Tipps rund um die Elektronik

Reparatur und Umbau

- Zähler FZ1310
  - Eigenschaften des FZ1310
  - FZ1310 mit Netzteilfehler
  - FZ1310 mit Triggerfehler

Löttechnik

- Kostengünstige Löttinktur
- Mini-Lötbad für die Lötkolbenspitze
  - Lötbad selbstgebaut
  - Profi-Lötbad mit Temperaturregelung

Steckbrett

- Steckbrett aus den 70-iger Jahren
- Steckbrett aus dem Jahre 2014
  - Aufbau des Steckbretts
  - Herstellen der Kastenteile
  - Zusammenlöten des Steckbrett-Kastens
  - Montage der Bauelemente
  - Zubehör, Steckelemente
- Steckbrett mit Breadboard

Trafo-Liste, Messungen, Wickeln

- Eigene Trafo-Liste
- Messungen am Trafo
  - Eigenschaften nicht bekannter Trafos ermitteln
  - Stromdichte einer Kupferlackdraht-Wicklung beim Netztrafo
    - Zulässige Stromdichte
    - Umrechnung zwischen Drahtquerschnitt und Durchmesser
    - Strombelastung von Kupfer-Lackdrähten
  - Messungen am Trafo RTT1160 (Beispiel)
- Allgemeines zum Trafo-Wickeln
- Zusatzwicklung beim Ringkerntrafo
  - Trafo-Wicklung beim 120VA-Ringkerntrafo
  - Trafo-Wicklung beim 30VA-Ringkerntrafo
- Trafo mit LL-Schnitt wickeln

Reparatur und Umbau

Zähler FZ1310

Eigenschaften des FZ1310

Der Zähler FZ1310 ist ein sogenannter "rechnender Frequenzzähler" aus dem Jahre 1988. In 2013 hatte mich ein günstiges Angebot überzeugt und so wurde ich Besitzer eines 1,3-GHz-Zählers mit hoher Genauigkeit. Allerdings fielen mir bei längerer Betriebsdauer unerklärliche Änderungen der Anzeige auf, die einen Gerätefehler vermuten ließen.

Counter FZ1310, Frontansicht

Technische Daten lt. Hersteller (Auszug):

Netz	220 V, 15 VA
Anzeige	7-Segment-LED, 8 Stellen Mantisse + 1 Stelle Exponent
Messgrößen	Frequenz, Zeit, Impulszähler, Tastgrad
Messprinzip	Periodendauer-Messung und Impuls-Zählung
Auflösung	100 ns (Messzeit max. 100 s)
Frequenz	0 bis 1300 MHz, 2 Eingänge, Abschwächer -20 dB
Zeitbasis	wahlweise intern 10 MHz ±25 ppm oder intern TXCO 10 MHz ±1 ppm
Interface	Parallel-Interface zum PC (8 Bit E/A), ext. Zeitbasis 10 MHz

Counter FZ1310, Rückansicht

Einige Eigenschaften und Funktionen

Messverfahren

Herkömmliche Zähler arbeiten mit einer festen Torzeit (z.B. 1 s), in der die Impulse gezählt und so die Frequenz ermittelt wird. Nachteil ist, dass bei niedrigen Frequenzen die Torzeit (und damit die Messzeit) groß sein muss, damit der prinzipbedingte Messfehler nicht unzulässig ansteigt.

Der FZ1310 arbeitet nach dem Prinzip der Zeitmessung. Es wird nur eine ganze Anzahl von Perioden des Eingangssignals gemessen und dazu die benötigte Zeit bestimmt. Daraus wird dann entweder die Frequenz oder die Periodendauer berechnet (je nach gewünschter Anzeige). Die Unsicherheit bei fester Torzeit, einen Impuls zuviel oder zuwenig zu zählen, entfällt damit.

Auch Zeitmessung, Tastgrad-Messung, Zählbetrieb (Impulse zählen) und der sogenannte Rechenbetrieb sind mit dem eingebauten Mikroprozessor relativ einfach und flexibel möglich.

Genauigkeit

Der Grundfehler (verursacht durch das Messprinzip) wird von der Auflösung der Zeitmessung bestimmt. Der Messfehler hängt also nicht mehr von der Eingangsfrequenz, sondern nur noch von dieser Auflösung ab, die beim FZ1310 aufgrund der 10-MHZ-Zeitbasis 100 ns beträgt. Dadurch ergibt sich bei einer Messzeit von 1 s immer eine Genauigkeit von 7 Anzeigestellen.

Den größeren Fehler verursacht die Genauigkeit der Zeitbasis-Quarzfrequenz. Deshalb ist zusätzlich neben einem freilaufenden Quarzgenerator (25 ppm) ein temperaturgeregelter Quarzgenerator (TCXO) mit hoher Genauigkeit eingebaut (1 ppm). Das erlaubt genaue Messungen mit maximal 6 Anzeigestellen. Für noch genauere Messungen kann eine externe 10-MHz-Zeitbasis angeschlossen werden (z.B. DCF77-Zeitbasis).

Frequenzbereich

Die Verarbeitung der möglichen Eingangsfrequenzen von Null bis zu 1,3 GHz erfolgt über verschiedene Eingangskanäle. Jeder Frequenzbereich kann somit optimal für den eigentlichen Zähler aufbereitet werden. Bereich der Messgröße und gewählter Eingangskanal müssen zueinander passen, um die optimale Genauigkeit zu erreichen.

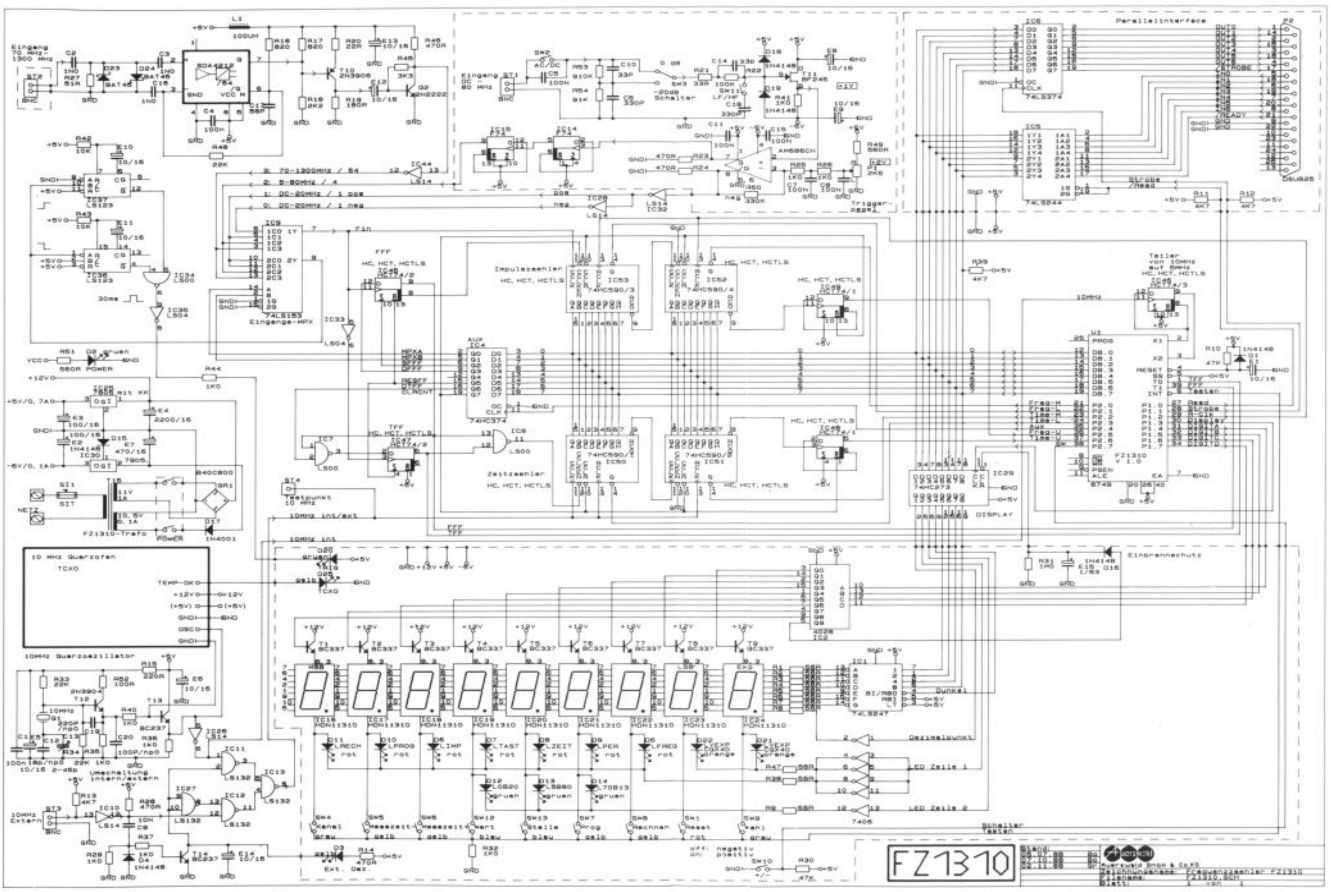
Triggerpegeleinstellung

Wie die Praxis zeigte, bestimmt die richtige Einstellung des Triggerpegels maßgeblich eine verwertbare (und damit richtige) Anzeige des FZ1310. Bei falscher Pegeleinstellung kann es zum Springen des Anzeigewertes kommen oder es wird der vielfache Wert der gemessenen Frequenz (bzw. Zeit) angezeigt.

Der Pegel, bei dem ein Impuls als solcher erkannt wird, sollte immer ca. in der Mitte der Anstiegsflanke sein. Die richtige Poti-Einstellung wird mit einer LED angezeigt, ist aber meiner Meinung nach etwas zu grob. Wichtig ist, dass alle Trigger-Schalter (Anstiegsflanke, Verstärkung, AC/DC und Filter) entsprechend dem zu messenden Signal in der richtigen Stellung stehen.

Stromlaufplan

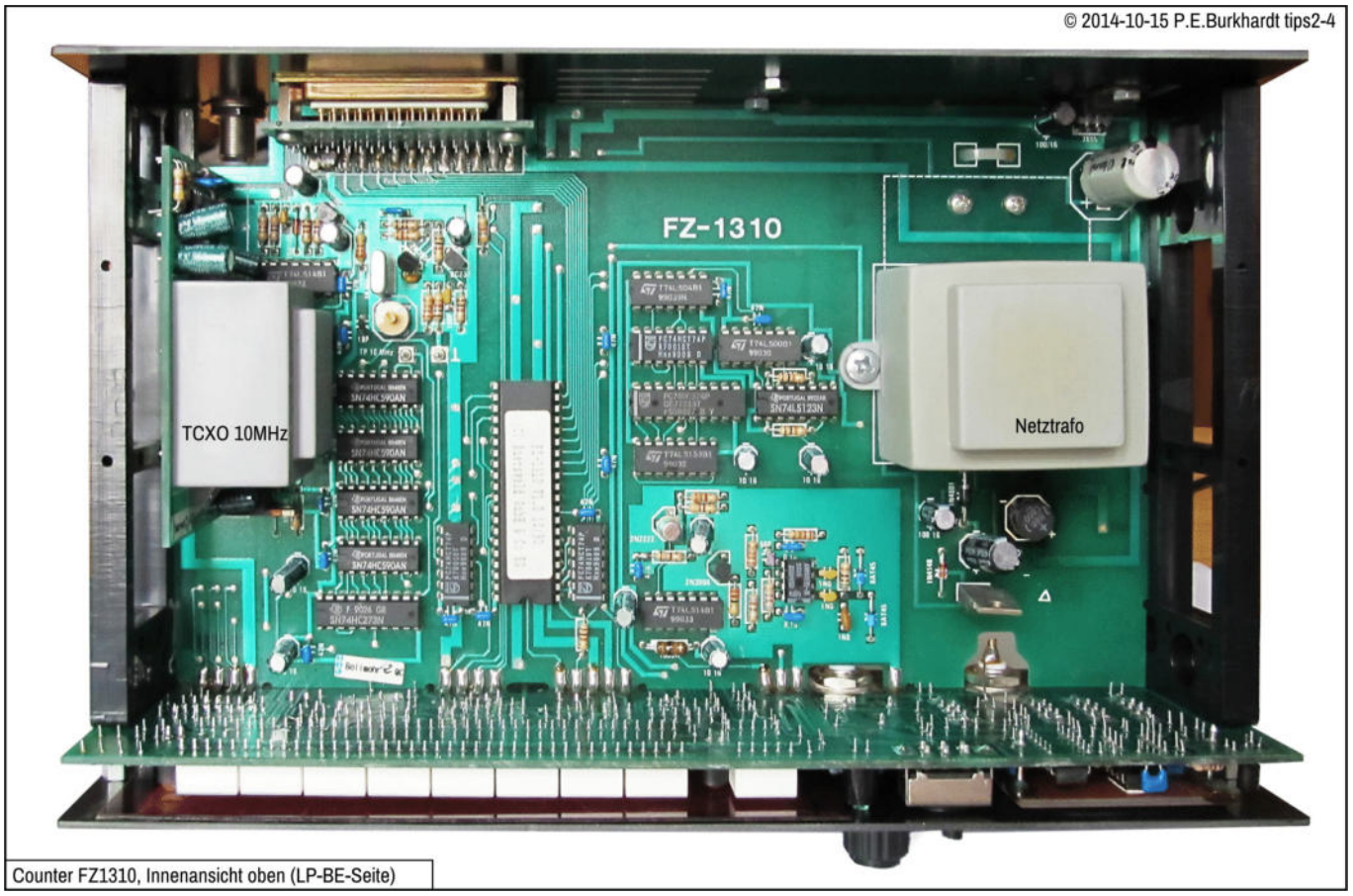
Basis jeder Reparatur ist ein Stromlaufplan, ohne dem fast jeder Reparaturversuch scheitern muss (abgesehen von ganz einfachen sichtbaren Fehlern).



Die Schaltungstechnik ist überschaubar, allerdings wäre ein Fehler im Bereich des herstellerspezifischen Mikroprozessors fatal.

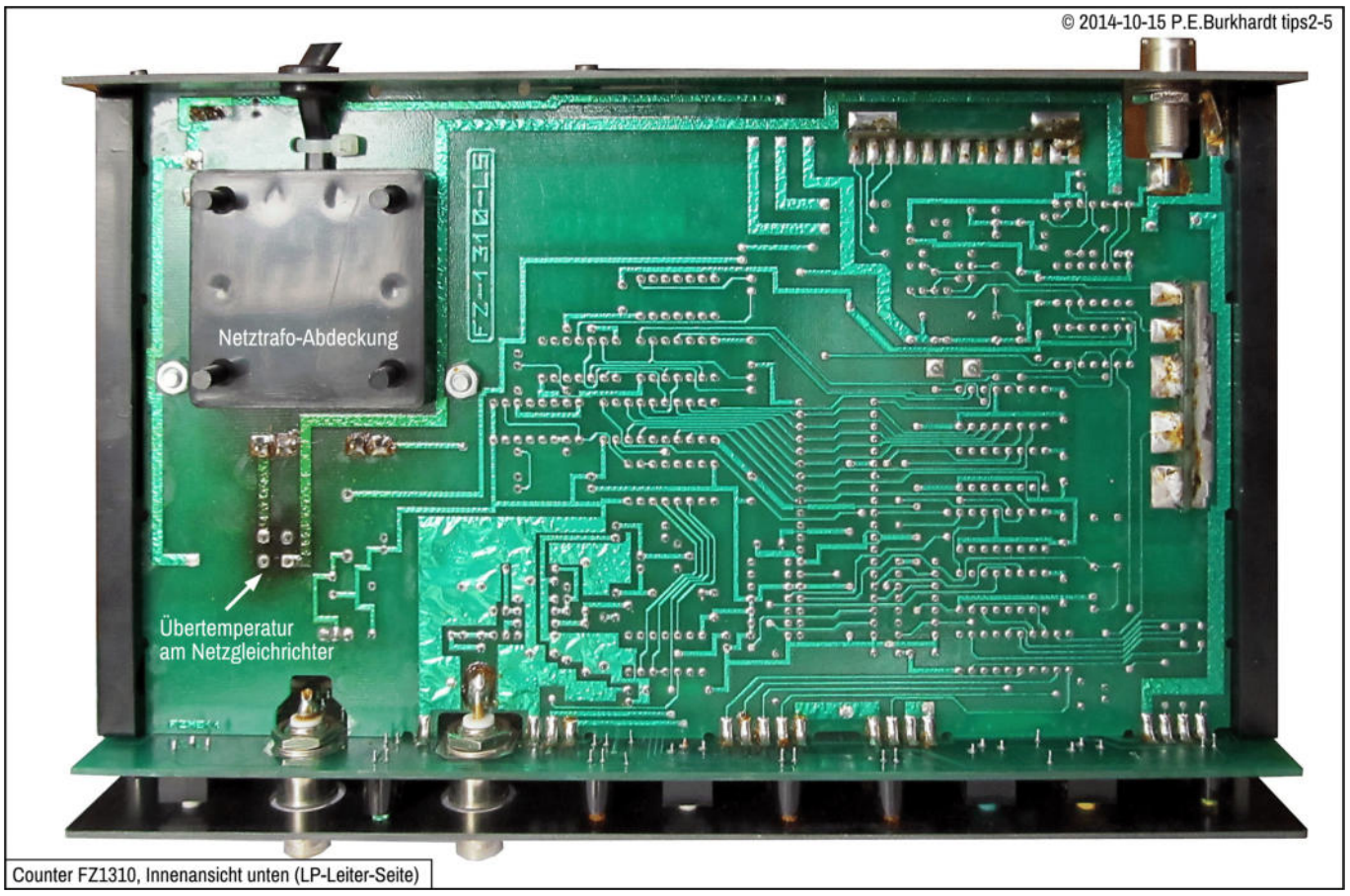
FZ1310 mit Netzteilfehler

Der FZ1310 ist servicefreundlich. Die wenigen Abdeckplatten sind schnell entfernt.



Counter FZ1310, Innenansicht oben (LP-BE-Seite)

Nach näherer Betrachtung fiel mir auf der Unterseite eine überhitzte Leiterplattenstelle auf.



Counter FZ1310, Innenansicht unten (LP-Leiter-Seite)

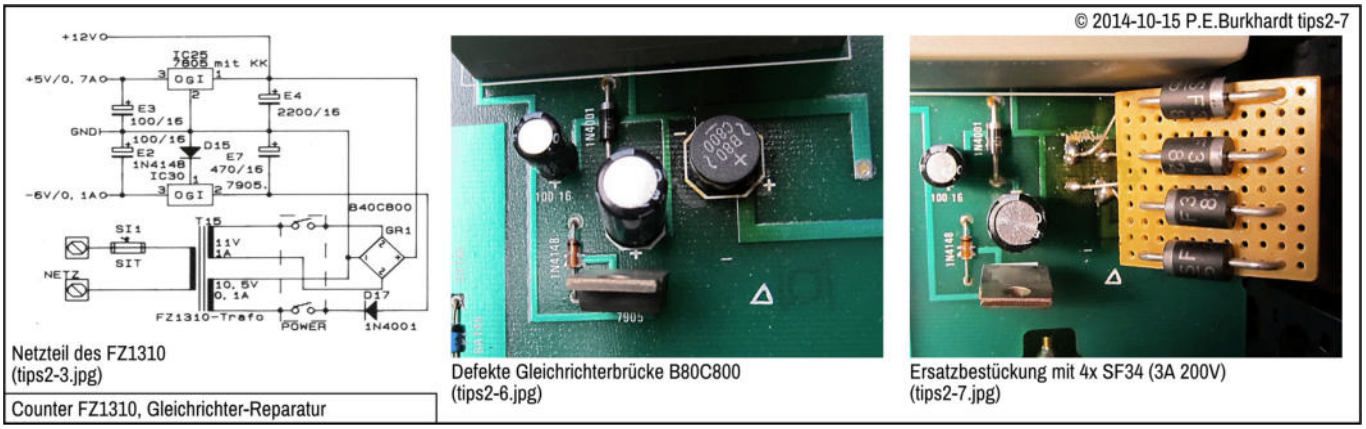
Offensichtlich war der Netzgleichrichter zu heiss geworden.

Fehlerbild
Immer wenn der Zähler über Stunden in Betrieb war, war die Anzeige zunehmend instabil. Nicht die Helligkeit, sondern der angezeigte Wert veränderte sich zunehmend sprunghaft, ohne dass sich die Messgröße geändert hätte. Da außerdem bei hoher Umgebungstemperatur die Anzeigefehler zunahmen, war auf einen Gerätefehler zu schließen.

Temperaturmessung
Durch Messen der Gleichrichter-Oberflächen-Temperatur stellte ich fest, dass die Gleichrichterbrücke im Betrieb immer heiß wird. Nach längerer Einschaltzeit stieg die Temperatur auf über 70°C an, und das bei offenem Gehäuse und einer Umgebungstemperatur von nur 20°C.

Damit war klar, dass die Brücke ausgetauscht werden musste.

Ersatz der Diodenbrücke durch einzelne Dioden
Mangels vorhandenem gleichen Diodenbaustein habe ich hoch belastbare Einzeldioden eingebaut.



Netzteil des FZ1310
(tips2-3.jpg)

Defekte Gleichrichterbrücke B80C800
(tips2-6.jpg)

Ersatzbestückung mit 4x SF34 (3A 200V)
(tips2-7.jpg)

Counter FZ1310, Gleichrichter-Reparatur

Die statische Prüfung des alten Gleichrichters ergab keinen Fehler. Alle 4 Einzeldioden zeigten normales Durchlass- und Sperrverhalten.

Reparaturergebnis

Natürlich war klar, dass die Überlastung der originalen Diodenbrücke eine Ursache haben musste. Allerdings habe ich keinen weiteren Fehler gefunden, selbst die Strommessung hinter dem Gleichrichter ergab, dass keine erhöhte Stromaufnahme des Geräts vorlag.

Selbst tagelanger Dauerlauf bei geschlossenem Gehäuse und heißen Sommertemperaturen führte nicht zu dem alten Anzeigefehler.

Fazit

Reparatur gelungen, aber ohne die wirkliche Ursache zu kennen. Vermutlich war doch die Diodenbrücke die Fehlerursache. Es kann ja sein, dass bei Belastung eine der Dioden ausfällt (hochohmig oder nicht mehr sperrfähig) und dadurch die Temperatur ansteigt. Das könnte dann Auswirkungen auf den Pegel und die Welligkeit der Versorgungsspannung (+5V-Schiene) haben und entsprechende Funktionsfehler der ICs bewirken.

Hinzu kommt, dass die Diodenbrücke entsprechend der Daten meiner Meinung nach ziemlich knapp bemessen war.

FZ1310 mit Triggerfehler

Die richtige Triggerpegel-Einstellung des FZ1310 bestimmt maßgebend, ob eine verwertbare (richtige) Anzeige erfolgt. Ist die Einstellung falsch, kann es auch zum Springen des Anzeigewertes kommen.

Fehlerbild

Der Einstellbereich für den Triggerpegel, in dem eine richtige Anzeige erfolgt, ist sehr klein gemessen am gesamten 270°-Drehwinkel des Triggerpegel-Potis. Nur wenige Grad genügten und die Anzeige war nicht auswertbar. Hatte man dann den richtigen Punkt für eine stabile Anzeige getroffen, sprang nach einiger Zeit der Anzeigewert dann doch wieder hin und her, obwohl sich die Messfrequenz nicht geändert hatte. Ein zügiges Arbeiten mit dem FZ1310 war nicht mehr möglich.

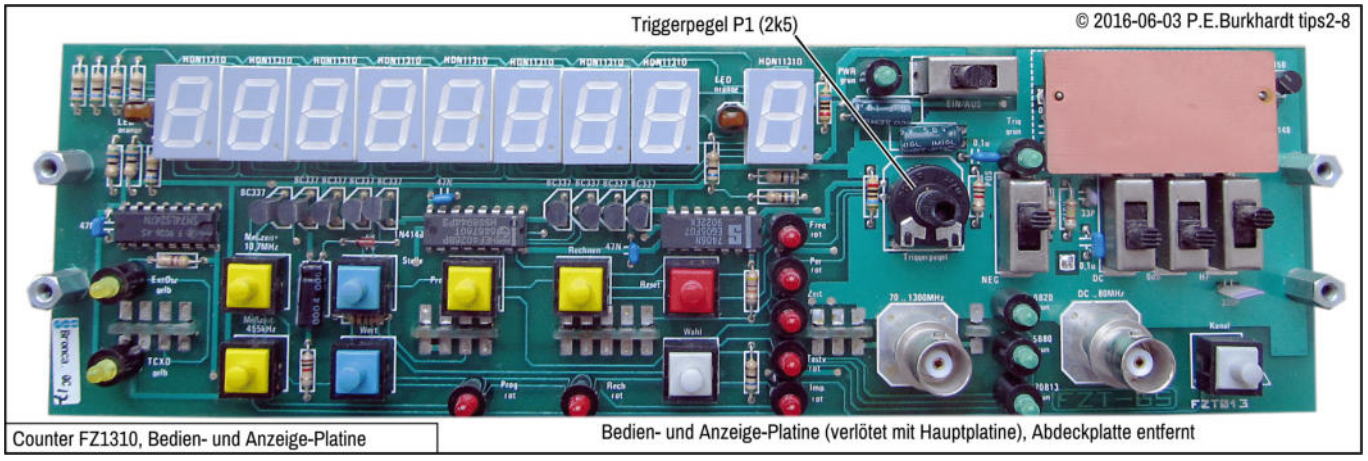
Fehlerursache

Da entsprechend Stromlaufplan der Triggerpegel mit einer Gleichspannung referenziert wird, die mit dem Triggerpegel-Poti P1 einstellbar ist, vermutete ich einen Fehler dieses Potis. Beim Drehen war zu spüren, dass es kein Drahtpoti sondern ein Schichtpoti war. Diese Potis werden durch häufige Benutzung fehlerhaft. Das Kratzen eines Lautstärke-Stellers aus früheren Zeiten ist der Beleg dafür. Außerdem fördert die häufige Suche des Triggerpunktes an einer Stelle der Poti-Schleifbahn den Verschleiß des Potis zusätzlich.

Lösung des Problems

Es kam also nur der Ersatz des Potis in Frage, und zwar gleich mit einem stabilen 10-Gang-Draht-Poti. Dieses Poti war noch aus DDR-Zeiten in der Bastelkiste vorrätig. Die folgenden Bilder zeigen alles Wesentliche.

Austausch des Triggerpegel-Potis



Counter FZ1310, Bedien- und Anzeige-Platine

Bedien- und Anzeige-Platine (verlötet mit Hauptplatine), Abdeckplatte entfernt

Nach dem Abbau der beiden Blechgehäuse-Schalen wird die Bedien- und Anzeigeplatine erst zugänglich, wenn die vordere Bedienblende (Abdeckplatte) entfernt ist. Zuvor muss natürlich der Triggerpegel-Einstellknopf abgezogen werden. Dieser wurde später durch einen passenden Drehknopf für die 6mm-Achse des neuen Potis ersetzt.

