

6- & 7-phasige Leistungsmessung an AC-Motoren mit dem PPA3560 von N4L, im Lieferprogramm von Caltest Instruments für Deutschland und Österreich

Elektrische Antriebe mit variabler Frequenz (engl. VFD) stellen einen rasch zunehmenden Anteil der Elektromotor-Anwendungen in vielen Bereichen der Industrie dar. Die Vorteile gegenüber Standard-Antrieben sind der niedrige Leistungsbedarf beim Start, eine kontrollierte Beschleunigung, eine einstellbare Geschwindigkeit ohne mechanisches Getriebe und eine höhere Effizienz.

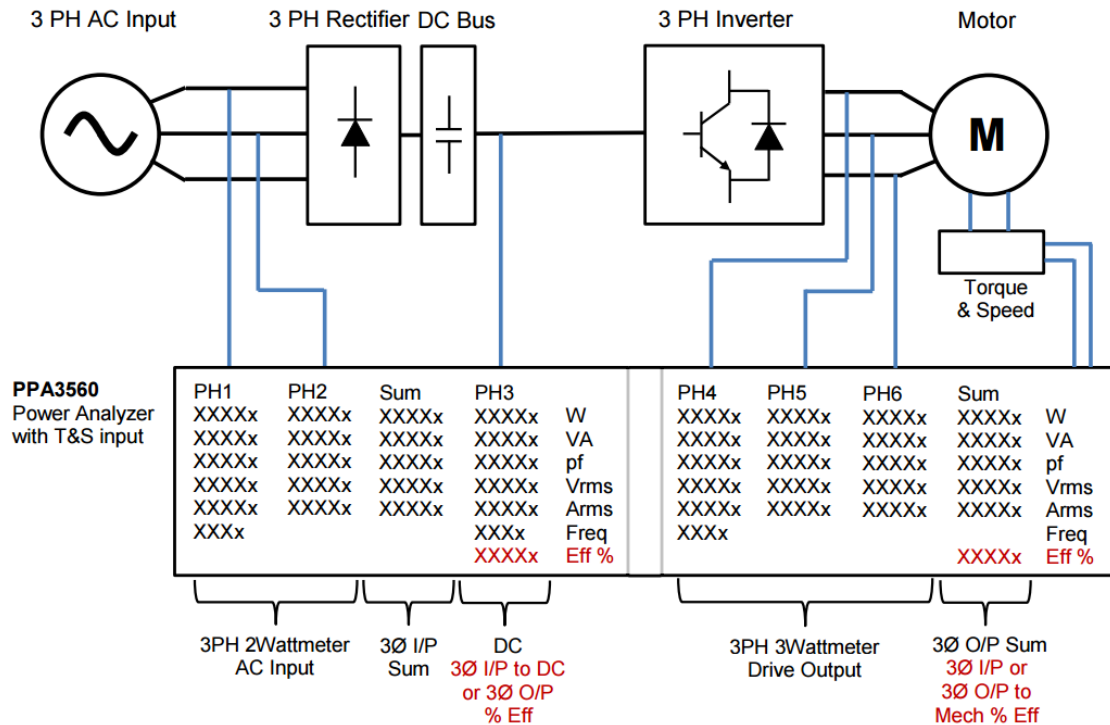
Wie viele andere schnell wachsende Technologien ist die Verwendung von variablen Frequenzumrichtern nicht mehr auf Industrie- oder Spezialanwendungen begrenzt, sondern auch moderne elektrische Hausgeräte (weiße Ware) werden jetzt allgemein mit VFD-Technologie versorgt. Auf die gleiche Art und Weise erhöht nun die Schaltnetzteil-Technologie den Bedarf an Messgeräten zur Leistungsanalyse. Da die Effizienz von VFDs gestiegen ist und komplexe Breitbandspannungen erzeugt werden, müssen die Leistungsmessgeräte eine ausreichend hohe Genauigkeit haben. Daher sind die Anforderungen an Umrichter, an Motor-Tests sowie an die Messgeräte gegenüber den Anforderungen von herkömmlichen AC-Motor-Anwendungen gestiegen.

