

2016 DL0WH Praxis-Workshop

Breitband- Störsender

Störemissionen von
Schaltnetzteilen,
Energiesparlampen, PLC

Die praktische Bedeutung der
EMV für den Funkamateurl



Elektromagnetische Verträglichkeit EMV

EMV: Alle Arten von elektrischen und elektronischen Produkten einschließlich Funkanlagen müssen so hergestellt sein, dass sie beim Betrieb in der gemeinsamen elektromagnetischen Umgebung wie z. B. im Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereich oder auch im Industriebereich andere Geräte nicht störend beeinflussen und selbst durch andere Geräte nicht störend beeinflusst werden

Störemissionen von Schaltnetzteilen, Energiesparlampen, Foto-Voltaik Anlagen und PLC verderben Funkamateuren und Radiohörern immer mehr den Spaß an der Kurzwelle. Ein guter Grund, der zunehmenden elektromagnetischen Umweltverschmutzung des Radiospektrums mehr Aufmerksamkeit zu widmen und ihr entgegenzuwirken.

Anregung und Grundlage dieses Praxis-Workshops gründet sich auf den Vortrag „Breitbandstörer Schaltnetzteil“ von Dr. Jochen Jirmann, DB1NV [1] auf der UKW-Tagung 2014 . Aus dem Skript zu diesem Vortrag sind wesentliche Inhalte entnommen.

*Die im Workshop durchgeführten Tests von leitungsgebundenen Störspannungen dienen der Veranschaulichung und zur vergleichenden Störbewertung.
Es sind keine normgerechten EMV-Messungen.*



- Mit der **CE-Kennzeichnung** erklärt ein Hersteller in eigener Verantwortung „dass ein Produkt allen Anforderungen der EU Harmonisierungsrichtlinien genügt“ (konform ist). Produkte ohne CE Kennzeichnung dürfen in Europa nicht in Verkehr gebracht werden.
- Der Hersteller muss für sein Produkt ein Konformitätsbewertungsverfahren durchführen.
- Die Europäische EMV Richtlinie fordert für die CE Konformität unter Anderem die Einhaltung von Grenzwerten für leitungsgebundene und abgestrahlte Emissionen.
- Die Prüfverfahren für die Konformitätsbewertung und die zulässigen Grenzwerte der Störpegel für Geräte sind in CISPR bzw. EN-Euronormen verbindlich festgelegt.
- CE ist kein Güte- oder Prüfsiegel , es sagt nichts über die Qualität eines Produkts
- Überwachungsbehörde und Marktaufsicht ist die Bundesnetzagentur.

Wenn Industrie und Handel die Grenzwerte einhalten und die Bundesnetzagentur ihre Marktaufsicht effektiv ausübt, dürfte EMV doch kein Problem darstellen....???

Ausbreitungswege

Bei EMV Emissionen wird nach Ausbreitungsmechanismen unterschieden:

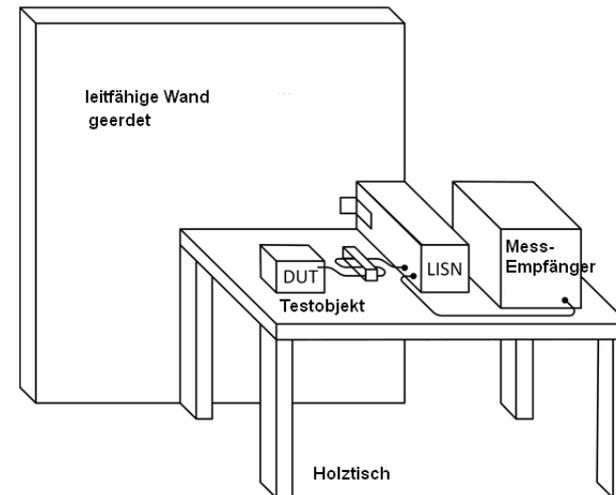
abgestrahlt (radiated) – über das elektromagnetische Feld einer Funkwelle.

Störfeldstärken werden im Freifeld oder in einer abgeschirmten Absorberhalle gemessen. Üblich von 30MHz bis 6 GHz.



leitungsgeführt (conducted) - über Ströme auf Kabeln oder Leitungen

Störspannungen werden an einer Netznachbildung (LISN) und einem EMV-Messempfänger unter genormten Umgebungsbedingungen gemessen. Üblich im Bereich 150kHz bis 30MHz.



In die Grenzen gewiesen

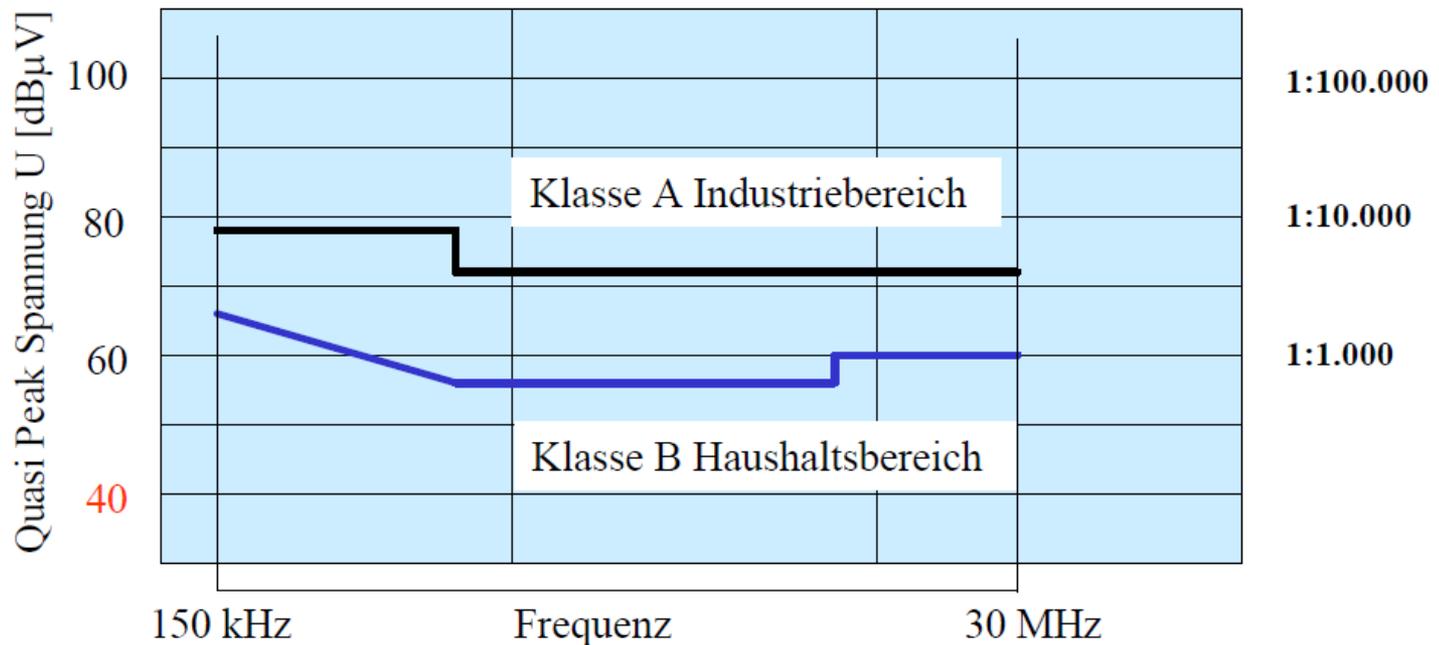
Die Norm unterscheidet bei den leitungsgebundenen Störemissionen Grenzwerte nach Klasse A – industrielles Umfeld und Klasse B – Wohn-Umfeld

Klasse B Grenzwerte für leitungsgeführte Störspannungen nach Norm EN55032 „Multimedia Geräte“. In dieser Norm sind Geräte der Unterhaltungselektronik, IT-Geräte und Telekommunikationsgeräte zusammengefasst.			
Frequenzbereich MHz	Grenzwert Klasse B in dB(μV) Quasispitzenwert	in dBm 0dB μ V = -107dBm	Das entspräche in S-Stufen
0,15 bis 0,5	66 bis 56	-41	S9 + 32dB
0,5 bis 5	56	-47	S9 + 26dB
5 bis 30	60	-51	S9 +22dB

Zur Einordnung: S9 entspricht einem Pegel von 34dB μ V oder -73dBm, eine S-Stufe einem Pegelschritt von 6dB!

Limits für leitungsgeführte Störspannungen 150kHz – 30MHz

Grenzwerte als Diagramm für die Störspannung nach der neuen Norm EN55032 „Multimedia Geräte“. In ihr sind Geräte der Unterhaltungselektronik, IT-Geräte und Telekommunikationsgeräte zusammengefasst.

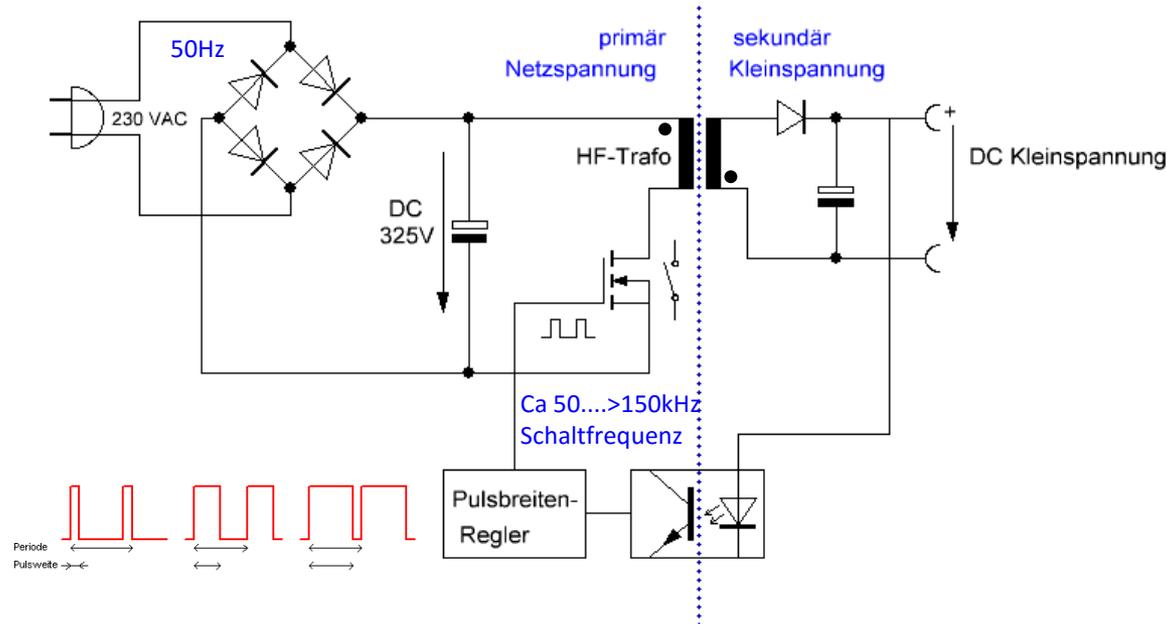


Und jetzt zu den Beschuldigten



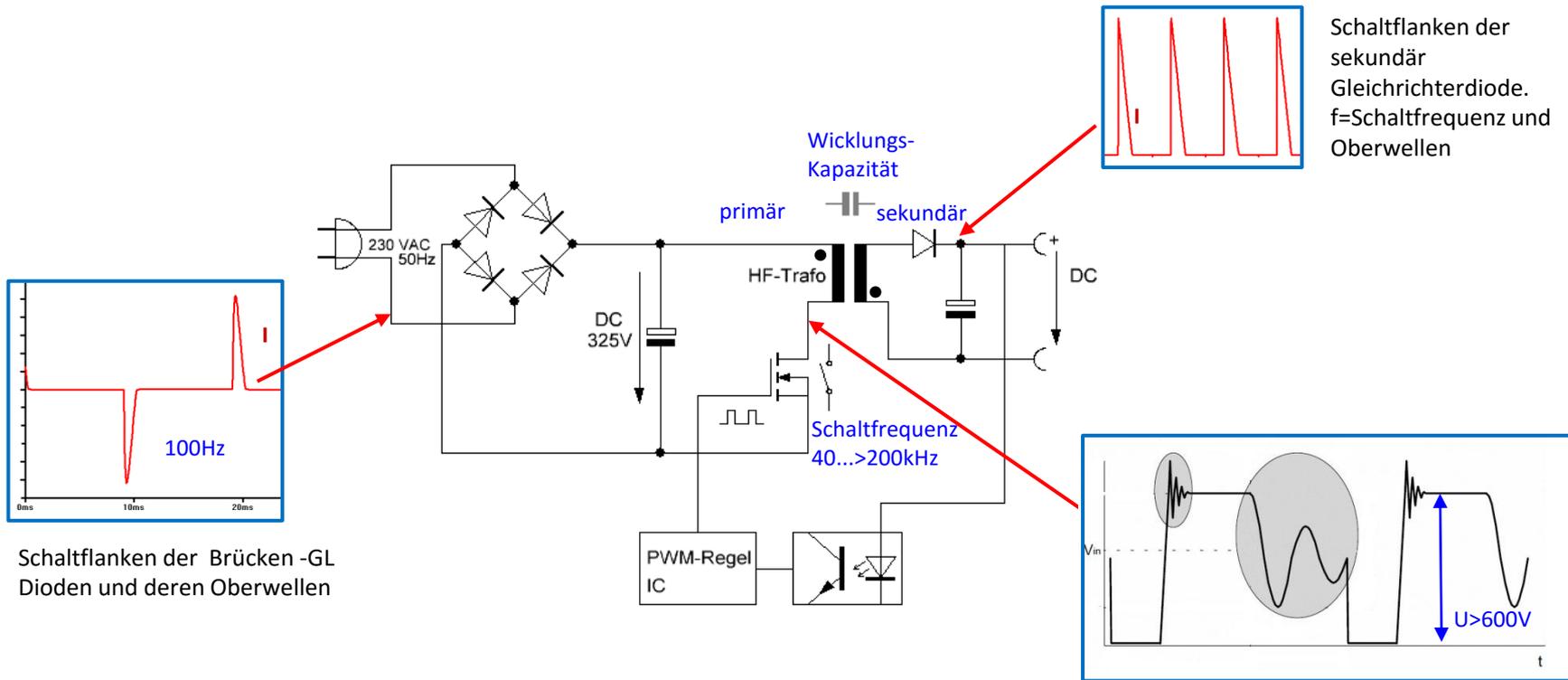
Primär getaktete Schaltnetzteile

Schaltnetzteile (SNT) für Multimedia Geräte, PCs und Steckernetzteile arbeiten zumeist als Sperrwandler (Flyback Converter). Die Netzspannung wird gleichgerichtet und mit einem Schalttransistor mit einer hohen Taktfrequenz wieder zerhackt und über einen HF-Transformator auf die Sekundärseite übertragen. Über die Schaltimpulsbreite wird die Ausgangsspannung geregelt. Durch die hohe Schaltfrequenz werden die Trafos klein, leicht und billig.



