



Thema: Schnelle und präzise Messwerterfassung und Darstellung beliebiger Variablen eines Drehstromsystems an vier ± 10 V Analogausgängen

Datum: 14.07.2026
Date:

Bei der Inbetriebnahme von Turbosätzen sowie der Wiederinbetriebnahme von so genannten Altanlagen ist es erforderlich, die dynamischen Systemeigenschaften durch Aufzeichnen von Systemantworten auf eingegebene Sollwertsprünge nachzuweisen.

Darüber hinaus wünschen vereinzelt Netzbetreiber, infolge durchgeführter Netzerweiterungen oder Ausbaumaßnahmen, die Nachweise von wirksamen Pendeldämpfungen (PSS), an den Ihr Netz speisenden Energieerzeugern.

In allen Fällen der vorstehenden Mess- und Optimierungsaktivitäten müssen der dafür erforderlichen Messtechnik bestimmte elektrische Variablen des Drehstromsystems, wie Spannungen und Ströme bzw. Wirk- und Blindleistungen bereitgestellt werden.

Herstellerabhängig verfügen die Erregersysteme der Energieerzeuger über unterschiedliche Anzahlen von noch freien, oder keinen Analogausgängen, über die diese Drehstromvariablen ausgegeben werden können.

Sind im Einzelfall noch mindestens zwei Analogausgänge zur freien Verfügung vorhanden, müssen diese erst für den speziellen Anwendungsfall parametrieren werden, was in der Regel nur im Stillstand des Energieerzeugers möglich ist.

Um ein zusätzliches Abfahren eines im Betrieb befindlichen Energieerzeugers, nur zum Parametrieren der Analogausgänge zu vermeiden, bzw. vorhandene Analogausgänge, die bereits mit anderen Variablen belegt sind umzuparametrieren, wurde vom Ingenieurbüro John nach einer alternativen Lösung gesucht.

Beispielsweise könnten mit einem externen Messwerterfassungssystem die gewünschten Drehstrom- Variablen berechnet und über Analogausgänge ausgegeben werden, ohne die vorhandenen Generatornebenanlagen wie die Erreger- und Schutzsysteme dabei elektrisch zu manipulieren.

Auf dem Markt werden eine Vielzahl von Messwertumformern für Drehstromsysteme angeboten, aber nur wenige erfüllen für die vorstehend genannten Anwendungsfälle, die erforderlichen technischen Auswahlkriterien.

- Messsysteme für 1, 2, 3, und 4 Leitermessung mit ungleicher Belastung der Einzelphasen
- Mindestens vier Analogausgänge mit Ausgangsgrößen ± 20 mA, besser noch ± 10 V
- Messunsicherheit für Spannungs- und Strom $\leq 0,2\%$, für Leistungen $\leq 0,3\%$ und Frequenz $\leq 0,01$ Hz
- Einstellzeit (Zeit vom Eintritt eines Ereignisses auf der Drehstromseite bis zur Wiedergabe am Analogausgang): ≤ 20 ms

Unter Berücksichtigung der vorstehenden Kriterien haben wir uns für den Messwertumformer DM5F der Fa. Camille Bauer entschieden.

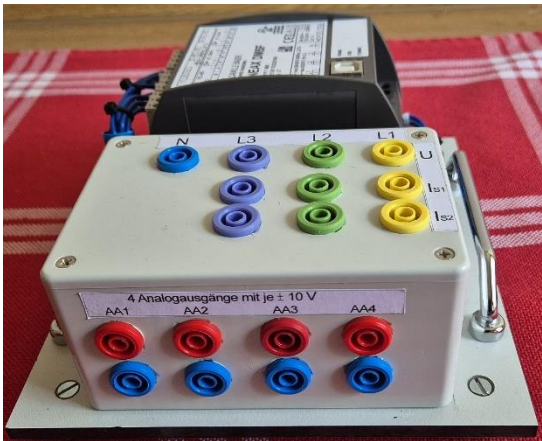
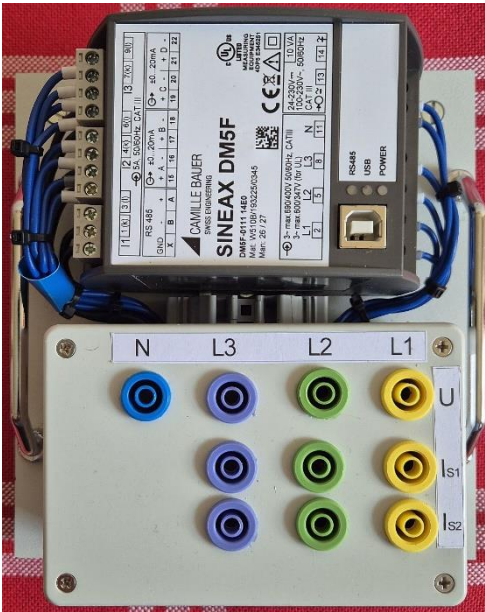
Das für Testmessungen aufgebaute Mess- System verfügt über eine autarke Betriebsspannungsversorgung und ist nach dem Anschluss der Generatorspannung und des Generatorstroms, was immer bei einem in Betrieb befindlichen Energieerzeuger möglich ist, sofort betriebsbereit.

Weiterhin sind in der Anschlussbox, direkt an den Anschlussbuchsen der vier Analogausgänge, zusätzliche 500Ω Bürden- Widerstände montiert.

Da der Messwertumformer DM5F nur mit ± 20 mA Stromausgänge produziert wird, stehen damit direkt an den Analogausgängen Messspannungen von ± 10 V zur Verfügung.

Diese Erweiterung war erforderlich, da die meisten Registriergeräte, wie Transienten- Rekorder oder leittechnische Trendaufzeichnungsgeräte überwiegend Spannungseingänge aufweisen.

Die nachfolgenden Bilder zeigen den Aufbau der Messeinheit aus verschiedenen Blickwinkeln:



Auf der Oberseite, der in den vorstehenden Bildern sichtbaren Anschlussbox, befinden sich die Eingangsbuchsen für die dreiphasige Messspannung und den dreiphasigen Messstrom der Drehstromseite sowie einer Buchse für den Neutralleiter. Aus Gründen der Messgenauigkeit wird außer den drei Leiterspannungen immer der zusätzliche Anschluss des Neutralleiters N empfohlen.

Stehen am Messobjekt nur zwei, oder gar ein Strom zur Verfügung, kann das Messsystem schnell und unkompliziert an die aktuellen Gegebenheiten mit der Parametrier- Software „CB-Manager“ angepasst werden.

An der Geräte- Vorderseite sind die Buchsen der vier Analogausgänge angeordnet. Die Betriebsspannung von 24 V DC wird der Messeinrichtung über die, auf der linken Gehäusesseite befindliche Niedervolt- Steckverbinder- Buchse $2,1 \times 5,5\text{ mm}$ zugeführt. Als Spannungsquelle dient dabei ein entsprechendes Steckernetzteil. Die Stromaufnahme beträgt bei einer Hilfsspannung von 24 V DC 108 mA .

Zur Berechnung der unterschiedlichen Drehstrom- Variablen kann der MUF in unterschiedlichen Mittelungszeiten arbeiten. Über den CB-Manager sind folgende Zeiten anwählbar: $1/2$, $1/2.1$, 1 , 2 , 4 , 8 Perioden. Die gewählten Zeiten haben direkten Einfluss auf die Messunsicherheit des Gesamtsystems. Während die kürzeste Zeit die größte Messunsicherheit, aber die geringste Eigenzeit bietet, verringert sich Messunsicherheit mit der Vergrößerung der Mittelungszeit.

Der Hersteller des Messwertumformers DM5F gibt für dieses Gerät folgende Messunsicherheiten in den ausgewählten Mittelungszeiten an:

Variable / Mittelungszeit	1 Periode	1/2.1 Periode	1/2 Periode
Spannungs- und Strom	$\pm 0,15 \%$	$\pm 0,25 \%$	$\pm 0,35 \%$
Leistungen	$\pm 0,20 \%$	$\pm 0,30 \%$	$\pm 0,50 \%$
Frequenz	$\pm 0,01$ Hz	$\pm 0,01$ Hz	$\pm 0,01$ Hz

Die an den Analogausgängen eingebauten 500 Ω Bürden- Widerstände weisen eine durchschnittliche Messunsicherheit von +0,05% auf.

