

Circuiti Integrati : Regolatore di tensione lineare

Regolatore di tensione lineare

In generale i circuiti ed i sistemi elettronici per funzionare correttamente devono essere alimentati con una determinata potenza in dc, in cui per una fissata tensione è fornita la corrente che il carico deve assorbire.

Questo requisito può essere realizzato utilizzando la tensione in alternata a 220V a 50Hz e convertendola nella tensione in dc richiesta. Ciò si ottiene:

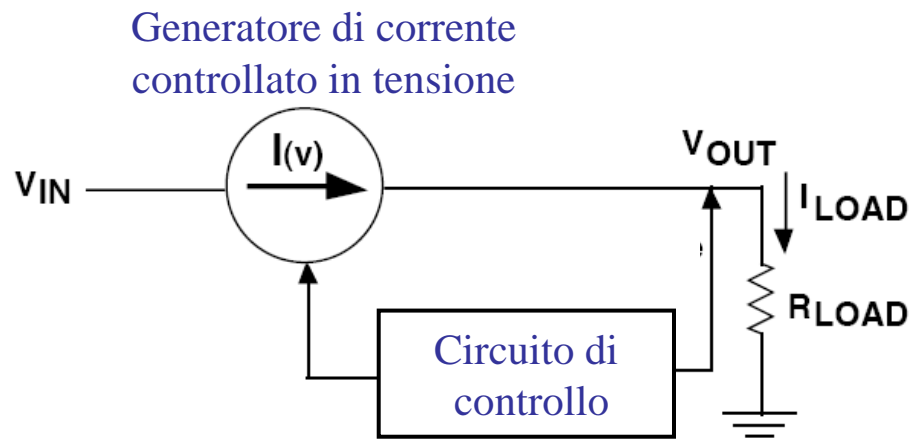
1. riducendo il livello della tensione mediante un trasformatore,
2. eliminando la semionda negativa (o quella positiva) mediante un rettificatore e
3. livellando il segnale rettificato tramite un filtro capacitivo.

Con i sistemi di alimentazione, realizzati mediante i 3 passi sopra esposti, esistono alcuni problemi:

- presenza di un “ripple” sulla tensione ottenuta.
- L'alimentazione di linea è irregolare (esistono delle brusche variazioni dei livelli di tensione), per cui all'uscita del sistema di alimentazione possono essere presenti degli “spike” di tensione e corrente in grado di distruggere i circuiti integrati presenti.
- La tensione d'uscita deve essere mantenuta costante nonostante che la resistenza del carico diminuisca bruscamente.

Regolatore di tensione lineare

Esiste un circuito integrato in grado di risolvere i problemi sopra descritti, esso è denominato regolatore di tensione. Il regolatore di tensione è progettato per aggiustare automaticamente la quantità di corrente fornita al carico in modo da mantenere costante la tensione in uscita.

