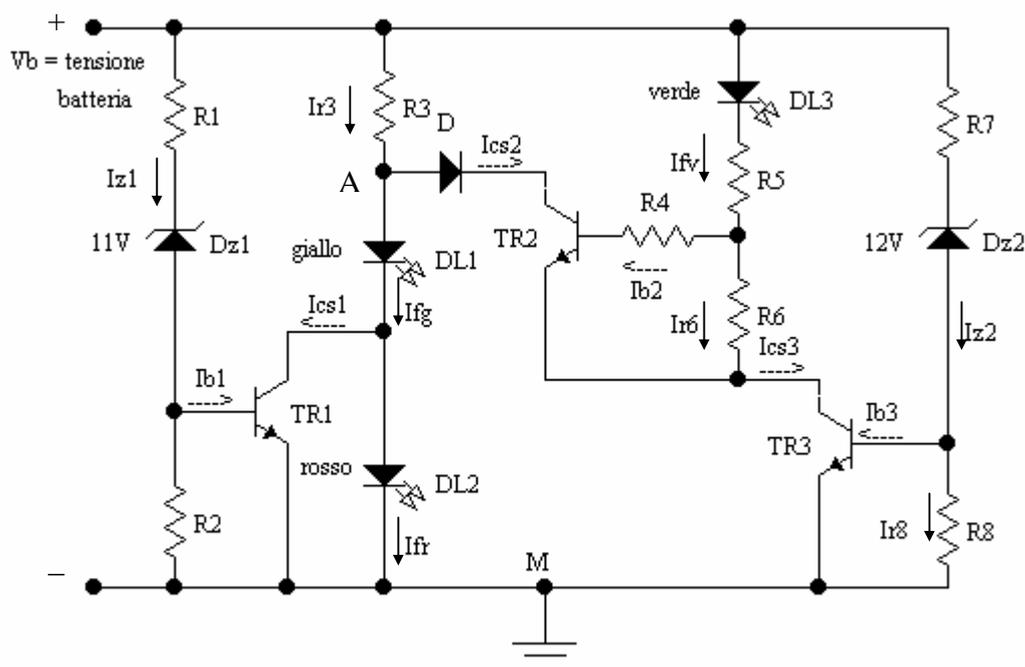


PROGETTO E VERIFICA DEL FUNZIONAMENTO DI UN CIRCUITO DI SEGNALAZIONE DELLO STATO DI CARICA DELLA BATTERIA DI UNA AUTOMOBILE REALIZZATO CON IL TRANSISTOR BC237B

SCHEMA DEL CIRCUITO



La tabella riassume la modalità di segnalazione del circuito.

Tensione batteria V_B	LED			Stato Batteria
	Rosso	Giallo	Verde	
$V_B < 11,35V$	Acceso	Acceso	Spento	Sottocarica
$11,35V \leq V_B \leq 12,5V$	Spento	Acceso	Spento	Normale
$V_B > 12,5V$	Spento	Spento	Acceso	Sovraccarica

Funzionamento del circuito

Il transistor TR1 entra in conduzione quando la tensione $V_B \cong 11,5V$; il transistor TR3 entra in conduzione quando la tensione $V_B \cong 12,5V$.

Se la tensione $V_B < 11,5V$ i diodi zener DZ1 e DZ2 sono polarizzati inversamente, ma non sono in conduzione inversa. Poiché nei rami con i diodi non può circolare corrente, risultano nulle le differenze di potenziale ai capi delle resistenze R_1, R_2, R_7, R_8 , e, quindi, sono nulle anche le tensioni base-emettitore, V_{BE1} e V_{BE3} , dei transistor TR1 e TR3; tali transistor risultano, pertanto, interdetti. Lo stato di interdizione del transistor TR3 provoca anche l'interdizione del transistor TR2,

risultando nulle le correnti I_{C3} e I_{FV} . L'unico ramo in conduzione è quello contenente la resistenza R_3 e i diodi LED giallo e rosso. Tali diodi risulteranno accesi, segnalando batteria sottocarico.

