



Giulio Ricotti

Safety, Reliability and Management of onboard Power Supply System for RC-Airplane Model

Introduction

When I pilot an airplane model powered by thermal engine, I'm always afraid that at any moment the onboard batteries collapse or a supply connector fails causing the imminent loose of control of the plane and why not in a moment when the engine was running at maximum power.

It's really a not pleasure feeling.

Based on my professional experience of IC designer, I tried to think to a circuit solution able to duplicate all the elements in the path between batteries (at least 2 batteries) and receiver radio and servos.

Even the circuit topology need to be designed according to the robustness rules to avoid failures or at least to be immune to a single failure.

Circuit description

Before to enter in the circuit analysis let's consider the choice of the battery, that depends by several factors, generally for the onboard electronic systems like servos and receivers I use four cells AA in series of NiMH battery with a capacity at least of 1700mA*h. What I'm describing is a central power unit installed on my Gee Bee R3 (Figure 2), in that model I adopted the new digital servo Hitec HS5665MH that can be supplied even at 7.4V nominal voltage, the typical value of 2 LiPO batteries. This is the case that defines also the battery choice.

For radio I'm using Futaba system, a T10GC for transmitter and in this model I installed the receiver R617 that unfortunately doesn't accept more than 6.0V as input supply voltage.

The servos can be directly supplied by the battery but the receiver needs a voltage regulator to generate 5V. Generally I prefer to have only passive components or even a simple copper wire between voltage source (battery) and the utilizer (radio + servos) to minimize any possible risk of failure, but in this case the regulator is mandatory. Well, if it is necessary, at least let's duplicate it to trust on double parallel path in case of single failure.

Inside the Gee Bee R3 I have 4 digital servos Hitec HS5665MH respectively for elevator, rudder and 2 for the aileron, but for the throttle I used a standard type analog servo supplied at 5V maximum, and so the power unit needs to deliver 5V also for the servo, not only to the receiver.



Giulio Ricotti

To guarantee the maximum clean supply voltage to the receiver I generated two independent regulated 5V lines. In Figure 1 there is the general schematic where there are three voltage regulators, two are physically in parallel for redundancy and dedicated to supply the servos at 5V, one is used to supply the receiver. This one is a low drop regulator L4941 able to deliver more than 1A in continuous conditions, but it's supplying only the receiver with a current in the order of few tens of mA, so it's abundantly oversized.

These 2 independent 5V supply lines are cross-linked by 2 Shottcky diodes in anti-parallel configuration, the reason is to have a triple parallel path in case of failure, in fact if the regulator U1 is failing the receive supply line doesn't drop but it's remain linked to the servo supply line through the diode. The same explanation is applicable in case of failure of the 5V servo supply line even if in this case the current is limited but we are in a failure condition and any possible way must be activated to save the controllability, avoiding any acrobatic figure, but just the safe landing.

I've already developed the next generation of this power supply unit able to survive in most wide failure condition like the internal short circuit condition of the voltage regulators, but at the moment (during the writing of this paper) I didn't finish all the necessary tests for reliability and robustness to allow a honest publication.

On the right side of the schematic of Figure 1 there are the connectors to plug the receiver and the servos. These three connectors are respectively supplied by the "5V radio", by the "5V servo" and directly by the 7.4V from LiPO main batteries.

Particular attention has been dedicated to the battery connectors; in this case the supply path is redounded four times in parallel. Each battery has the main connector and also the balance connector, in both connectors the 7.4V are present and the schematic accept both connectors in parallel for both batteries ... it should be enough!

Let's now describe the left side of the schematic regarding the ON/OFF switch and the battery mix.

The LiPO batteries can also be connected physically in parallel in this case if one is failing becoming an open circuit (high impedance) the other is continuing working guaranteeing the energy to the system. In case of failure but in short circuit even just one battery element, if they are connected in parallel the functionality is not guaranteed because the shorted battery loads the other one. In general this behavioral is simply solved with a diode in series to each battery.

Well even in my solution there are these diodes, but being in the "critical" path, I doubled them using two diodes in parallel for each battery. Obviously I used Shottcky diodes to limit at minimum level the voltage drop. I chose the diode 95SQ015, because is able to manage up to 9A with a forward voltage of 250mV.

This solution is safe, in the schematic is represented by D1, D2, D3 and D4, but optionally we can bypass the diodes with a fuse, to avoid the 200mV (<250mV because two diodes in parallel) of voltage drop. Now you can say that it's dangerous put a fuse in series to the main supply, what happen if it fuses? Yes, generally I agree, but in this case the fuse is in parallel to the diodes and if it fuses during normal functionality no any risky situation occurs because the current flows through the diodes and we get only the 200mV of voltage drop.