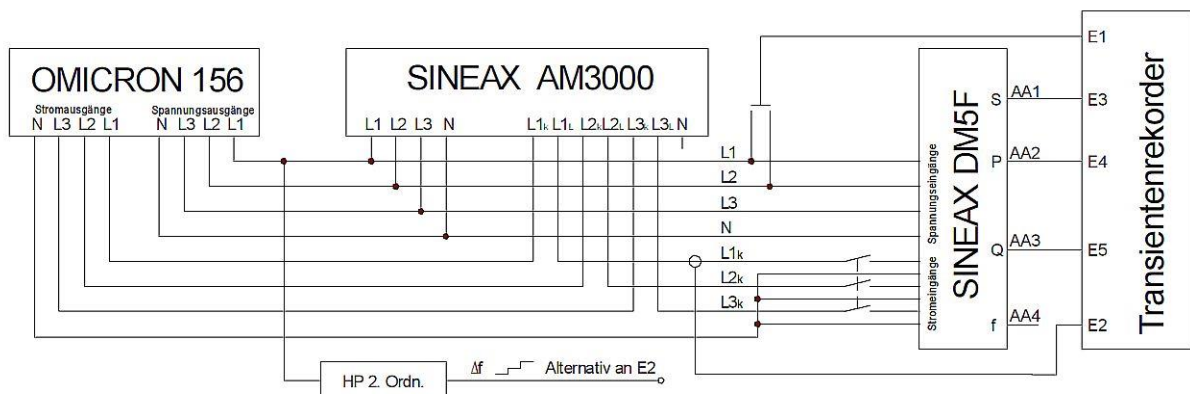
Nach der „Gaußschen Fehlerfortpflanzung“, bei der die einzelnen Messunsicherheiten eines Systems geometrisch zu einer Gesamt- Messunsicherheit addiert werden, ergeben sich von den Drehstromeingangsklemmen bis zu den Analogausgängen folgende Gesamt- Messunsicherheiten:

Variable / Mittelungszeit	1 Periode	1/2.1 Periode	1/2 Periode
Spannungs- und Strom	$\pm 0,16 \%$	$\pm 0,25 \%$	$\pm 0,35 \%$
Leistungen	$\pm 0,21 \%$	$\pm 0,30 \%$	$\pm 0,50 \%$
Frequenz	$\pm 0,01$ Hz	$\pm 0,01$ Hz	$\pm 0,01$ Hz

An den vorstehenden Gesamtwerten ist zu erkennen, dass die Messunsicherheiten der Strom / Spannungswandlung an den Bürden- Widerständen, durch die Verwendung hochgenauer Widerstände, kaum die Gesamt- Messunsicherheit beeinflussen und deshalb vernachlässigt werden können.

Um nun die Brücke von der Theorie der technischen Daten zu den Ergebnissen im praktischen Einsatz des Messsystems zu schlagen, wurden die nachfolgend aufgeführten Messergebnisse in praktischen Versuchen ermittelt.

Der dafür verwendete Messaufbau wird in der nachfolgenden Skizze angegeben.



Vorbereitung der Versuchsmessungen

Im Rahmen der Versuchsvorbereitung wurde der DM5F eingangsseitig auf 4 Leiter, ungleiche Belastung, 100,0 V Primärspannung, 100,0 V Sekundärspannung, 1,0 A Primärstrom und 1,0 A Sekundärstrom parametrieren, damit sind die Übersetzungsverhältnisse der vom internen Algorithmus angenommenen Strom- und Spannungswandler = 1,00.

Die Analogausgänge wurden wie folgt parametrieren:

- | | | | | |
|--------|------------------|-----------|-------------|-----------------|
| - AA1: | Scheinleistung S | 0 - 20 mA | entsprechen | 0 - 200 VA |
| - AA2: | Wirkleistung P | 0 - 20 mA | entsprechen | 0 - 200 W |
| - AA3: | Blindleistung Q | 0 - 20 mA | entsprechen | 0 - 200 Var |
| - AA4: | Frequenz f | 0 - 20 mA | entsprechen | 45 Hz bis 60 Hz |

Versuch 1, Bestimmung der Messunsicherheit des Gesamtsystems

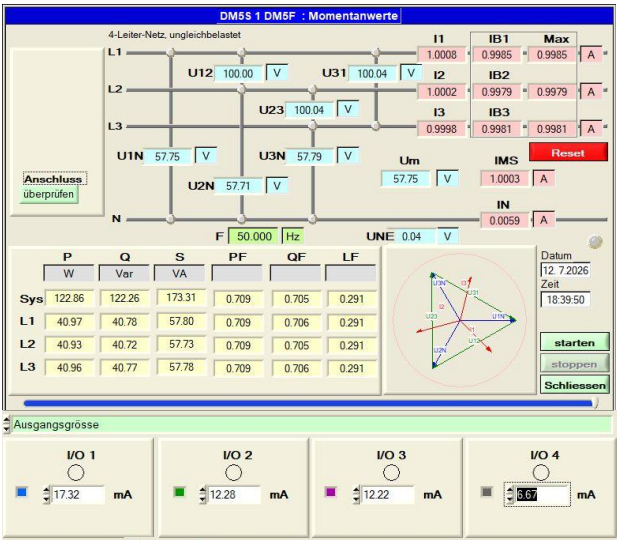
Parametrierung der Omicron Drehstromquelle:	Spannung	$3 \times U_{L-E} = 57,7350 \text{ V}$ entspricht $3 \times U_{L-L} = 100,0 \text{ V}$
	Strom:	$3 \times I_{\text{Phase}} = 1,000 \text{ A}$
	Phasenwinkel:	-45°
	Entspricht:	$S = 173,205 \text{ VA}$
		$P = +122,456 \text{ W}$
		$Q = +122,456 \text{ Var}$

Nach Einschalten der Omicron Drehstromquelle wurden vom Multifunktionsmessgerät SINEAX AM300 folgende reale Messwerte angezeigt:



An den vorstehenden Werten fällt zunächst auf, dass die dargestellten Größen der Wirk- und Blindleistung nicht absolut betragsgleich sind, obwohl im Omicron ein Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom von -45° eingestellt war. Auch der angezeigte Leistungsfaktor von 0,708 entspricht nicht der theoretischen Größe von 0,7071. Vermutlich sind das interne Messunsicherheiten des Omicron selbst.

Zur Ermittlung der Messunsicherheiten des Messwertumformers SINEAX DM5F wurden nun die vorstehenden Messwerte des SINEAX AM300 mit den vom Messwertumformer berechneten Werten gegenübergestellt. Im CB-Manager wurden unter *Visualisierung / Momentanwerte* mit der Mittelung 1/2 Periode folgende Werte angezeigt:



An den Bürdenwiderständen gemessener Spannungsabfall.
AA1 = 8,66 V AA2 = 6,14 V AA3 = 6,11 AA4 = 3,33 V

Mittelwert der vom AM300 gemessenen Leiter- Erdspannung:

$$(((99,98 + 100,00 + 99,99) / 3) / \sqrt{3}) = 57,7293 \text{ V}$$

Messunsicherheit der Spannung des DM5F in %:

$$100 \times (57,75 - 57,7293) / 57,7293 = 0,0358\%$$

Messunsicherheit des Stroms des DM5F in %:

$$100 \times (1,000 - 1,0003) / 1,0003 = -0,0299\%$$

Messunsicherheit der Scheinleistung des DM5F in %:

$$100 \times (173,31 - 173,23) / 173,23 = 0,0462\%$$

Messunsicherheit der Wirkleistung des DM5F in %:

$$100 \times (122,86 - 122,71) / 122,71 = 0,122\%$$

Messunsicherheit der Blindleistung des DM5F in %:

$$100 \times (122,26 - 122,28) / 122,71 = 0,0163\%$$

Messunsicherheit der Analogausgänge

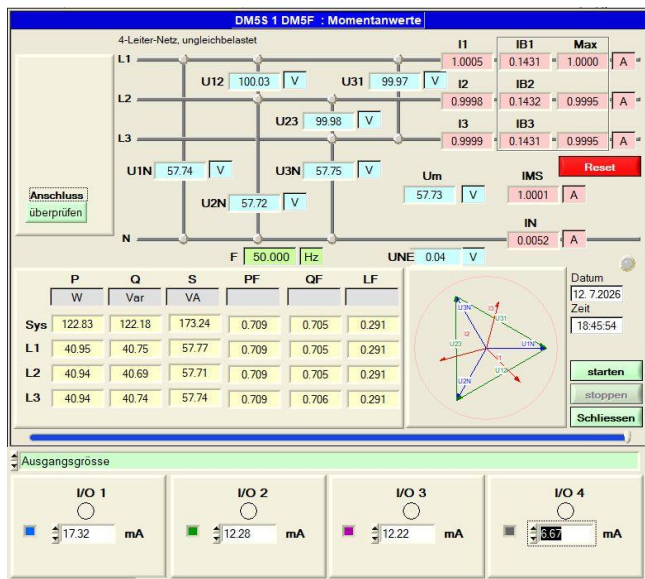
$$\text{AA1: } 100 \times (((8,66 / 10) \times 200) - 173,23) / 173,22 = -0,0173\%$$

$$\text{AA2: } 100 \times (((6,14 / 10) \times 200) - 122,71) / 122,71 = 0,0733\%$$

$$\text{AA3: } 100 \times (((6,11 / 10) \times 200) - 122,28) / 122,28 = -0,0654\%$$

$$\text{AA4: } 100 \times (((3,33 / 10) \times 15) + 45) - 49,999) / 49,999 = 0,0080\%$$

Vom DM5F berechnete Momentanwerte mit der Mittelung 1/2.1 Periode.



An den Bürdenwiderständen gemessener Spannungsabfall.

