

# Es01A: Uso dello strumento Analog Discovery 2.

Gruppo 1.AC

Matteo Rossi, Bernardo Tomelleri

14 ottobre 2021

## 2 Utilizzo del canale di alimentazione e del multimetro

### 2.d Accensione diodo

La tensione di alimentazione è stata variata nell'intervallo tra 0.5 V e 5 V

Si osserva che la luminosità del diodo è proporzionale alla tensione erogata dal generatore, una volta superata una tensione di soglia per cui il LED inizia a emettere luce di intensità osservabile. La tensione di soglia varia per i diversi colori; in particolare  $V_\gamma$  risulta proporzionale alla frequenza del colore di luce emessa. Dunque rosso < giallo < verde < blu.

### 2.e Misura tensione

Utilizzando il multimetro si misura la resistenza  $R1 = 217 \pm 3 \Omega$  e la tensione ai capi del diodo e si ottiene:

V+	$\sigma$ V+	VD	$\sigma$ VD	I(R1)	$\sigma$ I(R1)
2.51	0.02	1.852	0.009	3.03	0.17
2.51	0.02	1.931	0.009	2.67	0.17
3.98	0.02	2.65	0.02	6.13	0.26
3.98	0.02	2.76	0.02	5.62	0.25

Tabella 1: (2.e) Dall'alto al basso tensione e corrente ai capi dei diodi R-Y-G-B misurata con la stessa ddp in ingresso al circuito  $V+ \approx 2.5$  V. Tutte le tensioni in V e intensità di corrente in mA.

## 3 Uso generatore di forme d'onda

Con un'onda quadra di frequenza  $\sim 10$ Hz, ampiezza  $\sim 2$ V e componente DC  $\sim +2$ V in ingresso alla serie di  $R_1 + \text{LED rosso}$  si vede bene come la tensione ai capi del diodo non si discosti molto dalla tensione di accensione  $V_\gamma \approx 1.85$ V anche quando la tensione in ingresso  $V+ \approx 2$ V (cioè quando l'onda quadra è in alto) è sensibilmente superiore. In accordo con quanto previsto dalla legge di Shockley per il diodo a giunzione ideale.

$$I_D = I_s \left( e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right) \quad (1)$$

Le bande semitrasparenti nelle tracce dei segnali indicano rumore a frequenza più alta del sampling rate  $f_s \approx 16$ kHz. Su entrambi i canali si riesce infatti ad apprezzare come nel salto discontinuo dell'onda quadra l'ampiezza superi il valore costante sul semiperiodo per via del fenomeno di Gibbs.

## 4 Oscilloscopio

### 4.e Uso del trigger

Quando la tensione di soglia del trigger (indicata dal triangolo giallo a destra) incontra almeno un fronte di salita del segnale ai capi del diodo (CH1) la traccia rimane stabile sullo schermo. Mentre per valori di soglia  $> 2$  V o negativi la traccia viene disegnata ogni volta che il circuito di trigger è autonomamente attivato dall'oscilloscopio, per cui il segnale sembra spostarsi in maniera irregolare sullo schermo.

Si nota immediatamente come la tensione ai capi del diodo cresca di pari passo con l'onda triangolare fino a quando la tensione di alimentazione raggiunge la tensione di soglia  $V_\gamma$  del LED rosso. Una volta superata  $V_\gamma$  è la caduta di tensione sulla resistenza (CH2) a seguire il profilo dell'onda triangolare, mentre la tensione ai capi del diodo cresce molto lentamente; sempre secondo il modello di Shockley in maniera simile ad un logaritmo.