Il transistor TR1 entra in conduzione quando la tensione $V_B \cong V_{Z1} + V_{BE1} \cong 10,8 + 0,7 = 11,5V$, ossia circola una corrente I_{R2} sufficiente a portare la tensione $V_{BE} = V_{R2}$ a circa 0,7V.

Se la tensione V_B risulta compresa tra 11,5V e 12,5V ($11,5V \leq V_B \leq 12,5V$), il diodo D_{Z1} conduce inversamente e il diodo D_{Z2} è interdetto, mantenendo interdetto anche il transistor TR2. il transistor TR1, se $V_{BE} = V_{R2}$ è sufficientemente alta, va in saturazione, portando a circa zero volt la tensione ai capi del diodo LED rosso e provocandone lo spegnimento. Il diodo LED giallo continua a rimanere acceso, collegato a massa dal transistor TR1 saturo. Il solo diodo LED acceso è il giallo e segnala batteria normalmente carica ($11,5V \leq V_B \leq 12,5V$).

Se la tensione $V_B > 12,5V$, i diodi D_{Z1} e D_{Z2} sono entrambi in conduzione inversa. Anche il transistor TR3 va in saturazione portando in conduzione il ramo con il diodo LED verde e in saturazione il transistor TR2. il diodo LED verde risulta acceso. La tensione V_{AM} risulterà

$$V_{AM} \leq V_{\gamma} + V_{CES2} + V_{CES3} = 0,7 + 0,4 + 0,4 = 1,5V ,$$

valore di tensione insufficiente a porta in conduzione il diodo LED giallo. L'unico diodo LED acceso p quello verde e segnala batteria sovraccarica.

Dimensionamento del circuito

Si utilizzano tre BJT BC237B, il cui $h_{FEMIN} = 200$; inoltre, $V_{BES} \cong 0,8V$ e $V_{CES} = 0,2V$.

Si utilizzano diodi zener da $\frac{1}{2}W$ con tensione nominale di zener di 11V e 12V, che consentono una corrente massima di 40mA.

Per il diodo si utilizza l'1N4148, un diodo di segnale di bassa potenza.

I diodi LED (rosso, giallo, verde) hanno una tensione di soglia di conduzione $V_F \cong 2V$ e viene consigliata una corrente $I_F = 10mA$.

Assumendo $V_B = 10V$, tutti i transistor sono interdetti. Unico ramo in conduzione è quello con i diodi LED rosso e giallo. Con $V_F = 2V$ e $I_F = 5mA$, si calcola il valore di R_3 :

$$R_3 = \frac{V_B - V_{FG} - V_{FR}}{I_F} = \frac{10 - 2 - 2}{5 \cdot 10^{-3}} = 1,2k\Omega .$$

Assumendo $V_B = 12V$, il transistor TR1 risulta saturo e i transistor TR2 e TR3 sono interdetti. Il diodo LED rosso è spento e la corrente I_{FG} del diodo LED giallo è uguale alla corrente di saturazione I_{CS1} :

$$I_{CS1} = \frac{V_B - V_{FG} - V_{CES1}}{R_3} = \frac{12 - 2 - 0,2}{1,2 \cdot 10^3} = 8,17mA .$$

Si calcola il valore I_{BMIN1} che provoca la saturazione di TR1:

$$I_{BMIN1} = \frac{I_{CS1}}{h_{FEMIN}} = \frac{8,17 \cdot 10^{-3}}{200} = 48,8\mu A .$$

Si assumono i valori $I_{B1} = 2mA$, che assicura la forte saturazione del transistor TR1, e $I_{R2} = 0,08mA \ll I_B$. con tali valori si ha:

$$R_1 = \frac{V_B - V_{Z1} - V_{BES1}}{I_{Z1}} = \frac{12 - 11 - 0,8}{2,08 \cdot 10^{-3}} = 96\Omega, \text{ valore commerciale } 100\Omega.$$

$$R_2 = \frac{V_{BES1}}{I_2} = \frac{0,8}{0,08 \cdot 10^{-3}} = 10k\Omega.$$

Assumendo $V_B = 13V$, tutti i transistor sono saturi; si calcola il valore di I_{CS2} :

$$I_{CS2} = \frac{V_B - V_{CES2} - V_{CES1}}{R_3} = \frac{13 - 0,2 - 0,2}{1,2 \cdot 10^3} = 10,5mA.$$