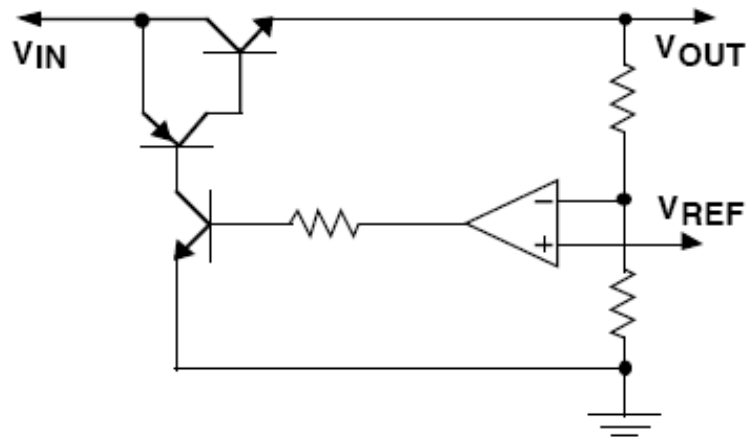
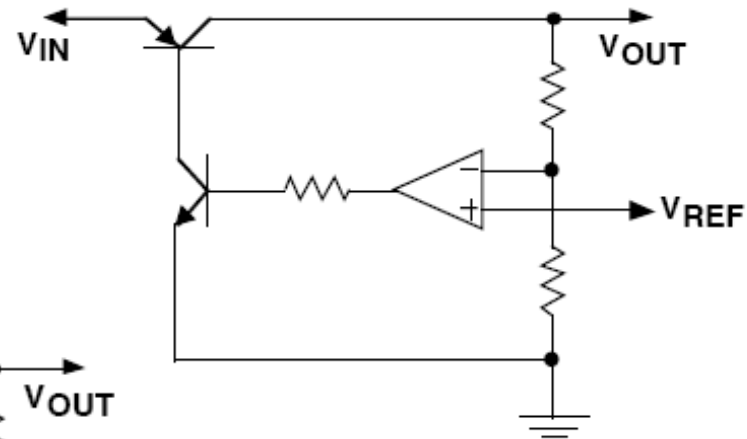
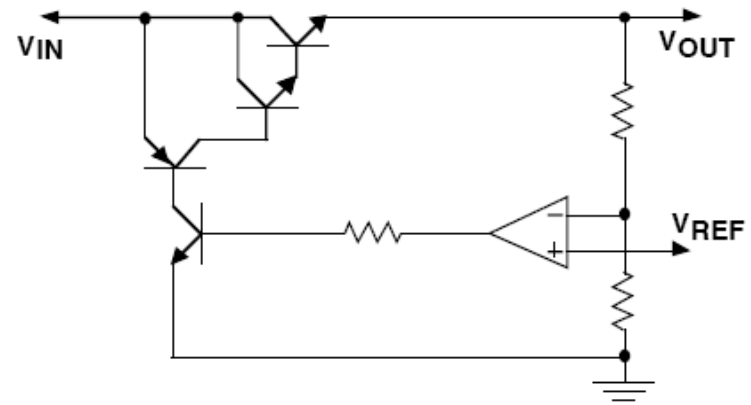


Il circuito di controllo rileva la V_{out} e varia la corrente del generatore in modo da mantenere la V_{out} desiderata. Ciò viene realizzato comparando la tensione in uscita con una tensione di riferimento e tramite un anello di retroazione. Pertanto in tale circuito deve essere prevista una compensazione per garantire la stabilità (realizzata internamente nella maggior parte dei IC).

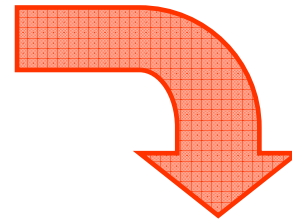
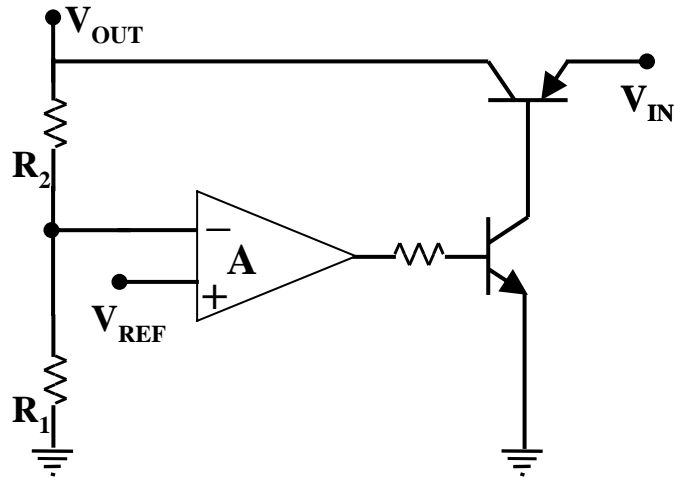
Regolatore di tensione lineare

Possono essere considerati 3 tipi di IC:

- 1) Regolatore standard
- 2) Regolatore low-dropout
- 3) Regolatore quasi low-dropout

