

---

# 전력 증폭기

# 증폭기의 분류

---

## □ 소신호(small-signal) 증폭기

- 동작점을 중심으로 진폭이 작게 변하는 신호(수 ~ 수백 mV)를 증폭함
- 트랜지스터의 선형 동작영역 중앙 근처에 동작점을 설정함
- 입-출력 신호의 선형성(linearity)이 중요함

## □ 대신호(large-signal) 증폭기

- 진폭이 큰 신호를 증폭함
- 트랜지스터의 비선형 특성에 의해 증폭기 출력이 왜곡될 수 있으므로, 큰 동적범위(dynamic range)에서 **선형성이 유지**될 수 있도록 소신호 증폭기와는 다른 바이어스 방법이 필요함
- 전력변환 효율, 정격전력, 안전동작 영역, 전력소비에 의한 **발열문제** 등이 중요함

# 증폭기의 분류

---

증폭기는 동작점의 위치에 따라

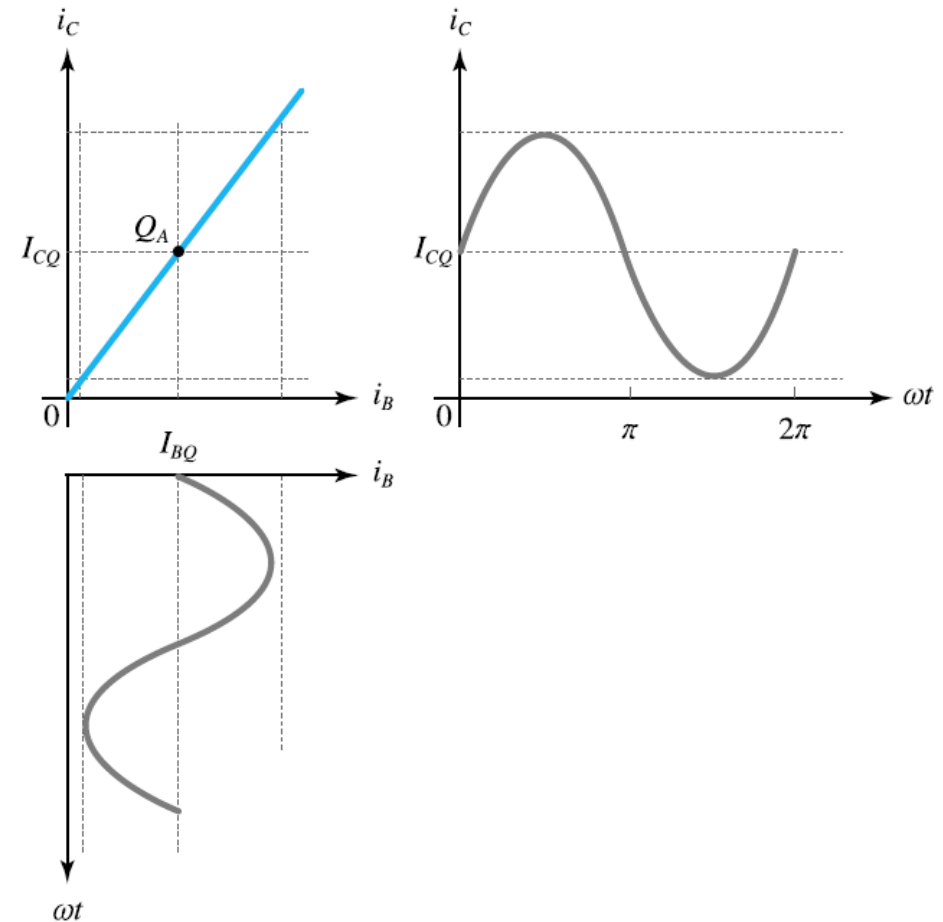
- A급
- B급
- AB급
- C급

등으로 구분할 수 있다.

# 증폭기의 분류

## • A급 바이어스 증폭기

- 컬렉터 전류의 선형영역 중앙 근처에 동작점이 설정됨
- 입력전류의 전체 주기가 왜곡 없이 증폭되어 컬렉터 전류로 나오므로 선형성이 잘 유지됨
- 입력전류에 무관하게 바이어스 전류  $I_{CQ}$ 가 항상 흐르므로 이에 의한 DC 전력소비( $V_{CEQ}I_{CQ}$ )가 커서 전력 효율이 낮음

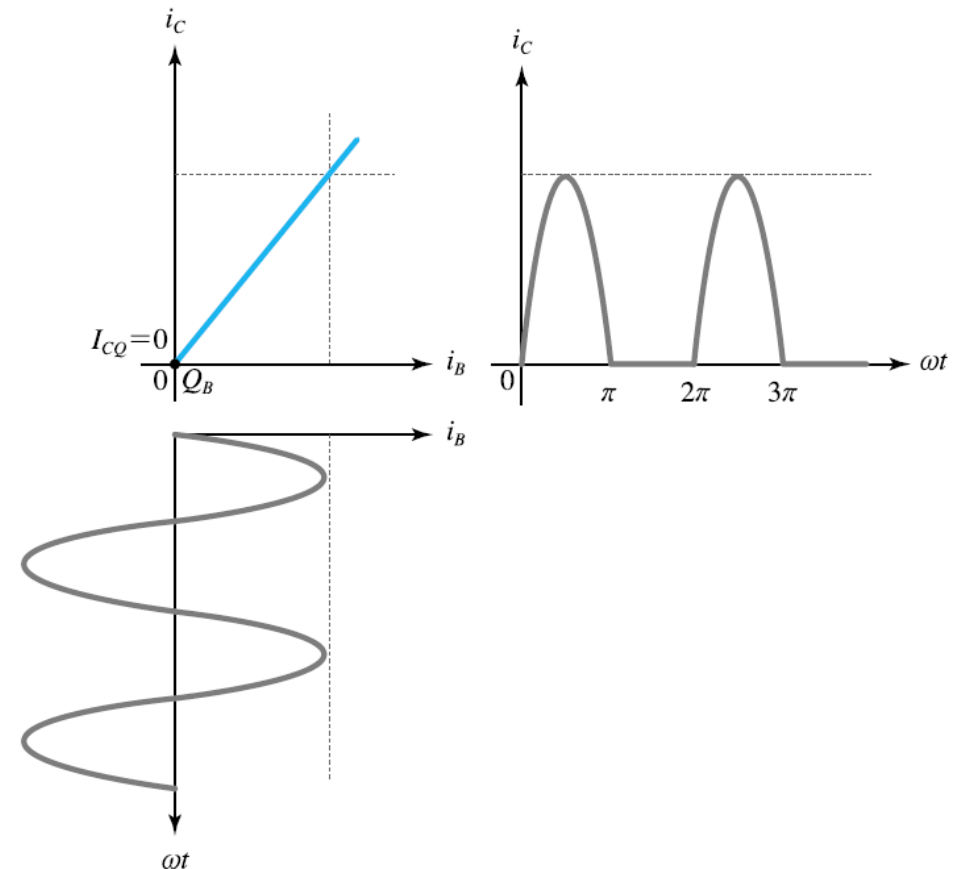


(a) A급 바이어스

# 증폭기의 분류

## • B급 바이어스 증폭기

- 트랜지스터의 차단점(즉,  $I_{CQ}=0$ 이 되는 지점)에 동작점이 설정됨
- 입력전류의 양(+)의 반 주기만 증폭되어 컬렉터 전류로 나오며, 음(-)의 반 주기는 컬렉터 전류가 흐르지 않아 출력파형의 왜곡이 심함
- 차단되는 반 주기의 신호를 얻기 위해 상보형 푸시풀(complementary push-pull) 구조를 이용하여 전체 주기의 신호를 얻을 수 있음
- 바이어스 전류  $I_{CQ}$ 가 0이므로 DC 전력소비가 이론적으로 0이 되어 A급 증폭기보다 전력효율이 높음

