

Trenn-Regeltransformator

Helmut Stadelmeyer

In jeder Elektronik-Werkstätte gibt es eine Handvoll Geräte, die wirklich sehr oft benötigt werden, und dazu gehört auch ein Regeltransformator. Es wird im Lauf der Zeit zur Gewohnheit, ein unbekanntes oder neu gebautes Gerät bei der ersten Inbetriebnahme ausschließlich über den Regeltransformator hochzufahren - das erspart nicht selten eine böse Überraschung.

Hat man die Möglichkeit, seinem Hobby ein wenig intensiver nachzugehen und will man nicht nur Anwender gekaufter Geräte sein, sondern auch selbst Geräte bauen und, wenn notwendig, defekt gewordene Geräte reparieren, dann ist neben Meßgeräten und Werkzeug eine einstellbare Wechselspannungsquelle von unschätzbarem Vorteil. Ich habe sie mir viele Jahre lang gewünscht, weiß aber erst, seitdem ich auch eine besitze, was so etwas wirklich wert ist.

Sehr viele (die meisten?) unserer Geräte werden aus dem Netz versorgt und im Reparaturfall weiß man normalerweise nicht, wo der Fehler nun liegt. Ist ein an Netzspannung liegendes Bauteil defekt, hat man ohne einstellbare Wechselspannungsquelle ein Problem: Beim Einschalten löst wahrscheinlich die Sicherung des defekten Gerätes aus – und das war es dann schon. Ist der Fehler in einem anderen Bereich, so kann ein durch den Fehler hervorgerufener Überstrom zu weiteren Schäden führen.

Vorteile einer potentialgetrennten, einstellbaren Wechselspannungsquelle:

Hat man hingegen eine Möglichkeit, die Spannung von Null bis zu einem maximalen Wert, der ein Stück über der normalen Netzspannung liegt, stufenlos hochzufahren, so ist man bedeutend besser dran: Dreht man die Spannung beginnend bei Null Volt langsam hoch, dann erkennt man rasch, ob ein satter oder vielleicht nur ein spannungsabhängiger Kurzschluß vorliegt. Dies ist bereits ein erster, wichtiger Hinweis auf das defekte Bauteil.

Auch unbekannte Netztransformatoren lassen sich auf diese Weise bequem untersuchen: Dreht man die Spannung an einer hochohmigen Wicklung langsam hoch, so steigt der Strom in der Wicklung eine zeitlang annähernd linear mit der Spannung und beginnt ab einem gewissen Punkt überproportional, und schließlich rapide, zu steigen. Das ist der Punkt, wo der Eisenkern des untersuchten Trafos langsam in die magnetische Sättigung gelangt. Man merkt sich diesen Strom und steigert die Spannung noch etwa bis zum doppelten Wert dieses Stromes. Das ist dann ungefähr der Punkt, in dem die Wicklung die Nennspannung führt.

Man wird diese einstellbare Spannung vernünftigerweise mittels eines Trenntransformators vom Erdpotential isolieren, um beim Experimentieren die Gefahr eines Stromschlages zu mindern. Anzeigen für Spannung und Strom machen das Verhalten des angeschlossenen Verbrauchers ersichtlich und Meßausgänge zum Anschluß eines Oszilloskops erlauben genauere Untersuchungen.

Daten eines ausgeführten Gerätes:

Regelbereich:	0 – 230V, umschaltbar auf 30 - 260V
Dauerleistung:	ca. 200VA
Anzeigen:	3-stellig von 0 – 999 für Strom und Spannung
Ausgänge:	Schuko-Dose für 230V, 2x BNC für Oszilloskop (Spannung und Strom zur Kontrolle von Kurvenform & Phasenlage)
Abmessungen:	170*130*285mm (B*H*T über alles)
Gewicht:	ca. 7,7kg

Eingesetzte Bauteile:

- Der Drehtrafo stammt aus einem ausgemusterten Styropor-Schneidegerät. Gelegentlich kann man einen solchen Trafo auch auf dem Flohmarkt finden oder hin und wieder zu reduziertem Preis als Sonderposten erstehen. Zum Normalpreis sollte er bei jedem Elektronik-Händler zu haben sein. Bei diesem Drehtrafo handelt es sich vom Prinzip her um einen Spartrafo, der nur eine Wicklung mit verstellbarer Anzapfung hat und deshalb keine galvanische Trennung vom Netz bewirkt.
- Der vorgeschaltete Trenntrafo ist ein alter M102b-Kern vom Flohmarkt, der neu berechnet und entsprechend bewickelt wurde.
- Der Spannungswandler ist ein ganz normaler kleiner Netztrafo. Ideal ist einer mit 380 oder 400V Primärspannung, denn er hat dann bei 230V einen vernachlässigbaren Magnetisierungsstrom und deshalb keinen wesentlichen Meßfehler. Kriegt man nur einen für 230V Primärspannung, dann muß man ab 160V mit einem zunehmenden Meßfehler rechnen. Ein wenig ausgleichen läßt sich diese Abwei-

Trenn-Regeltransformator

chung, indem man die Anzeige bei 200V kalibriert; dann zeigt sie darunter etwas zu viel an und darüber zu wenig.

- Der Stromwandler ist vom Aufbau her ebenfalls ein normaler Trafo, bei dem aber die Wicklung mit dem dicken Draht an der Netzspannung in Serie mit dem Verbraucher liegt und daher vom Laststrom durchflossen wird. **Die Wicklung mit dem dünnen Draht muß unbedingt mit einem passenden Widerstand abgeschlossen sein.** Der Stromwandler kann sonst wegen Überspannung in dieser Wicklung kaputt gehen, sobald über ihn ein Laststrom fließt!
- Als Digital-Anzeiger wurden 3-stellige LED-Panelmeter der Type 5 [1] eingesetzt und die Wandler für Strom und Spannung sind auf einer Platine seitlich im Gerät aufgebaut. Versorgt werden die Anzeiger über einen EI48-Trafo.
- Ein in Abhängigkeit von der Temperatur drehzahlgesteuerter Lüfter sorgt für die Kühlung des Gerätes und je eine Sicherung auf der Netzseite und am Ausgang schützen das Gerät vor grober Überlastung.

