

Erläuterungen zur Funktion eines elektronischen Akkuträgers

Aufgrund der vielen in verschiedenen Foren und Communities heraus zu lesenden Verständnisprobleme zur Funktionsweise eines elektronisch geregelten Akkuträgers haben wir einige Erläuterungen zusammengestellt, die hoffentlich einige Fragen beantworten können.

Die entscheidenden Parameter für die Berechnungen sind:

Eingangsspannung (Akku-Spannung) in Volt	=>	Vin
Leistungseinstellung in Watt	=>	Psoll
Leistungsabgabe an Last in Watt	=>	Pist
Leistungsaufnahme gesamt	=>	Pin
Heizwiderstand in Ω (Ohm)	=>	Rh
(Wirkungsgrad in % bezogen auf Nutzleistung)	=>	w = Pist/Pin)

Diese Größen reichen normalerweise aus, alle anderen Parameter zu berechnen.

[Bisweilen werden verschiedene elektrische Größen in den Foren durcheinander verwendet, also Strom statt Spannung, die Einheiten verwechselt usw.

Für das Grundverständnis der elektrischen Größen Strom, Spannung und Widerstand kann dem Laien möglicherweise folgende stark vereinfachte Analogie helfen: Man stelle sich ein Rohr vor, durch das mit Hilfe einer Pumpe Wasser gefördert wird. Der Druck mit dem die Pumpe fördert, entspricht dann der Spannung, die Wassermenge, welche pro Zeiteinheit gefördert wird, entspricht dem Strom und die Querschnittsfläche des Rohres dem Widerstand. So kann bei größerem Druck mehr Wasser pro Zeiteinheit durch das Rohr „gedrückt“ werden, genauso wie eine höhere Spannung mehr Strom durch einen Widerstand treibt. Wird das Rohr dicker gewählt verringert sich sein „Widerstand“, es kann also bei gleichem Pumpendruck mehr Wasser pro Zeiteinheit gefördert werden. Genauso fließt bei gleicher Spannung durch einen kleineren Widerstand ein höherer Strom.

Anmerkung: Dieser Vergleich hinkt an mehreren Stellen. Insbesondere müßte das Wasser zur Pumpe zurück fließen, das Wasser erzeugt keine Wärme im Rohr und der Druck fällt in einem Rohr nicht ab]

1. Mechanische Schalter

Einfache mechanische oder auch elektronische Schalter (Mosfets) legen die je nach Ladezustand noch zur Verfügung stehende Akkuspannung an die Last, sprich den Heizdraht an. Da es sich um Gleichspannung handelt, kann die Abgabeleistung, bei Vernachlässigung aller Übergangswiderstände (Feder, Gewinde, etc.), sehr einfach über

$$P_{\text{ist}} = V_{\text{in}}^2 / R_{\text{h}} \quad (1)$$

berechnet werden. Also beispielsweise mit $V_{\text{in}}=3.5\text{V}$, $R_{\text{h}}=1.5\ \Omega$ => $P_{\text{ist}} = 12.25\text{V}^2/1.5\ \Omega = 8.17\text{Watt}$.
 Der sich ergebende Heiz-Strom durch den Heizwiderstand ist dann

$$I_{\text{h}} = V_{\text{in}} / R_{\text{h}} \quad (2) \text{ (Ohmsches Gesetz)}$$

Mit dem Beispiel von gerade also $3.5\text{V} / 1.5\ \Omega = 2.33\ \text{A}$ (Ampère).

Bei Gleichspannungsgrößen wie hier gibt es den einfachen Zusammenhang, dass Ströme und Spannungen über das Ohmsche Gesetz ineinander umgerechnet werden können. Das ist ein einfaches Umstellen der Gleichung (2) $V_{\text{in}} = I_{\text{h}} * R_{\text{h}}$. Setzt man das dann in die Gleichung für die Leistung oben ein erhält man

$$P_{\text{ist}} = V_{\text{in}}^2 / R_{\text{h}} = (I_{\text{h}} * R_{\text{h}})^2 / R_{\text{h}} = I_{\text{h}}^2 * R_{\text{h}} \quad (3)$$

Setzt man $V_{\text{in}} = I_{\text{r}} * R_{\text{h}}$ für „ein“ V_{in} in Gleichung (1) ein erhält man

$$P_{\text{ist}} = V_{\text{in}} * (I_{\text{r}} * R_{\text{h}}) / R_{\text{h}} = V_{\text{in}} * I_{\text{h}} \quad (4)$$

Das ist die dritte wichtige Gleichung, um die Leistung zu bestimmen!

Bei diesen einfachen Schaltern ist die Abgabeleistung an die Heizwicklung nicht zu beeinflussen, beziehungsweise nur dadurch, dass die Heizwicklung verändert wird. Mit einer bestehenden Wicklung ist man für die Leistung und damit für das Dampfergebnis direkt vom Akku-Ladezustand abhängig und zwar quadratisch, weil bei Pist ja die Spannung V_{in}^2 vorkommt.

