Digitalisierung und *Sicherheiten* bei (Kern-) Kraftwerken

und Techn.Anlagen: Einige Aspekte dazu (Automatisierung)

Vortrag bei „Bürger f.Technik / Fachgruppe Nutzen d.Kerntechnik u.Energiesysteme“
in Hannover 7. Oktober 2021

Prof. Helmut Keutner (Beuth Hochschule für Technik Berlin)

Gliederung

0: Einleitung 5 min

1: Motivation zur
Automation/Digitalisierung 15_0 min
(rd. 20 farbige Real-Fotos)

2: Steuerung / Regelung: Mathematische
Ansätze 15_0 min

a) analog
b) digital (erste Schritte zu zeitdiskret)

3: Fragen / evt. Antworten 10 min

Zu 0: Einfuehrung
Messung => Ü / S / R / SF

wobei S / R = controlling;
S = open loop c.
R = closed loop c.
(siehe unter 2.)

Zu 1: Real Bilder
Siehe rund 20 Real Bilder der Demonstration

Zur Sicherheit SW und HW

1) Redundanz und Diversität (vs system Fehler) fuehrt zu zB Mehrfach(rechner)systemen / Warte mit Notwarte / Notstromdiesel / gebunkert etc
2) Versch Programmiersprachen
3) Versch Compiler / Interpreter
4) Versch Programmierer (Teams)
5) Versch Algorithmen

etc (siehe auch HTR)

Zu 2: Steuerung und Regelung (mathem Ansätze)

Kreisstruktur eines Raumheizungsregelkreises:
Bild 1.1 .5 : Struktur eines Raumheizungsregelkreises

Bild 1.1.6 : Struktur eines einschleifigen Regelkreises mit allgemeinen Signalbezeichnungen

w(t): Führungsgröße; e(t): Regelabweichung
u(t): Stellgröße; z(t): Störgröße
y(t): Regelgröße; $y_M(t)$: Messgröße
Bild 1.1.7 : Einschleifiger Standard–Regelkreis

$$v = s/t \Rightarrow ds/dt = \dot{s}(t)\ ; \quad \ddot{s}(t) = a$$

´ =>Dynamik versus eingeschwungener Zustand

Laplace-Transformation /Bildbereich:

$$a\, x(t) + b\, \dot{x}(t) + c\, \ddot{x}(t) + d\, \dddot{x}(t) + \ldots =$$

0 1 2 3

$$a\, x(s) + b\, x(s) + c\, x(s) + d\, x(s) + \ldots =$$

Aus Dgl. werden Potenzgleichungen, die tw. interpretiert werden können (Dgl.

brauchen somit nicht gelöst werden: lassen sich tw. auch geschlossen nicht lösen, nur aufwendig mit mathematischen Iterationsverfahren).

- ⇨ Laplace-mathem.Trafovorschriften/Faltungen
- ⇨ Vielfach als gelöste Tabellen vorliegend

<u>a) analog</u>

Gewichtsfunkt. g(t) => <u>Übertragungsfunkt.</u>
G(s) = Ausgang/Eingang
(im Blockschaltbild)

<u>Bild 2.1.4</u> : Ein Regelkreis mit proportional wirkendem Regler an einer global proportional wirkenden Strecke
Es soll festgestellt werden, ob bei einem Sprung der Führungsgröße w(t) = σ(t); Δw = 1 die Regelgröße y(t) stationär (d.h. für t → ∞) den Wert der Führungsgröße y(∞) = w(t) = 1 annimmt.
Nach den Verknüpfungsgesetzen für gekoppelte Übertragungssysteme berechnet sich die Übertragungsfunktion der Kreisstruktur nach Bild 2.1.4 mit W(s) als Eingang und Y(s) als Ausgang zu [formelentwiclung]

Zur Berechnung der Ausgangsgröße Y(s) in Abhängigkeit von der Eingangsgröße W(s) muß (2.1.2) entsprechend umgestellt werden
Y(s) = [formelentwichlung]

Da das Verhalten von y(t) auf einen Führungssprung w(t) = σ(t), Δw = 1 studiert werden soll, muß für U(s) die Laplace−Transformierte dieses Sprunges in (2.1.3) eingesetzt werden [formelentwichlung sprungfunction]

Damit ergibt sich als Sprungantwort im Laplace−Bereich

Y(s) =[formelentwichlung]
Fuehrt zur Regelabweichung

Verwendet man als Regler ein integral wirkendes Übertragungsglied, z.B. einen reinen Integrierer
Bild 2.1.5 : Ein Regelkreis mit integral wirkendem Regler an einer global proportional wirkenden Strecke
Fuehrt zu Einschwingverhalten ohne Regelabweichung
(yeder (weitere) Integrator macht den Einschwingvorgang langsamer)

b) zeitdiskret G(z) mit Abtastzeit k

siehe Skript-Darstellg. mit mathem. Darstellg.

