

9주차 4월27일~5월01일 수업

전자회로실험

공통 컬렉터 증폭기, 교재: 실험 8

김영탁교수
IT대학 전자정보공학부

→ 실험 목적

- 공통컬렉터 증폭기의 전압이득을 확인한다.
- 시뮬레이션을 통해 공통컬렉터 증폭기의 동작 특성을 예측한다.

→ 실험 내용

- 실험 8-1 | NPN형 BJT 공통컬렉터 증폭기의 동작 특성 측정하기



STEP 01

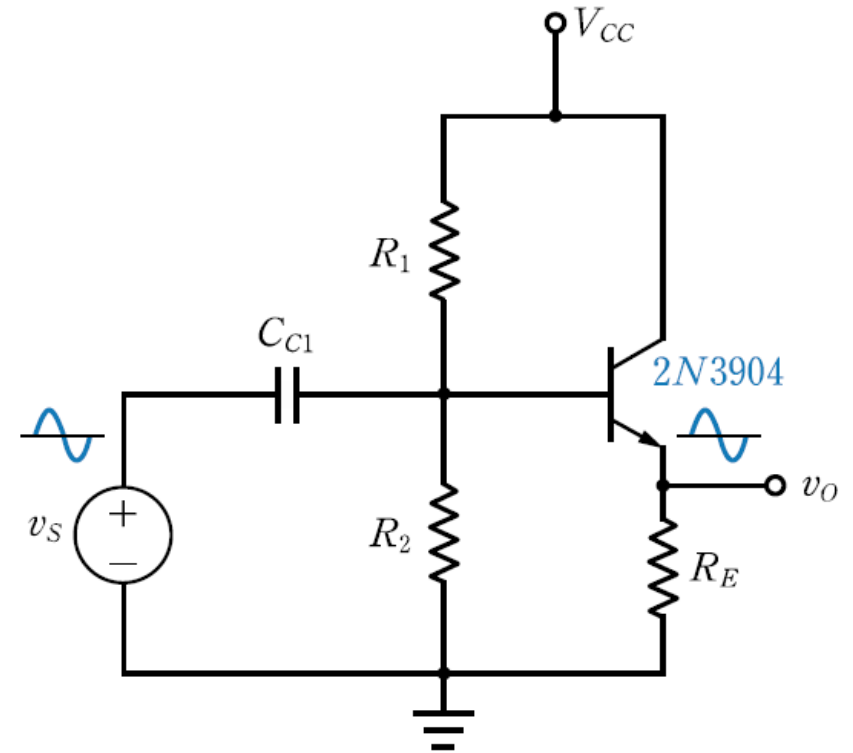
이론적 배경 알아보기



공통 컬렉터 증폭기 이해하기

★ 회로 구성

- NPN형 BJT 공통컬렉터 증폭기
 - ☞ 컬렉터가 전원 V_{CC} 로 연결됨
 - ☞ 이미터는 저항 R_E 를 통해 접지로 연결됨
- PNP형 BJT 공통컬렉터 증폭기
 - ☞ 컬렉터가 음(-)의 전원 V_{EE} 로 연결됨
 - ☞ 이미터는 저항 R_E 를 통해 접지로 연결됨
- 입력전압 v_s : 결합 커패시터 C_{C1} 을 통해 BJT의 베이스로 입력됨
- 출력전압 v_o : 이미터에서 얻어짐



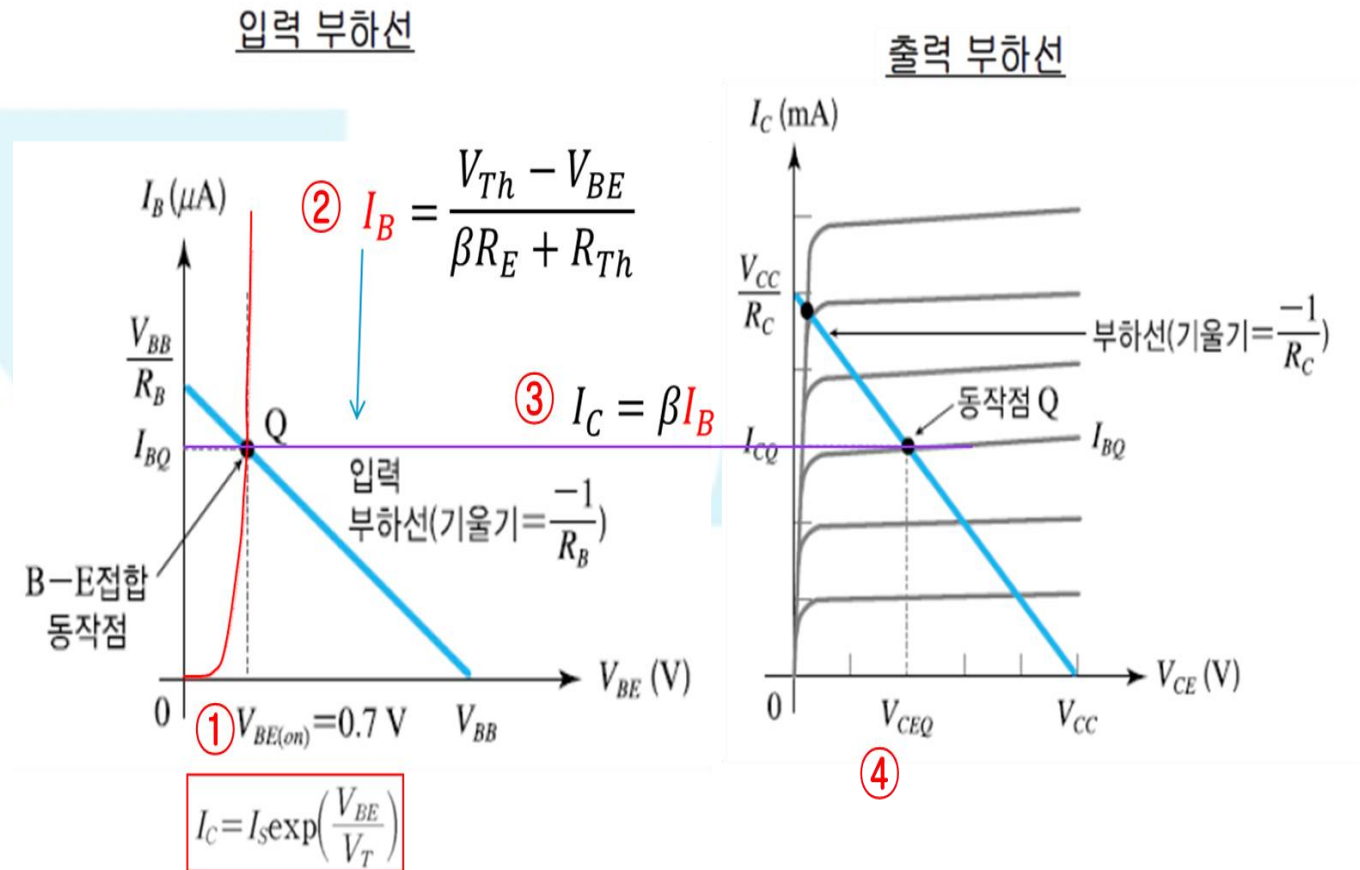
(a) NPN형 BJT 공통컬렉터 증폭기

그림 8-1 공통컬렉터 증폭기

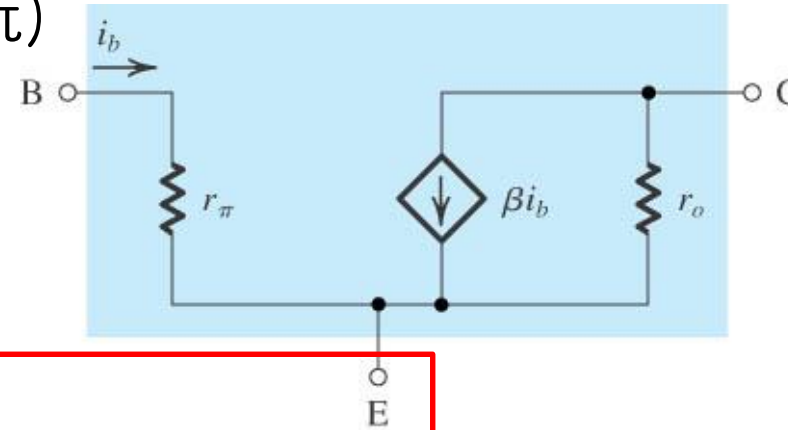
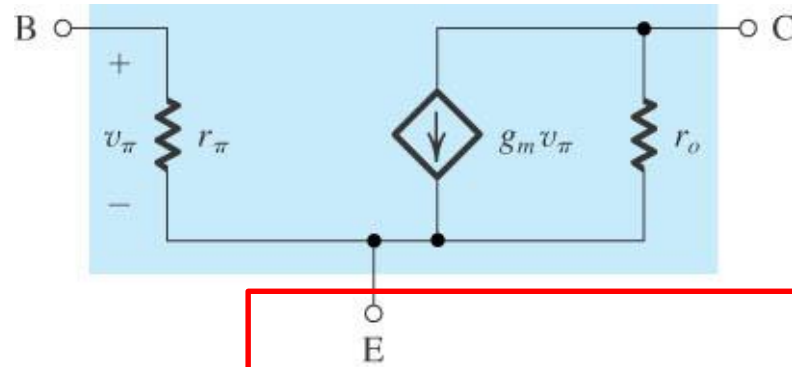
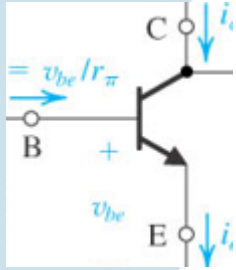


★ 바이어스

- 저항 R_1 , R_2 와 이미터 저항 R_E 에 의해 BJT의 베이스 바이어스 전류 I_{BQ} 가 결정됨
- 컬렉터와 이미터 바이어스 전류는 각각 $I_{CQ} = \beta_{DC} I_{BQ}$, $I_{EQ} = (\beta_{DC} + 1) I_{BQ}$ 로 결정됨
- BJT가 순방향 활성영역에서 동작하도록 바이어스되어야 함



BJT 소신호 해석(하이브리드 π)



Model Parameters in Terms of DC Bias Currents

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad r_e = \frac{V_T}{I_E} = \alpha \left(\frac{V_T}{I_C} \right) \quad r_\pi = \frac{V_T}{I_B} = \beta \left(\frac{V_T}{I_C} \right) \quad r_o = \frac{|V_A|}{I_C}$$

In Terms of g_m

$$r_e = \frac{\alpha}{g_m}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$$

