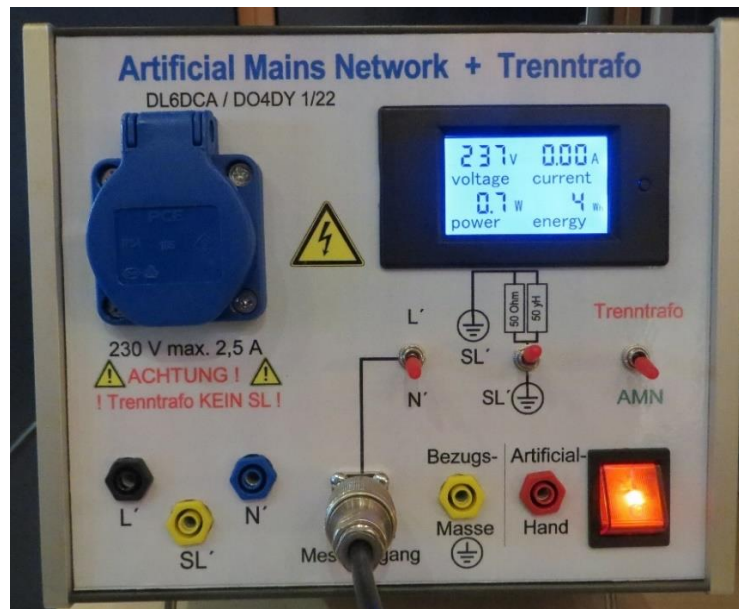


Bericht über den Selbstbau eines Artificial Mains Network

Wilhelm, DL6DCA, 27.01.2022



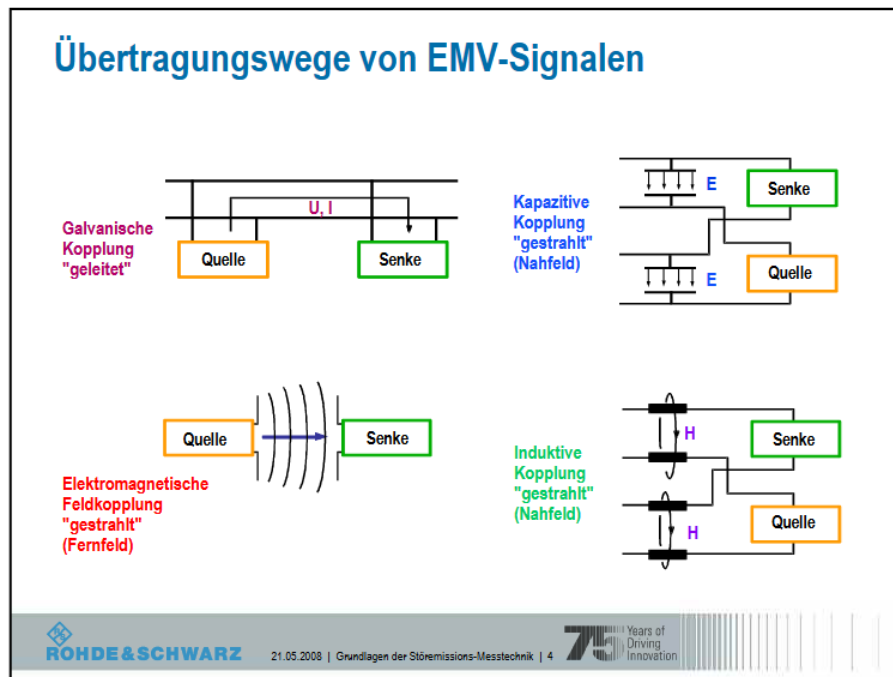
Frontansicht

Artificial Mains Network (AMN) oder auf Deutsch Künstliches Netzwerk, alternativ auch **Line Impedance Stabilisation Network (LISN)** genannt. Wofür wird so etwas benötigt?

