Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse

Band: 95 (2004)

Heft: 20

Artikel: Auf einen Blick : Softwaretool zeigt Schwachstellen in Übertragungsnetzen

Autor: Bertsch, Joachim

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857992

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Auf einen Blick: Softwaretool zeigt Schwachstellen in Übertragungsnetzen

Genau zu wissen, wo die Schwächen und Probleme in einem Energieversorgungsnetz, seinen Bestandteilen, Teilsystemen oder Übertragungsleitungen und Sammelschienen liegen, ist eine wertvolle Erkenntnis für den Betrieb eines solchen Systems. Stehen solche Informationen unmittelbar zur Verfügung, ohne dass komplexe Analysen und Simulationen durchgeführt werden müssen, können sich die Betreiber des Systems schneller einen Überblick verschaffen, auch wenn es sich nur um grobe Informationen handelt. Genau zu diesem Zweck hat ABB PSGuard Tool entwickelt. Dieses neue Softwaretool liefert einen Überblick über die «Qualität» des Stromnetzes, identifiziert die Schwachstellen und zeigt auf, welche Sammelschienen und Übertragungsleitungen besondere Aufmerksamkeit erfordern, bevor eine kritische Situation eintritt.

■ Joachim Bertsch

Die weitreichenden Stromausfälle und Netzprobleme, die im letzten Jahr Teile Nordamerikas und Europas lahmlegten, haben zu einer intensiven Suche nach den Ursachen und möglichen Lösungen geführt. Dabei hat sich nicht nur gezeigt, dass die Ausfälle unter anderem auf Spannungsinstabilitäten zurückzuführen waren, sondern auch, dass entsprechende Technologien zur Verfügung standen, die dies hätten verhindern können.

Auch wenn Stromausfälle verschiedene Ursachen haben und die Szenarien unterschiedlich sind, ist in vielen Fällen doch ein Muster erkennbar. Abgesehen von einer unzureichenden Erzeugungskapazität sind Spannungsinstabilitäten einer der Hauptgründe für Stromausfälle. Dabei kommt es zur Abschaltung einzelner Leitungen, was wiederum die Überlastung anderer Leitungen und Teile des Systems zur Folge hat.

Spannungsinstabilitäten

Der zunehmende Wettbewerbsdruck auf dem elektrischen Energiemarkt zwingt die Netzbetreiber in vielen Ländern dazu, ihre Übertragungssysteme bis an die Belastungsgrenzen zu betreiben. Infolgedessen gewinnen ohnehin wichtige Aspekte wie Spannungsregelung und Spannungsstabilität zusätzlich an Bedeutung. Spannungsinstabilität ist definiert als das Unvermögen eines Stromnetzes, die Spannung nach einem Betriebsmittelausfall, menschlichen Fehler oder einer Umwelteinwirkung wieder auf den Nennpegel zurückzuführen. In starken Systemen kehrt die Spannung nach einer Fehlerabschaltung sofort auf das vorherige Niveau zurück. Bei schwächeren Systemen mit langen Übertragungsleitungen, dezentraler Erzeugung, niedriger Kurzschlussleistung oder vielen Parallelkondensatoren können solche Ereignisse zu einer instabilen Spannung oder gar zum Zusammenbruch der Spannung führen, wobei die Netzspannung lange Zeit auf einem unzulässig niedrigen Niveau verbleiben kann.

Spannungsinstabilität ist zum Beispiel ein typisches Problem in Gebieten, wo viele kleine und grosse Motorlasten (z.B. Klimaanlagen) vorhanden sind. Dort ist es wichtig, den Netzbetrieb in kritischen Situationen zu planen und sicherzustellen. Dazu muss der Netzbetreiber jedoch genau wissen, welche Faktoren die Spannungsstabilität beeinflussen und die bei möglichen Störungen notwendigen Stabilitätsreserven genau bestimmen können. Um diese komplexen Informationen zu erhalten, muss normalerweise eine vollständige dynamische Analyse des Stromnetzes durchgeführt werden.

