

Revision der IEC 61000-4-7 (Oberschwingungsmessgeräte) mit besonderer Beachtung des Einflusses der Länge des FFT-Messfensters

Dipl.-Ing. Frank Deter, Miele & Cie. KG, Werk Oelde, Deutschland
Prof. Dr.-Ing. Jens Göttle, DHBW Karlsruhe, Deutschland
Mathieu van den Bergh, CNS Poway, USA

1 Einleitung

IEC SC77A/WG1 arbeitet derzeit an einer Revision der Norm IEC 61000-4-7 „Allgemeiner Leitfa- den für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten“ [1]. Da die Einhaltung von Ober- schwingungs-Grenzwerten für alle Geräte gesetzlich vorgeschrieben ist, die an das öffentliche Stromversorgungsnetz angeschlossen werden, ist diese Arbeit für alle Hersteller solcher Geräte interessant. Abschnitt 2 beschreibt die geplanten wesentlichen Änderungen in IEC 61000-4-7, wobei in Abschnitt 3 nochmal speziell darauf eingegangen wird, wie in Zukunft die Option gehand- habt werden soll, eine Gruppierung der Zwischenharmonischen zu den benachbarten Harmoni- schen vorzunehmen. Abschnitt 4 behandelt ein Problem, auf welches die verantwortliche interna- tionale Arbeitsgruppe (IEC SC/77A/WG1) erst kürzlich aufmerksam geworden ist: die Abhängig- keit einer FFT von der Länge des Messfensters, wenn die untersuchten Strommuster eine unter- schiedliche Periodizität haben.

2 Wesentliche Änderungen in der geplanten Revision von IEC 61000-4-7

Eine grundlegende Änderung in der neuen Version von IEC 61000-4-7 wird sein, dass nicht mehr eine strikte Messvorschrift vorgegeben wird, sondern eine Auswahl von Messoptionen, aus der in den Produkt- oder Produktfamiliennormen (z.B. IEC 61000-3-2) die entsprechenden Optionen ausgewählt werden müssen. Das wird am besten verständlich, wenn man Bild 1 aus der alten Version mit dem geplanten Bild 1 der neuen Version vergleicht.

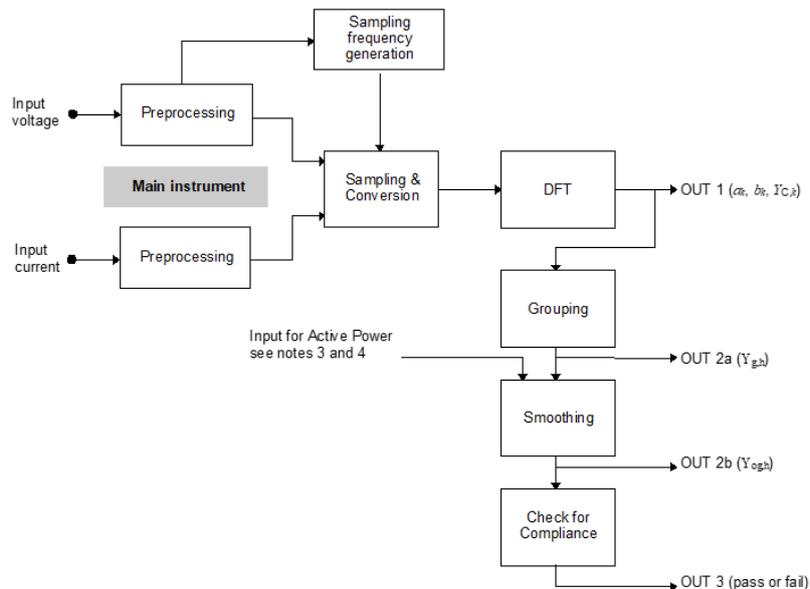


Abbildung 1: Figure 1 aus IEC 61000-4-7 Ed. 2.1 [1] „Generelle Struktur des Messinstruments“

