
다단 증폭기

7.4 다단 증폭기

단일 트랜지스터 증폭기를 종속(cascade) 연결하여 다단(multi-stage) 증폭기를 구성하면, 단일 증폭단의 장점들이 결합된 우수한 성능의 증폭기를 구현할 수 있음

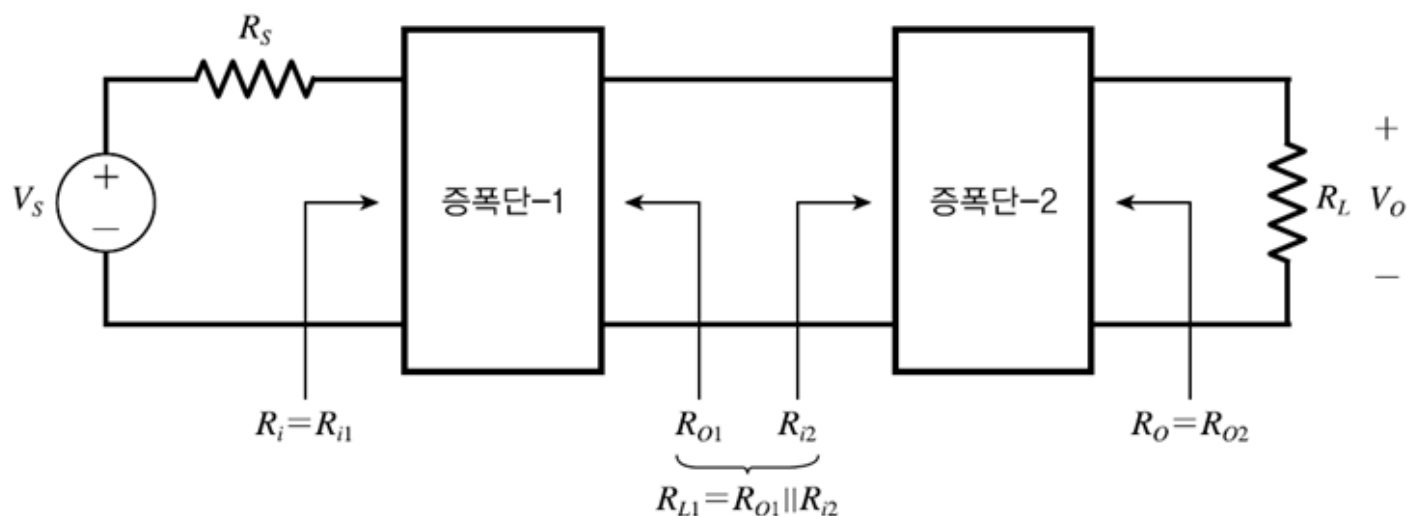
[표 7-1] 종속연결 2단 증폭기의 특징

종속연결 증폭기	특징
공통 이미터-공통 이미터(CE-CE) 공통 소오스-공통 소오스(CS-CS)	큰 전압이득
공통 이미터-공통 베이스(CE-CB) 공통 소오스-공통 게이트(CS-CG)	큰 대역폭과 전압이득
공통 컬렉터-공통 컬렉터(CC-CC)	큰 전류이득
공통 컬렉터-공통 이미터(CC-CE)	큰 입력저항과 전압이득
공통 이미터-공통 컬렉터(CE-CC) 공통 소오스-공통 드레인(CS-CD)	작은 출력저항과 전압이득

7.4 다단 증폭기

□ 종속연결 2단 증폭기의 일반적인 형태

- 증폭단-2의 입력저항 R_{i2} 가 증폭단-1에 부하로 작용하는 부하효과(loading effect)가 존재함
- 종속 증폭기 전체의 전압이득(또는 전류이득)은 단순히 개별 증폭단 이득의 곱으로 주어지지 않음
- 종속연결 증폭기 전체의 입력저항은 증폭단-1의 입력저항이 되며, 출력저항은 증폭단-2의 출력저항이 됨

