

## Alimentatore di alta precisione

Per concludere, vi propongo un alimentatore di elevatissima precisione. A differenza del solito, però, non proporrò soltanto lo schema elettrico ed i valori dei componenti, ma vi guiderò nel progetto dall'inizio alla fine, passando per lo studio ed il dimensionamento circuitale, fino alle note di costruzione e collaudo. Si tratta, a differenza di tutte le altre mie proposte, di un progetto "aperto", nel senso che ognuno può facilmente personalizzarlo secondo le sue esigenze.

Lo scopo è realizzare un alimentatore che mantenga rigorosamente costante la tensione di uscita, qualunque sia la corrente erogata.

E' possibile? SI! Un anello di reazione, l'abbiamo visto, funziona cercando sempre di minimizzare l'errore.

$$\varepsilon = \beta V_{OUT} + \alpha V_{IN}$$

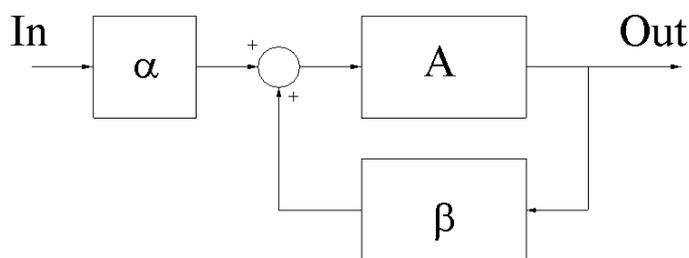


Figura 22

OK, ma l'errore è proprio ciò che va a pilotare il blocco  $A$  in modo da costruire l'uscita. La tensione di ingresso  $V_{IN}$  è il riferimento a cui l'anello tende ad uguagliare l'uscita almeno durante il funzionamento a vuoto. D'altra parte è vero che se l'uscita mantiene una tensione rigorosamente costante, qualunque sia il carico, è vero che possiamo pensare che l'anello riesca ad annullare l'errore in qualunque istante ed in qualunque condizione di funzionamento. Tutto ciò è veramente possibile? Sembrerebbe di no, visto che se l'errore è nullo, il blocco  $A$  ha ingresso nullo, quindi anche l'uscita dovrebbe essere nulla, quindi saremmo portati a dire che un certo errore, piccolo quanto vogliamo ma mai nullo, sia necessario al funzionamento di un anello. In realtà le cose stanno diversamente, poiché esistono particolari sistemi che, con ingresso nullo, mantengono un'uscita non nulla: sono gli **INTEGRATORI**.

### *L'integratore analogico*

Un integratore è fatto come segue

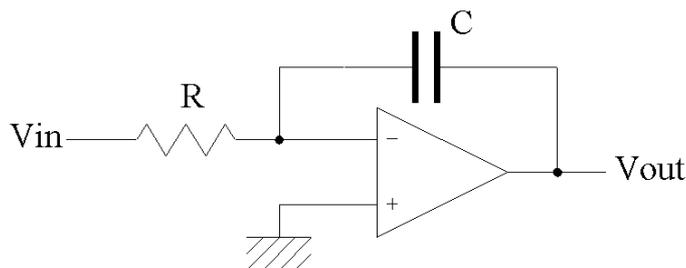


Figura 23

e funziona grazie al fatto che l'operazionale, in conseguenza dell'elevatissimo guadagno di tensione (e grazie all'anello realizzato dalla capacità), tende ad uguagliare le tensioni sugli ingressi invertente e non invertente. In tal modo la corrente che carica il condensatore è sempre data da

$$I = \frac{V_{IN}}{R}$$

e la tensione di uscita (poiché l'ingresso invertente è mantenuto al potenziale di massa) è

$$V_{OUT} = -V_C = -\frac{1}{C} \int \frac{V_{IN}}{R} dt = -\frac{1}{RC} \int V_{IN} dt$$

L'integrale sta a significare che l'uscita evolve fintanto che in ingresso c'è una tensione non nulla, dal momento che l'ingresso viene portato a massa, la tensione di uscita rimane inchiodata al valore che aveva assunto.

Se ne conclude che l'integratore permette di far evolvere un controllo in reazione fino ad annullare completamente la grandezza di errore, qualunque siano le condizioni operative. Come vedremo in seguito, l'integratore è alla base del nostro alimentatore di precisione.

La risposta in frequenza dell'integratore è evidentemente

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -\frac{1}{SCR}$$

ed è caratterizzata da un polo nullo. E' vero anche il contrario: se una funzione di trasferimento ha un polo nullo, allora il sistema a cui si riferisce comprende un integratore (comunque esso sia "travestito" o "nascosto").