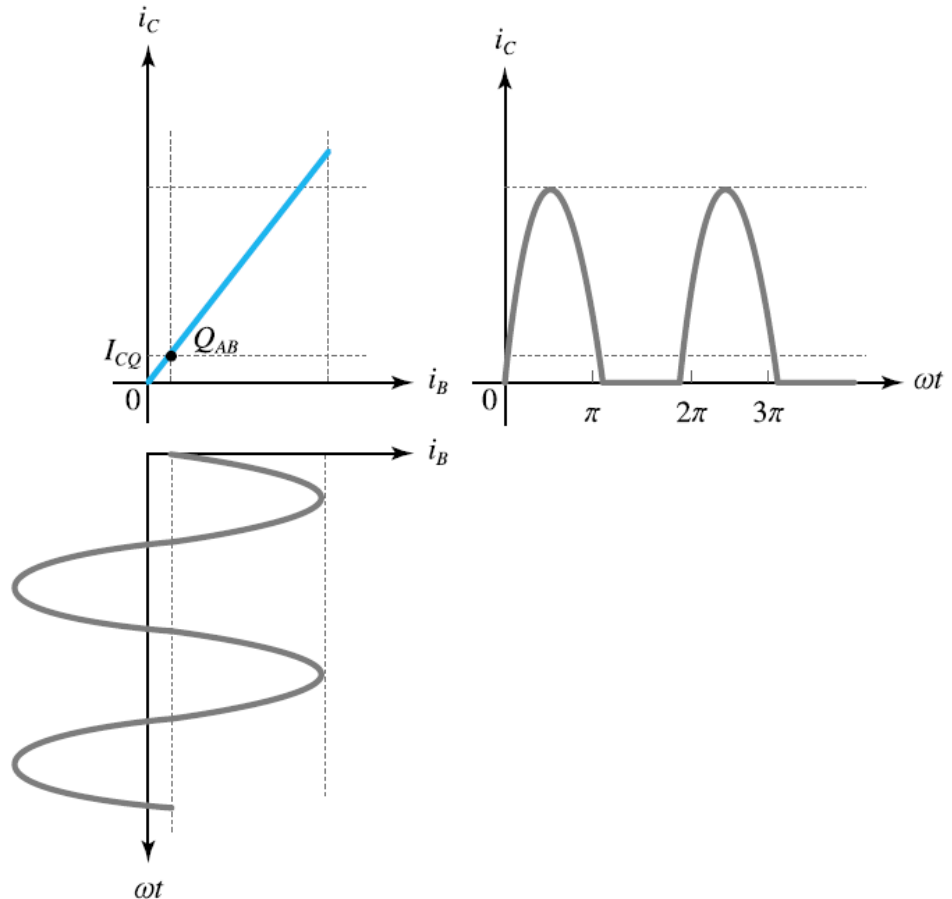


(b) B급 바이어스

# 증폭기의 분류

## • AB급 바이어스 증폭기

- 동작점을 A급 바이어스 쪽으로 약간 이동시킨 증폭기
- B급 푸시풀 증폭기의  $V_{BE}$  전압강하에 의한 출력파형 왜곡을 없애기 위함
- 전력효율이 B급 증폭기보다는 작고, A급 증폭기보다는 큼

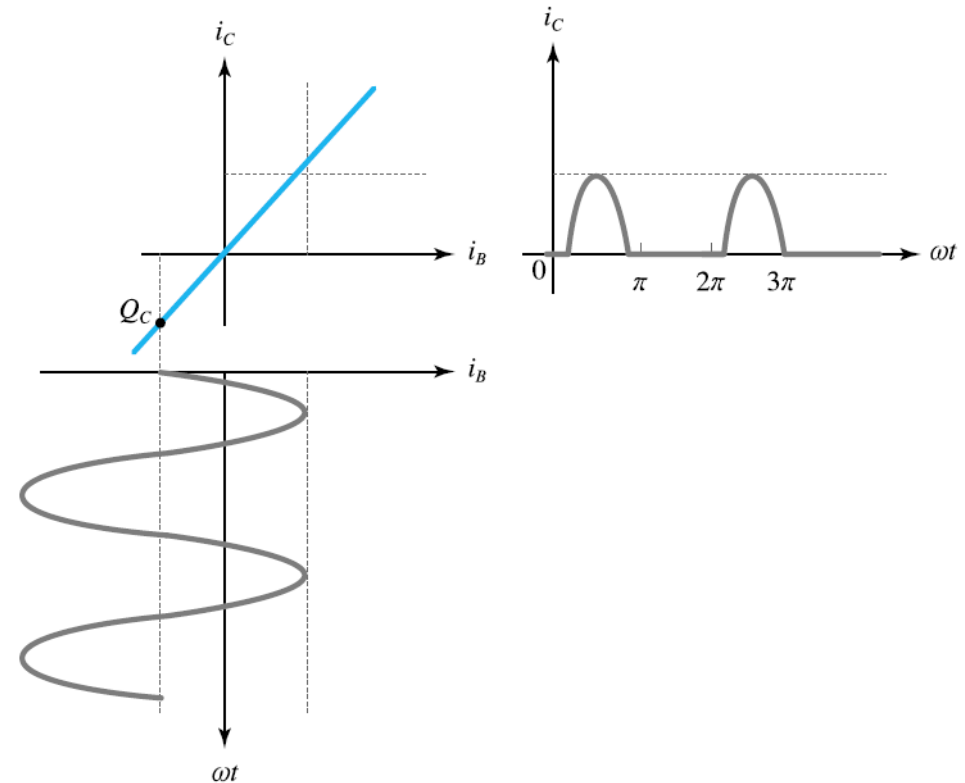


(c) AB급 바이어스

# 증폭기의 분류

## • C급 바이어스 증폭기

- 트랜지스터의 차단점 이하에 동작점이 설정됨
- 입력신호의 반 주기 이하의 일부만 출력으로 나오고, 나머지 반 주기 이상이 차단되어 출력파형의 왜곡이 가장 심함
- 왜곡을 갖는 정현파는 고조파 (harmonics) 성분을 포함하고 있으므로, 증폭기 출력에 LC 동조회로를 이용하면 고조파 성분이 제거된 기본파 성분을 얻을 수 있음
- 컬렉터 전류의 평균치가 가장 작으므로, 전력효율이 가장 큼



