

Analyse von Zwischenharmonischen in der Praxis

Quantitative oder qualitative Untersuchung mit der diskreten Fourier-Transformation

Wenn Zwischenharmonische mit der diskreten Fourier Transformation oder der Fast Fourier Transformation untersucht werden, bestimmen drei Parameter die Qualität der Analyse: Synchronisation, Fensterfunktion und Messdauer. Eine mögliche Parameterwahl enthält der IEC Standard 61000-4-7. Die dort beschriebene Methode ist ein quantitativer Ansatz. Es werden nicht einzelne Zwischenharmonische, sondern der Gesamtgehalt an Frequenzkomponenten in bestimmten Frequenzbändern ermittelt. Sollen einzelne Zwischenharmonische bestimmt werden (ein qualitativer Ansatz) müssen die drei Analyseparameter individuell festgelegt werden.

Jedes periodische Signal kann in seine Frequenzkomponenten zerlegt werden – in eine so genannte harmonischen Reihe. Harmonisch bedeutet dabei: Die Periodendauer des Gesamtsignals ist ein ganzzahliges Vielfaches der Periodendauer jeder einzelnen harmonischen Komponente. Alle anderen Frequenzanteile, die kein ganzzahliges Verhältnis zur Grundschwingung oder Netzfrequenz aufweisen, werden als Zwischenharmonische bezeichnet. Die diskrete Fourier Transformation (DFT) basiert auf dem Prinzip der harmoni-

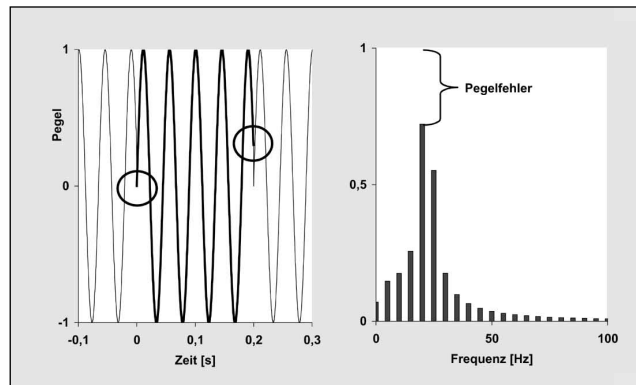


Abb. 1: Zwischenharmonische im Zeitbereich (links) und Frequenzbereich (rechts) – Sprungstellen (Kreis) führen zu fehlerhaften Pegeln im Amplitudenspektrum

schen Reihe. Eigentlich ist die DFT daher nicht geeignet für die Analyse zwischenharmonischer Signale. Gleiches gilt für die Fast Fourier Transformation (FFT), die ein besonders schneller Algorithmus zur Berechnung der DFT ist. Eine wesentliche Voraussetzung der DFT ergibt sich aus dem Prinzip der harmonischen Reihe: Die Periodizität des analysierten Signalausschnitts. Das Spektrum, das man durch die Berechnung der DFT eines Signalausschnitts erhält, entspricht im Zeitbereich einer unendlich langen, periodischen Aneinanderreihung des Signalausschnitts. In der Abb. 1 ist links der analysierte Signalausschnitt als fett gedruckte Linie dargestellt. Die dünne

Linie zeigt den periodisch fortgesetzten Ausschnitt. An den Übergangsstellen (mit einem Kreis markiert) kommt es zu Sprüngen. Im Frequenzbereich (rechts in der Abbildung 1) führen diese Sprünge zu einem falschen Pegel und erzeugen zusätzliche Spektrallinien.

Generell ergibt die DFT nur dann die gesuchten Pegel und Frequenzen, wenn alle Frequenzanteile jeweils mit einer ganzen Zahl von Schwingungen im Signalausschnitt enthalten sind. Das Problem bei der Analyse von Zwischenharmonischen: Besteht das Signal aus einem Gemisch von nicht-harmonischen Frequenzen, ist es nicht möglich, diese Bedingung zu erfüllen.

B.05

► Autor

Dipl.-Ing. STEFAN SCHELLHAUS ist tätig in der EMV-Beratung und -Messung an Schienenfahrzeugen im EMV-Zentrum Erlangen (A&D ATS 6) der Siemens AG; Postfach 3220, D-91050 Erlangen
Fon: +49/9131/7-34970, Fax: +49/9131/725007
E-Mail: stefan.schellhaus@siemens.com

Tabelle 1: Parameter der Fensterfunktion

Fensterfunktion	max. Pegelfehler [%]	Fensterbandbreite [angegeben in Spektrallinien]	
		3 dB	60 dB
Ohne	36,3	0,9	666
Hanning	15,1	1,44	13,4
Blackman-Harris	9,1	1,9	7,2
Flat-Top	< 0,2	3,72	9,2