Das alte Triggerpegel-Poti wurde ausgebaut.

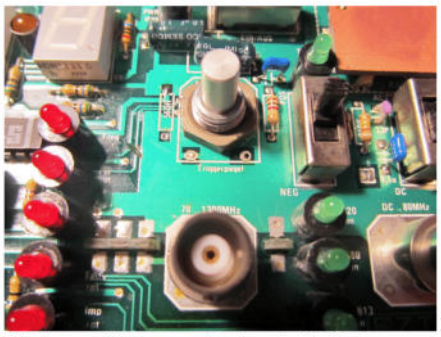
Rückseitige Verlötung des Triggerpegel-Potis. Auf dieser Seite fand das neue Poti Platz. Damit keine Kurzschlüsse entstehen, mussten einige Leiterzüge und der 560-Ohm-Widerstand R49 entfernt werden.

Für das neue 10-Gang-Draht-Poti war nach hinten genügend Platz.

Counter FZ1310, Wechsel des Triggerpegel-Potis

Das alte originale Triggerpegel-Poti ist von vorn auf die Leiterplatte gelötet und hat durch seine flache Bauform Platz zwischen Bedien-/Anzeigeplatine und der Abdeckplatte. Das neue Poti wurde (wie üblich) von hinten durch die Leiterplatte gesteckt und verschraubt. Deshalb war es nötig, die Aufnahme-Bohrung auf 12 mm zu erweitern.

Ebenso mussten einige Leiterzüge entfernt werden, da sonst über das Poti-Metallgehäuse Kurzschlüsse aufgetreten wären. Die einzelnen Leiterzüge wurden natürlich nicht wirklich entfernt, sondern an geeigneter Stelle mit einem kleinen Fräser durchtrennt und somit unwirksam gemacht. Die ursprüngliche Leiterzugführung wurde durch flexible Drähte ersetzt. Auch das neue Poti und ein Widerstand wurden über flexible Brücken angeschlossen.

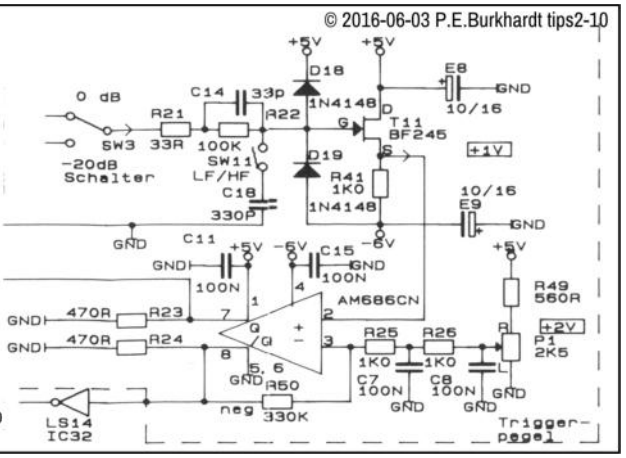


1147

Für das neue Triggerpegel-Poti wurde die Montage-Bohrung vergrößert. Entfernte Leiterzüge wurden durch Drahtbrücken ersetzt.

Counter FZ1310, Wechsel des Triggerpegel-Potis

P1 führt nur DC. Deshalb können die Zuleitungen verlängert werden. Allerdings dürfen keine Fremdspannungen (Einstreuungen) auf den Eingang Pin 3 des AM686CN gelangen.



Auszug aus dem Sp
Counter_FZ1310

Noch im demontierten Zustand erfolgte ein Funktionstest. Das neue Poti hatte einen Wert von 5 kΩ. Es ergab sich am Schleifer ein geringfügig höherer Maximalwert (>2 V). Das ist aber hinnehmbar, da ja jetzt ein Drehwinkel von 3600° zur Verfügung steht.

Reparaturergebnis

Der Triggerpegel lässt sich jetzt wesentlich feinfühliger einstellen. Das ursprüngliche Springen der Anzeige tritt nicht mehr auf. Ein 10-Gang-Drahtpoti wäre schon bei der Fertigung des Counters die richtige Lösung gewesen. Natürlich gibt es Kostenvorgaben, die eingehalten werden müssen. Allerdings sind mechanisch betätigte Bedienelemente nach wie vor ziemlich fehleranfällig, vor allem wenn wie hier minderwertige Potis zum Einsatz kommen.

Löttechnik

Kostengünstige Löttinktur

Für den Hobby-Elektroniker ist Kolophonium (Kiefernharz) als Löt-Flussmittel unentbehrlich. Es enthält nur organische Säuren und richtet selbst bei längerer Einwirkung z.B. auf Leiterplatten keinen Schaden an. Im Gegenteil, eine getrocknete Kolophonium-Schicht schützt die Leiterplatte (Cu) und Lötstellen vor Korrosion.

Allerdings reicht die Flussmittel-Seele des Lötdrahtes (z.B. im 1,0 mm Sn60/Pb40 2,5% FLUX) beim Löten oft nicht aus. Um vor allem bei leicht oxydierten Oberflächen (z.B. ältere verzinnte Bauelement-Anschlussdrähte, Cu-Flächen mit leichter Oxydschicht usw.) eine saubere Lötverbindung herzustellen, muss zusätzlich Flussmittel aufgebracht werden. Geeignet ist Löthonig (in der Tube, DANY Bienenwohl GmbH Munich) oder auch Löttinktur.

Meine Erfahrungen mit Löthonig sind sehr positiv, allerdings ist mir der Preis zu hoch. Außerdem ist das großflächige Aufbringen (z.B. mit einem Pinsel) aufgrund der honigartigen Konsistenz nicht möglich. Der kostengünstige Ausweg ist eine selbst hergestellte Löttinktur.

Löttinktur, selbst hergestellt

Als Zutaten benötigt man nur festes oder pulverförmiges Kolophonium sowie ein geeignetes Lösungsmittel.

Kolophonium

Festes Kolophonium in der Dose vom Elektronik-Fachmarkt (Bastlerbedarf) ist nicht billig. Außerdem habe ich den Eindruck, dass das jetzt verfügbare Elektronik-Kolophonium nicht so gut wirkt wie älteres Kolophonium (z.B. aus DDR-Zeiten). Mir wurde vom Fachverkäufer erklärt, dies hängt mit jetzt stärkeren Auflagen bezüglich Gesundheitsschutz (beim Löten) zusammen.

Eine Alternative ist Brühpech, das aus gemahlenem Kiefernharz besteht und meines Wissens keine Zusätze enthält. Brühpech in der 500g-Packung (siehe Bild) ist unschlagbar preisgünstig. Es wird auch Brühharz, Saupech oder Metzgerharz genannt und ist im Fachgeschäft für Metzgereibedarf erhältlich. Vom Produzent vorgesehenes Anwendungsgebiet ist das Entfernen von Borsten und Federn (Schlachtvieh).

Dieses pulverförmige Kolophonium kann in einer Blechdose geschmolzen werden. Dazu reichen wenige Minuten auf der Herdplatte. Doch Vorsicht: Bei zu hoher Temperatur verbrennt das Harz und wird unbrauchbar. Nur soweit erhitzen, bis der Schmelzpunkt erreicht wird! Nach Abkühlung erhält man festes Kolophonium, wie es Elektronikgeschäfte verkaufen. Ich habe damit gute Erfahrungen gemacht. Die Wirkung entspricht dem festen Kolophonium aus vergangener Zeit.

Zur Herstellung der Löttinktur kann das Kolophonium-Pulver (Brühpech) ohne weitere Behandlung direkt verwendet werden.

Lösungsmittel

Verschiedene Versuche waren nötig, um das optimale Lösungsmittel zu finden. Brennspiritus stinkt und kann Essigsäure enthalten, die sich bezüglich Korrosion negativ auswirkt. Reiner Alkohol (mindestens 98 % ist nötig) ist schwierig zu bekommen und in Apotheken mit Apotheker-Preisen zu bezahlen.

Eine gute und sehr preisgünstige Alternative ist Isopropylalkohol (IPA, Propan-2-ol, Isopropanol). Diese Flüssigkeit hat eine ausgezeichnete Fettlöslichkeit und wird in vielen Bereichen (u.a. auch in der Medizin) als Reinigungs- und Lösungsmittel verwendet. Reiner Isopropylalkohol (mindestens 99,7 %) enthält max. 0,1 % Wasser und nur 0,002 % Essigsäure. Dieses Lösungsmittel eignet sich sehr gut als Kolophonium-Lösungsmittel, da es schnell und rückstandsfrei verdunstet. Der typische Desinfektions-Geruch verfliegt bei offenem Fenster ebenfalls schnell. Allerdings ist das Lösungsmittel leicht entzündlich und wirkt reizend (kein direkter Augenkontakt!).

Für die Löttinktur muss reines IPA verwendet werden. Mischungen mit Wasser (z.B. 70 % IPA, 30 % Wasser) sind ungeeignet. In einem Fachgeschäft für Lacke und Farben (Großhandel) kostete die Flasche (1 Liter) nur ca. 3,50 EURO (in 2014). Im Bild ist die speziell abgefüllte Flasche zu sehen. Meist wird IPA in 5-Liter-Gebinden gehandelt.

Mischungsverhältnis der Löttinktur

Je nach Anwendung kann das Mischungsverhältnis variiert werden. Für normales Auftragen mit dem Pinsel beim Löten verwende ich ca. 4 Teile IPA auf 1 Teil Kolophonium. Ist die Mischung zu dünn, wirkt das wenige Kolophonium nicht genügend. Ist die Mischung zu dick, bleiben zu viel Rückstände auf der Leiterplatte.

Schierigkeiten beim Mischen gibt es nicht. Das pulverisierte Kolophonium löst sich im IPA relativ schnell, besonders wenn man mit Schütteln der Flasche nachhilft. Das Bild zeigt die Lötflasche (z.B. kleine Medikamenten-Flasche mit Sicherheitsverschluss). Zur Aufbewahrung ist der originale Sicherheitsverschluss aufgeschraubt. So kann sich die Tinktur nicht verflüchtigen.

Pinsel in der Lötflasche

Beim Löten verwende ich einen zweiten Sicherheits-Schraubverschluss mit entferntem Gewinde. In die Kappe wird ein passendes Loch gebohrt, damit der Pinsel (Kunstmalerbedarf) straff eingesteckt werden kann. Die Borsten des Pinsels sollten etwa bis zur Hälfte in die Löttinktur tauchen. So kann beim Löten der Pinsel mit Kappe immer wieder auf die Flasche gesteckt werden, um Verdunstung und Geruch zu minimieren.

Anwendung des Isopropylalkohols (IPA) zum Reinigen

Reinigung vor dem Bestücken der Leiterplatte

Gelochte Universal-Leiterplatten sind meist ohne weitere Behandlung gut lötfähig und müssen deshalb in der Regel nicht gereinigt werden.

Wurde die Leiterplatte bearbeitet (gefräst, gebohrt) oder ist sie aus anderen Gründen verschmutzt (fettig, oxydiert, lange gelagert), sollte eine gründliche Reinigung mit IPA erfolgen. Dazu eignet sich eine Farbschale vom Baumarkt (käuflich einzeln oder zusammen mit Farbroller als Set). IPA wird in die Schale gegeben. Dann die Platine über die Schale halten und mit einem Flachpinsel reinigen. So kann überschüssiges IPA in die Schale laufen. Auch eine Vollwaschung der noch unbestückten Platine ist möglich.

Danach Platine trocknen lassen. Durch eine Wärmequelle (behelfsweise z.B. Heizkörper der Zentralheizung) kann die Trockenzeit verkürzt werden. Eine zu lange Trockenzeit begünstigt die neue Bildung einer Cu-Oxyd-Schicht, noch bevor die Leiterseite versiegelt ist.

Achtung: Feuergefahr, wenn die Trocknung mit zusätzlicher Wärmequelle erfolgt. Raum gut belüften!

Ist die nun saubere Platine trocken, müssen alle Cu-Flächen sofort mit Löttinktur versiegelt werden (siehe weiter unten).

Reinigung nach dem Bestücken der Leiterplatte

Stören die Kolophonium-Reste nach dem Löten, kann die Leiterseite mit IPA abgewaschen werden. Dazu eignet sich wieder eine Farbschale. IPA wird in die Schale gegeben. Dann die Platine über die Schale halten und schräg von unten mit einem Flachpinsel reinigen. So kann überschüssiges IPA in die Schale laufen.

Auf der Bauelementeseite bin ich vorsichtig. Ob alle Bauelemente IPA vertragen, ist mir nicht bekannt. Hermetisch verschlossene Bauelemente (R, C, ICs) dürften von IPA nicht beschädigt werden. Sind aber z.B. Relais auf der Leiterplatte, kann das Eindringen von IPA zusammen mit Kolophonium-Resten zu Problemen führen. Eine Vollwaschung der Leiterplatte ist deshalb nicht zu empfehlen.

Die Reinigung doppelseitiger und SMD-bestückter Leiterplatten ist mit IPA auch möglich, allerdings sollte dies ebenfalls nur mit dem Pinsel erfolgen.

Nach der Reinigung die Platine trocknen lassen und anschließend die Leiterseite sofort mit Löttinktur versiegeln.

Anwendung der Löttinktur zur Versiegelung

Neben dem eigentlichen Löten ist die gleiche 4:1-Mischung auch zum Versiegeln einer Leiterplatte vor und nach dem Löten geeignet. Dazu wird die Leiterplatte auf der Leiterseite großflächig mittels Pinsel eingestrichen. Damit die Tinktur nicht auf die Bauelementeseite läuft (z.B. durch unbestückte Löcher), sollte die Leiterplatte wenigstens senkrecht gehalten werden. Noch besser ist das Bepinseln schräg von unten.

Die sich nach dem Trocknen ergebende Kolophonium-Schutzschicht verhindert nicht nur die Korrosion, sondern ist auch die ideale Voraussetzung für nachträgliche Lötvorgänge. Erscheint die Kolophonium-Schicht zu dick, kann der Kolophonium-Anteil verringert werden (6:1 ist ausreichend).

> Hinweis: Die Kolophonium-Versiegelung ist für viele Jahre ausreichend. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass sich nach längerer Zeit (z.B. 10 Jahre) unter ungünstigen Umwelteinflüssen eine Cu-Oxyd-Schicht bildet. Die Gefahr ist aber wegen des nahezu säurefreiem IPA sehr gering. Für Elektronik im Außenbereich ist Leiterplatten-Lack aus der Sprühdose die bessere Wahl.

Mini-Lötbad für die Lötkolbenspitze

Grundsätzliches

Löten auf Leiterplatten sollte man nur mit Lötstation. Die Temperaturregelung der Dauer-Lötkolbenspitze sorgt für ständige Lötbereitschaft, ohne dass der Lötkolben überhitzt. Bei richtiger Temperatureinstellung (ca. 210 bis 240 °C) und kurzer Lötzeit (2 bis 3 Sekunden) sind keine Bauelemente-Schäden zu befürchten.

Allerdings oxydiert in den Lötpausen auch eine Dauer-Lötkolbenspitze, so dass von Zeit zu Zeit die Reinigung und das Verzinnen der Spitze erforderlich ist.

Lötbad selbstgebaut

Lötkolbenspitze im Zinnbad

Das Verzinnen der Lötkolbenspitze geschieht entweder nur mit FLUX-Lötdraht oder in einer kleinen Zinnkugel unter Zugabe von Kolophonium. Warum also die Spitze nicht gleich in ein Zinnbad stecken!

Eine geeignete Vorrichtung zeigt das Bild:

Mini-Zinnbad für die Lötkolbenspitze

Alle Teile sind vom Baumarkt, das 3-mm-Bodenblech war gerade vorhanden. Das Cu-Distanzrohr wurde nur verwendet, da das Cu-Endstück nicht die gewünschte Größe hatte. In den Lötpausen steckt die Lötkolbenspitze ca. 5 mm im Zinnbad. Da kein Sauerstoff an die Spitze gelangt, kann sie auch nicht oxydieren.

Die Lötkolbentemperatur wird wie gewohnt eingestellt. Die Aufwärmzeit ist durch das viele Metall (Zinn und Haltevorrichtung) länger als in der Lötstation. Nach Erwärmung kann aber zügig gelötet werden, da das Bad in den Lötpausen immer wieder aufgeheizt wird.

Achtung Brandgefahr: Die Haltevorrichtung erhitzt sich im Laufe der Zeit. Das Bodenblech muss deshalb gegen die Unterlage thermisch isoliert sein. Kippsicher aufstellen!

Eine Reinigung und/oder Neubefüllung des (kalten!) Zinnbades ist leicht möglich, da sich die Muffe abschrauben lässt. Einen vorzeitigen Verschleiß der Spitze konnte ich nicht beobachten.

Verbesserung des Lötbads (Nachtrag am 03.06.2016)

Es hatte sich gezeigt, dass das Zinnbad nicht schnell genug und vor allem nicht richtig von der eingetauchten Lötkolbenspitze erwärmt wurde. Die Wärmeabgabe (d.h. Abkühlung) über die Metallteile ist zu groß. Dadurch war das Zinnbad nicht flüssig genug.

Lösung des Problems

Zur Erhöhung der Zinnbad-Heizleistung wurden unter den Messing-Sockel (siehe Bild) einige Widerstände mit Keramikgehäuse montiert, die bei 12V-Versorgung etwa 20 Watt Wärmeleistung ergeben. Die Widerstände sind direkt an die 12V-Wicklung eines kleinen Ringtrafos angeschlossen. Die Verwendung von Wechselspannung bringt hier keine Nachteile.

Natürlich ist das nur eine provisorische Lösung, die sich aber hervorragend bewährt hat. Jetzt ist das Zinnbad innerhalb weniger Minuten aufgeheizt und der Lötkolben kann benutzt werden.

Achtung Brandgefahr: Die Heiz- und Haltevorrichtung erhitzt sich jetzt noch mehr und noch schneller. Das Bodenblech muss deshalb unbedingt auf einer wärmedämmenden und hitzesicheren Unterlage stehen.

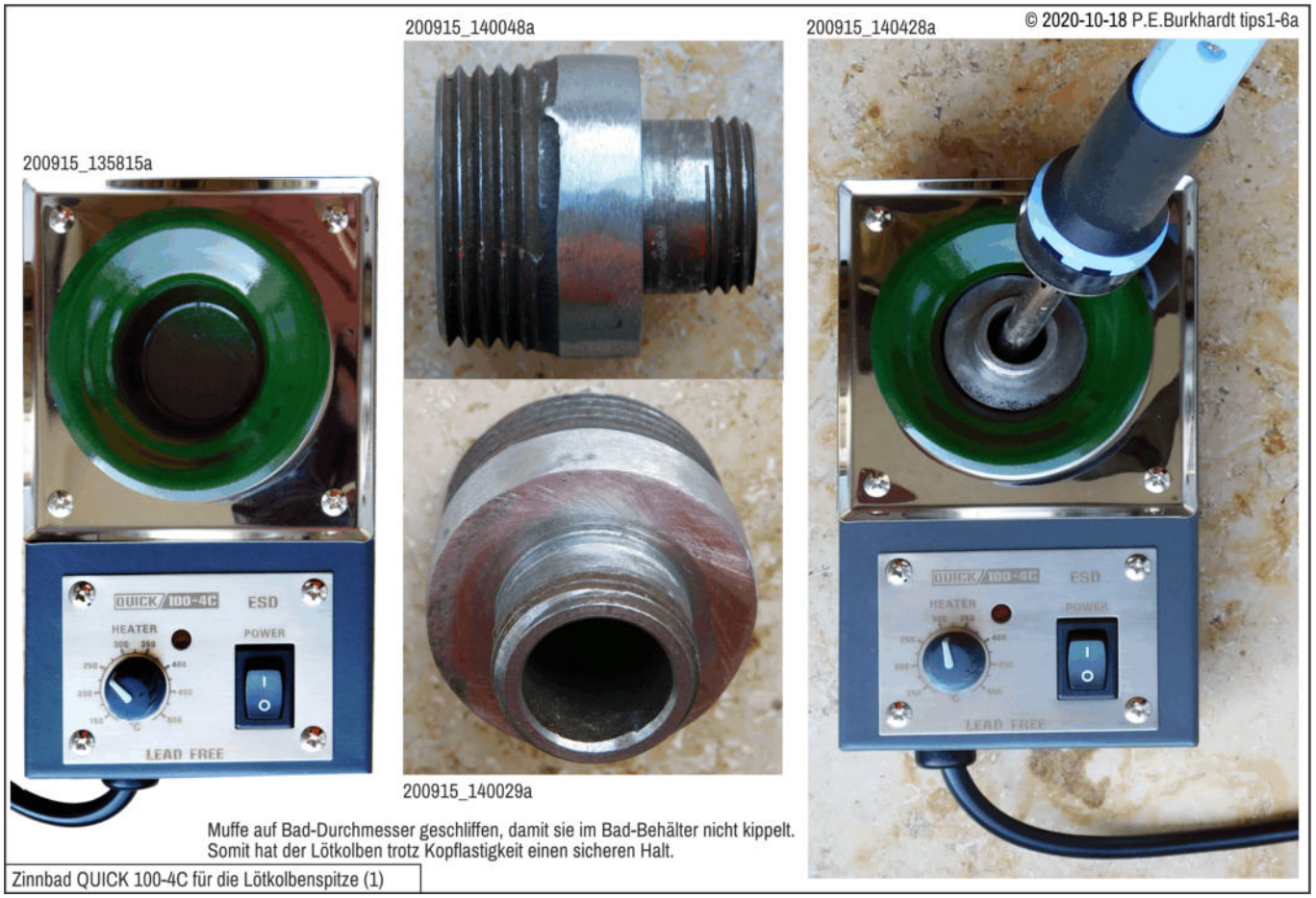
Profi-Lötbad mit Temperaturregelung

Warum ein neues Lötbad? Nun, meine alte Lötbad-Lösung für die Lötkolbenspitze war von Anfang an kein Meisterstück, obwohl es mehrere Jahre seinen Dienst getan hat. Leider fehlt der nötige Hitzeschutz und auch nach unten zum Holztisch hatte ich Probleme, in längeren Lötsitzungen die Temperatur im Zaum zu halten. Eine Temperaturregelung für das Lötbad war auch nicht vorhanden.

Da kam mir die Idee, doch das Geld für ein Profi-Gerät auszugeben. Vornweg verraten: Der Kauf hat sich gelohnt.

Zinnbad QUICK 100-4C für die Lötkolbenspitze (2)

Das hier vorgestellte Lötbad ist zwar ein Kaufteil, musste aber trotzdem für den Einsatz als Bad für die Lötspitze etwas modifiziert werden. Auf der Suche nach einem geeigneten Gerät kam nur dieses hier in Frage. Es hat eine kleine Badekammer, die sich mit einem Stück Rohr oder einer passenden Gewindemuffe weiter verkleinern lässt. Dadurch ist einerseits nicht soviel Lötzinn erforderlich, da sich das Volumen des Bades verringert. Andererseits ergibt sich aber vor allem ein geringerer Durchmesser des verbleibenden Bades. Der eingetauchte Lötkolben kann dann nicht mehr kippen. Er ist ja durch sein Eigengewicht und vor allem durch das Verbindungskabel zur Lötstation sehr kopflastig.



Muffe auf Bad-Durchmesser geschliffen, damit sie im Bad-Behälter nicht kippelt.
Somit hat der Lötkolben trotz Kopflastigkeit einen sicheren Halt.

Zinnbad QUICK 100-4C für die Lötkolbenspitze (1)

Das verwendete Gewindestück hatte ein Außensechskant. Ich habe es soweit abgeschliffen, dass die Muffe genau in das Lötbad passt. Allerdings muss man trotzdem auf ein paar Zehntel Millimeter Zwischenraum achten, denn sowohl das Lötbad als auch die Muffe erwärmen sich kräftig und dehnen sich folglich auch aus. Es wäre fatal, wenn die Muffe den Lötbadbecher sprengt.

Inbetriebnahme

Nach dem Füllen des Bades mit bleihaltigem Elektronik-Lötzinn (Lötdraht mit Pb- und Cu-Anteil: Pb38, Sn60, Cu2) sollte erst einmal für eine ordentliche Belüftung gesorgt werden. Das Gerät samt Zinn und Lötkolben hat wenigstens 10 Stunden starke Ausdünstungen gehabt. Es hat also lange gedauert, bis ein einigermaßen regulärer Betrieb möglich war.

Hinweis

Beim Löten sollte sowieso für gute Belüftung gesorgt werden. Ein offenes Fenster ist das Mindeste. Ideal wäre ein Abzug. Leider habe ich aber keine Möglichkeit, die Dämpfe über einen Schlauch ins Freie zu leiten. Das bleifreie Löten ist zwar etwas günstiger, aber auch nicht gesund.

Anwendungserfahrung

Jetzt sind lange Lötorgien ohne Hitzeprobleme möglich. Der Temperaturregler steht immer auf ca. 190°C. Das Gerät ließe maximal 500°C lt. Skala zu. Das ist aber nicht nötig. Selbst wenn man bleifrei lötet, sollte es keine Anwendungsprobleme geben. Ich habe bleifreies Löten zwar schon früher einmal probiert, aber ich meide es. Die erforderliche Löttemperatur ist mir zu hoch. So verwende ich weiterhin bleifreie Lötdrähte mit 2,5 % Flux und einer Schmelztemperatur von 183°C (Sn60Pb40-1mm von Cynel-Unipress Warschau).

Eine passende feuerfeste hitzedämmende Unterlage zum Labortisch ist für das Gerät trotzdem erforderlich. Auch die Berührungsgefahr heißer Teile (Lötgefäß) ist weiterhin gegeben. Aber eine gewisse Vorsicht beim Löten ist sowieso nötig, um selbst nicht zu Schaden zu kommen oder keinen Sachschaden anzurichten.

Steckbrett

Für die eigene Schaltungsentwicklung, für das Testen fertiger Schaltungen und auch für praktische Versuche zum Verstehen elektronischer Wirkprinzipien gibt es verschiedene Möglichkeiten. Im HF-Bereich ist das direkte Auflöten der Bauelemente auf Cu-kaschiertes Halbzeug eine günstige Methode, um den HF-technischen Forderungen gerecht zu werden (kurze Leitungen, breite Masseflächen usw.).

Bei Frequenzen bis einige hundert Kilohertz ist das Steckbrett vorteilhaft, um schnell die Funktion einer Schaltung zu testen, Bauelemente auszutauschen und grundsätzliche Messungen vorzunehmen.

