



## Alles über BEC-Stromversorgungen

### Sicherheit im Modellflug durch sichere Empfängerstromversorgung

*Im Testbericht über den Furore von Simprop in der FMT 3/2001 wurde berichtet, dass die Verwendung von Pufferakku bei BEC-Reglern der Firma Schulze Elektronik nicht zulässig sei. Da die Komplexität des Themas keine fundierte Beantwortung „in zwei Sätzen“ zulässt, war dies Anlass für Ulf Herder (Elektronik-Spezialist) und Matthias Schulze (Firmeninhaber) einen Artikel über BEC-Systeme zu verfassen, der die Zusammenhänge zwischen BEC und Pufferakku ausführlicher betrachtet.*

Als erstes behandeln wir das Thema, wie der Regler/Steller erkennen kann, dass der Flugakku leer wird, damit der Motor genau dann gedrosselt oder abgeschaltet wird, um die Empfängerstromversorgung nicht zu gefährden.

Es gibt prinzipiell drei verschiedene Möglichkeiten diesen Zustand zu erkennen:

#### 1) Dynamische Messung der Flugakkuspannung.

Man kann die abnehmende Flugakkuspannung analysieren und durch die steiler abfallende Spannungskurve feststellen, dass Akku leer wird.

- Vorteile: Hohe Präzision, un- abhängig von der Zellenzahl. Man erkennt einen leeren Flugakku auch, wenn ein Pufferakku angeschlossen ist.
- Nachteile: Erfordert einen Analog/Digitalwandler im Mikroprozessor und relativ viel Speicherplatz.
- Eine BEC-Überlastung wird nicht erkannt.
- Fazit: Diese Lösung wird in der Regel nicht verwendet.

#### 2) Grenzwerterkennung der Flugakkuspannung.

Man kann die Flugakkuspannung mit einem festen Grenzwert, z. B. 5,6 V, vergleichen, und beim Erreichen dieses Grenzwertes abregeln und/oder bei Unterschreitung des Wertes abschalten.

- Vorteile: Kein Analog/Digitalwandler, sondern nur Vergleicher (Komparator) erforderlich. Man erkennt einen leeren Flugakku auch, wenn ein Pufferakku angeschlossen ist.
- Nachteile: Motor wird schon gedrosselt/abgeschaltet, wenn das BEC noch nicht gefährdet ist. D. h.: Bei einem 6-zelligen Flugakku wird der Motor zu früh abgeregelt, der Akku wird unvollständig ausgenutzt.
- Für die technische Realisierung ist meist eine zusätzliche Referenzspannung erforderlich.
- Die Reservekapazität für die Empfangsanlage nach der Abschaltung ist (natürlich) abhängig von der Belastung des Flugakkus und der Zellenzahl.
- Eine BEC-Überlastung wird nicht erkannt.

#### 3) Messung der Differenzspannung zwischen Flugakku- und BEC-Spannung.

- Vorteile: Relativ einfache Messung der Differenzspannung durch einen Transistor.
- Man erkennt einen leeren Flugakku auch, wenn ein Pufferakku angeschlossen ist.
- Nachteile: Motor wird schon gedrosselt/abgeschaltet, wenn BEC noch nicht gefährdet ist.

- Wenn die BEC-Spannung durch zu hohe BEC-Belastung zusammenbricht, führt diese nicht zum Abregeln/Abschalten des Motors, d. h. eine Warnfunktion, die vom Piloten als „Störung“ wahrgenommen wird, ist nicht gegeben.

#### **4) Messung der BEC-Spannung.**

Nachlassende BEC-Spannung führt zum Abregeln/Abschalten des Motors.

- Vorteile: Nutzt den Flugakku am weitesten aus. Mit Einschränkungen könnten sogar 5-zellige Akkus genutzt werden.

- Es wird sowohl eine ungenügende Flugakkuspannung, als auch eine Überlastung des BEC-Systems erkannt.

- Benötigt keinen Analog/Digital-Wandler.

- Nachteil: Man erkennt einen leeren Flugakku nicht, wenn ein Pufferakku angeschlossen ist.