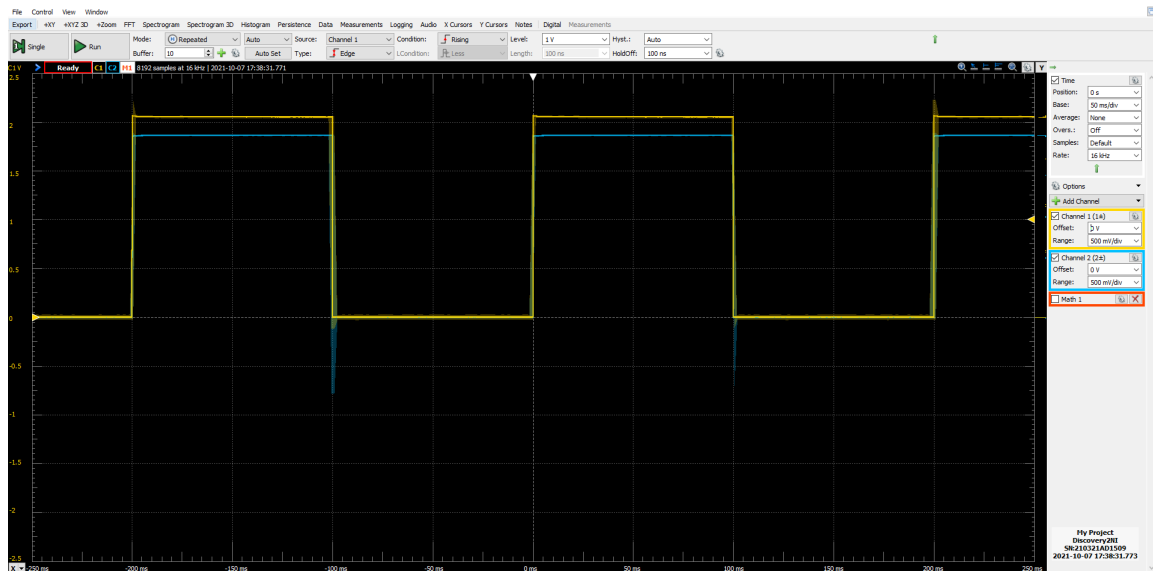


Figura 1: (3.b) Onda quadra in ingresso  $f \approx 10\text{Hz}$  al diodo.

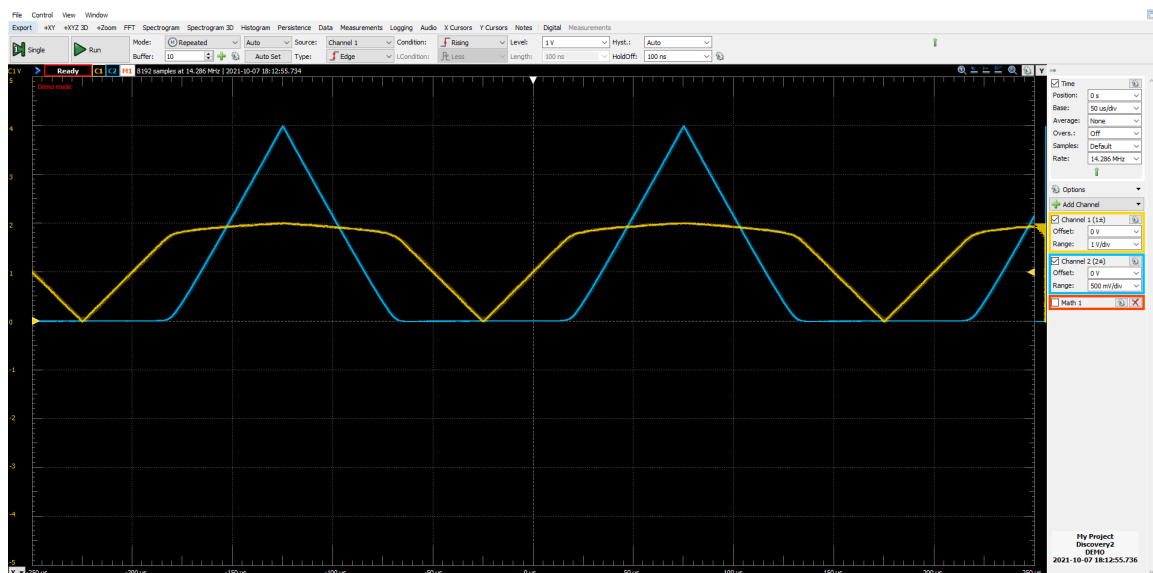


Figura 2: (4.e) Relazione tra trigger e segnale

#### 4.f Misura tensione massima ai capi del diodo

La tensione massima ai capi del diodo misurata con i cursori risulta essere  $V_{\text{MAX}} = (2.0 \pm 0.1) \text{ V}$ . La funzione di misura automatica fornisce il valore  $V_{\text{AUTO}} = 1.975 \text{ V}$

Le due misure sono compatibili, ma la seconda è notevolmente più precisa di quella fatta ad occhio guardando la traccia sullo schermo. Questo perché la prima è affetta da incertezza relativa dell'ordine dell' 1% circa, che deriva dalla lettura/posizionamento dei cursori sullo schermo. Mentre la misura ottenuta mediante la funzione "Measurements" è data dalla media dei campionamenti dell'ADC a 14 bit, che su fondo scala  $\leq 0.5\text{V/div}$  ha risoluzione nominale di 0.32mV.

