

VEREIN DEUTSCHER
INGENIEURE

VERBAND DER
ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK
INFORMATIONSTECHNIK

Regelung von Synchronmaschinen

Control of synchronous machines

VDI/VDE 3680

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

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

| Inhalt | Seite | Contents | Page |
|---|-----------|---|-----------|
| Vorbemerkung | 4 | Preliminary note | 4 |
| 1 Zweck und Geltungsbereich | 4 | 1 Objective and scope | 4 |
| 2 Einleitung | 5 | 2 Introduction | 5 |
| 3 Formelzeichen und Benennungen. | 5 | 3 Symbols and terms | 5 |
| 4 Netzmodellierung | 10 | 4 Network modelling | 10 |
| 4.1 Inselnetz | 10 | 4.1 Separate network | 10 |
| 4.2 Leistungsstarkes Netz | 10 | 4.2 High-power network | 10 |
| 4.3 Verbundnetz | 10 | 4.3 Interconnected network | 10 |
| 5 Synchronmaschinen | 12 | 5 Synchronous machines | 12 |
| 5.1 Arten der Synchronmaschine | 12 | 5.1 Types of synchronous machines | 12 |
| 5.1.1 Synchrongeneratoren | 13 | 5.1.1 Synchronous generators. | 13 |
| 5.1.2 Synchronblindleistungsmaschinen. | 13 | 5.1.2 Synchronous condensors | 13 |
| 5.1.3 Synchronmotoren. | 13 | 5.1.3 Synchronous motors. | 13 |
| 5.1.4 Betrieb der Synchronmaschine am Umrichter | 13 | 5.1.4 Operation of the synchronous machine connected to a converter. | 13 |
| 5.2 Kenngrößen der Synchronmaschine. | 14 | 5.2 Characteristic quantities of a synchronous machine. | 14 |
| 5.2.1 Reaktanzen | 15 | 5.2.1 Reactances. | 15 |
| 5.2.2 Widerstände. | 19 | 5.2.2 Resistances | 19 |
| 5.2.3 Zeitkonstanten | 20 | 5.2.3 Time constants. | 20 |
| 5.2.4 Bemessungs-Anlaufzeit τ_j | 22 | 5.2.4 Rated run-up time constant, τ_j | 22 |
| 5.3 Beschreibung der Synchronmaschine. | 22 | 5.3 Description of the synchronous machine | 22 |
| 5.3.1 Park-Transformation | 23 | 5.3.1 Park transformation | 23 |
| 5.3.2 Bezugsgrößen. | 24 | 5.3.2 Reference quantities. | 24 |
| 5.3.3 Park'sche Gleichungen | 26 | 5.3.3 Park's equations | 26 |
| 5.3.4 Bestimmung der Kenngrößen des Modells | 29 | 5.3.4 Determination of the characteristic quantities of the model | 29 |
| 5.3.5 Behandlung des stationären Betriebs der Synchronmaschine | 32 | 5.3.5 Consideration of the steady-state operation of the synchronous machine | 32 |
| 5.3.6 Dynamisches Verhalten der Synchronmaschine | 33 | 5.3.6 Dynamic response of the synchronous machine | 33 |

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)