Egal ob die Messungen, die gemacht werden, auf den Motorwirkungsgrad, die VFD-Effizienz oder das komplette System von der AC-Quelle bis zur mechanischen Ausgangsleistung fokussiert sind – Es werden mehrere Messpunkte benötigt. Ist eine Anwendung stabil und stark reproduzierbar, so ist es praktisch, sequenzielle Messungen zu machen. Wenn jedoch, wie in den meisten Fällen, eine absolute Stabilität nicht gewährleistet werden kann, oder wenn die Lastbedingungen sich ändern können wie im allgemeinen in einer VFD-Anwendung, dann erfordert die gleichzeitige Messung von elektrischer zu elektrischer- und / oder elektrischer in mechanischer Wirkungsgrade eine Instrumentierung, die für diese komplexe Handhabung und für diese Messumgebung konzipiert wurde.



Die Systemeffizienz mit 6-Phasen-Analyse:

Im unten stehenden Diagramm werden Gleichrichter, Wechselrichter und Motor-Effizienz mit einem 6-Phasen-Messgerät gemessen:



Warum ein 6-Phasen-Instrument?

Wie man sieht, ist es mit 6 Leistungskanälen plus Drehmoment- und Drehzahleingängen möglich, die Leistungen von drei Eingangsphasen, die DC-Bus-Leistung, die Leistungen von drei Ausgangsphasen und die mechanische Leistung zu messen.

Wenn es nur notwendig ist, die elektrische Eingangsleistung und die elektrische Ausgangsleistung zu erfassen, d.h. wenn keine Notwendigkeit besteht, die DC-Bus-Leistung zu messen, ist eine herkömmliche 3-Wattmeter-Messmethode, mit der die drei Eingangsphasen und die drei Ausgangsphasen gemessen werden, ausreichend. Dies ermöglicht es dem Benutzer, die einzelnen Leistungsanteile jeder der drei Phasen zu sehen.

Da jedoch die Leistungen der einzelnen Phasen des Inverterausgangs in der Regel von größerem Interesse sind als die einzelnen Phasen der relativ simplen AC-Quelle, wird der Eingang meist mit einer 2-Wattmeter-Technik gemessen. Diese ergibt exakt die gleiche Gesamtleistung eines dreiphasigen Systems wie die 3-Wattmeter-Methode, lässt aber einen Messkanal frei, mit dem die DC-Bus-Leistung oder beispielsweise die Drehzahl, Vibration oder Temperatur gemessen werden können.

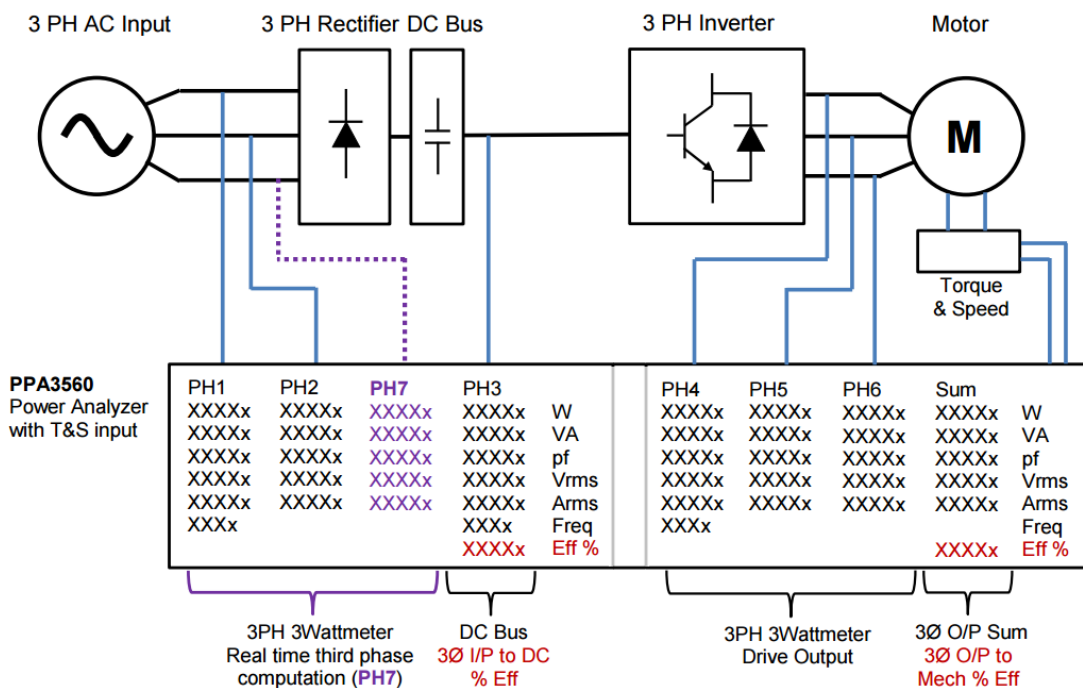
An diesem Punkt ist es nötig uns entgegen der Aussagen, die manchmal in Bezug auf 3-Phasen-Messungen an 3-Phasen-Systemen gemacht werden, bewusst zu machen, dass eine korrekt ausgeführte 2-Wattmeter-Messung zur exakt gleichen Gesamtleistung führt wie die 3-Wattmeter-Technik. Dies ist unabhängig von der Größe, dem Phasenwinkel und der Ungleichheit der Harmonischen des dreiphasigen Systems.

