

Aktuelle Entwicklungen zur EMV im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz

Dipl.-Ing. Frank Deter, Miele & Cie. KG, Werk Oelde, Deutschland
Dipl.-Ing. Dipl.-Volksw. Gerd Dangriß, N-ERGIE Netz GmbH, Deutschland
Andreas Keim, M. Sc., SMA Solar Technology AG, Deutschland

1 Einleitung

In dem Beitrag „Neue Anforderungen zur Störspannung 9 kHz – 150 kHz inklusive neuer <integraler Grenzwerte> aus CIS/H/JWG-6“ zum EMV-Kongress 2020 wurde der damalige Stand der Arbeit in CIS/H/JWG-6 zur Einführung neuer allgemeiner Grenzwerte im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz beschrieben. Diese Arbeit ist inzwischen weitestgehend abgeschlossen. Das Dokument CIS/H/459/CDV wurde mit 100% Zustimmung der nationalen Komitees innerhalb von CISPR SC/H angenommen. Dieser Kongressbeitrag beschreibt den endgültigen Stand der Arbeit.

Mit den neuen Grenzwerten soll in erster Linie eine bessere Verträglichkeit von ungewollten Störgrößen mit Signalübertragungssystemen im öffentlichen Niederspannungsnetz erreicht werden. Auch Funkdienste in diesem Frequenzbereich werden ausreichend geschützt, wie 2020 bereits ausführlich gezeigt wurde.

Im zweiten Teil dieses Beitrags werden noch andere EMV-Probleme betrachtet, welche durch extensive Störemissionen im Bereich 9 kHz – 150 kHz entstehen können. Auch um diese Probleme zu vermeiden, sind die neuen Grenzwerte nützlich.

2 Normative Anforderungen im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz

Folgende normative Grenzwerte wurden festgelegt, linear fallend mit dem Logarithmus der Frequenz (siehe Abbildung 1):

- 9 kHz - 50 kHz: 120,5 dB(μ V) bis 110 dB(μ V)
- 50 kHz - 150 kHz: 104 dB(μ V) bis 80 dB(μ V)

Alle Messungen erfolgen mit dem Quasispitzenwertdetektor (QP) nach CISPR 16-1-1.

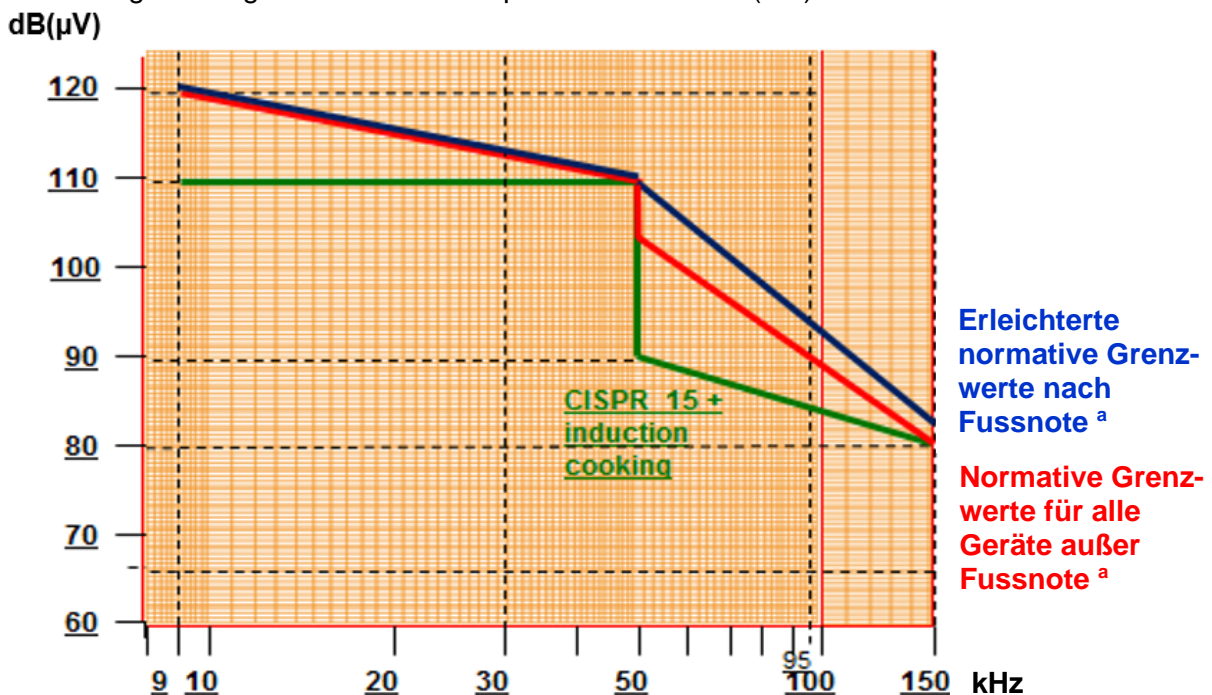


Abbildung 1: Grafische Darstellung der neuen normativen Grenzwerte im Bereich 9 kHz – 150 kHz

