

Temperaturkompensation beim elektro-mechanischen Spannungsregler

Mit dem Übergang zur 12-V-Elektrik (ETZ) wurde ein elektromechanischer Regler eingesetzt, der über eine spezielle Kompensation des Temperatureinflusses auf die Regelspannung verfügt. Die zusätzlichen Elemente wurden im Schaltbild der Bordelektrik im Detail dargestellt (Bild 1).

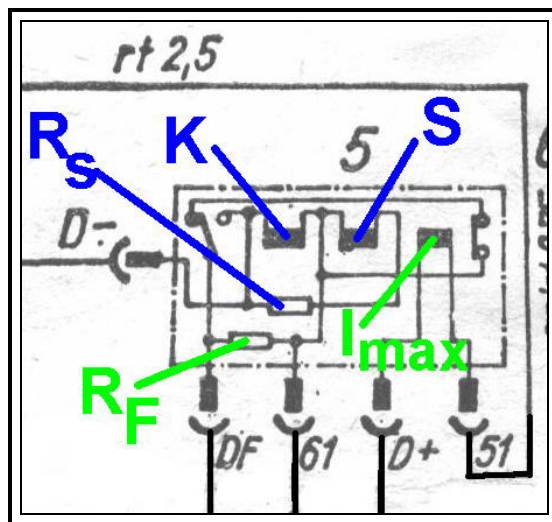


Bild 1: Schaltplanausschnitt Regler (ETZ)

S, R_S : Spannungs-Spule mit Festwiderstand R_S in Reihe

K : Kompensationswicklung

R_F : Feldwicklungs-Vorwiderstand

I_{max} : Strom-Spule zur Strom-Limitierung

Der Feldwicklungs-Vorwiderstand R_F und der Festwiderstand R_S befinden sich auf je einem Porzellankörper aufgewickelt unter der Grundplatte des Reglers.

Ziel des Textes ist es, dem interessierten Leser eine Hilfestellung zum Verstehen der Funktionsweise der Temperaturkompensation zu geben. Zunächst jedoch ein paar allgemeine Vorbemerkungen zum elektromechanischen Regler.

Um eine Größe wie die Bordspannung mit Hilfe einer Regelung konstant zu halten, bedarf es einer Vergleichsgröße, die den SOLL-Wert repräsentiert. Aus der aktuellen Differenz von IST- und SOLL-Wert leitet der Regler dann ab, in welcher Weise der IST-Wert zu verändern ist, um eine bestmögliche Annäherung an den SOLL-Wert zu erreichen.

Beim elektromechanischen Regler ist die Vergleichsgröße eine Kraft, nämlich die, die die Blattfeder auf den Reglerkontakt ausübt. Um den Vergleich mit dem IST-Wert herzustellen, muss die Bordspannung ebenfalls in eine proportionale mechanische Kraft umgewandelt werden. Dies geschieht mit Hilfe der Spannungsspule, die eine der Bordspannung proportionale magnetische Anzugskraft am Eisenkern erzeugt. Sind Federkraft und magnetische Anzugskraft gleich groß - die Differenz beider Kräfte somit Null - dann bleibt der Reglerkontakt in Schwebelage – das Regelziel ist erreicht.

Um die Wirkung einer Temperaturänderung auf dieses System zu untersuchen, muss demnach ermittelt werden, wie sich die magnetische Anzugskraft des Reglerrelais´ mit der Temperatur ändert. Nicht unerwähnt bleiben darf, dass es darüber hinaus noch weitere Einflüsse gibt, die das Temperaturverhalten der Spannungsregelung beeinflussen können, z.B. die Änderung der magnetischen Kerneigenschaften und der Einfluss der Temperatur auf die Kraftwirkung der Rückstellfeder.

Bei einer Spule hängt die erreichbare Magnetkraft in erster Linie von **der Windungszahl der Spule und dem Strom** ab, der durch sie fließt, also $I \cdot w$. Für dieses Produkt aus Strom und Windungszahl („magnetische Urspannung“) gibt es ein spezielles Formelsymbol, nämlich den griechischen Buchstaben Theta Θ . Um einen tieferen Abstieg in die Niederungen der Elektromagnetik zu vermeiden, soll das einfach so hingenommen werden, auch der Umstand, dass diese „magnetische Urspannung“ als Maßeinheit das Ampere führt. Darüber also bitte nicht weiter nachdenken – die elektrische Spannung wird weiterhin in Volt gemessen...!