Si calcola il valore I_{BMIN2} che provoca la saturazione di TR2:

$$I_{BMIN2} = \frac{I_{CS2}}{h_{FEMIN}} = \frac{10,5 \cdot 10^{-3}}{200} = 52,5\mu A.$$

Si assume $I_{B2} = 1mA$. Si assume $I_{FV} = 10mA$ e si calcola I_{R6} :

$$I_{R6} = I_{FV} - I_{B2} = 10 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3} = 9mA.$$

Si pone $V_{R6} = R_6 I_{R6} = 3,5V \Rightarrow R_6 = \frac{V_{R6}}{I_{R6}} = \frac{3,5}{9 \cdot 10^{-3}} = 390\Omega.$

Si calcola R_5 : $R_5 = \frac{V_B - V_{FV} - V_6 - V_{CES3}}{I_{FV}} = \frac{12,5 - 2 - 3,5 - 0,2}{10 \cdot 10^{-3}} = 680\Omega.$

Applicando il II Principio di Kirchhoff alla maglia di base del transistor TR2, si ha:

$$V_{BES2} + R_4 I_{B2} - V_{R6} = 0 \Rightarrow R_4 = \frac{V_{R6} + V_{BES2}}{I_{B2}} = \frac{3,5 + 0,8}{1 \cdot 10^{-3}} = 2,7k\Omega.$$

$$I_{CS3} = I_{CS2} + I_{B2} + I_{R6} = 10,5 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-3} + 9 \cdot 10^{-3} = 20,5mA.$$

$$I_{BMIN3} = \frac{I_{CS3}}{h_{FEMIN}} = \frac{20,5 \cdot 10^{-3}}{200} = 0,1025mA.$$

Si assume $I_{B2} = 1mA \Rightarrow R_8 = \frac{V_{BES3}}{I_{R8}} = \frac{0,8}{0,08 \cdot 10^{-3}} = 10k\Omega$

e $I_{B3} = 2mA \Rightarrow I_{Z2} = I_{B3} + I_{R8} = 2 \cdot 10^{-3} + 0,08 \cdot 10^{-3} = 2,08mA \Rightarrow$

$$\Rightarrow R_7 = \frac{V_B - V_{Z2} - V_{BES2}}{I_{Z2}} = \frac{13 - 12 - 0,8}{2,08 \cdot 10^{-3}} = 96,1\Omega, \text{ valore commerciale } 100\Omega.$$

Riassumendo: $R_1 = 100\Omega$; $R_2 = 10k\Omega$; $R_3 = 1,2k\Omega$; $R_4 = 2,7k\Omega$; $R_5 = 680\Omega$; $R_6 = 390\Omega$;

$R_7 = 100\Omega$; $R_8 = 10k\Omega$; 1 diodo 1N4148 ; 3 BJT BC237B ; 1 zener 11V $\frac{1}{2}W$;
1 zener 12V $\frac{1}{2}W$.

Calcolo dei valori da misurare

Il calcolo dei valori teorici può essere eseguito, senza appesantimento di calcolo, per i valori in cui i transistor sono sicuramente saturi o/e interdetti.

– Tensione di batteria $V_B = 10V$

Tutti i transistor risultano sicuramente interdetti.

$$V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE3} = 0 \quad ; \quad V_{CE1} = V_{FR} = V_{FG} = 2V \quad ; \quad V_{FV} < 2V \quad ; \quad V_{CE3} > 8V$$

$$V_{Z1} = V_{Z2} = 10V \quad ; \quad V_{R1} = V_{R2} = V_{R4} = V_{R5} = V_{R6} = V_{R7} = V_{R8} = 0 \quad ; \quad V_{R3} = 6V$$

$$V_{CES2} \approx 0 \quad ; \quad I_{CS1} = I_{CS2} = I_{CS3} = 0 \quad ; \quad I_{R1} = I_{R2} = I_{Z1} = 0 \quad ; \quad I_{R4} = I_{R5} = I_{R6} = I_{FV} = 0$$

$$I_{R7} = I_{R8} = I_{Z2} = 0 \quad ; \quad I_{B1} = I_{B2} = I_{B3} = 0 \quad ; \quad I_{R3} = I_{FG} = I_{FR} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{6}{1,2 \cdot 10^3} = 5mA$$