Steile Strom- und Spannungsimpulse im Sperrwandler Schaltnetzteil erzeugen hochfrequente Störspektren, die ohne geeignete Filtermaßnahmen ins Stromnetz gelangen und abgestrahlt werden können.

Störquellen – im Sperrwandler SNT



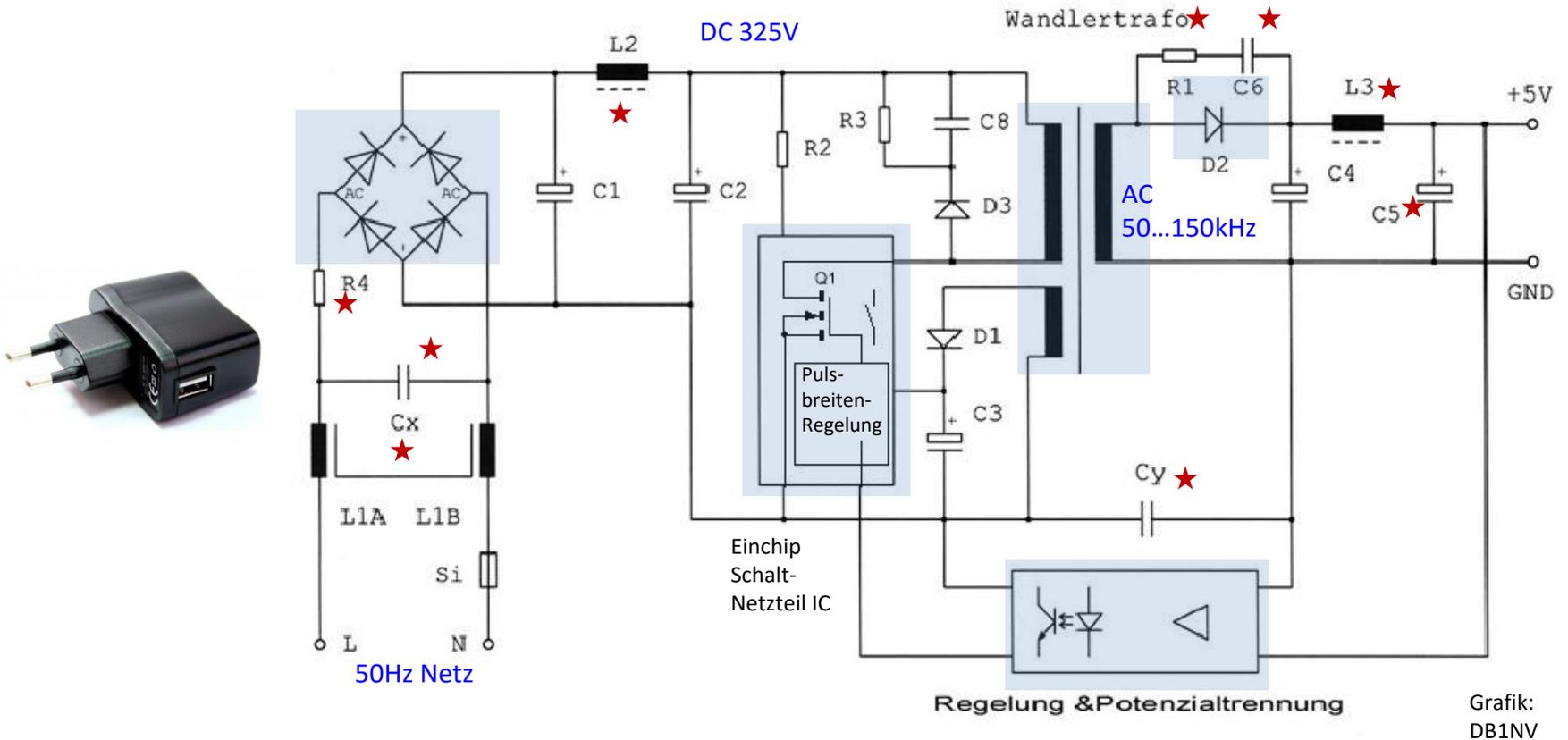
Schaltflanken der Brücken -GL Dioden und deren Oberwellen

Schaltflanken der sekundär Gleichrichterdiode. f =Schaltfrequenz und Oberwellen

Beim Öffnen des Schalters entstehen am Trafo steile (Nanosekunden) Schaltimpulse und Resonanzschwingungen mit hoher Spannung.

Die Oberwellen der Schaltfrequenz werden als symmetrische (Gegentakt)Störung ins Netz abgegeben und gelangen über die Wicklungskapazität des Trafos (ca 30pF) als asymmetrische Gleichtaktstörung auf die Sekundärseite.

Typischer Aufbau eines Steckernetzteils



Schattiert unterlegt die typ. Grund-Elemente eines Sperrwandler Schaltnetzteils
 Die Bauteile mit Sternchen * dienen der EMV-Entstörung und können ohne Beeinträchtigung der Netzteil-Grundfunktion weggelassen werden

symmetrische und asymmetrische Ausbreitung

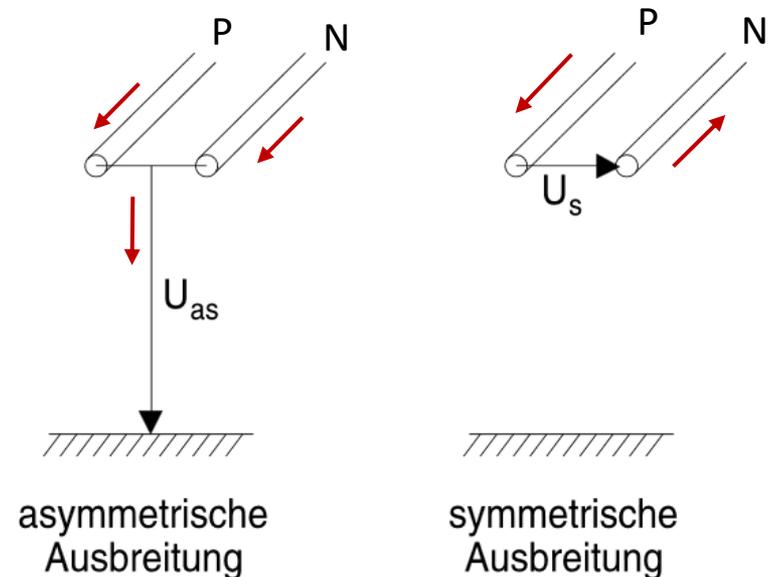
Bei den leitungsgebundenen Störungen unterscheidet man zwischen symmetrischen und asymmetrische Störungen (auch Gegentakt- bzw. Gleichtaktstörungen genannt).

Symmetrische Störungen

(Gegentaktstörungen) fließen zwischen Phase und Neutralleiter. Die Ströme sind gleich groß und entgegengesetzt und heben sich im Idealfall auf. Die Leitung strahlt kaum.

Asymmetrische Störungen

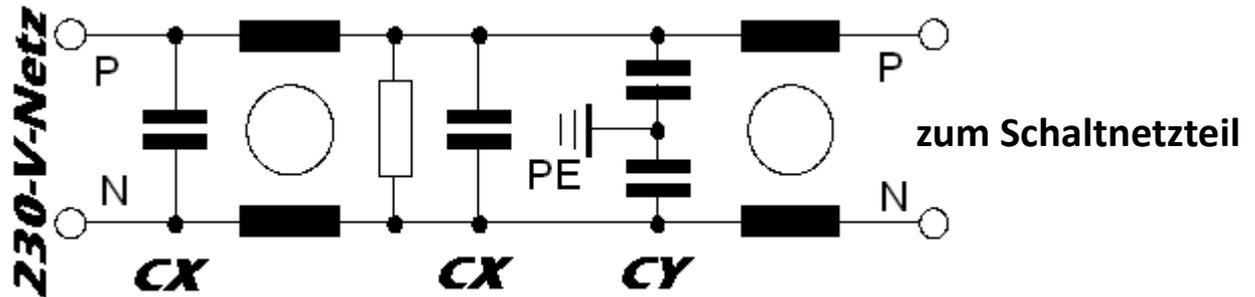
(Gleichtaktstörungen) fließen zwischen Phase/Neutralleiter und Schutzleiter/Erde. Ströme fließen in die gleiche Richtung. Die Leitung strahlt.



Störemissionen mit Netzfilter reduzieren



Einstufiges, in die Netzbuchse integriertes Entstör-Filter



Schaltungs-Prinzip eines zweistufigen Netzfilters

Klasse X-Kondensatoren sind Entstörkondensatoren mit beliebiger Kapazität, die zwischen Phase und Neutralleiter oder zwischen zwei Phasen geschaltet werden. Sie schließen symmetrische Gegentaktstörungen kurz. Sie müssen hohe elektrische und mechanische Sicherheit aufweisen.

Klasse Y-Kondensatoren sind Entstörkondensatoren die zwischen Phase/Neutralleiter und Schutzleiter liegen. Sie leiten die asymmetrischen Gleichtakt-Störungen von der Phase und dem Neutralleiter über den Schutzleiter zur Erde ab. Sie dürfen daher nur begrenzte Kapazität haben und müssen eine erhöhte elektrische und mechanische Sicherheit aufweisen. Entstörkondensatoren dürfen bei einem inneren Durchschlag keinen Kurzschluss bilden.

Eine stromkompensierte Drossel stellt vornehmlich Gleichtaktstörungen einen Widerstand entgegen.

China Export Steckernetzteile

Von außen nahezu gleich....



Bild: Jochen Jirmann, DB1NV

.... die inneren Werte machen den Unterschied

Entstörung kostet - oder die Kunst des (Ein)Sparens

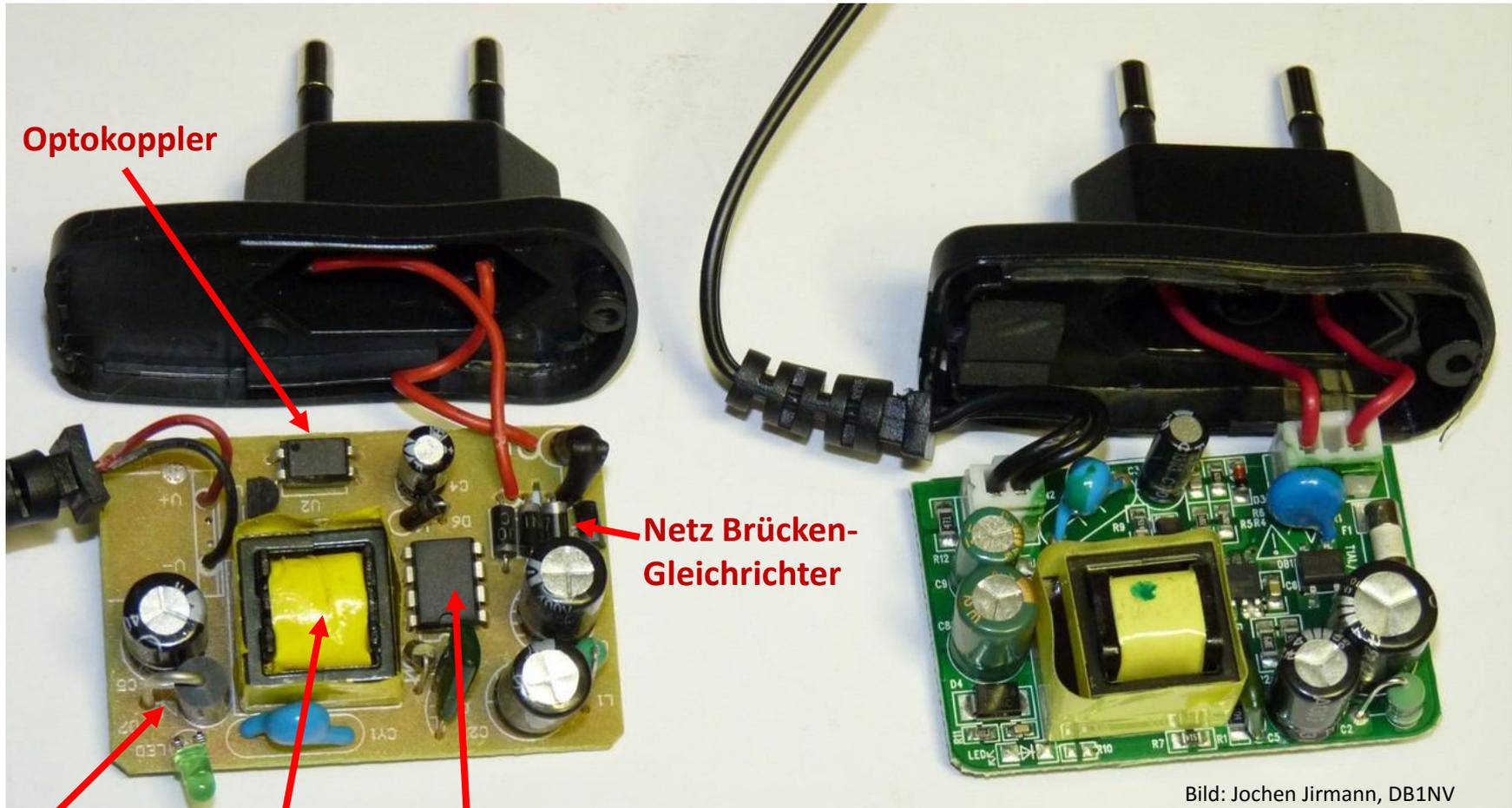


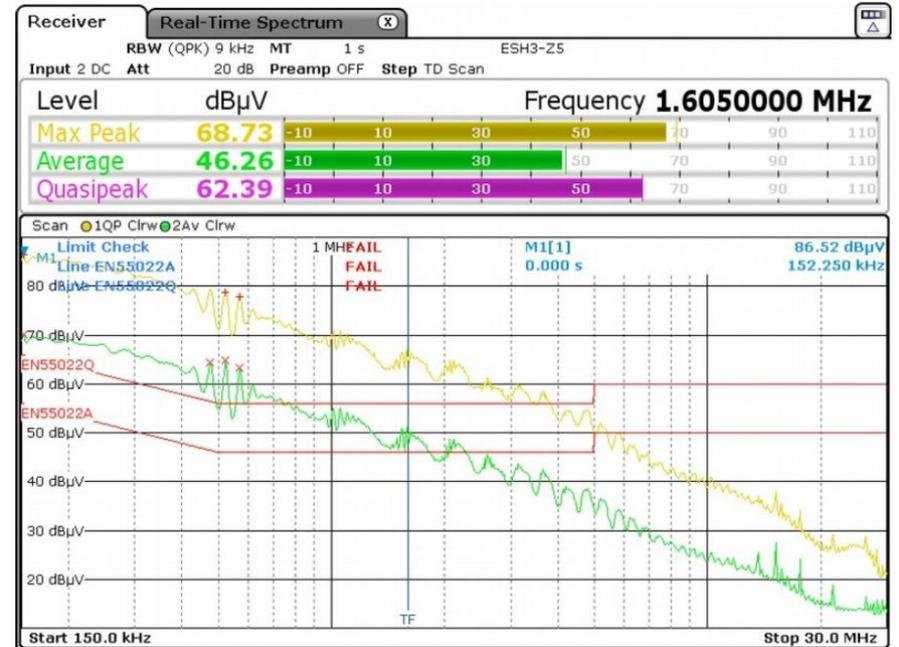
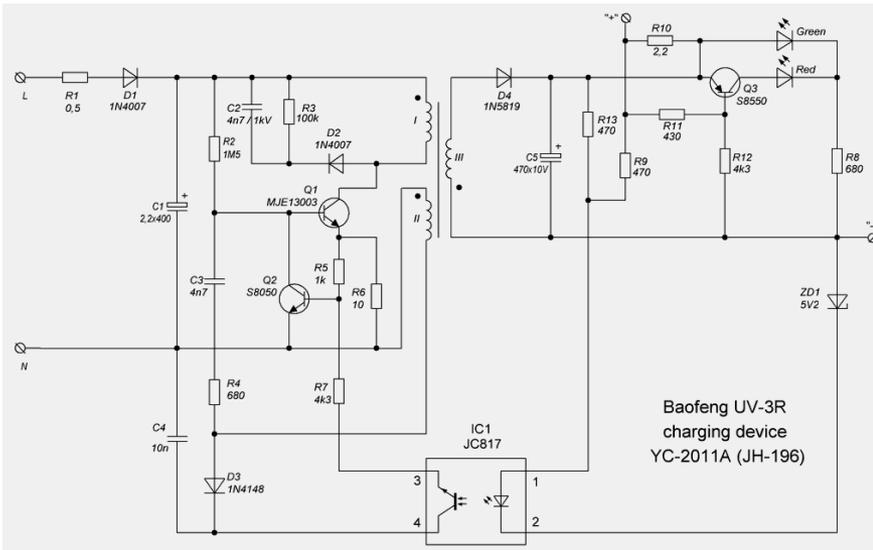
Bild: Jochen Jirmann, DB1NV