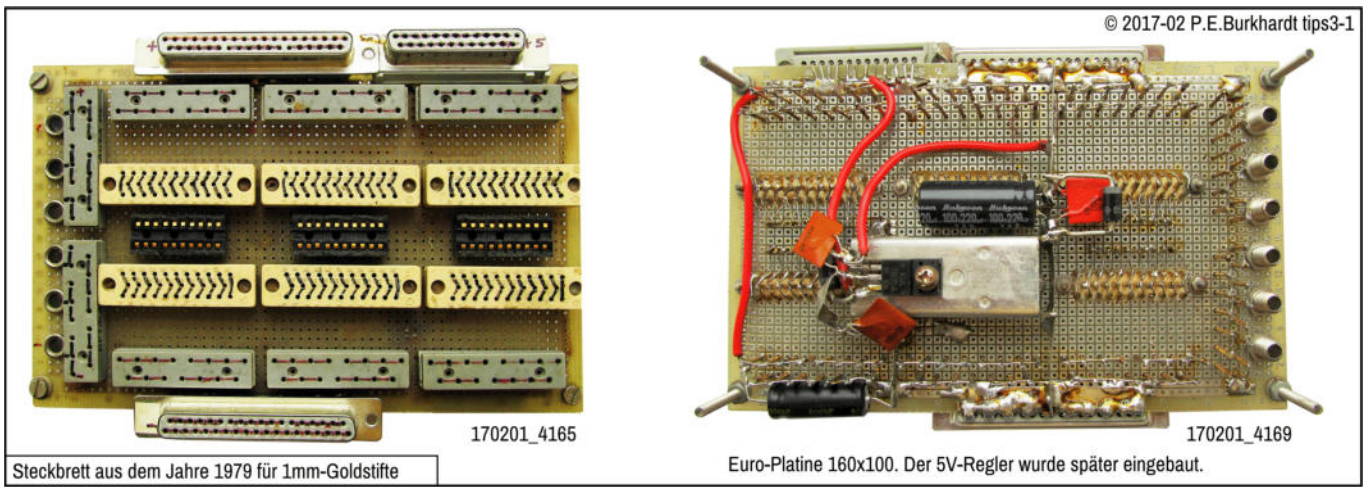
Im Folgenden ist ein Steckbrett beschrieben, das auf Sub-D-Buchsenleisten und selbstgefertigten Drahtbrücken mit vergoldeten 1mm-Stiften basiert. Dazu gehört ein Sortiment an Bauelementen, die ebenfalls mittels der 1mm-Stifte steckbar gemacht wurden.

Es handelt sich also nicht um die seit vielen Jahren angebotenen fertigen Breadboards, sondern um ein eigenes System, das schon über 40 Jahre bei mir verwendet wird. Es hat sich aufgrund des sehr sicheren und relativ hoch belastbaren Stecksystems bestens bewährt.

Steckbrett aus den 70-iger Jahren

Begonnen hatte alles mit Berufsausbildung und Studium. Die Laborschnüre und große Versuchsaufbauten mit industriellen Geräten waren in Schule und Uni üblich, aber als Vorbild für die eigene Bastelkammer ungeeignet. Die anfängliche Lösung, einfach eine Schaltung freitragend zusammenzulöten war ebenfalls auf Dauer zu umständlich.

In dieser Zeit entstand ein kleines Steckbrett auf Basis von 1mm-Buchsenleisten und den dazu gehörigen 1mm-Stiften.



Steckbrett aus dem Jahre 1979 für 1mm-Goldstifte

Euro-Platine 160x100. Der 5V-Regler wurde später eingebaut.

Aufbau des Steckbretts

Mechanische Grundlage ist eine Euro-Lochraster-Platine 100x160 aus glasfaserverstärktem 1,5mm-Material mit verzinnten Lötaugen. Darauf sind damals übliche Buchsenleisten aus der Rechentechnik montiert, deren Anschlüsse zu 3er- und 4er-Gruppen verlötet sind. Diese Kontaktgruppen bilden in der Versuchsschaltung jeweils einen Knoten.

In der Mitte sind IC-Fassungen mit vergoldeten Federkontakten montiert. Jeder Kontakt ist mit je einem Knoten verbunden. Diese IC-Fassungen eignen sich nicht nur für Standard-ICs mit 7,5mm-Reihenabstand, sondern auch für Kleinleistungstransistoren.

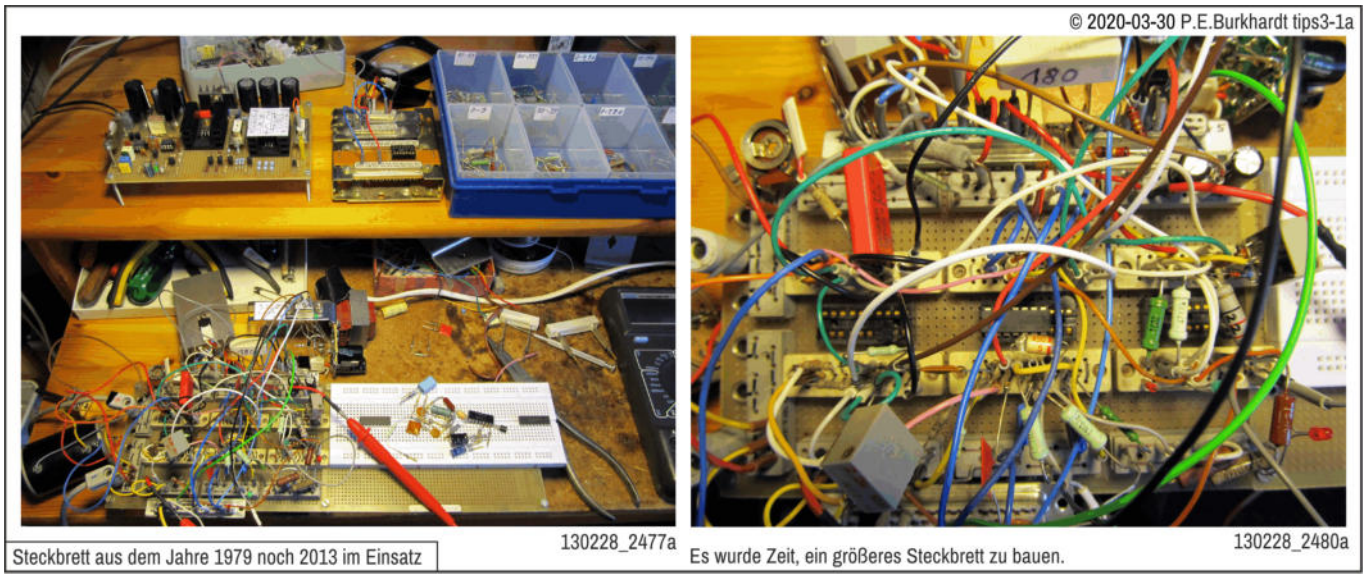
Die Telefonbuchsen am Rand dienen der Verbindung zur Stromversorgung und/oder zu anderen Geräten.

Die Sub-D-Buchsenleisten am oberen und unteren Rand wurden später hinzugefügt. Die Kontakte sind zu größeren Gruppen zusammengefasst. Über sie erfolgt die Spannungsversorgung (+Ub und Masse).

Der 5V-Festspannungsregler (siehe rechts im Bild) wurde auch später hinzugefügt, um neben der von außen zugeführten Haupt-Versorgungsspannung (meist 12 V) gleichzeitig eine weitere Spannungsquelle für digitale ICs zu haben.

Die Kontaktgruppen der Stromversorgung sind über breite Weißblechstreifen HF-tauglich miteinander verbunden. Elkos und Keramik-Kondensatoren dienen der Entkopplung. Dadurch waren Testaufbauten im MHz-Bereich möglich, ohne die Funktion der Schaltung wesentlich zu beeinträchtigen.

Steckbrett im Einsatz



Zubehör

Zum Steckbrett gehören noch selbst gefertigte flexible Drahtbrücken unterschiedlicher Länge und Farbe, an die beidseitig vergoldete 1mm-Stifte gelötet sind.

Außerdem wurden die wichtigsten Bauelemente (Widerstände, Kondensatoren, Potis, große Leistungstransistoren (z.b. KU605 auf Kühlblech) usw. mit Stiften versehen. Meist können die Stifte direkt an die Massivdrähte des Bauelements gelötet werden oder der Anschluss erfolgt über flexible Anschlussdrähte mit Steckerstift.

Die Steckerstifte wurden aus den entsprechenden Steckerleisten gewonnen. Vorteilhaft sind Stifte mit Lötkelch für Drähte, Steckerleisten mit z.B. abgewinkeltem Leiterplattenanschluss eignen sich weniger.

Fazit

Das Stecksystem hat sich vor allem wegen der Robustheit der Verbindungstechnik bewährt. Beweis ist die lange Haltbarkeit. Allerdings ist ein gewisser Aufwand nötig, um Steckbrett und Zubehör anzufertigen.

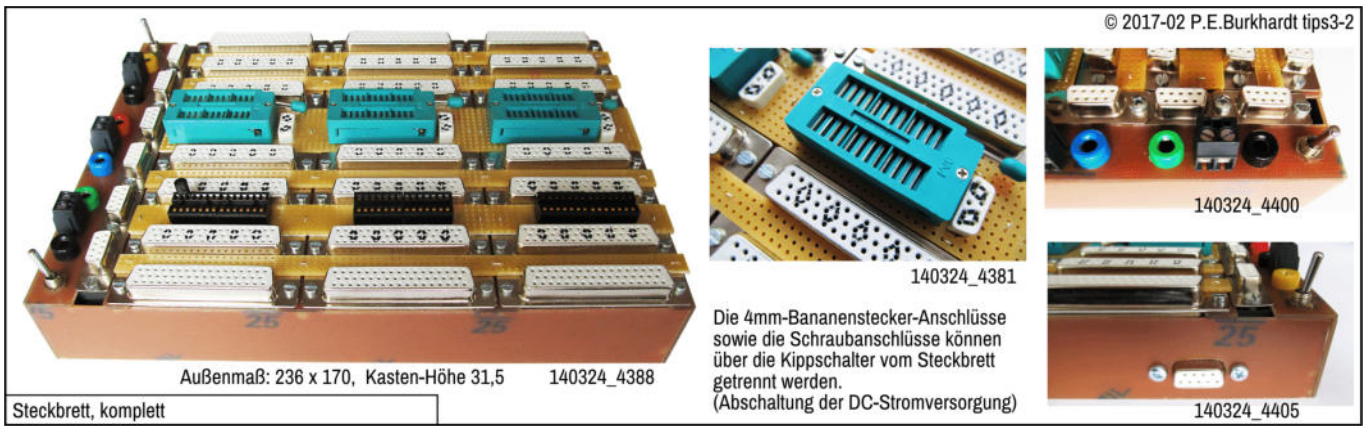
Steckbrett aus dem Jahre 2014

Das alte Steckbrett ist inzwischen zu klein, es wird aber von mir immer noch genutzt. Das neue Steckbrett ist kein einfaches Brett mehr, sondern ein ganzer Kasten mit wesentlich erweiterten Möglichkeiten beim Aufbau der Schaltungen.

Die folgende Beschreibung ist keine Bauanleitung. Maßzeichnungen und Verdrahtungsplan können aber von mir per Anforderung über E-Mail bereitgestellt werden. Ich will lediglich zeigen, wie das Steckbrett realisiert wurde.

Ob sich der Aufwand lohnt, ist stark von den eigenen Bastelgewohnheiten abhängig. Selbstverständlich sind heutige Breadboards fertig verfügbar und die Bauelemente müssen oft nicht speziell vorbereitet werden. Die Robustheit meines 1mm-Systems bewährt sich aber auch weiterhin parallel zu den Direkt-Steck-Möglichkeiten eines Breadboards. Am Schluss dieser Beschreibung zeige ich eine Verbundlösung zwischen beiden Systemen.

Aufbau des Steckbretts



Der grundsätzliche Aufbau ergibt sich aus den verwendeten Bauelementen:

- Gelöteter, nach unten offener Kasten aus einseitig Cu-kaschiertem Leiterplattenmaterial, der alle Buchsenleisten und sonstigen Anschlüsse trägt
- 50-polige Sub-D-Buchsenleisten mit vergoldeten 1mm-Buchsen, mit weißer Oberseite zur Verdrahtungsbeschriftung, mit Kelch-Lötanschlüssen
- 9-polige Sub-D-Buchsenleisten an der linken Seite als Sammelpunkte für die linken über Schalter geschleiften externen Anschlüsse
- IC-Fassungen 16-polig mit 7,5 mm Reihenabstand, vergoldete Steckkontakte aus Federblech, benutzbar auch für Kleinleistungstransistoren
- Schwenkhebel-IC-Fassungen 24-polig mit maximal 18 mm Reihenabstand (Nullkraftsockel), leider nur hartverzinnte Klemmkontakte, benutzbar für alle möglichen Bauelemente ohne besondere Vorbereitung
- Bananenbuchsen für die externe Verbindung über 4mm-Laborleitungen
- Schraubklemmen für den externen Anschluss von Drähten bis 1,5 qmm
- Kippschalter, um hauptsächlich die externe DC-Stromversorgung abschalten zu können, ohne das Labor-Netzgerät abschalten zu müssen
- 9-polige Sub-D-Stecker- und Buchsenleisten an der hinteren Seitenwand, um verschiedene DC-Spannungen gebündelt anschließen zu können

50-polige Buchsenleisten

Die 50-poligen Buchsenleisten bilden die Basis des Stecksystems. Sie waren mir als Industrie-Steckverbindungssystem in hochwertiger (hartvergoldet) Ausführung kostengünstig zugänglich. Aus dem Vorrat der zugehörigen ebenfalls 50-poligen Steckerleisten werden laufend (nach Bedarf) die Steckerstifte gewonnen, um Drahtbrücken zu fertigen oder Bauelemente steckbar zu machen.

IC-Fassungen mit 7,5 mm Reihenabstand

Diese 16-poligen IC-Fassungen in Standardgröße wurden stirnseitig so abgeschliffen, dass sich aneinandergereit 28-polige Fassungen ergeben. Es ergeben sich so genügend Kontakte, die mit den Knoten der parallel montierten 50-poligen Buchsenleisten verbunden sind. Die kleinen IC-Fassungen besitzen Kontakte mit seitlich kontaktierendem vergoldeten Federblech und sind deshalb sehr sicher beim Stecken. Es können auch etwas stärkere Anschlussbeinchen gesteckt werden, z.B. kleine Transistoren. Sogenannte Präzisionsfassungen, wie sie der Elektronikhandel anbietet, sind für diesen Zweck nicht geeignet. Auch Billig-Fassungen (meist ziemlich windiges Kontaktsystem für wenige Steckzyklen) scheiden für die hohe Beanspruchung auf einem Steckbrett aus.

Stromversorgung
Da herkömmliche Laborleitungen zum Stromversorgungsgerät viel zu unhandlich und vor allem platzraubend sind, habe ich verschiedene benötigte Spannungen am Gerät zusammengefasst und über einen 9-poligen Sub-D-Stecker mit dem Steckbrett verbunden.

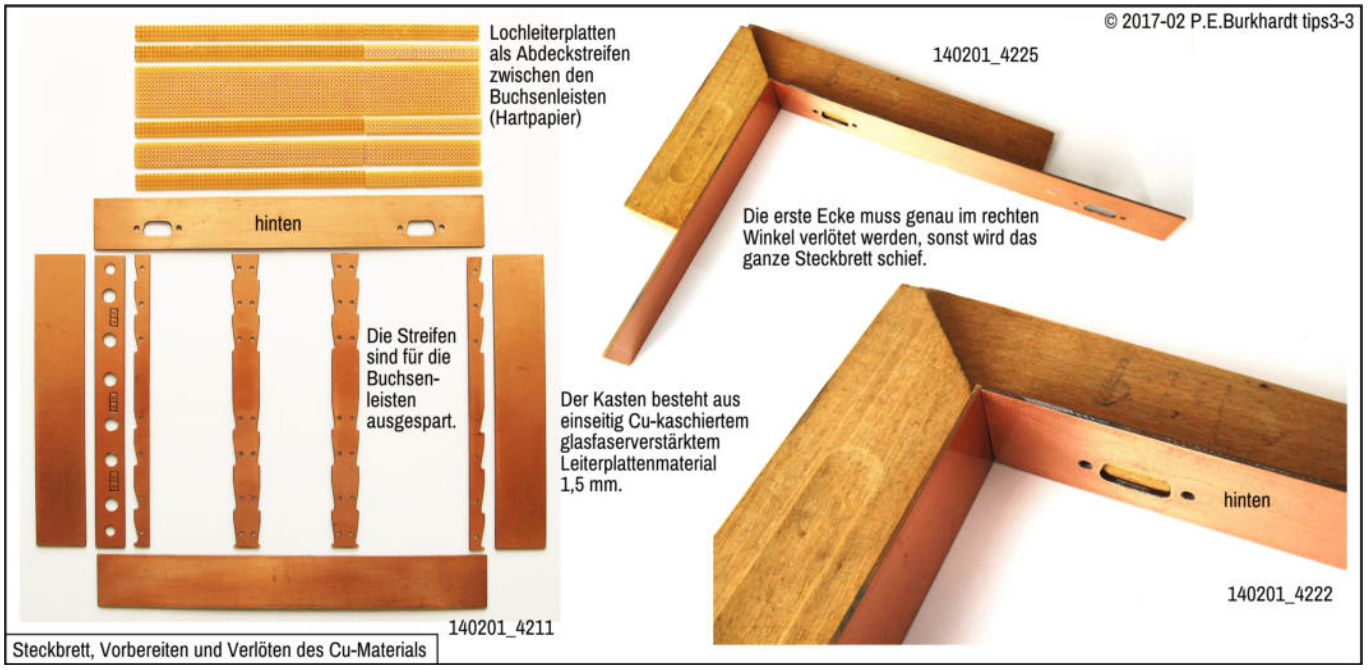
Darüber hinaus existieren an der linken Seite aber auch Bananenbuchsen und Schraubklemmen, über die Verbindungen zur Außenwelt (aus Sicht des Steckbretts) hergestellt werden können. Diese sind zusätzlich über Kippschalter abschaltbar, so dass beim Umstecken der Versuchsschaltung nicht das ganze Stromversorgungsgerät abgeschaltet werden muss.

Manchmal haben diese Stromversorgungsgeräte zwar separate Schalter für jede einzelne Spannung, was aber auch nicht so richtig weiterhilft. Denn am Steckbrett sollen möglichst alle Spannungen und möglichst gleichzeitig verschwinden bzw. wieder zuschaltbar sein. Das gelingt hundertprozentig allerdings mit den Kippschaltern des Steckbretts auch nicht, denn es wären Relais zur Kontakterweiterung nötig. Das ist z.B. eine sinnvolle Ergänzung zum Steckbrett. Platz für die Ralais ist vorhanden, man braucht dann nur eine ständig anliegende Relais-Spannung.

Herstellen der Kastenteile

Bei größeren mechanischen Projekten ist es unabdingbar, vorbereitend möglichst alle Bauelemente, die Auswirkungen auf die mechanische Gestaltung haben könnten, in die Planung einzubeziehen. Das heißt, gute Maßzeichnungen sind nötig, um später meist schlecht zu realisierende Nacharbeiten zu vermeiden. Der Gesamtumfang muss endgültig festgelegt sein, auch wenn erfahrungsgemäß oft hier und da eine Erweiterung wünschenswert ist.

Natürlich muss auch der Stromlaufplan (oder zusätzlich ein Verdrahtungsplan) endgültig vorliegen, damit später bei der Verdrahtung alles glatt läuft.



Steckbrett, Vorbereiten und Verlöten des Cu-Materials

Zuschneiden des Cu-kaschierten Materials

Hier soll keine grundsätzliche Anleitung zur Bearbeitung von Leiterplattenmaterial erfolgen. Ein paar wichtige Hinweise will ich aber geben.

Anreißen
Das Anreißen erfolgt vor dem Zuschnitt auf der Cu-Seite zweckmäßigerweise mit Stahlnadel und Stahllineal. Die Reißlinien sollten nicht zu tief sein, damit nach dem Schneiden noch sichtbare Linien sich beim späteren Reinigen der Cu-Schicht wieder restlos entfernen lassen.

Schneiden
Glasfaserverstärktes 1,5mm-Material ist zwar mechanisch stabil fast wie ALU- oder Stahlblech, lässt sich aber wesentlich besser bearbeiten, vor allem mit Mitteln des Hobbyisten. Gegenüber einfachem gepressten Hartpapier-Leiterplattenmaterial, dass sich leicht anritzen und brechen lässt, muss Glasfasermaterial möglichst gesägt werden. Allerdings sind die dazu nötigen Maschinen (z.B. kleine Handkreissägen) meist nicht vorhanden.

Der beim Sägen, Feilen und Schleifen entstehende feinste Glasfasterstaub ist aber sehr gesundheitsschädlich. Auf eine Atemschutzmaske, wie sie die Heimwerkerläden anbieten, sollte nicht verzichtet werden, auch wenn das Tragen unangenehm ist.

Eine einfachere Methode, die zudem weniger Glasfaserstaub erzeugt, ist das Schneiden entweder mit einer guten Handhebelschere (wie sie auch für Bleche verwendet wird) oder mit einer einfachen Handblechschere. Die Handblechschere sollte lange Schneidkanten haben, von guter Qualität sein und wenig Grat an den Platten erzeugen.

Meine Methode ist das Schneiden mit der auf die Werkbank geschraubten Handhebelschere, mit der sich saubere Schnitte erzeugen lassen. Das Schneiden kann ziemlich maßhaltig erfolgen, Die Kanten müssen nur wenig mit einer großen Schlichtfeile nachgearbeitet und gratfrei gemacht werden.

Bohren

Die wenigen Löcher sind schnell gebohrt. Zu beachten ist, dass bei Glasfasermaterial die Standzeit minderwertiger Bohrer sehr gering ist. Es hat sich bewährt, etwas mehr Geld auszugeben und für harte Werkstoffe geeignete Bohrer zu kaufen. Bohrlöcher müssen unbedingt angerissen und angekörnt sein, um das Verlaufen des Bohrers zu vermeiden. Große Löcher bohrt man mit 2mm-Bohrer vor und mit speziell angeschliffenem Metallbohrer fertig. Der Spezialanschliff (ähnlich sogenannte Holzbohrer) ergibt schöne wirklich runde Löcher und vermindert die Unfallgefahr beim Bohren.

Reinigen, zum Löten vorbereiten

Vor dem Zusammenlöten sollten die Teile wie folgt behandelt werden:

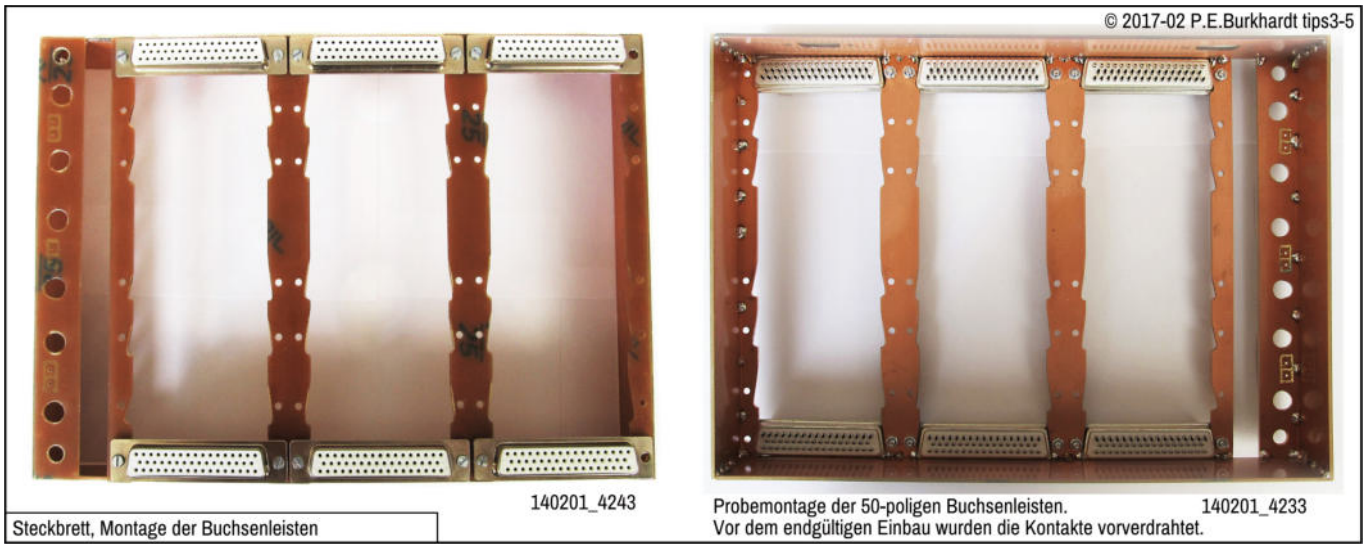
- Alle Platten mit Scheuerpulver blank scheuern (mit Handbürste nass unter fließendem Wasser) und gut alle Scheuerpulver-Reste abscheuern und abspülen. Als Scheuerpulver hat sich früher (DDR) das sogenannte ATA sehr gut bewährt. Heutige Mittel sind ebenso geeignet, wenn es keine kratzenden Körnchen enthält.
- Platten sofort auf Heizkörper oder mit dem Fön (besser) oder auch mit der Heißluftpistole trocknen. Es muss verhindert werden, dass sich unter dem Einfluss von Feuchtigkeit eine neue Kupfer-Oxidschicht bilden kann.
- Cu-Seite der Platten danach sofort mit Löt-Tinktur (Kolophonium in reinem Medizin-Alkohol oder Isopropylalkohol gelöst) bestreichen und trocknen lassen. Die nun gut lötfähige Oberfläche sollte nicht mehr klebrig sein, sie muss handfest trocken sein.

Zusammenlöten des Steckbrett-Kastens

Beim Zusammenlöten der einzelnen Cu-Streifen kommt es darauf an, die ersten beiden Seitenteile präzise im rechten Winkel zu verbinden. Das muss auf einer ebenen Unterlage mit Hilfe eines Winkels erfolgen (im Bild ein Holzwinkel). Die Cu-Streifen werden nur punktuell verlötet. Eine nachträgliche Korrektur ist kaum möglich, deshalb muss man von Anfang an präzise die Teile zueinander ausrichten.