### Lo schema elettrico

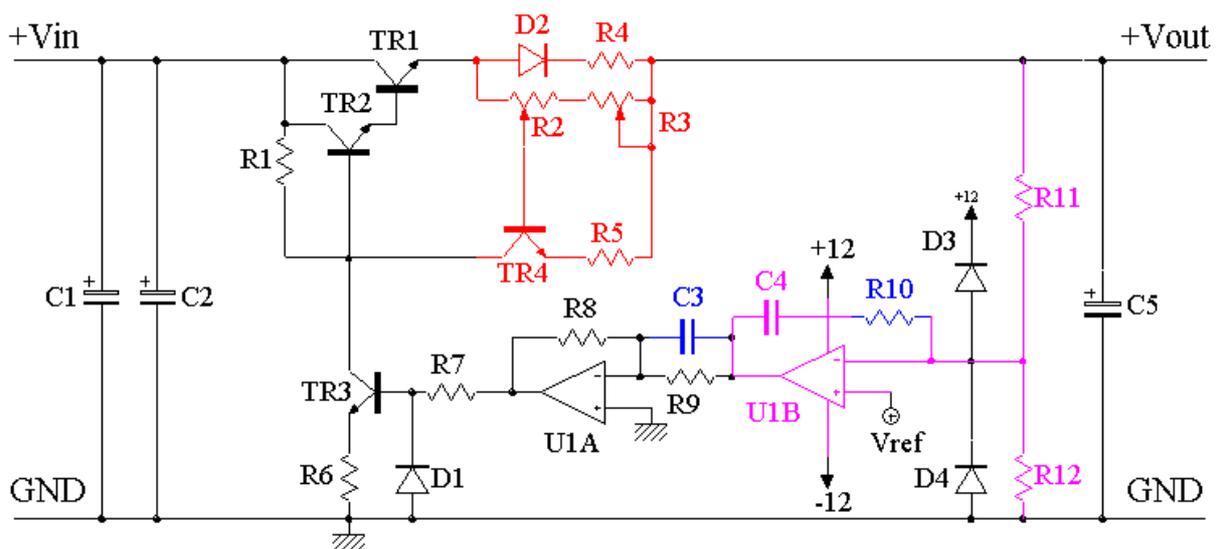


Figura 24

| Ref | Descrizione                          |
|-----|--------------------------------------|
| R1  | Resistenza 10kΩ 1W                   |
| R2  | Potenziometro 1kΩ                    |
| R3  | Trimmer 1kΩ                          |
| R4  | Vedi testo                           |
| R5  | Resistenza 100Ω 1/4W                 |
| R6  | Resistenza 100Ω 1/4W                 |
| R7  | Resistenza 1kΩ 1/4W                  |
| R8  | Resistenza 10kΩ 1/4W                 |
| R9  | Resistenza 10kΩ 1/4W                 |
| R10 | Resistenza 220Ω 1/4W                 |
| R11 | Resistenza 10kΩ 1/4W                 |
| R12 | Resistenza 1kΩ 1/4W                  |
| R13 | Resistenza 27kΩ 1/4W                 |
| R14 | Trimmer 47kΩ                         |
| R15 | Potenziometro 10kΩ                   |
| C1  | Vedi testo                           |
| C2  | Vedi testo                           |
| C3  | Condensatore ceramico 560pF          |
| C4  | Condensatore poliestere 1μF          |
| C5  | Condensatore elettrolitico 100μF 50V |
| C6  | Condensatore elettrolitico 470μF 35V |
| C7  | Condensatore elettrolitico 100μF 35V |
| C8  | Condensatore elettrolitico 470μF 35V |
| C9  | Condensatore elettrolitico 100μF 35V |
| D1  | 1N4007                               |
| D2  | P600 (Vedi testo)                    |
| D3  | 1N4007                               |
| D4  | 1N4007                               |
| TR1 | MJ15001                              |
| TR2 | BD139                                |
| TR3 | BD139                                |
| TR4 | BD139                                |
| U1  | TL082                                |
| U2  | 7812                                 |
| U3  | 7912                                 |
| B1  | Ponte raddrizzatore 10A (vedi testo) |
| B2  | Ponte raddrizzatore 1A               |
| T1  | Vedi testo                           |
| T2  | Trasformatore 15+15V 6VA             |

La parte colorata in Rosso realizza il limitatore di corrente e poiché è completamente inattivo durante il normale funzionamento non verrà considerato nello studio del regolatore di tensione e ammetteremo che l'emettitore di TR1 sia collegato direttamente al nodo di uscita.

I componenti in Blu invece introducono le compensazioni necessarie per evitare l'instabilità.

Infine i componenti in Fucsia realizzano l'integratore, anche se in versione un pelo "mascherata".

