



Università degli
Studi di Pavia

Laboratorio di Elettronica II

Esperienza 4

*Realizzazione e misura di un
amplificatore a BJT*



Attività

Realizzazione dell'amplificatore progettato e simulato nella precedente esperienza (#3):

- Montaggio del circuito con saldatura dei componenti
- Verifica sperimentale del punto di lavoro dei transistor e della funzione di trasferimento
- Misura del contenuto armonico di un segnale e della distorsione armonica introdotta dall'amplificatore



Obiettivi di Apprendimento

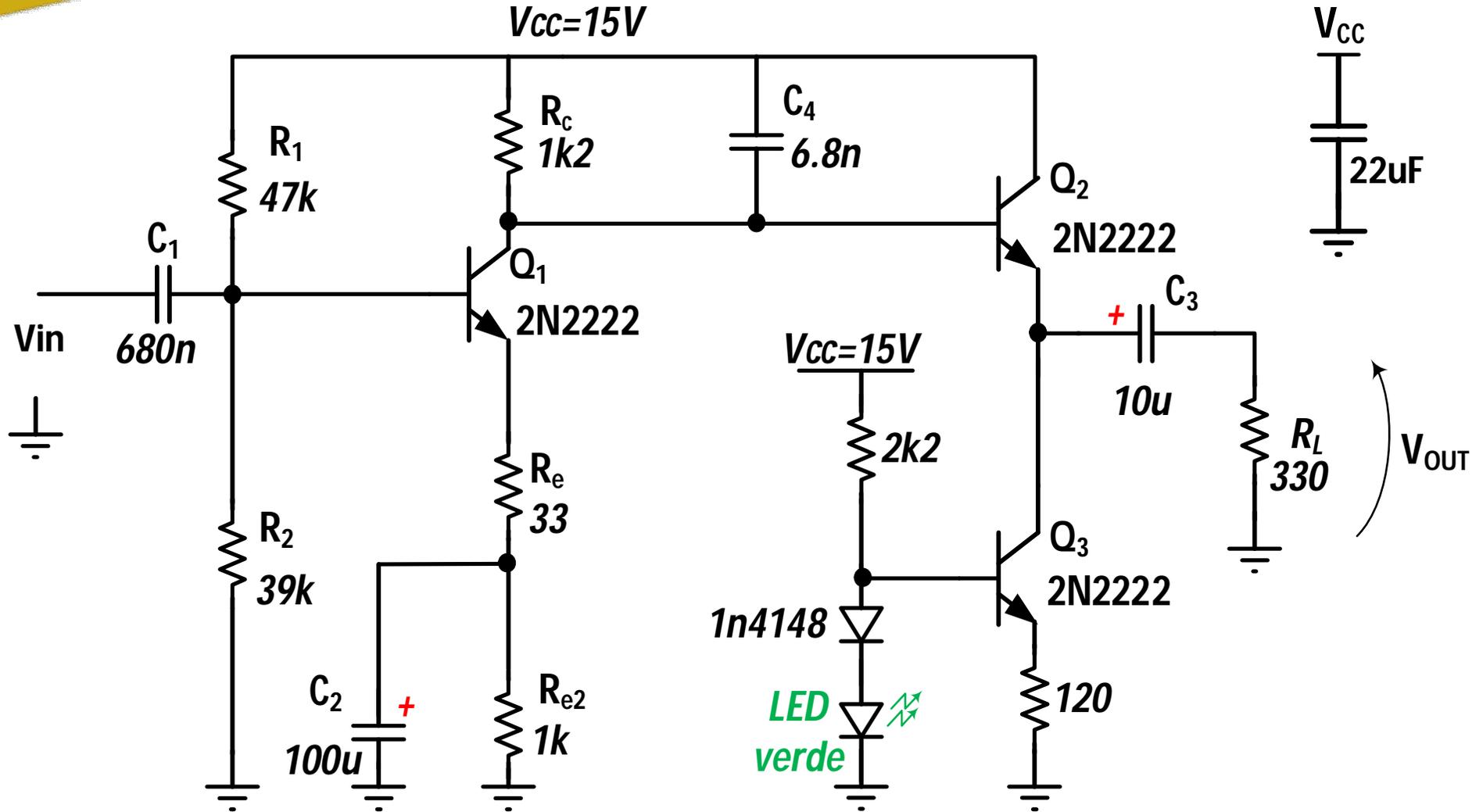
- Riconoscere BJT, diodi, condensatori
- Montare un prototipo con saldatura dei componenti
- Acquisire sensibilità sull'accordo tra simulazioni e risultati sperimentali

- Definizione della distorsione armonica
- Utilizzo dell'oscilloscopio digitale in modalità FFT
- Caratterizzazione sperimentale della distorsione armonica



Università degli Studi di Pavia

Schema dell'amplificatore





Obiettivi di Apprendimento

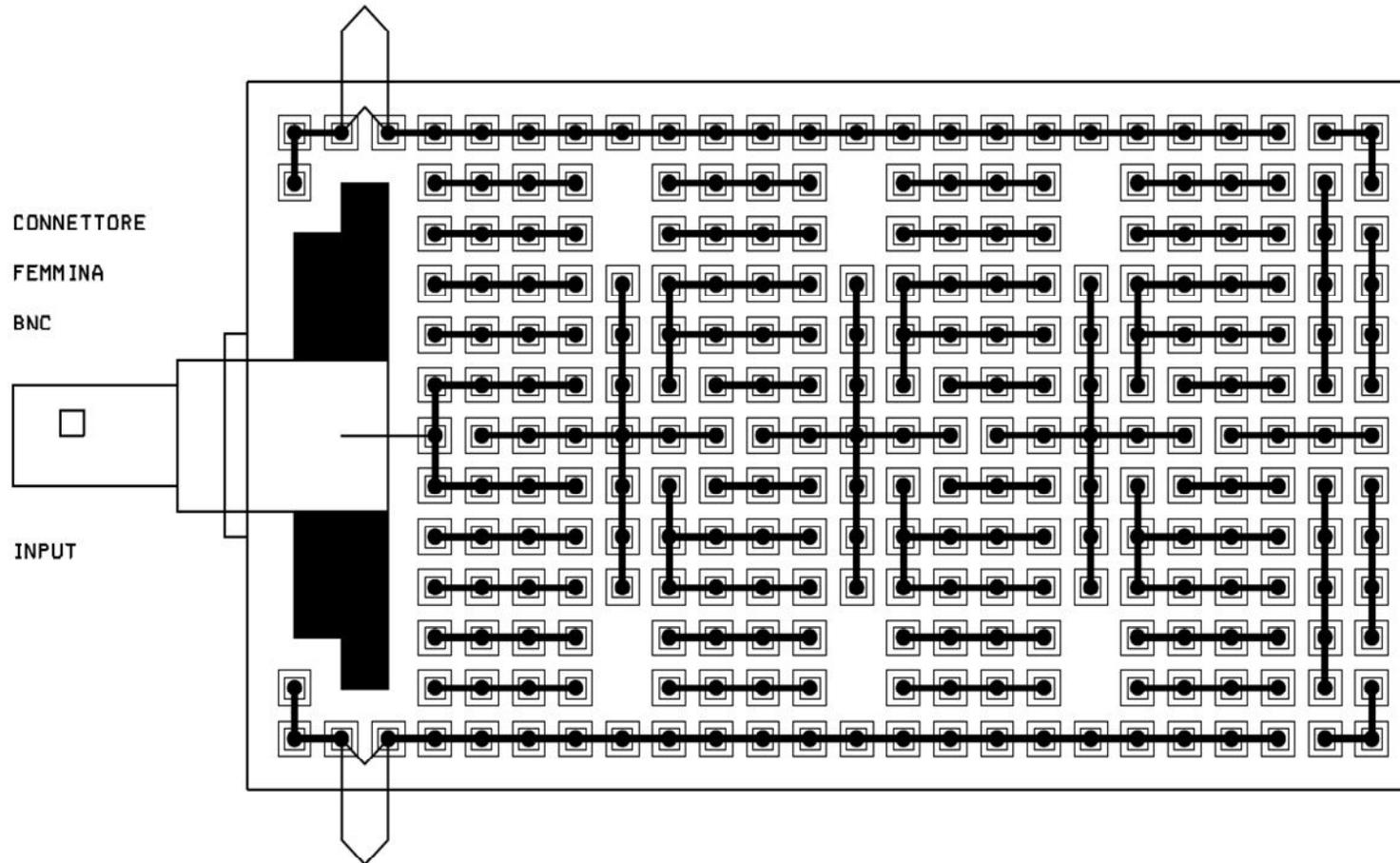
Intervento Silvia Roncelli:

- *Spiegazione su condensatori (vari tipi e come si leggono)*
- *Spiegazione su diodi (diodi al silicio, Zener, Germanio, Schottky, Varicap, LED, Laser...)*
- *Spiegazione su transistori (vari tipi, case TO e serie)*
- *Saldatura dei componenti e montaggio di un prototipo*



Università degli
Studi di Pavia

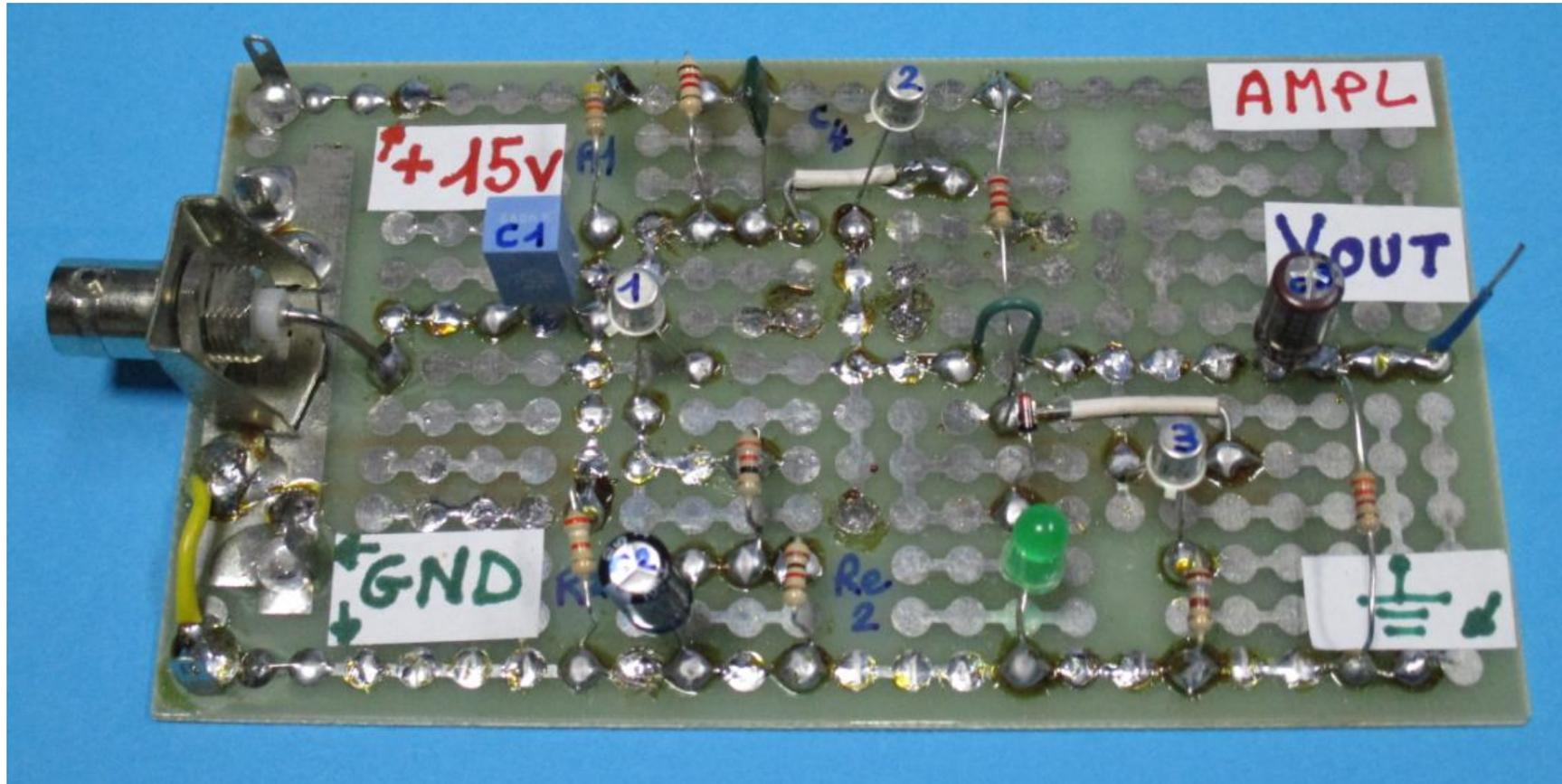
Scheda per montaggio con saldatura