Bekanntlich senden alle elektrischen oder elektronischen Geräte mehr oder weniger Störstrahlungen aus. Bei Motorgeräten sind es z.B. die Abreißfunken die ein wahres Feuerwerk bei breitem Frequenzspektrum mit sich bringen oder bei der Elektronik der LED-Beleuchtungskörper das Rauschen und Prasseln der elektronischen Wandlung von 230 V Netzspannung in eine für die LED verträgliche Gleichspannung. In allen Fällen entstehen Störspannungen, die sich leitungsgebunden quasi rückwärts in das Stromnetz ausbreiten und über die Zuleitungen in Form von elektromagnetischen Wellen abgestrahlt werden und sich störend bemerkbar machen. Wer im Bereich der KW-Bänder aktiv ist, kennt diese Effekte nur zu gut, die oft einen klaren Empfang unmöglich machen.

Der Gesetzgeber hat dieses auch erkannt und durch entsprechende Normung geregelt, dass diese Störungen entsprechend am Gerät ausreichend gedämpft werden müssen. Beispielhaft und nicht abschließend seien CISPR 16-1-2, EN 55016-1-2 und VDE 0876 genannt. Eine solche Regulierung ist erforderlich um z.B. ungestörten Radio- und Fernsehempfang zu gewährleisten. Aber auch der einfache Wecker oder die Uhr welche über DCF77 synchronisiert werden gehören dazu. Genauso die vielen Regelelektroniken, die sich mittlerweile in zahlreichen Gegenständen des täglichen Lebens befinden. Nicht zu reden über medizinische Hilfsmittel wie z.B. Herzschrittmacher oder Insulinpumpen. Wir reden hier vom großen Feld der **Elektromagnetischen Verträglichkeit**, kurz **EMV** genannt, die den störungsfreien Betrieb verschiedener elektrischer / elektronischer Geräte nebeneinander gewährleisten soll.

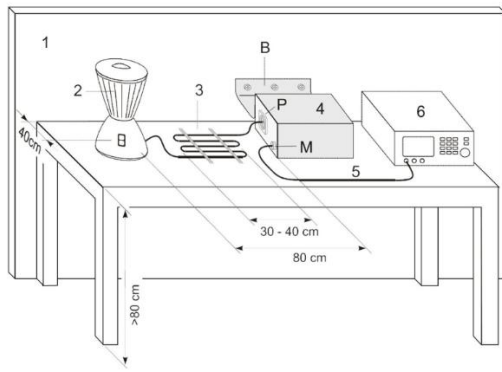
Zu unterscheiden sind bei diesen Störungen die leitungsgebundenen und die elektromagnetischen die von der Leitung abgelöst emittiert werden. In einem Vortragsskript der Firma Rohde&Schwarz [1] habe ich eine anschauliche Übersicht der möglichen Übertragungswege gefunden:



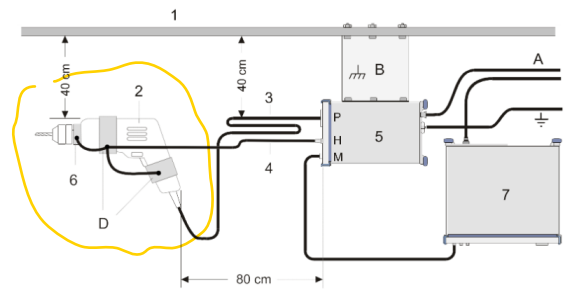
Zur Messung der leitungsgebundenen Störungen muss eine bereinigte Spannungsquelle bereitgestellt werden, die frei von solchen Störungen ist um im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz die Störungen des zu messenden Gerätes (DUT) unbeeinflusst selektieren zu können. Dazu dient der Aufbau eines AMN.

Störspannungen oberhalb von 30 MHz bis in den weiten GHz Bereich werden als elektromagnetische Wellen mittels Antennen erfasst. Hierbei sind entweder Absorberhallen- oder Freifeldmessungen, ggfs. auch **TEM** (Transverse Electromagnetic Cell) oder **GTEM** Zellen (Gigahertz Transverse Electromagnetic Cell) erforderlich. Der Messaufwand ist hier erheblich größer und von zahlreichen zu beachtenden Details geprägt. Leider ist es aus urheberrechtlichen Gründen kaum möglich an dieser Stelle Bilder zu zeigen. Wen es interessiert, einfach einmal bei Wiki nachsehen und entsprechend eine Suchmaschine bemühen.