In unserem Beispiel würde bei vollem Akku von 4.2V eine Leistung von rund $P_{ist} = 11.8 \text{ W}$ abgegeben, bei nahezu leerem Akku mit 3.0V nur noch magere 6Watt. Das ist fast nur noch die Hälfte.

2. Elektronische Regler

Wie gerade erläutert ist das Dampfergebnis stark vom Ladezustand des Akkus abhängig. Ein elektronischer Regler ist nun in der Lage, unabhängig von der Batteriespannung (Eingangsspannung) immer die gleiche Leistung an die Heizwicklung abzugeben oder, beim sogenannten variabel-Volt Modus immer die gleiche Spannung an die Heizwicklung anzulegen.

Wichtige Anmerkung: Ob man nun variabel-Watt oder variabel-Volt betrachtet spielt für den Anwender eine untergeordnete Rolle, weil das Dampfergebnis eine subjektive Empfindung ist. Technisch gesehen besteht zwischen der Dampfmenge (Wärmemenge) und der Leistung ein eher linearer Zusammenhang, zwischen Dampfmenge und der Spannung ein eher quadratischer Zusammenhang („eher“ ist eingefügt, weil verschiedene weitere Parameter eine Rolle spielen).

Ein Regler ist grundsätzlich in der Lage aus einer Eingangsspannung V_{in} eine (nahezu) beliebige Ausgangsspannung zu erzeugen. Entscheidend ist, dass die Leistungsbilanz des Reglers – mal abgesehen vom Wirkungsgrad, also der Verlustleistung im Regler selbst – immer 1:1 beträgt. Soll heißen: Eingangsleistung = Ausgangsleistung oder

$$V_{in} \cdot I_{in} = V_{out} \cdot I_{out} \quad (5)$$

Oder unter Einbeziehung des Wirkungsgrads

$$V_{in} \cdot I_{in} \cdot \eta = V_{out} \cdot I_{out} \quad (6)$$

[Bitte nicht vergessen: Wir rechnen hier mit Gleichspannungsgrößen, nicht mit Wechselspannungen, bei denen die Form der Spannungen und Ströme (RMS), Phasenlage usw. eine Rolle spielen – was hier aber zu weit führen würde].

Prinzipiell kann man bezogen auf die Spannung drei Arten von Reglern (DC-DC-Wandler) unterscheiden:

- (Spannung) hochsetzender Regler (Englisch boost), das heißt die Ausgangsspannung des Reglers ist stets größer oder gleich der Eingangsspannung ($V_{out} \geq V_{in}$)
- (Spannung) herunter setzender Regler (Englisch buck), das heißt die Ausgangsspannung ist stets kleiner oder gleich der Eingangsspannung ($V_{out} \leq V_{in}$)
- Hoch/Tief setzender Regler (Englisch buck-boost), das heißt die Ausgangsspannung ist größer oder kleiner als die Eingangsspannung

Wobei der Fall b) eher theoretischer Natur ist, weil um einen Leistungsbereich von zum Beispiel 5-15 Watt abzudecken die Heizwicklung sehr niederohmig sein muß, um noch bei fast leerem Akku genug Leistung bereit zu stellen. Extrembeispiel: $V_{in} = 3\text{V}$ (Akku fast leer), P_{out} soll 15W sein => Wie groß darf der Wickelwiderstand maximal sein? Beim Buck-Regler ist V_{out} höchstens gleich V_{in} , hier also 3V. Wir stellen Gleichung (1) einfach um und erhalten

$$R_{h(max)} = V_{out}^2(max) / P_{soll}$$

$$\text{Also } (3\text{V})^2 / 15\text{W} = 0.6 \Omega \text{ (Ohm)}$$

Da tut man sich mit einer einfachen 0.16mm Kanthalwicklung bisweilen etwas schwer....

Der gerade angeführte Regler unter a) ist dagegen häufiger anzutreffen, beziehungsweise ist es häufig dann im Kern ein Boost-Regler mit nachgeschaltetem „Zerhacker“, was dann im Endeffekt einen Buck-Boost-Regler ergibt (wie c)).

Die Ausgangsspannung des Boost-Reglers wird bei variabel-Volt unabhängig von der Eingangsspannung immer auf dem gleichen Wert gehalten. Also beachten: Dieser Regler regelt grundsätzlich die Spannung!

Für eine variabel-Watt Einstellung dieses Reglers muß entweder der Strom durch die Last gemessen werden, oder der Widerstand bekannt sein (und sich durch das Erhitzen nicht stark ändern).

Bei einem reinen Boost-Regler ergibt sich das Problem, das je nach Heizwiderstand die Leistung nach unten begrenzt ist. Beispielsweise bei 10 Ω Heizdraht und 3V Abschaltsschwelle für die Akkuspannung ist die Leistung nie kleiner als 9W ($(3V)^2/1\Omega$), weil der Regler nicht weniger als 3V erzeugen kann.