Für eine kleine Gruppe von Geräten wurde über eine lange diskutierte (normative) Fußnote ^a in der Tabelle eine gewisse Erleichterung festgelegt. Diese Erleichterung basiert auf der Annahme, dass solche Geräte nicht von mehr als 5 % der Kunden benutzt werden, die an den gleichen Mittelspannungs-Niederspannungs-Transformator angeschlossen sind.

Um Missverständnisse zu vermeiden, werden die Angaben zu der Fußnote hier im englischen Originaltext angeführt, inklusive einiger neuer Definitionen, die zum Verständnis der Fußnote notwendig sind:

Add the following new definitions:

3.1.xx

primary function

any function of an EUT considered essential for the user or for the majority of users

Note 1 to entry: An EUT may have more than one primary function. For example, the primary functions of a basic television set include broadcast reception, audio reproduction and display.

3.1.yy

UPS function

power supply function, that provides power during unintentional AC mains power supply interruptions

3.1.zz

Adjustable speed electric power drive function

a power drive system function which provides adjustable speed AC or DC motor drives and can convert input and/or output voltages (line-to-line voltage).

Auf der Basis dieser neuen Definitionen wurde folgende Fußnote ^a in die Grenzwerttabelle eingefügt (hier auch original in Englisch):

^a For equipment with a primary function according to 3.1.yy or 3.1.zz, the following limits may be applied: 110 dB(µV) to 82,5 dB(µV) Quasi-peak. When these relaxed limits are applied, it shall be recorded in the test report and a notification shall be added in the user manual of the equipment. The notification shall state that such equipment has a higher risk of interference and specific measures might be required for its installation and operation, or it might be necessary to disconnect the equipment.

Eine informative Messung, ob die eingeführten normativen Grenzwerte im Bereich 9 kHz – 150 kHz eingehalten werden, ist mit dem vorhandenen Equipment zur Messung der Störspannung von 150 kHz bis 30 MHz möglich. Werden Funkstörmessempfänger verwendet, die im Zeitbereich arbeiten, steigt im Allgemeinen nicht einmal der Zeitaufwand, die Messergebnisse von 9 kHz – 30 MHz werden praktisch fast genauso schnell ermittelt wie vorher von 150 kHz – 30 MHz.

3 Informative Anforderungen im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz

Wie bereits in dem Beitrag von 2020 beschrieben, entstand der Marktbedarf für neue Grenzwerte im Bereich 9 kHz – 150 kHz hauptsächlich durch die steigende Verwendung von netzgebundenen Kommunikationssystemen in diesem Frequenzbereich. Diese sogenannten MCS (Mains Communicating Systems) arbeiten aber deutlich breitbandiger als die vorhandenen Funkdienste in diesem Frequenzbereich. Die in Abschnitt 1 beschriebenen schmalbandigen normativen Grenzwerte, gemessen mit 200 Hz Bandbreite, können nicht überall einen zufriedenstellenden Schutz der MCS garantieren. Sie sind aus den Verträglichkeitspegeln in IEC 61000-2-2 [1] abgeleitet, welche einen Kompromiss zwischen ökonomischen und störtechnischen Erwägungen darstellen. Eine Einigung auf die in Abschnitt 2 beschriebenen Grenzwerte war in der CIS/H/JWG6 nur möglich, wenn gleichzeitig zumindest informativ weitere Empfehlungen für die spektrale Dichte der Störspektren gegeben werden.

Die Arbeitsgruppe hat hier Neuland beschritten und sogenannte „IVL“ („Integral Voltage Levels“) eingeführt. Dabei wurde am Ende anstelle des ursprünglichen geplanten QP-Detektors der Mittelwertdetektor (AV = Average) verwendet, weil der AV-Detektor rein physikalisch deutlich besser zur Beurteilung einer Spektraldichte geeignet ist als der QP-Detektor.