Stabilitätsstudien und -analysen werden ausserdem dazu verwendet, die für Spannungsinstabilitäten anfälligen Teile eines Übertragungsnetzes zu bestimmen und Möglichkeiten zur Verbesserung der Stabilität an diesen Teilen zu ermitteln. Solche Studien dienen in erster Linie dazu,

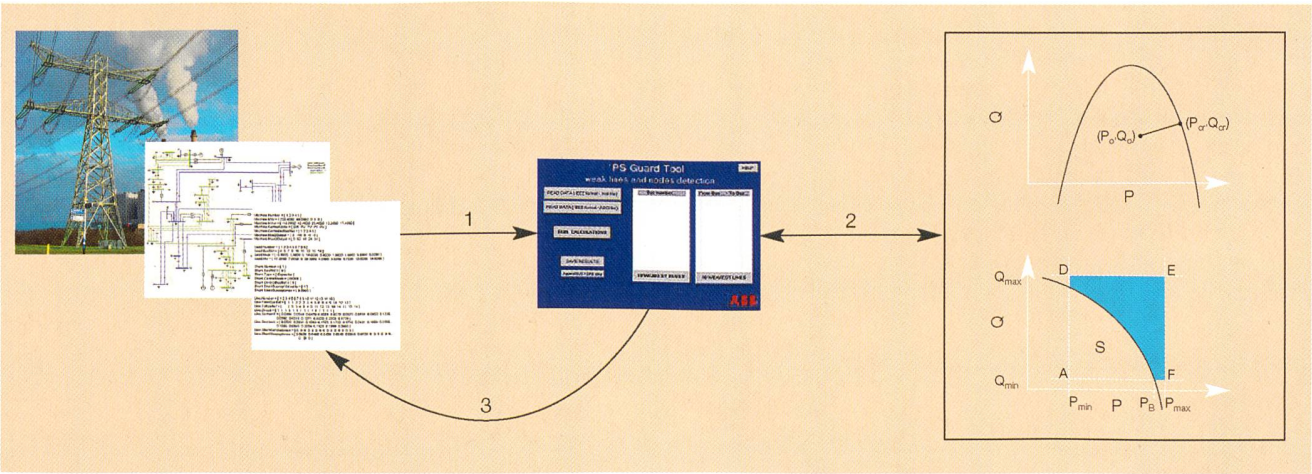


Bild 1 Datenfluss beim PSGuard Tool. Nach der Analyse des Netzes mit 100% und 120% Nennlast werden *P-Q*-Diagramme für die einzelnen Elemente erstellt. Dann werden Koeffizienten berechnet und mit Schwellwerten verglichen, um den Zustand (schwach oder stark) der Elemente zu bestimmen.