Fachausschuss Regelung von Synchronmaschinen und Transformatoren

VDI/VDE-Handbuch Regelungstechnik
VDI-Handbuch Energietechnik

| | Seite | | Page |
|--|-------|---|------|
| 6 Erregereinrichtungen, Aufbau und Wirkungsweise | 35 | 6 Excitation equipment, design, and functioning principle | 35 |
| 6.1 Erregermaschine | 36 | 6.1 Exciter | 36 |
| 6.1.1 Gleichstromerregermaschine | 36 | 6.1.1 DC exciter | 36 |
| 6.1.2 Drehstromerregermaschine | 37 | 6.1.2 Three-phase AC exciter | 37 |
| 6.2 Statische Erregereinrichtungen | 40 | 6.2 Static excitation equipment | 40 |
| 6.2.1 Stromrichtererregung mit einer Drehstrombrücke | 40 | 6.2.1 Power converter excitation with three-phase bridge connection | 40 |
| 6.2.2 Stromrichtererregung mit gegenparallelen Drehstrombrücken | 41 | 6.2.2 Power converter excitation with inverse-parallel three-phase bridge connections | 41 |
| 6.2.3 Kompound-Erregereinrichtungen | 42 | 6.2.3 Compound-source excitation equipment | 42 |
| 6.3 Oberschwingungen und Netzrückwirkung | 43 | 6.3 Harmonics and network perturbation | 43 |
| 7 Regeleinrichtungen, Aufbau und Wirkungsweise | 44 | 7 Control equipment, design, and functioning | 44 |
| 7.1 Analoge Regler | 45 | 7.1 Analog controllers | 45 |
| 7.1.1 FührungsgröÙengeber | 45 | 7.1.1 Setpoint adjuster | 45 |
| 7.1.2 Regler | 45 | 7.1.2 Controller | 45 |
| 7.1.3 Erfassung der RegelgröÙen | 45 | 7.1.3 Sensing of controlled-variable value | 45 |
| 7.1.4 Begrenzungen | 45 | 7.1.4 Limiters | 45 |
| 7.1.5 Verbesserung der Stabilität | 47 | 7.1.5 Improving stability | 47 |
| 7.2 Digitale Regler | 47 | 7.2 Digital controllers | 47 |
| 7.2.1 Aufbau und Funktion digitaler Regler | 47 | 7.2.1 Structure and functioning of digital controllers | 47 |
| 7.2.2 Struktur und Elemente digitaler Regler | 48 | 7.2.2 Structure and components of digital controllers | 48 |
| 8 Regelverhalten im stationären Betrieb | 50 | 8 Control response during steady-state operation | 50 |
| 8.1 Ursachen und Arten der Abweichungen | 50 | 8.1 Causes and types of deviations | 50 |
| 8.2 KenngröÙen zur Kennzeichnung des Regelverhaltens | 50 | 8.2 Characteristic quantities describing the control response | 50 |
| 8.3 Prüfverfahren | 52 | 8.3 Testing methods | 52 |
| 8.4 Regelkennlinien, FührungsgröÙen | 52 | 8.4 Control characteristics, reference input variables | 52 |
| 8.4.1 Spannungsregelung mit Begrenzungen | 52 | 8.4.1 Voltage control with limit values | 52 |
| 8.4.2 Kombination von Spannungsregelung mit Blindleistungsregelung | 53 | 8.4.2 Combination of voltage control and reactive-power control | 53 |
| 8.4.3 FührungsgröÙe | 54 | 8.4.3 Reference input variable | 54 |
| 8.4.4 Kombination von Spannungsregelung und Regelung nach konstantem Spannungs-Frequenz-Verhältnis | 54 | 8.4.4 Combination of voltage control and control according to a constant voltage-to-frequency ratio | 54 |
| 9 Verhalten bei kleinen Abweichungen | 55 | 9 Response to small deviations | 55 |
| 9.1 Ursachen und Arten der Abweichungen | 55 | 9.1 Causes and types of deviations | 55 |
| 9.2 Statische Stabilität | 55 | 9.2 Steady-state stability | 55 |
| 9.3 KenngröÙen zur Kennzeichnung des Regelverhaltens | 56 | 9.3 Characteristic quantities describing the control response | 56 |
| 9.3.1 KenngröÙen der Synchronmaschine | 56 | 9.3.1 Characteristic quantities of the synchronous machine | 56 |
| 9.3.2 KenngröÙen der Erregereinrichtung | 57 | 9.3.2 Characteristic quantities of the excitation equipment | 57 |

| | Seite | | Page |
|------------|-----------|--------------|-----------|
| 9.3.3 | 57 | 9.3.3 | 57 |
| 9.3.4 | 58 | 9.3.4 | 58 |
| 9.3.5 | 60 | 9.3.5 | 60 |
| 9.3.6 | 61 | 9.3.6 | 61 |
| 9.4 | 62 | 9.4 | 62 |
| 9.4.1 | 62 | 9.4.1 | 62 |
| 9.4.2 | 62 | 9.4.2 | 62 |
| 9.4.3 | 63 | 9.4.3 | 63 |
| 9.4.4 | 63 | 9.4.4 | 63 |
| 9.4.5 | 63 | 9.4.5 | 63 |
| 10 | 63 | 10 | 63 |
| 10.1 | 63 | 10.1 | 63 |
| 10.1.1 | 64 | 10.1.1 | 64 |
| 10.1.2 | 64 | 10.1.2 | 64 |
| 10.1.3 | 65 | 10.1.3 | 65 |
| 10.1.4 | 65 | 10.1.4 | 65 |
| 10.1.5 | 66 | 10.1.5 | 66 |
| 10.2 | 66 | 10.2 | 66 |
| 10.2.1 | 66 | 10.2.1 | 66 |
| 10.2.2 | 66 | 10.2.2 | 66 |
| 10.2.3 | 66 | 10.2.3 | 66 |
| 10.3 | 67 | 10.3 | 67 |
| 10.3.1 | 68 | 10.3.1 | 68 |
| 10.3.2 | 68 | 10.3.2 | 68 |
| 10.4 | 69 | 10.4 | 69 |
| Schrifttum | 71 | Bibliography | 71 |