

ELEKTTRISCH, ABER RICHTIG

BRUSHLESS-REGLER II – TEILLAST UND VERLUSTE

In den vergangenen beiden Ausgaben haben wir uns mit dem Brushlessmotor und dessen Ansteuerung bei Volllast auseinandergesetzt. Heute gehen wir auf die Funktion bei Teillast und den Grund der anfallenden Verluste ein. Anhand einfacher Regeln zeigen wir die korrekte Dimensionierung des Reglers auf. Ausgangslage für die Steuerung des Motors bei Teillast bildet der angenäherte (Sinus-) Drehstrom und die Pulsweitenmodulation (vgl. Aufwind 2/2015).

Arbeitsweise bei Teillast: Da der Motor bei gleicher Akkuspannung für den Teillastbetrieb weniger Spannung abkriegen soll, machen wir uns nun das Prinzip der Pulsweitenmodulation (PWM) zu Nutze. Wir „zerhacken“ einfach die Steuerspannung der FETs (Gate A+), wodurch die ursprüngliche Motorphase (Phase A, Grün) ebenfalls zerhackt wird (Schwarz). Die so zerhackte Motorphase folgt weiterhin der angenäherten Sinusform. Durch die glättende Wirkung der Motorspule sinkt nun der Mittelwert der Spannung (Phasem A, Blau). Damit reduziert sich die Drehzahl (Drehzahl \sim Spannung \cdot KV), was seinerseits das resultierende Drehmoment der Luftschraube verringert und folglich der gemessene Strom am Regler (DC-seitig) zurückgeht.

Gründe für Verlustleistung am Regler (die „Überhitzungsfälle“): Am Regler stehen Spannungen an und fließen Ströme. Wo Spannung und Ströme gleichzeitig auftreten wird elektrische Leistung (= Spannung \cdot Strom) in Wärme umgesetzt. Der Regler kann nur eine gewisse Leistung in Form von Wärme an seine Umge-

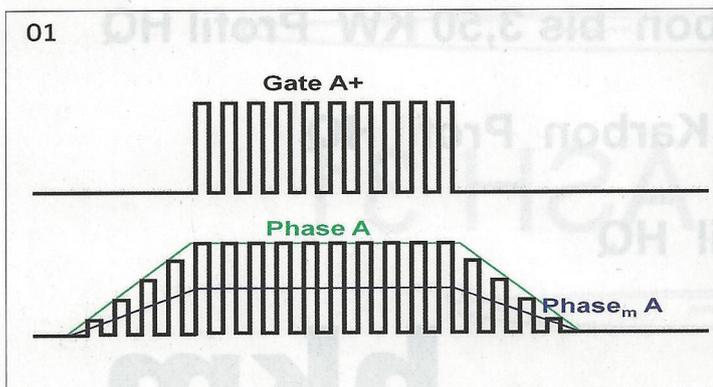


Insbesondere große Motormodelle sind auf eine richtige Auslegung des Reglers angewiesen

bung abgeben. Wird dieses Maß überschritten, erwärmt sich der Regler immer weiter bis er sich wegen Überhitzung selbst abschaltet (thermischer Überlastschutz) oder verbrennt (kein thermischer Überlastschutz). Nachfolgend werden mögliche Gründe für Verlustleistungen am Regler aufgezeigt und wie man diesen entgegenwirken kann.

Schaltverluste der FET-Drehstrom-Brücke bei hoher Motorinduktivität (hoher Windungszahl):

Beim „Abschalten“ des FETs kann der Strom wegen der nachfolgenden Spule im Motor nicht unmittelbar folgen. Dadurch liegen am FET für kurze Zeit eine Spannung und ein Strom an = Verlustleistung. Bei Volllast-Betrieb ist diese Verlustleistung nicht weiter tragisch. Im Teillastbetrieb werden die Abschaltvorgänge durch die PWM (zerhacken) aber schlagartig vervielfacht und somit auch die Verlustleistung (Verminderung durch tiefste PWM-Frequenz, vermeiden



01 | Pulsweitenmoduliertes Drehstrom-Brücke mit Mittelwert (Phasem A) 02 | Lässt sich auch selber umbauen: Ein Regler mit aufgesatteltem CPU-Lüfter

www.hkm-modellbau.de

mail:info@hkm-modellbau.de



ASW 28 6,00 m 1:2,5 Profil HQ
ASW 28 7,20 m 1:2,5 Profil HQ

ASW 27 4,29 m 1:25 Profil HQ
Nimbus 6,60 m 1,35 Profil HQ

Sirion 3,85 m F3J Profil HQ
H-End 3,40 m F3J



Neu ab 2015 :