Die IVL werden nach folgender Formel berechnet:

$$IVL_{f_{start}-f_{stop}} [dB(\mu V)] = 20 \log \sqrt{\frac{\Delta f_{step}}{200 \text{ Hz}} \sum_{f_{start}}^{f_{stop}} U_{AV}^2(f) [V]} \cdot \frac{1}{1 \mu V}$$

Wobei:

- $IVL_{f_{start}-f_{stop}} [dB(\mu V)]$ IVL im Frequenzbereich $f_{start} - f_{stop}$ in $dB(\mu V)$
- $U_{AV}(f) [V]$ Störspannung in V, ohne Konversion in dB, gemessen in jedem Frequenzschritt mit dem AV-Detektor nach CISPR 16-1-1:2019 und mit einer Bandbreite von 200 Hz.
- Δf_{step} Frequenzschrittweite: Dieser Wert sollte 100 Hz oder weniger betragen, in Übereinstimmung mit CISPR 16-2-1:2014+A1:2017, um die Messunsicherheit für schmalbandige Signale zu verringern. Eine Frequenzschrittweite von 100 Hz ist äquivalent zu einer 50%-igen Überlappung der benachbarten 200 Hz Fenster.

Ursprünglich wurden die IVL-Werte in CIS/H/JWG6 für lückenlose, nicht überlappende Frequenzfenster entwickelt. Eine Überlappung ist aber notwendig, weil die Frequenzfenster in den Messempfängern nach CISPR 16-1-1:2019 eine Selektivität von -6 dB haben. Das heißt, an den Rändern des Frequenzfensters wird 6 dB weniger registriert als in der Mitte. Durch die Überlappung der Fenster während eines Frequenzscans werden alle Signale mit einer korrekten Amplitude innerhalb der geforderten Messunsicherheit empfangen. Für die Berechnung der IVL wird die Überlappung durch das Verhältnis „ $\Delta f_{step}/200 \text{ Hz}$ “ wieder korrigiert.

Die Formel ist nur dazu geeignet, die Emissionen zu summieren, die zu einem bestimmten Zeitpunkt existieren. Bei fluktuierenden Emissionen ist es bei Funkentstörungsmessungen üblich, mehrmals zu messen und die jeweils höchsten Messwerte zu speichern. Alle Messempfänger haben dafür eine Max-Hold-Funktion. Das bringt das richtige Ergebnis für den Vergleich mit den schmalbandigen normativen Grenzwerten. Eine Bestimmung der IVL von Max-Hold-Werten“ würde aber zu einer Überbewertung der Spektraldichte führen. Die Formel soll also nur auf die Messwerte von einem einzelnen Frequenzdurchlauf angewendet werden.

Es wird empfohlen, folgende IVL nicht zu überschreiten:

Frequenzbereich (kHz)	Empfohlene maximale IVL, AV-Detektor
9 kHz – 30 kHz ($f_{start} = 9,1 \text{ kHz}$; $f_{stop} = 30 \text{ kHz}$)	123 dB(μV)
30 kHz – 50 kHz ($f_{start} = 30,1 \text{ kHz}$; $f_{stop} = 50 \text{ kHz}$)	115 dB(μV)
50 kHz – 95 kHz ($f_{start} = 50,1 \text{ kHz}$; $f_{stop} = 95 \text{ kHz}$)	104 dB(μV)

Tabelle 1: Empfohlene IVL-Werte für allgemeine Geräte

Für Geräte nach Fußnote ^a werden etwas höhere IVL empfohlen:

Frequenzbereich (kHz)	Empfohlene maximale IVL, AV-Detektor
9 kHz – 50 kHz ($f_{start} = 9,1 \text{ kHz}$; $f_{stop} = 50 \text{ kHz}$)	126 dB(μV)
50 kHz – 150 kHz ($f_{start} = 50,1 \text{ kHz}$; $f_{stop} = 150 \text{ kHz}$)	112 dB(μV)

Tabelle 2: Empfohlene IVL-Werte für Geräte nach Fußnote ^a

Die folgende Tabelle aus [3] zeigt anhand von zwei untersuchten beispielhaften Störspektren die Beziehung zwischen den IVL und der Störung von MCE („Mains Communicating Equipment“):