Mir selber geht es darum, bei eigenen Geräten feststellen zu können, welches Störpotential in Form der leitungsgebundenen Störstrahlung in ihnen steckt und wie man die Situation verbessern kann. Eine normgerechte Messung ist nicht angestrebt und auch kaum machbar, wenn man sich einmal vor Augen führt, allein welcher räumliche und messplatzabhängige Aufwand zu betreiben wäre. Als Beispiel mag die folgende Beschreibung des Messplatzaufbaus nach CISPR dienen. Den Holztisch (vorgeschrieben, kein Metall!) könnte man vielleicht noch anderweitig nutzen, aber die 4 qm große Metallplatte? Vom notwendigen Raum mit entsprechenden Rahmenbedingungen ganz zu schweigen.



- 1 = Metal wall, at least 2 m x 2 m
- 2 = Equipment under test
- 3 = Cable in folded configuration
- 4 = Two-Line V-Network
- 5 = Shielded connection cable
- 6 = Test receiver
- B = Reference ground connection
- M = Test receiver connector
- P = Test device connector

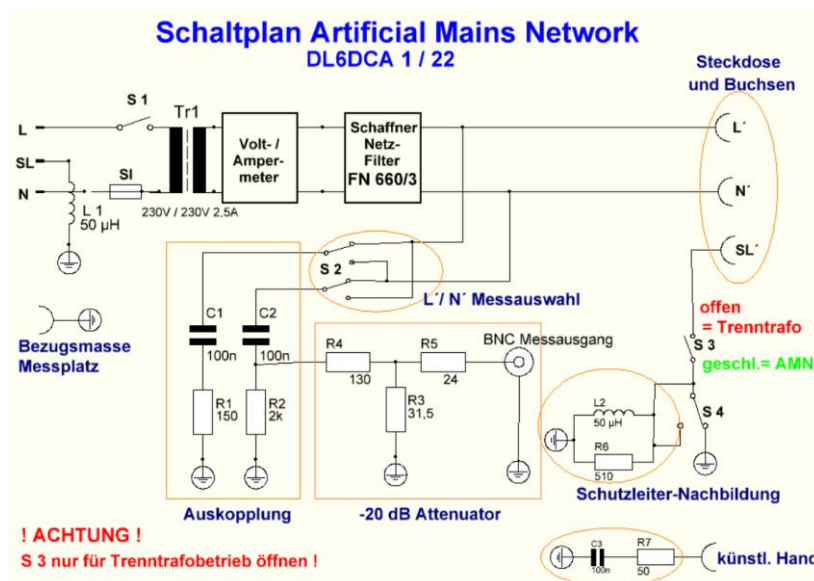


- 1 = Metal wall, at least 2 m x 2 m
- 2 = Equipment under test
- 3 = Connection cable
- 4 = Connection cable running separately to the hand simulation
- 5 = Two-Line V-Network
- 6 = Metallic collar capable being gripped
- 7 = Test receiver
- A = Power supply connection
- B = Reference ground connection, low-inductance (e.g. brass plate, 0.2 m)
- D = Metal foils
- H = Artificial Hand connector
- M = Test receiver connector
- P = Test device connector

Normgerechter Messplatzaufbau Bilder aus [2]

Angeregt durch die Testreihe mit Beleuchtungskörpern vom damaligen technischen Referenten des DARC, Thilo Kootz, DL9KCE, habe ich im Internet einmal recherchiert, welche Schaltungsmöglichkeiten für eine solche Messmöglichkeit bestehen. Neben den Angeboten der beiden deutschen Spitzenanbietern, Rohde&Schwarz sowie Schwarzbeck, fand ich auf der Homepage von DL2KHP, Hans-Peter, eine interessante Ausarbeitung [3]. Hans-Peter hat sich u.a. an einem Aufbau der Firma Schwarzbeck orientiert und mir nach Kontaktaufnahme auch noch einige ergänzende Unterlagen zur Verfügung gestellt. An dieser Stelle herzlichen Dank für den ham-spirit.

Der Idee von Hans-Peter folgend, habe ich meinen Aufbau gestaltet. Im folgenden Schaltbild erkennt man, dass die Netzspannung über einen Trenntrafo galvanisch vom Versorgungsnetz getrennt wird. Der Schutzleiter (SL) des Stromnetzes wird über L 1 mit dem Gehäuse des Gerätes verbunden. Hierdurch ist die Schutzleiterwirkung gegeben und es werden über den Schutzleiter keine oder nur geringe Störungen aus dem Netz auf das Gehäuse eingekoppelt.

