

Istituto Professionale di Stato per l'Industria e l'Artigianato
MORETTO
Via Luigi Apollonio, 21 BRESCIA

Contatore Geiger-Muller portatile LX788

Realizzazione

CRISTIAN TURELLI
ALBERTO MARCHESINI
FABIO GUERINI

della classe 5AI a.s. 1995-96

corso per Tecnici delle Industrie Elettriche ed Elettroniche

INTRODUZIONE

Esperimenti e molto spesso incidenti nucleari avvengono a nostra insaputa e quindi l'allarme radioattività è costante. La quantità di radiazioni che l'uomo riceve normalmente (quelle di origine naturale) nell'arco di un anno non comporta conseguenze per la salute ma se viene superata una certa quantità quest'ultime provocano dei danni dei quali si conosce però ancora molto poco. Comunque sappiamo che le radiazioni a seconda della quantità più o meno elevata sono in grado di provocare tumori, malformazioni e di modificare il patrimonio genetico di un individuo. Cosa si può fare per non superare la massima quantità sopportabile e quindi tutelarsi da questo grave pericolo? Un contatore Geiger tascabile come questo potrebbe essere la soluzione poiché ci permette di controllare il tasso di radioattività degli alimenti e quindi evitare di superare il massimo consentito. Vediamo ora cos'è la radioattività e da che cosa è prodotta.

Il decadimento radioattivo

Materiali che emettono radiazioni vengono detti radioattivi. Un materiale che presenta questo fenomeno della radioattività si dice soggetto a decadimento radioattivo. Rutherford scoprì che i composti dell'uranio emettono tre tipi diversi di radiazioni e li distinse in base al loro potere penetrante e li denominò rispettivamente in: radiazioni α , β , γ .

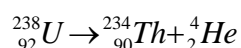
Le radiazioni α (nucleo di atomo di elio, radiazioni positive) sono le meno penetranti e possono essere bloccate già da pochi centimetri d'aria, da uno spessore di 0,006 cm di alluminio o da un ordinario foglio di carta. Le particelle α viaggiano a velocità iniziali di 20000 km/s. L'emissione di una particella α da un isotopo radioattivo è denominato decadimento α . Dato che questa particella contiene sia protoni che neutroni questi devono necessariamente provenire dal nucleo dell'isotopo. Il nucleo che si forma in seguito al decadimento α ha sia massa che carica diverse da quello originario.

Le radiazioni β sono elettroni molto veloci (radiazioni negative). Per bloccare la maggior parte delle particelle β occorre una lastrina di alluminio di spessore di circa 6 mm. Dato che la massa di un elettrone è una piccola frazione dell'unità di massa atomica (che viene indicata con il simbolo u e corrisponde a $1,66 \cdot 10^{-27}$ Kg), la massa atomica di un nucleo che subisce un decadimento β varia molto poco. D'altra parte un nucleo non contiene normalmente elettroni. Si ha un decadimento β quando nel nucleo un neutrone si trasforma in un protone.

Le radiazioni γ (costituite da protoni ad energia molto elevata, neutre) sono le più penetranti. Per fermarle è necessaria una lastra di piombo spessa diversi centimetri. I raggi γ fotoni ad alta energia, sono frutto di una redistribuzione delle cariche all'interno del nucleo. Né il numero di massa (la somma del numero di neutroni e di protoni che viene indicata con A) né il numero atomico (il numero di protoni che viene indicato con Z) variano quando un atomo emette un raggio γ .

Reazioni ed equazioni nucleari

Ogni volta che varia il numero dei neutroni o dei protoni in un nucleo, si ha una reazione nucleare. Analogamente alle reazioni chimiche, alcune reazioni nucleari sono accompagnate da liberazione di energia, altre invece avvengono solo se si fornisce energia al nucleo. L'emissione di particelle da parte di nuclei, radioattivi è un esempio di reazione nucleare. Una reazione del genere libera l'energia in eccesso sotto forma di energia cinetica delle particelle emesse. Le reazioni nucleari possono essere descritte in forma grafica o a parole. Esse però possono essere rappresentate più facilmente e sinteticamente sotto forma di equazioni nucleari. Ad esempio vediamo l'equazione nucleare della trasmutazione dell'uranio 238 in torio 234.



Nessuna particella nucleare va distrutta perciò abbiamo solo una trasformazione quindi la somma degli indici deve essere la stessa sia a destra che a sinistra della freccia.