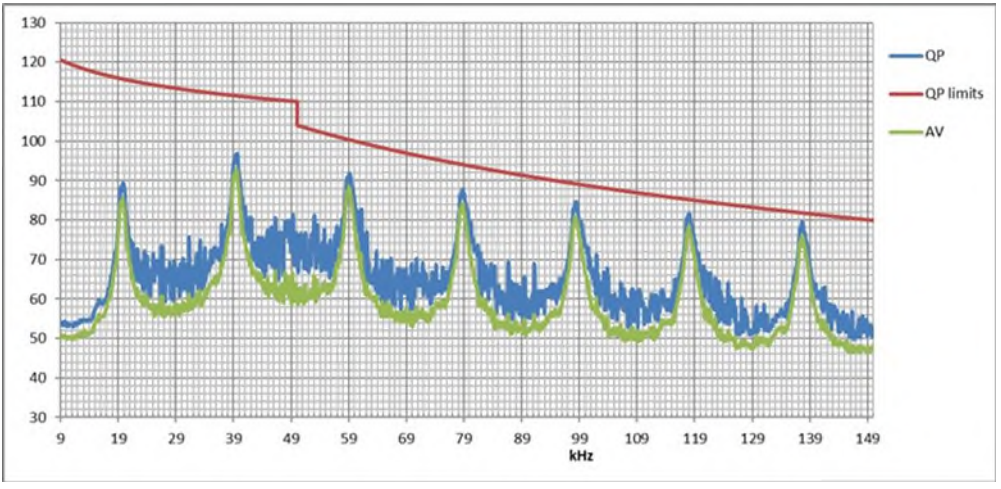
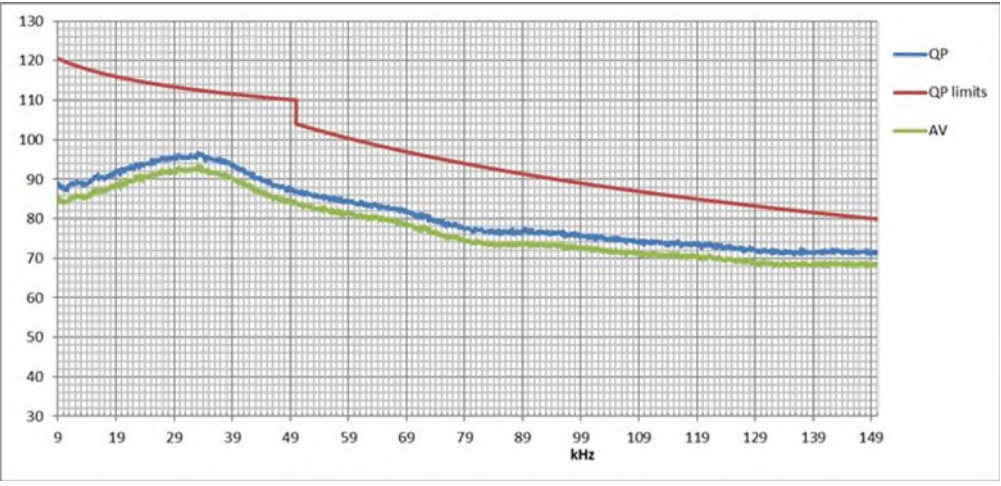
Source	Integral Voltage Levels (IVL) [dB(μ V)], in the range f_{start} to f_{stop} [kHz]					MCE communication performance
	9 kHz – 30 kHz	30 kHz – 50 kHz	50 kHz – 95 kHz	9 kHz – 50 kHz	50 kHz – 150 kHz	
Device A	96 (QP) 92 (AV)	104 (QP) 100 (AV)	101 (QP) 97 (AV)	105 (QP) 100 (AV)	102 (QP) 98 (AV)	Lower disturbing effect
						
Device B	113 (QP) 110 (AV)	113 (QP) 110 (AV)	106 (QP) 102 (AV)	116 (QP) 113 (AV)	106 (QP) 103 (AV)	Higher disturbing effect
						

Tabelle 3: Störwirkung verschiedener Spektren in Abhängigkeit der IVL

Es ist schwierig, die Störwirkung auf die vielen unterschiedlichen leitungsgebundenen Kommunikationssysteme einheitlich zu quantifizieren. Experimentell wurde aber in jedem Fall eindeutig festgestellt, dass höhere IVL des Störspektrums eine höhere Störwahrscheinlichkeit für die netzgebundenen Kommunikationssysteme bringt.

Eine Einhaltung der empfohlenen IVL bedeutet allerdings noch keine Garantie, dass alle MCE störungsfrei funktionieren. Aber das gleiche gilt auch für die normativen Grenzwerte zum Schutz der Funkdienste.

Man kann die Empfehlung zur Einhaltung dieser IVL von zwei Seiten betrachten:

- Als Betreiber von MCE:
Wenn alle Geräte die empfohlenen IVL einhalten, steigt die Wahrscheinlichkeit eines störungsfreien Betriebs der MCE.