Università degli
Studi di Pavia

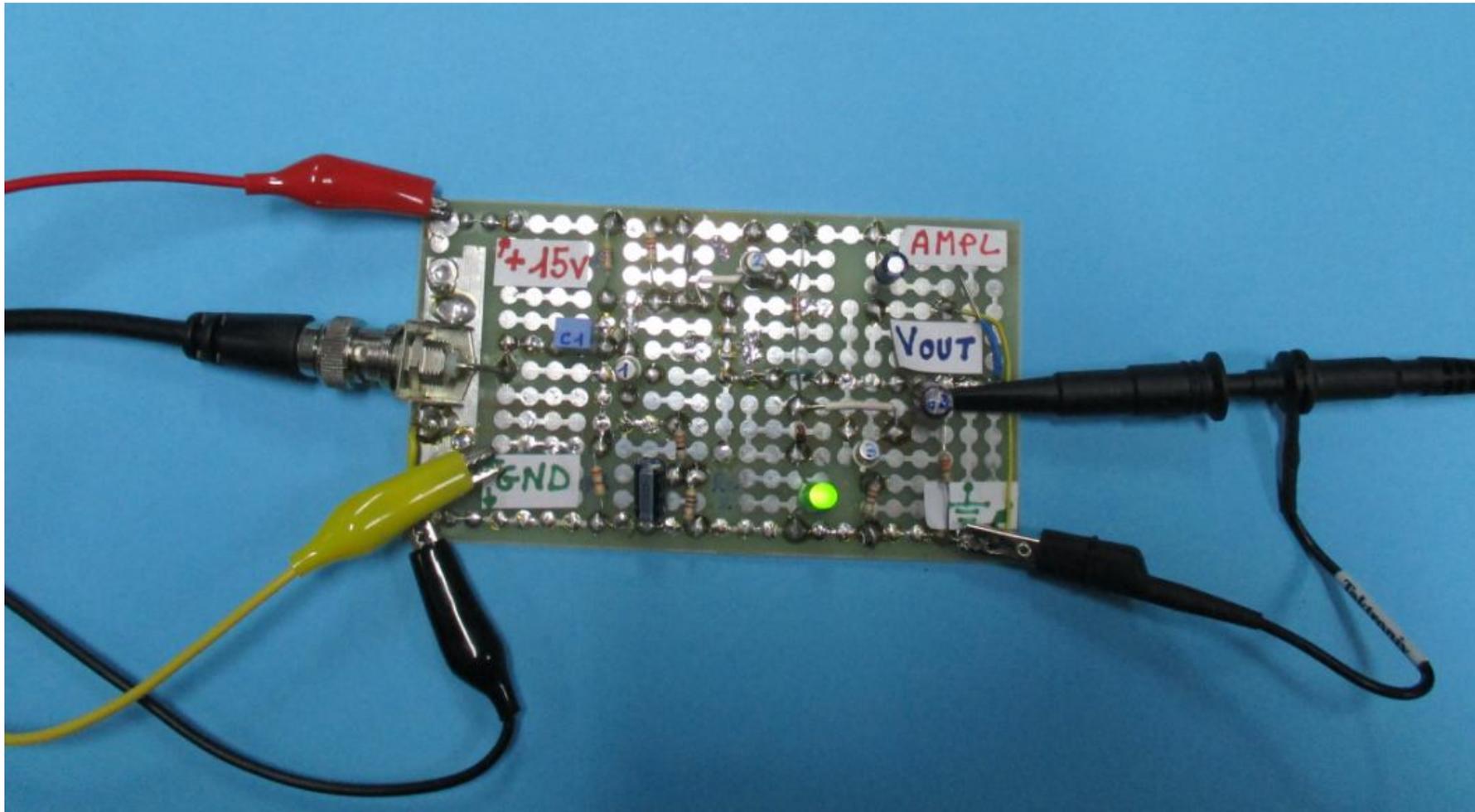
Prototipo dell'amplificatore





Università degli
Studi di Pavia

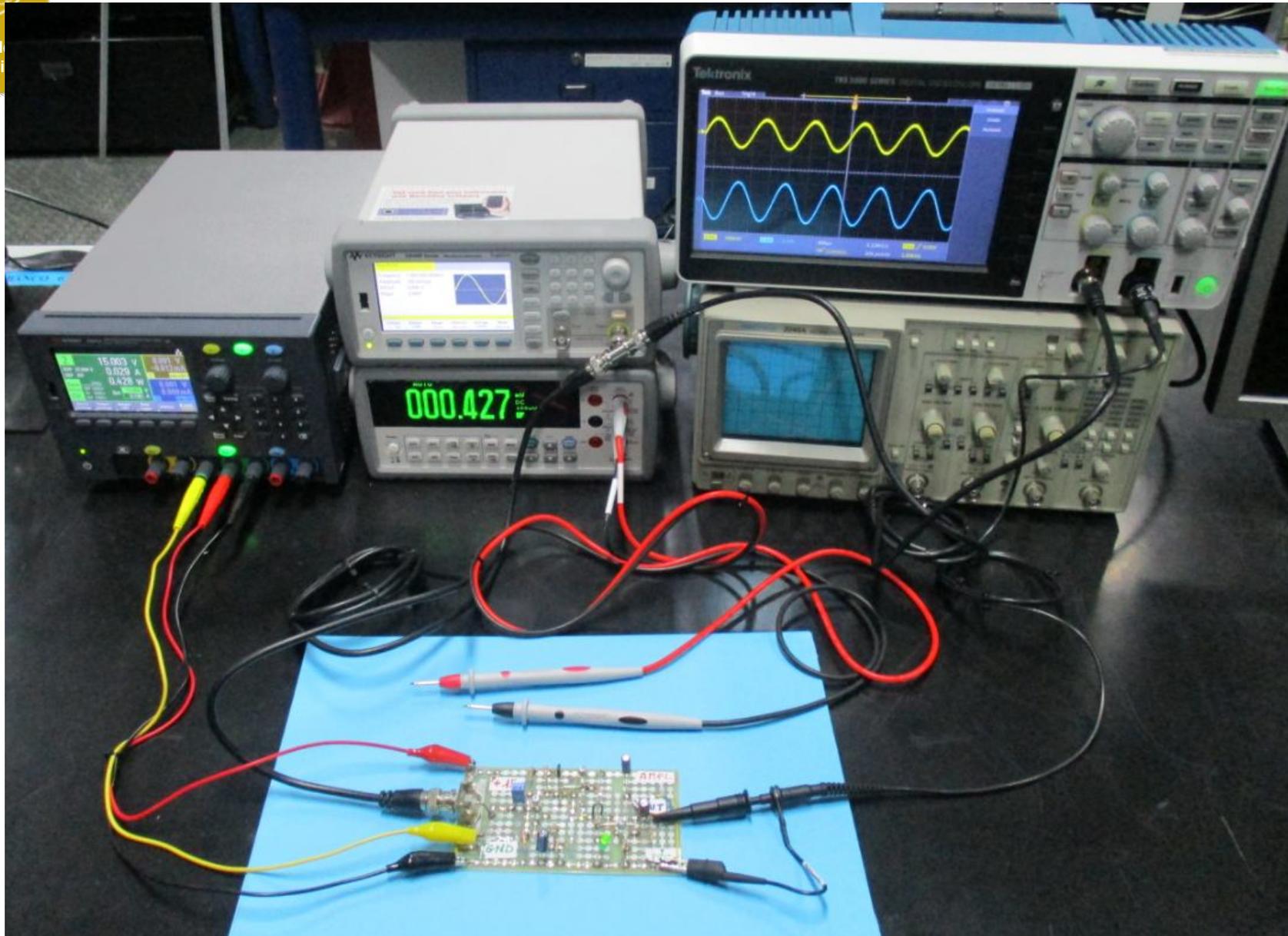
Prototipo dell'amplificatore + collegamenti





Università di
Studi di Pavi

Collegamenti e strumentazione





Attività pratica

- Verificare con il multimetro il punto di lavoro dei transistori (V_{ce} , I_c)