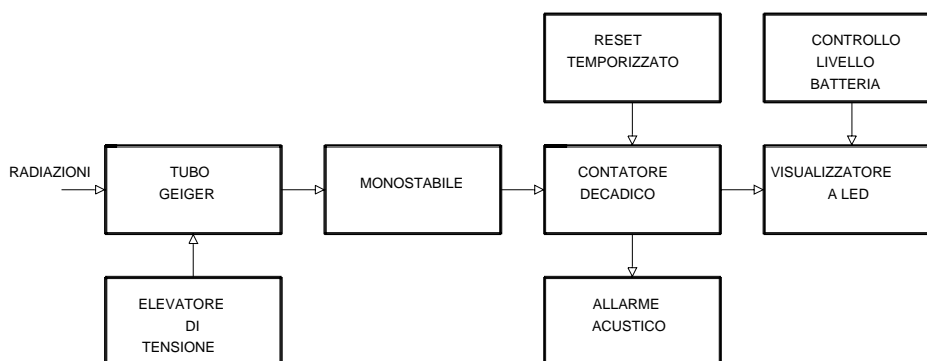
Il tempo richiesto perché metà degli atomi di una qualsiasi quantità di un dato isotopo radioattivo decada viene detto **tempo di dimezzamento** di quell'isotopo. Ogni isotopo ha un tempo di dimezzamento caratteristico. La velocità di decadimento di un isotopo radioattivo, ossia il numero di decadimenti al secondo, viene detta attività dell'isotopo. L'unità di misura dei decadimenti al secondo è il becquerel (1 Bq=1 decadimento/secondo).

