

Eigenwertanalyse

PSS® Produktreihe

Auf einen Blick

In großen Verbundnetzen treten zunehmend Stabilitätsprobleme auf, wie z.B. Interarea-Schwingungen. Der Modus Eigenwert- und Modalanalyse erweitert die klassischen Großsignal Analysemethoden im Zeitbereich um Kleinsignal Analysemethoden im Frequenzbereich.

Mit dem Modul Eigenwert- und Modalanalyse können:

- die Stabilität von Netzen erhöht,
- tiefere Einblicke in Eigenwerte gewonnen,
- die besten Dämpfungsstellen identifiziert, und
- verschiedene Dämpfungsstrategien gewählt werden.

Die Aufgabenstellung

Elektrische Versorgungsnetze nehmen stetig an Größe und installierter Leistung zu, ehemals getrennte Netze werden zusammengeschlossen. Moderne Netze haben sich zu weitläufigen Systemen entwickelt, die sich über hunderte oder tausende Kilometer erstrecken. Wegen der ansteigenden Erzeugungsleistung werden verschiedene Bereiche an ein Netz angeschlossen und die Masse immer weiter erhöht.

Darüber hinaus ist die Trennung von Erzeugung, Übertragung und Versorgung kaum an den physischen Charakteristika der synchron verbundenen Netze orientiert, die sich über große Gebiete erstrecken und in denen die verschiedenen Teilnetze und Kraftwer-

ke interagieren. In solch neuen Umgebungen mit einer höheren Ladung des Übertragungsnetzes könnten Netzbetreiber dazu gezwungen sein, das Netz näher an den Stabilitätsgrenzen zu betreiben.

Dies hat zur Folge, dass in großen Verbundnetzen Kleinsignalstabilität, insbesondere Interarea-Schwingungen, an Bedeutung gewonnen haben. Interarea-Schwingungen sind weltweit in großen Netzen ein sehr verbreitetes Problem. Häufig stellt man eine erhöhte Belastung einiger Teile der Übertragungssysteme fest, was zu schlecht gedämpften Interarea-Schwingungen mit Frequenzen (0,2 Hz - 0,8 Hz) führen kann und auch oft führt.

Unsere Lösung

Das Modul "Eigenwert- und Modalanalyse" erweitert die Analysemethoden für elektromechanisches Verhalten elektrischer Energieversorgungsnetze. Es kann in allen Produkten der PSS® Software eingesetzt werden, wie PSS®E, PSS®SINCAL und PSS®NETOMAC.

Large Signal Stability	Small Signal Stability
Dynamischer Übergang von einem Arbeitspunkt zum anderen nichtlinear	Dynamik um einen vorgegebenen Arbeitspunkt linear
Simulationsmethode	
durch numerische Integration in den Zeitbereich	
Modalanalyse	
durch Eigenwertberechnung im Frequenzbereich	

Abbildung 1: Analyse elektromechanischer Phänomene

Eigenwert- und Modalanalyse zeigen das Kleinsignalverhalten eines Netzes, also das um einen Betriebspunkt her-

um linearisierte Verhalten, berücksichtigt dabei aber nicht das nichtlineare Verhalten von, beispielsweise, Reglern bei größeren Netzstörungen. Somit ergänzen sich die Simulation im Zeitbereich und die Modalanalyse bei der Untersuchung elektrischer Netze.

Mittels Eigenwertanalyse analysiert man das dynamische Verhalten eines Netzes bei verschiedenen charakteristischen Frequenzen („modes“). In einem elektrischen Energieversorgungsnetz müssen alle Modes stabil sein. Darüber hinaus sollten alle elektromechanischen Schwingungen so schnell wie möglich gedämpft werden. Zum besseren Verständnis werden die Ergebnisse einer Eigenwertanalyse in Frequenz und Dämpfungsgrad pro Schwingungsmode angegeben. Ein Dämpfungsgrad von -5 % bedeutet, dass in 3 Schwingungsperioden die Höhe auf etwa 32 % des Ausgangswertes reduziert wird. Der niedrigste akzeptable Dämpfungslevel ist nicht genau bekannt.

Ein Dämpfungsgrad > -3% kann nur mit Vorsicht akzeptiert werden. Die Dämpfung gilt als ausreichend, wenn in allen elektromechanischen Modes der Dämpfungsgrad auf höchstens -5% geschätzt wird. Abbildung 2 zeigt, wie die Dämpfung in einem Netz einfach analysiert werden kann.