Steckbrett, Rahmen verlötet

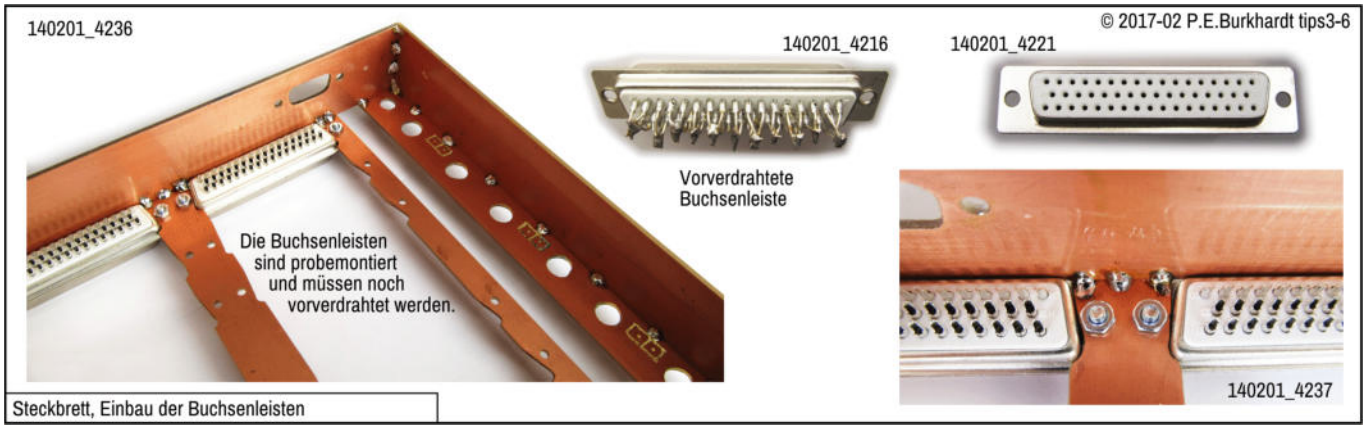
Das Löten selbst erfordert einen Lötkolben mit ca. 40 W. Die Leistung einer Lötstation reicht dafür meist nicht aus. Allerdings darf der Lötkolben auch nicht zu heiß sein, bzw. man sollte nur kurz an einem Punkt löten. Andernfalls kann es zum Ablösen der Cu-Schicht kommen, was sich dann durch hässliche helle Flecken bemerkbar macht, die von der Glasfaserseite aus zu sehen sind.



Steckbrett, Montage der Buchsenleisten

Nachdem die 4 Seitenteile zu einem offenen Kasten verlötet wurden, ist nochmals die Rechtwinkligkeit zu prüfen und ggf. zu korrigieren. Erst dann erfolgt das Verlöten der oberen Streifen. Damit auch dies erfolgreich ist, sollten einige große Buchsenleisten probeweise montiert werden.

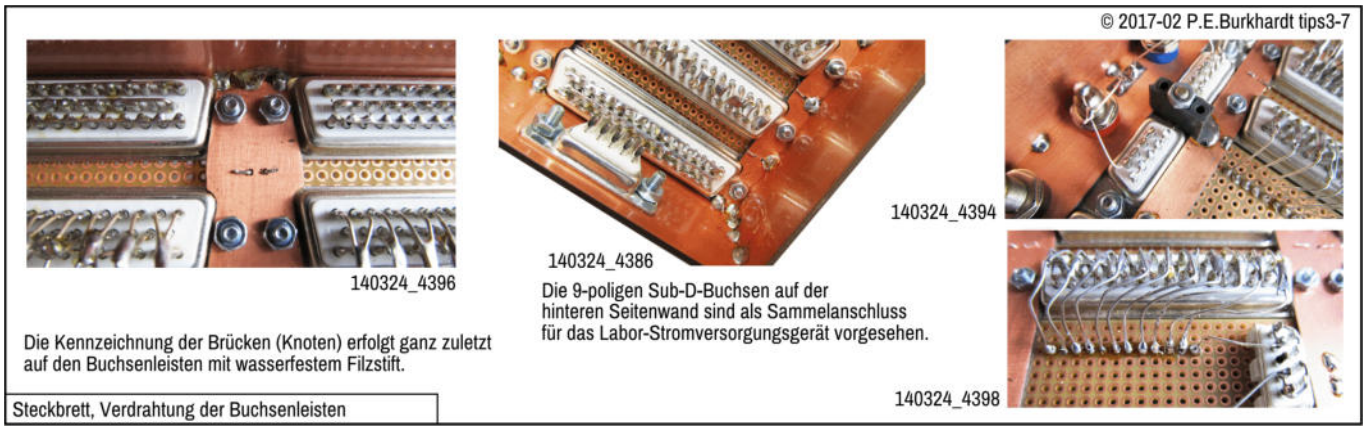
Montage der Bauelemente



Steckbrett, Einbau der Buchsenleisten

Vorverdrahtung

Vor der Montage der Buchsenleisten sollten diese so weit wie möglich vorher verdrahtet werden. So kommt man besser an die doch recht eng stehenden Lötkelche heran. Besonders bei den Leisten am Rand ist zwischen Cu-Seitenteil und Buchsenleisten-Anschlussreihe sehr wenig Platz. Zum Verdrahten innerhalb des Kastens ist blanker versilberter Cu-Draht mit 0,4 bis 0,5 mm Durchmesser die beste Wahl.



Steckbrett, Verdrahtung der Buchsenleisten

Montage und Verdrahtung

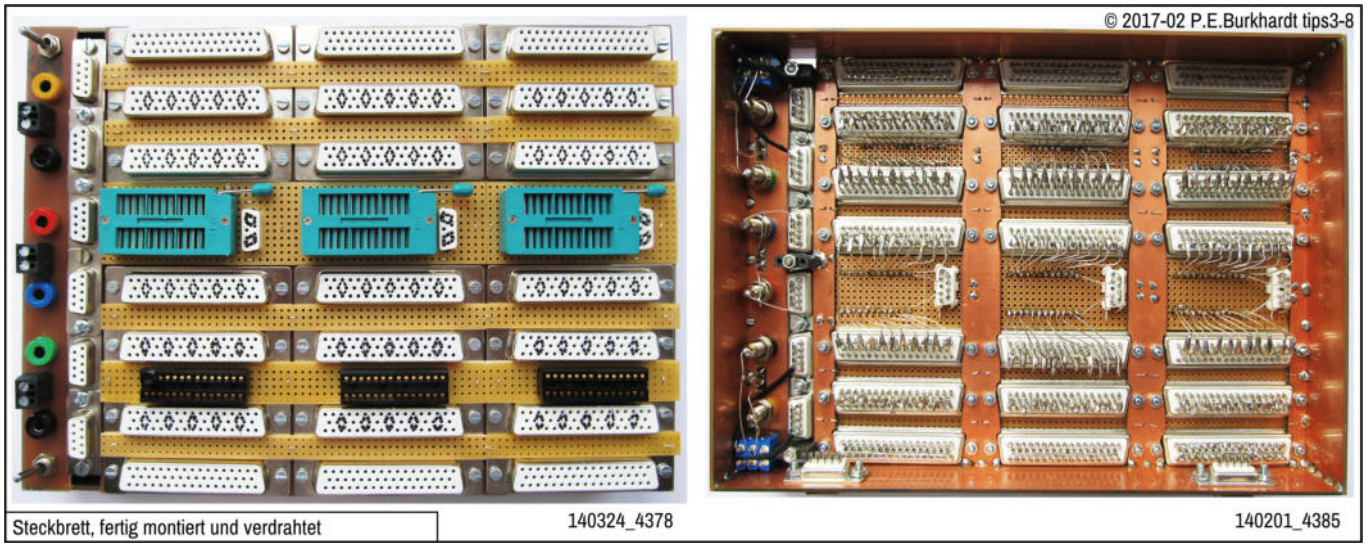
Hat man 2,5mm-Schrauben, ist dies günstiger, da sich so noch geringe Bohr-Ungenauigkeiten durch Verrücken der Buchsenleisten ausgleichen lassen. Aber es geht auch mit 3mm-Schrauben, notfalls muss man mit einer kleinen Rundfeile die Befestigungslöcher nacharbeiten.

Einige Buchsenleisten bleiben vorerst unverdrahtet, z.B. die hinteren Stromversorgungsanschlüsse. Überhaupt trägt das offene Kasten-Konzept dazu bei, nachträglich leicht Verdrahtungsänderungen durchführen zu können. Selbst der nachträgliche Einbau von Buchsenleisten oder auch Potis bzw. Schalter an den Seitenwänden ist möglich, wenn man sorgfältig zu Werke geht.

Abdeckungen und IC-Fassungen

Auf der Oberseite wurden zwischen den Buchsenleisten Abdeckstreifen aus Lochraster-Leiterplattenmaterial montiert. Die Befestigung erfolgte einfach durch blanke Drahtstücke (siehe Bild). Die Streifen nehmen auch die IC-Fassungen auf. Auch hier ist es zweckmäßig, die IC-Fassungen schon vorher auf den Streifen zu verlöten.

Ist alles montiert, kann fertig verdrahtet werden.



Kennzeichnung

Der Verdrahtungsplan sollte so einfach wie möglich sein, d.h. die sich ergebende Kontaktzuordnung zu einem Verdrahtungsknoten sollte sich durch die mechanische Anordnung erschließen. Im Bild ist zu sehen, wie die einzelnen Knoten einfach mit Filzstift markiert sind. Diese Kennzeichnung reicht für die Praxis aus, vor allem wenn man das Steckbrett selbst gebaut hat.

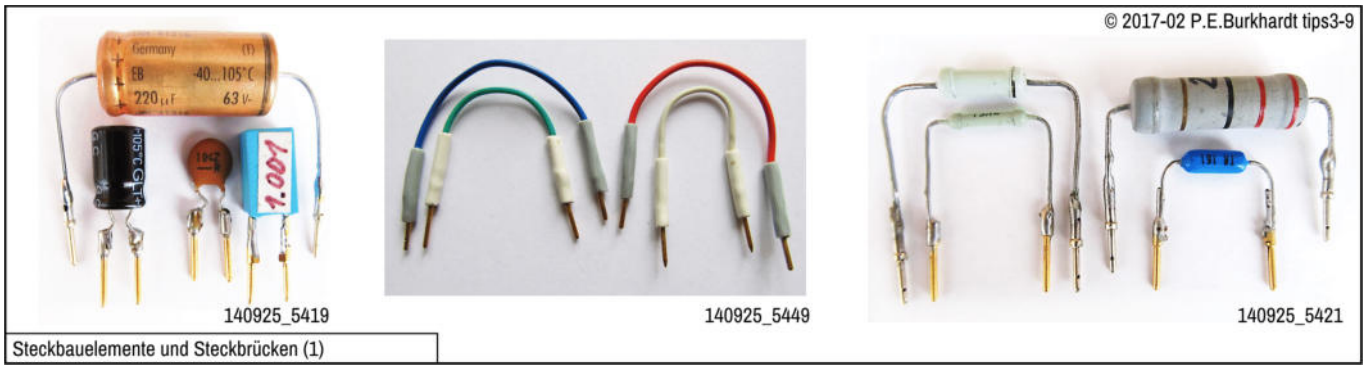
Dort wo auf den Buchsenleisten keine Kennzeichnung vorgenommen wurde und auch nicht erforderlich ist, sind die Kontakte einer Buchsenleisten-Längsreihe miteinander verbunden.

Die 9-poligen Sub-D-Buchsen rechts neben den Schwenkhebelfassungen waren erforderlich, da sich auf den 50-poligen Buchsenleisten nur 11 Kontaktgruppen (Knoten) unterbringen lassen, die Schwenkhebelfassungen aber 12 Kontakte auf einer Seite haben. Die kleinen Buchsenleisten erweitern also um einen Knoten auf jeder Seite. Die Fassungen wurden ohne Blechgehäuse montiert, da kein Platz für eine Schraubbefestigung ist.

Zubehör, Steckelemente

Der Aufwand zur Erstellung der steckbaren Brücken, Widerstände, Kondensatoren usw. erscheint hoch. Aber da das Steck-System sich seit über 40 Jahren nicht geändert hat, waren schon viele Steckelemente vorhanden und werden auch heute noch benutzt. Übrigens Abnutzungsspuren an den goldenen Steckstiften sind kaum sichtbar.

Weiterhin ist es ja so, dass das Sortiment ständig erweitert wird. Sobald beim Aufbau einer Schaltung definitiv etwas fehlt, wird es mit Stiften versehen und ist so auch zukünftig verfügbar.



Brücken

Für die steckbaren Brücken wird flexibler verzinnter Draht, wie er in vielen Elektronik-Geräten anfällt, verwendet. Der Drahtquerschnitt ist so gewählt, dass sich einerseits eine bestimmte Flexibilität der fertigen Brücke ergibt, dass aber andererseits der Draht nicht zu dünn ist und damit wenig gut handhabbar wird.

Brücken mit beidseitigen Steckstiften werden in verschiedenen Längen benötigt. Eine Brücke sollte beim Versuchsaufbau nur so lang sein, wie unbedingt nötig. Auch die Isolierfarbe sollte unterschiedlich sein und entsprechend der Funktion in der Versuchsschaltung eingesetzt werden. Beispiele sind blaue Brücken für Masse, rote Brücken für die Betriebsspannung, gelbe Brücken für Signalleitungen usw.

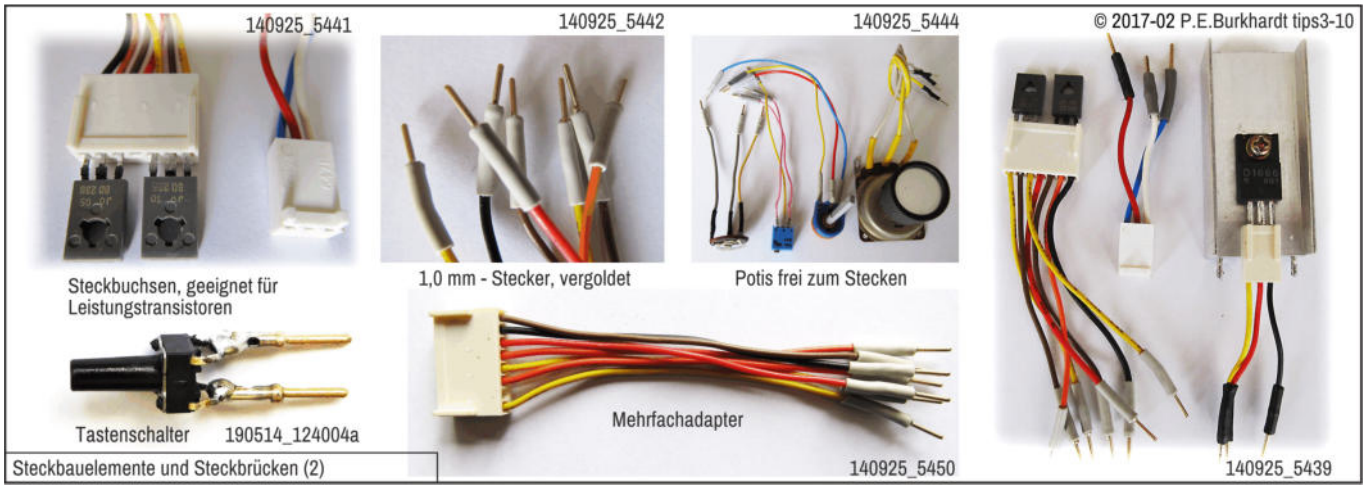
Steckstifte

Wie bereits erwähnt werden die vergoldeten 1mm-Stifte aus 50-poligen Sub-D-Steckerleisten gewonnen. Diese Steckerleisten haben zum Hand-Löten geeignete Kelche. Über jeder Lötverbindung ist ein kleiner passender Isolierschlauch geschoben, der zwischen Draht und Stift eine zusätzliche mechanische Stabilisierung bewirkt. Es ergibt sich durch diesen Knickschutz eine bruchfeste Verbindung, die jahrelang hält.

Bei Bauelementen mit starren Anschlüssen (z.B. Widerstände) wird kein Isolierschlauch benötigt.

Widerstände, Kondensatoren, LEDs usw.

Bauelemente mit 2 Anschlüssen sind über relativ lange Drahtenden mit den Stiften versehen. Durch die etwa 2 cm langen Drahtenden mit relativ großem Biegeradius am z.B. Widerstand ist ein passender Steckplatz auf dem Steckbrett schnell gefunden, da sich die Drahtenden leicht verbiegen lassen, ohne dass man sie dauerhaft justieren muss. Die Abstände der Buchsenleisten auf dem Steckbrett sind entsprechend gewählt. Durch die Vielzahl der Steckmöglichkeiten ist genügend Flexibilität gegeben, um eine günstige Anordnung beim Schaltungsaufbau zu finden.



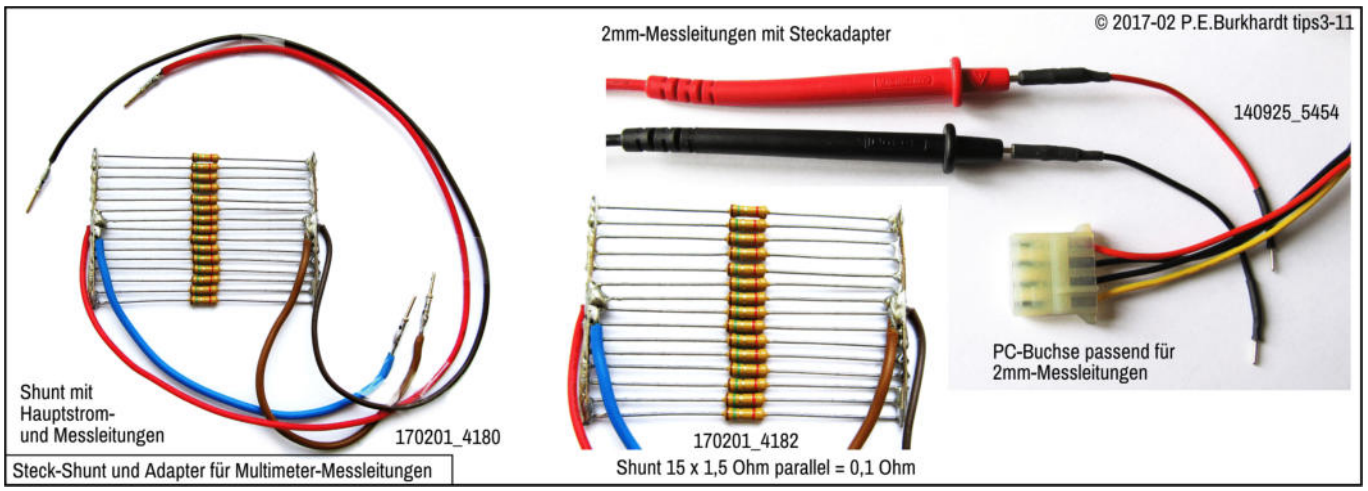
Adapterleitungen

Es gibt auch Fälle, wo Verbindungen zu anderen mehrpoligen Bauelementen oder zu anderen Stecksystemen hergestellt werden müssen. Dazu sind entsprechende Adapterleitungen erforderlich. Einige davon zeigen die Bilder. Besonders günstig sind mehrpolige Steckbuchsen, wie sie zur Stromversorgung verwendet werden (PC-Platinen u.a.), Sie haben Kontaktzungen, die unterschiedliche Drahtdicken aufnehmen können und dabei mechanisch nicht überlastet werden. So können problemlos z.B. Leistungstransistoren gesteckt werden.

Es gibt ein Messleitungssystem mit 2mm-Steckern. Für diese Verbindungen (z.B. für den Anschluss eines Multimeters) eignen sich die 4-poligen Stromversorgungsstecker der PC-Netzteile. Man kann eine 4-polige Buchse komplett nutzen oder auch die umschließende Plastik weglassen und eine Einzelbuchse zur Stabilisierung nach dem Anlöten des Drahtes mit Isolierschlauch überziehen (siehe Bild).

Steckbare Teilschaltungen

Oft werden Teilschaltungen immer wieder benötigt. Das sind z.B. Greatzbrücken mit zugehörigem Lade-C und Kontroll-LED oder auch Zusammenstellungen von niederohmigen Shunts zur Strommessung. Bei Shunts habe ich neben den Hauptstromleitungen zusätzliche Sensorleitungen angelötet, so dass der Einfluss der Strom-Zuleitungen eliminiert ist.

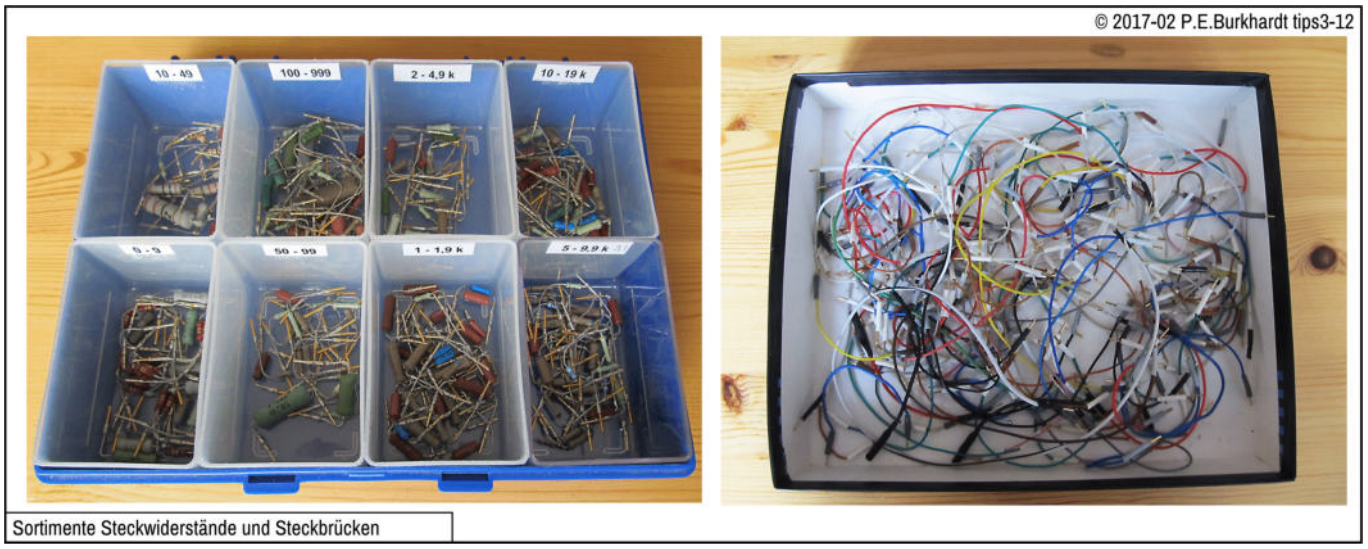


Diese Teilschaltungen werden auch je nach Bedarf erstellt und sind dann immer wieder hilfreich beim schnellen Aufbau einer Versuchsschaltung.

Zubehörsortimente

Entsprechend den geschilderten steckbaren Bauelementearten existiert ein Ordnungssystem mit wichtigen Eigenschaften:

- Bauelemente (z.B. Widerstände) in Kästchen unterbringen, die einzeln ausgeschüttet werden können. Nur so ist ein schneller Zugriff auf den gesuchten Wert möglich.
- Die Kästchen zu einem größeren Sortiment zusammenfassen, und zwar entsprechend verschiedener (zweckmäßigerweise steigender) Wertebereiche. Dabei ist der Gesamtwertebereich (z.B. 0 Ω bis 100 MΩ bei Widerständen) nicht streng linear aufzuteilen, sondern die Aufteilung sollte nach der Häufigkeit der vorhandenen Bauelemente erfolgen. Selten werden z.B. Widerstände größer als 1 MΩ benötigt, viele Werte aber im Bereich 1 kΩ bis 20 kΩ.
- Alle Kästchen gut lesbar beschriften, z.B. mit bedruckten Etikettenpapier. Notfalls gehen auch bedruckte und dann zugeschnittene Papierschildchen, die mit Klebestiften festgeklebt werden. Diese lassen sich bei Bedarf leicht lösen und austauschen.
- Die Bauelemente sollten eine lesbare Beschriftung haben, und zwar ohne eine Kodierung entschlüsseln zu müssen. Ist das nicht der Fall, kann man sich mit aufgeklebten Schildchen helfen. Auf keinen Fall ist beim Versuchsaufbau die Zeit vorhanden, kodierte Bauelemente herauszusuchen. Meist will man ja schnell zum Ergebnis kommen.
- Bei der Herstellung der steckbaren Bauelemente sollte man gleich bestimmte Toleranzforderungen erfüllen. Sind z.B. nur lesbare Widerstände mit großer Toleranz vorhanden, ist das Ausmessen und Trimmen auf den richtigen Wert (maximal 1 % Abweichung) eine gute Sache. Man gewährleistet so die Reproduzierbarkeit von Messungen an der Schaltung, auch wenn man die Schaltung aus irgendwelchen Gründen ein zweites Mal aufbauen muss. Insbesondere bei der Beschaltung von Opamp-ICs sind Widerstände geringer Toleranz gefragt.



Sortimente Steckwiderstände und Steckbrücken

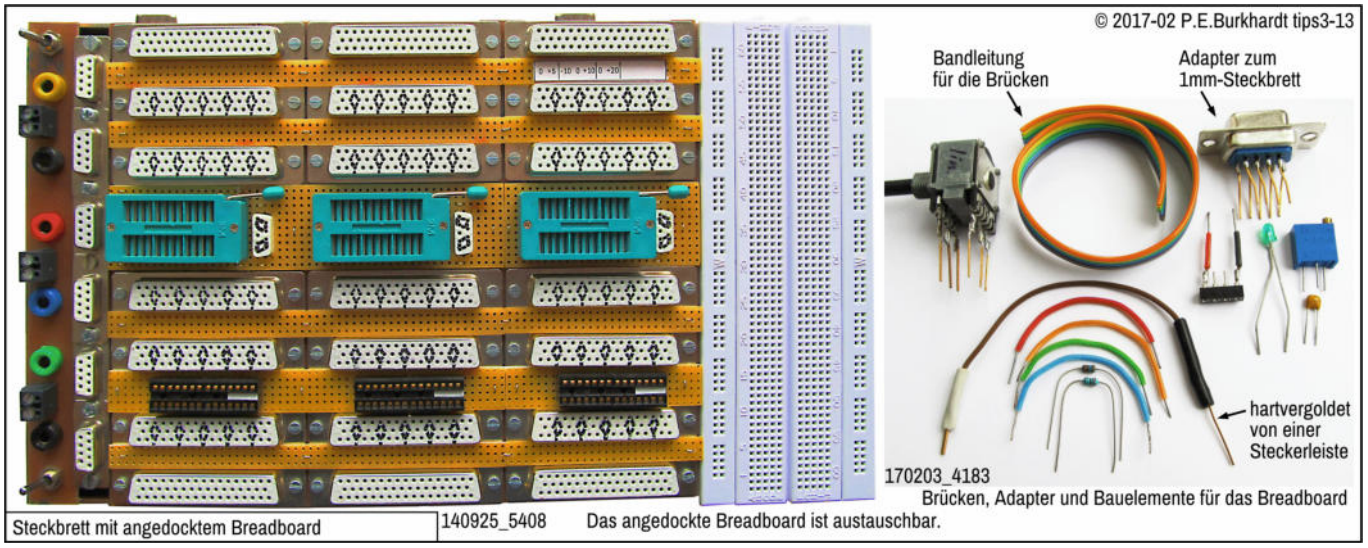
Fazit

Das Steckbrett hat sich bewährt, das beweisen die vielen Jahre der Nutzung. Vor allem das robuste 1mm-Stecksystem ist ein großer Vorteil. Allerdings ist ein gewisser Aufwand für das steckbare Zubehör nötig. Es hat sich bei dem Steckbrett von 2014 noch keine einzige Kontaktunsicherheit wegen einer defekten Buchsenleiste ergeben. Sollte dies einmal sein, kann die betreffende Buchsenleiste leicht ausgetauscht werden.