Auch wenn es sicherlich interessant sein kann, zu wissen, welchen relativen Leistungsanteil jede Phase hat, was durch die 3-Phasen-3-Wattmeter-Messung in Erfahrung gebracht werden kann, so wird die 2-Wattmeter-Messung dennoch dieselbe Gesamtleistung ergeben.

Kann ein 6-Phasen-Instrument 7-Phasen-Ergebnisse liefern?

Ja. Durch das Zusammenspiel der Vektoren zwischen jeder Phase in einem 3-Phasen-3-Leiter-System, kann ein Messsystem, das über ausreichend Echtzeit-Verarbeitungsleistung verfügt, Spannung, Strom und Leistungswerte der dritten Phase liefern, wenn es in einer 2-Wattmeter-Konfiguration mit Echtzeit-2-zu-3-Wattmeter-Umwandlung verbunden ist.

Im untenstehenden Diagramm zeigen wir die 2-zu-3-Wattmeter-Umwandlung, bei der die berechnete Phase als PH7 dargestellt wird.



Umwandlung von 3 Phasen 2 Wattmeter zu 3 Phasen 3 Wattmeter:

Abkürzungen:

- VDN (t) = Spannung der Phase n relativ zur Phase 3
- Vs (t) = Spannung von "Sternpunkt" relativ zur Phase 3
- VSN (t) = Spannung in der Phase n relativ zum "Sternpunkt"
- Zn = Last Impedanz der Phase n
- Z = Parallel-Impedanz von Z1, Z2 und Z3
- Ein (t) = Strom, der in Phase n fließt
- Wdn (t) = Leistung in der Phase n gemessen in 3p2W
- WSN (t) = Leistung in der Phase n in 3p3W gemessen

Spannungsberechnungen:

Betrachtung der "Sternpunkt"-Spannung, relativ zur 3-Phasen-Netzspannung durch Überlagerung:

$$V_s(t) = Z (V_{d1}(t)/Z_1 + V_{d2}(t)/Z_2)$$

Wenn $Z_1 = Z_2 = Z_3$, dann

$$V_s(t) = (V_{d1}(t) + V_{d2}(t)) / 3$$

Jetzt,

$$\begin{aligned} V_{s1}(t) &= V_{d1}(t) - V_s(t) \\ &= V_{d1}(t) - (V_{d1}(t) + V_{d2}(t)) / 3 \\ &= (2 \cdot V_{d1}(t) - V_{d2}(t)) / 3 \end{aligned}$$

Gleichzusetzen,

$$\begin{aligned} V_{s2}(t) &= (2 \cdot V_{d2}(t) - V_{d1}(t)) / 3 \\ V_{s3}(t) &= 0 - V_s(t) \\ &= - (V_{d1}(t) + V_{d2}(t)) / 3 \end{aligned}$$

Beachten Sie, dass diese Berechnungen nur voraussetzen, dass die Phasenlastimpedanzen gleich sind und dass keine anderen Spannungsquellen den Sternpunkt zu beeinflussen.