Schaltung:

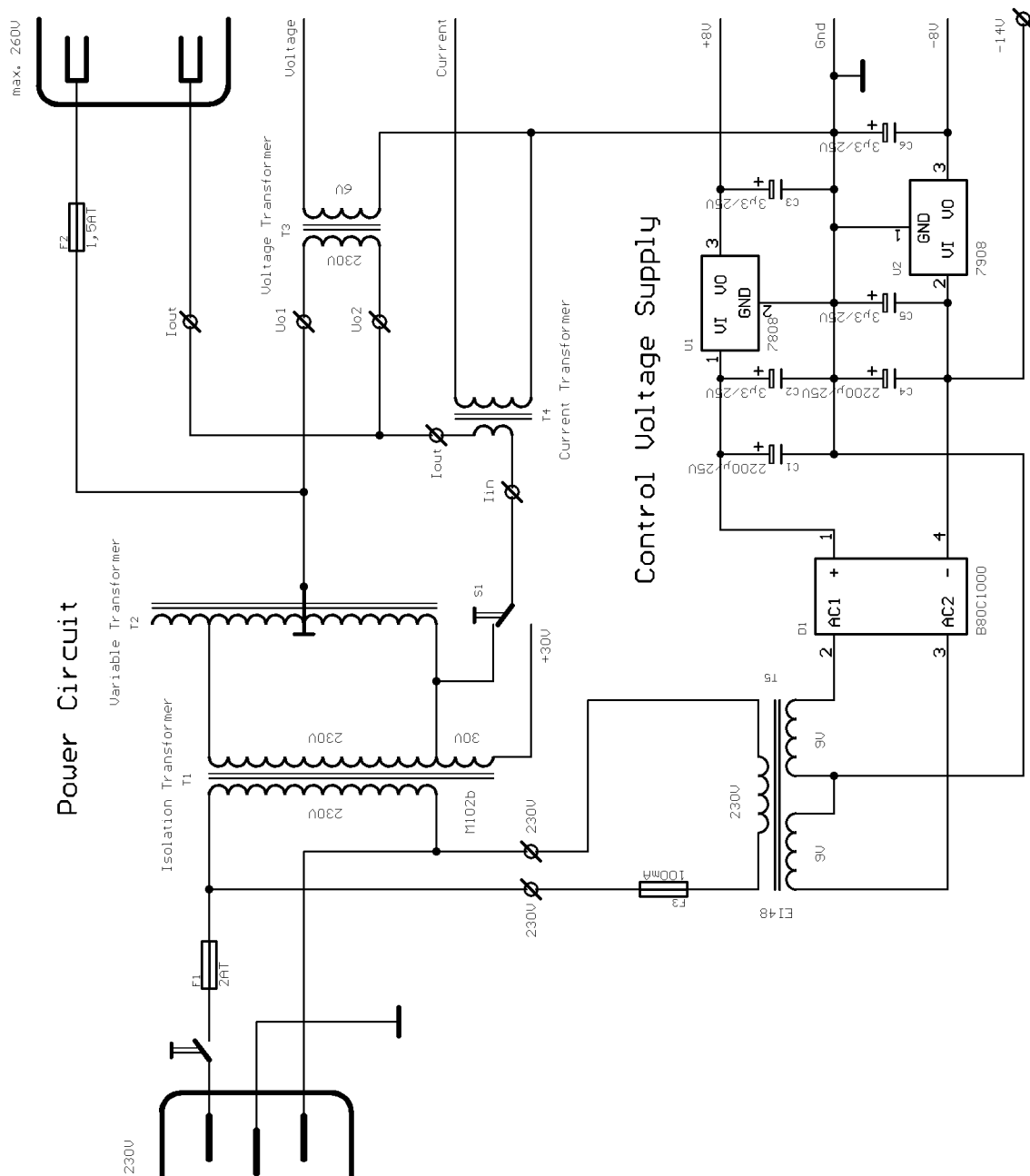


Abb. 1: Schaltplan Teil 1

Trenn-Regeltransformator

Um Spannung und Strom digital anzeigen zu können, ist es notwendig, die Meßspannung vom Netzpotential zu trennen. Zu diesem Zweck verwenden wir den Spannungswandler und den Stromwandler.