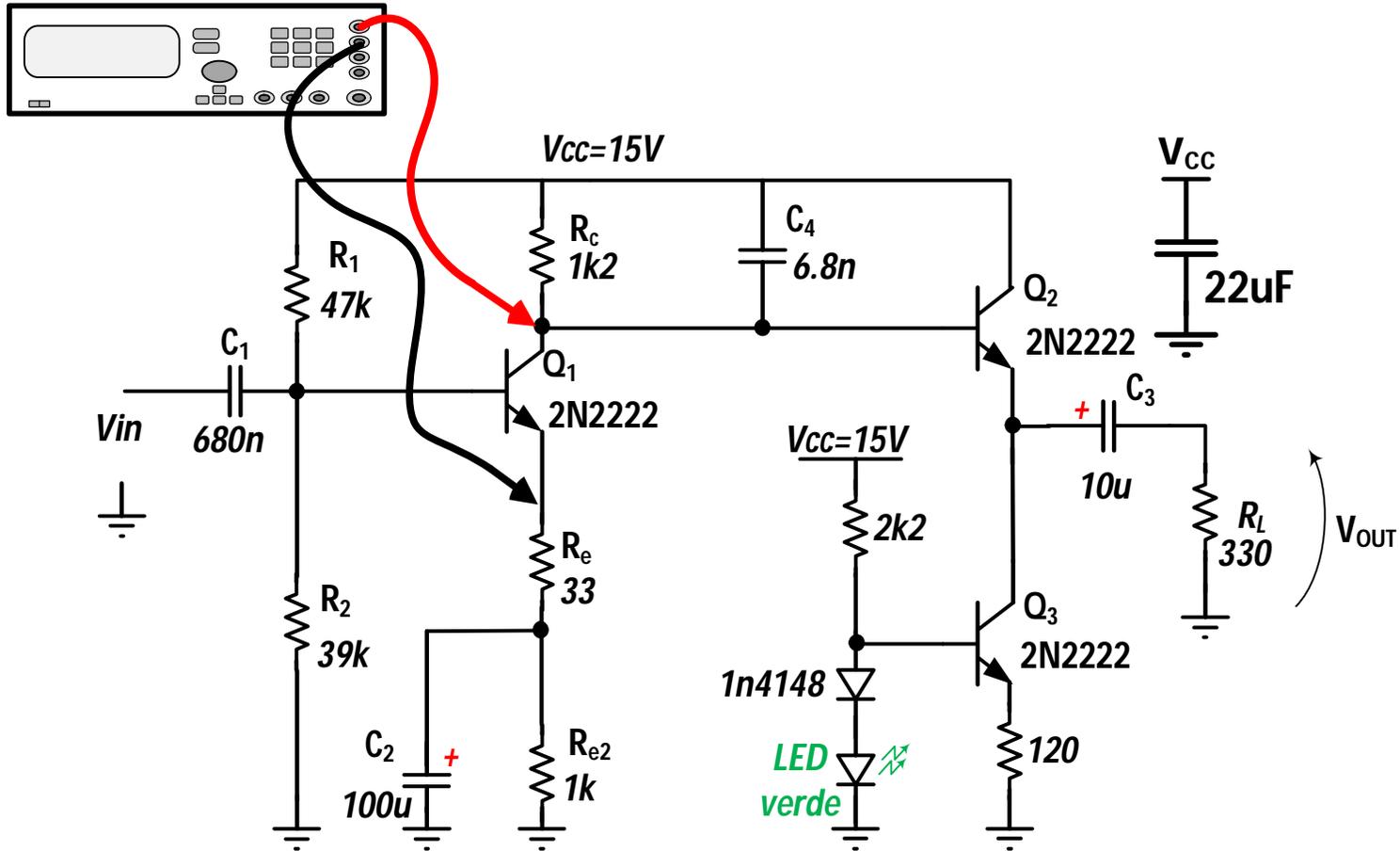
Confrontare i risultati sperimentali con le simulazioni SPICE

- Utilizzando l'oscilloscopio e il generatore di funzioni, costruire per punti il diagramma di Bode del modulo della funzione di trasferimento (impostare l'ampiezza in ingresso in modo da non avere distorsione apprezzabile visivamente in uscita)



