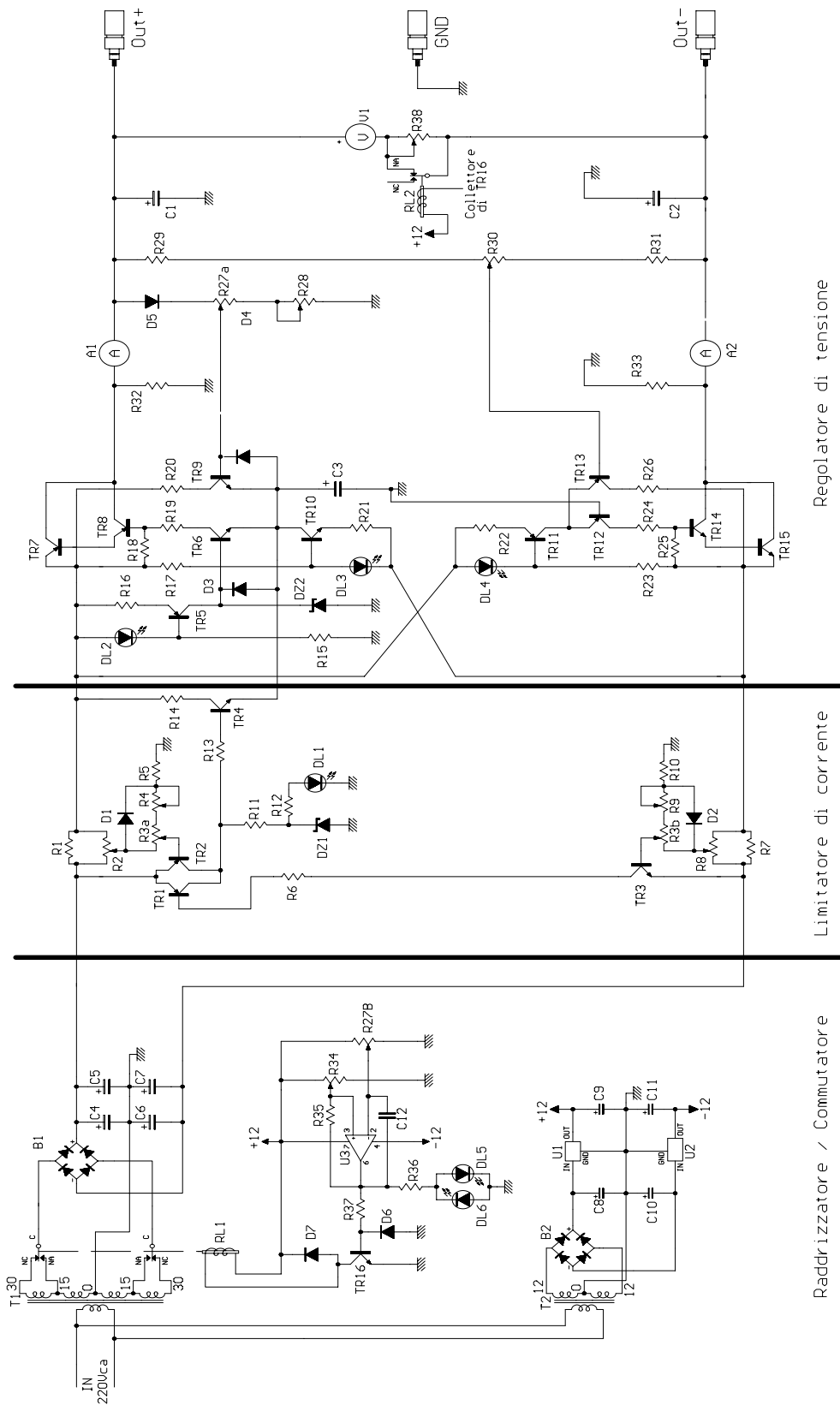


# *Alimentatore duale*

Si tratta di un alimentatore un po' particolare: è un duale con uscita regolabile fra  $\pm 4$  e  $\pm 30$ V, con corrente massima di 7A. La limitazione è regolabile fra un minimo (impostabile a piacimento) ed il massimo. Particolare è che la tensione di uscita rimane simmetrica anche durante l'intervento del limitatore.

# Lo schema elettrico<sup>(1)</sup>



<sup>1</sup> N.B.: Per chiarezza ho evidenziato (con le linee a tratteggio) le varie parti in cui può essere scomposto e su cui si articola la descrizione.