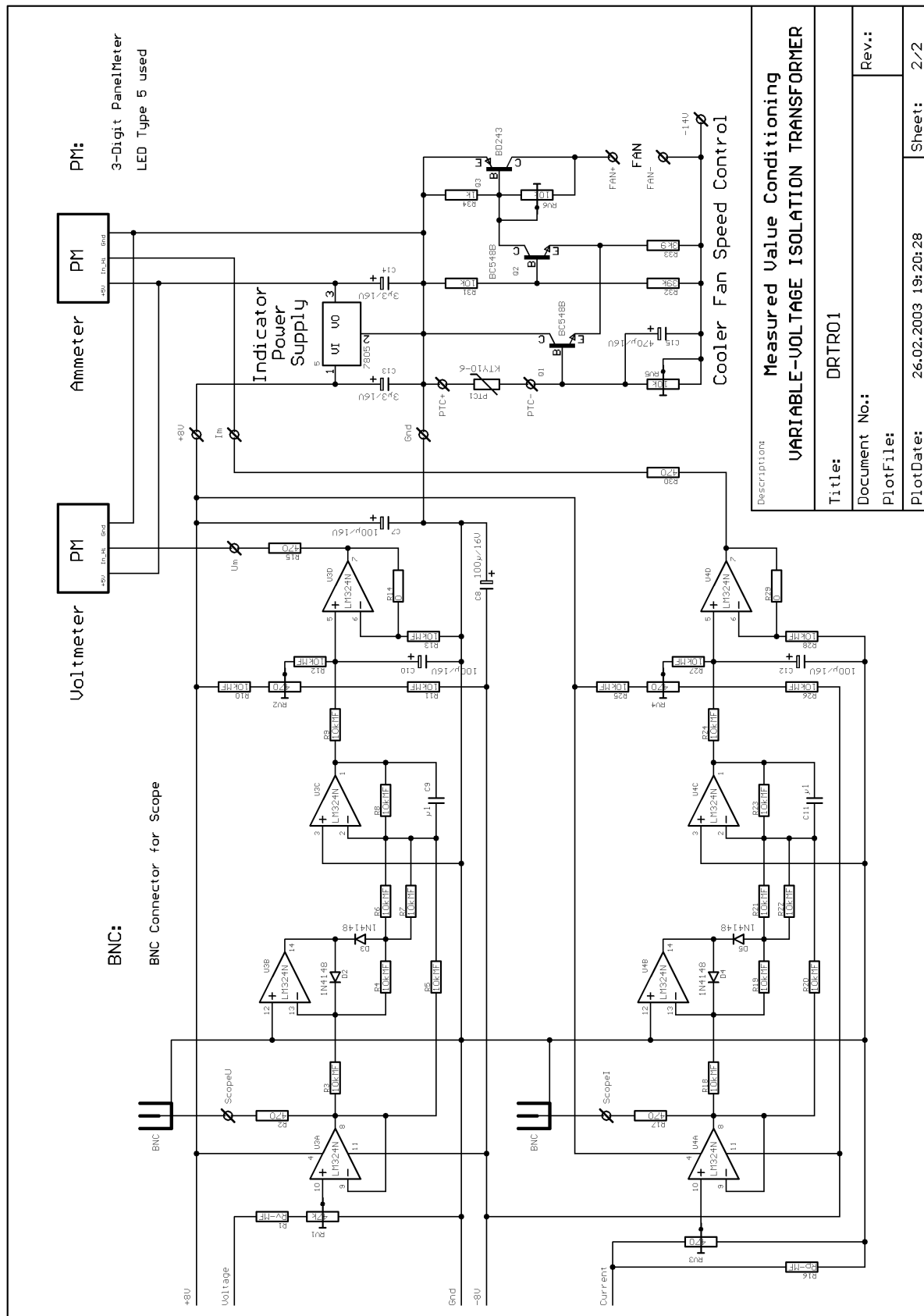


Abb. 2: Schaltplan Teil 2, Meßwertaufbereitung

Trenn-Regeltransformator

Die Ausgangssignale dieser Trenntransformatoren passen wir mit je einem 4-fach Operationsverstärker den Erfordernissen an (Impedanzwandlung, Gleichrichtung, Nullpunktabgleich). Der Einfachheit halber wird der arithmetische Mittelwert angezeigt und nicht der Effektivwert.

In der Praxis kommt es nicht einmal so sehr auf die absolute Meßgenauigkeit an (obwohl die natürlich wünschenswert ist), sondern vielmehr darauf, daß auch ganz kleine Spannungen noch deutlich ablesbar angezeigt werden – mit einem Analoginstrument ohne umständliche Bereichsumschaltung ein Ding der Unmöglichkeit!

Für den Stromanzeiger gilt dasselbe wie für den Spannungsanzeiger – der Strom durch den zu prüfenden Verbraucher beträgt je nach Prüfling oft nur wenige Milliampere.

Der Stromwandler:

Man hat die Wahl zwischen einem fertigen Miniaturwandler mit einem Übersetzungsverhältnis von einigen Ampere auf einige mA, wie er bei manchen Elektronik-Versandhäusern erhältlich ist, und einem selbst angefertigten Wandler.

Ich habe hierfür einen kleinen, nicht mit Lack getränkten NF-Übertrager aus einer alten Telekom-Platine zweckentfremdet. Der verwendete Trafokern darf **keinen meßbaren Luftspalt** haben. Das Berechnungsblatt zu diesem Wandler ist Teil der Dokumentation; Nachbauwillige können damit einen auf ihre Verhältnisse zugeschnittenen Stromwandler dimensionieren. Auf ausreichende Isolation zwischen den Wicklungen ist bei Selbstanfertigung besonders zu achten!

Auch auf den richtigen Abschluß und die maximal zulässige Bürde (=Lastwiderstand) des Stromwandlers kommt es an. Ist der Lastwiderstand zu hoch, dann arbeitet der Wandler nicht mehr im linearen Bereich. Dies erscheint auf den ersten Blick verwirrend, ist jedoch bei Kenntnis der Funktion eines Stromwandlers einleuchtend. Eine genaue Erklärung der Funktion ist aus Platzgründen hier nicht möglich, es wird dazu auf weiterführende Fachliteratur verwiesen [2], [3].