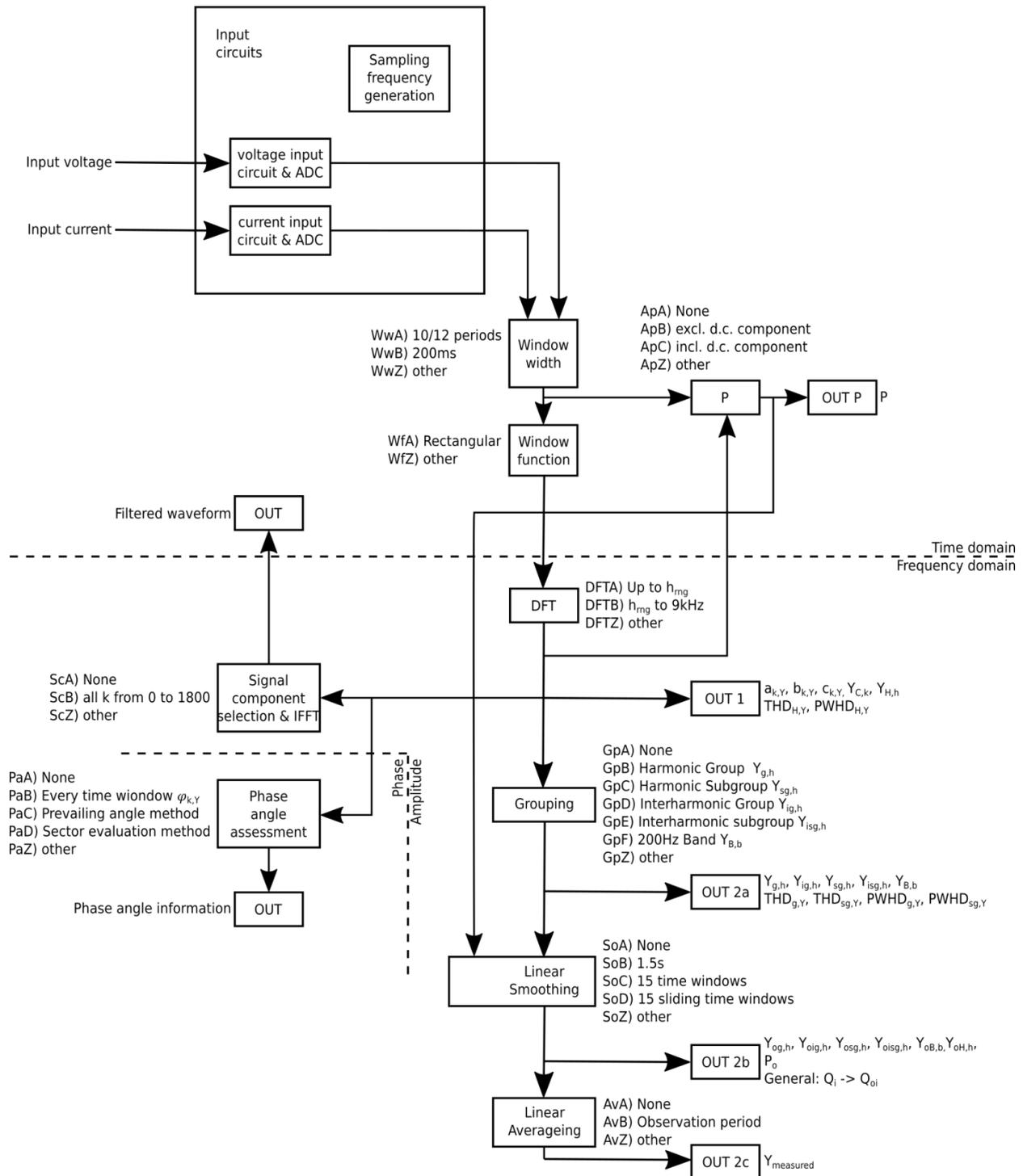


Abbildung 2: Figure 1 „Funktionsblöcke“ aus der geplanten Revision von IEC 61000-4-7

Auf die Option „WwZ) anderes Fenster“ für den Block „Window width“ (Länge des FFT-Messfensters) kommen wir in Abschnitt 4 wieder zurück.

Zu beachten sind auch die verschiedenen Optionen für die Gruppierung von Zwischenharmonischen. Eine mögliche zukünftige Verwendung der Optionen „GpA) keine“ und „GpB) Oberschwingungsgruppe“ wird im Abschnitt 3 näher erläutert.

