

STATISCHE STABILITÄT VON STROMNETZEN ERFAHRUNGEN BEI ANALYSE REALER SYSTEME

Gerhard THEIL

Technische Universität Wien, Institut für Energiesysteme und elektrische Antriebe, 1040
Wien, Gußhausstraße 25, Tel.: +43-1-58801-370117, Fax.: +43-1-58801-370199,
E-Mail.: gerhard.theil@tuwien.ac.at

1. Einleitung

Die Belastung elektrischer Energienetze mit Leistungsflüssen, deren Auftreten bei ihrer Dimensionierung und Errichtung nicht vorhersehbar war, kann den Kollaps der Übertragungsfähigkeit der Netze zur Folge haben. Die hier angesprochenen Phänomene können, ohne sich zuvor durch deutlich erkennbare Indikatoren anzukündigen, so rasch verlaufen, dass es nicht möglich ist, rechtzeitig Gegenmaßnahmen zu setzen.

Abhängig von den Zeitkonstanten der Störgrößen unterscheidet man statische und dynamische Stabilitätsprobleme. In der vorliegenden Veröffentlichung werden statische Probleme behandelt. Hierbei ist die Störgröße die Netzlast, wobei ein "langsameres" Anwachsen vorausgesetzt wird. Der Verlust der Stabilität äußert sich durch den Zusammenbruch der Energieversorgung in weiten Bereichen des Systems. Hinsichtlich der physikalischen Effekte ist zwischen Spannungs- und Rotorwinkelstabilität zu unterscheiden. In beiden Fällen hat die Anwendung von Verfahren zur Stabilitätsüberprüfung das Ziel, die kritischen Netzbereiche (kritische Knoten), die entsprechenden Grenzwerte (Spannungsbeträge, Spannungsdifferenzwinkel) und das Lastniveau, bei welchem die Grenzen erreicht werden, zu bestimmen.

Folgende Verfahren werden hinsichtlich ihrer Eignung zur Stabilitätsanalyse untersucht:

- Singulärwertmethode nach [1]
- Knoten L-Index-Verfahren nach [2]
- Continuation-Power-Flow (CPF) [3]
- Lastflussrechnung mit Konvergenzsteuerung [4]

2. Resultate

In Abb. 1 ist die mittels CPF berechnete PV-Kurve des kritischsten Knotens HA sowie des weniger kritischen Knotens RI eines realen 310 Knoten umfassenden Netzes dargestellt. Der Lastfaktor Lambda, bei welchem Instabilität eintritt, beträgt 1,233. Dies bedeutet, dass die Stabilitätsgrenze bei Überschreiten der 2,233-fachen Grundlast (Lambda = 0) überschritten wird. Der untere Zweig der PV-Kurve beschreibt den in der Praxis nicht real existierenden instabilen Bereich des Systems. Kennzeichnend für den Verlauf der PV-Kurve eines weniger kritischen Knotens ist die Tendenz des Spannungsanstieges im unteren Ast der Kurve, siehe Knoten RI in Abb.1.

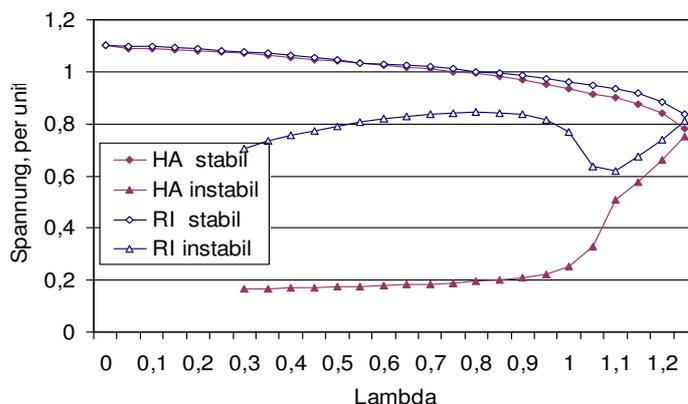


Abb.1. PV-Kurven für 2 Knoten des 310-Knoten Netzes

Theoretisch nimmt der Knoten-L-Index an der Stabilitätsgrenze den Wert 1 an [2]. Untersuchungen ergaben jedoch, dass dies bei realen Netzen in der Regel nicht der Fall ist [5]. Bei dem vorliegenden Netz beträgt der L-Index an der Stabilitätsgrenze nur 0,63, siehe Abb. 2. Typisch ist ferner, dass er nach Überschreiten der Stabilitätsgrenze weiter ansteigt, wodurch der Wert 1 bereits weit im instabilen Bereich zu liegen kommt.