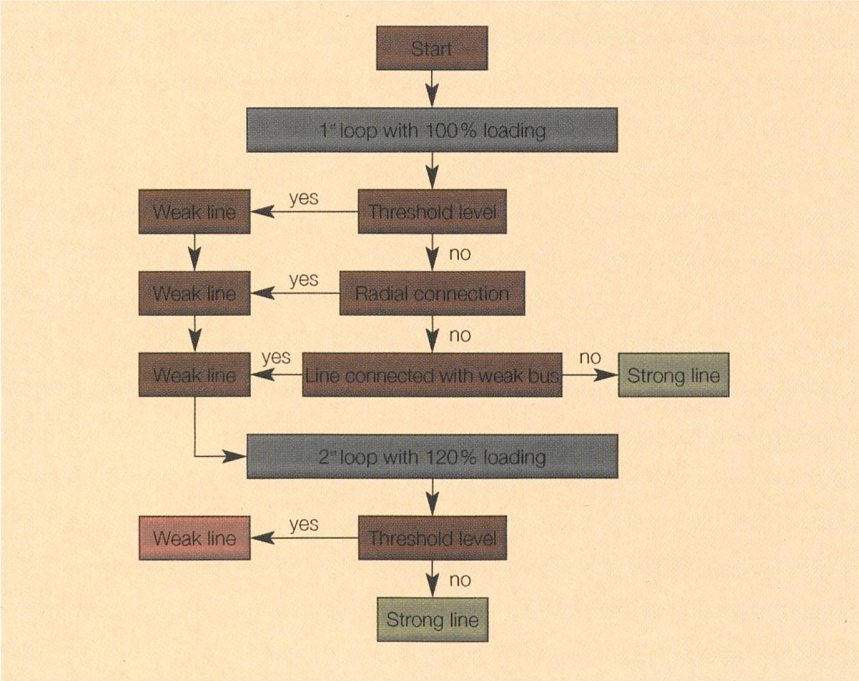


Bild 2 Algorithmus zur Bestimmung von schwachen Leitungen.

- vergangene Ereignisse zu analysieren, um daraus zu lernen und
- geeignete Massnahmen zur Abhilfe festzulegen.

Für den ersten der beiden Zwecke wurde das ABB PSGuard Tool entwickelt. Diese Software liefert unmittelbare Informationen über den Zustand und die Anfälligkeit eines Übertragungssystems für Spannungsinstabilitäten, ohne dass eine weitergehende Analyse mit komplizierten Berechnungen und Simulationen durchgeführt werden muss.

Datenkonsistenz ist wichtig

Zur Erkennung potenzieller Stabilitätsprobleme sind nur ausgewählte Daten erforderlich, die sich normalerweise mit einem Modell des betreffenden Systems ermitteln lassen. Jedes elektrische Versorgungssystem lässt sich als eine Ansammlung von Generatoren (Kraftwerken) und Lasten (elektrische Verteilzentren) modellieren, die durch ein Übertragungsnetz miteinander verbunden sind. Das Modell des Übertragungsnetzes besteht aus Knoten (Sammelschienen), Abzweigungen (Leitungen), Generatoren und Lasten. Verschiedene Farben zeigen unterschiedliche Spannungspegel. Auch wenn die Daten in verschiedenen Formaten zur Verfügung gestellt werden können, werden Standardformate bevorzugt, um die Konsistenz der Daten sicherzustellen. PSGuard Tool verwendet hierzu das IEEE-Standardformat.

Adresse des Autors
Dr. *Joachim Bertsch*
ABB Schweiz AG
CH-5400 Baden
joachim.bertsch@ch.abb.com

Schwachstellen im Versorgungsnetz

PSGuard Tool wurde in erster Linie mit dem Ziel entwickelt, ein einfaches Werkzeug zur Bestimmung der Schwachstellen eines Übertragungsnetzes, d.h. Bereiche mit schwachen Netzknoten und/oder Leitungen, bereitzustellen. Eine rasche und präzise Identifizierung dieser Bereiche ist keine leichte Aufgabe, wenn die Einzelheiten wie die Systemkonfiguration und -daten unbekannt sind. Mit Hilfe von PSGuard lassen sich solche Schwachstellen bestimmen, ohne dass eine vollständige Netzanalyse durchgeführt werden muss. Ein Mausklick genügt, um schwache Leitungen und Netzknoten innerhalb des Systems aufzuspüren und die Informationen zusammen mit den Originaldaten im IEEE-Format zu speichern.

Nach dem Einlesen der Daten berechnet PSGuard Tool die erforderlichen Werte und Koeffizienten auf der Grundlage von *P-Q*-Diagrammen für die Sammelschienen und Leitungen und vergleicht diese mit Schwellwerten. Daraufhin kann entschieden werden, ob einzelne Bereiche und Komponenten schwach sind und verstärkt werden müssen.

P-Q-Diagramme

Der erste Schritt zur Bestimmung der Schwachstellen in einem Übertragungsnetz ist eine einfache, standardmässige Berechnung des stationären Lastflusses. Daraus ergeben sich alle stationären Werte für die Spannungen, Phasenwinkel, Wirk- und Blindleistungen usw. an allen Netzknoten. Nun kann für jeden einzelnen Netzknoten und jede Leitung das *P-Q*-Diagramm mit dem Verhältnis zwischen Wirk- und Blindleistung erstellt werden.

