

Royer-Converter zur drahtlosen Energieübertragung z.B. im Fischertechnik-System

Die hier vorgestellte Schaltung soll dazu dienen, bei Fischertechnik-Aufbauten 9V draht- und berührungslos zu übertragen. Die Anregung zu diesem Thema und der Aufbau wurde aus den Artikeln http://www.mikrocontroller.net/articles/Royer_Converter und <http://www.serious-technology.de/kleiner-wandler.htm> entnommen.

Dieser Bericht ist lediglich als Bauanleitung zur Übertragung auf Fischertechnik-Bedürfnisse und Beschreibung einige Fallstricke, die zumindest mir unterlaufen sind, zu verstehen.

Allgemeiner Aufbau

Verwendete Materialien:

Sofern nicht anders vermerkt wurden die Elektronikmaterialien von der Fa. Reichelt bezogen (Best.-Nr. in Klammern):

- 4x Ferritstab l = 49mm, Durchmesser 7,9mm (Conrad, Best.-Nr. 535575)
- 1x Si-Diode 1N 5400, 50V, 3A (1N 5400)
- 1x High Current Funkentstördrossel 1A, 1,0 Ohm (77A 680uH)
- 2x Transistor NPN TO-220 120V, 12A, 85W (BUV 27)
- 2x Rippen-Kühlkörper (V 4330N)
- 1x U-Kühlkörper (V 5616X)
- 1x Miniatursicherung (MINI FLINK 1,0A)
- 1x Feinsicherung, 5x20mm, flink, 1A (FLINK 1,0A)
- Kupferlackdraht 0,22mm (CUL 100/0,22)
- Kupferlackdraht 0,5mm (CUL 100/0,5)
- 4x Schottky-Dioden 40V, 1A (SB 140)
- 1x Spannungsregler 78S09, 9V, 2A (uA 78S09)
- 1x Folienkondensator, impulsfest, 22nF, 630V (MKP-10-630 22N)
- 1x Elektrolytkondensator 1000uF, 63V (RAD 1000/63)
- 1x Elektrolytkondensator 330uF, 35V (RAD 330/35)
- 1x Elektrolytkondensator 100uF, 35V (RAD 100/35)
- 1x SMD-Kondensatoren 100nF, 63V (X7R-G1206 100N)
- 2x Metallschichtwiderstände 10Ohm, 0,6W, 1% (METALL 10,0)
- 2x Metallschichtwiderstände 2kOhm, 0,6W, 1% (METALL 2,00K)
- 2x SMD-Widerstände 2,4kOhm 1206 (SMD 1/4W 2,4K)
- 2x LED, low current, 5mm, 2mA (LED 5MM 2MA GN)
- Verschiedenfarbige Schallitzen 0,14mm LIY (Conrad, z.B. 606003)

Zum Anschluß der Litzen an die Platinen:

- Kupplungsleergehäuse 2polig Crimptechnik (PSK 254/2W) mit passenden
- Crimpkontakten (PSK-KONTAKTE)
- Printstecker 2polig (PSS 254/2G)