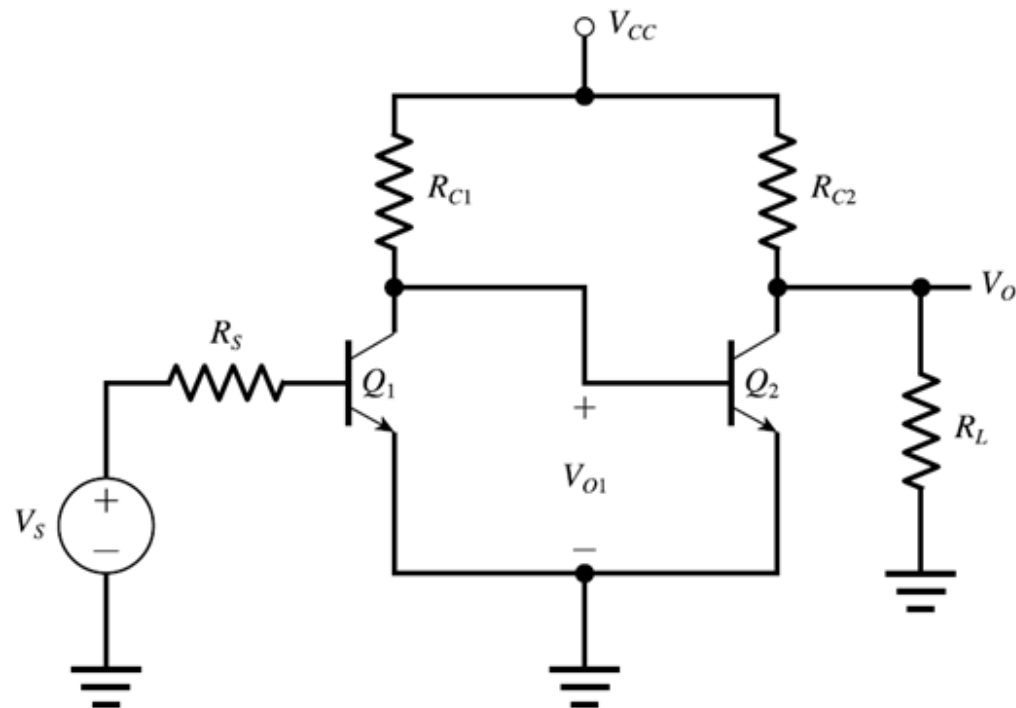


[그림 7-30] 종속연결 2단 증폭기의 일반적인 형태

7.4 다단 증폭기

7.4.1 CE-CE 종속연결 증폭기

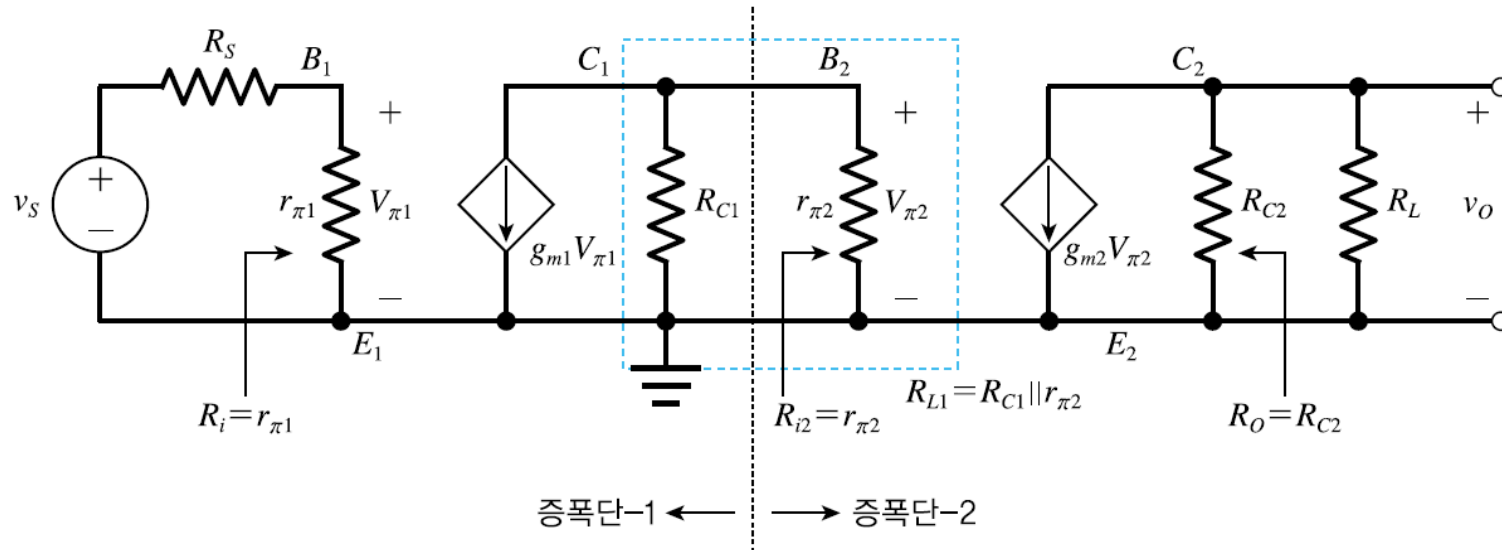
- 두 트랜지스터는 선형영역에서 동작하도록 바이어스 됨 (각 트랜지스터의 출력저항은 $r_o = \infty$ 라고 가정) 편의상 바이어스 회로는 생략



(a) CE-CE 종속연결

[그림 7-31] CE-CE 종속연결 증폭기

7.4 다단 증폭기



(b) 소신호 등가회로

- Q1의 베이스 전압

$$V_{\pi 1} = \frac{r_{\pi 1}}{R_S + r_{\pi 1}} V_s$$

- Q1의 컬렉터 (즉, Q2의 베이스) 전압

$$V_{\pi 2} = -g_{m1} V_{\pi 1} R_{L1} = \frac{-\beta_{o1} R_{L1}}{R_S + r_{\pi 1}} V_s$$

7.4 다단 증폭기

- 출력전압

$$V_o = -g_{m2}V_{\pi2}R'_L = \frac{-\beta_{o1}R_{L1}}{R_S + r_{\pi1}}(-g_{m2}R'_L)V_s \quad (7.117)$$

- 전압이득

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{-\beta_{o1}R_{L1}}{R_S + r_{\pi1}}(-g_{m2}R'_L) = A_{v1}A_{v2} \quad (7.118)$$

→ 증폭단-1의 전압이득 $A_{v1} = -\beta_{o1}R_{L1}/(R_S + r_{\pi1})$ 에서 $R_{L1} = R_{C1} \parallel r_{\pi2}$ 은 증폭단-2의 입력저항 $r_{\pi2}$ 의 부하효과를 포함하고 있음

→ 종속연결 **CE-CE** 증폭기의 전압이득은 개별 **CE** 증폭단 전압이득의 곱으로 표현되며, 이때 증폭단-2의 입력저항이 증폭단-1에 미치는 부하효과가 고려되어야 함

- 중속단의 입력저항(증폭단-1의 입력저항)

