

Stromversorgung (SV3)

Einschaltstrom beim Ringkerntrafo

- Allgemeines zum Einschaltstrom
- Varianten der Trafo-Einschaltung
 - Trafo-Platine V1 (24V-C-NT)
 - Trafo-Platine V1A (24 V sekundär)
 - Trafo-Platine V2 (24V-C-NT, Trigger)
 - Trafo-Platine V3 (24V-Tr1-NT, Trigger)
 - Trafo-Platine V4 (12V-Tr2-NT, 555-Trigger)
 - Trafo-Platine V5 (12V-Tr2-NT, CMOS-Tr)
 - Trafo-Platine V6 (24V-Tr3-NT, CMOS-Tr)
 - Trafo-Platine V7 (C-NT, Optok., CMOS-Tr)
 - Trafo-Platine V8 (24V-Tr4-NT, CMOS-Tr)
 - Trafo-Platine V9 (24V-C-NT1, CMOS-Trigger)
 - Trafo-Platine V10 (24V-C-NT2, CMOS-Tr)
 - Trafo-Platine V11 (oF, 24V-C-NT2, CMOS-Tr)
 - Trafo-Platine V12 (oF, 24V-C-NT3, CMOS-Tr)
 - Trafo-Platine V13 (24V-Tr5-NT, CMOS-Tri)
 - Trafo-Platine V14 (24V-Tr6-NT, CMOS-Tr)
 - Trafo-Platine V15 (24V-Tr6-NT, CMOS-Tr)

AC/DC-Baugruppen mit Ringkerntrafo

- AC/DC-Baugruppe mit Trafo-Platine V3
 - Trafo-Platine nach V3
 - DC-Platine für Trafo-Platine V3
- AC/DC-Baugruppe mit Trafo-Platine V8
 - Trafo-Platine nach V8
 - DC-Platine für Trafo-Platine V8

UI-Regler-Baugruppen

- UI-Regler 1 (OP07/OP07/LM336/2xTIP120)
- UI-Regler 2 (OP07/LM324/LM336/3xTIP120)
- UI-Regler 3 (OP07/LM324/LM336/3xTIP120/OVS)
- UI-Regler 4 (OP07/NE5534/LM324/AD584/ua.)
- UI-Regler 5 (OP07/LM324/AD584/3xTIP120/OVS)

Prinzip der UI-Regelung (5)

- Laststromkreis
- U-Regelkreis (CV)
- I-Regelkreis (CC)
- Panel-Anzeige
- Einfluss der Shuntströme und seine Korrektur
- Schutz vor Stromspitzen am Ausgang +Ua

Schaltung und Aufbau der Regler-Platine (5)

- Schaltung UI-Regler A
- Schaltung UI-Regler B
- Spannungsversorgung
- Aufbau der Regler-Platine (5)

Einschaltstrom beim Ringkerntrafo

Seit es Trafos gibt, gibt es das Problem des hohen Einschaltstroms infolge der im Eisenkern vorhandenen Remanenz (Restmagnetismus), die vom letzten Betrieb des Trafos zurückgeblieben ist. Die Remanenz ist gewissermaßen das magnetische Gedächtnis des Trafos. Besonders hoch ist der Einschaltstromstoß, wenn der Trafo verlustarm ist und kein oder nur ein sehr kleiner Luftspalt im Weg der magnetischen Feldlinien liegt. Das ist bei Schnittbandkern-Trafos der Fall, vor allem aber bei Ringkern-Trafos größerer Leistung.

Allgemeines zum Einschaltstrom

Es hat sich gezeigt, dass beim verwendeten 120VA-Ringkerntrafo unbedingt eine Einschaltstrom-Begrenzung erforderlich ist. Beim Einschalten wurde ein mit 16 A abgesicherter Haushalt-Stromkreis kurzzeitig so sehr belastet, dass der Spannungseinbruch an der Helligkeitsschwankung der Arbeitsplatzleuchte deutlich zu erkennen war.

Dieser Einschaltstromstoß kann zum Auslösen der 16A-Sicherung führen. Selbst wenn diese Sicherung hält, ist keine selektive Geräte-Absicherung möglich. Eine superträge 6A-Sicherung hält nicht, jedenfalls nicht bei jedem Einschalten. Entsprechende Versuche haben dies gezeigt.

Ursache ist die bei Ringkerntrafos große Gefahr, beim Einschalten durch die hohe Remanenz (Restmagnetismus) in die magnetische Sättigung zu geraten. Da bei Ringkerntrafos im Gegensatz zu Trafos mit M-, EI- oder LL-Kern kein Luftspalt wirkt, ist die Remanenz hoch und besonders hoch, wenn das Ausschalten am Ende einer Netz-Halbwelle erfolgt. Beim nächsten Einschalten wirkt der Trafo dann wie ein Kurzschluss, insbesondere dann, wenn Remanenz und erste Sinushalbwelle gleiche Vorzeichen haben. Der Trafo gerät massiv in die magnetische Sättigung. Sein induktiver Widerstand geht gegen Null. Wirksam sind nur die Kupferverluste der Primärwicklung und der Innenwiderstand des speisenden Netzes. Die Einschaltstromspitze ist entsprechend hoch. Erst nach einigen Sinuswellen wird der aufgenommene Strom niedriger und der Kern bleibt unterhalb der Sättigungsgrenze.

Dieses prinzipielle Verhalten ist übrigens so gut wie unabhängig davon, ob der Trafo belastet ist oder nicht. Ist auf der Sekundärseite nach dem Gleichrichter ein großer Ladekondensator vorhanden, wird allerdings das Problem des hohen Einschaltstroms noch größer.

Maßnahmen zur Verringerung des Einschaltstroms

Spezielle Einschaltverfahren

Eine Möglichkeit, dem Ringkerntrafo die Gier nach einem hohen Einschaltstrom abzugewöhnen, besteht darin, auf elektronischem Wege zu verhindern, dass der Trafo beim Einschalten in die Sättigung getrieben wird. Es gibt verschiedene Verfahren, z.B. das stufenweise Einschalten, das Einschalten im Null- bzw. Maximaldurchgang der Netzwellen, das Vormagnetisieren mit Gleichstrom oder auch das remanenzabhängige Wiedereinschalten (durch Abspeichern der relevanten Parameter beim Ausschalten).

Einschalten über NTC-Widerstand

Sehr einfach ist es, einen NTC-Widerstand (Heißeiter) in die Trafoleitung zu schalten. Der NTC hat einen stark negativen Temperaturkoeffizienten, d.h. der Widerstand ist im kalten Zustand hoch, im heißen Zustand dagegen sehr niedrig.

Im ersten Moment des Einschaltens ist der NTC noch kalt und damit hochohmig. Er begrenzt somit den Einschaltstrom. Im weiteren Verlauf erhitzt sich der NTC-Widerstand durch den fließenden Strom aber relativ schnell und sein Widerstand sinkt stark ab. Mit Abnahme des Widerstands (und des Einschaltstroms) sinkt aber die Verlustleistung wieder und damit auch die Temperatur des NTC. Es stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, der NTC ist gerade so heiß, wie es der dauernd fließende Primärstrom des Trafos bestimmt.

Bei eingeschaltetem Trafo gibt es also Dauerverluste im NTC, die um so größer sind, je größer die Last am Trafo ist. Die richtige Auswahl des NTC ist deshalb nicht einfach, insbesondere, wenn die Trafolast betriebsbedingt stark schwanken kann.

Abgesehen davon, dass ein heißes Bauelement auf der Leiterplatte nie besonders wünschenswert ist, besteht ein viel größeres Problem. Nach dem Ausschalten (des Geräts) kühlt sich der NTC-Widerstand ab und erhöht damit seinen Widerstand. Das dauert einige Sekunden. Bei erneutem Einschalten wird der Einschaltstrom aber nur sicher begrenzt, wenn der NTC genügend abgekühlt war. Erfolgt die Wiedereinschaltung zu früh, ist keine Einschaltstrombegrenzung wirksam, weil der noch heiße NTC noch niederohmig ist.

Man müsste also das schnelle Wiedereinschalten schaltungstechnisch verhindern. Zu beachten ist, dass das schnelle Wiedereinschalten nicht nur verhindert werden muss, wenn von Hand geschaltet wird. Auch ein kurzer Netzausfall müsste registriert werden, um die Wiedereinschaltsperrung wirksam werden zu lassen.

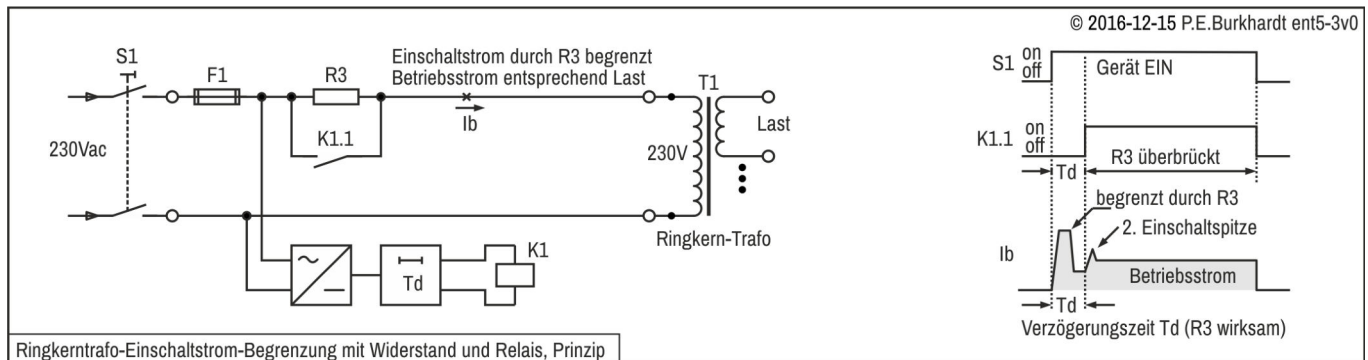
NTC mit Relais-Kontakt überbrücken

Das verzögerte Überbrücken des NTC mit einem Relais-Kontakt, nachdem der Einschaltstromstoß abgeklungen ist, vermeidet die NTC-Dauerverluste. Der NTC kann sich in Ruhe abkühlen und ist beim Wiedereinschalten hochohmig genug, um den Einschaltstrom zu begrenzen. Ist der NTC allerdings beim Wiedereinschalten noch heiß, nützt der noch offene Kontakt auch nichts. Der Einschaltstrom wird wegen des noch niederohmigen NTC nicht begrenzt. Die Kombination NTC mit Relais ist also auch nicht so optimal.

Leistungswiderstand mit Relais

Wird der NTC durch einen normalen ohmschen Leistungswiderstand ersetzt, ist das Problem der NTC-Abkühlung nicht vorhanden. Der Widerstand ist, so wie ein NTC auch, in Reihe zur Trafo-Primärwicklung geschaltet. Der Widerstand wirkt immer, egal ob er kalt oder heiß ist. Er begrenzt den Einschaltstrom auf die gewünschte (vom Widerstandswert abhängige) Größe. Eine Wiedereinschaltsperre beim zu schnellen Wiedereinschalten von Hand oder auch durch Netzausfall ist nicht nötig.

Es bleibt der Nachteil der Verlustleistung im Dauerbetrieb. Ein Relais-Kontakt, der verzögert den Widerstand überbrückt, löst das Problem. Nur beim Einschalten ist der strombegrenzende Widerstand wirksam. Im Dauerbetrieb wird der Trafo mit der vollen Netzspannung betrieben.



Allerdings muss mit schaltungstechnischen Maßnahmen gewährleistet werden, dass die Überbrückung des Widerstands in der richtigen Zeit und vor allem sicher geschieht.

Varianten der Trafo-Einschaltung

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, beim Einsatz eines normalen ohmschen Widerstandes die Schaltung so zu gestalten, dass auch im Fehlerfall (z.B. Relais-Ausfall) keine Gefahr vom Gerät ausgeht. Die getesteten Schaltungen für das Einschalten des 120VA-Ringkerntrafos haben alle die folgenden Eigenschaften:

- Geräte-Sicherung nur 3,15 A träge für den 120VA-Ringkerntrafo, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit einer thermischen Sicherung, die bei 84°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen Sicherung und Widerstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt über Widerstand + Thermosicherung, um verzögert nach dem Einschalten den Tafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen

Defekt-Management für Relais-Ausfall

Der 68 Ω -Begrenzungswiderstand müsste bei Dauerlast über 700 W verkräften, wenn man den Trafo-Widerstand vernachlässigt (worst case). Es fließen maximal knapp 3,4 A. Dies ist aber auch der Strom, der im Einschaltmoment maximal fließen kann. Danach wurde die vorgeschaltete 3,15A-Sicherung bemessen. Der Einschaltstromstoß wird also wirkungsvoll begrenzt.

Es ist aber wichtig, dass die Überbrückung mit dem Relais-Kontakt funktioniert, denn ein für Dauerlast ausgelegter 700-Watt-Widerstand ist nicht realisierbar und auch nicht nötig. Sollte sich der Widerstand erhitzen, weil z.B. der Relais-Kontakt nicht schließt (aus welchen Gründen auch immer), spricht das in Reihe geschaltete thermische Sicherungselement an. Diese Sicherung ist brandsicher eng mit dem Widerstandskörper thermisch gekoppelt. Bei zu hoher Widerstands-Temperatur wird die Netzzuleitung unterbrochen. Das Wiedereinschalten ist nicht möglich, im Fehlerfall muss die thermische Sicherung ausgewechselt werden.

Bei der Sicherung handelt es sich um ein normales Sicherungselement, wie es auch in Kaffee-Maschinen verwendet wird. Auch dort kann es ja sein, dass der Thermostat (Temperaturregler für das Wasser und die Warmhalteplatte) hängt und damit die Heizplatte unzulässig aufheizt. Die besagte Sicherung ist auch hier mit der Heizplatte thermisch gekoppelt und schaltet so im Fehlerfall das Gerät ab.

Nun könnte man einwenden, auch die thermische Sicherung kann versagen. Da gibt es aber die einfache Möglichkeit, eine zweite thermische Sicherung in Reihe zu schalten. Diese zweite thermische Sicherung muss nicht baugleich zur ersten sein. Es gibt z.B. aufschraubbare runde Thermostat-Elemente, die bei hoher Temperatur abschalten, bei niedrigerer Temperatur aber von selbst wieder Kontakt geben (ebenfalls in der Kaffee-Maschine). Die Auslösetemperaturen von Thermo-Sicherung und zusätzlichem Thermostat sollten etwas unterschiedlich sein, so dass im Fehlerfall eine selektive Abschaltung erfolgt.

Es ist nur wichtig, dass Widerstand und thermische Sicherung (und ggf. der Thermostat) guten Wärmekontakt haben, der mechanisch nicht aufgehoben werden kann. Eine entsprechende konstruktive Gestaltung ist also nötig. Vor allem muss auch die Brandgefahr bei einer Auslöse-Temperatur um die 85°C berücksichtigt werden. Keramische Werkstoffe für die thermische Abgrenzung zu anderen Bauelementen bzw. zur Leiterplatte sind die beste Wahl.

Relais-Auswahl

Relais-Kontakte

Das Relais muss entsprechend der Schaltungskonzeption Kontakte haben, die wenigstens 6 A, besser 10 A bei 230 Vac im Dauerbetrieb vertragen. Denn das Relais ist ja immer aktiv. Eine gewisse Robustheit ist von Vorteil, allerdings sollte der Leistungsbedarf der Erregerspule wegen des Dauerbetriebs nicht allzu hoch sein.

Die Strom-Belastbarkeit der Relais-Kontakte im Dauerbetrieb ist meist kein Problem. Hat der Kontakt einmal geschlossen, ist die Belastbarkeit der meist kleinen Kontaktfläche hauptsächlich vom Anpressdruck und vom Kontaktmaterial abhängig. Beide beeinflussen den Übergangswiderstand und damit die Erwärmung der Kontaktflächen in Abhängigkeit vom fließenden Strom.

Wird der Kontakt geschlossen, kann es bei hohen Schließströmen vorkommen, dass die Kontaktoberfläche lokal aufschmilzt. Das ist besonders bei dem oft verwendeten Kontaktmaterial Silber-Zinnoxid der Fall. Dieses Material hat zwar den Vorzug, dass es nicht giftig ist und keine Schwermetalle enthält (heute nicht mehr erlaubt). Es ist aber nur bedingt temperaturfest, zum Beispiel im Vergleich zu Wolfram-Kontakten.

Der Kontakt wird also beim Schließen, besonders bei hohem Strom, besonders belastet. Im ersten Moment ist die sich berührende Kontaktfläche klein und der Anpressdruck noch nicht voll aufgebaut. Das kann bei hoher Stromdichte zu einer schnellen Kontaktaufheizung bis hin zur lokalen Verflüssigung beider Kontaktflächen kommen. Steigt dann der Anpressdruck, wird der Übergangswiderstand wieder geringer, die Kontakttemperatur sinkt und die lokale Verflüssigung ist beendet. Das führt zum Verschweißen der Kontakte (ähnlich dem Punkt-Schweißen).

Beim nächsten gewollten Öffnen (Relais-Spule wird stromlos) ist die Rückholkraft der beweglichen Kontaktzunge nicht mehr in der Lage, den Kontakt zu öffnen. Das ist das Schlimmste, was passieren kann. Wenn der Kontakt beim nächsten Wiedereinschalten den Strom-Begrenzungswiderstand wegen verschweißter Kontaktflächen überbrückt hat, fließt der volle Einschaltstrom.

Das verwendete Relais sollte deshalb nicht zu knapp bemessen sein. Ist ein hoher Dauer-Kontaktstrom spezifiziert, verkraftet der Kontakt meist auch einen hohen Einschaltstrom. Relais mit Wolfram-Kontakt sind natürlich von Vorteil (Aber wer weiß schon, was für eine Relais in der Bastelkiste schlummert.).

Kontaktbeschaltung

Hat das Relais mehrere Schließer, sollten diese parallel geschaltet werden. Zwar wird der anfängliche Kontaktstrom für den einzelnen Kontakt nicht wesentlich reduziert, da sich niemals alle Kontaktoberflächen zu gleicher Zeit berühren. Immer schließt irgendeine Kontaktfläche zuerst und übernimmt damit den vollen Strom. Erst kurze Zeit später teilt sich der Strom auf die einzelnen Kontakte auf, abhängig vom jeweiligen Kontakt-Übergangswiderstand. Deshalb ergibt sich bei geschlossenen Kontakten eine Entlastung für den einzelnen Kontakt.

Funkenlöschung

Zur Schonung der Kontakte empfehlen die Relais-Hersteller eine RC-Kombination, um die Funkenbildung zu minimieren. Unsichtbar, und doch vorhanden, greifen kleinste Lichtbögen beim Schließen und Öffnen der Kontakte die Kontaktoberfläche an und sorgen so für eine schleichende Materialwanderung und damit zum Kontakt-Verschleiß. Ein Kondensator parallel zum Kontakt löscht gewissermaßen den Funken. Dabei entstehende Stromstöße werden von einem in Reihe zum C geschalteten Widerstand gedämpft. Eigentlich ist die richtige Dimensionierung dieser RC-Kombination schwierig, da neben dem Kontaktstrom noch viele weitere Faktoren eine Rolle spielen. Allerdings haben sich bestimmte Standardwerte bewährt. Die nötige Messtechnik vorausgesetzt, kann man die richtige RC-Kombination auch testweise ermitteln.

Spulenspannung

Die Höhe der Spulenspannung ist eigentlich egal, bewährt haben sich 24V- oder 12V-DC-Relais. Auch 40 V sind möglich, je höher die Spannung, desto niedriger der benötigte Spulenstrom.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die DC-Relais-Spannung zur Verfügung zu stellen. Aufwendig ist, einen kleinen Trafo mit Gleichrichter vorzusehen, billiger ist ein Kondensator-Netzteil, das die benötigte Spulenspannung liefert. Allerdings ist zu beachten, dass sich alles auf der Netz-Seite abspielt. Eine entsprechende Isolierung (Schutz-) zum Rest des Netzgeräts ist nötig.

Relais-Einschaltverzögerung

Zusätzlich zur Relais-Versorgung muss eine geeignete Verzögerungsschaltung da sein, die für das etwas spätere Einschalten des Relais sorgt. Die Zeit, in der die Widerstandsbegrenzung wirkt (Relais-Kontakt offen), soll sicher den Einschaltstromstoß überbrücken, darf aber auch nicht zu groß sein, damit sich der Widerstand nicht unzulässig erwärmt. Bei einer Netzperiode von 20 ms (50 Hz) reichen bereits 200 ms, bis der Widerstand kurzgeschlossen wird.

Die Magnetisierung des Trafos sollte nach diesen wenigen Netzperioden bereits synchron mit der Netzspannung laufen und sich somit auf dem mittleren Teil der Hysteresekurve befinden. Das bedeutet, die nachteilige Wirkung einer Remanenz sollte vermieden sein.

Wiederholtes Einschalten

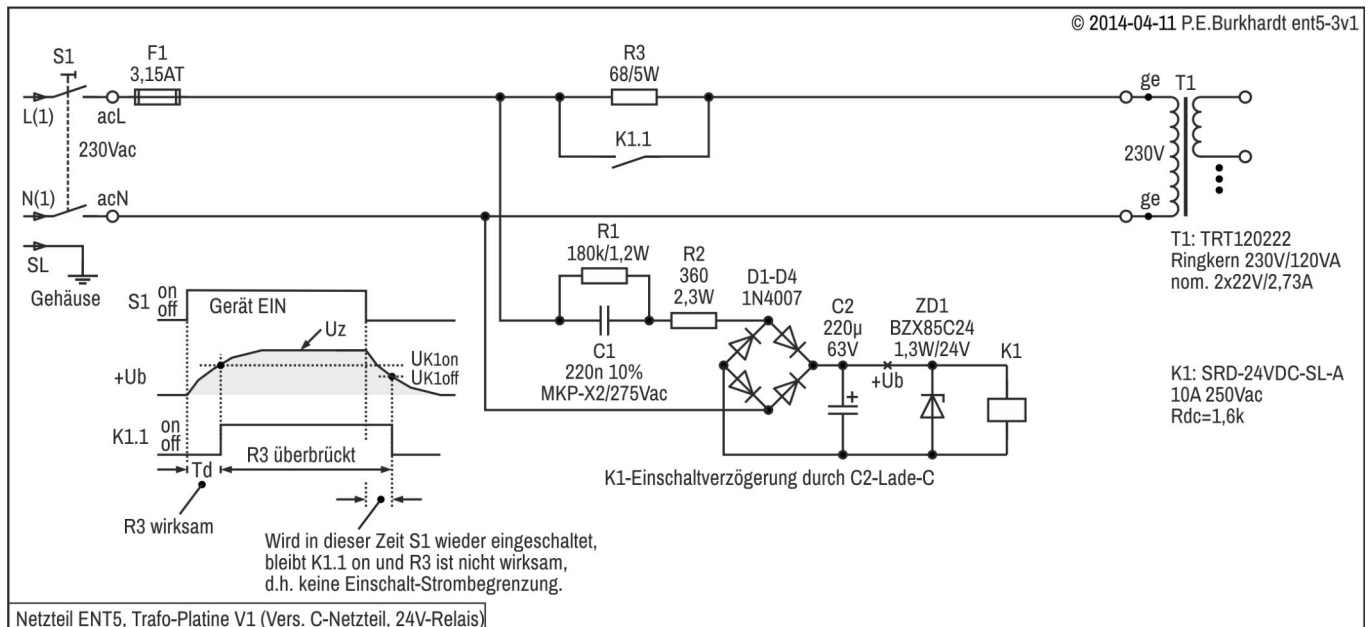
Ein kleines Problem besteht, wenn der Trafo mehrmals kurz hintereinander eingeschaltet wird. Die Verzögerung, bis der strombegrenzende Widerstand überbrückt wird, sollte immer wieder neu beginnen (Nachtriggerung). Nur so wird mit Sicherheit vermieden, dass der Einschaltstromstoß unbegrenzt bleibt. Ähnlich ist die Situation bei Netzausfall von nur wenigen Perioden (oder gar nur beim Wegbleiben einer einzelnen Sinus-Halbwelle). Auch da sollte die Verzögerungszeit mit der Netzwiederkehr neu beginnen.

Trafo-Platine V1 (24V-C-NT)

Diese erste Variante zur Einschaltstrom-Begrenzung ist auf das Nötigste beschränkt.

Wesentliche Merkmale

- Nur eine Gerätesicherung 3,15 A
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung, ohne thermische Überwachung
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- Kondensator-Netzteil zur Relais-Versorgung mit 24 Vdc
- Einschaltverzögerung für das Relais mit dem Lade-C der Gleichrichterschaltung
- Keine Strombegrenzung bei schnellem AUS-EIN-Schalten



Schaltungsbeschreibung

Wesentliche Bauelemente des C-Netzteils sind der kapazitive Vorwiderstand (C1), die Greitzbrücke (D1 bis D4), der Lade-C (Elko C2) und die Z-Diode (ZD1). Zur sicheren Funktion gehören außerdem der Entladewiderstand R1 und der Begrenzungswiderstand R2. Diese genannten Bauelemente sind unbedingt nötig, wenn die einschlägigen Bestimmungen eingehalten werden sollen.

Aufgrund der hohen Netzspannung sind an alle Bauelemente besondere Anforderungen zu stellen. Das betrifft neben der Spannungsfestigkeit auch die Isolationsfestigkeit zum Rest der Schaltung. Zwischen Netzspannungsseite (Primärseite des Trafos) und Kleinspannungsseite (Sekundärseite des Trafos) ist eine strikte Trennung erforderlich, die mit wenigstens 2 kV belastbar sein muss.

Der MKP-X2-Kondensator C1 bestimmt den Strom, der letztlich durch die Parallelschaltung von Z-Diode ZD1 und Relais-Spule K1 fließt. C1 wirkt wie eine Stromquelle, da Strom und Spannung um 90° phasenverschoben sind. Der Blindwiderstand X_{c1} ist wesentlich größer als der ohmsche Widerstand R (R2, Dioden).

Widerstand R1 entlädt den Kondensator C1, wenn keine Netzspannung anliegt. R1 ist z.B. bei Steckernetzteilen Vorschrift, damit sich im stromlosen Zustand die evtl. noch vorhandene Ladung an den Netzsteckerstiften schnell abbauen kann. Der Schutzwiderstand R2 verhindert einen unzulässig hohen Einschaltstrom, der sonst die Gleichrichterioden und vor allem die Z-Diode gefährden könnte.

Nach Gleichrichtung steht die von der Z-Diode bestimmte Spannung über dem Lade-C und der Relais-Spule. Bis der Lade-C C2 nach dem Einschalten aufgeladen ist, vergeht aber eine gewisse Zeit. Das heißt, das Relais zieht nicht sofort an, sondern verzögert. Genau das ist aber gewollt, Relais-Kontakt K1.1 schließt verzögert und hebt die strombegrenzende Wirkung des Widerstands R3 auf. Zur Vergrößerung dieser Verzögerungszeit muss C2 vergrößert werden.

Leider baut sich diese C2-Ladung beim Ausschalten auch nur zeitverzögert ab. Das Relais bleibt also noch kurze Zeit angezogen. Wird nun sofort wieder mit Schalter S1 eingeschaltet, wirkt keine Strombegrenzung, da ja R3 noch mit Kontakt K1.1 überbrückt ist. Bei Ausfall einzelner Netzperioden ist ebenfalls kein Schutz vorhanden, da K1 angezogen bleibt.

Genauer zum Kondensator-Netzteil steht im Beitrag "Kondensator statt Transformator (Grundlagen)".

Fazit

Die Schaltung ist einfach und funktioniert, sollte aber wegen der fehlenden Nachtriggerung und der fehlenden thermischen Überwachung des Widerstands R3 so nicht verwendet werden.

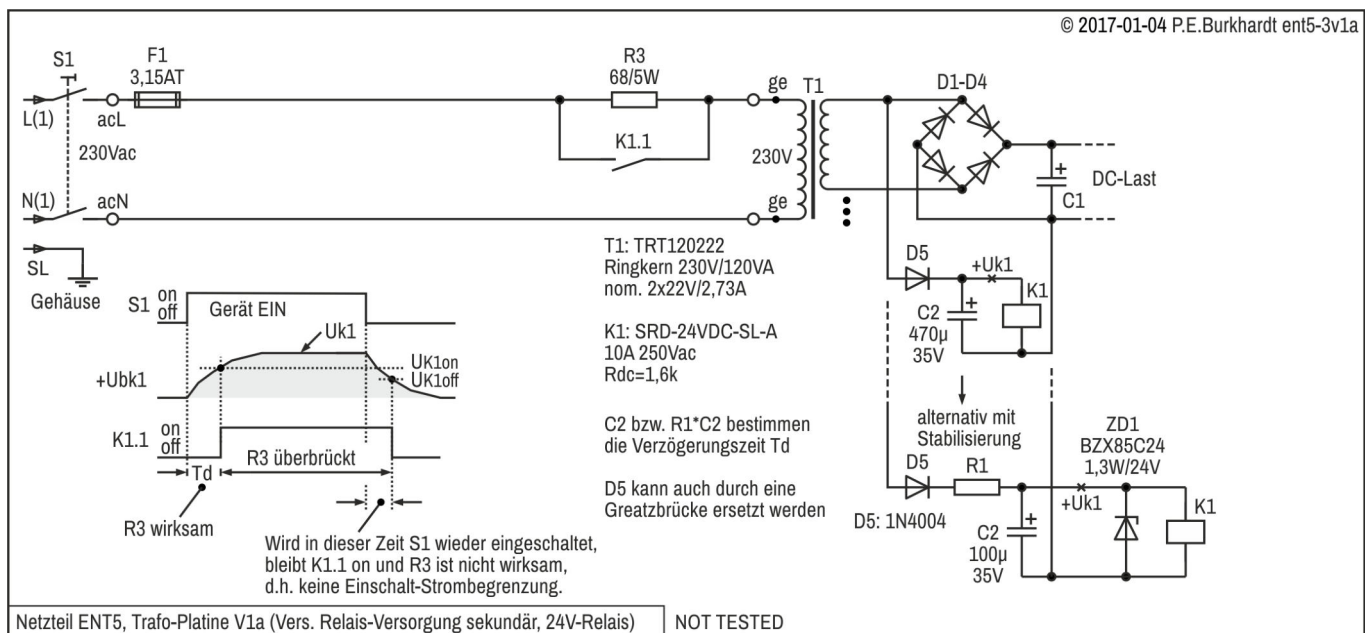
Trafo-Platine V1A (24 V sekundär)

Diese Variante zur Einschaltstrom-Begrenzung entspricht im Ein- und Ausschaltverhalten des Relais der vorigen Variante V1. Allerdings wird das Relais von der Sekundärseite des Ringkerntrafos versorgt. Damit entfallen einige Bauelemente auf der Netzseite, was bezüglich Sicherheit vorteilhaft ist.

Getestet habe ich die Schaltung nicht. Das Prinzip wurde im Web beschrieben. Bei der Realisierung dürften aber keine Probleme zu erwarten sein.

Wesentliche Merkmale

- Nur eine Gerätesicherung 3,15 A
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung, ohne thermische Überwachung
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- Gleichrichterschaltung auf der Sekundärseite des Ringkerntrafos zur Relais-Versorgung mit 24 Vdc
- Einschaltverzögerung für das Relais mit dem Lade-C der Gleichrichterschaltung
- Keine Strombegrenzung bei schnellem AUS-EIN-Schalten



Schaltungsbeschreibung

Relais-Versorgung

Die Dioden D1 bis D4 und der Ladekondensator C1 sind Bauelemente der sowieso vorhandenen Gleichrichter- und Stabilisierungsschaltung. Damit der normale Lade-C keinen Einfluss auf die Einschaltverzögerung des Relais K1 hat, wurde die K1-Versorgung mit Diode D5 entkoppelt. Das bedeutet, die Einschaltverzögerung wird durch C2 bestimmt (und natürlich vom DC-Widerstand des Relais).

Stabilisierung der Relais-Versorgung

Sollte keine geeignete Sekundärwicklung zur Verfügung stehen, um die 24V-Versorgung des Relais zu gewährleisten, kann eine einfache Z-Dioden-Stabilisierung das Problem lösen. Jetzt bestimmt die Zeitkonstante $R1 * C2$ die Einschaltverzögerung. R1 muss so groß sein, dass bei Relais-Nennstrom die überschüssige Spannung vom Trafo an R1 abfällt. Zur Vergrößerung (Verkleinerung) der Einschaltverzögerung Td kann dann der Kondensator C2 vergrößert (verkleinert) werden.

Einschaltstrombegrenzung

Nach dem Einschalten des Geräts mit S1 schließt der Relais-Kontakt K1.1 zeitverzögert, bis die K1-Anzugsspannung erreicht wird. Kontakt K1.1 überbrückt den Strombegrenzungswiderstand R3 und der Trafo erhält die volle Netzspannung.

Leider baut sich die C2-Ladung beim Ausschalten auch nur zeitverzögert ab. Das Relais bleibt also noch kurze Zeit angezogen. Wird nun sofort wieder mit Schalter S1 eingeschaltet, wirkt keine Strombegrenzung, da ja R3 noch mit Kontakt K1.1 überbrückt ist. Bei Ausfall einzelner Netzperioden ist ebenfalls kein Schutz vorhanden, da K1 angezogen bleibt.