– Tensione di batteria $V_B = 12V$

TR1 saturo ; TR2 e TR3 interdetti.

$$V_{BE1} = 0,8V \quad ; \quad V_{BE2} = V_{BE3} = 0 \quad ; \quad V_{CE1} = V_{FR} = 0,2V \quad ; \quad V_{FV} = V_{FG} < 2V \quad ; \quad V_{R3} = 9,8V$$

$$V_{CE3} > 10V \quad ; \quad V_{CES2} \approx 0 \quad ; \quad V_{R1} = 0,2V \quad ; \quad V_{R2} = 0,8V \quad ; \quad V_{Z1} = 11V \quad ; \quad V_{Z2} = 12V$$

$$V_{R4} = V_{R5} = V_{R6} = V_{R7} = V_{R8} = 0 \quad ; \quad I_{R1} = I_{Z1} = 2,08mA \quad ; \quad I_{R2} = 0,08mA$$

$$I_{R4} = I_{R5} = I_{R6} = I_{FV} = I_{FR} = 0 \quad ; \quad I_{R7} = I_{R8} = I_{Z2} = 0 \quad ; \quad I_{B1} = 2mA \quad ; \quad I_{B2} = I_{B3} = 0$$

$$I_{CS1} = I_{CS2} = I_{CS3} = 0 \quad ; \quad I_{R3} = I_{FG} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{9,8}{1,2 \cdot 10^3} = 8,17mA$$

– Tensione di batteria $V_B = 13V$

Tutti i transistor risultano sicuramente saturi.

$$V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE3} = 0,8V \quad ; \quad V_{CES1} = V_{CES2} = V_{CES3} \approx 0,2V \quad ; \quad V_{FR} = 0,2V$$

$$V_{FG} = V_{\gamma} + V_{CES2} + V_{CES3} - V_{CES1} = 0,7 + 0,2 + 0,2 - 0,2 = 0,9V \quad ; \quad V_{FV} = 2V \quad ; \quad V_{R3} = 11,9V$$

$$V_{R1} = V_B - V_{Z1} - V_{BE1} = 13 - 11 - 0,8 = 1,2V \quad ; \quad V_{R2} = 0,8V \quad ; \quad V_{Z1} = 11V \quad ; \quad V_{Z2} = 12V$$

$$V_{R7} = 0,2V \quad ; \quad V_{R8} = 0,8V \quad ; \quad V_{R5} = V_B - V_{FV} - V_{R6} - V_{CES3} = 13 - 2 - 3,5 - 0,2 = 7,3V$$

$$V_{R6} = 3,5V \quad ; \quad V_{R4} = V_{R6} - V_{BE2} = 3,5 - 0,8 = 2,7V \quad ; \quad I_{R1} = I_{Z1} = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{1,2}{100} = 12mA$$

$$I_{R2} = 0,08mA \quad ; \quad I_{B1} = 1,92mA \quad ; \quad I_{FG} = I_{FR} = 0 \quad ; \quad I_{R8} = 0,08mA \quad ; \quad I_{R7} = I_{Z2} = \frac{V_{R7}}{R_7} = \frac{0,2}{100} = 2mA$$

$$I_{B3} = I_{R7} - I_{R8} = 1,92mA \quad ; \quad I_{CS2} = I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{11,9}{1,2 \cdot 10^3} = 9,92mA \quad ; \quad I_{CS1} = 0$$

$$I_{B2} = I_{R4} = \frac{V_{R4}}{R_4} = \frac{2,7}{2,7 \cdot 10^3} = 1mA \quad ; \quad I_{R6} = \frac{V_{R6}}{R_6} = \frac{3,5}{390} = 8,97mA$$

$$I_{FV} = I_{R5} = \frac{V_{R5}}{R_5} = \frac{7,3}{680} = 10,73mA \quad ; \quad I_{CS3} = I_{CS2} + I_{B1} + I_{R6} = 19,89mA$$