$$R_i = r_{\pi1} \quad (7.120)$$

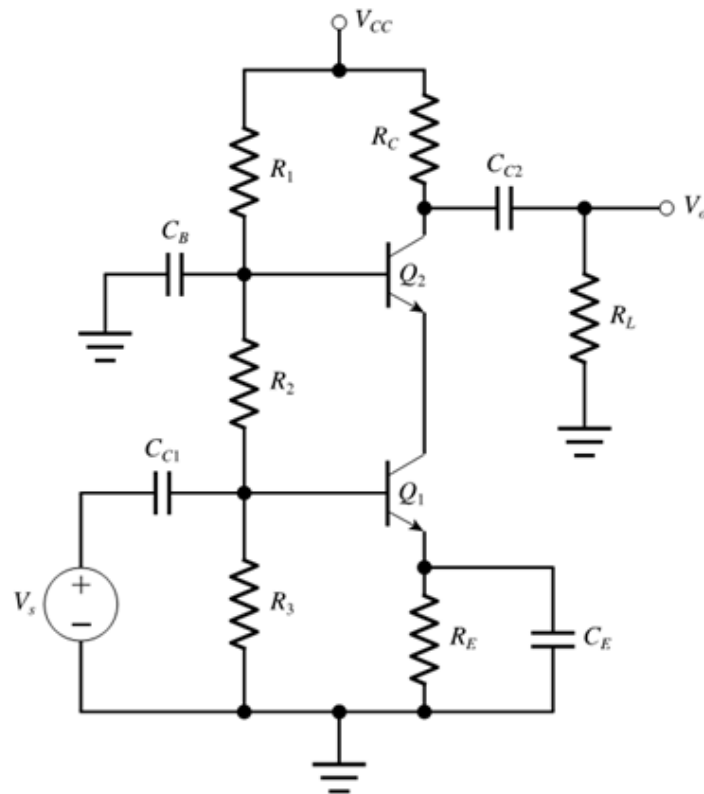
- 중속단의 출력저항(증폭단-2의 출력저항)

$$R_o = R_{C2} \quad (7.121)$$

7.4 다단 증폭기

7.4.2 캐스코드(Cascode) 증폭기

- CE 증폭단과 CB 증폭단이 종속으로 연결된 구조
- Q_2 는 전류버퍼(current buffer)로 동작



(a) CE-CB 종속연결

[그림 7-32] CE-CB 캐스코드 증폭기

7.4 다단 증폭기

- Q_2 의 이미터에서 KCL을 적용

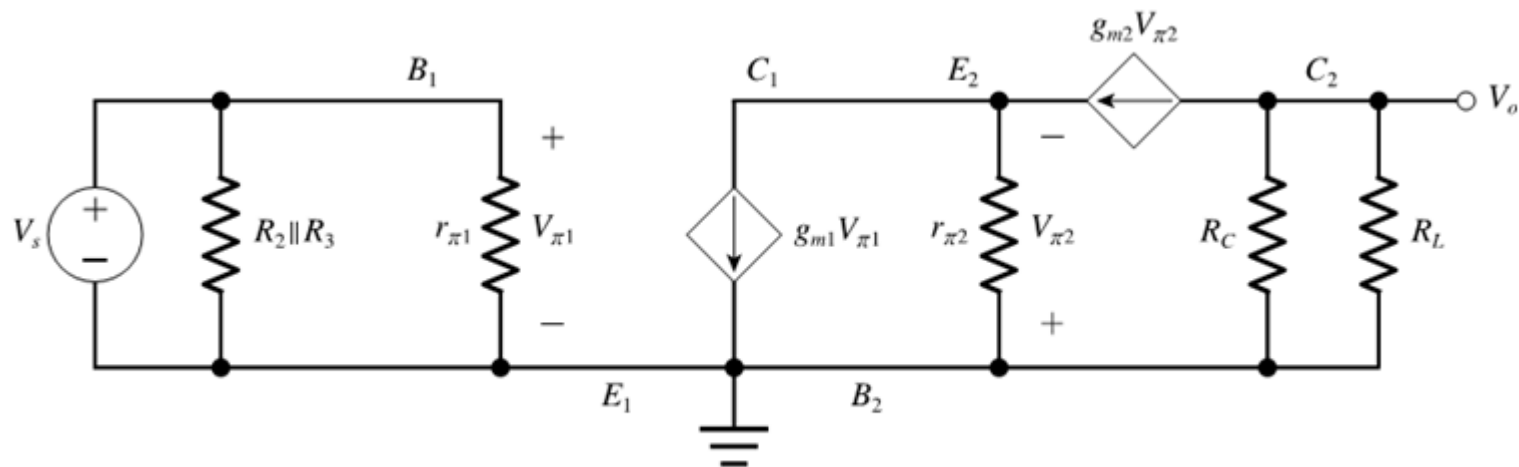
$$g_{m1}V_{\pi1} = \left(g_{m2} + \frac{1}{r_{\pi2}}\right)V_{\pi2} = \frac{\beta_{o2} + 1}{r_{\pi2}}V_{\pi2} \quad (7.122)$$

