

Breitbandstörer Schaltnetzteil

Dr. Jochen Jirmann, DB1NV

hans-joachim.jirmann@hs-coburg.de

Zusammenfassung:

Sperrwandler-Schaltnetzteile haben auch im Kleinstleistungsbereich lineargeregelte Stromversorgungen weitgehend verdrängt. Wenn z.B. in einem SAT-Multischalter nach 15 Jahren Dauerbetrieb ein Elko austrocknet und das Netzteil zum Störsender wird, ist das normaler Verschleiß. Doch da sind chinesische Steckernetzteile billigster Bauweise (2€ bei Ebay), mit Fantasienamen unter der Bezeichnung „Travelcharger“ oder ähnlich angeboten, die unsere europäischen Anforderungen bezüglich leitungsgebundener Störemission nicht entfernt einhalten. Solange diese Teile nur zum Aufladen eines Smartphones dienen – also der Verbraucher keine weitere Verbindung zur Außenwelt hat, ist der Störradius relativ gering.

Setzt man diese Netzteile zur Speisung ortsfester Elektronik ein, so belegen sie auch das Nachbarhaus mit ihrem Störschnarren. Besonders kritisch ist, daß man damit DSL-Verbindungen lahmlegen kann und so umfangreiche Entstöreinsätze auslöst.

Die folgenden Messungen zeigen im Frequenzbereich 10kHz bis 10MHz das Störverhalten diverser Billig-Netzteile im Vergleich zu zwei professionellen Geräten und zeigen, wie man nur mit einer Netznachbildung und einem Oszilloskop vergleichende Störbewertungen vornehmen kann.

Zwei mitgeprüfte Original-Ladegeräte von Panasonic und Sony-Ericsson hielten selbst unter verschärften Prüfbedingungen die EMV-Grenzwerte im hier interessanten Bereich bis 10MHz ein.

Auch ein Notebook-Netzteil ADP-40H der Firma Delta Electronics (19V/2A) unterbot die Störspannung-Grenzwerte ab 500kHz um fast 20dB und erzeugte nur unter 150kHz zwei unschöne Störlinien. Es geht also doch, Schaltnetzteile und Amateurfunk sind kein prinzipieller Widerspruch!

1. Unbekannte Funkobjekte in der Hochschule:

Anfang April 2014 gab es einen neuen Störer in meinem Labor der Hochschule Coburg: ein bisher klaglos funktionierender offener Versuchsaufbau zeigte eigenartige Störeinkopplungen und auf unserer Langdrahtantenne war ein mit 100Hz pulsmodulierter Störteppich von Langwelle bis etwa 10MHz zu bemerken. Ursache war ein kleines 5V/1A- Steckernetzteil, das einen Raspberry PI mit Strom versorgte. Der Raspberry mit angestecktem DVB-T-Stick und angeschlossener VHF-Antenne kommunizierte über das Ethernet mit dem Rechner eines Kollegen drei Stock tiefer. Ein erster Test zeigte: zwischen Stromnetz und Sekundärseite des Netzteils stand eine mit 100Hz pulsmodierte Störspannung von etwa 8V_{ss}. Damit bildeten Stromnetz und Rechnernetz eine über das halbe obere Stockwerk reichende Schleifenantenne.

Anscheinend werden manche China-Netzteile (wenn überhaupt) im Leerlauf geprüft. Man kann den Kraftstoff-Normverbrauch eines Autos auch ermitteln, indem man es im Leerlauf den Großglocknerpaß herunterrollen läßt!

2. Aufbau von Kleinnetzteilen und Entstehung der Störungen:

Bild 2.1 zeigt die typische, leicht vereinfachte Schaltung dieser Kleinnetzteile. Es handelt sich um einen Eintakt-Sperrwandler: Ein Leistungsschalter (Power-MOSFET) schaltet die gleichgerichtete Netzspannung auf die Primärwicklung des Wandlertrafos, ein Speicherübertrager mit geringer Hauptinduktivität. Der sekundäre Gleichrichter D2 ist in dieser Phase gesperrt. Das Induktionsgesetz erzeugt einen linearen Stromanstieg im Trafo. Am Ende der Speicherphase ist in der

Primärinduktivität eine Energie von

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \text{ gespeichert. Bei einer Schaltfrequenz } f \text{ wird eine Leistung } P = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \cdot f$$

zur Sekundärseite übertragen. Nach Ende der Speicherphase wird die Diode D2 leitend und überträgt die Energie in den Ausgangskondensator C4. Der Strom in der Diode klingt ebenfalls nach dem Induktionsgesetz linear bis auf Null ab, dann beginnt der Zyklus von neuem. Das nennt man diskontinuierlichen Wandlerbetrieb.

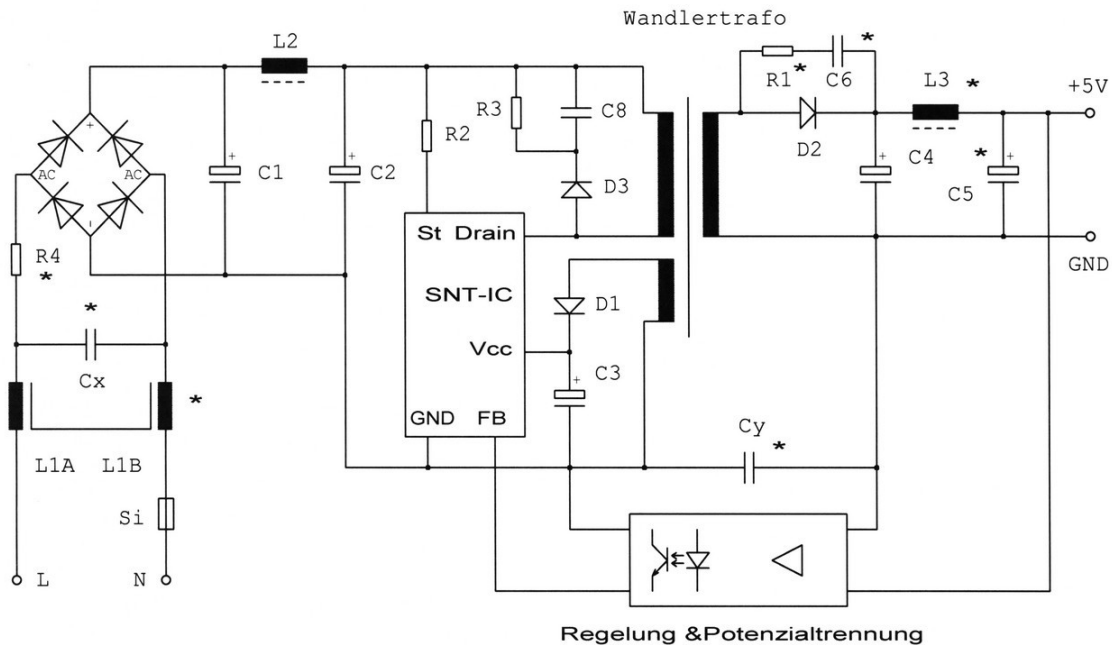


Bild 2.1: Aufbau eines Steckernetzteils kleiner Leistung, alle Bauteile mit Sternchen * können ohne Beeinträchtigung der Netzteil-Grundfunktion weggelassen werden, nur baut man so einen Breitbandstörsender!

Bild 2.2 auf der nächsten Seite zeigt die typischen Spannungs- und Stromverläufe. Kanal 1 ist die Drainspannung des Leistungsschalters, Kanal 2 der Primärstrom und Kanal 4 der Diodenstrom. Die Vorteile eines Sperrwandlers sind:

- + es ist nur ein induktives Bauteil, der Wandlertrafo erforderlich
- + Da die pro Zyklus gespeicherte Energie über die Einschaltzeit bestimmt wird, ist die Schaltung von sich aus weitgehend überlastfest. Man muß nur darauf achten, daß beim Wiedereinschalten der Trafo entmagnetisiert ist, also der Diodenstrom zu Null wird.
- + mit mehreren Sekundärwicklungen kann man mehrere, halbgeregelte Spannungen gewinnen.

Die Nachteile sind:

- die sägezahnförmigen Stromverläufe haben ein ungünstiges Verhältnis von Spitzenstrom zu entnommenem Gleichstrom, daher ist die Belastung der Bauteile hoch. Speziell der Kondensator C4 ist hoch belastet. Das kann man geschickt zu einer Lebensdauerbegrenzung (geplante Obsoleszenz sagen die BWLer dazu) des Gerätes nutzen.
- es ist immer eine Regelung der Ausgangsspannung erforderlich, da der unregelmäßige Wandler im Leerlauf eine „unendliche“ Ausgangsspannung erzeugt. Das Verhalten wird bei Fotoblitzgeräten zur Kondensatorladung ausgenutzt.
- die Streuinduktivität des Wandlertrafos muß sehr gering sein, sonst treten am Drain des Leistungsschalters hohe Spannungsspitzen auf, siehe Bild 2.2!