(d) C급 바이어스

## 10.3 전력변환 효율

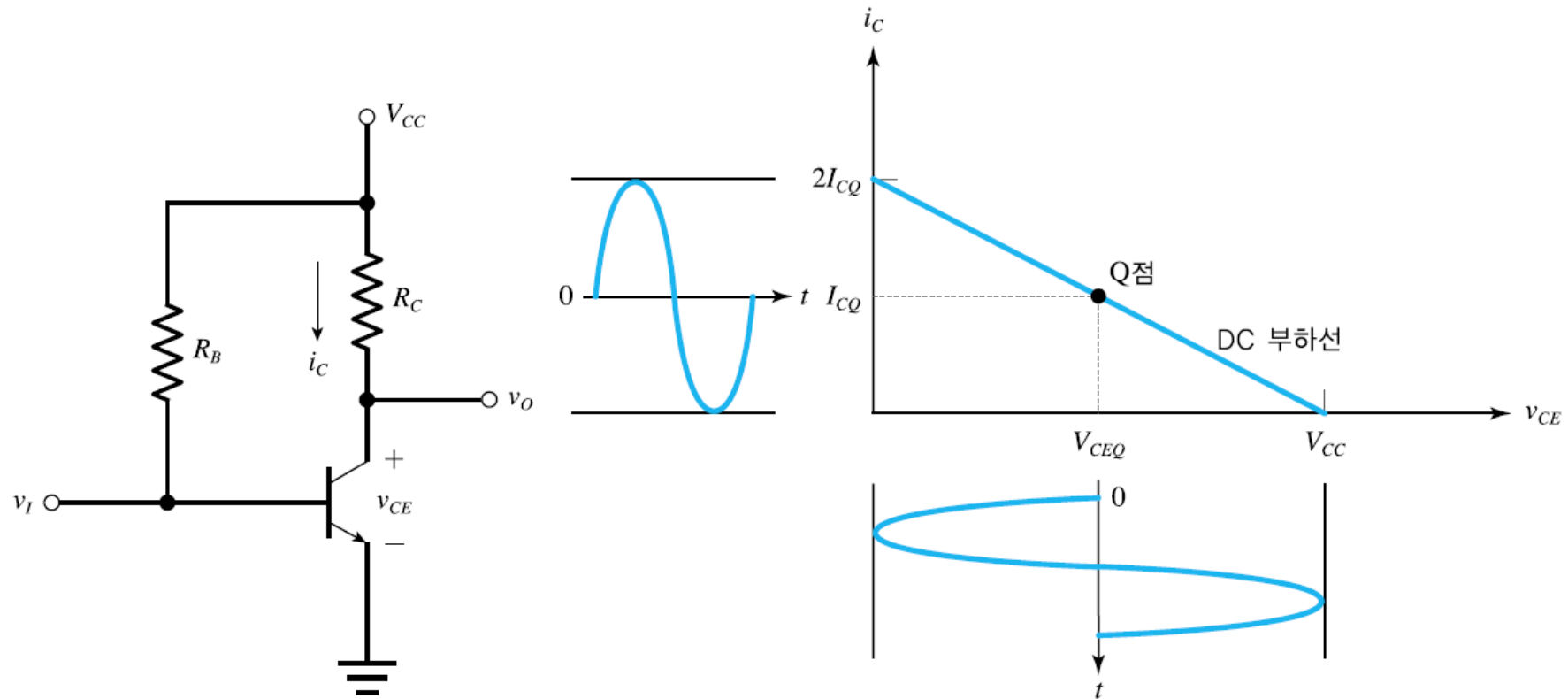
---

- 전력변환 효율(power conversion efficiency) 또는 전력효율 : 전원으로로부터 공급된 DC 평균전력과 부하에 공급된 교류전력의 비율

$$\eta = \frac{\text{부하에 공급된 평균 교류전력}}{\text{전원에서 공급받은 평균 DC전력}} \times 100\% = \frac{\overline{P_L}}{\overline{P_S}} \times 100\% \quad (10.14)$$



## 10.3 A급 전력 증폭기



(a) A급 바이어스된 공통 이미터 증폭기

(b) 동작점 및 출력특성

[그림 10-16] A급 바이어스 증폭기와 출력 특성

## 10.3 A급 전력 증폭기

---

- 동작점 전류, 전압

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE(on)}}{R_B} \quad (10.8)$$

$$I_{CQ} = \beta_{DC} I_{BQ} \quad (10.9)$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - R_C I_{CQ} \quad (10.10)$$

- 정현파 입력에 대한 컬렉터 전류, 전압

$$i_C = I_{CQ} + I_{cm} \sin \omega t \quad (10.11)$$

$$v_{CE} = V_{CEQ} - V_{cm} \sin \omega t \quad (10.12)$$

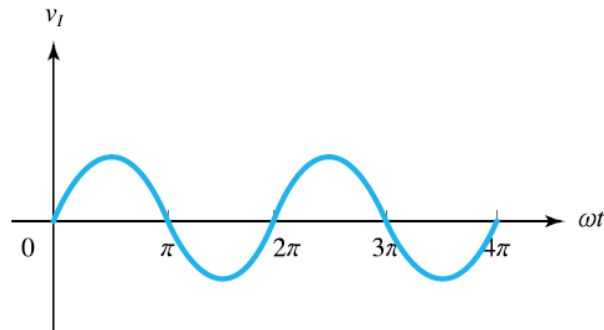
- 전력소모  $I_{cm} = I_{CQ}$ ,  $V_{cm} = V_{CEQ} = V_{CC}/2$

$$P_D = v_{CE} i_C = \frac{V_{CC} I_{CQ}}{2} (1 - \sin^2 \omega t) \quad (10.13)$$

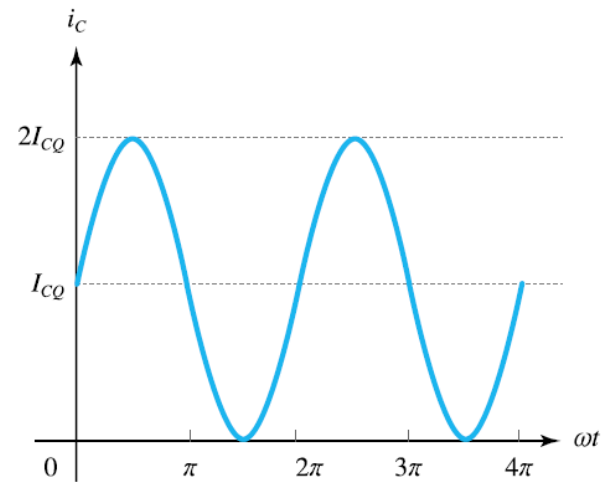
$$= \frac{V_{CC} I_{CQ}}{4} (1 + \cos 2\omega t)$$

- 평균 전력소모 :  $\overline{P_D} = V_{CC} I_{CQ} / 4$
- 최대 전력소모 :  $P_{D,max} = V_{CC} I_{CQ} / 2$