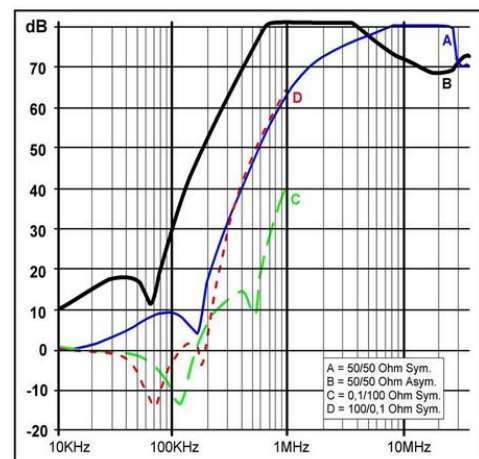


Schaltplan

Direkt danach ist ein digitales AC Multifunktionsmeter KT-D136 der Firma Ketotek eingebaut, welches neben Spannung und Strom auch die Leistung, letztere als aktuelle und bisher verbrauchte, anzeigt (s.a. Foto Frontansicht). Es folgt ein Netzfilter FN 660-3/06 der Firma Schaffner welches die aus dem Netz kommenden Störungen unterdrückt bzw. beseitigt. Der innere Aufbau besteht aus einer Kombination von Induktivitäten und Kapazitäten die wie ein Tiefpass wirken. Die Schaltung kann dem Foto entnommen werden, die Filterwirkung dem Diagramm; hier insbesondere die blaue Linie A. Hier sei der Hinweis für den Nachbauer eines solchen Filters gestattet, dass es sich bei den Kondensatoren um sogenannte X und Y Typen handelt, die auch im Falle des Versagens aufgrund des speziellen Aufbaus nicht dazu führen, das L bzw. N des Stromweges an den Schutzleiter kommen und u.U. zu einer Lebensgefahr (bei nicht korrektem Schutzleiter) führen!



Schaffner Netzfilter



Dämpfungseigenschaften des Netzfilter

Das Netzfilter hat eine Doppelfunktion. Es verhindert, dass Störungen aus dem Stromnetz zum Messabgriff kommen und verhindert gleichzeitig, dass Störungen des zu prüfenden Gerätes über die (Prüf-) Steckdose ins Netz gelangen.

Hinter dem Netzfilter wird durch C 1 und R 1 der Impedanzbezug des Netzes (hier 150 Ω) hergestellt und desweiteren über C 2 und R 2 die Störsignale ausgekoppelt. Der Auskopplung folgt ein 20 dB Dämpfungsglied (150 Ω Eingangs- bzw. 50 Ω Ausgangsimpedanz) welches mit der Messbuchse verbunden ist. Ebenfalls am Netzfilter sind die Prüf-Steckdose sowie die zusätzlichen Buchsen (L´, N´ und SL´) angeschlossen.

Durch Schalter S 2 kann wahlweise die Störstrahlung des L´- oder N´- Leiters abgegriffen werden, da die Beaufschlagung zwischen den Leitungen durchaus variieren kann.

Der ausgangsseitige Schutzleiter SL´ liegt entweder direkt an der gemeinsamen Masse, also SL des Stromnetzes und des AMN, oder hilfsweise über die RL Kombination R 6 / L 2, welche eine Schutzleiter Nachbildung darstellt. Diese dient dazu, Leitungslängen zu simulieren. Falls Entstörungsmaßnahmen beim zu prüfenden Gerät (**DUT = Device Under Test**) mittels Schutzleiter realisiert sind, kann es sein, dass bei längeren Zuleitungen diese nicht mehr oder nicht mehr richtig wirken. Durch Einschleifen der Schutzleiter-Nachbildung kann man dann testen, ob dem so ist.