Fazit

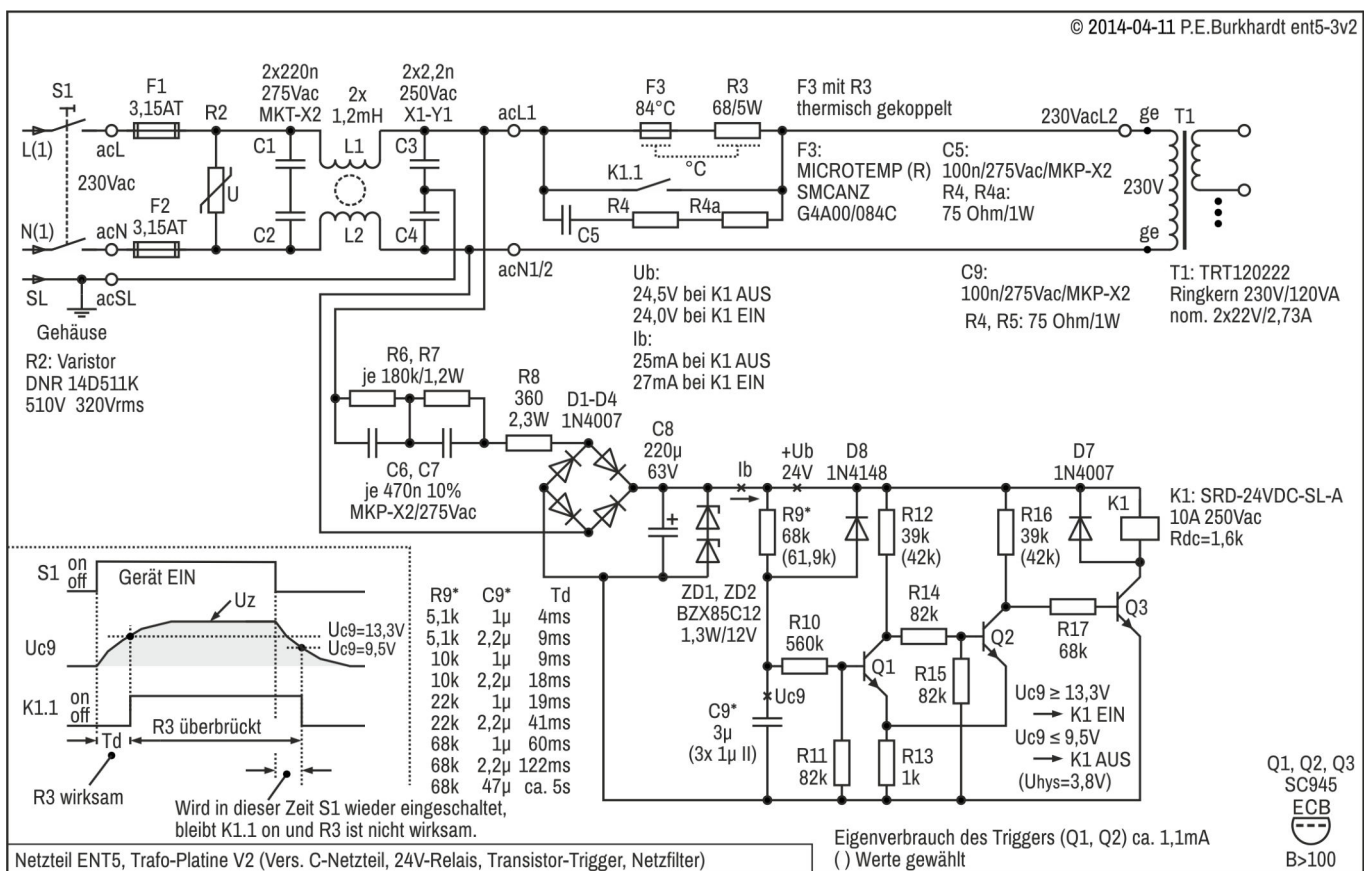
Diese Schaltungsvariante V1A hat den Vorteil, dass die Relais-Versorgung auf der Sekundärseite des Ringkerntrafos erfolgt. Der Nachteil ist aber auch hier (wie schon bei Variante V1 beschrieben), dass beim schnellen AUS-EIN-AUS-EIN des Schalters S1 keine Einschaltstrombegrenzung wirksam ist. Die vorgeschaltete Sicherung könnte also auslösen. Auch fehlt die thermische Überwachung des Widerstands R3.

Trafo-Platine V2 (24V-C-NT, Trigger)

In Variante 2 zur Einschaltstrom-Begrenzung wird für die Einschaltverzögerung ein separates RC-Glied verwendet. Die Spannung über dem Kondensator tastet ein Transistor-Trigger ab, dessen Ausgang das Relais ansteuert. Außerdem enthält Variante 2 ein zusätzliches Netzfilter gegen Störspannungen, die vom Netz in das Gerät gelangen könnten.

Wesentliche Merkmale

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Netzfilter gegen Störspannungen, wie es bei Schaltnetzteilen üblich ist
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrom-Begrenzung in Reihe mit einer thermischen Sicherung
- Thermischer Kontakt zwischen Sicherung und Widerstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und der Thermosicherung, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit Transistor-Trigger
- Kondensator-Netzteil zur Relais- und Trigger-Versorgung mit 24 Vdc



Schaltungsbeschreibung

Kondensator-Netzteil

Das Kondensator-Netzteil wurde gegenüber der einfachsten Schaltung in Variante 1 geringfügig erweitert. Für den strombestimmenden Kondensator sind zwei X2-Kondensatoren in Reihe geschaltet, so dass sich eine hohe Sicherheit gegen Durchschlag ergibt. Außerdem stellen hier zwei in Reihe geschaltete 12V-Z-Dioden die 24V-Versorgungsspannung bereit. Damit ist eine etwas geringere thermische Belastung je Z-Diode gegeben.

Trigger und Einschaltverzögerung

Beim Einschalten mit Schalter S1 wird über den Widerstand R9 der Kondensator C9 aufgeladen. Die Spannung über C9 ist Eingangsspannung für den Trigger (Q1, Q2). Der Trigger sorgt für eine definierte Schaltschwelle zum Einschalten des Relais über den Treiber mit Q3.

Diode D8 sorgt dafür, dass beim Ausschalten der Kondensator C9 sofort, d.h. nicht erst über R9, entladen wird. Dadurch ist die Schaltung schneller wieder einsatzbereit. Es könnte ja sein, dass kurz hintereinander aus- und wieder eingeschaltet wird. Ohne D8 würde C9 noch teilweise geladen sein und das Relais würde sofort anziehen. Das bedeutet aber, der vom Ringkerntrafo verursachte Einschaltstromstoß würde nicht durch Widerstand R3 begrenzt werden.

Widerstand R3 und Thermosicherung

Besondere Beachtung verdient die Anordnung des Widerstands R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit der Thermosicherung. Beide Bauelemente müssen thermisch gekoppelt sein. Nur so löst die Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (versmört), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

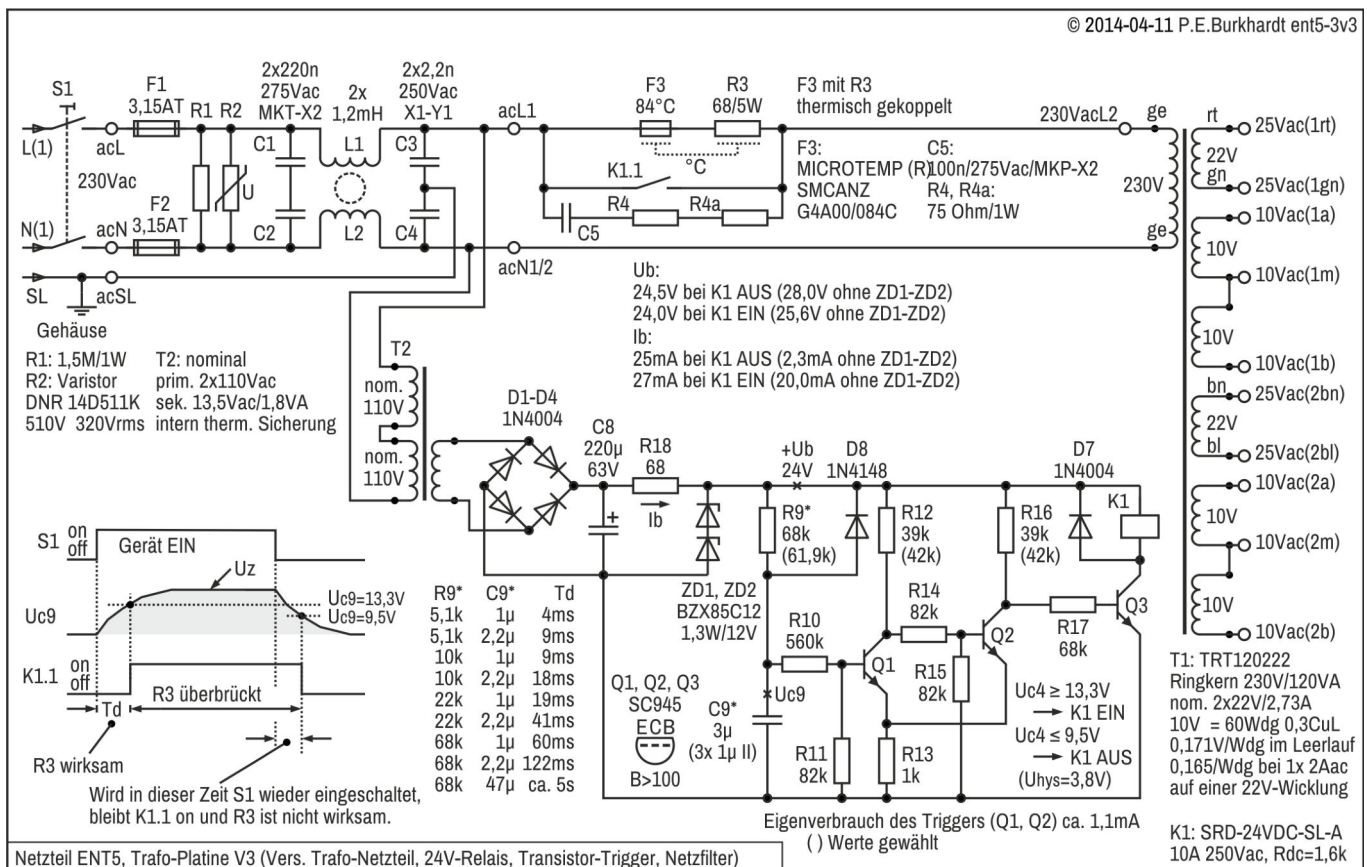
Trafo-Platine V3 (24V-Tr1-NT, Trigger)

In Variante 3 zur Einschaltstrom-Begrenzung wird zur Versorgung der Einschaltverzögerung ein 24V-Trafo-Netzteil verwendet. Dadurch ist der Steuerteil sicher vom 230V-Netz getrennt und es gibt keine Probleme mit dem Berührungsschutz.

Zum verzögerten Überbrücken des Begrenzungswiderstandes wird ein RC-Glied mit anschließendem Transistor-Trigger verwendet. Außerdem enthält Variante 3 ein zusätzliches Netzfilter gegen Störspannungen, die vom Netz in das Gerät gelangen könnten.

Eigenschaften

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Netzfilter gegen Störspannungen, wie es bei Schaltnetzteilen üblich ist
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrom-Begrenzung in Reihe mit einer thermischen Sicherung, die bei 84°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen Sicherung und Widerstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und der Thermosicherung, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit Transistor-Trigger
- Trafo-Netzteil zur Relais- und Trigger-Versorgung mit 24 Vdc



Schaltungsbeschreibung

Trigger und Einschaltverzögerung

Beim Einschalten mit Schalter S1 wird über den Widerstand R9 der Kondensator C9 aufgeladen. Die Spannung über C9 ist Eingangsspannung für den Trigger (Q1, Q2). Der Trigger sorgt für eine definierte Schaltschwelle zum Einschalten des Relais über den Treiber mit Q3.

Diode D8 sorgt dafür, dass beim Ausschalten der Kondensator C9 sofort, d.h. nicht erst über R9, entladen wird. Dadurch ist die Schaltung schneller wieder einsatzbereit. Es könnte ja sein, dass kurz hintereinander aus- und wieder eingeschaltet wird. Ohne D8 würde C9 noch teilweise geladen sein und das Relais würde sofort anziehen. Das bedeutet aber, der vom Ringkerntrafo verursachte Einschaltstromstoß würde nicht durch Widerstand R3 begrenzt werden.

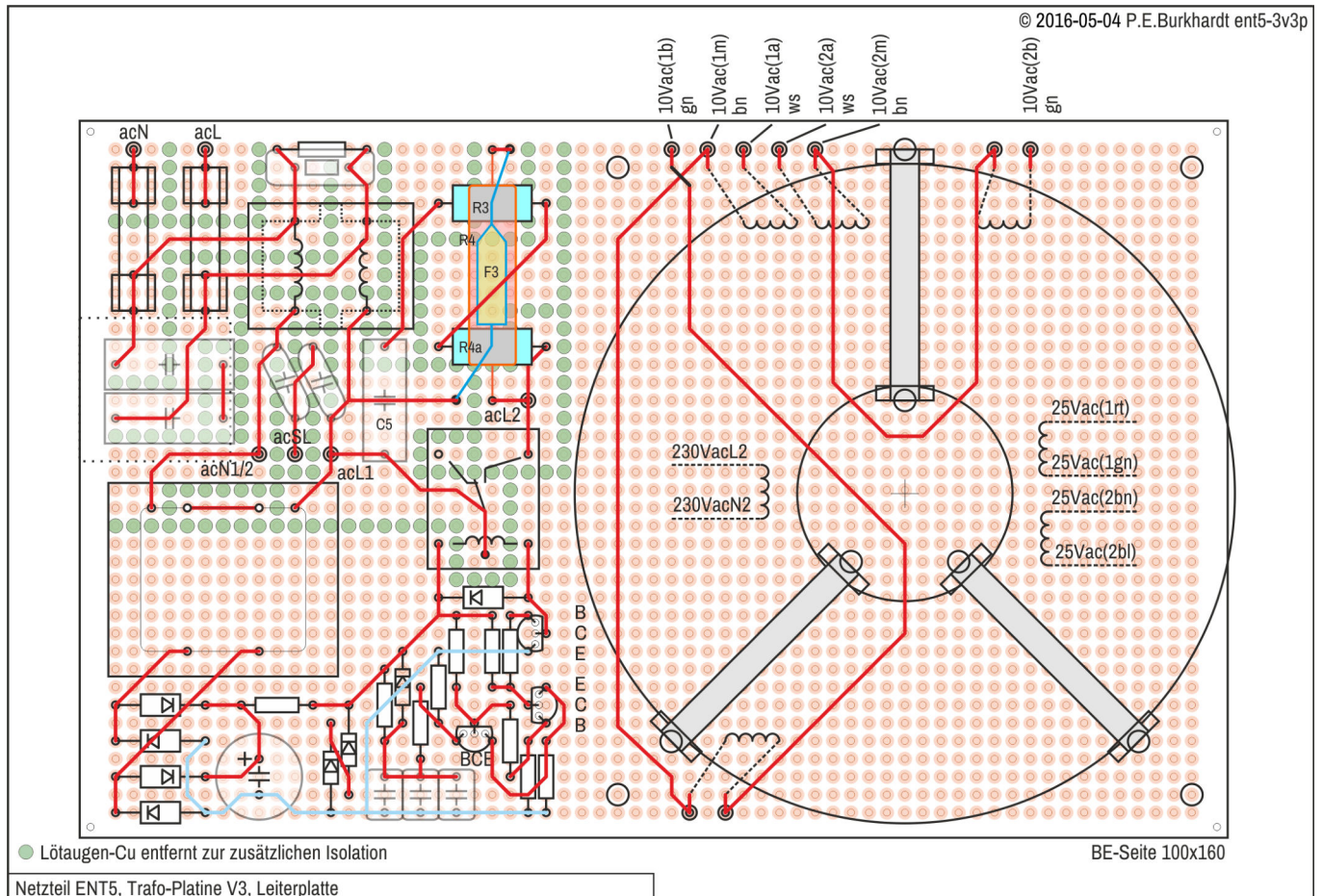
R9 und C9 bestimmen die Einschaltverzögerung. In der Tabelle (siehe Bild) sind einige gemessene Werte eingetragen. Praktisch wurden 3x 1 μ F eingelötet, so dass sich etwa 200 ms Verzögerungszeit ergeben.

Nachteil durch den Lade-Elko C8

Die C8-Ladung (Betriebsspannung 24 V) baut sich beim Ausschalten mit S1 nur zeitverzögert ab. Das Relais bleibt also noch kurze Zeit angezogen. Wird nun sofort wieder mit Schalter S1 eingeschaltet, wirkt keine Strombegrenzung, da ja R3 noch mit Kontakt K1.1 überbrückt ist. Bei Ausfall einzelner Netzperioden ist ebenfalls kein Schutz vorhanden, da K1 angezogen bleibt. Allerdings ergab sich im praktischen Betrieb kein einziger Sicherheitsfall.

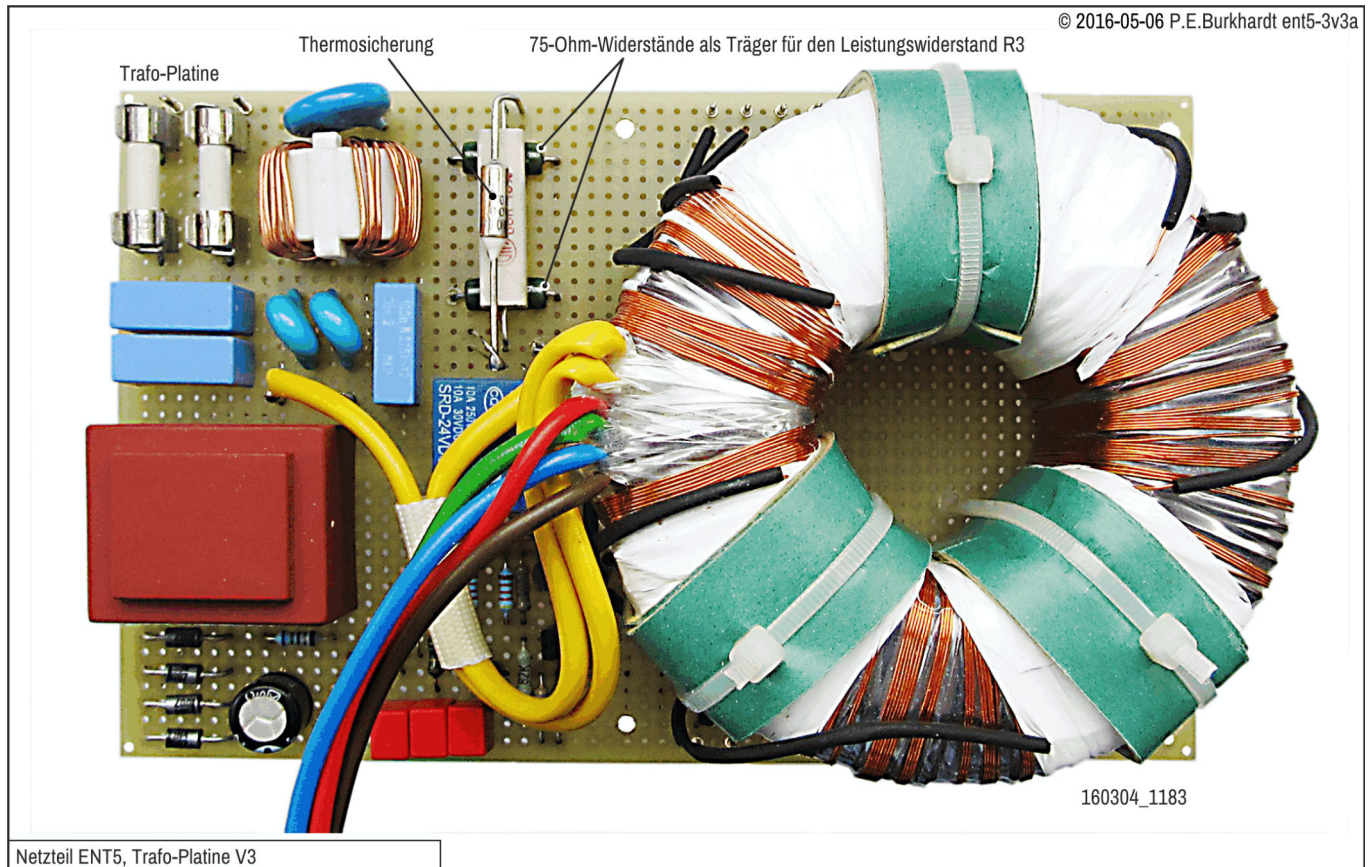
Aufbau der Trafo-Platine V3

Beim Entwurf sind unbedingt die auf der Netzseite vorgeschriebenen größeren Sicherheitsabstände zu beachten. Wird eine Universal-Lochplatte verwendet (wie hier), kann man den nötigen Abstand für die Leiterzüge durch Entfernen (Ausbohren) der Lötäugen-Kupferfläche realisieren.



Widerstand R3 und Thermosicherung

Besondere Beachtung verdient die Anordnung des Widerstands R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit der Thermosicherung. Beide Bauelemente müssen thermisch gekoppelt sein. Nur so löst die Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

**Berührungsschutz**

Rings um den Teil der Schaltung, der 230Vac-Potential führt, muss ein isolierender Berührungsschutz angebracht werden. Das ist besonders wichtig, wenn man mit der Baugruppe auf dem Labortisch hantiert und z.B. Messungen vornimmt. Auch im eingebauten Zustand in einem Gehäuse sollte eine Abdeckung gegen unbeabsichtigtes Berühren nicht fehlen.

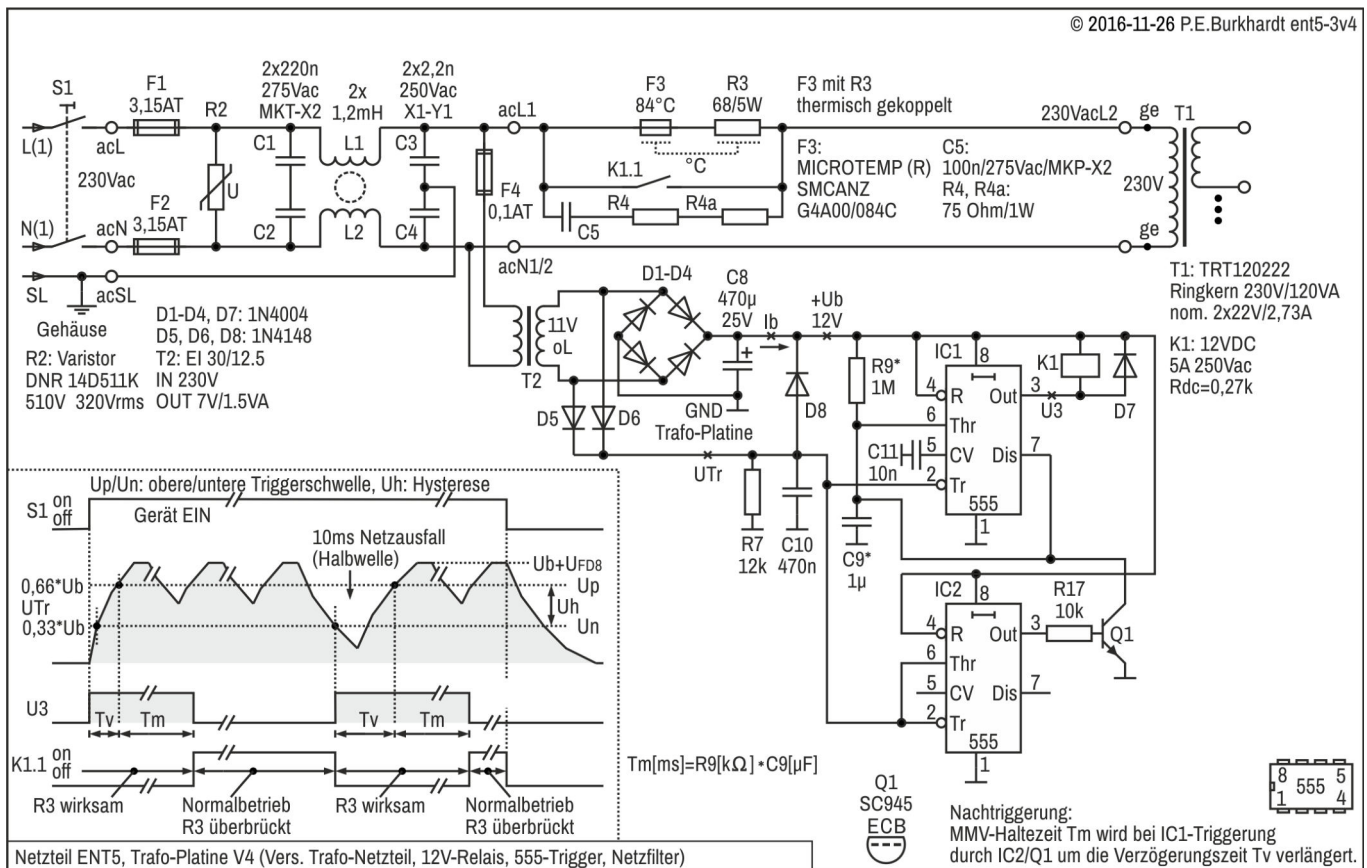
Trafo-Platine V4 (12V-Tr2-NT, 555-Trigger)

Ab Version 4 der Trafo-Platine wird das Triggersignal für die Relais-Verzögerung mit zwei Dioden separat gewonnen. Dadurch ist eine Nachtriggerung der Verzögerungsschaltung möglich, die unabhängig vom Lade-Elko C8 wirkt. Schon bei weniger als 10 ms Netzausfall wird eine neue Verzögerung in Gang gesetzt, bis das Relais den Begrenzungswiderstand R3 überbrückt.

In V4 sind Verzögerungszeit, Nachtriggerung und Relais-Ansteuerung mit 2 Timer-ICs 555 realisiert.

Wesentliche Merkmale

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Netzfilter gegen Störspannungen, wie es bei Schaltnetzteilen üblich ist
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit einer thermischen Sicherung, die bei 84°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen Sicherung und Widerstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und der Thermosicherung, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Triggerung schon bei weniger als 10 ms Netzausfall durch separate Erzeugung des Triggersignals
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit 555-Trigger
- Trafo-Netzteil zur Relais- und Trigger-Versorgung mit 12 Vdc



Schaltungsbeschreibung

Der Leistungskreis ist identisch mit den Versionen 2 und 3 (siehe dort).

Trafo-Netzteil

Wie bei Variante 3 wird auch hier ein kleiner Trafo verwendet, um die Relais-Verzögerungsschaltung galvanisch vom Netz getrennt zu versorgen. Der Trafo ist separat mit F4 abgesichert, da er keine interne thermische Sicherung besitzt. Die Sekundärseite liefert ohne Last ca. 11 V, die gerade so ausreichen, um das 12V-Relais zu versorgen.

Die Wahl der Betriebsspannung von nur 12 V ergibt sich aus dem 555-Spannungsbereich von 4,5 bis 16 V (bipolarer 555). Es wird direkt die Spannung über dem Lade-Elko C8 benutzt, ohne weitere Siebung oder Stabilisierung.

Trigger und Einschaltverzögerung mit 2x NE555

Der erste 555 (IC1) arbeitet als monostabiler Multivibrator (MMV) und generiert eine mit R9 und C9 bequem einstellbare und stabile Zeitverzögerung für das Relais. Der zweite 555 (IC2) dient zusammen mit dem Negator Q1 nur als Komparator zum Nachtriggern des MMV.

Zwei zusätzliche Dioden (D5 und D6) liefern eine Rippelspannung von 100 Hz über dem Kondensator C10. Dieser Kondensator bestimmt zusammen mit seinem parallel geschalteten Lastwiderstand R7 die Höhe der Rippelspannung, die gleichzeitig als Triggerspannung U_{Tr} für den MMV dient. Die Entladezeitkonstante ist so bemessen, dass bei Netzausfall von weniger als 10 ms die Triggerspannung U_{Tr} soweit absinkt, dass die untere 555-Schwelle unterschritten wird. Das bedeutet, es wird nach nur einer fehlenden Sinushalbwelle ein neuer MMV-Impuls generiert.

Beim Einschalten mit Schalter S1 erscheint mit Ansteigen der 12V-Betriebsspannung sofort am IC1-555-Ausgang (Pin 3) ein H, d.h. das gegen $+U_b$ geschaltete Relais K1 kann nicht anziehen. Wird mit U_{Tr} die obere 555-Triggerschwelle erreicht, beginnt der MMV-Impuls (T_m) mit ebenfalls Potential H am 555-Ausgang, d.h. die Verzögerungszeit bis zum Anziehen des Relais ist wirksam. Sind kontinuierlich alle Netz-Sinushalbwellen vorhanden, bleibt das Relais K1 bis zum T_m -Ende inaktiv. Erst mit Ablauf von T_m zieht K1 an und der Begrenzungswiderstand R3 wird überbrückt.

Das war der normale Ablauf ohne Nachtriggerung. Der IC2-555 wird bezüglich Triggerung synchron mit IC1 angesteuert, so dass sich an seinem Ausgang Pin 3 das gleiche Signal wie am IC1-Ausgang ergibt. Der IC2-555-Ausgang ist über den Negator Q1 mit dem zeitbestimmenden Kondensator C9 verschaltet. C9 bestimmt die MMV-Zeit T_m . Während des geschilderten normalen Ablaufs ohne Nachtriggerung ist Q1 gesperrt und hat somit keine Wirkung auf die C9-Ladung. Anders verhält es sich dagegen bei Nachtriggerung.

Sobald eine Sinushalbwelle im Signal U_{Tr} fehlt, sinkt U_{Tr} bis unter die untere IC1-555-Schwelle. Dadurch wird ein neuer T_m -Impuls ausgelöst. Der IC1-555-Ausgang (U_3) geht auf H, Relais K1 fällt ab, R3 wird wirksam und bei der nächsten eintreffenden Netzhalbwellen wird der Einschaltstrom durch R3 begrenzt. Während dieser H-Zeit des IC1-Ausgangs führt aber auch der IC2-Ausgang ein H und Transistor Q3 ist durchgesteuert. Das bedeutet, die C9-Ladung ist Null. Das C9-Nachladen über R9 wird verhindert.

Erst wenn alle Netzhalbwellen wieder kontinuierlich eintreffen, ist der U_{Tr} -Pegel hoch genug, um die Triggereingänge beider 555 nicht beeinflussen zu können. Das bedeutet, erst nach Ablauf der gerade aktuellen T_m -Zeit (MMV-Impuls) zieht Relais K1 an und überbrückt den Begrenzungswiderstand R3. Das ist dann der Normalbetrieb des Geräts.

Diode D8 gegen $+U_b$ verhindert, dass das Triggersignal U_{Tr} an den 555-Schwellwerteingängen (Pin 6) größer als $+U_b$ selbst werden kann. Natürlich muss man die D8-Fluss-Spannung berücksichtigen, die Begrenzung erfolgt also nur auf maximal $+U_b$ zuzüglich ca. 0,6 V. Eine Schottky-Diode ist an dieser Stelle vorteilhafter.

Widerstand R3 und Thermosicherung

Besondere Beachtung verdient die Anordnung des Widerstands R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit der Thermosicherung. Beide Bauelemente müssen thermisch gekoppelt sein. Nur so löst die Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

Einsatz unipolarer CMOS-555

Die bipolaren 555 können auch durch zwei unipolare CMOS-Typen ersetzt werden. Allerdings wäre dann ein zusätzlicher Relais-Treiber mit einem pnp-Transistor erforderlich. Das Relais liegt dann zwischen Kollektor und GND. Alle anderen Schaltungsteile könnten unverändert bleiben.

Fazit

Mit den zwei 555 im Zusammenhang mit der Triggersignal-Erzeugung mittels zwei zusätzlicher Dioden ist eine genaue Relais-Anzugsverzögerung einstellbar. Die Nachtriggerung schon bei weniger als 10 ms Netzausfall sichert zuverlässig, dass ein Einschaltstromstoß des Ringkerntrafos in jeder Betriebssituation begrenzt wird.

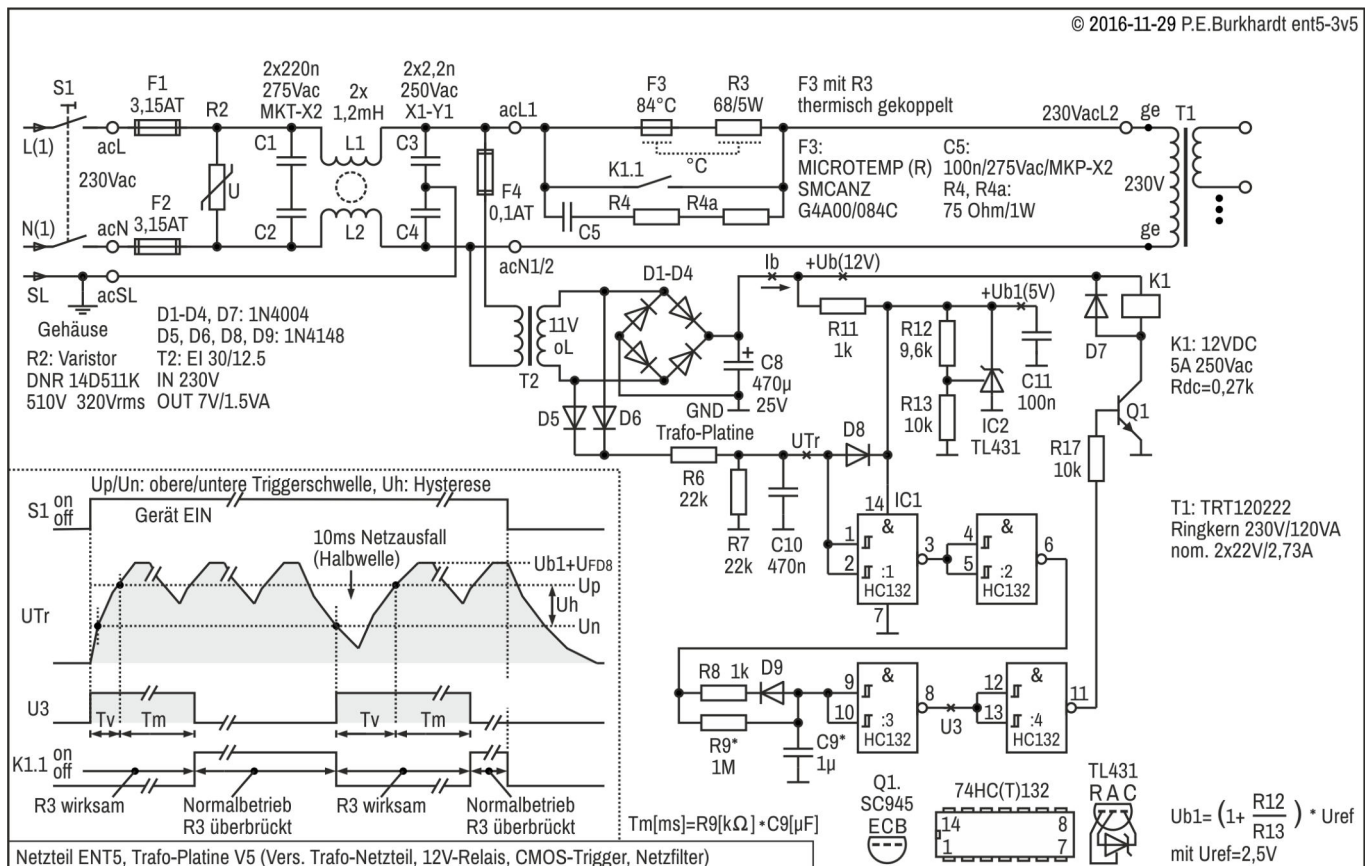
Trafo-Platine V5 (12V-Tr2-NT, CMOS-Tr)

Version 5 enthält ebenfalls ein Trafo-Netzteil, arbeitet aber mit einer völlig anderen Verzögerungsschaltung. Ein einfacher 4-fach-Gatter-Schaltkreis mit Triggereingängen sorgt für die Relais-Verzögerung und für die Retriggerbarkeit dieser Verzögerung.

Das Triggersignal für die Relais-Verzögerung wird (wie in V4) mit zwei Dioden separat gewonnen. Dadurch ist eine Nachtriggerung der Verzögerungsschaltung möglich, die unabhängig vom Lade-Elko C8 wirkt. Schon bei weniger als 10 ms Netzausfall wird eine neue Verzögerung in Gang gesetzt, bis das Relais den Begrenzungswiderstand R3 überbrückt.