### 5 Caratteristica del diodo

#### 5.c Caratteristica del diodo

#### 5.d Fit curva del diodo

La forma funzionale della legge di Shockley per il diodo ideale non segue l'andamento osservato delle misure: Per differenze di potenziale superiori alla tensione di soglia, l'intensità di corrente assume andamento polinomiale rispetto alla tensione ai capi del diodo.

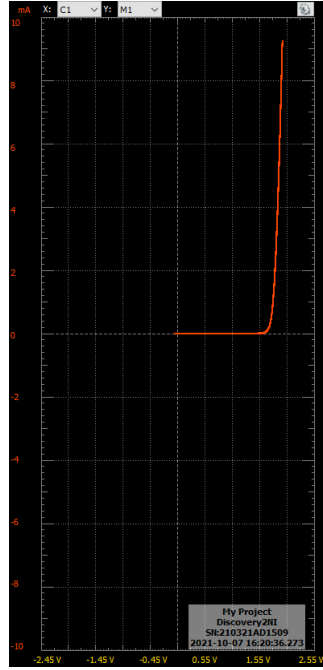


Figura 3: (5.c) Caratteristica corrente-tensione del diodo in modalità XY

Si è utilizzata come modello una funzione uguale alla curva del diodo ideale di Shockley aggiungendoci un valore di corrente costante chiamato  $I_{\text{ofs}}$ :

$$I_D(x) = I_s \left( e^{\frac{x}{\eta V_T}} - 1 \right) + I_{\text{ofs}} \quad (2)$$

Così facendo si ottengono i valori dei parametri di best fit:

$$\begin{aligned} I_s &= 1.87 \pm 0.13 \times 10^{-18} \text{ A} & \text{norm\_cov}(I_s, \eta V_T) &= 0.998 \\ \eta V_T &= 57.3 \pm 0.12 \text{ mV} & \text{norm\_cov}(I_s, I_{\text{ofs}}) &= -0.170 \\ I_{\text{ofs}} &= 1.51 \pm 0.04 \text{ } \mu\text{A} & \text{norm\_cov}(\eta V_T, I_{\text{ofs}}) &= -0.168 \\ \chi^2 &= 1.8 \times 10^5 / 8189 & \text{abs\_sigma} &= \text{False} \end{aligned}$$

che non hanno un gran senso.

Si è poi data una stima della resistenza equivalente in serie del diodo nella parte lineare della curva caratteristica  $I - V$  tramite un fit lineare

$$I(V) = V/R_D + I_0$$

da cui risulta:

$$\begin{aligned} R_D &= 201.4 \pm 0.2 \text{ } \Omega \\ I_0 &= -89.92 \pm 0.11 \text{ mA} \\ \text{norm\_cov}(R_D, I_0) &= -0.999 \\ \chi^2 &= 1890 / 2359 \\ \text{abs\_sigma} &= \text{False} \end{aligned}$$

La legge di Shockley assume che il diodo a giunzione si trovi a temperatura costante, cioè  $\eta V_T = \text{costante}$ . Noi non ne abbiamo misurato o mantenuto costante la temperatura, mentre il diodo viene percorso da corrente, per cui ci aspettiamo di vedere una deviazione dal modello di diodo ideale.

Non solo, il LED non è costituito dalla sola giunzione, ma è collegato a reofori di materiale conduttore, che possono contribuire alla resistenza trovata, così come altri effetti che trascuriamo; ad esempio la possibilità di resistenze di contatto.

