

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

VERBAND DER
ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK
INFORMATIONSTECHNIK

Modellierung und Simulation von Kraftwerksblöcken
Elektrisches System
Modelling and simulation of power plant units
Electrical system

VDI/VDE 3524

Blatt 3 / Part 3

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note.....	2
Einleitung.....	2	Introduction.....	2
1 Anwendungsbereich.....	2	1 Scope.....	2
2 Formelzeichen und Abkürzungen	4	2 Symbols and abbreviations	4
3 Generatormodell	7	3 Generator model	7
3.1 Gleichungen der Synchronmaschine.....	7	3.1 Synchronous machine equations.....	7
3.2 Ermittlung der Ersatzschaltbildparameter aus dem Kurzschlussversuch	9	3.2 Determining the equivalent circuit diagram parameters from the short-circuit test	9
3.3 pu-System	11	3.3 pu system	11
3.4 Sättigung	11	3.4 Saturation.....	11
4 Allgemeines T-Ersatzschaltbild des Transformators	13	4 General T equivalent circuit diagram of transformer	13
4.1 Vereinfachtes Transformator-Ersatzschaltbild für Lastbetrieb	13	4.1 Simplified transformer equivalent circuit diagram operation under load.....	13
4.2 Dreiwicklungstransformator	16	4.2 Three-winding transformer	16
5 Netzmodelle	17	5 Grid models.....	17
5.1 Globales Netzmodell.....	17	5.1 Global grid model.....	17
5.2 Modelle für Untersuchungen einzelner Kraftwerke und Regelungen	18	5.2 Models for investigating individual power stations and controls.....	18
6 Modell der Erregereinrichtung	19	6 Model of excitation equipment	19
6.1 Bezugsgrößen.....	20	6.1 Reference quantities.....	20
6.2 Modell des Spannungsreglers	20	6.2 Voltage regulator model	20
6.3 Statik	23	6.3 Droop	23
6.4 Untererregungsbegrenzung	25	6.4 Underexcitation limiter	25
6.5 Stoßerregungsbegrenzung	25	6.5 Ceiling excitation limiter	25
6.6 Übererregungsbegrenzung	26	6.6 Overexcitation limiter	26
6.7 Ständerstrombegrenzung	26	6.7 Stator-current limiter	26
6.8 Power System Stabilizer (PSS)	26	6.8 Power system stabiliser (PSS)	26
6.9 Blindleistungsregler/cos(φ)-Regler	27	6.9 Reactive-power controller/power factor controller	27
7 Modellvalidierung	29	7 Model validation.....	29
Schrifttum	32	Bibliography	32

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)
Fachbereich Anwendungsfelder der Automation

VDI/VDE-Handbuch Automatisierungstechnik
VDI-Handbuch Energietechnik

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Die vorliegende Richtlinie wurde vom Fachausschuss „Regelung von Synchronmaschinen und Transformatoren“ der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik erstellt, um die wesentlichen Festlegungen aus der bestehenden Normung zusammenzufassen und die Erfahrungen aus der Praxis für die Anwendung zur Verfügung zu stellen.

Diese Richtlinie befasst sich mit dem elektrischen System, bestehend aus den Komponenten „Generator“, „Generatorregelung“, „Transformator“, „Eigenbedarf“ und „Netz“.

Blatt 1 dieser Richtlinienreihe gibt einen Überblick über die benötigte Modellstruktur und erläutert die relevanten Simulationsfälle. In Blatt 2 wird das mechanische System mit der zugehörigen Regelung beschrieben. Der Anwender findet hier Modelle von Dampfturbinen, Gasturbinen und Kombi-Kraftwerken mit ihren zugehörigen Regelungseinrichtungen. Der zunehmenden Bedeutung weiterer Erzeugungsanlagen wird in einer separaten Richtlinie (Blatt 4) Rechnung getragen. Wasserkraft-, Windkraft-, Fotovoltaik- und weitere Erzeugungsanlagen werden dort behandelt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/3524.

1 Anwendungsbereich

Es existieren diverse Richtlinien, die einzelne Komponenten detailliert beschreiben, jedoch keine Gesamtübersicht über die Modellierung von Kraftwerksblöcken und interessierende Simulationsfälle aus Sicht des Kraftwerks und des Netzes geben können. Diese Richtlinie verschafft einen Gesamtüberblick über die benötigten Modelle, ihre Gültigkeit und relevante Simulationsfälle.

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

Introduction

This standard has been created by the Technical Committee “Control of Synchronous Machines and Transformers” of the VDI/VDE Society Measurement and Automatic Control in order to summarise the relevant specifications of the existing standard and to provide users with experiences gained in practice.

This standard covers the electrical system comprising the components “generator”, “generator control”, “transformer”, “station service” and “grid”.