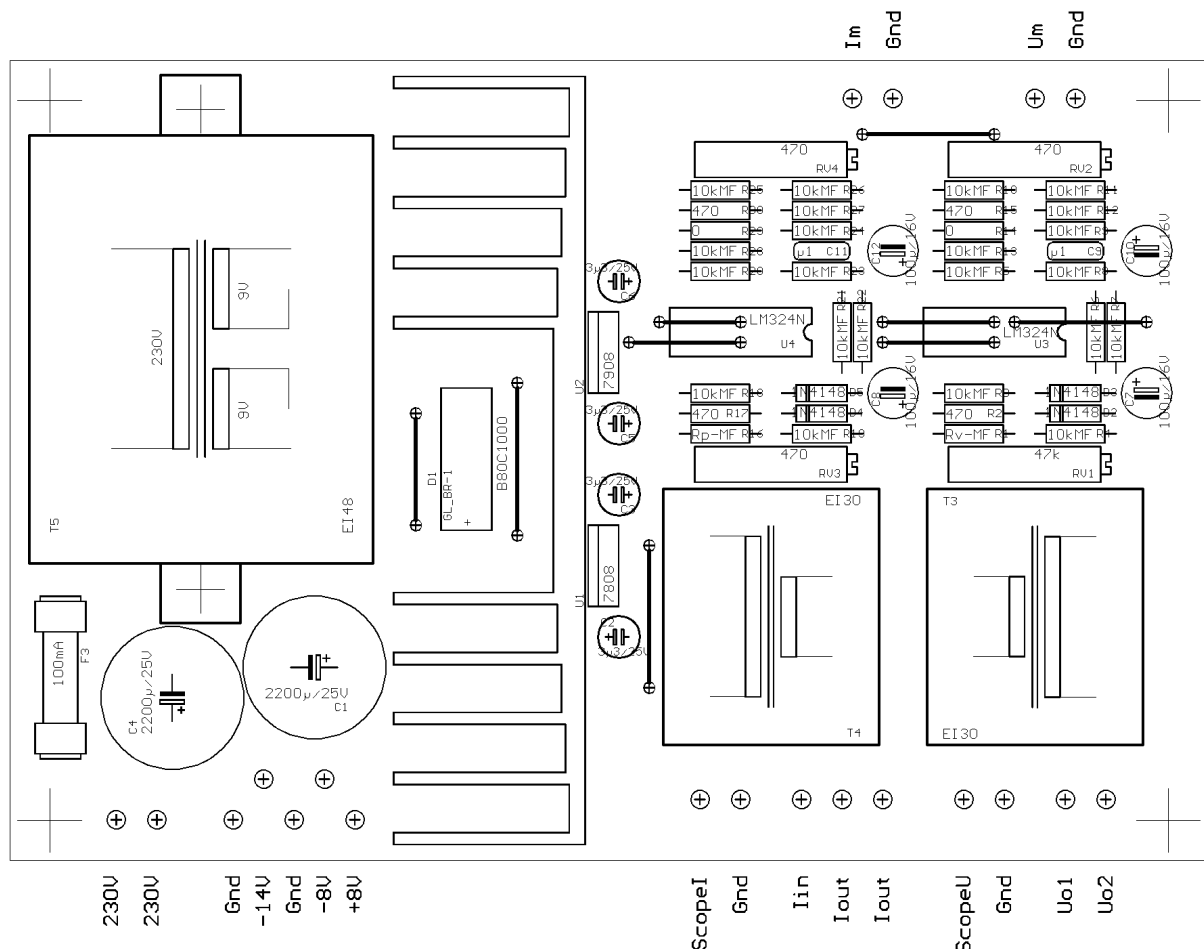


Abb. 3: Bestückungsplan der Platine für die Meßwertaufbereitung (nicht maßstäblich)

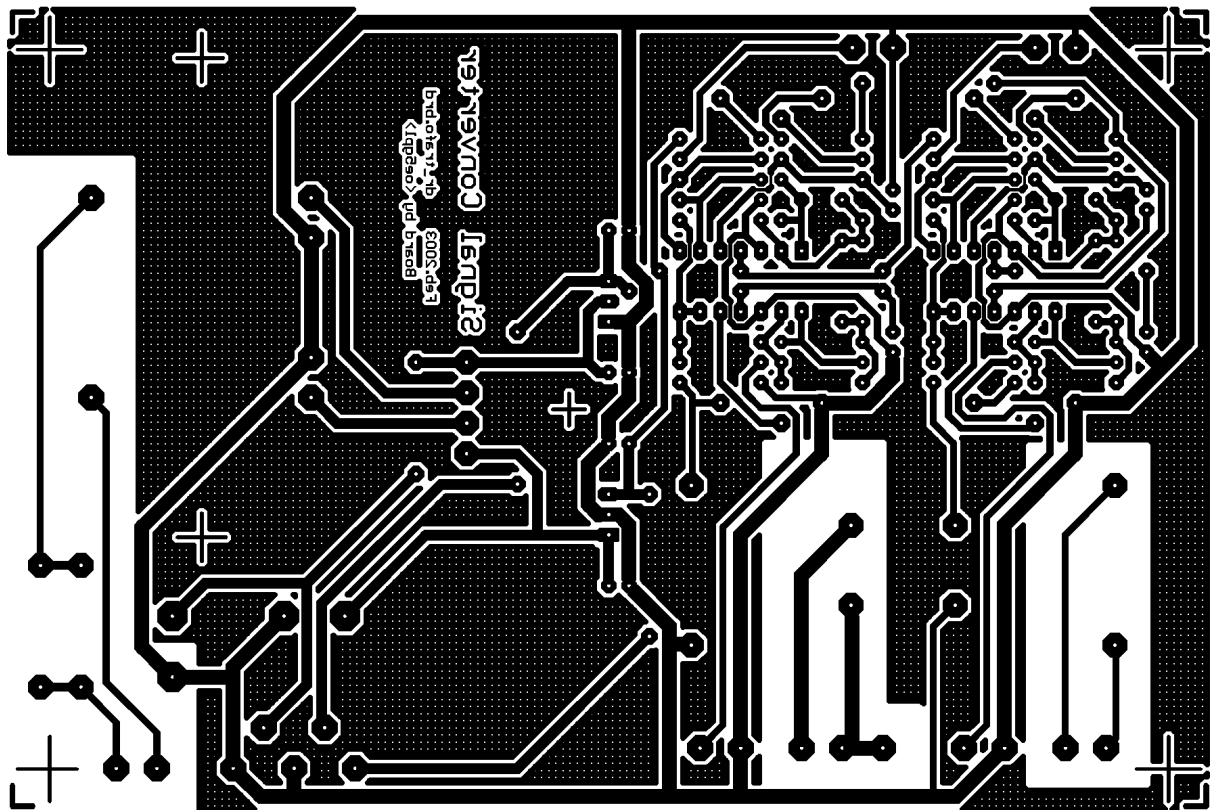


Abb. 4: Layout der Meßwertaufbereitungs- Platine (nicht maßstäblich)

Abgleich:

Nachstehende Angaben gelten für ein Gerät mit einem maximalen Laststrom von 1A; bei abweichendem Gerätenennstrom sind die Werte entsprechend umzurechnen.

Die Panelmeter für die Spannungs- und Stromanzeige justiert man bereits vor dem Einbau bei kurzgeschlossenem Messeingang auf eine Anzeige von 0,00. Das Voltmeter erhält anschließend durch Anpassen des Eingangs-Spannungsteilers einen Meßbereich von 14,1V, das heißt, es soll bei 14,1V am Meßeingang einen Wert von 999 anzeigen. Bei 3,26V Eingangsspannung zeigt es dann den Wert 231 an.

Den Anzeiger für den Strom stellen wir in gleicher Weise auf den Endausschlag von 999 bei 1,41V ein.

Spannungsmessung:

Der Einstellregler RV2 vor U3D dient zum Nullabgleich bei Ausgangsspannung 0V und lastfreiem Zustand.

Der Vorwiderstand R1 ist abhängig vom eingesetzten Spannungswandler so zu wählen, daß bei 230V Ausgangsspannung am Eingang der Spannungs-Meßwertaufbereitung über RV1 ca. 5V abfallen. RV1 stellt man so ein, daß bei einer Ausgangsspannung von 231V an der Steckdose des Gerätes die Spannung an der Buchse für das Oszilloskop 2,31V beträgt, gemessen mit einem analogen oder digitalen Vergleichsmeßgerät. Das entspricht 3,26V Spitzenwert bezogen auf die Nulllinie (entsprechend 6,5V Spitze-Spitze) auf dem Oszilloskop.

