

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

VERBAND DER
ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK
INFORMATIONSTECHNIK

Adaptive Regler
Erläuterungen und Beispiele

Adaptive controllers
Explanations and examples

VDI/VDE 3685

Blatt 2 / Part 2

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 Normative Verweise	3	2 Normative references	3
3 Begriffe	3	3 Terms and definitions	3
4 Formelzeichen und Abkürzungen	3	4 Symbols and abbreviations	3
5 Beispiele verschiedener Strukturen adaptiver Regelsysteme	4	5 Examples of different structures of adaptive control systems	4
5.1 Regler nach dem Modellvergleichsverfahren	4	5.1 Controller according to the model reference principle	4
5.2 Adaptive Regler ohne Vergleichsmodell	4	5.2 Adaptive controller without reference model	4
5.3 Strukturumschaltender Regler	5	5.3 Variable structure controller	5
5.4 „Gain“- (oder Parameter-) Scheduling-Regler	5	5.4 Gain or parameter scheduling controller	5
5.5 Extremwertregler	6	5.5 Extremal value controller	6
6 Beispiele für die Anwendung der Merkmalliste	6	6 Examples for application of the list of characteristic properties	6
6.1 Stromrichtergespeister Gleichstromantrieb	6	6.1 Thyristor driven DC motor	6
6.2 Abwasserneutralisation	6	6.2 Waste water neutralisation	6
6.3 Modellprädiktive Regelung mit mehreren Prozessmodellen (Multi-model MPC)	9	6.3 Model predictive control with several process models (multi-model MPC)	9
6.4 Banddickenregelung in Kaltwalzwerken	11	6.4 Control of band thickness in cold rolling mills	11
6.5 Industrieroboter	13	6.5 Industrial robots	13
6.6 Kunststoffverarbeitungsprozesse	14	6.6 Plastics processing units	14
6.7 Adaptiver Zustandsregler	15	6.7 Adaptive state-space controller	15
6.8 Extremalwertregler	16	6.8 Extremum seeking controller	16
Schrifttum	20	Bibliography	20

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

Fachbereich Engineering und Betrieb automatisierter Anlagen

Vorbemerkung

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

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

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/3685.

Einleitung

Die Richtlinienreihe VDI/VDE 3685 wurde überarbeitet und ergänzt. Blatt 1 wurde im Dezember 2009 und im November 2015 überprüft und ist unverändert gültig. Blatt 3 ist an die Vorgaben des aktuellen Richtlinientemplates angepasst und um den Abschnitt „Ausgewählte Methoden der Reglerselbsteinstellung“ erweitert worden. Das vorliegende Blatt 2 ist leicht modifiziert und an den Stand der Technik angepasst worden.

1 Anwendungsbereich

Die Begriffsdefinitionen von Blatt 1 werden anhand von Beispielen erläutert. Aufgrund der Vielfalt der unterschiedlichen Algorithmen und der zahlreichen Anwendungen wird hier eine exemplarische Darstellung und Erläuterung der Richtlinien angestrebt. Dazu werden in Abschnitt 5 verschiedene Strukturen in Form von Blockschaltbildern beispielhaft dargestellt. Abschnitt 6 zeigt die Handhabung der Merkmalliste für die Charakterisierung verschiedener in der Literatur vorgestellter adaptiver Regelverfahren.

In der industriellen Praxis werden vor allem die Inbetriebnahmeadaptation und die gesteuerte Adaption angewendet.

Adaptive Regler mit geregelter, permanenter Adaption sind in speziellen Anwendungsfällen, z.B. bei Regelstrecken mit ausgeprägter nichtlinearer Charakteristik, erfolgreich angewendet worden. Dies ist durch zahlreiche Veröffentlichungen belegt. Die dabei realisierten Adaptionsstrategien und -konzepte sind aber meist so speziell, dass sie selbst bei ähnlich gelagerten Problemstellungen

Preliminary note

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

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

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at www.vdi.de/3685.

Introduction

The standard series VDI/VDE 3685 have been edited and complemented. Part 1 has been revised already in December 2009 and in November 2015 and is valid without changes. Part 3 has been aligned to the standards of the actual standard template and has been extended by the chapter “selected methods of controller self”. This Part 2 at hand has been slightly modified and adapted to the current state of technology.

1 Scope

Terms and definitions of Part 1 are illustrated based on examples. Due to the variety of different algorithms and numerous applications an exemplary representation and explanation of the standards is intended here. Therefore, Section 5 illustrates different structures in form of block diagrams. Section 6 demonstrates the handling of the list of characteristic properties for characterisation of various adaptive control methods presented in literature.

Mainly self-tuning at start-up and feedforward adaptation are used in industrial practice.

Adaptive controllers with permanent adaptation have been successfully applied in special cases like e.g. with plants that show distinctive nonlinear characteristics. This has been proved by numerous publications. However, the strategies and concepts of adaptation realised in these cases usually are so specific that they hardly can be transferred to similar problems and therefore would go beyond the

nur schwer übertragbar sind und aus diesem Grund den Rahmen dieser Richtlinie sprengen würden.

Diese Richtlinie verwendet die Signalbezeichnungen gemäß DIN IEC 60050-351. In der internationalen Literatur werden die Regelgröße üblicherweise mit y und die Stellgröße mit u bezeichnet.

2 Normative Verweise

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

- DIN IEC 60050-351:2014-09 Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch; Teil 351: Leittechnik
- VDI/VDE 3685 Blatt 1:1990-05 Adaptive Regler; Begriffe und Eigenschaften

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die Begriffe nach VDI/VDE 3685 Blatt 1.

4 Formelzeichen und Abkürzungen

Formelzeichen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen verwendet:

Formelzeichen	Bezeichnung
e	Regeldifferenz
e^*	Modellfehler
\vec{p}	Vektor, dessen Elemente das Prozessverhalten kennzeichnen oder beeinflussen
\vec{r}	Vektor der Reglerparameter
T_b	Ausgleichszeit
T_e	Verzugszeit
T_s	Abtastzeit
T_t	Totzeit
w	Führungsgröße
w_0	voreingestellter Wert der Führungsgröße
x	Regelgröße
y	Stellgröße
z	Störgröße
Φ	Prädiktorfehler

Abkürzungen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Abkürzungen verwendet:

- FCC Fluidised Catalyst Cracking Unit
- MIMO Multi-Input Multi-Output (= Mehrgrößen)
- ITAE Integral of Time-weighted Absolute Value
- SISO Single-Input Single-Output

scope of this standard.

This part uses the signal notation according to DIN IEC 60050-351. In international publications the controlled variable typically is indicated with y and the manipulated variable is indicated with u .

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

- DIN IEC 60050-351:2014-09 International electro-technical vocabulary; Part 351: Control technology
- VDI/VDE 3685 Part 1:1990-05 Adaptive controllers; Terms and properties

3 Terms and definitions

For the purposes of this standard, the terms and definitions as per VDI/VDE 3685 Part 1 apply.

4 Symbols and abbreviations

Symbols

The following symbols are used throughout this standard:

Symbol	Designation
e	control error
e^*	model error
\vec{p}	vector whose entries characterize and influence the process behaviour
\vec{r}	vector of controller parameters
T_b	balancing time
T_e	equivalent dead time
T_s	sampling time
T_t	dead time
w	reference variable
w_0	prespecified value of the reference variable
x	controlled variable
y	manipulated variable
z	disturbance variable
Φ	prediction error

Abbreviations

The following abbreviations are used throughout this standard:

- FCC fluidised catalyst cracking unit
- MIMO multi-input multi-output
- ITAE integral of time-weighted absolute value
- SISO single-input single-output