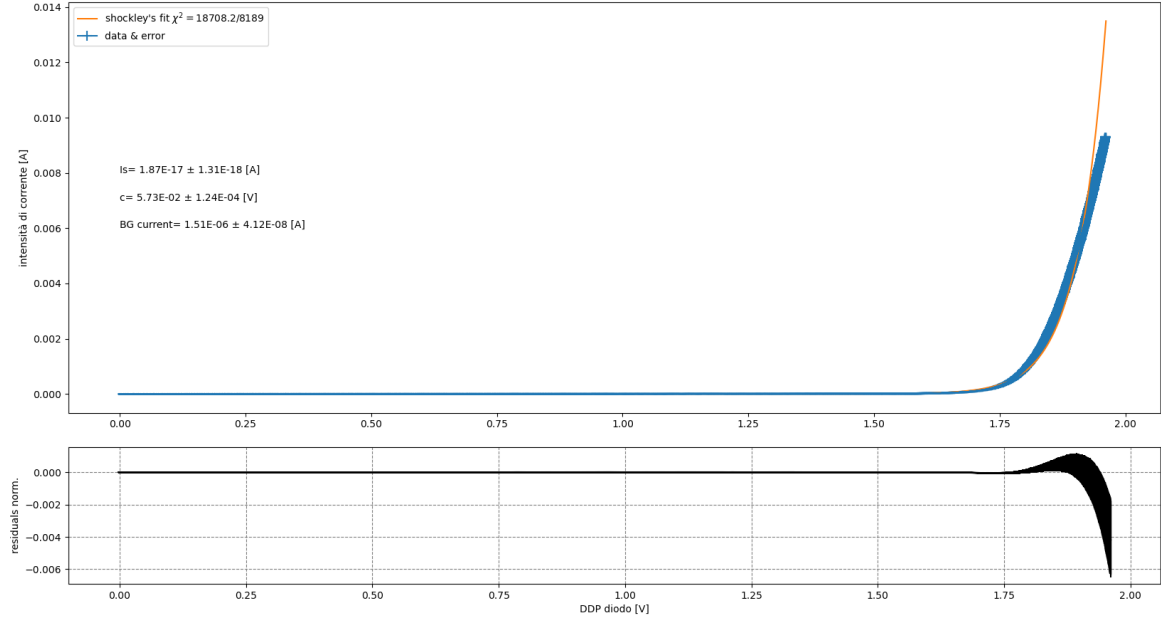


Figura 4: (2.b) Grafico  $I_D$  vs.  $V_D$  e fit all'equazione di Shockley

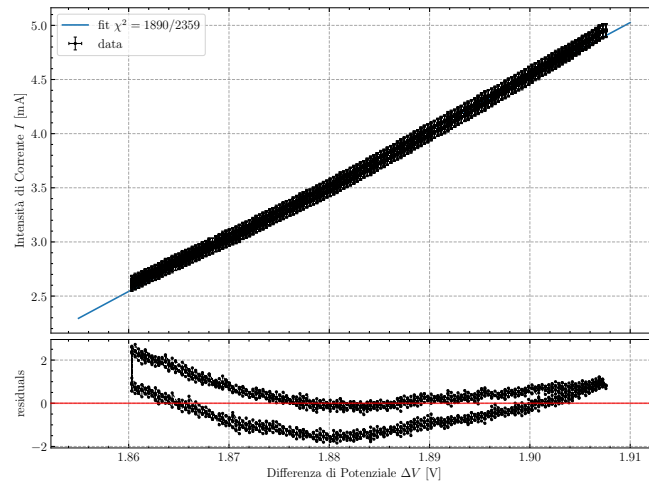


Figura 5: (2.b) Grafico  $I_D$  vs.  $V_D$  e fit lineare per la componente resistiva del diodo  $R_D$ .

## 6 Partitore

### 6.b Partitore con resistenze da 1k

Si realizza un partitore con resistenze da 1 k $\Omega$ . Valori misurati con il multimetro:  $R_1 = 993 \pm 8 \Omega$ ,  $R_2 = 993 \pm 8 \Omega$

I valori di attenuazione attesi per il partitore risultano compatibili con quelli misurati per tutti i valori di tensione compresi nell'intervallo esplorato (1 – 4 V.)