Misura di V_{ce}

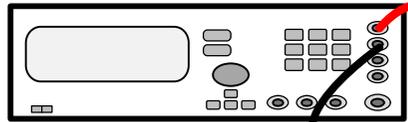
Multimetro in modalità voltmetro



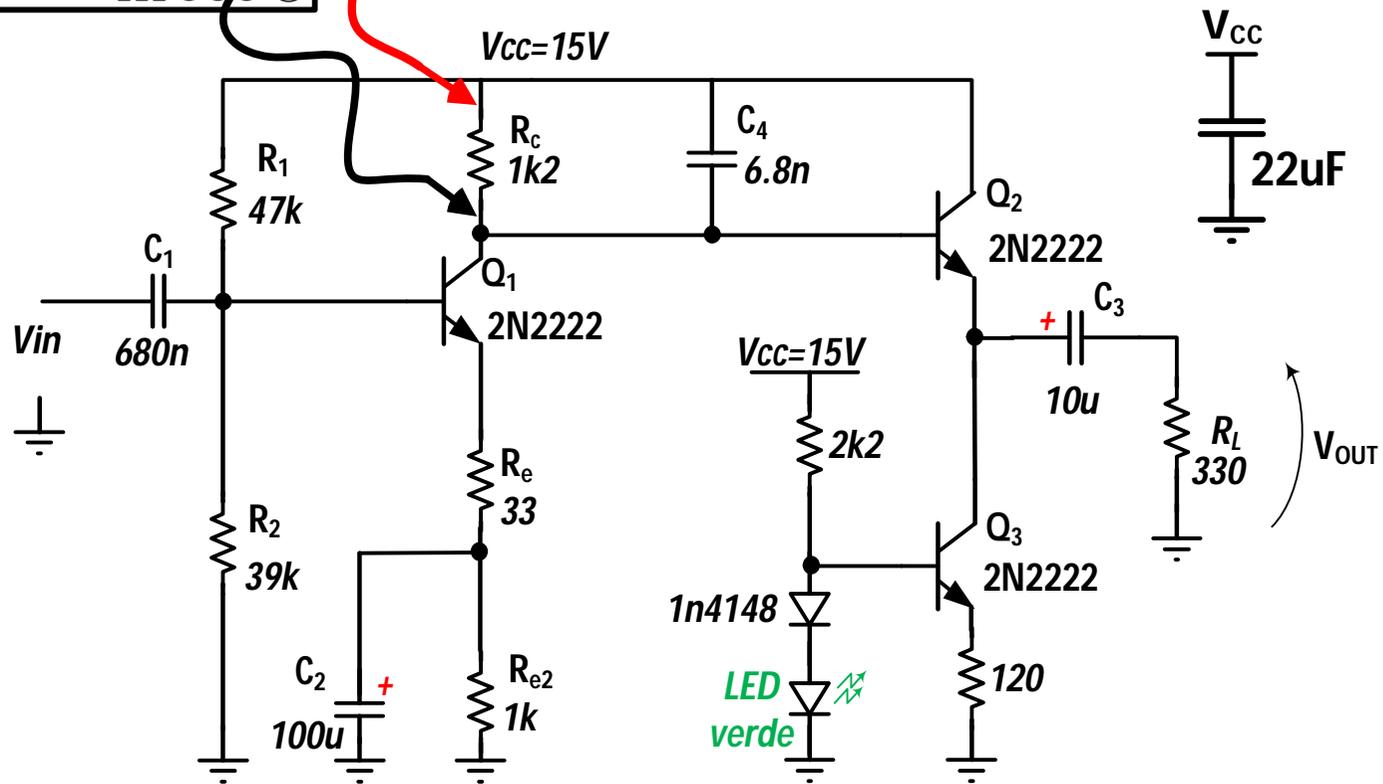


Misura di I_c

Multimetro in modalità voltmetro



$$I_{C1} + I_{B2} \approx I_{C1} = \frac{V}{1200}$$

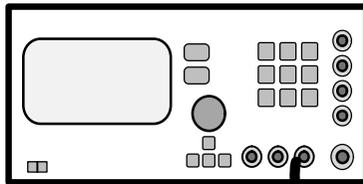




Università degli Studi di Pavia

Misura della risposta in frequenza

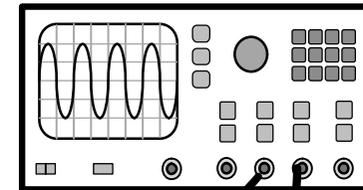
Generatore di Funzioni



Wave: sinusoidal
Amplitude 100mVpp

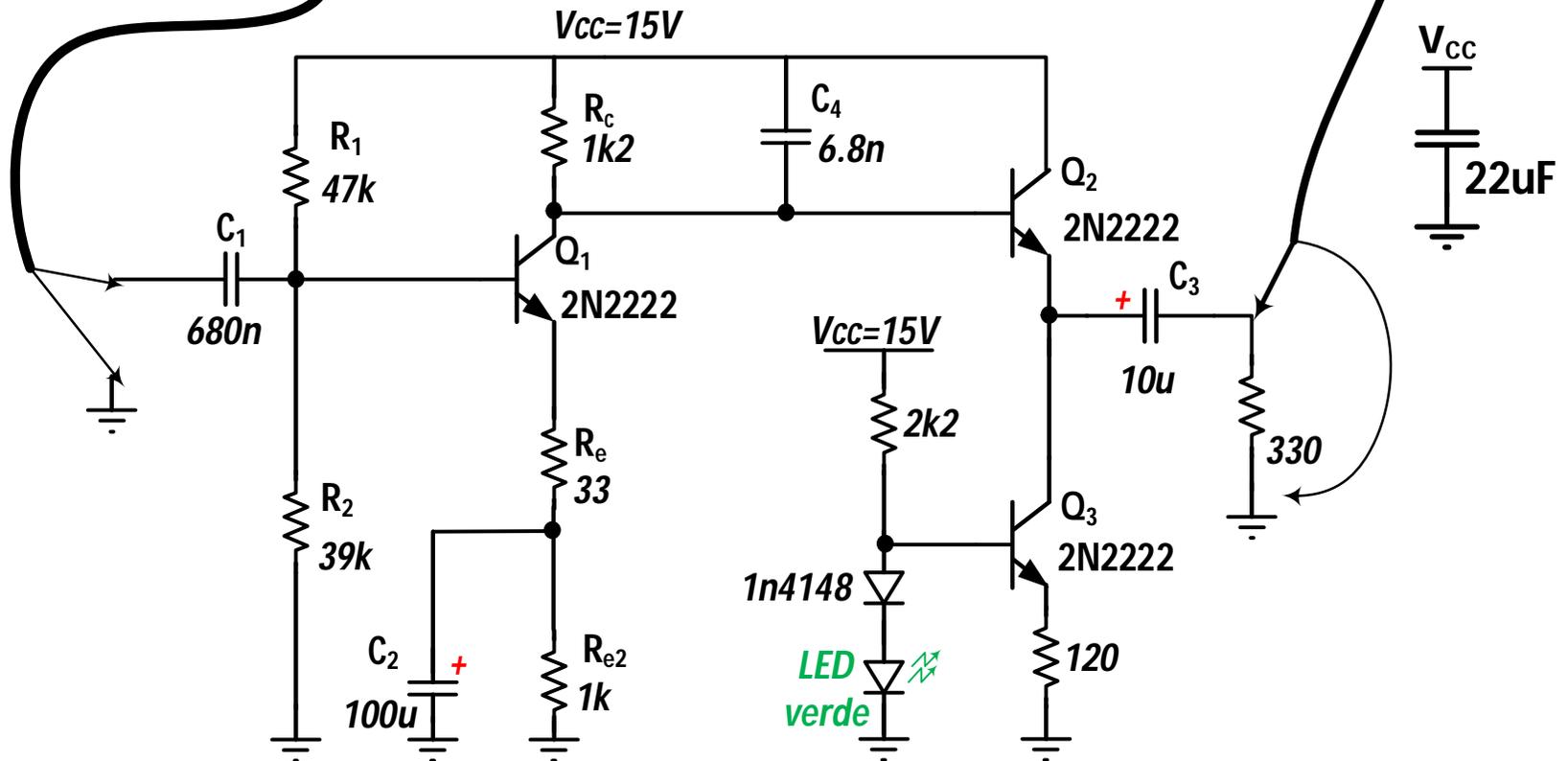
Impostare il trigger su Ch2

Oscilloscopio



ch1

ch2





Università degli
Studi di Pavia

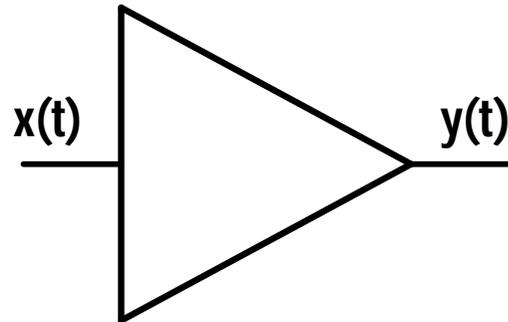
Misura della risposta in frequenza

freq	Vin	Vout	$A_v = V_{out}/V_{in}$	$20\text{Log}(A_v)$
50				
100				
150				
200				
300				
500				
...				
20000				
...				
100000				



Università degli
Studi di Pavia

Distorsione Armonica



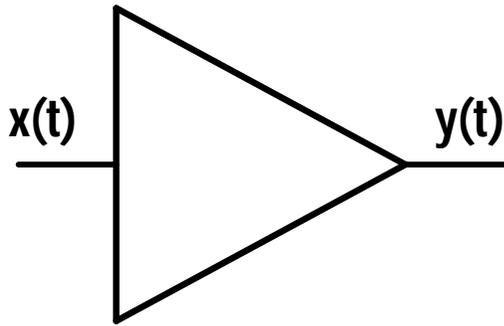
Se l'amplificatore è assunto lineare, $\mathbf{y(t) = a x(t)}$

La forma d'onda in uscita coincide con quella in ingresso. Il segnale di uscita è una replica, scalata in ampiezza del fattore a , del segnale in ingresso.

Se l'amplificatore è non-lineare, la caratteristica ingresso-uscita può essere descritta da un polinomio:

$$\mathbf{y(t) = a x(t) + a_2 x(t)^2 + a_3 x(t)^3 + \dots}$$

Distorsione Armonica



$$y(t) = a x(t) + a_2 x(t)^2 + a_3 x(t)^3 + \dots$$

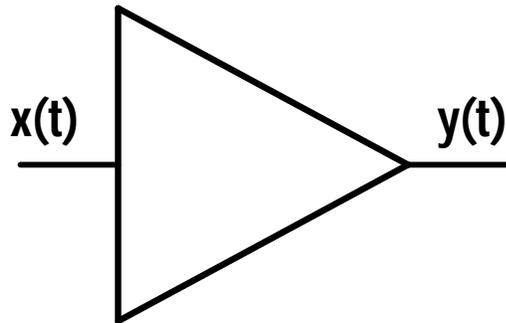
Gli amplificatori reali sono non-lineari, ma si comportano in buona approssimazione come amplificatori lineari fintanto che i termini con le potenze del segnale di ingresso sono trascurabili rispetto al primo termine. Ciò è tanto più verificato quanto più il segnale è piccolo

Quando i termini esponenziali non sono trascurabili, la forma del segnale di uscita differisce da quella del segnale in ingresso.
L'amplificatore introduce distorsione