Um den Betrachtungen eine gewisse Nähe zur Realität zu geben, benutzen wir konkrete Werte, die bei der Untersuchung eines Exemplares eines ETZ-Reglers gemessen wurden.

Spannungsspule (Durchmesserangaben D mit Iso-Lack)

Windungszahl $w = 557$ ($D=0,35\text{mm}$), Widerstand der Spannungsspule $R = 4,2 \Omega$

Das Wicklungsmaterial ist Kupfer, dessen Temperaturbeiwert $\alpha = 0,43\% \text{ 1/K}$ beträgt. Der Temperaturbeiwert sagt aus, dass sich der Widerstand des Kupferdrahtes bei einer Temperaturerhöhung um ein Grad (1 K) um 0,43% vergrößert. Im Vergleich dazu ist $\alpha = 0,005\% \text{ 1/K}$ für Konstantan, also nahezu kein Temperatureinfluss feststellbar.

Festwiderstand $R_S = 15,6 \Omega$ (Drahtlänge 2,12m, $D=0,32\text{mm}$ daraus $\rho = 0,52 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ (vgl. Konstantan $\rho = 0,50 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ lt. technischer Tabellen)

Fall 1 : Spannungsspule vollständig aus Kupfer

Für eine erste Überlegung gehen wir davon aus, dass die Spannungsspule insgesamt den Widerstand von $4,2 \Omega + 15,6 \Omega = 19,8 \Omega$ aufweist und völlig aus Kupfer ist, um das unkompenzierte Verhalten kennenzulernen. Um handliche Werte zu bekommen, führen wir die folgenden Rechnungen jeweils für einen Temperatursprung von 10 K aus. Das uns interessierende Theta ist zunächst bei Garagentemperatur (z.B. 15 °C)

$$\Theta = I \cdot w = \frac{U}{R} \cdot w = \frac{14\text{V}}{19,8 \Omega} \cdot 557 = 393,84 \text{ A}$$

Wir erhöhen die Temperatur jetzt um 10 K auf 25 °C:

$$\Theta = I \cdot w = \frac{U}{R(1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta)} \cdot w = \frac{14\text{V}}{19,8 \Omega \left(1 + 0,0043 \frac{1}{\text{K}} \cdot 10\text{K} \right)} \cdot 557 = 377,61 \text{ A}$$

$$\text{relative Änderung: } \frac{377,61\text{A} - 393,84\text{A}}{393,84\text{A}} = -0,0412 = -4,12\%$$

Die magnetische Kraft hat demzufolge **um etwa 4,1% nachgelassen**, einzig und allein als Folge der Widerstandserhöhung durch Erwärmung und dem einhergehenden Stromrückgang. Damit muss unsere Bordspannung hochgeregelt werden, denn nur so lässt sich das Nachlassen der Kraft bei steigender Temperatur ausgleichen! Gerade diese Tendenz ist aber für unsere Batterie unerträglich, sie möchte wenigstens eine konstante Spannung oder sogar eine leicht fallende Ladespannung bei steigender Temperatur.

Fall 2: Spannungsspule (Cu) mit Festwiderstand (Konstantan) in Reihe

Bei Ausgangstemperatur erhalten wir den gleichen Wert wie im Fall 1, also

$$\Theta = I \cdot w = \frac{U}{R} \cdot w = \frac{14V}{15,6 \Omega + 4,2\Omega} \cdot 557 = 393,84 \text{ A} .$$

Nach Erwärmung um 10 K steigt der Kupferwiderstand auf:

$$4,2\Omega \left(1 + 0,0043 \frac{1}{K} \cdot 10K \right) = 4,381\Omega$$

Der Konstantanwiderstand wird $15,6\Omega \left(1 + 0,00005 \frac{1}{K} \cdot 10K \right) = 15,61\Omega$

$$\Theta = I \cdot w = \frac{14V}{15,61 \Omega + 4,381 \Omega} \cdot 557 = 390,08 \text{ A}$$

$$\text{relative \u00c4nderung: } \frac{390,08A - 393,84A}{393,83A} = -0,0095 = -0,95\%$$

Die \u00c4nderung ist bereits deutlich geringer ausgefallen, sie betr\u00e4gt n\u00e4mlich **nur noch etwa 0,9%**.

Damit k\u00f6nnte man eigentlich schon zufrieden sein.