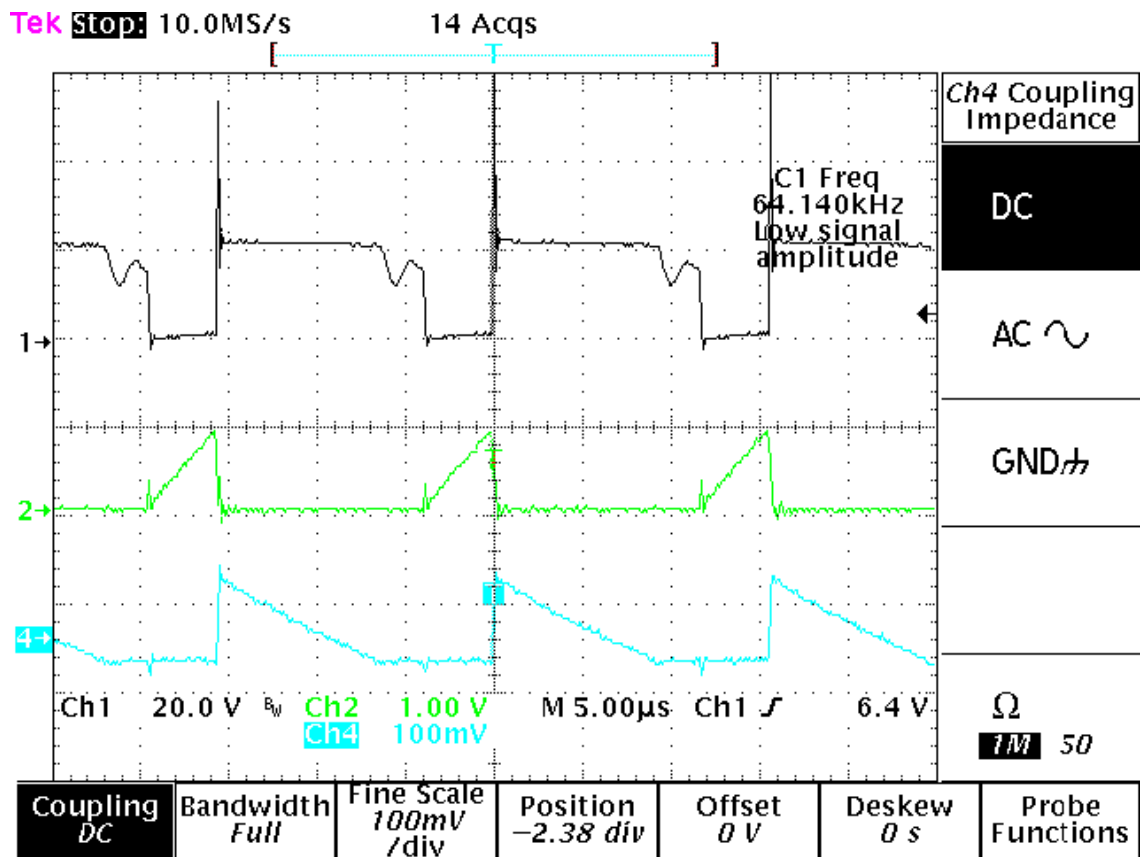


Bild 2.2: Spannungs- und Stromverläufe im Sperrwandler

2.1 Grundlagen der leitungsgebundenen Störmeßtechnik:

In der EMV-Meßtechnik unterscheidet man zwei Störanteile auf den Leitungen des Prüfbjcktes: die *Gegentaktstörungen* nach Bild 2.3 entstehen durch die Ströme im Leistungsschalter (primär) und den Sekundärgleichrichter. Im Idealfall treten die Spannungen gegenphasig zur Bezugs Erde auf und die Ströme sind in den beiden Leitern gegenphasig.

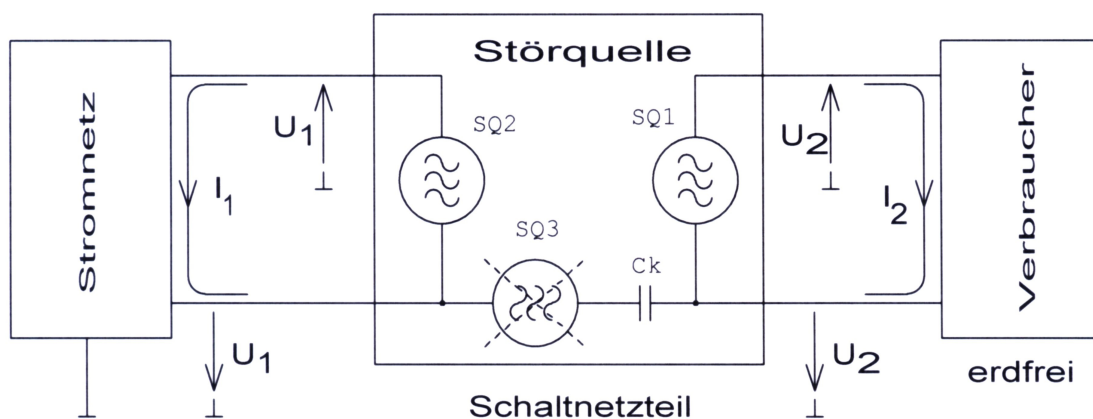


Bild 2.3: Entstehen von Gegentaktstörungen

Die Gegentaktstörungen stellen nicht das Hauptproblem dar, weil

- die parallele Leitungsführung in der Netz- und Verbraucherleitung sowohl die elektrischen als auch die magnetischen Felder nach außen kompensiert.

- der Eingangselko zur Glättung der gleichgerichteten Netzspannung eine Mindestgröße haben muß
 - der Ausgangselko zur Einhaltung der Restwelligkeit (Funktion der angeschlossenen Verbraucher) nicht beliebig verkleinert werden kann
- Gegentaktstörungen machen sich hauptsächlich in am gleichen Stromnetz betriebenen Verbrauchern bemerkbar.

Der zweite Störanteil ist die *Gleichtaktstörung*. Sie entsteht durch die betriebsmäßig hohe Impulsspannung am Leistungsschalter (ca. 600V!), die auf verschiedenen Wegen, hauptsächlich über die Kapazität des Leistungsübertragers zwischen Primär- und Sekundärkreis des Netzteils eingekoppelt wird. Die Auswirkungen hängen stark vom Einsatz ab:

- wird nach Bild 2.4 nur ein räumlich kleiner, erdfreier Verbraucher, z.B. eine Kamera oder ein Smartphone über ein kurzes Kabel gespeist, so sind bei niedrigen Frequenzen (Kabellänge \ll Wellenlänge) nur elektrische Nahfelder zu beobachten die mit dem Quadrat oder der dritten Potenz vom Abstand abklingen.
- Ist die Kabellänge gleich der halben Wellenlänge, also im UKW-Bereich, verhält sich die Kombination wie eine endgespeister Halbwellendipol mit Endkapazität. Im Extremfall macht ein solches Gerät vom Funkmeldeempfänger der Feuerwehr über das UKW-Radio bis zum 70cm-Amateurband alles nieder.

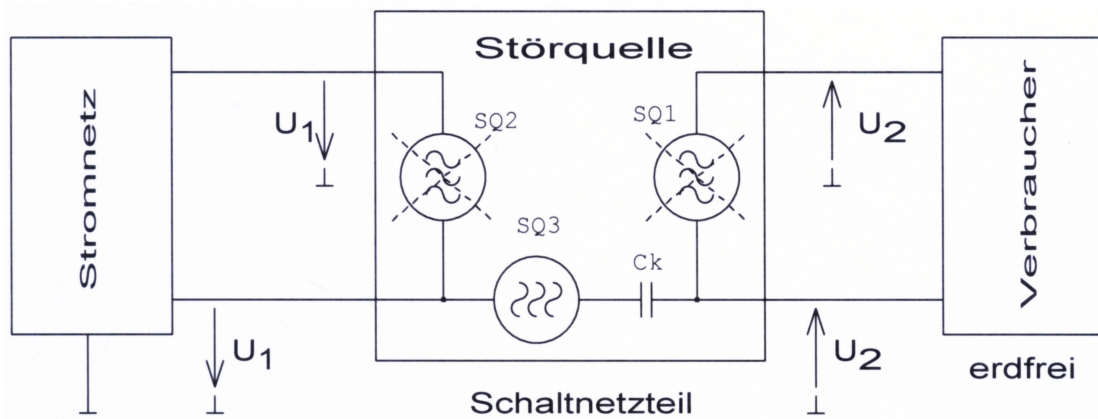


Bild 2.4 Entstehen von Gleichtaktstörungen, erdfreier Verbraucher

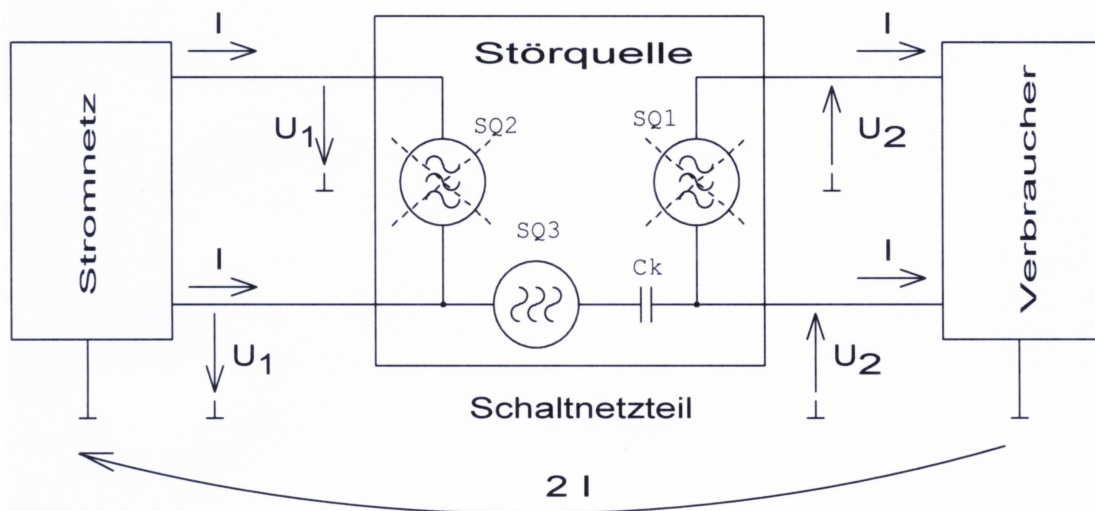


Bild 2.5 Entstehen von Gleichtaktstörungen, geerdeter Verbraucher

- Ist der Verbraucher nach Bild 2.5 direkt oder über eine Leitung mit dem Erdpotential verbunden, schließt sich der Störstromweg über das Stromnetz, das Rechnernetz oder die Erde einer Antennenanlage.

Es entsteht eine ausgedehnte Schleifenantenne, die auch im Mittel- und Kurzwellenbereich Störenergie abstrahlt. So legt man den Bereich von Langwelle (DCF77, Rundsteuerempfänger der Energieversorger) bis zur Kurzwelle alles lahm.