Università degli
Studi di Pavia

Distorsione Armonica



$$y(t) = a x(t) + a_2 x(t)^2 + a_3 x(t)^3 + \dots$$

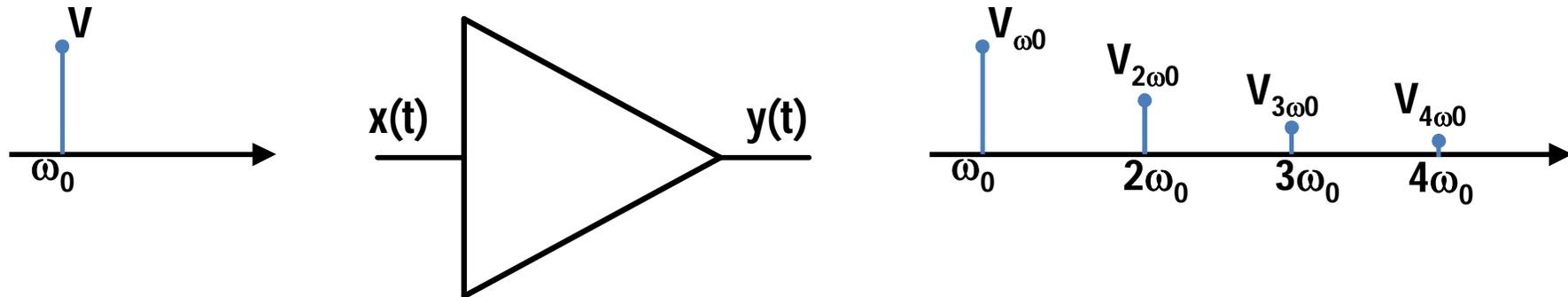
$$\text{Se } x(t) = V \cos(\omega_0 t),$$

$$y(t) = a V \cos(\omega_0 t) + a_2 V^2 [\cos(\omega_0 t)]^2 + a_3 V^3 [\cos(\omega_0 t)]^3 + \dots =$$

$$\begin{aligned} & \frac{a_2 V^2}{2} + \left(a V + \frac{3}{4} a_3 V^3 \right) \cos(\omega_0 t) + \frac{a_2 V^2}{2} \cos(2\omega_0 t) + \frac{3}{4} a_3 V^3 \cos(3\omega_0 t) + \dots \\ & \leftarrow \text{DC} \\ & \leftarrow \text{fondamentale} \\ & \leftarrow \text{armoniche} \end{aligned}$$

Distorsione Armonica

$$y(t) = a x(t) + a_2 x(t)^2 + a_3 x(t)^3 + \dots$$



La distorsione armonica è definita come rapporto tra l'ampiezza di una determinata armonica e l'ampiezza della fondamentale:

$$HD_n = \frac{V_{n\omega_0}}{V_{\omega_0}} \quad (\text{es. } HD_3 = \frac{V_{3\omega_0}}{V_{\omega_0}})$$

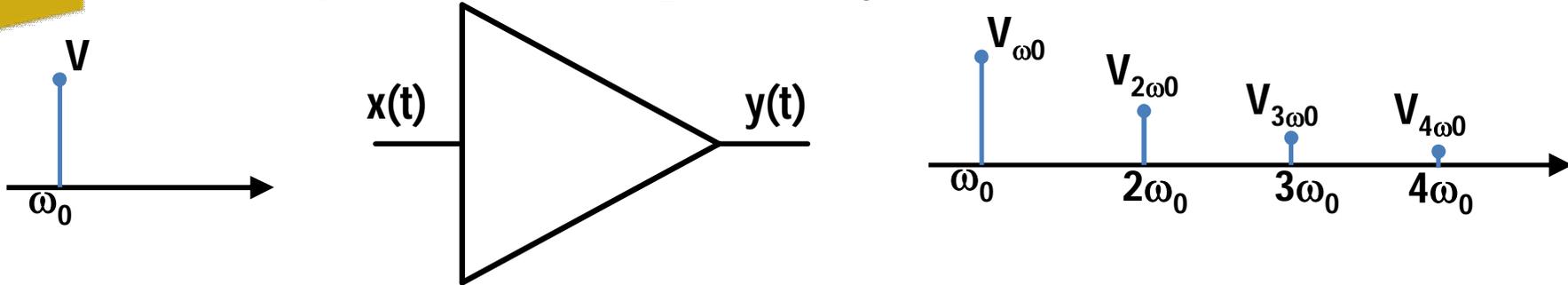
Puo anche essere misurata in %: $HD_n [\%] = \frac{V_{n\omega_0}}{V_{\omega_0}} * 100$

oppure in decibels: $HD_n [dB] = 20 \log \left[\frac{V_{n\omega_0}}{V_{\omega_0}} \right]$



Distorsione Armonica Totale

$$y(t) = a x(t) + a_2 x(t)^2 + a_3 x(t)^3 + \dots$$



La distorsione armonica totale è definita come radice quadrata del rapporto fra la somma delle potenze delle armoniche e la potenza della fondamentale

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n\omega_0}^2}{V_{\omega_0}^2}}$$

Puo anche essere misurata in %:

$$THD_n[\%] = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n\omega_0}^2}{V_{\omega_0}^2}} * 100$$

oppure in decibels:

$$THD_n[dB] = 10 \log \left[\frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n\omega_0}^2}{V_{\omega_0}^2} \right]$$

Fast Fourier Transform con Oscilloscopio



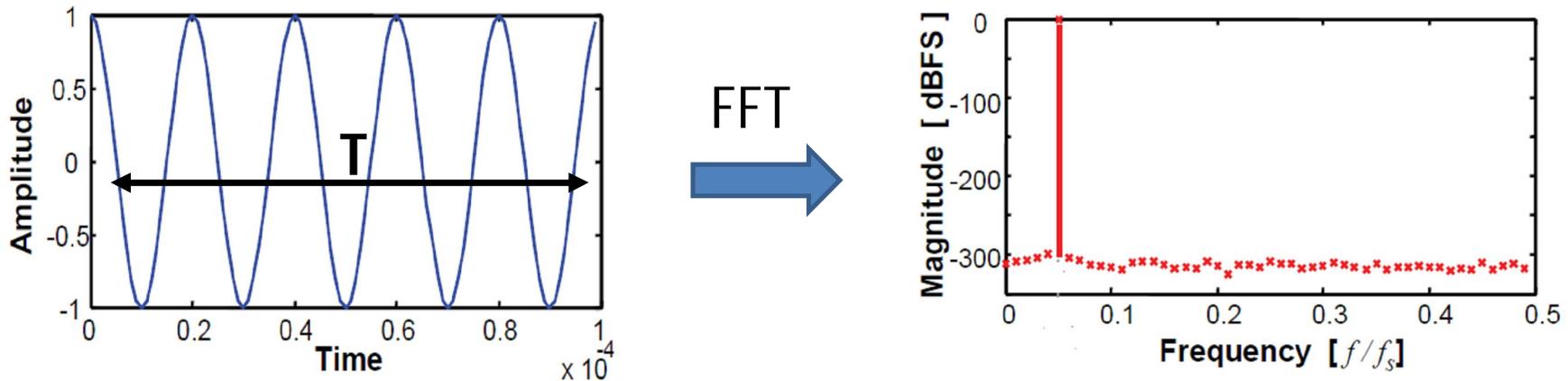
L'oscilloscopio permette di visualizzare la trasformata di Fourier del segnale di ingresso. L'asse Y riporta l'ampiezza delle armoniche, misurata in V_{rms} o in $dBV_{rms}=20\log(V_{rms})$



Università degli
Studi di Pavia

Fast Fourier Transform con Oscilloscopio

L'asse delle frequenze è strettamente legato all'intervallo temporale visualizzato (T) ed al numero di campioni (#samples) acquisiti:



La **risoluzione in frequenza** è determinata dalla lunghezza temporale della traccia (T). Maggiore il numero di periodi visualizzati, migliore è la risoluzione.