- Noch schlimmer: In diesem Fall wird dann der Motor aus dem Pufferakku gespeist.

#### **Wozu soll ein Pufferakku dienen:**

- a) Sicherstellen der BEC-Spannung bei überlastetem BEC-System,
- b) Sicherstellen der BEC-Spannung bei leer werdendem Flugakku,
- c) Sicherstellen der BEC-Spannung bei Lötstellenbruch im Flugakku.

#### **Grundsätzliches zum Fliegen mit Pufferakku:**

Wird ein leerer vierzelliger Pufferakku an das 5V-BEC System angeschlossen, so wird dieser garantiert nicht geladen, da ein Ladestrom erst bei ca. 1,25 V pro Zelle (d. h. 5 V) fließt. Da die BEC-Spannung in der Regel aber nur 5 V beträgt, wird der Pufferakku allenfalls minimalst geladen.

Wenn ein voller vierzelliger (Ni- Cd bzw. Ni-MH) Pufferakku angeschlossen wird, so wird durch die Empfangsanlage zuerst der Pufferakku bis auf 5V (die BEC-Spannung) entladen. Das heißt, daß fast keine Reservekapazität für den Notfall eines leeren Flugakkus zur Verfügung steht.

#### **Fazit:**

Unter bestimmten Voraussetzungen funktioniert die Verwendung eines Pufferakkus nur, wenn dieser vor dem Einsatz voll geladen wurde und ein BEC-System nach den oben genannten Typen 1-3 vorhanden ist.

Bei vollem Flugakku wird das BEC-System den Pufferakku, und nicht umgekehrt der Pufferakku das BEC-System, vor zu hohen Spannungseinbrüchen schützen.

Da aber sowieso der Empfänger-Pufferakku die Stromversorgung für das Empfangssystem bereitstellt, ist es aus Gründen der Störsicherheit besser, einen Steller mit Optokoppler zu benutzen.

#### **Technische Einzelheiten:**

##### **Spannungsbereich des Mikroprozessors:**

Prinzipiell (im Einzelnen ist das natürlich typabhängig) sind die verwendeten Mikroprozessoren für Versorgungsspannungen von etwa 5V konzipiert. Meist funktionieren Sie noch bis herunter zu 3,3 V. Ab 5,5 V können sie kaputt gehen oder zumindest den Betrieb einstellen. Wenn Spannungsversorgung des Mikroprozessors direkt an das BEC-System angeschlossen ist, kann dieser durch den Anschluss eines vollen Pufferakkus beschädigt werden oder, wenn z. B. an einem slim-08 ein Pufferakku angeschlossen wird, geht zuerst der 5,6V Überspannungsschutz im BEC-System kaputt. Danach arbeitet - falls das eigentliche BEC-System überlebt hat - der Mikroprozessor

zumindest im Teillastbetrieb des Motors durch den fehlenden Überspannungsschutz fehlerhaft.

Hat der Mikroprozessor eine (intelligent) entkoppelte Betriebsspannung, dann schadet der Anschluss des Pufferakkus zumindest dem Mikroprozessor nicht.

### **zu a) Sicherstellen der BEC- Spannung bei überlastetem BEC-System**

da ein Pufferakku in der Regel nicht ausreichend gepflegt wird (d.h. keine Entlade/Ladezyklen an einer externen Akkupflegestation erfährt) wird er mit zunehmendem Alter immer mehr zu einem Kondensator.

Nach einem Jahr hat ein 110 mAh Ni-Cd Akku in der Regel nur noch etwa 30 mAh. (Ausnahme: Sanyo Longlife Series, erkennbar durch ein C am Ende der Bezeichnung (Sanyo N350AAC)).

Vereinfacht gesagt: Ob solch ein Pufferakku nun wegen ungenügender Pflege oder einfach nur durch das „Aufladen“ auf 5 V die besagten 30mAh Kapazität hat, teilen sich der überlastete Spannungsregler im BEC-System und der Pufferakku die Arbeit zu gleichen Teilen. D. h. nach 60 mAh „Stromverbrauch“ der Empfangsanlage ist der Pufferakku leer.

Zur Stromversorgung steht nur noch das BEC zur Verfügung!