- Q_2 의 이미터 전압

$$V_{\pi2} = \frac{g_{m1}r_{\pi2}}{\beta_{o2} + 1}V_{\pi1} = \frac{g_{m1}r_{\pi2}}{\beta_{o2} + 1}V_s \quad (7.123)$$

- 출력전압

$$V_o = -g_{m2}V_{\pi2}R'_L \quad (7.124)$$



(b) 소신호 등가회로

[그림 7-32] CE-CB 캐스코드 증폭기

7.4 다단 증폭기

- 캐스코드 증폭기의 전압이득

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = -g_{m1} \left(\frac{\beta_{o2}}{\beta_{o2} + 1} \right) R'_L \simeq -g_{m1} R'_L \quad (7.125)$$

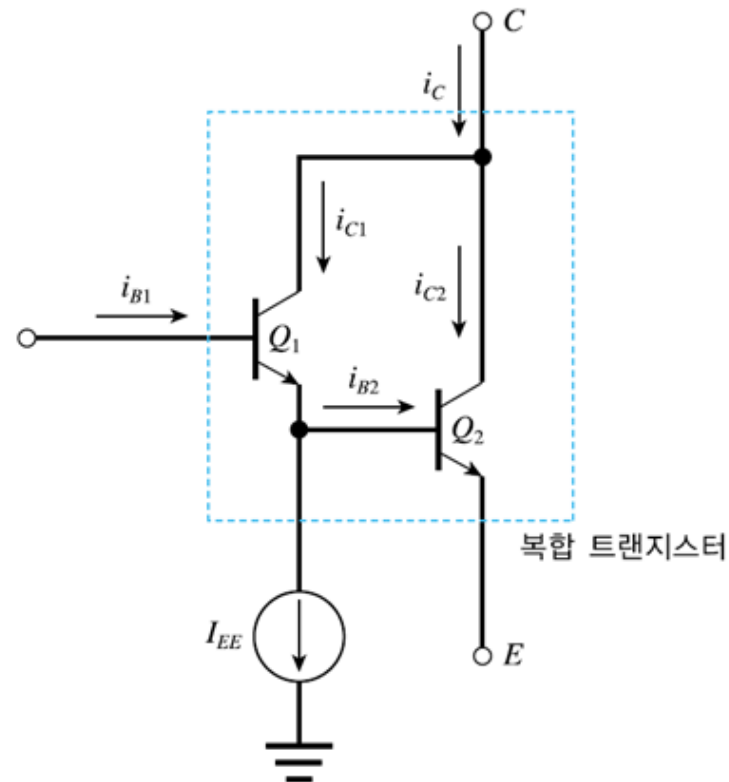
- 부하 R'_L 을 갖는 단일 **CE** 증폭기의 이득과 근사적으로 동일
- **CB** 증폭단의 입력저항 $R_{i2} = r_{e2}$ 는 매우 작으며, 이는 **CE** 증폭단의 부하로 작용하므로, 부하저항 R_C 를 갖는 단일 **CE** 증폭단에 비해 주파수 대역폭이 커지는 장점을 가짐 (8.5.2절 참조)