Wesentliche Merkmale

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Netzfilter gegen Störspannungen, wie es bei Schaltnetzteilen üblich ist
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit einer thermischen Sicherung, die bei 84°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen Sicherung und Widerstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und der Thermosicherung, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Triggerung schon bei weniger als 10 ms Netzausfall durch separate Erzeugung des Triggersignals
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit getriggertem Digital-IC
- Trafo-Netzteil zur Relais-Versorgung mit 12 Vdc, 5V-IC-Versorgung mit Parallelregler TL431



Schaltungsbeschreibung

Trafo-Netzteil

Da sowieso für den eingesetzten digitalen Schaltkreis eine Betriebsspannung von 5 V erzeugt werden müssen, besteht eigentlich freie Wahl zwischen einem 12V- oder 24V-Relais. Hier wird ein 12V-Relais benutzt, dementsprechend ist wieder der gleiche Trafo wie bei Version 4 im Einsatz. T2-Sicherung F4 ist auch hier nötig, da T2 keine interne thermische Sicherung besitzt. Für das Relais wird direkt die Spannung über dem Lade-Elko C8 benutzt, ohne weitere Siebung oder Stabilisierung.

Die Betriebsspannung von 5 V (+Ub1) ist nur mit dem 74HC132 belastet. Der Parallelregler TL431 ist für solche Fälle ideal. Er enthält bereits die nötige Referenzspannung (2,5 V) und einen Ausgangstreiber, der max. 100 mA verträgt. Der TL431 wirkt zusammen mit den Widerständen R12 und R13 wie eine hochgenaue Z-Diode mit dem Vorteil, dass die Z-Spannung genau mit R12-R13 einstellbar ist. Das Bild enthält die entsprechende Berechnungsformel. Wie jede Z-Diode benötigt die Anordnung einen Vorwiderstand (R11), an dem die überschüssige Versorgungsspannung abfallen kann.

Trigger und Einschaltverzögerung mit dem Digital-IC 74HC132

Die Schaltung mit den 4 NAND-Gattern ist an Einfachheit kaum noch zu unterbieten. Natürlich eignen sich auch 4 andere beliebige CMOS-Negatoren, der eingesetzte Schaltkreis war gerade vorhanden. Hauptsache ist, die Gatter haben Trigger-Eingänge, da an zwei Stellen mit schleichender Spannung angesteuert wird.

Das erste Gatter IC1:1 tastet die Spannung UTr über dem Kondensator C10 ab und wechselt seinen Ausgang von H nach L, sobald die untere Triggerschwelle Un überschritten wird. Gatter 3 arbeitet mit seinem vorgeschalteten Netzwerk (R9, C9, R8, D9) als Monoflop und ist somit für die Einschaltverzögerung des Relais verantwortlich.

Die Rippelspannung von 100 Hz über dem Kondensator C10 ist gleichzeitig die Triggerspannung UTr für das erste Gatter und wird über die zwei Dioden D5 und D6 vom Trafo geliefert. Der Spannungsteiler R6-R7 sorgt einerseits für die richtigen Spannungsverhältnisse zwischen Normalbetrieb und Netzspannungsausfall, andererseits im Zusammenhang mit dem Wert von C10 für die richtige Zeitkonstante, damit auch wirklich schon nach weniger als 10 ms Netzausfall Gatter 1 getriggert wird.

Diode D8 gegen +Ub1 sorgt dafür, dass das Triggersignal UTr an den Gatter-Eingängen nicht wesentlich größer als +Ub1 selbst werden kann. Eine Schottky-Diode ist an dieser Stelle vorteilhafter.

Mit jedem L/H-Sprung am Ausgang des Gatters 2 (Pin 6), der durch die Triggerung des Gatters 1 verursacht wurde, beginnt die Aktivzeit des Monoflops mit Gatter 3. Sie ist mit R9 und C9 einstellbar und bestimmt die Verzögerungszeit, bis das Relais beim Einschalten des Geräts mit S1 seinen Kontakt K1.1 schließt und somit den Begrenzungswiderstand R3 überbrückt. Das ist dann der Normalbetrieb des Geräts.

D9 und R8 sorgen für eine kurze Wiederbereitschaftszeit. Das Nachtriggern erfolgt einfach durch Nachladen des Kondensators C9 über R9. Sobald eine Netzhalbwellen ausfällt (oder mehrere oder die Netzspannung dauernd), beginnt die Verzögerungszeit Tm neu und damit die Strombegrenzung mit Widerstand R3.

Gatter 4 dient der Impulsformung (bei anderer Schaltungsauslegung auch entbehrlich), Transistor Q1 als Treiber für das Relais K1.

Widerstand R3 und Thermosicherung

Besondere Beachtung verdient die Anordnung des Widerstands R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit der Thermosicherung. Beide Bauelemente müssen thermisch gekoppelt sein. Nur so löst die Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

Fazit

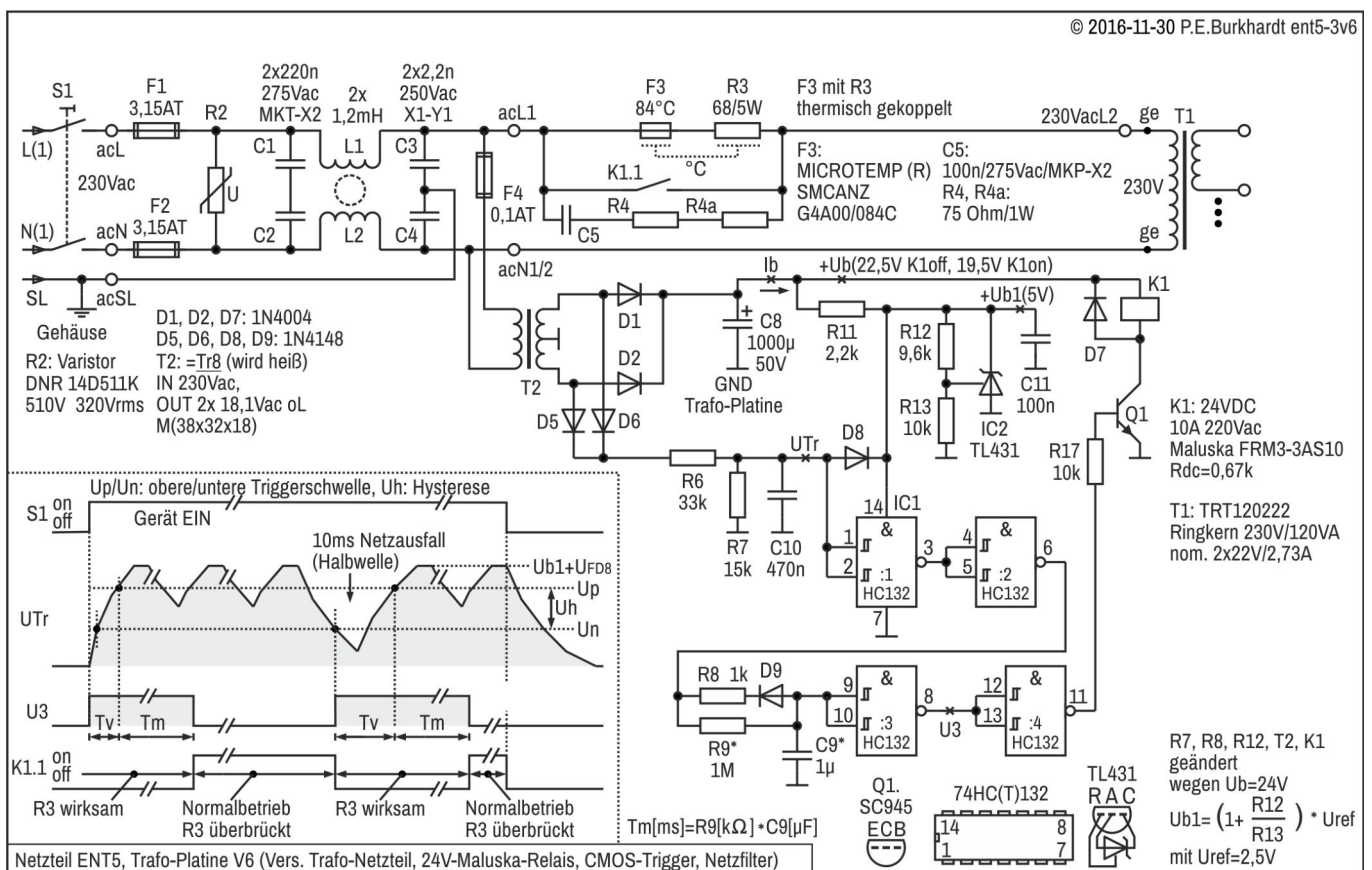
Die Schaltung der Trafo-Platine V5 ist einfach. Nur ein 4-fach-Gatter und ein Transistor sind für die retriggerbare Verzögerungsschaltung nötig. Zwar ist für die 5V-Betriebsspannung der Regler TL431 zusätzlich eingesetzt, doch dieser ließe sich bei Verwendung eines Gatter-ICs mit bis 18 V Betriebsspannung (4000er Reihe) auch noch einsparen.

Trafo-Platine V6 (24V-Tr3-NT, CMOS-Tr)

Schaltung Version 6 unterscheidet sich zur V5 nur durch das 24V-Maluska-Relais. Dieses Relais ist vergossen, hat eine etwas größere Bauform und ist sehr robust. Es besitzt 3 10A-Wechsler für 230Vac. Durch das 24V-Relais ist ein anderer Trafo erforderlich, diesmal mit einer für Zweiweggleichrichtung geeigneten Wicklung.

Wesentliche Merkmale

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Netzfilter gegen Störspannungen, wie es bei Schaltnetzteilen üblich ist
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit einer thermischen Sicherung, die bei 84°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen Sicherung und Widerstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und der Thermosicherung, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Triggerung schon bei weniger als 10 ms Netzausfall durch separate Erzeugung des Triggersignals
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit getriggertem Digital-IC
- Trafo-Netzteil zur Relais-Versorgung mit 24 Vdc, 5V-IC-Versorgung mit Parallelregler TL431



Schaltungsbeschreibung

Trafo-Netzteil

Die mit dem Trafo erzielte Gleichspannung reicht gerade so für das Maluska-Relais aus (22,5 bzw. 19,5 V). Durch die höhere Spannung (gegenüber 12 V bei V5) musste R11 erhöht werden. Ebenso war eine Anpassung der Widerstände R6 und R7 erforderlich.

Bei längerem Betrieb stellte sich allerdings heraus, dass der Trafo sehr knapp dimensioniert ist. Er wurde heiß, d.h. man hätte sich am Kern die Finger verbrennen können. Eine Temperaturmessung war nicht mehr nötig. Bei billigen Trafos wird die Primärwicklung oft mit sehr wenig Windungen ausgestattet, d.h. mit zu wenig Selbstinduktivität. Schon im Leerlauf erhitzt sich der Trafo dementsprechend. Allerdings kann man dies nur feststellen, wenn der Trafo über Nacht läuft und so seine endgültige Betriebstemperatur erreicht.

Wegen des heißen Trafos ist diese Version zum Nachbau ungeeignet, trotz des robusten Maluska-Relais.

Widerstand R3 und Thermosicherung

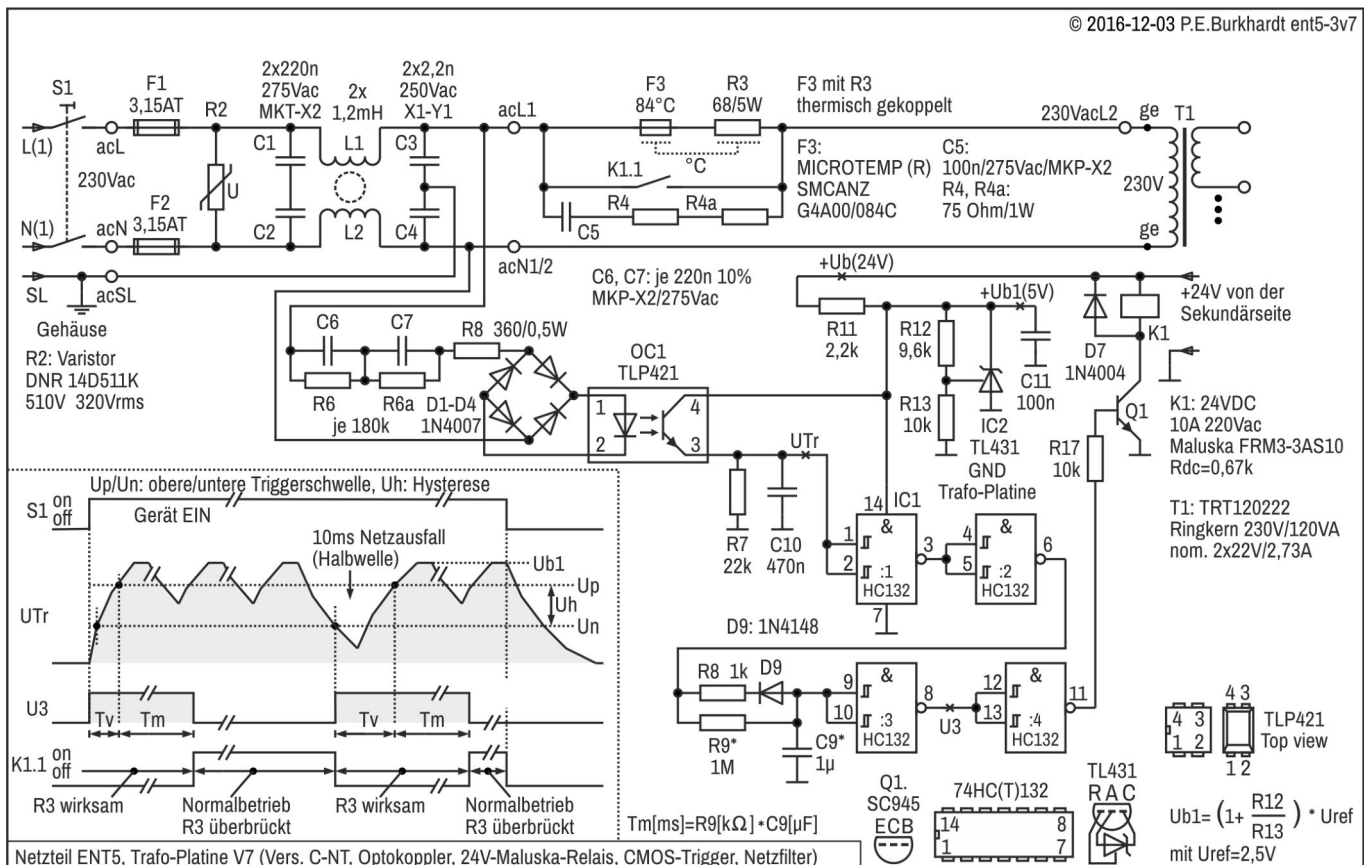
Besondere Beachtung verdient die Anordnung des Widerstands R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit der Thermosicherung. Beide Bauelemente müssen thermisch gekoppelt sein. Nur so löst die Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

Trafo-Platine V7 (C-NT, Optok., CMOS-Tr)

Version 7 der Ringkern-Einschaltverzögerung wurde so konzipiert, dass kein zusätzlicher Trafo erforderlich ist. Die Triggerspannung wird über ein C-Netzteil mit Optokoppler gewonnen, die Relais-Spannung liefert direkt eine der sowieso vorhandenen Ringkerntrafo-Sekundärspannungen.

Wesentliche Merkmale

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Netzfilter gegen Störspannungen, wie es bei Schaltnetzteilen üblich ist
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit 2 kaskadierten thermischen Sicherungen, die bei 84°C und 74°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen der Temperatur-Sicherung und dem Schutzwiderstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und der Thermosicherung, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Triggerung schon bei weniger als 10 ms Netzausfall durch separate Erzeugung des Triggersignals
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit getriggertem Digital-IC
- C-Netzteil mit Optokoppler für die galvanisch vom Netz getrennte Triggerspannung
- Verwendung einer Ringkerntrafo-Sekundärspannung für das 24V-Maluska-Relais, davon 5V-IC-Versorgung mit Parallelregler TL431



Widerstand R3 und Thermosicherung

Besondere Beachtung verdient die Anordnung des Widerstands R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit der Thermosicherung. Beide Bauelemente müssen thermisch gekoppelt sein. Nur so löst die Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

Trafo-Platine V8 (24V-Tr4-NT, CMOS-Tr)

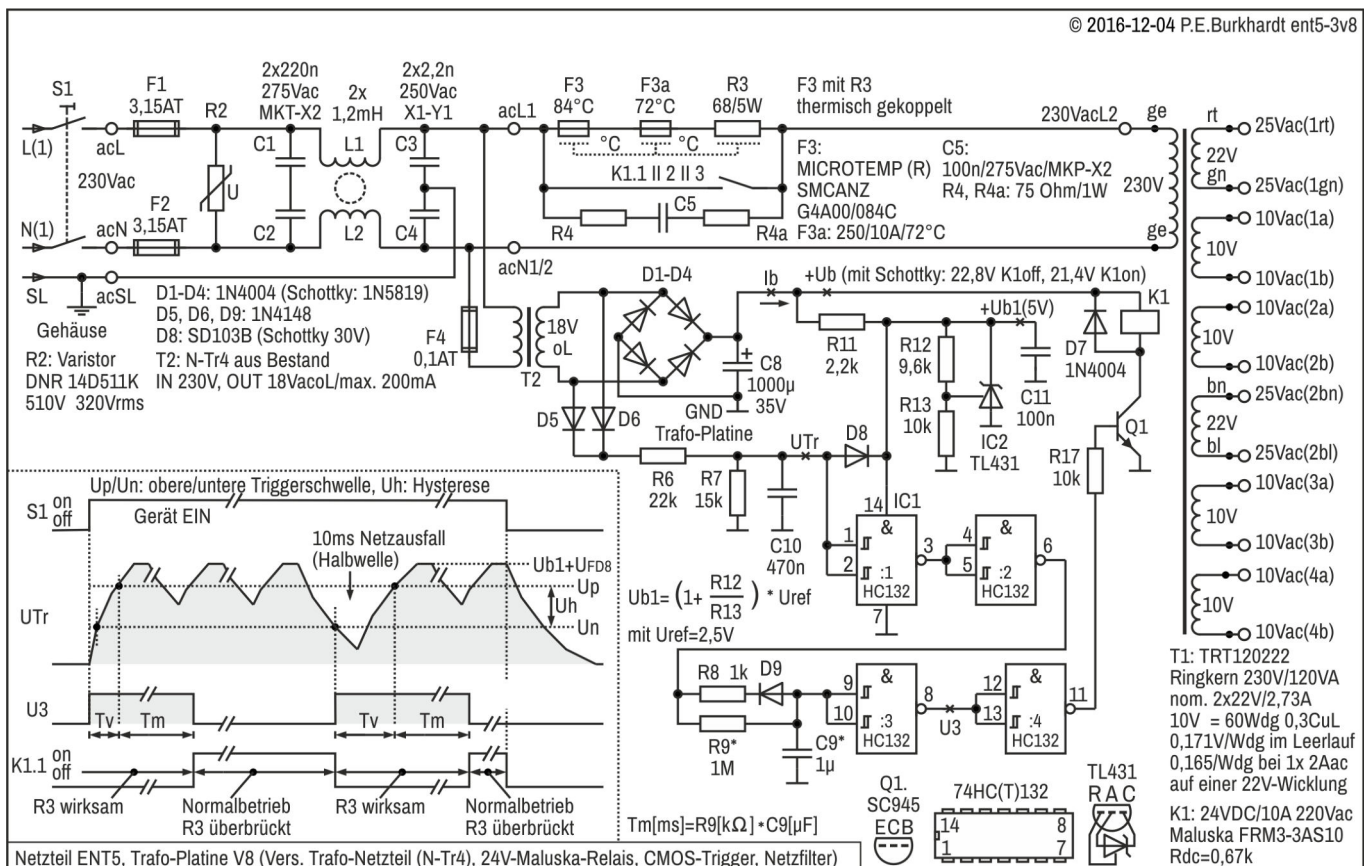
Version 8 der Ringkern-Einschaltverzögerung ist die finale Version aller bisher getesteten Schaltungsvarianten. Im Trafo-Netzteil zur Versorgung der Einschaltverzögerung wird ein Printrafo hoher Qualität verwendet. Ein einfacher 4-fach-Gatter-Schaltkreis mit Triggereingängen sorgt für die Relais-Verzögerung und für die Retriggerbarkeit dieser Verzögerung.

Das Triggersignal für die Relais-Verzögerung wird mit zwei Dioden separat gewonnen. Dadurch ist eine Nachtriggerung der Verzögerungsschaltung möglich, die unabhängig vom Lade-Elko C8 wirkt. Schon bei weniger als 10 ms Netzausfall wird eine neue Verzögerung in Gang gesetzt, bis das Relais den Begrenzungswiderstand R3 überbrückt.

Das Leistungsteil enthält 3 parallel geschaltete Schließer über dem strombegrenzenden Widerstand R3, da beim eingesetzten Maluska-Relais entsprechend viele Kontakte verfügbar sind. Das 24V-Maluska-Relais ist vergossen, hat eine etwas größere Bauform und ist sehr robust. Es besitzt drei 10A-Wechsler für 230Vac.

Wesentliche Merkmale der finalen Version 8

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Netzfilter gegen Störspannungen, wie es bei Schaltnetzteilen üblich ist
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit 2 thermischen Sicherungen (72°C und 84°C)
- Thermischer Kontakt zwischen Sicherungen und Widerstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und den Thermosicherungen, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für die Relais-Kontakte gegen vorzeitigen Verschleiß
- Triggerung schon bei weniger als 10 ms Netzausfall durch separate Erzeugung des Triggersignals
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit getriggertem Digital-IC
- Trafo-Netzteil zur Relais-Versorgung mit 24 Vdc, 5V-IC-Versorgung mit Parallelregler TL431



Schaltungsbeschreibung

Trafo-Netzteil

Der Trafo T2 ist ein vergossener Printtrafo, der sich im Leerlauf (und in dieser Anwendung) unmerklich erwärmt. Die Ausgangsspannung reduziert sich nur um ca. 0,5 V, wenn das Relais anzieht, d.h. sie ist relativ stabil. Der Trafo stammt übrigens aus einem Industrie-Meßgerät und hat eine entsprechend hohe Qualität.

Die T2-Sicherung F4 wurde vorgesehen, da T2 offensichtlich keine interne thermische Sicherung besitzt. Für das Relais wird direkt die Spannung über dem Lade-Elko C8 benutzt, ohne weitere Siebung oder Stabilisierung.

Für die Dioden D1 bis D4 sind Schottky-Dioden vorteilhaft. Die Spannung +Ub für das Relais wird dann etwas höher und nähert sich damit der Nominalspannung von 24 V.

Die Betriebsspannung von 5 V (+Ub1) ist nur mit dem CMOS-Trigger-Gatter-IC 74HC132 belastet. Der Parallelregler TL431 ist für solche Fälle ideal. Er enthält bereits die nötige Referenzspannung (2,5 V) und einen Ausgangstreiber, der max. 100 mA verträgt. Der TL431 wirkt zusammen mit den Widerständen R12 und R13 wie eine hochgenaue Z-Diode mit dem Vorteil, dass die Z-Spannung genau mit R12-R13 einstellbar ist. Das Bild enthält die entsprechende Berechnungsformel. Wie jede Z-Diode benötigt die Anordnung einen Vorwiderstand (R11), an dem die überschüssige Versorgungsspannung abfallen kann.

Anmerkung

Die 5V-Betriebsspannung ist nur aufgrund des 74HC132 nötig. Der Parallelregler TL431 könnte bei Verwendung eines Gatter-ICs mit bis 18 V Betriebsspannung (4000er Reihe) entfallen.

Trigger und Einschaltverzögerung mit dem Digital-IC 74HC132

Die Schaltung mit den 4 NAND-Gattern ist an Einfachheit kaum noch zu unterbieten. Natürlich eignen sich auch 4 andere beliebige CMOS-Negatoren, der eingesetzte Schaltkreis war gerade vorhanden. Hauptsache ist, die Gatter haben Trigger-Eingänge, da an zwei Stellen mit schleichender Spannung angesteuert wird.

Das erste Gatter IC1:1 tastet die Spannung UTr über dem Kondensator C10 ab und wechselt seinen Ausgang von H nach L, sobald die untere Triggerschwelle Un überschritten wird. Gatter 3 arbeitet mit seinem vorgeschalteten Netzwerk (R9, C9, R8, D9) als Monoflop und ist somit für die Einschaltverzögerung des Relais verantwortlich.

Die Rippelspannung von 100 Hz über dem Kondensator C10 ist gleichzeitig die Triggerspannung UTr für das erste Gatter und wird über die zwei Dioden D5 und D6 vom Trafo geliefert. Der Spannungsteiler R6-R7 sorgt einerseits für die richtigen Spannungsverhältnisse zwischen Normalbetrieb und Netzspannungsausfall, andererseits im Zusammenhang mit dem Wert von C10 für die richtige Zeitkonstante, damit auch wirklich schon nach weniger als 10 ms Netzausfall Gatter 1 getriggert wird.

Die Schottky-Diode D8 gegen +Ub1 sorgt dafür, dass das Triggersignal UTr an den Gatter-Eingängen nicht wesentlich größer als +Ub1 selbst werden kann. Notfalls kann auch eine normale 1N4148 eingesetzt werden.

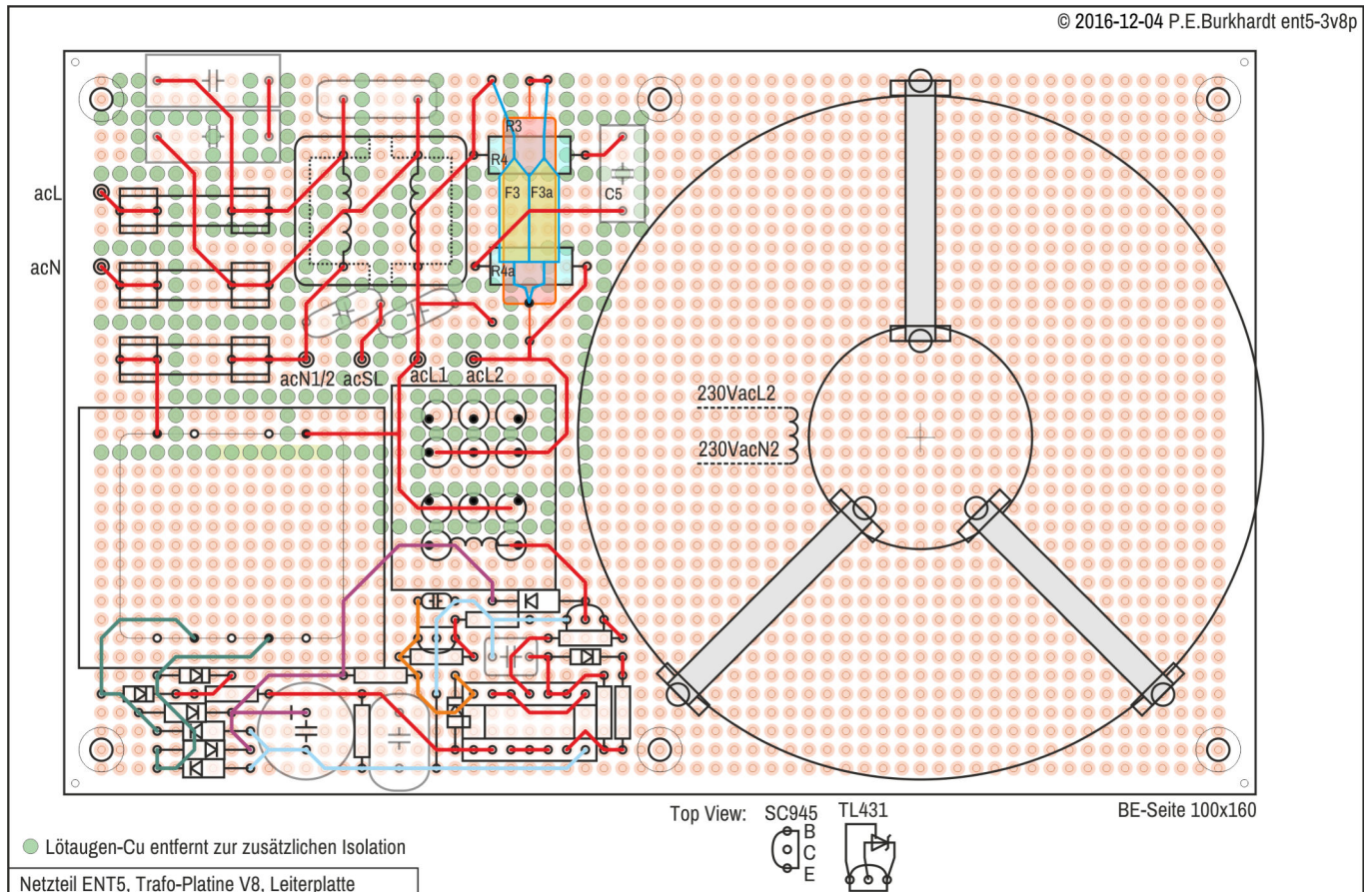
Mit jedem L/H-Sprung am Ausgang des Gatters 2 (Pin 6), der durch die Triggerung des Gatters 1 verursacht wurde, beginnt die Aktivzeit des Monoflops mit Gatter 3. Sie ist mit R9 und C9 einstellbar und bestimmt die Verzögerungszeit, bis das Relais beim Einschalten des Geräts mit S1 seinen Kontakt K1.1 schließt und somit den Begrenzungswiderstand R3 überbrückt. Das ist dann der Normalbetrieb des Geräts.

D9 und R8 sorgen für eine kurze Wiederbereitschaftszeit. Das Nachtriggern erfolgt einfach durch Nachladen des Kondensators C9 über R9. Sobald eine Netzhalbwellen ausfällt (oder mehrere oder die Netzspannung dauernd), beginnt die Verzögerungszeit Tm neu und damit die Strombegrenzung mit Widerstand R3.

Gatter 4 dient der Impulsformung (bei anderer Schaltungsauslegung auch entbehrlich), Transistor Q1 als Treiber für das Relais K1.

Aufbau der Trafo-Platine V8

Auch bei dieser Version 8 wird eine Universal-Lochplatte verwendet. Die Verzögerungsschaltung benötigt mehr Platz als bei Version 3. Hilfsstrafo T2 und das robuste Maluska-Relais sind größer. Außerdem ist eine dritte Sicherung hinzugekommen. Trotzdem passt noch alles auf die Standard-Platine 100x160. Der nötigen Abstand für die 230V-Leiterzüge wird auch hier durch Entfernen (Ausbohren) der Löttaugen-Kupferfläche erzielt. Beim Einbau der Baugruppe sollte eine zusätzliche Plastikabdeckung die zufällige Berührung mit dem 230V-Teil verhindern.



Widerstand R3 und Thermosicherungen

Für mehr Sicherheit im Fehlerfall sind zwei Thermosicherungen in Reihe geschaltet. Besondere Beachtung verdient auch hier die Anordnung des Widerstands R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit diesen Thermosicherungen. Die Sicherungen müssen mit R3 thermisch gekoppelt sein. Nur so löst eine Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

Fazit

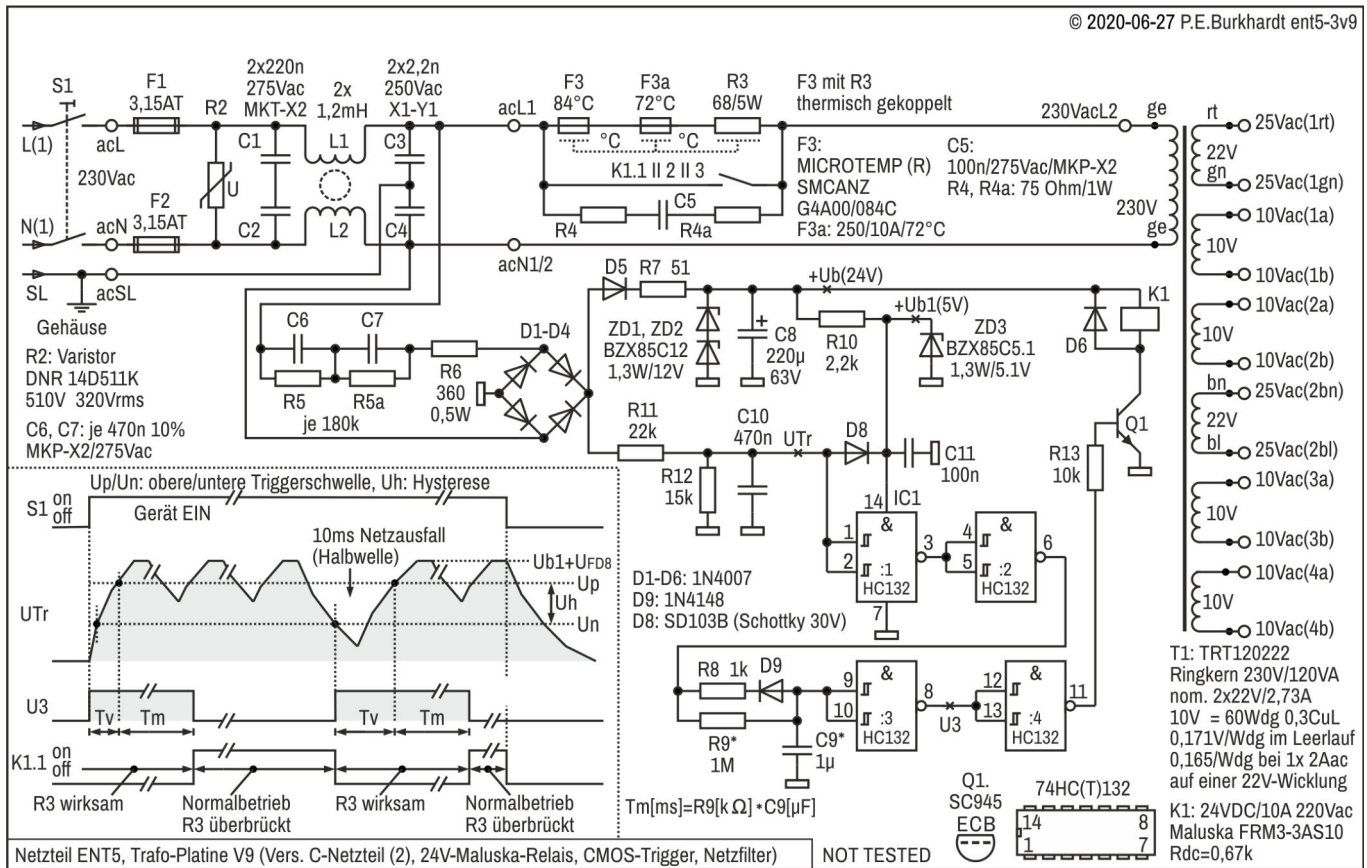
Die finale Version 8 als Ergebnis vieler Tests ist entsprechend der vorhandenen Bauelementesituation die sicherste und damit die optimale Variante. Allerdings ist Sicherung F4 ein Schwachpunkt, denn wenn diese anspricht kann K1 nicht anziehen, und der Begrenzungswiderstand R3 wird heiß. Die Folge ist, dass eine der Thermosicherungen F3 bzw. F3a auslöst.

Trafo-Platine V9 (24V-C-NT1, CMOS-Trigger)

Version 9 der Ringkern-Einschaltverzögerung wurde so konzipiert, dass kein zusätzlicher Trafo erforderlich ist. Relais- und Trigger-Spannung liefert ein C-Netzteil. Dadurch liegt die gesamte Schaltung der Primärseite des Ringkerntrafos T1 auf Netzpotential. Es bestehen also erhöhte Anforderungen an die Isolierung und den Berührungsschutz.