Zwingend bei der Benutzung des Steckbretts ist allerdings, nur die passenden 1mm-Steckstifte zu verwenden. Bauelemente mit abweichenden Drahtdicken aus Bequemlichkeit direkt in die Buchsenleisten zu stecken, würde die Lebensdauer der Buchsenleisten erheblich verkürzen.

Steckbrett mit Breadboard

Das bewährte Steckbrett habe ich so erweitert, dass seitlich ein Breadboard auswechselbar angedockt werden kann. So können die Vorteile beider Systeme genutzt werden.



Vorteile des Breadboards

- Bauelemente können direkt gesteckt werden, keine Vorbereitung nötig
- Bauelemente sind nach dem Test direkt in der fertigen Schaltung verwendbar, deshalb keine erneute Optimierung nötig (z.B. bei mehreren Widerständen für einen Wert)
- Frequenzverhalten ist besser als beim Steckbrett wegen kürzerer Leitungslängen und mehr Möglichkeiten zum Abblocken mit Cs
- Brücken sind je nach Bedarf ohne viel Aufwand herstellbar
- Lagerung einzelner Breadboards mit einer getesteten Schaltung (z.B. Sinusgenerator usw.) zur mehrfachen Verwendung ist möglich, da die Breadboards relativ kostengünstig sind.
- Es sind auch große Schaltungen mit mehreren Breadboards realisierbar, auch anreihbar.

Vorteile des Steckbretts

- Robustes 1mm-Stecksystem mit vergoldeten Kontakten, hohe Belastbarkeit der Steckkontakte (bis 3 A)
- Externe Verbindung (Stromversorgung) durch Steckerleisten im Steckbrett-Kasten möglich
- Ebenso zusätzliche Schaltungen (z.B. Fest-U-Wandler) im Steckbrett-Kasten möglich
- Viele Nutzungsjahre ohne Ausfall

Steckbrett mit austauschbarem Breadboard

Die Vorteile beider Systeme wurden zusammengeführt und zu einem universellen Testplatz für gesteckte Versuchsschaltungen gemacht. Werden Breadboards der gleichen Größe verwendet, lässt es sich jederzeit austauschen, d.h. mechanisch mit dem Steckbrett verbinden.

Adapter zum Steckbrett

Beim Schaltungsaufbau kann man je nach Belieben manche Teile auf dem Steckbrett, andere Teile auf dem Breadboard anordnen. Für die Verbindung zwischen beiden Stecksystemen sind allerdings spezielle Adapter nötig.

Adapter können einerseits einfache flexible Drahtbrücken sein, die auf einer Seite den 1mm-Stecker haben, auf der anderen Seite einen vergoldeten Steckstift mit max. 0,4 mm Stärke. Diese Stifte lassen sich aus langen Wickelanschlusspfosten gewinnen. Diese sind wegen der Wickeltechnik etwas kantig und ziemlich steif, und natürlich vergoldet.

Zusätzlich sind Mehrfachadapter empfehlenswert. Ich habe dazu 9-polige Sub-D-Buchsen mit Wickelpfosten versehen. Die gesamte Sub-D-Buchse wird in das Breadboard gesteckt. Die Verbindung zum Steckbrett geschieht dann über normale 1mm-Brücken aus dem Steckbrettsortiment.

Brücken für das Breadboard, Haltbarkeit

Die Kontakte eines Breadboards halten meiner Erfahrung nach nur lange, wenn ausschließlich dünne massive Drähte zum Stecken verwendet werden. Optimal ist ein Duchmesser von 0,4 bis 0,5 mm. Bauelemente mit dickeren Anschlussdrähten sollte man niemals benutzen. Die Klemmkraft der Steckkontakte ist zwar hoch, aber sie ermüden beim mehrmaligen Stecken auch schnell und die Kontaktsicherheit lässt dann nach. Bleibt man bei dünnen Drähten, tritt dieser Effekt sehr viel später auf.

Bewährt haben sich Bandleitungen für Klemmkontaktierung, wie sie oft zur Verbindung zwischen den Leiterplatten verwendet werden (z.B. DVD-Spieler, Audio-Geräte). Die Bänder lassen sich vereinzeln, der Draht ist ca. 0,4 mm dick, oft verschiedenfarbig, verzinnt und relativ steif. Quelle ist Elektronikschrott, so dass diese guten Eigenschaften auch noch kostenlos zu haben sind.

Frequenzverhalten des Breadboards

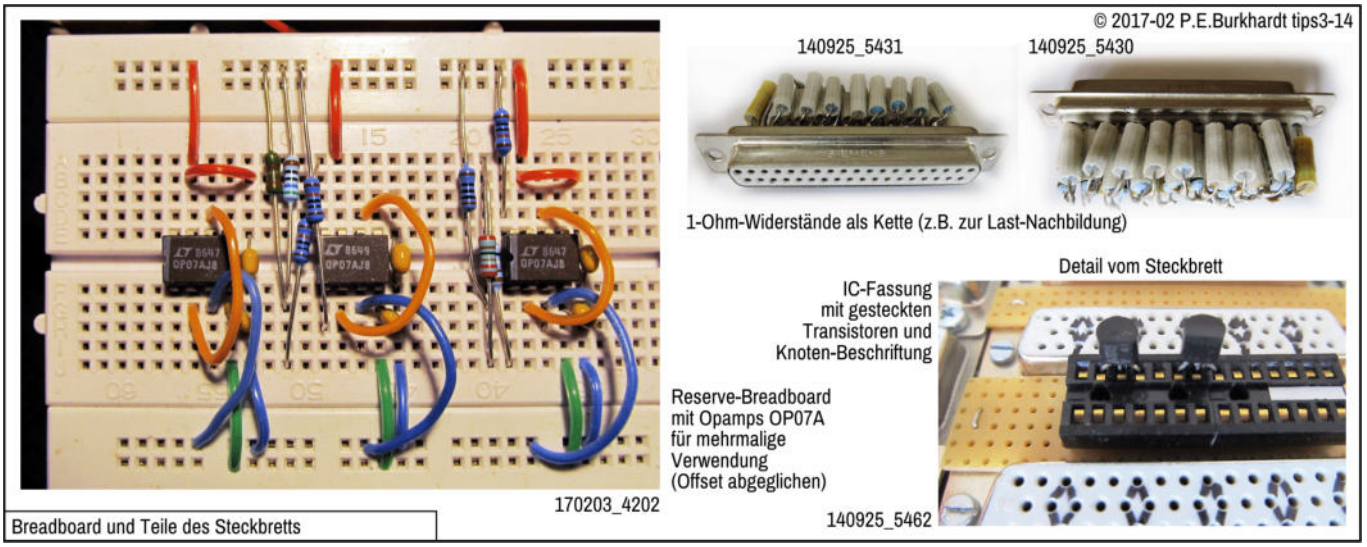
Zwischen zwei 5-poligen Kontaktreihen herrscht eine Kapazität von ca. 10 pF. Das ist zu berücksichtigen, wenn Schaltungen bei höheren Frequenzen funktionieren sollen. Zwei Leitungen, die nicht miteinander koppeln dürfen, sollten also nicht unmittelbar benachbart gesteckt werden. Zur Entkopplung kann dann z.B. eine dazwischenliegende Kontaktreihe auf das Massepotential (GND) gelegt werden.

Kurze Brücken sind HF-technisch günstig, vor allem weil die dünnen Drähte eine recht hohe Eigeninduktivität besitzen. Die Induktivität einer Kontaktreihe ist niedriger, da die Stanzteile eine größere Oberfläche besitzen. Kurze Brücken sind auch wegen der besseren Übersichtlichkeit empfehlenswert. Es ist kein Problem, beim Verdrahten schnell eine gerade nicht vorhandene Brücke herzustellen.

Grundsätzlich sollten die langen Kontaktreihen an den Breitseiten des Breadboards für die Versorgungsspannugen reserviert bleiben. Durch mehrfaches Abblocken mit 100nF-Cs wird die Versorgung auch für höhere Frequenzen niederohmig, so wie das auch bei der fertigen Leiterplatte der Fall ist.

Breadboard-Vorrat

Zwar nicht nötig, aber bequem ist es, wenn eine einmal laufende Schaltung nicht wieder abgebaut wird, sondern für die spätere Verwendung samt Breadboard aufgehoben wird.



Breadboard und Teile des Steckbretts

Im Bild sind zum Beispiel 3 Präzisions-Opamps OP07 zu sehen, deren Offset mittels Festwiderständen (langzeitstabil!) abgeglichen ist. Die Stromersorgung und Entkoppel-Cs sind auch verdrahtet. So dient dieser Schaltungsteil dazu, schnell eine Schaltung mit Opamps zu testen. Meist müssen nur wenige Verbindungen und Widerstände hinzugefügt werden und schon ist man am Ziel.

Liegen mehrere solcher Breadboards mit bestimmten Standardschaltungen im Bastler-Lager, kann man sich das wiederholte Zusammenstecken gleicher oder ähnlicher Schaltungen sparen (z.B. Generatoren, Verstärker, Schaltungen mit dem vielgeliebten 555 usw.).

Fazit

Die Praxis zeigt, das langjährige Steckbrett zusammen mit dem austauschbaren Breadboard ist eine sehr gute Lösung. Zwar sind beim Testen von HF-Schaltungen (mehr als 20 bis 30 MHz) bestimmte Grenzen gesetzt, aber die meisten kleineren Schaltungen und Teilschaltungen arbeiten sowieso bei relativ niedrigen Frequenzen.

Außerdem kann man auch HF-Schaltungen auf einer kleinen Platine (Ugly-Technik auf Cu-kaschiertem Material) zusammenlöten und dann in die Testschaltung auf dem Breadboard oder 1mm-Steckbrett integrieren. Damit realisierte Testaufbauten erfüllen fast alle Anforderungen zum Testen der Schaltungsfunktion.

Trafo-Liste, Messungen, Wickeln

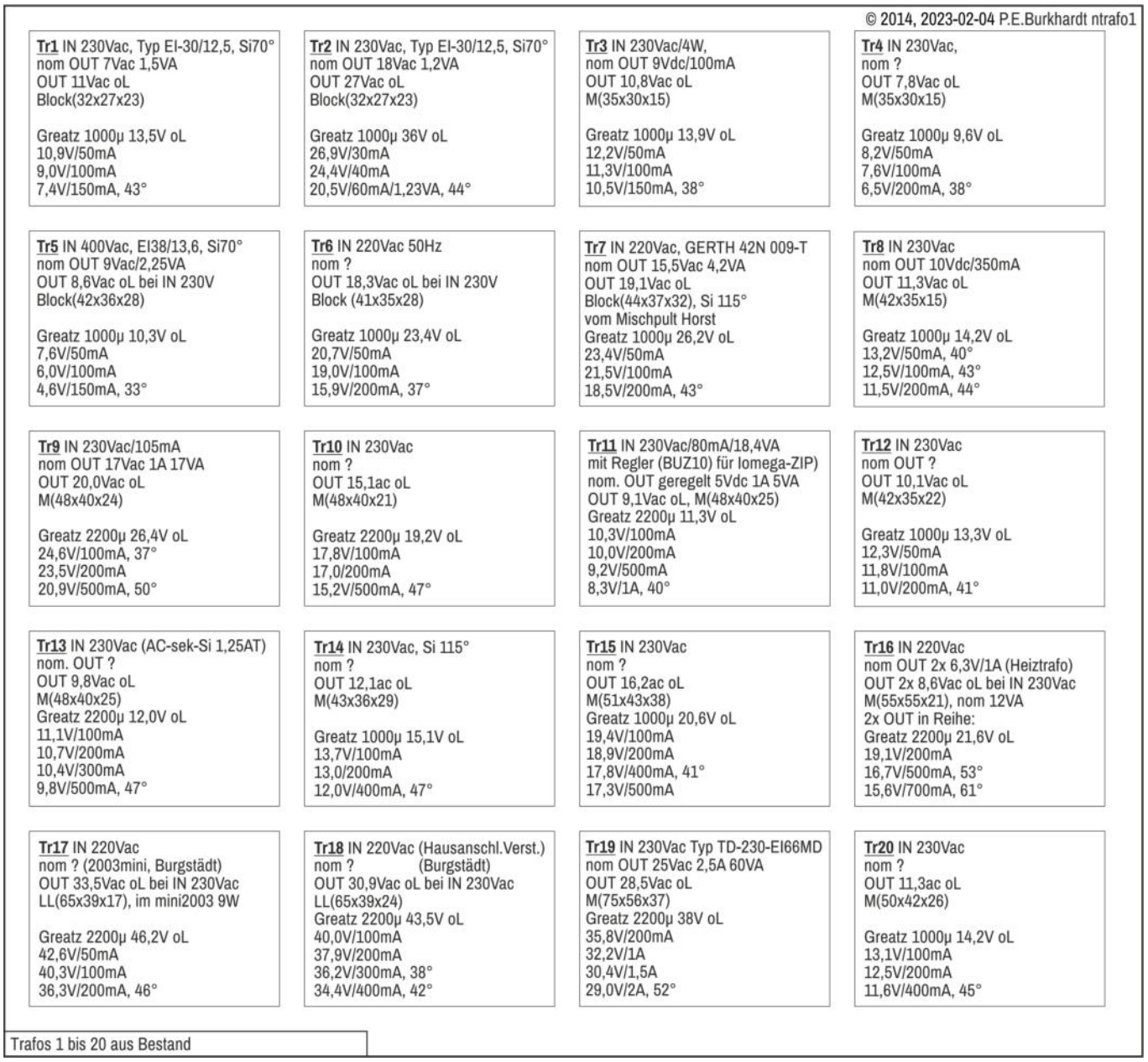
Hier soll es ausschließlich um 50Hz-Netztrafos gehen, nicht um Schaltnetzteile mit ihren hochfrequenten Übertragern. Obwohl es auch für den Hobbyisten zwischenzeitlich für jeden Einsatzzweck den passenden Trafo gibt, spielen alte schon benutzte Trafos für den Bastler eine große Rolle. Im Laufe der Zeit sammeln sich die verschiedensten Trafos an, deren Leistung zwar anhand der Kerngröße abgeschätzt werden kann, deren Wicklungsaufbau und die abgegebenen Spannungen aber meist unbekannt sind.

Im Folgenden sollen deshalb neben meiner eigenen Trafo-Liste ein paar Hinweise gegeben werden, wie Trafos ausgemessen werden können und wann evtl. das Umwickeln mit einfachen Mitteln machbar ist.

Eigene Trafo-Liste

Die Daten jedes vorhandenen Trafos sollten bekannt sein und irgendwie dokumentiert werden. Für die schnelle Einsatzentscheidung ist es zweckmäßig, entweder ein selbstbedrucktes Label auf den Trafo zu kleben oder zumindest in einer Liste bereit zu halten.

Die folgenden Listen zu eigenen Trafos sollen als Beispiel dienen. Die Listen sind nicht vollständig, werden falls nötig aktualisiert und bilden so meine eigene Dokumentation.



© 2014, 2023-02-04 P.E.Burkhardt ntrafo1

Tr1 IN 230Vac, Typ EI-30/12,5, Si70°
nom OUT 7Vac 1,5VA
OUT 11Vac oL
Block(32x27x23)

Greatz 1000µ 13,5V oL
10,9V/50mA
9,0V/100mA
7,4V/150mA, 43°

Tr2 IN 230Vac, Typ EI-30/12,5, Si70°
nom OUT 18Vac 1,2VA
OUT 27Vac oL
Block(32x27x23)

Greatz 1000µ 36V oL
26,9V/30mA
24,4V/40mA
20,5V/60mA/1,23VA, 44°

Tr3 IN 230Vac/4W,
nom OUT 9Vdc/100mA
OUT 10,8Vac oL
M(35x30x15)

Greatz 1000µ 13,9V oL
12,2V/50mA
11,3V/100mA
10,5V/150mA, 38°

Tr4 IN 230Vac,
nom ?
OUT 7,8Vac oL
M(35x30x15)

Greatz 1000µ 9,6V oL
8,2V/50mA
7,6V/100mA
6,5V/200mA, 38°

Tr5 IN 400Vac, EI38/13,6, Si70°
nom OUT 9Vac/2,25VA
OUT 8,6Vac oL bei IN 230V
Block(42x36x28)

Greatz 1000µ 10,3V oL
7,6V/50mA
6,0V/100mA
4,6V/150mA, 33°

Tr6 IN 220Vac 50Hz
nom ?
OUT 18,3Vac oL bei IN 230V
Block (41x35x28)

Greatz 1000µ 23,4V oL
20,7V/50mA
19,0V/100mA
15,9V/200mA, 37°

Tr7 IN 220Vac, GERTH 42N 009-T
nom OUT 15,5Vac 4,2VA
OUT 19,1Vac oL
Block(44x37x32), Si 115°
vom Mischpult Horst
Greatz 1000µ 26,2V oL
23,4V/50mA
21,5V/100mA
18,5V/200mA, 43°

Tr8 IN 230Vac
nom OUT 10Vdc/350mA
OUT 11,3Vac oL
M(42x35x15)

Greatz 1000µ 14,2V oL
13,2V/50mA, 40°
12,5V/100mA, 43°
11,5V/200mA, 44°

Tr9 IN 230Vac/105mA
nom OUT 17Vac 1A 17VA
OUT 20,0Vac oL
M(48x40x24)

Greatz 2200µ 26,4V oL
24,6V/100mA, 37°
23,5V/200mA
20,9V/500mA, 50°

Tr10 IN 230Vac
nom ?
OUT 15,1ac oL
M(48x40x21)

Greatz 2200µ 19,2V oL
17,8V/100mA
17,0/200mA
15,2V/500mA, 47°

Tr11 IN 230Vac/80mA/18,4VA
mit Regler (BUZ10) für Iomega-ZIP)
nom. OUT geregelt 5Vdc 1A 5VA
OUT 9,1Vac oL, M(48x40x25)
Greatz 2200µ 11,3V oL
10,3V/100mA
10,0V/200mA
9,2V/500mA
8,3V/1A, 40°

Tr12 IN 230Vac
nom OUT ?
OUT 10,1Vac oL
M(42x35x22)

Greatz 1000µ 13,3V oL
12,3V/50mA
11,8V/100mA
11,0V/200mA, 41°

Tr13 IN 230Vac (AC-sek-Si 1,25AT)
nom. OUT ?
OUT 9,8Vac oL
M(48x40x25)
Greatz 2200µ 12,0V oL
11,1V/100mA
10,7V/200mA
10,4V/300mA
9,8V/500mA, 47°

Tr14 IN 230Vac, Si 115°
nom ?
OUT 12,1ac oL
M(43x36x29)

Greatz 1000µ 15,1V oL
13,7V/100mA
13,0/200mA
12,0V/400mA, 47°

Tr15 IN 230Vac
nom ?
OUT 16,2ac oL
M(51x43x38)
Greatz 1000µ 20,6V oL
19,4V/100mA
18,9V/200mA
17,8V/400mA, 41°
17,3V/500mA

Tr16 IN 220Vac
nom OUT 2x 6,3V/1A (Heiztrafo)
OUT 2x 8,6Vac oL bei IN 230Vac
M(55x55x21), nom 12VA
2x OUT in Reihe:
Greatz 2200µ 21,6V oL
19,1V/200mA
16,7V/500mA, 53°
15,6V/700mA, 61°

Tr17 IN 220Vac
nom ? (2003mini, Burgstädt)
OUT 33,5Vac oL bei IN 230Vac
LL(65x39x17), im mini2003 9W

Greatz 2200µ 46,2V oL
42,6V/50mA
40,3V/100mA
36,3V/200mA, 46°

Tr18 IN 220Vac (Hausanschl.Verst.)
nom ? (Burgstädt)
OUT 30,9Vac oL bei IN 230Vac
LL(65x39x24)
Greatz 2200µ 43,5V oL
40,0V/100mA
37,9V/200mA
36,2V/300mA, 38°
34,4V/400mA, 42°

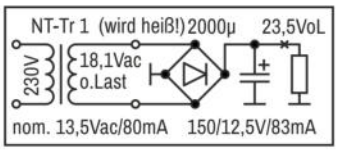
Tr19 IN 230Vac Typ TD-230-EI66MD
nom OUT 25Vac 2,5A 60VA
OUT 28,5Vac oL
M(75x56x37)
Greatz 2200µ 38V oL
35,8V/200mA
32,2V/1A
30,4V/1,5A
29,0V/2A, 52°

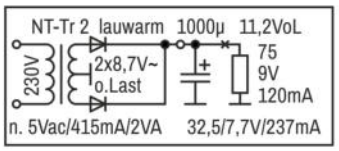
Tr20 IN 230Vac
nom ?
OUT 11,3ac oL
M(50x42x26)

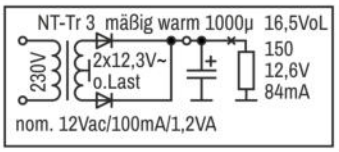
Greatz 1000µ 14,2V oL
13,1V/100mA
12,5V/200mA
11,6V/400mA, 45°

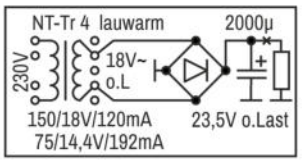
Trafos 1 bis 20 aus Bestand

© 2013, 2023-02-04 P.E.Burkhardt ntrafo2









NT-Tr 5 kalt, 1 Wicklg., Greatzbrücke
0-17V: 20V~ o. Last, 26,8Vdc o. Last
220 Ohm/24Vdc/109mA/1Vripp/2000µ
110 Ohm/23Vdc/209mA/1Vripp/6000µ
0-12V: 15V~ o. Last
220 Ohm/17,3Vdc/78,6mA/0,4Vripp/2000µ
150 Ohm/16,8Vdc/112mA/0,5Vripp/2000µ
0-9V: 11,8V~ o. Last
150 Ohm/13Vdc/88mA/0,4Vripp/2000µ
89 Ohm/12,5Vdc/140mA/0,5Vripp/2000µ
verbaut Platine ENT3

NT-Tr 6 nom.5,3V~/140mA, 5,5V~oL kalt
wird oL heiß, dann nur 4,4V~oL
2000µ: 12,8V- oL, 56/5,7V~/102mA
schon bei 150/8V~/53mA Kern sehr heiß

NT-Tr 7 25,6V~oL kalt
2000µ: 33,8V- oL
270/23,1V~/85mA
150/19,5V~/130mA
brummt etwas
bei 130mA mäßig warm

NT-Tr 10 2x6,3V~oL kalt, brummt leicht
2000µ: 8,2V- oL, 150/7,3V~/48mA
75/6,8V~/91mA, 56/6,5V~/116mA
rt-rt: 12,9V~oL 2000µ: 16,4V- oL
56/10,7V~/191mA/0,5Vrip lauwarm

NT-Tr 11 14,1V~oL kalt 2000µ:
18V- oL, 150/10,3V~/68mA
75/7,9V~/105mA lauwarm
verbaut Platine 4x9V Panel

NT-Tr 13 27,3V~oL kalt
2000µ: 36,4V- oL
270/24,8V~/92mA
150/21,2V~/141mA/0,4Vrip
bei 141mA sehr warm, fast heiß

NT-Tr 14 27,3V~oL kalt
2000µ: 36,4V- oL
270/24,8V~/92mA
150/21,2V~/141mA/0,4Vrip
bei 141mA sehr warm, fast heiß

NT-Tr 15 19,4V~oL heiß
nom 12V~/0,5VA
2000µ: 27,8V- oL
940/18V~/19mA heiß
470/14,5V~/31mA

NT-Tr 18 EI38/13,6 8,4V~oL kalt
nom prim 400V~/sek 9V~/2,25VA
thermSi 70° 2000µ: 10,5V- oL
150/7,5V~/50mA
39/5,2V~/133mA
22/3,8V~/173mA/0,4Vrip/lauw

NT-Tr 19 nom 2x110V~
/13,5V~/1,8VA
22,3V~oL lauw.
2000µ: 29V- oL
270/18,8V~/70mA
150/15,4V~/103mA
/0,25Vrip/warm
230V

NT-Tr 21 oL kalt, 2000µ Graetz (jede Wicklung einzeln)
8-9 23,3V~oL/30,8V- oL
150/25,1V~/167mA, 56/20,8V~/371mA
11-14 16,7V~oL/34,7V- oL
740/16,2V~/22mA, 470/14,7V~/31mA
15-16 21,7V~oL/28,4V- oL
740/20,2V~/27mA, 470/17,9V~/38mA
16-17 27,8V~oL/36,9V- oL
150/30,6V~/204mA, 56/25,9V~/462mA

30VA-Ringkerntrafo HP0030-01 Pollin
ta 25°C, Temp-Si 135°C
IN 230V/50Hz rt-rt, 78x33 (DxH mm)
OUT 1x12V/2,5A sw-sw 1,0CuL, 13,4VoL
Zusatzwicklg. 13,6VoL 0,3CuL 110Wdg
teils verbaut im ENT7

120VA-Ringkerntrafo talema TRT120222
MADE IN CZECH, 19284-P1S02, ta 40°C,
IN 230V/50-60Hz ge-ge, 92x45 (DxH mm)
OUT 2x22V/2x2,73A gn-rt/bn-bl
empf. Si 3,15AT prim
verbaut in Trafo-Platine 3 (AC/DC-BG)

100VA-Ringkerntrafo RTO 826029
SEDLBAUER AG, ta 40°C
IN 230V/50-60Hz bn-bl, 89x42 (DxH mm)
OUT 2x24V/2x2,08A rt-sw, ws-violett
Uo=27,3VoL, Si 0,63AT prim, 2x2,5AT sek

Tr RTT1160 IN 230Vac EI(61x52x38)
OUT 1x 35VoL (50mA), 2x 10VoL (200mA)
2x 2,5VoL (200mA), 1x16VoL (800mA)

Trafos aus Bestand, mit Label

Messungen am Trafo

Eigenschaften nicht bekannter Trafos ermitteln

Um einen unbekannten Trafo zu identifizieren sind ein paar Messungen nötig, deren Ergebnisse letztendlich die Eignung für die vorgesehene Anwendung bestimmen. Ausgangspunkt sind die Bauform, das Typenschild, die Größe des Kerns und die Draht-Durchmesser der sekundären Wicklungen. Alle Infos sind aber nicht immer vorhanden. Außerdem müssen neben der AC-Leerlaufspannung jeder einzelnen Wicklung auch deren Belastbarkeit ermittelt werden. Es hat sich bewährt, die Belastung nach einer Gleichrichterschaltung mit Lade-C mittels einer elektronischen Last (Dummy-Load) schrittweise zu erhöhen und dabei die DC-Ausgangsspannung zu messen. Natürlich muss dies in Abstimmung mit der Drahtstärke der Wicklung und unter Beobachtung der Trafo-Erwärmung geschehen. Ebenso spielt der Wicklungsaufbau eine Rolle, d.h. wie evtl. mehrere Wicklungen miteinander verbunden sind.