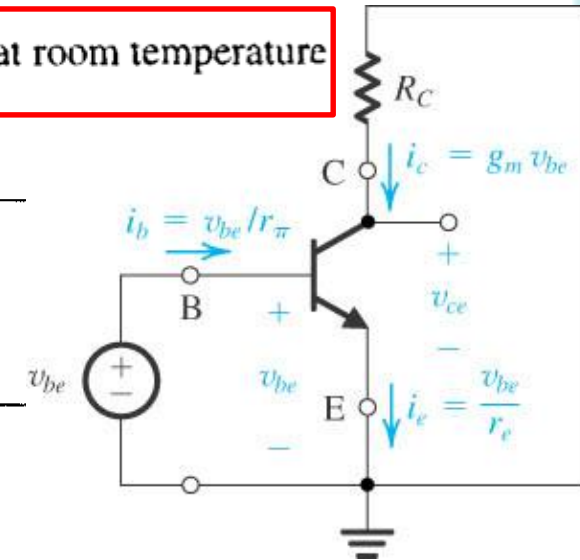
$$V_T = \text{thermal voltage} = \frac{kT}{q} \cong 25 \text{ mV at room temperature}$$

In Terms of r_e

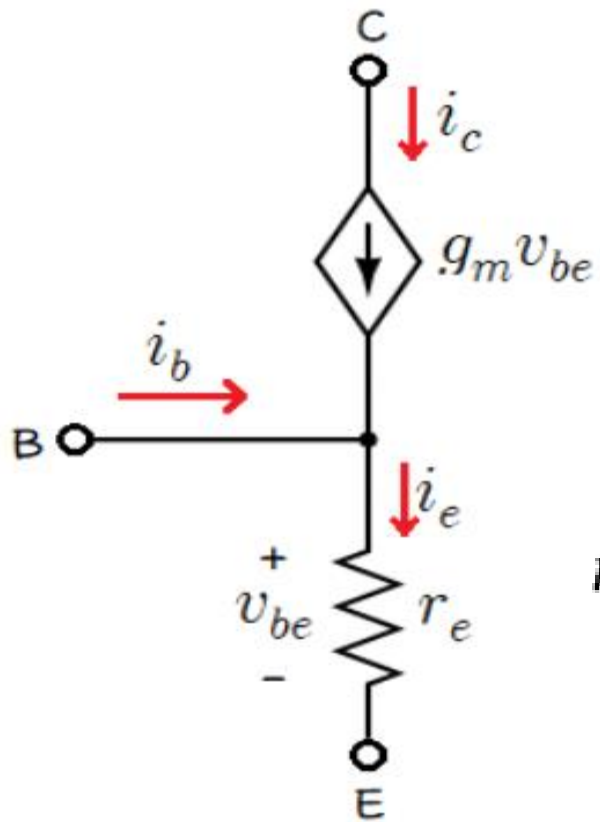
$$g_m = \frac{\alpha}{r_e} \quad r_\pi = (\beta + 1)r_e \quad g_m + \frac{1}{r_\pi} = \frac{1}{r_e}$$

Relationships Between α and β

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad \beta + 1 = \frac{1}{1 - \alpha}$$



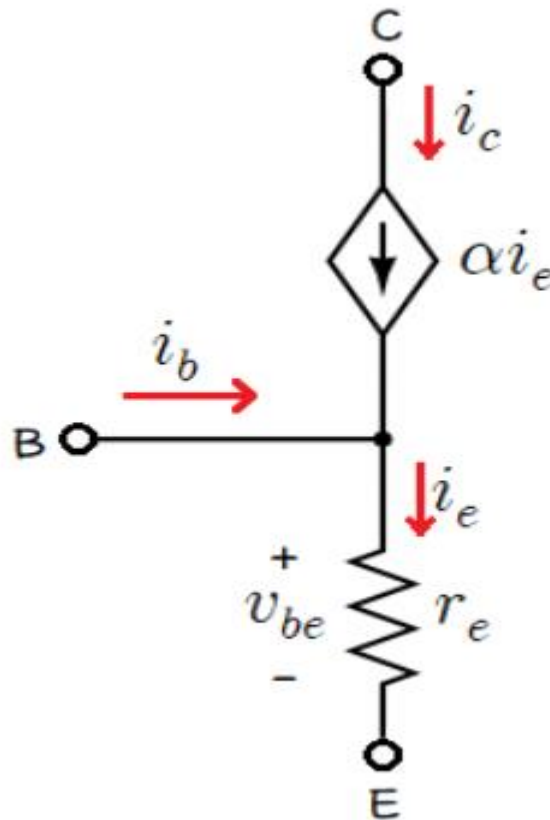
BJT 소신호 해석(r 모델)



$$r_e = \frac{V_T}{I_E}$$

$$r_e = \frac{\alpha}{g_m}$$

$$r_\pi = (\beta + 1)r_e$$

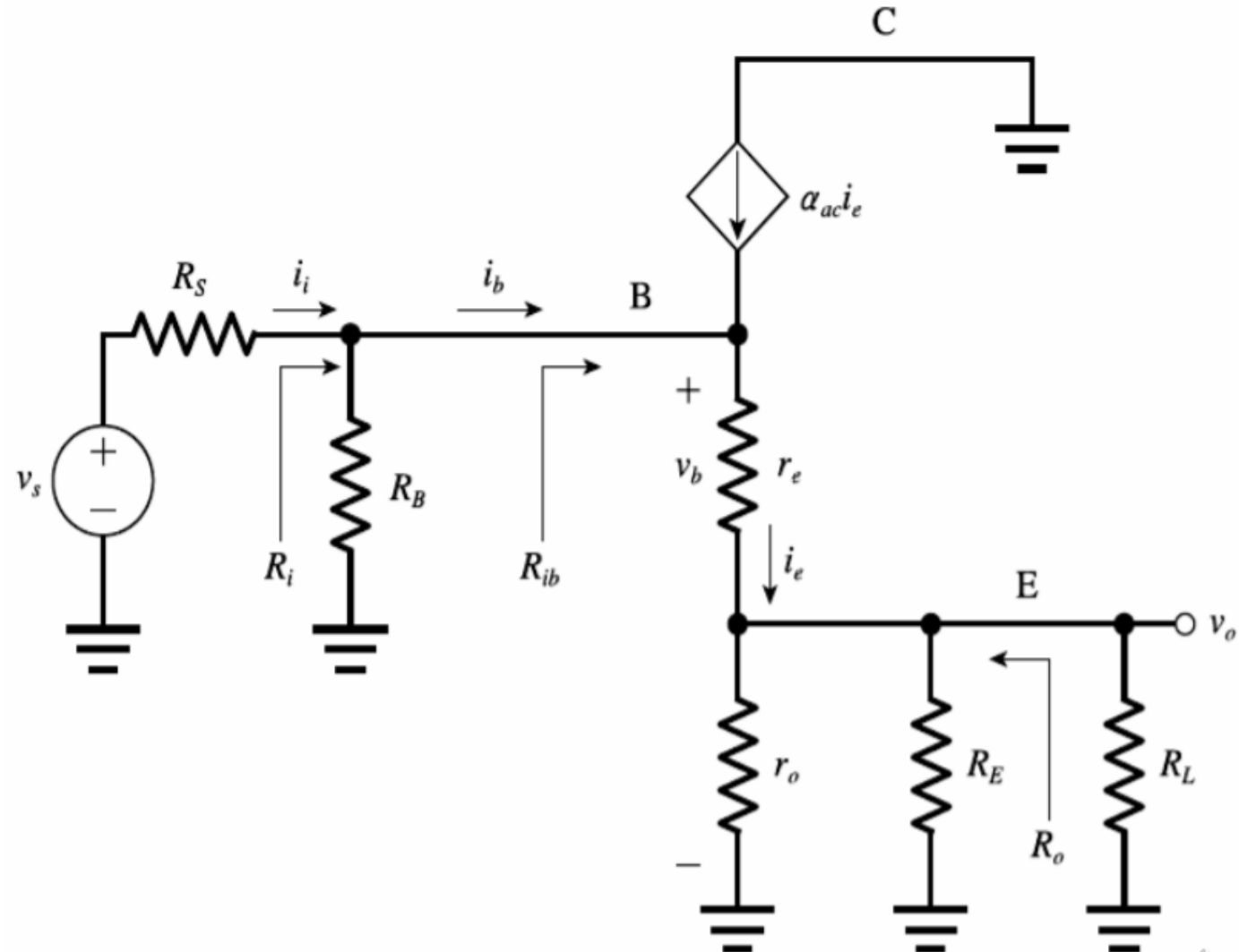
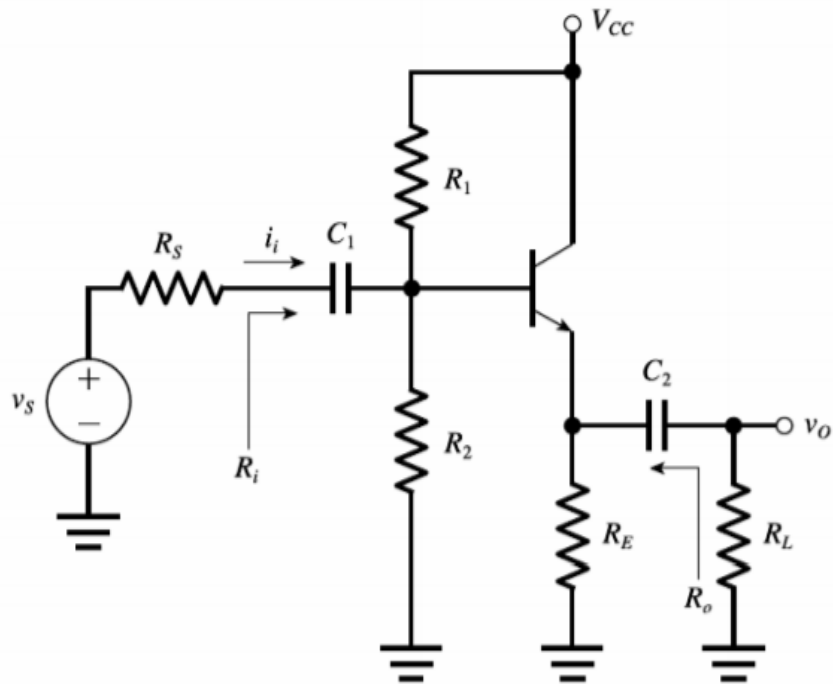


공통 컬렉터(CC) 증폭기

□ 공통 컬렉터 증폭기 회로

- 입력은 커패시터를 통해 베이스에 연결
- 출력은 이미터에서 커패시터를 통해 부하로 연결
- 컬렉터에 전원 V_{CC} 과 연결, 소신호적으로 접지

