

Advel Application Note – AAN2013.1

Current Sharing: passivo vs attivo

Ing. Alessio Spinosi

1. Introduzione

Quando due alimentatori vengono messi in parallelo è bene che questi siano tarati alla medesima tensione così che si dividano equamente la corrente di carico.

È buona norma tarare a vuoto gli alimentatori ad una ben precisa tensione, prima di metterli in parallelo. Tuttavia in un sistema reale le tensioni degli alimentatori variano leggermente nel tempo, variano inoltre con la temperatura, e addirittura il cablaggio tra un alimentatore e l'altro implica delle dissimmetrie che determinano una differente erogazione di corrente tra gli alimentatori in parallelo. Tutti questi aspetti sono già stati trattati nella **AAN 2009.1**.

Per evitare tutto ciò è bene che gli alimentatori in parallelo possano autonomamente ripartirsi equamente la corrente di carico.

Verranno ora prese in esame le caratteristiche delle due tipologie di current-sharing presenti negli alimentatori in commercio: current-sharing PASSIVO e current-sharing ATTIVO.

2. Alimentatore senza current-sharing

In Figura1 è rappresentato lo schema a blocchi di un alimentatore switching stabilizzato.

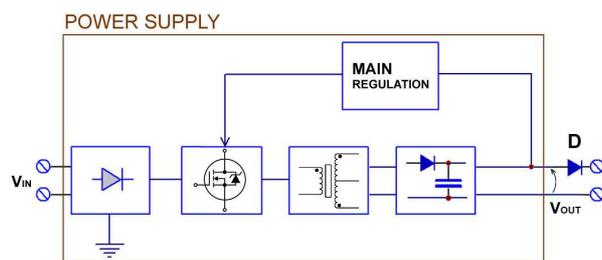


Figura1 – Schema a blocchi di un alimentatore switching stabilizzato.

La presenza del diodo **D**, detto 'diodo di disaccoppiamento' o 'di parallelo', è necessario perchè l'alimentatore sia parallelabile (vedi **AAN2009.1**). Questo diodo può essere messo esternamente, oppure può trovarsi già all'interno dell'alimentatore (come nel caso degli alimentatori prodotti da Advel).

Il blocco chiamato MAIN-REGULATION mantiene l'uscita dell'alimentatore a monte del diodo D stabilizzata alla tensione definita.

La caratteristica I/V dell'alimentatore è rappresentata in Figura2: l'alimentatore mantiene sull'uscita la tensione nominale (V_{RATED}) fino a che la corrente del carico non raggiunge il valore I_{MAX} , oltre il quale la tensione inizia a scendere bruscamente.

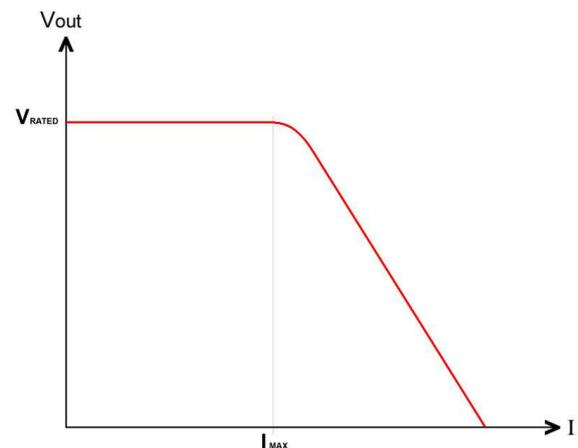


Figura2 – Tipica caratteristica di un alimentatore stabilizzato, senza dispositivo di current-sharing interno.

Esempio: vengono messi in parallelo due alimentatori identici, tarati perfettamente a 24.0V come in Figura3. Il carico assorbe 20A totali.

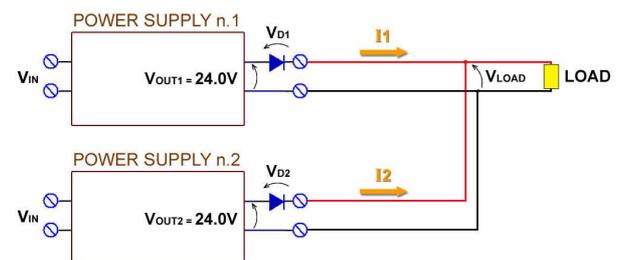


Figura3 – Due alimentatori tarati a 24,0V messi in parallelo, con cavo considerato ideale ($R_{cavo} = 0\Omega$).