Strommessung:

Abhängig vom Übersetzungsverhältnis des verwendeten Stromwandlers ist der Wert von RV3 so zu wählen, daß darüber bei Nennstrom eine Spannung von ca. 2V abfällt. Den Parallelwiderstand R16 wird man in der Regel weglassen können.

Mit RV4 stellen wir bei Ausgangsspannung 0V und lastfreiem Zustand den Ausgang von U4D auf 0V bezogen auf Masse ein. RV3 wird bei 1A Laststrom so justiert, daß ein analoges oder digitales Vergleichsmeßgerät an der Buchse für das Oszilloskop eine Spannung von 1,00V anzeigt. Dies entspricht 1,41V Spitzenwert bezogen auf die Nulllinie (entsprechend 2,82V Spitze-Spitze) auf dem Oszilloskop.

Im Gerät sollten die Panelmeter jetzt bereits die richtigen Werte anzeigen; tun sie das nicht ganz, so gleicht man die Anzeiger zum Schluß ein klein wenig nach.

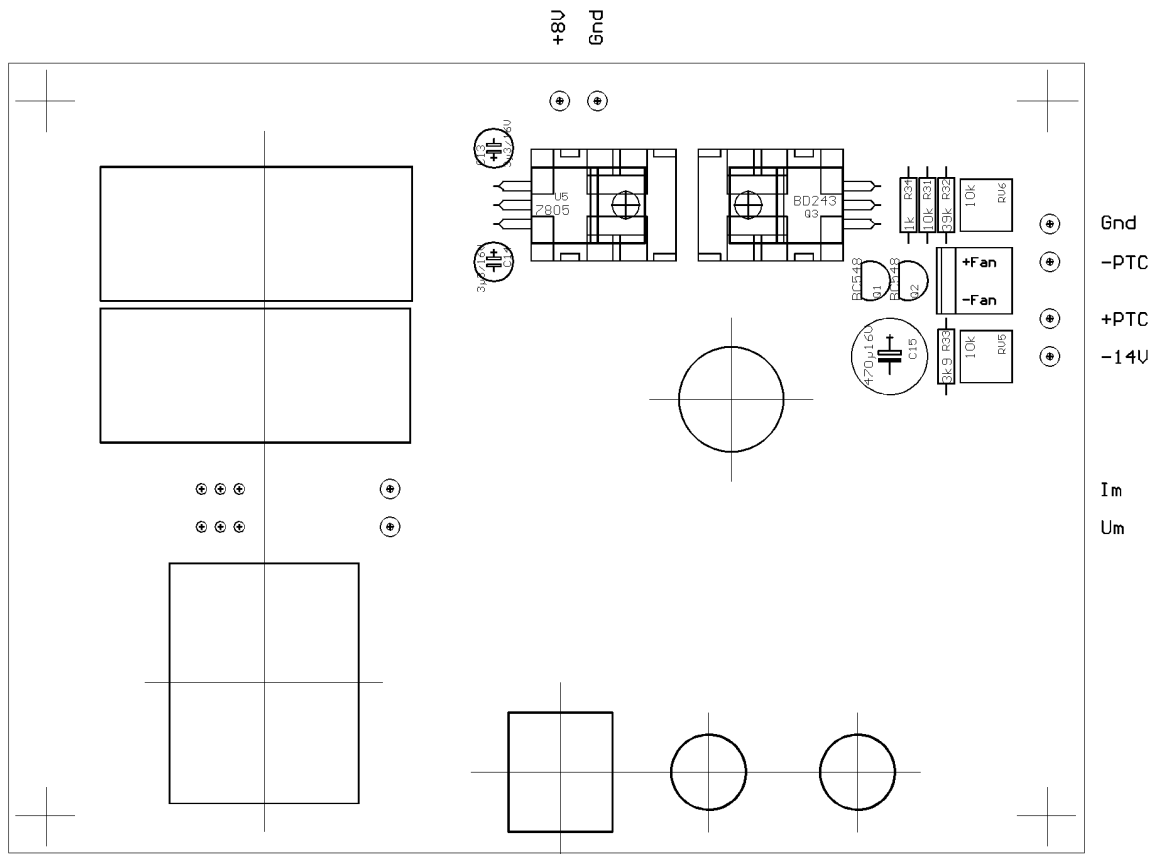


Abb. 5: Bestückungsplan der frontseitigen Montageplatte (nicht maßstäblich)