Giulio Ricotti

If a source battery goes in short circuit the current generated by the other blows the fuse and the diodes are in reverse biased disconnecting the damaged battery.

In any case the fuse solution is optional and the circuit work well even without the fuses.

I left as last block the power on switch because it's the most important function of the systems even in terms of safety.

Obviously it is implemented in solid state mode, and the physical switch is performed by the 2 power MOS M1 and M2 connected in parallel to guarantee the double redundant path. They are the ST Power MOS STB70NF02L with an ON resistance of just 9m Ω and a DC current up to 70A and being two in parallel we get a on resistance of 4.5m Ω and a maximum manageable current of 140A, values very oversized for this application. These MOS can be replaced with the IRF3717 with an ON resistance of 4.5m Ω and a drain current of 20A. These two MOS are in parallel to have a redundant current path and are both in ON state thanks to the two resistors R2 and R3 (see Figure 1) that pull up the gate to the battery voltage. The capacitor C1 makes dynamic low impedance in the gate allowing using high value resistors (R2&R3).

Using this reverse logic, to turn OFF the system through the connector PN7 there is a removable JUMP that realize a short circuit between GATE and SOURCE of the 2 MOS turning them OFF. Before fly it's just a matter to remove the JUMP PLUG and the 2 resistors pull up the Vgs to Vbatt and the system is powered on.

This solution is very safe, because the working condition is obtained opening a mechanical contact (the plug) so it is immune to the false contacts due to oxidation or dirty and dust, because when the system is supplied (ON) the contact is in OPEN CIRCUIT, when it is OFF the contact is in short circuit so if a false contact happen, it isn't a critical situation, because the system turns ON and cannot happen the switching off condition.

When it's in OFF state, there is a minimal current of about 70uA flowing through the resistors R2 and R3, but it is very negligible compared with the battery capacity.

I designed and realize this energy management system and installed on the Gee Bee R3 model with positive and safety results, but I'm not responsible of the functionality of any copy realized by the readers.



Giulio Ricotti

Introduzione

Quando piloto un modello di aereo con motore a scoppio, temo sempre che da un momento all'altro le batterie di bordo o un connettore di alimentazione si guastino causando l'imminente perdita del controllo dell'aereo e perché no in un momento in cui il motore stava funzionando a massima potenza. Sinceramente è una sensazione poco piacevole.

Sulla base della mia esperienza professionale di progettista di circuiti integrati, ho cercato una soluzione circuitale in grado di duplicare tutti gli elementi presenti nel percorso tra le batterie (almeno due batterie), la ricevente radio ed i servi.

Anche la topologia circuitale deve essere progettata secondo le regole di robustezza per evitare rotture o almeno essere immune a un singolo guasto.

Descrizione del circuito

Prima di entrare nell'analisi circuito, consideriamo la scelta della batteria, che dipende da diversi fattori, in generale per i sistemi elettronici di bordo come servi e riceventi utilizzo una serie di quattro celle di batterie NiMH AA con una capacità fino a 1700mA*h. Quello che sto descrivendo è un circuito di energy management installato sul mio Gee Bee R3 (Figura 2), per il quale ho adottato i nuovi servi digitali Hitec HS5665MH che possono essere alimentati anche ad una tensione nominale di 7.4V cioè il valore tipico di due batterie LiPO.

Per il radio-controllo utilizzo il sistema Futaba, una T10GC per il trasmettitore e in questo modello ho installato la ricevente R617 che purtroppo non accetta una tensione di alimentazione superiore ai 6.0V.

Quindi ci troviamo nella situazione che i servocomandi possono essere alimentati direttamente dalla batteria, ma la ricevente ha bisogno di un regolatore di tensione per generare i 5V. Generalmente preferisco avere solo componenti passivi meglio ancora un semplice filo di rame tra la sorgente di tensione (batteria) e l'utilizzatore (servi e radio) per ridurre al minimo ogni possibile rischio di fallimento, ma in questo caso il regolatore è inevitabile. Beh, se è necessario, almeno cerchiamo di duplicarlo per confidare sul doppio percorso parallelo in caso di singolo guasto.

All'interno del Gee Bee R3 ho quattro servi digitali Hitec HS5665MH rispettivamente per l'elevatore, il timone e due per gli alettoni, ma per il gas ho usato un servo di tipo analogico standard con alimentazione massima di 5V, quindi la centralina di alimentazione deve fornire 5V anche per il servo, non solo per la ricevente.