All'ingresso  $V_{ref}$  viene applicata una tensione di riferimento ed il legame con l'uscita è

$$V_{OUT} = V_{REF} \frac{R_{11} + R_{12}}{R_{12}}$$

Con i valori consigliati, si ha una partizione di 11:1 quindi per avere un'uscita regolabile fra 0 e 20V occorre una Vref compresa fra 0 e poco meno di 2V. Tenete infine presente che la massima tensione erogabile è data, approssimativamente, da

$$V_{OUTMAX} \cong V_{IN} - 5$$

Si potrebbe raggiungere anche quasi l'intera Vin, però niente garantisce il corretto funzionamento del regolatore in presenza di forti carichi e/o variazioni della tensione di rete.

Il funzionamento del regolatore è molto semplice. Supponiamo che, applicato il riferimento Vref, la tensione di uscita tenda a diminuire per qualche causa (l'aumento della corrente erogata potrebbe già essere un buon esempio). In tal caso l'uscita di U1B aumenta, quindi (a causa dell'inversione di segno operata da U1A) viene diminuita la polarizzazione del TR3, così aumenta la tensione alla base di TR2 e anche la tensione di uscita tende ad aumentare. Tutto questo meccanismo si ripete finché la tensione al nodo fra R11 e R12 non uguaglia la Vref, perché solo così l'integratore smette di evolvere ed il sistema raggiunge una situazione di equilibrio. E' evidente che il regolatore riesce ad uguagliare la partizione dell'uscita alla Vref, quindi, qualunque sia la corrente erogata, la tensione di uscita rimane sempre inchiodata al valore impostato.

E' tutto così semplice? Ovviamente no, poiché, il sistema ha le seguenti singolarità

- Polo nullo dell'integratore
- Polo a circa 100k rad/sec introdotto dalla capacità di uscita
- Vari poli alle alte frequenze introdotti da T1, T2, T3, e dall'amplificatore IC1A

Il guadagno d'anello ha quindi la forma:

$$\beta A = -k \frac{1}{S \left(1 + \frac{S}{10^5}\right) \left(1 + \frac{S}{S_{P2}}\right) \dots \left(1 + \frac{S}{S_{PN}}\right)}$$

Tutto ciò, unito al fatto che la costante k è molto elevata (il valore preciso non ci interessa, ma dovrebbe essere attorno a  $2 \cdot 10^6$ ) a causa del guadagno del TR3 e dello stesso integratore è garanzia di quasi assoluta instabilità.

Occorre inserire delle compensazioni. Per prima cosa, la R10 in serie al C4 introduce uno zero del valore di

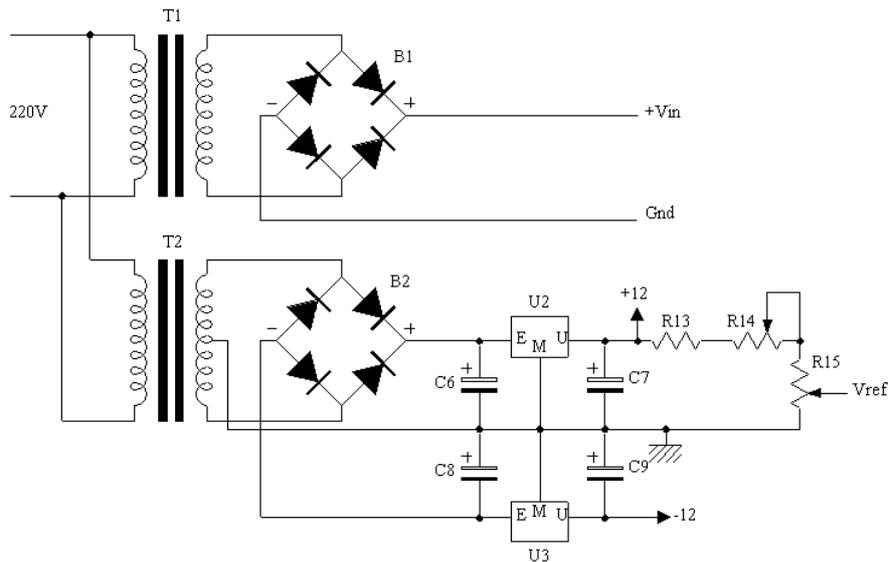
$$S_{z1} = -\frac{1}{C_4 R_{10}}$$

che con i valori consigliati si attesta attorno ai 4000 radianti al secondo. R10, da sola, garantisce già la stabilità, poiché gli effetti di TR1, TR2, TR3 e U1A si sentono soltanto alle frequenze più alte, là dove il modulo del guadagno d'anello si è già ridotto a meno dell'unità.