Weiterhin machen wir auf die verschiedenen Optionen zur Bewertung des Phasenwinkels der Oberschwingungsströme aufmerksam, speziell auf „PaC) Methode eines vorherrschenden Pha-

senwinkels“ und „PaD) Methode einer Sektorbeurteilung“. Diese Methoden werden in einem informativen Anhang zur neuen IEC 61000-4-7 ausführlich erklärt. In diesem Beitrag kann darauf nicht näher eingegangen werden.

Wahrscheinlich wird in der neuen IEC 61000-4-7 für die meisten Optionen eine Grundeinstellung vorgegeben, mit der gemessen wird, wenn keine abweichenden Anforderungen gestellt werden. Eine Produktnorm würde dann nur noch die Optionen spezifizieren müssen, die von dieser Grundeinstellung abweichen.

3 Geplante Gruppierung von Zwischenharmonischen zu den benachbarten Harmonischen

Derzeit ist die Gruppierung der Zwischenharmonischen zu den benachbarten Harmonischen in der IEC 61000-4-7 strikt vorgeschrieben. Weil das aber dazu führen würde, dass bestimmte Geräte die Grenzwerte in den Produktfamiliennormen nicht mehr erfüllen könnten, die aber schon viele Jahre problemlos auf dem Markt existieren, wurde eine sogenannte „Großvaterklausel“ (Abschnitt 7) eingeführt. Diese erlaubt nach wie vor eine Messung nach der alten IEC 61000-4-7, Edition 1.0 von 1991, in der es noch keine Gruppierung gab. Es muss nur im Messbericht vermerkt werden, dass nach der alten Version gemessen wurde.

In der neuen IEC 61000-4-7 soll der Abschnitt 7 von „Transitional period“ in „Measurements without grouping“ umbenannt werden. Hier soll weiterhin eine Messung ohne Gruppierung erlaubt werden, wenn das im Messbericht ausdrücklich vermerkt wird. Die Grundeinstellung des Messgerätes wird aller Voraussicht nach die Option „GpB Oberschwingungsgruppe“.

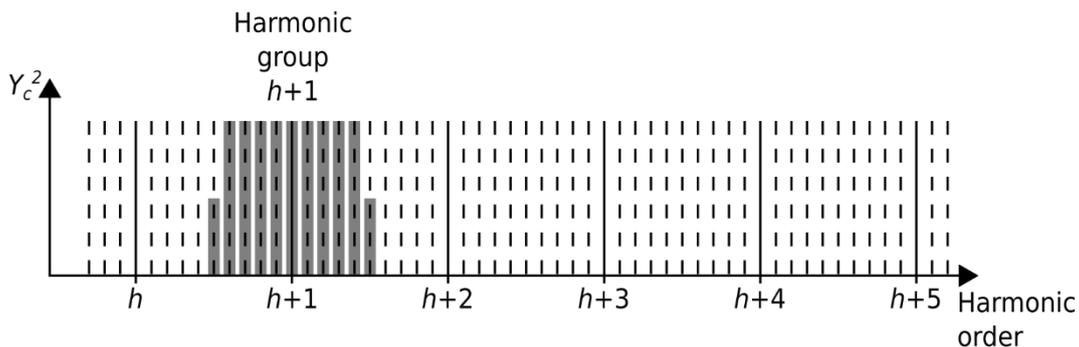


Abbildung 3: Darstellung der Option „GpB Oberschwingungsgruppe“ in Figure 2 der geplanten Revision von IEC 61000-4-7, keine technische Änderung im Vergleich zu Figure 4 in der aktuellen IEC 61000-4-7.

Im Prinzip sagt der neue Abschnitt 7 dasselbe aus wie die alte „Großvaterklausel“, nur dass für eine Messung ohne Gruppierung nicht mehr auf eine Normversion von 1991 verwiesen werden muss, sondern auf eine Option der aktuellen Norm.

Die zuständige Arbeitsgruppe, IEC SC77A/WG1, ist sich einig, dass für die endgültige Einführung der Gruppierung in den Produktfamiliennormen IEC 61000-3-2 und -3-12 für bestimmte Oberschwingungen (speziell für die höheren Ordnungszahlen) die Einführung von erhöhten Grenzwerten erforderlich ist, sogenannte „gruppierte Grenzwerte“ – im Gegensatz zu den jetzigen schärferen „ungruppierten Grenzwerten“. Die genauen Werte dieser „gruppierten Grenzwerte“ sind noch in Diskussion.