Fall 3: Spannungsspule mit Festwiderstand und paralleler Kompensationsspule

Kompensationsspule:

Windungszahl $w_K = 735$ ($D=0,1\text{mm}$), Widerstand der Kompensationsspule $R_K = 117,2 \Omega$

Die Kompensationsspule ist in gegensinniger Richtung zur Spannungsspule gewickelt, d.h. ihr Anteil an der magnetischen Urspannung muss subtrahiert werden.

$$\Theta = \frac{U}{R} \cdot w - \frac{U}{R_K} \cdot w_K = \frac{14V}{15,6 \Omega + 4,2\Omega} \cdot 557 - \frac{14V}{117,2 \Omega} \cdot 735 = 306,04 \text{ A}$$

Der Temperatursprung um 10 K m\u00fcssen jetzt beide Spulen ber\u00fccksichtigt werden:

Spannungsspule $4,381 \Omega$, Festwiderstand $15,61 \Omega$ und Kompensationsspule

$$117,2\Omega \left(1 + 0,0043 \frac{1}{K} \cdot 10K \right) = 122,24\Omega$$

$$\Theta = \frac{14V}{15,61\Omega + 4,381\Omega} \cdot 557 - \frac{14V}{122,24\Omega} \cdot 735 = 305,90 \text{ A}$$

$$\text{relative \u00c4nderung: } \frac{305,90A - 306,04A}{306,04A} = -0,0095 = -0,05\%$$

Damit haben wir nahezu volle Temperaturkompensation erreicht, die \u00c4nderung ist nur noch **-0,05% im Gegensatz zu -0,9% bzw. -4,1%** von weiter oben.

Dass das Ergebnis bei Verwendung von Messwerten eines Exemplars so überzeugend ausfällt, überrascht mich selbst. Wenn man dem allem Glauben schenken darf, erscheint jedoch der zusätzliche Aufwand einer Kompensationsspule – nur um die 0,9% noch auf 0,05% zu drücken – fragwürdig.

Die MZ-Änderungsmitteilung 03/79 lässt vermuten, dass für die damals üblichen 6-V-Regler auch eine ähnliche Kompensation eingeführt wurde:

1.4. Geänderter Reglerschalter

Bei allen MZ-Typen wird ein geänderter Reglerschalter mit der Kenn-Nummer 8106.7/2 eingesetzt. Er unterscheidet sich vom Vorgängertyp 8106.7/1 durch eine verbesserte Temperaturkompensation, die eine Verbesserung der Funktion und Betriebsdauer bewirkt. Er ist austauschbar mit dem Vorgängertyp.

Zudem legt der Zeitpunkt 1979 nahe, dass die Veränderung des Widerstandes der Spannungsspule von etwa 10 Ω (letztes bekanntes Exemplar von I/75) auf 21 Ω (erstes bekanntes Exemplar von IV/81) damit in Zusammenhang stehen könnte.

Die Untersuchung eines 21-Ohm-Reglers förderte jedoch eine einfache unkompenzierte Spannungsspule zutage:

Windungszahl $w = 980$, Drahtlänge 46,20m, $D=0,23\text{mm}$, Widerstand der Spannungsspule $R=20,8 \Omega$. Rechnet man aus den gemessenen Werten den spezifischen Widerstand des Drahtmaterials aus, so erhält man

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} = \frac{20,8\Omega \cdot 0,038\text{mm}^2}{46,20\text{m}} = 0,0171 \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}.$$

Der Wert für Kupfer wird in technischen Tabellen mit $\rho = 0,0175 \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$ angegeben, so dass kein Zweifel besteht, dass die Wicklung aus normalen Kupferdraht ausgeführt ist. Die in der Mitteilung angegebene Verbesserung des Temperaturverhaltens muss demnach auf eine andere Art herbeigeführt worden sein. Die magnetische Ursprungsspannung des 6-V-Relais ist nach den Messwerten

$$\Theta = \frac{U}{R} \cdot w = \frac{7\text{V}}{20,8\Omega} \cdot 980 = 330 \text{ A}$$

und liegt damit in der gleichen Größenordnung wie beim 12-V-Relais. Damit sind augenscheinlich bis jetzt auch am Eisenkernmaterial keine gravierenden technologischen Änderungen erkennbar.

Wodurch die Verbesserung des Regler 8106.7/2 gegenüber dem 8106.7/1 erreicht wurde, konnte demzufolge durch die bis jetzt durchgeführten Untersuchungen leider nicht aufgeklärt werden.