

## **Staubsauger-Dressur**

Von Nothart Rohde / März 2010

-1-

Sie wollen mit langen Schläuchen oben auf dem Schrank oder unter dem Bett saugen. Sie wollen, mit dem Pinsel in der einen Hand, die Schraubenmagazine, die Modellbahn oder die Zimmerpflanze schonend entstauben. Sie wollen mal kurz Ruhe, weil Sie oben auf der Leiter den Eindruck haben, dass es gerade geklingelt hat. Was fällt Ihnen auf ? Ja, dem Staubsauger fehlt die Regelung und wenn er eine hat, ist der Knopf nicht dort, wo man ihn dringend braucht. Da ist einem Entwickler nach langem Leiden endlich der Kragen geplatzt. Hier das Ergebnis.

### **Baustellen**

Ein derartiges Projekt ist nicht so kompliziert, man hat aber doch einige Baustellen mit ganz besonderer Problematik.

Da wäre zunächst die Leistungsregelung. Schaltungen für die Phasenanschnittsteuerung, wie man sie in den üblichen Dimmern findet, sind kein Geheimnis. Man kann sie auch recht preiswert mit Funksteuerung kaufen. Was für Lampen geht, muss aber nicht immer gehen. Denn bei näherer Betrachtung stellt sich heraus, dass gerade eine solche Steuerung bereits in modernen Staubsaugern enthalten ist. Und die Reihenschaltung von 2 Steuerungen geht meistens nicht oder nur schlecht. Man könnte als Trick dem intern gedimmten Staubsauger eine Tischlampe als ohmsche Last parallelschalten, dann regiert die Zusammenschaltung etwas freundlicher, aber das ist nur eine Notlösung. Die Alternative heißt Pulspaket-Steuerung, bei der man dem eingebauten Dimmer von der Netzseite her komplette Sinushalbwellen anbietet, aber mitunter eine unterdrückt. Dass dieser Schaltungsteil auf Hochspannung liegt und bei Aufbau und Test besondere Sorgfalt verlangt, sollte selbstverständlich sein. Die spannungsführenden Bauteile kann man aber auf ein Minimum reduzieren.

Ein zentraler Punkt ist natürlich die Fernsteuerung als solche. Zur Auswahl stehen Infrarotlicht, Ultraschall und Hochfrequenz. Obwohl die angestrebten Abstände gering sind, muss man in der geplanten Anwendung bei den ersten zwei Ideen mit lästiger Abschattung oder Dämpfung rechnen, was wiederum bedeutet, dass es eine Frage der Sendeleistung und damit eine Frage des Stromverbrauchs ist. Denkbar sind kurze Pulse hoher Leistung, wie es bei Infrarot üblich ist. Das bedeutet aber ein festgelegtes Übertragungsprotokoll und damit organisatorischen Aufwand. Blicke die Hochfrequenz.

Für modernen Funk über geringe Distanz gibt es ein reiches Angebot an Betriebsfrequenzen, aber auch an Protokollen. Da Funk strengen behördlichen Auflagen unterworfen ist, kann man nur fertige Module verwenden. Die benötigen dann zum Start und zur Kanalwahl einen Mikroprozessor. Es ist natürlich nicht verboten, bei Interesse das alles zusätzlich aufzubauen,

aber der Aufwand steht in keinem Verhältnis zum Ergebnis. Daher werden hier kleine HF-Module eingesetzt, die noch mit der klassischen Modulation wie FM (Frequenzmodulation) oder AM (Amplitudenmodulation) arbeiten. Sie sind elektronisch ohne weitere Zusätze fast nur ein „Draht“ und wirklich der schnellste Weg zum Ergebnis. Leicht erhältlich sind sie in der Mitte der Bereiche 433 und 868 MHz. Der zweite Bereich ist für die Anwendung günstiger, da er weniger belegt ist und die Antennen kürzer sein können. Die höhere Frequenz hätte im Freien bei Nässe, bei geringem Abstand zum Boden und vielleicht auch durch Wände hindurch mehr Dämpfung, das spielt hier aber keine Rolle.