2.2 Die Haupt-Störquellen einen Sperrwandler-Netzteils und die Entstörmaßnahmen:

- Die steilen Stromflanken in der Primär- und Sekundärwicklung mit einer Flankensteilheit von 100nsec bis 1µsec können von den ein- und ausgangsseitigen Ladekondensatoren C2 und C4 nicht vollständig aufgefangen werden. Die Oberwellen der Schaltfrequenz suchen sich ihren Weg über das Stromnetz oder über den Verbraucher. Diese Gegentaktstörungen sind relativ leicht in den Griff zu bekommen indem man wie in Bild 2.1 die Ladekondensatoren teilt und mit einer Drossel (L2, L3) zu PI-Filtern ergänzt. Am Netzeingang geht das recht leicht, da die Netzkelos die gleichgerichtete Netzspannung glätten müssen und daher hohe Kapazitäten haben. Durch die hohe Belastung mit 100Hz-Netzstrom und schaltfrequentem Strom sind die Kondensatoren C1 und C2 meist der Schwachpunkt des Netzteils. Nach jahrelangem Dauerbetrieb steigt der Serienwiderstand an und die Oberwellen der Schaltfrequenz werden ins Stromnetz rückgespeist. Der Leistungsfluß läuft aber über den Netzgleichrichter, und der ist nur zweimal pro Netzspannungsperiode leitend. Die HF wird mit 100Hz rechteckmoduliert, was sich als schnarrende Störung äußert.

Eine bessere Lösung ist ein zusätzlicher hochfrequenztauglicher „X-Kondensator“ Cx in der Größe von 0,1...1µF am Netzeingang oder parallel zum Netzkelo. Am Netzeingang ist der Kondensator aber den Überspannungen des Stromnetzes ausgesetzt und ein sicherheitsrelevantes Bauteil. Der ungünstigste Fehler ist ein mittelohmiger Schluß, der nicht die Sicherung auslöst und bisweilen die netten Leute mit den großen roten Autos und den gelben Flaschen auf dem Rücken auf den Plan ruft. Die einfachste Lösung aus China: man läßt das teure Teil weg!

- Der Übertrager hat eine Wicklungskapazität in der Größenordnung von 30pF zwischen Primär- und Sekundärseite. Am Drain des Leistungstransistors liegt eine rechteck-ähnliche Spannung mit einer Flankensteilheit von 100nsec...1µsec und einer Spannung um 600V an, die über die Wicklungskapazität in den Sekundärkreis gelangt und eine hohe Gleichtakt-Störspannung erzeugt. Die sicherste Abhilfe ist ein Wandlertrafo mit Schirmwicklungen zwischen Primär- und Sekundärseite, die jeweils an die Bezugspunkte der beiden Teilschaltungen angeschlossen werden. Das kostet Geld. Etwas einfacher geht es mit geeignetem Wicklungsaufbau: das Drain-Ende der Primärseite kommt ganz innen in den Wickel, die Hilfswicklung zur Speisung des Regler-ICs kommt darüber und übernimmt teilweise die Funktion der Schirmwicklung, dann kommt die Sekundärseite.

Externe Maßnahmen sind:

- Die Bezugspunkte der Primär- und Sekundärseite werden über einen „Y-Kondensator“ verbunden und so die Störspannung teilweise kurzgeschlossen. Der Y-Kondensator überbrückt die Isolationstrennstelle zwischen Netz- und Verbraucherseite und ist wieder ein sicherheitsrelevantes, teures Bauteil. Zudem darf er wegen des über ihn fließenden 50Hz- Ableitstromes nicht größer als einige Nanofarad sein.

- Der Netzeingang wird mit einer stromkompensierten Drossel L1A, L1B für den Störstrom verriegelt. Wie Sie sicher ahnen: wieder ein teures, sicherheitsrelevantes Bauteil, an dem ständig Netzspannung liegt.

Auch die Netzgleichrichterioden und der sekundäre Gleichrichter D2 erzeugen je nach Aufbau schwächere, aber manchmal sehr hochfrequente Störspektren, ähnlich einer Step-Recovery-Diode. Es gibt natürlich sogenannte Soft-Recovery-Leistungsdioden, die kosten aber Geld! So findet man häufig parallel zu D2 ein RC-Bedämpfungselement, seltener sind die Netzgleichrichterioden mit Kondensatoren überbrückt.

3. Der Messaufbau:

Bild 3.1 zeigt den Aufbau für die Messung der Gleichtakt-Störspannung, mangels Meßempfänger sicher nicht normgerecht aber für eine vergleichende Messung reicht es! Der Lastwiderstand wurde so gewählt, daß das Netzteil 50...75% der Nennleistung liefern mußte.

Vorversuche zeigten, daß die Gegentaktstörspannung zwischen den Netzleitern nicht das Hauptproblem ist: Solange der Verbraucher erdfrei über ein kurzes Kabel angeschlossen ist, bleibt die Störemission im Rahmen. Hat der Verbraucher Verbindung zu lange Leitungen, die womöglich z.B. über den Netzanschluß eines weiteren Gerätes oder die Blitzerdung einer Antenne Erdkontakt haben, steigt die Störemission ins Gigantische.

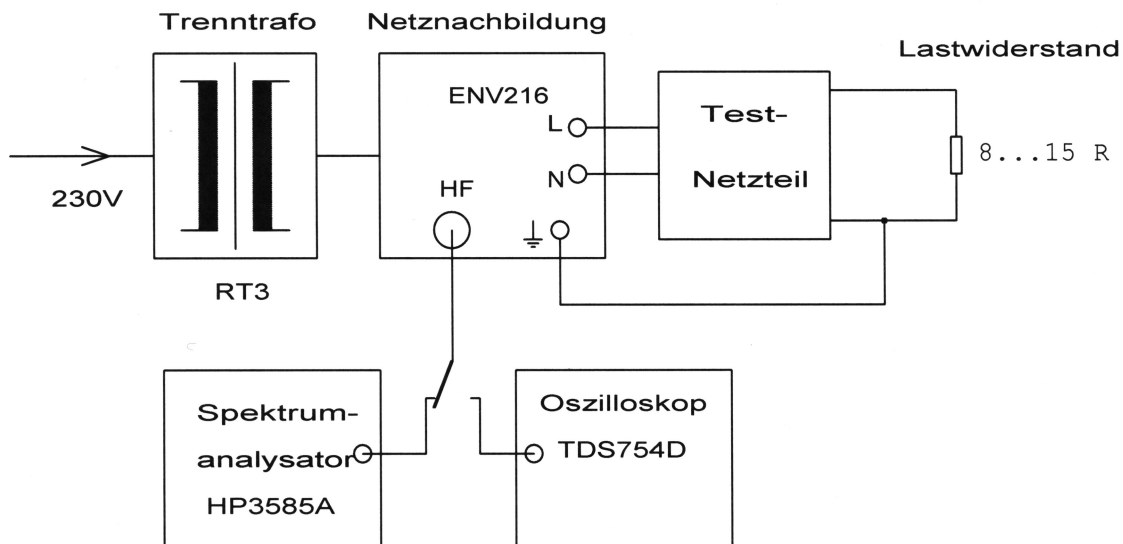


Bild 3.1: Der Meßaufbau für die Gleichtaktstörungen der Steckernetzteile

Der Trenntrafo im Aufbau dient nicht nur der elektrischen Sicherheit, sondern verhindert auch, daß der große Schutzleiterstrom der Netznachbildung den FI-Schalter am Arbeitsplatz auslöst.

Welche Störpegel müssen eingehalten werden? Bei Informationstechnischen Geräten dürfen für die allgemeine Funkstörklasse B nach EN55022 maximal $56\text{dB}\mu\text{V}$ von 500kHz bis 5MHz Quasi-spitzenwert, das sind -51dBm an 50Ω , in einer Meßbandbreite von 9kHz erreicht werden. Über 5MHz bis 30MHz sind $60\text{dB}\mu\text{V} = -47\text{dBm}$ erlaubt, unter 500kHz steigt der Grenzwert doppelt-logarithmisch auf $66\text{dB}\mu\text{V} = -41\text{dBm}$ bei 10kHz an¹. Die Umrechnung lautet $0\text{dB}\mu\text{V} = -107\text{dBm}$! Um der Norm nahezukommen, wurde der Spektrumanalysator auf 10kHz Bandbreite im Max-Hold-Modus betrieben.

Wichtig: Die Netznachbildung ENV216 enthält einen Impulsbegrenzer mit 10dB Einfügedämpfung, die Ablesewerte aus den Bildschirmfotos sind daher um 10dB nach oben zu korrigieren!

¹ z.B. Schwab, Kürner: Elektromagnetische Verträglichkeit, 5. Auflage, Springer-Verlag 2007

Frisch geschlachtet: Das Äußere der zwei ersten Kandidaten zeigt Bild 3.2, das Innenleben Bild 3.3.



Bild 3.2: Von außen fast wie ein Ei dem anderen – links der Störsender Marel 5V1200, rechts das unauffälligere DTS DYS052-00501100-S3, es wurde zu einem DAB-Tuner geliefert. Das linke Modell war übrigens 10 Gramm leichter als das rechte!

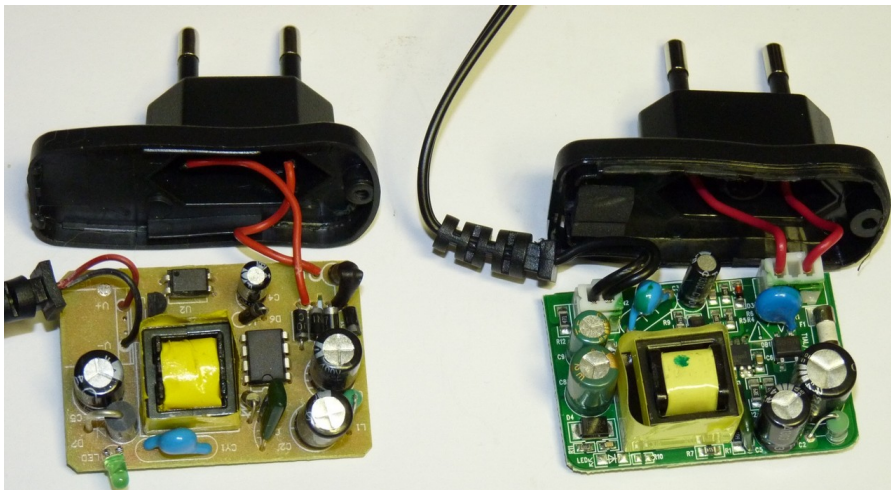


Bild 3.3: Links im „Störsender“ ein liebloser Aufbau auf einer einseitigen Billigplatine, rechts eine großteils SMD-bestückte doppelseitige Leiterplatte mit Massefläche, größeren Siebelkos und neben kleineren Ergänzungen einem Varistor am Netzeingang!