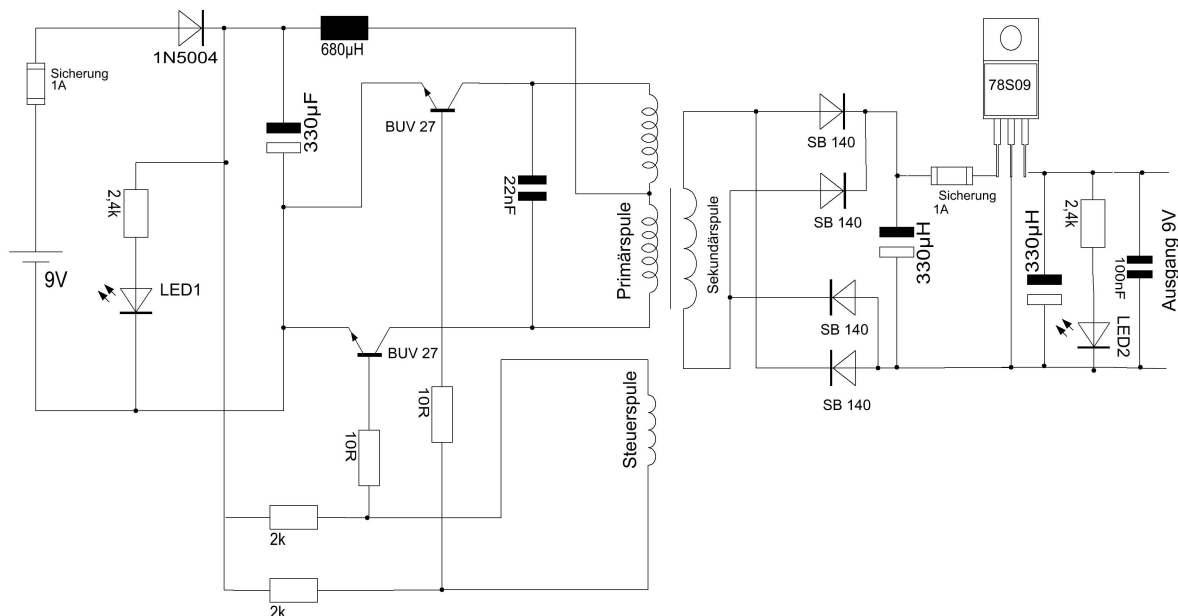
- 2x Fischertechnik Lagerhülse (FT-Nr. 36819)
- 1x FT-Rohrhülse 30x60 schwarz (FT-Nr. 36702) oder klar (FT-Nr. 31663)
- 2x FT-Baustein (FT-Nr. 37468)
- 2x FT-Baustein (FT-Nr. 37237)

Der Sender des Royer-Converters wurde analog der Schaltung aus <http://www.serious-technology.de/kleiner-wandler.htm> aufgebaut. Es wurden lediglich einige kleiner Modifikationen vorgenommen:

- Als Spannungsversorgung wird eine 9V-Gleichstromquelle verwendet.
- Verwendung einer Si-Diode als Verpolschutz. Der korrekte Anschluß wird durch Aufleuchten der LED angezeigt.
- 10 Ohm Vorwiderstand für die Basis der Transistoren. Diese dienen prinzipiell als Dummy falls eine Strombegrenzung im nachhinein notwendig sein sollte.
- Strombegrenzung sowohl im Sende- als auch im Empfängerkreis mit Sicherungen auf 1A

Der Empfänger ist prinzipiell unter http://www.mikrocontroller.net/articles/Royer_Converter beschrieben. Ergänzt wurde lediglich der 9V-Spannungsregler 78S09

Der Schaltplan wurde mit dem Programm sPlan 6.0 der Fa. Abacom erstellt.



Bei Testaufbauten habe ich zu Beginn versucht, die Basis der Transistoren mit Zehner-Dioden gegen Masse abzusichern (aus diesem Versuch stammen ursprünglich die 10 Ohm Widerstände). Allerdings steigt der Stromverbrauch dann auch unbelastet stark auf bis zu 1A an. Versucht man die Widerstände entsprechend groß zu dimensionieren, geht der Wirkungsgrad deutlich zurück.

Da die Spannung der Steuerwicklung nach Messung zwischen 7-8V lag und damit knapp der Spezifikation des BU27 entsprach, wurde auf die Z-Dioden verzichtet.

Die Transistoren und der 78S09-Spannungsregler sind vorsichtshalber mit Kühlkörpern ausgerüstet, da je nach Wirkungsgrad evtl. einiges an Wärme abgeführt werden muß.

Aufbau der Spulen

In der Beschreibung unter http://www.mikrocontroller.net/articles/Royer_Converter werden große, flache Spulen mit engem Luftspalt empfohlen. Da in meinem Aufbau der Luftspalt vergleichsweise groß ist, habe ich zu Verbesserung der Kopplung Ferritstäbe verwendet.

Wie die Anzahl der Wicklungen berechnet wird ist für den Aufbau eines Transformators unter <http://www.serious-technology.de/kleiner-wandler.htm> beschrieben. Da beim dem hier vorliegenden Konverter die Energie auch über Luftspalte und nicht direkt über ferromagnetische Materialien übertragen wird, ist die obige Rechnung hier so nicht anwendbar.

Mir liegen derzeit keine Artikel/Notizen, wie die Auslegung unter diesen Nebenbedingungen Randbedingung rechnerisch erfolgt, vor. So ist die Windungszahl der einzelnen Spulen eher zufällig zustande gekommen und nicht berechnet bzw. ausgelegt worden.