Aufbau eines zeitdiskreten Regelkreises

Im /1/ wurde gezeigt, wie ein zeitdiskretes System in eine kontinuierliche Umgebung eingefügt werden kann. Ist diese Umgebung ein Regelkreis, der bis auf den Regler aus kontinuierlichen Systemelementen besteht, ergibt sich folgende Grundstruktur eines dann als zeitdiskret bezeichneten Regelkreises:

Bild 3.1.1 : Ein Regelkreis mit zeitdiskretem Regler

Die im folgenden Bild 3.1.2 gezeigte Regelkreisstruktur ist systemtheoretisch gleichwertig mit der Anordnung nach Bild 3.1.1, hat aber den Vorteil, dass die Führungsgröße bereits diskret (z.B. innerhalb des Digitalrechners) erzeugt werden kann.

Bild 3.1.2 : Grundstruktur eines zeitdiskreten Regelkreises

Es ist wichtig an dieser Stelle hervorzuheben, dass alle realen und gedanklichen Tastvorgänge innerhalb des Regelkreises synchron verlaufen. Das heißt auch insbesondere, dass das zum Tastzeitpunkt k vom Taster S_1 in den Regler übergehende Meßsignal vom A/D-Wandler, Regler und D/A-Wandler verarbeitet und auch zum Tastzeitpunkt kT (nicht zum Zeitpunkt (k +1)T) wieder ausgegeben werden muß. Diese theoretische Forderung ist selbstverständlich nicht realisierbar. Rechenzeiten von < 20 % der Abtastzeit sind tolerierbar.
Größere Rechenzeiten können beim Reglerentwurf in Form einer Totzeit mit der Dauer der Rechenzeit am Ausgang des Reglers berücksichtigt werden.

Struktureigenschaften zeitdiskreter Regelkreise

Zeitdiskrete Regelkreise mit einer Struktur nach Bild 3.1.2 haben kontinuierliche Ausgangssignale
$y(t)$ bzw. $Y(s)$. Wollte man dieses kontinuierliche Ausgangssignal als Funktion eines zeitdiskreten Eingangssignals $w(k)$ bzw. $W(z)$ berechnen, müsste man mit der sog. "erweiterten z−Transformation" /8/ arbeiten. Im allgemeinen reicht es aber aus, bei Berechnungen nur die Regelgrößenwerte zu den Abtastzeitpunkten kT zu kennen, weil man die Kurvenzwischenräume meist gut interpolieren kann (Vergleiche Bild 3.2.1).
Dies rechtfertigt die Einzeichnung eines fiktiven Schalters S_2 in den Ausgang der Regelgröße.
Dadurch kann die Regelgröße als zeitdiskret angenommen werden. Dies erlaubt ihre einfachere Berechnung mit zeitdiskreten Methoden.
Die Betrachtung der Regelgröße nur in den Abtastzeitpunkten könnte zu Fehlern führen, wenn hochfrequente Signalanteile in $y(t)$ vorhanden sind (Vergleiche Bild 3.2.2).

Bild 3.2.1 : Interpolation des Verlaufes von y(t) zwischen den Abtastzeitpunkten

Bild 3.2.2 : Fehlerhafte Interpolation bei hochfrequenten Anteilen in y(t)

Bei gut dimensionierten Regelkreisen dürfte ein solcher Effekt i.a. nicht auftreten. Wir werden solche Verläufe beim späteren Reglerentwurf durch geeignete Wahl der Abtastzeit verhindern.
Basierend auf diesen Grundlagen kann man folgende Übertragungsfunktionen des offenen Regelkreises angeben:

[Formelentwichlung]

(Da zwischen den beiden kontinuierlichen Gliedern $G_S(s)$ und $G_M(s)$ kein weiterer Abtaster liegt, d.h. kontinuierliche Signale ausgetauscht werden, müssen sie vor der z−Transformation zusammengefaßt werden).
Mit Hilfe der Verknüpfungsgesetze für Übertragungsfunktionen läßt sich nun auch leicht die Führungsübertragungsfunktion berechnen

Zur Illustrierung der praktischen Anwendung dieser Beziehung berechnen wir folgendes
Beispiel 3.2.1: Der Regler des folgenden kontinuierlichen Regelkreises

Bild 3.2.3 : Ein kontinuierlicher Beispielkreis

soll zeitdiskret nach der Struktur des Bildes 3.1.2 realisiert werden. Berechne die z−Übertragungsfunktion des offenen Kreises, die z−Führungsübertragungsfunktion und die Führungssprungantwort bei $w(t) = \sigma(t)$; $\Delta w = 1$. Der Reglerverstärkungsfaktor betrage V= 1 und die Abtastzeit T = 0,5.
Zunächst zeichnen wir das Strukturbild der zeitdiskreten Realisierung:

Bild 3.2.4 : Zeitdiskrete Realisierung des Beispielkreises nach Bild 3.2.3
Nach (3.2.1) ergibt sich folgende Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises und nach (3.2.2) die Führungsübertragungsfunktion

Zur Berechnung der Führungssprungantwort stehen uns nach /1/ zwei Verfahren zur

Verfügung, wir wählen das Verfahren zur analytischen Berechnung der Systemantwort:

Bild 3.2.5 : Führungssprungantwort des zeitdiskreten Regelkreises nach Bild 3.2.4

Zu 3 Fragen und (evt) Antworten

Danke fuer die Aufmerksamkeit !!!!!!!!!!!

(kann gerne versandt werden / dazu eMailadressen nennen
siehe ergänzend auch ausgelegte Broschueren/CD ROM)