Optokoppler
sekundär Gleichrichter
Trafo
Regler/Schalter IC
Netz Brücken-Gleichrichter

Sperrwandler Grund-Funktionselemente

Günter Fred Mandel 2016

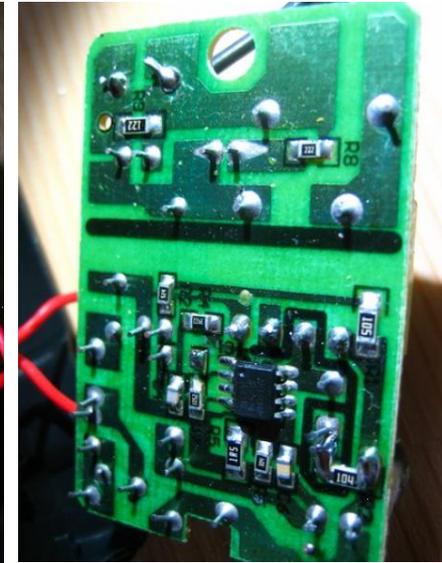
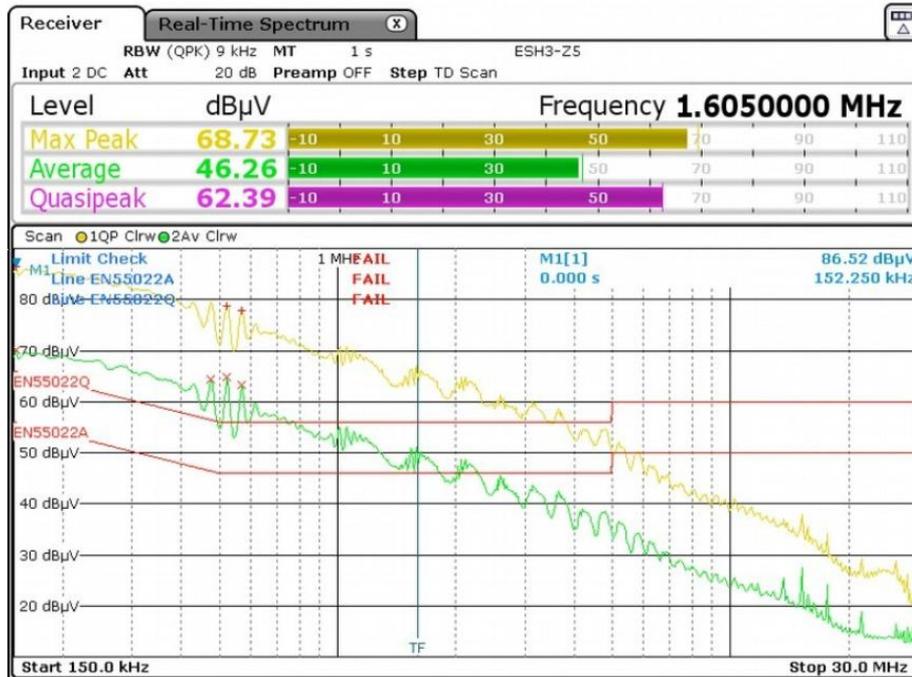
Baofeng UV3R Ladenetzteil: YC-2011A



Entstörbauteile wie Drossel etc. auf der Platine vorgesehen, sind aber nicht bestückt. EMV weit über Limit.

Bild und Messung: Hans Schlecht, DL8MCG

Baofeng UV5R



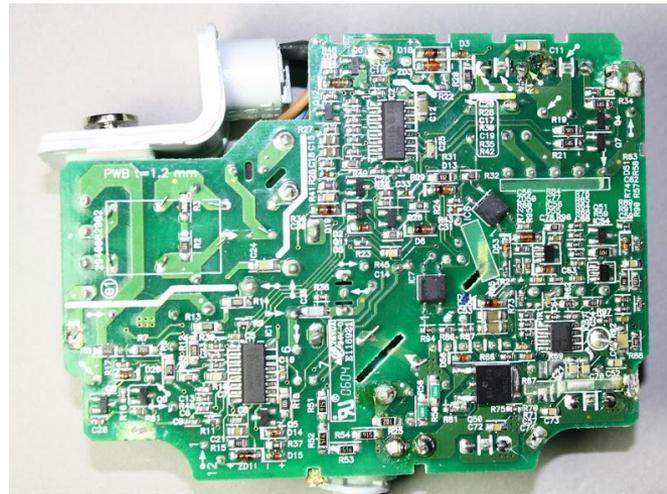
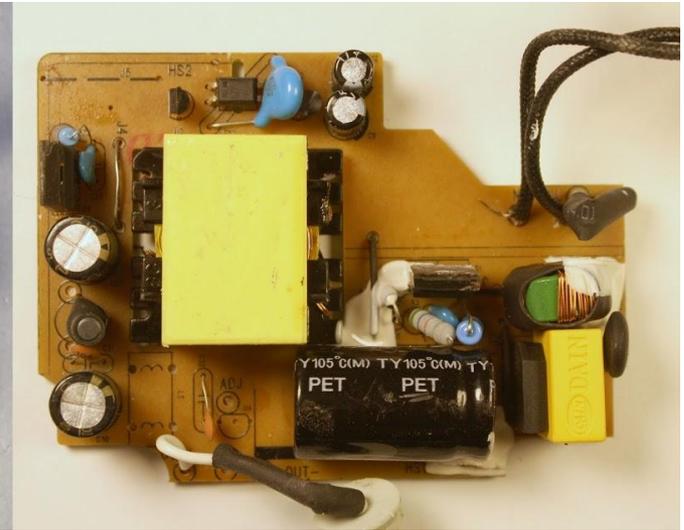
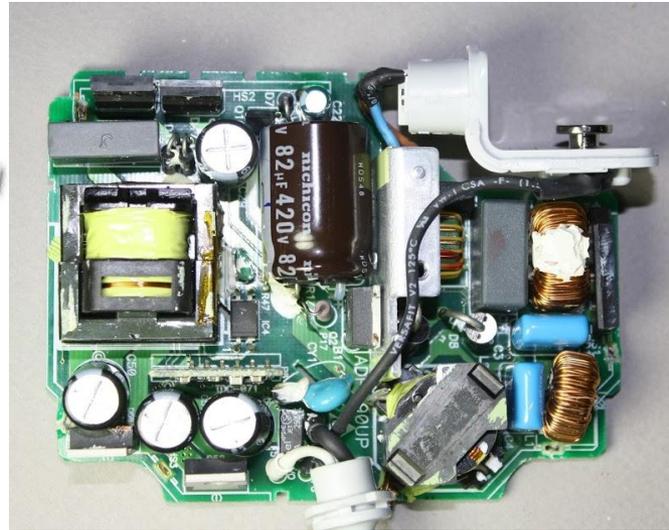
Modernes Schaltregler-IC aber an der Entstörung gespart.
Keine Entstördrossel bestückt. EMV weit über Limit.

Bild und Messung: Hans Schlecht, DL8MCG

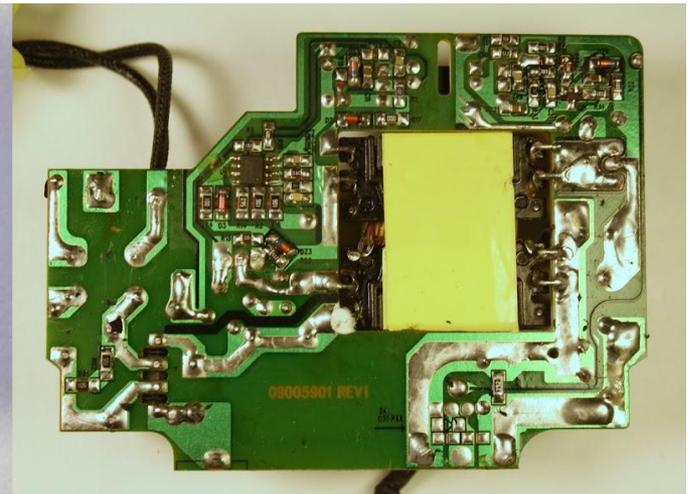
Apple MacBook 19V/85W Netzteil



oben



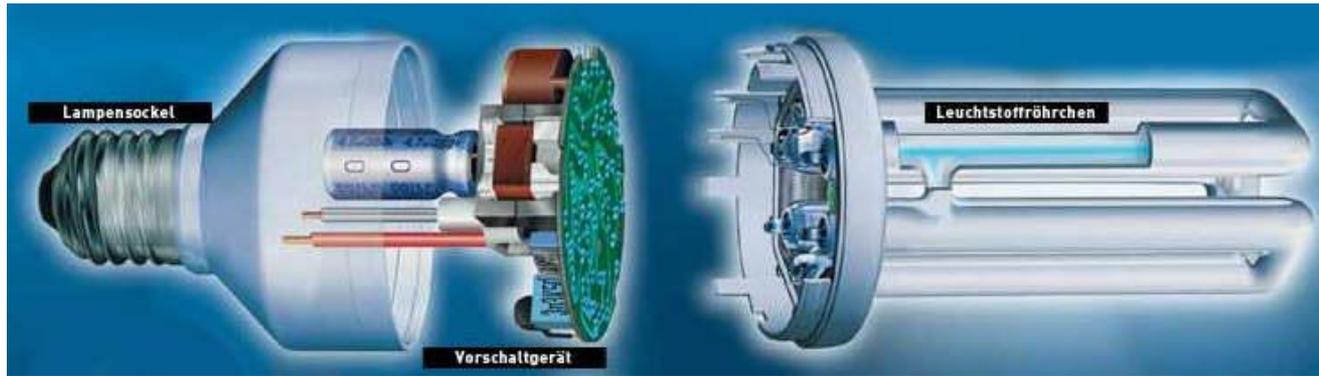
unten



Original Apple MagSafe 89€

Fake aus China 20€

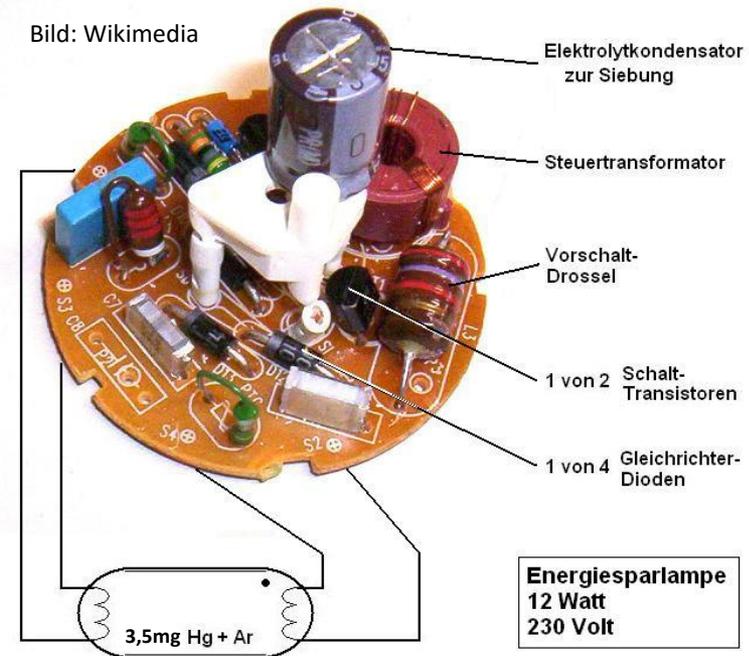
Bulb-Fiction – Energiesparlampen



Kompakt-Leuchtstoff-Lampen (CFLi) enthalten ein elektronisches Vorschaltgerät für die Steuerung und Zündung und zur Begrenzung des Stromflusses.

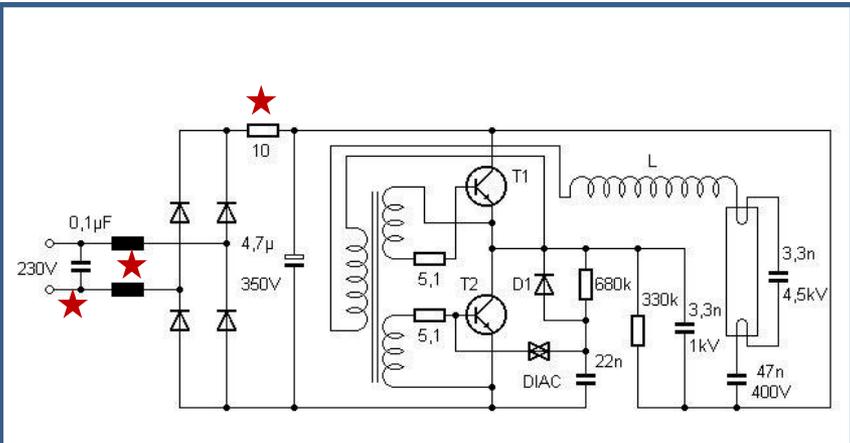
Im Vorschaltgerät ist ein primär getaktetes Schaltnetzteil (Typ: Resonanzwandler) mit einer Wechselrichterfrequenz von ca. 40kHz. Die Impulsstromspitzen erzeugen ein breites Störspektrum und erfordern geeignete Entstörmaßnahmen .