Die magnetischen Materialeigenschaften des Ferritstabes sind gemäß Datenblatt (Bedeutung Parameter siehe <http://www.encores.com.tw/e02-Material.htm>):

B/N535575

Material Characteristics

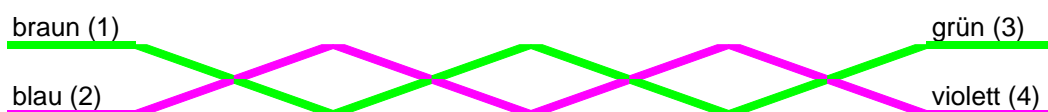
Material \ Unit	μ_i	Bms Gauss	HC	Br Gauss	Tc °C	ρ Ω -Cm	Frequency (MHz)	α μr ($\times 10^{-6}$)
A2G	300	2800	0.52	1600	160	10^7	0.1-3	40

Bms Gauss: Saturation Flux Density (1 Gauss = 10^{-4} Tesla)
 Br Gauss: Residual Flux Density
 Tc: critical Temperature
 μ_i : Initial Permeability
 HC: Coercive Force

Um eine ausreichende Spannungsverstärkung zum Betrieb eines 9V-Spannungsreglers zu erreichen, sollte die Anzahl der Sekundärwicklung größer als die Anzahl der Primärwicklungen sein. Die Anzahl der Wicklungen der Steuerspule sollte so groß sein, daß an der Basis des Transistors mindestens die Sperrspannung von 0,7V überschritten wird.

Die Spulen werden mit Kupferlackdraht der entsprechenden Dicke gewickelt. An die Enden der Kupferlackdrähte werden zu besserer Handhabung bzw. Unterscheidung jeweils farbige Litzen angelötet. Die Lötstellen werden dann mit Schrumpfschlauch isoliert, um Kurzschlüsse zu vermeiden.

Die Wicklung der Primärspule mit Mittelabgriff erfolgt bifilar. D.h. es werden zwei Kupferlackdrähte parallel gelegt und lose miteinander verdrillt.



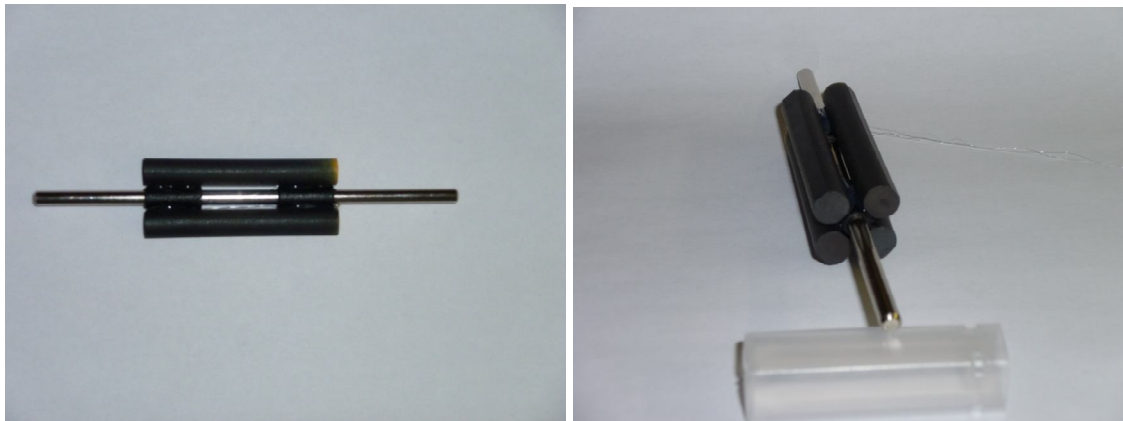
Die Enden (2) und (3) werden miteinander verbunden und ergeben so zusammen den Mittelabgriff. Die Enden (1) und (4) ergeben die Verbindung zum Kollektor des jeweiligen Transistors. Als Anzahl der Wicklungen dieser bifilaren Wicklung beziehen sich auf den doppelt genommenen Draht, d.h. die Gesamtzahl der Wicklungen ist doppelt so hoch.

Die Induktivität der einzelnen Spulen wurde mit einem LCR-Meter (LCR-100) der Fa. Voltcraft gemessen.