Für jedes *P-Q*-Diagramm wird zunächst der Punkt für den stationären Lastfluss P_o, Q_o) und dann die kürzeste Strecke bis zum Kurvenrand und somit zum Spannungszusammenbruch (P_c, Q_c) bestimmt. Die Entfernung d_{vc} zwischen den beiden Punkten entspricht dem minimalen Abstand bis zum Spannungszusammenbruch für ein bestimmtes Element und kann als Mass für die *Spannungssicherheit* betrachtet werden. Der Wert für dvc errechnet sich nach der Formel:

$$d_{vc} = \sqrt{(P_{cr} - P_o)^2 + (Q_{cr} - Q_o)^2}$$

Je geringer der Wert für d_{vc}, desto schwächer ist das betreffende Element in bezug auf seine Spannungsstabilität. Die *P-Q*-Diagramme (Bild 1) können auch verwendet werden, um die Wahrscheinlichkeit p_{vc} eines Spannungszusammenbruchs in einer Abzweigung für gleichmässig verteilte Wirk- und Blindleistungen innerhalb angenommener Grenzen zu berechnen. Diese wird mit Hilfe der geometrischen Definition der Wahrscheinlichkeit bestimmt. Das Rechteck ADEF stellt den maximalen Bereich für mögliche Wirk- und Blindleistungsänderungen für das analysierte Element dar (P_{max}, P_{min}, Q_{max}, Q_{min}). Die blaue Fläche, die ausserhalb der Kurve aber innerhalb des Rechtecks liegt, ist der Bereich des Spannungszusammenbruchs. Die geometrische Definition dieser Wahrscheinlichkeit lässt sich aus der folgenden Formel errechnen:

$$p_{vc} = 1 - \frac{S}{(P_{max} - P_{min})(Q_{max} - Q_{min})}$$

wobei

$$S = \int_{P_{min}}^{P_B} (-cP^2 + \frac{0.25}{c} - Q_{min})dP$$

c entspricht den Leitungsparametern (Induktivität und Suszeptanz).

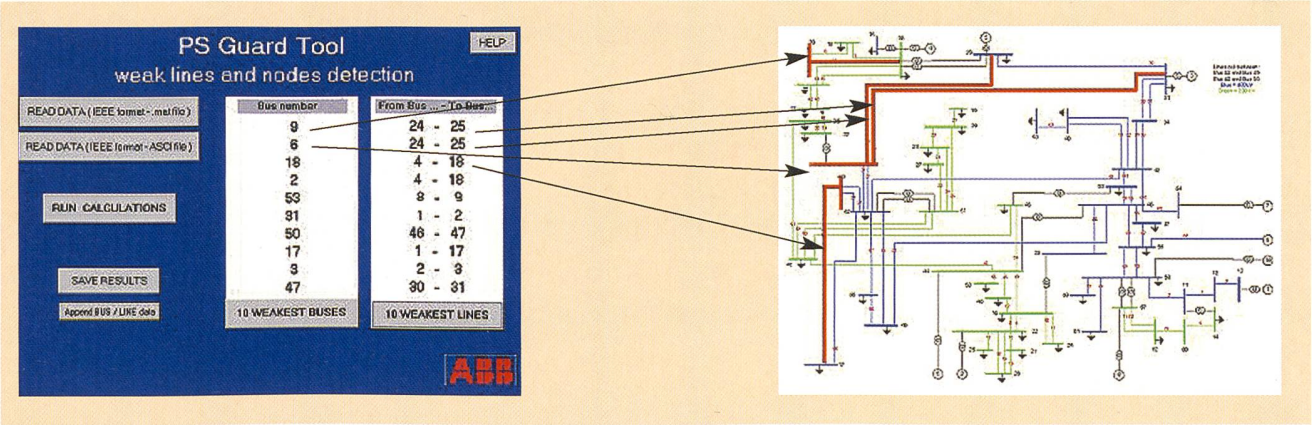


Bild 3 PSGuard liefert unmittelbare Informationen zu den Schwachstellen eines Übertragungsnetzes.