□ 전체 회로도 와 소신호 등가회로



공통 컬렉터(CC) 증폭기

□ r-파라미터 모델을 이용한 공통 컬렉터 증폭기 회로

- 소신호 등가회로에서 베이스 단자로 본 입력저항

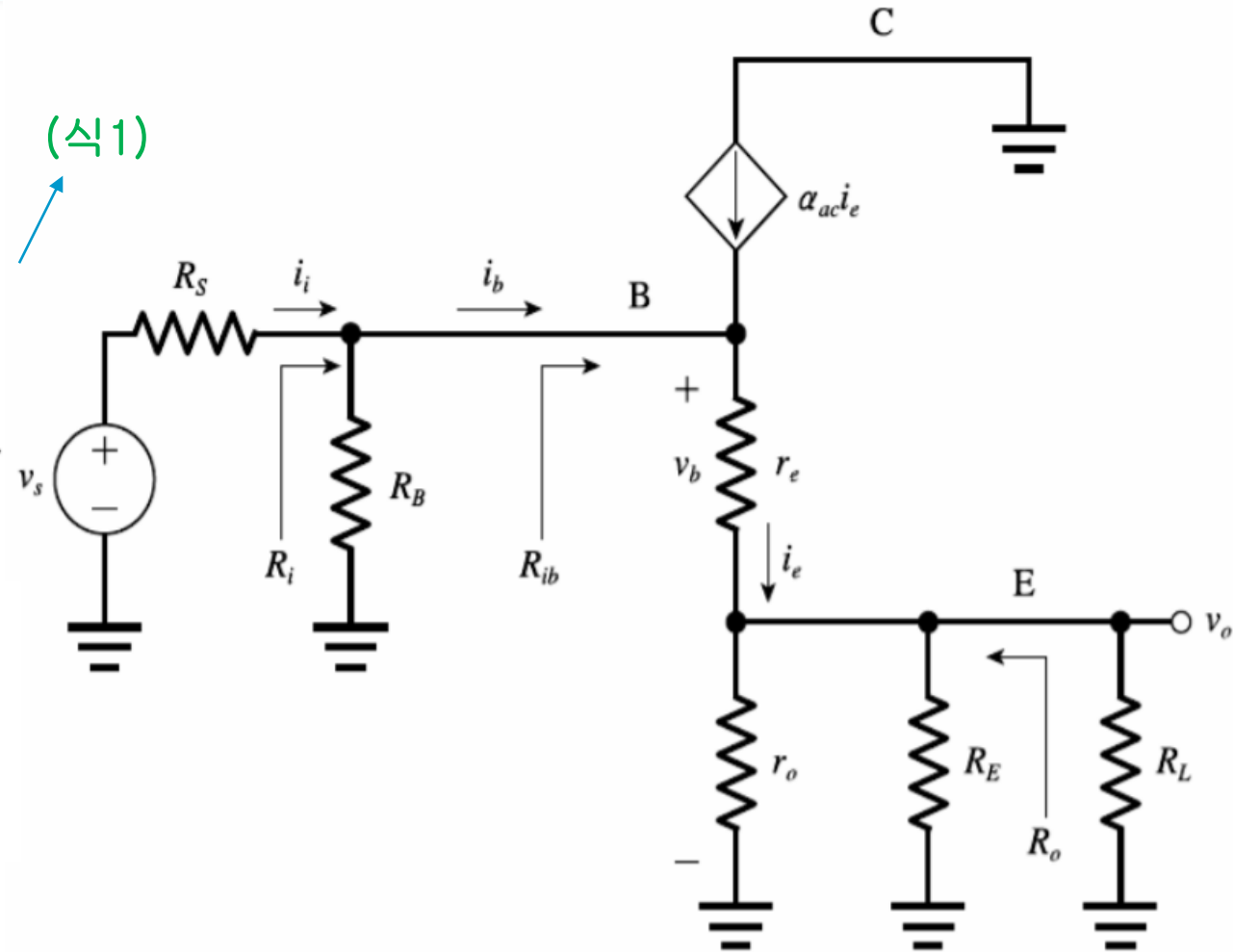
$$R_{ib} \equiv \frac{v_b}{i_b} = \frac{i_e[r_e + (r_o \parallel R_E \parallel R_L)]}{i_b} = (\beta_{ac} + 1)(r_e + R'_E) \quad (\text{식1})$$

$i_e = (\beta_{ac} + 1)i_b$ 의 관계를 적용가능, $R'_E = r_o \parallel R_E \parallel R_L$ 로 사용

$r_\pi = (\beta_{ac} + 1)r_e$ 이므로 하이브리드- π 모델로 적용

$$R_{ib} = r_\pi + (\beta_{ac} + 1)R'_E \quad \longrightarrow (\text{식2})$$

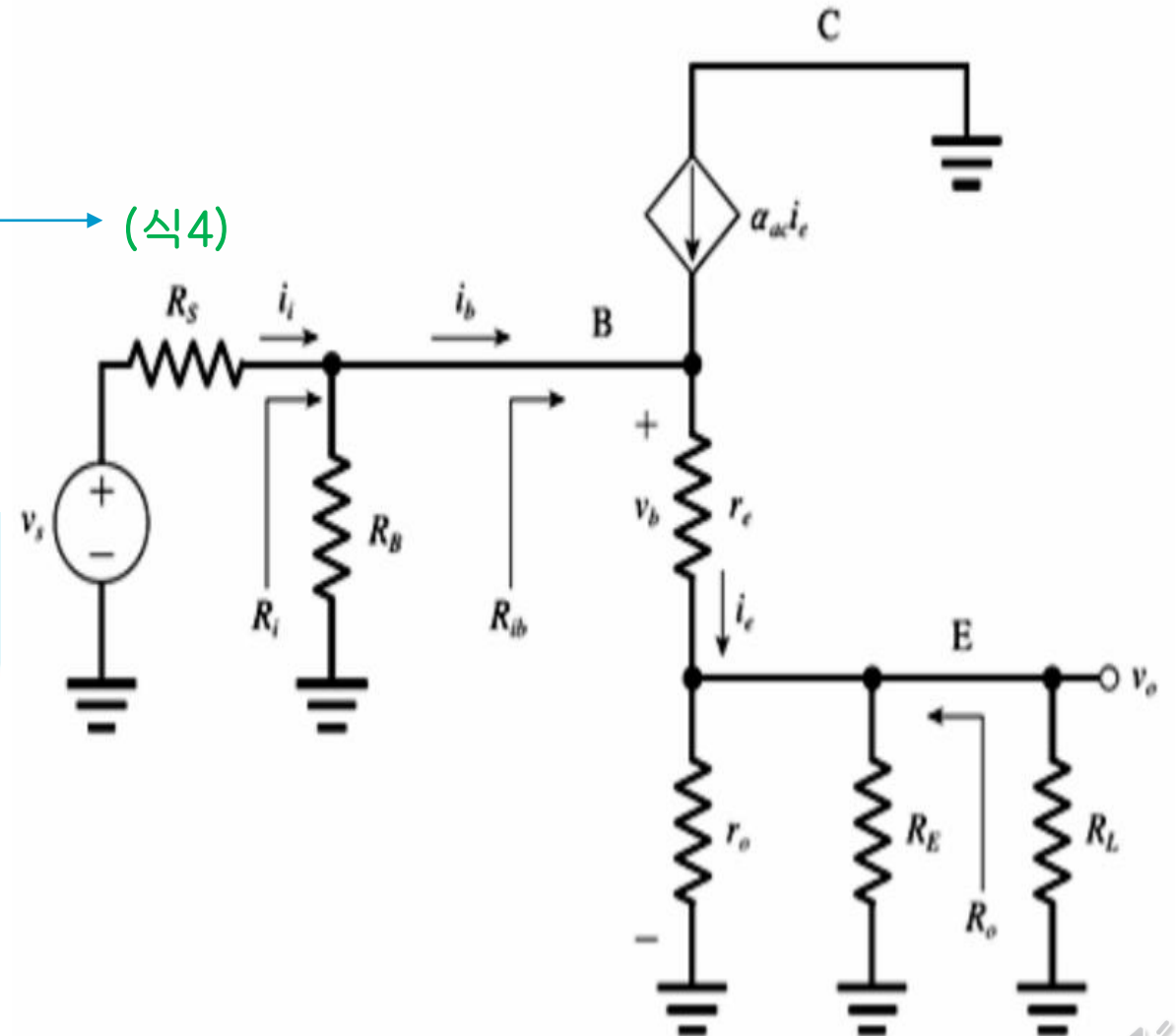
- 입력 임피던스 값은 클수록 이상적임



공통 컬렉터(CC) 증폭기

□ r-파라미터 모델을 이용한 공통 컬렉터 증폭기 회로

- $r_e \ll R'_E$ 이고 $\beta_{ac} \gg 1$ 이면 : $R_{ib} \cong \beta_{ac} R'_E \longrightarrow$ (식3)
- 신호원 v_s 에서 본 입력저항 : $R_i \cong R_B \parallel R_{ib}$ ($R_B = R_1 \parallel R_2$) \longrightarrow (식4)
- 소신호 등가회로로부터 베이스 전압 : $v_b = \frac{R_i}{R_s + R_i} v_s \longrightarrow$ (식5)
- 출력 전압 : $v_o = \frac{R'_E}{r_e + R'_E} v_b \longrightarrow$ (식6)



□ r-파라미터 모델을 이용한 공통 컬렉터 증폭기 회로

- 전압이득

$$A_v \equiv \frac{v_o}{v_s} = \left(\frac{R'_E}{r_e + R'_E} \right) \left(\frac{R_i}{R_s + R_i} \right) \longrightarrow \text{(식7)}$$

$R_i = R_B \parallel [(\beta_{ac} + 1)(r_e + R'_E)]$ 이고 바이어스 저항을 큰 값으로 선택하면,
 $R_i \simeq (\beta_{ac} + 1)(r_e + R'_E)$ 가 되어 A_v 가 다음 식으로 정리됨

$$A_v = \frac{(\beta_{ac} + 1)R'_E}{R_s + (\beta_{ac} + 1)(r_e + R'_E)} = \frac{R'_E}{\frac{R_s}{(\beta_{ac} + 1)} + (r_e + R'_E)} \longrightarrow \text{(식8)}$$

