



Thema: Erfassung der Systemantwort  $\Delta U_g$  bei der Aufnahme von WECC- Kriterien an Datum: 14.03.2014  
Subject: PSS- Strukturen von Synchrongeneratoren Date:

Zum Nachweis der Wirksamkeit von Pendeldämpfungsgeräten, die in den Erregersystemen von Turbosätzen installiert sind, werden die Systemantworten dieser Einheiten im Netzparallelbetrieb auf  $U_g$ - Sollwertsprünge sowie durch Anregung mit einem bandbegrenzten Zufallssignal ausgewertet.

Im Europäischen Raum wird dabei die Pendelbewegung des Polwinkels einer Synchronmaschine, welche auf dem Wirkleistungssignal als Größe  $\Delta P$  auf moduliert ist, zur Auswertung herangezogen. Dabei werden das logarithmierte Verhältnis der Systemantwort  $\Delta P$ , im annähernden Nennlastpunkt der Synchronmaschine, zur Amplitude des Anrege- Signals, als Amplitudengang des Verhältnisses in dB angegeben. Darüber hinaus werden die Phasendifferenzen zwischen dem Anrege- Signal und der Systemantwort  $\Delta P$ , als so genannter Phasengang dargestellt. Beide Komponenten, Der Amplituden- und der Phasengang sind die Bestandteile ein so genanntes Bode- Diagramm.

Im Chinesischen und US- Amerikanischen Raum wird an Stelle von  $\Delta P$  die Größe  $\Delta U_g$  über der Anrege- Frequenz zur Auswertung bevorzugt. Als Messbedingungen sollte dabei die Wirkleistung des Turbosatzes ein Minimum der aus turbinentechnischer Sicht realisierbaren Antriebsleistung betragen und die PSS- Funktion ausgeschaltet sein. Auf der Basis des vorstehend beschriebenen Lastpunktes wird das so genannte WECC- Kriterium aufgenommen.

Die Besonderheit besteht nun darin, dass die bei starren Netzen angestoßene Polwinkel- Pendelbewegungen nur geringfügige Änderungen der Maschinenspannung bewirken. Durch das Übersetzungsverhältnis der Spannungswandler sowie weiterer Signalteilungen zur Messwertaufbereitung, ist es schwierig, das verbleibende Nutzsignal von den in jedem Kraftwerk vorhandenen Störsignalen deutlich zu trennen.

Unter der Annahme, dass bei dem WECC- Messverfahren die Generator- Spannung  $\Delta U_g$  ca. 1 - 2% der Maschinen- Nennspannung beträgt, würde das, über den Analogausgang eines Erregersystems ausgegebene  $\Delta U_g$ - Signal nur wenige Millivolt betragen.

Angesichts der hohen EMV- Pegel in den Schalträumen eines Kraftwerkes, würden Nutzsignalspannungen in dieser Größenordnung nahezu im EMV- Störsignal untergehen, d.h. ein FFT- Analysator könnte keinen akzeptablen Verlauf des WECC- Phasenkriteriums mehr darstellen.

Aus diesem Grund habe ich nach einer Möglichkeit gesucht, den Signal- Rauschabstand bei der Aufnahme des WECC- Kriteriums zu verbessern. Weiterhin sollte die modifizierte  $\Delta U_g$ - Erfassung, in Form einer externen Hardwarelösung realisiert werden, da die Erregersysteme aller Hersteller leider immer nur mit einer begrenzten Anzahl von analogen Ausgängen versehen sind und die in der Regel mit anderen Ausgangssignalen belegt werden als der Generatorspannung.

