

Erweiterung des nutzbaren Dynamik- und Frequenzbereiches

Ricarda Nerche¹

¹ Brüel & Kjaer GmbH, 90480 Nürnberg, Deutschland, Email: Ricarda.Nerche@bksv.com

Einleitung

Es werden zwei neue Entwicklungen im Bereich der Signalanalyse vorgestellt: Ein neues Eingangsmodulkonzept, das einen Dynamikbereich von 160 dB ermöglicht und eine Technologie zur Frequenzgangzerrung.

Der hohe Dynamikbereich wird durch ein Hardwarekonzept, die so genannte Dyn-X - Technologie, basierend auf zwei unabhängigen A/D-Wandlern, ermöglicht. Damit werden Übersteuerungen und ungültige Messungen auf Grund eines falschen Eingangsspannungsbereiches vermieden. Des Weiteren wird die REq-X - Technologie vorgestellt. Durch dieses Verfahren ist es möglich, den nutzbaren Frequenzbereich von Sensoren zu erweitern. Es lassen sich die individuellen Frequenzgänge von Mikrofonen und Beschleunigungssensoren in der Analyse berücksichtigen.

Die Dyn-X Technologie

Ungültige Messungen durch Übersteuerung des Eingangskanals können nun vermieden werden. Präzise Messungen, die beim ersten Durchlauf gültige Ergebnisse liefern müssen, z.B. Crashtests, zerstörende Prüfungen sowie dynamische Anwendungen, können so problemlos durchgeführt werden.

Ziel der Entwicklung war es, den Dynamikbereich eines hochwertigen Sensors von 160 dB breitbandig und 125 dB schmalbandig in einem Eingangsspannungsbereich abzudecken. Die begrenzenden Faktoren dieser hohen Dynamik sind das Eigenrauschen V_n und der Übersteuerungspegel des Vorverstärkers. Das Eigenrauschen eines heutigen IEPE (Integral Electronics Piezoelectric) Sensors liegt bei 3 bis 15 mV, dessen maximale lineare Ausgangsspannung beläuft sich auf $5 V_{\text{eff}}$ ($7,071 V_{\text{peak}}$). Daraus ergibt sich ein nutzbarer Dynamikbereich von 124 dB in einem Messbereich bis 25,6 kHz.

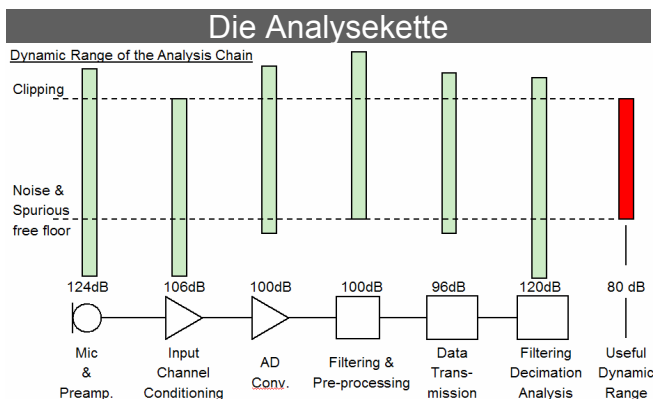


Abbildung 1: Unterschiedliche Dynamikbereiche der Messkette

Bisherige Analyseysteme konnten diesen großen Messbereich nicht in einem Eingangsspannungsbereich

abdecken, so wurden Eingangsabschwächer verwendet, um den Dynamikbereich der Sensoren anzupassen. Die Kapazität des Analyseystems wird neben dem Eigenrauschen und dem Übersteuerungspegel durch folgende Faktoren beeinflusst: Harmonische Verzerrungen, Übersprechen, Auflösung und Nichtlinearität des A/D-Wandlers sowie Aliasingeffekte. Wie in Abbildung 1 ersichtlich, weist der A/D-Wandler neben der Datenübertragung den geringsten Dynamikbereich in der Messkette auf.

Um den Arbeitsbereich von IEPE Sensoren vollständig in einem Messbereich optimal abzudecken, muss ein Konzept gefunden werden, das den Dynamikbereich bestehender Analyseysteme um 20 – 30 dB verbessert.