Bei Geräten ohne anliegenden Schutzleiter, beispielsweise Handbohrmaschine oder Küchenmixer im voll isolierten Kunststoffgehäuse, kommt die Serienschaltung aus R 7 und C 3 als sogenannte Künstliche Hand zum Einsatz. Es wird hierbei hierbei Metallfolie im Bereich der üblicherweise mit der Hand gehaltenen Maschine gewickelt und mittels Messleitung an dieser Buchse angeschlossen. Dadurch wird praktisch die kapazitiv erdende Hand nachgebildet, die im normalen Gebrauch das Gerät umklammert; siehe Bild normgerechter Messplatzaufbau, wo eine entsprechend präparierte Bohrmaschine erkennbar ist.

Abweichend von den kommerziellen Geräten habe ich noch den Schalter S 3 eingebaut. Er dient dazu, den Schutzleiter von der ausgangsseitigen Steckdose zu trennen und so einen echten Trenntransformator zu haben. Beim Einsatz als AMN ist immer dieser Schalter zu schließen um den Schutzleiter an die Bezugsmasse zu legen, da nur so richtig gemessen werden kann.

An dieser Stelle ein **Gefahrenhinweis**: Auch wenn ein Trenntransformator eingebaut ist, besteht bei der gleichzeitigen Berührung von L´ und N´ **LEBENSGEFAHR**, da in diesem Falle 230 Volt berührt werden. Der hauseigene Fehlerstromschutzschalter RCD (oder alte Bezeichnung Fi-Schalter) wirkt hier, bedingt durch den Trenntrafo, nicht! Der alte Elektrikerrat, eine Hand in der Hosentasche zu haben, hat schon manches Leben gerettet. Also erst denken, dann handeln! Für Nachbauer meines Vorschlages übernehme ich keine Haftung, insbesondere nicht für ihr Handeln!

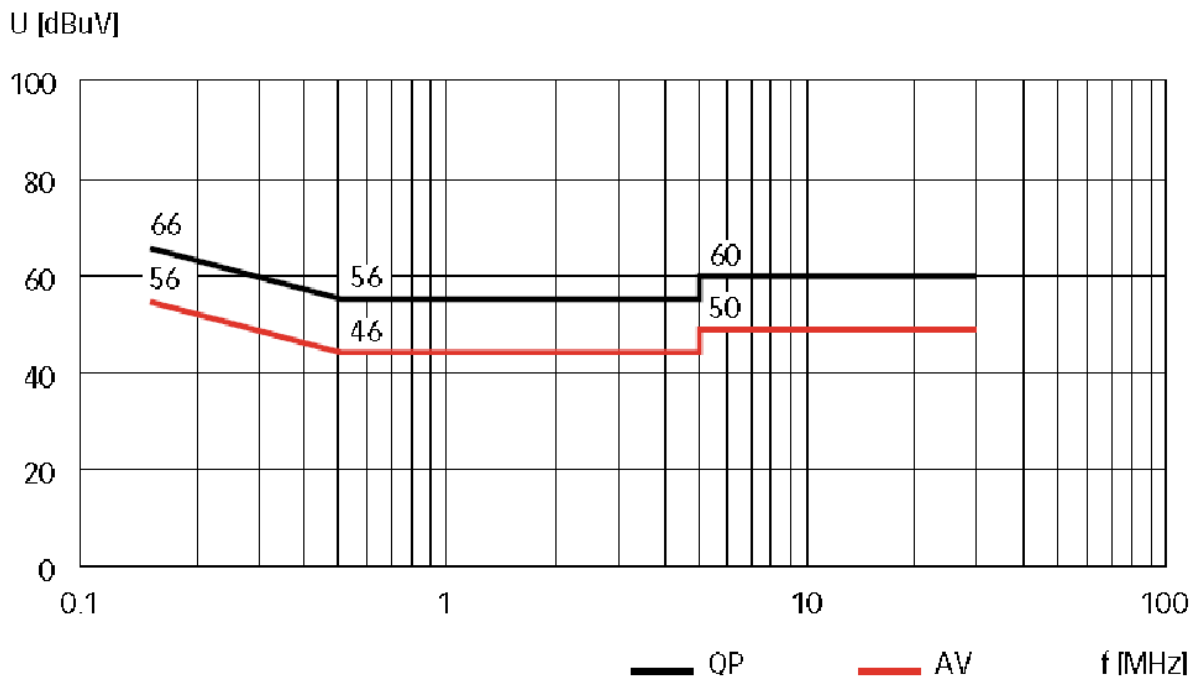


Innenansicht meines AMN

Soweit die Beschreibung meines AMN-Geräteaufbaus.