Die erhoffte Pufferwirkung bei leerem Flugakku besteht durch den inzwischen leeren Pufferakku längst nicht mehr.

### **zu b) Sicherstellen der BEC- Spannung bei leer werdendem Flugakku**

Das funktioniert sowieso nur, wenn der Empfängerakku überhaupt noch Kapazität hat, denn im gesamten Flug wird die Empfangsanlage durch den „Pufferakku“ versorgt.

Der Mikroprozessor hat noch ausreichend Spannung, um den Motor zu drosseln oder abzuschalten. Wird allerdings ein BEC-System nach Typ 4 verwendet und ein voller Pufferakku angesteckt, erkennt der Mikroprozessor solange „BEC ok“, bis die Flugakkuspannung ca. 0,7 V unter die Pufferakkuspannung gefallen ist. Dieses ist technisch

durch eine parasitäre- oder Schutzdiode im BEC-System bedingt. Dann entlädt der Motor gleichzeitig sowohl den Flugakku, als auch mit den besagten 0,7V Spannungsdifferenz den Pufferakku. Wenn der Flugakku dann unter ca. 4,3 V gefallen ist, hat der Pufferakku also noch genau 5V. Erst danach passiert etwas ganz fatales: Die 5 V Spannungsregelung des BEC-Systems greift ein und will die inzwischen auf unter 5V gefallene Pufferakkuspannung stützen. Aus diesem Grund wird die vermeintlich höhere Flugakkuspannung auf den Pufferakku geschaltet, um die 5 V stabil zu halten. Dadurch fällt die Pufferakkuspannung schlagartig auf 4,3 V ab, und damit die gesamte Stromversorgung der Empfangsanlage und des Mikroprozessors. Nur wenn man Glück hat, erkennt jetzt der Mikroprozessor noch die zusammengebrochene BEC-Spannung und kann den Motor schleunigst ab- schalten. Genausogut kann aber der Mikroprozessor so unglücklich „aussteigen“, dass der Motor eingeschaltet bleibt und in Sekundenbruchteilen die BEC-Spannung restlos zusammenbricht. Absturz!

### **zu c) Sicherstellen der BEC- Spannung bei Lötstellenbruch im Flugakku**

Auf den ersten Blick könnte man sagen, dass bei einem Lötstellenbruch eigentlich problemlos funktionieren müsste: Ist kein Flugakku durch die gebrochene Lötstelle mehr dran, ist der Motor aus und der Pufferakku (wenn er noch puffern kann, siehe oben) hält die Empfangsanlage am Leben.

Doch leider sieht die Wirklichkeit durch die unter b) genannten „parasitären“ Eigenschaften nahezu jeden BEC-Systems anders aus. Ist der Motor beim Bruch des Flugakkus eingeschaltet oder wird er eingeschaltet, zieht dieser Stromverbraucher ganz schnell die Flugakkuspannung auf Null Volt. Das funktioniert deshalb, weil ein in der Regel nicht entkoppelter Pufferakku

die Gastransistoren noch brav eingeschaltet lässt.

Wie unter b) erläutert, wird der Pufferakku gleich mit entladen. Da der Pufferakku und auch die Zuleitung zum Pufferakku in der Regel dem Motorstrom kaum standhält, bricht die BEC Spannung = Pufferakkuspannung auf ca. 1.. 2,5 V (Das ist die Gatespannung, bei der die FETs je nach Type leitend werden) zusammen. Mit so wenig Spannung kann dann weder der Mikroprozessor im Steller noch die Empfangsanlage arbeiten. Absturz!

### **Unter welchen Umständen bringt der Einsatz eines Pufferakkus den erhofften Sicherheitsgewinn?**

Nach den vorangegangenen Erläuterungen kann der Einsatz eines Pufferakkus den Mikroprozessor zerstören, wenn er nicht eine vom BEC System getrennte Spannungsversorgung (wie z. B. im slim-18 und -24 vorhanden) enthält. Ansonsten gibt es – wenn nicht gerade der „Fall der Fälle“ auftritt, bei dem die Pufferfunktion greifen sollte, keine Nachteile. Aber genau in diesem Fall versagt der Pufferakku oft.

