

Frequenzumrichter als Herausforderung für die Messtechnik

Helmut Gass

Leistungselektronik hilft elektrische Systeme zu optimieren, verursacht aber zusätzliche Verluste durch Schaltvorgänge. Diese Schaltvorgänge führen zu hochfrequenten Anteilen in Spannung, Strom und Leistung. Moderne Leistungsmessgeräte müssen mit diesen Anteilen umgehen können.

Mit der Einführung der Leistungselektronik verließ man den Raum der Sinusschwingungen mit 50 Hz. Standardmessgeräte entsprachen nicht mehr den Anforderungen der Technik und True-RMS-Multimeter (Root Mean Square = Effektivwert) kamen auf. Spannungs- und Strommessung wurden von der Kurvenform entkoppelt. Die Leistungsmessung musste neue Ansätze wählen, die digitale Signalabtastung hat sich durchgesetzt.

Der Frequenzbereich von Umrichter-signalen reicht von DC im Zwischenkreis über wenige Hz Grundfrequenz am Ausgang bis hin zu einigen kHz Schaltfrequenz mit harmonischen Oberschwingungen im 100-kHz-Bereich. Dies erfordert hohe Bandbreiten und Abtastraten bis zu einigen MHz.

Durch pulswidenmodulierte Signale treten Eigenschaften wie Gleichtaktunterdrückung und galvanische Trennung in den Vordergrund. Signal- und Oberschwingungsanalysen sollen selbst unter hoch dynamischen Bedingungen beim Umrichterbetrieb, z.B. Beschleunigen oder Bremsen, noch exakte Werte

Helmut Gass, Marketing & Business Development, LEM

liefern, was nur mit nicht lückenden Messungen möglich ist.

Gerade die Antriebstechnik benötigt des Weiteren eine Umwandlung elektrischer Messgrößen in mechanische, z. B. Drehmoment und Drehzahl, zur Ermittlung des Wirkungsgrades von elektromechanischen Wandlern, z. B. Motoren.

Bestimmung der Verluste im Einzelnen

Verluste kann man als ganzes (Eingang zu Ausgang) oder auch einzeln bestimmen. Um die verschiedenen Einzelverluste ermitteln zu können, muss man von bestimmten Annahmen ausgehen. Dynamische Vorgänge lassen sich kaum erfassen. Meist wählt man dafür eine Kombination aus Messung und Berechnung. Dieses aufwändige Verfahren kann ein Power Analyser ersetzen. Die Messung setzt immer zugeführte Leistung zur abgebenen in Beziehung.

Die Berechnung der Verluste erfordert eine Leistungsmessung hoher Präzision, da sich der Wirkungsgrad aus kleinen Unterschieden ergibt (Tabelle). Bei einem System mit 95 % Wirkungsgrad beträgt der Messfehler z. B. 4 %, obwohl die Messunsicherheit nur 0,1 % beträgt.

Oftmals gibt der Messgerätehersteller lediglich den Messfehler vom Messwert bei 50Hz an. Auf die Genauigkeit des Messergebnisses haben aber eine Reihe weiterer Parameter Einfluss:

- Basis der Genauigkeit: Messwert (Reading) [%] + Messbereich (Range) [%]
- Bandbreite / Winkelfehler: Geringer Winkelfehler zwischen Spannung und Strom, auch bei hohen Frequenzen; hohe Bandbreite: DC...xMhz [DC-Kopplung]
- Hohe Gleichtaktunterdrückung: mindestens 120 dB

Fehlerberechnung

Bei c = 50% und 0,1% Messfehler

	soll	ist
P2 [W] =	100	100,1
P1 [W] =	50	49,9
PVerlust [W] =	50	50,2

Fehler = 0,4%

Bei c = 50% und 0,1% Messfehler

	soll	ist
P2 [W] =	100	100,1
P1 [W] =	95	94,9
PVerlust [W] =	5	5,2

Fehler = 4%

Absoluter und relativer Fehler

- Langzeitstabilität: Das empfohlene Rekalibrierintervall gibt Aufschluss über die Stabilität des Messgerätes. Nur durch Berücksichtigung aller dieser Eigenschaften kann man auf die Messgenauigkeit des Messsystems schließen.