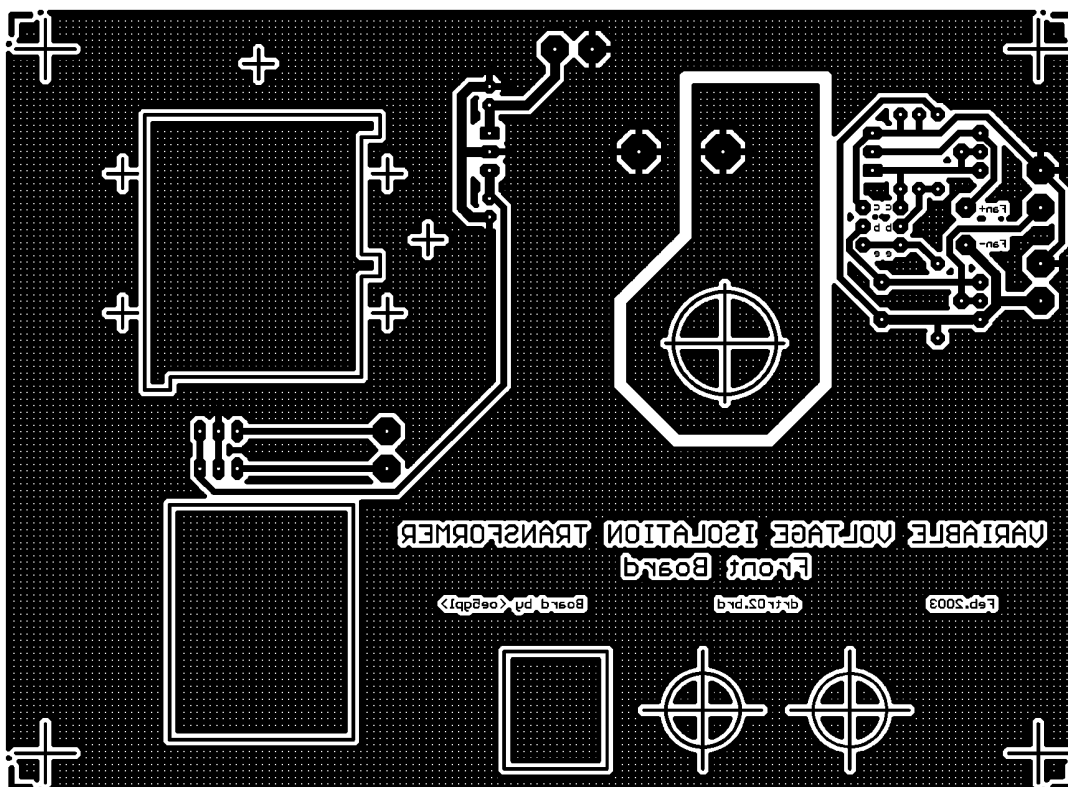


Abb. 6: Leiterplatten-Layout der frontseitigen Montageplatte (nicht maßstäblich)

Trenn-Regeltransformator

Ventilator:

Mit RV6 lässt sich die Minimaldrehzahl einstellen und RV5 legt die Temperatur fest, ab der die Drehzahl des Lüfters zuzunehmen beginnt.

Aufbau:

Der Drehtrafo ist auf einem stabilen Winkel aus Alublech montiert, der seinerseits so wie der Trenntrafo auf einer Montageplatte festgeschraubt ist. Die Montageplatte ist ihrerseits durch ca. 10mm lange Abstandhalter auf der unteren Gehäuse-Halbschale fixiert. Bei dieser Bauweise bleibt das Gerät im Reparaturfall auch bei abgenommenen Gehäusehalbschalen funktionsfähig und im zusammengebauten Zustand erlaubt sie einen ungehinderten Zutritt der Kühlluft von der Unterseite her durch eine angemessene Anzahl von Löchern in der unteren Gehäuse-Halbschale nahe der Vorderseite.

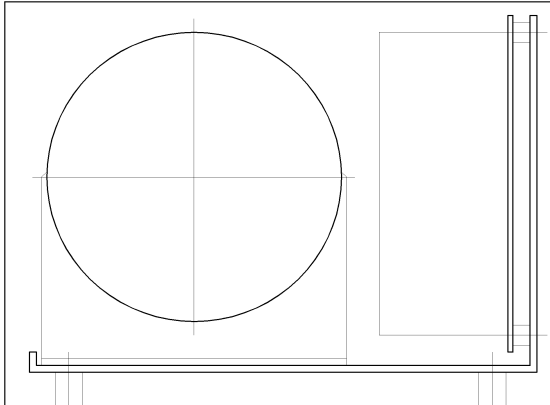


Abb. 7, Schnitt: Profil der Montageplatte

Abb. 8 zeigt eine Innenansicht des Mustergerätes. Die herunterladbaren Zeichnungen sollen einen etwas genaueren Eindruck vom mechanischen Aufbau vermitteln. Wer sich näher für diese Art des Gehäusebaues interessiert, sei bei [1] auf das Verzeichnis ‚Technik/Werkstatt/Tipps‘ → Gehäusebau verwiesen.

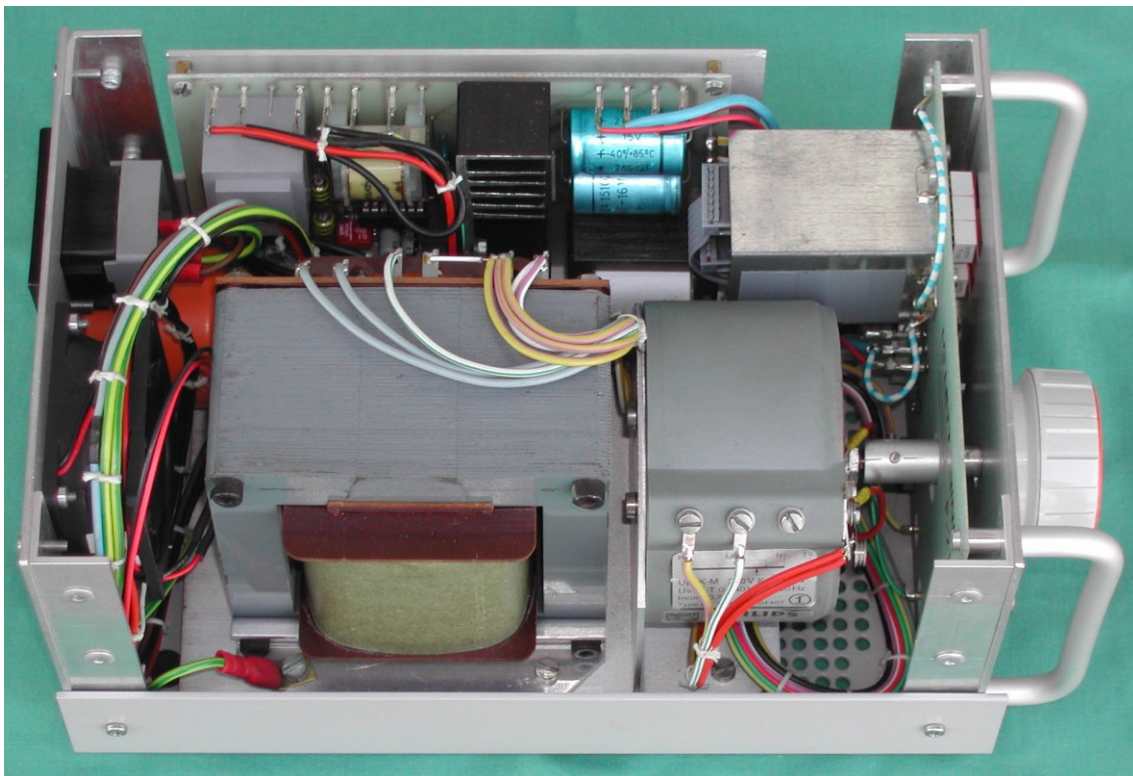


Abb. 8: Innenansicht

Trenn-Regeltransformator

Der Ventilator schafft die erwärmte Luft auf der Rückseite wieder nach außen – auf diese Weise werden alle innenliegenden Bauteile mit Kühlluft versorgt. Dies ist notwendig, weil bei länger andauernder Belastung des Gerätes im Gehäuse doch eine beträchtliche Verlustwärme entsteht. Den Temperaturfühler montiert man zweckmäßig im Luftstrom auf der Zuluftseite des Ventilators.