Erwähnenswert ist auch das Handteil für die Fernbedienung. Toll wäre für manche einhändige Anwendung ein Handgriff an der Düse, wie man ihn an Bohrmaschinen, Elektrotackern und mitunter am Gartenschlauch findet. Da sind aber eine Menge mechanischer Details zu lösen, weshalb man eigentlich nur weiterkommt, wenn man käufliche Teile zweckentfremdet. Aber auch ein kleines Gehäuse mit Batteriefach, das man in die Hemdtasche steckt oder mit einem Clip am Schlauch befestigt, bedarf einiger Überlegungen. Das Angebot an passenden Gehäusen ist gering, schöne Ausführungen sind richtig teuer und das Batteriefach ist eher ein Loch, in das man, bitteschön, einen 9-Volt-Block hineinstecken möge.

## Thyristoren und Triacs

**Thyristoren** sind elektronische Schalter, die hohe Spannung und viel Strom verkraften und dabei preisgünstig hergestellt werden können. Mit kleiner Spannung (1,5 Volt) bei geringem Strom (10 - 50 mA) an einem Steueranschluss (Gate) können sie eingeschaltet werden und bleiben dann eingeschaltet, solange Strom über das Bauteil fließt. Der Spannungsabfall im eingeschalteten Zustand liegt knapp über 1 Volt, ziemlich unabhängig vom Strom. Daher können bei höherer Spannung leicht 100 Watt geschaltet werden, ohne dass man den Schalter besonders kühlen müsste. Das Einschalten nennt man auch Zünden. Sinkt der Strom unter einen gewissen Wert, den Haltestrom, sperrt der Schalter von alleine wieder. Thyristoren können in Bezug auf den Masse- und den Steueranschluss nur positive Spannungen schalten. Bei negativen bleiben sie gesperrt. Für Wechselspannungen ist es daher üblich, einen Brückengleichrichter ausreichender Leistungsfähigkeit vorzuschalten, der aus der Wechselspannung für den Thyristor eine pulsierende Gleichspannung erzeugt.

**Triacs** sind bipolare Thyristoren für Wechselspannung. Sie können beide Polaritäten schalten und dies sowohl mit positiver wie negativer Spannung am Gate. Dafür gibt es insgesamt 4 Kombinationen, die man auch **Quadranten** nennt. Üblicherweise geht das Schalten einer negativen Spannung mit einer positiven Spannung am Gate deutlich schlechter. Manche Triacs, die **3-Quadrant-Typen**, können dies überhaupt nicht, haben aber sonst bessere Daten. Will man daher bei Wechselspannung die notwendige Polarität am Gate nicht dauernd ändern, muss man konstant negative Spannung anbieten.

Thyristoren und Triacs lassen sich nicht sperren, sie sperren von selbst, wenn der Haltestrom unterschritten wird. Bei kleiner Last kann das aber schon deutlich vor dem Nulldurchgang der Wechselspannung auftreten, was zu Instabilitäten und lastabhängigen Eigenschaften führt. Man kennt das von den billigen Dimmern, die den Lichtschalter ersetzen. Ein besseres Konzept für die Zündung und dabei nur wenig aufwändiger ist die Dauerzündung. Wahlweise mit einer höherfrequenten Folge von Pulsen oder mit Gleichspannung. In diesem Fall bleibt der Schalter auch eingeschaltet, wenn der Haltestrom unterschritten wird. Die Dauerzündung benötigt allerdings eine zusätzliche Stromversorgung (meist unter 1 Watt), während die kurzen Pulse der einfachen Dimmer direkt aus der Netzspannung abgeleitet werden. Auch zu Beginn der Sinushalbwellen darf erst gezündet werden, wenn merklich Strom fließen kann, sonst bewirkt der Zündpuls wenig. Also führt die Zündung mit Einzelimpuls nicht nur am Ende, sondern auch am Anfang der Halbwellen zu lastabhängigen Effekten.