4. Die ersten Meßergebnisse im Zeitbereich:

Bild 4.1 zeigt links die Zeitbereichsdarstellung der Gleichtakt-Störspannung beim 5V1200.

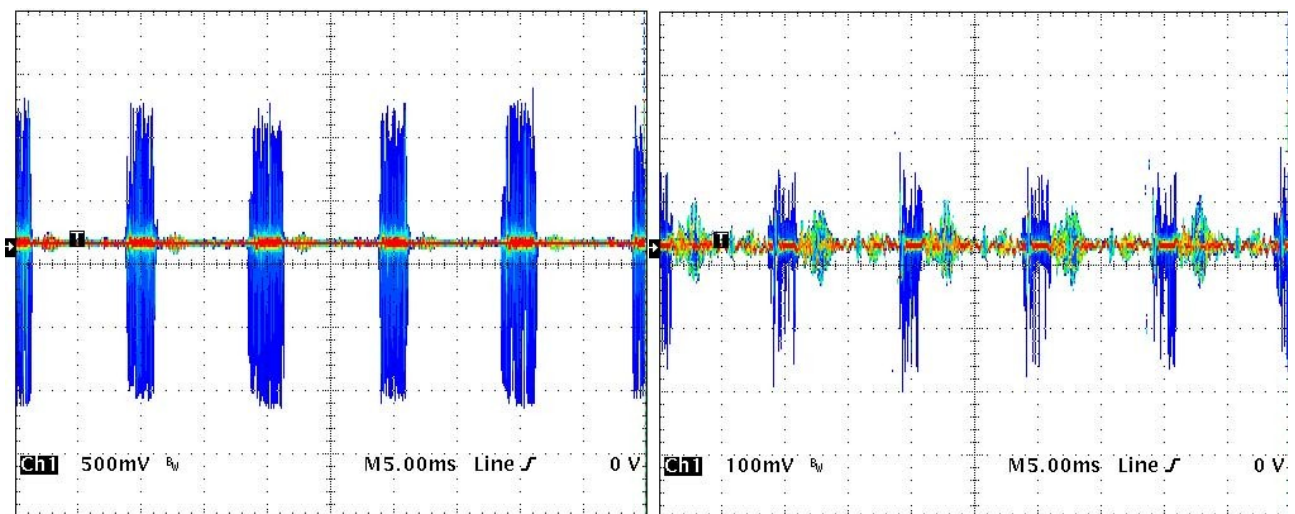


Bild 4.1: Die Störspannungen im Zeitbereich

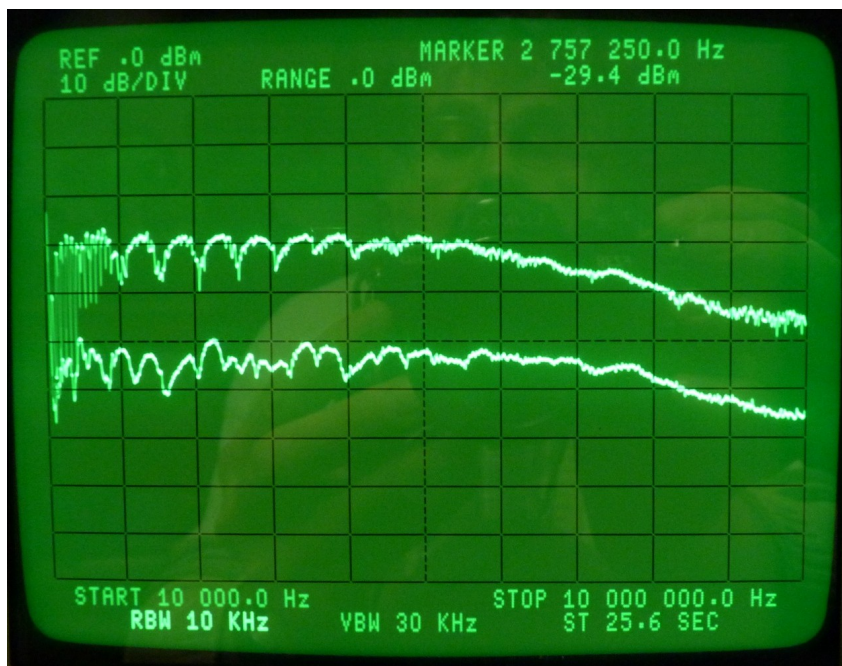
Die gemessene Störspannung beträgt 2V Spitze-Spitze an 50Ω, unter Berücksichtigung der Dämpfung von 10dB in der ENV216 sind das 6V_{ss}! Der Stromweg ist nur geschlossen, wenn die Netzgleichrichterioden leitend sind. Damit erklärt sich die „schnarrende“ Modulation der Störspannung mit 100Hz. Wir haben es mit einer klassischen Gleichtaktstörung zu tun, die Störquelle sitzt zwischen Primär- und Sekundärseite des Netzteils.

Der zweite Kandidat, das DTS-Netzteil konnte es besser, aber nicht richtig gut wie Bild 4.1 rechts zeigt. Die Störspannung liegt bei nur 300mV_{ss} und ist optisch „weniger dicht“; grob gesagt ist die Summenstörspannung um 20dB niedriger.

5. Messungen im Spektralbereich:

Der Spektrumanalysator HP3585A wurde auf einen Frequenzbereich von 10kHz bis 10MHz eingestellt, weil die Störemission bei allen Geräte über 10MHz deutlich nachließ und auch das Störpotential im DSL-Frequenzbereich bis 2MHz interessant ist. Die Analysebandbreite ist 10kHz und der Quasispitzenwertdetektor wurde mit der Max-Hold-Funktion des Analysators nachgebildet. Aufgrund des Zeitverlaufs der Störungen sind hier keine gravierenden Fehler zu erwarten.

In Bild 5.1 wurden die Störspektren beider Prüflinge in das gleiche Diagramm geschrieben. Man erkennt einen Pegelunterschied von 20..25dB. Das Marel-Netzteil produziert maximal eine Störspannung von -19,4dBm (die 10 dB von der Netznachbildung nicht vergessen!) bei 2,74 MHz, das ist kilometer-weit weg von den erforderlichen -51dBm, auch das DTS-Netzteil ist nicht zulassungsfähig, es überschreitet den Grenzwert „nur“ um etwa 10dB!



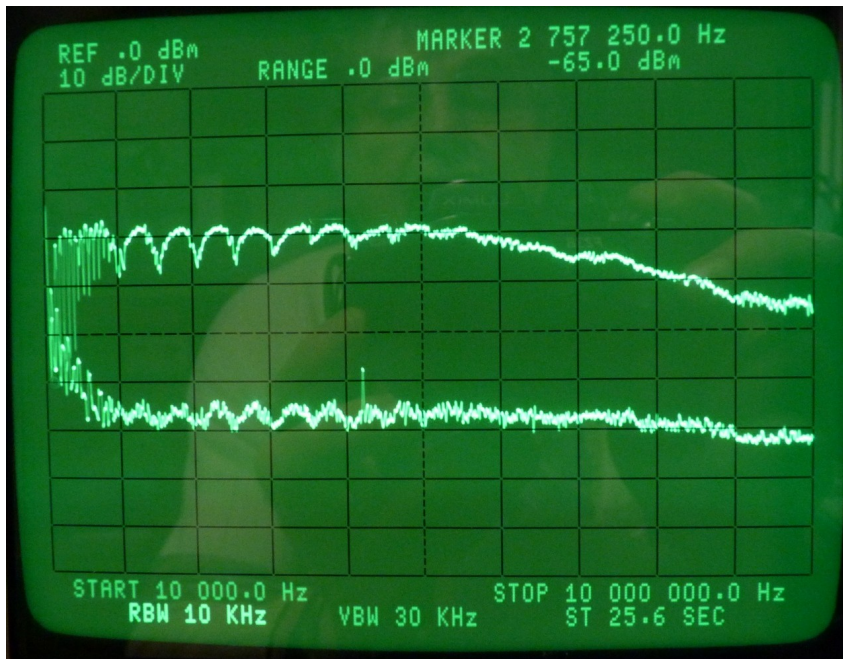
Die Spektren sind verwaschen, es sind keine diskreten Störfrequenzen zu erkennen.

Beide Netzteile arbeiten mit Spreizspektrum-Taktung, hier wird die primäre Taktfrequenz um 67kHz mit einem Hub von (laut Datenblatt) 2,5kHz mit einigen Hz frequenzmoduliert, um die EMV-Meßempfänger auszutricksen.

Bild 5.1: Die Störspannungen der beiden Netzteile im Frequenzbereich 10kHz...10MHz

Mit derartigen Produkten hat man nicht nur als Funkamateuer oder Kurzwellenradiohörer ein Problem, solche Pegel legen auch ein DSL-Modem lahm, wenn man eine große Leitungsdämpfung mit 2km Kabel zur Vermittlungsstelle hat!

Solche Extremstörungen kannte der Verfasser bisher nur von defekten Schaltnetzteilen, bei denen nach jahrelangem Dauerbetrieb der Netzelko massiv Kapazität verloren und am Serienwiderstand kräftig zugelegt hatte.