In den Produktfamiliennormen könnte dann das Messverfahren wie folgt beschrieben werden:

- Schritt 1 Messung mit Gruppierung (GpB) und den schärferen „ungruppierten“ Grenzwerten. Die große Mehrzahl aller existierenden Geräte besteht derzeit schon nach diesem Verfahren, ohne die bestehende Großvaterklausel anzuwenden.
- Schritt 2 Nur wenn in Schritt 1 nicht bestanden wurde, wird die Gruppierung ausgeschaltet

(GpA) und erneut gemessen. Werden die bestehenden „ungruppierten“ Grenzwerte erneut nicht erfüllt, ist der Prüfling durchgefallen.

Schritt 3 Wird in Schritt 2 bestanden, wird die Gruppierung wieder aktiviert (GpB) und gegen die höheren „gruppierten“ Grenzwerte geprüft. Das Ergebnis ist dann endgültig.

Dieses geplante „3-Schritt-Verfahren“ zeigt Bild 4.

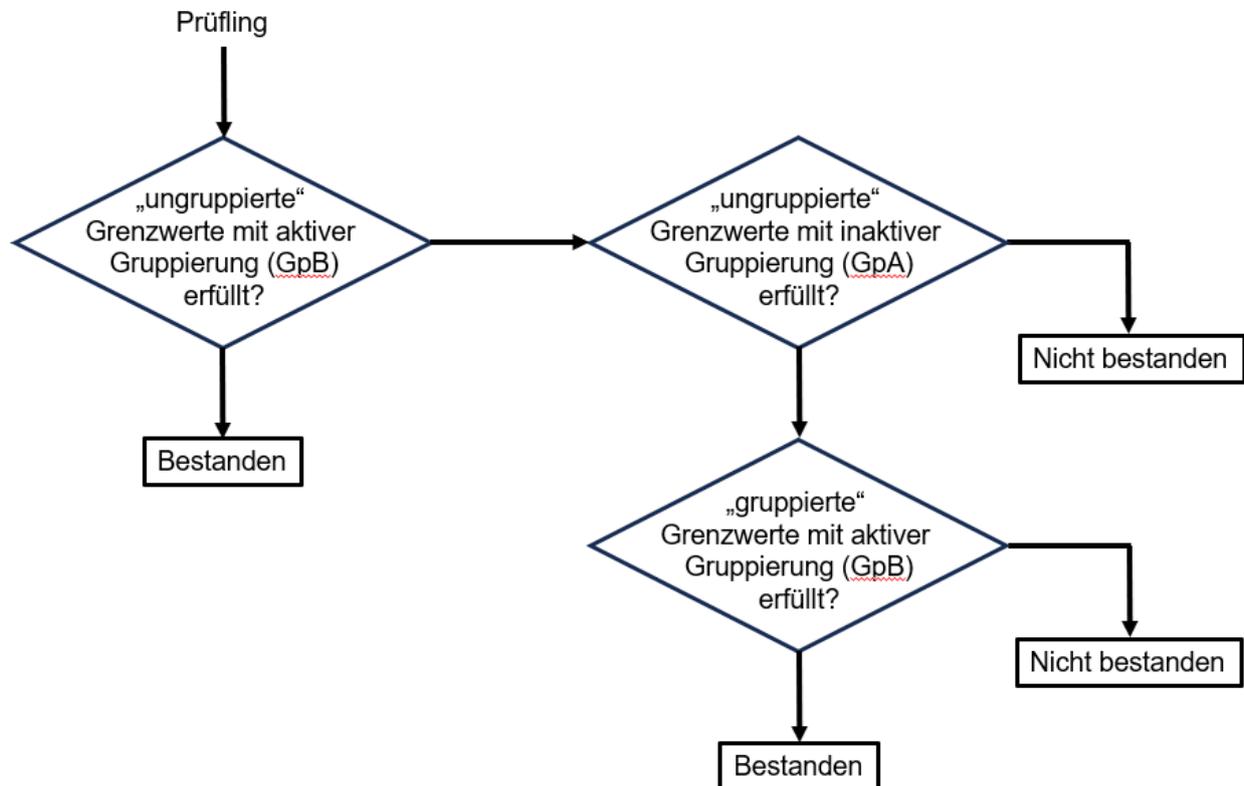


Abbildung 4: Flussdiagramm für eine mögliche endgültige Einführung der Gruppierung von Zwischenharmonischen in einer Produktfamiliennorm wie IEC 61000-3-2