Wesentliche Merkmale

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Netzfilter gegen Störspannungen, wie es bei Schaltnetzteilen üblich ist
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit 2 kaskadierten thermischen Sicherungen, die bei 84°C und 74°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen den Temperatur-Sicherungen und dem Schutzwiderstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und den Thermosicherungen, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Triggerung schon bei weniger als 10 ms Netzausfall durch separate Erzeugung des Triggersignals
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit getriggertem Digital-IC
- C-Netzteil zur Versorgung des 5V-CMOS-Triggers und des Relais



Schaltungsbeschreibung

C-Netzteil

Das C-Netzteil entspricht dem C-Netzteil der Version 2. Für den strombestimmenden Kondensator sind zwei X2-Kondensatoren in Reihe geschaltet, so dass sich eine hohe Sicherheit gegen Durchschlag ergibt. Außerdem stellen hier zwei in Reihe geschaltete 12V-Z-Dioden die 24V-Versorgungsspannung des Relais bereit. Damit ist eine etwas geringere thermische Belastung je Z-Diode gegeben. Eine weitere Z-Diode sorgt für die 5V-Betriebsspannung Ub1 des CMOS-Triggers.

Triggerspannung U_{Tr}

Damit die Netz-Sinus-Halbwellen direkt für die Überwachung genutzt werden können, trennt Diode D5 den Lade-Kondensator C8 von der Grectz-Brücke. Die Widerstände R11 und R12 sowie Kondensator C10 sorgen für die Triggerspannung U_{Tr}, die wie bei den vorigen Versionen mittels der 4 CMOS-Gatter verarbeitet werden. Die ganze Anordnung ist einfach und funktioniert zuverlässig. Auch für andere Anwendungen, bei denen eine netzsynchrone Rippelspannung benötigt wird, ist eine solche Konfiguration zu empfehlen.

Diode 8 sorgt dafür, dass U_{Tr} nicht wesentlich größer als U_{b1} (5 V) werden kann. An dieser Stelle ist eine Schottky-Diode wegen ihrer geringeren Durchlass-Spannung günstig.

Widerstand R3 und Thermosicherungen

Für mehr Sicherheit im Fehlerfall sind zwei Thermosicherungen in Reihe geschaltet. Besondere Beachtung verdient auch hier die Anordnung des Widerstands R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit diesen Thermosicherungen. Die Sicherungen müssen mit R3 thermisch gekoppelt sein. Nur so löst eine Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

Fazit

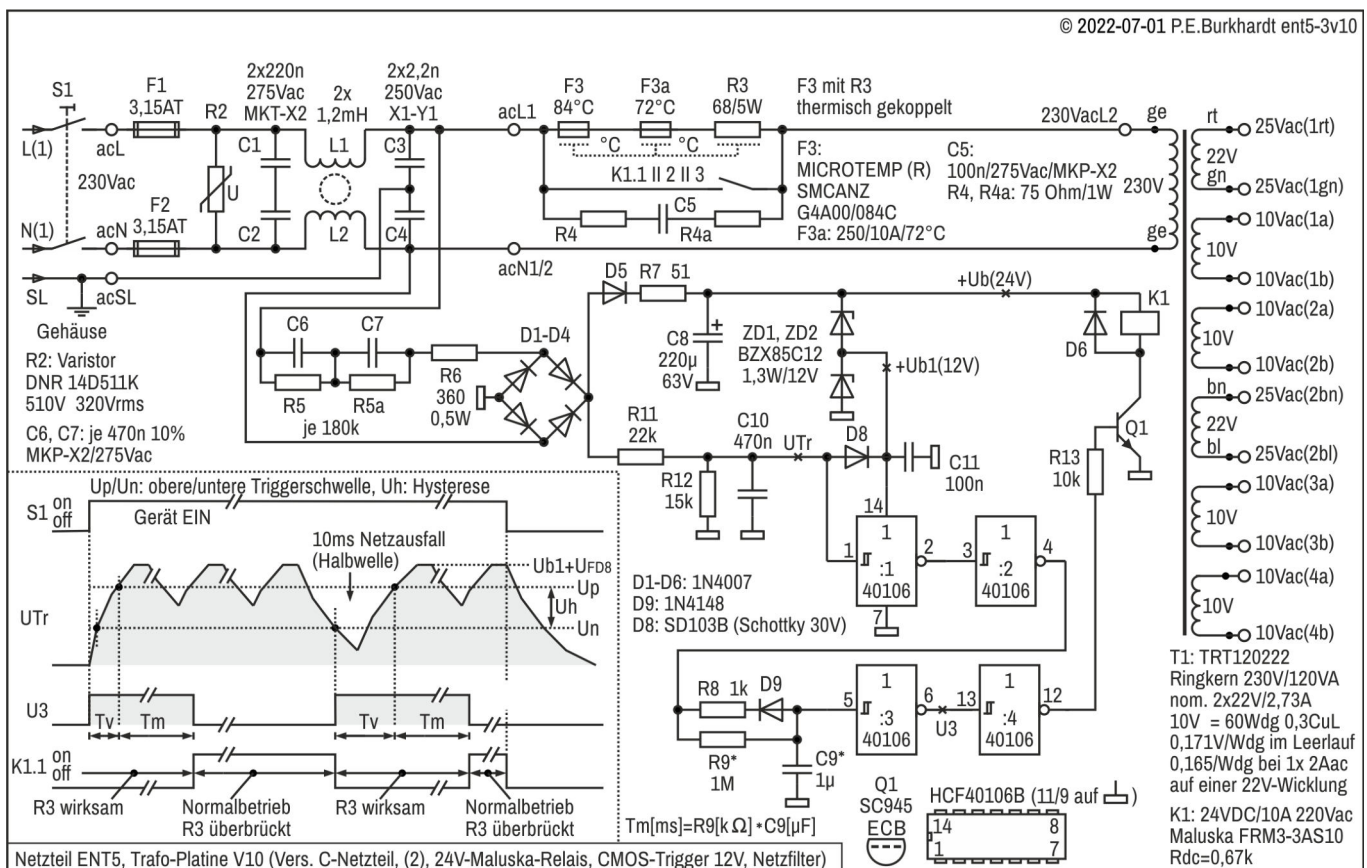
Diese Variante V9 mit einem Kondensator-Netzteil direkt an der 230V-Netzspannung spart zwar den sonst erforderlichen kleinen Trafo ein. Nachteil ist, dass die gesamte Schaltung auf Netzpotential liegt.

Trafo-Platine V10 (24V-C-NT2, CMOS-Tr)

Auch in Version 10 ist kein Trafo für die Steuerung erforderlich, das C-Netzteil entspricht Version 9. Grundlegender Unterschied zu Version 9 ist aber der Einsatz eines CMOS-Bausteins mit 12 V Betriebsspannung. Dadurch kann die Bereitstellung dieser Spannung vereinfacht werden. Eine separate Z-Diode ist nicht erforderlich. Allerdings liegt auch hier die gesamte Schaltung der Primärseite des Ringkerntrafos T1 auf Netzpotential. Es bestehen also erhöhte Anforderungen an die Isolierung und den Berührungsschutz.

Wesentliche Merkmale

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Netzfilter gegen Störspannungen, wie es bei Schaltnetzteilen üblich ist
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit 2 kaskadierten thermischen Sicherungen, die bei 84°C und 74°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen den Temperatur-Sicherungen und dem Schutzwiderstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und den Thermosicherungen, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Triggern schon bei weniger als 10 ms Netzausfall durch separate Erzeugung des Triggersignals
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit getriggertem Digital-IC
- C-Netzteil zur Versorgung des 12V-CMOS-Triggers und des 24V-Relais



Schaltungsbeschreibung

C-Netzteil

Das C-Netzteil entspricht dem C-Netzteil der Version 9. Für den strombestimmenden Kondensator sind zwei X2-Kondensatoren in Reihe geschaltet, so dass sich eine hohe Sicherheit gegen Durchschlag ergibt. Außerdem stellen hier zwei in Reihe geschaltete 12V-Z-Dioden die 24V-Versorgungsspannung des Relais bereit. Damit ist eine etwas geringere thermische Belastung je Z-Diode gegeben. Zwischen den beiden 12V-Z-Dioden stehen automatisch 12 V gegen GND zur Verfügung. Damit ist auch die Betriebsspannung Ub1 für den CMOS-Trigger gegeben.

Triggerspannung U_{Tr}

Damit die Netz-Sinus-Halbwellen direkt für die Überwachung genutzt werden können, trennt Diode D5 den Lade-Kondensator C8 von der Greutz-Brücke. Die Widerstände R11 und R12 sowie Kondensator C10 sorgen für die Triggerspannung U_{Tr}, die wie bei den vorigen Versionen mittels der 4 CMOS-Gatter verarbeitet werden. Die ganze Anordnung ist einfach und funktioniert zuverlässig. Auch für andere Anwendungen, bei denen eine netzsynchrone Rippelspannung benötigt wird, ist eine solche Konfiguration zu empfehlen.

Diode 8 sorgt dafür, dass U_{Tr} nicht wesentlich größer als U_{b1} (12 V) werden kann. An dieser Stelle ist eine Schottky-Diode wegen ihrer geringeren Durchlass-Spannung günstig.

Widerstand R3 und Thermosicherungen

Für mehr Sicherheit im Fehlerfall sind zwei Thermosicherungen in Reihe geschaltet. Besondere Beachtung verdient auch hier die Anordnung des Widerstands R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit diesen Thermosicherungen. Die Sicherungen müssen mit R3 thermisch gekoppelt sein. Nur so löst eine Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

Fazit

Diese Variante V10 mit einem Kondensator-Netzteil direkt an der 230V-Netzspannung spart zwar den sonst erforderlichen kleinen Trafo ein. Nachteil ist, dass die gesamte Schaltung auf Netzpotential liegt.

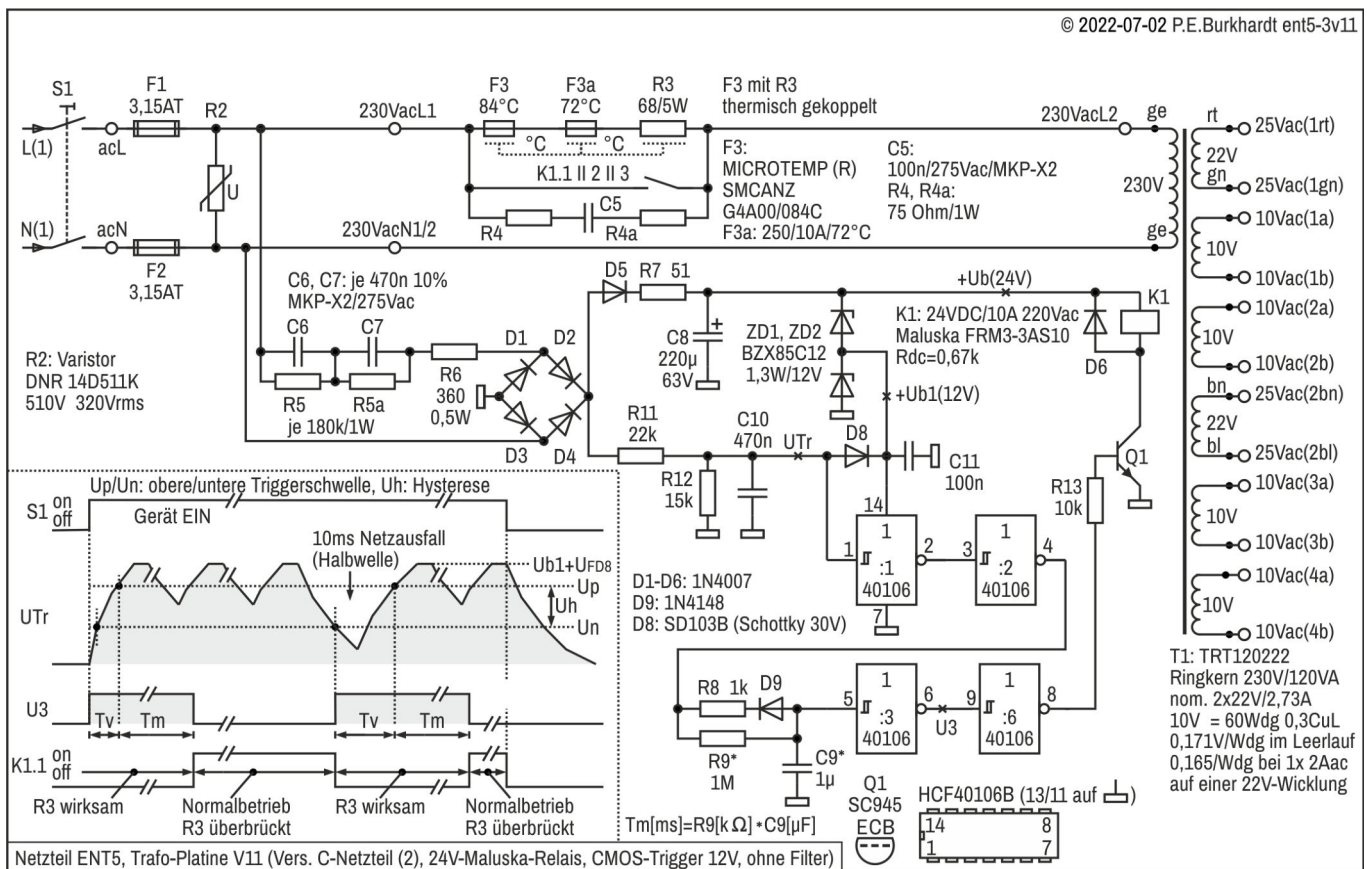
Gegenüber der Variante V9 konnte durch einen 12V-IC für den CMOS-Trigger die Erzeugung der IC-Versorgung vereinfacht werden.

Trafo-Platine V11 (oF, 24V-C-NT2, CMOS-Tr)

In Version 11 wurde kein Netzfilter (oF = ohne Filter) vorgesehen. Ansonsten entspricht V11 der Version V10. Durch den Wegfall des Netzfilters ist auf der Leiterplatte mehr Platz, um die nötigen Abstände bei 230 V zu optimieren.

Wesentliche Merkmale

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit 2 kaskadierten thermischen Sicherungen, die bei 84°C und 74°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen den Temperatur-Sicherungen und dem Schutzwiderstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und den Thermosicherungen, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Triggerung schon bei weniger als 10 ms Netzausfall durch separate Erzeugung des Triggersignals
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit getriggertem Digital-IC
- C-Netzteil zur Versorgung des 12V-CMOS-Triggers und des 24V-Relais



Schaltungsbeschreibung

C-Netzteil

Das C-Netzteil entspricht dem C-Netzteil der Versionen 9 und 10. Für den strombestimmenden Kondensator sind zwei X2-Kondensatoren in Reihe geschaltet, so dass sich eine hohe Sicherheit gegen Durchschlag ergibt. Außerdem stellen hier zwei in Reihe geschaltete 12V-Z-Dioden die 24V-Versorgungsspannung des Relais bereit. Damit ist eine etwas geringere thermische Belastung je Z-Diode gegeben im Vergleich zu einer 24V-Z-Diode. Zwischen den beiden 12V-Z-Dioden stehen automatisch 12 V gegen GND zur Verfügung. Damit ist auch die Betriebsspannung Ub1 für den CMOS-Trigger gegeben.

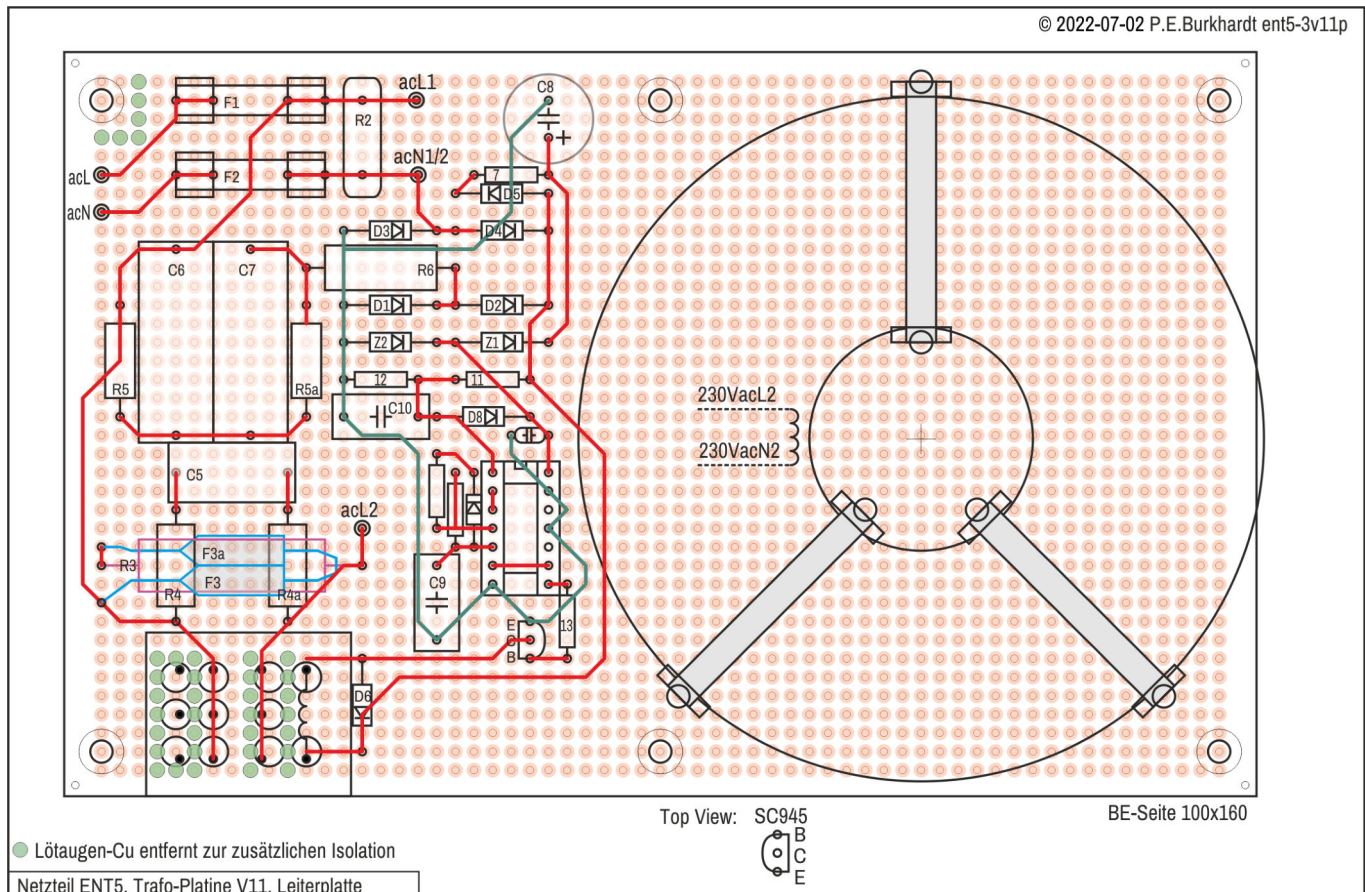
Triggerspannung U_{Tr}

Damit die Netz-Sinus-Halbwellen direkt für die Überwachung genutzt werden können, trennt Diode D5 den Lade-Kondensator C8 von der Greutz-Brücke. Die Widerstände R11 und R12 sowie Kondensator C10 sorgen für die Triggerspannung U_{Tr} , die wie bei den vorigen Versionen mittels der 4 CMOS-Gatter verarbeitet werden. Die ganze Anordnung ist einfach und funktioniert zuverlässig.

Diode 8 sorgt dafür, dass U_{Tr} nicht wesentlich größer als U_{b1} (12 V) werden kann. An dieser Stelle ist eine Schottky-Diode wegen ihrer geringeren Durchlass-Spannung günstig.

Aufbau der Trafo-Platine V11

Auch bei dieser Version 11 wird eine Universal-Lochplatte verwendet. Die Bestückung erfolgte mit mehr Sicherheitsabständen im 230V-Teil im Vergleich zur Platine Version 8. Dies ist durch den Wegfall des Netzfilters möglich. Die nötige Isolationsfestigkeit für die 230V-Leiterzüge wird durch Entfernen (Ausbohren) der Lötäugen-Kupferfläche erzielt. Beim Einbau der Baugruppe sollte eine zusätzliche Plastikabdeckung die zufällige Berührung mit der gesamten Schaltung verhindern.



Anordnung des Widerstandes R3 zusammen mit den Thermosicherungen F3 und F3a

Für mehr Sicherheit im Fehlerfall sind zwei Thermosicherungen in Reihe geschaltet. Besondere Beachtung verdient auch hier die Anordnung des Widerstandes R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit diesen Thermosicherungen. Die Sicherungen müssen mit R3 thermisch gekoppelt sein. Nur so löst eine Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

Fazit

Diese Variante V11 mit einem Kondensator-Netzteil direkt an der 230V-Netzspannung ist durch Wegfall des Netzfilters mit großen Sicherheitsabständen zwischen den 230V-Leitungen aufgebaut. Nachteilig ist, dass die gesamte Schaltung auf Netzpotential liegt.

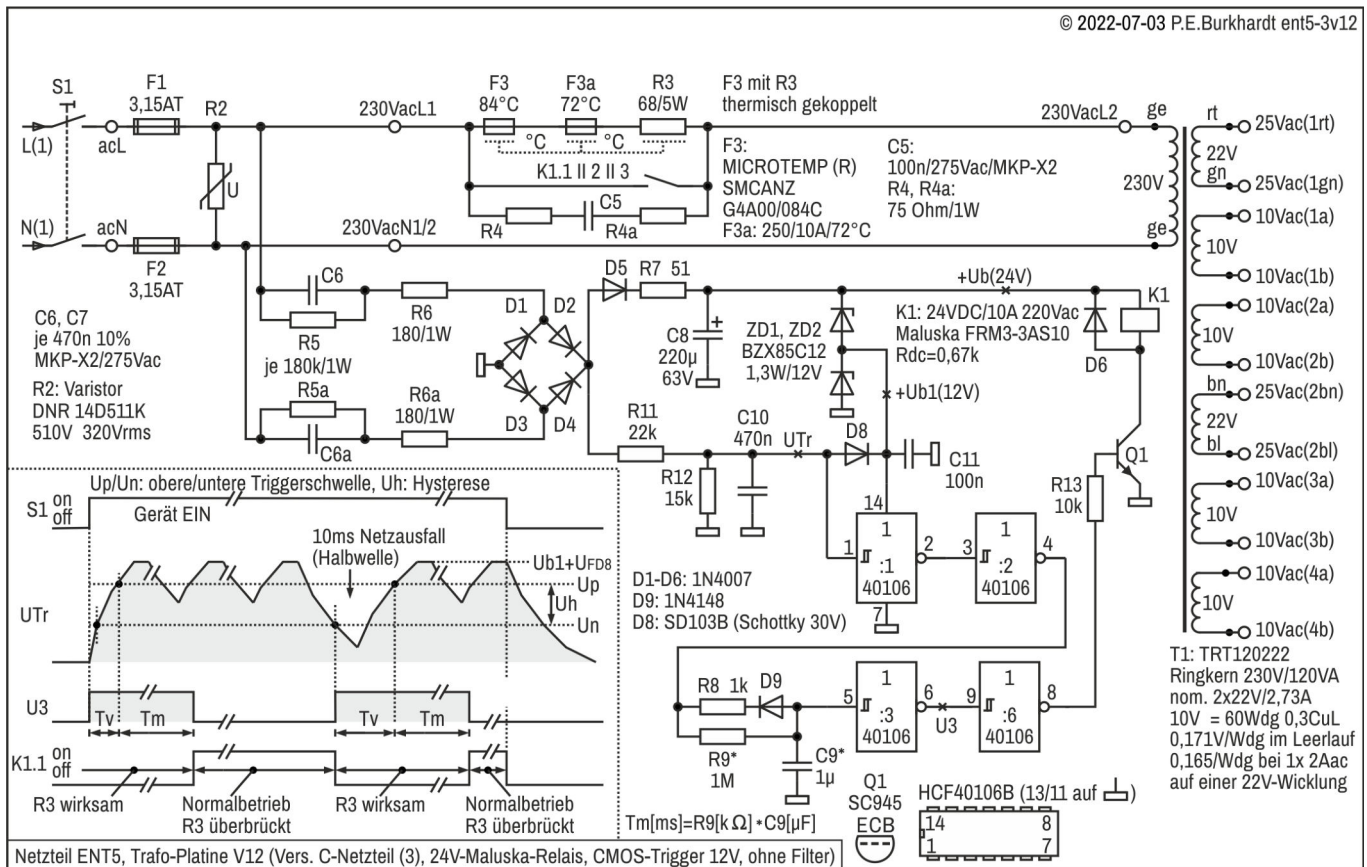
Gegenüber der Variante V9 mit 5V-IC konnte durch einen 12V-IC für den CMOS-Trigger die Erzeugung der IC-Versorgung vereinfacht werden.

Trafo-Platine V12 (oF, 24V-C-NT3, CMOS-Tr)

In Version 12 wurde kein Netzfilter (oF = ohne Filter) vorgesehen. Ansonsten entspricht V12 fast der Version V11 mit Ausnahme des C-Netzteils. Die Kapazität C6 wurde zu gleichen Teilen vor und nach der Gretchbrücke D1 bis D4 angeordnet. Auch Widerstand R6 ist jetzt mit jeweils dem halben Wert zwei Mal vorhanden. Mit dieser Aufteilung ergibt sich eine weitere Entschärfung auf der Leiterplatte, da an einigen Stellen nur noch die halbe Spannung auftritt.

Wesentliche Merkmale

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit 2 kaskadierten thermischen Sicherungen, die bei 84°C und 74°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen den Temperatur-Sicherungen und dem Schutzwiderstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und den Thermosicherungen, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Triggerung schon bei weniger als 10 ms Netzausfall durch separate Erzeugung des Triggersignals
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit getriggertem Digital-IC
- C-Netzteil zur Versorgung des 12V-CMOS-Triggers und des 24V-Relais



Schaltungsbeschreibung

C-Netzteil

Das C-Netzteil entspricht in der Wirkung dem C-Netzteil der Version 11. Für den strombestimmenden Kondensator sind zwei X2-Kondensatoren in Reihe geschaltet, so dass sich eine hohe Sicherheit gegen Durchschlag ergibt. Dabei wurde ein Kondensator C6 vor die Gretch-Brücke gesetzt und ein Kondensator C6a danach.

Außerdem stellen hier zwei in Reihe geschaltete 12V-Z-Dioden die 24V-Versorgungsspannung des Relais bereit. Damit ist eine etwas geringere thermische Belastung je Z-Diode gegeben im Vergleich zu einer 24V-Z-Diode. Zwischen den beiden 12V-Z-Dioden stehen automatisch 12 V gegen GND zur Verfügung. Damit ist auch die Betriebsspannung Ub1 für den CMOS-Trigger gegeben.

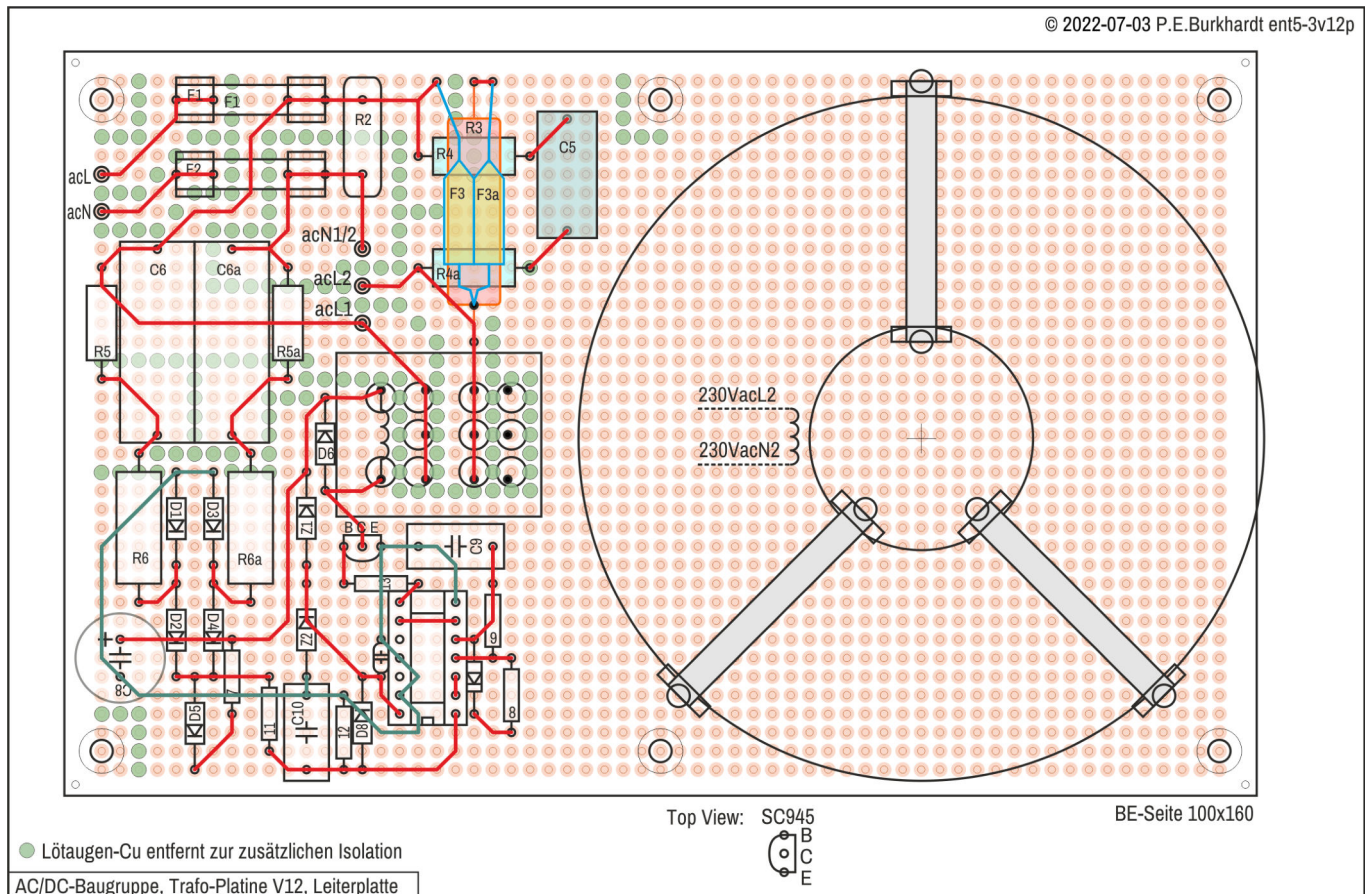
Triggerspannung U_{Tr}

Damit die Netz-Sinus-Halbwellen direkt für die Überwachung genutzt werden können, trennt Diode D5 den Lade-Kondensator C8 von der Greitz-Brücke. Die Widerstände R11 und R12 sowie Kondensator C10 sorgen für die Triggerspannung U_{Tr} , die wie bei den vorigen Versionen mittels der 4 CMOS-Gatter verarbeitet werden. Die ganze Anordnung ist einfach und funktioniert zuverlässig.

Diode 8 sorgt dafür, dass U_{Tr} nicht wesentlich größer als U_{b1} (12 V) werden kann. An dieser Stelle ist eine Schottky-Diode wegen ihrer geringeren Durchlass-Spannung günstig.

Aufbau der Trafo-Platine V12

Auch bei dieser Version 12 wird eine Universal-Lochplatte verwendet. Die Bestückung erfolgte mit mehr Sicherheitsabständen im 230V-Teil im Vergleich zur Platine Version 8. Dies ist durch den Wegfall des Netzfilters möglich. Die nötige Isolationsfestigkeit für die 230V-Leiterzüge wird durch Entfernen (Ausbohren) der Löttaugen-Kupferfläche erzielt. Beim Einbau der Baugruppe sollte eine zusätzliche Plastikabdeckung die zufällige Berührung mit der gesamten Schaltung verhindern.



Anordnung des Widerstandes R3 zusammen mit den Thermosicherungen F3 und F3a

Für mehr Sicherheit im Fehlerfall sind zwei Thermosicherungen in Reihe geschaltet. Besondere Beachtung verdient auch hier die Anordnung des Widerstandes R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit diesen Thermosicherungen. Die Sicherungen müssen mit R3 thermisch gekoppelt sein. Nur so löst eine Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

Fazit

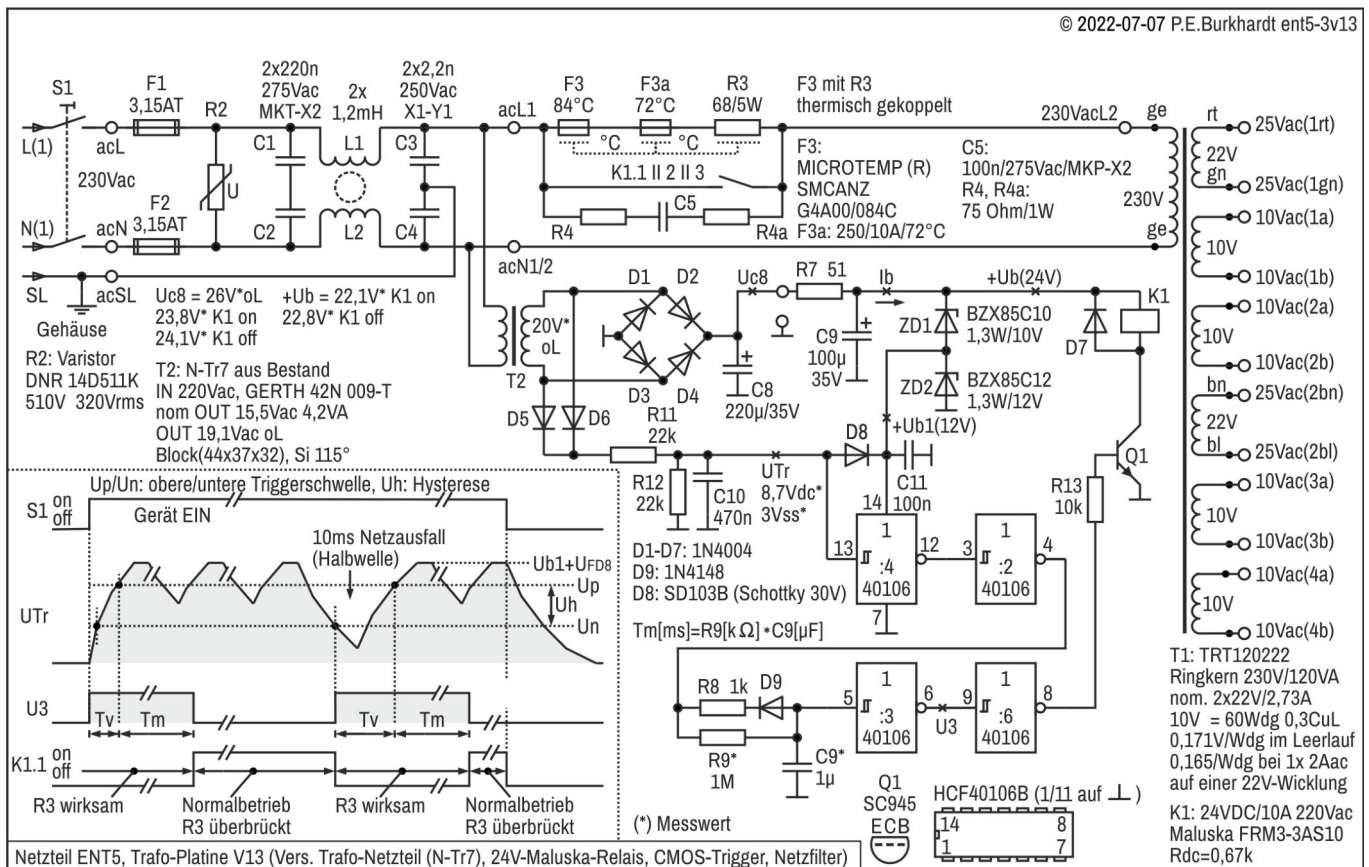
Diese Variante V12 mit einem Kondensator-Netzteil direkt an der 230V-Netzspannung ist durch Wegfall des Netzfilters mit großen Sicherheitsabständen zwischen den 230V-Leitungen aufgebaut. Nachteilig ist, dass die gesamte Schaltung auf Netzpotential liegt. Das C-NT wurde optimiert, ohne den Aufwand zu vergrößern. Gegenüber der Variante V9 mit 5V-IC konnte durch einen 12V-IC für den CMOS-Trigger die Erzeugung der IC-Versorgung vereinfacht werden.