Bild: Wikimedia

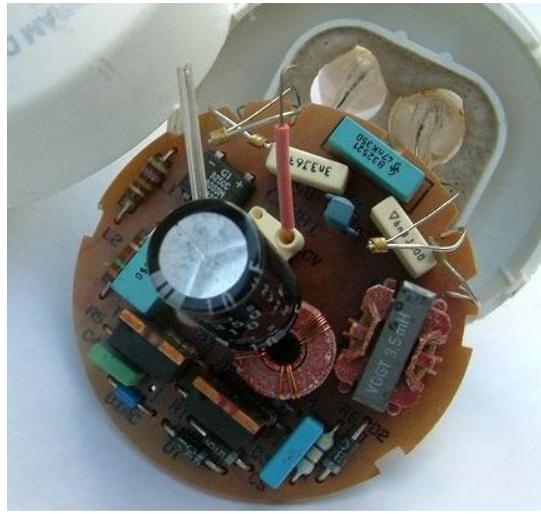
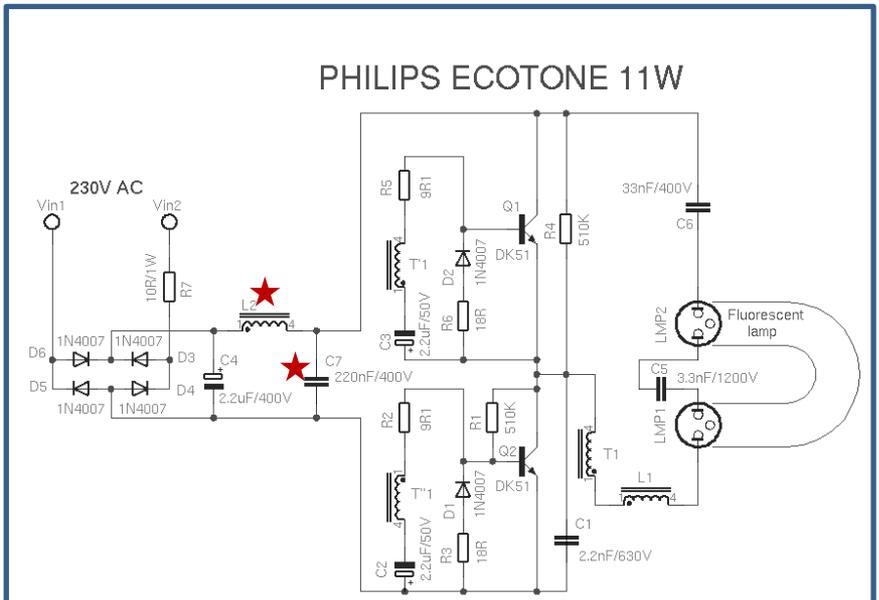


Leuchten tun sie alle, beim Störpotenzial gibt es Unterschiede

Kompakt-Leuchstofflampe (Energiesparlampe)

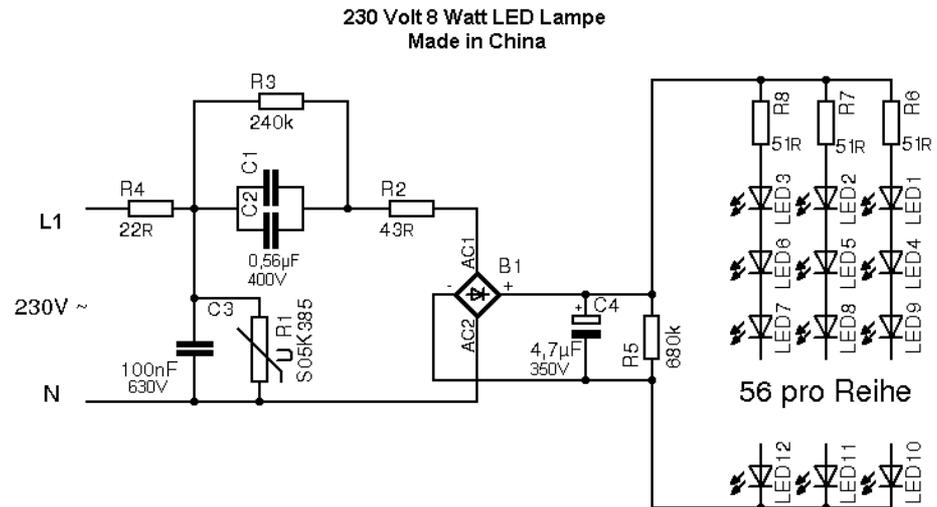


Resonanzwandler Schaltnetzteil



Der neue Trend: 230V LED Energiesparlampen

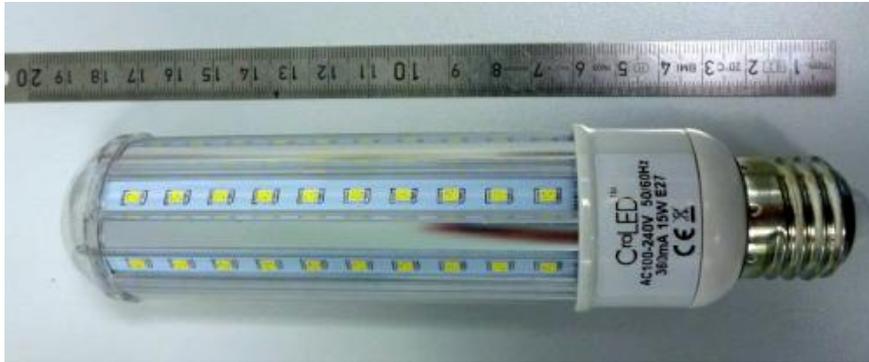
- Lebensdauer und Energieeffizienz sind höher als bei Kompakt-Leuchstofflampen.
 - Bessere Umwelteigenschaften, sie enthalten keine freisetzbaren Giftstoffe wie Quecksilber.
- „Nur“ als Elektroschrott zu entsorgen und kein Sondermüll wie Energiesparlampen.



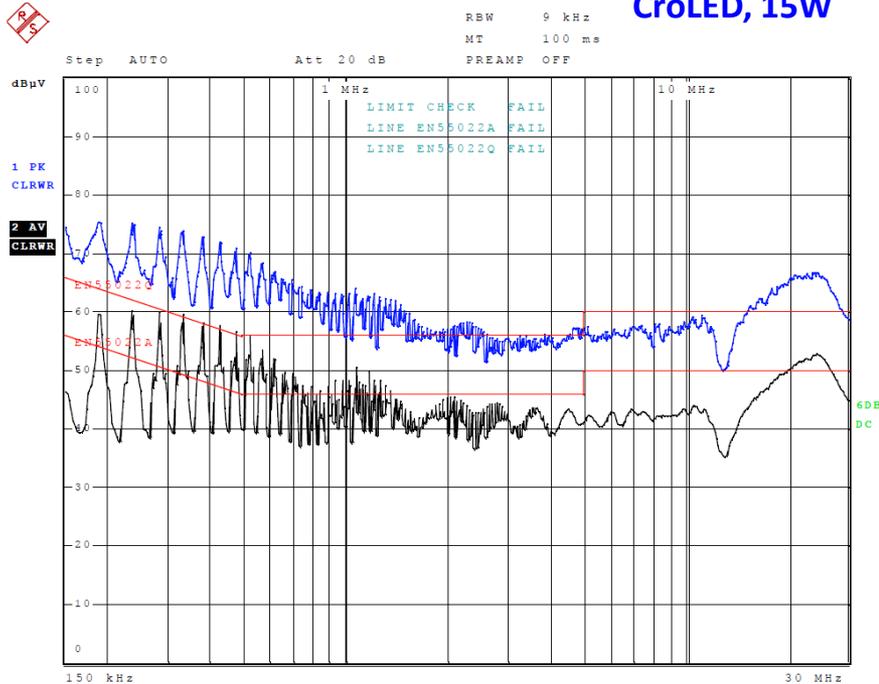
Im Inneren ein „Kondensatornetzteil“ als Vorschaltgerät.
Ohne geeignete Maßnahmen entstehen
Impulsstromspitzen mit breitem Störspektrum.

Billigware aus Fernost ist oft nicht ausreichend entstört.

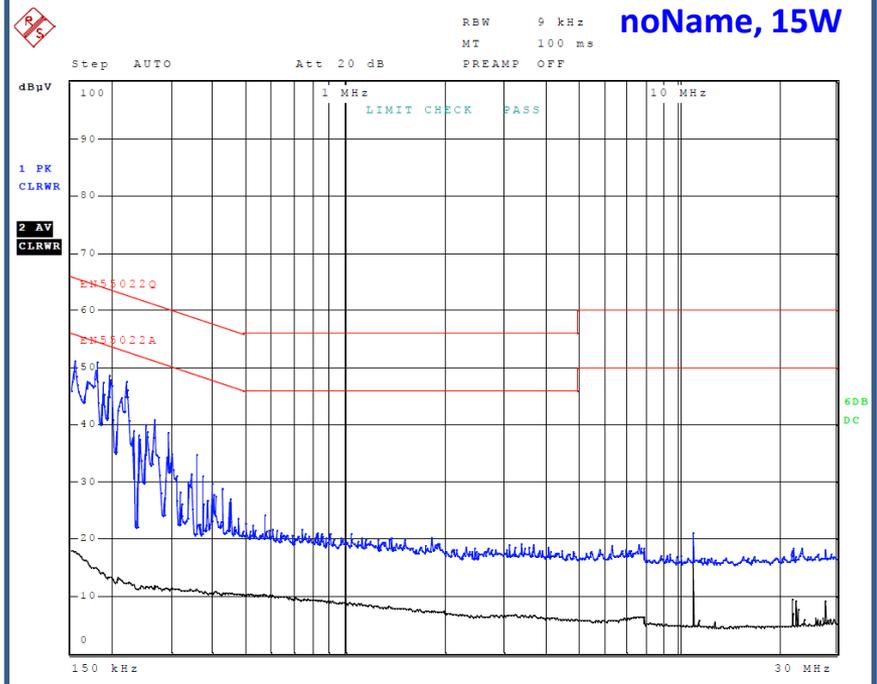
Störungen von LED Energiesparlampen



CroLED, 15W

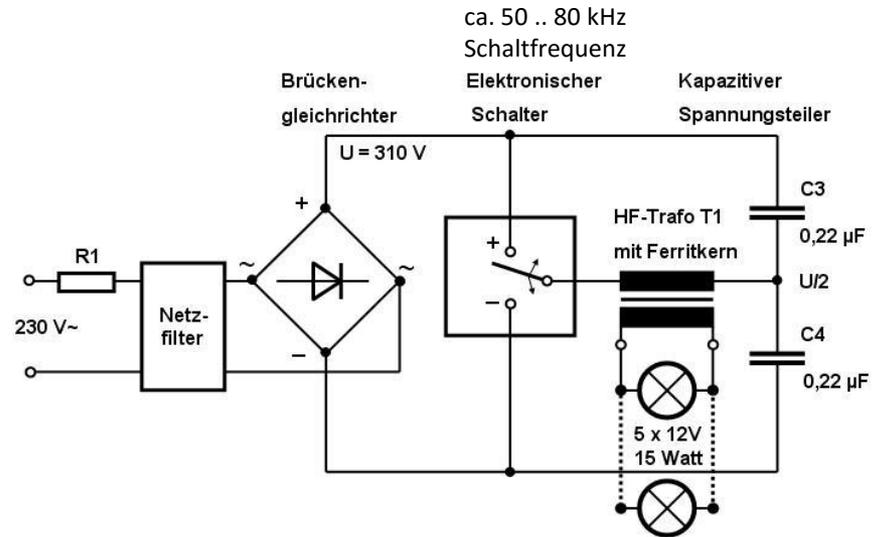


noName, 15W



„Elektronischer Trafo“, AC-AC SNT

Herkömmliche Netztransformatoren sind wegen der tiefen Frequenz von 50Hz groß, schwer und teuer. Für Niedervolt Beleuchtungen werden daher zunehmend sogenannte elektronische Transformatoren verwendet, die nach dem Prinzip des primärgetakteten Schaltnetzteils funktionieren. Sie werden billig in Massen hergestellt und verursachen oft beträchtliche EMV Probleme.



Störungen trotz CE und Grenzwert?

- Entstörmaßnahmen sind teuer, voluminös, schwer und uncool - sie schmälern den Gewinn.
- Auf manchen Produkten ist eine CE-Kennzeichnung missbräuchlich angebracht, ohne dass vorher die vorgeschriebene Konformitätsbewertung erfolgreich durchgeführt wurde.
- Die Prüfmethode sind auf Betreiben der Industrielobbies oft wenig realitätsnah.
„Störungen eines Produkts ohne Last zu messen ist ähnlich, wie den Verbrauch eines Autos zu ermitteln, wenn man es im Leerlauf den Großglockner runterrollen lässt.“
- Es wird darauf vertraut, dass es Otto Normalverbraucher in der breiten Masse nicht wahrnimmt. Funkstörungen werden nur vereinzelt bei der Bundesnetzagentur gemeldet
- Eine Marktaufsicht der Bundesnetzagentur findet nur unzureichend statt. Die Bundesnetzagentur wird meist nur bei konkreter Störungsmeldung aktiv.

es geht noch schlimmer...

... Radio Devolo sendet auf KW

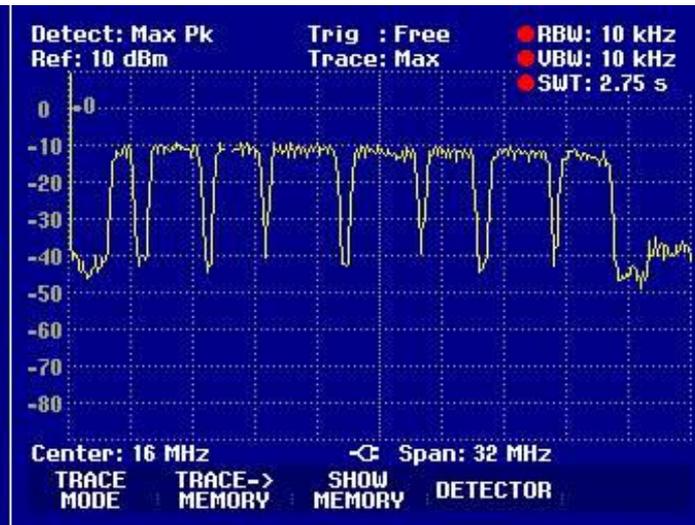
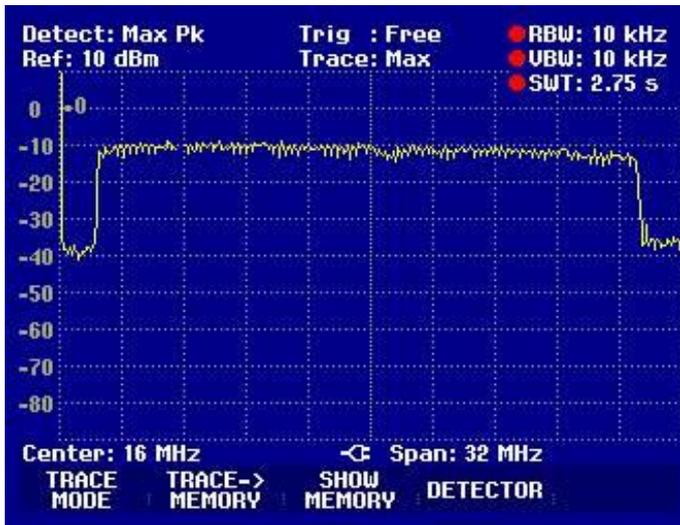
PLC ist eine Technologie zur Übertragung von Datensignalen hoher Bandbreite über die Haus-Elektro-Installation, die immer mehr Verbreitung findet. Die dabei verwendeten nicht abgeschirmten Strom-Leitungen strahlen einen Teil der erzeugten hochfrequenten Energie in die Umgebung ab. Der dadurch erzeugte Störnebel kann auf Hunderte Meter Distanz und mehr Teile des HF-Spektrums für Kurzwellen-Funk oder für Rundfunk unbrauchbar machen.