Der Buck-Boost-Regler kann wie gerade erwähnt dadurch aufgebaut werden, dass ein Boost-Regler zunächst aus der sich verändernden Eingangsspannung eine konstante Ausgangsspannung erzeugt, zum Beispiel 6V. Damit kann man über einen normalen Widerstandsbereich von 1- 3 Ω maximale Leistungen von

$P_{ist,max} = V_{out}^2 / R_h$ von 36W bis 12W erzeugen.

Berechnet man dann den Eingangsstrom I_{in} nach Gleichung (5) bzw. (6) Variiert dieser dann nach $P_{ist} = I_{in} * V_{in}$ je nach Akkuspannung bei $R_h=1\Omega$ und $V_{in} = 3V \Rightarrow I_{in} = P_{ist,max} / V_{in} = 12A$ (ohne Verluste gerechnet!) bis $R_h=3\Omega \Rightarrow I_{in} = 4A$.

Für größere Eingangsspannung werden die Ströme entsprechend kleiner.

Grundsätzlich anzumerken ist, dass für große Ströme in den Regler die Verlustleistung ansteigt (nahezu quadratisch), also der Wirkungsgrad sinkt. Das hängt mit den Eigenschaften der elektronischen Bauelemente zusammen.

Der nachgeschaltete „Zerhacker“ verringert die mittlere Ausgangsspannung dann wieder und zwar dadurch, dass die Spannung periodisch nur zeitweise eingeschaltet wird. Man spricht dann von puls-weiten-modulierten Signalen (PWM). Die Einschaltedauer zur Gesamtperiodendauer (das PWM-Verhältnis) multipliziert mit der Boost-Spannung ergibt dann die wirkliche mittlere Ausgangsspannung.

Auch, wenn es sich jetzt nicht mehr um reine Gleichspannungen handelt, kann dennoch einfach wie vorher gerechnet werden, nur muss das PWM-Verhältnis als Faktor berücksichtigt werden.

Eine andere Form von Buck-Boost-Regler basiert auf einer sogenannten Voll- oder H-Brücke. Diese Topologie benötigt allerdings mehr Komponenten und eine kompliziertere Ansteuerung. Wir wollen aber nicht zu technisch werden.

3. Wirkungsgrad

Noch ein paar Worte zum Wirkungsgrad:

Der Wirkungsgrad beschreibt das Verhältnis von Nutzleistung (Aufheizen des Drahtes) zu aufgewendeter Leistung, ist also eine Angabe wie effektiv die Akkukapazität genutzt wird.

Das, was nicht als Nutzleistung zur Verfügung steht, ist die Verlustleistung, die immer zur Erwärmung der Komponenten und am Ende der Umgebung führt.

Verluste bei einer E-Zigarette entstehen durch:

- Innenwiderstand des Akkus: Verschiedene Hersteller benutzen unterschiedliche Detailaufbauten in ihren Akkus, die Einfluß auf den Innenwiderstand haben. Je größer der zulässige Entladestrom eines Akkus ist, um so niedriger wird auch sein Innenwiderstand sein. Der Strom aus dem Akku erzeugt dabei an dem Innenwiderstand nach Gleichung (3) die Verlustleistung $P_{akku} = R_i * I_{akku}^2$ Typische Werte guter Akkus liegen bei etwa 10-20 m Ω (Milli-Ohm).
- Kontaktwiderstände: An jedem mechanischen Übergang kommt es zu Übergangswiderständen vor allem dadurch, dass der Kontakt durch die Oberflächenrauigkeit nur punktuell erfolgt. Jeder Übergang schlägt mit 1-5 m Ω zu Buche.
- Feder zur Akku-Kontaktierung: Hier liegt häufig ein Schwachpunkt. Die Feder sollte einen Widerstand von deutlich kleiner als 50m Ω aufweisen. Man bedenke: Bei 4A Eingangsstrom entspricht das (50m Ω) schon einer Verlustleistung von 0.8W ! Damit wird der Akkuträger zum Handwärmer. Außerdem verringert sich die zur Verfügung stehende Spannung am Regler. Längs der Feder (oder jedes anderen Widerstands) fällt – wie man sagt – die Spannung $V = I * R$ ab. Im Beispiel $4A * 0.05\Omega = 0.2V$ (!)

- Die Elektronik: Je nach Topologie dürfte der Wirkungsgrad der meisten Elektroniken leistungsabhängig zwischen 70% und 90% liegen. Ungünstiger Weise ist der Wirkungsgrad bei hohen Ausgangsleistungen schlechter, also absolut gesehen dort besonders hoch. (Sollten Sie in ein Datenblatt eines Regler-IC schauen, lassen Sie sich nicht von den tollen Werten von über 90% täuschen. Da ist einiges vernachlässigt und geschönt.)

Änderungen vorbehalten.
Oktober 2013, **dicodes** GmbH