- 위 식에서

$\frac{R_s}{(\beta_{ac} + 1)}$ 는 $(r_e + R'_E)$ 보다 작은 값이며 $r_e \ll R'_E$ 이므로 전압이득의 근사화가 가능

$$A_v \simeq \frac{R'_E}{r_e + R'_E} \simeq 1 \longrightarrow \text{(식9)}$$



공통 컬렉터(CC) 증폭기

□ r-파라미터 모델을 이용한 공통 컬렉터 증폭기 회로

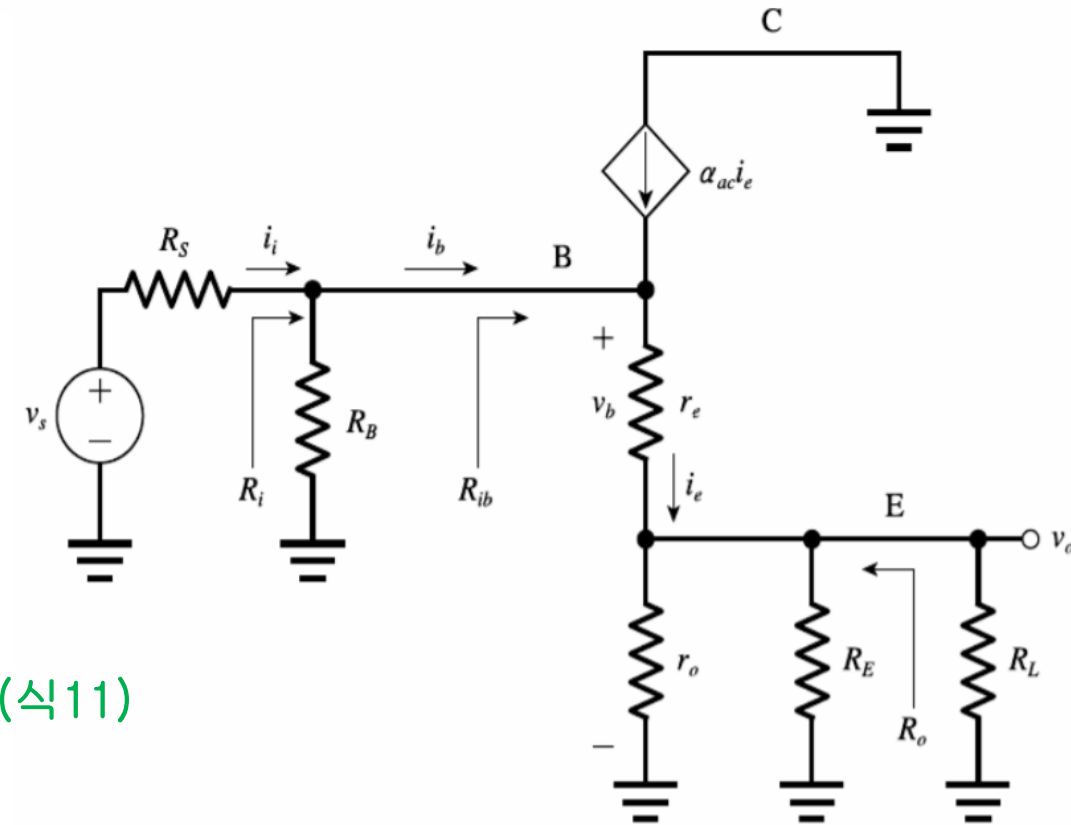
- 출력저항 : $R_o \equiv \frac{v_x}{i_x} \longrightarrow$ (식10)

- 등가회로부터 구한 v_x, i_x

$$v_x = -[r_e + (1 - \alpha_{ac})(R_S \parallel R_B)]i_e \quad i_x = \frac{v_x}{r_o \parallel R_E} - i_e \longrightarrow \text{(식11)}$$

i_e 를 구하기 위해 위 식을 대입하여 정리

$$i_x = \frac{v_x}{r_o \parallel R_E} + \frac{v_x}{r_e + (1 - \alpha_{ac})(R_S \parallel R_B)} \longrightarrow \text{(식12)}$$



□ r-파라미터 모델을 이용한 공통 컬렉터 증폭기 회로

- v_x 와 i_x 로부터 다음관계식이 얻어짐

$$\frac{1}{R_o} \equiv \frac{i_x}{v_x} = \frac{1}{r_o \parallel R_E} + \frac{1}{r_e + (1 - \alpha_{ac})(R_S \parallel R_B)} \longrightarrow \text{(식13)}$$

- 공통 컬렉터 증폭기의 소신호 출력저항은 다음과 같음

$$\begin{aligned} R_o \equiv \frac{v_x}{i_x} &= (r_o \parallel R_E) \parallel [r_e + (1 - \alpha_{ac})(R_S \parallel R_E)] \\ &= (r_o \parallel R_E) \parallel \left(r_e + \frac{R_S \parallel R_E}{\beta_{ac} + 1} \right) \longrightarrow \text{(식14)} \end{aligned}$$

- $r_e \ll (r_o \parallel R_E)$ 이므로 간소화가 가능하고, 출력저항은 아래와 같이 표현됨

$$R_{out} \simeq (r_o \parallel R_E) \parallel r_e \simeq r_e \longrightarrow \text{(식15)}$$



- 이상의 결과로부터 공통 컬렉터 증폭기의 출력저항은 매우 작으며, 따라서 작은 저항의 부하를 구동하는데 적합하다는 것을 알 수 있음
- 공통 컬렉터 증폭기는 큰 입력저항과 작은 출력저항을 가지며, 전압이득이 1에 가까우므로 임피던스 매칭용 버퍼(buffer)로 사용

□ 공통 컬렉터 증폭기의 소신호 전류이득 :

$$A_i \simeq \frac{i_e}{i_i} = \beta_{ac} + 1 \quad \longrightarrow \text{(식16)}$$

- 만약 $R_{ib} \ll R_B$ 이면 $i_i \simeq i_b$ 가 되어 소신호 전류이득은 아래와 같이 표현됨

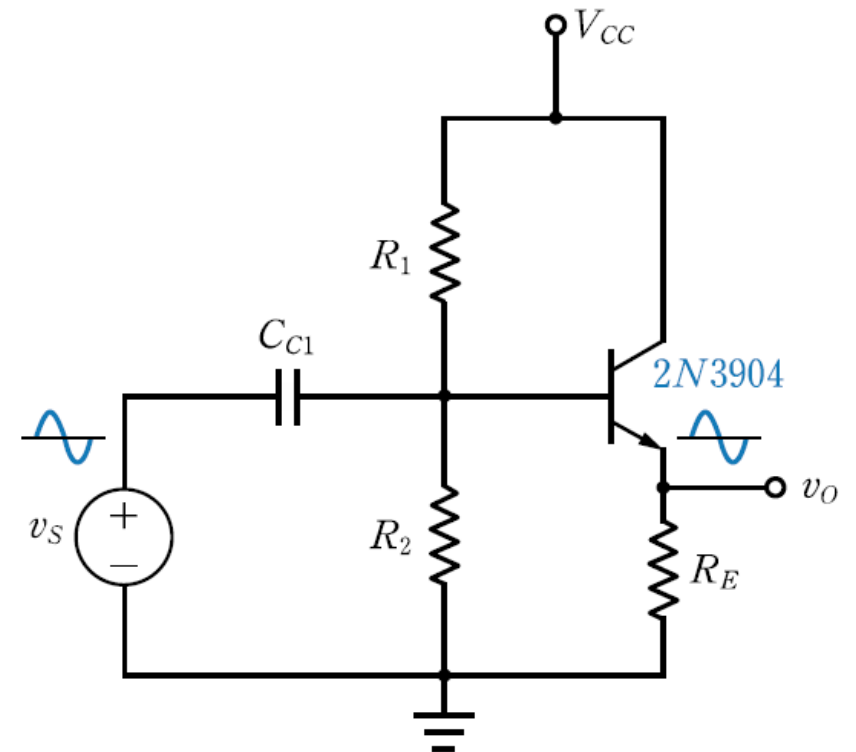
$$A_i \equiv \frac{i_e}{i_i} \quad \longrightarrow \text{(식17)}$$



★ 전압이득

- 가정 : 바이어스 저항의 영향 무시 ($R_1 \parallel R_2 \gg r_\pi$), 컬렉터 출력저항 r_o 무시
- 공통컬렉터 증폭기의 소신호 전압이득
- 전류증폭률 β_o 가 수백 정도인 경우 \rightarrow 통상 $(\beta_o + 1)R_E \gg r_\pi$
 👉 공통컬렉터 증폭기의 전압이득은 근사적으로 $A_v \approx 1 [\text{V/V}]$ 이 됨
- 공통컬렉터 증폭기는 전압이득이 근사적으로 1이고, 큰 입력저항과 작은 출력저항을 가지므로 **임피던스 매칭용 전압버퍼**로 사용됨

$$A_v \equiv \frac{v_o}{v_s} = \frac{(\beta_o + 1)R_E}{R_S + r_\pi + (\beta_o + 1)R_E} \simeq 1 [\text{V/V}]$$