Seit Jahren wehren sich Amateurfunk-Organisationen gegen diese Art von elektromagnetischer Umweltverschmutzung.



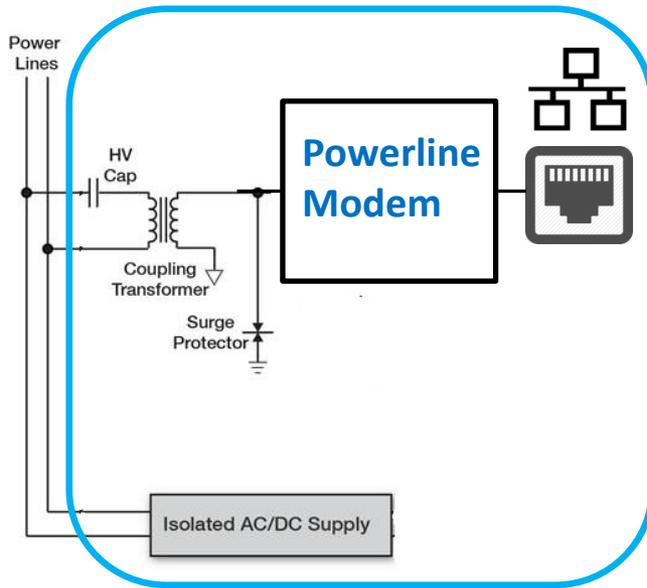
Ein PLC Breitbandsignal stört den gesamten KW Bereich.

Pegel bis zu 105 dBµV (S9+70dB) werden in das 230V Hausnetz eingespeist.



Mit -35dB Notch der Amateurbänder

Powerline (PLC) = Störungen vorprogrammiert



PLC - Internet aus der Steckdose



Bild: Hans Schlecht, DL8MCG

Table 2 — Maximum PLC transmit signal level between 1,606 5 MHz and 30 MHz

Symmetrical mode insertion loss EUT to AE in dB	10	20	≥ 40
Maximum transmit signal level in dB(μV) (AV)	65	75	95
Maximum transmit signal level in dB(μV) (PK)	75	85	105

(S9+60dB

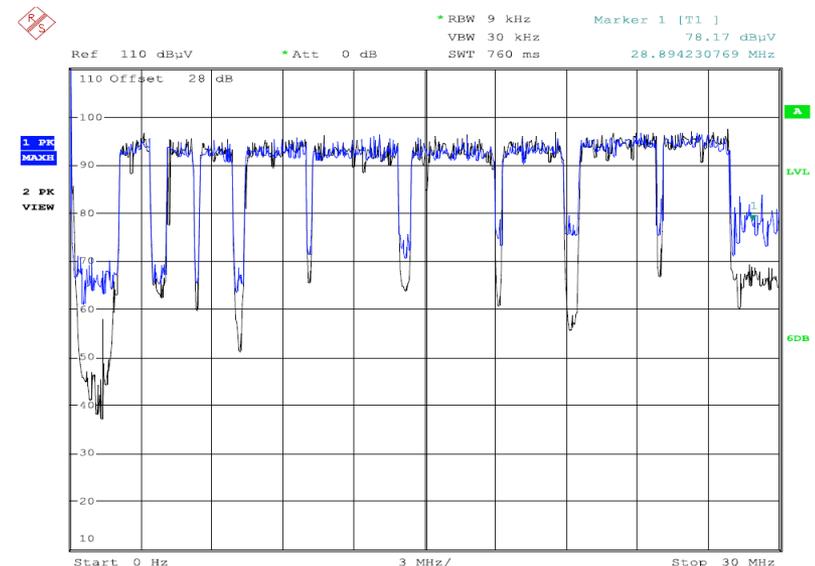
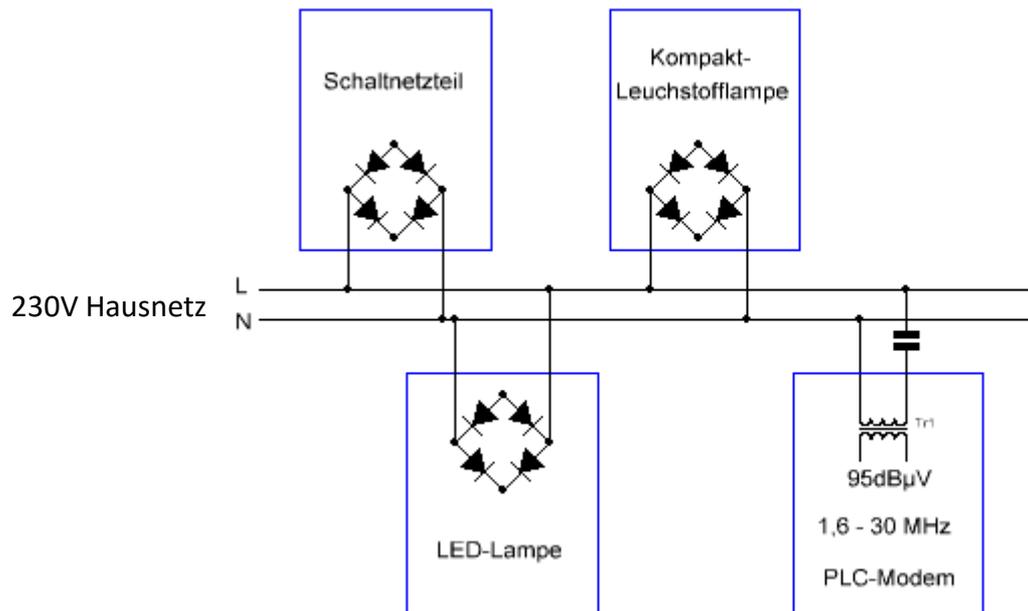
(S9+70dB

Die Leitungen im Niederspannungsnetz sind in der Realität unsymmetrisch, ohne definierte Impedanz. Das führt zur Abstrahlung von Störungen. PLC interagiert zudem mit anderen Geräten im Netz und erzeugt zusätzliche Störemissionen. Breitband-PLC stört das gesamte Kurzwellen-Spektrum.

Die EU-Kommission und die Bundesnetzagentur haben vor dem übermächtigen Lobbydruck kapituliert. Profitinteressen gehen vor Vernunft!

Notch filling – AFU Störungen trotz Komformität?

Die hohen Pegel der PLC-Aussendung hängen im Haus am gleichen Netzstrang wie Gleichrichterdiode von Schaltnetzteilen oder von den Vorschaltgeräten von Energiesparlampen. An den nichtlinearen Kennlinien der Dioden können sich die starken PLC-Signale mit den Schaltfrequenzen der Netzteile und deren Oberwellen mischen. Die dabei entstehenden Intermodulationsprodukte füllen die ausgenotchten Amateurfunkbänder auf. PLC knattert auch auf eigentlich geschützten AFU-Bändern.



schwarz: ursprüngliche Notchwirkung
blau: reduzierte Notchtiefe durch Intermodulation mit Gleichrichterdiode in anderen Geräten

Auch wenn jedes Gerät für sich die geforderten Grenzwerte einhält, werden die durch Interaktion verschiedener Geräte im gleichen Netz entstehenden Störungen bislang in keiner Norm berücksichtigt. Keiner trägt Verantwortung.

Praktische Tests



Unser Testaufbau

Bei einer EMV Prüfung werden leitungsgeführte Störspannungen (conducted Emissions) typisch im Bereich 150kHz bis 30MHz gemessen.

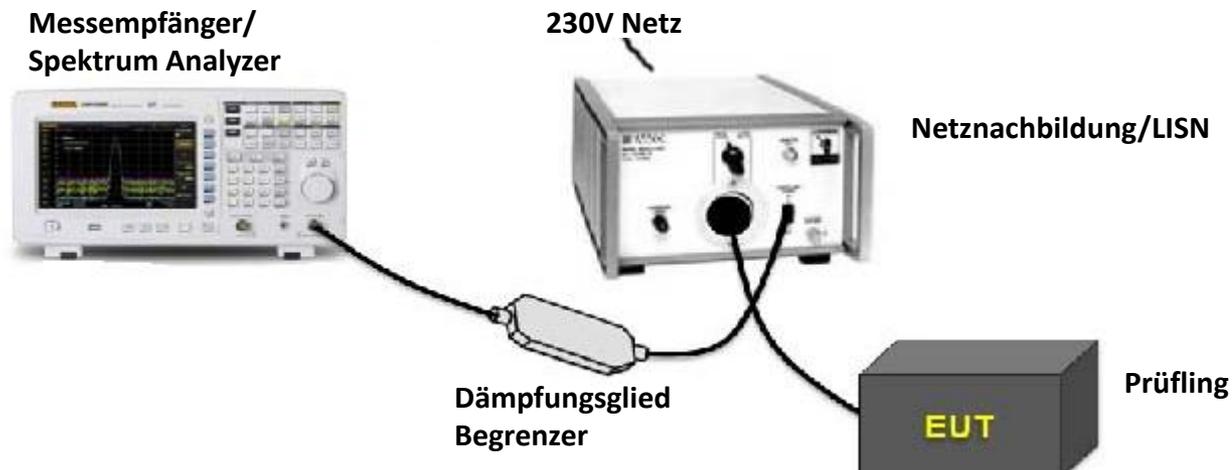
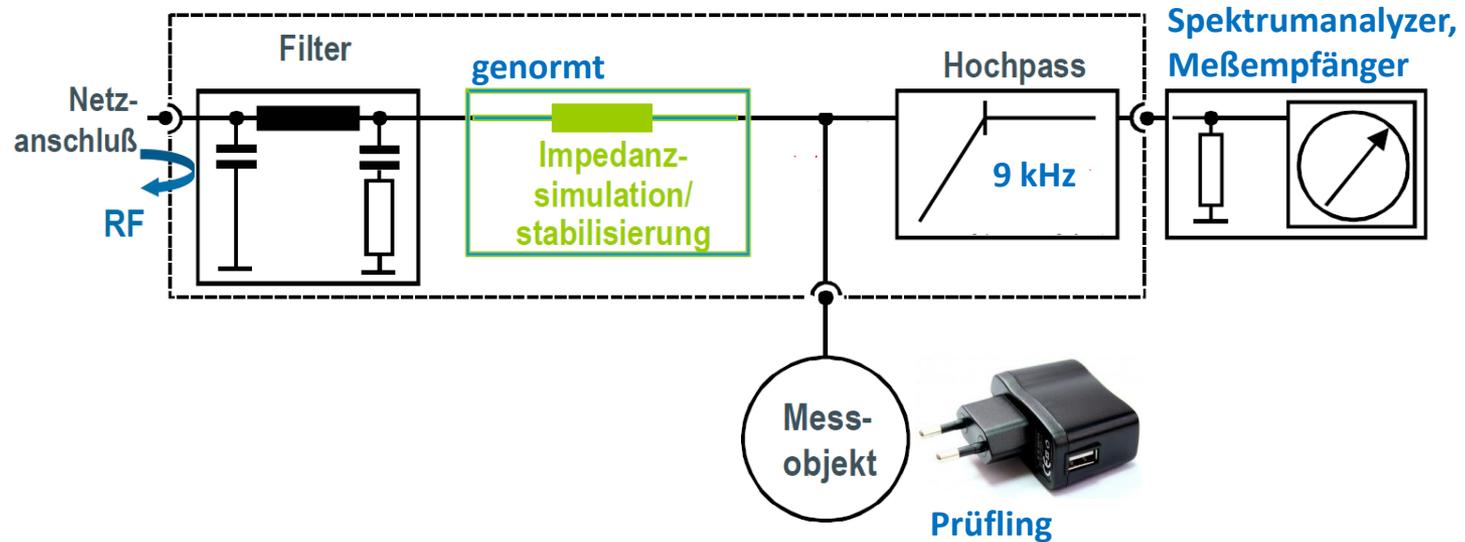


Bild: Messaufbau für geleitete Störungen

Um reproduzierbar prüfen können, welche Funkstörspannung ein Prüfling über das Netzkabel an das 230V Versorgungsnetz abgibt, benutzt man eine genormte Netznachbildung (engl. LISN, Line Impedance Stabilisation Network).