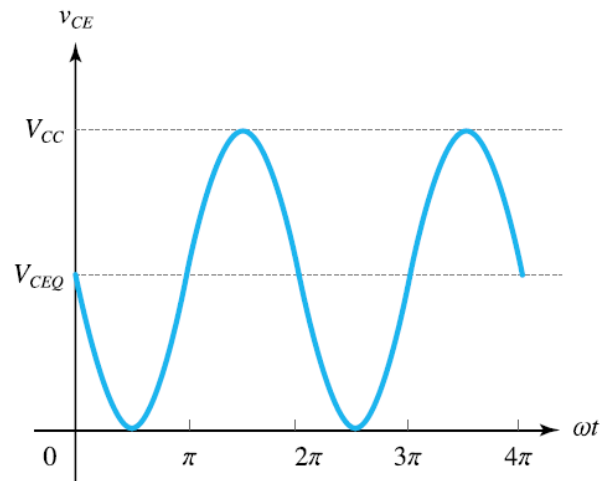
## 10.3 A급 전력 증폭기



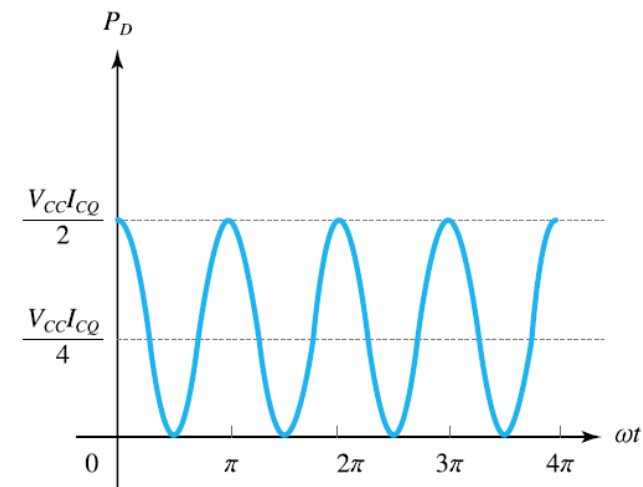
(a) 입력전압



(b) 컬렉터 전류

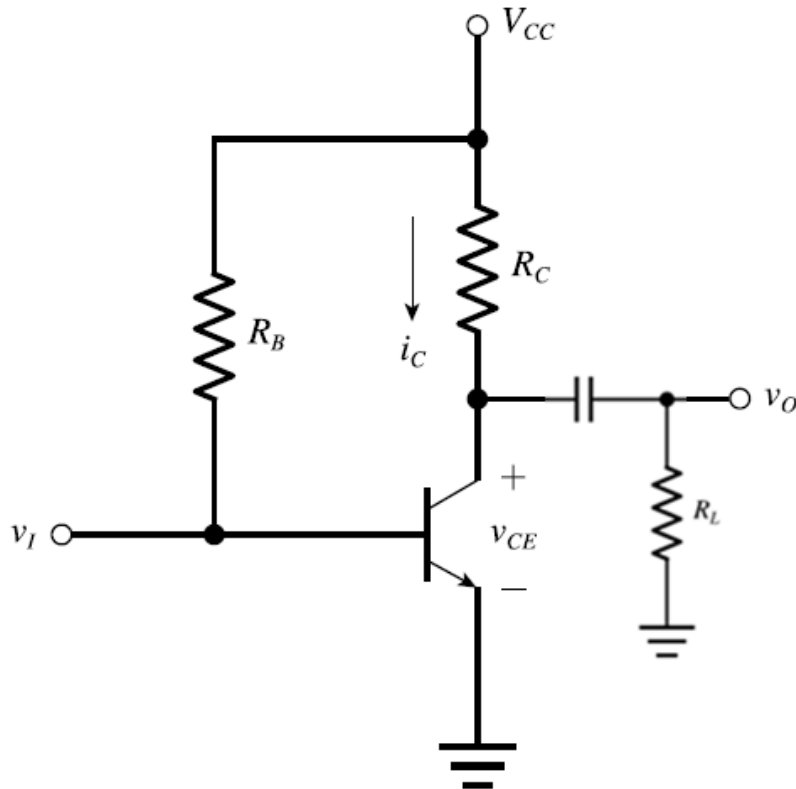


(c) 컬렉터-이미터 전압



(d) 소비전력

## 10.3 A급 전력 증폭기



- 전원  $V_{CC}$ 로부터 공급되는 평균 DC 전력

$$\overline{P_S} = V_{CC} I_{CQ} \quad (10.15)$$

- 부하에 공급되는 평균 전력

$$\overline{P_L} = \frac{V_{cm}}{\sqrt{2}} \frac{I_{cm}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{cm}^2 R_L}{2} = \frac{V_{cm}^2}{2R_L} \quad (10.16)$$

$$= \frac{1}{4} V_{CC} I_{CQ} \quad I_{cm} = I_{CQ}, V_{cm} = V_{CEQ} = V_{CC}/2$$

- 부하에 공급되는 최대 평균전력

$$\overline{P_{L,max}} = \frac{1}{2} \left( \frac{V_{CC} I_{CQ}}{2} \right) \quad (10.18)$$

- A급 증폭기의 이론적인 최대 전력효율

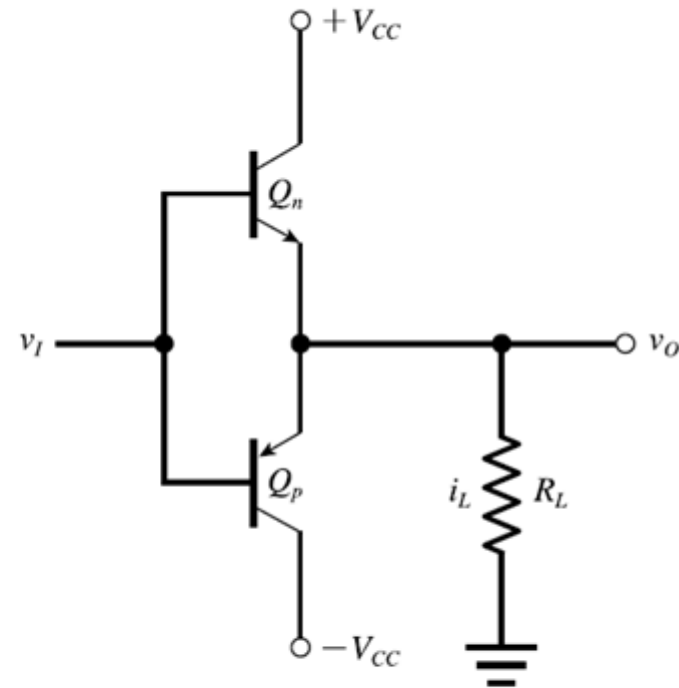
$$\eta_{max} = \frac{\overline{P_{L,max}}}{\overline{P_S}} \times 100\% = \frac{\frac{1}{4} V_{CC} I_{CQ}}{V_{CC} I_{CQ}} \times 100\% = 25\% \quad (10.19)$$

→ 실제의 경우에는 전력효율이 25%보다 작은 값을 갖는다.

## 10.4 B급 전력 증폭기

### 10.4.1 B급 푸시풀 전력 증폭기의 구조

- NPN형 BJT (또는 n-채널 MOSFET)와 PNP형 BJT (또는 p-채널 MOSFET)의 상보형(complementary) 구조
- 각 트랜지스터는 차단점에 동작점이 설정되는 B급 바이어스를 가짐