7.4 다단 증폭기

7.4.3 여러 가지 종속연결 증폭기

□ CC-CC 종속연결 증폭기

- 달링턴 쌍(Darlington pair), 복합 트랜지스터(compound transistor)라고 함



[그림 7-34] CC-CC 종속연결 증폭기

7.4 다단 증폭기

- Q_1 의 이미터 전류

$$i_{E1} = (\beta_{o1} + 1)i_{B1} \quad (7.128)$$

- $i_{E1} = i_{B2}$ 이므로 Q_2 의 컬렉터 전류는

$$i_{C2} = \beta_{o2}i_{B2} = \beta_{o2}(\beta_{o1} + 1)i_{B1} \quad (7.129)$$

- 달링턴 쌍의 출력전류

$$i_C = i_{C1} + i_{C2} = [\beta_{o1} + \beta_{o2}(\beta_{o1} + 1)]i_{B1} \quad (7.130)$$

- 달링턴 쌍의 전류이득

$$\beta_{DP} = \frac{i_C}{i_{B1}} = \beta_{o1} + (\beta_{o1} + 1)\beta_{o2} \simeq \beta_{o1}\beta_{o2} \quad (7.131)$$

– $\beta_{o1} = \beta_{o2} = \beta_o$ 이고, $\beta_{o1} \gg 1$ 이면,

$$\beta_{DP} \simeq \beta_o^2 \quad (7.132)$$

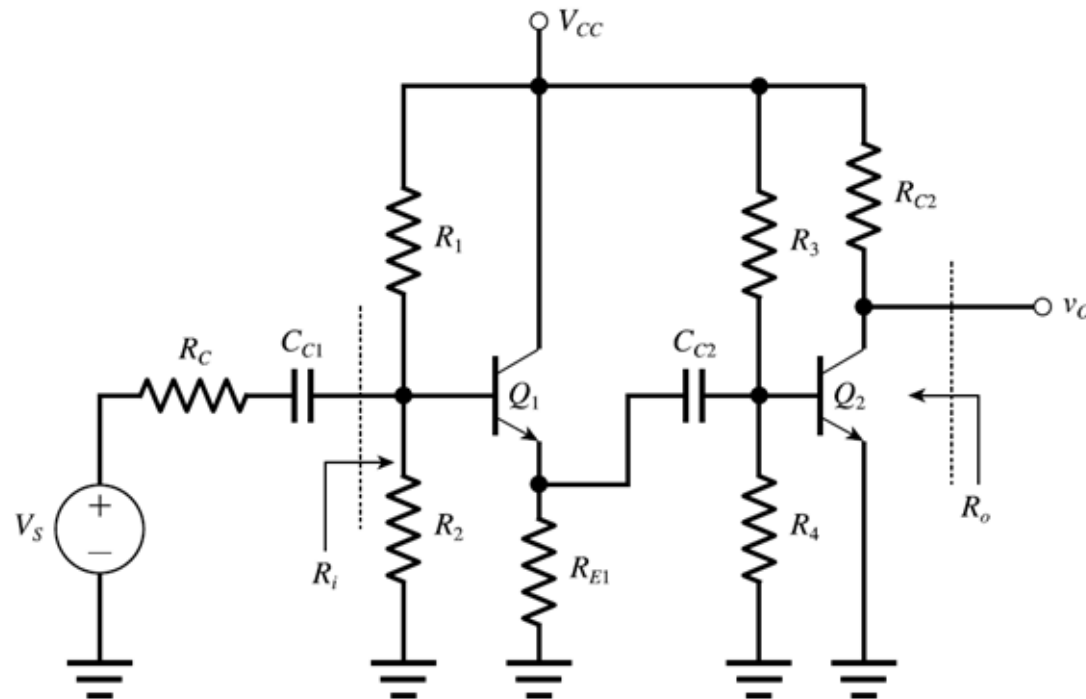
7.4 다단 증폭기

□ CC-CE 종속연결 증폭기

- CC : $A_{v1} \approx 1$ 이며, 큰 입력저항과 작은 출력저항을 갖는 전압 버퍼로 동작

$$A_v = A_{v1} A_{v2} \simeq A_{v2} \quad (7.133)$$

$$R_i = (R_1 \parallel R_2) \parallel [r_{\pi 1} + (\beta_{o1} + 1)R_{E1}] \quad (7.134)$$