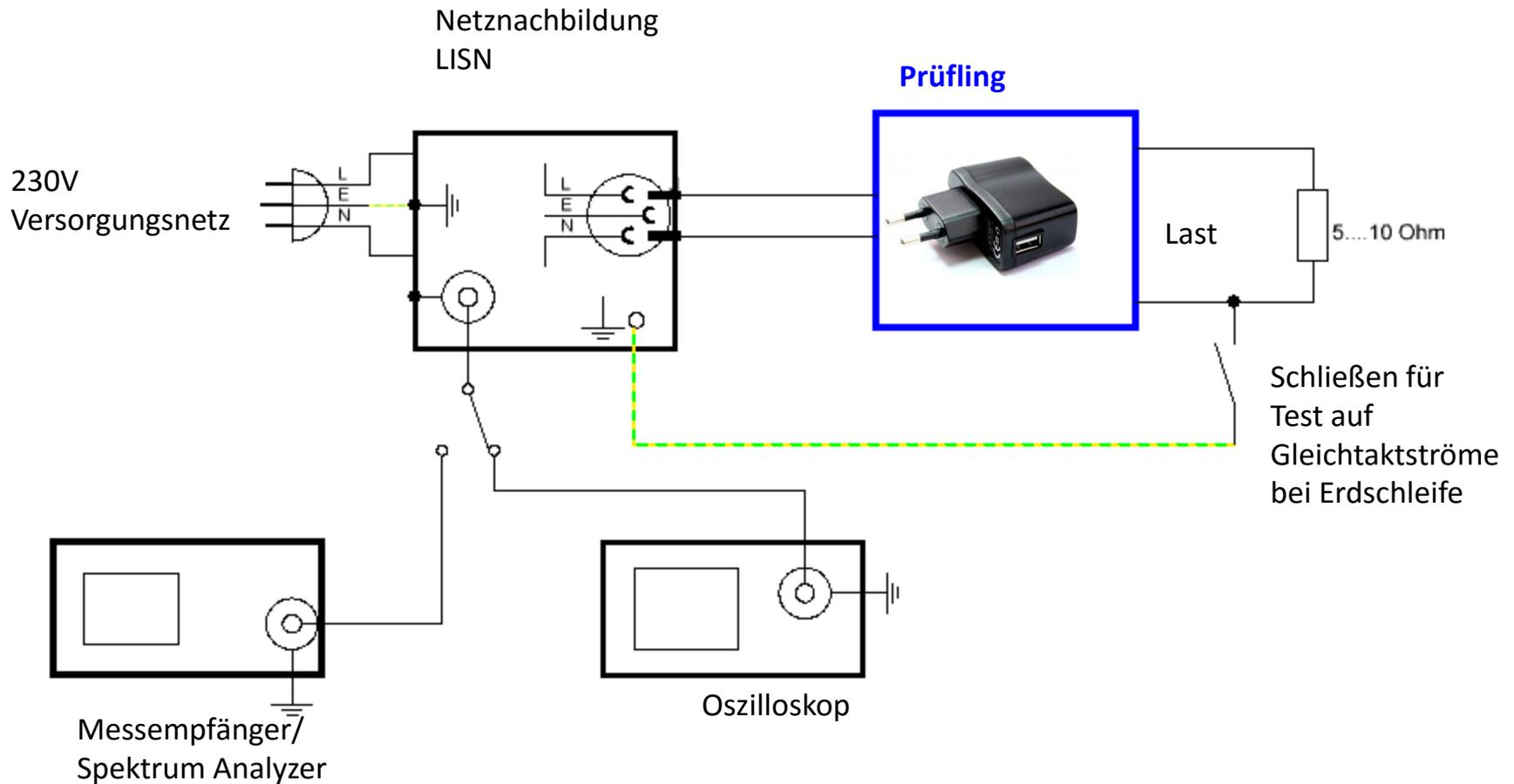
Netznachbildung - LISN



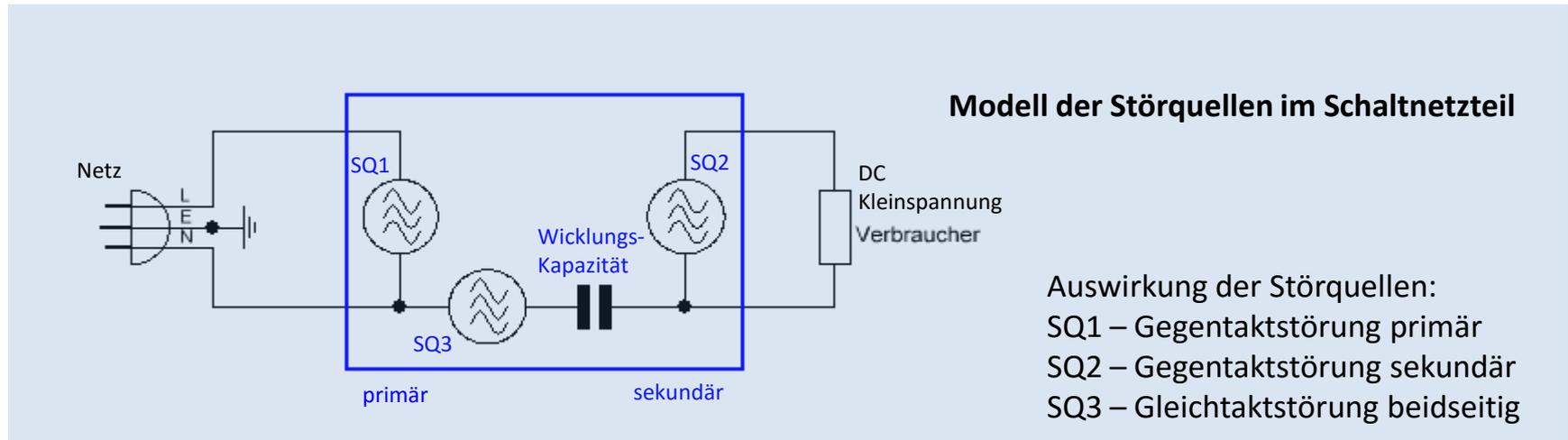
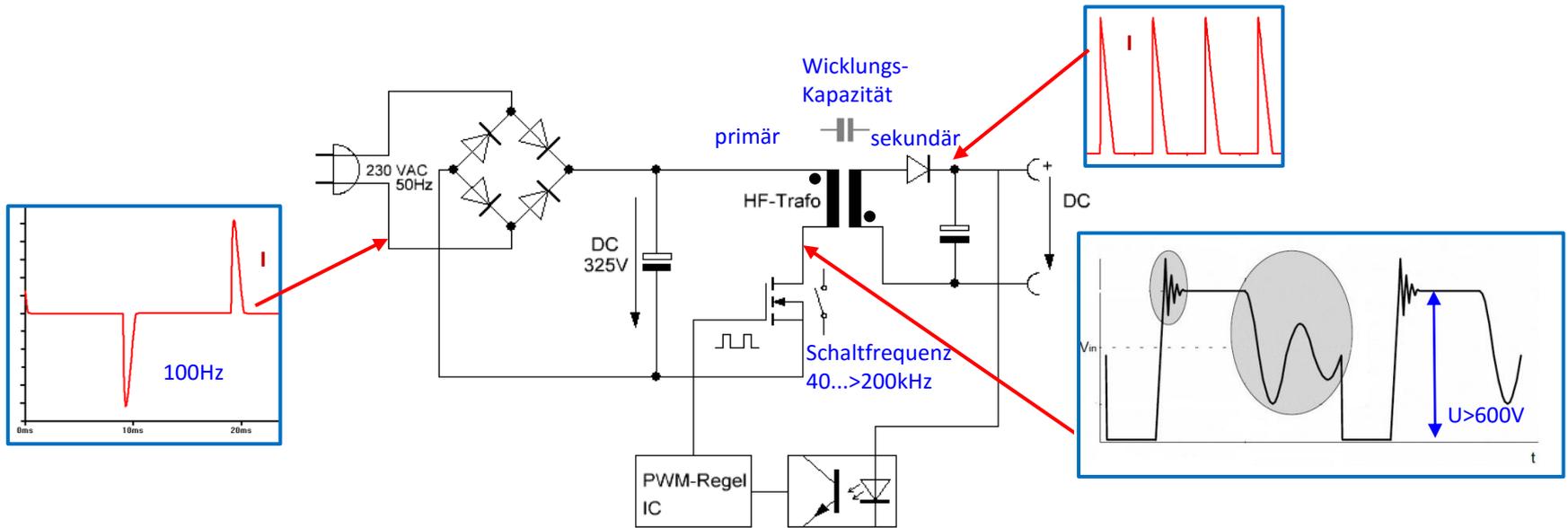
Eine Netznachbildung stellt eine definierte Verbindung zwischen Prüfling, Versorgungsnetz und dem HF-Störspannungs-Messgerät her. Sie erfüllt folgende Aufgaben:

- Unterdrückung evtl. vorhandener hochfrequenter Störungen vom speisenden Netz her.
- Bereitstellung einer normierten Impedanz auf der Netzspannungsseite für den Prüfling.
- Auskopplung der vom Prüfling verursachten HF-Funkstörspannung an einen 50 Ohm Meß-Ausgang zum Anschluss eines Meßempfängers oder eines Spektrumanalyzers.

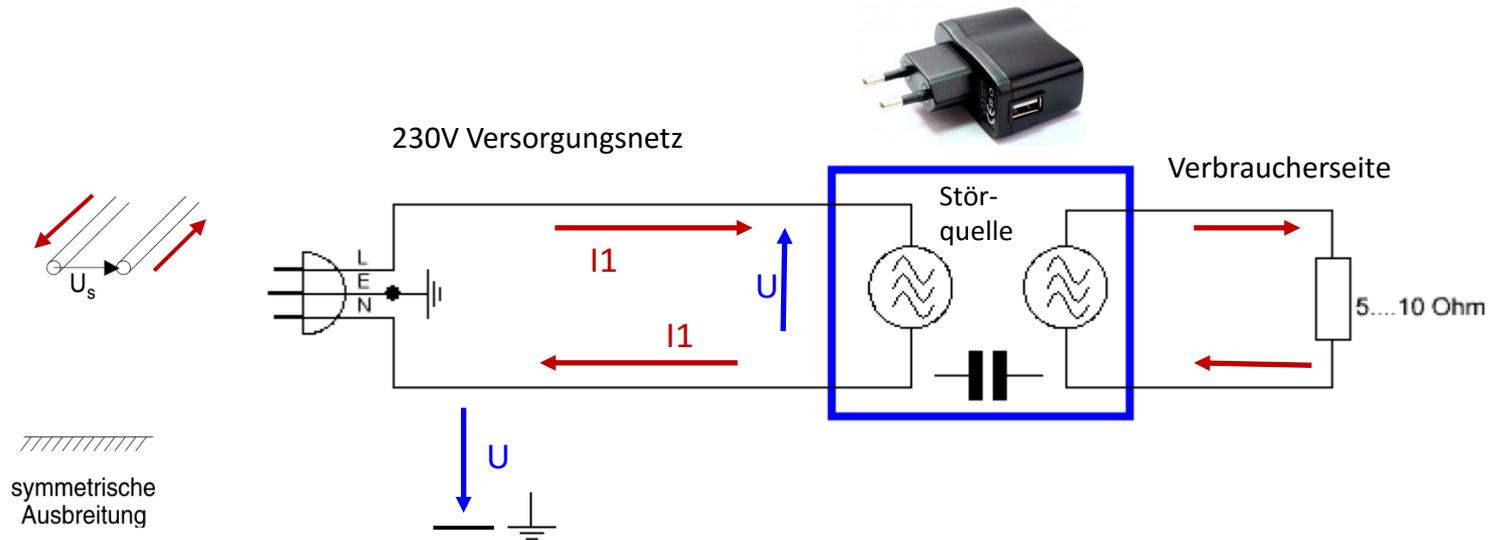
Test leitungsgebundene Störemissionen



Störquellen im Schaltnetzteil als Modell



Symmetrische Störungen (Gegentakt)

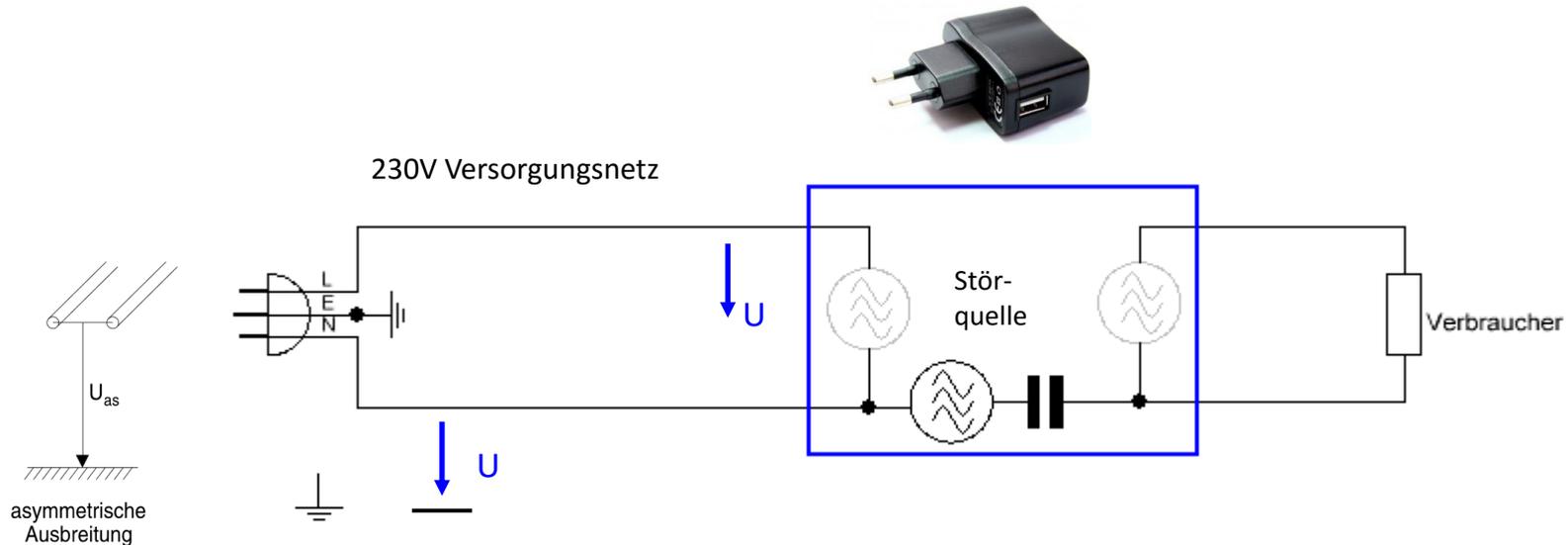


Symmetrische Störungen (Differential Mode) fließen zwischen Phase und Neutraleiter. Die Ströme sind gleich groß aber entgegengesetzt gerichtet

Bei paralleler Leitungsführung in der Netz- und Verbraucherleitung kompensieren sich im Idealfall die elektrischen als auch die magnetischen Felder nach außen.

Symmetrische Gegentakt Störspannungen und Ströme gelten als das kleinere Übel. In der Realität jedoch sind Leitungen im häuslichen Versorgungsnetz nicht immer symmetrisch und exakt parallel geführt, dann wirken sie wie eine strahlende Antenne.

Asymmetrische Störung (Gleichtakt), erdfrei

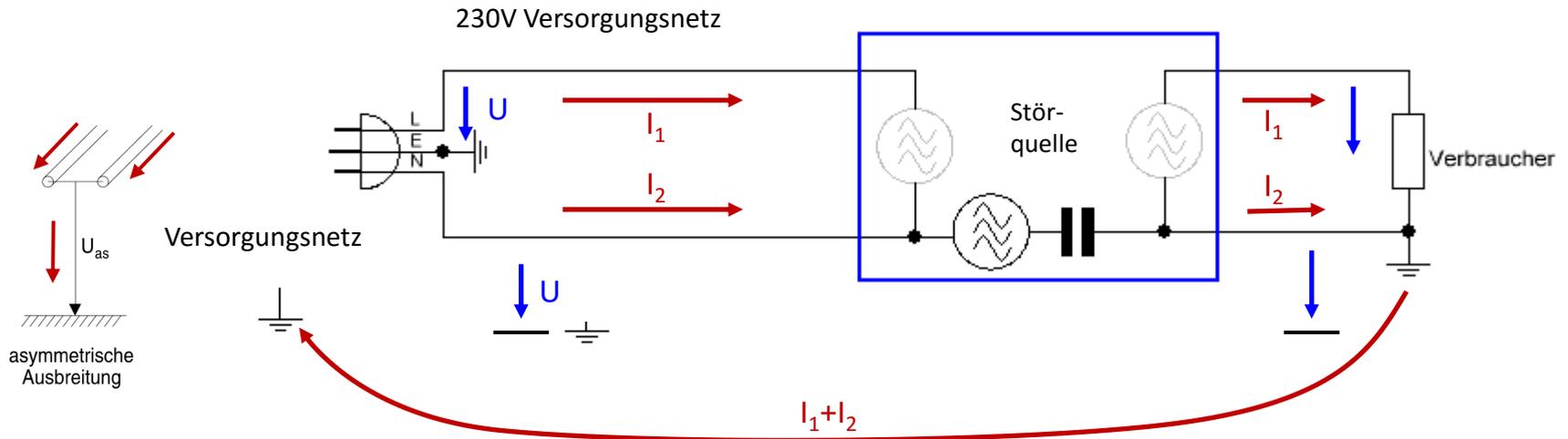


Asymmetrische Störspannungen (Common-Mode) treten zwischen Phase/Neutralleiter und Schutzleiter/Erde auf.