### ***Il Regolatore positivo***

TR10 costituisce un generatore di corrente: infatti la tensione di base è imposta dal led DL3, la tensione base - emettitore può essere considerata costante e pari all'incirca a 0.65V, di conseguenza la tensione su R21 è costante. La corrente in essa circolante vale

$$I_E = \frac{V_{DL2} - V_{BE}}{R_{21}} \text{ ed è costante (con i valori consigliati si attesta a circa 5mA).}$$

TR6 e TR9 costituiscono un amplificatore differenziale, il suo funzionamento, è tale che, a seconda delle tensioni applicate alle due basi, la corrente imposta dal generatore può circolare in entrambi i transistori (dividendosi in aliquote dipendenti strettamente dalle polarizzazioni) oppure in uno solo. In questo caso alla base di TR6 è applicato un riferimento prelevato da uno zener (DZ2). Sulla base di TR9 è applicata una porzione della tensione di uscita (porzione regolabile con la posizione del cursore del potenziometro R27a). Lo stadio funziona in modo molto semplice: supponiamo che la tensione sulla base di TR9 tenda a diminuire, allora TR6 aumenta la sua corrente di collettore, così come TR8 e TR7 (2): il risultato è che la tensione di uscita tende a salire.

In modo analogo se la tensione sulla base di TR9 tende a crescere, aumenta la corrente di collettore di TR9 e diminuisce quella di TR6: il risultato è che la tensione di uscita tende a diminuire. In sostanza il differenziale tende a rendere uguali le tensioni alle basi di TR6 e TR9. Agendo sul cursore di R27a è allora possibile impostare a nostro piacimento la tensione di uscita.

Si osserva che anche il diodo zener DZ2 è alimentato con un generatore di corrente costante (il TR5), questo per assicurare una grande stabilità del riferimento senza far uso di componenti dedicati ma difficili da trovare.

Resta ora da chiarire la funzione di D3, D4, D5. Semplicemente, D3 e D4 realizzano una protezione nei confronti della giunzione di base dei due transistori. La funzione del D5 risulterà molto chiara più avanti, quando analizzeremo il funzionamento del limitatore di corrente.

### ***Il regolatore negativo***

E' composto da una struttura simmetrica a quella appena vista, l'unica differenza risiede nella tensione di riferimento. Infatti, quando è che due tensioni sono uguali ed opposte? Semplice, quando la loro somma è 0. Allora, è sufficiente che questo regolatore faccia la somma (operazione svolta da R29, R30 e R31) fra le tensioni di uscita e faccia in modo di uguagliarla a 0. Bene, il riferimento è allora fissato a 0V (la base di TR12 è connessa direttamente a massa).

Dunque se la tensione di uscita negativa (OUT - ) tende a diminuire rispetto a quella positiva, sulla base di TR13 troveremo una tensione leggermente positiva, di conseguenza aumenterà la corrente di collettore di TR12 così come quelle di TR14 e TR15. Il risultato è che la tensione di uscita negativa diventa perfettamente uguale (in valore assoluto) a quella positiva. Il trimmer R30 opera un semplice bilanciamento fra le uscite.

Infine R32 e R33 garantiscono un carico minimo al regolatore (che ha un funzionamento un po' incerto se lavora completamente a vuoto).

### **Il limitatore di corrente**

---

<sup>2</sup> Sono collegati a formare un darlington in modo da avere un alto guadagno di corrente: in questo caso siamo attorno ad almeno 20000 (come dire che con i miseri 5mA del differenziale potremmo arrivare a ben 100A).

Ancora una volta è una struttura perfettamente simmetrica. Analizziamo il comportamento del ramo positivo (costruito attorno a TR2).

Ai capi di R1 troveremo una tensione direttamente proporzionale alla corrente erogata. Una parte di questa tensione è prelevata dal trimmer R2 e sommata a quella fornita dalla rete di polarizzazione (R3, R4, R5, D1). Il funzionamento è semplice, ma, per chiarezza, supponiamo in un primo tempo che il cursore di R3 sia tutto verso R2 (in modo che il contributo della rete di polarizzazione sia nullo) e che il cursore di R2 sia tutto verso destra (in modo da prelevare tutta la tensione ai capi di R1). Fino a che la tensione base emettitore non sale sopra gli 0.6V (da intendersi negativi visto che TR2 è un PNP, il valore è comunque puramente indicativo), TR2 non condurrà alcuna corrente e la sua presenza sarà ininfluenza. Appena la tensione base emettitore supera tale valore <sup>(3)</sup>, però, TR2 si porta in conduzione, lo stesso farà TR4 iniettando una corrente nel differenziale e comportando la progressiva interdizione di TR6 e la diminuzione della tensione di uscita. Il risultato è che la corrente di uscita non potrà più aumentare.