### 6.d Partitore con resistenze da circa 1M

Si realizza un partitore con resistenze da 1 M $\Omega$ . Valori misurati con il multimetro:  $R_1 = 993 \pm 8 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 996 \pm 8 \text{ k}\Omega$

La tensione in uscita dal partitore  $R_1 + R_2$  risulta apprezzabilmente inferiore rispetto al suo valore atteso. Questo è dovuto al comportamento non ideale del voltmetro, per cui quando la sua impedenza in ingresso 10M $\Omega$  (nom.) è paragonabile a quella della resistenza del partitore a cui si trova in parallelo durante la misura, ne abbassa la resistenza effettiva  $R_2 \mapsto R_{\text{eff}} = (\frac{1}{R_{\text{in}}} + \frac{1}{R_2})^{-1}$ . Di conseguenza aumenta la corrente che passa per il partitore, dunque la caduta di tensione ai capi di  $R_1$ , per cui diminuiscono la tensione in uscita e quindi il valore di attenuazione, come osservato.

VIN	$\sigma$ VIN	VOUT	$\sigma$ VOUT	VOUT/VIN	$\sigma$ VOUT/VIN
1.000	0.005	0.500	0.003	0.500	0.008
2.00	0.02	1.000	0.005	0.500	0.011
3.00	0.02	1.500	0.008	0.500	0.008
4.00	0.03	2.00	0.02	0.500	0.012

Tabella 2: (6.b) Partitore di tensione con resistenze da circa 1k. Tutte le tensioni in V.

VIN	$\sigma$ VIN	VOUT	$\sigma$ VOUT	VOUT/VIN	$\sigma$ VOUT/VIN
1.000	0.005	0.481	0.003	0.481	0.008
2.00	0.02	0.955	0.005	0.478	0.011
3.00	0.02	1.431	0.007	0.477	0.008
4.00	0.03	1.906	0.009	0.477	0.009

Tabella 3: (6.d) Partitore di tensione con resistenze da circa 1M. Tutte le tensioni in V.

## 6.e Resistenza di ingresso del multimetro

Usando il modello mostrato nella scheda si ottiene

$$\frac{R_1}{R_{IN}} = \frac{V_{IN}}{V_{OUT}} - (1 + \frac{R_1}{R_2}) \quad (3)$$

Con i dati con resistenze da 1k si ottiene

$$R_1/R_{IN} = 0.00 \pm 0.04 \implies R_{IN} \geq 1k\Omega \quad (4)$$

Con i dati con resistenze da 1M si ottiene

$$R_1/R_{IN} = 0.09 \pm 0.04 \implies R_{IN} = (11 \pm 5)M\Omega$$

Quando la resistenza del multimetro  $R_{IN} \gg R_2$  come visto al punto 6.b si ha  $A \approx A_{exp}$ , per cui dalla (3)

$$\frac{1}{A} - \frac{1}{A_{exp}} = \frac{V_{IN}}{V_{OUT}} - (1 + \frac{R_1}{R_2}) = \frac{R_1}{R_{IN}}$$

si vede come (a causa dell'incertezza sulla stima di  $R_{IN}$  dalla propagazione dell'errore sulla differenza) non sia possibile dare una misura soddisfacente del suo valore. Ne possiamo però dare una stima dal basso:

$$\frac{1}{A} \geq \frac{R_1}{R_{IN}} \implies R_{IN} \geq AR_1$$

come in (4).

## 7 Misure di tempo e frequenza

### 7.e Misure di frequenza

Misure con onda sinusoidale

Periodo T ( $\mu$ s)	$\sigma$ T ( $\mu$ s)	Frequenza f (kHz)	$\sigma$ f (kHz)	Misura oscilloscopio (kHz)	Differenza (kHz)
999	10	0.99	0.01	1.0	0.01
99.9	1.1	10.00	0.11	9.99	0.01
9.99	0.10	100.0	1.0	99.98	0.02
0.999	0.011	1000	11	1000.1	0.1

Tabella 4: (7.e) Misura di frequenza di onde sinusoidali e confronto con misurazione interna dell'oscilloscopio

### 7.f Misure di duty cycle

Misure con onda quadra

Periodo T ( $\mu$ s)	$\sigma$ T ( $\mu$ s)	Durata alto $t_H$ (s)	$\sigma$ $t_H$ (s)	Duty cycle D(%)	$\sigma$ D (%)
100	2	9	2	0.09	0.02
100	2	50	2	0.50	0.02
100	2	90	2	0.90	0.02

Tabella 5: (7.f) Misura di duty cycle per onde quadre

## 7.g Tempo di salita e di discesa

Misure su onda quadra

$$f = (1.000 \pm 0.011)\text{MHz}, \quad t_{\text{salita}} = (35 \pm 6)\text{ns}, \quad t_{\text{discesa}} = (37 \pm 6)\text{ns},$$

La misura è un po' balorda, visto che il tempo di salita/discesa è dello stesso ordine di grandezza del periodo di campionamento  $1/f_s = \Delta t \approx 10\text{ns}$ .