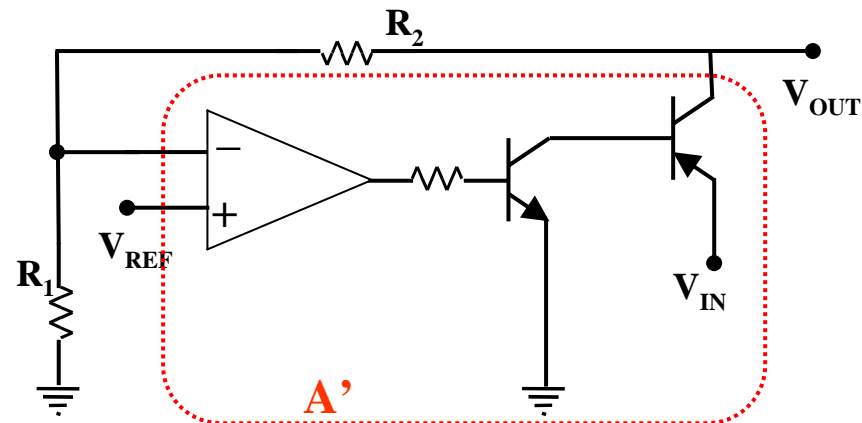


Regolatore di tensione lineare

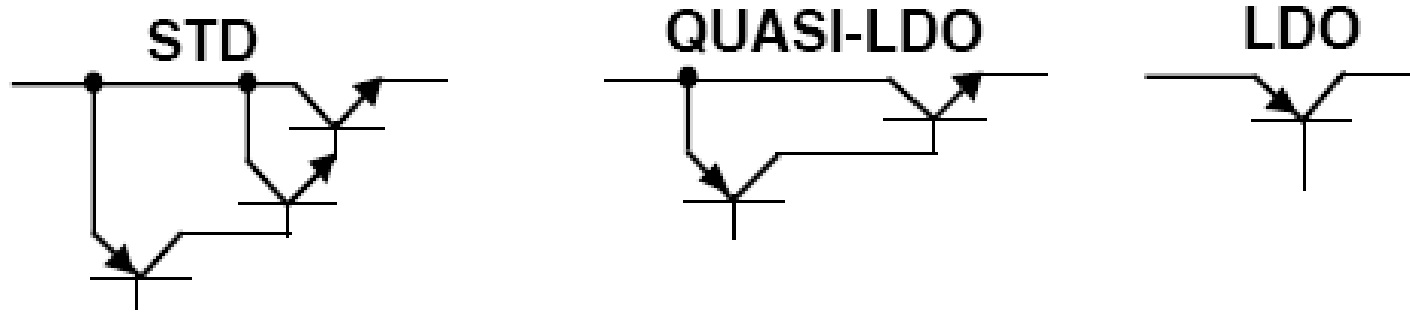


Se $A' \gg 1$

$$V_{OUT} = V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



Regolatore di tensione lineare



Il regolatore standard lavora correttamente se è verificata la condizione $V_{out} - V_{in} \geq 2V_{BE} + V_{CE}$.
La minima differenza di tensione tra uscita e ingresso (V_{DMIN}) è fissata dai produttori pari a $2.5V \div 3V$ per garantire le prestazioni specificate. $I_{LMAX} = 10A$

Il regolatore quasi-LDO lavora correttamente se è verificata la condizione $V_{out} - V_{in} \geq V_{BE} + V_{CE}$.
La V_{DMIN} è fissata pari a $1.5 V$ per garantire le prestazioni specificate. $I_{LMAX} = 7.5A$

Il regolatore LDO opera se è verificata la condizione $V_{out} - V_{in} \geq V_{CE}$.
La V_{DMIN} è fissata pari a $0.7V \div 0.8V$ per garantire le prestazioni specificate. $I_{LMAX} = 1A$

Regolatore di tensione lineari

La scelta di un particolare integrato dipende da varie caratteristiche, tra cui:

- La corrente di carico massima.
- Tipo di sorgente.
- Tolleranza ammessa per la V_{out} .
- Possibilità di variare la tensione in uscita.
- Valore positivo o negativo della tensione in uscita.

Nel caso di applicazioni alimentate mediante batterie i regolatori LDO rappresentano di solito la migliore scelta. Nel caso di sorgenti AC la caduta di tensione V_D non è un elemento critico per cui è preferibile la soluzione standard.

I regolatori di tensione possono essere suddivisi in:

- 1) Regolatori fissi
- 2) Regolatori variabili

I regolatori integrati, disponibili commercialmente, sono denominati con stringhe di caratteri con cui sono indicati la casa costruttrice (specificata con le prime due lettere μA , LM, MC), il tipo, la tensione fornita ed altre informazioni.

Regolatore di tensione lineari

Regolatori fissi a 3 terminali

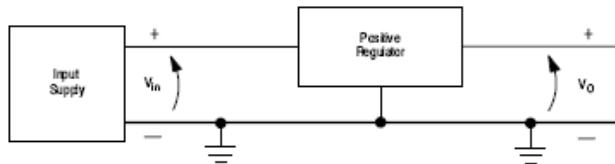
I vantaggi di questi regolatori sono:

- a) Facilità di utilizzo.
- b) Protezioni interne per sovracorrenti.
- c) Nessuna necessità di un circuito di aggiustamento.
- d) Basso costo.