AA1 = 8,66 V AA2 = 6,140 V AA3 = 6,109 AA4 = 3,33 V

Mittelwert der vom AM300 gemessenen Leiter- Erdspannung:

$$(((99,98 + 100,00 + 99,99) / 3) / \sqrt{3}) = \underline{57,7293 \text{ V}}$$

Messunsicherheit der Spannung des DM5F in %:

$$100 \times (57,73 - 57,7293) / 57,7293 = \underline{0,00121\%}$$

Messunsicherheit des Stroms des DM5F in %:

$$100 \times (1,0001 - 1,0003) / 1,0003 = \underline{-0,0233\%}$$

Messunsicherheit der Scheinleistung des DM5F in %:

$$100 \times (173,24 - 173,23) / 173,23 = \underline{0,0577\%}$$

Messunsicherheit der Wirkleistung des DM5F in %:

$$100 \times (122,83 - 122,71) / 122,71 = \underline{0,0978\%}$$

Messunsicherheit der Blindleistung des DM5F in %:

$$100 \times (122,18 - 122,28) / 122,28 = \underline{0,0818\%}$$

Messunsicherheit der Analogausgänge

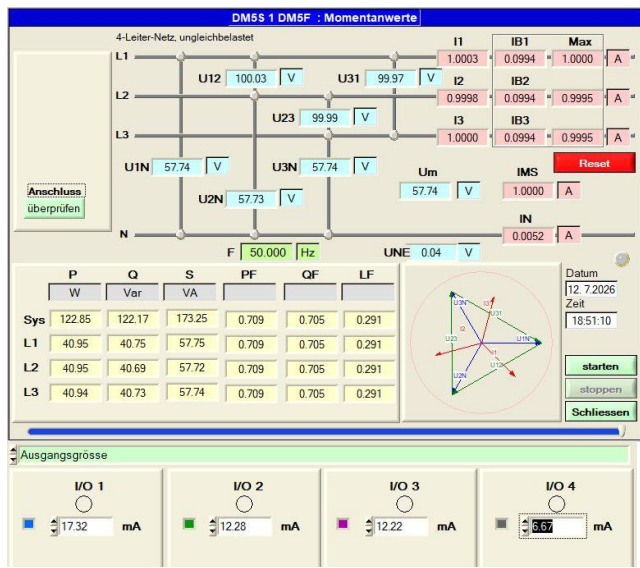
$$AA1: 100 \times (((8,66 / 10) \times 200) - 173,23) / 173,22 = \underline{-0,0173\%}$$

$$AA2: 100 \times (((6,14 / 10) \times 200) - 122,71) / 122,71 = \underline{0,0733\%}$$

$$AA3: 100 \times (((6,109 / 10) \times 200) - 122,28) / 122,28 = \underline{-0,0818\%}$$

$$AA4: 100 \times (((3,33 / 10) \times 15) + 45) - 49,999) / 49,999 = \underline{0,0080\%}$$

Vom DM5F berechnete Momentanwerte mit der Mittelung 1 Periode.



An den Bürdenwiderständen gemessener Spannungsabfall.

AA1 = 8,66 V AA2 = 6,140 V AA3 = 6,108 AA4 = 3,33 V

Mittelwert der vom AM300 gemessenen Leiter- Erdspannung:

$$(((99,98 + 100,00 + 99,99) / 3) / \sqrt{3}) = \underline{57,7293 \text{ V}}$$

Messunsicherheit der Spannung des DM5F in %:

$$100 \times (57,74 - 57,7293) / 57,7293 = \underline{0,0185\%}$$

Messunsicherheit des Stroms des DM5F in %:

$$100 \times (1,0000 - 1,0003) / 1,0003 = \underline{-0,0299\%}$$

Messunsicherheit der Scheinleistung des DM5F in %:

$$100 \times (173,25 - 173,23) / 173,23 = \underline{0,0115\%}$$

Messunsicherheit der Wirkleistung des DM5F in %:

$$100 \times (122,85 - 122,71) / 122,71 = \underline{0,114\%}$$

Messunsicherheit der Blindleistung des DM5F in %:

$$100 \times (122,17 - 122,28) / 122,28 = \underline{0,0899\%}$$

Messunsicherheit der Analogausgänge

$$\text{AA1: } 100 \times (((8,66 / 10) \times 200) - 173,23) / 173,22 = \underline{-0,0173\%}$$

$$\text{AA2: } 100 \times (((6,14 / 10) \times 200) - 122,71) / 122,71 = \underline{0,0733\%}$$

$$\text{AA3: } 100 \times (((6,108 / 10) \times 200) - 122,28) / 122,28 = \underline{-0,0981\%}$$

$$\text{AA4: } 100 \times (((3,33 / 10) \times 15) + 45) - 49,999) / 49,999 = \underline{0,0080\%}$$

Fazit:

Die vom Hersteller des Messwertumformers SINEAX DM5F, in den Technischen Daten angegebene Messunsicherheiten: *(Messunsicherheiten der Analogausgänge wurden nicht angegeben)*

Mittel./ Variab.	Spannung [%]	Strom [%]	Scheinleist. [%]	Wirkleist. [%]	Blindleist. [%]	AA1 [%]	AA2 [%]	AA3 [%]	AA4 [%]
1/2 Periode	±0,35	±0,35	±0,35	±0,35	±0,35	---	---	---	---
1/2.1 Periode	±0,25	±0,25	±0,25	±0,25	±0,25	---	---	---	---
1 Periode	±0,15	±0,15	±0,15	±0,15	±0,15	---	---	---	---

Mit dem vorstehenden Messaufbau ermittelte Messunsicherheiten in %.

Mittel./ Variab.	Spannung [%]	Strom [%]	Scheinleist. [%]	Wirkleist. [%]	Blindleist. [%]	AA1 [%]	AA2 [%]	AA3 [%]	AA4 [%]
1/2 Periode	0,035	0,0299	0,0462	0,122	0,0163	-0,0173	0,0733	-0,0654	0,0080
1/2.1 Periode	-0,0121	-0,0233	0,0577	0,0978	0,0818	-0,0173	0,0733	-0,0818	0,0080
1 Periode	0,0185	-0,0299	0,0115	0,114	0,0899	-0,0173	0,0733	-0,0981	0,0080

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Messwertumformer SINEAX DM5F amplitudengerecht mit einer sehr hohen Genauigkeit einliest und daraus die berechneten Spannungs-, Strom- Frequenz- und leistungsrelevanten Drehstromvariablen berechnet und an den Analogausgängen bereitstellt.
Die ermittelten Messunsicherheiten sind durchschnittlich eine Zehnerpotenz besser als in den technischen Daten angegeben.

Versuch 2, Eigenzeit vom Eintritt eines Ereignisses auf der Drehstromseite bis zur Darstellung an den Analogausgängen

Zur Bewertung von Systemantworten eines Systems auf vorgegebene Sollwertsprünge in der Zeitebene ist es von großer Bedeutung, dass die Bearbeitungs- oder Eigenzeit eines Messsystems vom Signaleingang bis zur Darstellung der Systemantwort an den Ausgangsklemmen möglichst gering ist.

Besonders bei der Darstellung und Analyse transienter Vorgängen ist eine geringe Eigenzeit des Messsystems von großer Bedeutung.

Zur Bestimmung der Eigenzeit am DM5F Messwertumformer wurde der Messstrom sprungartig abwärts von 1 A auf 0,5 A und weiter auf 0 A sowie aufwärts wieder bis 1 A verändert.

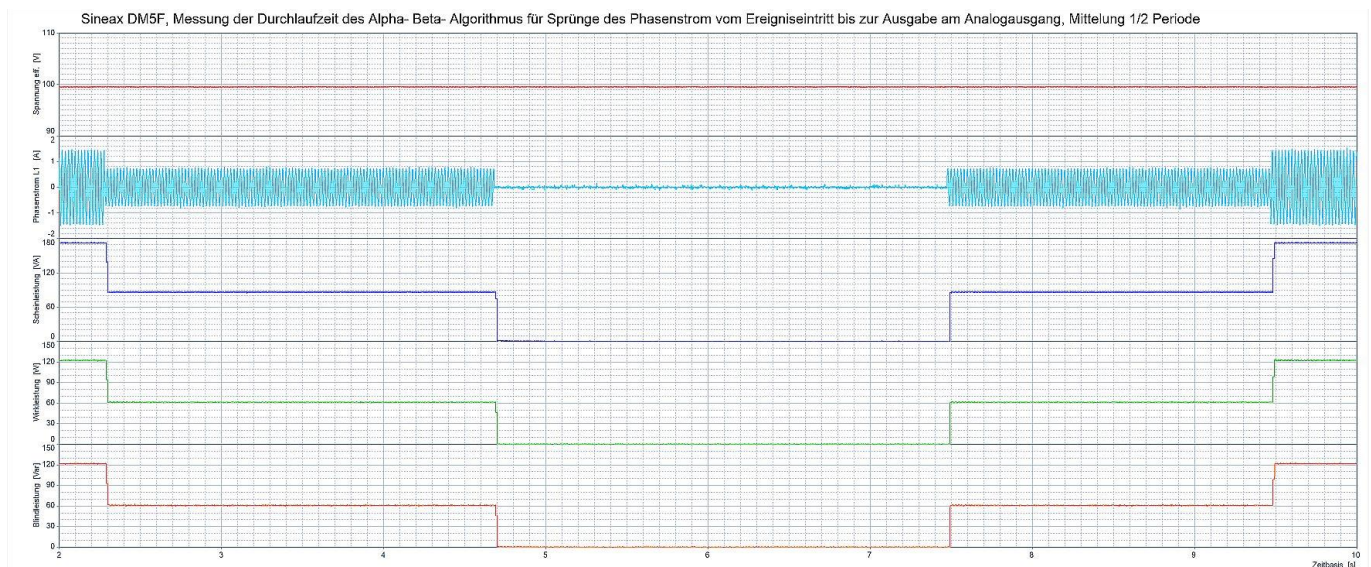
Diese Messungen erfolgen jeweils nacheinander mit den Mittelungszeiten 1/2 Periode, 1/2.1 Periode, und 1 Periode.

Mit einem Transienten- Rekorder wurden dabei die nachfolgenden Variablen über der Zeit aufgezeichnet.