Dies war das Ziel der Entwicklung einer neuen Front-end-Generation bei Brüel & Kjaer, der Dyn-X Technologie. Dahinter verbirgt sich ein analoges Eingangsstufenkonzept mit einem hohen Dynamikbereich, welches das zu messende Signal vor dem A/D-Wandler vorkonditioniert. Erst danach erfolgt die Digitalisierung in zwei synchron arbeitenden 24-Bit A/D-Wandlern. Die Datenströme beider A/D-Wandler werden in eine DSP-Umgebung weitergeleitet und dort mittels spezieller Algorithmen in Echtzeit verrechnet. Dabei wird eine sehr hohe Genauigkeit von Verstärkung, Offset und Phase erreicht. In Abbildung 2 ist ein Blockschaltbild der Dyn-X Technologie zu sehen.

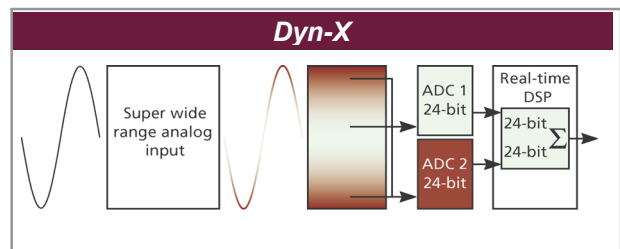


Abbildung 2: Blockschaltbild der Dyn-X Technologie

Im Vergleich zu den bisherigen Eingangsmodulen wurden keine Nachteile im Zeit- oder Frequenzbereich in Bezug auf Verzerrungen und Artefakte festgestellt. Bei den Dyn-X Modulen liegen die Rausch- und Störkomponenten sogar unter -160 dB. Im Vergleich zu den bisherigen 24-Bit-Modulen konnte somit das Eigenrauschen um 30 dB gesenkt werden.

Mit dieser neuen Technologie ist es gelungen, Übersteuerungen vollständig auszuschließen und gänzlich auf Eingangsabschwächer zu verzichten. Somit sind auch sehr anspruchsvolle mehrkanalige Messaufgaben mit unterschiedlichsten Eingangsspannungsbereichen keine Herausforderung mehr. Es wurde somit eine Modulgeneration geschaffen, die in der Lage ist den gesamten Dynamikbereich hochwertiger Sensoren abzudecken.

Die REq-X Technologie

REq-X steht für Response Equalization der Frequenzgangentzerrung. Mit diesem Verfahren lassen sich die Frequenzgänge von Mikrofonen und Beschleunigungssensoren in Echtzeit korrigieren. Dadurch ist eine Erweiterung des nutzbaren Frequenzbereichs der Sensoren möglich.

Mikrofone unterteilt man nach ihrem Verhalten im Schallfeld in drei unterschiedliche Klassen: Diffusfeld-, Freifeld- und Druckmikrofone. Jede dieser Mikrofonklassen weist ein anders Frequenzverhalten auf. Setzt man z.B. ein Diffusfeldmikrofon im Freifeld ein ohne eine Frequenzgangkorrektur vorzunehmen, kann der Pegelunterschied im höheren Frequenzbereich bis zu 5 dB betragen. In Abbildung 3 sind die möglichen Pegelabweichungen der Freifeldmikrofone Typ 4190 und Typ 4189 sowie des Druckfeldmikrofons Typ 4942 bei den unterschiedlichen Frequenzen dargestellt, wenn sie nicht ihrer Konstruktion entsprechend im Schallfeld eingesetzt werden.

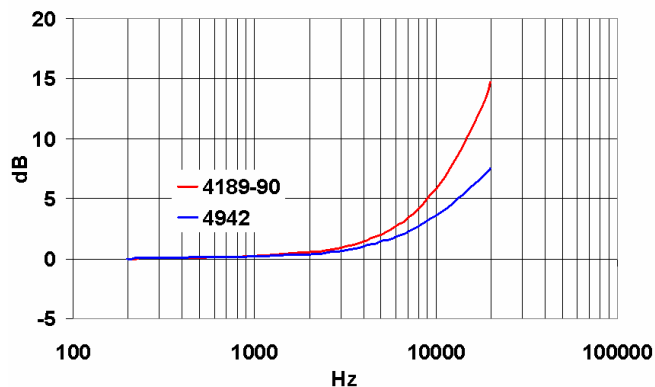


Abbildung 3: Maximale mögliche Fehler der Freifeldmikrofone Typ 4189 / 4190 und des Druckfeldmikrofons Typ 4942

Beschleunigungssensoren haben bei tiefen Frequenzen einen nahezu konstanten Übertragungsfaktor. Zu höheren Frequenzen hin macht sich die Resonanzfrequenz des Feder-Masse-Systems bemerkbar. Der nutzbare Frequenzbereich des Sensors liegt bei ca. 30% seiner Resonanzfrequenz. Bis dorthin ist gewährleistet, dass der maximale Fehler bei dieser Frequenz nicht höher als 1 dB ist. Neben der Resonanzfrequenz wird der nutzbare Frequenzbereich von Beschleunigungssensoren durch die Art der Befestigung weiter reduziert.