Geeignet für das 230V-Netz

Grundvorausssetzung ist aber, dass der Trafo ein Netztrafo für 220/230 Vac ist. Die primärseitige Netzwicklung sollte eindeutig identifizierbar sein. Es ist fast immer die Wicklung mit dem höchsten Gleichstromwiderstand. Hat der Trafo nur einen primärseitigen Anschluss für 380/420 Vac (Drehstromnetz) kann auch diese Wicklung ohne Gefahr an das 230V-Netz angeschlossen werden. Die Sekundärspannungen sind dann natürlich niedriger.

Bauform

Ob ein Trafo geeignet erscheint, hängt auch von der Bauform ab. Ringkern-Tafos z.B. haben ein sehr geringes Streufeld. Das ist besonders für Audio-Anwendungen vorteilhaft, da so die Gefahr der magnetischen 50Hz-Einstreuung im Vergleich zu Trafos mit M- oder LL-Schnitt sehr niedrig ist. Ebenso liefern Ringkern-Trafos bis an ihre Leistungsgrenze eine recht stabile Sekundärspannung, d.h. der Innenwiderstand ist niedrig. Das hat meistens den Vorteil, dass die gleichgerichtete Rohspannung trotz wechselnder Last eng toleriert ist und nur von den Schwankungen der primären Netzspannung abhängig ist. Das kann aber auch nachteilig sein, wenn vom Trafo ein sekundärer Kurzschluss ohne Schaden verkraftet werden soll. In diesem Falle sind Trafos mit hohem Innenwiderstand die bessere Wahl (z.B. Klingeltrafos).

Trafos aus dem Profi-Bereich

Es gibt auch Trafos, die aus Messgeräten stammen und einige vorteilhafte Eigenschaften besitzen können. Solche Trafos haben meist trotz M-Schnitt ein geringes Streufeld und verfügen ggf. über eine Schirmwicklung oder Schirmfolie zwischen Primär- und Sekundärseite oder auch als äußerer Wicklungsabschluss zur Reduzierung des Streufelds. Solche Trafos wurden früher z.B. in analogen Oszis (mit Röhre) eingesetzt.

Generell ist es vorteilhaft, wenn ein Trafo aus dem Industrie-Bereich kommt. Deren Qualität ist meist aufgrund der Industrie-Standards besser im Vergleich zu Consumer-Produkten. Beispielsweise kann der Betrieb bei höheren Temperaturen möglich sein (niedrige Eigenerwärmung) oder sogar einer Militär-Spezifikation entsprechen. Es spielt also eine Rolle, wo der Trafo eingebaut war und was man aufgrund dessen erwarten darf.

Trafos aus Steckernetzteilen

Regelmäßig schlecht sind z.B. die früher in Steckernetzteilen verwendeten Minitrafos. Sie sind bezüglich Thermosicherheit sehr knapp bemessen, werden schon bei Nennlast relativ heiß und bieten bezüglich Isolationsfestigkeit nur das Allernötigste zur Erfüllung der entsprechenden Standards. Neuere Steckernetzteile haben Schaltnetzteile und keinen 50Hz-Trafo mehr.

Anforderungen an das Brummverhalten

Sehr störend ist, wenn im ruhigen Laborumfeld (d.h. auch in der Bastelstube) jedes eingeschaltete Gerät am 50Hz-Brummpegel zu erkennen ist. Dieses mechanische Vibrieren ist meist mit einfachen Mitteln nicht zu beheben, außer vielleicht mit ein paar schallschluckenden Gummipuffern an den Befestigungspunkten. Ich habe z.B. einen ansonsten hochwertigen analogen Grundig-Oszi insgesamt weich lagern müssen, damit der Brumm minimiert, aber dennoch nicht unhörbar wurde. Normalerweise muss man den Trafo wechseln, aber wer hat schon einen baugleichen Spezialtrafo auf Lager.

Auch in dieser Beziehung haben die Ringkern-Trafos die Nase vorn. Ich habe noch keinen einzigen Trafo dieser Bauform brummen hören. Um das Brummen klein zu halten, sollten alle Wicklungen eines Trafos stramm und gleichmäßig (Windung an Windung) gewickelt sein. Das Kernpaket muss mechanisch gut gepresst sein (verschraubt bzw. vernietet). Vorteilhaft sind mit Isoliermaterial vergossene Trafos, anzutreffen meist bei Ausführungen für die Leiterplatte (Print-Trafos). Diese Trafos sind mechanisch stabil und brummfest.

Messungen sollten, soweit nötig, Folgendes berücksichtigen:

1. Netzanschluss ermitteln

Zweifelsfrei den primären 230V-Anschluss ermitteln und die Netzanschlüsse für den späteren Testbetrieb ausreichend gegen zufällige Berührung isolieren (z.B. mit Isolier- oder Packband). Natürlich muss vorher ein passendes Netzkabel angelötet/angeklemmt werden. Die Versorgung sollte über einen niedrig abgesicherten schaltbaren Netzanschluss erfolgen. Ein Netz-Trenntrafo ist vorteilhaft, aber nicht unbedingt nötig.

2. Wicklungsstruktur ermitteln

Alle Wicklungen (spannungsfrei) mit Ohm-Meter (DMM) ausmessen. Dabei den Wicklungswiderstand jeder Wicklung messen und gleichzeitig von jedem Anschluss auf jeden anderen Anschluss auf Niederohmigkeit (Kurzschluss) prüfen. So ergibt sich die Struktur der Sekundärwicklungen. Außerdem, falls zugänglich, die Drahtstärken messen oder auch nur schätzen. Hält man einen Draht mit bekanntem Drahtdurchmesser neben den visuell zu schätzenden Draht, kann der unbekannte Durchmesser durch Vergleich relativ genau geschätzt werden.

3. AC-Leerlaufspannungen messen

Alle sekundärseitigen Spannungen ohne Last mit DMM messen. Dabei sollte die Netzspannung möglichst genau 230 V betragen. Geringe Abweichungen sind aber kein Problem. Es geht hier nur um die Übersetzungsverhältnisse. Die Leerlaufspannung korreliert mit der entsprechenden Windungszahl der jeweiligen Wicklung.

4. Sekundäre Belastungsfähigkeit abschätzen

Grundsätzlich werden vom Hersteller die Drahtdurchmesser eines Trafos so gewählt, dass der maximale Nennstrom ohne Überhitzung fließen kann. Das bedeutet, aufgrund der Drahtdurchmesser im Zusammenhang mit der gemessenen Leerlaufspannung (proportional zur Windungszahl) ergibt sich die wahrscheinlich mögliche maximale Strombelastung jeder einzelnen Wicklung. Bei dieser Einschätzung ist die Trafokern-Größe (VA-Klasse) maßgebend für die Summe aller Leistungen der Sekundärwicklungen.

5. Belastungsmessungen

Bei nur einer Sekundärwicklung ist dies die Hauptwicklung, andere Wicklungen müssen nicht berücksichtigt werden, da nicht vorhanden. Diese eine Wicklung kann also mit der geschätzten Trafo-Nennleistung belastet werden. Eine Gleichrichterschaltung (Graetzbrücke mit Lade-C) wird angeschlossen und kann ausgehend vom Leerlauf mit wachsendem Strom belastet werden. Meist ist die Belastungsgrenze erreicht, wenn die gemessene DC-Spannung am Ausgang mehr als 30 % gegenüber der Leerlaufspannung absinkt. Das ist aber nur ein Anhaltspunkt für M-Kerne. Maßgebend ist neben der Kerngröße auch die Temperaturentwicklung des Trafos über einen längeren Zeitraum (mehrere Stunden).

Bei mehreren Wicklungen legt man zweckmäßigerweise die Wicklung mit dem stärksten Draht als Hauptwicklung fest. An ihr erfolgt der Anschluss der Test-Graetzbrücke mit Lade-C. Der Ladekondensator bestimmt, wie hoch die verbleibende Rippelspannung am Ausgang ist, abhängig vom Laststrom. Die anderen Wicklungen werden zunächst nicht belastet, da sie sowieso (beispielsweise) nicht soviel Leistung liefern und deshalb nicht berücksichtigt werden.

Ist dann die Hauptwicklung vermessen (Test mit verschiedenen Stromstärken), können die anderen Wicklungen einzeln getestet werden. Dabei sollte man aber die Hauptwicklung mit einem Widerstand so belasten, dass der Strom im oberen Bereich liegt. Dadurch entsprechen die jeweiligen Messwerte bei den anderen Wicklungen in etwa den späteren Einsatzbedingungen. Belastet man die Hauptwicklung bei den Messungen an den anderen Wicklungen nicht, werden evtl. zu hohe Spannungswerte gemessen.

Stromdichte einer Kupferlackdraht-Wicklung beim Netztrafo

Zulässige Stromdichte

Die zulässige Stromdichte einer Trafo-Wicklung weiß allein der Entwickler. Sie hängt von der zulässigen Erwärmung (Betriebstemperatur/Kühlung), der Trafogröße (Leistung/mech. Größe), der Lage der Wicklung (primär/sekundär, innen/außen) und weiteren Faktoren ab. Natürlich ist das alles nicht oder nur eingeschränkt bekannt, vor allem bei Messungen an einem Trafo ohne Typenschild und Einsatzzweck. Ziel ist hier, die maximal vorgesehene Stromdichte zu schätzen, um dann mit Hilfe des Drahtdurchmessers den maximalen Nennstrom einer Wicklung zu bestimmen bzw. festzulegen.

Es gibt im Trafobau Richtlinien und Tabellen, mit dessen Hilfe der Entwickler u.a. auch die maximal zulässige Stromdichte festlegen kann. Einige dieser Werte seien im Folgenden aufgeführt:

Stromdichte in Abhängigkeit von der Trafo-Leistung (M-Schnitt, 50 Hz)

	M 42	M 55	M 65	M 74	M 85a	M 85b	M 102a	M 102b
Leistung [VA]	4	12	25	50	70	100	120	180
Eisenkern BxHxD [mm]	42x42x15	55x55x20	65x65x27	74x74x32	85x85x32	85x85x45	102x102x35	102x102x52
Eisenquerschnitt DxZ [cm²]	1,8	3,4	5,4	7,4	9,3	13	12	18
Stromdichte innen [A/mm²]	4,5	3,8	3,3	3,0 (2,9)	2,9 (2,5)	2,6 (2,3)	2,4 (2,2)	2,3 (2,0)
Stromdichte außen [A/mm²]	5,2 (5,5)	4,3 (4,6)	3,6 (4,0)	3,3 (3,5)	3,1	3,0	2,8	2,7 (2,6)

Werte in () nach FUNKSCHAU 1958 Heft 1, Seite 8 (DIN 41302). BxHxD = Breite*Höhe*Dicke. DxZ = Dicke*Zungenbreite

Stromdichte in Abhängigkeit von der Trafo-Leistung (EI-Schnitt, 50 Hz)

	EI 54	EI 60	EI 66	EI 78	EI 84a	EI 84b	EI 106a	EI 106b	EI 130a	EI 130b	EI 150a
Leistung [VA]	10	15	20	35	50	75	100	140	230	280	350
Eisenkern BxH [mm] xD	54x45 x18	60x50 x20	66x55 x22	78x65 x26	84x70 x28	84x70 x42	105x88 x35	105x88 x45	130x105 x35	130x105 x45	150x120 x40
Eisenquerschnitt DxZ [cm²]	3,24	4,0	4,8	6,8	7,8	11,8	12,3	15,8	12,3	15,8	16,0
Stromdichte innen [A/mm²]	3,8	3,6	3,4	3,1	2,9	2,6	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Stromdichte außen [A/mm²]	4,7	4,4	4,2	3,7	3,5	3,2	2,9	2,5	2,2	2,1	1,8

Alle Werte nach FUNKSCHAU 1958 Heft 1, Seite 8 (DIN 41302). Breite*Höhe*Dicke. DxZ = Dicke*Zungenbreite

Um festzustellen, ob ein Trafo den Abmessungen lt. Tabelle entspricht, sollte der Kernquerschnitt überprüft werden. Er errechnet sich aus Dicke des Eisenkerns x Zungenbreite. Der Querschnitt D x Z bestimmt den möglichen magnetischen Fluss und damit die Leistung des Trafokerns. Dieser Kernquerschnitt ist der umwickelte Teil des Eisenkerns, d.h. der Teil, auf den der Spulenkörper geschoben ist.

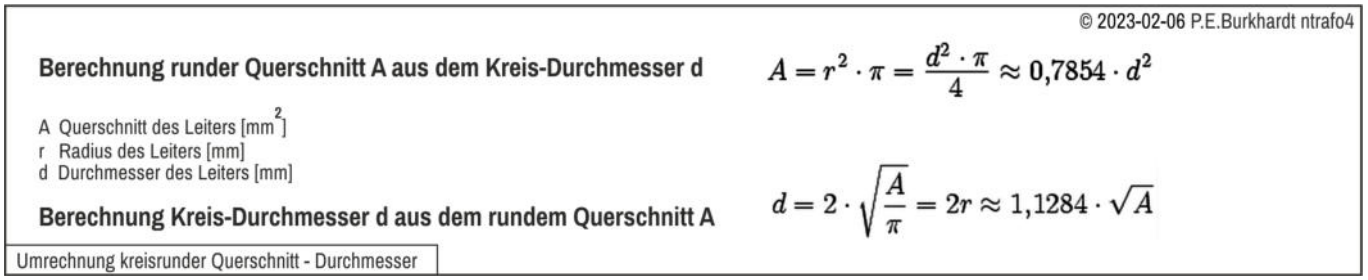
Die Werte der Stromdichte in den beiden oberen Tabellen beziehen sich auf 60°...65°C Übertemperatur in den Wicklungen. Der Wertebereich in Abhängigkeit von der Leistung ist ziemlich groß. In vielen Web-Beiträgen wird empfohlen, von durchschnittlich 2,55 A/mm² auszugehen. Bei unbekannten Trafos sollte man grundsätzlich eine niedrigere Stromdichte (z.B. 2,0 A/mm²) ansetzen.

Ob letztendlich ein Trafo bzw. eine der Wicklungen überlastet wird, kann nur durch Langzeitbetrieb mit Temperaturmessung festgestellt werden.

Allerdings besteht das Problem, dass innerhalb des Trafos keine Messung möglich ist. Man kann sich mit dem äußeren Messen der Eisenkern-Temperatur behelfen und durch entsprechende Abschläge auf die Innentempertur schließen. Bei meinen Messungen gehe ich von ca. 50°C aus, die ein Kern bei Nennstrom erreichen darf. Das sind bereits 30° Übertemperatur im Vergleich zu 20°C Raumtemperatur. Da viele trafointernen Temperatursicherungen bereits bei 70°C ansprechen, wären also von außen nach innen nur noch 20° Temperaturdifferenz zulässig.

Umrechnung zwischen Drahtquerschnitt und Durchmesser

Im niederfrequenten Bereich (z.B. Netzfrequenz) bezieht sich die Stromdichte gleichmäßig auf den gesamten Querschnitt A des elektrischen Leiters. Zur Verfügung steht aber nur der Durchmesser d eines CuL-Drahtes (gemessen oder geschätzt). Die Dicke des Isolierlackes soll hier vernachlässigt werden. Mit diesem Durchmesser d lässt sich der Querschnitt berechnen und im weiteren Verlauf durch Vergleich mit der zulässigen Stromdichte der anzunehmende maximale Nennstrom in der betreffenden Wicklung.



Strombelastung von Kupfer-Lackdrähten

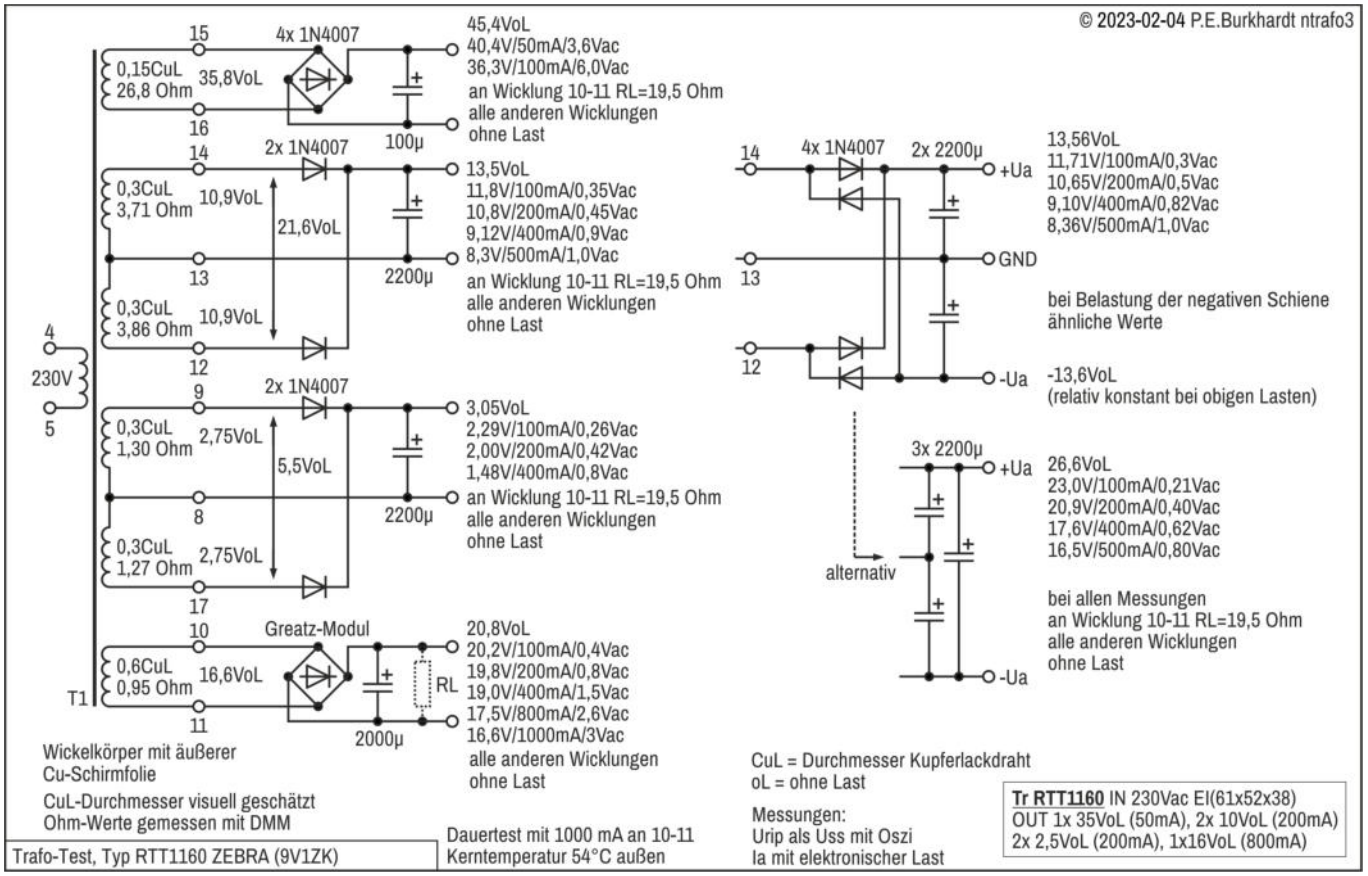
Die folgende Tabelle zeigt für CuL-Runddrähte die zulässige Strombelastung in [A] in Abhängigkeit vom Durchmesser d und dem zugehörigen Querschnitt A bei verschiedenen Stromdichten. So kann ohne Berechnung die maximale Strombelastung direkt abgelesen werden.

Nenn-durch-messer	Quer-schnitt	Wider-stand bei 20 °C	Stromdichte in A/mm²							
			1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6
mm	mm²	Ω/m	zulässige Belastung in A							
0,02	0,000314	54,88	0,00047	0,00063	0,00079	0,00094	0,00110	0,00126	0,00157	0,00188
0,03	0,000707	24,39	0,00106	0,00141	0,00177	0,00221	0,00247	0,00283	0,00354	0,00424
0,04	0,001257	13,72	0,00189	0,00251	0,00314	0,00377	0,00440	0,00503	0,00629	0,00754
0,05	0,001964	8,781	0,00295	0,00393	0,00491	0,00589	0,00687	0,00786	0,00982	0,0118
0,06	0,002827	6,098	0,00424	0,00565	0,00707	0,00848	0,00990	0,0113	0,0141	0,0170
0,071	0,003959	4,355	0,00594	0,00792	0,00990	0,0119	0,0139	0,0158	0,0198	0,0238
0,08	0,005027	3,430	0,00754	0,0101	0,0126	0,0151	0,0176	0,0201	0,0251	0,0302
0,09	0,006362	2,710	0,00954	0,0127	0,0159	0,0191	0,0223	0,0254	0,0318	0,0382
0,1	0,007854	2,195	0,0118	0,0157	0,0196	0,0236	0,0275	0,0314	0,0393	0,0471
0,112	0,009852	1,750	0,0148	0,0197	0,0246	0,0296	0,0345	0,0394	0,0493	0,0591
0,125	0,01227	1,405	0,0184	0,0245	0,0307	0,0368	0,0429	0,0491	0,0614	0,0736
0,14	0,01539	1,120	0,0231	0,0308	0,0385	0,0462	0,0539	0,0616	0,0770	0,0923
0,15	0,01767	0,9757	0,0265	0,0353	0,0442	0,0530	0,0618	0,0707	0,0884	0,106
0,16	0,02011	0,8575	0,0302	0,0402	0,0503	0,0603	0,0704	0,0804	0,101	0,121
0,17	0,02270	0,7596	0,0341	0,0454	0,0568	0,0681	0,0795	0,0908	0,114	0,136
0,18	0,02545	0,6775	0,0382	0,0509	0,0636	0,0764	0,0891	0,102	0,127	0,153
0,19	0,02836	0,6081	0,0425	0,0567	0,0709	0,0851	0,0993	0,113	0,142	0,170
0,2	0,03142	0,5488	0,0471	0,0628	0,0786	0,0943	0,110	0,126	0,157	0,189
0,212	0,03530	0,4884	0,0530	0,0706	0,0883	0,106	0,124	0,141	0,177	0,212
0,224	0,03941	0,4375	0,0592	0,0788	0,0985	0,118	0,138	0,158	0,197	0,236
0,236	0,04372	0,3941	0,0656	0,0874	0,109	0,131	0,153	0,175	0,219	0,262
0,25	0,04909	0,3512	0,0736	0,0982	0,123	0,147	0,172	0,196	0,245	0,295
0,265	0,05517	0,3126	0,0828	0,110	0,138	0,166	0,193	0,221	0,276	0,331
0,28	0,06158	0,2800	0,0924	0,123	0,154	0,185	0,216	0,246	0,308	0,369
0,3	0,07069	0,2439	0,106	0,141	0,177	0,212	0,247	0,283	0,353	0,424
0,315	0,07793	0,2212	0,117	0,156	0,195	0,234	0,273	0,312	0,390	0,468
0,335	0,08815	0,1956	0,132	0,176	0,220	0,264	0,309	0,353	0,441	0,529
0,355	0,09898	0,1742	0,148	0,198	0,247	0,297	0,346	0,396	0,495	0,594
0,375	0,11046	0,1561	0,166	0,221	0,276	0,331	0,387	0,442	0,552	0,663
0,4	0,1257	0,1372	0,189	0,251	0,314	0,377	0,440	0,503	0,629	0,754
0,425	0,1419	0,1215	0,213	0,284	0,355	0,426	0,497	0,568	0,710	0,851
0,45	0,1590	0,1084	0,239	0,318	0,398	0,477	0,557	0,636	0,795	0,954
0,475	0,1772	0,09730	0,266	0,354	0,443	0,532	0,620	0,709	0,886	1,06
0,5	0,1964	0,08781	0,295	0,393	0,491	0,589	0,687	0,786	0,982	1,18
0,56	0,2463	0,07000	0,369	0,493	0,616	0,739	0,862	0,985	1,23	1,48
0,6	0,2827	0,06098	0,424	0,565	0,707	0,848	0,989	1,131	1,41	1,70
0,71	0,3959	0,04355	0,594	0,792	0,990	1,19	1,39	1,58	1,98	2,38
0,75	0,4418	0,03903	0,663	0,884	1,10	1,33	1,55	1,77	2,21	2,65
0,8	0,5027	0,03430	0,754	1,01	1,26	1,51	1,76	2,01	2,51	3,02
0,85	0,5675	0,03038	0,851	1,14	1,42	1,70	1,97	2,27	2,84	3,41
0,9	0,6362	0,02710	0,954	1,27	1,59	1,91	2,23	2,54	3,18	3,82
0,95	0,7088	0,02432	1,06	1,42	1,77	2,13	2,48	2,84	3,54	4,25
1	0,7854	0,02195	1,18	1,57	1,96	2,36	2,75	3,14	3,93	4,71
1,12	0,9852	0,01750	1,48	1,97	2,46	2,96	3,45	3,94	4,93	5,91
1,25	1,227	0,01405	1,84	2,45	3,07	3,68	4,29	4,91	6,14	7,36
1,32	1,369	0,01260	2,05	2,74	3,42	4,11	4,79	5,48	6,85	8,21
1,4	1,539	0,01120	2,31	3,08	3,85	4,62	5,39	6,16	7,70	9,32
1,5	1,767	0,009757	2,65	3,53	4,42	5,30	6,18	7,07	8,84	10,60
1,6	2,011	0,008575	3,02	4,02	5,03	6,03	7,04	8,04	10,06	12,07
1,7	2,270	0,007596	3,41	4,54	5,68	6,81	7,95	9,08	11,35	13,62
1,8	2,545	0,006775	3,82	5,09	6,36	7,64	8,91	10,18	12,73	15,27
1,9	2,836	0,006081	4,25	5,67	7,09	8,51	9,93	11,34	14,18	17,02
2	3,142	0,005488	4,71	6,28	7,86	9,43	11,00	12,57	15,71	18,85
2,12	3,530	0,004884	5,30	7,06	8,83	10,59	12,36	14,12	17,65	21,18
2,24	3,941	0,004375	5,91	7,88	9,85	11,82	13,79	15,76	19,71	23,65
2,36	4,375	0,003941	6,56	8,75	10,94	13,12	15,31	17,50	21,88	26,25
2,5	4,909	0,003512	7,36	9,82	12,27	14,73	17,18	19,64	24,55	29,45
2,65	5,516	0,003126	8,27	11,03	13,79	16,55	19,31	22,06	27,58	33,10
2,8	6,158	0,002800	9,24	12,32	15,40	18,47	21,55	24,63	30,79	36,95
3	7,069	0,002439	10,60	14,14	17,67	21,21	24,74	28,28	35,35	42,41

Die Werte der CuL-Drähte entsprechen DIN 46435.