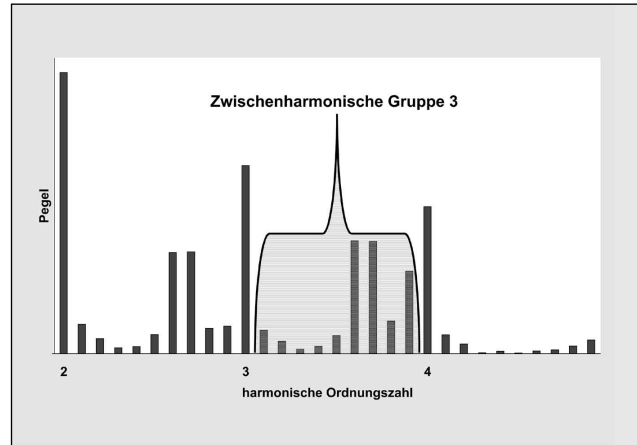


Abb. 2:
Quantitative Analyse:
Zwischenharmonische
werden zu Gruppen zu-
sammengefasst

Quantitative Analyse

Die Europäische Norm EN61000-4-7 beschreibt Verfahren zur Messung von Harmonischen und Zwischenharmonischen. Die überarbeitete IEC-Version dieser Norm liegt bereits als Schlussentwurf (FDIS) vor [1]. Hier wird eine synchrone Abtastung des untersuchten Signals vorgeschrieben. Synchron bedeutet für Messungen im 50-Hz-Netz: Nachdem ein Nulldurchgang detektiert worden ist, werden zehn Perioden des Signals abgetastet (Messdauer ca. 200 ms, je nach Toleranz der Netzfrequenz). Die zehn Perioden bilden gemeinsam das erste Messintervall. Mit dem darauf folgenden Nulldurchgang beginnt ein neues Messintervall. Wie viele Messintervalle aufgezeichnet werden müssen, hängt vom untersuchten Gerät ab. Wenn das Gerät mit einem bestimmten Betriebszyklus arbeitet, muss der gesamte Zyklus – unterteilt in Messintervalle – erfasst werden. Gemäß der Norm darf die Synchronisation bezogen auf die Länge eines Messintervalls eine Toleranz von 0,03 % (ca. 60 µs) haben. Mit der Synchronisation soll sichergestellt werden, dass der DFT ein periodischer Signalausschnitt zur Verfügung gestellt wird. Pegel und Frequenzen der Harmonischen können – im Rahmen der Synchronisationstoleranz – richtig erfasst werden. Alle Zwischenharmonischen, die innerhalb des 200-ms-Messintervalls keine ganze Zahl von Perioden ausbilden, können aus dem Spektrum nicht abgelesen werden. Das ist kein Nachteil, wenn die Zwischenharmonischen nur quantitativ ermittelt werden sollen. Die Fourier-Transformation ist leistungs-invariant: Frequenzanteile, die nicht richtig dargestellt werden, gehen nicht verloren, sondern verteilen sich auf benachbarte Spektrallinien. Der Effektivwert eines Signalausschnitts ist im Zeit- und Frequenzbereich grundsätzlich gleich. Gemäß IEC61000-4-7 werden die nicht-harmonischen Frequenzanteile zu Gruppen zusammengefasst (Abb. 2). Für jede Gruppe wird der Effektivwert durch geometrische Ad-

dition der enthaltenen Spektrallinien berechnet. So kann die Existenz von Zwischenharmonischen innerhalb einer Frequenzgruppe entdeckt werden. Trotz der verfälschenden Effekte der DFT ist mit dem Gruppeneffektivwert ein Vergleich mit ebenfalls quantitativ vorgegebenen Grenzwerten möglich.

Qualitative Analyse

Wenn aber Frequenz und Effektivwert jeder einzelnen Signalkomponente bestimmt werden müssen, ist eine andere – eine qualitative Methode – notwendig. Um trotz Abweichung vom IEC-Standard reproduzierbare und interpretierbare Ergebnisse zu erhalten, ist eine sorgfältige Wahl und Dokumentation der Analyseparameter notwendig. Wenn die Daten aliasing-frei abgetastet werden, kann sich der Anwender auf zwei Parameter konzentrieren: Fensterfunktion und Messdauer.

Fensterfunktionen sind glockenförmige Gewichtungsfunktionen. Der zu analysierende Signalausschnitt wird vor der DFT – also im Zeitbereich – mit dem Fenster multipliziert. Abgetastete Werte am Anfang und Ende des Signalausschnitts werden dadurch gedämpft, die Mitte wird verstärkt. Die Sprünge zwischen den Signalausschnitten werden geglättet, was zu deutlich verringerten Pegelfehlern im Spektrum führt. Die Abb. 3 zeigt die gleiche Zwischenharmonische wie Abb. 1, allerdings jetzt mit einer Fensterfunktion (hier: Flat-Top-Fenster) gewichtet. Die Amplitude der Zwischenharmonischen kann nach Anwendung der Fenster-Funktion praktisch fehlerfrei aus dem Spektrum abgelesen werden, obwohl keine Synchronisation auf die Schwingungsdauer des untersuchten Signals durchgeführt wurde.