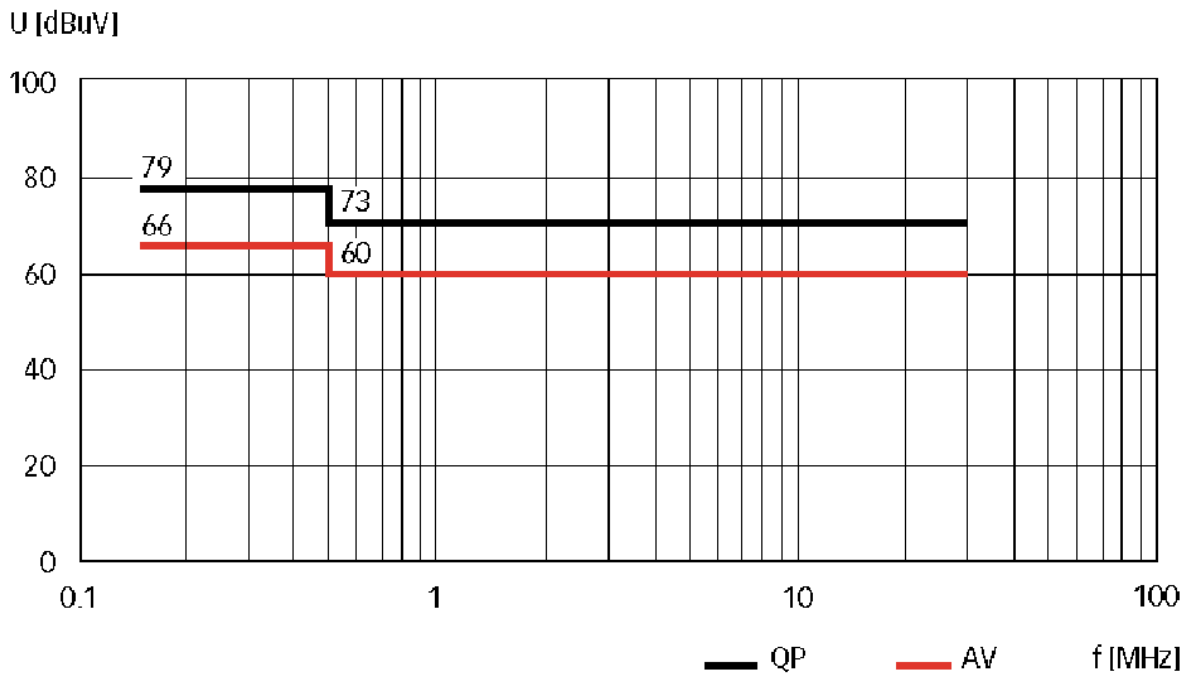
An den Messausgang des AMN können Spektrumanalysatoren, Oszilloskopen und Messempfänger zur messtechnischen Darstellung des Störverhaltens angeschlossen werden. Das interne Dämpfungsglied von 20 dB reicht aber nicht aus, bei Schaltvorgängen des zu testenden Gerätes die entstehenden Spannungsspitzen, auch Schalt-Transienten genannt, auf ein für die Messgeräte verträgliches Maß zu dämpfen. Hier ist auf jeden Fall noch ein Dioden-Limiter einzufügen, um eine Beschädigung des Messgeräte Eingang durch Überspannung auszuschließen. Die einfachste Lösung besteht aus zwei antiparallel angelegten Dioden, die spätestens bei 0,7 V die Spannungsspitzen kappen. Nachteil ist aber, dass diese Dioden auch von der zu messenden Störspannung zur Bildung von Oberwellen angeregt werden können, die dann das Messergebnis verfälschen. Über den Aufbau und die Wirkungsweise solcher Dioden-Limiter wird es einen gesonderten Bericht geben.

In der für Europa verbindlichen Regelung werden in der EN 61000 die max. zulässigen Leitungsgelundenen Störungen festgelegt. Dabei wird unterschieden zwischen Haushalts- und Industrieumgebung.



Grenzwerte für leitungsgelundene Störspannung 150kHz-30MHz für Haushalte nach EN61000-6-3

QP steht für Quasi Peak, und AV für Effektivwert = Average, vergleichbar der Spannungsangaben U_s und U_{eff} .