Messungen am Trafo RTT1160 (Beispiel)

Der Trafo RTT1160 war in einem älteren Fernsehgerät mit CRT-Röhre eingebaut. Ein Typenschild gibt es nicht, Daten waren nicht bekannt. Das folgende Bild enthält alle Messwerte und Hinweise, wie diese ermittelt wurden.



Reihenfolge der Messungen:

1. Netzanschluss

Der Netzanschluss war ersichtlich. Ein Kabel mit Stecker (Eurostecker 2-polig) wurde direkt angelötet. Eine zufällige Berührung wurde duch Packband (braun) verhindert.

2. Wicklungsstruktur, Drahtstärke

Die DC-Widerstände aller Wicklungen wurden mit dem DMM gemessen. Es ergaben sich die angegebenen Ohm-Werte. Eine direkte Messung der Drahtstärken war nicht möglich (kein Platz), es konnten aber die am jeweiligen Anschluss sichtbaren Drahtdurchmesser durch Vergleich mit passendem Kupferlackdraht geschätzt werden. Die ermittelte Gesamtstruktur der sekundären Wicklungen ergab 6 Wicklungen in 4 galvanisch getrennten Bereichen (siehe Bild).

3. Leerlaufspannungen

Alle AC-Spannungen wurden ohne Last (keine Gleichrichterschaltung angeschlossen) mit dem DMM gemessen (siehe Bild).

4. Test Hauptwicklung 10-11

Die Wicklung 10-11 (Bezeichnung an den Lötanschlüssen des Trafos) konnte als Hauptwicklung identifiziert werden, da sie mit Abstand den größten Drahtdurchmesser (0,6 CuL) hat und dabei im Leerlauf über 16 Vac liefert. Zur Bestimmung des maximal möglichen Stromes wird angenommen, daß die Stromdichte 3 A/mm2 sein darf. Für 0,6 mm Cu-Drahtdurchmesser ergibt sich ein Querschnitt von 0,283 mm^2. Daraus folgt lt. Liste der zulässige Strom 0,85 A. Die Belastung nach dem Testgleichrichter erfolgte bis 1 A. Alle anderen Wicklungen waren ohne Last.

5. Test weitere Wicklungen

Alle anderen Wicklungen wurden wie im Bild angegeben einzeln getestet. Dabei kamen in Abhängigkeit von der Wicklungsstruktur unterschiedliche Gleichrichterschaltungen zum Einsatz. Um die Gesamtbelastung des Trafos realitätsnah zu halten wurde die Hauptwicklung bei jedem Einzeltest der anderen Wicklungen mit einem Widerstand von 19,5 Ohm belastet. Die Spannung am DC-Ausgang von 10-11 betrug 17 V, der zugehörige Strom 0,87 A.

Mit jedem Test erfolgte auch die Messung der Rippelspannung. Damit kann abgeschätzt werden, welche Ausgangsspannung eine Wicklung bei Belastung liefert und wie groß ein Lade-C sein muss, damit die Rippelspannung von der nachfolgenden Regelschaltung (im Bild nicht dargestellt) noch ausgeregelt wird. Beachten muss man auch, dass die Netzspannung 5 % niedriger sein kann.

6. Dauertest

Ein Belastungstest über mehrere Stunden ist nötig, um die Temperaturerhöhung im Dauerbetrieb feststellen zu können. Es ist zweckmäßig, den Testaufbau über Nacht laufen zu lassen, da dann alle Temperaturausgleichsvorgänge abgeschlossen sind. Der Test erfolgte mit 1000 mA elektronischer Last am DC-Ausgang der Hauptwicklung 10-11. Es stellte sich bei 18°C Zimmertemperatur eine oberflächliche Kerntemperatur von 54°C dauernd ein. Rechnet man mit einer 20° höheren Temperatur in der nahe am Kern liegenden Primärwicklung ergeben sich 74°C Innentemperatur. Das ist zwar schon ein hoher Wert, aber noch tolerabel.

7. Festlegungen zur möglichen Verwendung

Im Ergebnis aller Messungen und des Dauertests wurde die im Bild (Kasten) angegebene Belastungsfähigkeit festgelegt. Die Hauptwicklung 10-11 ist jetzt mit 800 mA Nennstrom spezifiziert, die Wicklungen mit 0,3 CuL entsprechend Tabelle mit 200 mA. Vereinfacht wurde dabei immer eine zulässige Stromdichte von 3 A/mm^2 angenommen.

Allgemeines zum Trafo-Wickeln

Im Allgemeinen ist das Trafo-Wickeln eine Spezialdisziplin, die vor allem der Bastler unbedingt zu vermeiden sucht. Angefangen von der recht komplizierten Berechnung, Draht- und Kernauswahl bis hin zur praktischen Realisierung eines Netztrafos ist es nicht leicht, alle technischen Forderungen, vor allem auch die der Sicherheit, zu erfüllen.

Manchmal wünscht man sich aber doch entweder vom gerade vorhandenen Trafo abweichende Spannungen oder auch ein paar Zusatzspannungen, um damit z.B. Opamps versorgen zu können.

Man kann zwar wenig belastete Spannungen ohne weiteres aus der Hauptversorgungsspannung gewinnen, wenn keine galvanische Trennung gefordert ist. Am leichtesten ist es, die vorhandene Gleichspannung zu zerhacken (Impulsgenerator), um mit einer Vervielfacherschaltung (Dioden und Kondensatoren) die gewünschte höhere Spannung oder eine Spannung mit anderem Bezug (z.B. negativ gegenüber GND der Schaltung) zu erhalten.

Mit dieser Methode holt man sich aber oft Störungen in die Schaltung, die von den steilen Flanken des Zerhackers herrühren. Außerdem ist keine Potentialtrennung vorhanden. Ist diese gefordert, kommt man nicht um die induktive Übertragung herum und landet deshalb doch wieder beim Trafo.

Natürlich kann man auch eine Spannungsvervielfacher-Schaltung direkt an die Hauptwicklung anschließen, um so höhere oder anders gepolte Zusatzspannungen zu gewinnen. Eine galvanische Trennung ist auch hier nicht vorhanden. Es entstehen zwar wegen der direkten 50Hz-Verarbeitung keine hochfrequenten Störungen, aber dafür ist der Platzbedarf wegen der nötigen Elkos oft zu groß. Zu beachten ist auch, dass der Innenwiderstand relativ groß ist, da die Elkos gewissermaßen als Energielieferant dienen und die Kapazität nicht unbeschränkt hoch gewählt werden kann. Diese Methode ist also nur für Spannungen mit geringer Belastung sinnvoll.

Die einfachste Methode, eine gut belastbare und sogar potentialgetrennte Spannung bereitzustellen, ist die Erweiterung durch eine Zusatzwicklung.

Im Folgenden beschreibe ich einfache Arbeiten am Netztrafo, die aber nur die Sekundärseite betreffen. Wicklungen mit geringer Belastung lassen sich relativ leicht auf die vorhandene Primärwicklung aufbringen, ohne mit der erforderlichen Sicherheit der Netzwicklung in Konflikt zu kommen.

Zusatzwicklung beim Ringkerntrafo

Der Ringkerntrafo ist besonders günstig für das nachträgliche Aufbringen einer oder mehrerer Wicklungen, vorausgesetzt, das Mittelloch ist nicht vergossen und groß genug. Es muss kein Blechpaket auseinander genommen werden. Allerdings sind die Wicklungen nicht so einfach aufzubringen. Jede einzelne Drahtwindung muss durch das Mittelloch der Ringkerns gefädelt werden. Dafür gibt es zwar auch Wickelmaschinen, die aber kompliziert und teuer sind. Deren Anschaffung lohnt sich für den Hobbyisten nicht.

Selbst beim Wickeln auf offene Spulenkörper (z.B. von Kernen mit LL-, EI- oder M-Schnitt) ist eine Wickelmaschine zwar hilfreich, aber auch schon zu aufwendig. Hier geht es ja nur um ein paar Zusatzwicklungen mit relativ geringer Windungszahl, die auf die bereits vorhandenen Primär- und auch Sekundärwicklungen aufgebracht werden. Das kann man leicht von Hand machen.

Zurück zum Ringkern: Meist ist die äußere Wicklung mit Isolierfolie abgedeckt, so dass unmittelbar auf diese vorhandene Wicklung gewickelt werden kann. Ist keine äußere Isolierung vorhanden, muss unbedingt eine Folie zwischengelegt werden, damit die Zusatzwicklungen nicht direkt auf der letzten Originalwicklung liegt.

Die zusätzlich aufgebrachte Wicklung behindert natürlich die Kühlung des Trafos. Der Hersteller legt meist eine maximale Umgebungstemperatur (ta) fest, bei der noch die nominale Leistung entnommen werden darf, ohne dass sich der Trafo unzulässig erwärmt und ohne dass die meist vorhandene Thermosicherung des Trafos anspricht.

In kritischen Fällen bleibt nur, entweder die entnommene Gesamleistung zu reduzieren oder der Trafo muss zwangsgekühlt werden, z.B. mit Lüfter.

Trafo-Wicklung beim 120VA-Ringkerntrafo

1. CuL-Drahtstärke (CuL = Kupferlack) ermitteln

Bei max. 100 mA (eigentlich sind oft nur max. 50 mA in der Opamp-Schaltung zu erwarten) ist lt. Tabelle 0,3 CuL mit Sicherheit ausreichend, da eigentlich 0,2 A zulässig wären. Dünnerer Draht läßt sich aber beim Wickeln schlechter handhaben, deshalb rate ich zu mindestens 0,3 CuL.

2. Spannung pro Windung ermitteln

10 Wdg. (Windungen) aufbringen und AC-Spannung messen, im Leerlauf und unter Last. Dabei ist zu beachten, dass die 230 Vac des Netzes stimmen, d.h. ebenfalls messen. Bei großer Abweichung kann (muss) später eine entsprechende Korrekturrechnung durchgeführt werden.

Beispiel (zusätzliche Wicklung für 10 V und 50 mA):

In einem konkreten Fall ergaben sich 1,71 V pro 10 Wdg im Leerlauf und 1,65 V pro 10 Wdg bei Belastung einer der zwei 22V-Hauptwicklungen mit 2 A und gleichzeitig bei Belastung der aufgebrachten 10V-Wicklung mit 50 mA. Es ist also wichtig, nicht nur die neue Testwicklung zu belasten, sondern es gilt auch, die vorhandenen Hauptwicklungen so zu belasten, wie es bei der späteren Verwendung des Trafos der Fall ist. Praktisch müssen an die Wicklungen entsprechend belastbare Widerstände geschaltet werden. Wenn die Spannung jeder Sekundärwicklung gemessen wird, ist eine Strommessung nicht unbedingt nötig. Gegebenenfalls müssen die Lastwiderstände nachjustiert werden, um die passenden Lastströme zu erreichen.

3. Windungszahl festlegen

Entsprechend dem Beispiel sollen bei 50 mA Belastung (und natürlich auch bei Belastung der alten Hauptwicklungen) durch die neu aufgebrachte Wicklung 10 Vac zur Verfügung gestellt werden. Es ergeben sich 60,6 Wdg für eine 10V-Wicklung (0,165 V pro Wdg).

Normalerweise müssten jetzt noch 10 % zur Windungszahl hinzugeschlagen werden. Das berücksichtigt die Tatsache, dass die 230V-Netzspannung auch einen gewissen Toleranzbereich hat und z.B. bei 10 % Unterspannung nur 207 Vac beträgt. Da die Zusatzwicklung aber nur einen 5V-Festspannungsregler zu versorgen hat, wurde in diesem Falle bewusst auf den 10%-igen Zuschlag verzichtet.

Bei 10 Vac ergeben sich etwa 13 Vdc (Gratzbrücke), abgerechnet 10 % bei Netzunterspannung sind immer noch 11,7 Vdc verfügbar. Damit könnte sogar noch ein 9V-Regler angesteuert werden. Fazit: 60 Wdg sind für die 10V-Zusatzwicklung ausreichend.

4. Drahtlänge für eine Wicklung ermitteln

Die Drahtlänge pro Wicklung muss bekannt sein, da nicht von der großen Drahtrolle abgewickelt werden kann. Der Draht für eine komplette neue Wicklung muss auf einen kleinen Wickelkörper aufgebracht werden, der dann durch das Mittelloch des Ringkerntrafos passt.

Die Idee, den Draht jedes Mal (bei jeder aufzubringenden Wdg) in seiner ganzen Länge durch das Ringkernloch durchzuziehen, sollte schnell wieder vergessen werden. Zu groß ist die Gefahr, dass man den Kupferlack verletzt und es so zu Isolationsproblemen kommen kann.

Also: Die 10Wdg-Testwicklung abwickeln und die Drahtlänge messen. Daraus dann die zu erwartende Drahtlänge für 60 Wdg berechnen und die Anschlussdrahtlängen zuschlagen. Im Beispiel ergaben sich für 60 Wdg rund 8 Meter.

Natürlich könnte man auch den Umfang einer Windung aus dem Durchmesser des Kerns errechnen. Das ist aber ungenauer und garnicht nötig.

5. Hilfswickelkörper bewickeln

Die 8 m Draht auf einen kleinen Wickelkörper wickeln. Der Wickelkörper muss leicht durch das zentrale Loch des Ringkerntrafos passen. Im Beispiel wurde eine Plastikverschlusskappe für Vierkantstahlrohr benutzt (siehe Bild). Mit einem kleinen Schnitt (siehe Bild) kann außerdem der Draht beim Wickelvorgang immer wieder arretiert werden, so dass die Windungen beim Hantieren nicht lose werden und vom Wickelkörper fallen.

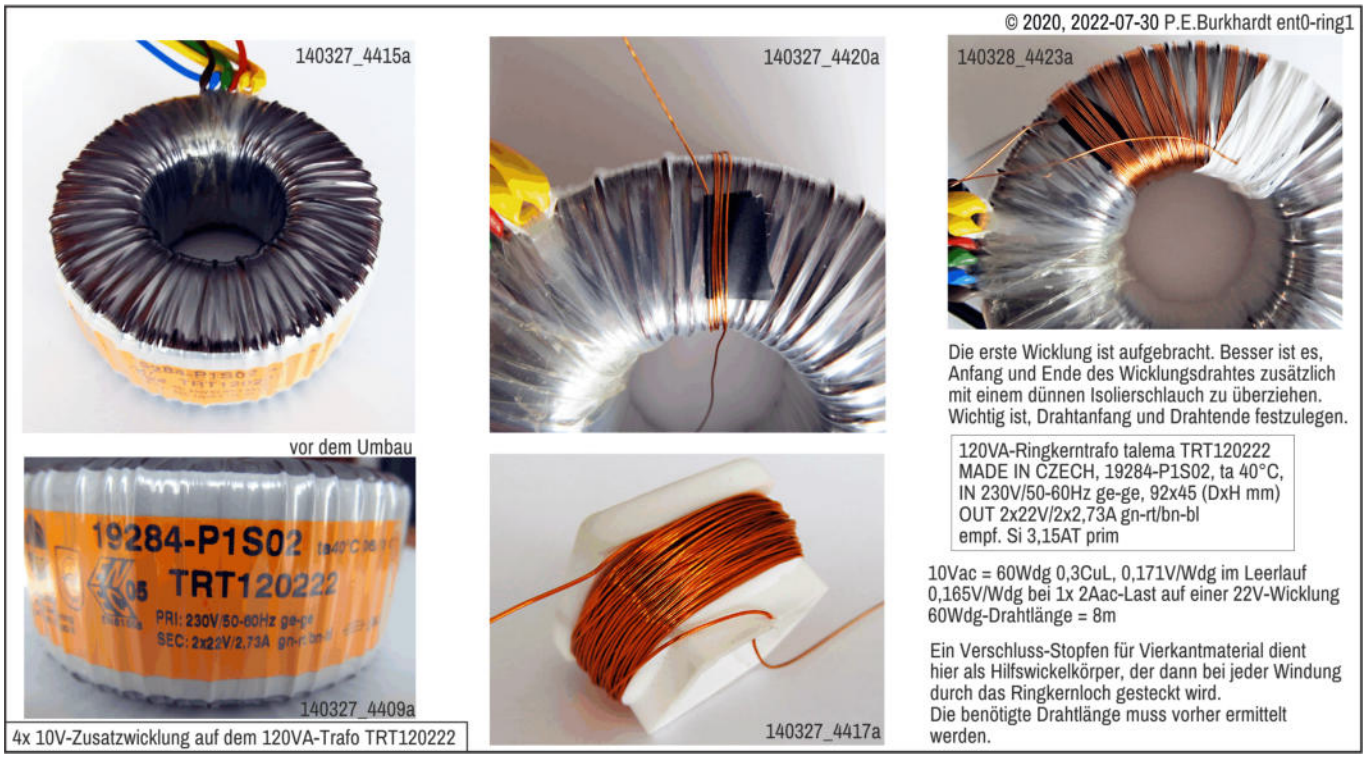
6. Wicklungsanfang festlegen

Wicklungsanfang mit einem kleinen Stück selbstklebenden Isolierband festlegen (siehe Bild). Über das Stück Isolierband werden dann die ersten Windungen gewickelt, so dass der Wicklungsanfang festgelegt ist. Auf Isolierschlauch über dem Anschluss der Wicklung habe ich verzichtet, da die Wicklung außen liegt und keine weiteren Wdg darüber gewickelt werden.

7. Wicklung wickeln

Windung für Windung den Draht aufwickeln, dabei immer wieder den Wickelkörper mit dem Draht durch das Trafoloch stecken. Windungen zählen nicht vergessen! Windungen möglichst nebeneinander legen (innen im Trafoloch, außen ist der Trafoumfang größer, deshalb ergibt sich dort ein Abstand), immer schön straff halten und aufpassen, dass sich keine Schlingen bilden.

So eine Schlinge darf nicht einfach durch Ziehen aufgelöst werden, da sich dabei ein Knick im Draht bildet, die Lackisolierung wird beschädigt bzw. bekommt Risse. Schlinge also schön auseinanderlegen (auseinanderdrehen), erst dann den Draht knickfrei gerade machen (am besten Draht durch trockenen Stofflappen ziehen).



8. Wicklungsende festlegen

Letzte Windung festlegen, damit die straff gewicklte Wicklung sich nicht lockert. Da keine selbstklebende Trafo-Isolierfolie zur Verfügung stand, wurde PTFE-Gewindedichtband (Rolle vom Baumarkt: 12 mm breit, 12 m lang, 0,1 mm dick) verwendet. Das Dichtband verwendet normalerweise der Rohrklempner, ist hitzefest und elektrisch hochisolierend. Es ist in Längsrichtung sehr reißfest und schmiegt sich eng an die Wicklungsdrähte an und hält von selbst (ohne kleben).

Also über das Ende der Wicklung das Dichtband wickeln (max. 3 Windungen Band durch das Trafoloch), so wird das Wicklungsende ausreichend fest. Auch hier habe ich für das Drahtende auf Isolierschlauch verzichtet.

Übrigens: PTFE-Dichtband lässt sich auch zur Lagenisolation beim Trafo-Wickeln verwenden. Es ist wie gesagt hitzefest, sehr dünn, reißfest und hält sich durch die Dehnung beim Umwickeln selbst (auch ohne Klebeschicht).

9. Nächste Wicklung aufbringen (falls gewünscht)

Wickeldraht der nächsten Wicklung vorbereiten (auf Hilfswickelkörper wickeln wie oben beschrieben) und nächste Wicklung aufbringen. Alle Wicklungen (z.B. 4) werden in die gleiche Richtung gewickelt. Damit gibt es keine Probleme beim späteren Auffinden von Anfang und Ende der Wicklung.

10. Wicklungsenden anschließen

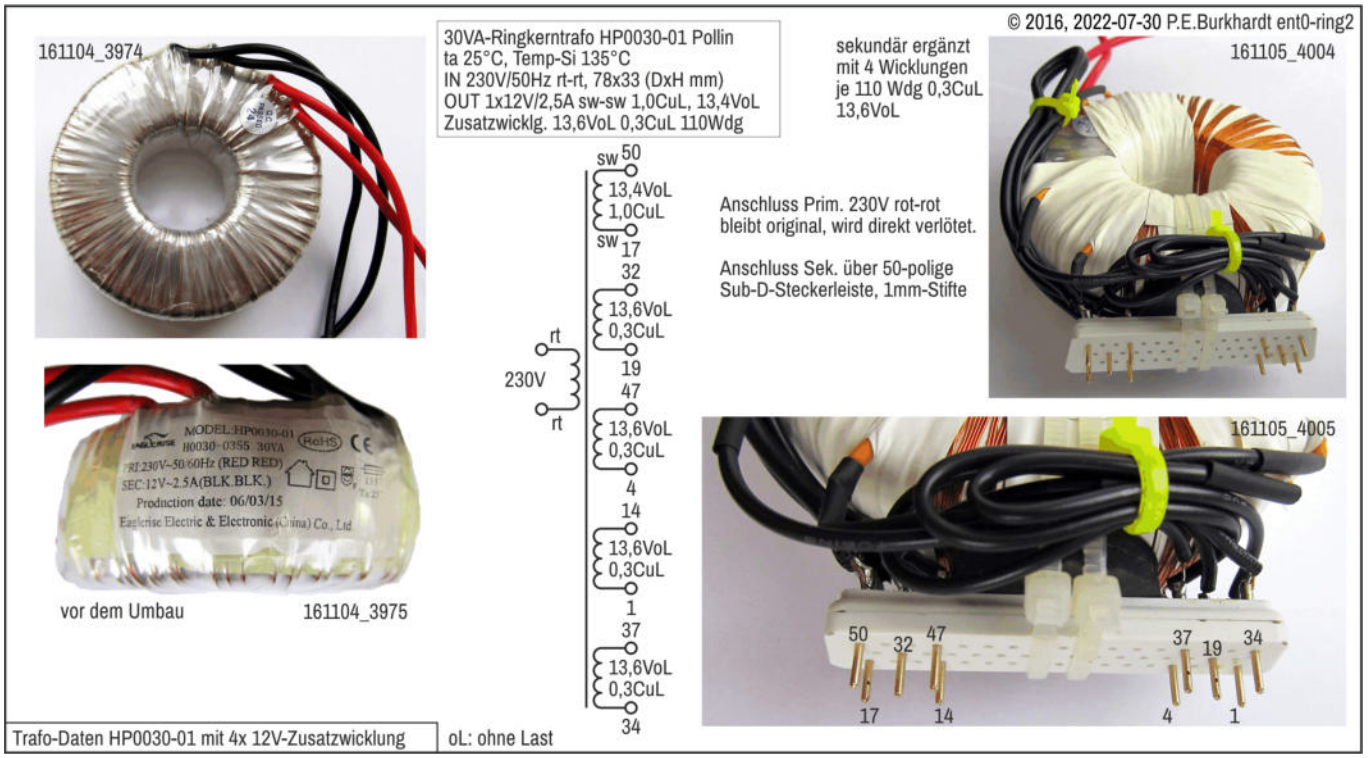
Je nach verwendetem CuL-Draht müssen die Drahtenden entweder mechanisch abisoliert und anschließend verzinnt werden, oder das Abisolieren kann mit einem sehr heißen Lötkolben erfolgen (350 bis 400°). Ob Letzteres möglich ist, hängt vom CuL ab. Keinesfalls darf der Cu-Draht mechanisch geschädigt werden, andernfalls drohen Bruchstellen bei mechanischer Beanspruchung (verbiegen) oder auch durch hohen Strom in Verbindung mit hoher Temperatur.

Das Anlöten der verzinnten Drahtenden erfolgt zweckentsprechend, entweder direkt auf der Leiterplatte, die den Trafo trägt, oder an einer geeigneten Lötleiste oder auch an einem Steckverbinder. Lötleiste bzw. Steckverbinder sollten unbedingt mechanisch mit dem Trafo eine Einheit bilden, damit die dünnen Drahtenden der Wicklungen nicht brechen.

Soll eine Verbindung von der Wicklung zum Lötpunkt beweglich sein, muss eine flexible Anschlussleitung an die Wicklungsenden gelötet werden. Der Verbindungspunkt mit der Wicklung wird in diesem Falle mit in die Trafowicklung eingebunden, natürlich isoliert und mechanisch gesichert. Im beschriebenen Beispiel war das aber nicht der Fall.

Die 230V-Primäranschlüsse sollten separat geführt werden!

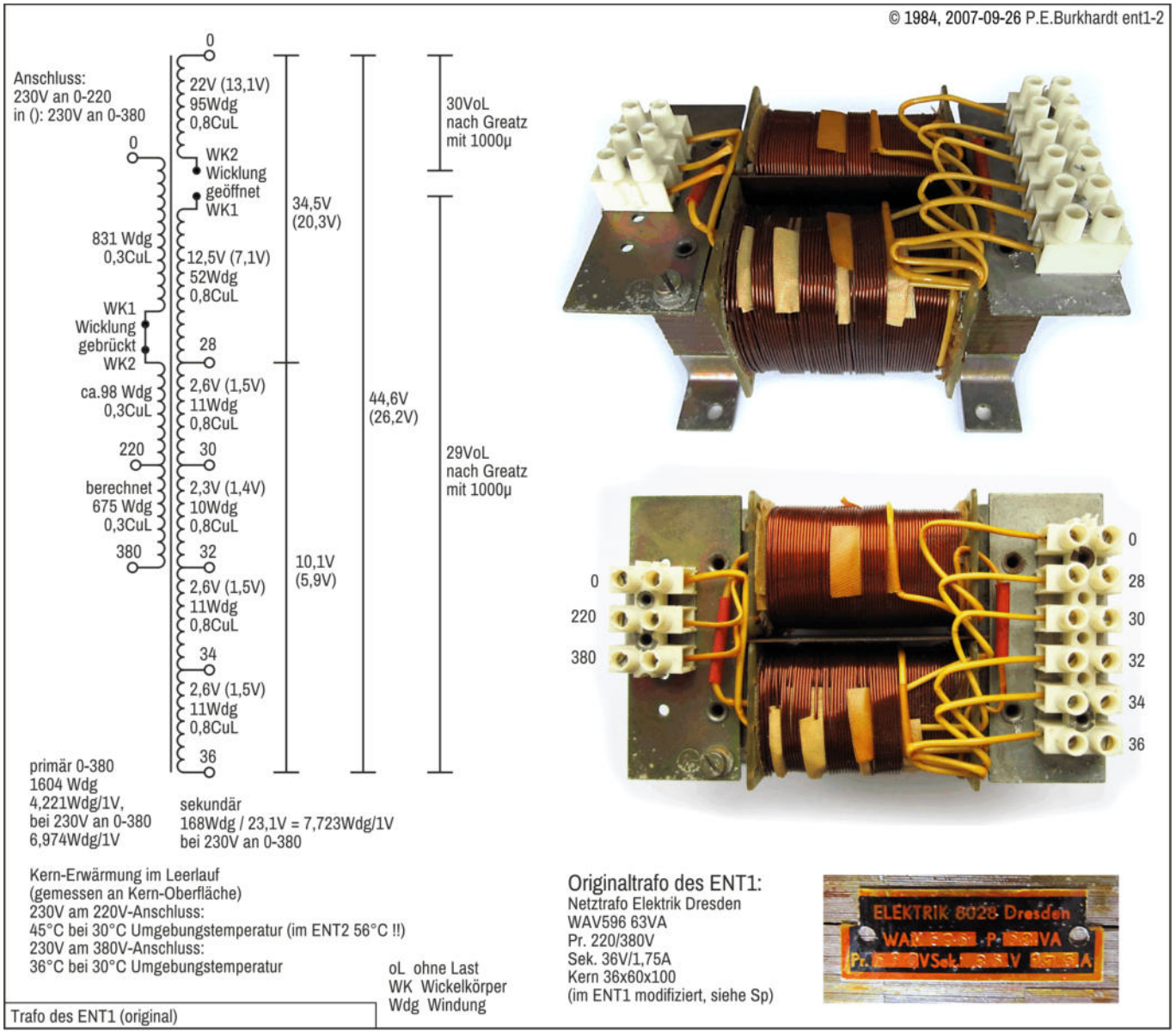
Trafo-Wicklung beim 30VA-Ringkerntrafo



Trafo mit LL-Schnitt wickeln

Der im Folgenden beschriebene Trafo war ursprünglich als Grundlage für ein Doppelnetzteil (2x 20 V, je 1 A) aus einem alten 63VA-Steuertrafo neu bewickelt worden. In diesem Fall habe ich auch die Primärwicklung neu gemacht, da bei der Demontage der Kernhälften ein Draht abgerissen war.