Crazy Spider 4,80 m Karbon bis 3,50 KW Profil HQ

Dynamod F3F + DS 2,80 m Karbon Profil HQ

ASH 31 9,50 m 1 : 2,2 Profil HQ



hkm
FLUGZEUGBAU

Tel.: 02166 606070



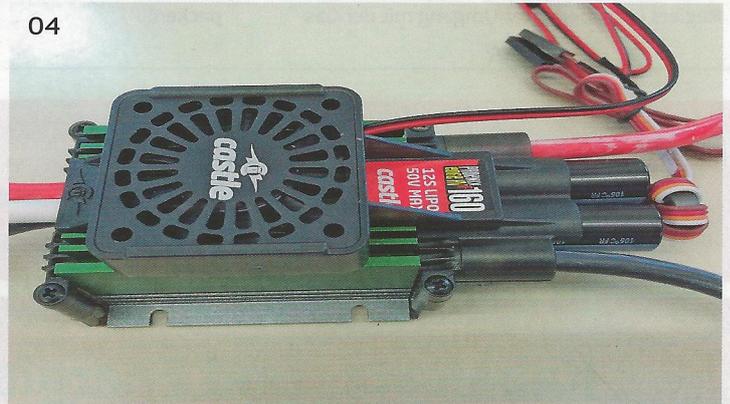
01



02



03



04

01 | Lange Akkukabel müssen durch die zusätzliche Anbringung von Betriebsspannungskondensatoren geschützt werden **02** | Ein Regler ganz ohne Kühllhilfe ist in punkto Einbauposition schwierig **03** | Ein Kühlkörper hilft dem Regler einen kühlen Kopf zu bewahren, braucht aber Zugluft **04** | Das ist optimal: der Regler mit Kühlkörper und Lüfter

der Gasstellungen zwischen 70... 99,9 Prozent). Verluste durch die Stromwelligkeit bei geringer Motorinduktivität (geringe Windungszahl): Bei niedriger Induktivität (geringe Windungszahl) treten bei niedriger PWM-Frequenz hohe Stromspitzen auf. Dadurch entstehen hohe Verluste in den Innenwiderständen des Motors und des Stellers. Die R_{DSon} -Verluste der FETs gehen genauso wie die Wicklungswiderstände des Motors und der Kupferwiderstand der Leiterplatte noch in die Verlustrechnung ein: Wenn die PWM-Frequenz niedrig gewählt wird, ist die Stromwelligkeit höher, was wiederum zu erhöhten Verlusten führt. Eine hohe PWM-Frequenz führt zu mehr Schaltverlusten, die aber geringer als die Verluste durch die Stromwelligkeit sein können. Daher sollte man durch Probieren ermitteln bei welcher PWM-Frequenz der Steller am Kühlsten bleibt. (optimale PWM-Frequenz durch Probieren ermitteln, vermeiden der Gasstellungen zwischen 70... 99,9 Prozent).

Freilaufdiode: Verhindert Spannungsspitzen bei fallender Flanke der Motorphasen durch „Ableiten“ der magnetischen Energie (nicht direkt beeinflussbar, da teilweise in den Reglern verbaut). BEC: Der Regler muss eine Konstantspannung für den Empfänger bereitstellen. Der Strom aus dem BEC für die Servos heizt den Regler noch zusätzlich auf. (evtl. auf BEC verzichten und Empfängerakku oder separate Akkuweiche verwenden.)

Eine effektive Kühlung wird mit einem stetigen „Luftstrom“ am Regler entlang erreicht. Damit wird die anfallende Wärme effizient abge-

leitet. Besteht keine Möglichkeit den Regler in Zugluft zu platzieren, kann mit Kühlrippen und/oder einer Zwangsbelüftung durch einen CPU-Lüfter aus dem Computer gearbeitet werden.

Ein wichtiges Thema ist auch stets Akkukabel-länge, beziehungsweise seine tödliche Auswirkung. Generell gilt, dass die Gesamtsumme der Kabellängen im Akku und zwischen Akku und Drehzahlsteller-Leiterplattengrenze nicht über die Herstellerangabe hinausgehen darf! Leitungen sind Induktivitäten und führen bei den getakteten Drehzahlstellern (PWM) zu Spannungsspitzen von mehreren Hundert Volt, die von den außen angebrachten Kondensatoren (Low-ESR!) und internen Schutzschaltungen vernichtet werden müssen. Je länger die Kabel, desto mehr schädliche Energie müssen die Schutzschaltungen im Steller/Regler (die u. U. nicht dauerbelastbar sind) übernehmen. Dadurch werden sie heißer, als das von der reinen Betrachtung durch die erwählten Verluste zu erwarten wäre. Sind „lange“ Akkukabel baulich unvermeidbar gilt es den Reglereingang zusätzlich zu schützen. Das macht man zum einen durch die zusätzliche Anbringung von Betriebsspannungskondensatoren mit niedrigem Innenwiderstand (Low-ESR-Kondensatoren aus dem Schaltnetzteilbau). Zum anderen muss beim Strom eine höhere Reserve eingerechnet werden um möglichst wenig Verluste (= weniger Wärme) durch die FETs zu haben. Nur dann hat man die Chance, dass die von den Schutzschaltungen produzierte Wärme noch im Rahmen bleibt und nicht zur thermischen Überlast des Stellers führt. Die Überspannungs-

spitzen sind übrigens gemäß Hersteller die häufigste „Todesursache“ der Steller, neben unsicherer Kontaktgabe durch verschmutzte und/oder abgenutzte Steckverbindungen, die dann zu Fehlkommutierungen in einem bürstenlosen System und damit wieder zu unerwartet hohen Spannungsspitzen führen können.