### **Thyristoren und Triacs in Serie**

Gerade einfache Dimmer arbeiten mit Einzelpulsen und davon ist bei einem Staubsauger auszugehen. Der Zeitpunkt der Zündung wird durch Phasenverschiebung mit einem RC-Glied aus der Netzwechselspannung abgeleitet. Typischerweise ist das R als Potenziometer ausgeführt und dient zur Einstellung der Phasenverschiebung und damit des Zündzeitpunktes. Je später, desto kürzer das „Reststück“ der durchgelassenen Sinushalbwelle und desto geringer die mittlere abgegebene Leistung. Diese Kurvenform bringt einen nachgeschalteten Dimmer gleicher Bauart komplett aus dem Takt. Als Erfahrungswert kann man aber festhalten, dass eine zusätzlich vorgeschaltete, insgesamt multiplikativ wirkende Regelung durchaus möglich ist, wenn man dem nachfolgenden Standard-Dimmer ganze Halbwellen anbietet.

Man schaltet also zur Leistungsreduzierung nicht alle Halbwellen ein. Dieses Schalten im Nulldurchgang ist besonders störungsarm und bei Heizungssteuerungen verbreitet. Bei einem so versorgten Motor leidet aber der Rundlauf, so dass eine besonders feine Einstellbarkeit nicht gegeben ist. Einigermaßen akzeptabel erscheint als untere Grenze eine Viertelung der Leistung. Hier fallen von 4 Halbwellen 3 weg. Für eine Lampe wäre das aber nicht zu gebrauchen, denn die damit aus 100 Hz erzeugten 25 Hz sind als Flackern zu sehen. Für Zwischenstufen in der Leistung kann man sich verschiedenen Schemen ausdenken. Unter praktischen Gesichtspunkten geht das Abschalten der Halbwellen aber auch recht schlicht, etwa in der Form „keine / 1 von 2 / 2 von 3 / 3 von 4 / alle“. Neben Ein und Aus also noch drei Zwischenwerte.

## **Die Funkstrecke**

Die Funkstrecke mit gängigen Modulen hat einen digitalen Eingang und einen digitalen Ausgang. Den beiden logischen Pegeln entsprechen bei FM zwei etwas unterschiedliche Sendefrequenzen, bei AM das Ein- und Ausschalten. Module mit AM-Übertragung sind besonders einfach und damit preisgünstig, allerdings sind sie bei Störung durch andere Sender auch gefährdeter, weil der Empfänger möglicherweise die logische Null nicht sauber erkennen kann.

Übertragen werden soll im einfachsten Fall ein analog vorliegender Spannungswert, der der gewünschten Motorleistung entspricht. Das einfachste Modulationsverfahren dafür ist die Pulsdauermodulation (PDM), auch Pulsweitenmodulation (PWM) genannt. Verwendet wird hier ein Digitalsignal mit festen Frequenz und variablem Tastverhältnis, in dem die Information versteckt wird. Vorallem die Demodulation wird dabei besonders einfach, weil die Information dem Mittelwert des digitalen Signales entspricht und damit jede Art von Tiefpass als Demodulator wirkt. Das ist auch das gängige Modulationsverfahren bei geschalteten Audioverstärkern. Bei AM-Übertragung kann diese Modulation ebenfalls verwendet werden, nur ist der Stromverbrauch des Senders dann vom Tastverhältnis abhängig, während der Strom bei FM konstant bleibt. Verwendet man bei AM nur kurze Sendeimpulse und verändert deren Abstand, kann man allerdings Strom sparen. Diese Pulsfrequenzmodulation (PFM) kann ebenfalls mit einem Tiefpass demoduliert werden, ein einfaches RC-Glied wird aber meist nicht reichen.

Übliche Sendemodule erzeugen einige wenige Milliwatt Hochfrequenz. Für die Überbrückung von wenigen Metern ist das trotzdem viel zu viel. Daher benötigt man auch keine guten Antennen, so eine Art Drahtstummel, der sich aus einer Platine erhebt, reicht vollkommen. Kann am Empfänger die Empfindlichkeit eingestellt werden, sollte er möglichst unempfindlich sein, das vermindert Fremdstörungen. Interessant ist auch der Fall, wenn der Sender ausgeschaltet wird. Ein typischer FM-Empfänger rauscht dann und nach Demodulation stellt sich ein mittlerer Wert ein. Bei AM erzeugt ein Empfänger eher kein Signal und damit eine logische Null, die man sinnvollerweise der Situation „Motor aus“ zuordnet.