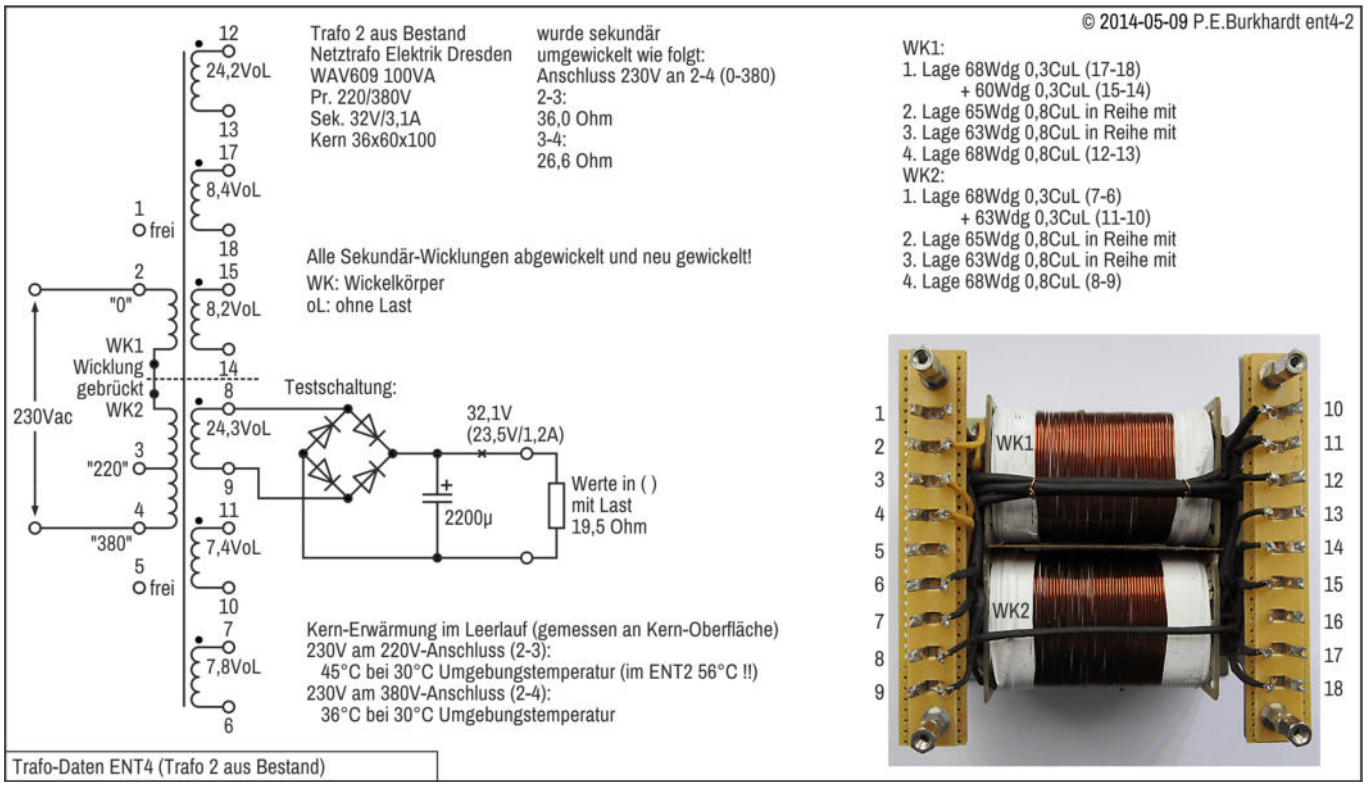
Hinweis:
Der 63VA-Trafo war im Original Bestandteil des kleinen Labornetzgerätes ENT1 und stammt vom VEB Elektrik Dresden. Das ENT1 wurde u.a. auch in Schulen (Physikunterricht) und beim "polytechnischen Unterricht" genutzt.



Die im Bild angegebenen Wickeldaten wurden beim Abwickeln ermittelt. Noch vor dem Auseinanderbauen habe ich neben den Spannungen noch ein paar Temperaturen gemessen. So konnte ich im Vergleich vorher/nachher, d.h. nach dem Neuwickeln, die Neuverteilung der Wicklungen und meine Arbeit beurteilen.

Der neu gewickelte Trafo

Aus dem folgenden Bild sind alle neuen Wickeldaten einschließlich der Messwerte ersichtlich.



Das Bild rechts zeigt aber die zweite Version meiner Wickelei. Den ersten umgewickelten Trafo musste ich wieder auseinanderbauen und die Spulenkörper vollkommen abwickeln, da der Trafo die Hochspannungsprüfung nicht bestanden hatte. Ganz unten in der Netzwicklung hatte es geknistert, d.h. es gab einen Überschlag zwischen zwei weiter entfernt liegenden Wicklungslagen.

Auf das Prüfverfahren und die Prüfbedingungen gehe ich hier an dieser Stelle nicht ein. Es sei nur gesagt, dass ich mit einem alten DDR-Hochspannungsprüfgerät die gleiche Prozedur durchlaufen habe, wie ich es zu meiner Elektriker-Zeit vor etlichen Jahrzehnten schon hunderte Male gemacht hatte.

Normalerweise wäre es anfangs nicht nötig gewesen, die 230V-Primärwicklung zu entfernen. Ich hatte nur vor, die Erweiterung bis zum 380V-Anschluss abzuwickeln, um so mehr Wickelraum für die Sekundärwicklung zu schaffen. Im Originalzustand war der ENT1-Trafo zwischen Null und 220 V am 230V-Netz. Der 380V-Anschluss war ungenutzt.

Beim Abwickeln des nicht benötigten Teils ist mir aber durch Unachtsamkeit der Anfangsdraht der ganzen Primärwicklung abgerissen. So war ich gezwungen, den ganzen Trafo neu zu wickeln mit dem Ergebnis der nicht bestandenen Hochspannungsprüfung. Also wie gesagt, im Bild ist rechts die zweite (und endgültige) Version zu sehen, die natürlich dann alle Sicherheitsanforderungen erfüllte.

Wickeln des 63VA-Trafos mit LL-Schnitt

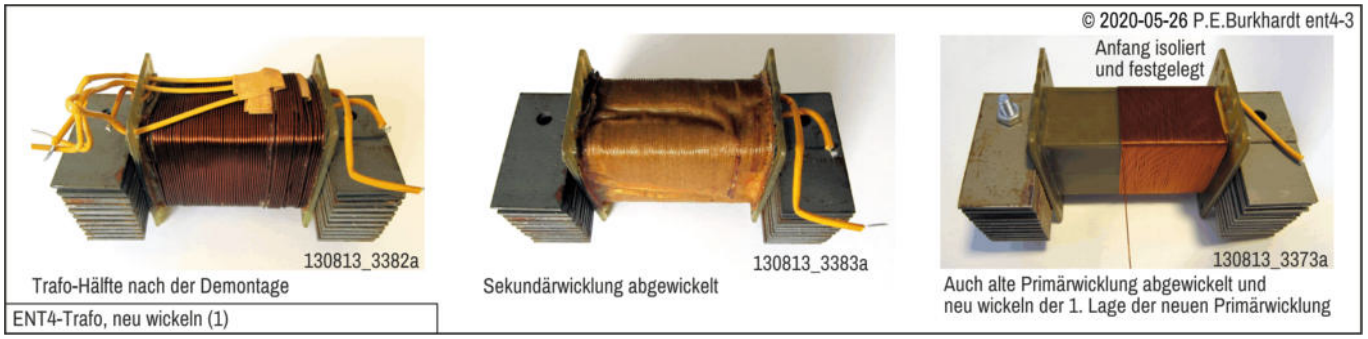
Die folgende Beschreibung enthält hauptsächlich Hinweise, wie das Umwickeln des Trafos erfolgte. Dabei wird deutlich, dass ein LL-Schnitt rein mechanisch viel mehr Arbeit erfordert im Vergleich zur weiter oben beschriebenen Wicklungsergänzung beim Ringkerntrafo.

Ich gebe die Hinweise in lockerer Folge, ohne die genaue Reihenfolge und ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Trafokern auseinandernehmen

Klemmenträger (obere dicke Bleche) und Winkelfüße waren mit dem Kern vernietet, so dass die Bohrmaschine zum Einsatz kommen musste. Sogar die Klemmleisten waren vernietet, sicherlich vorteilhaft bei Serienproduktion, für die Demontage aber eher hinderlich. Vor dem Aufbohren der Nietenköpfe sind die Trafoanschlüsse abzuklemmen und zu sichern. Außerdem müssen die Verbindungen zwischen den beiden Wickelkörpern getrennt (aufgelötet) werden. Zu diesem Zeitpunkt wusste ich noch nicht, dass der ganze Trafo neu gewickelt werden musste.

Auch wenn man nur eine zusätzliche Wicklung aufbringen will, sollte man sich Notizen über den Trafoaufbau machen, und zwar einschließlich aller Windungszahlen, Drahtdurchmesser und sonstiger Verbindungen. Beim Abwickeln kann man die Windungszahl pro Volt ermitteln, natürlich nur, wenn man vorher die Sekundärspannungen bei Belastung gemessen hat. Sollte nur eine Zusatzwicklung aufgebracht werden, muss man vorher eine Testwicklung aufbringen und die Spannung messen.



Das Auseinandernehmen der beiden ineinander gesteckten L-Kerne erwies sich als schwierig. Wahrscheinlich wurde bei der Produktion ein entsprechendes Spezialwerkzeug benutzt. Mit Reißnadel (Stahlnadel zum Anreißen auf Blech) versuchte ich, nach und nach die Lamellen der beiden Kernhälften zu trennen. Letztendlich waren beide Kernhälften getrennt, jeweils mit einem Wickelkörper.

Wicklungen abwickeln

Beim Abwickeln sollten nicht nur die Windungen jeder Wicklung gezählt werden, um sie später den gemessenen Spannungen zuordnen zu können. Man muss auch rein mechanisch darauf achten, den Draht nicht übermäßig zu beanspruchen. Er soll ja in den meisten Fällen wiederverwendet werden. Ich habe alle Wicklungen auf je eine zusammengefaltete Pappe gewickelt und entsprechend beschriftet. Denn durch die originale Aufteilung vor allem der Primärwicklung auf die beiden Kernhälften ergeben sich viele Teilwicklungen.

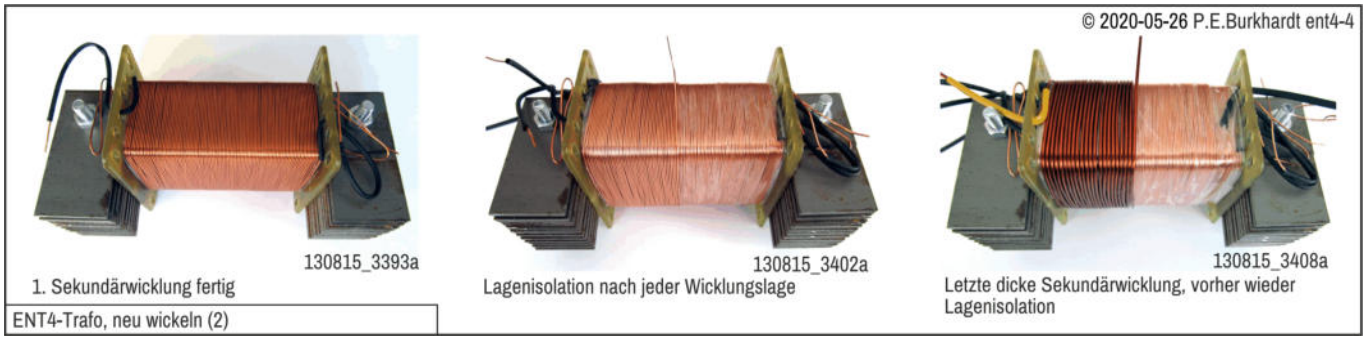
Besonders bei dem dünnen Primärdraht bilden sich manchmal Schlaufen, die auf keinen Fall einfach gerade gezogen werden dürfen. Man hat sonst einen Knick im Draht und der Drahtlack kann beschädigt werden. Auf jeden Fall wäre diese Stelle ein Risiko beim Neuwickeln. Die Schlaufe muss also ohne Knick auseinandergelegt werden.

Auch habe ich alle Isolierschläuche (meist lackbehandelter Gewebeschlauch) und alle Isolierfolien für die Wiederverwendung "gerettet".

Neuen Wicklungsaufbau festlegen

Aus den ermittelten Drahtdaten (Durchmesser, Windungszahl, Länge) und den zugehörigen vorher gemessenen Spannungen kann nun der endgültige Wicklungsaufbau festgelegt werden. Natürlich kommt zuerst die 230V-Primärwicklung, die man aber gleichmäßig auf beide Kernhälften aufteilen muss, um die Trafoverluste insgesamt nicht zu verringern.

Danach kommen die einzelnen Sekundärwicklungen an die Reihe, wobei auch hier zuerst diejenigen Wicklungen vorgesehen sind, die den geringsten Drahtdurchmesser haben. Erst zum Schluss wird die Wicklung mit dem dicksten Draht, d.h. mit der höchsten Stromstärke und meist auch mit der niedrigsten Spannung, aufgebracht. Auch bei den Sekundärwicklungen sollte man die Windungszahl gleichmäßig auf beide Kernhälften aufteilen. Es ergibt sich dann auch hier eine enge Kopplung mit geringen Streuverlusten.



Primärwicklungen aufbringen

Auch bei dem relativ dünnen Draht der primären Wicklungsteile sollte nicht wild drauflos gewickelt werden. Da von Hand gewickelt wird, ist es zwar mühselig, aber leicht zu machen, jede Windung neben die andere zu legen, um so zu einer raumsparenden Wicklungslage zu kommen. Unter einer Wicklungslage soll hier eine Drahtlage von einer Spulenkörperseite zur anderen verstanden werden, die bei sorgfältigem Wickeln genau so dick wie der Drahtdurchmesser ist.

Zu Beginn muss ein Stück dünner Isolierschlauch eingebunden werden (siehe Bilder), um einerseits den Draht beim Durchgang nach außen zu schützen, um aber auch für den Anfang eine gewissen Arretierung zu sichern, damit die Wicklung mäßig straff auf dem Wickelkörper zu liegen kommt.

Das saubere Lagenwickeln hat aber noch einen anderen viel wichtigeren Grund. Man erhöht automatisch die Isolationsfestigkeit der gesamten Wicklung. Der Cu-Lackdraht hat nur eine bestimmte Durchschlagsfestigkeit. Zwischen zwei sauber gewickelten Lagen kann im Extremfall zwischen zwei Windungen nur die in diesen zwei Lagen induzierte Spannung auftreten, nämlich zwischen der ersten Windung der ersten Lage und der letzten Windung der zweiten Lage. Nur dort tritt die höchste Spannungsdifferenz zwischen zwei Drähten auf, die von den beiden Lackschichten dieser Drähte abgewehrt werden muss.

Wird dagegen wild gewickelt, kann die Spannungsdifferenz zwischen zwei Drähten (also zwischen zwei Windungen) wesentlich größer sein. Ein Durchschlag der Lackisolierung ist dann wahrscheinlicher.

Moderne Wickelmaschinen sind allerdings so präzise, dass sie Lage für Lage bis zu den Wickelkörperrändern den Wickelraum lückenlos ausfüllen, so dass automatisch jede der Windungen nur mit der darunterliegenden Lage in Berührung kommt.

Lagenisolation

Es ist auch möglich, und bei genügend Wickelraum dringend anzuraten, zusätzlich eine Lagenisolation in Form einer temperaturbeständigen Isolierfolie vorzunehmen. Diese zusätzliche Isolationsfolie wird also bei jeder neuen Wicklungslage über die bereits gewickelte Lage geschlagen. Es ist nur eine Isolationslage erforderlich, allerdings mit etwa 1 cm Überlappung. Nun ergibt sich nur eine Spannungsdifferenz zwischen zwei Kupferlackisolationsschichten, d.h. zwischen zwei einzelnen Windungen, die nebeneinander liegen. Da die induzierte Spannung in einer einzelnen Windung sehr niedrig ist, wird die Drahtisolation nur gering belastet.

Bei durchgängiger Lagenisolation ist kaum mit Isolierschäden durch zu hohe Spannung zu rechnen, auch nicht bei erhöhter Wicklungstemperatur. Allerdings muss man sorgsam an den Lagenrändern darauf achten, dass die Isolationsfolie seitlich etwas nach oben steht, d.h. dass kein Draht ohne Folie auf die nächste Lage durchrutschen kann. Frühere Gewebe-Isolierstreifen wurden zu diesem Zweck am Rand gefiedert, d.h. im 2mm-Abstand eingeschnitten, damit sich das Gewebeband an die Stirnseiten des Wickelkörpers ohne Luftspalt anschmiegen kann.

Als Lagenisolation eignet sich gut ein PTFE-Gewindedichtband (Rolle vom Baumarkt: 12 mm breit, 12 m lang, 0,1 mm dick, Farbe weiß), wie es die Rohrklempner zum Abdichten verschraubter Leitungen benutzen. Es ist hitzefest und elektrisch hochisolierend. Es ist außerdem in Längsrichtung sehr reißfest und schmiegt sich eng and die Wicklungsdrähte an und hält von selbst (ohne kleben).

Natürlich sollte, falls vorhanden oder beschaffbar, vorzugsweise eine zum Trafowickeln vorgesehene Folie benutzt werden, die es farblos in verschiedenen Stärken gibt.

Primär-Sekundär-Isolation

Eine besondere Lagenisolation ist zwischen der netzseitigen Primärwicklung und den kleinspannungsseitigen Sekundärwicklungen erforderlich. Sie sollte dick genug sein, der Hochspannungsprüfung zwischen Primär- und Sekundärseite des Trafos stand zu halten. Das oben erwähnte PTFE-Gewindedichtband reicht dafür nicht aus. Ich habe die originalen Isolationsbänder der alten Trafoausführung verwendet (für jeden Wicklungskörper eines).

Übrigens, moderne Trafos haben meist für die Primär- und Sekundärseite einen eigenen Wickelkörper. Damit lässt sich die Isolation von der Primär- zur Sekundärseite wesentlich besser gestalten.

Sekundärwicklungen aufbringen

Die Sekundärwicklungen sind wegen des dickeren Drahtes leichter zu erstellen. Natürlich gilt auch hier, sorgsam Lage für Lage zu wickeln. Vor allem ist bei Drähten mit größerem Duchmesser nur so der Wickelraum sparsam nutzbar. Die Wicklungsenden müssen immer durch passende Löcher der Stirnseiten der Wicklungskörper geführt werden, vor allem mit Schlauch isoliert und durch Abwinkeln des Drahtes zugentlastet.

Früher wurden die Wicklungsenden mit in Paraffin getränktem Bindegarn auf der Wicklung festgelegt. Auch war es üblich, mit den Draht umschließenden Gewebeisolierstücken zu arbeiten, über die dann weitere Windungen gewickelt wurden, um das Verrutschen des Anfangs und/oder des Endes einer Wicklung zu verhindern (siehe Bild).

Heute sind noch andere Techniken üblich, die vor allem eine automatische oder teilautomatische Trafo-Wickelei zulassen.

Kernhälften zusammenbauen

Nachdem nun alle Wicklungen auf die beiden Spulenkörper gebracht wurden, müssen die LL-Kernhälften wieder spaltfrei zusammengeschoben werden. Ich gebe zu, dies war fast die schwierigste Aufgabe. Maschinell kein Problem, ist diese Arbeit von Hand nur mit Geduld und Feingefühl zu erledigen. Um den letzten Spalt zu beseitigen, kann man auch den Schraubstock zu Hilfe nehmen. Dabei ist immer auf die Anschlüsse zu achten, dass sie nicht beschädigt werden. Ansonsten wäre die ganze Arbeit umsonst gewesen.

Wenn der Kern ordentlich sitzt und alle einzelnen Kernbleche ausgerichtet sind, müssen passende Schrauben das Ganze zusammenpressen. Die Schrauben sind jetzt der Ersatz für die originalen Hohlnieten.

Trafo testen (messen)

Noch bevor die einzelnen Wicklungsenden mit den Lötleisten verbunden werden, sollte der Trafo getestet werden. So lassen sich noch Anschlussfehler aufspüren. Alle Enden müssen erst einmal abisoliert und zweckmäßigerweise verzinnt werden. Dann kann man nach Anlegen der 230V-Netzspannung mit den Messungen beginnen. Ich gehe hier bewusst nicht auf die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen beim Hantieren mit Netzspannung ein.

Auf jeden Fall ist bei der Inbetriebnahme des Trafos größte Vorsicht geboten! Der erste 230V-Anschluss sollte nur über einen Trenntrafo mit entsprechender Absicherung erfolgen. Wer sich im Umgang mit lebensgefährlichen Spannungen nicht auskennt, muss unbedingt eine Person mit entsprechenden Fachkenntnissen in Anspruch nehmen.

Wenn alle Spannungen im erwarteten Bereich liegen, kann man die endgültigen Anschlussarbeiten der Wicklungen durchführen.

Lötleisten montieren

Im konkreten Fall wurden Lötleisten verwendet, die platzsparender als Klemmenleisten sind. Allerdings sind nicht alle Lötleisten geeignet. Bei jeder Lötfahne muss auf ausreichend Sicherheitsabstand zu anderen Potentialen, vor allem natürlich auch zum Eisenkern, geachtet werden. Insbesondere der Netzanschluss sollte etwas separat angeordnet sein und keine sekundärseitigen Nachbarlötfahnen haben.

Nötig ist es auch, unterhalb der Lötleiste einen Isolierstreifen anzuordnen, der den sonst zu geringen Abstand der Lötfahnen zum Trafokern isolationstechnisch ausgleicht.

Erdung des Trafokerns, Schutzleiteranschluss

Wichtig ist, schon jetzt an die Erdung des Trafos zu denken. Wird ein Netztrafo in einem Gehäuse der Schutzklasse I, d.h. also mit Schutzleiteranschluss, verwendet, muss der Eisenkern dauerhaft mit dem Schutzleiter verbunden werden. Dauerhaft bedeutet zumindest bei Verschraubung im Metallgehäuse, geeignete Zahnscheiben zu verwenden. Noch besser ist eine separat geführte grün-gelbe Leitung zum Schutzleiter des Geräts.

Anzumerken ist, dass der hier beschriebene Trafo ursprünglich für Schutzleiteranschluss vorgesehen war und auch nach dem Neuwickeln so verwendet wird. Trafos, die in Geräten mit Schutzklasse II (Schutzisolierung) eingesetzt werden, müssen weitere Forderungen an die Isolationsfestigkeit erfüllen, die aber hier nicht relevant sind. Die Vorschriften zum Schutz vor gefährlichen Berührungsspannungen sollen hier nicht thematisiert sein, müssen aber unbedingt eingehalten werden. Wer sich nicht auskennt, muss einen Fachmann hinzuziehen.

Hochspannungsprüfung durchführen

Erst nachdem alle Anschlüsse am Tafo verlegt und verlötet worden sind, kann (und sollte) die Hochspannungsprüfung erfolgen. Weiter oben hatte ich schon erwähnt, dass es nach dem ersten umgewickelten Trafo einen Durchschlag gegeben hatte. Das zeigt, wie wichtig eine solche Prüfung ist. Wer sich nicht auskennt und/oder die entsprechenden Prüfmittel nicht zur Verfügung hat, sollte diese entscheidende Prüfung der Isolationsfestigkeit keinesfalls einfach weglassen. Entweder man weiß vorher, wie diese Prüfung sichergestellt ist, oder man sollte sicherheitsrelevante Arbeiten an elektrischen/elektronischen Geräten gar nicht erst ausführen.

Trafo unter Dauerlast, Temperaturen messen

Mit bestandener Hochspannungsprüfung ist davon auszugehen, dass zumindest die Isolationsfestigkeit bei Raumtemperatur ausreichend ist. Um die dauernde Belastungsfähigkeit des Trafos zu prüfen, müssen die Wicklungen längere Zeit, d.h. über mehrere Stunden, mindestens mit der vorgesehenen Nennlast belastet werden. Dazu sind einfache entsprechend belastbare Leistungswiderstände bestens geeignet. Sinnvoll ist, während des Betriebs dauernd die Eisenkern-Temperatur zu messen. Aus deren Höhe kann zwar nur annähernd auf die innere Wicklungstemperatur geschlossen werden. Aber, bei einer Kernaußentemperatur von mehr als 55° C bei Raumtemperatur (etwa 23° C) wäre ich sehr vorsichtig.

Es gibt Trafos, deren innere Temperatursicherung schon bei 70° C anspricht. Die Höhe der zugelassenen inneren Wicklungstemperatur ist vor allem eine Frage der Isolation (Lackisolierung des Wickeldrahtes, Temperaturfestigkeit aller sonstiger Isolationsmittel).

Fazit

Während eine ergänzende Wicklung auf dem Ringkerntrafo relativ leicht realisierbar ist, muss schon dann mit Schwierigkeiten gerechnet werden, wenn der Trafo zum Wickeln auseinander genommen werden muss. Das ist regelmäßig bei Trafos mit LL- oder auch M-Schnitt der Fall.

Noch mehr Wissen vor allem auch in Fragen der Sicherheit ist erforderlich, wenn die primäre Seite (230V-Wicklung) neu gewickelt werden soll. Ist diese Fachkompetenz nicht vorhanden, sollten Veränderungen an der Primärseite eines Netztrafos grundsätzlich nicht durchgeführt werden.