Die Anschlüsse auf der Leiterplatte werden für den Stromwandler, den man letztendlich verwendet, wahrscheinlich nicht genau passen. Hier behilft man sich, indem man den Wandler mit Silikon (Fugenmasse aus dem Sanitärbereich) auf die Platine klebt und die Verbindungen zu den Lötäugen mit isolierten Drahtstücken herstellt.

Bei Widerständen, die in der Wertebezeichnung ein ‚MF‘ angehängt haben, handelt es sich um Metallfilm-Widerstände. Sie werden der besseren Temperaturstabilität wegen bei der Meßwertaufbereitung eingesetzt. Die Platine hinter der Frontplatte (die ‚frontseitige Montageplatte‘) trägt die Anzeiger, die 5V-Versorgung dafür und die Drehzahlsteuerung für den Ventilator.

Bei der Verdrahtung des Gerätes ist darauf zu achten, daß der Leiter für das Bezugspotential (Gnd) von der Meßwert-Aufbereitungsplatine zur frontseitigen Montageplatte mit $1,5\text{mm}^2$ ausgeführt wird, um den Spannungsabfall auf dieser Leitung so klein wie möglich zu halten. Außerdem ist dieses Potential nur an einer Stelle mit der Gehäusemasse zu verbinden. Das trägt dazu bei, das unangenehme ‚Springen‘ der Ziffernanzeigen zu reduzieren.



Abb. 9: Rückseite und Unterseite des Gerätes

Erfahrungen:

Das magnetische Streufeld der Transformatoren induziert wegen des gedrängten Aufbaues in der Wandlerplatine, in der Verdrahtung und vor allem in den Anzeigern selbst Störspannungen. Die haben zur Folge, daß ohne zusätzliche Maßnahmen die Anzeigewerte um mehrere Digits hin- und herspringen. Eine Abschirmung aus Weißblech über den Anzeigern hilft, diese Schwankungen zu mindern, kann sie aber nicht ganz unterbinden.

Weil das Gerät wegen der großen Transformatoren ziemlich schwer ist, schätzt man eine Möglichkeit, es ordentlich anfassen zu können. Hier haben sich die stabilen Bügelgriffe an der Front recht gut bewährt.

Trenn-Regeltransformator

Achtung, wichtiger Hinweis:

Es handelt sich hier um ein Gerät, in dem die Netzspannung frei geführt ist. Aufbau und Inbetriebnahme sind von einer Fachkraft durchzuführen, die auf Grund ihrer Ausbildung dazu befugt ist. Alle einschlägigen Sicherheits- und VDE-Bestimmungen sind unbedingt zu beachten!

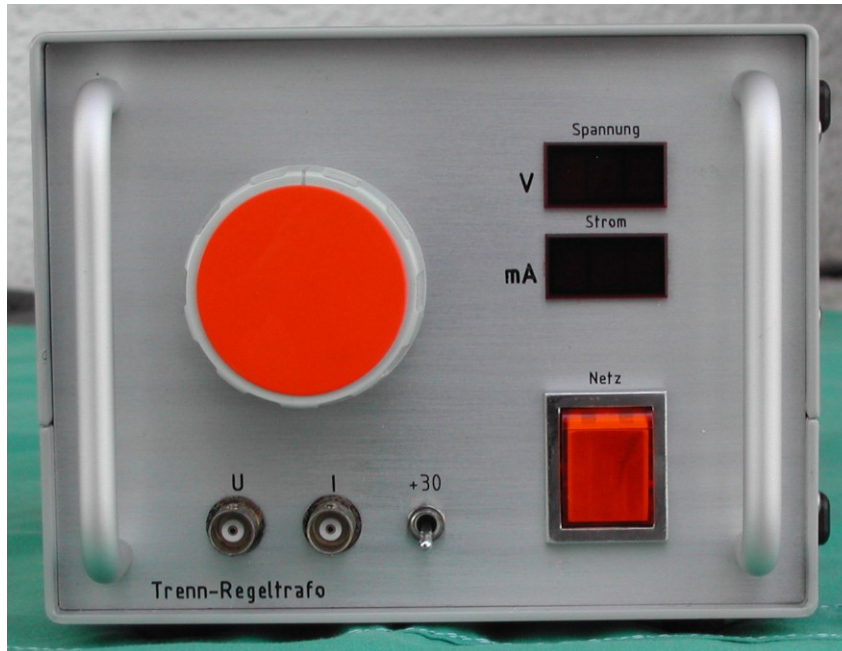


Abb. 10: Das fertige Gerät

Dateien:

Für einen erfolgreichen Nachbau ist Erfahrung im Bau von Geräten hilfreich. Die zum Einsatz kommenden Bauteile werden sich wahrscheinlich von den Bauteilen unterscheiden, die ich verwendet habe; der Beitrag ist deshalb als Anregung für einen eigenen Entwurf zu verstehen und nicht als eine bis ins letzte Detail gehende Bauanleitung. Es sind aber alle Unterlagen für das ausgeführte Exemplar unter [1] in der gepackten Datei ‚drehtr01.zip‘ verfügbar (Aufbauplan, Schaltplan, Bestückungspläne, Leiterplatten-Layouts, Berechnungsblätter).

Die Layouts und ein Vergleichsmaßstab sind im POSTSCRIPT-Format zwecks Anpassung an den jeweiligen Drucker vorhanden. Wie man mit den *.ps-Dateien verfährt, ist in [4] oder unter [1] im Verzeichnis „Werkstatt-Tipps“ unter „Platinenentwurf“ nachzulesen.

Wir haben nicht die Absicht, die Leiterplatten für das Gerät zum Kauf anzubieten; Nachbauwillige sind daher auf Selbstherstellung angewiesen. Die Verwendung der Unterlagen ist frei für Funkamateure, eine gewerbliche Nutzung ist nicht gestattet.

Viel Freude mit diesem sehr praktischen Gerät!