Tabella tempi di dimezzamento

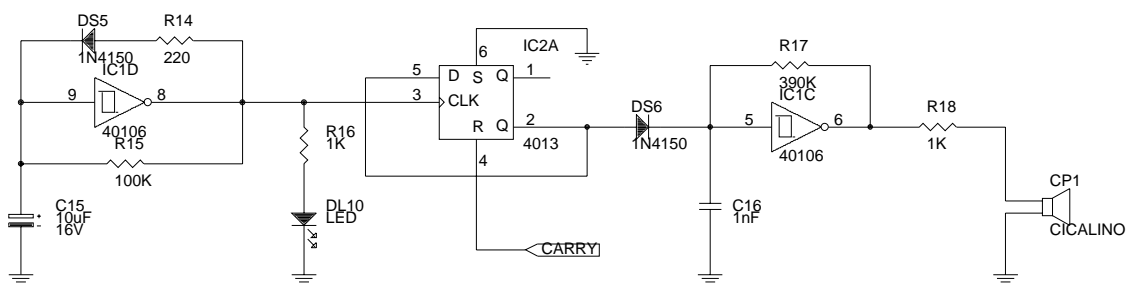
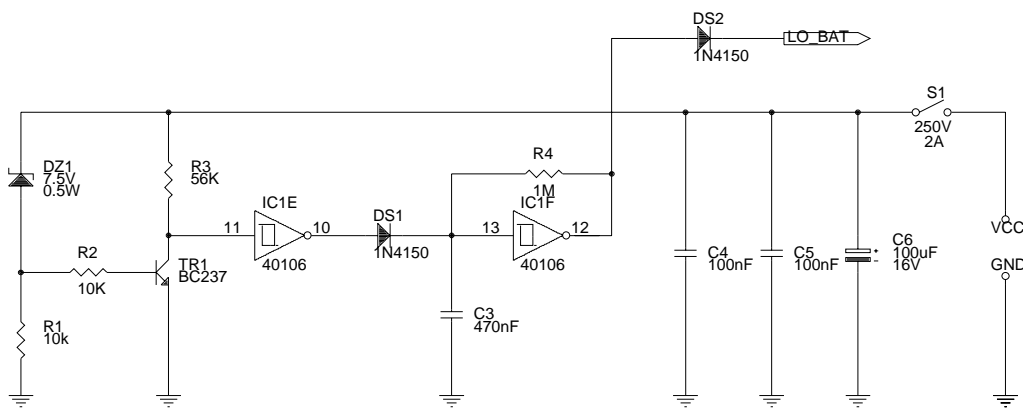
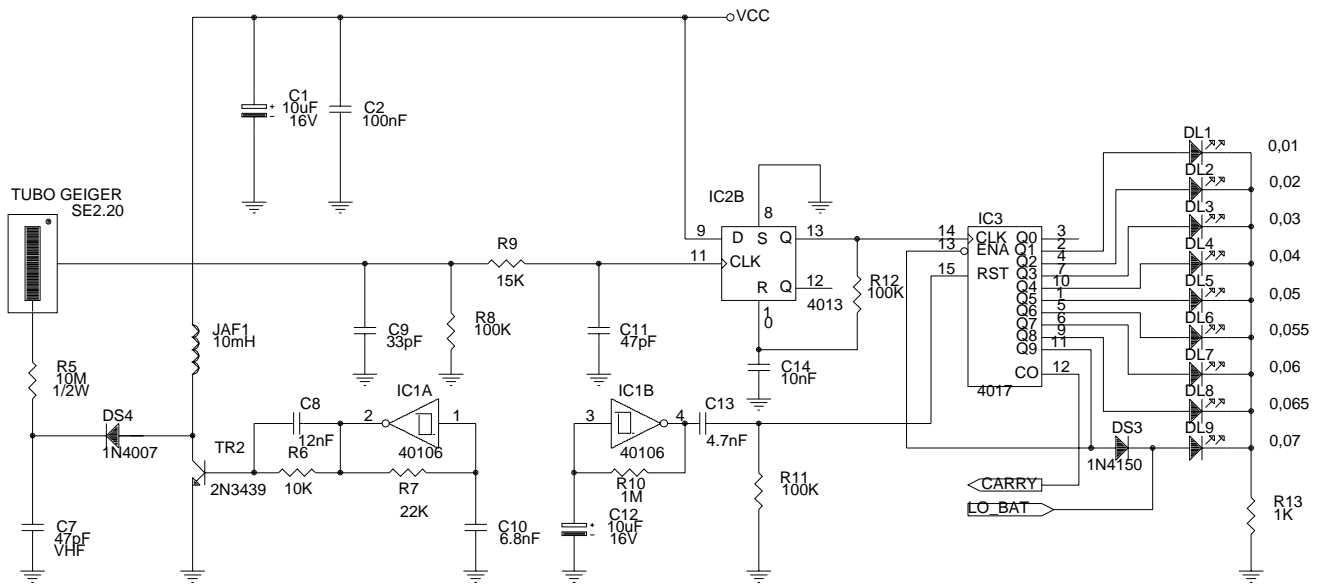
ELEMENTO	ISOTOPO	TEMPO DI DIMEZZAMENTO	RADIAZIONE PRODOTTA
Idrogeno	3_1H	12,3 anni	β
Carbonio	${}^{14}_6C$	5730 anni	β
Iodio	${}^{131}_{53}I$	8,07 giorni	β
Piombo	${}^{212}_{82}Pb$	10,6 ore	β
Polonio	${}^{194}_{84}Po$	0,7 secondi	α
Polonio	${}^{210}_{84}Po$	138 giorni	α
Uranio	${}^{227}_{92}U$	1,1 minuti	α
Uranio	${}^{235}_{92}U$	$7,1 \cdot 10^8$ anni	α
Uranio	${}^{238}_{92}U$	$4,51 \cdot 10^9$ anni	α
Plutonio	${}^{236}_{94}Pu$	2,85 anni	α
Plutonio	${}^{242}_{94}Pu$	$3,79 \cdot 10^5$ anni	α

Basandosi sul fatto che l'urto di una particella ad alta velocità rimuove elettroni dagli atomi contro cui urta cioè le particelle veloci ionizzano la materia che colpiscono, si possono costruire strumenti in grado di rilevare le radiazioni. Lo strumento più diffuso per contare le particelle radioattive è il **contatore Geiger Muller**.

SCHEMA A BLOCCHI



CIRCUITO ELETTRICO



DESCRIZIONE DELLO SCHEMA A BLOCCHI

Quando giungono le particelle radioattive al tubo geiger si innesca il processo di ionizzazione del gas contenuto nel tubo che porta a una debole conduzione lo stesso. Per ottenere le caratteristiche di funzionamento richieste è necessario alimentare il tubo con una tensione di 400V, dato che disponiamo di un'alimentazione a 9V, il tubo è collegato ad un blocco "elevatore di tensione" costituito da un alimentatore switching di tipo step up. Le radiazioni quindi provocano l'arrivo di segnali al clock di IC2B, che costituisce il blocco denominato "monostabile".