4 Abhängigkeit einer FFT von der Länge des Messfensters

Die Diskrete Fourier Transformation (DFT) und die in IEC 61000-4-7 verwendete Variante davon, die Fast Fourier Transformation (FFT), transformieren das gemessene Signal aus dem Zeitbereich („time domain“) in den Frequenzbereich („frequency domain“).

Die revidierte IEC 61000-4-7 [1] soll 3 Optionen für die Länge des FFT Messfensters:

- WwA) 10/12 Perioden
- WwB) 200 ms
- WwZ) andere

Option a) ist die Einstellung aus der aktuellen Version Der IEC 61000-4-7. Für eine Versorgungsspannung von 50 Hz werden 10 Perioden verwendet, bei 60 Hz 12 Perioden. Ist die Frequenz ganz genau 50 Hz bzw. 60 Hz, ergibt das in beiden Fällen ein Messfenster von 200 ms. Für die weiteren Betrachtungen wird angenommen, dass die Versorgungsspannung genau 50 Hz beträgt und somit die Optionen WwA) und WwB) identisch sind.

Die FFT wird unter der Annahme durchgeführt, dass das gemessene Signal im Zeitbereich periodisch ist.

Weil aufeinanderfolgende Zeitfenster nicht immer gleich sind, wird in IEC 61000-4-7 zuerst ein 1,5 s Tiefpassfilter verwendet (in Bild 1 und 2 „smoothing“ = „Glättung“ genannt). Dann werden nach den Anforderungen in einer Produktnormen wie IEC 61000-3-2 [2] die Ergebnisse noch über

die Beobachtungszeit gemittelt. Für fluktuierende Oberschwingungsströme bringt dieser Prozess ausreichend genaue Ergebnisse.

Das trifft aber nicht auf eine Vielperiodensteuerung (englisch: „multicycle control“) zu, die speziell für eine genaue Steuerung von Heizelementen weit verbreitet ist. Bei Verwendung einer Vielperiodensteuerung, welche eine andere Periodendauer hat als das FFT-Messfenster, ergibt eine FFT konstant falsche Werte, die nicht durch eine Glättung und Mittelung korrigiert werden. Das wird hier anhand der Beispiele untersucht, die mit Ergänzung 2 zur Norm IEC 61000-3-2, Edition 5.1 [2] in einem neuer informativer Anhang D eingefügt wurden. Dieser Anhang ist Teil von 77A/1161/CDV [3], welches mit 100% Zustimmung der Nationalen Komitees in IEC SC77A akzeptiert wurde.

Diese Beispiele für symmetrische Strommuster haben 77A/WG1 darauf aufmerksam gemacht, dass eine FFT in Abhängigkeit von der Länge des Messfensters unterschiedliche Ergebnisse erbringt, speziell bei den geradzahligigen Oberschwingungen.

Wir untersuchen das zuerst anhand des Beispiels D.4 in dem neuen informativen Anhang D aus 77A/1161/CDV [3], siehe Abbildung 5.