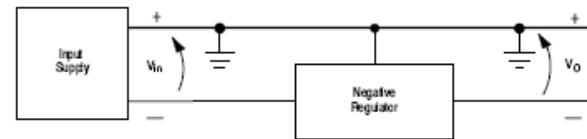
Gli svantaggi sono:

- a) La tensione in uscita non può essere aggiustata precisamente (esistono metodi per effettuare aggiustamenti limitati).
- b) Disponibili soltanto per certi valori di tensione e corrente in uscita.

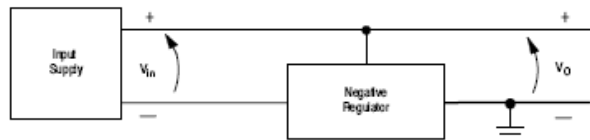
Esistono 2 tipi di regolatori fissi a 3 terminali: **positivi** e **negativi**.



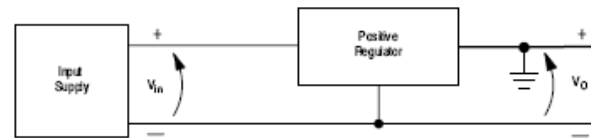
A) Uscita positiva con regolatore positivo



B) Uscita negativa con regolatore negativo



C) Uscita positiva con regolatore negativo



D) Uscita negativa con regolatore positivo

Regolatore di tensione lineari

Regolatori fissi a 3 terminali

Nelle configurazioni A e B la connessione di massa è mantenuta per cui si possono connettere più regolatori alla medesima alimentazione.

LM78xx : Questo tipo di dispositivo fornisce in uscita tensione positiva e corrente massima pari a 1.5 A. Le due cifre xx (05,06,08,10,12, ..., 24) indicano il particolare valore di tensione trattato.

LM79xx : Questo tipo di dispositivo fornisce in uscita tensione negativa e corrente massima pari a 1.5 A. Le due cifre xx (05,06,08,10,12, ..., 24) indicano il particolare valore di tensione trattato.

LM78Lxx : Questo tipo di dispositivo fornisce in uscita tensione positiva e corrente massima pari a 0.1 A. Le due cifre xx (05,06,08,10,12, ..., 24) indicano il particolare valore di tensione trattato.

LM79Lxx : Questo tipo di dispositivo fornisce in uscita tensione negativa e corrente massima pari a 0.1 A. Le due cifre xx (05,06,08,10,12, ..., 24) indicano il particolare valore di tensione trattato.

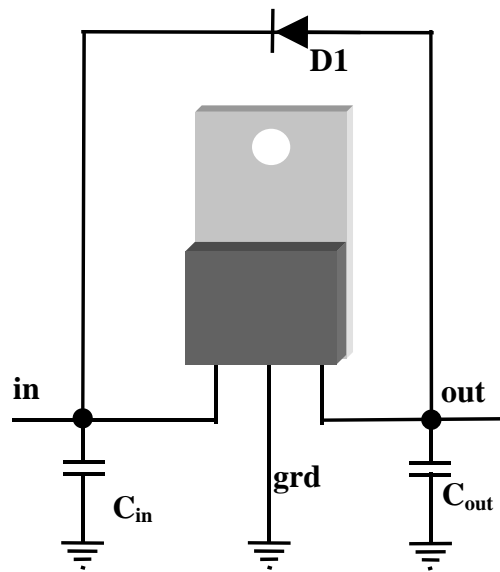
Regolatore di tensione lineari

Regolatori fissi a 3 terminali

Il condensatore C_{in} (1-10 μ F) è introdotto per prevenire problemi di innesco di oscillazioni.

Il condensatore C_{out} (0.01-0.1 μ F) permette di ridurre ulteriormente il ripple presente all'uscita dell'integrato.

I condensatori C_{out} e C_{in} se elettrolitici devono essere connessi tenendo conto della loro polarità, lavorando con integrati 78 o 78L il terminale negativo è connesso a massa, mentre nel caso di integrati 79 o 79L è il terminale positivo ad essere connesso a massa.



