$ → 모순

단자 CBE → npn형 → 가능

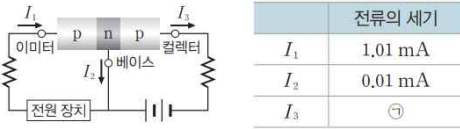
- ㄱ. a는 n형 반도체이다. (X)
- ㄴ. 전류의 세기는 이미터에서 더 쉰다. (O)
- ㄷ. 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전류가 흘러야 한다.
따라서 컬렉터의 전위가 베이스보다 높아야 하므로 $V - a > V - b$ 이므로 $b > a$ 이다. (O)

CASE 3. 전류 증폭률

[2022년 수특 2점 5번]

[21027-0157]

05 그림은 p-n-p형 트랜지스터가 연결된 회로를 나타낸 것이다. 이미터, 베이스, 컬렉터에 흐르는 전류는 각각 I_1 , I_2 , I_3 이다. 표는 I_1 , I_2 , I_3 의 세기를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 이미터와 베이스 사이에는 순방향 전압이 걸려 있다.

ㄴ. ㉠은 1.02 mA이다.

ㄷ. 전류 증폭률은 100이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- ㄱ. 이미터와 베이스는 순방향 전압 (O)
- ㄴ. $I_E = I_B + I_C \rightarrow I_3 = 1.00 \text{ mA}$ (X)
- ㄷ. $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1.00}{0.01} = 100$ (O)

[2022년 수특 3점 5번]

[21027-0165]

01 그림은 트랜지스터가 연결된 회로를 나타낸 것이다. 이미터, 베이스, 컬렉터에는 각각 화살표 방향으로 세기가 I_E , I_B , I_C 인 전류가 흐른다. 표는 가변 저항의 저항값이 각각 R_1 , R_2 일 때, 가변 저항 양단에 걸리는 전압 V 와 컬렉터에 흐르는 전류의 세기 I_C 를 나타낸 것이다. 가변 저항의 저항값이 각각 R_1 , R_2 일 때, 트랜지스터의 전류 증폭률은 100으로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. $R_1 < R_2$ 이다.

ㄴ. ㉠은 I보다 작다.

ㄷ. 가변 저항의 저항값이 R_1 일 때, 베이스에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{100}I$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

npn형 트랜지스터이다.

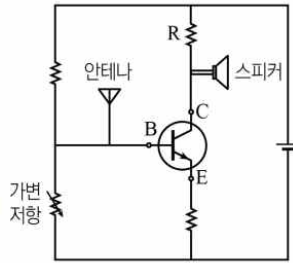
$$R_{\text{가변}} \uparrow \Rightarrow V_B \uparrow (I_B \uparrow) \Rightarrow V_E \uparrow (I_E \uparrow) \Rightarrow V_C \uparrow (I_C \uparrow)$$

- ㄱ. 베이스-이미터 사이에 걸리는 전압이 $V_{R1} > V_{R2}$ 이므로 $\rightarrow R_1 > R_2$ 이다.
- ㄴ. 위의 로직에 의해 I보다 작다. (O)
- ㄷ. $100 = \frac{I_C}{I_B} \rightarrow I_B = \frac{1}{100}I$ (O)

CASE 4. 가변저항

[2020년 7월 13번] (정답률 25%)

13. 그림과 같이 트랜지스터가 연결된 회로에서 안테나에 수신된 입력 신호가 증폭되어 스피커로 출력되었다. C, B, E는 각각 컬렉터, 베이스, 이미터이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[3점]

<보 기>

- ㄱ. 트랜지스터는 n-p-n형이다.
- ㄴ. B와 E 사이에 걸리는 전압을 증가시켜도 저항 R에 흐르는 전류의 세기는 일정하다.
- ㄷ. 가변 저항에 걸리는 전압이 작아지면 스피커에서 출력되는 신호는 더 크게 증폭된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

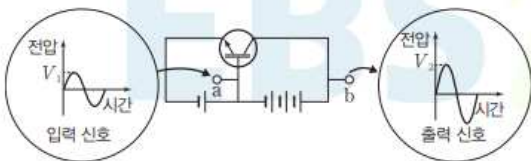
- ㄱ. 전류가 B→E로 흐르므로 npn형이다. (O)
- ㄴ. $V_{BE} \uparrow \Rightarrow V_B \uparrow (I_B \uparrow) \Rightarrow V_E \uparrow (I_E \uparrow) \Rightarrow V_C \uparrow (I_C \uparrow)$ 증가한다.(X)
- ㄷ. 가변저항에 걸리는 전압이 작아진다는 것은 직렬의 성질에 의해 가변저항이 작아진다는 것이다.
 $R_{가변} \downarrow \Rightarrow V_C \downarrow (I_C \downarrow)$ 작아진다.(X)

CASE 5. 바이어스 전압

02

▶22070-0120

그림은 트랜지스터를 이용한 회로의 단자 a에 입력된 신호가 증폭되어 단자 b로 출력되는 것을 나타낸 것이다. 입력 신호와 출력 신호의 전압의 최댓값은 각각 V_1, V_2 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ㄱ. 이미터와 베이스 사이의 바이어스 전압은 V_1 보다 작다.
- ㄴ. 베이스와 컬렉터 사이에는 역방향 전압이 걸린다.
- ㄷ. $V_1 = V_2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

- ㄱ. 바이어스 전압 > 신호의 MAX 값 (X)
- ㄴ. 역방향 전압이 걸려있다. (O)
- ㄷ. $V_2 = V_1 + V_B$ (X)