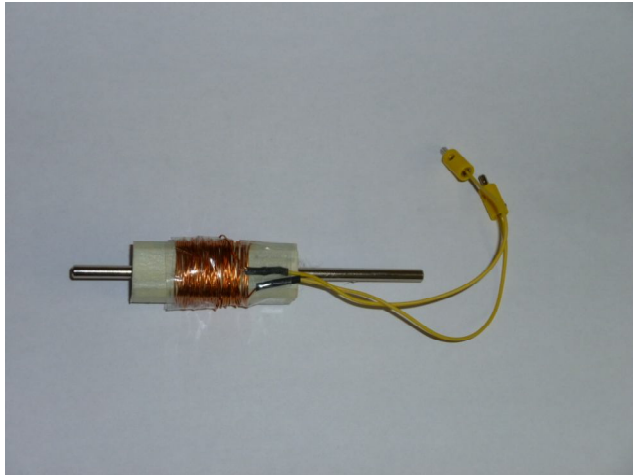
	Anzahl Windungen	Induktivität (uH)	Drahtdicke (mm)	Litzenfarbe der Anschlüsse
Primärspule (bifilar)	2 x 21 = 42	240	0,5	1: blau/violett 2: braun/grün
Steuer-spule	9	< 10	0,22	orange/grau
Sekundär-spule	56	256	0,5	2x gelb

Die Induktivität wurde in Gegenwart der Ferritstäbe gemessen
Die Induktivität der bifilaren Primärspule wurde über alle Wicklungen gemessen (nicht über Mittelabgriff)

Die Sekundärspule stellt den beweglichen Teil, den Rotor, dar und wird aus 4 Ferritstäben und den FT-Lagerhülsen aufgebaut.
Die Ferritstäbe werden jeweils um 90° versetzt mit Heißkleber auf die Hülsen aufgeklebt. Die Hülsen dienen dabei zur Aufnahme der Drehachse.

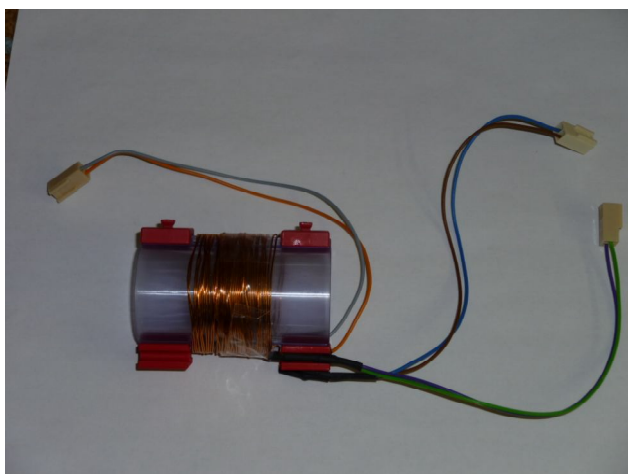
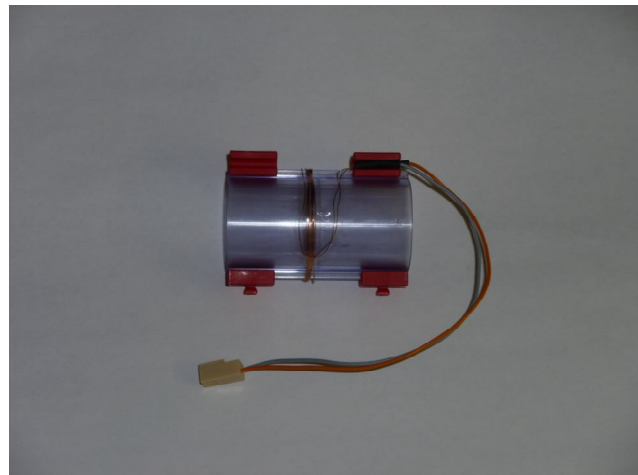


Die Verbindung ist nicht wirklich fest. Da zu Beginn nicht klar war, ob der Aufbau erfolgreich ist, wurde kein Alleskleber eingesetzt, um den Aufbau zerstörungsfrei wieder auseinander bauen zu können. Statt der Lagerhülsen könnten auch die Rasthülsen (FT-Nr. 35073) verwendet werden. Dieses hätte den Vorteil, daß der Rotor besser von der Drehachse mitgenommen wird. Da die Trennung der Rastachsen von den Rasthülsen aber etwas „Gewalt“ erfordert, wurde aufgrund der nicht ganz optimalen mechanischen Stabilität der Klebungen darauf verzichtet.