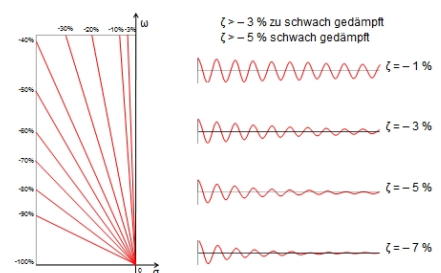


Abbildung 2: Kriterien für schlechte und gute Dämpfung

Zusätzlich zur Eigenwertanalyse erlaubt die Modalanalyse einen tieferen Einblick in ein Netz, da nicht nur die Eigenwerte interpretiert, sondern auch die Eigenvektoren eines Netzes automatisch während der Modalanalyse berechnet werden:

- Der rechte Eigenvektor gibt Aufschluss über die Beobachtbarkeit der Schwingungen
- Der linke Eigenvektor gibt Aufschluss über die Regelbarkeit
- In Verbindung bestimmen rechter und linker Eigenvektor (Residuen) die Lage der Dämpfungsregler

Es ist wichtig, dass Interarea-Schwingungen gedämpft werden. Dies kann entweder durch Einspeisung zusätzlicher Energie in das System geschehen, wodurch sofort die Frequenzen verringert werden, und / oder durch den zusätzlichen Verbrauch von Energie, wodurch die Frequenzen unmittelbar erhöht werden.



$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\omega_N E' V \cos \delta_0}{T_A X}}$$

In echten elektrischen Energieversorgungsnetzen wird die Dämpfungsleistung durch eine zeitweise Aussteuerung von Leistung oder Erzeugung gewonnen, typischerweise für 5 bis 10 Sekunden. Die Dämpfungsleistung muss die richtige, zu den beschleunigten / verlangsamt Systemen relative Phasenverschiebung haben.

Mittels der Eigenvektoren können die besten Dämpfungsstellen im Netz be-

stimmt werden (siehe Abbildung 3). Je nach gewählter Dämpfungsstrategie zeigen die Residuen die geeignete Platzierung für z.B. Stabilisatoren (PSS), statische Blindleistungskomponenten (SVC), für thyristorgesteuerte statische Kompensatoren (TCSC), etc.

Omega/VFd Residuum Magnitude	Omega/VFd Residuum Phase [°]	Machine Y(s)	Mode - Fre... [Hz]	Mode - Rel... [%]
1.000	0.000	3018G1	1.549	-13.210
0.406	290.622	206G1	1.549	-13.210
0.044	324.927	211G1	1.549	-13.210
0.024	27.006	3011G1	1.549	-13.210
0.006	331.907	102G1	1.549	-13.210
0.006	331.907	101G1	1.549	-13.210

Abbildung 3: Eigenvektoren eines Interarea-Modus

Anwendungsbeispiel

Die Abbildungen 4 bis 7 zeigen Screenshots von Ergebnissen einer Eigenwert- und Modalanalyse für das ENTSO-E CGMES 1-Maschinen Testnetz mit und ohne Stabilizer (PSS).

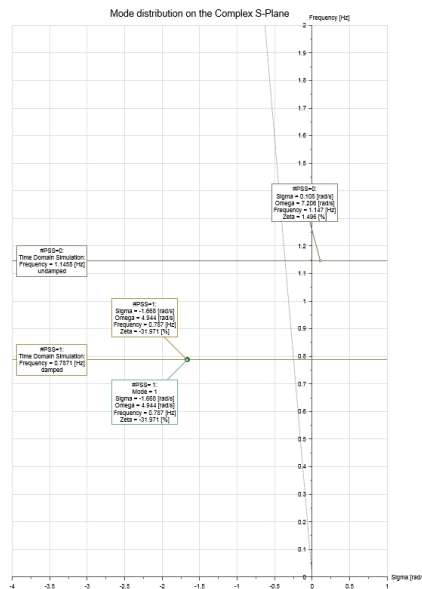


Abbildung 4: Ergebnisse der Eigenwertanalyse

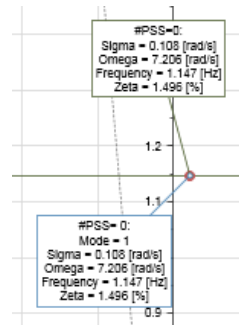


Abbildung 5: Ergebnisse der Eigenwertanalyse (Ausschnitt: Dokumentation der Kennwerte)

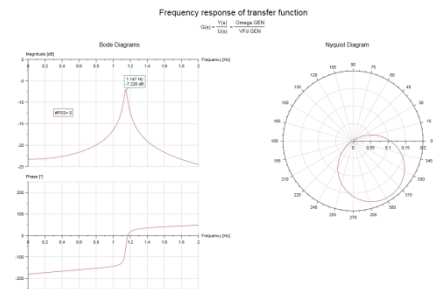


Abbildung 6: Ergebnisse der Modalanalyse (Bode-Diagramm)

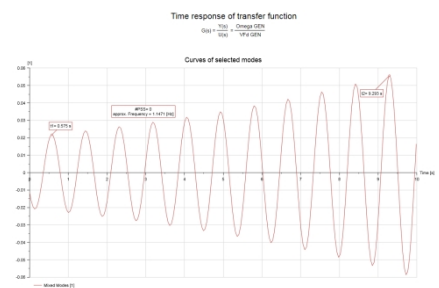


Abbildung 7: Ergebnisse der Modalanalyse (Zeit-Antwort)

Herausgeber
Siemens AG 2016

Energy Management Division
Freyeslebenstraße 1
91058 Erlangen, Deutschland

Kontaktieren Sie uns:
power-technologies.energy@siemens.com

Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Die Informationen in diesem Dokument enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsabschluss ausdrücklich vereinbart werden.