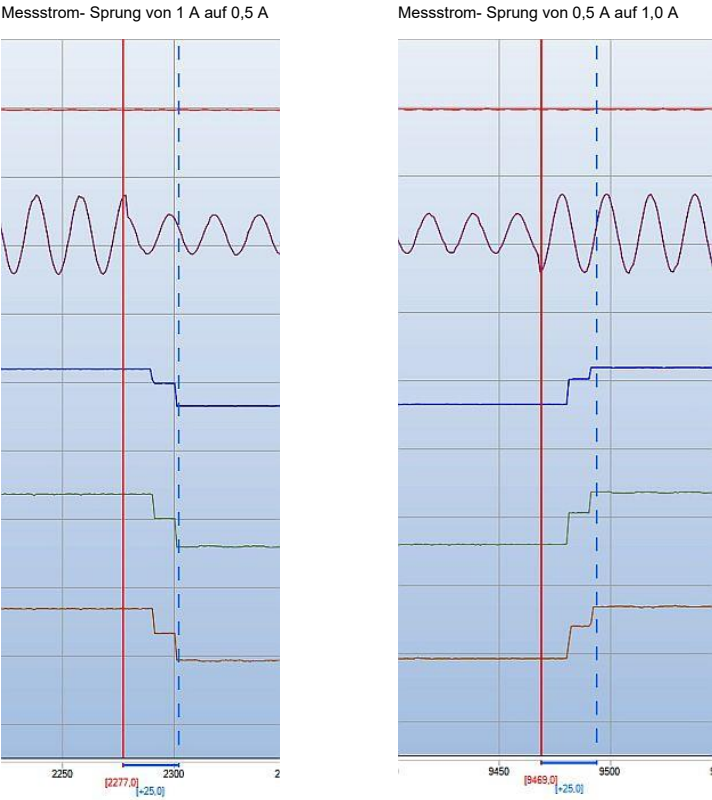
Folgende Zuordnung der Eingangskanäle zu den Messgrößen wurde am Transienten- Rekorder gewählt:

- Eingangskanal 1: Messspannung $L_1 - L_2$ als Effektivwert
- Eingangskanal 2: Messstrom der Phase L_1 als Momentanwert (Spannungsabfall an $0,5 \Omega$ Shunt)
- Eingangskanal 3: Scheinleistung der Drehstromgröße vom DM5F über AA1 ausgegeben
- Eingangskanal 4: Wirkleistung der Drehstromgröße vom DM5F über AA2 ausgegeben
- Eingangskanal 5: Blindleistung der Drehstromgröße vom DM5F über AA3 ausgegeben

Das nachfolgend dargestellte Diagramm zeigt die Variablenverläufe über der Zeit. Die parametrierte Mittelungszeit betrug dabei 1/2 Periode.



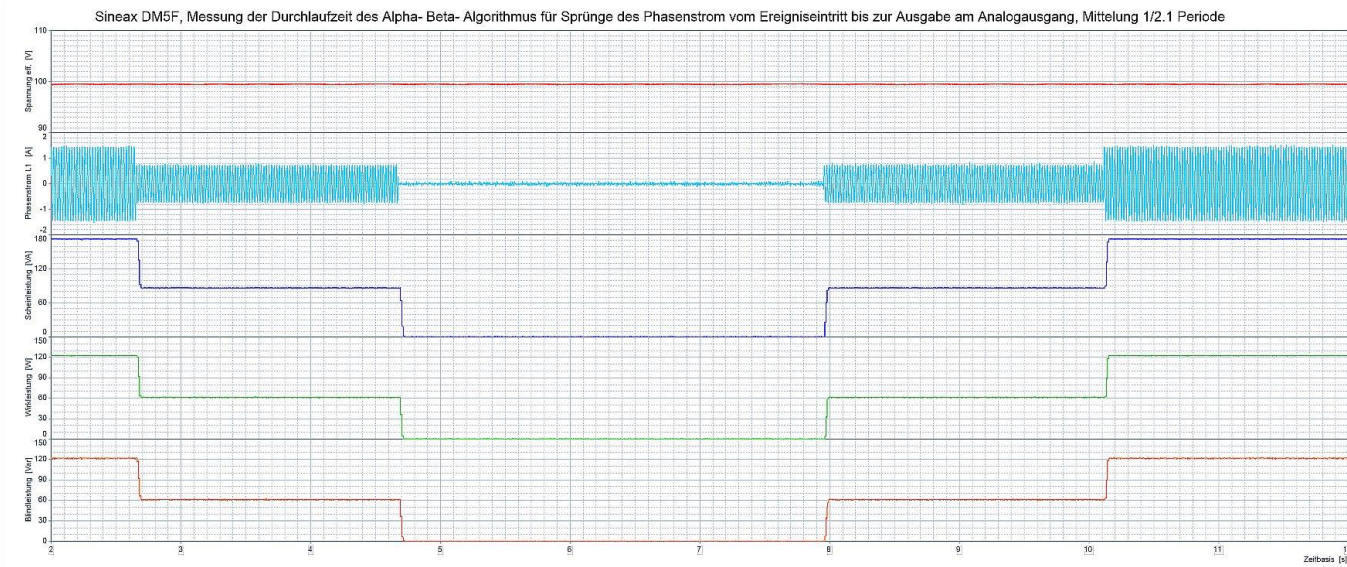
Die Eigenzeit des MUF DM5F wurde durch entsprechende Dehnung der Zeitachse bestimmt, Mittelung 1/2 Periode.



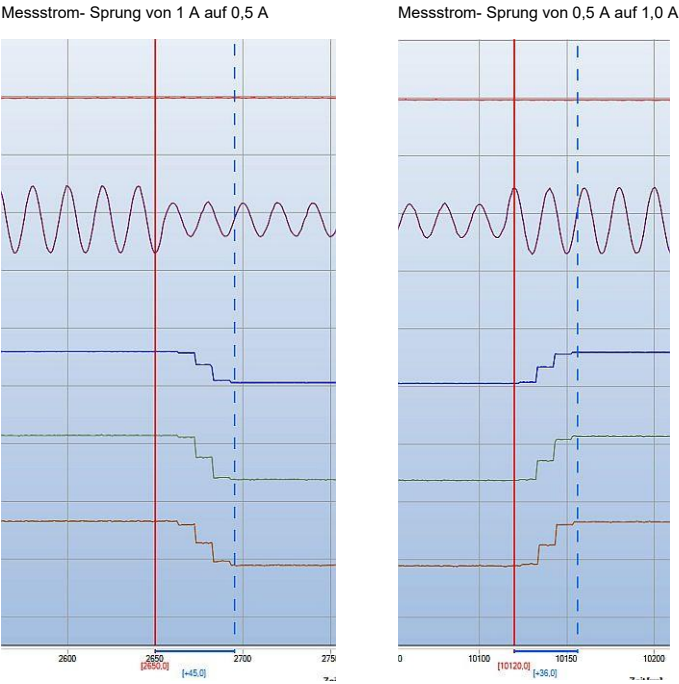
Die nebenstehenden Bildausschnitte zeigen die Systemantworten des DM5F auf je einen Abwärts- und Aufwärtssprung des Messstroms von 1,0 A auf 0,5 A und wieder zurück auf 1,0 A, was einer Laständerung von jeweils 50% entspricht.

Die dabei gemessenen Eigenzeiten des Messwertumformer waren in beiden Sprungrichtungen annähernd zeitgleich und betrugen 25 ms.

Das nachfolgend dargestellte Diagramm zeigt die Variablenverläufe über der Zeit. Die parametrierte Mittelungszeit betrug dabei 1/2.1 Periode.



Die Eigenzeit des MUF DM5F wurde durch entsprechende Dehnung der Zeitachse ermittelt, Mittelung 1/2.1 Periode.

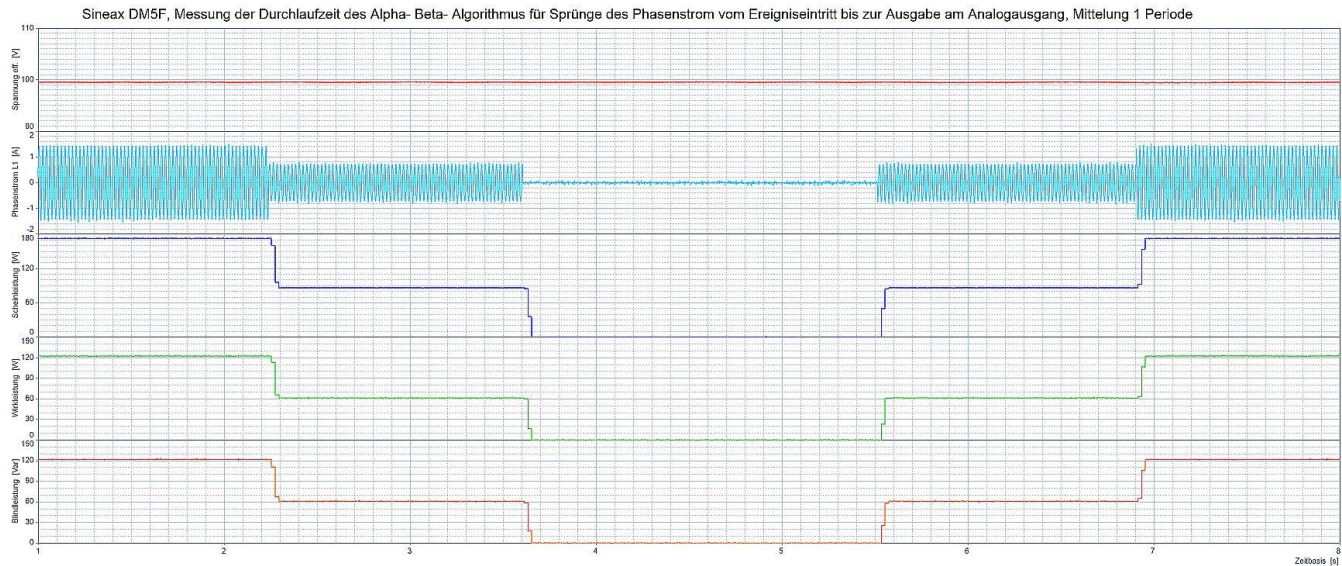


Die nebenstehenden Bildausschnitte zeigen die Systemantworten des DM5F auf je einen Abwärts- und Aufwärtssprung des Messstroms von 1,0 A auf 0,5 A und wieder zurück auf 1,0 A, was einer Laständerung von jeweils 50% entspricht.