Per garantire la massima tensione di alimentazione "pulita" al ricevitore ho generato due linee indipendenti regolate a 5V. Nella Figura 1 è riportato lo schema generale in cui ci sono tre regolatori di tensione, due sono fisicamente in parallelo per la ridondanza e dedicati a fornire i



Giulio Ricotti

5V ai servi, uno è utilizzato per alimentare la ricevente. Questo è un low drop regulator L4941 in grado di offrire più di 1A continui, ma in questo caso sta alimentando solo la ricevente che richiede una corrente dell'ordine di poche decine di mA, quindi abbondantemente sovradimensionato per l'utilizzo in questione.

Queste due linee indipendenti di alimentazione a 5V sono legate con 2 diodi Shottcky in configurazione anti-parallelo, il motivo è di avere un doppio percorso parallelo in caso di guasto, se il regolatore U1 fallisce la linea di alimentazione della ricevente non scende ma rimane collegata alla linea di alimentazione dei servi attraverso il diodo. La stessa spiegazione è applicabile in caso di guasto della linea di alimentazione 5V dei servi anche se in questo caso la corrente disponibile è limitata, ma teniamo presente che siamo in una condizione di guasto ed ogni possibile via per salvare la controllabilità deve essere attivata, non per fare acrobazia, ma per garantire un sicuro atterraggio.

Ho già sviluppato anche una nuova generazione di quest'alimentatore in grado di sopravvivere in condizioni più ampie di guasto, come la condizione di corto circuito interno dei regolatori di tensione, ma al momento (durante la stesura di questo articolo) non ho completato tutte le prove necessarie per l'affidabilità e robustezza che ne consentono la pubblicazione.

Sul lato destro dello schema di Figura 1, vi sono i connettori per collegare la ricevente ed i servi. Questi tre connettori sono rispettivamente forniti dai "5V_radio", dai "5V_servo" e direttamente dai 7.4V dalle batterie principali LiPO.

Particolare attenzione è stata dedicata ai connettori della batteria, in questo caso il percorso di alimentazione è ridondato quattro volte in parallelo. Ogni batteria è connessa sia col connettore principale sia col connettore di bilanciamento, in entrambi i connettori sono presenti i 7.4V e lo schema accetta entrambi i connettori in parallelo e per entrambe le batterie ... dovrebbe essere abbastanza!

Passiamo ora a descrivere la circuiteria riguardante l'interruttore ON / OFF e la miscelazione delle due batterie.

Le batterie LiPO potrebbero anche essere collegate fisicamente in parallelo, così facendo se una si guasta e diventa un circuito aperto (alta impedenza) l'altra continua a lavorare regolarmente garantendo l'energia al sistema. In caso di fallimento con corto circuito di almeno un elemento di una batteria, se sono direttamente in parallelo la funzionalità non è più garantita perché il corto circuito diventa un carico per la batteria sana. In generale questo inconveniente viene semplicemente risolto con un diodo in serie ad ogni batteria. Bene, anche nella mia soluzione ci sono questi diodi, ma essendo nel percorso "critico" ne ho previsti due in parallelo su ogni batteria. Ovviamente ho optato per diodi Shottcky per limitare al minimo la caduta di tensione. Ho scelto il diodo 95SQ015, che è in grado di gestire fino a 9A con una tensione diretta di 250mV.

Così facendo si ha una soluzione sicura e funzionante, opzionalmente possiamo bypassare i diodi con un fusibile, per evitare il 200mV (<250mV perché 2 diodi in parallelo) di caduta di tensione. Ora si può dire che è pericoloso mettere un fusibile in serie alla rete principale, cosa succede se fonde? Sì, in generale sono d'accordo, ma in questo caso il fusibile è in parallelo ai diodi e se fonde durante il normale funzionamento, non si genera alcuna situazione rischiosa,



Giulio Ricotti

semplicemente la corrente passa nei diodi e si torna ad avere la caduta di tensione di 200mV senza in alcun modo compromettere la funzionalità.

Se una batteria sorgente va in corto circuito la corrente generata dall'altra brucia il fusibile, polarizzando inversamente i diodi che in questo modo isolano la batteria danneggiata.

Si tenga presente che la soluzione del fusibile resta un'opzione facoltativa; il sistema funziona correttamente anche senza.

Ho lasciato come ultimo blocco l'interruttore di accensione poiché in termini di sicurezza è la funzione più importante della centralina.