Agendo su R3 è possibile sommare una tensione a quella rilevata su R1, in modo da abbassare la soglia di intervento del limitatore. Si sarebbe potuto ottenere un risultato analogo aumentando il valore di R1, a costo, però, di un aumento della potenza dissipata (che diventa troppo elevata con 7A massimi).

Sul ramo negativo, la limitazione è eseguita da TR3.

Da notare che il limitatore, di fatto, agisce sul solo ramo positivo, ma non si deve dimenticare che il ramo negativo "insegue" costantemente la tensione positiva, quindi in realtà la limitazione ha effetto su entrambi i rami. In questo senso, attenzione ai C1 e C2, la loro presenza è necessaria, ma il loro valore non deve essere troppo alto. Mi spiego con un esempio (il caso peggiore): supponiamo che la tensione di uscita sia regolata al massimo e supponiamo di mettere in cortocircuito l'uscita negativa con la massa. Cosa succede? Il limitatore agisce sul ramo positivo, ma la tensione sull'uscita positiva può scendere solo in seguito alla scarica di C1. Allora per un certo tempo il regolatore negativo si trova a tentare di inseguire una tensione non nulla, la corrente è molto alta e si rischia di bruciare TR15. È importante, allora, che C1 e C2 abbiano il valore minimo indispensabile (in modo da garantire una scarica veloce di C1 sulla R32).

Infine il diodo D5, a che serve? Semplice, in sua assenza, alla minima tensione di uscita, il cursore di R28 è tutto verso l'uscita, quindi la corrente apportata da TR4, invece che portare all'interdizione TR6, verrebbe deviata verso l'uscita da D4: di conseguenza il limitatore non avrebbe alcun effetto.

## **Il Raddrizzatore**

L'unico componente degno di nota è il trasformatore: ha un secondario con prese intermedie, questo per ridurre la potenza dissipata dal regolatore con ridotte tensioni di uscita. La commutazione del secondario è affidata ad un relè gestito da un semplice comparatore, che tiene sotto controllo, di fatto, la posizione del potenziometro R27. Molti penseranno che sia possibile (e più elegante) controllare la tensione di uscita: il problema è che il limitatore, così come è costruito, è sensibile alla tensione presente ai punti IN+ e IN-, pertanto il suo funzionamento diventa molto instabile durante la commutazione del relè.

---

<sup>3</sup> Con i valori assegnati, questo si verifica per una corrente di uscita attorno ai 6A.

R35 determina l'isteresi del comparatore, se è troppo stretta diminuitene il valore. L'importante è che la commutazione avvenga senza alcuna incertezza da parte del relè. Un'ultima nota: sostituire il trimmer R34 con una rete resistiva è possibile, ma solo conoscendo a priori la posizione di R28 (che dipende dalla tolleranza dello Zener DZ2).

### Lista componenti

<i>Reference</i>	<i>Descrizione</i>
R1	Resistenza 0.1Ω 10W
R2	Trimmer 100Ω
R3	Potenziometro lineare doppio 1kΩ
R4	Trimmer 1kΩ
R5	Resistenza 10kΩ 1/4W
R6	Resistenza 4.7kΩ 1/4W
R7	Resistenza 0.1Ω 1W
R8	Trimmer 100Ω
R9	Trimmer 1kΩ
R10	Resistenza 10kΩ 1/4W
R11	Resistenza 470Ω 2W
R12	Resistenza 1kΩ 1/4W
R13	Resistenza 1kΩ 1/4W
R14	Resistenza 1kΩ 1/4W
R15	Resistenza 2.2kΩ 1W
R16	Resistenza 100Ω 2W
R17	Resistenza 4.7kΩ 1W
R18	Resistenza 100kΩ 1/4W
R19	Resistenza 1kΩ 1/4W
R20	Resistenza 1kΩ 1/4W
R21	Resistenza 270Ω 1W
R22	Resistenza 270Ω 1W
R23	Resistenza 4.7kΩ 1W
R24	Resistenza 1kΩ 1/4W
R25	Resistenza 100kΩ 1/4W
R26	Resistenza 1kΩ 1/4W
R27	Potenziometro lineare doppio 10kΩ
R28	Trimmer 2.2kΩ
R29	Resistenza 2.7kΩ 1/4W
R30	Trimmer 1kΩ
R31	Resistenza 2.7kΩ 1/4W
R32	Resistenza 150Ω 10W
R33	Resistenza 150Ω 1W
R34	Trimmer 10kΩ
R35	Resistenza 100kΩ 1/4W
R36	Resistenza 2.2kΩ 1/4W