Zu Stabilisierung und zum Schutz des Kupferlackdrahtes wird der Aufbau mit Kreppband umwickelt. Danach wird der 0,5mm-Kupferlackdraht für die Sekundärwicklung aufgewickelt. Die Fixierung der Anschlüsse und der Wicklung erfolgt mit transparentem Klebeband.

Die Primär- und Steuerspule stellt den stationären Teil, den Stator, dar. Dazu wird die FT-Rohrhülse zuerst mit der Steuerwicklung aus 0,22mm-Kupferlackdraht versehen.



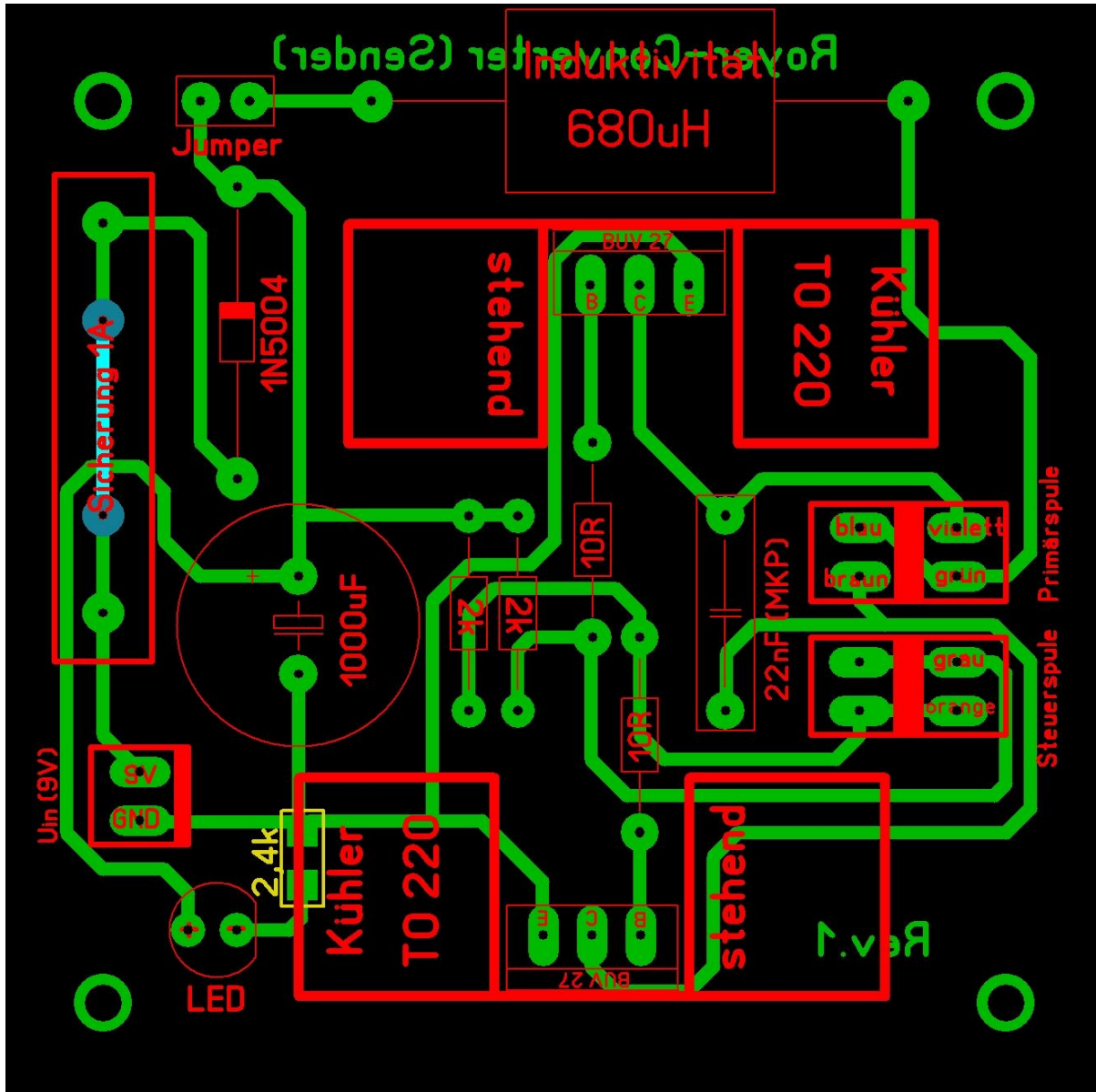
Danach folgt die bifilare Primärwicklung aus 0,5mm-Kupferlackdraht.