(a) NPN형 BJT 공통컬렉터 증폭기

그림 8-1 공통컬렉터 증폭기

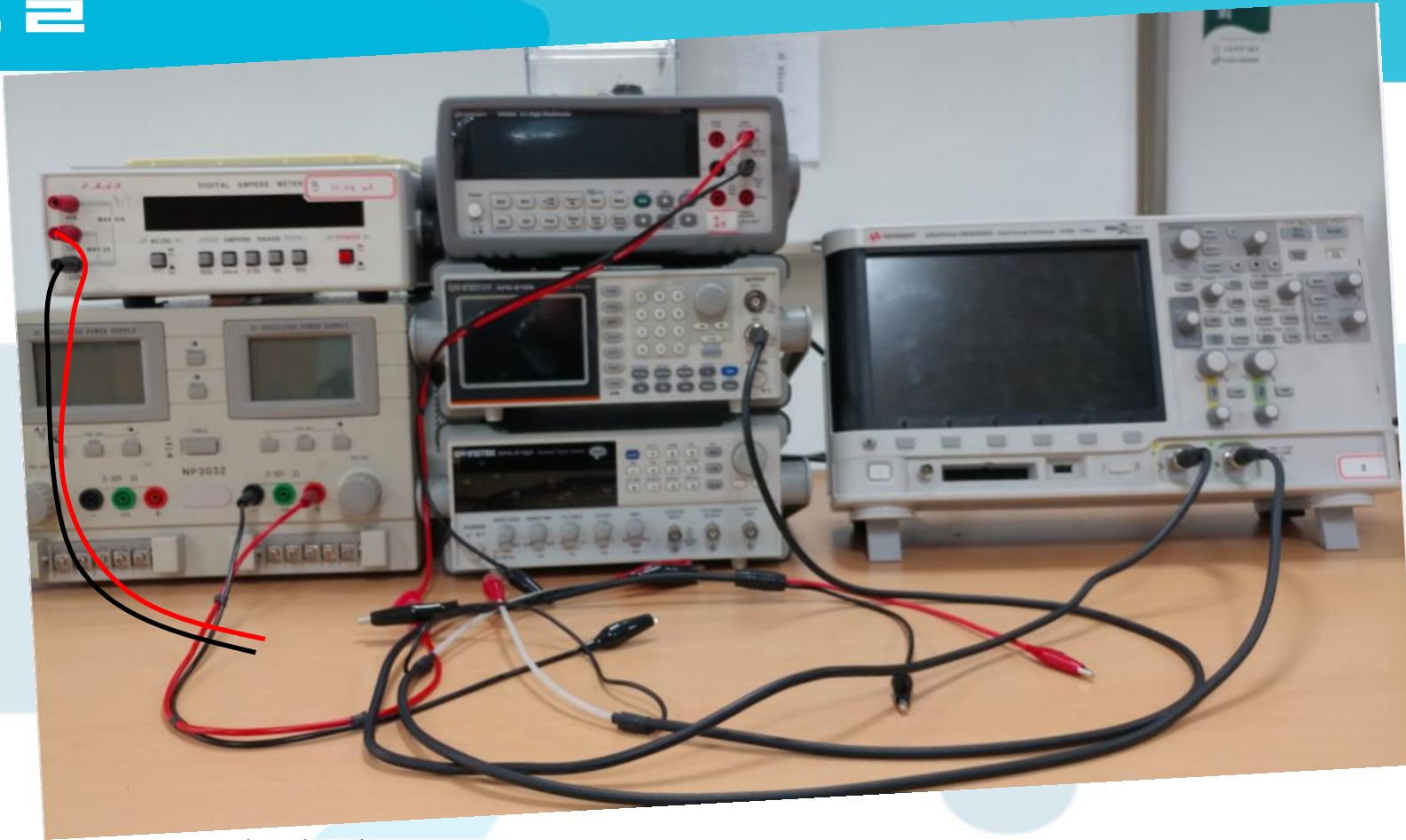


STEP 03

실험 진행하기



계측기 연결



바나나 cable 3EA, BNC cable 3EA

저항: 0.51k, 1k, 1.5k, 2k, 2.4k, 3.0k, 3.6k, 75k, 100k,
110k, 22k, 0.75k / 100 μ F



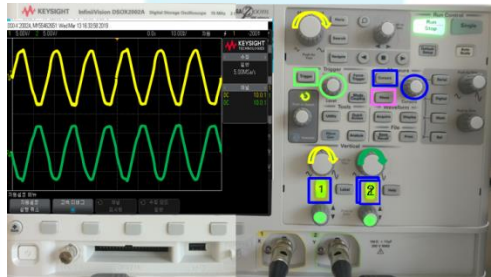
실험 진행하기

[실험 장비]

장비명	수량	장비명	수량
DC 전원공급 장치	1대	오실로스코프(2채널)	1대
함수발생기	1대	멀티미터	1대

[실험 부품]

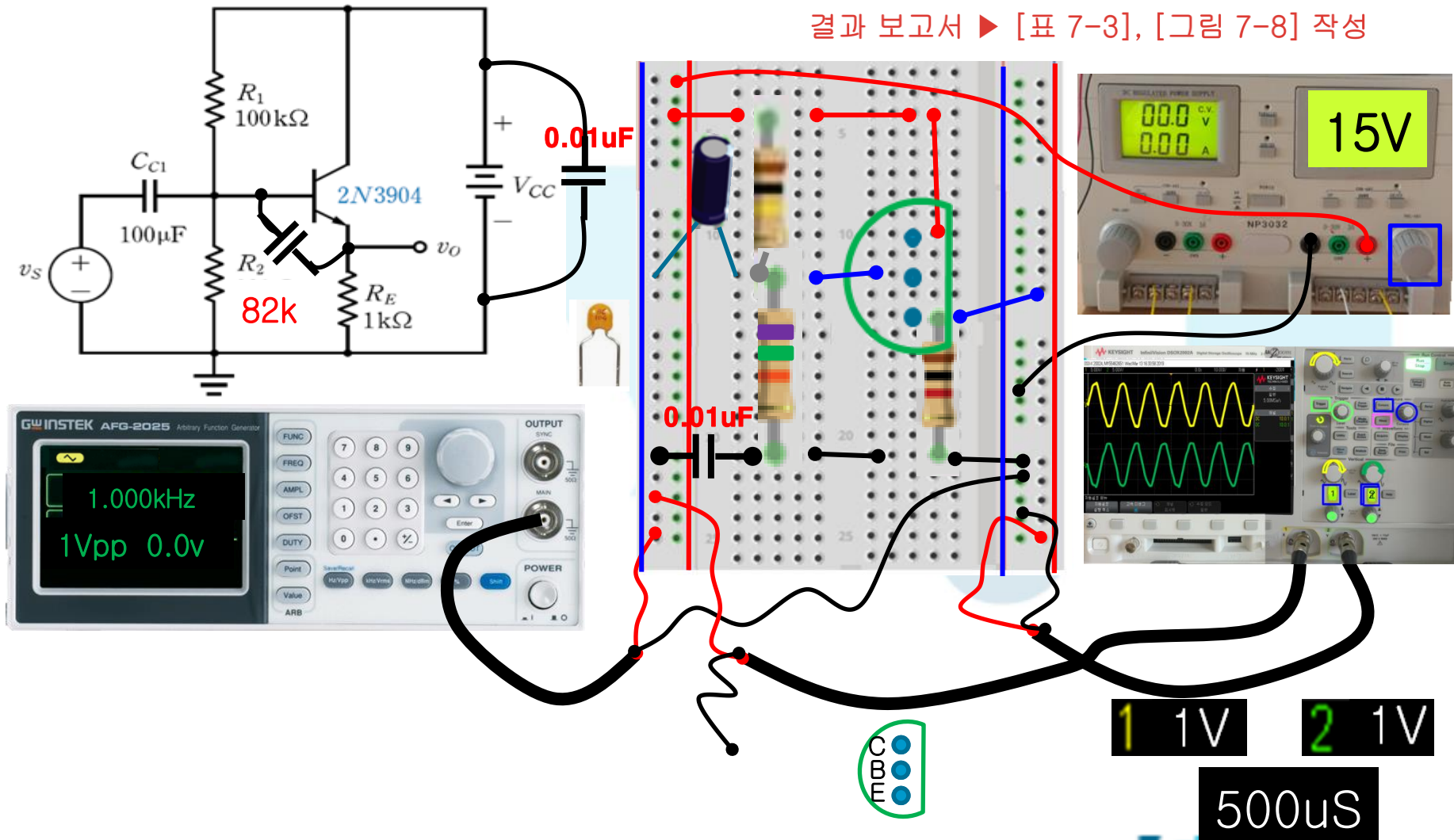
트랜지스터	NPN형 BJT 2N3904, PNP형 BJT 2N3905
커패시터	100 μ F
저항	1.0k Ω , 33k Ω , 82k Ω , 100k Ω