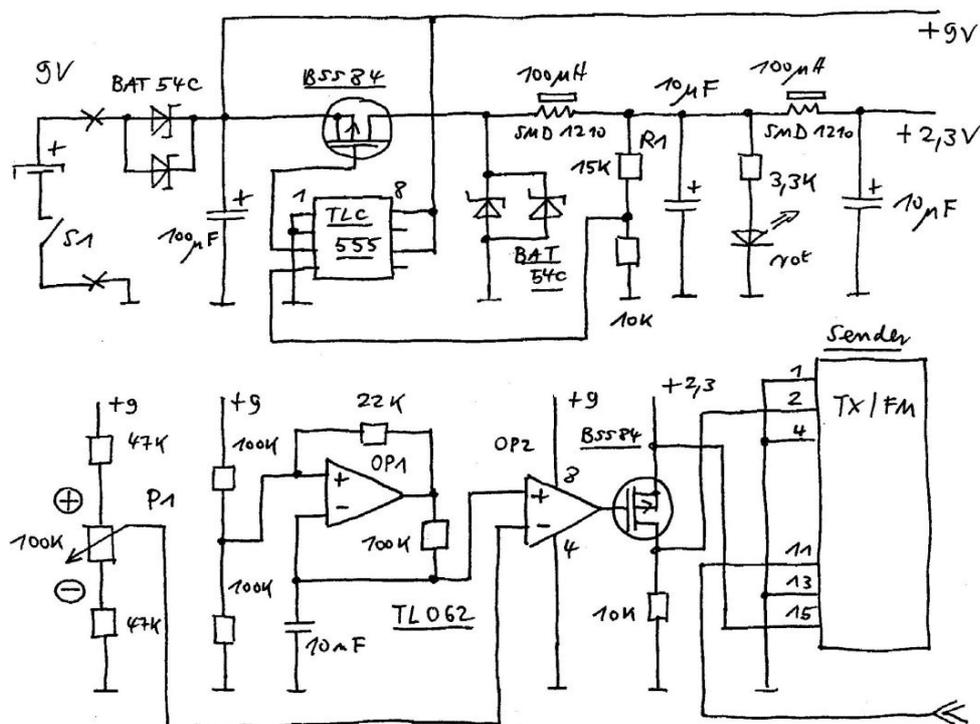
## **Gehäuse als Problem**

Die Empfangseinheit wird man in das Netzkabel einschleifen oder bei kleiner Bauform sogar in einem Zwischenstecker unterbringen. Dafür gibt es auch passende Gehäuse. Beim Handteil sieht das anders aus. Hier muss man sich zunächst Gedanken machen, wie die Bedienung aussehen soll. Ein kleines Poti mit Knopf ist das einfachste, zwei Tasten „ auf / ab “ für den Daumen aber praktischer. Das sieht dann sehr nach Prozessorsteuerung aus. Auch ein pistolenartiger Abzug für den Zeigefinger könnte manchmal sinnvoll sein. Schon aus Gründen der Lebensdauer muss man da an einen optischen Aufnehmer denken.

Aktuelle Sendemodule benötigen 3 Volt, für Operationsverstärker ist das eher knapp. Insgesamt passen die benötigten Spannungen bei einem batterieversorgten Gerät weder zu 2 Einzelzellen, noch zu einem 9-Volt-Block. Ein Spannungswandler lässt sich also kaum vermeiden. Da der 9-Volt-Block nicht sehr elegant, aber konstruktiv leichter zu handhaben ist, wurde ein Abwärtswandler für die Sendestufe vorgesehen. Auf Wirkungsgrad ist bei dieser Lösung allerdings zu achten, sonst hält die Batterie nicht lange.