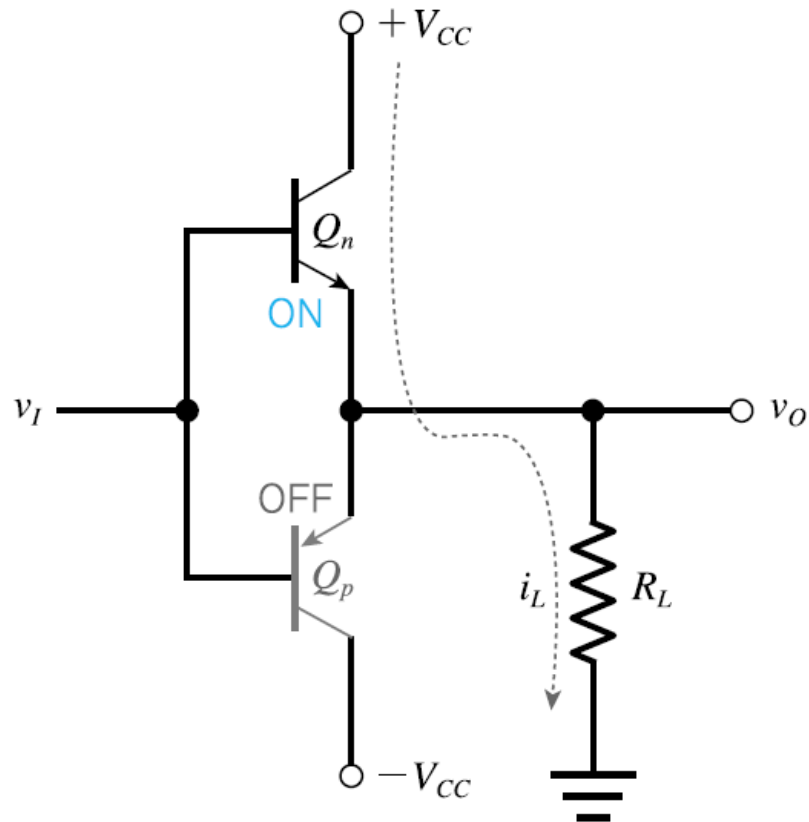


(a) 회로

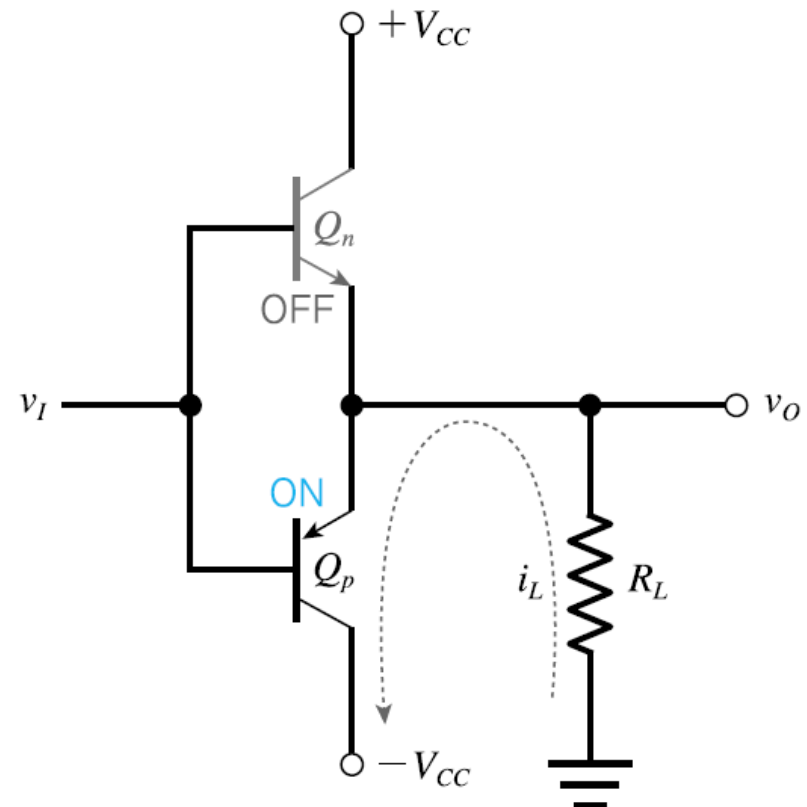
[그림 10-23] B급 푸시풀 전력 증폭기

## 10.4 B급 전력 증폭기

$v_I > 0$ 인 경우 : NPN형 BJT  $Q_n$ 이 도통,  
PNP형 BJT  $Q_p$ 는 차단

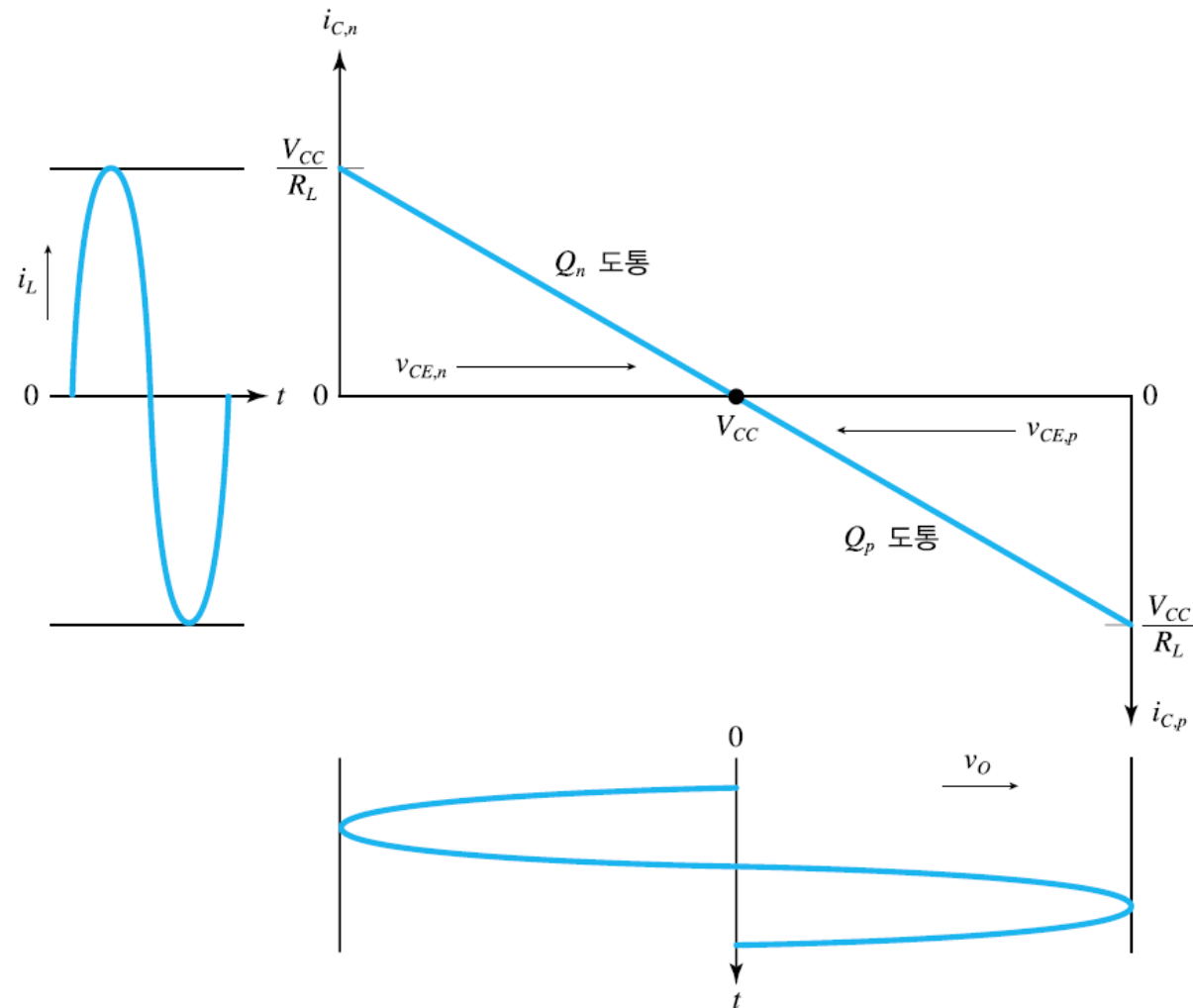


$v_I < 0$ 인 경우 : NPN형 BJT  $Q_n$ 이 차단,  
PNP형 BJT  $Q_p$ 는 도통



$Q_n, Q_p$ 는 이미터 폴로워:  $v_I$ 와 출력  $v_o$ 는 동일 위상을 가짐

## 10.4 B급 전력 증폭기



[그림 10-24] 이상적인 B급 푸시풀 증폭기의 부하선

## 10.4 B급 전력 증폭기

---

- 전원에 의해 공급된 평균 DC 전류

$$\begin{aligned} I_{av} &= \frac{1}{T} \int_0^{T/2} i_L dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} I_{Lm} \sin \omega t dt \\ &= \frac{I_{Lm}}{T} \frac{1}{\omega} [-\cos \omega t]_0^{T/2} = \frac{I_{Lm}}{\pi} = \frac{V_{om}}{\pi R_L} \end{aligned} \quad (10.48)$$

- 두 전원(+V<sub>CC</sub>, -V<sub>CC</sub>)에 의해 공급된 평균 DC 전력

$$\overline{P_S} = \overline{P_{S+}} + \overline{P_{S-}} = 2V_{CC} I_{av} = \frac{2V_{CC} V_{om}}{\pi R_L} \quad (10.49)$$

- 부하에 공급된 평균전력

$$\overline{P_L} = \frac{V_{om}^2}{2R_L} \quad (10.50)$$



## 10.4 B급 전력 증폭기

---

- B급 푸시풀 증폭기의 전력변환 효율

$$\eta = \frac{\frac{V_{om}^2}{2R_L}}{\frac{2V_{CC}V_{om}}{\pi R_L}} = \frac{\pi V_{om}}{4V_{CC}} \times 100\% \quad (10.51)$$

- 최대 전력효율 ( $V_{om}=V_{CC}$ )

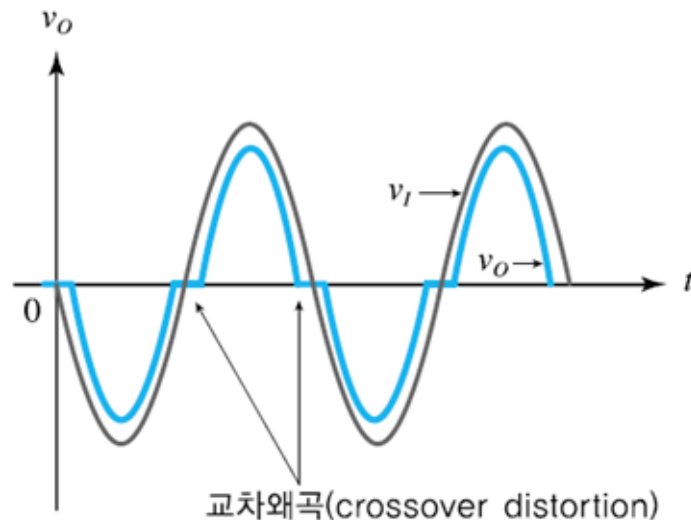
$$\eta_{max} = \frac{\pi}{4} \times 100\% = 78.5\% \quad (10.52)$$