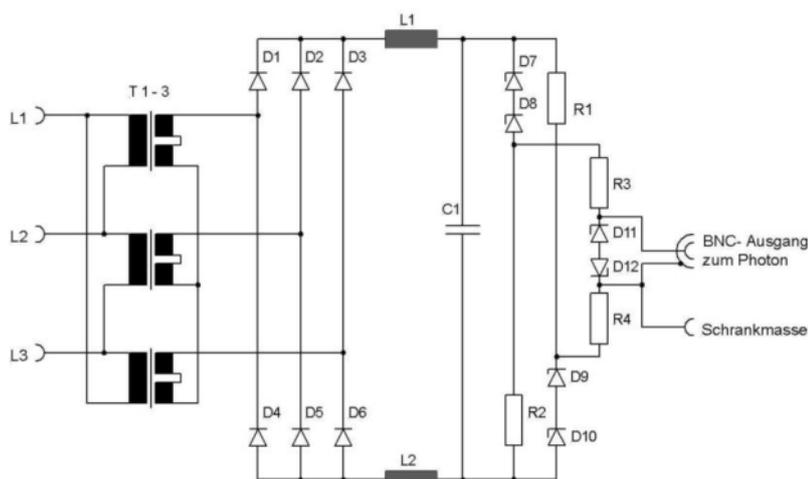
Das nachfolgende Verfahren beschreibt den Versuch, mit einer externen und passiven Lösung diese Messaufgabe zu optimieren.

Das bemerkenswerte an dieser Lösung ist, den statischen AC- Anteil der Generatorklemmenspannung durch das Prinzip einer „elektrischen Waage“ vom Messeingang der Auswerteeinheit, z.B. eines FFT- Analysators fernzuhalten, um nur den  $\Delta U_g$ - Anteil mit hinreichendem Störabstand erfassen zu können.

Das Wirkprinzip der „elektrischen Waage“ beruht auf einer Brückenschaltung, wobei zwei der Brückenarme aus rein ohmschen Widerständen bestehen und die anderen beiden Brückenarme aus Spannungs- Referenzelementen gebildet werden.

Die gesamte Brücke wurde dabei so abgestimmt, dass bei einer angenommenen sekundären Generator- Nennspannung auf der Sekundärseite der Spannungswandler, mit einer Leiter-/ Leiter- Spannung von 100 V rms, die Ausgangsspannung der Brückenschaltung nahezu null Volt DC beträgt.

Die nachfolgende Skizze zeigt die vollständig aufgebaute Schaltung der  $\Delta U_g$ - Erfassungs- Einheit.



Die dreiphasige Sekundärspannung der Generator- Spannungswandler wird zunächst über eine Eingangs- Transformator-Baugruppe galvanisch von der  $\Delta U_g$ - Erfassungs- Einheit getrennt und durch eine nachgeschaltete Sechspulsgleichrichterbrücke auf ein Niveau von ca. 48 V DC reduziert. Zur weiteren Reduzierung des Störabstandes dient der nachgeschaltete LC- Tiefpass 2. Ordnung dazu, die von einer Sechspuls- Gleichrichter- Brücke generierte 6. Harmonische von 300 Hz mit ca. -18 dB zu dämpfen. An der real aufgebauten  $\Delta U_g$ - Erfassungs- Einheit betrug die 6. Harmonische bei einer Eingangsspannung von  $3 \times 100$  V, am Ausgang nur noch 0,65 V.

Im weiteren Signalverlauf fügt sich die bereits vorstehend beschriebene Funktionsgruppe der „elektrischen Waage“, bestehend aus den Dioden D7 bis D10 und den Widerständen R1 und R2 an.

Zur Begrenzung der Ausgangsspannung, um dadurch nachfolgende Messbaugruppen vor evtl. Überspannungen zu schützen, dient die Kombination aus D11 und D12 sowie die Widerstände R3 und R4.

Durch eine zusätzliche Buchse, die galvanisch mit dem Schirm der BNC- Ausgangsbuchse verbunden ist, kann die gesamte  $\Delta U_g$ - Erfassungs- Einheit auf ein definiertes Massepotential gelegt werden. Dadurch werden nicht nur „undefinierte Potentiale sondern auch Störspannungen durch evtl. Erdschleifen vermieden.