Procedimento di verifica

1. Si monta il circuito; si collega il generatore variabile e si controlla, variando la tensione V_B da 10V a 13V il corretto funzionamento del circuito, verificando la tabella di funzionamento.
2. Si tara V_B a 10V e si misurano le tensioni:

$$V_{BE1} \quad ; \quad V_{BE2} \quad ; \quad V_{BE3} \quad ; \quad V_{CE1} \quad ; \quad V_{CE2} \quad ; \quad V_{CE3} \quad ; \quad V_{CE1} \quad ; \quad V_{FR} \quad ; \quad V_{FG} \quad ; \quad V_{FV} \quad ;$$

$$V_{R1} \quad ; \quad V_{R2} \quad ; \quad V_{R3} \quad ; \quad V_{R4} \quad ; \quad V_{R5} \quad ; \quad V_{R6} \quad ; \quad V_{R7} \quad ; \quad V_{R8} \quad ; \quad V_{Z1} \quad ; \quad V_{Z2}.$$

3. Utilizzando i valori misurati si calcolano le correnti:

$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R_1} \quad ; \quad I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} \quad ; \quad I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} \quad ; \quad I_{R4} = \frac{V_{R4}}{R_4} \quad ; \quad I_{R5} = \frac{V_{R5}}{R_5} \quad ; \quad I_{R6} = \frac{V_{R6}}{R_6} \quad ;$$

$$I_{R7} = \frac{V_{R7}}{R_7} \quad ; \quad I_{R8} = \frac{V_{R8}}{R_8} \quad ; \quad I_{Z1} = I_{R1} \quad ; \quad I_{Z2} = I_{R7} \quad ; \quad I_{B1} = I_{R1} - I_{R2} \quad ; \quad I_{B2} = I_{R4} = \frac{V_{R4}}{R_4} \quad ;$$

$$I_{C3} = I_{C2} + I_{R6} \quad ; \quad I_{FV} = I_{R5} = \frac{V_{R5}}{R_5}$$

$$I_{FR} = \begin{cases} I_{R3} & \text{se TR1, TR2, TR3 interdetti} \\ 0 & \text{se TR1 saturo} \end{cases}$$

$$I_{FG} = \begin{cases} I_{R3} & \text{se TR2, TR3 interdetti} \\ 0 & \text{se TR2, TR3 saturati} \end{cases}$$

$$I_{C1} = \begin{cases} 0 & \text{se TR1 interdetti} \\ I_{R3} & \text{se TR1 saturo e TR2, TR3 interdetti} \\ 0 & \text{se TR1, TR2, TR3 saturi} \end{cases}$$

$$I_{C2} = \begin{cases} 0 & \text{se TR2 interdetti} \\ I_{R3} & \text{se TR2 saturo} \end{cases}$$

4. Si riportano i dati in una tabella.
5. Si ripetono i punti 2, 3, 4 per i seguenti valori di V_B : 11V, 12V, 13V.
6. Partendo dal valore 11V, si aumenta il valore di V_B fino a che si spegne il LED rosso. Si riporta tale valore nella tabella e si ripetono i punti 3, 3, 4.
7. Si continua ad aumentare V_B fino a che si spegne il LED giallo e si accende il LED verde., si ripetono i punti 2,3,4.
8. Si confrontano i valori misurati con quelli previsti teoricamente.

I valori misurati confermano il corretto funzionamento del circuito e l'esattezza dei valori calcolati.