Helmut, OE5GPL

Literatur, Verweise:

- [1] Internet-Seite des OAFV: <http://www.oe5.oevsv.at/opencms/Technik/> , Verzeichnis MESSEN/SONSTIGES
- [2] Waldner, Paul: GRUNDLAGEN der ELEKTROTECHNIK und ELEKTRONIK, Werner-Verlag 1999
- [3] Spring, Eckhard: ELEKTRISCHE MASCHINEN, Eine Einführung, Springer-Verlag 1998
- [4] Stadelmeyer, H., OE5GPL: Platinendesign für die Praxis, FUNKAMATEUR 51 (2002) H. 9, S. 895-897

1. Nachtrag (Juni 2009)

Abgleich 3 ½-stelliger Panelmeter für den Trenn-Drehtrafo:

Vorgaben:

- Die Versorgungsspannung für die Auswerteelektronik beträgt +/- 8 V. Es werden übliche Operationsverstärker verwendet, die ein Ausgangssignal liefern, das nur bis auf ca. 2 V an die Versorgungsspannungsgrenzen herankommt. Die maximale Ausgangsamplitude beträgt also +/- 6 V, darüber hinaus wird das Ausgangssignal begrenzt und stimmt deshalb nicht mehr.
- Ein an einen Meßausgang (Oszilloskop, Panelmeter) angeschlossenes externes Meßgerät soll ein zahlenmäßig richtiges Ergebnis liefern. Der Dezimalpunkt wird dabei allerdings nicht unbedingt stimmen.
- Die nachstehenden Angaben gelten für ein Gerät mit einem maximalen Laststrom von 2,5 A und automatischer Bereichsumschaltung von 200 V auf 2000 V bei Überschreiten des eingestellten Schwellwertes. Der sollte bei ca. 190 V beim Überschreiten und bei 180 V beim Unterschreiten der Schwelle liegen.

Die Panelmeter für die Spannungs- und Stromanzeige justiert man bereits vor dem Einbau; solche mit dem ICL7106 und ICL7107 gleichen sich bei kurzgeschlossenem Eingang selbsttätig auf 0000 ab (im Gegensatz zu den 3-stelligen Panelmetern mit dem CA3162/3161, die einen Nullabgleich brauchen). Voltmeter und Amperemeter erhalten durch Anpassen des Referenz-Spannungsteilers einen Meßbereich von 2,83 V, sie zeigen dann bei 2,83 V am Meßeingang die Ziffern 1999 an. Als Vergleichsgerät ist ein möglichst genaues Digitalmultimeter zu verwenden, mit dem die Eingangsspannung des Panelmeters gemessen wird. Weil nicht jedes Netzgerät auf diese Spannung genau einstellbar ist, kann man den im Beitrag für die Entlötlstation beschriebenen Spannungsteiler verwenden und mit 28,3 V anspeisen.

Spannungsmessung:

Der Einstellregler RV2 vor U3D dient zum Nullabgleich bei Ausgangsspannung 0 V und lastfreiem Zustand. Wandert nach erfolgtem Abgleich die Anzeige nach einiger Betriebszeit von Null weg, dann hat einer der Spannungsregler für die 8-V-Spannungen eine zu große Temperaturdrift und sollte durch einen besseren ersetzt werden.

Der Vorwiderstand R1 ist abhängig vom eingebauten Spannungswandler so zu wählen, daß bei 230 V Ausgangsspannung am Eingang der Spannungs-Meßwertaufbereitung über RV1 ca. 3 V abfallen.

RV1 stellt man so ein, daß bei einer Ausgangsspannung von 231 V an der Steckdose des Gerätes der am Panelmeter angezeigte Wert 231 V beträgt. Der am Oszilloskopausgang mit einem analogen oder digitalen Vergleichsgerät gemessene Wert muß dann 2,31 V betragen. Das entspricht 3,27 V Spitzenwert auf dem Oszilloskop bezogen auf die Nulllinie (entsprechend 6,54 V Spitze-Spitze).

Strommessung:

Mit RV4 stellen wir bei Ausgangsspannung 0V und lastfreiem Zustand den Ausgang von U4D wiederum bezogen auf Masse auf eine Anzeige von 0000 am Panelmeter ein.

Abhängig vom Übersetzungsverhältnis des verwendeten Stromwandlers ist der Wert von RV3 so zu wählen, daß darüber bei 2,5 A eine Spannung von 3 bis 4 V abfällt. Als Last eignen sich einige parallel geschaltete Glühlampen. Der Parallelwiderstand R16 ermöglicht durch Anpassen einen Vorabgleich auf ca. 3 V.

RV3 wird bei 2,500 A Laststrom so justiert, daß das Panelmeter den Wert von 2,50 anzeigt. Dies entspricht 3,54 V Spitzenwert auf dem Oszilloskop bezogen auf die Nulllinie (entsprechend 7,07 V Spitze-Spitze).

Den Abgleich der Panelmeter sollte man bei den Einstellarbeiten nicht mehr verändern, denn dann man hat die Möglichkeit, den defekten Anzeiger umgehend und ohne großen Aufwand durch einen vorabgegleichenen zu ersetzen. Ein allenfalls erforderlicher Nachgleich erfolgt also zweckmäßigerweise immer nur mit RV1/RV3.

Trenn-Regeltransformator

Automatische Bereichsumschaltung:

Die Panelmeter erreichen bei 2 V Eingangsspannung den Überlauf, die von der Gleichrichterschaltung gelieferte Spannung geht aber darüber hinaus. Der Schwellwertschalter muß deswegen ein Relais betätigen, das bei Überschreiten des eingestellten Wertes die dem Panelmeter angebotene Spannung auf ein Zehntel reduziert. Das geschieht mit einem Operationsverstärker, der auf eine „Verstärkung“ von 10 % eingestellt wird. Pro Anzeiger sind also 2 OPs in einem gemeinsamen Gehäuse notwendig. Die Verringerung ließe sich auch mit einem Spannungsteiler erreichen, der wäre an seinem Ausgang allerdings nicht so niederohmig wie ein Operationsverstärker und die Verbindung zum Panelmeter auf der Frontplatte deshalb empfindlich gegenüber Einstreuungen.

Grundsätzlich wäre auch der umgekehrte Weg denkbar: unter der Schaltschwelle wird das Meßsignal zehnfach verstärkt, darüber wird es dem Anzeiger direkt zugeführt. Der Nachteil wäre dann aber, daß man die Ausgangsspannung des Gleichrichters um den Faktor 10 geringer machen müßte, was die Anfälligkeit gegenüber ungewollten Einstreuungen erhöht.