- Als Hersteller von Geräten mit ungewollter Störaussendung:
Wenn ein Gerät die empfohlenen IVL einhält und trotzdem ein Störfall auftritt, kann die Störfestigkeit der betroffenen MCE in Frage gestellt werden. In diesem Fall sollte die Verantwortung zur Wiederherstellung einer normalen Kommunikation beim Betreiber der MCE liegen, beispielsweise mittels einer Erhöhung der Signalamplitude durch den Einbau zusätzlicher sogenannter „Repeater“.

Im Moment sind den Autoren noch keine Messempfänger bekannt, welche auch die IVL gleich mit ausrechnen. Für die Zukunft wird erwartet, dass entweder im Messempfänger selbst oder in einer mitgelieferten Steuer-Software diese Rechnungen mit durchgeführt werden können.

Wer jetzt schon die Störaussendung von Geräten auf Einhaltung der empfohlenen IVL prüfen möchte, kann das zum Beispiel durch folgende Schritte tun:

1. Exportieren der Werte für jedes einzelne Frequenzfenster in eine Excel-Datei.
2. Umrechnen der Amplitudenwerte jedes Frequenzfensters von dB(μ V) in V.
3. Berechnung der IVL für die entsprechenden Frequenzbereiche unter Berücksichtigung der Schrittweite des Frequenzdurchlaufs nach der oben gezeigten Formel.

Wenn man erstmal eine Excel-Vorlage erstellt hat, ist der zusätzliche Zeitaufwand für die Bestimmung der IVL relativ gering.

4 Weitere Entwicklung der normativen und informativen Anforderungen

CIS/H/459/CDV [3] ist nur eines von 4 Fragmenten in den Ergänzungen zu der Fachgrundnorm Störaussendung Wohnbereich [5], an denen derzeit gearbeitet wird. Weitere 3 Fragmente werden noch deutlich kontroverser diskutiert:

- Fragment 1 (Verschiedenes) – CDV positiv abgestimmt, aber mit 4 Nein-Stimmen
Zum Fragment 1 wird möglicherweise ein zweites CDV herausgegeben, weil noch technische Änderungen vorgenommen werden. Das ist jetzt auch bei einem positiv abgestimmten CDV möglich.
- Fragment 3 (Grenzwerte für Magnetfelder 9 kHz – 30 MHz) – CD-Status
- Fragment 4 (Grenzwerte für DC-Stromversorgung) – CD-Status

Bei einer Fragmentierung der Normungsarbeit muss aber nach den IEC-Richtlinien über ein FDIS (Final Draft International Standard) abgestimmt werden, in dem alle Fragmente vereint wurden. Wenn diese 3 Fragmente zusammen mit dem Fragment 2 in einem FDIS zur Abstimmung gegeben werden, ist ein positives Ergebnis fraglich, weil sich die negativen Stimmen zu den einzelnen Fragmenten durchaus ungünstig addieren können, auch wenn jedes CDV einzeln die Abstimmung bestanden hat.

Fällt ein einzelnes Fragment schon bei der Abstimmung zum CDV durch, wird es natürlich nicht in das FDIS eingebaut. Andererseits kann auch bei 100% Zustimmung zu einem CDV (wie beim Fragment 2) diese Normänderung nicht direkt veröffentlicht werden.

Deshalb liegen die hier beschriebenen Ergänzungen für den Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz seit Ende 2022 „auf Eis“.

Im Moment wird diskutiert, entweder:

- Die Fragmente 3 und 4, welche noch keinen CDV-Status erreicht haben und noch kontrovers diskutiert werden, in die nächste Maintenance von IEC 61000-6-3 zu verschieben und F1 und F2 in einem FDIS zusammenzufassen oder
- zumindestens den Inhalt von CIS/H/459/CDV [3] vorübergehend als PAS „Publicly Available Specification“ zu veröffentlichen. Eine Entscheidung darüber wird wahrscheinlich auf der nächsten Sitzung von CIS/H/WG1 im Februar 2024 getroffen.

Eine veröffentlichte PAS würde die Einschätzung der Autoren dieses Beitrags unterstützen, den Inhalt von CIS/H/459/CDV bereits jetzt als „Stand der Technik“ zu betrachten.

5 EMV-Probleme im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz, die nichts mit der Kommunikation über Niederspannungsnetze zu tun haben

Als Beispiel wird folgender Störfall betrachtet:

Ein Haushaltgerät funktionierte nicht mehr ordnungsgemäß, aber nur wenn die Sonne schien.