L'integrato serve a modificare le durate dei segnali in modo opportuno (funzione svolta da R_{12} e C_{14}) che altrimenti non sarebbero sentite dal contatore IC3. IC3 è un contatore BCD (blocco contatore decadico) che conta gli impulsi che arrivano al clock dal "monostabile", ed in base al numero di questi ultimi attiva una delle 10 uscite di cui 9 sono collegate al visualizzatore a led (4 verdi e 5 rossi) che segnala in base al led acceso il tasso di radioattività corrispondente. L'uscita Q0 non è collegata al visualizzatore altrimenti il led corrispondente sarebbe sempre acceso segnalando il tasso di radioattività nullo che genererebbe solo confusione. L'inverter IC1B costituisce il blocco che effettua il reset temporizzato del contatore. IC1B produce un segnale che azzerà il contatore ogni circa 14 sec. Questo contatore ha la particolarità di convertire l'uscita del carry out da 1 a 0 quando il conteggio passa da 4 a 5. Il carry out del contatore è collegato al blocco d'allarme acustico. Quando il carry out passa da 0 a 1 permette a IC2A di funzionare e quindi a IC1D di bloccare e sbloccare IC1C che fa funzionare il cicalino. Quindi quando il contatore passa da 4 a 5 si accende il primo led rosso e sentiamo suonare il cicalino in modo intermittente. Infine c'è un blocco che provvede a controllare la carica della batteria. Sembra superfluo, ma nel caso in cui la batteria scenda al di sotto di certi livelli di tensione la misura del tasso di radioattività sarebbe falsata. Quando la tensione di batteria scende al di sotto di 7,5V il blocco fa in modo di accendere in modo intermittente il diodo led rosso DL9. Questa segnalazione di batteria scarica non può essere confusa con un allarme di elevata radioattività poiché oltre a mancare il suono del cicalino il led non è acceso in modo continuo ma lampeggia in modo visibile (1,55Hz).

TUBO GEIGER

Il blocco è costituito dal tubo geiger che è sostanzialmente un tubo nel quale è contenuto un gas a bassa pressione (10Kpa). Ad un'estremità del tubo vi è una "finestra" chiusa da una sottile lamina di mica che permette il passaggio delle radiazioni. All'interno del tubo vi è un cilindro di rame che viene tenuto carico negativamente e lungo l'asse del quale è teso un filo conduttore carico positivamente. La differenza di potenziale tra il cilindro e il filo viene mantenuta appena al di sotto del valore a cui avrebbe luogo la scarica spontanea (400V). Quando giungono delle particelle radioattive al tubo geiger si innesca il processo di ionizzazione del gas contenuto nel tubo portando alla conduzione dello stesso.

ELEVATORE DI TENSIONE

Dato che il tubo necessita di essere alimentato ad un elevato valore di tensione e si dispone della tensione della batteria che è di 9V. Il tubo è collegato ad un blocco che provvede ad elevare la tensione dai 9V ai 400V necessari. Il blocco è costituito da un alimentatore switching di tipo step-up che è in grado di fornire in uscita una tensione maggiore di quella di ingresso. Questo circuito permette di fornire al tubo dei picchi di tensione di 400V ad una frequenza di 8688 Hz come si può notare dal grafico di fig 1.1. Dallo stesso grafico si può inoltre osservare che la tensione minima assume valore negativo (-1.062 V) situazione che non dovrebbe normalmente verificarsi e che è dovuta all'induttanza che influenza, seppur per un breve periodo, con la sua scarica la tensione in uscita a IC1A.