Ohne Fensterfunktion – häufig als Rechteckfenster bezeichnet – treten Pegelfehler von bis zu 36 % auf. Der größte Fehler tritt auf, wenn die Frequenz einer Signalkomponente genau zwischen zwei Spektrallinien fällt. Das betrifft

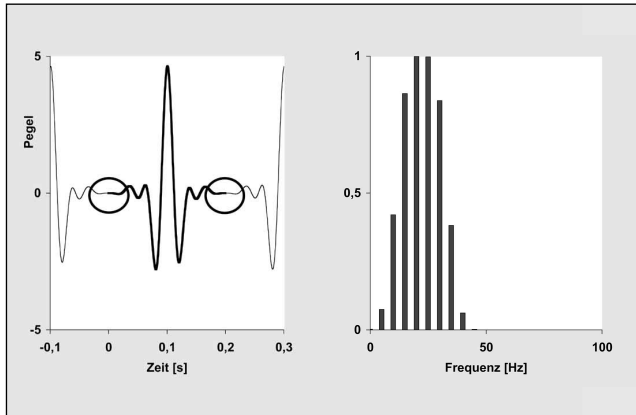


Abb.3:
DFT mit Flat-Top-Fenster: Pegel werden im Amplitudenspektrum (rechts) richtig wiedergegeben

bei der quantitativen Analyse entsprechend IEC-Standard alle ungeraden Vielfachen von 2,5 Hz (2,5 Hz; 7,5 Hz;...; 1992,5 Hz; 1997,5 Hz). Beim Hanning-Fenster reduziert sich der maximale Fehler auf etwa 15 %, mit dem Flat-Top-Fenster auf weniger als 1% [2].

Der Preis der verbesserten Pegelgenauigkeit ist eine verringerte Frequenzselektivität. Tabelle 1 enthält die wichtigsten Parameter der Fensterfunktion. Neben dem maximalen Pegelfehler sind dies die Bandbreiten der Fenster im Frequenzbereich. Die Fensterbandbreiten werden nicht in Hz, sondern in Spektrallinien angegeben. Mit Fensterfunktion vergrößert sich die 3dB-Bandbreite deutlich. Das bedeutet: Im Spektrum entstehen zusätzliche Seitenlinien. Liegen die Zwischenharmonischen des Signals zu dicht beieinander, kommt es durch die Überlagerung dieser zusätzlichen Seitenlinien zu neuen Verfälschungen. Verhindert werden kann dieser Effekt nur durch die richtige Wahl der Messdauer.

$$\text{Messdauer} = \frac{\text{Stützstellenzahl}}{\text{Abtastfrequenz}} = \frac{1}{\text{Spektrallinienabstand}} \quad (1)$$

Die Messdauer ist abhängig von der Stützstellenzahl der DFT und der Abtastfrequenz und ist daher nicht beliebig einstellbar. Der Abstand zwischen zwei Linien im Spektrum ergibt sich aus dem Kehrwert der Messdauer. Gemeinsam mit der Fensterfunktion bestimmt die Messdauer die tatsächliche Bandbreite der Analyse.

$$\text{Analysebandbreite} = \frac{\text{Fensterbandbreite}}{\text{Messdauer}} \quad (2)$$

Die Messdauer und damit der Spektrallinienabstand müssen so gewählt werden, dass die Seitenlinien einer Zwischenharmonischen bei der Frequenz einer anderen Zwischenharmonischen schon ausreichend gedämpft sind. Hierfür kann die 60-dB-Fensterbandbreite aus Tab. 1 benutzt werden. Beispiel: Wenn eine Zwischenharmonische bei etwa 1932 Hz und

eine andere bei 1978 Hz liegt, sollte der Spektrallinienabstand bei Verwendung des Flat-Top-Fensters etwa 5 Hz betragen (Frequenzdifferenz / 60-dB-Fensterbandbreite: 46 Hz / 9,2 = 5 Hz). Die zugehörige Messdauer beträgt 200 ms. Damit wird ein mehrstufiger Prozess notwendig: Zunächst eine grobe Analyse zur Ermittlung der relevanten Signalfrequenzen. Dann eine Analyse mit angepasster Fensterfunktion und Messdauer. Eine Synchronisation ist mit Fensterfunktion ist generell nicht erforderlich.