Assumendo che i cavi di cablaggio siano ideali ($R_{cavo} = 0\Omega$), i diodi evidentemente sono percorsi dalla stessa corrente ($V_{D1} = V_{D2} = V_D$), e quindi il carico è sottoposto a una tensione pari a:

$$V_{LOAD} = 24,0V - V_D$$

e ognuno dei due alimentatori eroga $I_1 = I_2 = 10A$.

Nella realtà invece i cavi non sono ideali, quindi bisogna considerare la lunghezza dei cavi di collegamento per poterne determinare la resistenza di caduta.

Occorre inserire qualche parametro realistico:

$\ell_1 = 1\text{mt}$ (distanza tra SPS n.1 e punto di parallelo dei due alimentatori)

$\ell_2 = 2\text{mt}$ (distanza tra SPS n.2 e punto di parallelo dei due alimentatori)

Per esempio si usano cavi di sezione $S = 2.5\text{mm}^2$, quindi le resistenze dei due fili sono pari a:

$$R_1 = \frac{0,018 \times 2\ell_1}{S} \cong 15\text{m}\Omega$$

$$R_2 = \frac{0,018 \times 2\ell_2}{S} \cong 30\text{m}\Omega$$

(si noti che per una distanza ℓ è necessario un cavo di lunghezza 2ℓ , perchè c'è il cavo positivo e quello negativo. Inoltre si è approssimato per eccesso per tener conto delle resistenze di contatto cavo-morsetto dell'alimentatore).

Si decide inoltre di usare dei classici diodi Shottky: $D1 = D2 = \text{MBR6045}$.

Il sistema è riportato in Figura4.

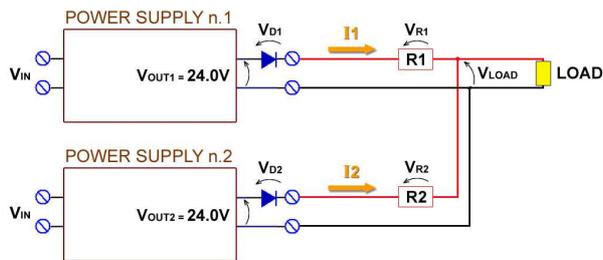


Figura4 – Due alimentatori tarati a 24,0V messi in parallelo con cavo di sezione 2.5mm^2 , a distanza 1mt e 2mt rispettivamente tra gli alimentatori e il punto di parallelo.

Per determinare quali sono le correnti erogate da ciascun alimentatore bisogna risolvere il seguente sistema:

$$\begin{cases} V_{OUT1} - V_{D1} - I_1 \cdot R_1 = V_{OUT2} - V_{D2} - I_2 \cdot R_2 \\ I_1 + I_2 = 20\text{A} \end{cases}$$

Inoltre V_{D1} e V_{D2} dipendono rispettivamente da I_1 e I_2 , e si ricavano dalla caratteristica del diodo MBR6045, riportata in Figura5.

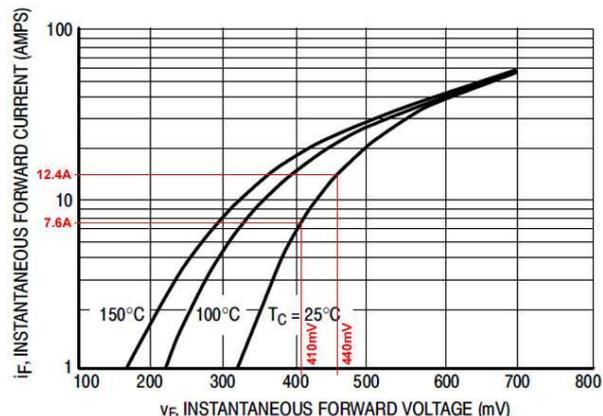


Figura5 – Caratteristica diretta del diodo MBR6045, tratta dal datasheet della On Semiconductor.

Come si vede dalla Figura5 V_{D1} e V_{D2} dipendono anche dalla temperatura del diodo. Assumiamo temperatura dei diodi pari a 25°C , per semplicità di calcolo.

Graficamente si trova che il sistema è risolto per $I_1 = 12,4\text{A}$ e $I_2 = 7,6\text{A}$

mentre il carico è sottoposto a tensione:

$$V_{LOAD} = 23,36\text{V}.$$

Questo esempio qualitativo appena visto fa capire molto bene quanto sia importante il cablaggio in una connessione tra due qualsiasi alimentatori posti in parallelo.