Das Marel-Netzteil bekam probe-weise eine stromkompensierte Zweifachdrossel mit 2 · 27mH vorgeschaltet. Bild 5.2 zeigt das Ergebnis vorher/nachher. Die Drossel wäre sogar im Gehäuse unterzubringen, aber sie ist ein sicherheitsrelevantes Teil, kostet Geld und das Netzteil geht auch ohne sie! Oberhalb von 1MHz ist der Grenzwert mit 4dB Reserve erreicht.

Bild 5.2: Entstörung des Marel-Netzteils mit Ringkern-Zweifachdrossel

Um die Frage zu klären, ob das Einzelfälle sind, wurden weitere greifbare Stecker-Schaltnetzteile der Leistungsklasse 5...10W in die Messungen einbezogen. Der erste Kandidat ist ein namenloses Chinamodell, das als „Ladeteil“ zu einem GPS-Navigationssystem geliefert wurde, es war nicht das Originalmodell des GPS-Herstellers und wurde als Travelcharger angeboten.

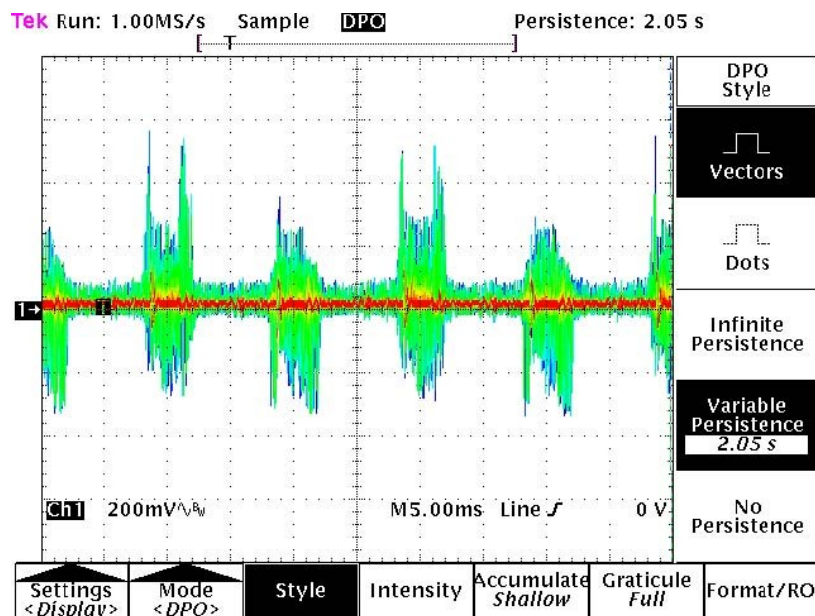


Bild 5.3: Ein namenloser „Travelcharger“ - im Zeitbereich vergleichbar, aber schlechter als das DTS-Netzteil

Der Travelcharger ist so auch nicht zu gebrauchen und nicht verkaufsfähig!

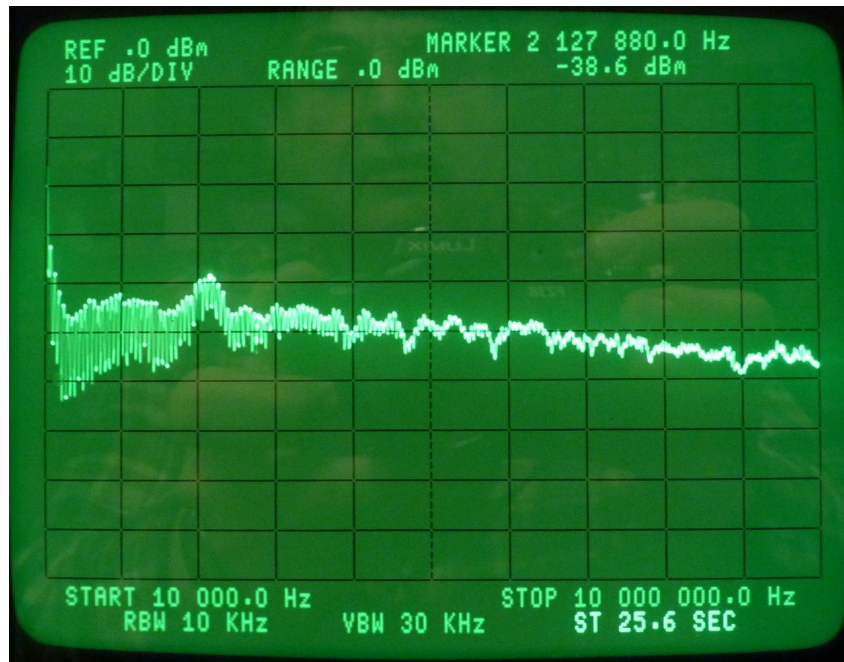


Bild 5.4: Der Travelcharger im Frequenzbereich, kein Spread-Spectrum-Mode

Der nächste Kandidat heißt auch Travelcharger ACB003A-05TR, gekauft vom Fotozubehör-Händler Hama. Er gehörte zur besseren Preisklasse und er erfüllt die Störspannungs-Grenzwerte!

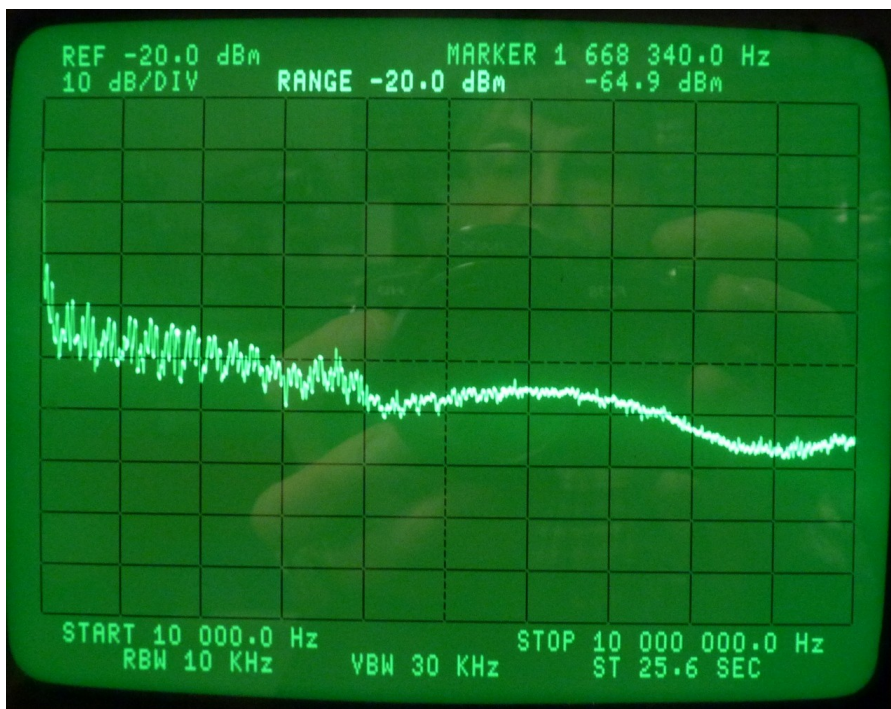


Bild 5.5: Der Hama-Travelcharger, nur 3W Leistung

Nun ein älteres Egston-Gerät P2CFSW3, wieder aus der 5W-Klasse; alles optimal! Im Bereich 1...10MHz werden die Störspannungswerte weit unterschritten.

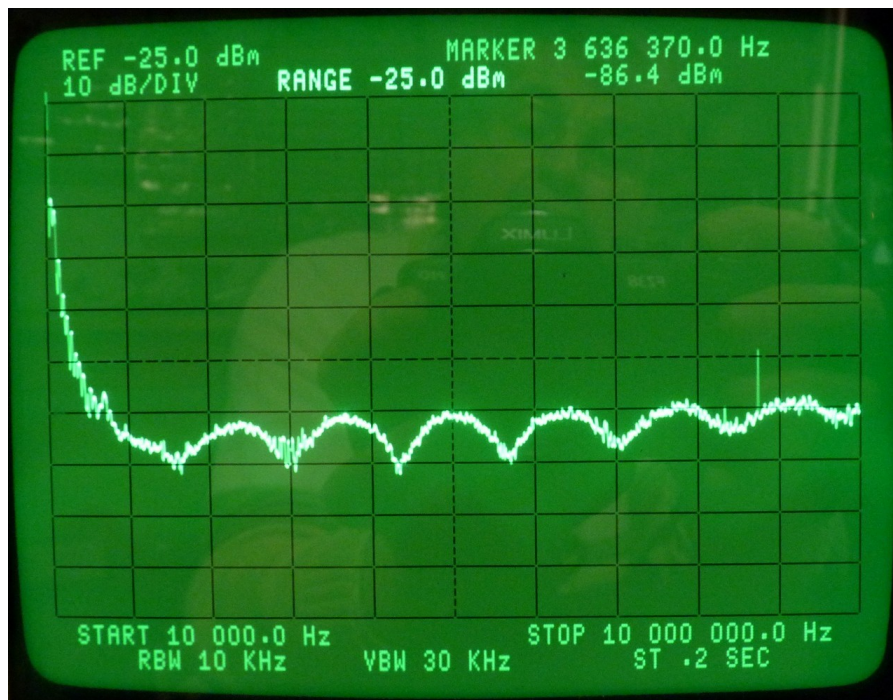


Bild 5.6: Das Egston-Netzteil 6V 1A

Freundlicherweise ist das Egston-Netzteil zugeschraubt, das Innenleben zeigt Bild 5.7:

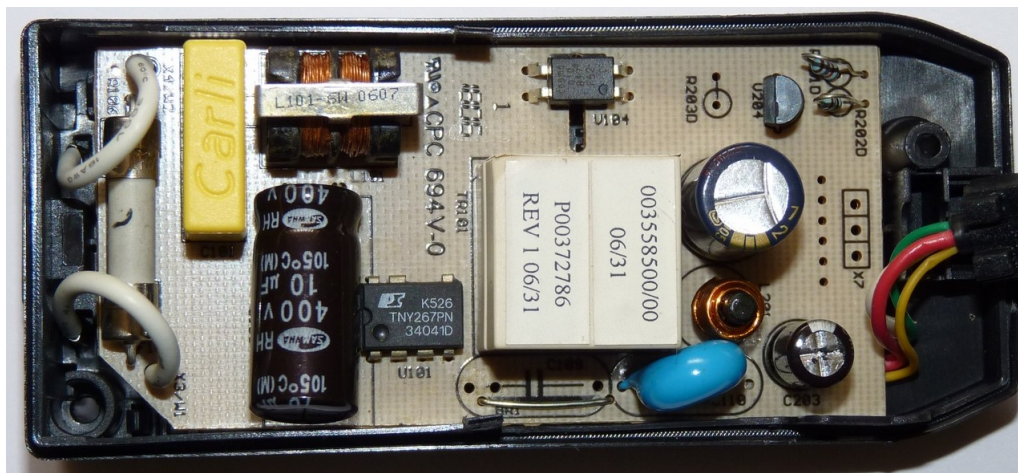
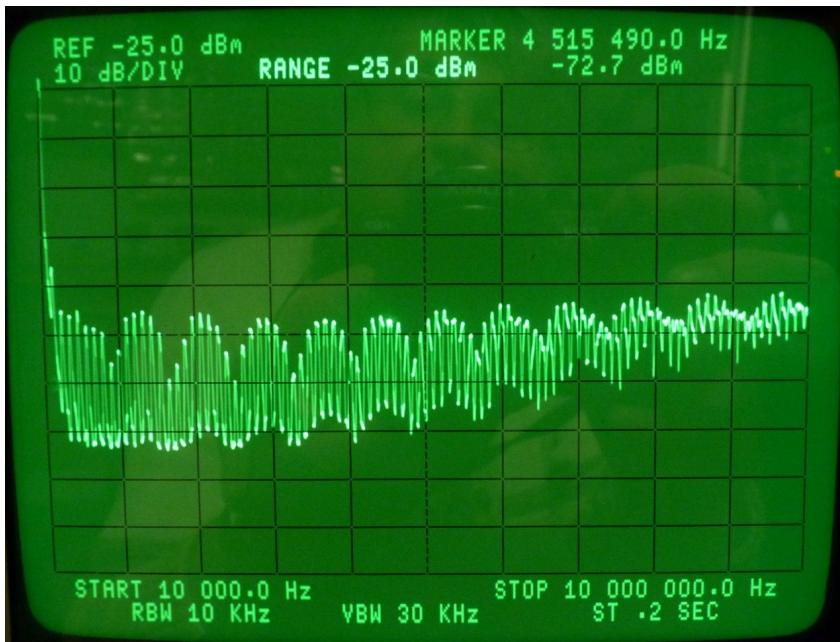


Bild 5.7: Das Egston-Netzteil von innen

Da sieht man eine stromkompensierte Drossel und einen X-Kondensator am Netzeingang, professionelle 105°C-Elkos und eine Stabkern-Drossel am Ausgang. Nur der zweite Y-Kondensator wurde eingespart. Vielleicht eine sicherheitstechnische Zulassungsbesonderheit weil mancherorts zwei Y-Kondensatoren in Serie verwendet werden müssen. Der Rest der Bauteile ist auf der Unterseite bestückt. Geht doch, aber nicht für 2 Euro Endverbraucherpreis!

Nun ein älteres Friwo-Netzteil aus der 15W-Klasse, Typ FW7555/M12:



Es setzt nicht auf die Spreizspektrumtechnik, ist insgesamt etwas schlechter als das Egston, aber unterbietet die Grenzwerte um rund 10dB.

Laut Aufschrift ist es für medizinische Geräte gedacht, da geht man besser kein Risiko ein und muß auch beim Körper-ableitstrom strenge Forderungen einhalten, daher kein Y-Kondensator vom Netz zur Sekundärseite.

Bild 5.8: Das Friwo-Netzteil FW7555

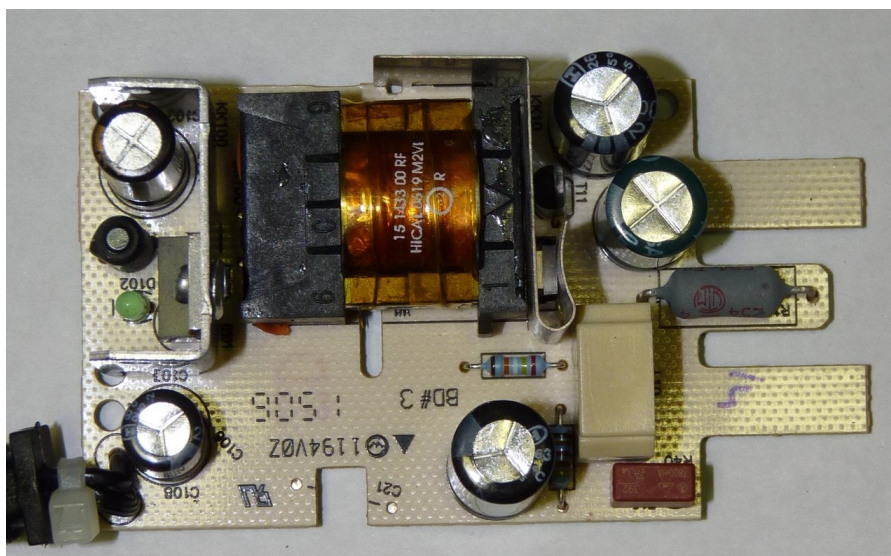
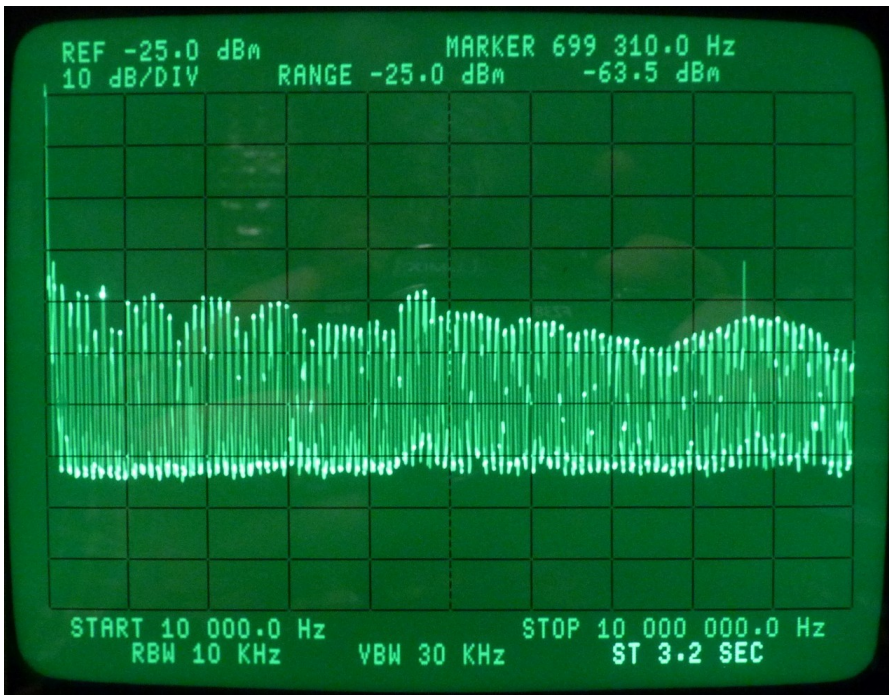


Bild 5.8: Das Friwo-Netzteil von innen, die meisten Bauteile sind auf der Unterseite SMD-bestückt. Man beachte die Trennfuge unter dem Trafo, um die Medizinvorschrift zu erfüllen. Es arbeitet ohne Y-Kondensator zwischen Primär- und Sekundärseite, aber großer Gleichtaktdrossel.

Zwei Original-Ladegeräte namhafter Hersteller als Systembestandteil:

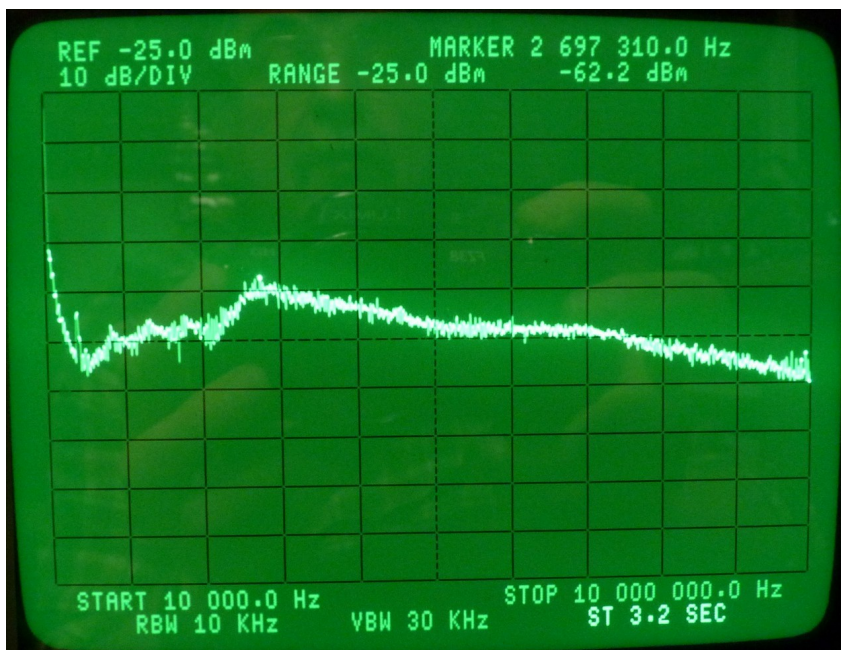
Hier ein Ladegerät für eine Panasonic-Kamera, Typ DE-A44. Es hat keine sekundären Anschlüsse, sondern eine Ladeschale für den Lithium-Akku. Hier kam eine Prüfmethode analog zu handgeführten Elektrowerkzeugen zu Einsatz: Das Gerät wird mit Alufolie umhüllt und die Folie mit der Buchse „Artificial Hand“ verbunden. Sie bildet die Antennenwirkung des Nutzers nach, der das Gerät in der Hand hält. Auch bei diesem verschärfte Test ist alles in Ordnung, wie Bild 5.9 zeigt:



Die höchste Störspitze im Bereich 500kHz 10MHz liegt bei – 53,5dBm, also im grünen Bereich und das bei verschärften Prüfbedingungen. Ohne die künstliche Hand sind die Pegel mindestens 10 dB niedriger. Verbindet man einen der Ladekontakte mit der Masse der Netznachbildung, steigen die Pegel kräftig auf -39dBm an, aber das ist kein bestimmungsgemäßer Gebrauch.