Frequenz-Zeit-Selektivität

Die Messdauer verdeutlicht, dass auch die Frequenzanalyse ein zeitliches Verhalten aufweist. Mit der DFT erhält man Spektrallinien, deren Pegel über die Messdauer gemittelt sind. Ein Spektrallinienabstand von beispielsweise 0,1 Hz ist nur mit einer Messdauer von 10 s zu erreichen. Abgesehen vom erhöhten Aufwand für Speicherung und Berechnung, wird in vielen Fällen das Signal nicht über so einen langen Zeitraum konstant (quasi-stationär) bleiben. Man stößt hier an physikalische Grenzen – eine Art Unschärferelation: Zeit- und Frequenzverhalten einer Signalanalyse sind voneinander abhängig. Eine bessere Frequenzselektivität führt zwangsläufig zu einer schlechteren Zeitselektivität und umgekehrt.

Zusammenfassung

Welche Methode zur Analyse von Zwischenharmonischen ausgewählt werden sollte, hängt vom Ziel der Untersuchung ab. Wenn das Ziel eine generelle Beurteilung des Netzes oder eines Gerätes ist, sollten die Randbedingungen aus der Norm IEC61000-4-7 Ed.2 benutzt werden. Die Messsignale werden synchronisiert auf die Netzfrequenz, über eine Messdauer von 200 ms erfasst. Die DFT wird ohne Fensterfunktion

berechnet. Im Spektrum werden die Spektrallinien in Frequenzbänder zusammengefasst und bewertet. Diese quantitative Analyse ist für den Anwender einfach – alle wesentlichen Parameter liegen fest – und ist entsprechend leicht reproduzierbar.

Für die praktische Störungssuche ist jedoch die qualitative Methode die bessere Wahl. In einem mehrstufigen Prozess werden zunächst mit einer groben Analyse Signalkomponenten im relevanten Frequenzbereich lokalisiert. Die geeignete Fensterfunktion für eine feinere Analy-

se wird anhand der geforderten Pegelselektivität ausgewählt. Die Messdauer muss abhängig von der Frequenzselektivität der Fensterfunktion und vom Abstand der relevanten Signalkomponenten im Spektrum bestimmt werden. Eine Synchronisation braucht nicht durchgeführt zu werden. Begrenzt wird die Messdauer allerdings durch das zeitliche Verhalten des analysierten Signals. Die qualitative Methode ist aufwändiger, ermöglicht aber eine genauere Erfassung von Pegeln und Frequenzen der Zwischenharmonischen.

Literaturhinweise

- [1] IEC 61000-4-7 Ed.2, 77A/382/FDIS, Final Draft International Standard, Mai 2002
- [2] Harris, F.J.: "On the use of Windows for Harmonic Analysis with the DFT", Proc. IEEE, Vol 66 (1978), No. 1, S.55-83
- [3] Lyons, R. G.: Understanding Digital Signal Processing, Addison-Wesley, 1997

Beitrag als PDF im Internet:

www.publish-industry.net

more @ click EK3B0507



LESETIPP

? **Sie interessieren sich für das Themengebiet Mess- und Prüftechnik für die Elektronik (TEST)?**

Das TEST KOMPENDIUM ist das jährliche Referenzbuch für TEST in der Elektronik-Entwicklung und Elektronik-Fertigung.

Für seine Leser – Fachkräfte, Ingenieure und technisches Management – ist es für den Zeitraum eines Jahres das praktische Nachschlagewerk zu allen wichtigen Aspekten der angewandten Mess- und Prüftechnik.

Auf über 270 Seiten geben mehr als 70 kompetente Fachleute, Spezialisten und Anwender in etwa 60 Fachbeiträgen präzise Antworten zu den verschiedensten praxisrelevanten Fragen in den fokussierten Themenfeldern.

Inhaltlich gliedert sich das TEST KOMPENDIUM in die vier Bereiche, TEST Basisthemen' (Grundlagen & Neue Technologien, Fokusthemen, Richtlinien, Normen & Standards, Forschungsergebnisse, Management), ,TEST in der Elektronik-Entwicklung' (Allgemeine Messtechnik, HF-Messtechnik, EMV-Messtechnik, Mobilfunkmesstechnik, Wireless, Kommunikationsmesstechnik, Optische Messtechnik, Bus-Testsysteme,,TEST in der Elektronik-Fertigung' (Testsysteme zur Bauelementprüfung, Testsysteme für Baugruppen und Hybride, Testsoftware, Automatisierte Testsysteme, Inspektion und Instandhaltung) und ,TEST Verzeichnisse' (TEST Anbieterverzeichnis, „wo testen?“, Messen & Veranstaltungen, wichtige Adressen, Glossar).

Fordern Sie Ihre kostenfreie Leseprobe im Internet an unter www.publish-industry.net (nur in Deutschland – im Ausland nur im Abo zu beziehen. Infos unter vertrieb@publish-industry.net)