Der minimale Singulärwert der Systemmatrix (Jakobi- bzw. Funktionalmatrix) strebt an der Stabilitätsgrenze gegen den Wert 0, was in Abb. 3 deutlich erkennbar ist. Im instabilen Bereich der Kurve können als Folge der Komplexität des Problems (große Anzahl von Zustandsgrößen) weitere Minima auftreten, siehe ebenfalls Abb. 3, Bereich Lambda = 1,05).

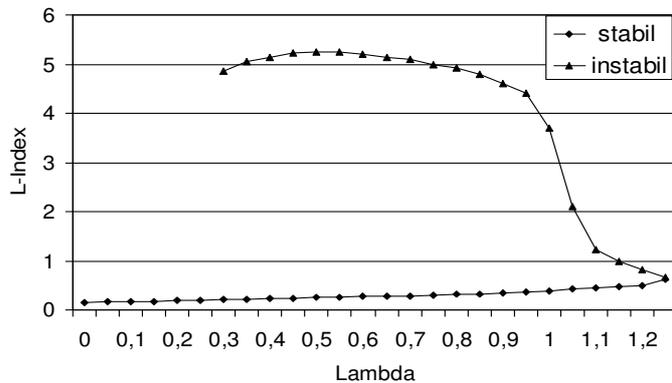


Abb. 2. Knoten-L-Index, 310 Knoten Netz, kritischer Knoten HA

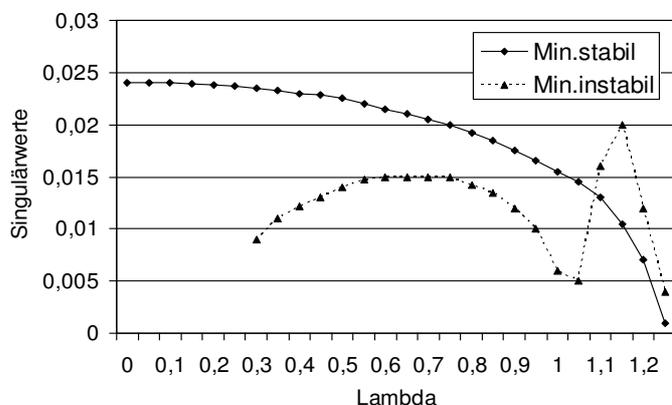


Abb. 3. Minimale Singulärwerte, 310-Knoten Netz, Betrag bei Lambda-max: 0,001

Mit der **Konvergenzsteuerung nach [4]** konnte bei jedem der hier betrachteten Netze die Stabilitätsgrenze ermittelt werden. Sofern die aktuelle Fragestellung nur diese und nicht die Analyse der gefährdeten Netzteile enthält, kann auf andere Methoden verzichtet werden. Dies ist insbesondere bei automatisch ablaufender Ausfallsimulation, z.B. innerhalb der Zuverlässigkeitsanalyse, der Fall.

Sowohl was die Ermittlung der Stabilitätsgrenze als auch der gefährdeten Netzteile betrifft, hat die **Knoten-L-Index-Methode** den Nachteil, dass der Betrag, welchen der Index an der Stabilitätsgrenze besitzt, nicht allgemein definiert werden kann, sondern systemspezifisch ist.

Diesen Nachteil besitzt im Prinzip auch die **Singulärwertmethode**, jedoch wurden im Bereich der Stabilitätsgrenze mit wachsender Last im Vergleich zum L-Index stärkere Gradienten des minimalen Singulärwerts beobachtet, weshalb dieser nach Meinung des Autors aussagekräftiger ist.

Ein großer Vorteil des **Continuation-Power-Flow** besteht darin, dass die PV-Kurven sowohl die Stabilitätsgrenze als auch die gefährdeten Bereiche des Netzes eindeutig anzeigen. Somit stellt der **CPF** das effizienteste der hier untersuchten Analyseinstrumente dar.

3. Schrifttum

- [1] P.-A. Lóf, T. Smed, G. Andersson, D.J. Hill: Fast calculation of a voltage stability index. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 1, Feb. 1992, pp. 54 – 64.
- [2] P. Kessel, H. Glavitsch: Estimating the voltage stability of a power system. IEEE Transactions on Power Delivery, vol PWRD-1, No.3, July 1986, pp.346 – 354.
- [3] Ajarapu, V.; Christy, C.: The continuation power flow: A tool for steady state voltage stability analysis. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7 (1992), No.1, pp. 416 - 423.
- [4] Th. Hartkopf.: Ein modifiziertes Newton Verfahren für stets konvergierende Lastflussiterationen. ETZ-A Bd. 98(1977), Heft 9.
- [5] G. Theil: Vergleich von Verfahren zur Überprüfung der statischen Spannungs- und Winkelstabilität elektrischer Energienetze. Forschungsbereich FB 2/2011, Technische Universität Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe, Wien 2011.