[그림 7-35] CC-CE 종속연결 증폭기

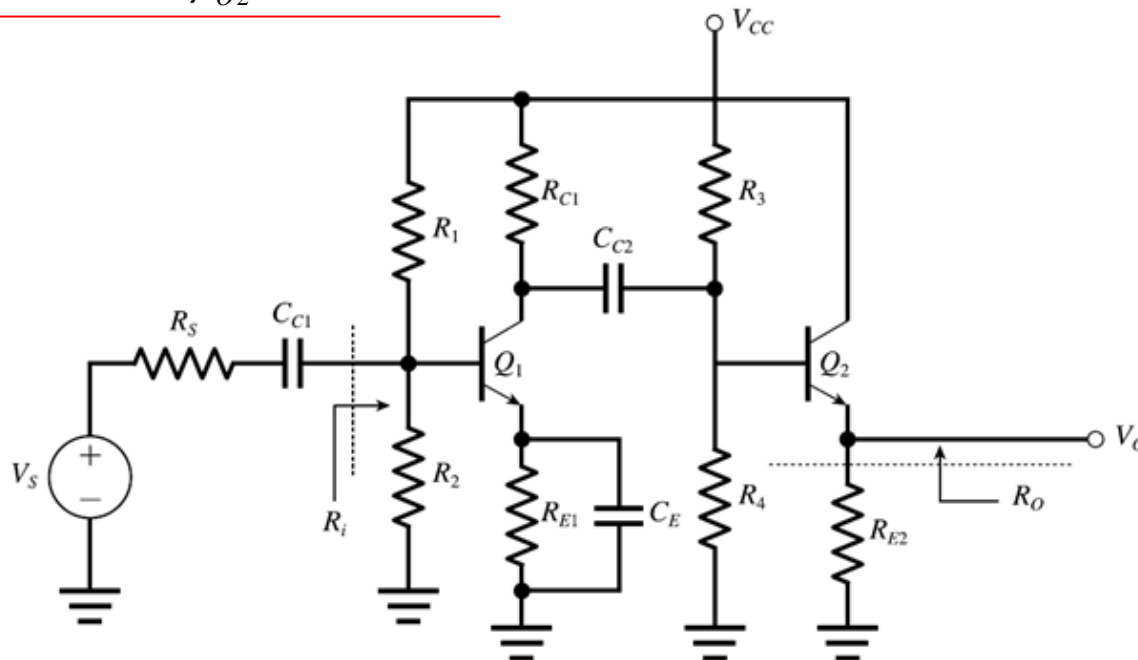
7.4 다단 증폭기

□ CE-CC 종속연결 증폭기

$$A_v = A_{v1} A_{v2} \simeq A_{v1} \quad (7.135)$$

$$R_i = (R_1 \parallel R_2) \parallel r_{\pi 1} \quad (7.136)$$

$$R_o = \frac{(R_{C1} \parallel R_3 \parallel R_4) + r_{\pi 2}}{\beta_{O2} + 1} \quad (7.137)$$



[그림 7-36] CE-CC 종속연결 증폭기

7.4 다단 증폭기

[표 7-1] 종속연결 2단 증폭기의 특징

종속연결 증폭기	특징
공통 이미터-공통 이미터(CE-CE) 공통 소오스-공통 소오스(CS-CS)	큰 전압이득
공통 이미터-공통 베이스(CE-CB) 공통 소오스-공통 게이트(CS-CG)	큰 대역폭과 전압이득
공통 컬렉터-공통 컬렉터(CC-CC)	큰 전류이득
공통 컬렉터-공통 이미터(CC-CE)	큰 입력저항과 전압이득
공통 이미터-공통 컬렉터(CE-CC) 공통 소오스-공통 드레인(CS-CD)	작은 출력저항과 전압이득

Cascode 증폭기

Darlington pair