### Das Handteil

**Bild 1** zeigt die Schaltung des Handteils in der einfachsten Form. Sie enthält zunächst einen Abwärtsschaltregler zur Erzeugung der 3 Volt, oder auch weniger. Der Timer TLC555 dient hier nur als Komparator, der den FET einschaltet, wenn die Spannung am Ausgang unter 3 Volt sinkt. Damit steigt sie wieder an und der FET schaltet ab. Bei typischen Lasten von 30 mA entsteht eine Schaltfrequenz von etwa 100 kHz. Verwendet man ein anderes Fabrikat des CMOS-Timers 555, muss man möglicherweise den Widerstand R1 geringfügig ändern, um auf die gewünschte Spannung zu kommen. Ansonsten ist die Schaltung einfach und sehr stabil. Das im Musteraufbau verwendete FM-Sendemodul benötigt mindestens 2,0 Volt zum Betrieb, ein offensichtlich sehr aktuelles Design. Mit 2,3 Volt war die Gesamtstromaufnahme bei 9 Volt nur 11 mA, was einige Betriebszeit zulässt.

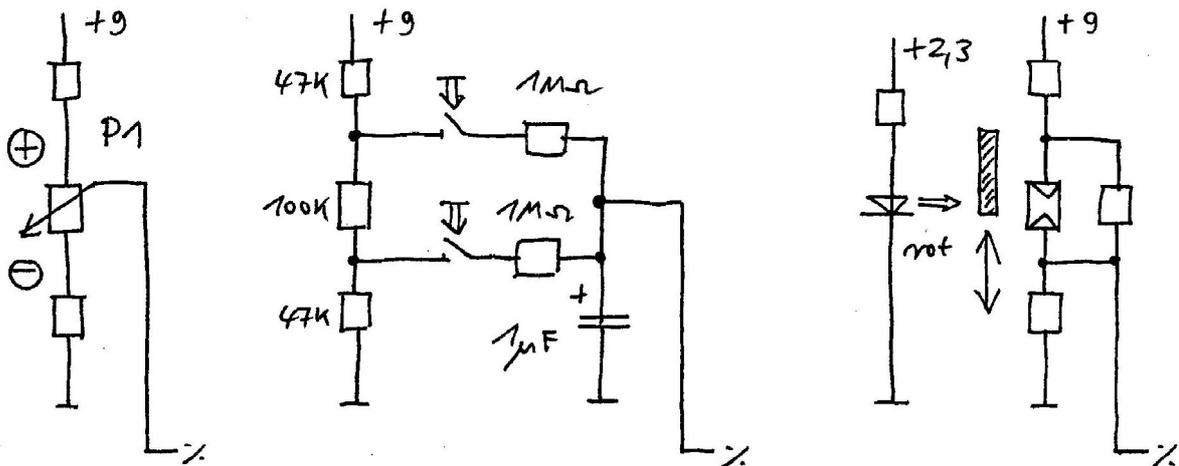


**Bild 1** Schaltung des Sendemoduls. SollwertEinstellung mit Potenziometer.

Als Modulator dienen zwei Operationsverstärker. OP1 ist durch die Mitkopplung vom Ausgang auf den positiven Eingang ein Komparator mit deutlicher Hysterese. Durch die zusätzliche Gegenkopplung mit RC-Glied entsteht ein Oszillator mit etwa 300 Hz Taktfrequenz. Die am negativen Eingang von OP1 anliegende Dreiecksspannung wird dann in OP2 mit einer Spannung, die vom Steller P1 kommt, verglichen und damit die gewünschte PDM erzeugt. Ein p-Kanal-FET dient als Pegelwandler auf 3 Volt. Der im Musteraufbau verwendete FM-Sender schaltet sich ab, wenn keine Wechselfspannung am Modulationseingang liegt. Daher muss man gegebenenfalls die beiden Widerstände, die den Stellbereich von P1 begrenzen, etwas verändern.