Valori misurati																			
Batt	TR1		TR2		TR3		LED			Resistenze								Zener	
Volt	Volt		Volt		Volt		Volt			Volt								Volt	
V _B	V _{BE1}	V _{CE1}	V _{BE2}	V _{CE2}	V _{BE3}	V _{CE3}	V _{FR}	V _{FG}	V _{FV}	V _{R1}	V _{R2}	V _{R3}	V _{R4}	V _{R5}	V _{R6}	V _{R7}	V _{R8}	V _{Z1}	V _{Z2}
10	0	1,98	0	0,07	0	8,52	1,98	1,89	1,5	0	0	6,14	0	0	0	0	0	10	10
11	0,45	1,99	0	0,04	0	9,5	1,99	1,90	1,5	0,044	0,44	7,1	0	0	0	0	0	10,54	10,99
11,25	0,72	0,12	0	0,04	0	9,76	0,12	1,93	1,49	0,016	0,702	9,19	0	0	0	0	0	10,54	11,23
12	0,793	0,04	0	0,07	0,22	10,5	0,04	1,94	1,5	0,04	0,793	10,02	0	0	0	0	0,22	10,70	11,78
12,53	0,799	0,02	0,748	0,05	0,735	0,22	0,02	1,00	2,03	0,09	0,799	11,5	2,73	6,77	3,48	0,02	0,735	10,82	11,78
13	0,815	0,02	0,751	0,05	0,795	0,07	0,02	0,842	2,04	1,26	0,815	12,14	2,95	7,2	3,7	0,28	0,795	10,94	11,91
////////////////////////////////////																			
Volt	mA		mA		mA		mA			mA	μA	mA						mA	
V _B	I _{B1}	I _{C1}	I _{B2}	I _{C2}	I _{B3}	I _{C3}	I _{FR}	I _{FG}	I _{FV}	I _{R1}	I _{R2}	I _{R3}	I _{R4}	I _{R5}	I _{R6}	I _{R7}	I _{R8}	I _{Z1}	I _{Z2}
10	0	0	0	0	0	0	5,12	5,12	0	0	0	5,12	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	5,12	5,12	0	0,044	0,044	5,92	0	0	0	0	0	0,044	0
11,25	0,09	0	0	0	0	0	0	7,66	0	0,16	0,07	7,66	0	0	0	0	0	0,16	0
12	0,32	0	0	0	0	0	0	8,35	0	0,4	0,079	8,35	0	0	0	0	0,22	0,4	0
12,53	8,92	0	1,01	9,58	0,127	18,5	0	0	9,95	9	0,08	9,58	1,01	9,95	8,92	0,2	0,073	9	0,2
13	12,59	0	1,09	10,12	2,72	20,71	0	0	10,59	12,6	0,081	10,12	1,09	10,59	9,49	2,8	0,079	12,6	2,8
////////////////////////////////////																			
Valori calcolati																			
Batt	TR1		TR2		TR3		LED			Resistenze								Zener	
Volt	Volt		Volt		Volt		Volt			Volt								Volt	
V _B	V _{BE1}	V _{CE1}	V _{BE2}	V _{CE2}	V _{BE3}	V _{CE3}	V _{FR}	V _{FG}	V _{FV}	V _{R1}	V _{R2}	V _{R3}	V _{R4}	V _{R5}	V _{R6}	V _{R7}	V _{R8}	V _{Z1}	V _{Z2}
10	0	2	0	0	0	> 8	2	2	< 2	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10
12	0,8	0,2	0	0	0	> 10	0,2	< 2	< 2	0,2	0,8	9,8	0	0	0	0	0	11	12
13	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,2	0,9	2	1,2	0,8	11,9	2,7	7,3	2,7	0,2	0,8	11	12
////////////////////////////////////																			
Volt	mA		mA		mA		mA			mA	μA	mA						mA	
V _B	I _{B1}	I _{C1}	I _{B2}	I _{C2}	I _{B3}	I _{C3}	I _{FR}	I _{FG}	I _{FV}	I _{R1}	I _{R2}	I _{R3}	I _{R4}	I _{R5}	I _{R6}	I _{R7}	I _{R8}	I _{Z1}	I _{Z2}
10	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
12	2	0	0	0	0	0	0	8,17	0	2,08	0,08	8,17	0	0	0	0	0	2,08	0
13	11,92	0	1	9,92	2	19,89	0	0	10,73	12	0,08	9,92	1	10,73	8,97	2,08	0,08	12	2,08