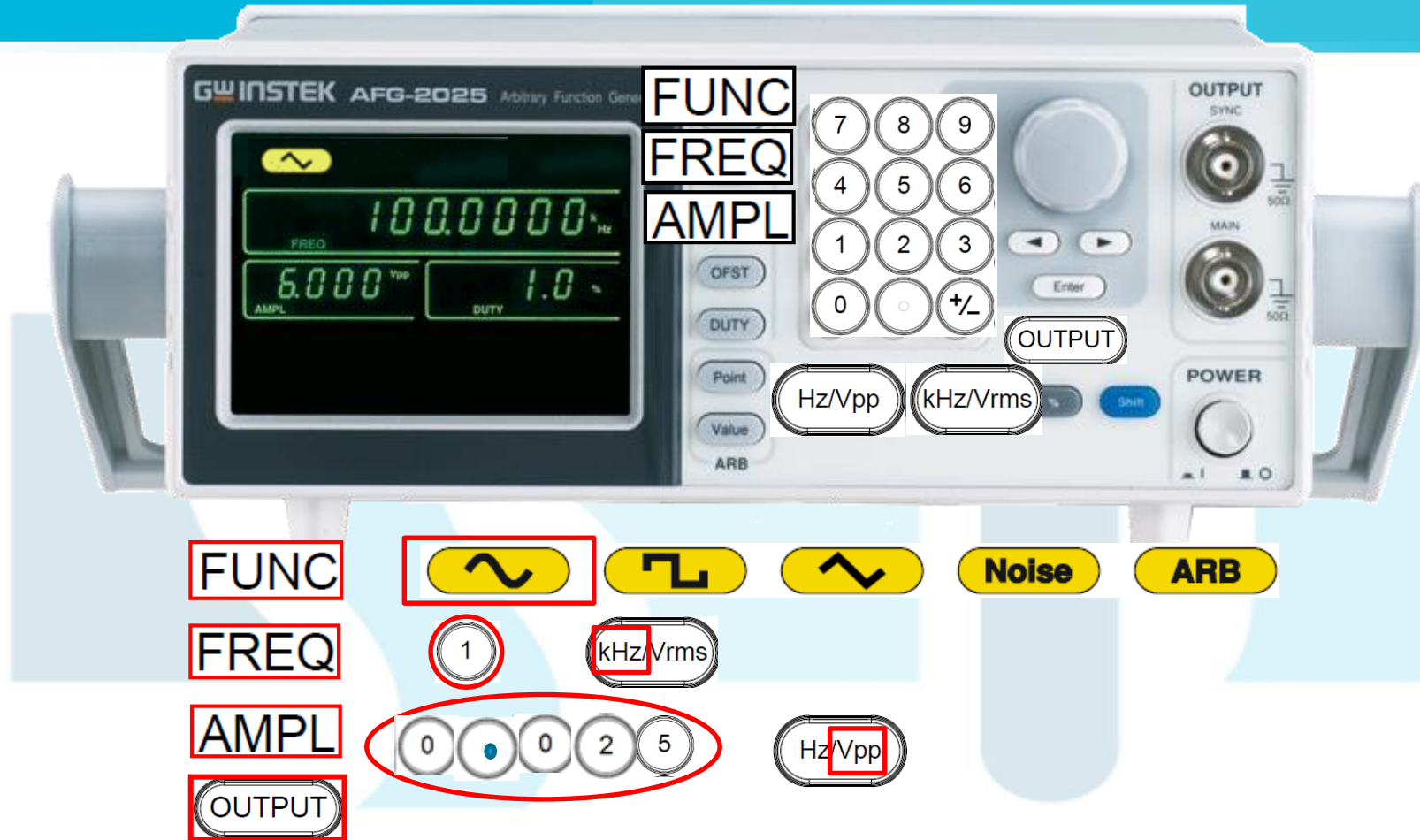
NPN형 BJT 공통 콜렉터 증폭기의 동작 특성측정하기

실험 8-1 | NPN형 BJT 공통 콜렉터 증폭기의 동작 특성측정하기

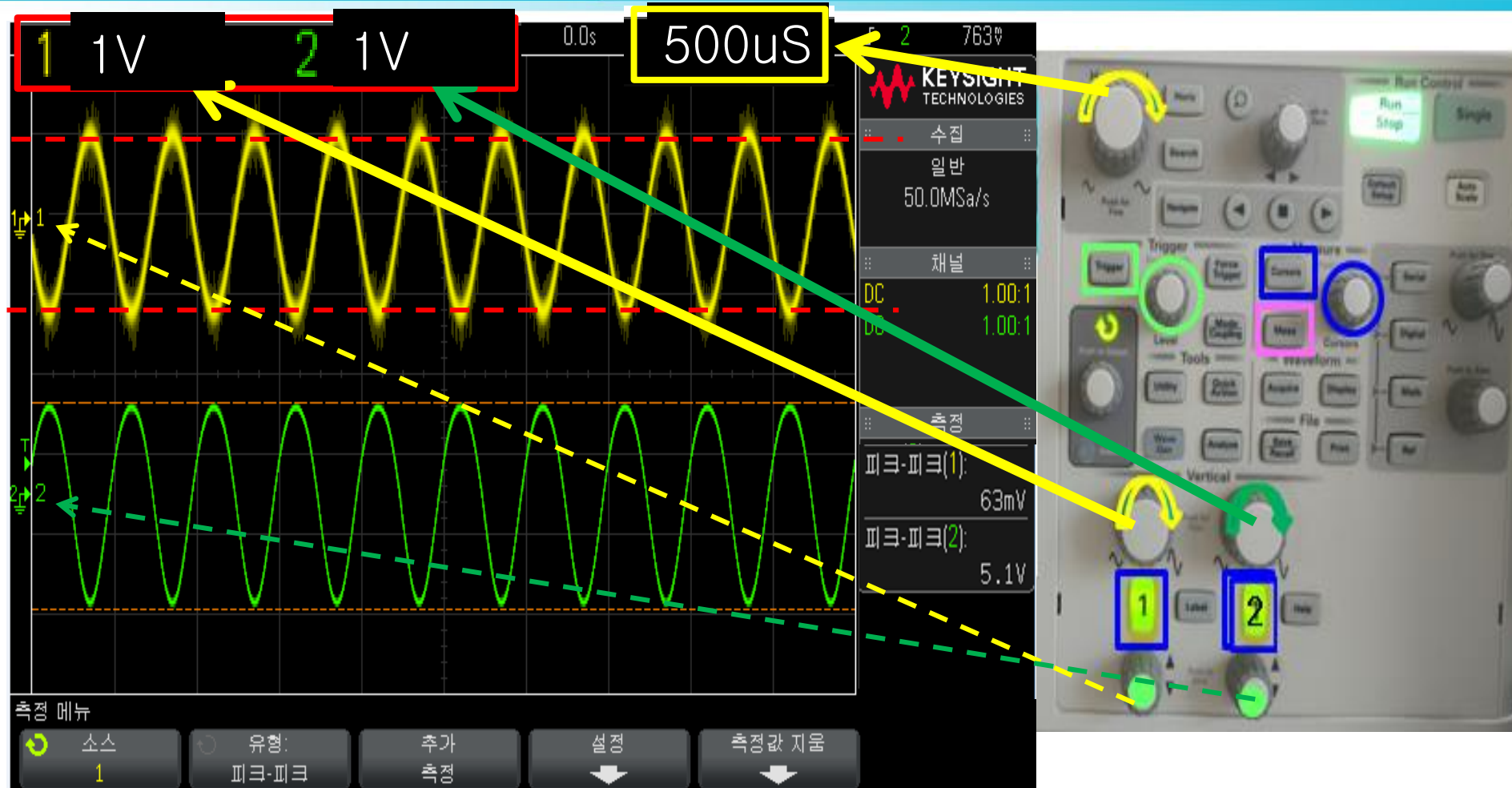
결과 보고서 ▶ [표 7-3], [그림 7-8] 작성



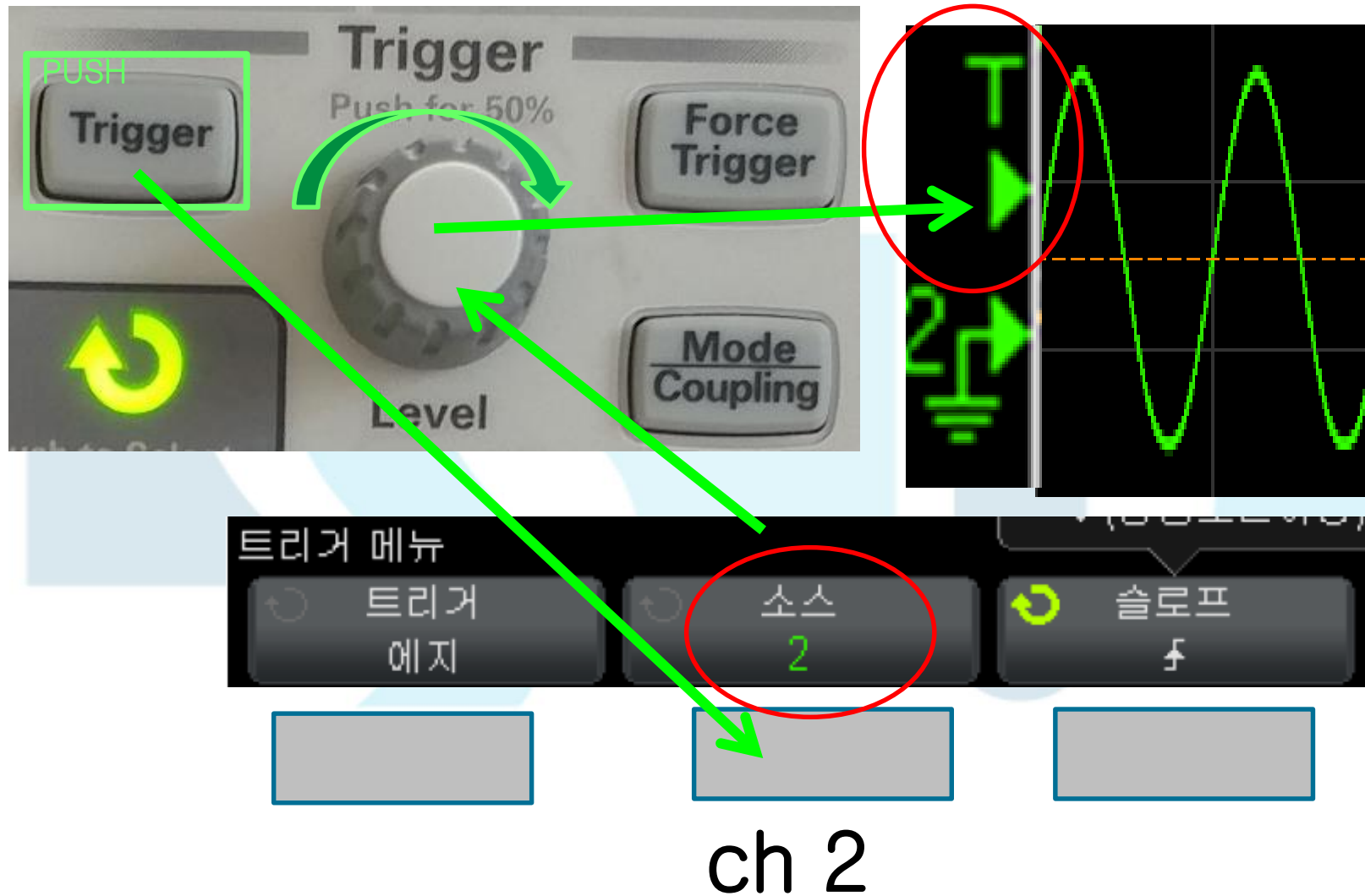
AFG-2025 Function Generator



오실로스코프 설정(실험8-1)



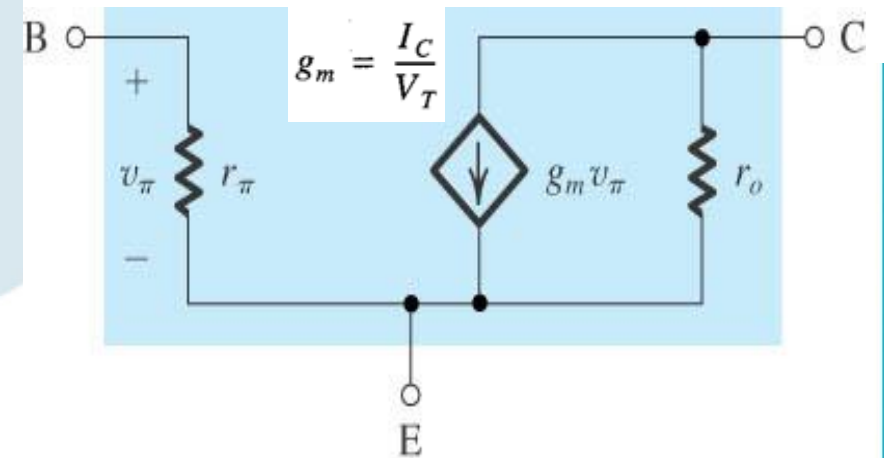
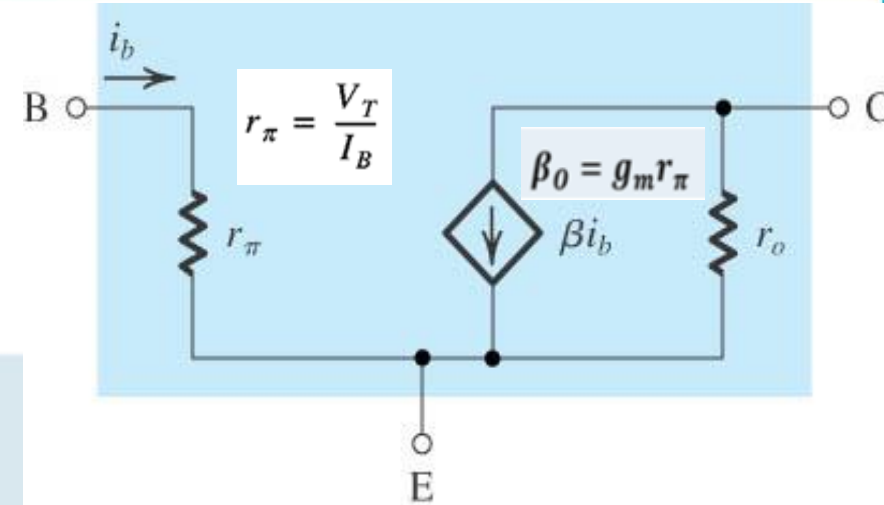
Trigger: ch 2