3. Alimentatore con current-sharing passivo

Lo schema a blocchi di un alimentatore switching stabilizzato con funzionalità di current-sharing passivo è del tutto analogo a quello di Figura1.

Tuttavia in questo caso cambia la caratteristica I/V dell'alimentatore, che si presenta come in Figura6: la tensione d'uscita nominale (V_{RATED}) tende a diminuire linearmente al crescere della corrente di carico. Oltre il valore I_{MAX} la tensione d'uscita inizia a scendere molto più bruscamente.

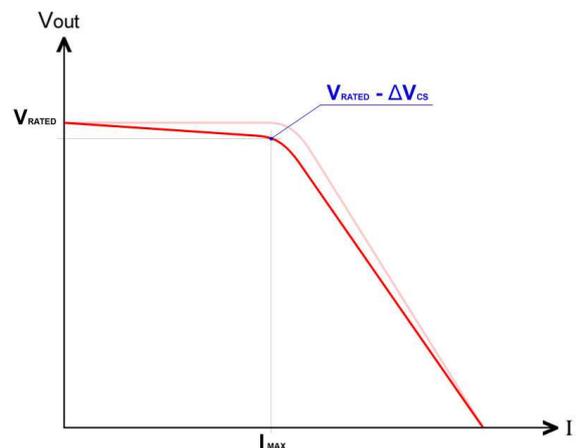


Figura6 – Caratteristica di un alimentatore stabilizzato e con funzionalità di current-sharing passivo.

Ripetiamo l'esempio fatto precedentemente e vediamo come cambia il risultato:

carico = 20A totali

$\ell_1 = 1\text{mt} \rightarrow R_1 = 15\text{m}\Omega$

$\ell_2 = 2\text{mt} \rightarrow R_2 = 30\text{m}\Omega$

sezione cavo = $2,5\text{mm}^2$

$D1 = D2 = \text{MBR6045}$ (On Semiconductor)

temperatura diodi = 25°C

Il CS-passivo fa scendere linearmente la tensione V_{out} degli alimentatori di 50mV/A (valore che può comunque variare a seconda del produttore di alimentatori).

Il sistema è riassunto in Figura 7.

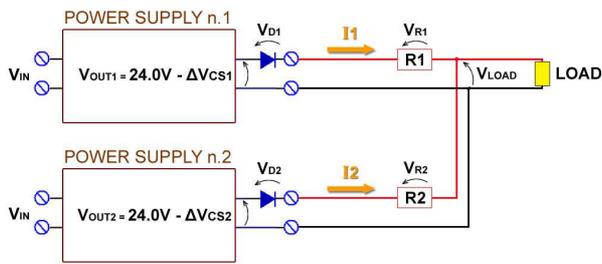


Figura7 – Due alimentatori (con current-sharing passivo) tarati a vuoto a 24,0V messi in parallelo con cavo di sezione 2.5mm², a distanza 1mt e 2mt rispettivamente tra gli alimentatori e il punto di parallelo.

Detto questo il sistema da risolvere è il seguente:

$$\begin{cases} V_{OUT1} - V_{D1} - I_1 \cdot R_1 = V_{OUT2} - V_{D2} - I_2 \cdot R_2 \\ I_1 + I_2 = 20A \end{cases}$$

con:

$$V_{out1} = 24.0V - \Delta V_{CS1} \quad \text{e} \quad V_{out2} = 24.0V - \Delta V_{CS2}$$

e come visto precedentemente V_{D1} e V_{D2} dipendono rispettivamente da I_1 e I_2 .

Non è di facile risolvere precisamente il sistema, ma intuitivamente si capisce che la diminuzione della V_{out} dell'alimentatore all'aumentare della corrente, migliora la equipartizione della corrente.