Der gesamte Frequenzbereich von Schall- und Schwingungssensoren ist durch einen linearen Übertragungsbereich gekennzeichnet. Ist der Frequenzgang eines Sensors bekannt, kann daraus ein Korrekturfilter berechnet und damit der Frequenzgang linearisiert werden. Die Frequenzgangentzerrung wird mittels einer Filterung im Zeitbereich realisiert, so kann eine Entzerrung in Echtzeit ausgeführt werden. Aus einer Sensordatenbank wird der Frequenzgang des verwendeten Sensors geladen, invertiert und daraus das Korrekturspektrum gebildet. Dieses wird mit dem Eingangsspektrum gefaltet und es entsteht ein flacher Frequenzverlauf. In Abbildung 4 ist das Prinzip dieser Frequenzgangentzerrung veranschaulicht. Aus der inversen Fouriertransformation des Korrekturspektrums wird die

Impulsantwort gebildet. Die Länge der Impulsantwort ist umso größer je tiefer im Frequenzbereich die Frequenzgangentzerrung gefordert ist. Die Entzerrung im Zeitbereich erfolgt als Faltung des Eingangssignals und der Impulsantwortfunktion. Die Genauigkeit der Frequenzgangentzerrung ist also von der Länge der Impulsantwort abhängig, welche automatisch bestimmt wird.

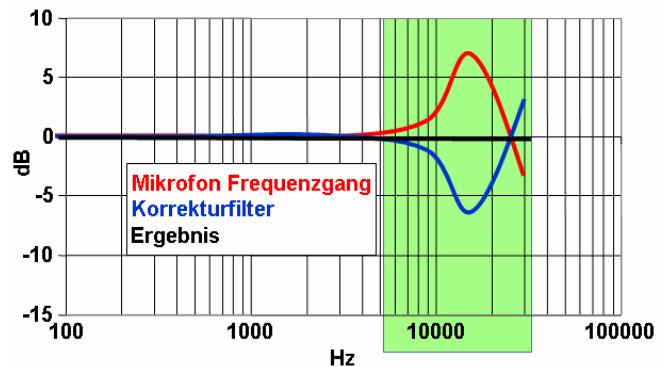


Abbildung 4: Prinzip der REq-X Technologie

Der Frequenzgang von Beschleunigungssensoren lässt sich durch 5 Parameter beschreiben. Diese sind für Brüel & Kjaer Beschleunigungssensoren sowohl im Kalibrierzeugnis angegeben und bei TEDS-Sensoren (Transducer Electronic Data Sheet) im Sensor gespeichert. Die Frequenzgänge von Brüel & Kjaer Mikrofonen werden individuell auf einer CD mitgeliefert.

Zusammenfassung

Durch Verwendung der TEDS-, Dyn-X- und REq-X-Technologie können Messaufgaben in der Schall- und Schwingungsmesstechnik schneller, komfortabler und sicherer ausgeführt werden. Mit der Dyn-X Technologie können Fehler wie Übersteuerungen oder die Wahl des falschen Messbereichs vermieden werden; es wird immer im richtigen Messbereich gemessen. Durch die REq-X Technologie werden die Verwendungsmöglichkeiten bereits vorhandener Sensoren erweitert, die Messgenauigkeit erhöht und der nutzbare Frequenzbereich der Sensoren ausgedehnt.

Literatur

- [1] von Grünigen, D. Ch.: Digitale Signalverarbeitung. Carl Hanser Verlag, München Wien, 2004
- [2] Jacobsen, N.J.; Andersen, O.T.: Dyn-X Technology: 160 dB in One Input Range. Brüel & Kjaer Technical Review No 1. Naerum DK, 2006
- [3] Gade, S; Schack, T; Thorhauge, O.: REq-X Frequenzgangentzerrung an Sensoren. Brüel & Kjaer Magazine Ausgabe 2/2005, Naerum DK, 2005
- [4] Serridge, M; Licht, T.R.: Piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer und Vorverstärker – Theorie und Anwendung. Brüel & Kjaer, Naerum DK, 1990