Trafo-Platine V13 (24V-Tr5-NT, CMOS-Tr)

Version 13 ist mit Netzfilter und vor allem mit einem stärkeren Steuertrafo, da diese Ringkern-Trafo-Platine für ein Netzgerät vorgesehen ist, das die 24V-Steuerspannung zur Lüfterregelung benötigt. Da hier wieder ein Trafo für die Relais-Steuerung verwendet wird, gibt es keine Berührungsschutz-Probleme im Vergleich zum C-Netzteil.

Wesentliche Merkmale

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Widerstand 68 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit 2 kaskadierten thermischen Sicherungen, die bei 84°C und 74°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen den Temperatur-Sicherungen und dem Schutzwiderstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und den Thermosicherungen, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Triggerung schon bei weniger als 10 ms Netzausfall durch separate Erzeugung des Triggersignals
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit getriggertem Digital-IC
- Trafo-Netzteil zur Relais-Versorgung mit 24 Vdc, 12V-IC-Versorgung mit Z-Diode für den CMOS-Trigger
- Rohspannung 24 Vdc für externe Verwendung, max. mit 50 mA belastbar



Schaltungsbeschreibung

Trafo-Netzteil

Die mit dem Trafo erzielte Gleichspannung reicht bequem für das 24V-Maluska-Relais. Die Begrenzung erfolgt mit 2 Z-Dioden 10 V und 12 V, wobei gleichzeitig die Versorgungsspannung +Ub1 für den mit 12 V betriebenen CMOS-Trigger entsteht.

Die von der Greutz-Brücke D1-D4 gelieferte Rohspannung ist über 2 Lötposts extern verfügbar. Da die 24V-Relais-Steuerung galvanisch gesehen völlig autark arbeitet, kann die Rohspannung im Regelteil eines Netzgerätes an beliebiger Stelle Verwendung finden.

Der Steuertrafo T2 ist zwar etwas groß und für diese Anwendung hier überdimensioniert, doch er hat den Vorteil der sehr geringen Wärmeentwicklung. Außerdem ist er mit einer Cu-Schirmwicklung versehen, da in der ursprünglichen Anwendung im Video-Aufbereitungsgerät ein sehr geringes Streufeld gefordert war.

Trigger und Einschaltverzögerung mit dem Digital-IC HCF40106B

Die Schaltung mit den 4 NEGATOR-Gattern ist an Einfachheit kaum noch zu unterbieten. Natürlich eignen sich auch 4 andere beliebige CMOS-Negatoren, der eingesetzte Schaltkreis war gerade vorhanden, zwei Gatter sind unbenutzt. Hauptsache ist, die Gatter haben Trigger-Eingänge, da an zwei Stellen mit schleichender Spannung angesteuert wird.

Das erste Gatter IC1:4 tastet die Spannung UTr über dem Kondensator C10 ab und wechselt seinen Ausgang von H nach L, sobald die untere Triggerschwelle Un überschritten wird. Gatter 3 arbeitet mit seinem vorgeschalteten Netzwerk (R9, C9, R8, D9) als Monoflop und ist somit für die Einschaltverzögerung des Relais verantwortlich.

Die Rippelspannung von 100 Hz über dem Kondensator C10 ist gleichzeitig die Triggerspannung UTr für das erste Gatter und wird über die zwei Dioden D5 und D6 vom Trafo geliefert. Der Spannungsteiler R11-R12 sorgt einerseits für die richtigen Spannungsverhältnisse zwischen Normalbetrieb und Netzspannungsausfall, andererseits im Zusammenhang mit dem Wert von C10 für die richtige Zeitkonstante, damit auch wirklich schon nach weniger als 10 ms Netzausfall Gatter 4 getriggert wird.

Die Schottky-Diode D8 gegen +Ub1 sorgt dafür, dass das Triggersignal UTr am Gatter-Eingang (Negator 4) nicht wesentlich größer als +Ub1 selbst werden kann. Notfalls kann auch eine normale 1N4148 eingesetzt werden.

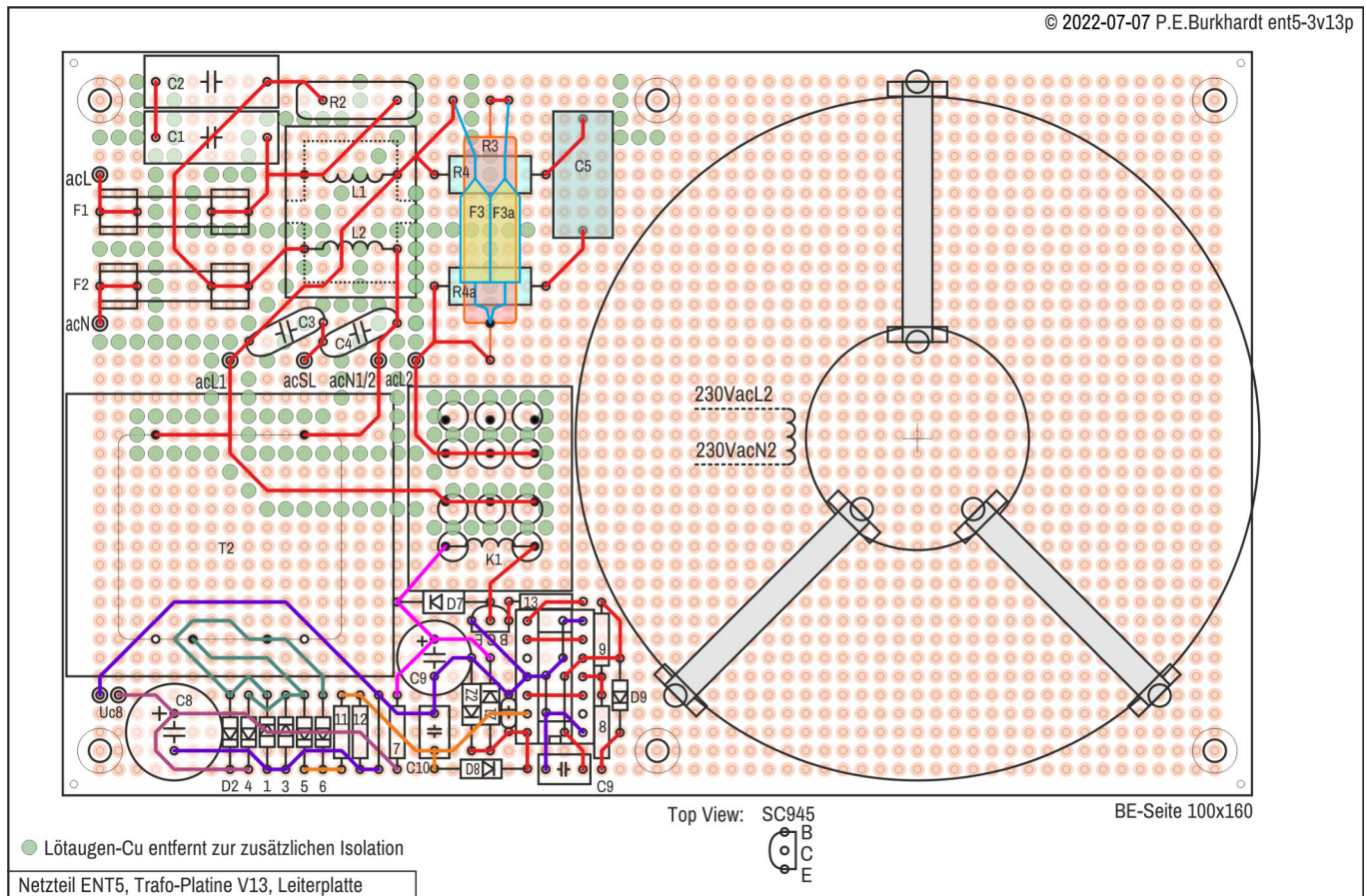
Mit jedem L/H-Sprung am Ausgang des Gatters 2 (Pin 4), der durch die Triggerung des Gatters 4 verursacht wurde, beginnt die Aktivzeit des Monoflops mit Gatter 3. Sie ist mit R9 und C9 einstellbar und bestimmt die Verzögerungszeit, bis das Relais beim Einschalten des Geräts mit S1 seinen Kontakt K1.1 schließt und somit den Begrenzungswiderstand R3 überbrückt. Das ist dann der Normalbetrieb des Geräts.

D9 und R8 sorgen für eine kurze Wiederbereitschaftszeit. Das Nachtriggern erfolgt einfach durch Nachladen des Kondensators C9 über R9. Sobald eine Netzhalbwelle ausfällt (oder mehrere oder die Netzspannung dauernd), beginnt die Verzögerungszeit Tm neu und damit die Strombegrenzung mit Widerstand R3, da Relais-Kontakt K1.1 nicht angezogen ist.

Gatter 6 dient der Impulsformung (bei anderer Schaltungsauslegung auch entbehrlich), Transistor Q1 als Treiber für das Relais K1. Gatter 1 und 5 bleiben unbenutzt. Deren Eingänge müssen CMOS-bedingt ein definiertes Potential haben und liegen deshalb auf GND.

Aufbau der Trafo-Platine V13

Auch bei dieser Version 13 wird eine Universal-Lochplatte verwendet. Die Bestückung ist im Steuerteil relativ eng, da der große Trafo viel Raum fordert. Für ein Netzfilter war trotzdem noch Platz. Im 230V-Schaltungsteil wird durch Entfernen (Ausbohren) verschiedener Löttaugen-Kupferflächen die nötige Isolationsfestigkeit erzielt. Beim Einbau der Baugruppe sollte eine zusätzliche Plastikabdeckung die zufällige Berührung mit dem auf Netzpotential liegenden Schaltungsteil verhindern.



Anordnung des Widerstandes R3 zusammen mit den Thermosicherungen F3 und F3a

Für mehr Sicherheit im Fehlerfall sind zwei Thermosicherungen in Reihe geschaltet. Besondere Beachtung verdient auch hier die Anordnung des Widerstandes R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit diesen Thermosicherungen. Die Sicherungen müssen mit R3 thermisch gekoppelt sein. Nur so löst eine Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

Fazit

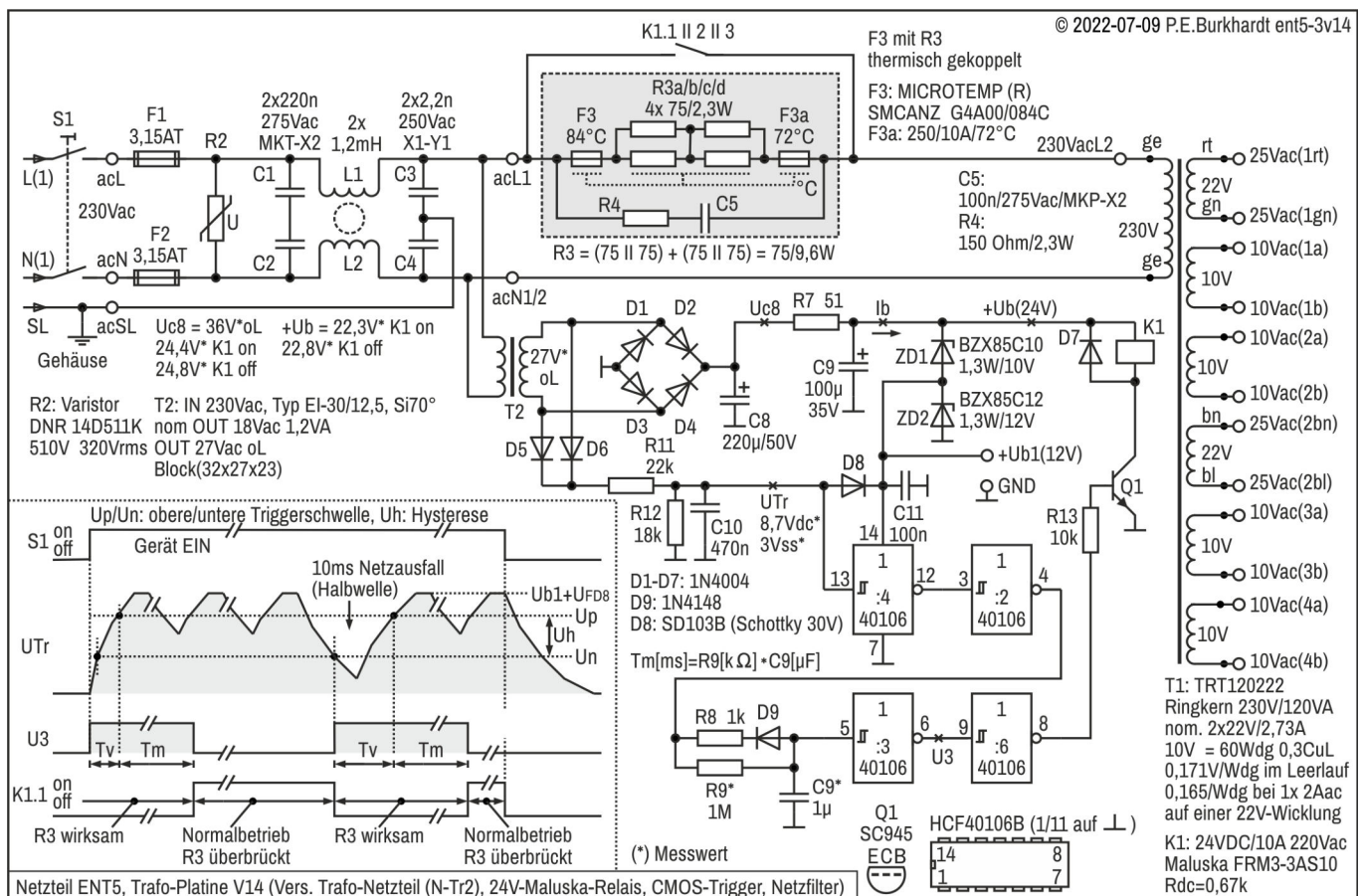
Diese Variante V13 mit einem Trafo-Netzteil ist zumindest im Niederspannungsteil bezüglich Berührungsschutz unproblematisch. Der relativ starke Trafo liefert eine extern nutzbare Rohspannung.

Trafo-Platine V14 (24V-Tr5-NT, CMOS-Tr)

Da die Schaltung zur Einschaltstrombegrenzung nebst 120VA-Ringtrafo auch auf einer kleineren Lochrasterplatte (100 x 150) Platz finden sollte, musste die Schaltung geändert werden. Es entstand die Version 14 mit einem kleineren 1,2VA-Steuertrafo. Außerdem ist jetzt der Strombegrenzungswiderstand R3 zusammen mit den Thermosicherungen auf einer kleinen Platine montiert. Die senkrechte Montage dieser Platine auf der Hauptplatine ist platzsparend, aber aufwendiger im Vergleich zu Version 13.

Wesentliche Merkmale

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Widerstand 75 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit 2 kaskadierten thermischen Sicherungen, die bei 84°C und 74°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen den Temperatur-Sicherungen und dem Schutzwiderstand, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und den Thermosicherungen, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Triggerung schon bei weniger als 10 ms Netzausfall durch separate Erzeugung des Triggersignals
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit getriggertem Digital-IC
- Trafo-Netzteil zur Relais-Versorgung mit 24 Vdc, 12V-IC-Versorgung mit Z-Diode für den CMOS-Trigger
- Rohspannung 12 Vdc für externe Verwendung, max. mit 3 mA belastbar
- Separate Platine für R3, F3 und den Kontaktschutz R4/C5
- Verkleinerte Hauptplatine 100 x 150 gegenüber Euro-Format 100 x 160



Schaltungsbeschreibung

Trafo-Netzteil

Die mit dem Trafo erzielte Gleichspannung reicht bequem für das 24V-Maluska-Relais trotz des kleineren Trafos mit einer nominalen Leistung von 1,2 VA. Wesentlicher Vorteil dieses Trafos ist seine geringe Größe. Der 4,2VA-Trafo aus Schaltungsversion 13 wäre zu groß gewesen.

Die nominals 24V-Spannung +Ub wird mit 2 Z-Dioden 10 V und 12 V begrenzt, wobei gleichzeitig die Versorgungsspannung +Ub1 für den mit 12 V betriebenen CMOS-Trigger entsteht.

Die 12V-Spannung +Ub1 ist über 2 Lötposten extern verfügbar. Allerdings sollte dieser Anschluss nur mit maximal 3 mA belastet werden. Das reicht aber zur Versorgung eines 200mV-Anzeige-Panels aus. Diese Panels benötigen eine galvanisch getrennte Versorgung von 9 V bei ca. 0,5 mA. Da die Spannung +Ub bzw. +Ub1 nur auf der hier beschriebenen Platine verwendet wird, ist die galvanische Trennung von der restlichen Netzgeräte-Schaltung gegeben.

Der 1,2VA-Steuertrafo T2 reicht für die beschriebene Anwendung aus und wird auch bei Betrieb über Nacht nur handwarm. Eine interne Thermosicherung (70°C) schützt im Fehlerfall, eine zusätzliche Schmelzsicherung ist entbehrlich.

Trigger und Einschaltverzögerung mit dem Digital-IC HCF40106B

Die Schaltung mit den 4 NEGATOR-Gattern ist an Einfachheit kaum noch zu unterbieten. Natürlich eignen sich auch 4 andere beliebige CMOS-Negatoren, der eingesetzte Schaltkreis war gerade vorhanden, zwei Gatter sind unbenutzt. Hauptsache ist, die Gatter haben Trigger-Eingänge, da an zwei Stellen mit schleichender Spannung angesteuert wird.

Das erste Gatter IC1:4 tastet die Spannung UTr über dem Kondensator C10 ab und wechselt seinen Ausgang von H nach L, sobald die untere Triggerschwelle Un überschritten wird. Der Spannungsteiler R11-R12 musste angepasst werden, da die Leerlaufspannung des verwendeten Trafos 27 Vac war, bei Nennlast 18 Vac.

Gatter 3 arbeitet mit seinem vorgeschalteten Netzwerk (R9, C9, R8, D9) als Monoflop und ist somit für die Einschaltverzögerung des Relais verantwortlich.

Die Rippelspannung von 100 Hz über dem Kondensator C10 ist gleichzeitig die Triggerspannung UTr für das erste Gatter und wird über die zwei Dioden D5 und D6 vom Trafo geliefert. Der Spannungsteiler R11-R12 sorgt einerseits für die richtigen Spannungsverhältnisse zwischen Normalbetrieb und Netzspannungsausfall, andererseits im Zusammenhang mit dem Wert von C10 für die richtige Zeitkonstante, damit auch wirklich schon nach weniger als 10 ms Netzausfall Gatter 4 getriggert wird.

Die Schottky-Diode D8 gegen +Ub1 sorgt dafür, dass das Triggersignal UTr am Gatter-Eingang (Negator 4) nicht wesentlich größer als +Ub1 selbst werden kann. Notfalls kann auch eine normale 1N4148 eingesetzt werden.

Mit jedem L/H-Sprung am Ausgang des Gatters 2 (Pin 4), der durch die Triggerung des Gatters 4 verursacht wurde, beginnt die Aktivzeit des Monoflops mit Gatter 3. Sie ist mit R9 und C9 einstellbar und bestimmt die Verzögerungszeit, bis das Relais beim Einschalten des Geräts mit S1 seinen Kontakt K1.1 schließt und somit den Begrenzungswiderstand R3 überbrückt. Das ist dann der Normalbetrieb des Geräts.

D9 und R8 sorgen für eine kurze Wiederbereitschaftszeit. Das Nachtriggern erfolgt einfach durch Nachladen des Kondensators C9 über R9. Sobald eine Netzhalbwellen ausfällt (oder mehrere oder die Netzspannung dauernd), beginnt die Verzögerungszeit Tm neu und damit die Strombegrenzung mit Widerstand R3, da Relais-Kontakt K1.1 nicht angezogen ist.

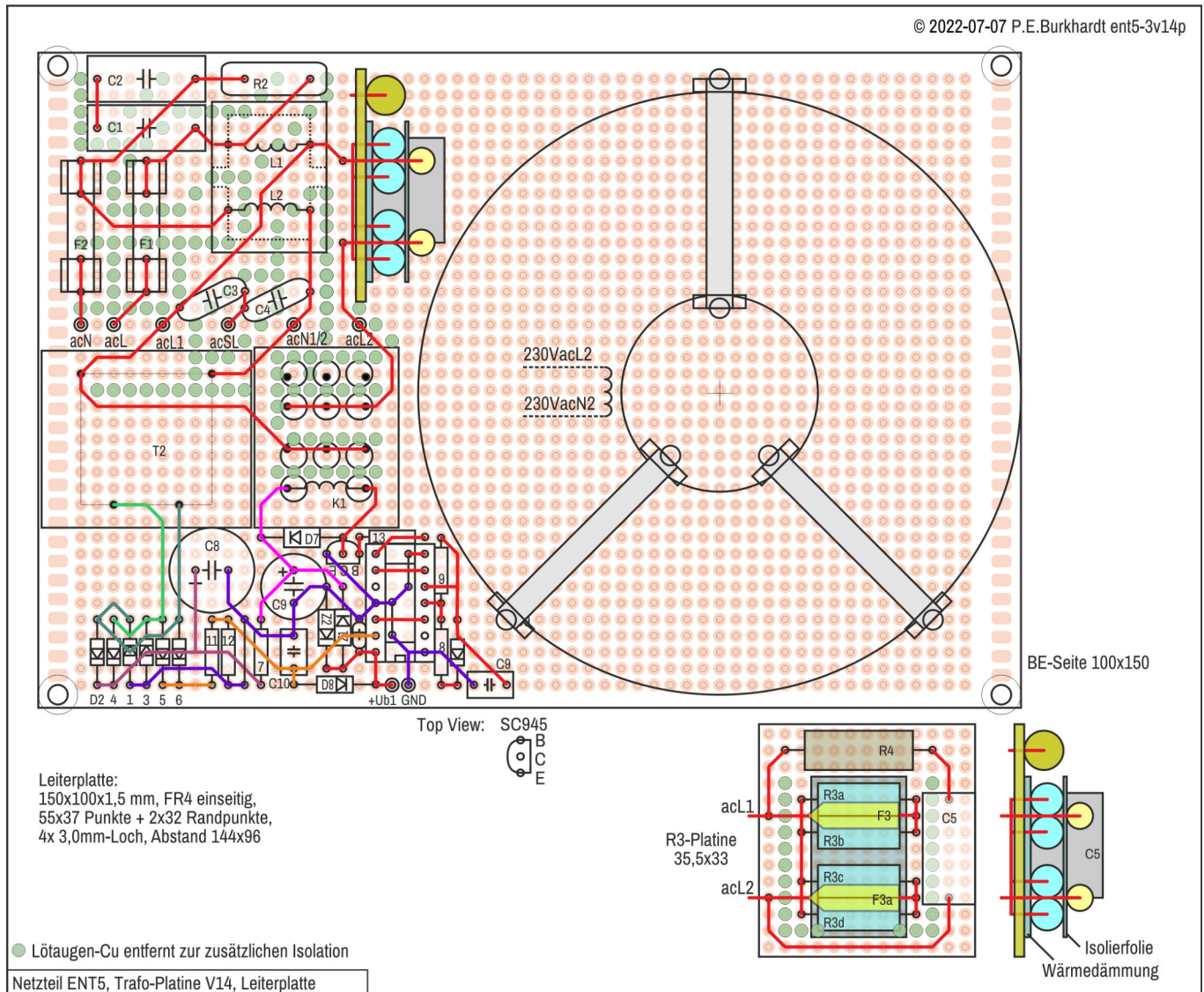
Gatter 6 dient der Impulsformung (bei anderer Schaltungsauslegung auch entbehrlich), Transistor Q1 als Treiber für das Relais K1. Gatter 1 und 5 bleiben unbenutzt. Deren Eingänge müssen CMOS-bedingt ein definiertes Potential haben und liegen deshalb auf GND.

Aufbau der Trafo-Platine V14

Auch bei dieser Version 14 wird eine Universal-Lochplatte verwendet, allerdings nicht im Euro-Format sondern im etwas kleineren Format 100 x 150. Die Bestückung ist entsprechend angepasst. Trotz des kleineren Steuertrafos musste aber für Begrenzungswiderstand R3 nebst Thermosicherungen eine senkrecht stehende kleine Platine konstruiert werden. Maße, Bestückung und Anordnung sind im Bild ersichtlich.

Für ein Netzfilter war trotzdem noch Platz. Im 230V-Schaltungsteil wird durch Entfernen (Ausbohren) verschiedener Lötäugen-Kupferflächen die nötige Isolationsfestigkeit erzielt. Beim Einbau der Baugruppe sollte eine zusätzliche Plastikabdeckung die zufällige Berührung mit dem auf Netzpotential liegenden Schaltungsteil verhindern.

Trafo-Platine V14

**Anordnung des Widerstandes R3 zusammen mit den Thermosicherungen F3 und F3a**

Für mehr Sicherheit im Fehlerfall sind zwei Thermosicherungen in Reihe geschaltet. Besondere Beachtung verdient auch hier die Anordnung des Widerstandes R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit diesen Thermosicherungen. Die Sicherungen müssen mit R3 thermisch gekoppelt sein. Nur so löst eine Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird.

Schutzwiderstand R3 besteht aus 4 Einzelwiderständen zu 75 Ohm, die in einer Reihen-Parallel-Schaltung wieder 75 Ohm ergeben. Diese Widerstände waren gerade vorhanden und dienen als Träger für die beiden Thermosicherungen F3 und F3a. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist eine Folie zur Wärmedämmung nötig.

Nachteilig ist aber, dass insgesamt 2 Isolierfolien nötig sind. Die untere etwa 1 mm dicke Folie dient der Wärmedämmung zwischen den 4 Widerständen R3 und der Leiterplatte. Die obere dünnere Folie isoliert elektrisch die Metallgehäuse der Thermosicherungen von den R3-Widerständen. Diese Folie sollte also die Wärme gut leiten.

Fazit

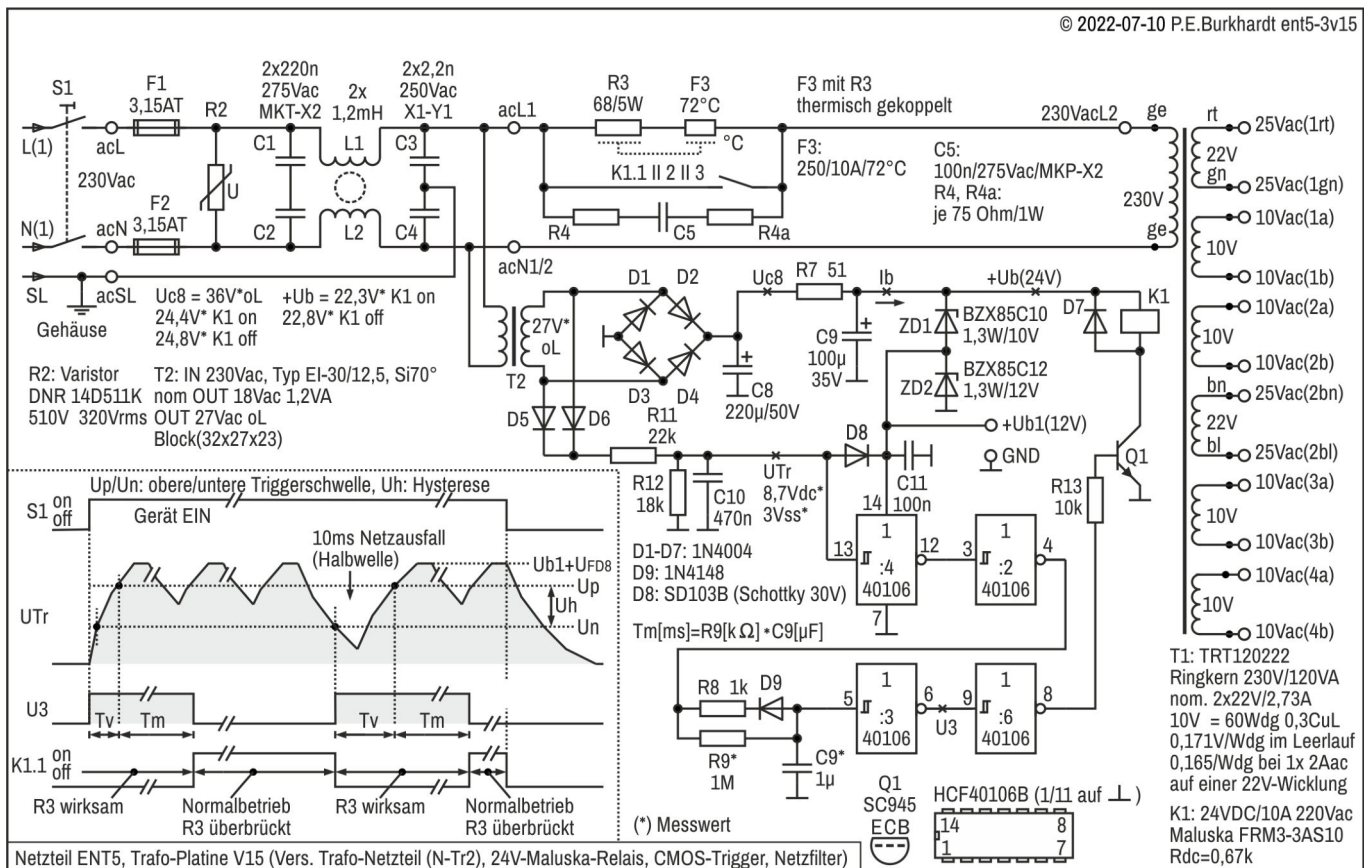
Diese Variante V14 mit Trafo-Netzteil und Sub-Platine für R3 hat zwar auf der verkleinerten Lochrasterplatte noch Platz, ist aber wegen der R3-Sub-Platine relativ aufwendig.

Trafo-Platine V15 (24V-Tr6-NT, CMOS-Tr)

Die Schaltung zur Einschaltstrombegrenzung nach Version V15 vermeidet die R3-Sub-Platine, wie sie in V14 beschrieben ist.

Wesentliche Merkmale

- Sicherung 2x 3,15 A träge, damit guter Schutz des Netzgerätes
- Varistor R2 in der Netzzuleitung zur Begrenzung von Netz-Überspannungen
- Widerstand 75 Ω zur Einschaltstrombegrenzung in Reihe mit einer thermischen Sicherungen, die bei 74°C auslöst
- Thermischer Kontakt zwischen der Temperatur-Sicherung und dem Schutzwiderstand R3, um bei Widerstandsüberlastung die Netzversorgung abzuschalten
- Relais-Kontakt parallel zum Begrenzungswiderstand und der Thermosicherung, um verzögert nach dem Einschalten den Trafo mit der nominalen Netzspannung zu versorgen
- RC-Schutzbeschaltung für den Relais-Kontakt gegen vorzeitigen Verschleiß
- Triggerung schon bei weniger als 10 ms Netzausfall durch separate Erzeugung des Triggersignals
- Einschaltverzögerung für das Relais über C-Aufladung mit getriggertem Digital-IC
- Trafo-Netzteil zur Relais-Versorgung mit 24 Vdc, 12V-IC-Versorgung mit Z-Diode für den CMOS-Trigger
- Rohspannung 12 Vdc für externe Verwendung, max. mit 3 mA belastbar
- Verkleinerte Hauptplatine 100 x 150 gegenüber Euro-Format 100 x 160



Schaltungsbeschreibung

Trafo-Netzteil

Die mit dem Trafo erzielte Gleichspannung reicht bequem für das 24V-Maluska-Relais trotz des kleineren Trafos mit einer nominalen Leistung von 1,2 VA. Wesentlicher Vorteil dieses Trafos ist seine geringe Größe. Der 4,2VA-Trafo aus Schaltungsversion 13 wäre zu groß gewesen.

Die 24V-Spannung +U_b wird mit 2 Z-Dioden 10 V und 12 V begrenzt, wobei gleichzeitig die Versorgungsspannung +U_{b1} für den mit 12 V betriebenen CMOS-Trigger entsteht.

Die 12V-Spannung +Ub1 ist über 2 Lötposten extern verfügbar. Allerdings sollte dieser Anschluss nur mit maximal 3 mA belastet werden. Das reicht aber zur Versorgung eines 200mV-Anzeige-Panels aus. Diese Panels benötigen eine galvanisch getrennte Versorgung von 9 V bei ca. 0,5 mA. Da die Spannung +Ub bzw. +Ub1 nur auf der hier beschriebenen Platine verwendet wird, ist die galvanische Trennung von der restlichen Netzgeräte-Schaltung gegeben.

Der 1,2VA-Steuertrafo T2 reicht für die beschriebene Anwendung aus und wird auch bei Betrieb über Nacht nur handwarm. Eine interne Thermosicherung (70°C) schützt im Fehlerfall, eine zusätzliche Schmelzsicherung ist entbehrlich.

Trigger und Einschaltverzögerung mit dem Digital-IC HCF40106B

Die Schaltung mit den 4 NEGATOR-Gattern ist an Einfachheit kaum noch zu unterbieten. Natürlich eignen sich auch 4 andere beliebige CMOS-Negatoren, der eingesetzte Schaltkreis war gerade vorhanden, zwei Gatter sind unbenutzt. Hauptsache ist, die Gatter haben Trigger-Eingänge, da an zwei Stellen mit schleichender Spannung angesteuert wird.

Das erste Gatter IC1:4 tastet die Spannung UTr über dem Kondensator C10 ab und wechselt seinen Ausgang von H nach L, sobald die untere Triggerschwelle Un überschritten wird. Der Spannungsteiler R11-R12 musste angepasst werden, da die Leerlaufspannung des verwendeten Trafos 27 Vac war, bei Nennlast 18 Vac.