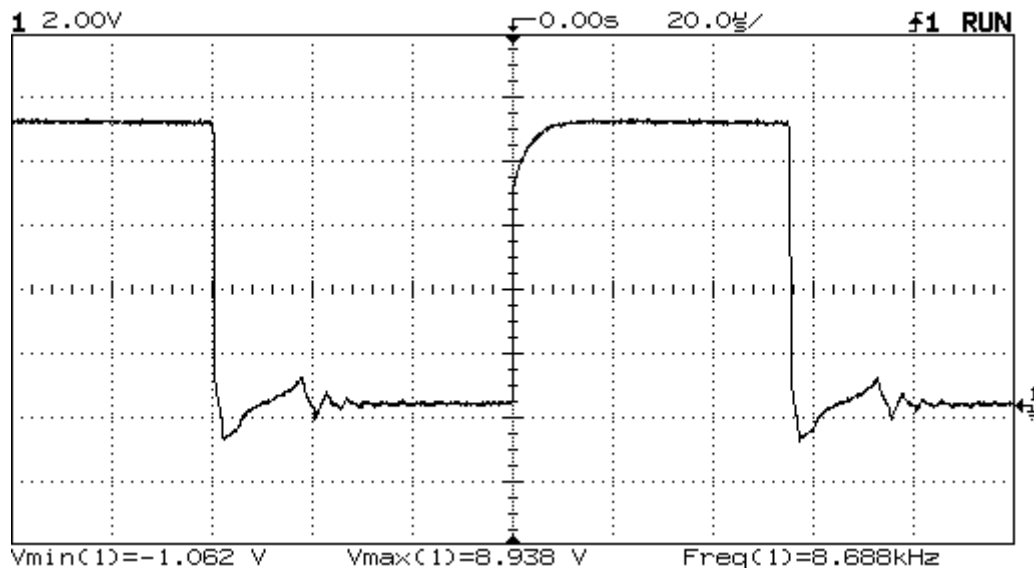


fig. 1.1

Dal grafico di fig 1.2 possiamo osservare il segnale che alimenta il tubo geiger del quale però non è stato possibile misurare la frequenza ma solamente i valori di picco e il tempo in cui il segnale sta alto e come possiamo vedere il valore massimo misurato (376 V) si avvicina a quello previsto di 400 V.

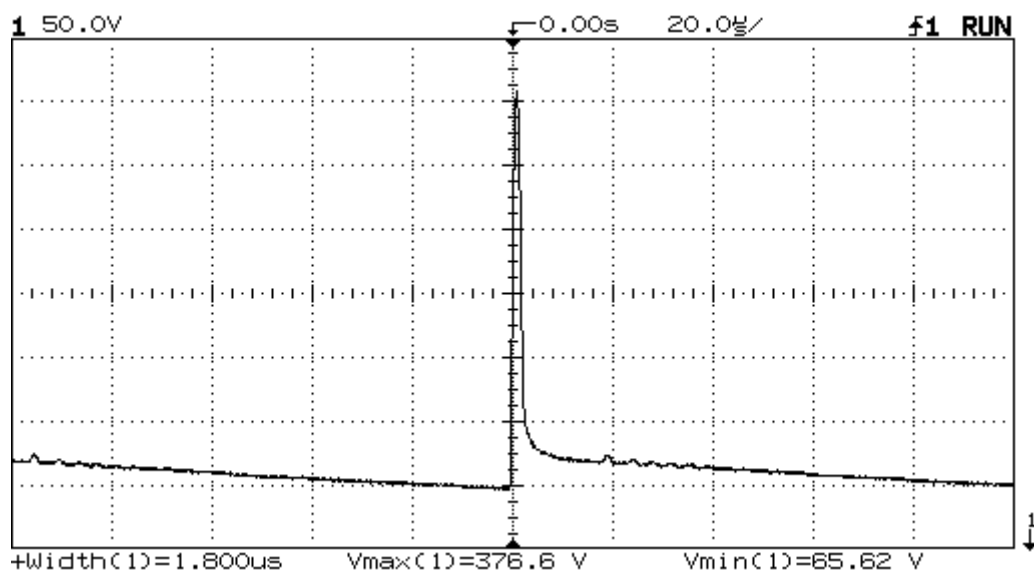


fig. 1.2

MONOSTABILE

Il blocco “monostabile” è costituito dall'integrato IC2B, da R_{12} e da C_{14} . Le radiazioni provocano l'arrivo di segnali al clock di IC2B; ma dato che questi ultimi sono molto discontinui e variabili in ampiezza poiché dipendono direttamente dal numero di particelle radioattive che giungono al tubo vengono prima filtrati da un gruppo di componenti (R_8 - R_9 - C_9 - C_{11}) in modo renderli accettabili dall'integrato che segue. L'integrato IC2B è un bistabile che grazie al collegamento di D al positivo (mantiene D allo stato logico 1) e all'azione di R_{12} e C_{14} funziona da “monostabile”. Il circuito trasforma il segnale discontinuo in ingresso in un segnale che sta alto per un tempo fissato dalla costante di tempo $R_{12} \cdot C_{14}$ (1mS). Il segnale deve essere necessariamente modificato dal “monostabile” poiché deve avere caratteristiche di durata ben precise per essere riconosciuto dal contatore.