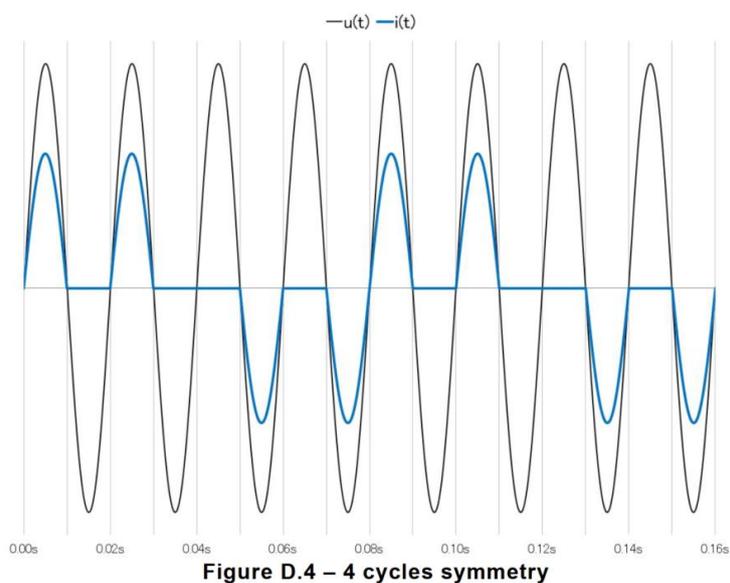


Abbildung 5: Beispiel D.4 in dem neuen informativen Anhang D aus 77A/1161/CDV [3]

Die Berechnungen, die in Tabelle 1 dargestellt sind, beruhen auf der Annahme, dass bei dem in Abbildung 5 dargestellten Strommuster der Spitzenwert des Zeitsignals $\sqrt{2} \cdot 16 \text{ A}$ beträgt - der Strom ohne Abschneiden von Halbwellen würde 16 A betragen. Die Werte in Tabelle 1 sind die über 1,5 s gemittelten Effektivwerte der Oberschwingungen und können direkt mit den Grenzwerten der Klasse A in IEC 61000-3-2 [2] verglichen werden.

Anmerkung: In den Normen wird immer als 1. Oberschwingung oder 1. Harmonische (H1) die Grundschwingung bezeichnet

Oberschwingungen für Muster D.4	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
GpA, 200 ms, Strom in A	8,00	0,68	0,00	0,14	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	0,02
GpB, 200 ms, Strom in A	8,18	1,74	0,19	0,61	0,06	0,26	0,03	0,14	0,02	0,09
GpA, 160 ms, Strom in A	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GpB, 160 ms, Strom in A	8,22	1,51	0,19	0,59	0,06	0,25	0,03	0,14	0,02	0,09

Tabelle 1: Oberschwingungsströme für ein Strommuster nach Bild D.4 in 77A/1161/CDV [3]

Anmerkung: GpA bedeutet die Option ohne Grouping, GpB ist die in Abbildung 3 dargestellte Option „Oberschwingungsgruppe“, welche als Ausgangseinstellung des Messgerätes dienen soll

Ein Vergleich mit den Grenzwerten der Klasse A in IEC 61000-3-2 [2] zeigt, dass mit Gruppierung der Zwischenharmonischen und Messung mit einem FFT-Fenster von 200 ms die Grenzwerte für H2 und H4 überschritten werden. Solche Geräte müssten also derzeit die „Großvaterklausel“ in Abschnitt 7 der aktuellen Norm IEC 61000-4-7 [1] in Anspruch nehmen.

Mit einem FFT-Fenster, welches an die Periodizität des Signals angepasst wird braucht dagegen nach der neuen Version Abschnitt 7 nicht benutzt zu werden. Es wäre auch möglich, bei entsprechender Festlegung der „gruppierten“ Grenzwerte (siehe Abbildung 4), auch nach verbindlicher Einführung der Gruppierung von Interharmonischen in den Produktnormen die Grenzwerte zu erfüllen.

In der geplanten Revision der IEC 61000-4-7 [1] wurde deshalb die Option „WwZ) andere“ integriert. Diese Option erlaubt, eine beliebige Fensterbreite anzuwenden und damit eine Anpassung an die Periodizität des untersuchten Signals. Wie genau diese Option „WwZ) andere“ in das Messverfahren für Oberschwingungsströme eingebaut wird, muss in den Produkt- bzw. Produktfamiliennormen festgelegt werden, beispielsweise in IEC 61000-3-2 [2].