Kommen wir zur Anpassung des maximalen Stroms. Manch einer erliegt der Versuchung, bei spezifischen Anwendungen mit einem maximalen Strom über den Limits des Reglers (bzw. Akkus oder Motors), die maximale Stromaufnahme mit einer programmierten Gaskurve zu verringern. Das scheint vordergründig zu funktionieren und kann auch mit Messungen festgestellt werden. Dem ist aber nicht so! Mit einem eingeschränkten Vollgassignal werden wir den Regler auch bei Vollgas immer noch in Teillast betreiben und damit mit „zerhacken“ Phasenstrom und erhöhter Verlustleistung. Unsere Messgeräte (Wattmeter oder Zangenampere-meter) messen DC-seitig lediglich den Mittelwert und nicht die effektiv anliegenden Maximalwerte. Nur unter Vollast (ohne aktiver Pulsweitenmodulation) stimmen die gemessenen Maximalströme auch mit den AC-seitig effektiv anliegenden maximalen Strömen überein. Damit wird klar, dass eine „Stromreduktion“ nur durch die Redimensionierung der Luftschraube oder in eingeschränktem Maß durch Verringerung des Timings erzielt werden kann.

Zu guter Letzt die Wahl des richtigen Reglers. Bei der Auslegung eines Modellbau-Antriebs

sind meist Einsatzart, Zellenzahl und maximal zu erwartender Strom bekannt. Nun gilt es für diese Aufgabenstellung den richtigen Regler zu wählen und zwar so, dass man nicht in die „Überhitzungsfall“ tappt! In der Praxis hat sich die „80-20-Faustregel“ durch bewusstes Schaffen von Reserven bewährt. Regler mit Rippenkühlkörper (nicht zu verwechseln mit Kühlblech!) führen die Wärme wesentlich effizienter ab. Dadurch können die Reserven meist reduziert werden.

Fazit: Reserven schaffen schont Nerven. Die korrekte Programmierung, eine effektive Kühlung, eine gesunde „Überdimensionierung“ des Reglers und überlegter Umgang mit der Gas-

knüppel-Position verhindert die lästigen Motorabsteller wegen Regler-Überhitzung auch bei höheren Außentemperaturen. Bei der Dimensionierung und beim Betrieb des Reglers gilt folgendes zu beachten:

- Mit Hilfe der „80-20-Faustregel“ 20 Prozent Reserve schaffen.
- Bei Motoren mit hoher Windungszahl tiefstmögliche PWM-Frequenz wählen.
- Bei Motoren mit kleiner Windungszahl muss die optimale PWM-Frequenz ausprobiert werden.
- Regler immer in Zugluft anbringen oder Zwangsbelüften mit Lüfter. Regler niemals einpacken!

- Maximal zulässige Kabellänge im Akku und zwischen Akku und Regler einhalten
- Gasstellung 0...70 Prozent und 100 Prozent bevorzugen.
- Bei Volllastströmen über den Reglerlimits nie den Gasweg beschränken, sondern eine kleinere Luftschraube wählen.

Mit diesen einfachen Regeln wird auch Ihr Regler selbst an einem heißen Sommertag kühlen Kopf bewahren. Lästige Aussetzer werden vermieden, was nicht nur die Nerven, sondern auch das Material schont.

Markus Müller
www.ecalc.ch

www.ka-wi-tech.de

KA-WI-TECH

GmbH

Kabelsatz- und Energieverteilungssysteme

Auf'm Rottland 12 · D-57577 Hamm/Sieg · Telefon +49 (0) 26 82 / 96 52 30

Wir leiten Energie weiter...SICHER.



www.ka-wi-tech.de

ASH 31 Mi

TANGENT

www.tangent-modelltechnik.de

FLYING SPECIAL
by Sport-Klemm

www.sport-klemm.de

Profile
Das Profilprogramm für den aktiven Modellbauer

Profilbibliothek mit über 1100 Profilen. Einzeichnen von Beplankung, Holmen, Aussparungen und Markierungen. Ausgabe auf Drucker, Plotter oder als Datei (hpgl, dxf...). Profilstraks entwickeln und ausgeben. Profileditor zum Bearbeiten von Profilen. Profildicke, Profilwölbung ändern und vieles mehr.

Reinhard Sielemann Software
Sonnenkamp 5 · D-49504 Lotte
Telefon: 05404/3631 · FAX: 05404/71057
E-Mail: info@sielemann.de

Alle Infos im Internet unter:
www.sielemann.de

EYECATCHER
Flugeigenschaften: stressvernichtend
Spannweite: ca. 2,15 m

Robert Schweißgut
Bichlgasse 8
A-6671 Weißenbach
0043-5678/5792

www.wing-tips.at

www.aufwind-magazin.de