Il diodo D_1 permette di proteggere l'integrato al momento della chiusura dell'alimentatore. Senza tale diodo l'energia immagazzinata su C_{out} si scaricherebbe sul terminale out dell'integrato danneggiandolo. Tramite tale diodo C_{out} si scarica sul terminale d'ingresso.

Regolatore di tensione lineari

Regolatori variabili a 3 terminali

LM317: fornisce in uscita tensioni positive e correnti con valore massimo pari a 1.5 A.

LM337: fornisce in uscita tensioni negative e correnti con valore massimo pari a 1.5 A.

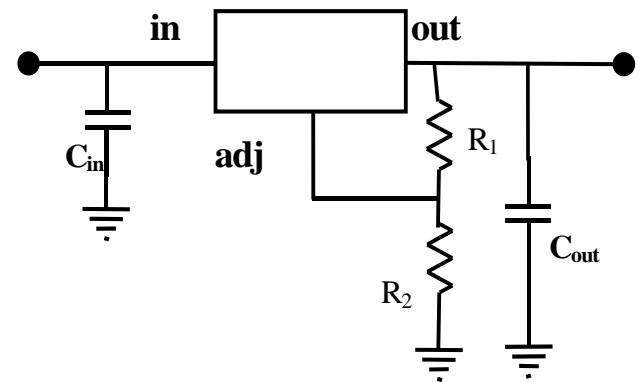


Nel caso di regolatori variabili il terminale intermedio deve essere connesso ad un partitore resistivo come mostrato in figura. Risulta verificata la relazione:

$$V_{out} = \pm 1.25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \Leftrightarrow \quad (LM317 / LM337)$$

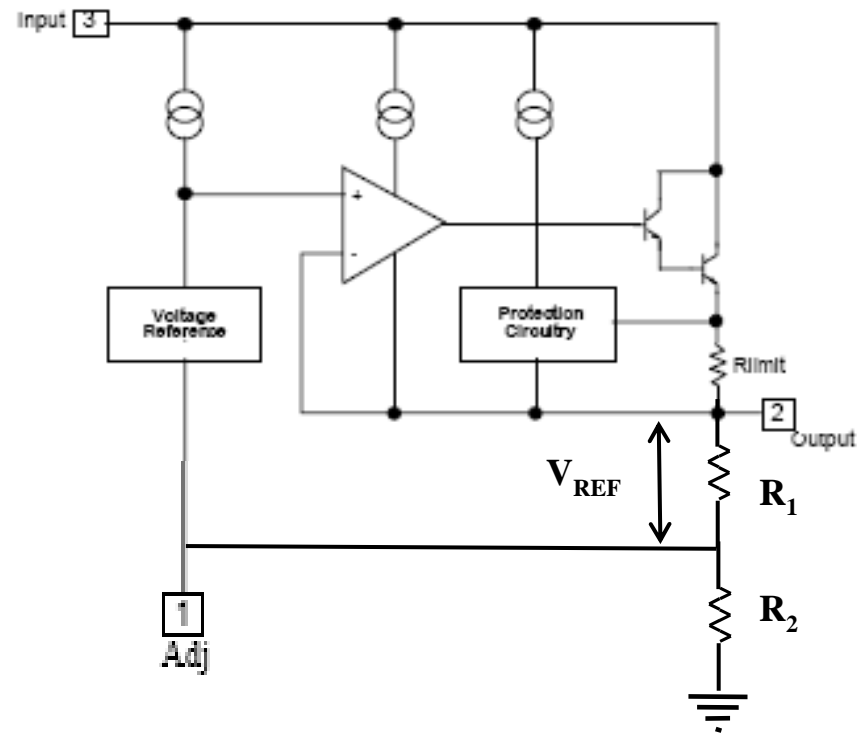
1.25 V esplicita il minimo valore che si può ottenere in uscita. Si ottiene:

$$R_2 = \pm R_1 \cdot \left(\frac{V_{out}}{1.25} - 1 \right) \quad \Leftrightarrow \quad (LM317 / LM337)$$