### **Das Problem lässt sich durch den Einbau von Schottkydioden in die beiden Stromversorgungen aus der Welt schaffen.**

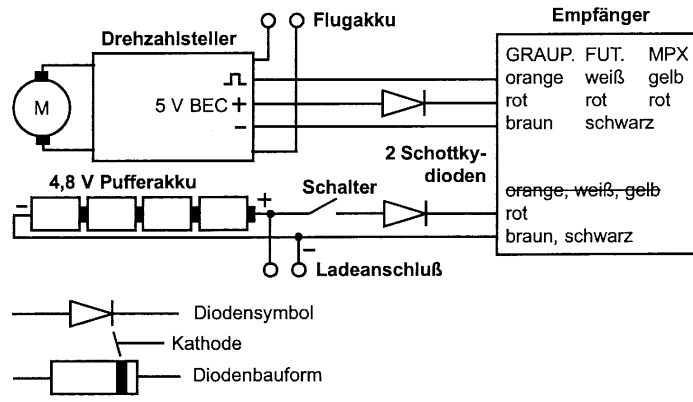
Wir empfehlen, der höheren Ausfallsicherheit wegen, die Verwendung von zwei Einzeldioden - keine Doppeldiode. Man kann sich z. B. zwei kurze Verlängerungskabel (Querschnitt  $3 \times 0,34\text{mm}^2$ , mindestens  $3 \times 0,24\text{mm}^2$ ) mit je einer Schottkydiode in der Plusleitung herstellen, die einfach zwischen Empfänger und Stromquelle gesteckt werden. Vorteil: Universell verwendbar und das Originalkabel der Stromquellen wird nicht modifiziert.

Nachteil: jede Steckverbindung kann eine zusätzliche Ausfallursache sein. Daher ist es besser, wenn die eine Diode direkt in das + Kabel des Stellers gelötet wird, die andere direkt in das + Kabel eines vierzelligen Pufferakkus, der aber dann noch einen Ladeanschluss ohne zwischengeschaltete Schottkydiode braucht. Der Steller wird an den Gaskanal, der Akku an den Akkuanschluss des Empfängers gesteckt. Ein fünfzelliger Akku sollte nur verwendet werden, wenn der Empfänger und die Servo das zulassen. Durch die zwei Schottkydioden sind die beiden Spannungen voneinander entkoppelt. Der Empfänger und die Servos werden immer von der höheren Betriebsspannung versorgt. Die höhere Pufferakkuspannung kann nicht in den Steller gelangen. Als Schottkydioden eignen sich z. B. die 3A Typen: SB 340, MBR 0340, SB 350, MBR 0350, ...

### **Beachten Sie, das der „Pufferakku“ der eigentliche Empfängerakku ist und legen Sie dessen Kapazität entsprechend aus. Das BEC-System ist die „Notstromversorgung“.**

Kontrollieren Sie den „Pufferakku“ spätestens nach jedem Einsatztag mit einem modernen Lade/Entladegerät mit digitaler Lademengenanzeige. Sie können damit feststellen, ob der Akku wirklich im Flug benutzt wird (d. h. kein Kabelbruch vorliegt) und legen sie ihn leer weg. Das ist praktizierte Akkupflege und Überwachung. Vor einem Flug testen Sie die Empfangsanlage einmal mit ausgeschaltetem Empfängerakku und angestecktem Flugakku, sowie auch mit abgestecktem Flugakku und eingeschaltetem Pufferakku. Eine komplizierte Akkuweiche ist nur nach eingehenden Eignungstests zu empfehlen, da dort die BEC-Spannung möglicherweise als leerer Akku interpretiert wird, wechselseitige Nutzungen der beiden Akkuanschlüsse zu Spannungssprüngen am Empfänger führt, und, und, und...

Nicht zuletzt enthält eine Akkuweiche jede Menge Bauteile, die alle ausfallen können. Und das Steuersignal vom Empfänger für den Drehzahlsteller müssen Sie an der Weiche wahrscheinlich sowieso vorbeileiten.



Quelle: FMT 2/2002