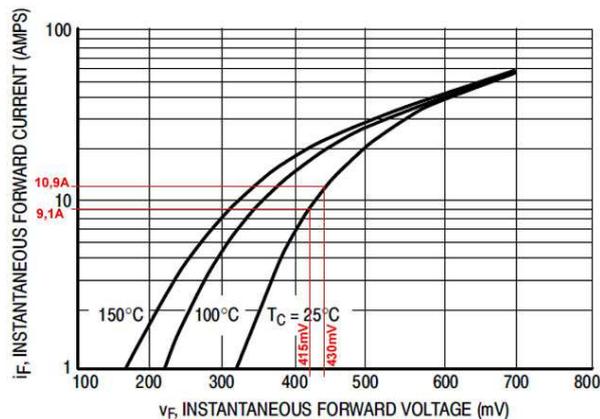


Figura8 – Caratteristica diretta del diodo MBR6045, tratta dal datasheet della On Semiconductor.

Dalla caratteristica dei diodi (Figura 8), e considerando $V_{out} = 24,0V - (50mV \times I)$ si trova che il sistema è risolto per:

$$I_1 = 10,9A \quad \text{e} \quad I_2 = 9,1A$$

mentre il carico è sottoposto a tensione:

$$V_{LOAD} = 22,85V.$$

Come si può vedere il current-sharing passivo ha un po' migliorato lo sharing di corrente, rispetto al caso precedente.

Di contro però la tensione a cui si trova il carico è diminuita, proprio per il funzionamento del current-sharing passivo.

Si noti che la temperatura, che in questa trattazione abbiamo considerato pari a 25°C fissa,

nella realtà tendere a peggiorare lo sharing di corrente: infatti ogni diodo si scalda maggiormente al crescere della corrente che lo attraversa, conseguentemente abbassando la propria V_d , e quindi opponendosi allo sharing.

4. Alimentatore con current-sharing attivo

In un alimentatore con current-sharing attivo, lo stadio di controllo è composto da due blocchi:

il blocco chiamato MAIN-REGULATION tenta di mantenere la tensione d'uscita dell'alimentatore V_{out} stabilizzata alla tensione definita, un secondo blocco CS-REGULATION tenta invece di alzare il valore di V_{out} nel caso in cui l'alimentatore eroghi una corrente inferiore agli altri alimentatori in parallelo.

La comunicazione con gli altri alimentatori è realizzata mediante un cavo di interconnessione tra gli alimentatori.

In Figura9 è rappresentato lo schema a blocchi di un alimentatore switching stabilizzato con current-sharing attivo.

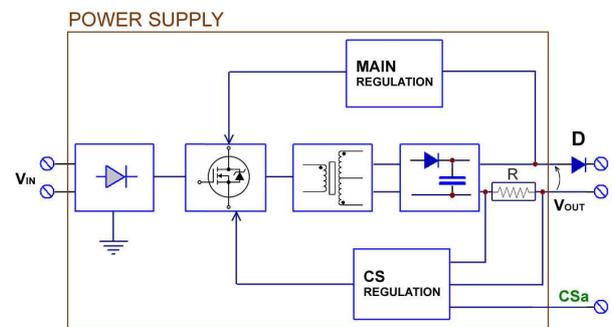


Figura9 – Schema a blocchi di un alimentatore switching stabilizzato con current-sharing attivo.

Non entriamo nei dettagli del blocco di controllo CS-REGULATION.

Invece ripetiamo l'esempio effettuato nei due precedenti casi e vediamo come cambia il risultato:

carico = 20A totali

$$l_1 = 1mt \rightarrow R_1 = 15m\Omega$$

$$l_2 = 2mt \rightarrow R_2 = 30m\Omega$$

sezione cavo = 2,5mm²

D1 = D2 = **MBR6045** (On Semiconductor)

temperatura diodi = 25°C

CS-attivo mediante interconnessione CSa

La prova è stata effettuata utilizzando due alimentatori **SPS501DZ1_230A-24-20** prodotti da Advel, e già contenenti internamente i diodi di disaccoppiamento MBR6045 (Figura 10).

Questi alimentatori presentano la funzionalità di current sharing attivo, sono stati tarati a 24,0V a vuoto e poi messi in parallelo, come da procedura consigliata nella scheda tecnica del prodotto.



Figura10 – Alimentatori SPS501DZ1 utilizzati per il test.

Dai rilievi effettuati è risultato che:

$V_{o'} = 23,6V^{(*)}$ e $I_1 = 10,2A$
 $V_{o''} = 23,75V^{(*)}$ e $I_2 = 9,8A$
 mentre il carico è sottoposto a tensione:
 $V_{LOAD} = 23,45V$.

(*) $V_{o'}$ e $V_{o''}$ sono letture effettuate sui morsetti e quindi a valle dei diodi di parallelo, che sono interni.