Algorithmen von PSGuard Tool (Bild 2)

PSGuard Tool beginnt mit dem Einlesen der Netzdaten im IEEE-Standardformat und analysiert das System daraufhin zuerst mit 100% und dann mit 120% der Nennlast. Für beide Lasten wird der stationäre Lastfluss berechnet und ein *P-Q*-Diagramm für jedes Element im System erstellt. Daraufhin werden die Koeffizienten berechnet und mit Schwellwerten verglichen, um daraus den Zustand jedes Elements (stark oder schwach) zu bestimmen. Dabei kann es sein, dass der Zustand einiger starker Sammelschienen oder Netzknoten bereits beim ersten Durchlauf mit 100% Nennlast bestimmt wird, doch normalerweise ist ein zweiter Durchlauf mit 120% Nennlast erforderlich, um ein eindeutiges Ergebnis zu erhalten.

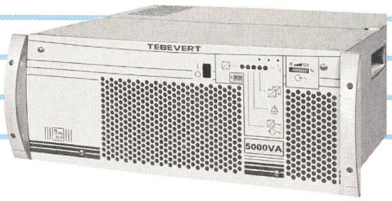
Ein benutzerfreundliches Tool (Bild 3)

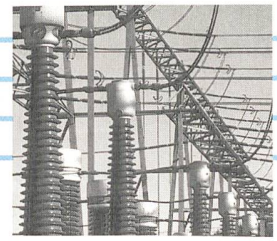
Die beschriebenen Algorithmen wurden mit verschiedenen Systemen getestet und überprüft und sind nun als «Standalone»-Anwendungen verfügbar. Nach Durchführung der Berechnungen werden die schwachen Netzknoten und Leitungen in zwei getrennten Fenstern aufgeführt, wobei die schwächsten oben auf der Liste erscheinen.

PSGuard Tool liefert unmittelbare Informationen über die Schwachstellen in einem Versorgungsnetz und ermöglicht es Netzbetreibern, auch in weitgehend unbekannten Netzen die kritischen Netzknoten oder Übertragungsleitungen zu identifizieren. Darüber hinaus eignet es sich als ergänzendes Tool, zum Beispiel um den günstigsten Einsatzort für andere ABB-Anwendungen wie PSGuard Wide Area Monitoring zur Durchführung von Vektormessungen in kritischen Netzbereichen zu bestimmen.

D'un coup d'œil: l'outil logiciel indique les points faibles des réseaux de transport

Savoir exactement où se situent les points faibles et les problèmes dans un réseau de transport, ses éléments, ses sous-systèmes ou bien ses lignes de transport et ses jeux de barres: ces informations sont importantes pour gérer un tel système. Si les exploitants du système ont la possibilité de les procurer directement, sans avoir à effectuer des analyses ou des simulations compliquées, ils pourront plus rapidement avoir une vue d'ensemble de la situation, même s'il ne s'agit que d'informations grossières. C'est exactement dans ce but que l'outil ABB PSGuard a été développé. Ce nouvel outil logiciel donne une vue d'ensemble de la «qualité» du réseau électrique, localise les points faibles et indique les jeux de barres ainsi que les lignes de transport qui requièrent une attention particulière avant que la situation ne devienne critique.

Il vostro partner
per la fornitura con continuità di energia elettrica DC + AC
Consulenza
Project-Engineering
Impianti completi, batterie incluse
Servizio di manutenzione



BENNING
Benning Power Electronics GmbH, Industriestrasse 6, CH-8305 Dietlikon, Tel. 01 805 75 75, Fax 01 805 75 80
info@benning.ch, www.benning.ch
La sicurezza dall'esperienza