→ A급보다 높은 전력효율을 가짐

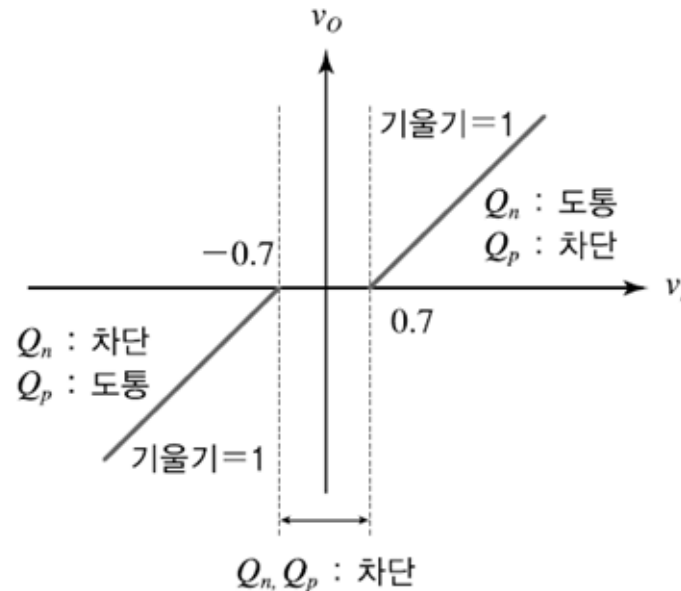
## 10.4 B급 전력 증폭기

### □ 교차왜곡(crossover distortion)

- 실제의 BJT는 이미터-베이스 접합의 전압강하  $V_{BE(on)}=0.7\text{ V}$ 를 가짐
- $-0.7\leq v_i\leq 0.7$ 에서 트랜지스터  $Q_n$ 과  $Q_p$ 가 모두 차단되어 출력이 0이 됨  
→ 출력파형에 왜곡이 발생