Strom-Berechnungen:

Der Strom der Phase 1 und der Strom der Phase 2 werden direkt gemessen; der Strom der Phase 3 wird durch das Kirchhoffsche Gesetz berechnet:

$$A_3(t) = - A_1(t) - A_2(t)$$

Dies setzt voraus, dass keine anderen Stromquellen den Sternpunkt beeinflussen.

Leistungsberechnungen:

$$\begin{aligned} Ws1(t) &= Vs1(t) \times A1(t) \\ &= (2.Vd1(t) - Vd2(t)).A1(t) / 3 \\ &= (2.Wd1(t) - Vd2(t).A1(t)) / 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ws2(t) &= Vs2(t) \times A2(t) \\ &= (2.Vd2(t) - Vd1(t)).A2(t) / 3 \\ &= (2.Wd2(t) - Vd1(t).A2(t)) / 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ws3(t) &= Vs3(t) \times A3(t) \\ &= (- Vd1(t) - Vd2(t)) \times (- A1(t) - A2(t)) / 3 \\ &= (Wd1(t) + Vd1(t).A2(t) + Vd2(t).A1(t) + Wd2(t)) / 3 \end{aligned}$$

Um die Leistungsformel zu bestätigen, betrachten Sie die Gesamtleistung (das (t) der Übersichtlichkeit halber weggelassen):

$$\begin{aligned} \text{Gesamtleistung} &= Ws1 + Ws2 + Ws3 \\ &= (2.Wd1 - Vd2.A1 + 2.Wd2 - Vd1.A2 + Wd1 + Vd1.A2 + Vd2.A1 + Wd2) / 3 \\ &= Wd1 + Wd2 \end{aligned}$$

All diese Berechnungen basieren auf Momentanwerten und setzen nur voraus, dass keine andere elektrische Quelle auf den Sternpunkt einer Last einwirkt und dass, wie wir annehmen, die Impedanz jeder Phase der AC-Quelle vergleichbar ist.

Beispiel: Screenshots von einem PPA3560 Präzisions-Leistungsmessgerät im 7-Phasen-Messmodus:

POWER ANALYZER				POWER ANALYZER			
coupling: ac+dc				coupling: ac+dc			
phase 1	phase 2	phase 7	phase 3	phase 4	phase 5	phase 6	SUM2
532.77	521.64	536.50	1.5690k	479.01	478.10	480.69	1.4378k
535.33	534.09	536.50	1.5690k	479.27	478.39	480.76	1.4378k
0.9952	0.9767	1.0000	1.0000	0.9995	0.9994	0.9999	1.0000
231.18	231.02	231.42	320.10	138.68	138.46	139.04	138.73
2.3157	2.3119	2.3183	4.9016	3.4558	3.4552	3.4577	3.4562
49.999			0.0000	49.999			
			98.62				90.43
			%				%

Beachten Sie, dass "Phase 7" die Phase 3 der dreiphasigen Eingangswellenform ist und Watt, VA, pf, V und A für die simulierte Phase berechnet wurde.

Schlussfolgerung:

Die zunehmende Komplexität der modernen VFD-Anwendungen erfordern Produkte zur Mehrkanal-leistungsmessung, um eine sinnvolle Leistungsanalyse zu erreichen.

Moderne Leistungsmessgeräte mit entsprechenden Abtastverfahren und die hohe Verarbeitungsleistung in Echtzeit, können hochgenaue Messungen in 6 oder 7 Phasen-Leistungsmess-Anwendungen durchführen.

Das PPA3560 sowie weitere Informationen erhalten Sie bei:



Caltest Instruments GmbH
Kohlmattstr. 7
D-77876 Kappelrodeck

Tel: +49-7842-99722-00

Fax: +49-7842-99722-29

info@caltest.de

www.caltest.de