Die Kabel werden durch die Rillen des FT-Bausteins (FT-Nr. 37468) geführt und mit Heißkleber fixiert

Platinenlayout

Das Layout der Platinen wurde mit dem Programm Sprint-Layout 5.0 der Fa. Abacom erstellt.

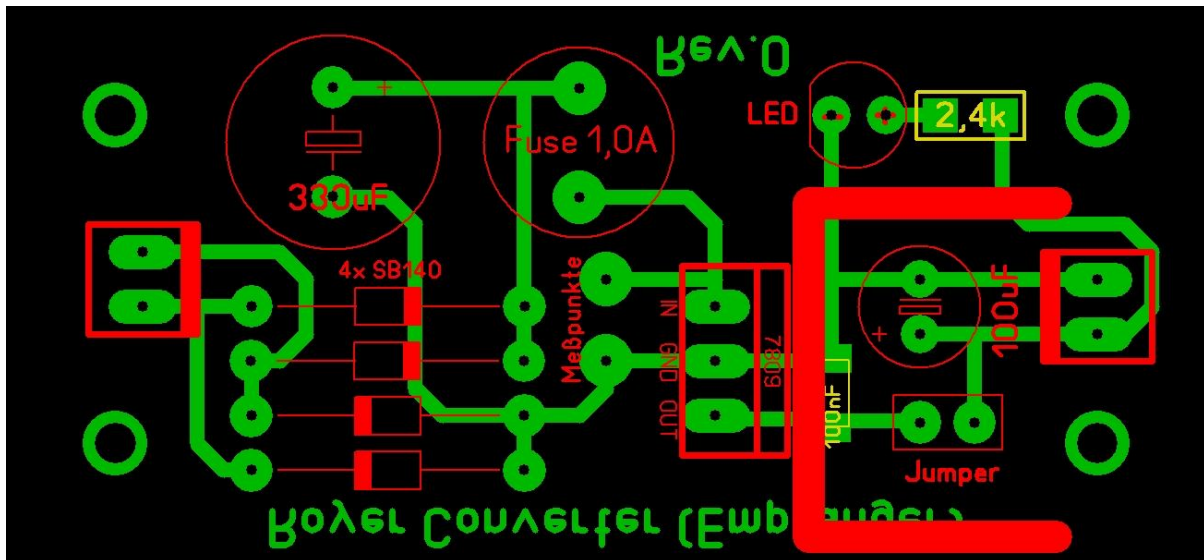
Sender



Anmerkungen zum Aufbau des Senders:

- Die Größe der Platine entspricht dem Kassettenteil FT-Nr. 32076.
- Durch die größeren Bohrungen an den Ecken können M3-Schrauben zur Befestigung gesteckt werden.
- Der Jumper wird im Normalbetrieb überbrückt. Falls von Interesse kann die Stromaufnahme des Senders gemessen werden.
- Die Anschlüsse der Primärspule sind mit Farben bezeichnet. Die Farben entsprechend der Bezeichnung bei der Beschreibung der bifilaren Wicklung.
- Die Polung der Steuerspule ist wichtig und wird am einfachsten experimentell ermittelt. Falls der Royer-Converter nicht funktioniert, sollte die Polung vertauscht werden. Aus diesem Grund erfolgt der Anschluß der Steuerspule über vier Anschlüsse, so daß einfach durch Umstecken umgepolt werden kann.

