

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 condensers	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 Kenngrößen der Spannungs- regeleinrichtung	57	9.3.3 Characteristic quantities of the voltage control equipment.	57
9.3.4 Kenngrößen des geschlossenen Regelkreises	58	9.3.4 Characteristic quantities of the closed control loop	58
9.3.5 Stabilitätsgrenzen.	60	9.3.5 Stability limits.	60
9.3.6 Wichtige Betriebspunkte	61	9.3.6 Important operating points	61
9.4 Kenngrößenermittlung	62	9.4 Determination of characteristic quantities	62
9.4.1 Ermittlung der Kenngrößen der Synchronmaschine	62	9.4.1 Determination of the characteristic quantities of the synchronous machine	62
9.4.2 Messen der Kenngrößen der Erregereinrichtung	62	9.4.2 Measurement of the characteristic quantities of the excitation equipment	62
9.4.3 Bestimmen der Reglerkenngrößen.	63	9.4.3 Determination of the controller characteristics	63
9.4.4 Ermittlung der Kenngrößen des geschlossenen Regelkreises	63	9.4.4 Determination of the characteristic quantities of the closed control loop	63
9.4.5 Bestimmen der Stabilitätsgrenzen	63	9.4.5 Determination of stability limits	63
10 Regelverhalten bei großen Abweichungen.	63	10 Control response to large deviations	63
10.1 Ursachen der Abweichungen.	63	10.1 Causes of deviations.	63
10.1.1 Laständerungen durch Schalt- handlungen.	64	10.1.1 Load changes caused by switching operations	64
10.1.2 Störungen durch 3-polige Netzkurzschlüsse.	64	10.1.2 Disturbance due to three-phase network short-circuits.	64
10.1.3 Sprung des Betrages der Netzspannung	65	10.1.3 Step change in the magnitude of the network voltage	65
10.1.4 Sprung der Wirk- und Blind- leistung.	65	10.1.4 Step change in active and reactive power.	65
10.1.5 Lastabschaltungen	66	10.1.5 Load rejection.	66
10.2 Kenngrößen zur Kennzeichnung des Regelverhaltens.	66	10.2 Characteristic quantities describing the control response	66
10.2.1 Deckenspannung u_{pL}	66	10.2.1 Ceiling voltage, u_{pL}	66
10.2.2 Anfangs-Erregergeschwindig- keit v_{Ea}	66	10.2.2 Initial excitation response, v_{Ea}	66
10.2.3 Mittlere Erregergeschwindig- keit v_{Em}	66	10.2.3 Mean excitation response, v_{Em}	66
10.3 Prüfverfahren	67	10.3 Test methods.	67
10.3.1 Einzelgeräteprüfungen.	68	10.3.1 Testing of individual items of equipment.	68
10.3.2 Ermittlung der Erreger- geschwindigkeit	68	10.3.2 Determination of excitation response.	68
10.4 Ermittlung des Übergangsverhaltens aus den Einzelgeräteprüfungen.	69	10.4 Determination of the transient response from tests of individual items of equipment	69
Schrifttum	71	Bibliography	71