Per fare un confronto con i casi precedenti, assumendo $V_{d1} \sim V_{d2} = 0,425V @ 25^\circ C$, abbiamo:
 $V_{out1} = 23,6V + 0,425V = 24,025V$
 $V_{out2} = 23,75V + 0,425V = 24,175V$

Il sistema è riassunto in Figura 11.

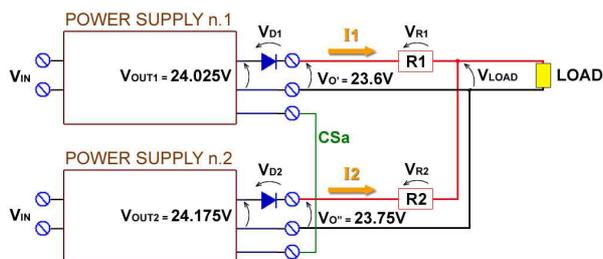


Figura11 – Due alimentatori (con current-sharing attivo) tarati a vuoto a 24,0V messi in parallelo con cavo di sezione 2.5mm², a distanza 1mt e 2mt rispettivamente tra gli alimentatori e il punto di parallelo. Cablato il cavo di interconnessione per il current-sharing attivo.

Si noti che il Current Sharing attivo fa sì che il secondo alimentatore elevi la propria tensione d'uscita per compensare la caduta di tensione sui cavi di collegamento e consentire così una ripartizione di carico più equa.

5. Confronto con alimentatori tarati

Il confronto dei 3 sistemi appena visti (senza CS, con CS passivo e con CS attivo) è riportato in Tabella1 e graficamente in Figura 12. Le condizioni dei sistemi sono le seguenti:

alimentatori tarati a 24,0V a vuoto, poi messi in parallelo con cavi di collegamento di sezione 2,5mm², e distanza 1mt e 2mt rispettivamente tra alimentatori e carico, carico totale 20A.

	SPS1	SPS2	
Vout (rated at no-load)	24,0V	24,0V	dev.
Iout (no-CS)	12,4	7,6	24,00%
Iout (passive-CS)	10,9	9,1	9,00%
Iout (active-CS)	10,2	9,8	2,00%

Tabella1 – Risultati dei 3 sistemi appena visti, con pretaratura a vuoto degli alimentatori a 24,0V.

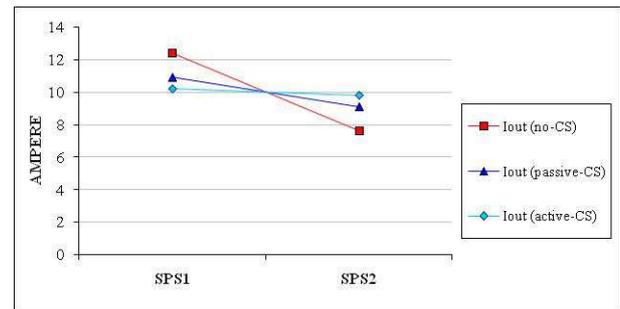


Figura 12 – Risultati grafici dei risultati di Tabella 1.

Va detto che i risultati del sistema con CS-passivo sono teorici, e per semplificare i calcoli non è stato tenuto conto della temperatura dei diodi, che aumenta al crescere della corrente, e che tenderebbe in realtà a peggiorare lo sharing. Ciò avvalorava ancora di più gli ottimi risultati ottenuti con l'utilizzo del CS-attivo mediante utilizzo degli **SPS501DZ1** prodotti da Advel: la deviazione media con CS attivo è stata solo del 2%, contro il 9% ottenuto con CS passivo e 24% senza CS.

6. Confronto con alimentatori non tarati

È utile ripetere il confronto stando appositamente i due alimentatori: per esempio a 24,1V e 24,0V rispettivamente.

Infatti, come già detto, dopo anni di funzionamento gli alimentatori possono stararsi per via dell'inevitabile invecchiamento dei componenti interni.

La taratura a vuoto degli alimentatori viene effettuata come in Figura 13.