An der Steckdose wurde bei Sonne folgende Spannungsform oszillografiert:

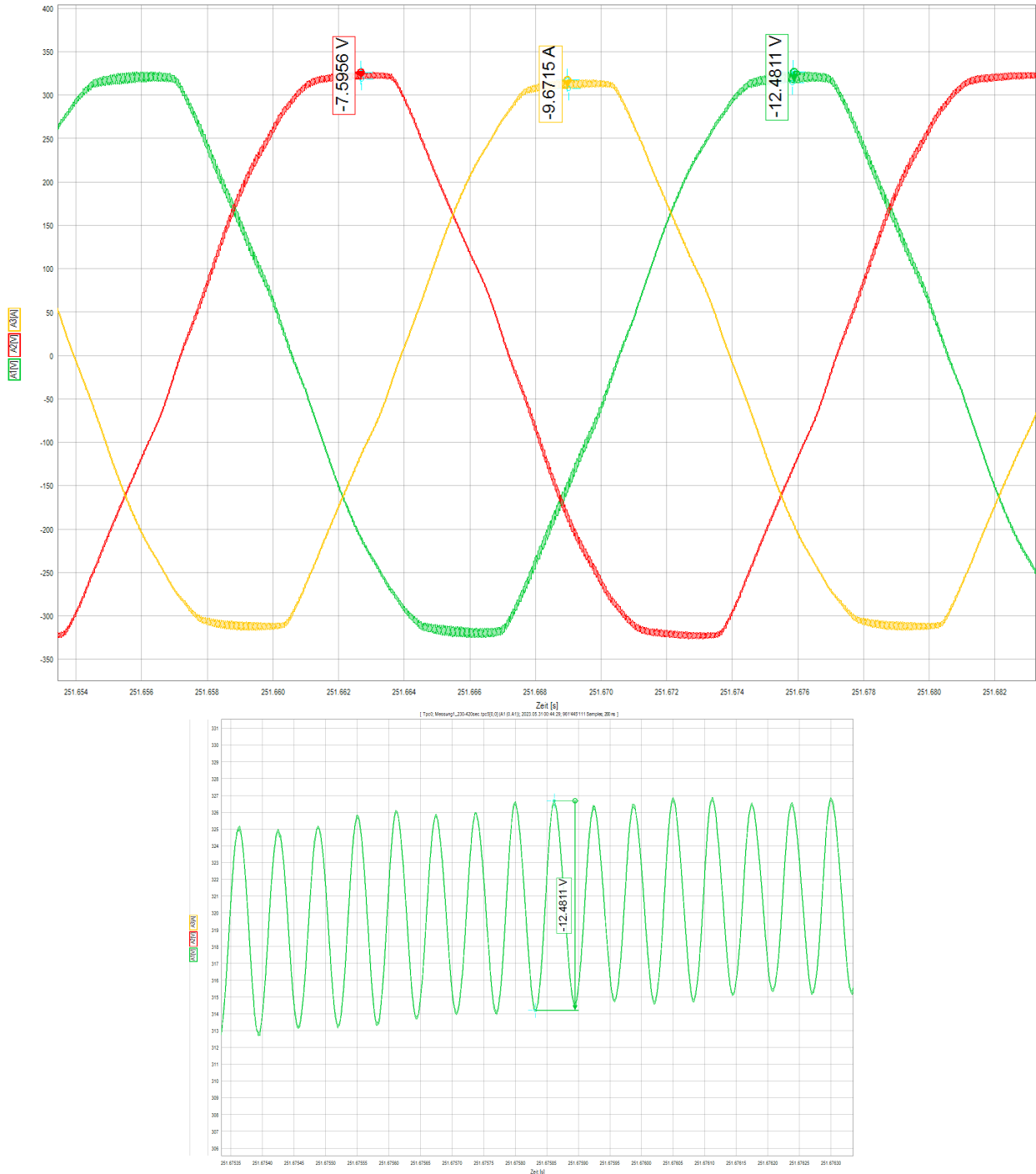


Abbildung 2: Grafische Darstellung der Spannung in einem Wohnhaus mit nicht entstörter Photovoltaikanlage.

Der normalen Netzspannung war eine Sinusspannung überlagert mit einer Frequenz von etwa 16 kHz und Amplituden (bei voller Sonne) bis zu 12,5 V (Spitze-Spitze). Das sind etwa 142 dB(μ V). Diese Spannung wurde von einem Photovoltaik-Wechselrichter erzeugt.