Durch den bereits erwähnten LC- Tiefpass 2. Ordnung wird natürlich nicht nur die 6. Harmonische der Gleichrichterbrücke gedämpft, sondern auch in geringen Umfang der Amplituden- und Phasengang des Nutzsignals  $\Delta U_g$ .

Folgende Beeinflussungen wurden am Simulationsmodell des LC- Tiefpasses ausgemessen:

Amplitudengang:	-0,000 dB	bei	0,1 Hz	Phasengang:	-0,12°	bei	0,1 Hz
	-0,000 dB	bei	0,5 Hz		-0,50°	bei	0,5 Hz
	-0,001 dB	bei	1,0 Hz		-1,04°	bei	1,0 Hz
	-0,016 dB	bei	5,0 Hz		-5,05°	bei	5,0 Hz
	-0,060 dB	bei	10 Hz		-10,1°	bei	10 Hz

Wie die vorstehende Tabelle zeigt, kann die Amplitudenbeeinflussung des generierten  $U_g$ - Signals bis zu einer Anrege- Frequenz von 10 Hz praktisch vernachlässigt werden. Die Durchgangsdämpfung der  $U_g$ - Amplitude beträgt dabei ca. 0,7%. Im Phasengang wirkt sich der LC- Tiefpass schon deutlicher aus. Bei einer Anrege- Frequenz von 10 Hz beträgt der Phasenfehler bereits -10°.

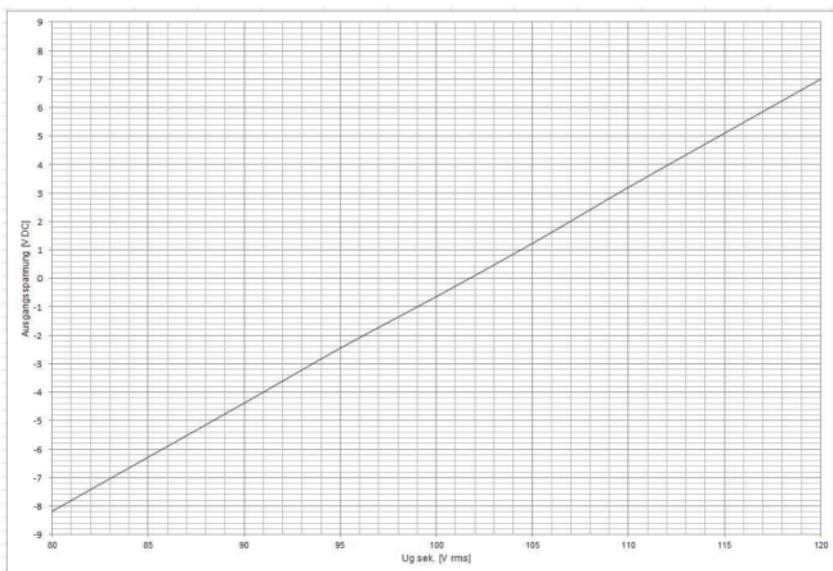
Da die Phasenbeeinflussung aber in einem festen Verhältnis zur Anrege- Frequenz steht, kann dieser aus dem Ergebnis des aufgenommenen WECC- Phasenkriteriums herausgerechnet werden.

Der Vorteil der vorstehenden Schaltungsanordnung liegt jedoch in dem absolut linearen Übertragungsverhalten von  $380 \text{ mV } \Delta U_{\text{Ausgang}} / 1\% \Delta U_{\text{Eingang}}$  und damit der größeren  $\Delta U_g$ - Signalamplitude gegenüber den herkömmlichen Messverfahren. Ein Einsatzbeispiel zur Aufnahme des WECC- Phasenkriteriums an einem 80 MVA Turbosatz, mit einer Nennspannung von 15 kV, bei dem der Generatorspannungs- Istwert über einen Analogausgang des Erregersystems bereitgestellt wurde, soll dies verdeutlichen.

Die Skalierung des Analogausgangs, welche aus anlagentechnischen Gründen nicht verändert werden durfte, betrug: 0 – 20 kV Generatorspannung entsprach einem Ausgangsstrom von 4 – 20 mA.