Part 1 of this series of standards provides an overview of the required model structure and explains the relevant simulation cases. Part 2 describes the mechanical system along with the relevant controls. It provides users with models of steam turbines, gas turbines and combined cycle power plant with relevant control equipment. A separate standard (Part 4) takes into account the increasing importance of other types of plants for energy production. It covers hydroelectric, wind, photovoltaic and other power generating units.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at www.vdi.de/3524.

1 Scope

Various standards detailing the individual components exist, however, none of these provide a general survey of the modelling of power units and simulation cases of interest for power station and grid operators. This standard provides a general survey of the required models, their validity and relevant simulation cases.

Der Schwerpunkt wird in Erzeugungsanlagen gesehen, die in das Übertragungsnetz einspeisen.

Für den sicheren und zuverlässigen Betrieb von Kraftwerksblöcken am Netz sind vielfältige Regeleinrichtungen notwendig. Viele Funktionen treten dabei im Normalbetrieb nicht in den Vordergrund, gleichwohl sind die korrekte Einstellung und ein entsprechender Nachweis sowohl aus Sicht des Kraftwerks als auch aus Sicht des Netzbetreibers von großer Bedeutung. Dies ist im Betrieb der Anlagen nur bedingt möglich, sodass Simulationen unabdingbar sind, Nachweise zu liefern bzw. geeignete Einstellungen zu finden.

Daher sind Simulationsmodelle aufzustellen, mit denen das Verhalten eines Kraftwerksblocks am Netz unter den verschiedensten Bedingungen untersucht werden kann.

Diese Richtlinie wurde erstellt, um

- die dafür benötigten Modelle zu beschreiben,
- eine Hilfestellung bei der Modellerstellung und Modellvalidierung zu geben, sowie um
- die relevanten Simulationsfälle zu erläutern.

Diese Richtlinie unterstützt sowohl die Betreiber von Übertragungsnetzen als auch die Betreiber und Hersteller von Kraftwerken mit zugehöriger Leittechnik bei ihrer Arbeit und fördert den gegenseitigen Austausch. Sie hilft dabei, die Vergleichbarkeit von Simulationsstudien zu erhöhen. Außer zur Dokumentation des aktuellen Stands der Technik kann sie auch bei der Einarbeitung und dem Training neuer Mitarbeiter in dieser komplexen Thematik nützlich sein.

Für viele Simulationsfälle liegt das Hauptaugenmerk zwar auf der Spannungsregelung, oft ist jedoch auch die Turbinenregelung zu berücksichtigen. Daher werden in Blatt 3 dieser Richtlinienreihe sowohl Modelle für die Spannungsregelung mit ihren Zusatzfunktionen, wie Pendeldämpfungs- und Begrenzungsfunktionen, der Generator und gegebenenfalls die Erregermaschine, der Transformator und Netzmodelle, als auch in Blatt 2 Modelle für Turbinen mit Ventilen und Regler aufgeführt. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung weiterer Erzeugungseinrichtungen, z.B. Windkraftanlagen, wird darauf ebenfalls im Blatt 4 eingegangen.

Die Richtlinie beschreibt, welche Modellteile für welchen Simulationsfall zu verwenden sind, und diskutiert die Möglichkeiten der Modellvalidierung. Beispielhaft angegebene Simulationsergebnisse verdeutlichen die komplexen Zusammenhänge.

In einzelnen Gebieten sind weitere Gremien (CIGRE, IEEE, VDI/VDE) aktiv, die Richtlinien

The focus is on power stations which feed the power grid.

Numerous control systems are required to ensure the safe and reliable operation of power units connected to the grid. Many functions are by no means obvious during normal operation. Nonetheless, their correct setting and appropriate evidence are of great importance from the perspective of both the power station and the grid operator. During the stations' operation this is only possible to a limited extent, so simulations are indispensable for delivering evidence and determining appropriate settings.

Therefore, simulation models shall be created that allow for studying the response of power units under a wide range of conditions.

This standard has been established in order to

- describe the necessary models,
- provide assistance with model creation and model validation, and to
- illustrate the relevant simulation cases.

This standard supports power grid operators, power station operators and suppliers by providing the relevant control equipment and promoting the mutual exchange of ideas and information. The standard also helps to improve the comparability of simulation studies. In addition to documenting the state of the art it can also be useful for briefing and training new employees in this complex subject matter.

Many simulation cases focus on voltage control. However, in many cases turbine control shall also be taken into account. For this reason Part 3 of this series of standards covers models for voltage control including additional functions such as functions for damping of oscillations and limitation, generator and, if necessary, exciter, transformer and grid models. Part 2 covers models for turbines and controllers. Due to the increasing importance of other types of power stations, e.g. wind power stations, these are also addressed separately in Part 4.

The standard describes which parts of a model are to be used for which simulation case and discusses the possibilities for model validation. Examples of simulation results illustrate the complex interrelations.

In some areas additional bodies (CIGRE, IEEE, VDI/VDE) which issue standards are active. The

herausgeben. In den entsprechenden Abschnitten finden sich Hinweise und Verweise auf die dort beschriebenen Modelle.

relevant sections contain notes and references to the models described there.