CONTATORE DECADICO

Il contatore 4017 è un contatore BCD provvisto di 10 uscite (da Q0 a Q9) che vengono attivate una alla volta in relazione al numero di impulsi pervenuti sull'ingresso di clock. L'uscita Q0 del contatore non è collegata a nessun led poiché corrisponde alla situazione di 0 impulsi contati e di radioattività nulla. Quindi l'accensione di questo eventuale led creerebbe solo confusione. Questo contatore ha la particolarità di convertire l'uscita del carry-out da 1 a 0 quando il conteggio passa da 4 a 5, uscita collegata al reset del bistabile IC2A. Il contatore viene "resettato" ogni circa 14 secondi da un circuito di reset temporizzato. Quindi il numero dell'uscita attivata dipende dal prodotto tra la frequenza di clock e il tempo di inattività del reset (coincidente praticamente col periodo):

$$N = f_{clk} \cdot T_{reset}$$

RESET TEMPORIZZATO

Il reset temporizzato è composto dall'inverter IC1B e da C13-R11 (che costituiscono un circuito formatore di impulsi). IC1B genera un segnale ad onda quadra con periodo di circa 14 secondi.

Il circuito formatore di impulsi fa in modo di creare un segnale impulsivo su R11 in corrispondenza dei fronti di salita (positivo) e in corrispondenza di quelli di discesa (negativo). Gli impulsi negativi vengono eliminati dal contatore mentre quelli positivi resettano il contatore.

ALLARME ACUSTICO

Il carry-out del contatore è collegato al reset dell'integrato IC2A (che è un bistabile), in questo modo quando il contatore passa nel conteggio da 4 a 5 porta a 0 il reset di IC2A permettendo all'integrato di funzionare. Al clock di IC2A giunge il segnale prodotto da IC1D che è di tipo impulsivo come si può notare dal grafico di fig. 2.1, il segnale sta alto infatti per 4 ms e basso per 418,5 ms. IC2A trasforma questo tipo di segnale in uno ad onda quadra con duty-cycle 50% e frequenza dimezzata rispetto a quella del segnale applicato in ingresso. IC2A funziona in questo modo particolare grazie al collegamento fra Q negato e D. Il segnale in uscita da IC2A quando è a 1 blocca l'oscillatore IC1C e quando è a 0 permette invece a IC1C di funzionare. quindi dato che IC1C alimenta ($f=1.8\text{KHz}$) il cicalino piezoelettrico CP1, quest'ultimo emetterà un suono intermittente quando lo strumento rileva la prima soglia allarmante di radioattività.

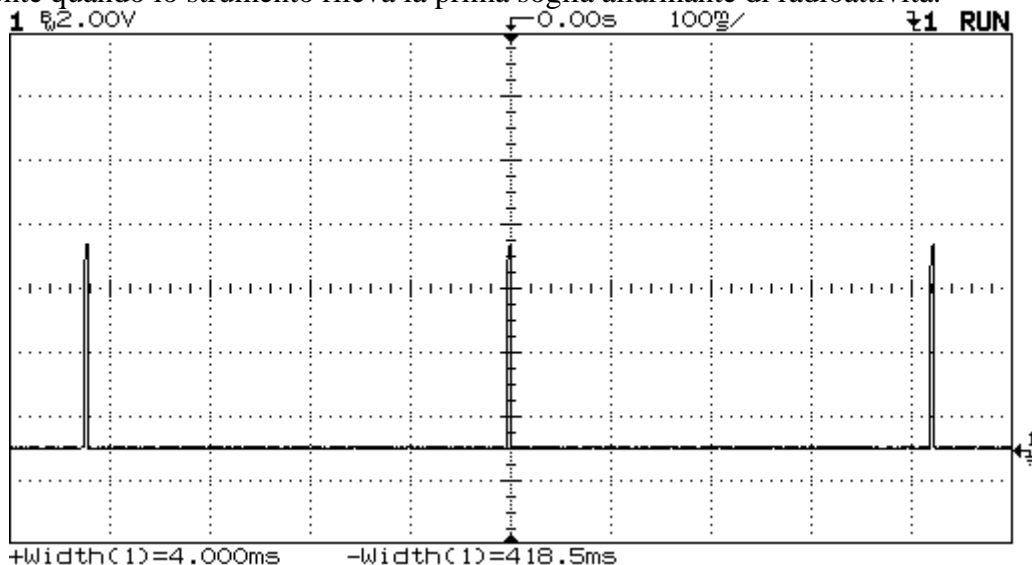


fig. 2.1

Il segnale di clock di IC2A risulta impulsivo poiché come si può notare dal grafico di fig. 2.2, che evidenzia la tensione ai capi di C₁₅; la costante di tempo di carica risulta molto inferiore a quella di scarica:

$$\tau_c = \frac{R_{14} \cdot R_{15}}{R_{14} + R_{15}} \cdot C_{15} \cong 2,2ms$$

$$\tau_s = R_{15} \cdot C_{15} \cong 1s$$

e quindi T1 (tempo in cui il segnale sta alto) è molto inferiore a T0 (tempo in cui il segnale sta basso):

$$T_1 = 0,69 \cdot \tau_c \cong 1,52ms$$

$$T_0 = 0,69 \cdot \tau_s \cong 690ms$$

T1 e T0 calcolati risultano diversi da quelli misurati sia per il fatto che le soglie LTL e UTL non sono quelle ipotizzate (cioè 1/3 Vcc e 2/3 Vcc), sia dal fatto che i componenti presentano una certa tolleranza. Infatti consultando il manuale le soglie risultano essere quelle riportate nella seguente tabella:

PARAMETRI	VALORI @25°C			UNITA'
	Min.	Tip.	Max	
UTL	4,6	5,9	7,1	V
LTL	2,5	3,9	5,2	V

I valori riportati in tabella si riferiscono ad una temperatura di 25°C e ad una tensione di alimentazione di 10V.

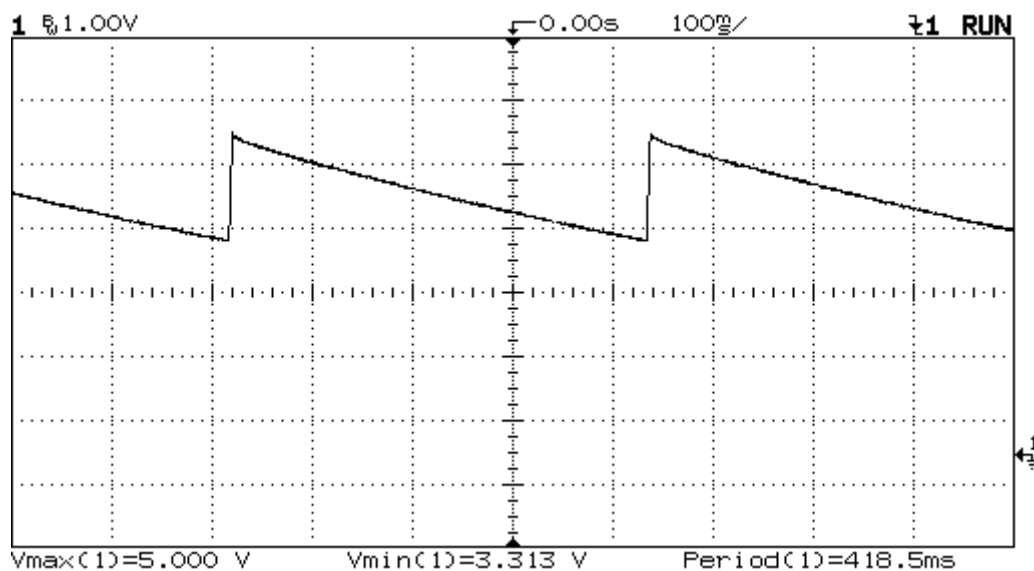


fig. 2.2

VISUALIZZATORE A LED

Il visualizzatore è costituito da 9 led collegati alle uscite da 1 a 9 del contatore (IC3). L'uscita Q0, come già detto, non è collegata a nessun led poiché sarebbe attiva per valori di radioattività nulli e quindi creerebbe solo confusione. I led sono 4 verdi e 5 rossi l'accensione di ogni led corrisponde ad un determinato valore di radioattività e i valori pericolosi sono quelli associati ai led rossi. Inoltre ricordiamo che in corrispondenza dell'accensione del primo led rosso si mette in funzione anche l'allarme acustico intermittente.