Die dabei gemessenen Eigenzeiten des Messwertumformer bei einer Mittelung von 1/2.1 Perioden waren in beiden Sprungrichtungen geringfügig unterschiedlich-

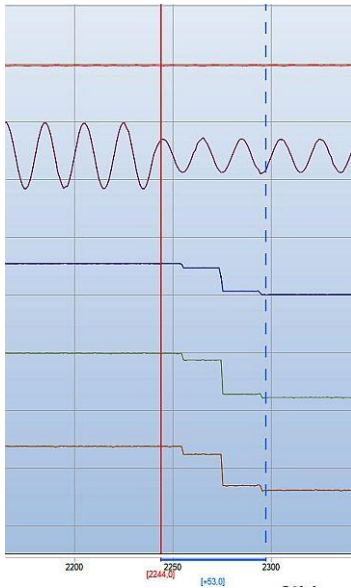
In Abwärtsrichtung betrug die Systemeigenzeit vom Eintritt des Ereignisses auf der Drehstromseite bis zur Darstellung an den Analogausgängen 45 ms und in Aufwärtsrichtung 36 ms.

Das nachfolgend dargestellte Diagramm zeigt die Variablenverläufe über der Zeit. Die parametrierte Mittelungszeit betrug dabei 1 Periode.

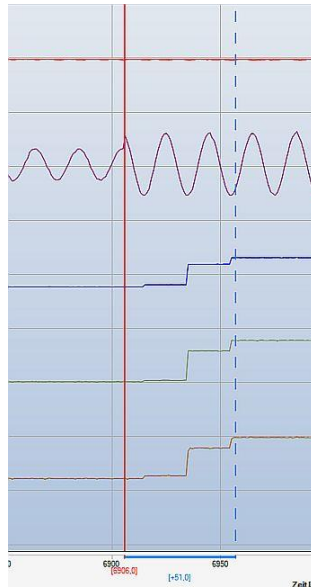


Die Eigenzeit des MUF DM5F wurde durch entsprechende Dehnung der Zeitachse ermittelt, Mittelung 1 Periode.

Messstrom- Sprung von 1 A auf 0,5 A



Messstrom- Sprung von 0,5 A auf 1,0 A



Die nebenstehenden Bildausschnitte zeigen die Systemantworten des DM5F auf je einen Abwärts- und Aufwärtssprung des Messstroms von 1,0 A auf 0,5 A und wieder zurück auf 1,0 A, was einer Laständerung von jeweils 50% entspricht.

Die dabei gemessenen Eigenzeiten des Messwertumformer bei einer Mittelung von 1 Periode waren in beiden Sprungrichtungen geringfügig unterschiedlich-

In Abwärtsrichtung betrug die Systemeigenzeit vom Eintritt des Ereignisses auf der Drehstromseite bis zur Darstellung an den Analogausgängen 53 ms und in Aufwärtsrichtung 51 ms.

Fazit:

Die Systemeigenzeiten, d.h. die Zeit vom Eintritt eines Ereignisses auf der drehstromseitigen Eingangsseite des MUF bis zu dessen Darstellung an den analogen Ausgängen war von der parametrisierten Mittelung abhängig.

Mit einer Mittelung von 1/2 Perioden betrug die Eigenzeit ca. 25 ms, bei 1/2.1 Periode ca. 40 ms und bei 1 Periode ca. 52 ms. In den Technischen Daten gibt der Hersteller eine Eigenzeit (Einstellzeit bei 50 Hz und 1/2 Periode) von 15 – 25 ms an.

Die Ergebnisse der vorstehenden Messungen bestätigen die Herstellerangabe, so dass der MUF DM5F im Vergleich mit ähnlichen Produkten anderer Hersteller als relativ schnell und hinsichtlich der Amplituden- Messunsicherheiten als sehr genau bezeichnet werden kann.

Damit ist der DM5F zur schnellen Darstellung von unterschiedlichen Drehstrom- Variablen bestens geeignet. Insbesondere können damit PSS- Untersuchungen an Turbosätzen erfolgen, ohne im Vorfeld Zugriff auf die Generatorebenenanlagen zu haben.

Versuch 3, Bestimmung der Eigenzeiten und des Systemverhaltens auf Phasensprünge im angeschlossenen Drehstromsystem

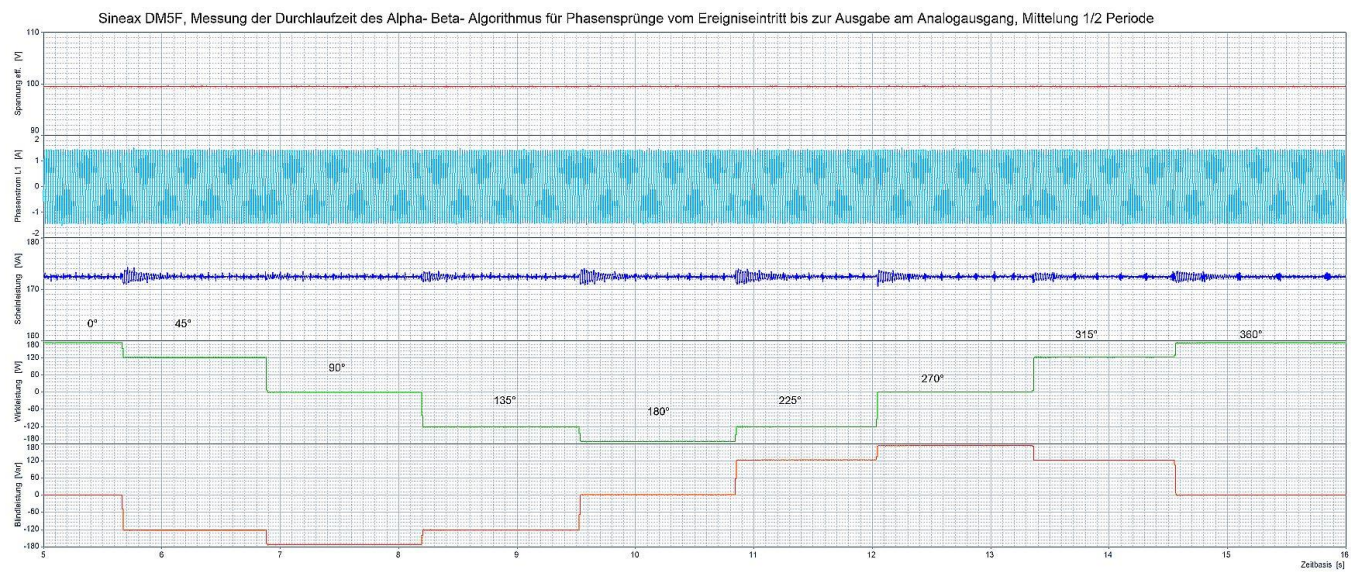
Bei einer Phasenvariation zwischen Spannung und Strom von 0° bis 360° durchläuft das Drehstromsystem alle vier Quadranten eines so genannten Leistungsdiagramms.

Dabei wechseln die Wirk- und Blindleistung zweimal ihre Richtungen und Amplituden, während die Scheinleistung über den gesamten Umlauf konstant bleiben muss.

Zur Versuchsdurchführung wurde der Messwertumformer konstant mit drei Spannung von 100 V $_{L-L}$ und drei Phasenströmen von 1,00 A versorgt.

Als Parameter wurde der Phasenwinkel des Stroms gegenüber der Spannung schrittweise, von 0° beginnend, um 45° erhöht.

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Systemantworten des Messwertumformers DM5F auf die Sprünge des Phasenwinkels, Mittelung 1/2 Periode:

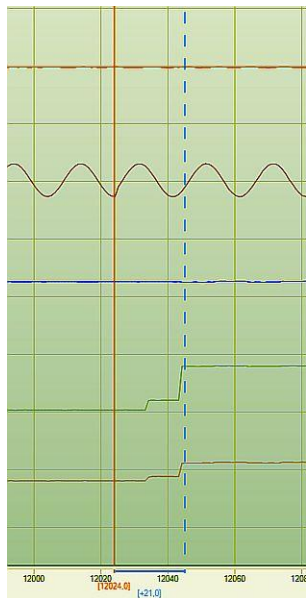


Die Eigenzeit des MUF DM5F wurde durch entsprechende Dehnung der Zeitachse ermittelt, Mittelung 1/2 Periode.