Gatter 3 arbeitet mit seinem vorgeschalteten Netzwerk (R9, C9, R8, D9) als Monoflop und ist somit für die Einschaltverzögerung des Relais verantwortlich.

Die Rippelspannung von 100 Hz über dem Kondensator C10 ist gleichzeitig die Triggerspannung UTr für das erste Gatter und wird über die zwei Dioden D5 und D6 vom Trafo geliefert. Der Spannungsteiler R11-R12 sorgt einerseits für die richtigen Spannungsverhältnisse zwischen Normalbetrieb und Netzspannungsausfall, andererseits im Zusammenhang mit dem Wert von C10 für die richtige Zeitkonstante, damit auch wirklich schon nach weniger als 10 ms Netzausfall Gatter 4 getriggert wird.

Die Schottky-Diode D8 gegen +Ub1 sorgt dafür, dass das Triggersignal UTr am Gatter-Eingang (Negator 4) nicht wesentlich größer als +Ub1 selbst werden kann. Notfalls kann auch eine normale 1N4148 eingesetzt werden.

Mit jedem L/H-Sprung am Ausgang des Gatters 2 (Pin 4), der durch die Triggerung des Gatters 4 verursacht wurde, beginnt die Aktivzeit des Monoflops mit Gatter 3. Sie ist mit R9 und C9 einstellbar und bestimmt die Verzögerungszeit, bis das Relais beim Einschalten des Geräts mit S1 seinen Kontakt K1.1 schließt und somit den Begrenzungswiderstand R3 überbrückt. Das ist dann der Normalbetrieb des Geräts.

D9 und R8 sorgen für eine kurze Wiederbereitschaftszeit. Das Nachtriggern erfolgt einfach durch Nachladen des Kondensators C9 über R9. Sobald eine Netzhälfte ausfällt (oder mehrere oder die Netzspannung dauernd), beginnt die Verzögerungszeit Tm neu und damit die Strombegrenzung mit Widerstand R3, da Relais-Kontakt K1.1 nicht angezogen ist.

Gatter 6 dient der Impulsformung (bei anderer Schaltungsauslegung auch entbehrlich), Transistor Q1 als Treiber für das Relais K1. Gatter 1 und 5 bleiben unbenutzt. Deren Eingänge müssen CMOS-bedingt ein definiertes Potential haben und liegen deshalb auf GND.

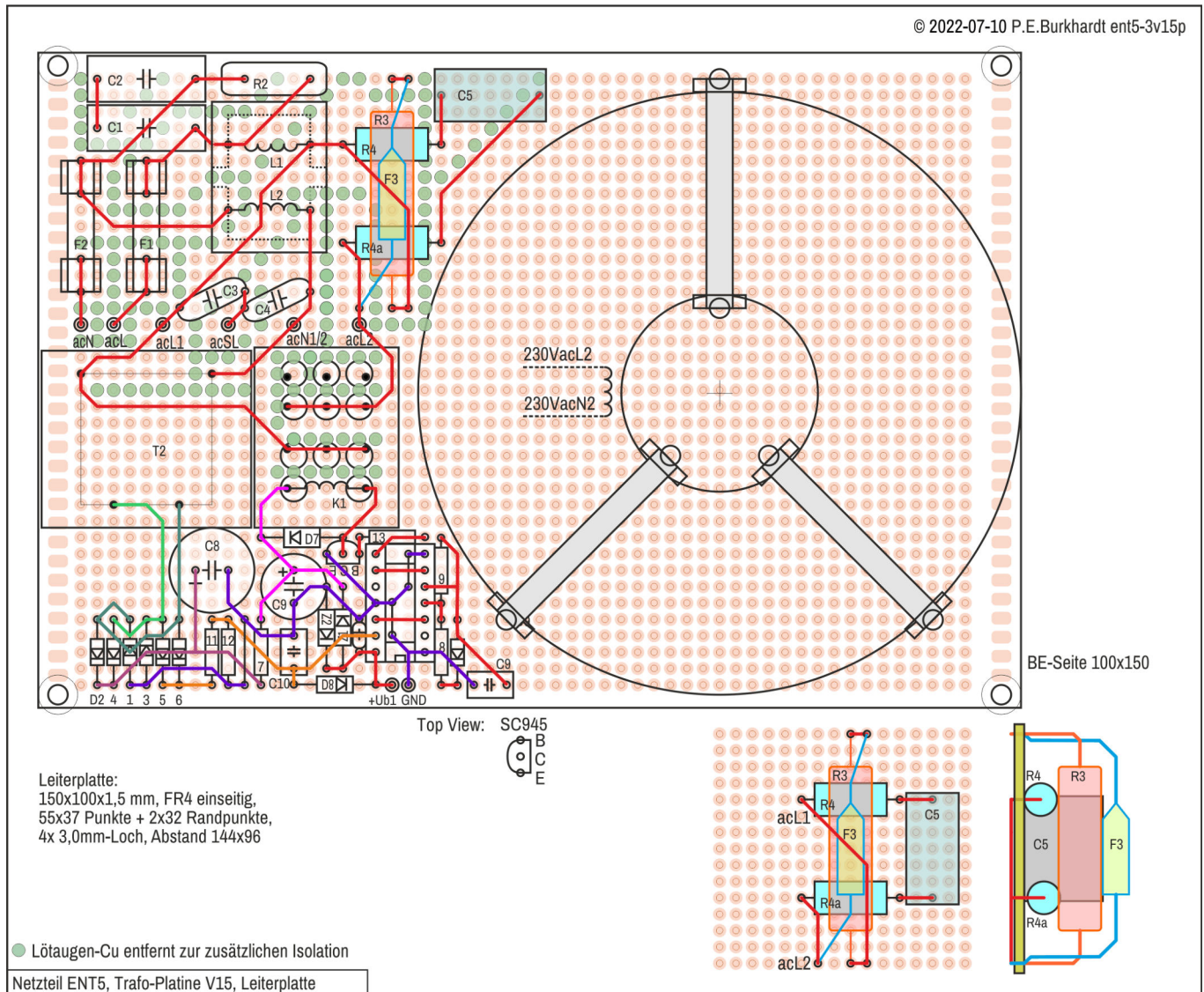
Aufbau der Trafo-Platine V15

Auch bei dieser Version 15 wird eine Universal-Lochplatte verwendet, allerdings nicht im Euro-Format sondern im etwas kleineren Format 100 x 150. Die Bestückung ist entsprechend angepasst.

Es wird nur eine Thermosicherung verwendet, als Begrenzungswiderstand dient ein Leistungswiderstand im Keramikgehäuse. Als Abstandshalter dienen die zwei Widerstände R4 und R4a, die in Reihe zum Funkenlöschkondensator C5 geschaltet sind. Dadurch ergibt sich ein Abstand von 4 mm zwischen Begrenzungswiderstand R3 und der Leiterplatte. Zusätzliche Isolierungen sind nicht nötig.

Für ein Netzfilter war auch noch Platz. Im 230V-Schaltungsteil wird durch Entfernen (Ausbohren) verschiedener Lötäugen-Kupferflächen die nötige Isolationsfestigkeit erzielt. Beim Einbau der Baugruppe sollte eine zusätzliche Plastikabdeckung die zufällige Berührung mit dem auf Netzpotential liegenden Schaltungsteil verhindern.

Trafo-Platine V15

**Anordnung des Widerstandes R3 zusammen mit der Thermosicherung F3**

Besondere Beachtung verdient die Anordnung des Widerstandes R3 zur Einschaltstrombegrenzung in Verbindung mit der Thermosicherung. Beide Bauelemente müssen thermisch gekoppelt sein. Nur so löst die Thermosicherung aus, wenn der Relais-Kontakt den Widerstand R3 nicht überbrücken sollte und dadurch R3 zu heiß wird. Schutzwiderstand R3 ist keramikummantelt. Damit R3 im Überlastfall die Leiterplatte nicht beschädigt (verschmort), ist er auf 2 Leistungswiderständen in etwa 4 mm Abstand von der Leiterplatte angeordnet.

Fazit

Diese Variante V15 mit der verkleinerten Lochrasterplatte 100 x 150 ist vorläufig die letzte finale Schaltung für die 120VA-Ringtrafo-Einschaltstrom-Begrenzung.

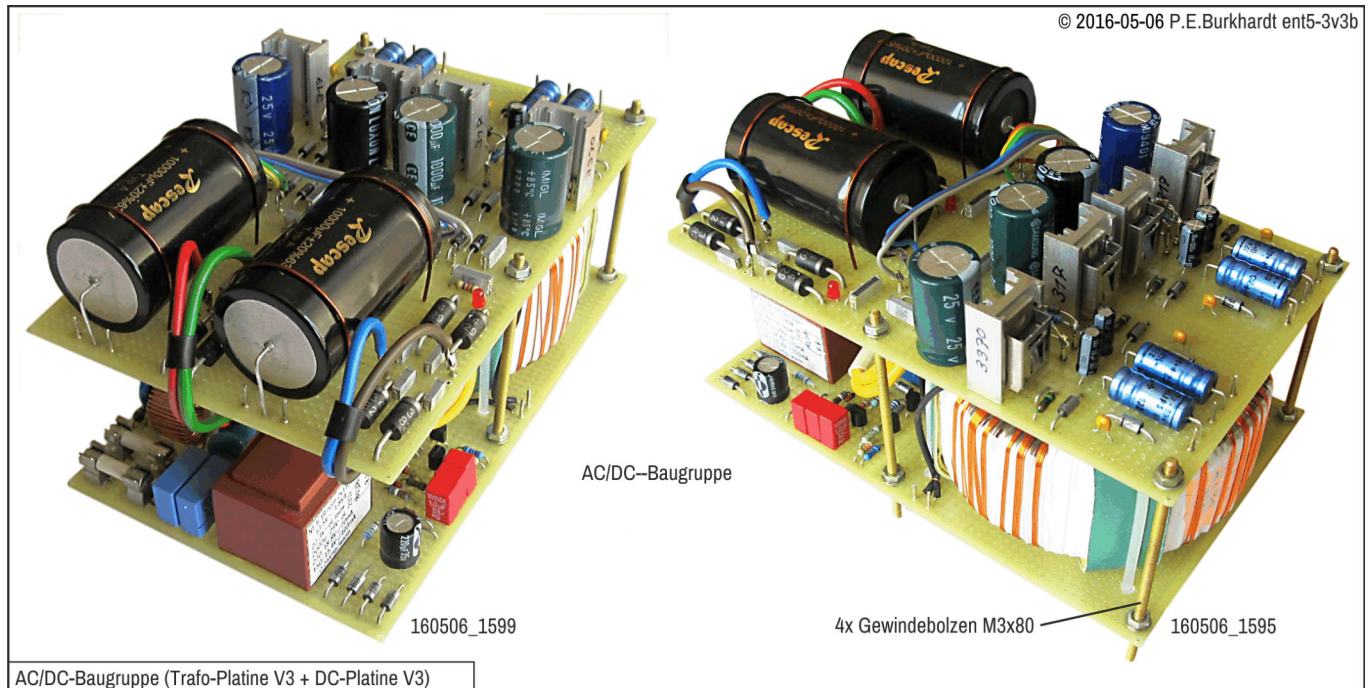
AC/DC-Baugruppen mit Ringtrafo

AC/DC-Baugruppe mit Trafo-Platine V3

Diese Baugruppe mit Ringkerntrafo und Gleichrichter wurde als Rohstromversorgung für ein Labor-Doppel-Netzgerät schon in 2016 entwickelt und gebaut. Der Trafo liefert alle Haupt- und Hilfsspannungen für die zweifache Spannungsregelung 0...30 V bei maximal 2 A.

Die Baugruppe besteht aus 2 übereinander gestapelten Euro-Platinen. Die untere Trafo-Platine enthält den Ringkern-Trafo sowie Netzfilter und die stufenweise Netzeinschaltung nebst Steuerung. Die obere Platine ist für Gleichrichtung und Siebung zuständig. Sie enthält zusätzlich noch 4 Regelschaltungen für die Hilfsspannungen.

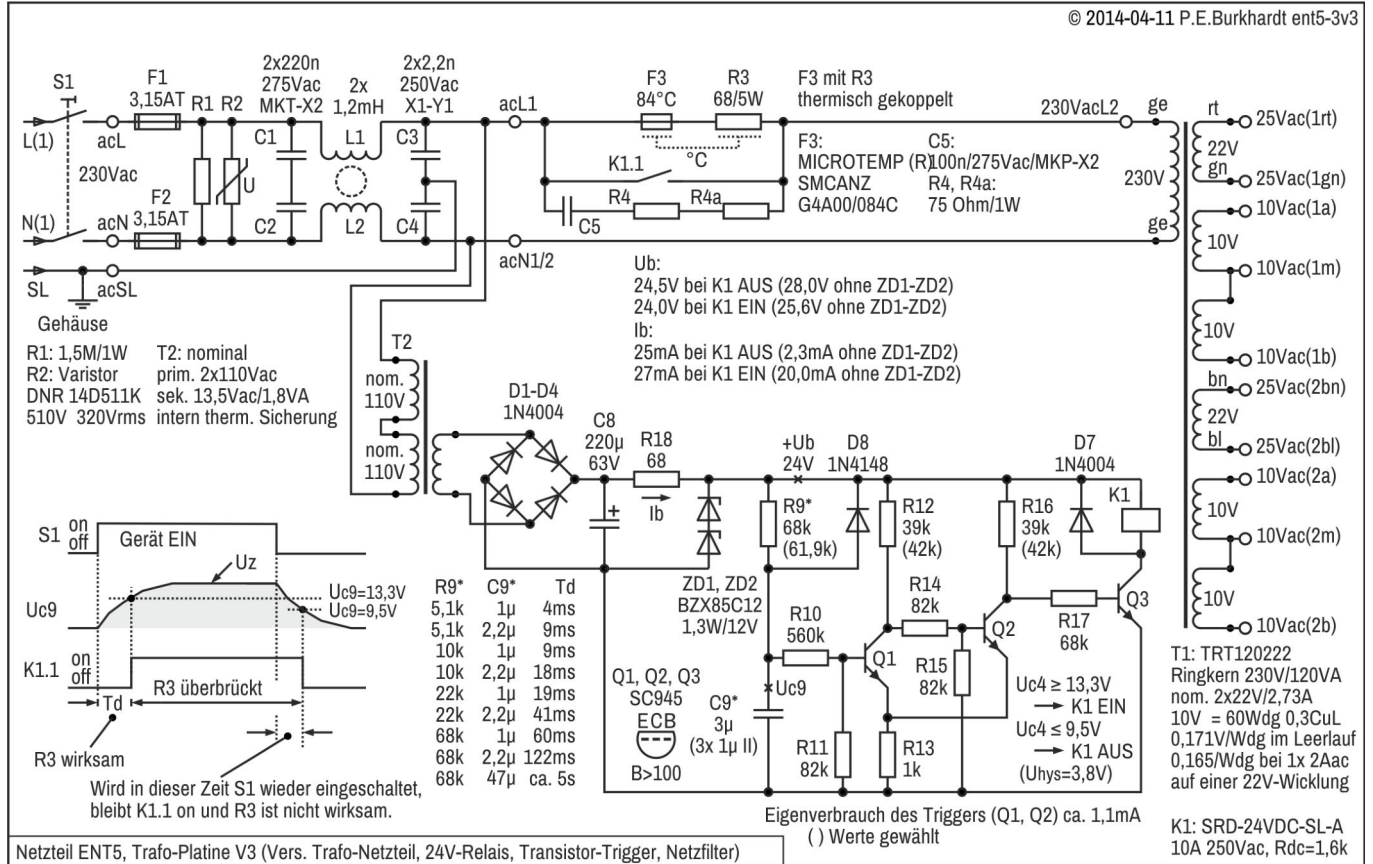
Ansicht der AC/DC-Baugruppe



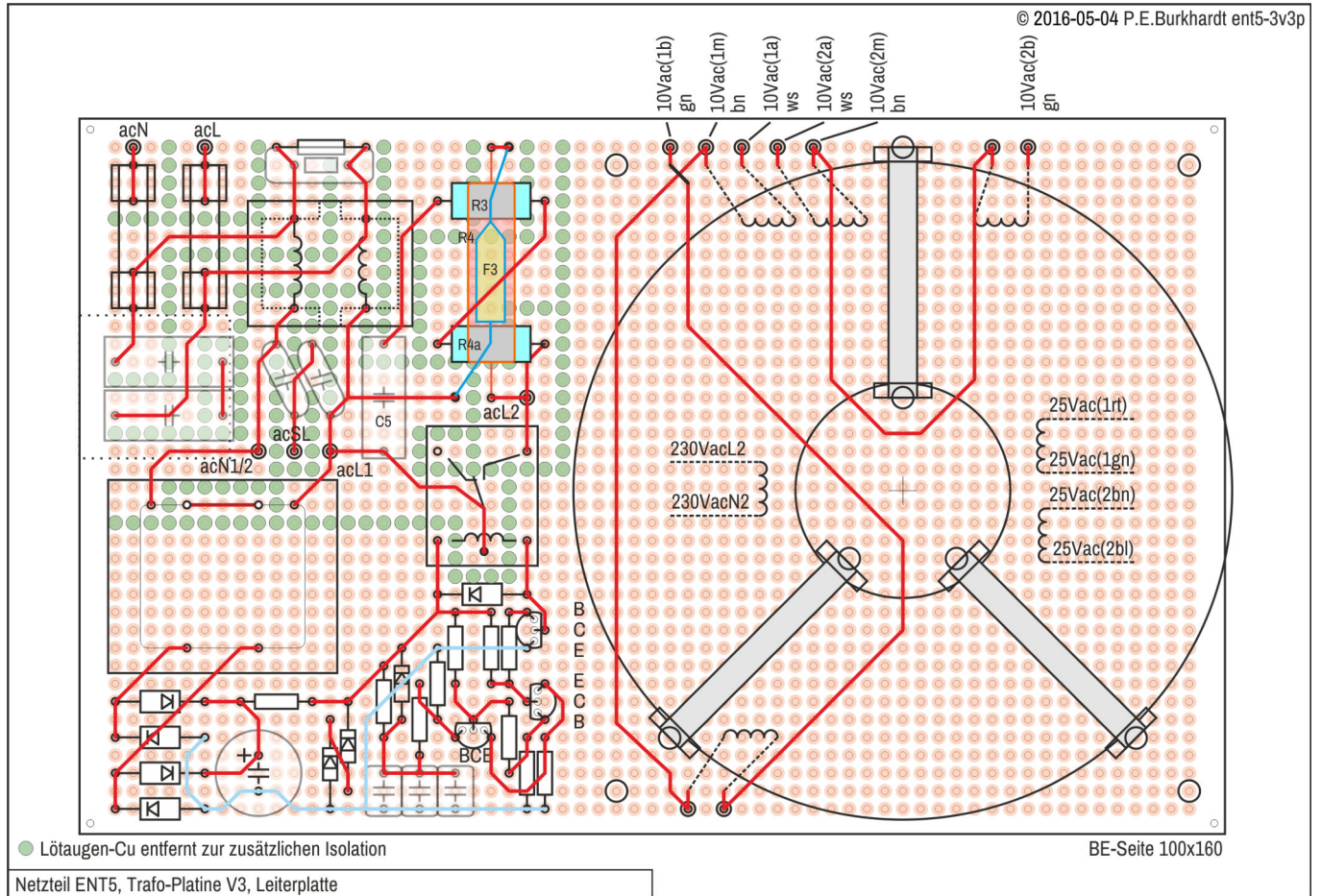
Trafo-Platine nach V3

Die Trafo-Platine nach Version 3 wurde schon weiter oben unter "Trafo-Platine V3 (24V-Trafo-NT, Trigger)" beschrieben. Im Folgenden sind nur die Schaltung, der Leiterplatten-Entwurf und die fertige Trafo-Platine dargestellt.

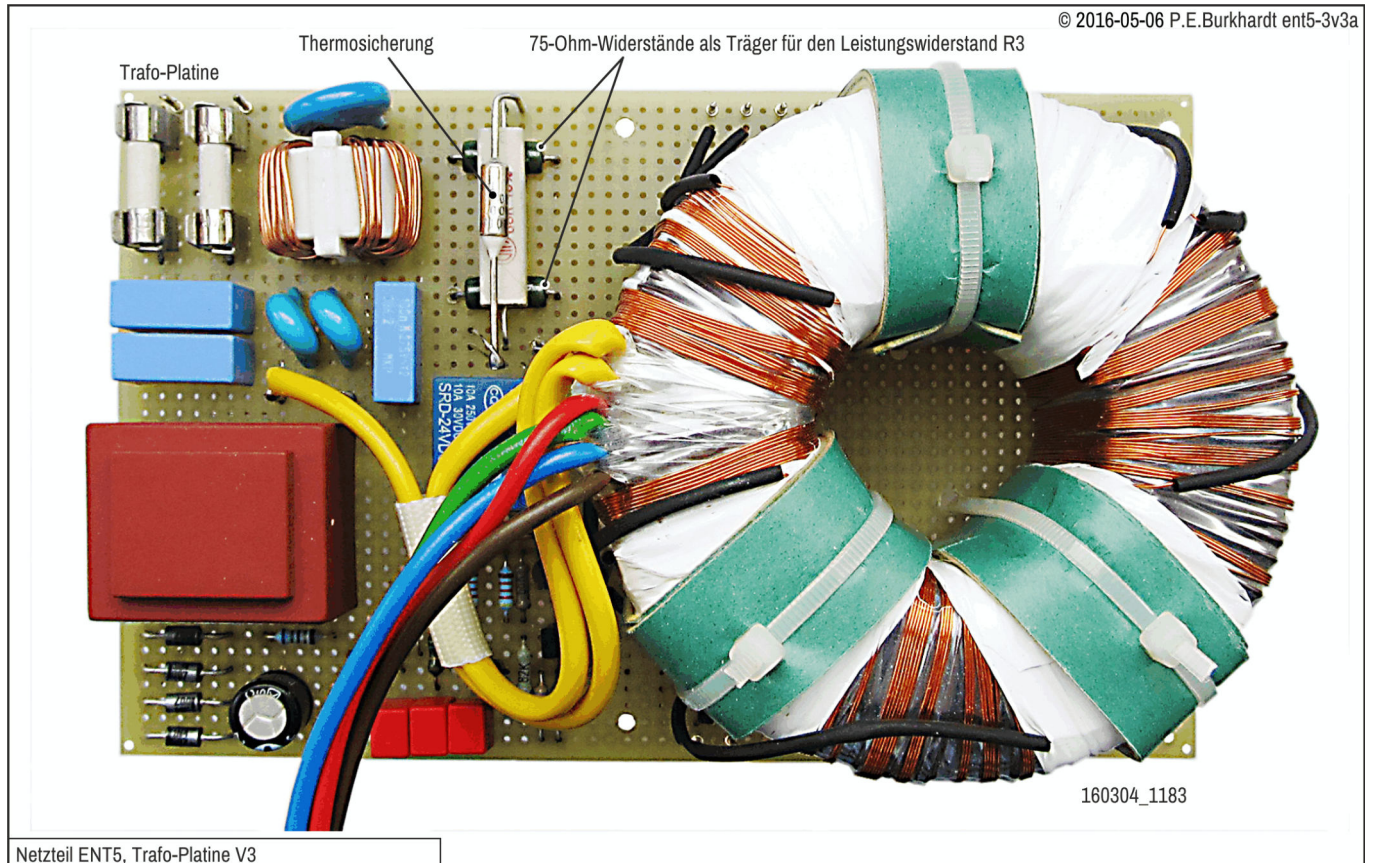
Trafo-Platine V3, Schaltung



Trafo-Platine V3, Leiterplatte

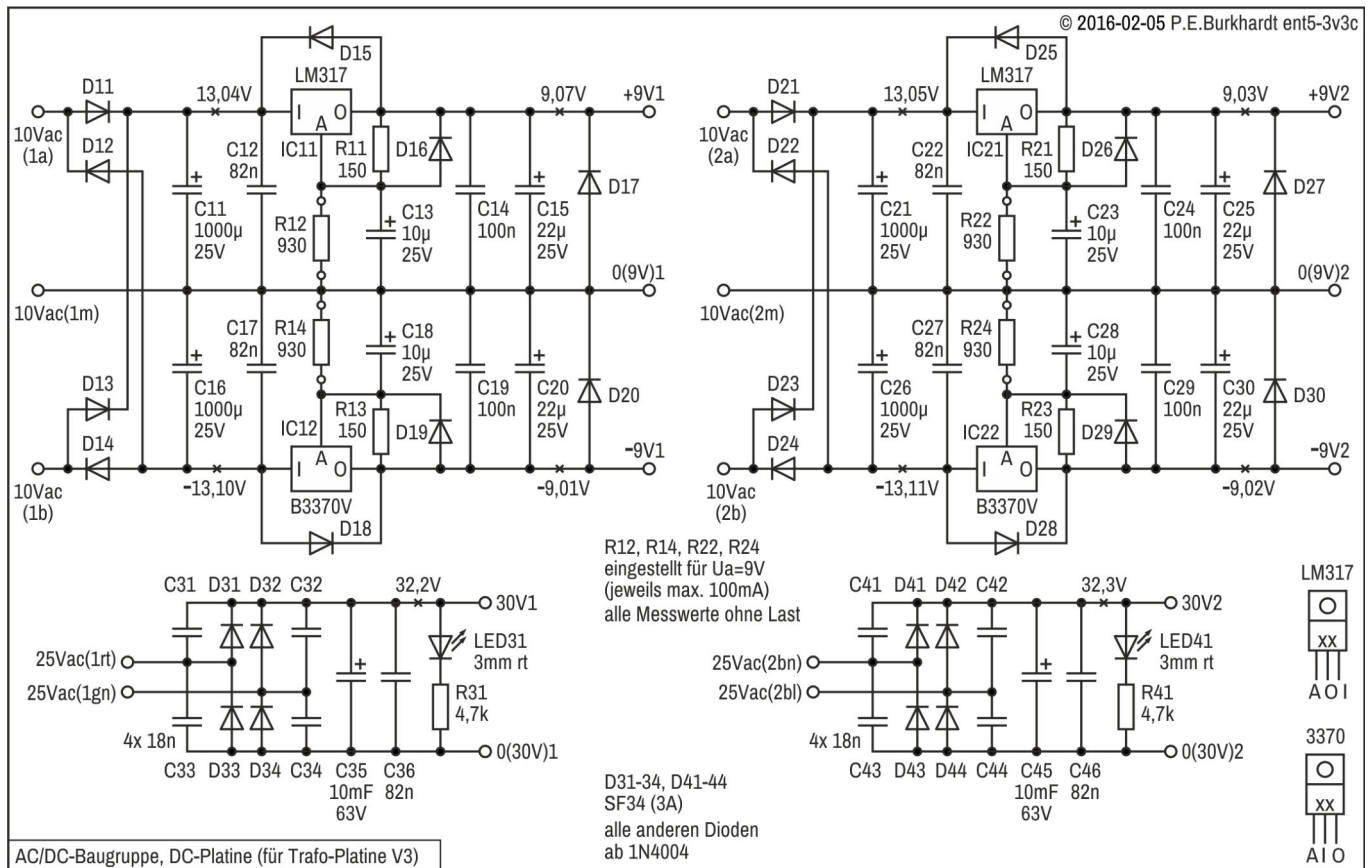


Trafo-Platine V3, Aufbau



DC-Platine für Trafo-Platine V3

Die DC-Platine trägt die zwei Haupt-Brückengleichrichter mit Lade-Elko sowie 4 massesymmetrische Regelschaltungen mit je einem 9V-Ausgang.



Regelschaltungen

Jeweils 2 Hilfswicklungen des Trafos stellen über nur 4 Dioden die zwei massesymmetrischen Spannungen für die Opamps der Regler-Platine zur Verfügung. Die Wicklungen müssen bezüglich Phasenlage in Reihe geschaltet sein, damit diese Art der Zusammenschaltung auch funktioniert. Ist eine der Wicklungen parallel zur anderen geschaltet, ergeben sich nicht die gewünschten Rohspannungen für die Regler-ICs.

Zum Einstellen der Ausgangsspannung ist bei jedem Regler der Widerstand R_{x2} auf Lötstiften angeordnet. Somit sind keine störanfälligen Trimm-Potis nötig. Die C-Beschaltung entspricht den Empfehlungen im Datenblatt. Die Schutzdioden für den Adjust-Anschluss und über dem Regler sind eigentlich für die vorgesehene Anwendung der Baugruppe nicht nötig, sie schaden aber auch nicht.

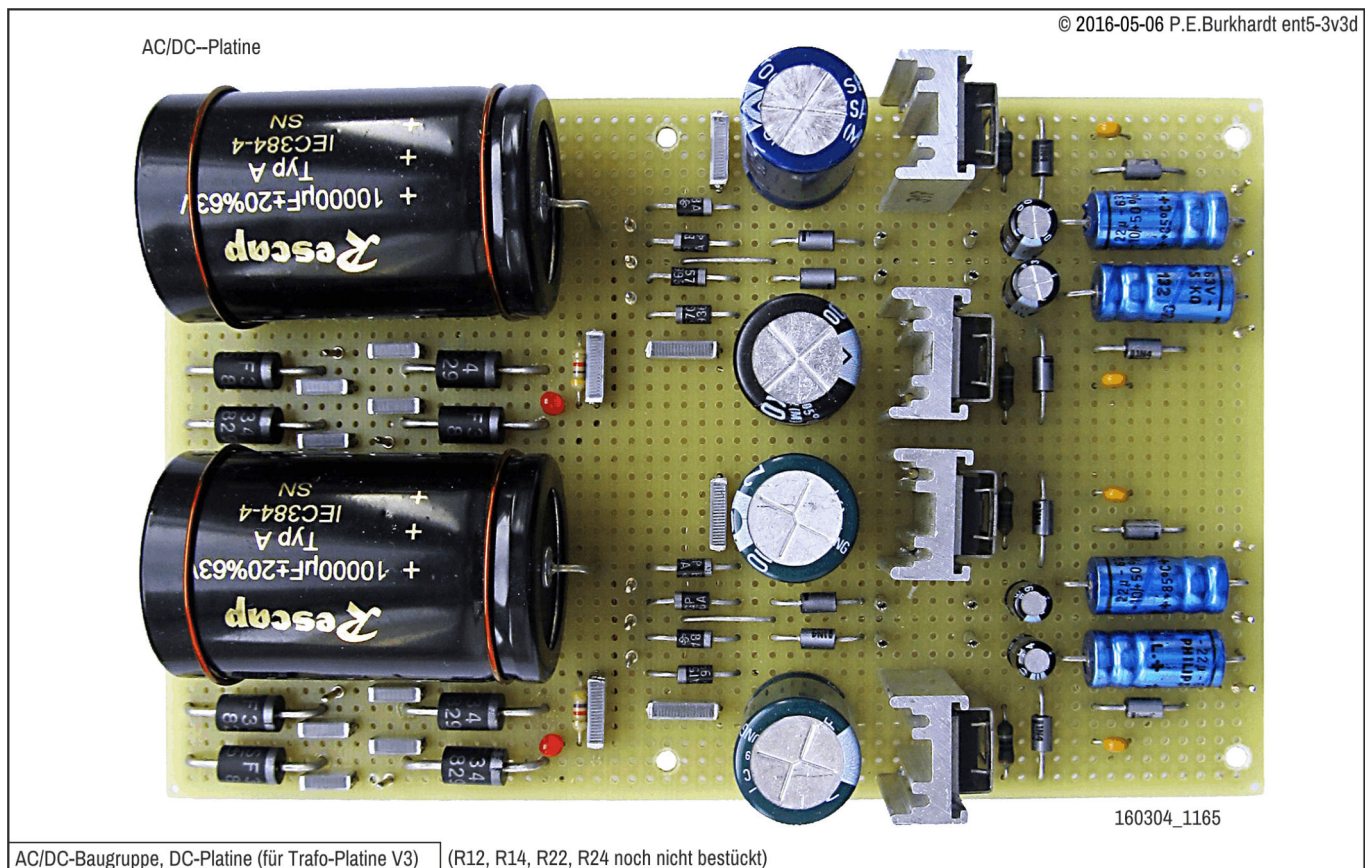
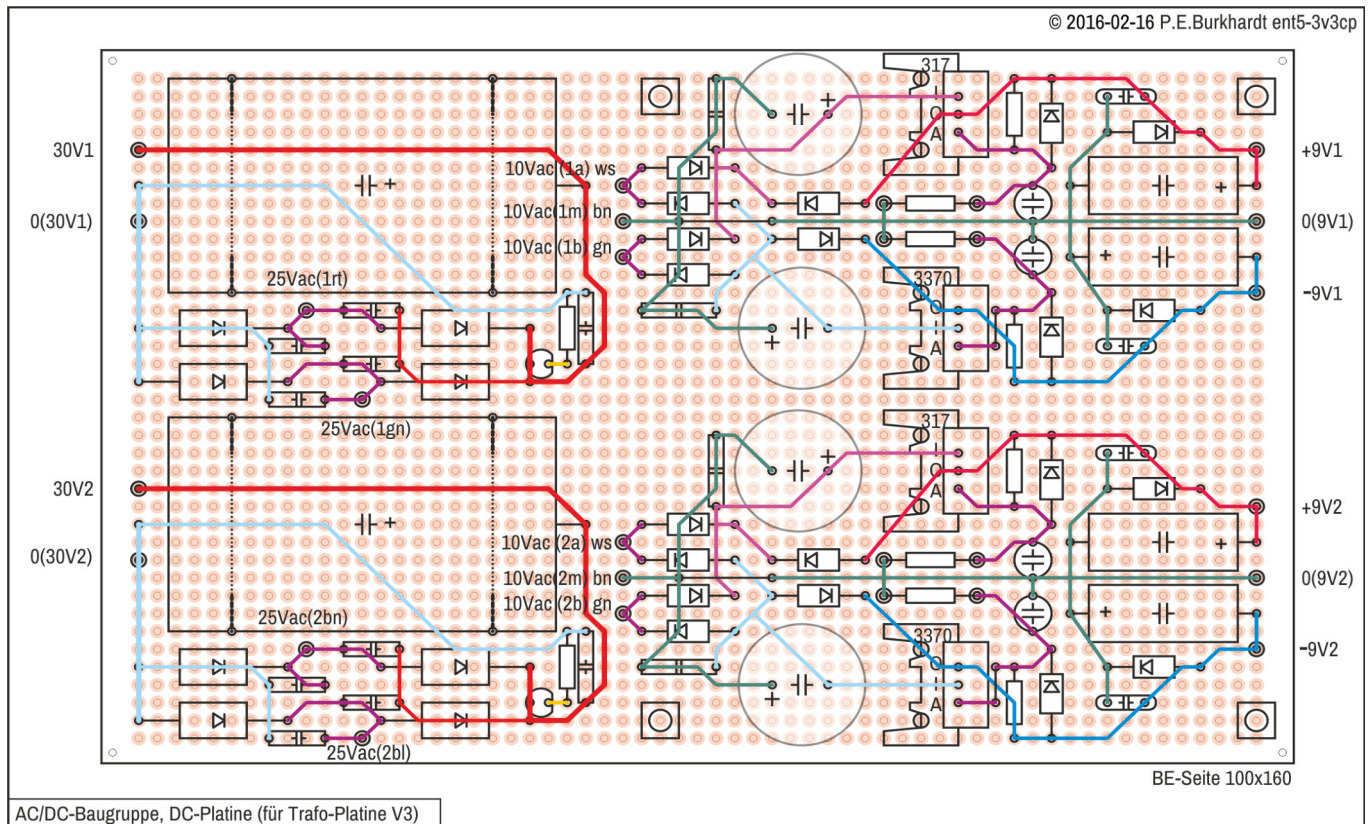
Rohstromversorgung

Die zwei unabhängigen Gleichrichterschaltungen hängen an je einer der Hauptwicklungen des Ringkerntrafos. Alle Dioden sind mit Kondensatoren überbrückt, um evtl. HF-Störungen zu unterdrücken. Der Lade-Elko von jeweils 10 mF ist zwar für einen 2A-Ausgang überdimensioniert, die Größe schadet aber auch nicht. Allerdings steigt mit der Größe dieser Elkos der Einschaltstrom des Geräts. Die ohmsche Einschaltstrom-Begrenzung auf der Primärseite des Ringkerntrafos wirkt dem entgegen.