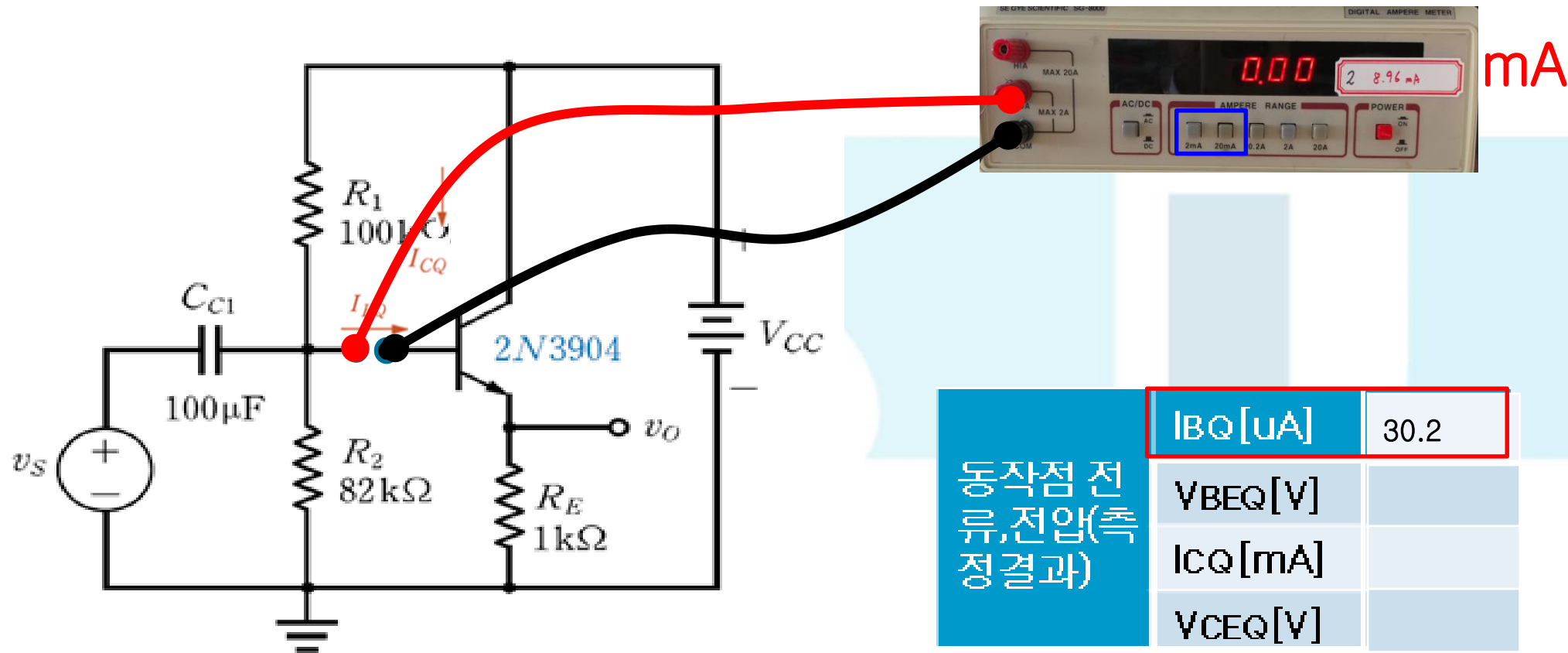
BJT CC 증폭기 회로

동작점 전류, 전압 (측정 결과)	$I_{BQ} [\mu A]$		Vs와 vo의 위 상 관계	
	$V_{BEQ} [V]$			
	$I_{CQ} [mA]$			
	$V_{CEQ} [V]$			
소신호 파라미터 계산값	$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_{BQ}} [k\Omega]$		Vo의 첨두-첨 두값 [V] (측정 결과)	
	$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} [mA/V]$			
	$\beta_o = g_m r_{\pi}$			

$V_T = \text{thermal voltage} = \frac{kT}{q} \cong 25 \text{ mV at room temperature}$

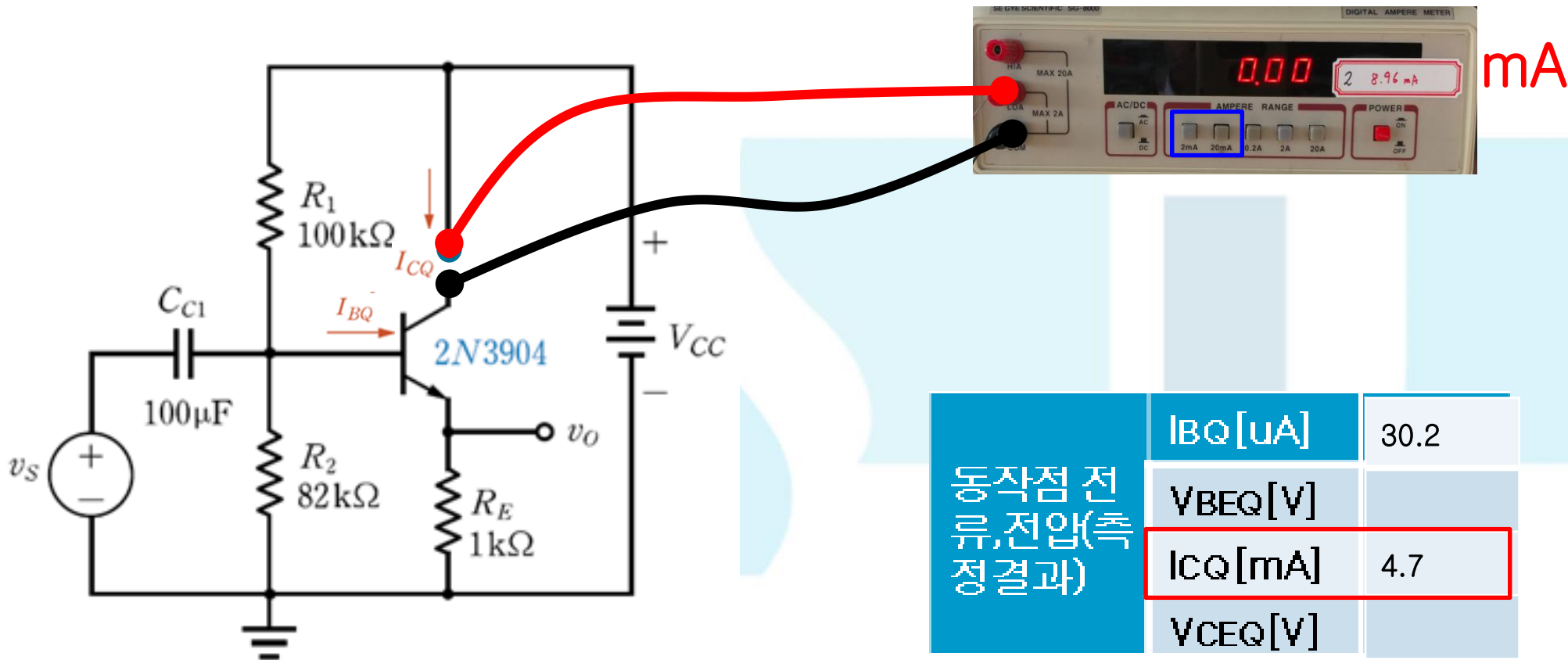


(a)



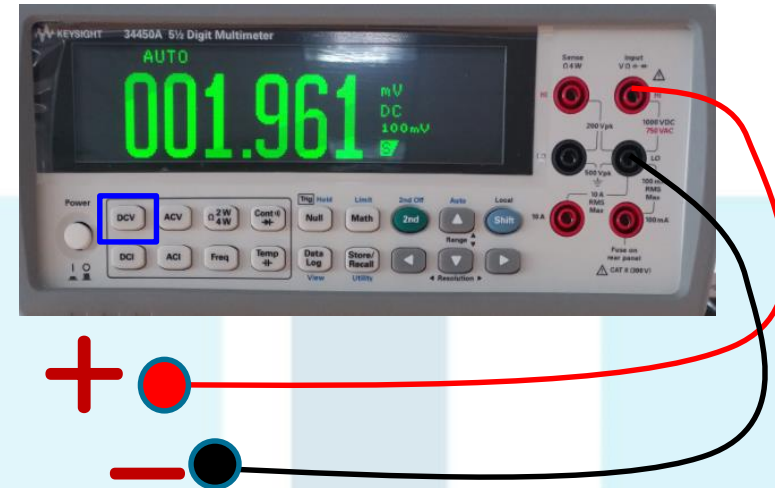
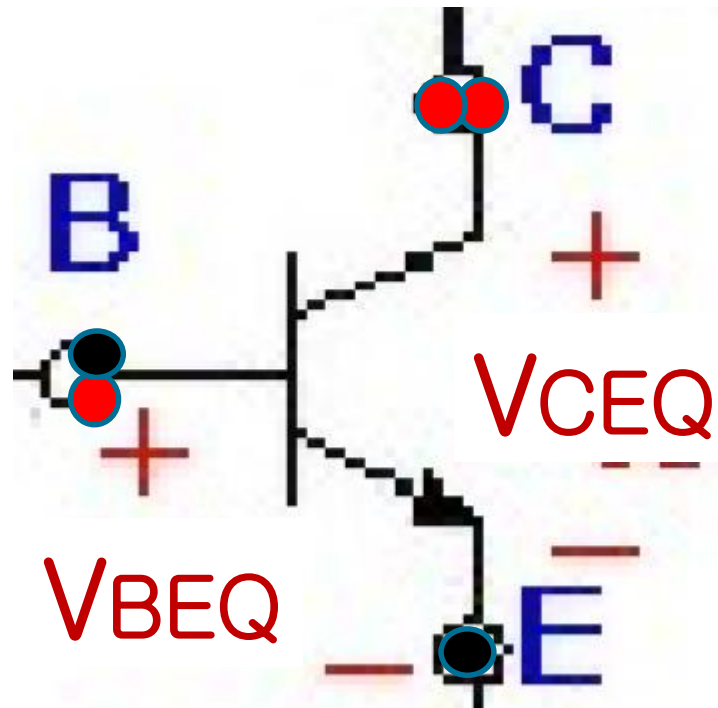
(a) 실험회로

그림 8-4 NPN형 BJT 공통컬렉터 증폭기의 실험회로



(a) 실험회로

그림 8-4 NPN형 BJT 공통컬렉터 증폭기의 실험회로



동작점 전류, 전압(측정결과)	$I_{BQ} [\mu A]$	30.2
	$V_{BEQ} [V]$	0.7
	$I_{CQ} [mA]$	4.7
	$V_{CEQ} [V]$	10.3

BJT CE 증폭기 회로

동작점 전류, 전압 (측정 결과)	$I_{BQ}[\mu A]$	30.2
	$V_{BEQ}[V]$	0.7
	$I_{CQ}[mA]$	4.7
	$V_{CEQ}[V]$	10.3
소신호 파라미 터 계 산값	$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_{BQ}} [k\Omega]$	827.8 Ω
	$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} [mA/V]$	188[mA/V]
	$\beta_0 = g_m r_{\pi}$	155.6

$$V_T = \text{thermal voltage} = \frac{kT}{q} \cong 25 \text{ mV}$$

V_s 와 v_o 의 위상 관계	같다
V_s 의 첨두-첨두값[V] (측정값)	1.0
V_o 의 첨두-첨두값[V] (측정결과)	1.0



9 주차 결과보고서

9 주차 결과보고서 __월__일

__분반 __조 학번: _____ 성명: _____

실험8-1 NPN형 BJT 컬렉터 증폭기 동작 특성측정
p 162 표 작성

동작점 전류, 전압 (측정 결과)	$I_{BQ} [\mu A]$	
	$V_{BEQ} [V]$	
	$I_{CQ} [mA]$	
	$V_{CEQ} [V]$	
소신호 파라미터 계산값	$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_{BQ}} [k\Omega]$	
	$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} [mA/V]$	
	$\beta_o = g_m r_{\pi}$	