Das Prinzip des Power Analysers

Bekannte Formeln stimmen häufig nur für sinusförmige Größen. Der Power Analyser integriert die Samples (Abtastwerte) über mehrere Perioden hinweg und berechnet daraus die Messgrößen.

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_{(t)}^2 dt}$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u_{(t)} \times i_{(t)} dt$$

Der Power Analyser tastet U und I sehr schnell synchron ab und bildet damit die Integrale über einstellbare Mittelungszeiten (Bild 1). Er sucht automatisch Nulldurchgänge, um immer ganze Perioden, bezogen auf die Grundfrequenz, zu erhalten. Damit vermeidet er Abbruchfehler. Ein Zeitfenster von 200 ms beinhaltet z. B. zehn Perioden bei 50 Hz. Die Abtastrate definiert die höchste messbare Frequenz. Abtastraten bis 1 MHz werden heute nichtlückend (also in ununterbrochener Messung) erzielt.

Ein gut gewähltes Schaltungsdesign reduziert störende Einflüsse auf die Messgenauigkeit auf ein Minimum. Strom- und Spannungskanal müssen

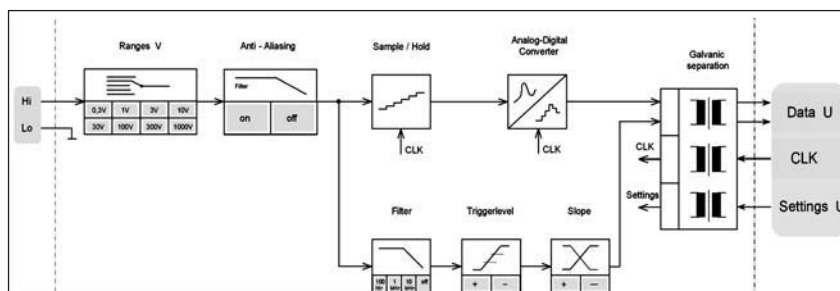


Bild 1: Prinzipschaltbild Power Analyser (Spannungskanal)



Bild 2: Numerik und Harmonik



Bild 3: Vector und Oszilloskop

räumlich voneinander getrennt werden. Damit bleiben Winkelfehler vernachlässigbar klein. Werte bis zu $0,005^\circ + 0,005^\circ/\text{kHz}$ lassen sich erreichen. Die Umwandlung des Messstromes in ein entsprechendes Signal für den Konverter erfolgt vorzugsweise mittels Shunt.

Funktionen des Shunt oder Stromwandlers

Die Vorteile der Shunts liegen auf der Hand:

- Hohe Bandbreite,
- hohe Genauigkeit,
- geringer Winkelfehler.

Die »Guard«-Technik von LEM erhöht die Gleichtaktunterdrückung bei hohen

Frequenzen in Verbindung mit externen Shunts. ($\times 10$ bei 100 kHz).

Durch den Nachteil fehlender galvanischer Trennung entstehen das Problem der Gleichtaktbeeinflussung und die Notwendigkeit, im Messkanal galvanisch zu trennen. Shunts bieten aber dafür hohe Bandbreite und geringen Winkelfehler. Alternativ zum Shunt kann man aktive oder passive Stromwandler einsetzen. Diese haben jedoch den Nachteil der geringeren Bandbreite und Genauigkeit vor allem im Bereich der Winkelgenauigkeit. Der alternative Weg, die Kompensation von Laufzeiten, hat sich wegen der Komplexität nicht bewährt. Diese Methode eignet sich daher nicht für Messungen an Umrichtern.

Vom Messen zum Analysieren

Moderne Power Analyser vereinigen verschiedene Messgeräte. Basierend auf seiner hohen Genauigkeit für numerische Messwerte haben moderne Analyser noch Oszilloskopfunktion, Oberschwingungsanalyse sowie Vektordarstellung im selben Gerät (Bild 2 und 3). Rekorderdarstellung, Speicheroption und Messsoftware gehören ebenfalls zum Standardprogramm.

Der Power Analyser findet sein Anwendungsfeld immer dort, wo nichtsinusförmige Signale oder kleine $\cos \varphi$ vorkommen.