Die LEDs signalisieren nicht nur das Vorhandensein der Rohspannung, sie entladen auch den großen Elko nach dem Ausschalten, selbst wenn keine Last an der Baugruppe hängt.

Aufbau der DC-Platine V3

DC-Platine V3 und Trafo-Platine V3 haben gleiche Abmessungen und Befestigungsbohrungen für die 3mm-Abstandsbolzen. Die Gewindebolzen verbinden beide Platinen und dienen gleichzeitig der Befestigung der ganzen Baugruppe. Da der Ringkerntrafo schwer ist, wurden die Bolzen symmetrisch zum Trafo angeordnet.



AC/DC-Baugruppe mit Trafo-Platine V8

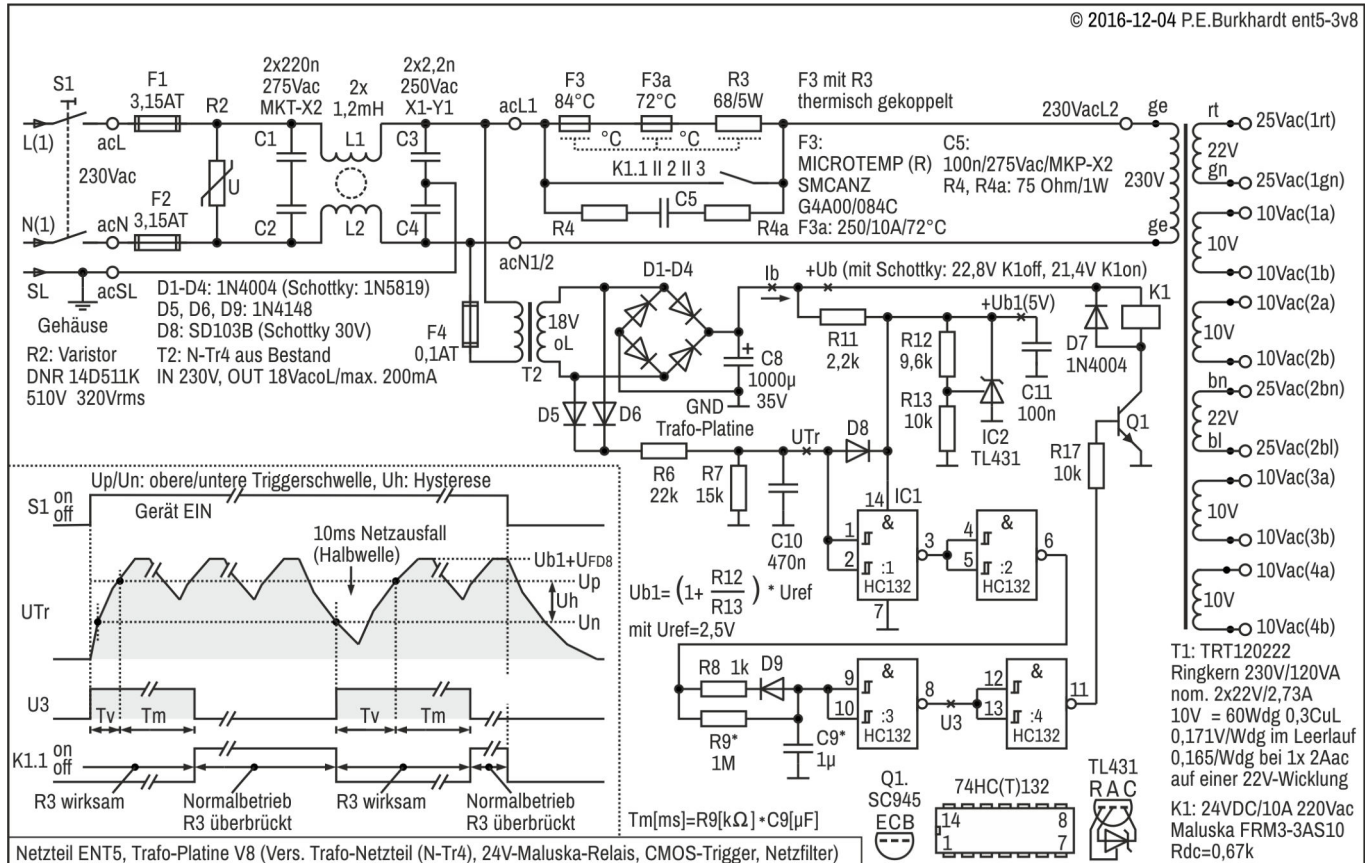
Diese AC/DC-Baugruppe nach Version 8 ist eine verbesserte Schaltungsversion gegenüber der AC/DC-Baugruppe nach Version 3. Als Ringkerntrafo wird der gleiche 120-VA-Typ verwendet, der alle Haupt- und Hilfsspannungen für die zweifache Spannungsregelung 0...30 V bei maximal 2 A liefert.

Die Baugruppe besteht aus 2 übereinander gestapelten Euro-Platinen. Die untere Trafo-Platine enthält den Ringkern-Trafo sowie Netzfilter und die stufenweise Netzeinschaltung nebst Steuerung. Die obere Platine ist für Gleichrichtung und Siebung zuständig. Sie enthält zusätzlich noch 4 galvanisch getrennte Regelschaltungen für die Hilfsspannungen.

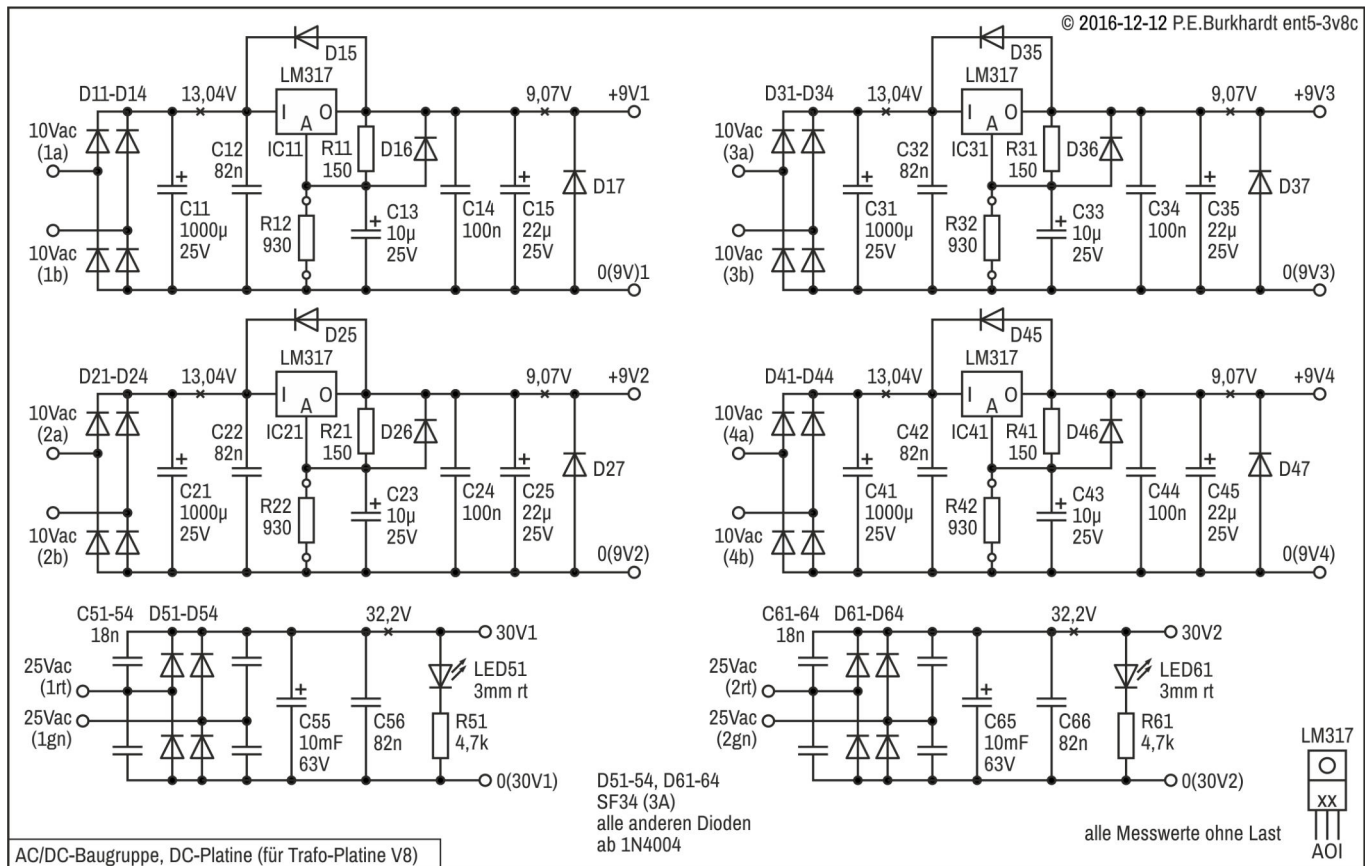
Trafo-Platine nach V8

Die Trafo-Platine nach Version 8 wurde schon weiter oben unter "Trafo-Platine V8 (24V-Trafo2-NT, CMOS-Tr)" beschrieben. Im Folgenden sind nur die Schaltung und der Leiterplatten-Entwurf dargestellt.

Trafo-Platine V8, Schaltung



DC-Platine für Trafo-Platine V8



Regelschaltungen

Alle 4 Regelschaltungen sind gleich aufgebaut. Sie lassen sich unabhängig verwenden. Die Zusammenschaltung zu zwei massesymmetrischen Spannungen für die Regler-Opamps erfolgt erst auf der Regler-Platine. Dazu ist z.B. das Potential 0(9V)1 mit dem Potential +9V2 zu verbinden, um den Opamp-Massebezug zu erhalten. Das Potential +9V1 ergibt dann die positive Opamp-Betriebsspannung, das Potential 0(9V2) entsprechend die negative Opamp-Betriebsspannung.

Zum Einstellen der einzelnen Ausgangsspannungen ist bei jedem LM317-Regler der Widerstand Rx2 auf Lötstiften angeordnet. Somit sind keine störanfälligen Trimm-Potis nötig. Die C-Beschaltung entspricht den Empfehlungen im Datenblatt. Die Schutzdioden für den Adjust-Anschluss und über dem Regler sind eigentlich für die vorgesehene Anwendung der Baugruppe nicht nötig, sie schaden aber auch nicht.

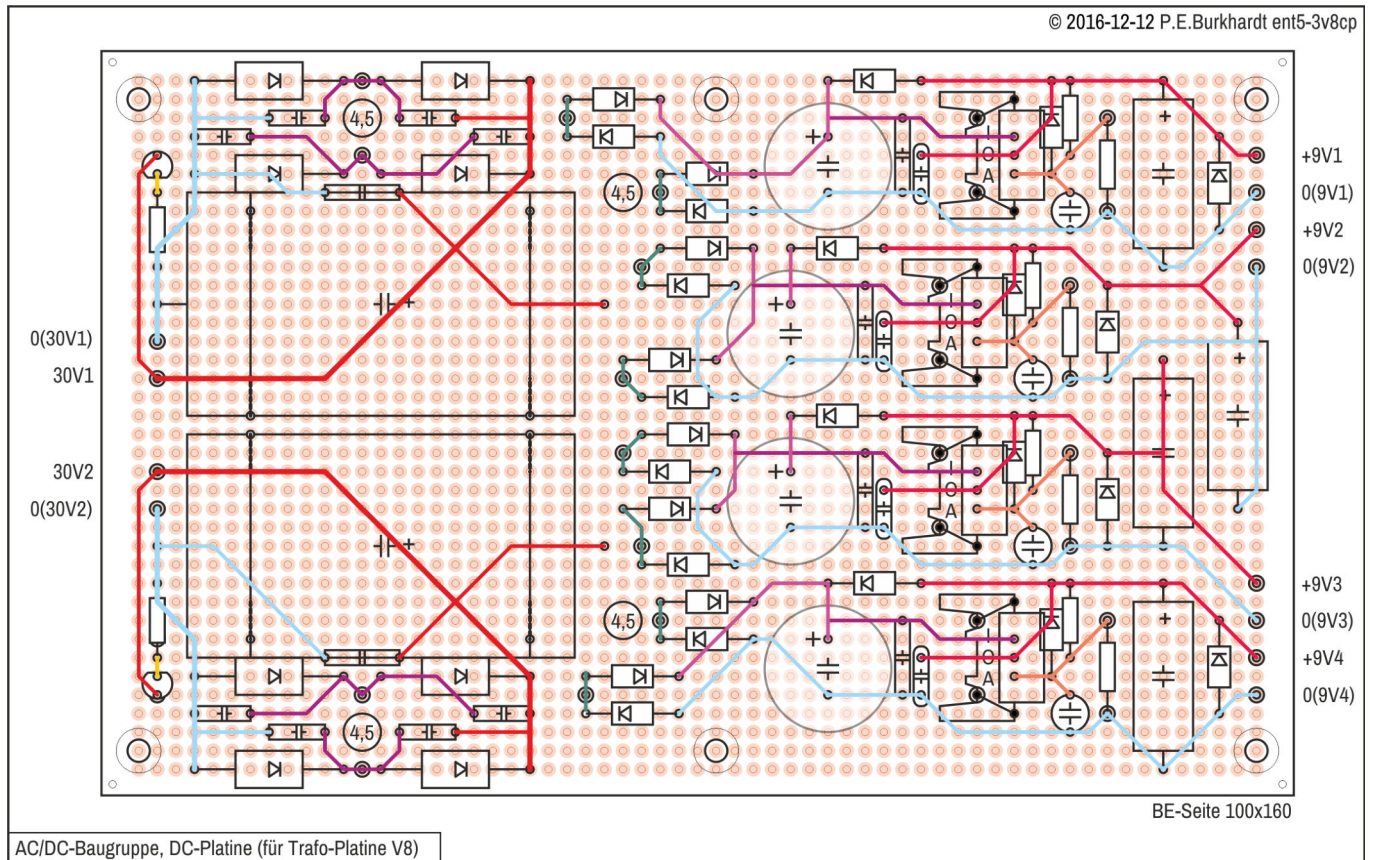
Rohstromversorgung

Die zwei unabhängigen Haupt-Gleichrichterschaltungen hängen an je einer der Hauptwicklungen des Ringkerntrafos. Alle Dioden sind mit Kondensatoren überbrückt, um evtl. HF-Störungen zu unterdrücken. Der Lade-Elko von jeweils 10 mF ist für einen 2A-Ausgang reichlich dimensioniert. Allerdings steigt mit der Größe dieser Elkos der Einschaltstrom des Geräts. Die ohmsche Einschaltstrom-Begrenzung auf der Primärseite des Ringkerntrafos wirkt dem entgegen.

Die LEDs signalisieren nicht nur das Vorhandensein der Rohspannung, sie entladen auch den großen Elko nach dem Ausschalten, selbst wenn keine Last an der Baugruppe hängt.

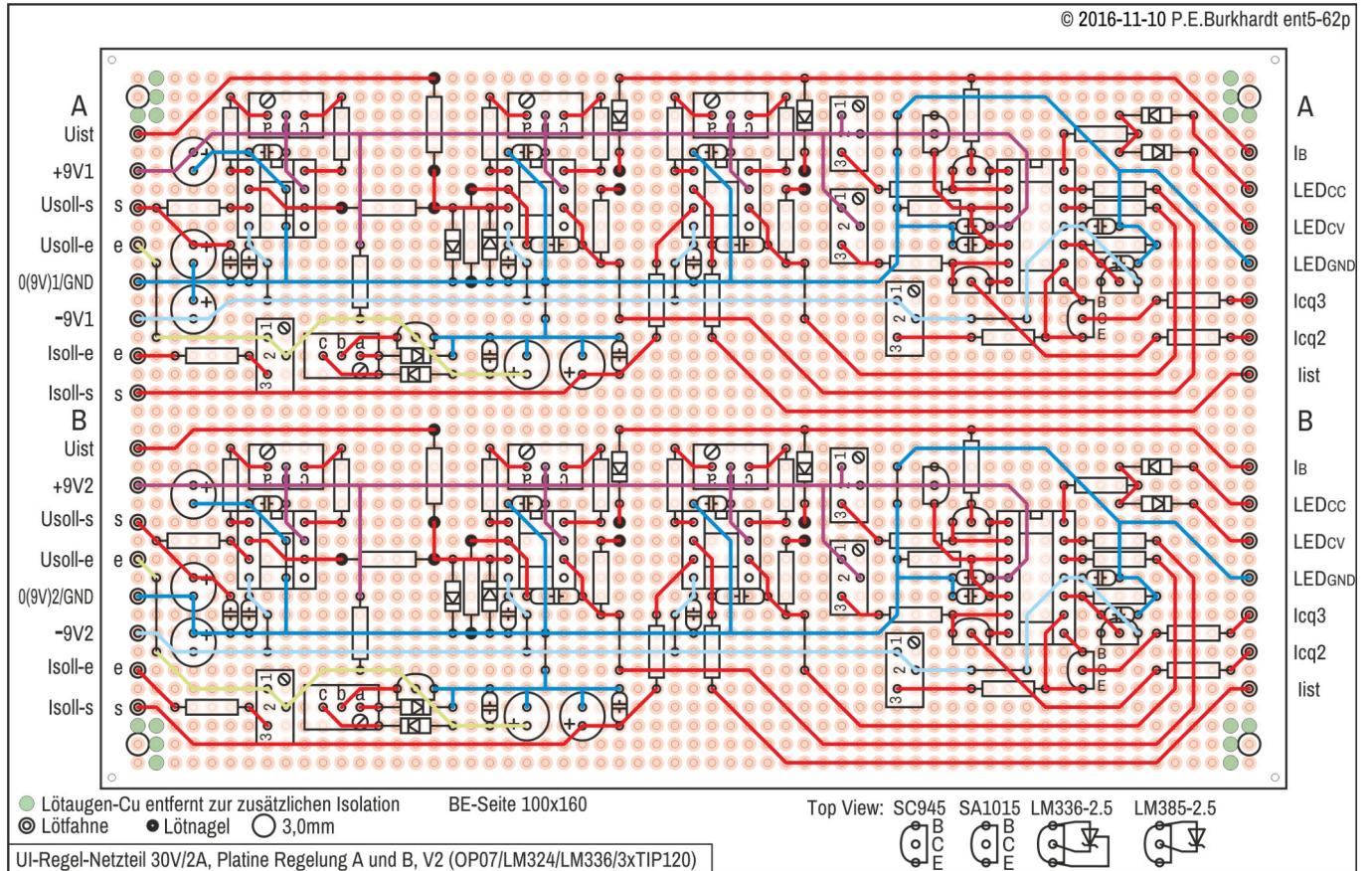
Aufbau der DC-Platine V8

DC-Platine und Trafo-Platine haben gleiche Abmessungen und Befestigungsbohrungen für die 3mm-Abstandsbolzen. Die Gewindebolzen verbinden beide Platinen und dienen gleichzeitig der Befestigung der ganzen Baugruppe. Da der Ringkerntrafo schwer ist, wurden insgesamt 6 Bolzen vorgesehen.

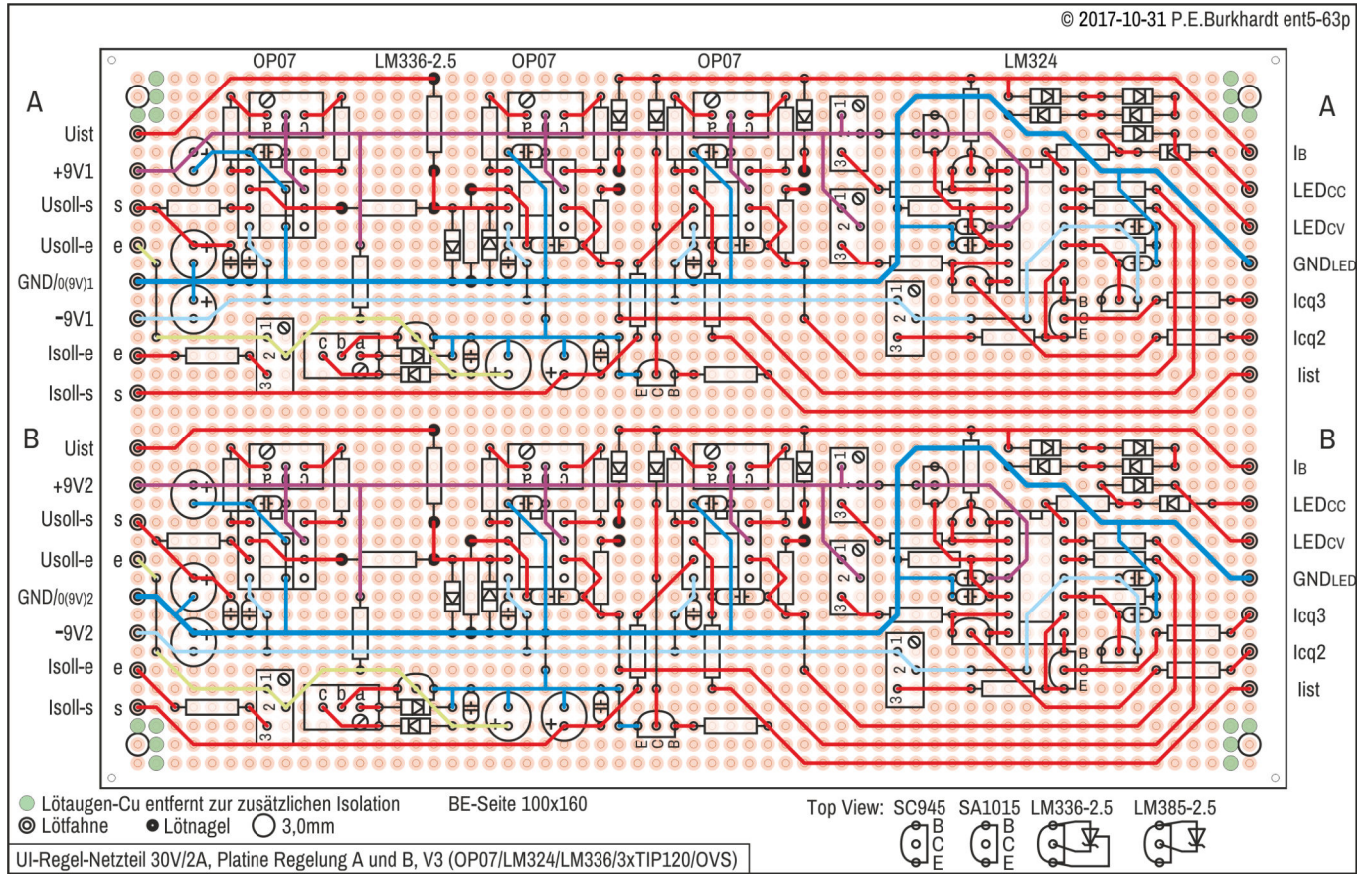


Aufbau der Regler-Platine (2)

© 2016-11-10 P.E.Burkhardt ent5-62p



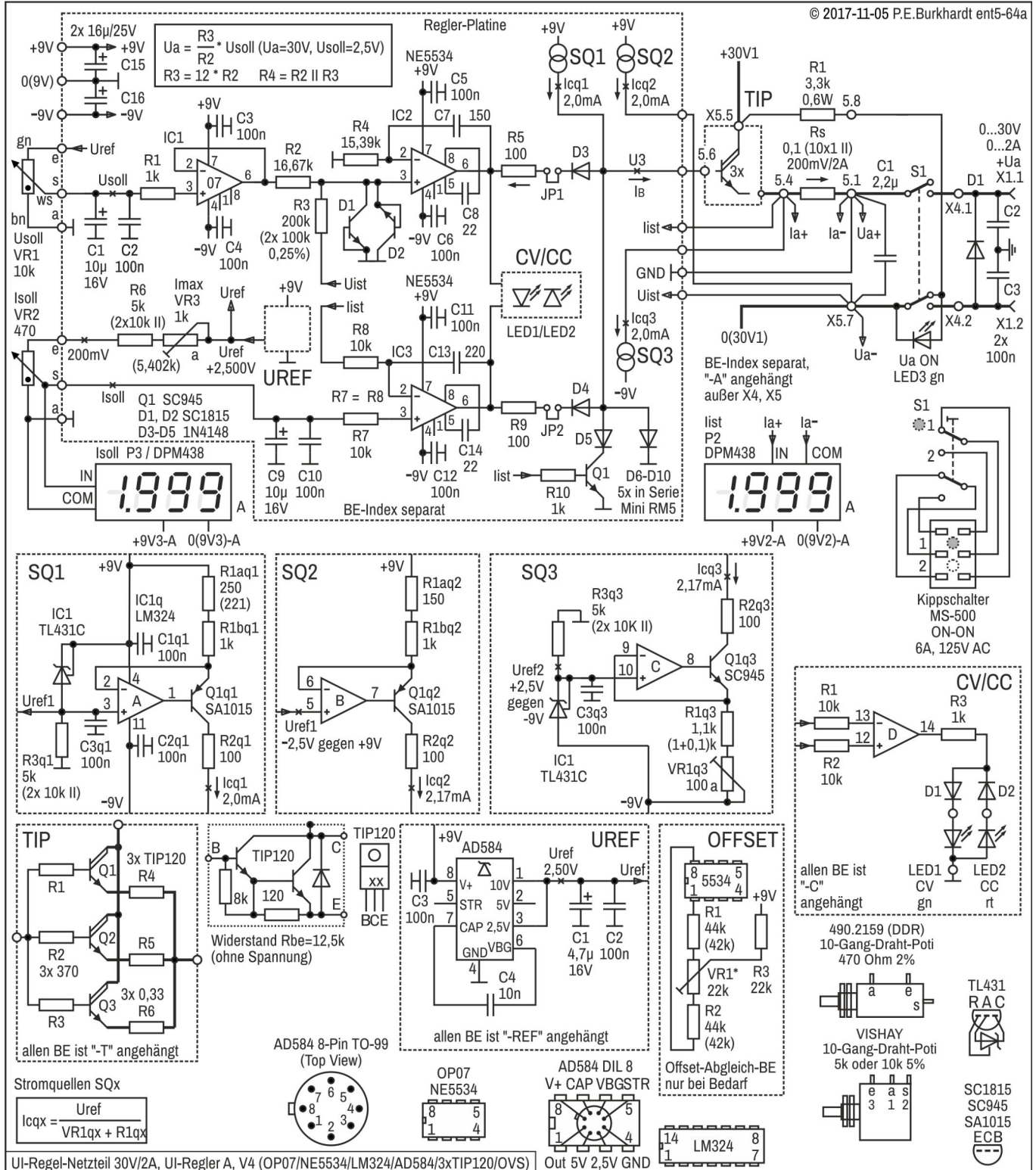
Aufbau der Regler-Platine (3)



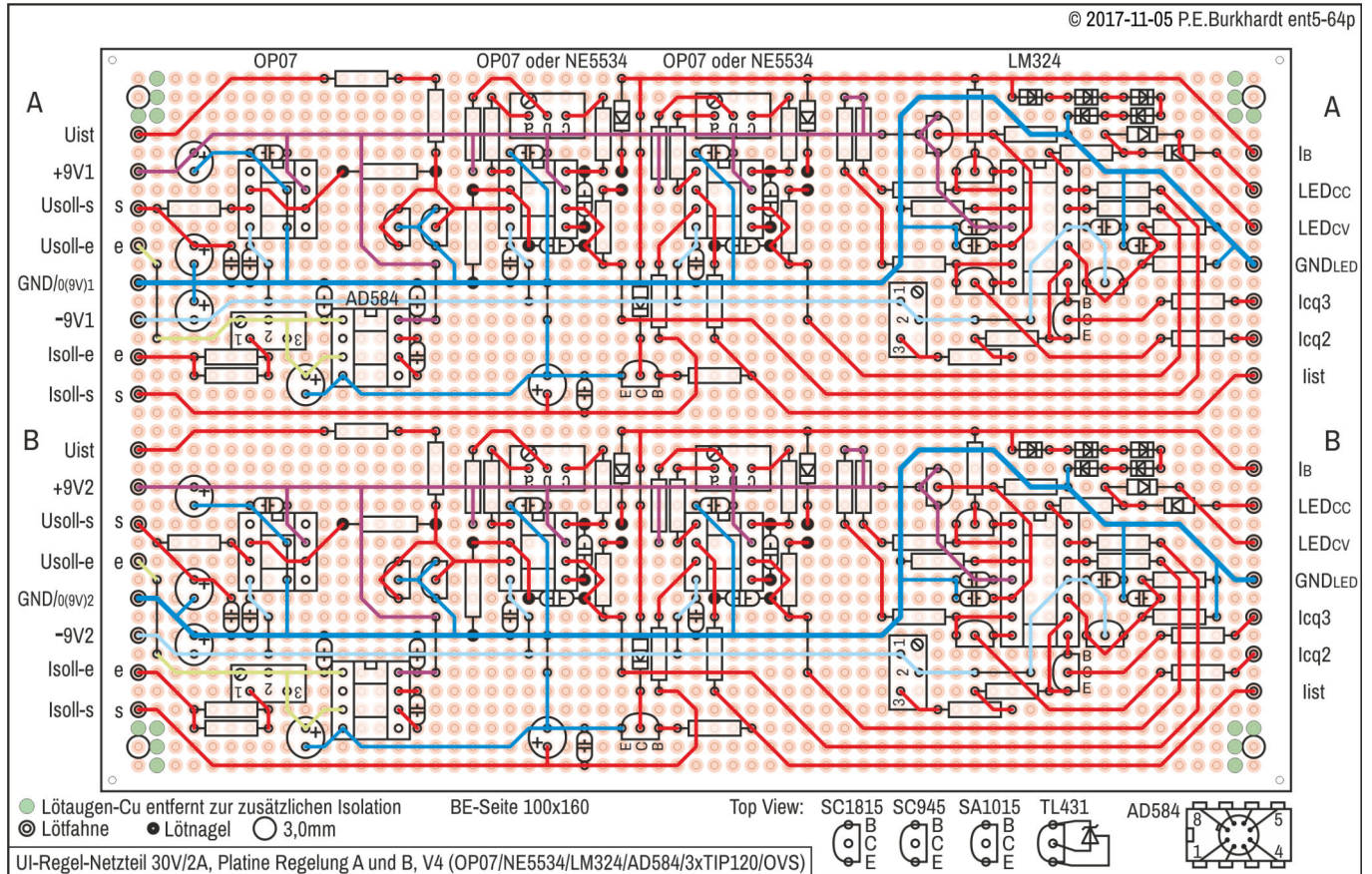
UI-Regler 4 (OP07/NE5534/LM324/AD584/3xTIP120/OVS)

Schaltungsvariante 4

- Opamp NE5534 für Regler, OP07 als Spannungsfolger
- Opamp LM324 für die Stromquellen und den Anzeigeverstärker CV/CC
- AD584 als Präzisions-Referenzquelle
- 3x TIP120 als Längsregler
- Überspannungsschutz Q1 und D6 bis D10, Lötleiste X5



Aufbau der Regler-Platine (4)



UI-Regler 5 (OP07/LM324/AD584/3xTIP120/OVS)

Bei Labor-Netzteilen ist die Spannungseinstellung ab Null Volt wünschenswert und normalerweise auch kein Problem. Die hinreichend schnelle Stromregelung ist dagegen nur bei sorgfältiger Auswahl und Dimensionierung der Schaltung realisierbar. Vor allem auch bei kleinem Strom sollen Strombegrenzung und -regelung noch einwandfrei funktionieren.

Wichtig ist auch der genau definierte Übergang von der Spannungsregelung (CV, Control Voltage) zur Stromregelung (CC, Constant Current). Opamps haben die nötige Verstärkung, damit der Übergangsbereich möglichst klein ist. Zusätzlich sollte der eingestellte CC-Strom-Sollwert gut ablesbar sein. Im Folgenden wird dazu ein zusätzliches Panel verwendet. Zusammen mit dem Strom-Istwert-Panel hat man so die beste Kontrolle im CC-Betrieb.

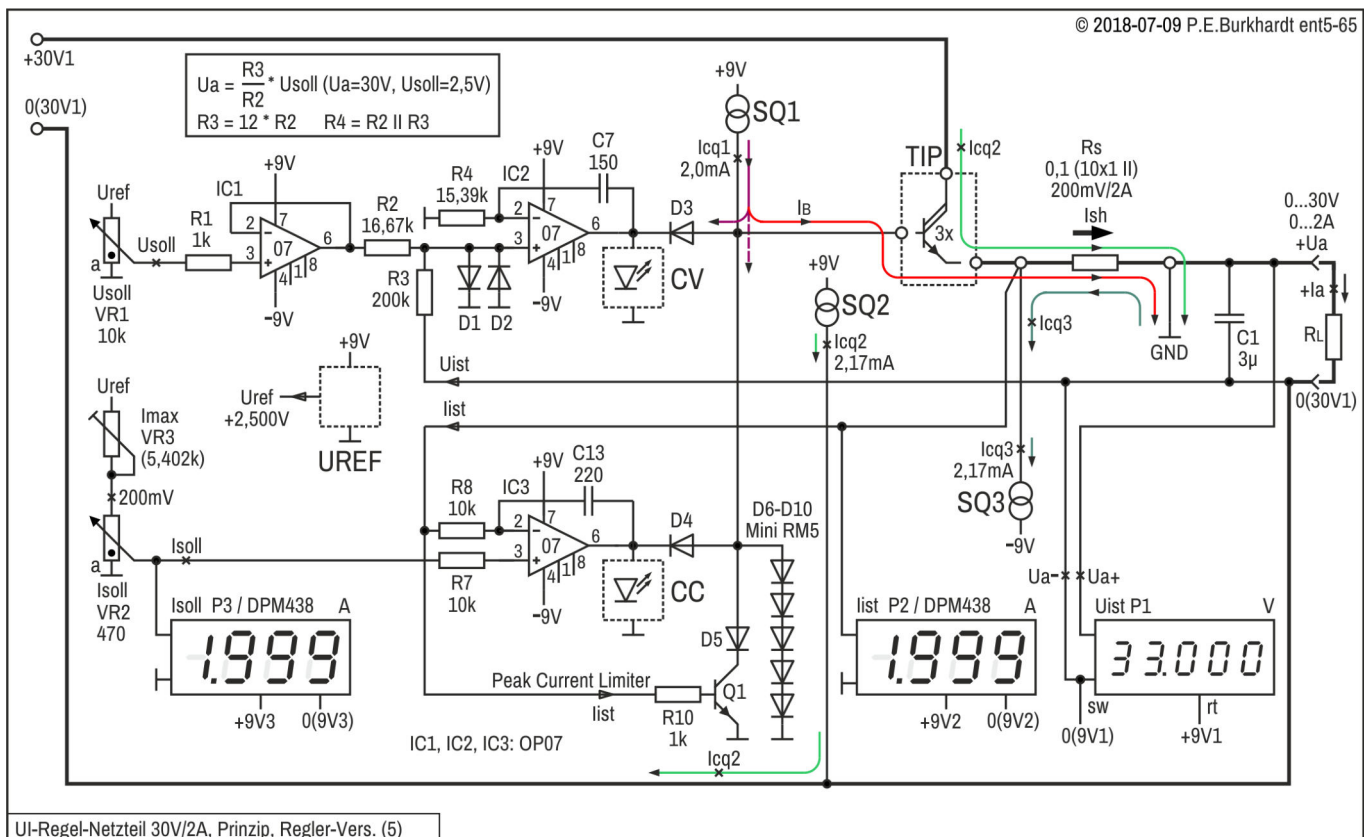
Prinzip der UI-Regelung (5)

Die folgende Beschreibung der UI-Regelung bezieht sich auf die Schaltungsvariante 5. Die Varianten 1 bis 4 sind ähnlich, aber mit unterschiedlicher IC-Bestückung.