Weitere Beispiele für symmetrische Strommuster in dem neuen Anhang D zu IEC 61000-3-2 (siehe [2]), welche dasselbe Problem haben, sind:

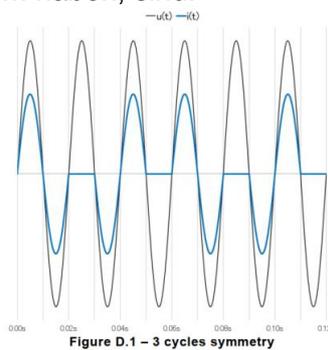


Abbildung 6: Beispiel D.1 in dem neuen informativen Anhang D aus 77A/1161/CDV [3]

Oberschwingungen für Muster D.1	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
GpA, 200 ms, Strom in A	10,74	0,19	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01
GpB, 200 ms, Strom in A	10,79	1,36	0,18	0,59	0,06	0,25	0,03	0,14	0,02	0,09
GpA, 120 ms, Strom in A	10,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GpB, 120 ms, Strom in A	10,67	1,32	0,00	0,58	0,00	0,24	0,00	0,13	0,00	0,08

Tabelle 2: Oberschwingungsströme für ein Strommuster nach Bild D.1 in 77A/1161/CDV [3]

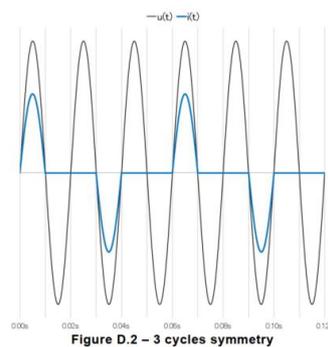


Abbildung 7: Beispiel D.2 in dem neuen informativen Anhang D aus 77A/1161/CDV [2]

Oberschwingungen für Muster D.2	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
GpA, 200 ms, Strom in A	5,37	0,24	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01
GpB, 200 ms, Strom in A	5,45	1,38	0,17	0,59	0,05	0,25	0,03	0,14	0,02	0,09
GpA, 120 ms, Strom in A	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GpB, 120 ms, Strom in A	5,33	1,32	0,00	0,58	0,00	0,24	0,00	0,13	0,00	0,08

Tabelle 3: Oberschwingungsströme für ein Strommuster nach Bild D.2 in 77A/1161/CDV [3]

Die folgenden Strommuster aus [2] sind keine Vielperiodensteuerungen durch Halbschwingungen und deshalb nach IEC 61000-3-2 [2] nicht für die Steuerung von Heizelementen mit einer Leistung größer 200 W erlaubt. Der Vergleich zwischen einer 200 ms FFT und einer FFT mit angepasstem Zeitfenster ist trotzdem interessant. Man sieht gerade an diesen Mustern, dass eine Anpassung des FFT-Zeitfensters an die Periodizität des Strommusters nur für die geradzahigen Oberschwingungen etwas bringt, also bei einer Messung ohne die Gruppierung der Interharmonischen. Mit Gruppierung hat die Länge des FFT-Fensters einen wesentlich geringeren Einfluss auf das Messergebnis.

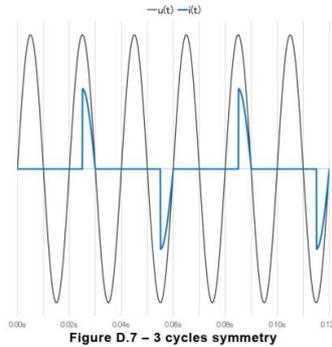


Abbildung 8: Beispiel D.7 in dem neuen informativen Anhang D aus 77A/1161/CDV [2]

Oberschwingungen für Muster D.7	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
GpA, 200 ms, Strom in A	3,12	0,22	1,67	0,08	0,56	0,05	0,56	0,04	0,33	0,03
GpB, 200 ms, Strom in A	3,19	2,22	1,78	1,40	0,60	0,84	0,59	0,63	0,36	0,49
GpA, 120 ms, Strom in A	3,16	0,00	1,70	0,00	0,57	0,00	0,57	0,00	0,34	0,00
GpB, 120 ms, Strom in A	3,16	2,26	1,70	1,38	0,57	0,83	0,57	0,62	0,34	0,49

Tabelle 4: Oberschwingungsströme für ein Strommuster nach Bild D.7 in 77A/1161/CDV

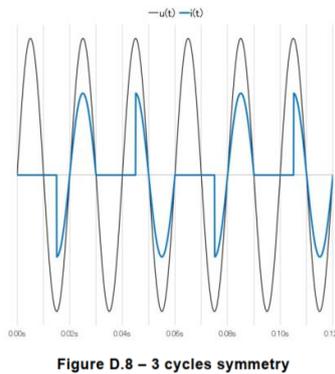


Abbildung 9: Beispiel D.8 in dem neuen informativen Anhang D aus 77A/1161/CDV [2]