Unter der Annahme, dass während der Messung das primäre  $\Delta U_g$  an der Generatorklemme ca. 1% betrug, entspricht dies einer Ausgangsstromänderung am Analogausgang von  $\Delta I_{\text{Analogausgang}} = 0,12 \text{ mA}$ . An einem  $500 \Omega$  Mess- Shunt entspricht dies einer Signalspannung von  $\Delta U_g = 60 \text{ mV}$ .

Die vorstehende Schaltungsanordnung würde demzufolge das 6,3 fache an Mess- Spannungsamplitude gegenüber einem analogen Ausgang bereitstellen. Zusätzlich wäre dieses Mess- Signal von der Hard- und Software- Konzeption, des Erregersystems, d.h. von der Anzahl an verfügbaren Analogausgängen, vollkommen unabhängig.

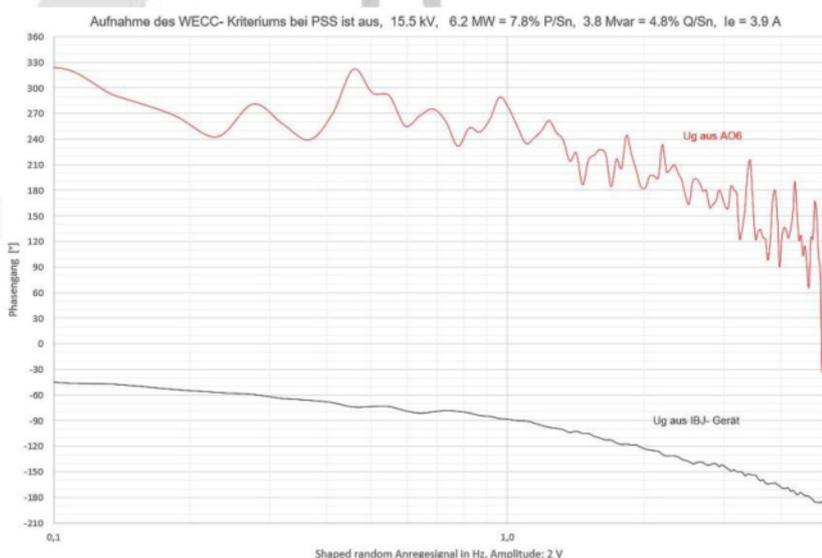


Das nebenstehende Diagramm zeigt die Übertragungsfunktion der gesamten  $\Delta U_g$ - Erfassungseinheit.

Dabei ist deutlich die lineare Übertragungs- Charakteristik zu erkennen.

Der Übertragungsfaktor beträgt in etwa 380 mV pro Prozent der Spannungs-Änderung an der Generatorklemme bzw. der sekundären Ausgangsspannung der Generator- Spannungswandler.

Je größer also die Nutzsignalamplitude für die nachfolgende Messtechnik, in diesem Fall ein FFT- Analysator ist, um so stabiler werden auch die Messergebnisse sein.



Das dies in der Praxis auch wirklich so ist, zeigt die nebenstehende Grafik.

Darin wird der Verlauf des WECC- Phasenkriteriums über der Anrege- Frequenz dargestellt.

Die rote Linie zeigt das Messergebnis des FFT- Analysators mit dem  $\Delta U_g$ - Signal aus dem Analogausgang des Erregersystems und die schwarze Linie das Messergebnis mit dem  $\Delta U_g$ - Signal aus der beschriebenen Erfassungs- Einheit.

Beide Verläufe zeigen zwar den gleichen Trend, aber die Genauigkeit der schwarzen Linie ist deutlich größer. Damit dürfte die Praxistauglichkeit der beschriebenen  $\Delta U_g$ - Erfassungseinheit nachgewiesen sein.

Nachfolgend die Ansicht des fertigen Gerätes.



Bei bestehendem Bedarf kann die Erfassungseinheit vom Ingenieurbüro John in kleineren Stückzahlen gefertigt werden.