Messstrom- Sprung von 1 A auf 0,5 A



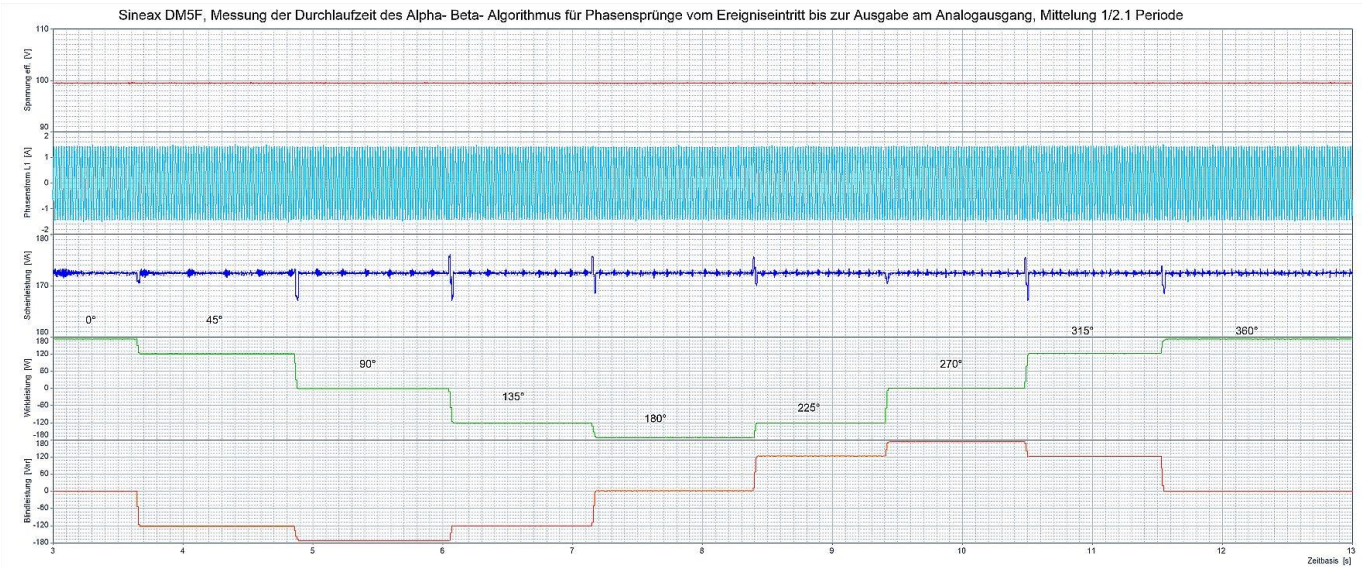
Messstrom- Sprung von 0,5 A auf 1,0 A



Die nebenstehenden Bildausschnitte zeigen die Systemantworten des DM5F auf je einen Abwärts- und Aufwärtssprung des Messstroms von 1,0 A auf 0,5 A und wieder zurück auf 1,0 A, was einer Laständerung von jeweils 50% entspricht.

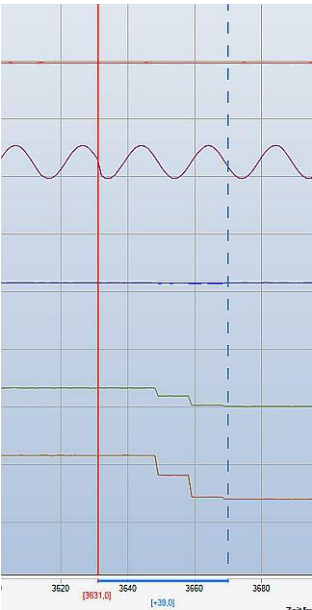
Die dabei gemessenen Eigenzeiten des Messwertumformer waren in beiden Sprungrichtungen annähernd zeitgleich und betrugen im Mittel 23 ms.

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Systemantworten des Messwertumformers DM5F auf die Sprünge des Phasenwinkels, Mittelung 1/2.1 Periode:

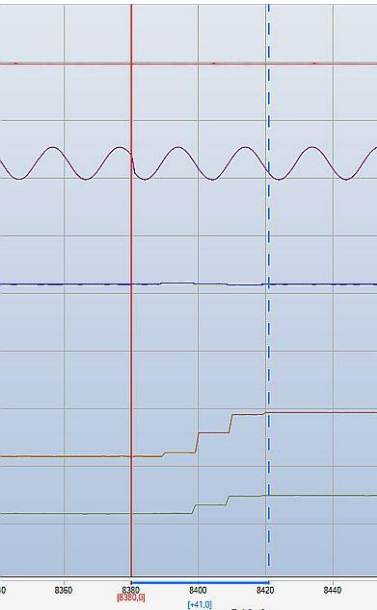


Die Eigenzeit des MUF DM5F wurde durch entsprechende Dehnung der Zeitachse ermittelt, Mittelung 1/2.1 Periode.

Messstrom- Sprung von 1 A auf 0,5 A



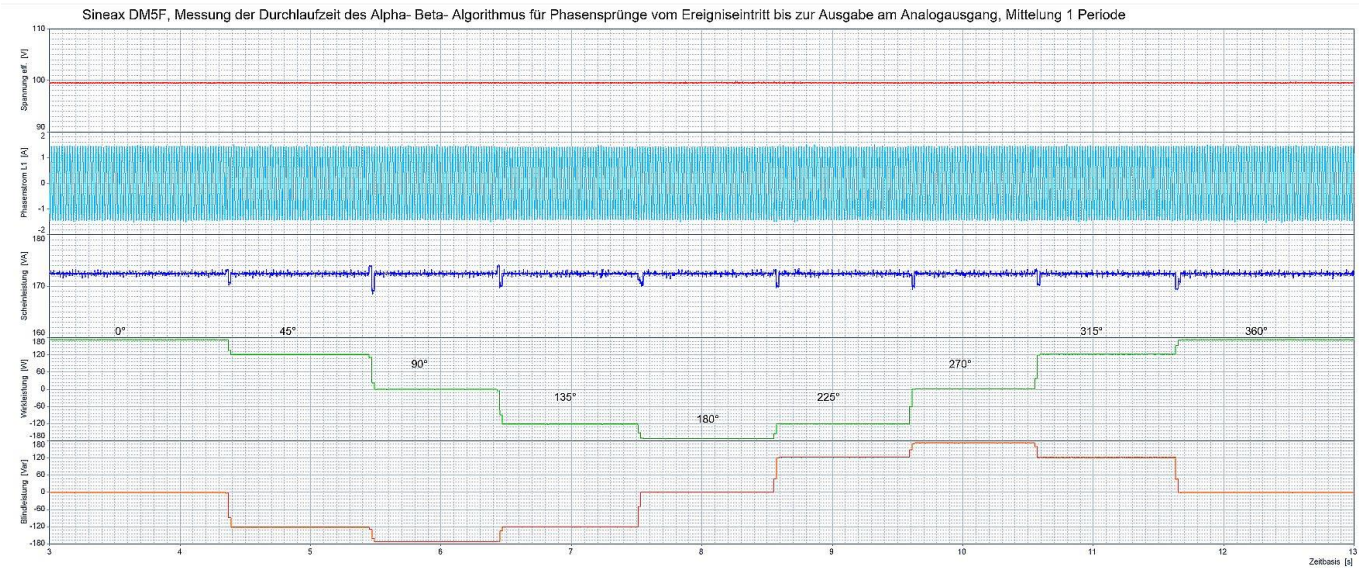
Messstrom- Sprung von 0,5 A auf 1,0 A



Die nebenstehenden Bildausschnitte zeigen die Systemantworten des DM5F auf je einen Abwärts- und Aufwärtssprung des Messstroms von 1,0 A auf 0,5 A und wieder zurück auf 1,0 A, was einer Laständerung von jeweils 50% entspricht.

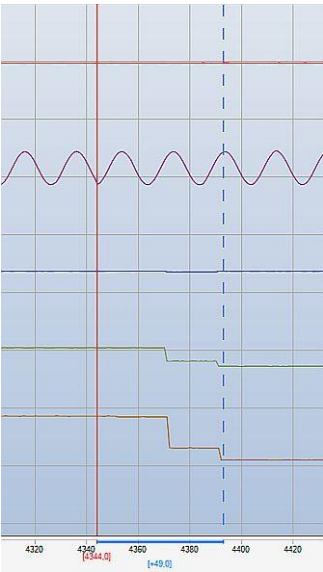
Die dabei gemessenen Eigenzeiten des Messwertumformer waren in beiden Sprungrichtungen annähernd zeitgleich und betrugen im Mittel 40 ms.

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Systemantworten des Messwertumformers DM5F auf die Sprünge des Phasenwinkels, Mittelung 1 Periode:

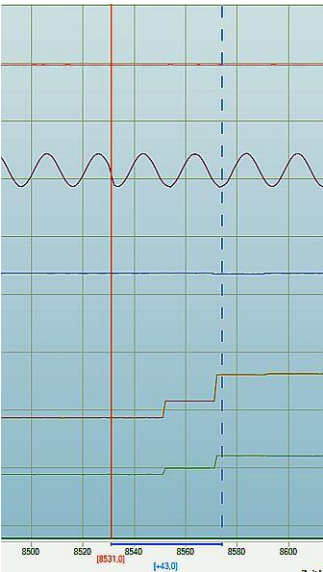


Die Eigenzeit des MUF DM5F wurde durch entsprechende Dehnung der Zeitachse ermittelt, Mittelung 1 Periode.

Messstrom- Sprung von 1 A auf 0,5 A



Messstrom- Sprung von 0,5 A auf 1,0 A



Die nebenstehenden Bildausschnitte zeigen die Systemantworten des DM5F auf je einen Abwärts- und Aufwärtssprung des Messstroms von 1,0 A auf 0,5 A und wieder zurück auf 1,0 A, was einer Laständerung von jeweils 50% entspricht.