Zwei Opamps steuern ein normales Transistor-Stellglied (npn-Längstransistor) so, dass je nach Sollwertvorgabe und Lastsituation entweder die Spannung (CV) oder der Strom (CC) am Lastwiderstand konstant gehalten wird.

Eigenschaften

- Spannungsregelung ab Null Volt, oberer Wert max. 30 V
- Stromregelung ab ca. 0,5 mA, oberer Wert max. 2 A
- Sollwertvorgabe CV und CC mit Wendel-Poti, Präzisions-Referenzspannung 2,5 V (AD584)
- Opamp-Spannungs- und Strom-Regler mit OP07A (keine Nullpunkt-Einstellung erforderlich)
- npn-Darlington-Stelltransistoren
- Schutz gegen Stromspitzen (Spike-Schutz)
- Istwert-Anzeige für Spannung und Strom, zusätzlich Sollwert-Anzeige für Strom



UI-Regel-Netzteil 30V/2A, Prinzip, Regler-Vers. (5)

Laststromkreis

Der Haupt- oder auch Laststromkreis ist im Bild etwas dicker gezeichnet. An Klemme +30V1 sind für 30 V Ausgangsspannung (+Ua) mindestens 34 V nötig. In der realisierten Schaltung wird dieser Wert aufgrund des verwendeten Trafos nicht ganz erreicht, so dass +Ua auf ca. 28,5 V festgelegt wurde. Die Rohspannung an Klemme +30V1 muss wenigstens 3 V über der Ausgangsspannung +Ua sein, und das bis zur Unterkante der Ladeelko-Rippelspannung, bei gleichzeitig 10 % Netz-Unterspannung, unter Berücksichtigung des Trafo-Innenwiderstands und das alles beim maximalem Ausgangsstrom von 2 A.

Die Masseleitung 0(30V1) führt vom Lade-C der Rohstromquelle (im Bild nicht gezeichnet) durchgängig bis zum Minus-Anschluss 0(30V1) der Ausgangsspannung +Ua. Die für den CC-Betrieb nötige Stromistwert-Erfassung erfolgt wie üblich über einen Shunt (Widerstand) und ist in der Plus-Leitung nach dem Transistor-Längsregler (TIP) angeordnet.

Steuerung des Längsreglers

Zur Steuerung des Längsreglers (3 parallel geschaltete Darlington-Transistoren TIP120) liefert Stromquelle SQ1 einen Konstantstrom von 2 mA. Dieser wird über Diode D3 (CV) bzw. D4 (CC) soweit reduziert, dass sich der für den Längsregler nötige Steuerstrom ergibt. Dieser Basisstrom I_b ist abhängig vom eingestellten Spannungs-Sollwert (VR1) bzw. Strom-Sollwert (VR2) und vom Lastwiderstand an +Ua.

Referenz der Steuerelektronik

Damit die Opamps nicht über bzw. unter den Wert der veränderlichen Ausgangsspannung +Ua ausgesteuert werden müssen, ist ihr Referenzpunkt nicht die Minusleitung der Ausgangsspannung, sondern die Plusleitung +Ua. Das bedeutet, die Masse (GND) der Regelung ist mit +Ua verbunden. Dadurch müssen die Opamps nur die Spannungsdifferenz zwischen Basis des Stellglieds und der Ausgangsbuchse +Ua aussteuern können. Das sind in der Regel weniger als 2 V.

In diesem Zusammenhang ergibt sich auch, dass die Opamp-Spannungsversorgung mit +/-9 V mehr als ausreichend ist. Der Bezugspunkt (Masse) dieser +/-9 V liegt ebenfalls auf GND. Die Opamp-Spannungsversorgung für alle Opamps erfolgt potentialfrei aus einer eigenen Trafowicklung unabhängig vom Laststromkreis.

U-Regelkreis (CV)

Der Spannungs-Regelkreis besteht aus Sollwert U_{soll} (mit Bezug auf den Referenzwert U_{ref}), dem Sollwert-Verstärker IC2 (der eigentliche Regelverstärker), aus dem Stellglied TIP und dem Istwert U_{ist} der zu regelnden Spannung +Ua. Die Rückführung des gegenüber GND negativen Istwerts U_{ist} auf den Summierpunkt des Regelverstärkers (nichtinvertierender Eingang des Opamps IC2, Pin 3) wirkt dem positiven Sollwert (bereitgestellt über R2) entgegen.

Da der Regelverstärker den Summierpunkt Pin 3 auf GND hält (virtueller Nullpunkt), ergibt sich in Abhängigkeit der Widerstände R2 und R3 die Größe der Ausgangsspannung +Ua. Die Formeln im Kasten (siehe Bild) zeigen den Zusammenhang. Für 30 V Ausgangsspannung muss R3 den zwölf-fachen Wert von R2 haben, da U_{ref} konstant 2,5 V ist. Widerstand R4 berechnet sich aus der Parallelschaltung von R2 und R3 und kompensiert den temperaturabhängigen Offset-Strom des Opamps.

Der Shunt R_s zur Gewinnung des Stromistwerts liegt innerhalb der U-Regelschleife, so dass der Wert des Spannungsabfalls über R_s ausgeregelt wird und deshalb keine Rolle spielt.

Der Sollwert U_{soll} wird mit dem 10-fach-Wendel-Poti eingestellt. Eigentlich wäre der Opamp-Spannungsfollower IC1 nicht erforderlich, denn der Eingang des folgenden Regelverstärkers IC2 ist sehr hochohmig und würde den durch VR1 gebildeten Spannungsteiler nicht belasten. Da aber am VR1-Schleifer andere recht niederohmige Messungen vorgenommen werden sollten, wurde IC1 vorgesehen, um einen niederohmigen U_{soll} -Ausgang (IC1 Pin 6) zur Verfügung zu haben.

I-Regelkreis (CC)

Der Strom-Regelkreis besteht aus dem Sollwert I_{soll} (mit Bezug auf den Referenzwert U_{ref}), dem Sollwert-Verstärker IC3 (der eigentliche Regelverstärker), aus dem Stellglied TIP und dem Istwert I_{ist} des zu regelnden Stroms +Ia. Die Rückführung des gegenüber GND positiven Istwerts auf den invertierenden Eingang des Regelverstärkers (Opamp IC3 Pin 2) wirkt dem positiven Sollwert I_{soll} entgegen.

Der I-Regelverstärker IC3 ist als Differenzverstärker geschaltet. Er regelt seine Ausgangsspannung und damit über das Stellglied TIP den Strom durch den Shunt R_s so, dass sich zwischen den Pins 2 und 3 nahezu Null ergibt. Das bedeutet, jeder Spannungsabfall über R_s von 0 bis 200 mV entspricht genau dem mit Poti VR2 eingestellten I-Sollwert von 0 bis 200 mV.

Damit 200 mV beim Maximalstrom von 2 A über R_s abfallen, muss R_s den Wert 0,1 Ohm haben. Da sich ein so niedriger Widerstand mit Bastlermitteln nur schwierig hinreichend genau herstellen (oder beschaffen) lässt, wurden 10 Widerstände zu je 1 Ohm parallel geschaltet. Der Wert von 200 mV wurde gewählt, da auch die Strom-Panels eine Empfindlichkeit von 200 mV haben. Der Abgleich für den Maximalstrom erfolgt mit Trimm-R VR3.

Panel-Anzeige

Die Anzeige des japanischen U-Panels (Typ nicht bekannt) für die Ausgangsspannung $+U_a$ ist sehr genau und bietet mit 33 V den passenden Messbereich.

Für die Stromregelung hat es sich als sehr vorteilhaft erwiesen, für Soll- und Istwert zwei separate Strom-Panels vorzusehen. Wird ein I-Sollwert eingestellt, z.B. 100,0 mA, bleibt diese Anzeige auf dem Sollwert-Panels immer sichtbar. Im CV-Betrieb wird dann der Ausgangsstrom $+I_a$ angezeigt, der vom aktuellen Lastwiderstand R_L abhängt und normalerweise geringer als 100 mA ist. Erreicht der Ausgangsstrom die 100 mA, bleibt er konstant und wird nicht größer, da jetzt der Stromregler wirksam ist (CC-Betrieb). Die Spannung dagegen sinkt soweit ab, dass gerade noch die 100 mA fließen können.

Mit den beiden I-Panels hat man also die volle Kontrolle über die aktuell wirksame Betriebsart, nämlich CV-Betrieb oder CC-Betrieb. Zusätzlich zeigt je eine LED die Betriebsart an (LED CV, LED CC). Die LEDs werden vom jeweiligen Regelverstärker über einen zusätzlichen als Komparator geschalteten Opamp angesteuert.

Einfluss der Shuntströme und seine Korrektur

Im Shunt R_s fließt nicht nur der eigentlich wissenswerte Ausgangsstrom $+I_a$. Das bedeutet, der gemessene Strom entspricht nicht genau dem Ausgangsstrom. Die Fehlerströme sind aber teilweise sehr gering und wirken sich bei einer Panel-Auflösung von 1 mA nicht sichtbar aus, oder sie können mit zusätzlichem Schaltungsaufwand kompensiert werden.

Der Basisstrom I_b

Sofort fällt auf, dass der für die Transistoren TIP120 nötige Basisstrom I_b (im Bild rot) zusätzlich durch R_s fließt, dann aber nicht durch den Lastwiderstand R_L , sondern nach GND. I_b vergrößert also die $+I_a$ -Anzeige unzulässigerweise. Nachteilig sind in diesem Falle der wirksame Basiswiderstand 5 k Ω von der Basis zum Emitter des TIP120 (siehe auch detaillierter Stromlaufplan der Regelschaltungen weiter unten). Da 3 TIP120 parallel geschaltet sind, ist der wirksame Eingangswiderstand kleiner und damit der Fehlerstrom noch größer. Den zur Durchsteuerung der Leistungstransistoren nötigen Basisstrom kann man bei einer garantierten Stromverstärkung von 2000 nahezu vernachlässigen.

Die Ströme I_{sq2} und I_{sq3}

Einen größeren Fehleranteil würde Stromquelle $SQ2$ verursachen. $SQ2$ wurde vorgesehen, damit die TIP-Regeltransistoren auch bei einer eingestellten Ausgangsspannung $+U_a$ von Null Volt und ohne Last R_L bereits ein wenig durchsteuern. Dadurch erfolgt schon ab Null Volt eine exakte Regelung. Der Strom I_{sq2} fließt ebenfalls zusätzlich durch den Shunt nach GND und verursacht einen zusätzlichen Anzeigefehler. Zur Kompensation ist Stromquelle $SQ3$ eingebaut, die einen gleich großen, aber entgegengesetzten Strom I_{sq3} liefert und somit den Strom I_{sq2} kompensiert.

Der Steuerstrom der U_a -Istwerterfassung

Auch die Istwerterfassung der Ausgangsspannung $+U_a$ hat einen bestimmten Eingangswiderstand und benötigt somit einen bestimmten Steuerstrom. Da im ausgeregelten Zustand der Spannungsregel-Opamp IC2 an seinem nichtinvertierenden Eingang (Pin 3) GND-Potential hat, bestimmt Widerstand R_3 den Eingangswiderstand und damit den benötigten Steuerstrom I_{r3} . Dieser I_{r3} beträgt bei 30 V Ausgangsspannung 0,15 mA und liegt damit immer noch weit unterhalb der Auflösungsgrenze des Strompanels von 1 mA. Das heißt, der verursachte Fehler ist noch tolerierbar. Je höher R_2 gewählt wird, desto kleiner ist der Anzeigefehler.

Der Steuerstrom der I_a -Istwerterfassung

Auch für die Stromregelung wird ein Steuerstrom I_{r8} benötigt. Dieser Strom wird von der Spannung über dem Shunt (max. 0,2 V) und von R_8 bestimmt, da die Eingänge des Stromregel-Opamp IC3 im ausgeregeltem Zustand auf GND-Potential liegen. Der Steuerstrom ist also maximal nur 0,02 mA groß und kann bezüglich Anzeigegenauigkeit des Strompanels vernachlässigt werden.

Schutz vor Stromspitzen am Ausgang $+U_a$

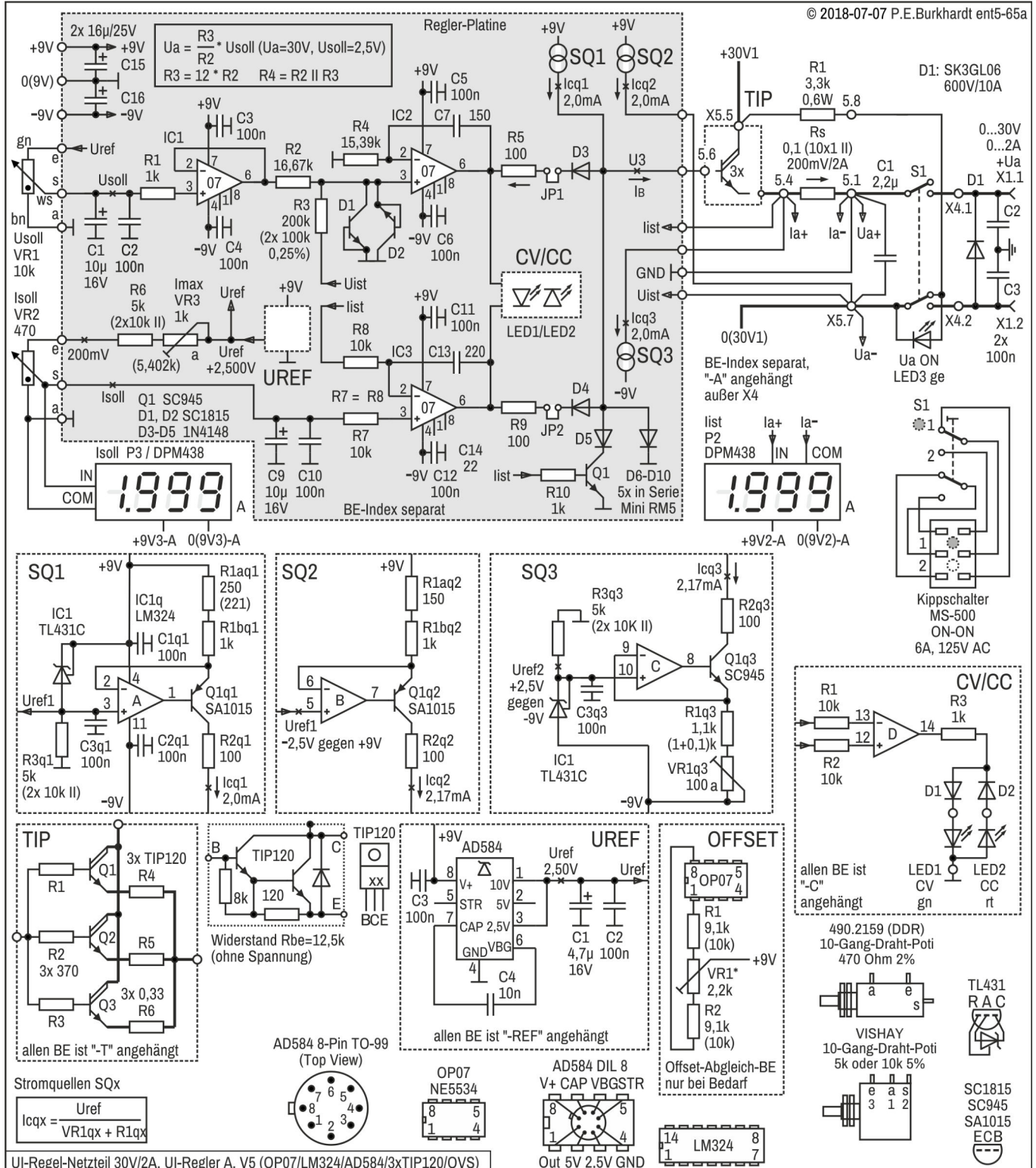
Damit keine unzulässig hohen Stromspitzen in der Ausgangslast auftreten, wurde Transistor Q1 vorgesehen. Q1 umgeht praktisch den Stromregel-Opamp IC3, der langsamer als ein einzelner Transistor ist. Zusätzlich wird die Spannung an der TIP-Basis durch die Dioden D6 bis D10 auf ca. 3,5 V begrenzt. Die Schutzdioden D1 und D2 am Spannungsregler-Opamp IC2 wären beim OP07 nicht nötig, da dieser Opamp bereits intern über Eingangsdiode verfügt. Sollte aber ein anderer Opamp-Typ verwendet werden, verhindern die Dioden Spannungsspitzen, die vom Ausgang $+U_a$ eingeschleppt werden könnten.

Schaltung und Aufbau der Regler-Platine (5)

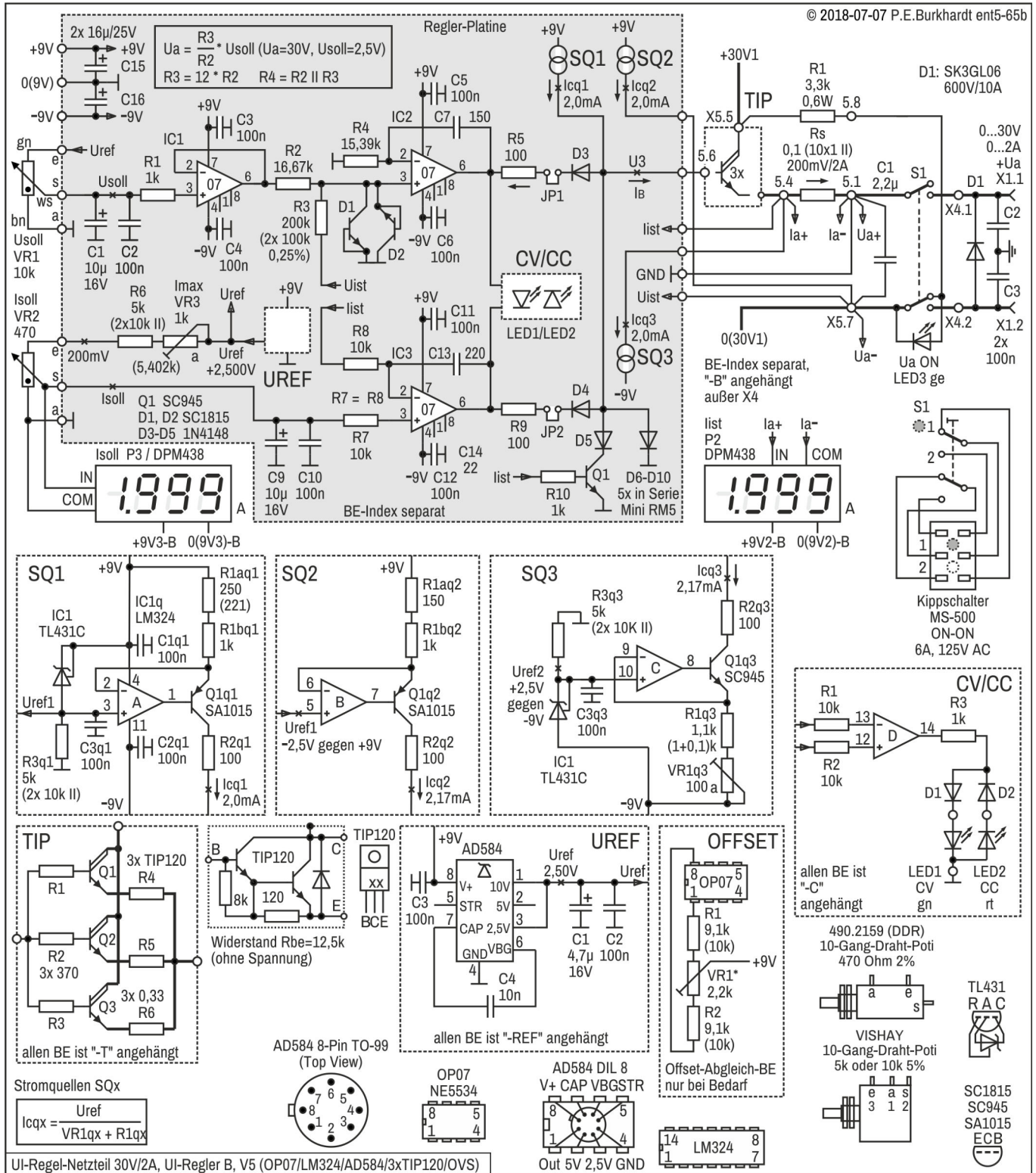
Die Platine trägt 2 gleiche UI-Regelschaltungen, und zwar für Kanal A und für Kanal B. Im Folgenden beschränke ich mich mit der Schaltungsbeschreibung auf Kanal A. Es wurden verschiedene Varianten getestet, die sich in der BE-Bestückung unterscheiden. Die verwendete Variante (5) enthält

- Opamp OP07 für die Regler und den Spannungsfolger für den U-Sollwert
- Opamp LM324 für die Stromquellen und den Anzeigeverstärker CV/CC
- AD584 als Präzisions-Referenzquelle
- 3x TIP120 als Längsregler
- Überspannungsschutz Q1 und D6 bis D10

Schaltung UI-Regler A (5)



Schaltung UI-Regler B (5)



Damit trotz der umfangreichen Schaltung der funktionelle Überblick nicht verloren geht, wurden einige Funktionsgruppen nur symbolhaft gezeichnet. Das betrifft die Stromquellen (SQ1, SQ2, SQ3), die Referenzspannungserzeugung (UREF), der Transistor-Längsregler (TIP) und die Anzeige der Betriebsart (CV/CC). Die detaillierte Schaltung dieser Funktionsgruppen ist im unteren Teil des Gesamt-Stromlaufplans dargestellt.

Spannungsversorgung

UI-Regelung, Laststrom und Panel-Anzeige benötigen folgende Spannungen:

- +9 V und -9 V für die Opamps, Quelle: +9V1/0(9V1)/-9V1 der DC-Platine für Kanal A (für Kanal B gilt +9V2/0(9V2)/-9V2)
- +2,5 V Referenzspannung für U- und I-Regler bezogen auf 0(9V1) (Opamp-Bezugspotential = GND)
- Rohspannung 30V1/0(30V1) für Kanal A (für Kanal B gilt 30V2/0(30V2))
- Panel-Versorgung +9V, jeweils potentialgetrennt +9V1-A/0(9V1)-A, +9V2-A/0(9V2)-A, +9V3-A/0(9V3)-A (für Kanal B gelten die Zusätze "-B")

Opamp-Betriebsspannungen

Die Opamps benötigen eigentlich nur +/-5 V Betriebsspannung, werden hier aber mit +/-9 V versorgt. Das ist unabhängig von der konzipierten Ausgangsspannung, da U- und I-Regler auf die positive Ausgangsspannung +Ua bezogen sind. Das heißt, der +Ua-Ausgang liegt auf GND. Durch diese Methode muss aber die Opamp-Spannungsversorgung potentialfrei von der Rohspannungsversorgung sein.

Wie üblich ist die Opamp-Betriebsspannung direkt an den ICs abgeblockt. 100 nF haben sich als universeller Wert bewährt. Es sollten aber Keramik-Typen sein (X7R oder X5R, keinesfalls Z5U oder Y5V). Das gilt übrigens für alle 100nF-Cs der Schaltung, die zum Abblocken dienen.

Referenzspannung

Für den U-Sollwert und den I-Sollwert wird eine stabile GND-bezogene Referenzspannung Uref benötigt. Uref = 2,5 V wird aus der positiven Opamp-Versorgung +9 V gewonnen. Verwendung findet die Präzisions-Spannungsquelle AD584 (Funktionsgruppe UREF), die langzeitstabil ist und einen sehr geringen Temperaturgang hat. Durch die gute Vorstabilisierung der Opamp-Versorgung mit Fest-U-Reglern ist kein Einfluss der AD584-Versorgung auf die erzeugte Referenzspannung messbar.

Natürlich haben die Widerstände zur Bereitstellung des U-Sollwerts bzw. des I-Sollwerts eine Temperaturabhängigkeit, die größer ist als der Temperaturgang des AD584. Das betrifft die 10-Gang-Drahtpotis VR1 und VR2 sowie die Widerstände R6 und das Einstell-Poti VR3. Wo immer möglich sollten Metallschicht-Rs mit niedrigem Temperaturgang verwendet werden. Bei den Drahtpotis ist die Auswahl begrenzt. Einstell-Potis sollten möglichst ganz vermieden werden. Den ermittelten Wert von VR3 sollte man dann durch einen Metallschicht-R ersetzen.

Rohspannungsversorgung

Über Anschluss +30V1 wird die Rohspannung dem Transistor-Stellglied TIP zugeführt. Sie kommt direkt vom Lade-C der Greutzbrücke der AC-DC-Baugruppe. Der Laststrom fließt über das Stellglied TIP, den Shunt Rs, Schalter S1, durch den extern angeschlossenen Lastwiderstand, dann wieder über S1 und schließlich zurück zur AC-DC-Baugruppe. Das Null-Potential ist mit 0(30V1) bezeichnet und bildet den Minus-Anschluss der Greutzbrücke und des Lade-Cs.

Panel-Versorgung

Alle Digital-Panels benötigen eine potentialgetrennte Spannungsversorgung, die hier +9 V beträgt, bezogen auf den jeweiligen COM-Anschluss des Panels. Da insgesamt 6 Panels verbaut sind, müssen auch 6 separate Spannungen bereitgestellt werden.

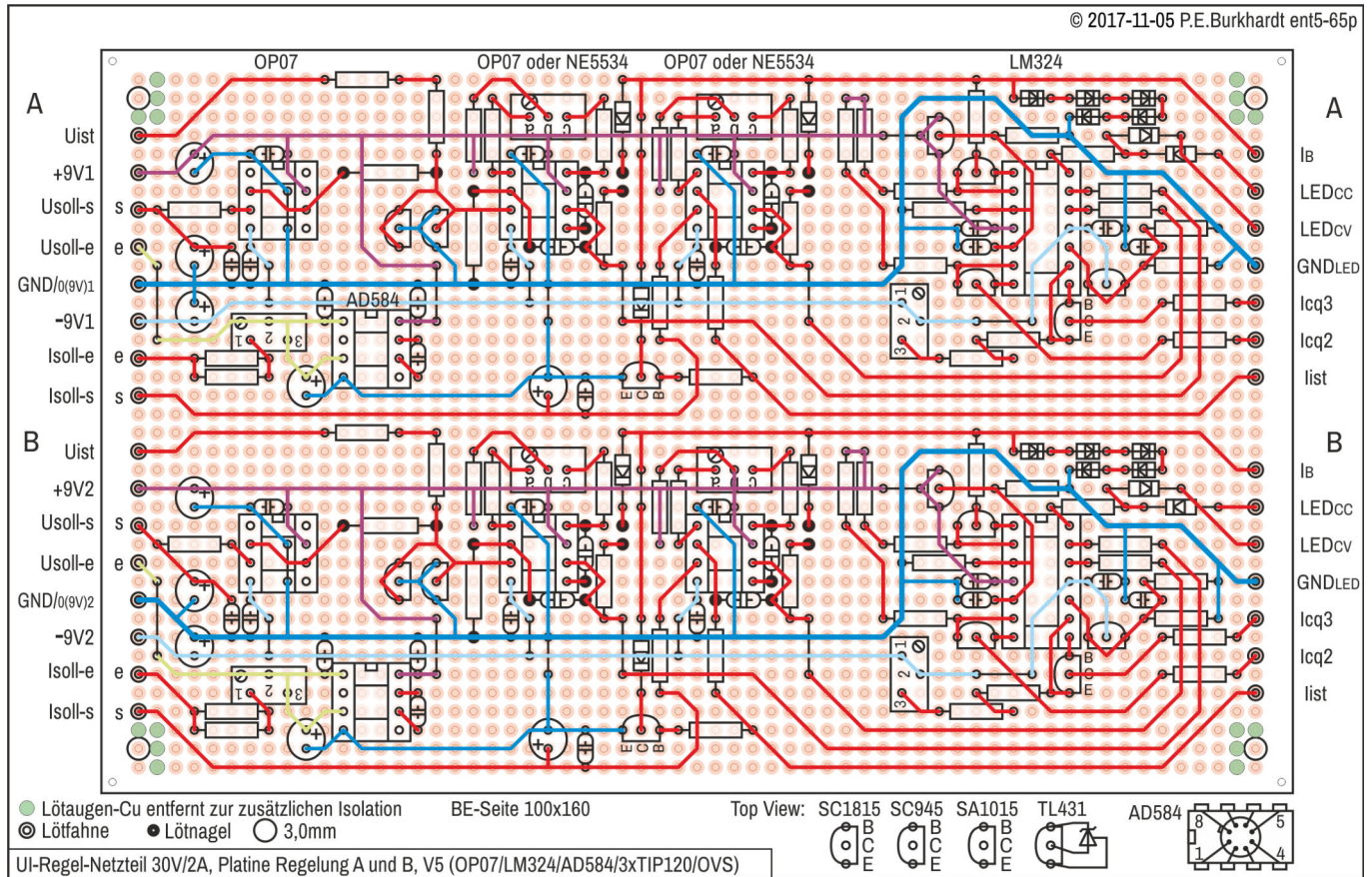
Es gibt zwar Lösungen, alle Spannungen aus einer einzigen DC-Spannung zu gewinnen. Diese muss zerhackt, mehrfach mittels C potentialgetrennt und schließlich wieder gleichgerichtet und stabilisiert werden. Außerdem ist durch den nötigen Rechteckgenerator nicht auszuschließen, dass hochfrequente Störungen auf die Regelung Einfluss nehmen.

Da viele kleine Trafos (mit sehr günstigem Preis) zur Verfügung standen, wurde die Potentialtrennung herkömmlich realisiert. Die Panel-Platine liefert alle nötigen Spannungen.

Aufbau der Regler-Platine (5)

Das folgende Layout berücksichtigt sowohl den Einsatz eines Opamp NE5534 anstelle des OP07 als auch die Elemente für den Offset-Abgleich und für die etwas unterschiedliche externe Frequenzkompensation der Opamps.

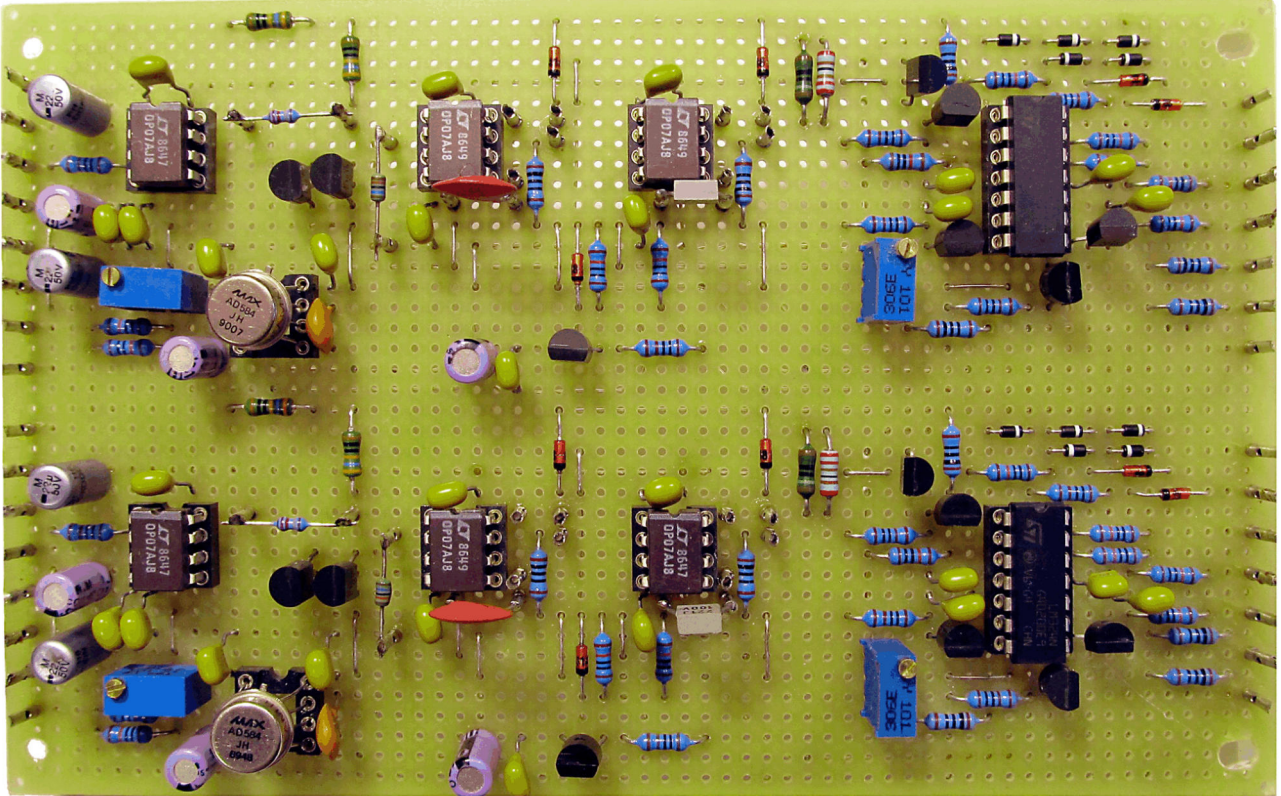
Platine Regelung A und B (5)



Die Bestückung erfolgte mit dem OP07A, der für eine maximale Offset-Spannung von 25 μ V spezifiziert ist. Der Offset-Abgleich ist deshalb nicht erforderlich.

Platine Regelung A und B (5)

© 2017-12-05 P.E.Burkhardt ent5-65p1



UI-Regel-Netzteil 30V/2A, Platine Regelung A und B, V5 (OP07/LM324/AD584/3xTIP120/OVS)