So lange die Leitung zum Verbraucher kurz und die Verbraucherseite keine leitende oder kapazitive Verbindung zu Erde hat, führen asymmetrische Gleichtaktspannungen kaum zu Funkstörungen. Ohne einen Rückleiter bildet sich kein Stromkreis, es fließen keine Ströme.

Aber: ist die Kabellänge zum Verbraucher zufällig gleich der halben Wellenlänge, also im UKW-Bereich, verhält sich die Kombination wie ein endgespeister Halbwellendipol mit Endkapazität und strahlt.

Asymmetrische Störung bei sek. Erdverbindung



Asymmetrische Störungen mit Verbindung des Verbrauchers zur Erde

Problematisch wird es, wenn am Verbraucher direkt oder indirekt über Streukapazitäten ein Verbindungsweg zu Erde/PE vorhanden ist wie z.B. bei Geräten mit Schutzerdung, am Rechnernetz oder über einen geerdeten Antennenanschluss. In diesem Falle schließt sich der Stromkreis für Gleichtaktströme über die Erdverbindung. Es entsteht eine ausgedehnte Schleifenantenne, die im Mittel- und Kurzwellenbereich Störenergie abstrahlt

RICHTLINIE 2014/30/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES



Die Mitgliedstaaten sollten gewährleisten, dass Funkdienste, einschließlich Rundfunkempfang und Amateurfunkdienst, die gemäß der Vollzugsordnung für den Funkdienst der Internationalen Fernmeldeunion (ITU) tätig werden, Stromversorgungs- und Telekommunikationsnetze sowie an diese Netze angeschlossene Geräte gegen elektromagnetische Störungen geschützt werden.

EMV Richtlinie

Referenzen

- [1] Dr. Jochen Jirmann, DB1NV, „Breitbandstörer Schaltnetzteil“, Tagungsband der UKW-Tagung 2014, http://www.darc.de/uploads/media/Steckernetzteil_Skript_Weinheim.pdf
- [2] Thilo Kootz, DL9KCE, Videodemonstration: „Lightbulb disturbance“ <https://www.youtube.com/watch?v=o8zMhjXcmoA>
- [3] EN55022, „Einrichtungen der Informationstechnik - Funkstöreigenschaften - Grenzwerte und Messverfahren“, Beuth Verlag
- [4] Fa. Schwarzbeck Messelektronik, Produktdatenblätter, <http://schwarzbeck.de/de/>
- [5] Wolfgang Wippermann, DG0SA, „Entstörung eines Schaltnetzteiles“. <http://www.dg0sa.de/snt.pdf>
- [6] Hans Schlecht, DL8MCG „PLC - elektromagnetische Störungen vorprogrammiert“ http://www.darc.de/uploads/media/Vortrag_R_S_01.pdf
- [7] Karl Fischer, DJ5IL: “Lobbypolitik für untaugliche PLC-Technologie statt Sachverstand und technische Vernunft“ , Offener Brief an BMWi, BMVI und BNetzA. http://cq-cq.eu/DJ5IL_Offener_Brief.pdf
- [8] RICHTLINIE 2014/30/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES (EMV Richtlinie), <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0030&from=DE>

Anhänge

Ergebnisse der im Workshop durchgeführten Emissionstests:

http://www.dl4zao.de/downloads/Ergebnisse_EMV-Schaltnetzteil.pdf

Grenzwerte nach EN55022

ab 2016: EN55032

EMV Emissionen werden nach zwei Ausbreitungsmechanismen unterschieden:

- abgestrahlt (radiated) – über das elektromagnetische Feld einer Funkwelle
- leitungsgeführt (conducted) - über Ströme auf Kabeln oder Leitungen

Tabelle 2 – Grenzwerte der leitungsgeführten Störgrößen am Stromversorgungsanschluss für Einrichtungen der Klasse B (häusliches Umfeld)

Frequenzbereich MHz	Grenzwerte dB(μ V)	
	Quasispitzenwert	
0,15 bis 0,50	66 bis 56 (-41dBm)	(S9 + 32dB)
0,50 bis 5	56 (-47dBm)	(S9 + 26dB)
5 bis 30	60 (-51dBm)	(S9 + 22dB)

ANMERKUNG 1 Bei der Übergangsfrequenz gilt der niedrigere Grenzwert.

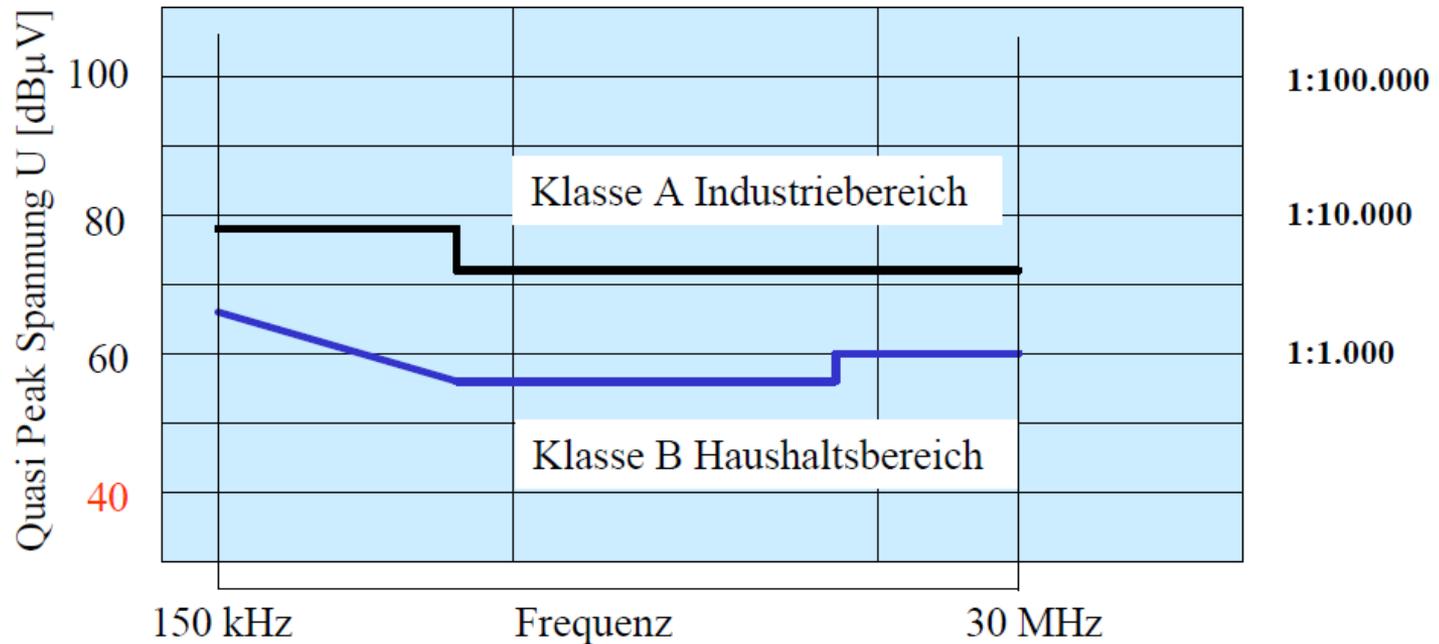
ANMERKUNG 2 Im Frequenzbereich 0,15 MHz bis 0,50 MHz nimmt der Grenzwert linear mit dem Logarithmus der Frequenz ab.

Die Umrechnung in Leistung an 50 Ω in dBm lautet $0\text{dB}\mu\text{V} = -107\text{dBm}$!

Zur Einordnung: S9 entspricht einem Pegel von 34dB μ V oder -73dBm, eine S-Stufe einem Pegelschritt von 6dB!

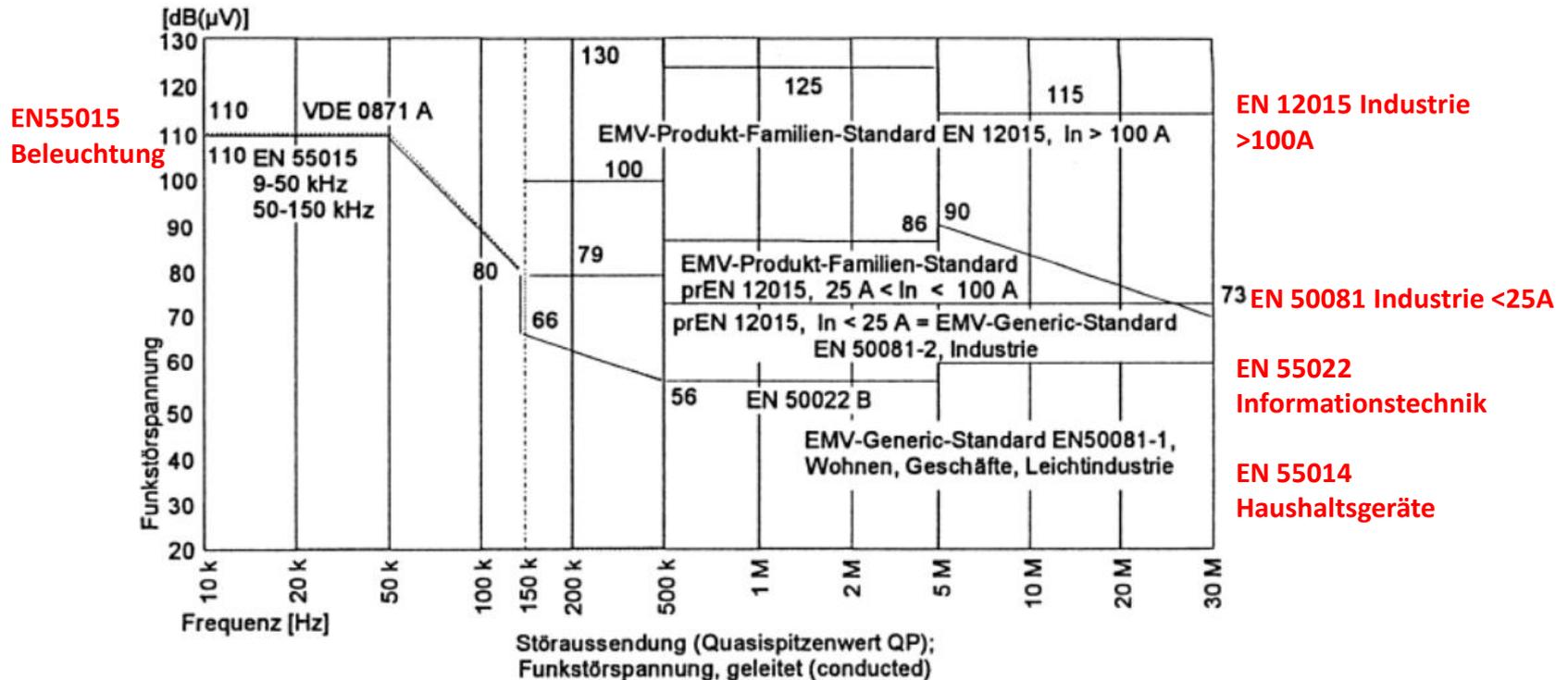
Grenzwerte für die Störspannung nach der Europa-Norm EN55032 „Multimedia Geräte“. In ihr sind Geräte der Unterhaltungselektronik, IT-Geräte und Telekommunikationsgeräte zusammengefasst.

Grenzwerte für leitungsgeführte Störspannungen 150kHz – 30MHz



Grenzwerte für die Störspannung nach der neuen Norm EN55032 „Multimedia Geräte“. In ihr sind Geräte der Unterhaltungselektronik, IT-Geräte und Telekommunikationsgeräte zusammengefasst.

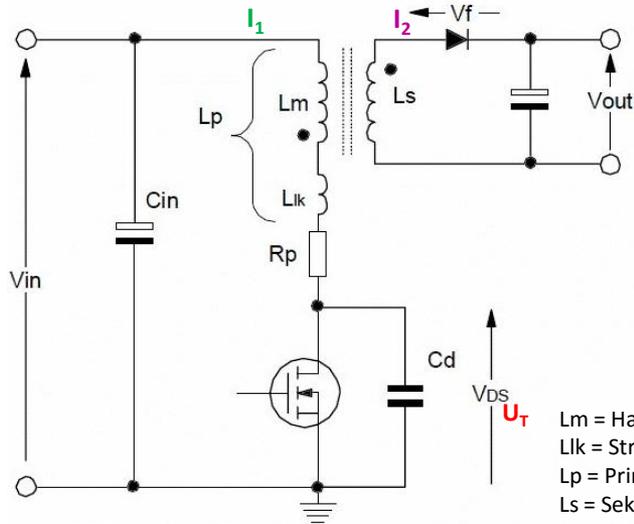
Grenzwerte für leitungsgeführte Störspannungen 9kHz – 30MHz



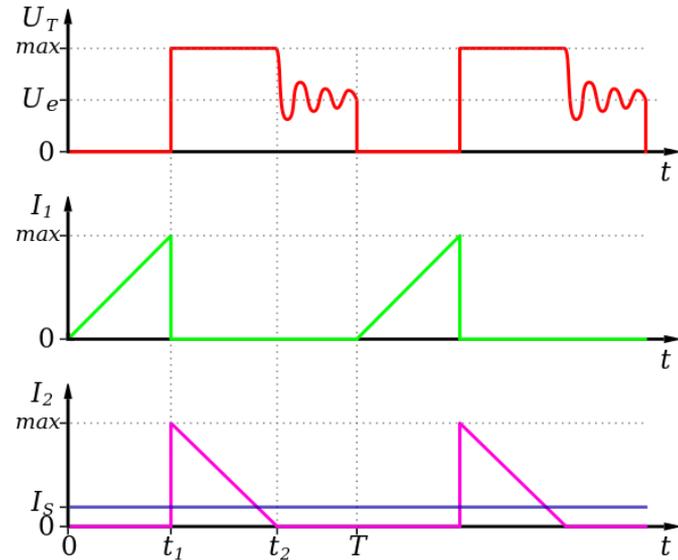
Ab 2017 gilt anstatt der EN55022 die neue Norm EN55032 „Multimedia Geräte“. Darin sind die Normen für Geräte der Unterhaltungselektronik, IT-Geräte und Telekommunikationsgeräte zusammengefasst.