Regolatore di tensione lineare

Regolatori variabili a 3 terminali



Regolatore di tensione lineari

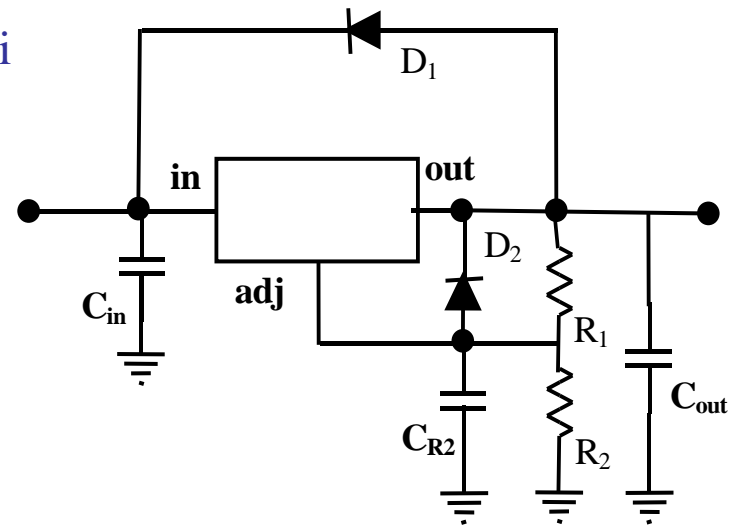
Regolatori variabili a 3 terminali

Fissato R_1 (in genere vengono utilizzati valori di resistenza compresi tra 150Ω e 330Ω) si può trovare il valore di R_2 .

Per migliorare la riduzione di ripple espletata dall'integrato si connette un condensatore C_{R2} da $10\mu F$ in parallelo ad R_2 . I condensatori elettrolitici utilizzati devono essere connessi tenendo conto della loro polarità.

Per proteggere l'integrato sono introdotti anche dei diodi come mostrato in figura.

Il diodo D_1 permette di proteggere l'integrato al momento della chiusura dell'alimentatore. Il diodo D_2 permette di scaricare il condensatore C_{R2} nel caso l'uscita sia accidentalmente cortocircuitata.



Anche per i diodi D_1 e D_2 si deve tenere conto del verso di connessione, nell'esempio mostrato in figura si considera il caso dell'integrato 317. Per l'integrato 317 i due diodi devono essere invertiti.

Regolatore di tensione lineari

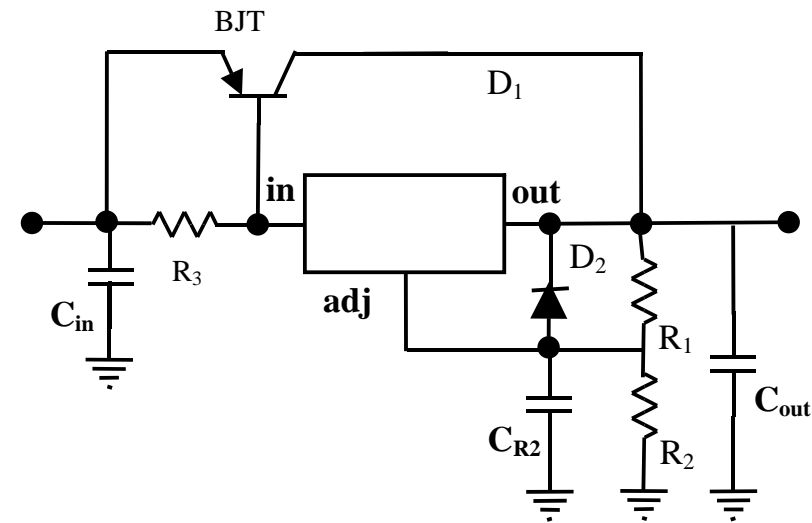
Regolatori variabili a 3 terminali

Nel caso in cui si voglia erogare una corrente maggiore di quella fornita dall'integrato si può utilizzare la configurazione mostrata in figura. Il transistor di potenza inserito, se correttamente polarizzato, fornisce la corrente addizionale richiesta. R3 permette di polarizzare il BJT e quindi in definitiva fissa il valore massimo della corrente che si può ottenere in uscita.

Ad esempio, supponendo di volere una corrente massima di $2A > I_{max}$ (1.5A per l'integrato LM317) si deve introdurre un BJT di tipo pnp. Si sceglie di far lavorare l'integrato a 0.2A (1/10 del valore massimo desiderato). Quindi si calcola la corrente che deve scorrere su I_{R3} e da questa si deduce il valore di R_3 necessario per garantire al BJT una V_{BE} di 0.65V:

$$I_{R3} = -|I_B| + 0.2A = -\frac{|I_C|}{h_{FE}} + 0.2A \quad \Rightarrow \quad R_3 = \frac{V_{BE}}{I_{R3}}$$

Nel caso di tensioni negative si lavora con l'integrato LM337 e con un BJT di tipo npn.