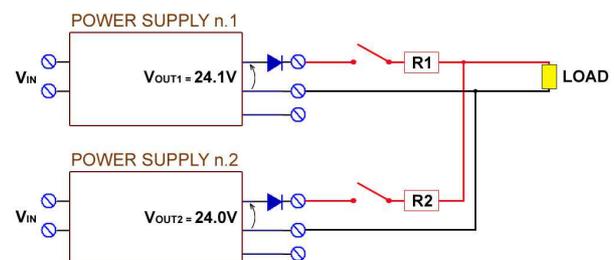


Figura13 – Nuovo test: due alimentatori tarati a vuoto a 24,1V e 24,0V rispettivamente. Dopodichè verranno messi in parallelo con cavo di sezione 2,5mm², distanza 1mt e 2mt rispettivamente tra gli alimentatori e il punto di parallelo, nei tre casi: senza CS, con CS passivo e con CS attivo.

Senza CS:

facendo la consueta assunzione $T = 25^{\circ}\text{C}$ per i diodi di parallelo, e ripetendo i calcoli fatti precedentemente, si ottiene:

$$V_{\text{out}1} = 24,1\text{V e } I_1 = 15,2\text{A}$$

$$V_{\text{out}2} = 24,0\text{V e } I_2 = 4,8\text{A}$$

$$V_{\text{LOAD}} = 23,41\text{V}$$

Con CS passivo:

facendo la consueta assunzione $T = 25^{\circ}\text{C}$ per i diodi di parallelo, e ripetendo i calcoli fatti precedentemente, si ottiene:

$$V_{\text{out}1} = 23,48\text{V e } I_1 = 11,6\text{A}$$

$$V_{\text{out}2} = 23,56\text{V e } I_2 = 8,4\text{A}$$

$$V_{\text{LOAD}} = 22,91\text{V}$$

Con CS attivo:

rilievi su sistema realizzato mediante due **SPS501DZ1** prodotti da Advel, si ottiene:

$$V_{\text{out}1} = 24,05\text{V e } I_1 = 10,3\text{A}$$

$$V_{\text{out}2} = 24,19\text{V e } I_2 = 9,7\text{A}$$

$$V_{\text{LOAD}} = 23,47\text{V}$$

Il confronto dei 3 sistemi appena visti (senza CS, con CS passivo e con CS attivo) con alimentatori appositamente starati di 100mV, è riportato in Tabella2 e graficamente in Figura 14.

	SPS1	SPS2	
V_{out} (rated at no-load)	24,1V	24,0V	dev.
I_{out} (no-CS)	15,2	4,8	52,00%
I_{out} (passive-CS)	11,6	8,4	16,00%
I_{out} (active-CS)	10,3	9,7	3,00%

Tabella2 – Risultati dei 3 sistemi appena visti, con pretaratura a vuoto degli alimentatori a 24,1V e 24,0V rispettivamente.

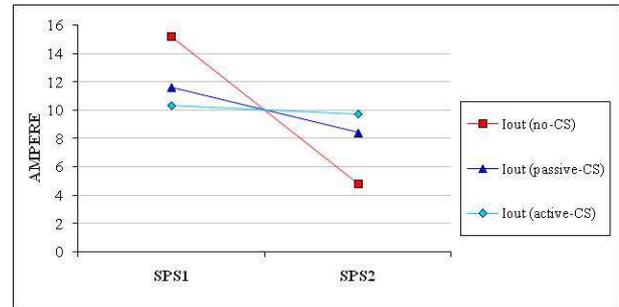


Figura 14 – Risultati grafici dei risultati di Tabella 2.

Anche in questo caso il CS attivo fa ottenere una deviazione media non superiore al 3%, del tutto accettabile. Da notare che il blocco di regolazione CS-REGULATION alza la tensione d'uscita dell'alimentatore che eroga meno corrente (il n.2) di ben 200mV, compensando sia la caduta sul cavo, sia l'errore di taratura.

6. Conclusioni

Sono stati messi a confronto 3 sistemi composti da due alimentatori in parallelo, appositamente cablati con cavi di diversa lunghezza e non tarati. Il sistema con alimentatori SPS501DZ1 prodotti da Advel, aventi **CSa** (current sharing attivo) hanno assicurato una ripartizione di corrente più che accettabile. Di contro il sistema dotato di **CSp** (current sharing passivo) ha dato risultati non soddisfacenti, soprattutto per correnti di carico molto alte. Peraltro la stessa caduta di tensione sui cavi di collegamento realizza di fatto un CSp.

»ADVEL«
ELETTRONICA INDUSTRIALE

HEADQUARTER: Via Miglioli 13, Segrate 20090 MI (Italy)
Technical DPT & R/D: Eng. A.Spinosi, tec@advel.it