Bild 5.9: Das Panasonic-Ladegerät DE-A44, mit künstlicher Hand gemessen, in Ordnung!

Der nächste Kandidat: das Original-Ladegerät eines Sony-Ericsson-Smartphones Xperia ST18i, auch wieder mit Alufolie als künstlicher Hand. Das Smartphone war normal im Betrieb. Wie Bild 5.10 zeigt, ist bei diesem Test alles in Ordnung.



Die höchste Spektrallinie liegt bei -52dBm, und das mit verschärften Prüfbedingungen: bei dem kurzen Ladekabel hält niemand das Gerät in der Hand und benutzt es dabei!

Selbst Extremtests mit angeschlossenem Ladeteil, UKW-Radiobetrieb, angeschlossener Kopfhörer und gemeinerweise Masse des Kopfhörers mit der Masse der Netznachbildung verbunden verschlechtern die Störemission nur geringfügig. Radioempfang geht dann aber nicht mehr!

Bild 5.10: Das Ladenetzteil vom Sony Xperia 18i, auch mit künstlicher Hand in Ordnung

Zwei weitere Netzteile:

Ein 12V/10W-Steckernetzteil von Salcomp, Typ ACH4E, vermutlich auch ein Handyladegerät, erstmal mit erdfreier Sekundärseite:

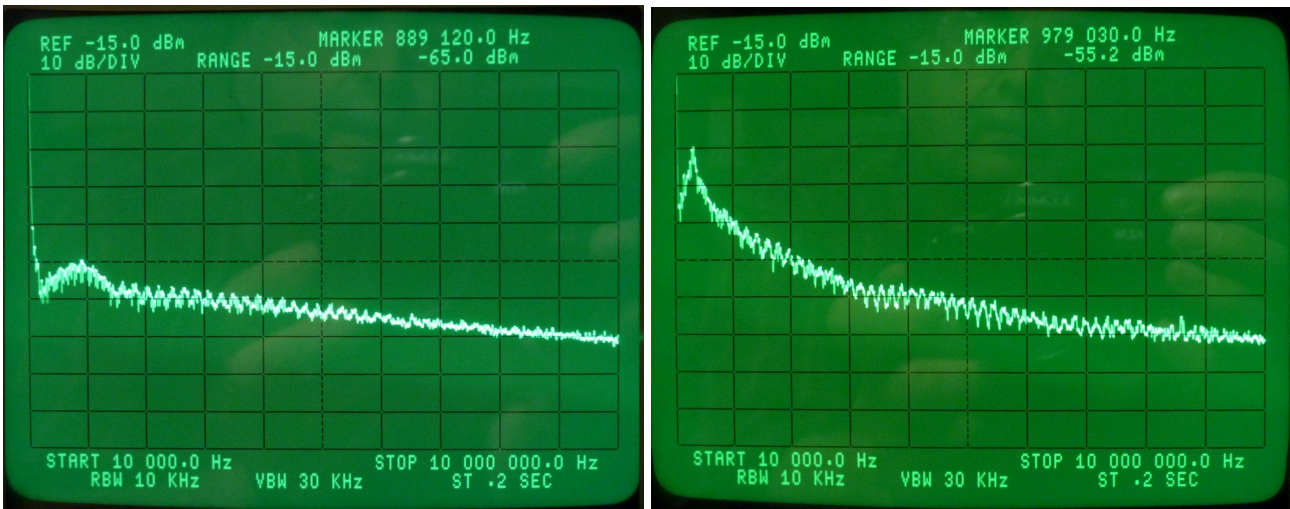


Bild 5.11: Das Salcomp ACH4E, links erdfreie Sekundärseite, in Ordnung! Rechts Sekundärseite geerdet, erst ab 2MHz ok!

Nun eine Loewe-Netzteilkarte aus einer nicht mehr gefertigten HiFi-Anlage, 24V/100W – also eine andere Leistungs- und Qualitätsklasse:

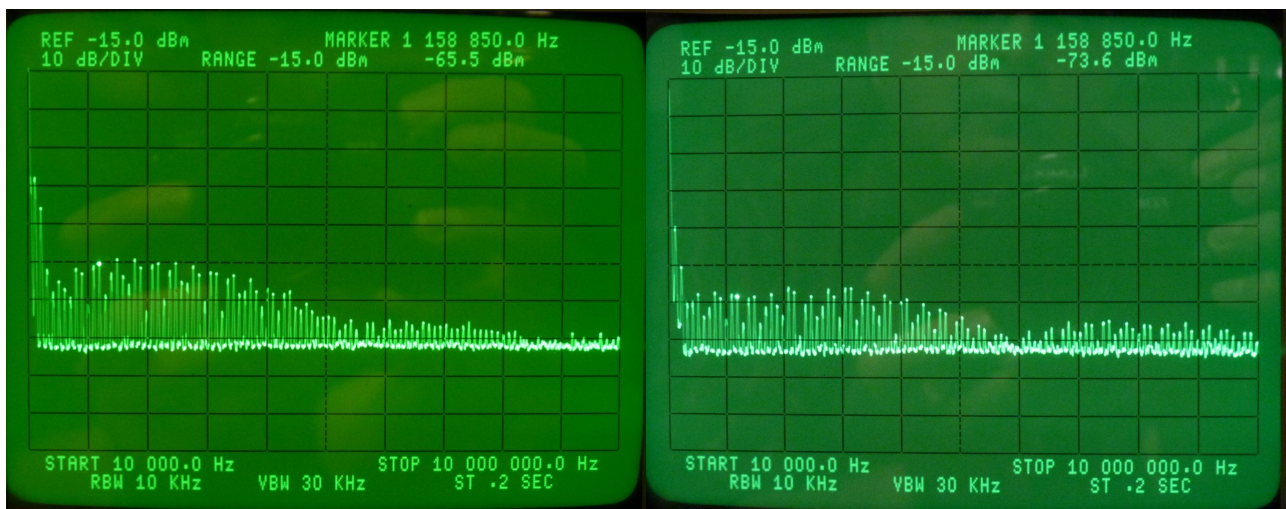


Bild 5.12: Loewe-Netzteil Soundvision, links erdfrei ab 150kHz sicher im Grünen Bereich bei Belastung mit 25W! Rechts mit sekundärer Erde Grenzwerte weit unterschritten!

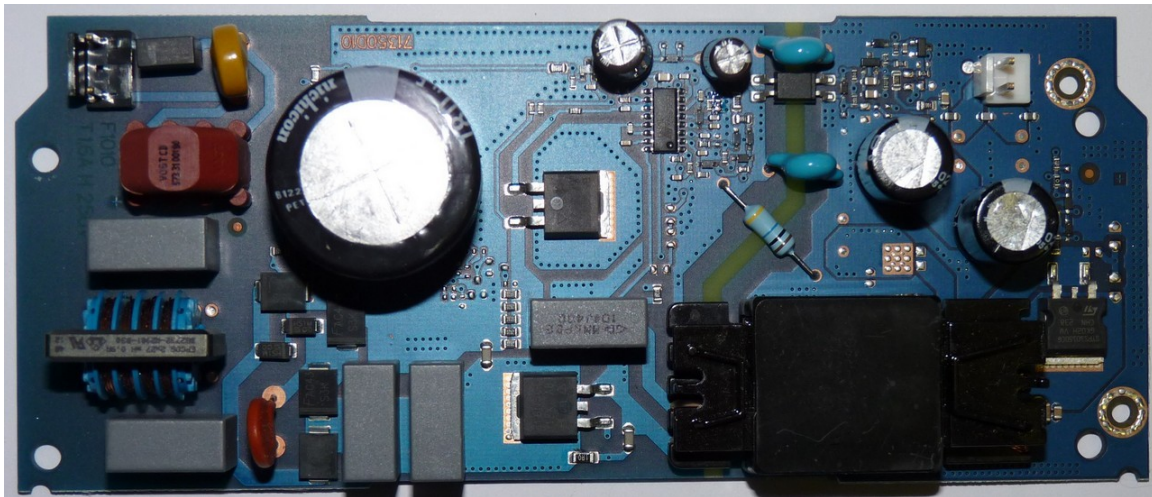


Bild 5.13: Das Loewe-Netzteil, man beachte die EMV-Bauteile am linken Bildrand sowie die Gestaltung der Netztrennstelle, absolut mustergültig!

6. Einige Details im Aufbau – oder wo man was einsparen kann

Kern der Netzteile ist meistens ein Einchip-Sperrwandler-IC wie in Bild 1, der einen internen MOSFET enthält. Der unbekannte Travelcharger verwendet den VIPer12 von STMicroelectronics und stellt praktisch die Applikationsschaltung dar, allerdings unter Weglassen der EMV-relevanten Bauteile. Einige Steuer-ICs brauchen zum Start den Widerstand R2, andere machen das intern. Die primäre Eigenversorgung kommt aus einer Hilfswicklung mit dem Eigenbedarfsgleichrichter D1. Der potenzialgetrennte Regelkreis besteht fast immer aus einer einstellbaren Z-Diode (TL431 o.ä.) und einem Optokoppler. Eine Spitzenspannungsklemmung D3, C8, R3 schützt den internen MOSFET.