Empfänger



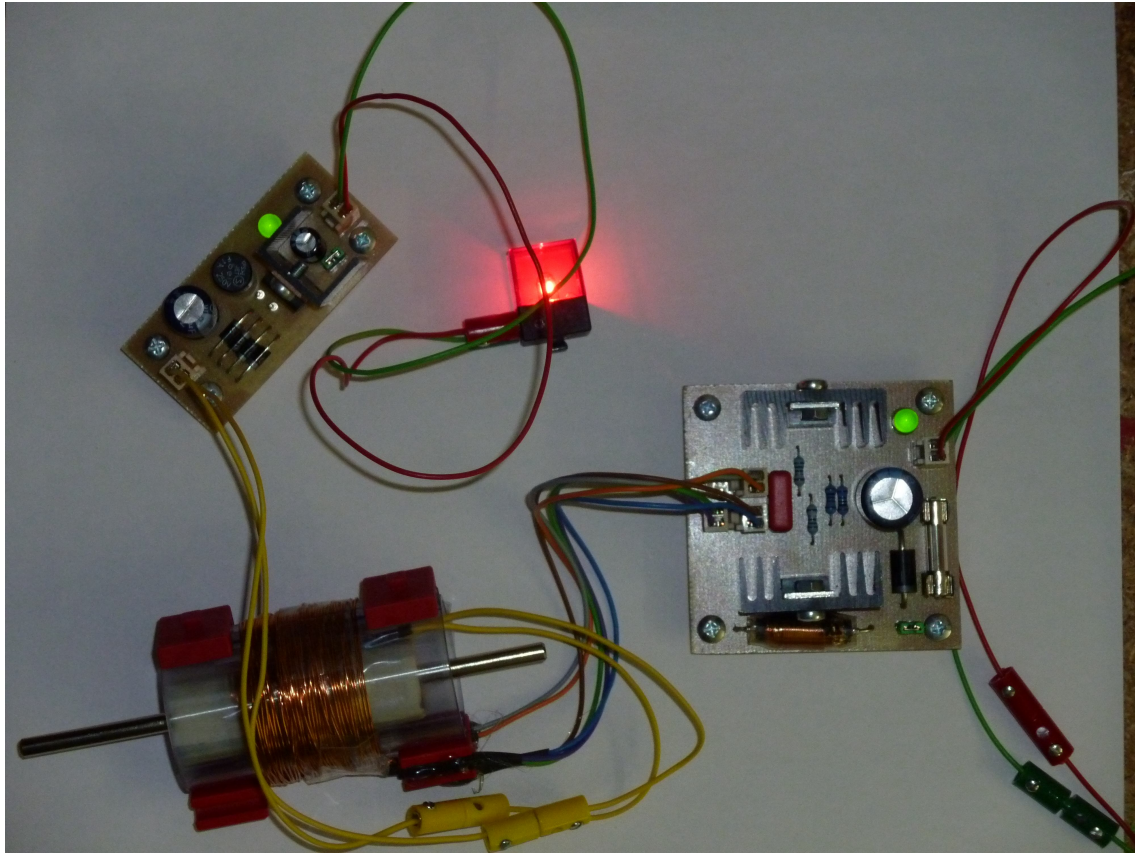
Anmerkungen zum Aufbau des Senders:

- Die Größe der Platine entspricht dem Batterieunterteil FT-Nr. 32263.
- Durch die größeren Bohrungen an den Ecken können M3-Schrauben zur Befestigung gesteckt werden.
- Der Jumper wird im Normalbetrieb überbrückt. Falls von Interesse kann die Stromabgabe des Empfängers gemessen werden
- In die „Meßpunkte“-Bohrungen vor dem Spannungsregler können Lötstifte gesetzt werden, um die gleichgerichtete Spannung messen zu können.

Prinzipiell kann die Schaltung sicher auch auf Lochraster aufgebaut werden. Ob Lochraster oder geätzte Platinen ist hier vermutlich eine reine Geschmacksfrage. Ich persönlich finde, daß geätzte Schaltungen besser aussehen.

Elektrische Daten des Konverters:

Anschluß des Konverters, das rote Lämpchen steht allgemein für elektrische Verbraucher:



Die Schwingungsfrequenz und Amplituden wurden mit einem Analog-Oszilloskop HM-203 der Fa. HAMEG gemessen.

Schwingungsfrequenz:

$T = 115\mu\text{s}$; 8,7 kHz

Stromaufnahme des Senders:

unbelastet ohne Anschluß Empfängerplatine:
unbelastet mit Anschluß Empfängerplatine
belastet mit einem Powermotor:

20-30mA
50-60mA
ca. 380mA

Steuerspule:

Amplitude 7-8V

Primärspule (über gesamte Wicklung):