**Bild 2** zeigt Varianten für die Eingabe des Sollwertes. Zunächst ist der Ersatz von P1 durch Taster leicht möglich, es muss also nicht gleich ein Prozessor sein. Im praktischen Betrieb ist dabei nach dem Einschalten der Kondensator entladen, der Komparator außerhalb des Stellbereiches, die PDM nicht vorhanden und der Sender schaltet nicht ein. Man muss also vor Beginn der Arbeit eine der Tasten eine gewisse Zeit drücken.

Die zweite Variante betrifft eine bewegliche Blende mit LED und Fotowiderstand, ohne mechanische Details. Rund um den Fotowiderstand sind Experimente angebracht, damit der Signalhub einigermaßen zu den Werten passt, die P1 liefern würde. Dabei darf die Versorgung nicht unnötig belastet werden, weshalb für den Fotowiderstand eher eine hochohmige Ausführung sinnvoll erscheint.



**Bild 2** Varianten für die SollwertEinstellung, wahlweise mit Tastern oder optisch.

**Bild 3** zeigt die Sendeeinheit von außen und **Bild 4** im geöffneten Zustand. Die Schaltung ist, teilweise in SMD, auf einer kleinen Platine mit durchgehender Massefläche untergebracht. Waagrecht darüber und quer zum Gehäuse liegt das Sendemodul. Die Antenne ist lediglich ein kurzer Draht, dessen Ende ohne Kontakt stumpf auf der Grundplatte angelötet ist. Hauptschalter und Betriebsanzeige liegen rechts an der Stirnseite des Gehäuses.



**Bild 3** Die Fernbedienung, hier mit Tasten zur Einstellung.

**Bild 4** Die Fernbedienung geöffnet. Schalter und Betriebsanzeige liegen auf der rechten Stirnseite, Taster und bedrahte Teile auf der Unterseite. Der Antennenstummel ist zur Verdeutlichung rot gefärbt.

**Bild 5** zeigt den Sender nach Bild 3, direkt montiert auf einem Staubpinsel. 2 Tasten dienen zur Bedienung. Mit dem Daumen der einen Hand kann die Saugleistung eingestellt werden, die andere Hand führt das Rohr.



**Bild 6** zeigt eine Studie, wie ein Handgriff mit optischer Einstellung aussehen könnte.



**Bild 6** Designstudie für die Fernsteuerung mit Pistolengriff und optischer Sollwerteneinstellung.

### Die Empfangseinheit

**Bild 7** zeigt die Schaltung der Empfangseinheit. Sie enthält zunächst ein kleines Netzteil. Es werden geregelte 5 Volt für die Logik und das Empfangsmodul erzeugt, dazu unregelmäßige 12 Volt für die übrigen Zwecke. Weiterhin werden aus dem Nulldurchgang der Netzspannung zwei Pulse gewonnen. Ein sehr kurzer für die Logik und ein etwas längerer, der rund um den Nulldurchgang alles abschaltet, damit keine Fehlzündungen durch irgendwelche netzseitigen Phasenverschiebungen auftreten können. Die Leistungsaufnahme ist bei einem modernen Triac so gering, dass ein Kleintrafo mit 0,5 Watt zur Versorgung ausreichen würde. Es zeigt

sich aber, dass diese Trafos so viel innere Phasenverschiebung erzeugen, dass der Nulldurchgang nicht richtig erfasst wird. Erst ab 1,5 Watt war die Verschiebung annehmbar, was die Unterbringung der Schaltung in einem Steckergehäuse merklich erschwert.

Für die Steuerung des Triacs dient ein Oszillator, der auf etwa 150 kHz schwingt, danach folgt eine Leistungsstufe mit zwei FETs, danach ein Übertrager und ein Gleichrichter, der die negative Schaltspannung erzeugt, solange der Oszillator arbeitet. Es ist damit eine Dauerzündung realisiert. Als Übertrager dient eine zweckentfremdete, stromkompensierte Drossel, denn was zwischen den Netzleitungen isoliert, muss auch nach Masse isolieren können. Rund um den Triac ist die übliche Beschaltung zu finden, ein RC-Glied für die Entstörung und ein Überspannungsableiter.