Das Haushaltgerät hat erkannt, dass mit der Stromversorgung etwas nicht stimmt und aus Sicherheitsgründen abgeschaltet: Bei Sonne gab es grundsätzlich keine normale Funktion mehr. Der Nutzer beschwert sich natürlich als Erstes beim Hersteller des Haushaltgerätes.

Der Grenzwert nach CIS/H/459/CDV bei 16 kHz beträgt etwa 117 dB(µV), umgerechnet etwa 0,7 V. Mit solchen Werten hätte das besagte Haushaltgerät kein Problem. Bereits bei einer Reduzierung der Störspannungsamplitude auf Werte < 5 V (Spitze-Spitze) war die Funktionsstörung verschwunden.

Bei der Untersuchung dieses Störfalls wurde aber festgestellt, dass die Funktionsstörung gar nicht das gravierendste Problem darstellt. Als wesentlich gefährlicher schätzen die Autoren dieses Beitrags die unkontrollierten Blindströme ein, die entstehen können, wenn eine produzierte Störspannung in der festgestellten Größenordnung in den Bereich einer Resonanz der Leitungsinduktivitäten mit der Eingangskapazität der angeschlossenen Geräte kommt.

Abbildung 3 verdeutlicht dieses Problem.

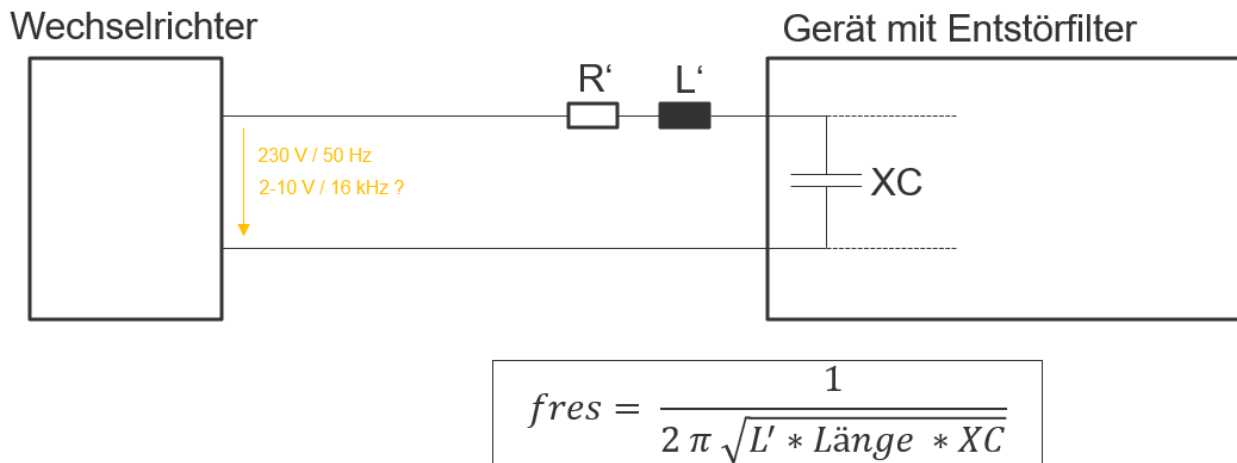


Abbildung 3: Mögliche Entstehung einer Resonanz

In Abbildung 3 sind:

- XC Eingangskapazität eines Gerätes
- L' Induktivitätsbelag der Verbindungsleitungen zwischen Wechselrichter und Gerät mit Entstörfilter
- R' Widerstandsbelag der Verbindungsleitungen

Die Eingangskapazität eines Gerätes kann mehrere µF betragen. Ein typischer Induktivitätsbelag von Leitungen in einem Haus ist 0,6 µH/m bis 0,8 µH/m. Interessant dabei ist, dass der Induktivitätsbelag nicht nur von dem verwendeten Draht abhängt, sondern auch von der Lage des Leiterpaares innerhalb eines Kabels. Liegen die Kabel nahe beieinander, ist der Induktivitätsbelag kleiner, siehe Abbildung 4.