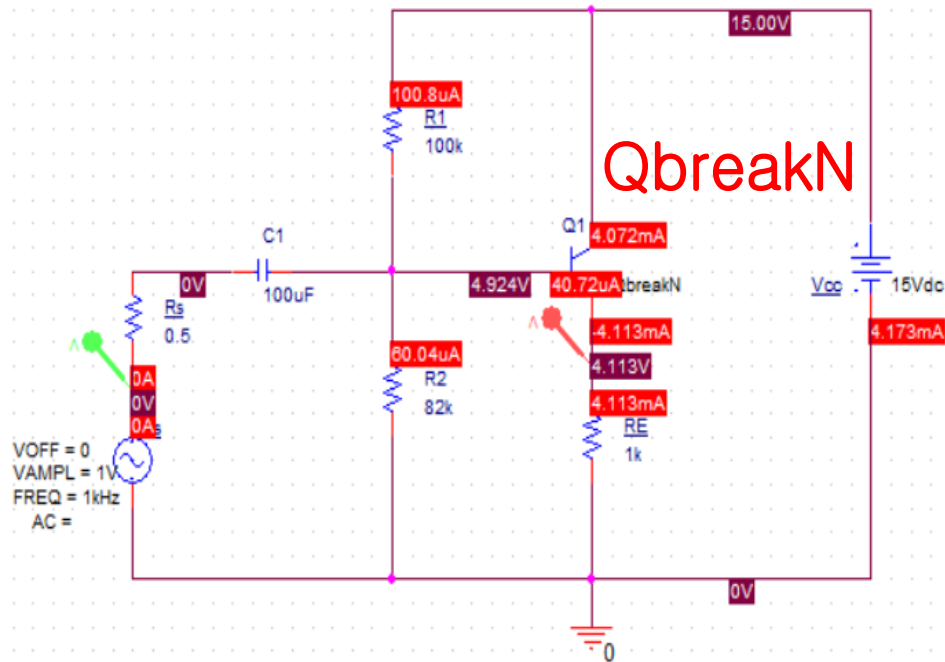
Vs와 vo의 위상 관계	같다
Vs의 첨두-첨두값[V] (측정값)	1.0
Vo의 첨두-첨두값[V] (측정결과)	1.0

[실험관찰]

실험에서 배운 점... 등
실험 결과의 의미를 이론에 비추어 확인해 본다
실험 결과에 나타난 오차의 원인이나 이유를 찾아서 설명해 본다

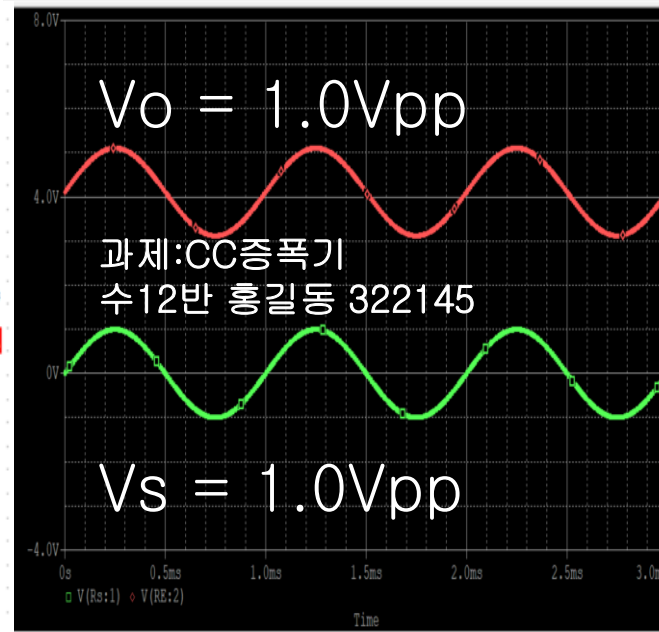
과제_9주차 시뮬레이션 - PSpice

시뮬레이션8-1 NPN CC 증폭기 해석 p153



시뮬레이션 회로도

교재 : p152 ~ p153



시뮬레이션 결과파형

과제1 제출

시뮬레이션 8-1 p160

9 주차 결과보고서 ____월__일

__분반 __조 학번: ____ 성명: ____

동작점 전류, 전압 (측정 결과)	$I_{BQ} [\mu A]$	
	$V_{BEQ} [V]$	
	$I_{CQ} [mA]$	
	$V_{CEQ} [V]$	
소신호 파라미터 계산값	$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_{BQ}} [k\Omega]$	
	$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} [mA/V]$	
	$\beta_o = g_m r_{\pi}$	

Vs와 vo의 위상 관계

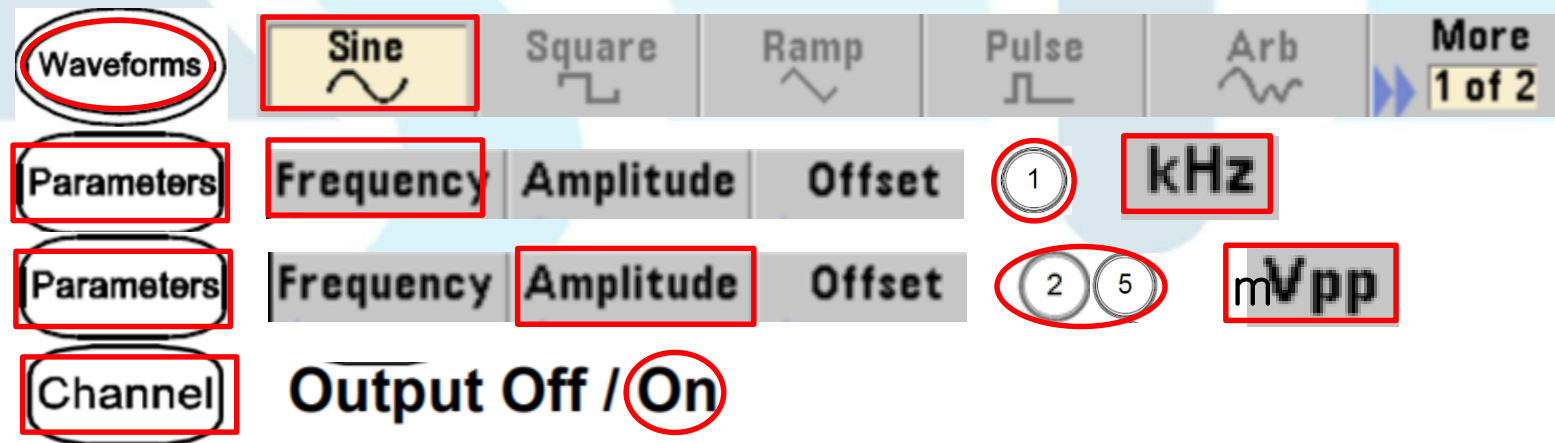
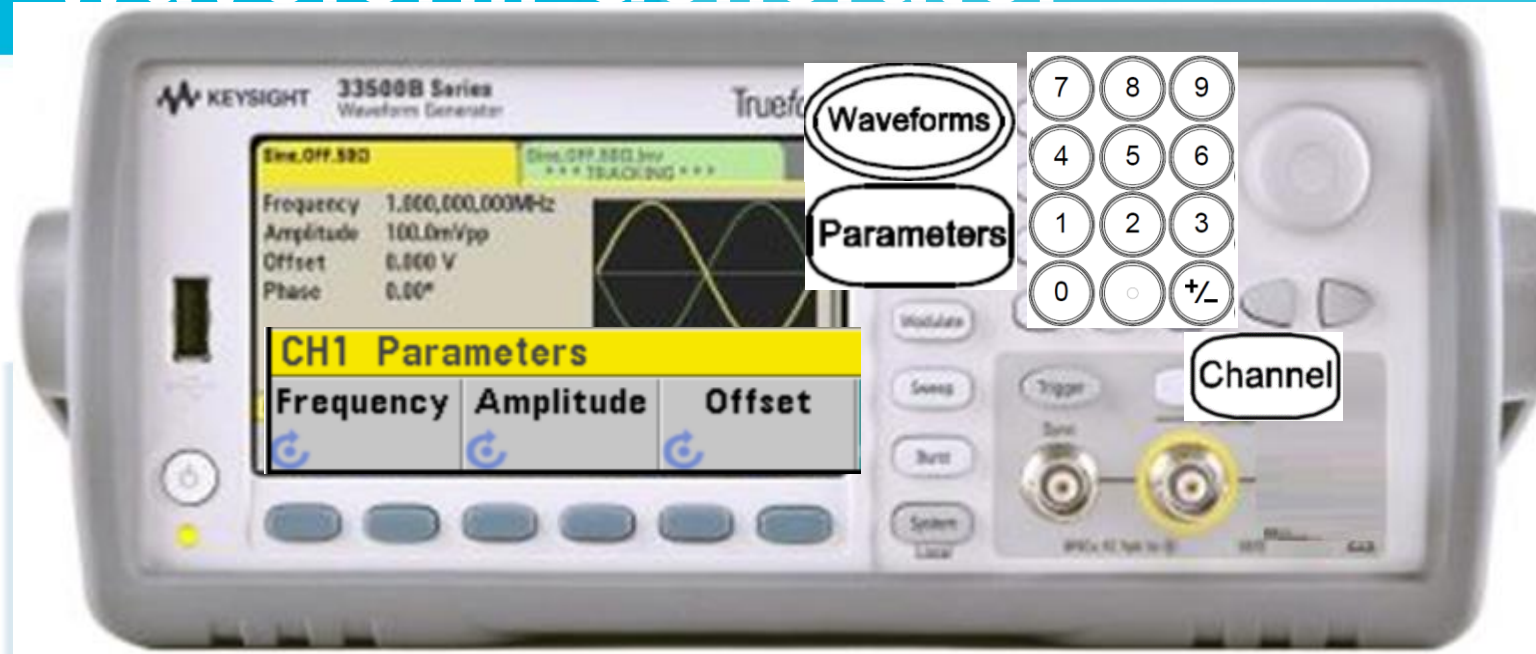
Vs의 첨두-첨두값[V]
(측정값)

Vs의 첨두-첨두값[V]
(측정결과)

시뮬레이션 결과 보고서

과제2 제출

33500B Waveform Generator



Q & A

감사합니다.