CONTROLLO LIVELLO BATTERIA

Il blocco che effettua il controllo del livello di carica della batteria è costituito da IC1F da IC1E dal diodo zener DZ1 e dal transistor TR1. Quando la tensione di batteria scende al di sotto della tensione di zener (7.5V) DZ1 smette di condurre provocando l'interdizione del transistor quindi portando a livello logico 1 l'ingresso di IC1E; il livello logico in uscita alla porta sarà quindi 0 ed il diodo DS1 rimarrà interdetto permettendo così all'oscillatore IC1F di funzionare, DS2 condurrà e il diodo DL9 si accenderà in modo intermittente con una frequenza di 1,55Hz. La segnalazione di batteria scarica non può essere confusa con l'allarme di elevata radioattività poiché oltre al fatto che il led lampeggia in modo visibile non è in funzione l'allarme acustico.

Bibliografia:

Paul W. Zitzewitz / Robert F. Neff - *Fisica principi e problemi* - Editrice Mc Graw-Hill

Giovanni Treccani - *Enciclopedia Italiana*, vol. XXVIII

Partlist V3.21 16-May-89

(C) Copyright 1985,1986,1987 OrCAD Systems Corporation ALL RIGHTS RESERVED.

Opening "A:\lx788.sch"

Opening "A:\lx788.sch"

Opening "A:\lx788.sch"

CONTATORE GEIGER LX788

Revised: June 14, 1996

Revision:

ELENCO COMPONENTI 1

June 14, 1996 11:49:44 Page 1

Item	Quantity	Reference	Part
1	2	C1,C12	10uF,16V,,,
2	1	C2	100nF,,,,
3	1	C7	47pF,VHF,,,
4	1	C8	12nF,,,,
5	1	C9	33pF,,,,
6	1	C10	6.8nF,,,,
7	1	C11	47pF,,,,
8	1	C13	4.7nF,,,,
9	1	C14	10nF,,,,
10	4	DL1,DL2,DL3,DL4	LED VERDE,,,,
11	5	DL5,DL6,DL7,DL8,DL9	LED ROSSO,,,,
12	1	DS3	1N4150,,,,
13	1	DS4	1N4007,,,,
14	1	IC1	40106,,,,
15	1	IC2	4013,,,,
16	1	IC3	4017,,,,
17	1	JAF1	10mH,,,,
18	1	R5	10M,1/2W,,,
19	1	R6	10K,,,,

20	1	R7	22K,,,
21	3	R8,R11,R12	100K,,,
22	1	R9	15K,,,
23	1	R10	1M,,,
24	1	R13	1K,,,
25	1	TR2	2N3439,,,

26 1 TUBO GEIGER SE2.20,,, Partlist V3.21 16-May-89
 (C) Copyright 1985,1986,1987 OrCAD Systems Corporation ALL RIGHTS RESERVED.
 Opening "A:\lx788a.sch"
 Opening "A:\lx788a.sch"
 Opening "A:\lx788a.sch"

Revised: June 14, 1996
 Revision:

ELENCO COMPONENTI 2

June 14, 1996 11:50:22 Page 1

Item	Quantity	Reference	Part
1	1	C3	470nF,,,
2	2	C4,C5	100nF,,,
3	1	C6	100uF,16V,,
4	1	C15	10uF,16V,,
5	1	C16	1nF,,,
6	1	CP1	CICALINO,,,
7	1	DL10	LED,,,
8	4	DS1,DS2,DS5,DS6	1N4150,,,
9	1	DZ1	7,5V,0,5W,,
10	1	IC1	40106,,,
11	1	IC2	4013,,,
12	1	R1	10k,,,

13	1	R2	10K,,,,
14	1	R3	56K,,,,
15	1	R4	1M,,,,
16	1	R14	220,,,,
17	1	R15	100K,,,,
18	2	R16,R18	1K,,,,
19	1	R17	390K,,,,
20	1	S1	250V,2A,,,
21	1	TR1	BC237,,,,

SOMMARIO

INTRODUZIONE	2
IL DECADIMENTO RADIOATTIVO	2
REAZIONI ED EQUAZIONI NUCLEARI.....	2
TABELLA TEMPI DI DIMEZZAMENTO	3
SCHEMA A BLOCCHI	3
CIRCUITO ELETTRICO.....	4
DESCRIZIONE DELLO SCHEMA A BLOCCHI.....	4
TUBO GEIGER.....	5
ELEVATORE DI TENSIONE.....	5
MONOSTABILE	6
CONTATORE DECADICO	7
RESET TEMPORIZZATO	7
ALLARME ACUSTICO	7
VISUALIZZATORE A LED	9
CONTROLLO LIVELLO BATTERIA	9
<i>ELENCO COMPONENTI 1</i>	10
<i>ELENCO COMPONENTI 2</i>	11