Die dabei gemessenen Eigenzeiten des Messwertumformer waren in beiden Sprungrichtungen annähernd zeitgleich und betrugen 46 ms.

Fazit:

Wie bereits in den Versuchen 1 und 2 festgestellt, folgen die parametrisierten Ausgangsgrößen S, P und Q den theoretisch erwartenden Variablenverläufen, amplitudenkorrekt und auch mit hinreichend kleiner Eigenzeit, den praktischen Erwartungen. Die Berechnung und Ausgabe der Scheinleistungs- Variablen zeigt korrekterweise keine Beeinflussung durch die Phasenwinkel- Sprünge und behält von 0° bis 360° ihren konstanten Wert von 173,23 W.

Damit ist der Nachweis erbracht, dass der Messwertumformer SINEAX DM5F zu betrags- und phasengenauen Messungen und Analysen in Drehstromsystemen, mit Referenzcharakter eingesetzt werden kann.

Versuch 4, Bestimmung der Eigenzeiten und des Systemverhaltens auf Frequenzsprünge im Drehstromsystem

Zur weiteren Analyse der dynamischen Eigenschaften eines Turbosatzes zählen auch die Frequenzkonstanz und das Drehzahlverhalten bei Lastabwürfen oder Netztrennversuchen.

Um den Drehzahlverlauf bei den so genannten Inselversuchen zu dokumentieren, ist eine hinreichend schnelle Frequenzerfassung in den transienten Drehzahlbereichen eine notwendige Voraussetzung.

Zur Prüfung des Systemverhaltens wurde in den MUF DM5F 3 x 100 V, 3 x 1,00 A bei einem Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom von -45° eingespeist.

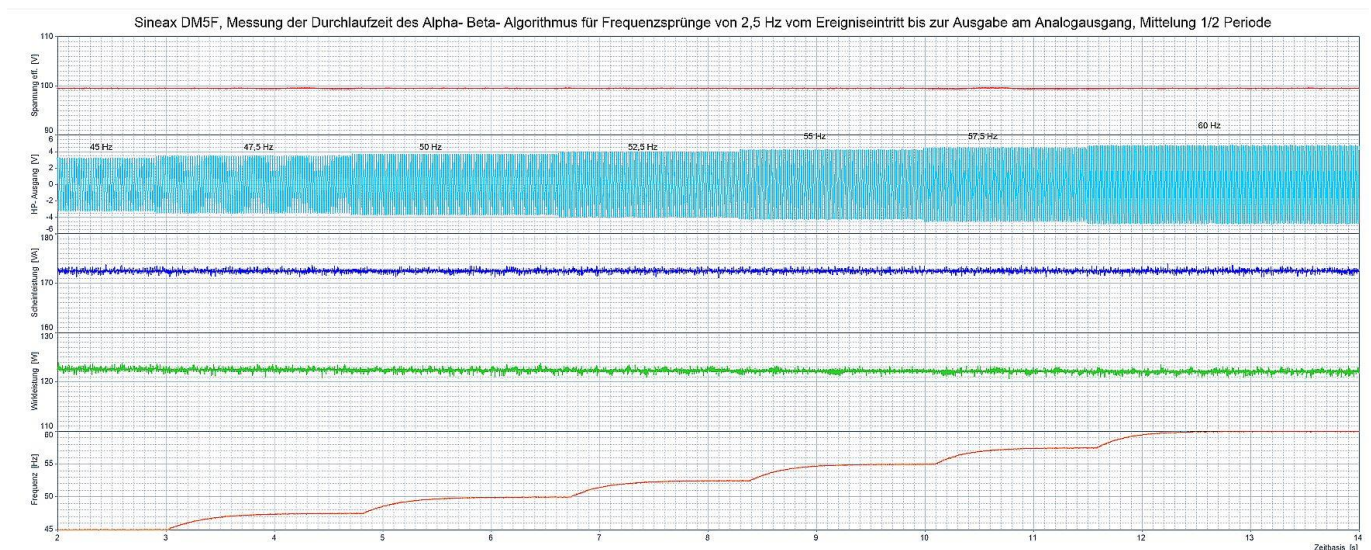
Die 5 Eingangskanäle des angeschlossenen Transienten- Rekorders wurden dabei mit folgenden Variablen belegt:

- Kanal 1: Spannung als Effektivwert in V
- Kanal 2: Ausgang eines mit der Spannung gespeisten Tiefpasses 2. Ordnung, fg ca. 75 Hz
- Kanal 3: Scheinleistung vom Analogausgang AA1 des DM5F
- Kanal 4: Wirkleistung vom Analogausgang AA2 des DM5F
- Kanal 5: Frequenz vom Analogausgang AA4 des DM5F

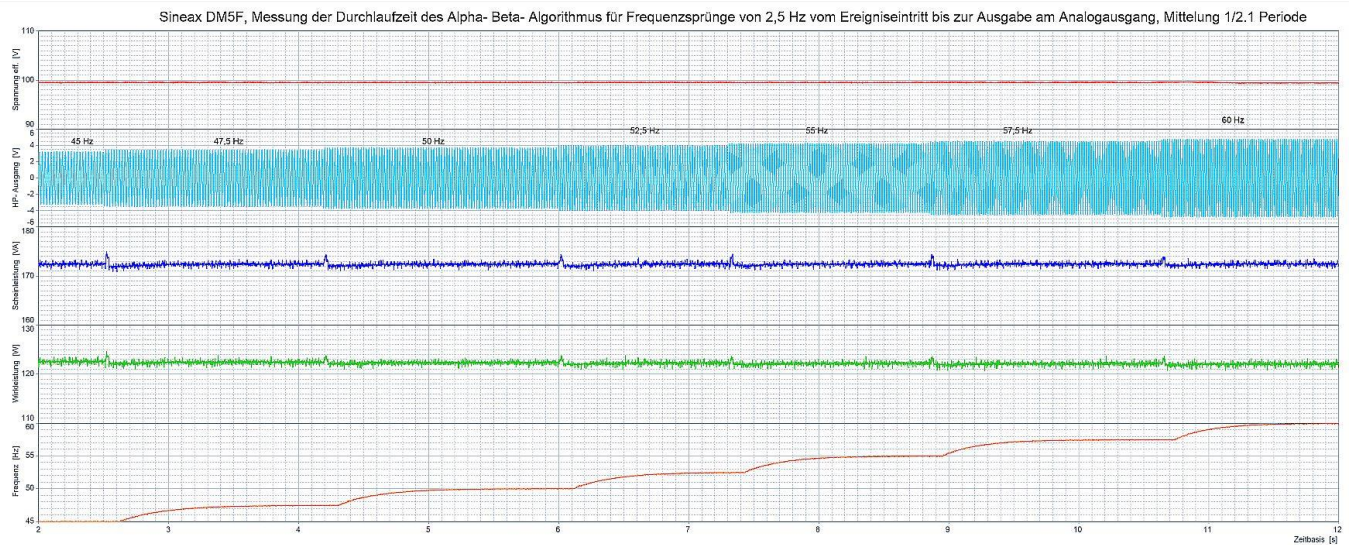
Die Analogausgänge des DM5F sind wie folgt parametrisiert:

- | | | | |
|--------|-----------|-------------|-------------|
| - AA1: | 0 – 20 mA | entsprechen | 0 – 180 VA |
| - AA2: | 0 – 20 mA | entsprechen | 0 – 180 W |
| - AA3: | 0 – 20 mA | entsprechen | 0 – 180 Var |
| - AA4: | 0 – 20 mA | entsprechen | 45 – 60 Hz |

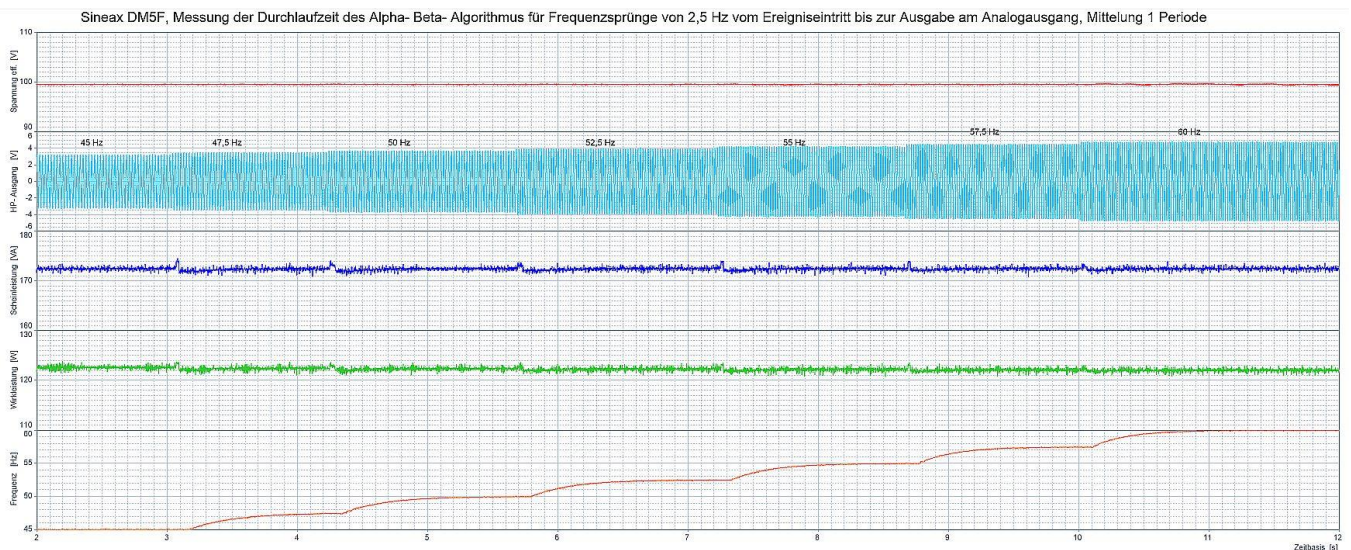
Das nachfolgende Diagramm zeigt die Systemantworten des Messwertumformers DM5F auf die Frequenzsprünge von jeweils 2,5 Hz, von 45 Hz beginnend, Mittelung 1/2 Periode:



Das nachfolgende Diagramm zeigt die Systemantworten des Messwertumformers DM5F auf die Frequenzsprünge des von jeweils 2,5 Hz von 45 Hz beginnend, Mittelung 1/2.1 Periode:



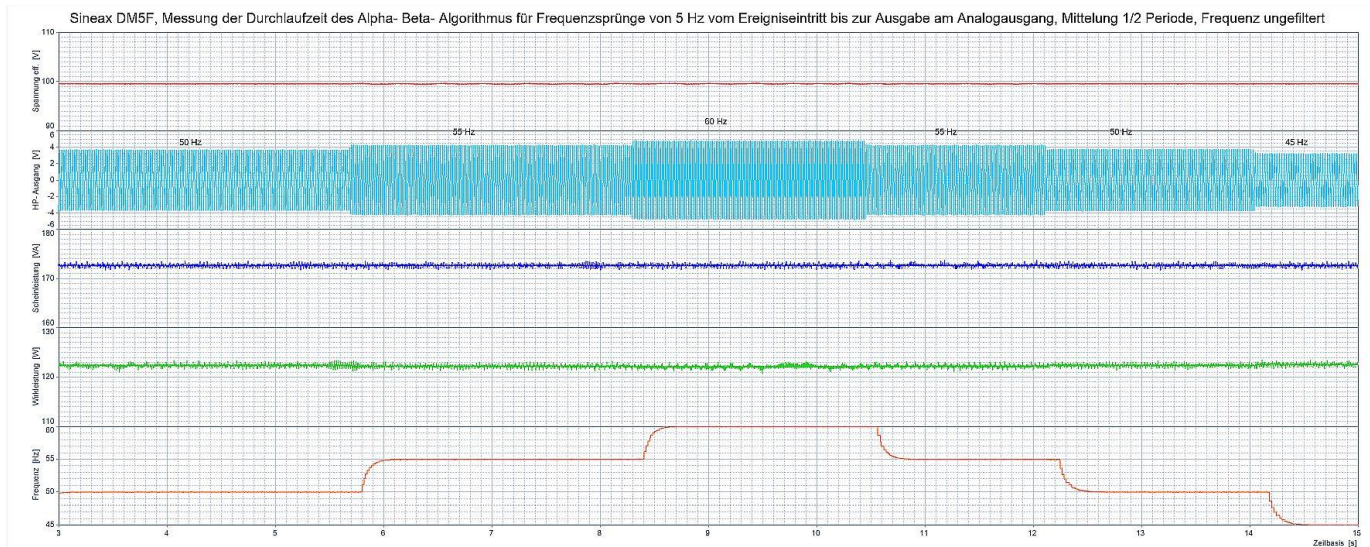
Das nachfolgende Diagramm zeigt die Systemantworten des Messwertumformers DM5F auf die Frequenzsprünge des von jeweils 2,5 Hz von 45 Hz beginnend, Mittelung 1 Periode:



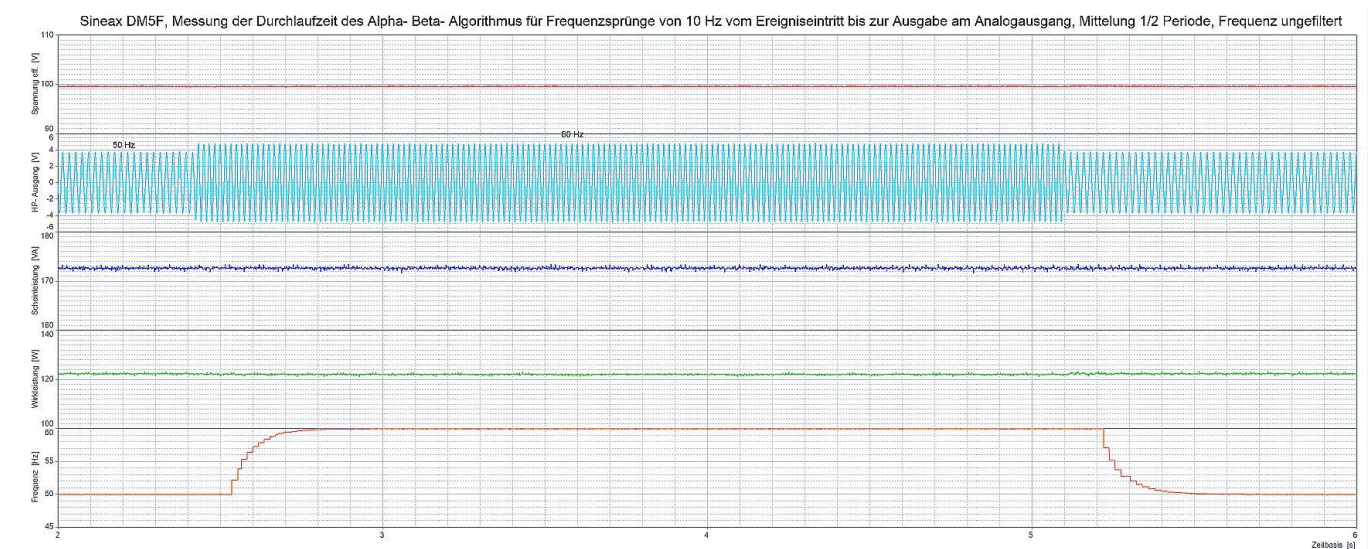
Um den relativ langen Anstieg genauer zu untersuchen, wurden weitere Variablenverläufe mit größeren Frequenzsprungweiten über der Zeit aufgenommen.

Die nachfolgenden Diagramme zeigen diese Verläufe mit Sprungweiten von 5 Hz und 10 Hz.

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Systemantworten des Messwertumformers DM5F auf die Frequenzsprünge des von jeweils 5 Hz, von 45 Hz beginnend, Mittelung 1/2 Periode:



Das nachfolgende Diagramm zeigt die Systemantworten des Messwertumformers DM5F auf die Frequenzsprünge des von jeweils 10 Hz, von 50 Hz beginnend, Mittelung 1/2 Periode:



Fazit:

Die Variablenverläufe der dargestellten Frequenz zeigen keinen Einfluss der eingestellten Mittelungen. Die scheinbar integral berechneten Verläufe benötigen nach der Auslösung des Frequenzsprunges zunächst ca. 100 ms bevor am Analogausgang der Anstieg erkennbar ist.

Bis zum Erreichen des korrekten Anzeigebetrags vergehen nochmals ca. 800 ms bei einer Sprungweite von 2,5 Hz.

Mit steigender Sprungweite verkürzt sich die Anstiegszeit auf ca. 300 ms.

Ohne die in den Technischen Daten angegebene Messunsicherheit von 0,01 Hz der Frequenzmessung in Frage zu stellen, ist das transiente Verhalten des ausgegebenen Frequenzwertes zur Analyse von Übergangverhalten im Drehzahl- oder Frequenzbereich leider absolut ungeeignet.

Zusammenfassung:

Mit dem Messwertumformer SINEAX DM5F hat der Hersteller ein absolut hochwertiges, im Amplituden- und Phasen-Bereich sehr genaues Messwerterfassungssystem geschaffen.

Besonders ist die Eigenzeit, d.h. die Zeit vom Eintreten eines Ereignisses auf der Drehstrom Eingangsseite bis zur Wiedergabe der Systemantwort an den analogen Ausgängen, in der parametrierbaren Mittelungszeit von 1/2 Periode hervorzuheben. Der in den Technischen Daten angegebene Wert der Einstellzeit mit 15 – 25 ms, bei einer Mittelungszeit von 1/2 Periode, wurde eingehalten.

Leider grenzt der Hersteller bereits die Frequenzmessung aus diesem Einstellzeitbereich aus.

Wie die Schriebe der Frequenzsprünge belegen, benötigt das Messsystem im Frequenzbereich Eigenzeiten von 300 bis 800 ms.

Damit ist die Frequenzvariable des DM5F nicht dazu geeignet, transiente Betrachtungen im Frequenz- bzw. Drehzahlbereich durchzuführen.

An dieser Stelle möchten wir nochmals darauf hinweisen, dass nach einem Messsystem gesucht wurde, welches die Variablen Schein-, Wirk- und Blindleistung unabhängig von den Generatornebenanlagen, wie Erreger- und Schutzsystem, mit hoher Genauigkeit und mit hinreichend kleiner Eigenzeit autark berechnen und analog ausgeben kann.

In Kombination mit einem Transienten- Rekorder sind damit beispielsweise Nachweise von Pendeldämpfungen an PSS-Systemen, sowie dynamischen Begrenzungsmessungen und vieles mehr, unabhängig von den so genannten Generatornebenanlagen möglich.

Diese Forderungen werden vom Messwertumformer SINEAX DM5F in vollem Umfang erfüllt.