Oberschwingungen für Muster D.8	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
GpA, 200 ms, Strom in A	8,13	0,37	1,71	0,12	0,57	0,07	0,57	0,05	0,34	0,04
GpB, 200 ms, Strom in A	8,21	1,11	1,77	1,29	0,61	0,88	0,59	0,62	0,36	0,50
GpA, 120 ms, Strom in A	8,18	0,00	1,70	0,00	0,57	0,00	0,57	0,00	0,34	0,00
GpB, 120 ms, Strom in A	8,18	1,02	1,70	1,25	0,57	0,86	0,57	0,61	0,34	0,49

Tabelle 5: Oberschwingungsströme für ein Strommuster nach Bild D.8 in 77A/1161/CDV

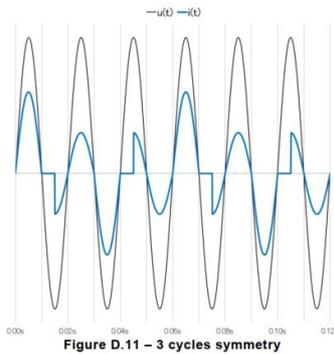


Abbildung 10: Beispiel D.11 in dem neuen informativen Anhang D aus 77A/1161/CDV [2]

Oberschwingungen für Muster D.11	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
GpA, 200 ms, Strom in A	9,38	0,23	0,85	0,07	0,28	0,04	0,28	0,03	0,17	0,02
GpB, 200 ms, Strom in A	9,40	1,78	0,92	0,87	0,30	0,44	0,30	0,34	0,18	0,25
GpA, 120 ms, Strom in A	9,37	0,00	0,85	0,00	0,28	0,00	0,28	0,00	0,17	0,00
GpB, 120 ms, Strom in A	9,37	1,78	0,85	0,85	0,28	0,43	0,28	0,33	0,17	0,25

Tabelle 6: Oberschwingungsströme für ein Strommuster nach Bild D.11 in 77A/1161/CDV

Abschließend bleibt noch festzustellen, dass der Messfehler durch eine nicht an die Periodizität des Strommusters angepasste Länge des FFT-Fensters grundsätzlich nur zur einer Erhöhung der Messergebnisse führt. Solange also bei einer Messung mit dem 200 ms FFT-Fenster ein ausreichender Abstand zum Grenzwert festgestellt wird, ist in der Praxis keine wiederholte Messung mit angepasstem FFT-Fenster erforderlich.

5 Zusammenfassung

Die wichtigste Änderung bei der kommenden Revision der Norm IEC 61000-4-7 zu den Oberschwingungsmessgeräten ist die Umwandlung von einer strikten Messvorschrift in eine Art Baukastensystem (engl.: „Toolbox“). Welche Optionen für welche Messung angewendet wird, muss dann in den Produkt- bzw. Produktfamiliennormen festgelegt werden, welche auch die Grenzwerte für die Oberschwingungsströme enthalten. Dieses Baukastensystem ist speziell für ein zukünftige endgültige Einführung der Gruppierung von Zwischenharmonischen von Interesse.

Für Strommuster mit einer konstanten Periodizität, die sich von der Grundeinstellung für das FFT-Messfenster unterscheidet, muss für genaue Messergebnisse die Länge des FFT-Fensters an die Periodizität des zu messenden Stromes angepasst werden. Solange die Messergebnisse einen ausreichenden Abstand zum Grenzwert haben, kann auf diese Anpassung verzichtet werden.

Literatur

- [1] DIN EN 61000-4-7 Edition 2.1 (VDE 0847-4-7):2009-12 „Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 4-7: Prüf- und Messverfahren – Allgemeiner Leitfadens für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten“
- [2] DIN EN IEC 61000-3-2 (VDE 0838-2):2019-12 „Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 3-2: Grenzwerte – Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte-Eingangsstrom ≤ 16 A je Leiter)“
- [3] 77A/1161/CDV Amendment 2 to IEC 61000-3-2 Ed. 5.1 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)