Per migliorare la risposta ai transitori, tuttavia, in sede di collaudo ho preferito aggiungere un ulteriore zero (tramite C3) di valore

$$S_{z2} = -\frac{1}{C_3 R_9}$$

Per utilizzare con successo questo circuito è necessario aggiungere un raddrizzatore e un piccolo alimentatore duale +/-12V per gli operazionali:



**Figura 25**

Il regolatore, così come l'ho disegnato, funziona tranquillamente fino a tensioni di ingresso di 50V e per correnti massime di 8A. Tenete presente che non è possibile applicare i 50V e sperare di fargli erogare 8A su un carico a 5V. Il motivo è la potenza dissipata sul TR1 che ammonterebbe a

$$P = (V_{IN} - V_{OUT}) * I = (50 - 5) * 8 = 360W$$

un valore davvero enorme. Diciamo che potete giocare tranquillamente con le combinazioni  $V_{in} - I_{out}$  a patto che la potenza dissipata da TR1 non superi i 120 – 130W. In ogni caso prevedete un grosso dissipatore e, magari, un raffreddamento forzato. Ad ogni modo, una volta scelta la  $V_{in}$  desiderata, la tensione del secondario del T1 si calcola come

$$V = \frac{V_{IN}}{1.41}$$

Il ponte B1 deve essere ovviamente adeguato alla corrente richiesta in uscita.

Per quanto riguarda i condensatori C1 e C2, fate in modo che il valore complessivo sia, all'incirca, pari a 1000 $\mu$ F per ogni amper erogato: cioè se prevedete di far erogare 3A, fate in modo che C1 e C2 valgano complessivamente almeno 3000 $\mu$ F. E' meglio prevedere due condensatori invece di uno solo per dimezzare la resistenza equivalente migliorando così l'erogazione di elevate correnti.

### *Il limitatore di corrente*

Il limitatore rimane inattivo finchè la tensione base-emettitore sul TR4 non supera la solita soglia di 0.6/0.7 V. Se il TR4 entra in conduzione, inizia a "rubare" un po' della corrente che sarebbe destinata alla base di TR2. Quanto più la corrente di uscita tende a crescere, quanto più la polarizzazione di TR4 tende ad aumentare, quanto minore è la corrente che riesce a raggiungere la base di TR2 col risultato che la corrente di uscita viene limitata ad un certo valore impostabile col potenziometro R2.

Il diodo D1 serve per introdurre una caduta quasi costante di 0.7V in modo che il limitatore possa funzionare anche con correnti molto basse senza dover aumentare troppo la R4 e la potenza su di essa dissipata.

E' evidente che durante l'intervento del limitatore la tensione di uscita può abbassarsi fino ad annullarsi completamente, in tal caso l'uscita di U1B satura a quasi +12V, mentre U1A va a -12V. Il diodo D1 evita di bruciare un TR3 ogni volta che interviene il limitatore.

La R4 può essere dimensionata pensando che la massima corrente di uscita provochi una caduta attorno ad 1V: non è una regola, sicuramente cadute alte danno una maggiore precisione, ma anche una maggiore dissipazione di potenza. In generale io uso una caduta di 1V per correnti di qualche ampere, qualcosa meno per correnti più alte. Nota la corrente massima, la R4 viene valutata come

$$R_4 = \frac{\text{Caduta[Volt]}}{I_{MAX}[\text{Ampere}]} = \frac{1}{I_{MAX}}$$

e la potenza da essa dissipata è, ovviamente,

$$P_{R4} = R_4 * (I_{MAX})^2$$

### *Taratura*

Appena montato, se non ci sono errori, il circuito deve funzionare subito, occorre soltanto regolare R14 affinché la massima tensione di uscita assuma il valore desiderato (per esempio, con 40V in ingresso, la massima tensione di uscita potrà essere portata a 35V).

Infine occorre tarare il limitatore. Supponiamo di voler una corrente massima di 2A. Per prima cosa ci si assicura che il limitatore funzioni:

- si regola il cursore di R2 tutto verso R3
- si regola il cursore di R3 tutto verso R2
- si regola la tensione di uscita sui 12V
- si collega in uscita una lampada da 12V 10W
- agendo su R2 si deve osservare, ad un certo punto, una diminuzione della corrente erogata fino quasi a zero.

Se tutto va bene, si regola R2 per la minima corrente e si sostituisce la lampada con un cortocircuito, quindi

- si regola il cursore di R3 tutto verso l'uscita
- si regola R2 per la massima corrente
- infine si agisce (con molta attenzione) su R3 in modo che la corrente raggiunga i 2A desiderati.

Fatto questo, l'alimentatore è pronto.

Con questo ritengo di aver concluso l'argomento.

Nel caso siano rimasti dubbi, curiosità, o vogliate degli approfondimenti, scrivete mi a [info@diegobarone.it](mailto:info@diegobarone.it).