R37	Resistenza 10k $\Omega$ 1/4W
R38	Trimmer (vedi testo)
C1	Condensatore elettrolitico 100 $\mu$ F 35V
C2	Condensatore elettrolitico 100 $\mu$ F 35V
C3	Condensatore elettrolitico 100 $\mu$ F 35V
C4	Condensatore elettrolitico 4700 $\mu$ F 50V
C5	Condensatore elettrolitico 4700 $\mu$ F 50V
C6	Condensatore elettrolitico 4700 $\mu$ F 50V
C7	Condensatore elettrolitico 4700 $\mu$ F 50V
C8	Condensatore elettrolitico 220 $\mu$ F 35V
C9	Condensatore elettrolitico 220 $\mu$ F 35V
C10	Condensatore elettrolitico 22 $\mu$ F 35V
C11	Condensatore elettrolitico 22 $\mu$ F 35V
C12	Condensatore poliestere 1 $\mu$ F
D1	Diodo 1N4007
D2	Diodo 1N4007
D3	Diodo 1N4007
D4	Diodo 1N4007
D5	Diodo 1N4007
D6	Diodo 1N4007
D7	Diodo 1N4007
DZ1	Zener 12V 1W
DZ2	Zener 2.7V 1W
DL1	Led Rosso
DL2	Led verde
DL3	Led verde
DL4	Led verde
DL5	Led rosso
DL6	Led rosso
B1	Ponte raddrizzatore 25A 100V (almeno)
B2	Ponte raddrizzatore 1A 100V
TR1	BC556
TR2	BC556
TR3	MPSA42
TR4	BD441
TR5	TIP34
TR6	BD441
TR7	MJ11015
TR8	TIP34
TR9	BD441
TR10	TIP33
TR11	TIP34
TR12	BD442
TR13	BD442
TR14	TIP33

TR15	MJ11016
TR16	BC107
U1	7812
U2	7912
U3	TL081
T1	Trasformatore - prim: 220V - sec: 30/15/0/15/30V - 450VA
T2	Trasformatore - prim: 220V - sec: 12/0/12V - 6VA
RL1	Relè 12Vcc 2 scambi (10A almeno)
RL2	Relè 12Vcc 1 scambio
A1	Amperometro 10A fs
A2	Amperometro 10A fs
V1	Voltmetro 30V fs

### Montaggio

Io l'ho realizzato all'interno di un cestello rack di 19 pollici: è particolarmente comodo data la presenza fin dall'origine di numerosi fori e la notevole rigidità che lo caratterizza. Unico problema: l'altezza ridotta, che quasi impone di utilizzare dei trasformatori toroidali <sup>(4)</sup>. Mi raccomando, realizzate un buon raffreddamento per TR7 e TR15: devono dissipare grosse potenze e avrebbero bisogno di radiatori esagerati. Nel mio caso ho usato un raffreddamento forzato molto compatto e semplice: ho accoppiato (e lo si vede bene dalle foto) due dissipatori di 12 x 15 cm (su cui sono montati TR7, TR15, R1, R7) ed ho montato in testa una ventola assiale di 12 x 12 cm.

Il ponte a diodi, invece, è semplicemente montato su un fianco del telaio.

Il regolatore non presenta problemi di sorta, può essere montato tranquillamente su una basetta millefori e nessun componente necessita di dissipatore (ad esclusione, ovviamente, di TR7 e TR15).

Nel prototipo ho usato, al posto di C4, C5, C6, C7, due "bussolotti" di 10000µF 63V ... li sconsiglio, sono più grossi e più costosi di quattro elementi da 4700µF.

Un ultimo suggerimento: cercate di collegare l'anodo di D5, R29 e R31 il più vicino possibile alle boccole di uscita (e sicuramente a valle degli eventuali amperometri), in modo da minimizzare le variazioni della tensione di uscita.

Per il resto, la costruzione dipende fortemente dal telaio prescelto, quindi non ha grande senso dare ulteriori consigli; mi raccomando, attenti ai relè: non scambiate i collegamenti ai contatti (NA = Normalmente aperto - NC = Normalmente chiuso).

Magari, può essere interessante dotare l'eventuale voltmetro di uscita di una doppia scala (0 - 30V e 0 - 60V): io ho fatto così <sup>(5)</sup> (naturalmente ho dovuto ridisegnare la scala dello strumento). Nello schema elettrico la bobina del relè RL2 deve essere collegata direttamente in parallelo al RL1, ed R38 <sup>(6)</sup> determina il fondo scala nella portata più alta.