Mit etwas Kühlfläche am Triac lassen sich leicht 1 kW oder mehr dimmen. Ob man allerdings im Kurzschlussfall den Triac mit einer superflinken Sicherung schützen kann, ist eher unklar. Man möchte ja nicht, dass der Stromstoss des stehenden Motors, der 30 A betragen könnte, die Sicherung auslöst. Eine Schmelzsicherung an dieser Stelle soll daher nur größere Folgeschäden verhindern.

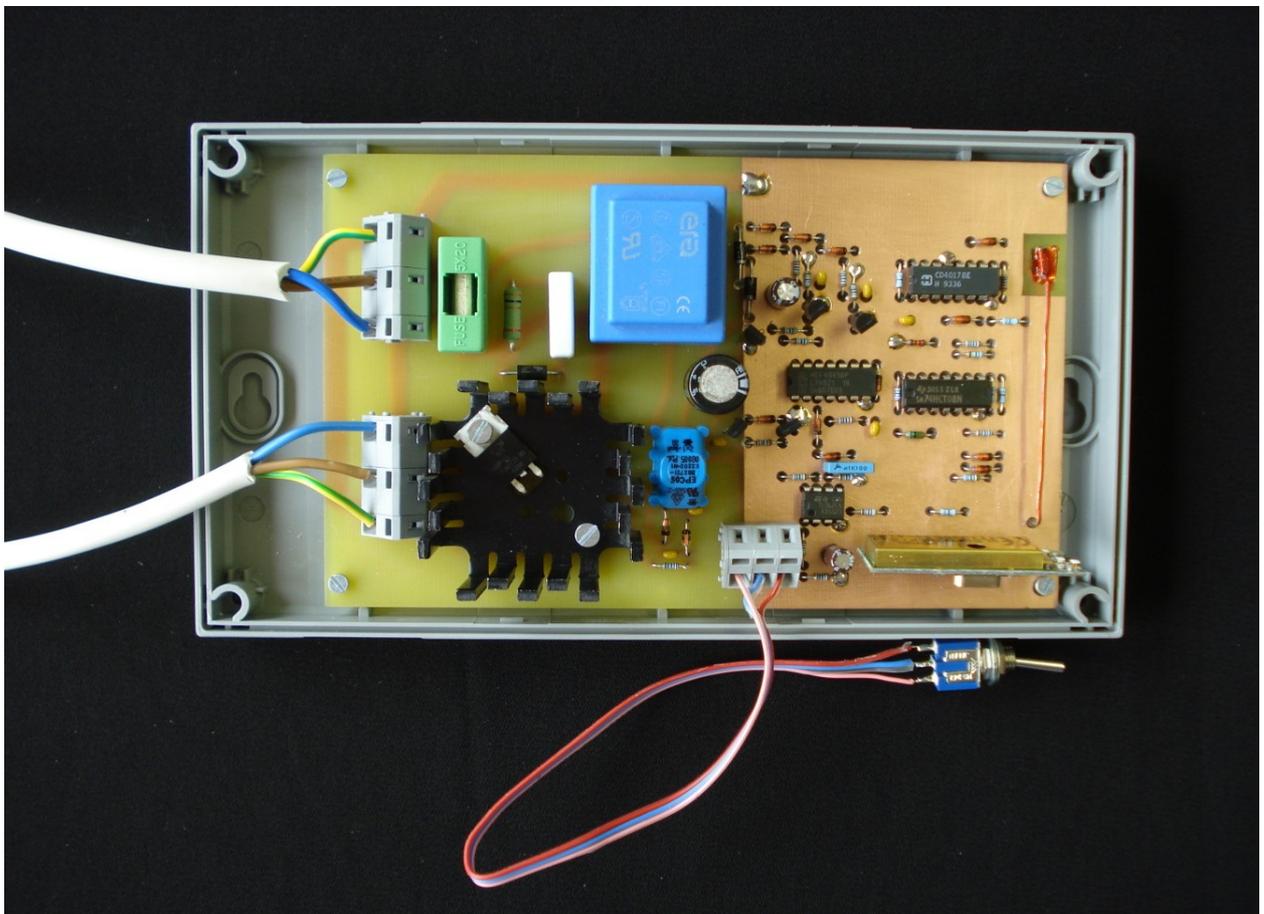
Im einfachsten Falle kann man eine ganz normale Phasenanschnittsteuerung aktivieren. Dazu wird zunächst das PDM-Signal aus dem Empfangsmodul gefiltert und mit OP1 etwas verstärkt. Weiterhin wird eine mit dem Netz synchrone 100 Hz-Sägezahnspannung erzeugt und in OP2 mit dem PDM-Signal verglichen. Sein Ausgang schaltet nach Plus, wenn die Zündphase beginnen soll. Sie beginnt um so früher, je höher das PDM-Signal ist.