Die Normen für Beleuchtung, Werkzeuge oder Industrieanlagen erlauben teilweise deutlich höhere Emissions-Grenzwerte als für Multimedia- oder Haushalts-Geräte.

Sperrwandler Prinzip



- L_m = Hauptinduktivität
- L_{lk} = Streu- (Leck-) Induktivität
- L_p = Primärinduktivität $L_m + L_{lk}$
- L_s = Sekundärinduktivität
- C_d = Drain Source Kapazität
- I_s = Verbraucherstrom Ausgang

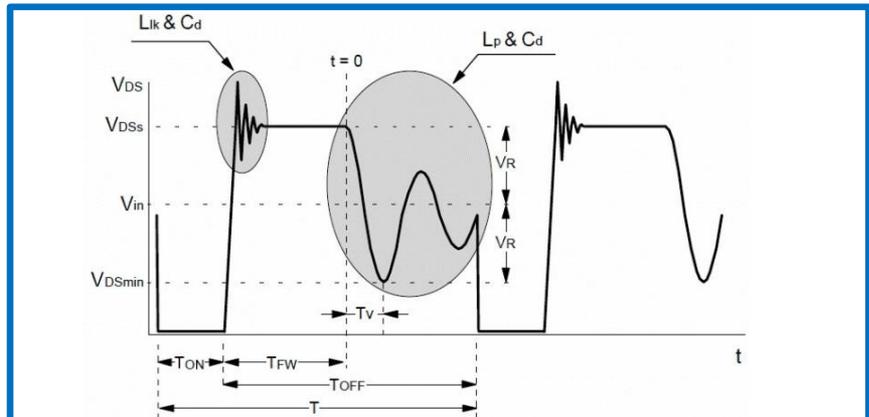


Funktion des Sperrwandlers:

An der Primärwicklung steht die Eingangsspannung V_{in} . Bei leitendem Schalter-FET ($U_T=0$) steigt der Strom I_1 in der Primärwicklung nach dem Induktionsgesetz linear an. Wegen der entgegengesetzten Polarität der Sekundärwicklung ist die Diode dort gesperrt, es fließt kein Strom. Die Energie wird im Magnetfeld des Trafo gespeichert.

Wird der Schalter geöffnet, ($I_1 = 0$) polen sich die Spannungen am Trafo um. Die Diode leitet, der linear abnehmende Strom I_2 aus der Sekundärwicklung lädt den Ladekondensator auf die Spannung V_{out} .

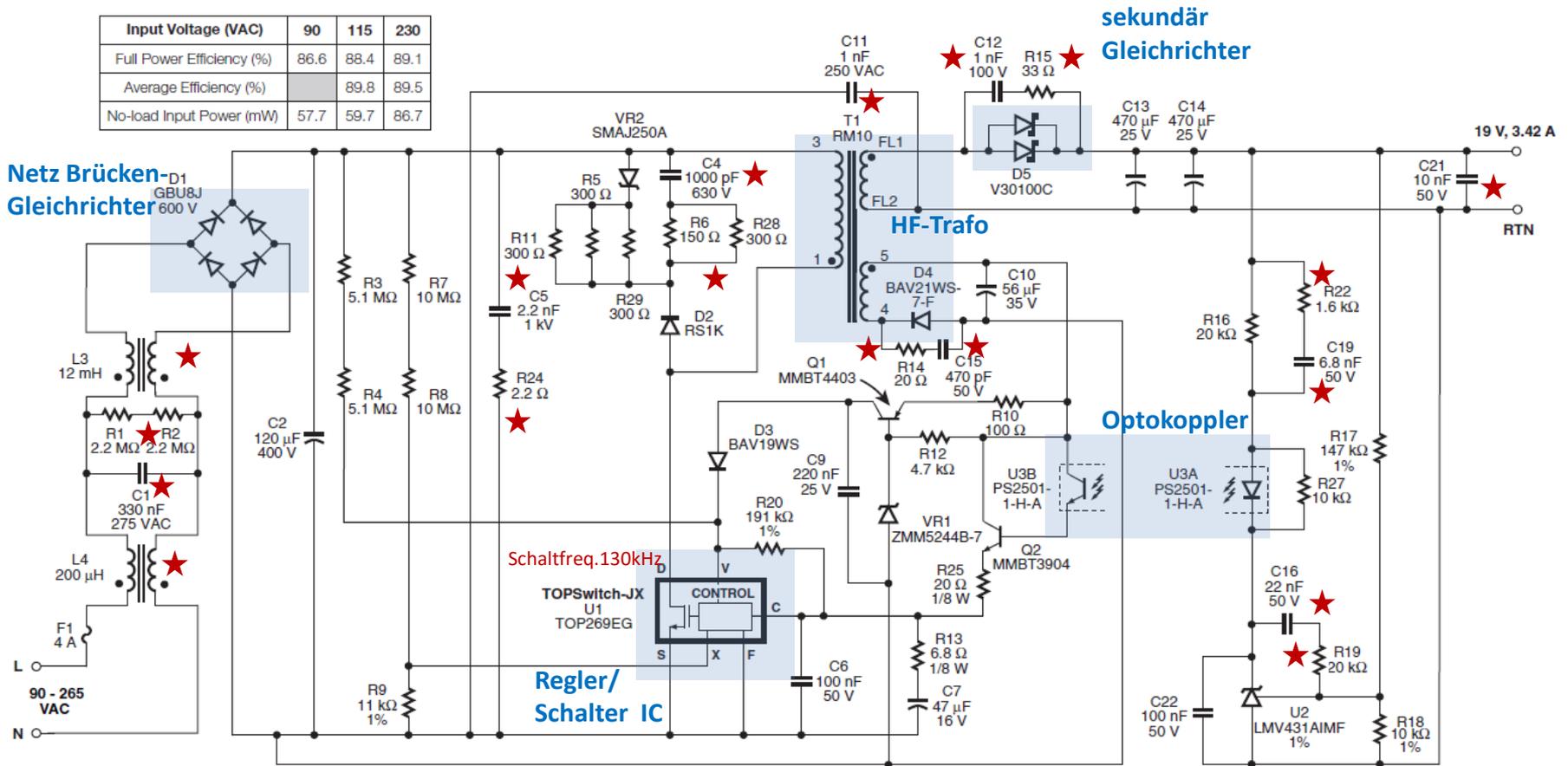
Während der Sperrphase wird die Ausgangsspannung auf die Primärseite rücktransformiert, so dass die Drain-Source-Spannung U_{DS} den doppelten Wert der Eingangsspannung betragen kann.



$L_{lk} \ \& \ C_d$ = Resonanzschwingung der Streuinduktivität mit der Drain-Source Kapazität nach dem Öffnen des Schalters.
 $L_p \ \& \ C_d$ = Resonanz der Gesamt Primär Induktivität mit der Drain-Source Kapazität. Sie tritt auf, sobald die Diode auf der Sekundärseite sperrt ($I_2 = 0$) und die Sekundärseite des Trafos damit hochohmig wird.

Typisches 19V Notebook Netzteil

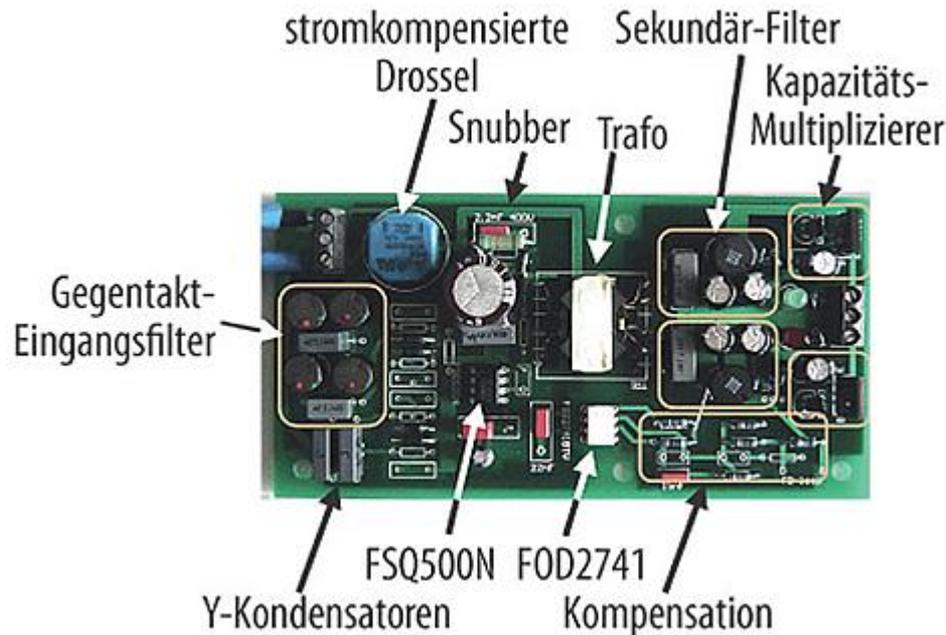
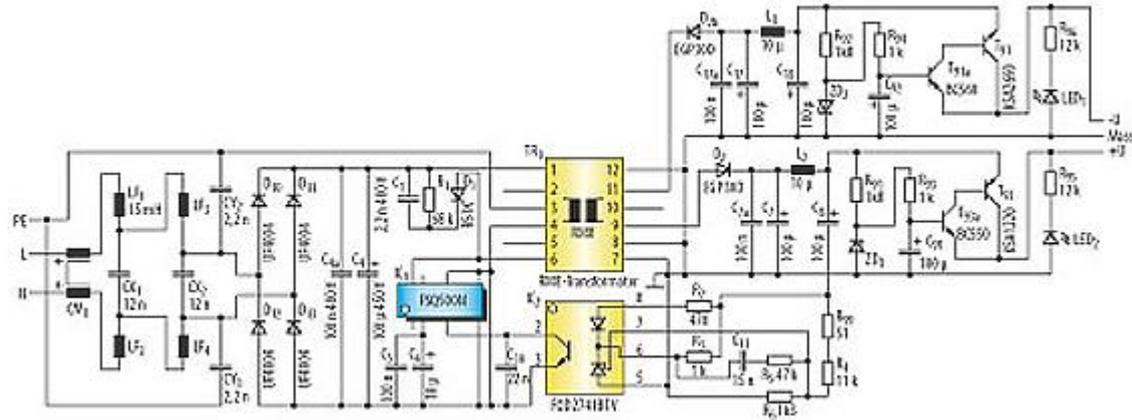
Input Voltage (VAC)	90	115	230
Full Power Efficiency (%)	86.6	88.4	89.1
Average Efficiency (%)		89.8	89.5
No-load Input Power (mW)	57.7	59.7	86.7



★ Bauteile mit Sternchen sind zur Entstörung

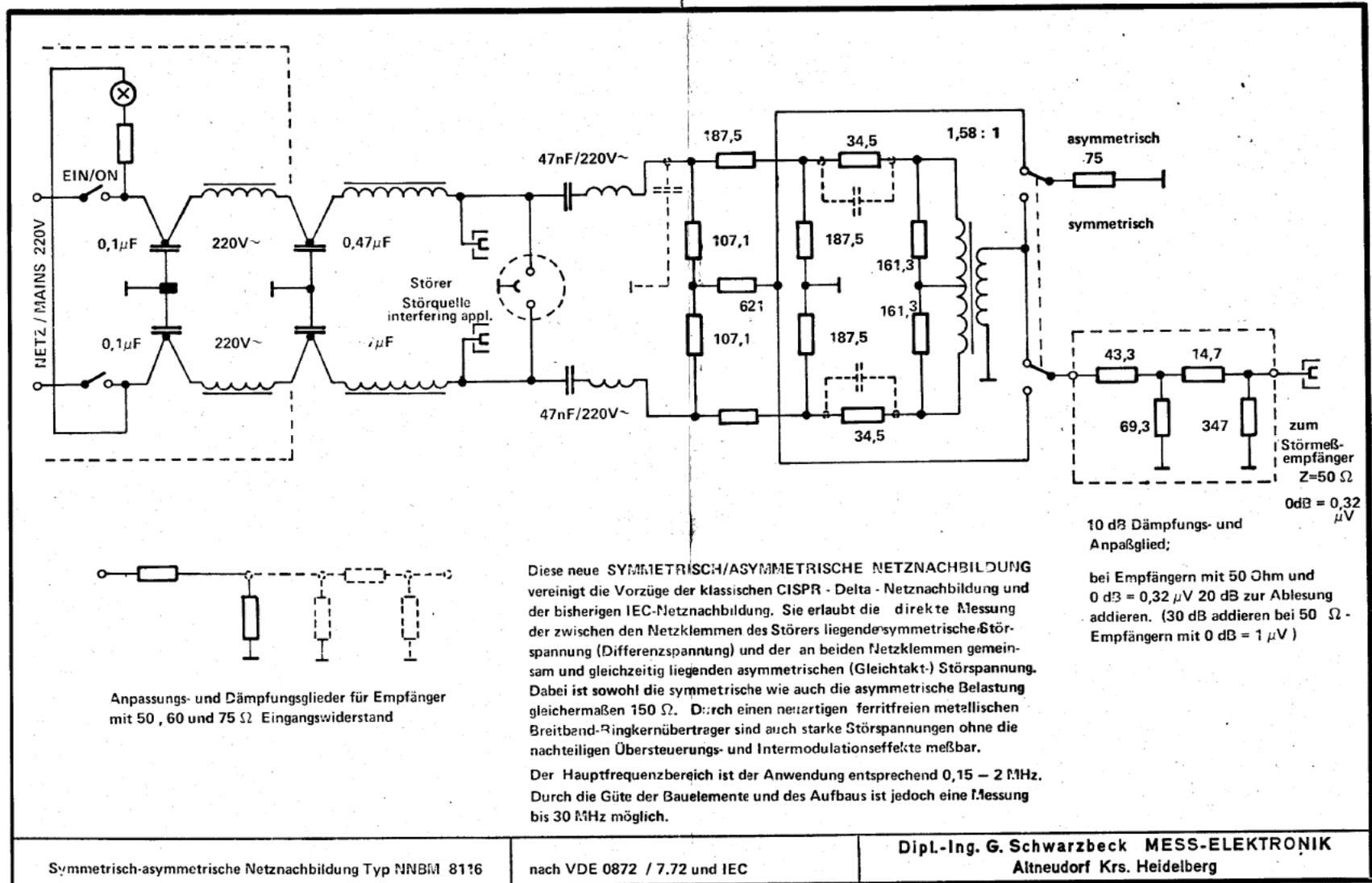
Referenz-Design eines störarmen Schaltnetzteils

<https://www.fairchildsemi.com/evaluate/application-notes/familyDetails?id=10571>



Quelle: Fairchild Semiconductor

Die verwendete Netznachbildung NNBM 8116



<http://schwarzbeck.de/de/>