L'interruttore di accensione è implementato allo stato solido mediante due MOS di potenza M1 e M2 collegati in parallelo sempre per garantire il doppio percorso ridondante. Sono POWER MOS STB70NF02L della STMicroelectronics con resistenza da accesi di appena 9mΩ e una corrente DC fino a 70°, essendo due in parallelo risulta una resistenza di 4.5mΩ e una corrente massima gestibile di 140A, un valore di molto sovradimensionato per questo impiego. Questi MOS possono essere sostituiti anche con l'IRF3717 avente una resistenza ON di 4.5mΩ e una massima corrente di 20A. Come detto, questi due MOS sono in parallelo per realizzare un percorso di corrente ridondante e sono entrambi in stato ON grazie alle due resistenze R2 e R3 (vedi Figura 1) applicano al gate la tensione della batteria. Il condensatore C1 garantisce una bassa impedenza dinamica sul gate consentendo l'uso di resistenze di valore elevato (R2 e R3).

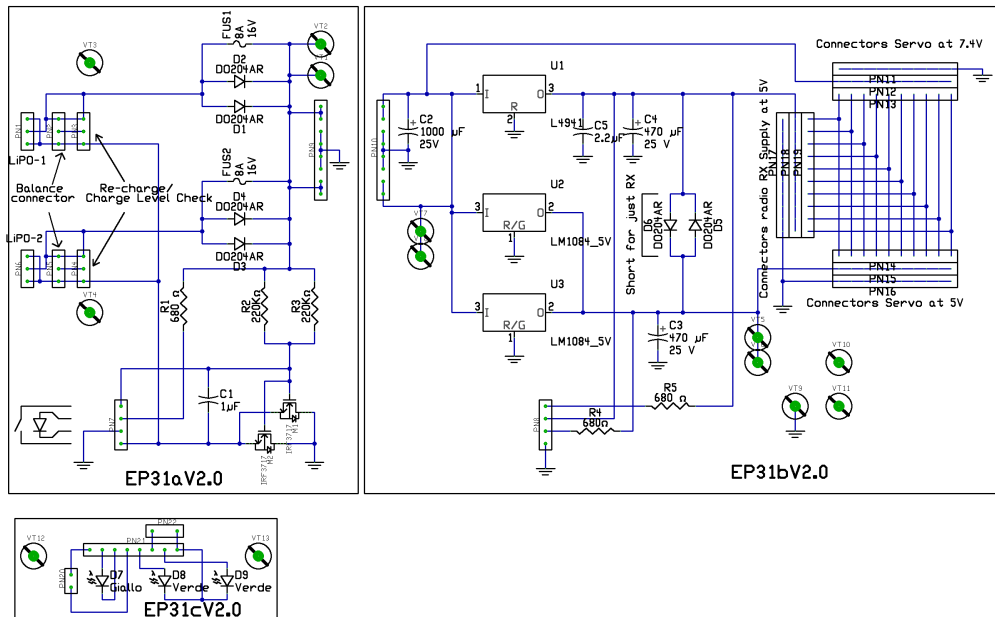
Applicando il metodo di logica inversa, per spegnere il sistema si agisce con un JUMPER removibile sul connettore PN7 che spegne i due MOS realizzando un corto circuito tra gate e source forzandoli nello stato OFF. Prima di volare è semplicemente necessario rimuovere il JUMPER e le due resistenze polarizzano la Vgs a Vbatt accendendo il sistema.

Questa soluzione è molto sicura, la condizione di volo è ottenuta aprendo un contatto meccanico (spina o JUMPER) in modo da essere immune a falsi contatti dovuti all'ossidazione o a contatti sporchi, semplicemente perché quando il sistema è alimentato (ON) il contatto è un CIRCUITO APERTO. Col JUMPER inserito si è nello stato spento, ed in caso di falso contatto non si generano situazioni critiche, perché può solo accadere che la centralina si accende.

Nello stato OFF, c'è una corrente minima di circa 70uA che fluisce attraverso i resistori R2 e R3, ma è del tutto trascurabile rispetto alla capacità della batteria.

Ho progettato e costruito questo sistema di gestione dell'alimentazione installato sul mio modello GeeBee R3 con risultati positivi sicuri, ma non mi assumo alcuna responsabilità per una riproduzione ed utilizzo di questa centralina da parte dei lettori.

Giulio Ricotti



Co:	Hobby
Title:	Centralina alimentazione RX
Board:	EP31V2.0 a-b-c
Author:	Giulio Ricotti
Date:	26 Luglio 2012
Revision:	A
Size:	A
Sheet:	1 of 2

Figure 1 - Electrical schematic of the Power Supply unit



Figure 2 Gee Bee R3, 2m wing span, mass 7Kg engin OS160