(a) 입력과 출력전압

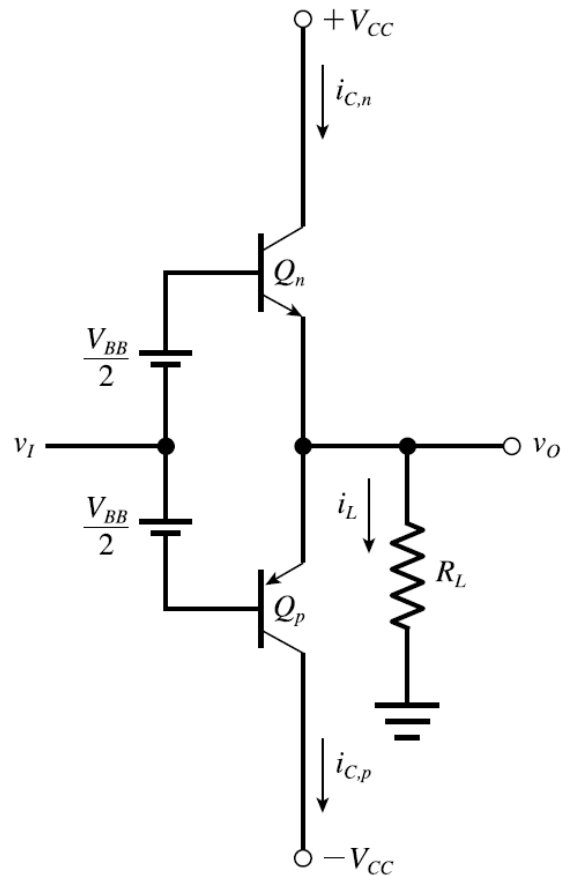


(b) 입출력 전달특성 곡선

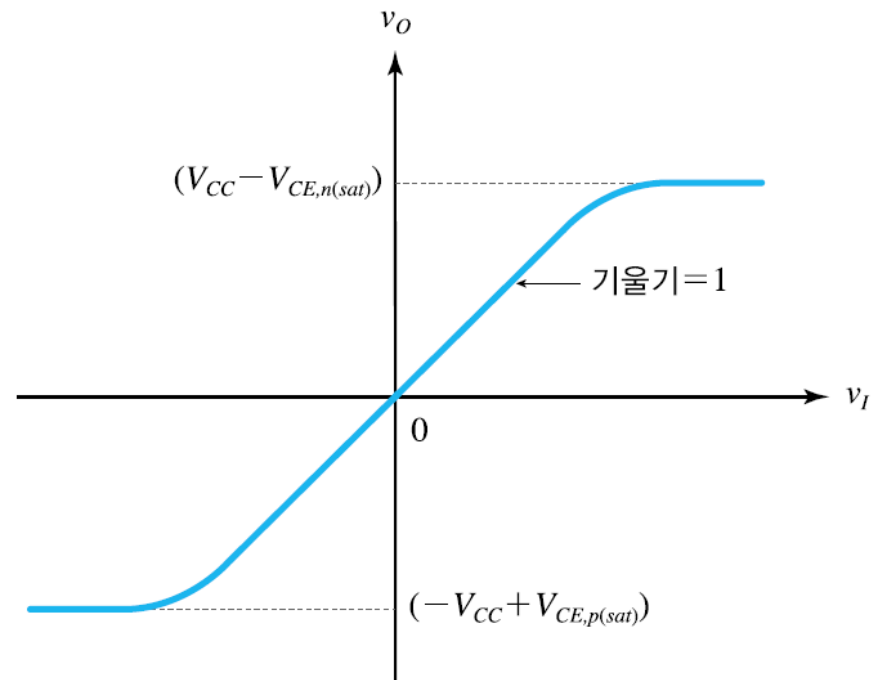
[그림 10-25] B급 푸시풀 증폭기의 교차왜곡 및 전달특성

## 10.5 AB급 전력 증폭기

- B급 푸시풀 증폭기의 교차왜곡 제거를 위해 AB급 바이어스 방법이 사용됨



(a) 푸시풀 증폭기의 AB급 바이어스

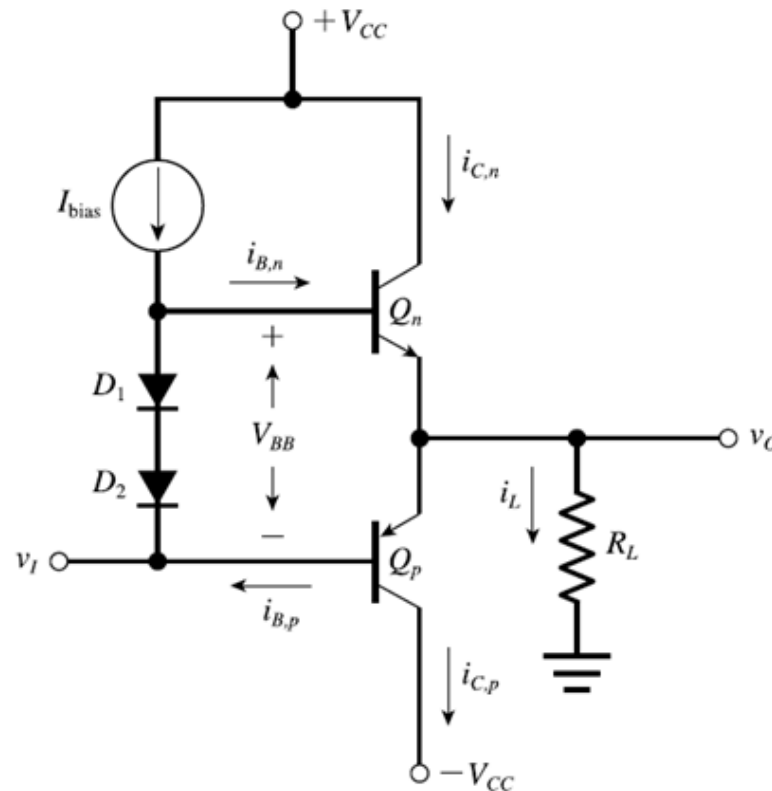


(b) 입출력 전달특성

# 10.5 AB급 전력 증폭기

## 10.5.2 다이오드를 이용한 AB급 바이어스

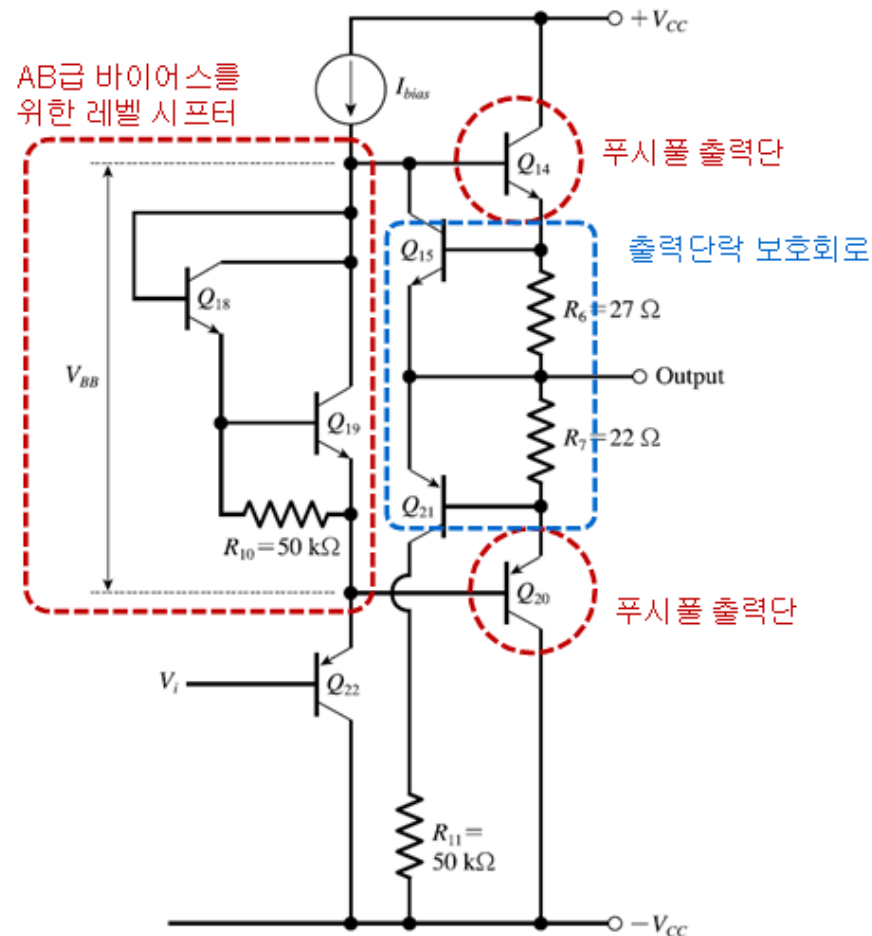
- 다이오드 쌍  $D_1$ 과  $D_2$ 에서 발생하는 전압 강하에 의해  $Q_n$ 과  $Q_p$ 의 바이어스 전압  $V_{BB}$ 가 만들어짐



[그림 10-30] 다이오드를 이용한 AB급 바이어스 푸시풀 증폭기

## 10.5 AB급 전력 증폭기

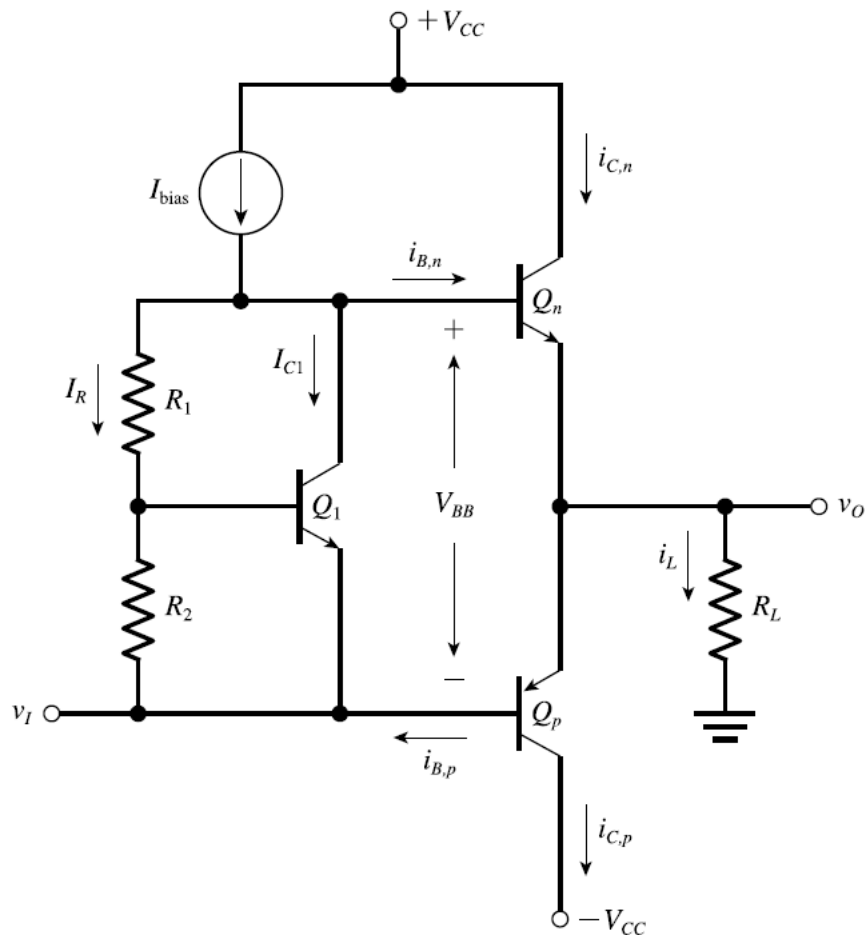
### □ uA741 연산증폭기의 AB급 바이어스 출력단 회로



[그림 10-31] uA741 연산증폭기의 AB급 바이어스 푸시풀 출력단

# 10.5 AB급 전력 증폭기

## $V_{BE}$ 배율기를 이용한 푸시풀 출력단의 AB급 바이어스



- 저항  $R_1, R_2$ 에 흐르는 전류

$$I_R = \frac{V_{BE1}}{R_2}$$

- 바이어스 전압

$$V_{BB} = (R_1 + R_2)I_R = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)V_{BE1}$$

→ 푸시풀 출력단의 바이어스 전압  $V_{BB}$ 를 저항비  $R_1/R_2$ 로 조정할 수 있음

[그림 10-32] 배율기를 이용한 푸시풀 출력단의 AB급 바이어스

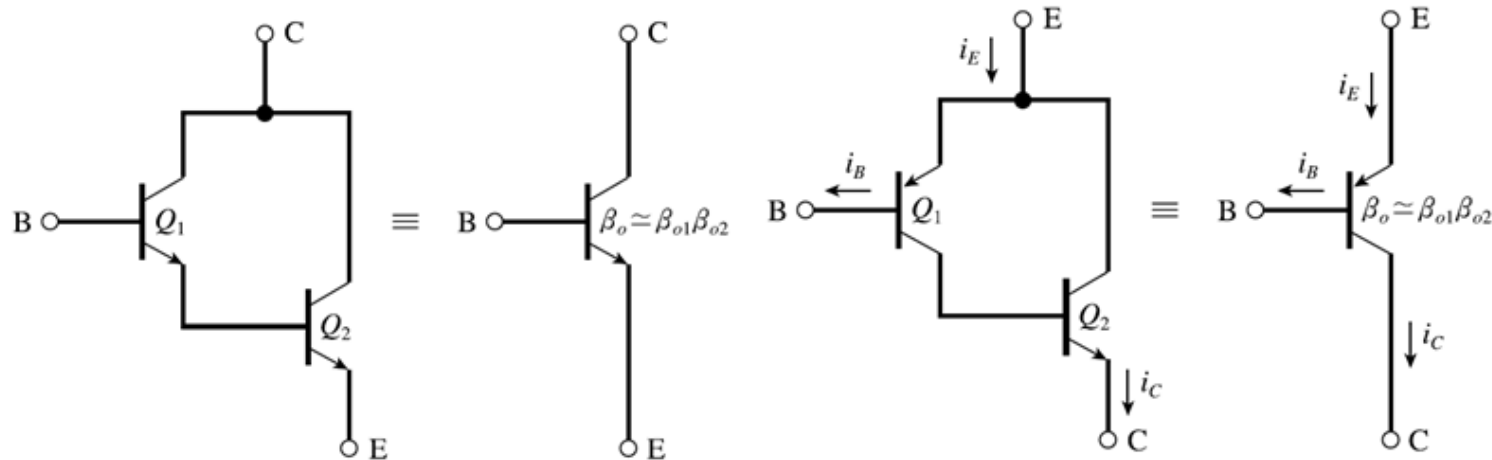
## 10.5 AB급 전력 증폭기

### 10.5.4 달링톤 쌍을 이용한 AB급 출력단

- 푸시풀 출력단의 전류 공급능력을 크게 하기 위해 Darlington pair를 사용
- 달링톤 쌍
  - 두 개의 트랜지스터를 결합하여 전류를 증폭하는 역할을 함

$$i_{E2} = (1 + \beta_{o2})i_{B2} = (1 + \beta_{o2})(1 + \beta_{o1})i_{B1} \simeq \beta_{o1}\beta_{o2}i_{B1} \quad (10.71)$$