Alternativ ist eine Pulspaketsteuerung möglich. Dazu zählt ein Zähler Typ 4017 wahlweise auf 4, 3, 2 oder bleibt ganz stehen. Genaugenommen wäre an dieser Stelle ein A/D-Wandler für das PDM-Signal notwendig. Bei insgesamt 5 Werten geht es auch einfacher. Dazu dienen 4 Gatter Typ 74HCT08, wobei die Betonung auf „T“ liegt. Diese Gatter schalten bei 1,4 Volt, nicht bei halber Versorgungsspannung. Daher kann man sie so nutzen, dass sie der Reihe nach eingeschaltet werden, was eine A/D-Wandlung bewirkt. Bei sehr geringem PDM-Signal sind alle Gatter ausgeschaltet, mit steigendem Signal schalten sie der Reihe nach ein. Damit wird die Zählerschleife immer kürzer. Als letztes Gatter schaltet G4 und damit bleibt der Zähler ganz stehen, mit Q0 = H, was volle Leistung bedeutet. Gatter G1 spielt eine Sonderrolle, denn es schaltet eine Rechteckspannung, keine Rücksetzpulse. Für die definierte Arbeitsweise ist es daher mit einer gewissen Hysterese durch Mitkopplung ausgestattet.

An dieser Stelle wäre ein kleiner Prozessor denkbar, der auch einen A/D-Eingang haben könnte. Möglicherweise würde auch die Filterung der PDM entfallen. Sinnvoll ist das aber nur, wenn alles sehr klein aufgebaut werden muss. Die Stromversorgung und den Leistungsteil kann man damit aber nicht wegdiskutieren, ein merkliches Bauvolumen bleibt.



**Bild 8** zeigt die Empfangseinheit im geöffneten Zustand. Man erkennt den Triac mit Kühlkörper, die Sicherung, den Trafo und die Stromkompensierte Drossel als Übertrager. Die Teile sind recht locker auf einer Eurokarte verteilt, wobei im Niederspannungsbereich eine durchgehende Massefläche vorhanden ist. Sie soll verhindern, dass der Empfänger gestört wird. Das Modul liegt rechts unten im Bild und steht senkrecht zur Platine. Die Antenne ist ein kurzer, gestreckter Draht ausgeführt, der mit etwas Abstand zur Platine läuft und blind endet. Die Reichweite des Systems erstreckt sich unnötigerweise über ein ganzen Haus, was aber andererseits aber noch andere Anwendungen möglich macht.



**Bild 8** Die Empfangseinheit, geöffnet. Das verwendete Eurokarten-Gehäuse bietet Platz für eine Steckdose in Richtung Verbraucher. Die Empfangsantenne ist rot eingefärbt und liegt am rechten Rand der Platine. Das Empfangsmodul steht, rechts unten, senkrecht auf der Platine.

### **Spezialteile**

Sendemodul	AUREL TX 8L30PF06	Conrad Nr. <i>19 00 10</i>
Empfangsmodul	AUREL RX 8L50FM70SF	Conrad Nr. <i>19 03 61</i>
Sendergehäuse	STRAPU 6094	Conrad Nr. <i>52 59 80</i>
Empfängergehäuse	BOPLA EG 2050	Diverse Händler
Netz-Drossel	2 x 0,4 ...1,2 mH	Diverse Anbieter