<sup>4</sup> Almeno, io non sono riuscito a trovare trasformatori a lamierini E+ I con un profilo sufficientemente stretto da farli entrare nel cestello, è per questo che ho utilizzato due componenti della RS da 225VA ciascuno.

<sup>5</sup> E' una soluzione valida solo per voltmetri analogici (che quindi hanno una resistenza interna dell'ordine delle decine di kohm).

<sup>6</sup> Il trimmer R38, per una agevole regolazione, conviene che abbia un valore un po' più grande della resistenza interna del voltmetro (che può essere misurata, per gli strumenti analogici, con un semplice ohmmetro). Mi spiego, se il voltmetro ha una resistenza di 15kΩ, sceglierete un trimmer da 22kΩ.

## Taratura

Il circuito necessita di una semplice taratura:

- Per prima cosa, ruotare il cursore di R28 tutto verso massa; R30 a metà corsa; R3 tutto verso R2 (e quindi R8); R4 verso R5; R9 verso R10.
- Dare tensione al circuito e verificare che regolando R27 da un estremo all'altro si abbia la corretta commutazione del relè.
- Portare R27 tutto verso R28 ed agire su R28 fino a portare la tensione sull'uscita positiva a +30V.
- Regolare la tensione positiva su valori intermedi (15V, per esempio) ed agire su R30 per uguagliare la tensione negativa a quella positiva.
- Agire su R34 in modo da avere la commutazione del relè quando l'uscita è regolata sui 13V
- Regolare R27 per una tensione di uscita non troppo elevata (diciamo attorno ai +/- 10V).
- Collegare un carico all'uscita e verificare che agendo su R3 sia possibile ottenere l'intervento del limitatore (evidenziata dall'accensione di DL1).
- Collegare fra l'uscita positiva e la massa una resistenza da circa 1Ω (usate preferibilmente un componente ceramico da una ventina di Watt <sup>(7)</sup>) e regolare R2 fino a che la corrente di uscita non sia proprio 7A.
- Ripetere il punto precedente sul ramo negativo.
- Resta da tarare la soglia minima di intervento, quindi regolare R3 tutto verso R4 (ed R9). Sempre con la resistenza da 1Ω fra l'uscita positiva e massa, regolare R4 in modo che la corrente di uscita sia, ad esempio, 0.5A (è un valore indicativo, si può scegliere anche 1A o 100mA, tenete però presente che su correnti molto basse, l'intervento del limitatore non potrà essere molto "deciso" a causa del basso valore di R1 ed R7).
- Ripetere il punto precedente per l'uscita negativa.

A questo punto l'alimentatore è pronto per funzionare, mi resta solo da segnalare un particolare: il regolatore negativo, per sua struttura, non è in grado di portare esattamente a zero la tensione d'uscita, non scende sotto i 100mV. Per questo in caso di cortocircuito sulla sola uscita negativa, la corrente non potrà essere controllata perfettamente agendo su R3, ma resterà dipendente (almeno in certa misura) dalla resistenza del conduttore usato come cortocircuito. Problema, questo, che viceversa non sussiste per il ramo positivo.

## Misure

Riporto alcune misure rilevate sul prototipo:

- Stabilità dell'uscita <sup>(8)</sup>: 100mV
- Resistenza interna (per ramo) di: 10 mΩ
- Ripple sull'uscita positiva (a vuoto): <0.005Vpp / (a 5A erogati): 0.05Vpp
- Ripple sull'uscita negativa (a vuoto): <0.005Vpp / (a 5A erogati): 0.1Vpp

---

<sup>7</sup> Lo so che a rigore sarebbe necessario un componente da una cinquantina di Watt, però le resistenze ceramiche, per brevi periodi, riescono a reggere potenze molto elevate (la taratura del limitatore si compie nel giro di neanche un minuto).

<sup>8</sup> Ovvero variazione della tensione di uscita (misurata fra OUT+ e OUT- e impostata su 12V) passando dal funzionamento a vuoto a un assorbimento di 5A (sempre fra OUT+ e OUT-).



- Errore sul bilanciamento <sup>(9)</sup> (a 10V di uscita): 70mV pari a: 0.7%
- Errore sul bilanciamento (a 20V di uscita): 250mV pari a: 1.2 %

Come al solito, per eventuali problemi, sono reperibile all'indirizzo [diego.barone@tin.it](mailto:diego.barone@tin.it).

---

<sup>9</sup> Valutato come (Tensione sull'uscita positiva) – (Tensione sull'uscita negativa)