- 전류 증폭률  $\beta \simeq \beta_{o1}\beta_{o2}$ 를 가지며,  $V_{BE} = V_{BE1} + V_{BE2}$ 인 단일 트랜지스터로 등가시킬 수 있으며, **super-transistor** 라고도 함

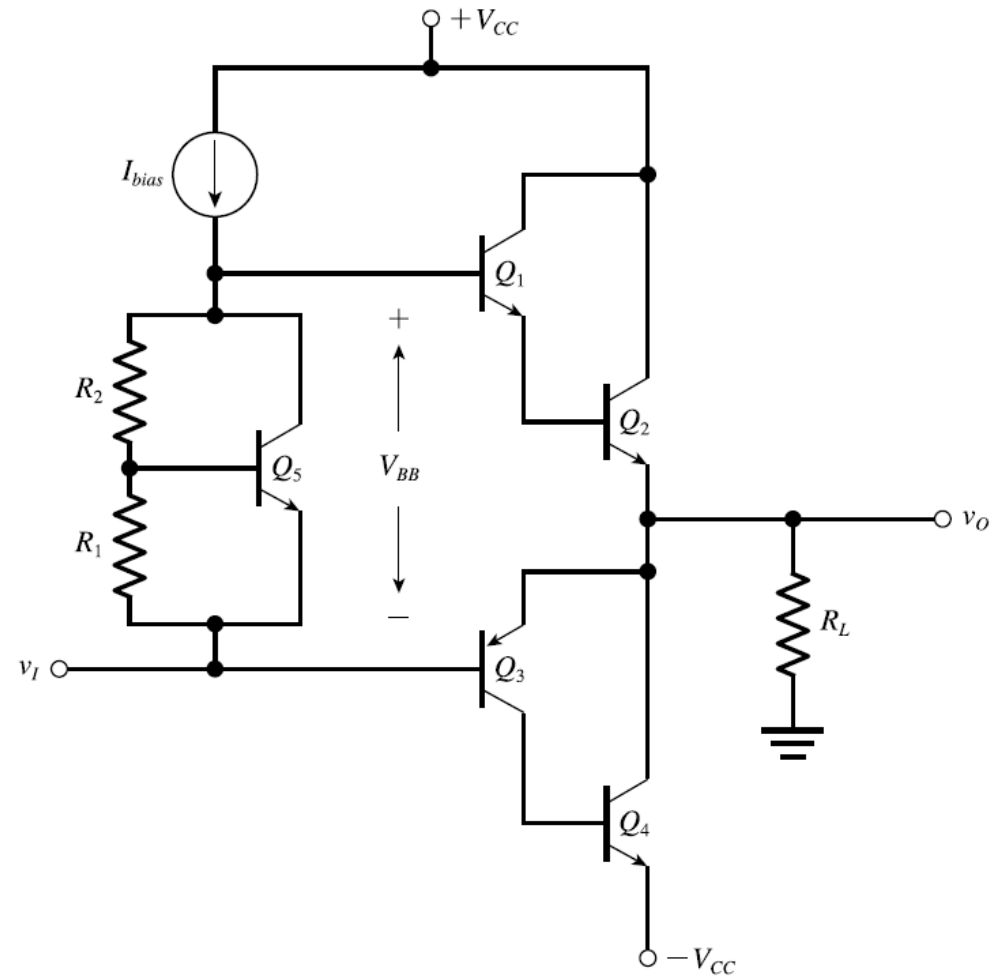


(a) NPN 달링톤 쌍

(b) PNP 달링톤 쌍

[그림 10-33] 달링톤 쌍

## 10.5 AB급 전력 증폭기



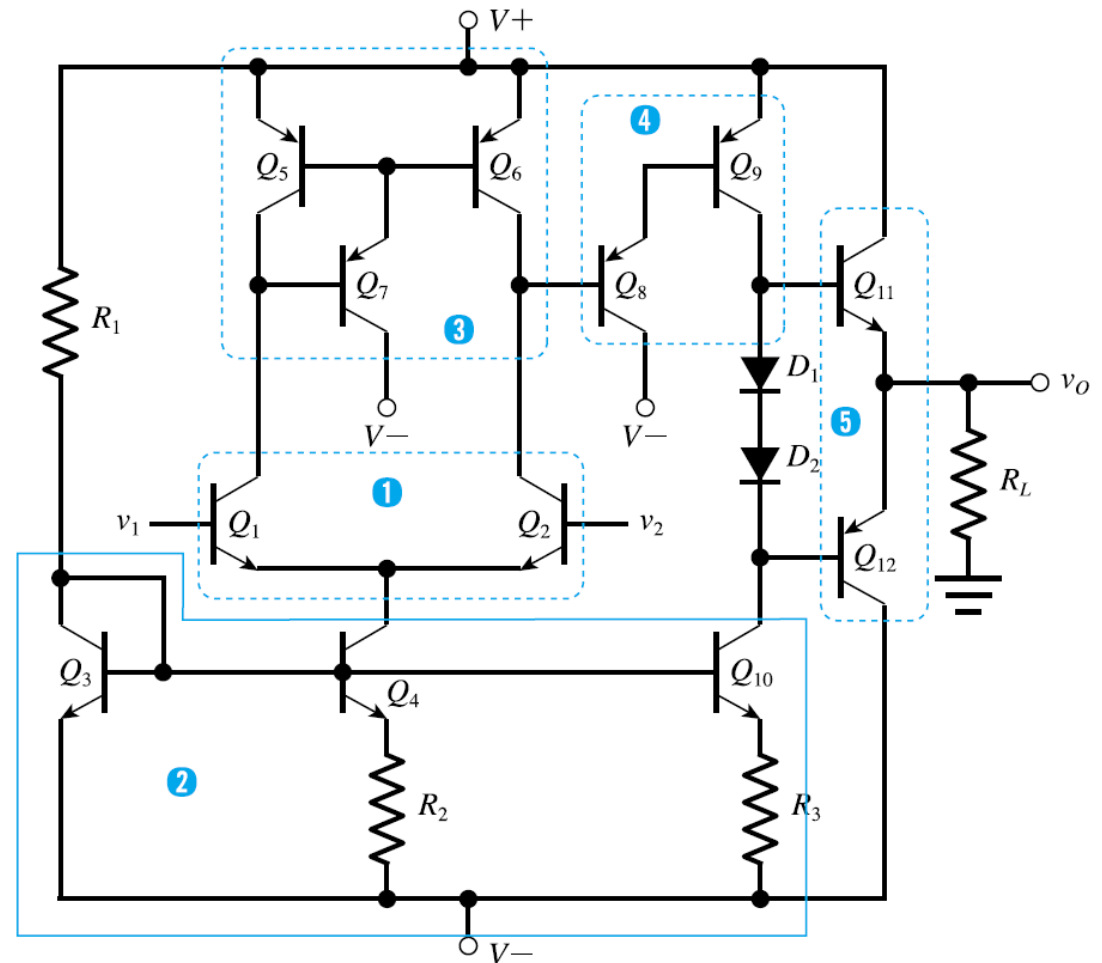
[그림 10-34] 달링톤 쌍을 갖는 푸시풀 출력단



## 7.4 다단 증폭기

### 7.4.4 다단 증폭기의 예

- ①  $Q_1, Q_2$  : 차동쌍
- ②  $Q_3, Q_4, R_2$  : Widlar 정전류원  
 $Q_3, Q_{10}, R_3$  : Widlar 정전류원
- ③  $Q_5, Q_6, Q_7$  : 차동쌍의 능동부하
- ④  $Q_8, Q_9$  : CC-CE 종속연결 증폭단
- ⑤  $Q_{11}, Q_{12}$  : 푸시풀 출력단  
 -  $D_1, D_2$  : level shifter



[그림 7-38] 단순화된 BJT 연산 증폭기 회로