Amplitude ca. 34V

Sekundärspule:

unbelastet ohne Anschluß Empfängerplatine
belastet mit zwei Powermotoren

Amplitude ca. 40V
Amplitude ca. 20V

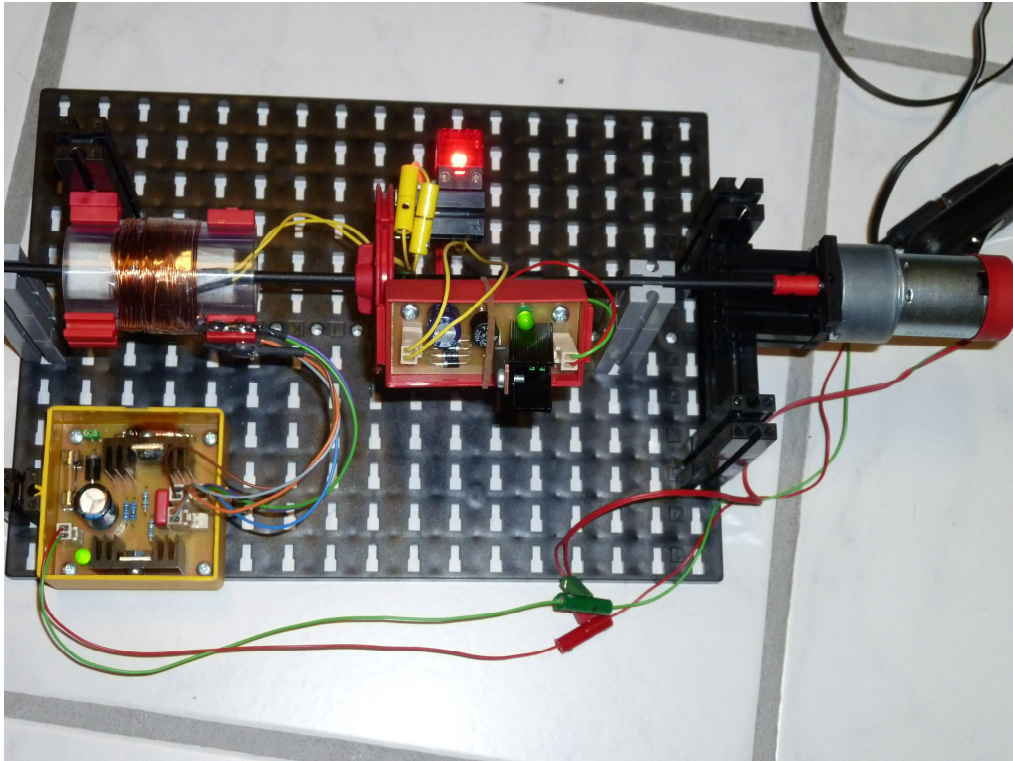
Unter diesen Bedingungen erwärmen sich die Transistoren incl. Kühlkörper praktisch nicht, der Kühlkörper des 78S09 wird deutlich wärmer.

Die Erwärmung des 78S09 zeigt, daß die Auslegung der Spulen nicht optimal ist. Die 20V-Amplitude der Sekundärspule ist zu hoch. Der Spannungsabfall zu 9V wird im 78S09 als Wärme vernichtet.

Unterbricht man die Stromversorgung **hinter** dem Spannungsregler 7809, kann beim Wiedereinschalten die Spannung hinter dem 7809 zusammenbrechen. Der Konverter muß dann insgesamt ab- und wieder angeschaltet werden. Eine Spannungsunterbrechung vor dem 7809 ist problemlos.

Testaufbau:

Der Powermotor dreht die Achse, auf der Empfänger und zwei FT-Lämpchen montiert sind:



Ausblick

Insgesamt gesehen ist der Royer-Converter ziemlich robust, d.h. Abweichungen in der Windungszahl und Abmessungen der Spulen werden in gewissen Grenzen ohne Funktionseinschränkungen toleriert.

Ziel für weitere Arbeiten wäre die Miniaturisierung des Rotors und Stators. Die Dimensionen des hier gewählten Aufbaus orientierten sich an den verfügbaren FT-Materialien. Der Aufbau sollte außerdem zuerst „zerstörungsfrei“ erfolgen.

Die Länge der Spulen kann wahrscheinlich halbiert werden. Zur Trennung der spröden Ferritstäbe sind Metallsägen nicht geeignet. Hierzu sind diamantbeschichtete Sägeblätter bzw. Trennscheiben erforderlich.

Der Durchmesser der Spulen kann ebenfalls reduziert werden. Man kann den Rotor z.B. direkt auf den Ferritstab aufwickeln. Der Stator wird aus einem Kunststoffrohr mit ca. 13mm Innendurchmesser hergestellt.

Problematisch ist hier momentan eine stabile Verbindung der Drehachse mit dem Ferritstab.