La **frequenza massima** visualizzata è inversamente proporzionale all'intervallo di campionamento: $T/\text{\#samples}$

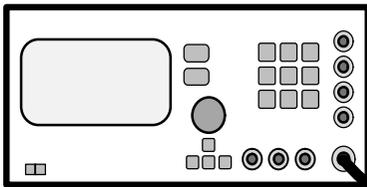


Università degli
Studi di Pavia

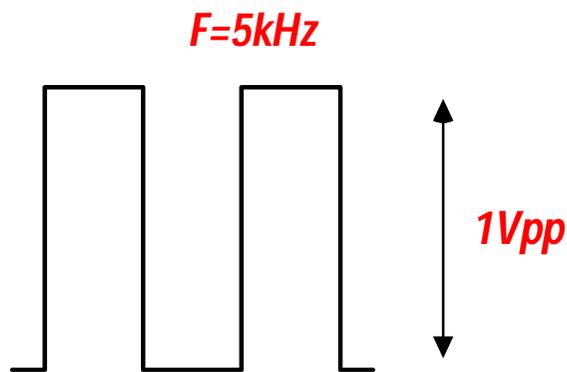
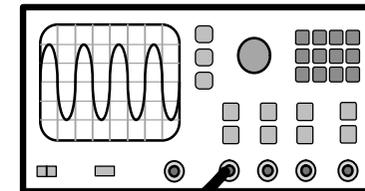
Attività pratica

Misura del contenuto armonico di un segnale ad onda quadra con l'oscilloscopio

Generatore di Funzioni



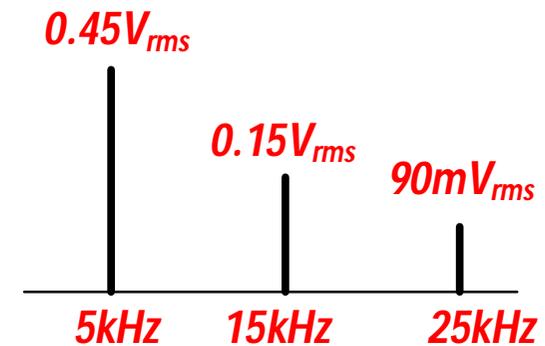
Oscilloscopio



$$|V_{n\omega_0}| = \frac{4V_{0-pk}}{3\pi}$$

$n = 1, 3, 5, \dots$

$$|V_{n\omega_0}|_{rms} = \frac{|V_{n\omega_0}|}{\sqrt{2}}$$

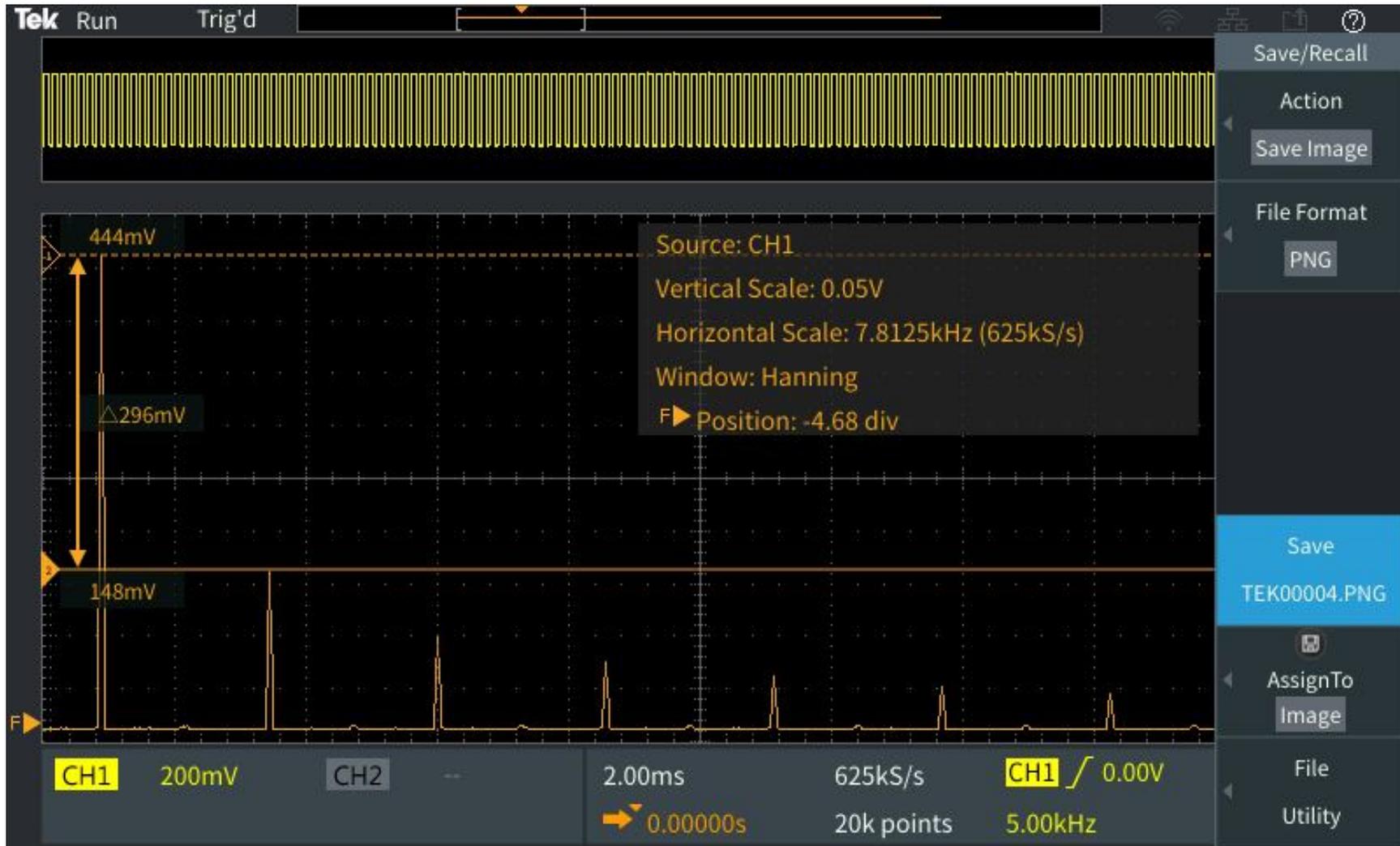




Università degli Studi di Pavia

Misura del contenuto armonico di un onda quadra

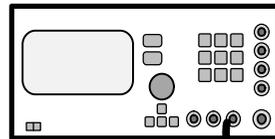
Impostare l'unità di misura della scala verticale dell'FFT in Vrms. L'ampiezza delle varie armoniche può essere misurata con i cursori:



Distorsione armonica dell'amplificatore

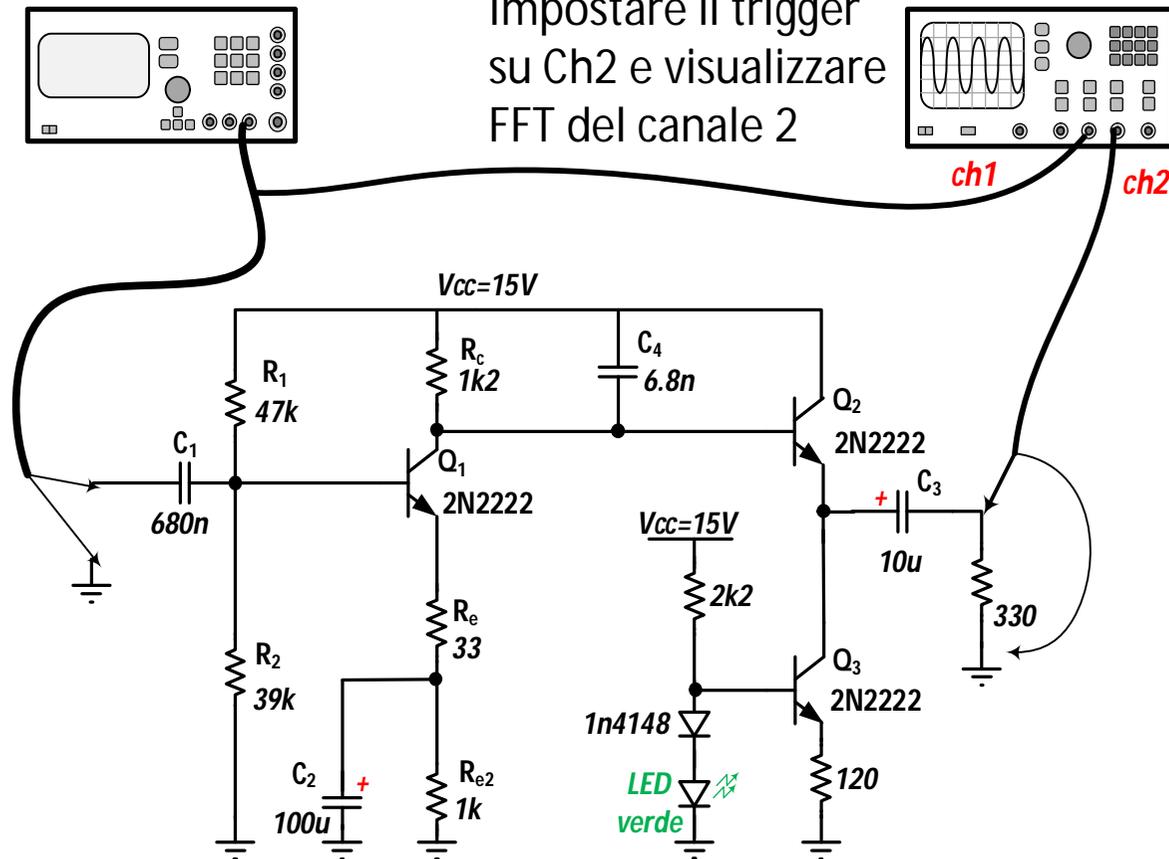
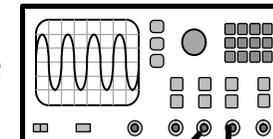
wave: sinusoid
f=1kHz

Generatore di Funzioni



Impostare il trigger
su Ch2 e visualizzare
FFT del canale 2

Oscilloscopio



Misurare la distorsione armonica per due diverse ampiezze di ingresso:

- (1) la massima ampiezza che non produce distorsione apprezzabile visivamente in uscita (e.g. 100mVpp)
- (2) ampiezza che produce una debole distorsione apprezzabile visivamente sul segnale di uscita (e.g. 200mVpp)



Università degli
Studi di Pavia

Distorsione armonica dell'Amplificatore

Vin=100mVpp. (scala verticale della FFT in dBVrms)



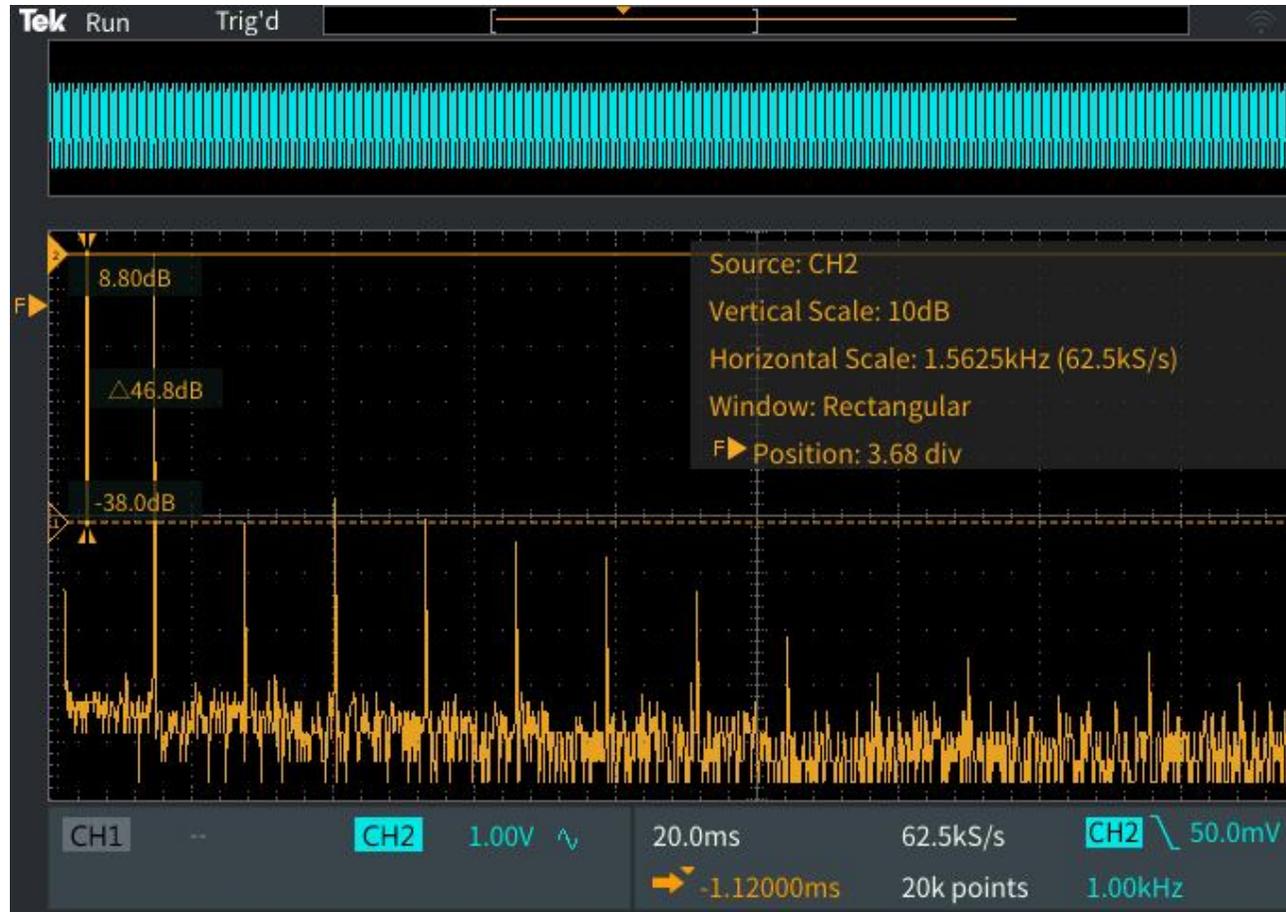
THD ~ HD2 = -57dB



Università degli
Studi di Pavia

Distorsione armonica dell'Amplificatore

Vin=200mVpp. (scala verticale della FFT in dBVrms)



$$THD_{dB} = 10\log\left(10^{\frac{HD_{2dB}}{10}} + 10^{\frac{HD_{3dB}}{10}} + \dots\right)$$



Nota: THD_{dB} dalle misure di HD_{ndB}

$$HD_{ndB} = 20 \log \left(\frac{V_{n\omega_0}}{V_{\omega_0}} \right) = 10 \log \left(\left(\frac{V_{n\omega_0}}{V_{\omega_0}} \right)^2 \right)$$

$$\begin{aligned} THD_{dB} &= 10 \log \left(10^{\frac{HD_{2dB}}{10}} + 10^{\frac{HD_{3dB}}{10}} + \dots \right) = \\ &= 10 \log \left(\left(\frac{V_{2\omega_0}}{V_{\omega_0}} \right)^2 + \left(\frac{V_{3\omega_0}}{V_{\omega_0}} \right)^2 + \dots \right) \\ &= 10 \log \left[\frac{V_{2\omega_0}^2 + V_{3\omega_0}^2 + \dots}{V_{\omega_0}^2} \right] \\ &= 20 \log [THD] \end{aligned}$$