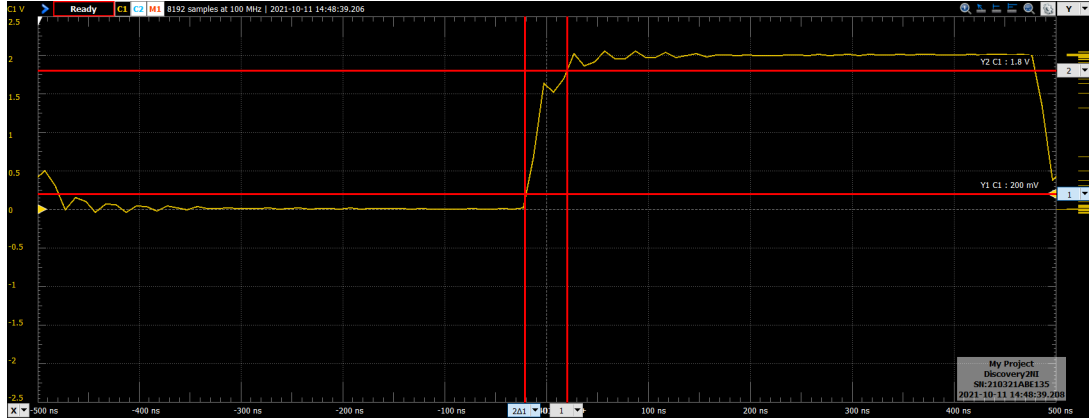


Figura 6: (7.g) Misura del tempo di salita dell'onda quadra

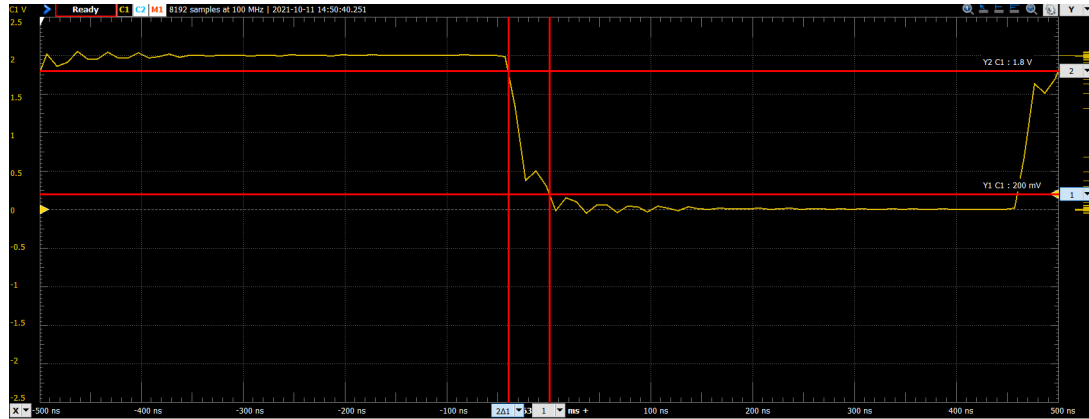


Figura 7: (7.g) Misura del tempo di discesa dell'onda quadra

## 8 Conclusioni e commenti finali

Si è riusciti ad apprezzare la differenza tra il comportamento ideale e quello realmente esibito da due circuiti molto semplici. Nel primo per la non trascurabilità dello strumento di misura sul funzionamento del partitore di tensione (DUT); nel secondo per la componente resistiva del diodo reale.

## Dichiarazione

I firmatari di questa relazione dichiarano che il contenuto della relazione è originale, con misure effettuate dai membri del gruppo, e che tutti i firmatari hanno contribuito alla elaborazione della relazione stessa.