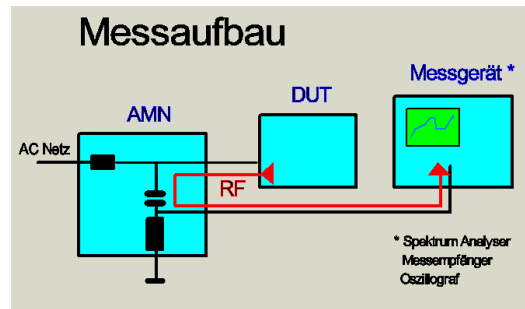


Grenzwerte für leitungsgelundene Störspannung 150kHz-30MHz für Industriebereiche nach EN61000-6-3.

Da nicht alle Messgeräte die Skalierung dB μ V sondern häufig nur dBm haben, hier eine Umrechnung der in der Grafik angegebenen Eckdaten, bezogen auf 50 Ω :

Haushalt	Industrie
66 dB μ V = -40,99 dBm	79 dB μ V = -27,99 dBm
56 dB μ V = -50,99 dBm	73 dB μ V = -33,99 dBm
60 dB μ V = -46,99 dBm	66 dB μ V = -40,99 dBm
50 dB μ V = -56,99 dBm	60 dB μ V = -46,99 dBm

Nun endlich zum Messvorgang:



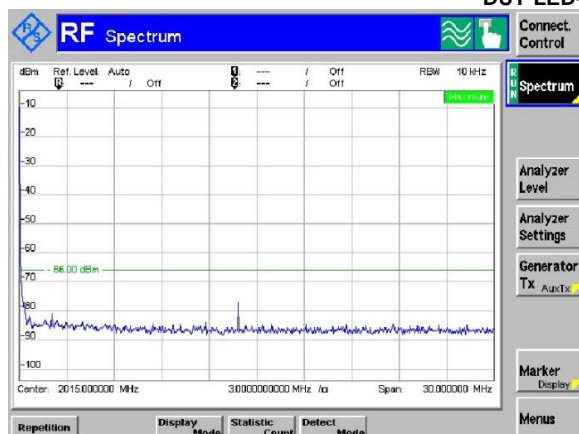
Zu beachten ist, dass im AMN ein 20dB Dämpfungsglied eingebaut ist und somit der am Messgerät abgelesene Wert entsprechend korrigiert werden muss. Sofern ein Dioden-Limiter eingesetzt wird, ist natürlich dessen Dämpfung zu addieren. Bei einigen Messgeräten kann eine entsprechende Korrekturvorgabe eingestellt werden, sodass es direkt zu einer korrigierten Anzeige kommt.

Bei meinem Messaufbau sind aufgrund eines externen Mischers weitere 7dB Dämpfung, also insgesamt 27dB zu berücksichtigen (gilt auch für die Screenshots).

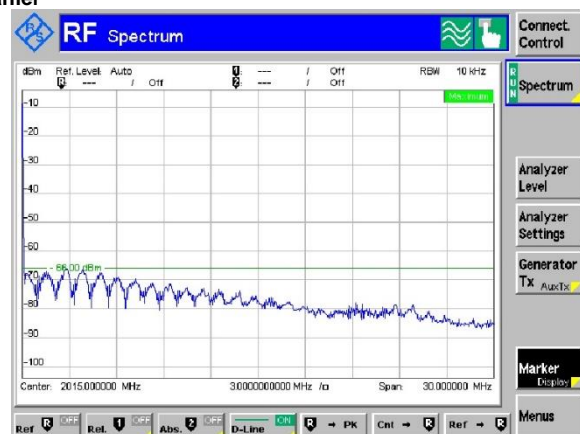
Als erstes wurde ein 6 Watt LED-Strahler aus fernöstlicher Produktion getestet:



DUT LED-Strahler



Screenshot ohne DUT

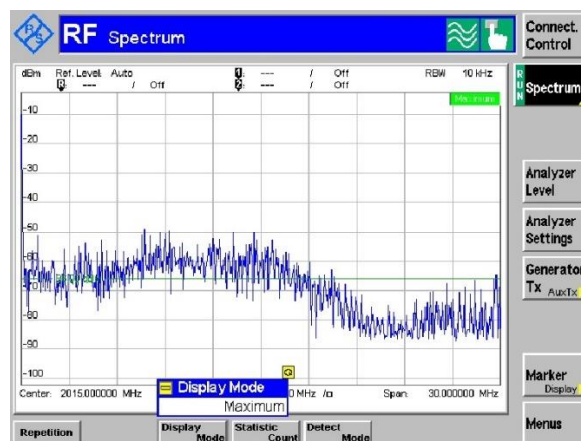


Screenshot mit DUT LED-Strahler

Das zweite Testobjekt ist eine kleine Handbohrmaschine, dem Typenschild nach mit Entstörungsmaßnahmen:



DUT Handbohrmaschine



Screenshot Handbohrmaschine

Bei der Betrachtung der Screenshots sind bei den Frequenzangabe Center 2000 MHz abzuziehen; sie resultiert aus einem zusätzlich vorgeschalteten Mischer, da das CMU200 sonst erst ab 10 MHz messen kann.

Sehr schön ist bei dem LED-Strahler zu sehen, dass die Spannungsregelung pulsartig erfolgt und daraus Oberwellen resultieren. Wenn man jetzt den gemessenen Spitzenwert -66 dBm im Bereich bis 5 MHz um die zuvor beschriebenen 27 dB korrigiert, kommt man auf einen Wert von -39 dBm und somit ist das Leuchtmittel gem. EN61000-6-3 im unzulässigen Bereich. Zulässig wären bei 150 kHz nur -41 dBm (= 66 dB μ V) abfallend bis 5 MHz nur -51 dBm (= 56 dB μ V), siehe Grenzwertdiagramm. Es ist zugegebener weise ein Leuchtmittel, welches ich aufgrund der Störungen aus meinem Hobbyraum entfernt und für solche Messzwecke verwahrt habe.

Die Handbohrmaschine fernöstlicher Herkunft schneidet nicht viel besser ab. Auch sie überschreitet die zulässigen Haushaltswerte. Wenn man sich den Bereich von 6 MHz bis 15 MHz einmal anschaut, werden hier Spitzen von -50 dBm erreicht. Korrigiert um 27 dB kommt man auf -23 dBm und überschreitet selbst die in der Industrie zulässigen $-33,9$ dBm.

Die beiden Messbeispiele sollten einfach mal den möglichen Einsatz des AMN zeigen. Es wird mit Sicherheit noch weitere interessante Messungen geben.

Wer sich näher mit dem Thema EMV beschäftigen möchte, findet im Internet unzählige Fundstellen. Weiterführende Informationen sind unten aufgeführt.

Über Rückfragen, Anmerkungen, Verbesserungsvorschläge würde ich mich freuen. Kontakt bitte per Mail dl6dca@darc.de oder Ortsfrequenz 144,575MHz.

73 de Wilhelm DL6DCA

Weiterführende Informationen:

A: http://archiv.swisstesting.ch/tl_files/images/emv2013/3_3_BARTH_Schaffner_Was_muss_ich%20wissen.pdf

B: https://www.tekbox.com/product/AN_spectrum_analyzers_for EMC_testing.pdf

C: <https://docplayer.org/36912017-Stromversorgungs-netznachbildungen-theoretische-grundlagen-der-impedanzmessung-dipl-ing-fh-rolf-heine.html>

D: Wer viel Zeit hat und es studieren möchte, hier eine mehrstündige und sehr informative Vorlesung einschließlich Videosequenzen: https://wiki.ei.htwg-konstanz.de/professoren_webseiten/rebholz/emv

E: <http://www.dh2mic.darc.de/emv-led/LED-Vortrag-Bebra-2018.pdf>

F: Jochen Jirmann, DB1NV, in Funkamateure 2 und 3/2008; Vereinfachte Netznachbildung für elektrische Kleinverbraucher

Fundstellen-/ Bildnachweis:

[1] https://ch.schurter.com/content/download/677216/13559252/file/Fachvortrag_Roschi.pdf

[2] https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuals/gb_1/e/env216_1/ENV216_UserManual_en_04.pdf

[3] <http://www.dl2khp.de/projekte/netznachbildung.html>