Regolatore di tensione

Regolatori variabili a 3 terminali

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input-Output Voltage Differential	$V_I - V_O$	40	V
Lead Temperature	T_{LEAD}	230	°C
Power Dissipation	P_D	Internally limited	W
Operating Junction Temperature Range	T_j	0 ~ +125	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +125	°C
Temperature Coefficient of Output Voltage	$\Delta V_o / \Delta T$	±0.02	%/°C

Input-Output voltage differential : massima differenza di tensione tra ingresso e uscita su cui il circuito può lavorare senza essere danneggiato.

Regolatore di tensione

Regolatori variabili a 3 terminali

Electrical Characteristics

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Reference Voltage		1.238	1.250	1.262				V
	$3V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40V,$ $10 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq I_{MAX}, P \leq P_{MAX}$	1.225	1.250	1.270	1.20	1.25	1.30	V
Line Regulation	$3V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40V$ (Note 4)		0.005	0.01		0.01	0.04	%/V
			0.01	0.02		0.02	0.07	%/V

Reference voltage : tensione di riferimento e minimo valore della tensione in uscita.

Line regulation : variazione della tensione in uscita per unità di variazione di tensione in ingresso.

$$line\ regulation = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}}$$

$\mu\text{v/V}$ (variazione della tensione in uscita in μv per 1 volt di variazione della tensione in ingresso) ,

ppm/V (parti per milione per 1 volt),

$\%/V$ (variazione percentuale in uscita per 1 Volt di variazione della tensione in ingresso) ,

$\%$ (variazione percentuale in uscita corrispondente alla massima variazione possibile di V_{in}) .

Nel caso dell'integrato LM317, nelle condizioni indicate $3V < V_{in} - V_{out} < 40V$, il massimo valore di line regulation è 0.04%. Ad esempio se V_{out} è scelto pari a 10V (se l'ingresso è compreso tra 13V e 50V) l'uscita varierà al massimo di $10V * 0.04\% = 4\text{mV}$

Regolatore di tensione

Regolatori variabili a 3 terminali

Load regulation : Variazione della tensione in uscita per unità di variazione della corrente.

$$load\ regulation = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{\Delta I_L}$$

µv/mA (variazione della tensione in uscita in µv per 1 mA di variazione di corrente di carico),

%/mA (variazione percentuale in uscita in per 1 mA di variazione di corrente di carico),

% (variazione percentuale di V_{out} corrispondente alla massima variazione possibile della corrente di carico),

mV (variazione in mV di V_{out} corrispondente alla massima variazione possibile della corrente di carico)

Nel caso dell'integrato LM317 (valori minimo e massimo di corrente sono 10mA e 1.5A) si hanno 2 situazioni:

Per $V_{out} < 5V$ l'uscita non varierà più di 15mV.

Per $V_{out} \geq 5V$ l'uscita non varierà più dello 0.3% della tensione in uscita.

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Load Regulation	$10mA \leq I_{OUT} \leq I_{max}$ (See Note 2)							
	$V_{OUT} \leq 5V$ $V_{OUT} \geq 5V$	5 0.1	15 0.3		5 0.1	15 0.3		mV %

Regolatore di tensione

Regolatori variabili a 3 terminali

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40V$		3.5	10		3.5	10	mA
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15V$ K, T, S Packages	1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
		0.5	0.8	1.8	0.5	0.8	1.8	A
		1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40V$ K, T, S Packages	0.15	0.4		0.15	0.4		A
		0.075	0.2		0.075	0.2		A
		0.55	0.4		0.15	0.4		A
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10V, f = 120 \text{ Hz},$		65			65		dB

Minimum load current : indica la minima corrente necessaria per far funzionare l'integrato, nel caso dell'LM317 è pari a 10mA. Per correnti minori di 10mA la regolazione della tensione in uscita è persa.

Current limit : massima corrente.

Ripple rejection ratio : rappresenta la capacità di ridurre il ripple di tensione in ingresso.

$$\text{ripple rejection ratio} = 20 \log_{10} \frac{\Delta V_{in}}{\Delta V_{out}}$$

Nel caso dell'integrato LM317 il Ripple rejection ratio è pari a 65dB corrispondente ad una riduzione del ripple pari a 1778.