Sekundärseitig finden wir meist nur eine Diode und einen einsamen Elko C4. Manchmal ist die Diode mit einem RC-Glied beschaltet, um die Störungen etwas zu reduzieren. Bessere Geräte enthalten einen zusätzlichen LC-Tiefpaß aus L3 und C5. Putzig ist in einem Fall, daß zwar die beiden Elkos (unterschiedlicher Größe!) da waren und die Drossel L3 fehlte!

In den Maximalstörern fand sich ein eingangsseitiges Filter aus C1 und C2 (2,2...4,7 μ F) und einer kleinen Stabkerndrossel mit maximal 1mH. Das war die einzige EMV-Maßnahme, sie unterdrückt zumindest die Rückspeisung der Schaltfrequenz (um 60kHz) und ihrer Oberwellen ins Stromnetz – das hilft nur gegen Gegentaktstörungen!

Noch ein Detail: Der Travelcharger hat vor dem Brückengleichrichter einen 5 Ω -Widerstand zur Einschaltstrombegrenzung. Andere vertrauen auf die Spitzenstromfestigkeit von Gleichrichter und Ladeelkos. Vielleicht sollen die Geräte auch nicht ewig halten...

Werden diese Netzgeräte mit nicht erdfreien Verbrauchern betrieben, überwiegt die Gleichtaktstörspannung: Der erste Schritt zur Entstörung ist der Kondensator Cy, der Primär- und Sekundärmasse verbindet. Er überbrückt die Netztrennstelle, ist also ein sicherheitsrelevantes und damit teures Bauteil. Im Marel war der 1nF-Y-Kondensator die einzige Gleichtakt-Entstörmaßnahme, aber von der Ausgangsmasse – nein nicht zur Primärmasse (Minusseite zweiter Ladeelko) sondern zu dessen Plusseite. Da ist natürlich infolge des effektiven Serienwiderstandes der primäre Stromsägezahn zu sehen; ein Umsetzen auf die Primärmasse reduzierte die breitbandige Störspannung um 25%!

Der Travelcharger enthielt überhaupt keinen Y-Kondensator, war aber trotzdem etwas besser. Ein probeweise eingebauter 2,2nF-Kondensator reduzierte die breitbandig gemessene Störspannung gleich um den Faktor 8.

Woran liegt's? Dazu wurden die Wandlertrafos ausgebaut und die Wicklungskapazitäten gemessen. Beim Marel waren das zwischen Primär- und Sekundärwicklung 30pF, anscheinend ist die Primärwicklung um die Sekundärwicklung „geschachtelt“ und die Hilfswicklung liegt ganz unten. Damit ist die Streuinduktivität kleiner, die Störüberkopplung aber viel größer! Beim Travelcharger beträgt die Wicklungskapazität nur 12pF. Offensichtlich ist die Hilfsversorgung-Wicklung zwischen Primär- und Sekundärwicklung angeordnet. Der größere Abstand verringert die Koppelkapazität und die Hilfswicklung ist einseitig mit der Primärmasse verbunden, so wirkt sie als statischer Schirm!

Zu einer richtigen Gleichtakt-Entstörung gehört eine stromkompensierte Zweifachdrossel im Netzeingang und der X-Kondensator Cx. Er verbessert die Gegentaktdämpfung, bringt beide Gleichrichter-Eingänge auf gleiches HF-Potenzial und schließt die Gleichrichter-Störungen kurz. Der Erfolg dieser Maßnahme wurde in Bild 9 dokumentiert. Aber beide Bauteile sind teuer, da sie netzspannungsfest sein müssen!

Übrigens, diese Lösung wird auch im Datenblatt des VIPer12-ICs von STMicroelectronics² empfohlen und in den genannten Profi-Netzteilen von Egston und Friwo verwendet.

7. Fazit:

Obwohl das keine repräsentative Untersuchung ist, sieht man einen Trend: Die Billiggeräte erfüllen mit der Ausnahme des Hama-Modells die EMV-Vorgaben für geleitete Störungen nicht. Wie gut es geht, sieht man an dem Egston- und Friwo-Netzteil aus der Profiklasse. Auch die als Systembestandteile zu betrachtenden Original-Ladegeräte für die Panasonic-Kamera und das Sony-Ericsson-Smartphone halten auch unter verschärften Testbedingungen die Grenzwerte ein.

Ist so ein Netzteil verdächtig klein und leicht und trägt einen Fantasienamen, erfüllt es in der Regel die EMV-Normen nicht. Daß es zu so wenig Störfällen kommt hat mehrere Gründe:

- der gelegentlich Ausfall der DCF-Uhr, des Stromzählers mit Tarifumschaltung per Langwellensender oder die lahme DSL-Verbindung wird nicht mit einem EMV-Fall in Verbindung gebracht.
- wenn so ein Netzteil einen erdfreien Verbraucher speist, ist das Störpotenzial gering und auf die nächste Umgebung beschränkt.
- die Netzgeräte als Ladegerät für netzunabhängige Elektronik arbeiten nur kurzzeitig mit voller Belastung.

Eine interessante Frage ist: Wieviele Entstörungseinsätze der DSL-Anbieter, unnötig getauschte DSL-Modems und Splitter gehen auf Kosten solcher Stör-Netzteile?

8. Der erdfreie Verbraucher und die Antennenwirkung des Ausgangskabels

Hierzu wurde das DTS-Netzteil aus Bild 5.1 unter Vollast in einer GTEM-Zelle (Teseq GTEM500) mit einem 20dB-Vorverstärker am Spektrumanalysator betrieben. Aufgrund des gepulsten Charakters und der Spreizspektrum-Modulation ist das Spektrum im Max-Hold-Modus aufgezeichnet. Das Kabel wurde auf Störmaximum orientiert.

² Datenblatt VIPER12A-E, Doc ID 11977 Rev 2, Dec 2010, STMicroelectronics

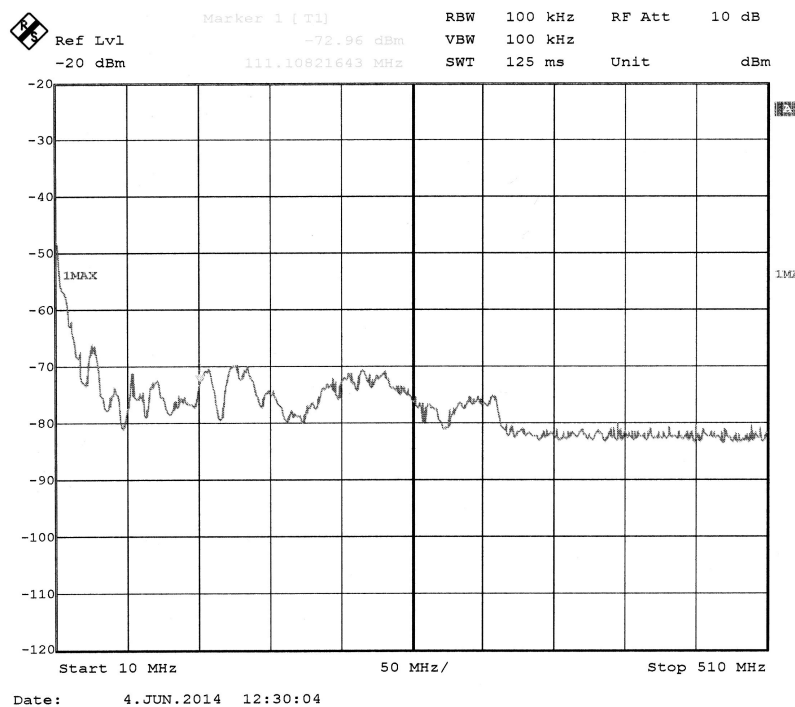
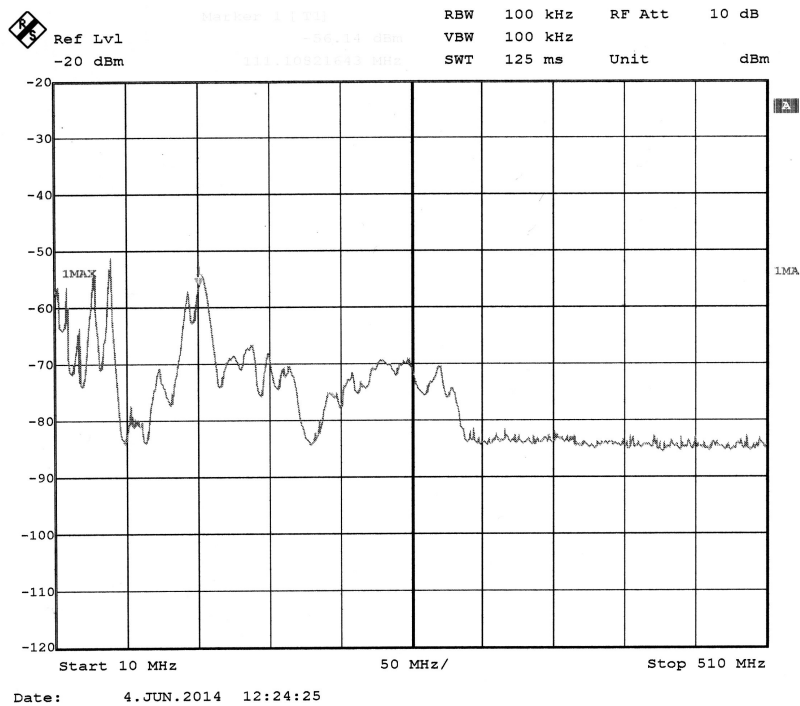


Bild 8.1: Das DR50-Netzteil mit und ohne Klappferrit auf dem Ausgangskabel

Das sieht auf den ersten Blick nicht bedrohlich aus; aber ein gutes UKW-Radio hat eine Empfängerempfindlichkeit um -100dBm! Ein vernünftiger Betrieb, egal ob UKW-Radio, Funkmeldeempfänger oder 2m-Handfunke ist in unmittelbarer Nähe bei geringen Nutzfeldstärken nicht mehr möglich.

Das simple Klappferrit senkt die Störemission um mindestens 15dB, kostet aber Geld!