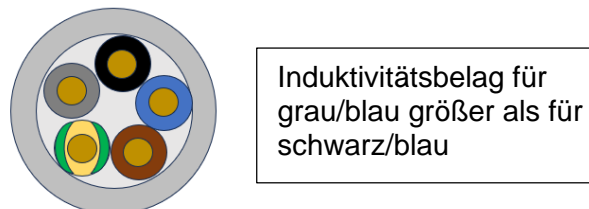
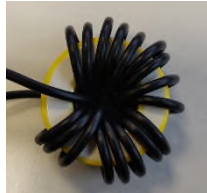


Abbildung 4: Unterschiedliche Induktivitätsbeläge innerhalb eines 5-adrigen Kabels

Bei $XC = 4,7\text{ }\mu\text{F}$ und einer Leitungslänge von 20 m hat der entstandene Schwingkreis eine Resonanzfrequenz von etwa 16 kHz. Dieser Schwingkreis hat eine geringe Güte. Auch wenn die Schaltfrequenz des Wechselrichters nicht genau der entstandenen Resonanzfrequenz entspricht,

können schon ständige Blindströme von einigen Ampere fließen. In dem konkreten Störfall wurde ein 16 kHz Blindstrom von bis zu 5,6 A gemessen. Wenn dann in diesem Schwingkreis an bestimmten Stellen innerhalb oder außerhalb der Geräte ein erhöhter Widerstand zur Erhitzung führt, entsteht ein nie geprüftes Sicherheitsrisiko bezüglich Brandgefahr.

Die Werte von Induktivität und Kapazität in diesem ungewollt entstandenen Schwingkreis sind nicht vorhersehbar: Die Leitungslängen und die Induktivitätsbeläge sind in jedem Fall unterschiedlich und es können mehrere Geräte mit einer signifikanten Eingangskapazität (beispielsweise im Funkentstörfilter) an dem Schwingkreis angeschlossen sein. Es wäre also sehr schwierig, das Problem generell durch die Wahl anderer Schaltfrequenzen zu lösen.



In dem beschriebenen Störfall konnte durch Einsatz einer zusätzlichen Induktivität von 50 μH in jeder Phase die Resonanzfrequenz der Schwingkreise so verstimmt werden, dass die Blindströme auf ungefährliche Werte reduziert wurden.

Abbildung 5: Drossel zur Verstimmung der Schwingkreise

Eine generelle Lösung wäre, alle Wechselrichter im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz auf die Werte nach CIS/H/459/CDV [3] zu entstören.

6 Zusammenfassung

Das Dokument CIS/H/459/CDV [3] enthält sowohl normative Grenzwerte für den Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz, als auch informative „Integral Voltage Levels“, die in die Fachgrundnorm Störaussendung Wohnbereich [5] integriert werden sollen.

Auch wenn die Veröffentlichung dieser Änderungen in der Fachgrundnorm noch auf sich warten lässt, können diese Anforderungen und Empfehlungen bereits jetzt als „Stand der Technik“ betrachtet werden, vor allem auch wegen der 100%igen Zustimmung aller Nationalen Komitees in CISPR SC/H zu diesen Änderungen.

Die Autoren dieses Beitrags empfehlen dringend, schon jetzt diese neuen Grenzwerte einzuhalten, auch wenn sie noch nicht von einer Produktnorm normativ gefordert werden. Auch die empfohlenen IVL sollten nach Möglichkeit eingehalten werden – zumindest sollte ein Hersteller wissen, mit welchen zusätzlichen Maßnahmen man sie einhalten kann. Das würde einen nachträglichen Einbau dieser Maßnahmen ermöglichen, wenn in der Praxis ein Störfall auftritt.

Eine komplette Missachtung der EMV-Anforderungen in diesem Frequenzbereich, inklusive der Verträglichkeitspegel in [1], kann sehr schnell EMV-Probleme in der Praxis erzeugen, und zwar nicht nur bei netzgebundenen Kommunikationssystemen. Speziell wird auf die mögliche Entstehung von Sicherheitsproblemen durch hohe Blindströme in ungewollt entstehenden Schwingkreisen aufmerksam gemacht.

Literatur

- [1] IEC 61000-2-2:2002+AMD1:2017+AMD2:2018 CSV, Edition 2.2 (2018-05-09)
- [2] Electromagnetic compatibility (EMC) - Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems
- [3] Deter, Lavenu, Kootz “Neue Anforderungen zur Störspannung 9 kHz – 150 kHz inklusive neuer ‘integraler Grenzwerte’ aus CIS/H/JWG-6“, Beitrag zum EMV-Kongress Köln, 2020
- [4] CIS/H/459/CDV “IEC 61000-6-3/AMD1/FRAG2 ED3 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-3: Generic standards - Emission standard for equipment in residential environments”
- [5] CISPR 16 Serie
- [6] IEC 61000-6-3:2020 “Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-3: Generic standards - Emission standard for equipment in residential environments”