MATHEMATISCHES FORSCHUNGSINSTITUT OBERWOLFACH

# Tagungsbericht 7/1969

## Regelungstheorie

16.3. - 22.3.69

Die Tagung stand unter der Leitung von W. Oppelt (Darmstadt) und P. Sagirow (Stuttgart).

Die Regelungstheorie, der die Tagung gewidmet war, ist eine noch junge mathematische Disziplin. Ihre Anfänge liegen erst zehn bis fünfzehn Jahre zurück und sind mit der sprunghaften Entwickelung der Regelungstechnik im letzten Jahrzehnt verbunden. Die Koppelung moderner Regelungen mit Datenverarbeitung und Rechenmaschinen, die Lageregelung von Trägerraketen und Satelliten sowie das zunehmende Interesse an der automatischen Steuerung komplizierter technologischer Prozesse stellten Mitte der 50-er Jahre eine große Anzahl von schwierigen rein mathematischen Problemen, deren Bearbeitung einerseits eine gewisse physikalisch-technische Aufgeschlossenheit und andrerseits eine sehr breite mathematische Basis verlangten. Die der Lösung dieser Probleme gewidmeten Beiträge so namhafter Mathematiker wie Pontrjagin, Kalman, Balakrishnan u.a.m. bilden die Anfänge der Regelungstheorie. Die weitere Entwicklung vollzog sich im Ausland sehr schnell, es erschienen in größerer Zahl einschlägige Zeitschriften, es bildeten sich verschiedene regelungstheoretische Schulen. Bei uns dagegen ist die neue Disziplin vorläufig nur sehr schwach vertreten, es existiert z. B. noch kein einziger Lehrstuhl für Regelungstheorie, es gibt auch keine einschlägige Zeitschrift. Unseren Mathematikern ist die Regelungstheorie wenig bekannt, von den Ingenieuren wird sie oft mißverstanden.

Ausgehend von dieser Situation mußte die Förderung des Verständnisses für die Regelungstheorie in weiten Kreisen unserer Mathematiker und Regelungstechniker das Hauptziel der Tagung sein. Dieser Aufgabenstellung entsprechend waren die Vormittage genz den Übersichtsvorträgen vorbehalten. Nachmittags wurden diese durch Fachvorträge ergänzt. Behandelt wurde die gesamte deterministische und stochastische Theorie einschließlich der neueren Entwicklungsrichtungen (Regelung von Systemen mit verteilten Parametern, Differentialspiele, Itosche Differentialgleichungen, Optimierung nichtlinearer stochastischer Systeme). Im ganzen wurden 9 z. T. mehrstündige Übersichtsvorträge und 17 Fachvorträge gehalten. Darüber hinaus erlaubte es die gemeinsame Unterbringung im Institut, die Pausen und Abende zu fruchtbaren Diskussionen auszunutzen.

Die Teilnehmer der Tagung setzten sich aus Mathematikern (etwa 35%) und Ingenieuren (etwa 65%) zusammen.

Die Tagung wurde von den meisten Teilnehmern als nützlich und anregend bezeichnet. Eine Wiederholung wurde ausdrücklich gewünscht.

Teilnehmer

| | |
|---|---|
| Ackermann, J. | Oberpfaffenhofen |
| Arnold, L. | Stuttgart |
| Banger, K. | Darmstadt |
| Baumann, T. | Karlsruhe |
| Bender, E. | Karlsruhe |
| Blatt, H. P. | Saarbrücken |
| Clauß, U. | Stuttgart |
| Dörr, J. | Saarbrücken |
| Eicher, M. | Stuttgart |
| Feldmann, H. | Hamburg |
| Fieger, K. | Braunschweig |
| Frank, P. | Karlsruhe |
| Freund, E. | Oberpfaffenhofen |

| | |
|---|---|
| Gilles, E. D. | Stuttgart |
| Hahn, W. | Graz |
| Hasenkopf | Stuttgart |
| Heeß, G. | Stuttgart |
| Hirai, K. | Japan |
| Hruschak, J. | Tscheckoslowakei |
| Isermann, R. | Stuttgart |
| Kappel, F. | Graz |
| Kiendl, H. | Berlin |
| Kluge, U. | Berlin |
| Köhne, M. | Stuttgart |
| Knobloch, H. W. | Berlin |
| Kuhr, D. | Karlsruhe |
| Lückel, J. | München |
| Mesch, F. | Karlsruhe |
| Müller, P. | München |
| Müller, G. | Berlin |
| Nicolovius, R. | Hamburg |
| Ossenberg, K. | Karlsruhe |
| Pandit, M. | Karlsruhe |
| Reißig, G. | Saarbrücken |
| Reißig, R. | Saarbrücken |
| Schmidt, G. | Friedrichshafen |
| Schneeweiß, W. | Oberpfaffenhofen |
| Schneider, G. | Berlin |
| Schwarz, H. | Hannover |
| Schweizer, G. | Friedrichshafen |
| Siffling, G. | Karlsruhe |
| Swik, R. | Friedrichshafen |
| Thoma, M. | Hannover |
| Troch, I. | Wien |
| Voss, K. | Stuttgart |
| Vossius, G. | Frankfurt |
| Werner, J. | Frankfurt |
| Zeiske, K. | Berlin |
| Zeitz, M. | Stuttgart |

Gefördert durch
DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

## Übersichtsvorträge

M. Thoma: Moderne Darstellung von Regelungsvorgängen

Darstellung von Regelungssystemen im Zustandsraum; die Lösungen der Zustandsgleichungen für lineare Systeme. Überlegungen zur Berechnung der Fundamentalmatrix mit Hilfe der Matrizenexponentialreihe im zeitinvarianten und der Neumannschen Reihe im zeitvarianten Fall. Die Steuer- und Beobachtbarkeit und ihre Bedeutung für Regelungsvorgänge. Optimierung von Systemen mit Hilfe der linearen und nichtlinearen Programmierung sowie die Behandlung von energieoptimalen und zeitoptimalen Regelungsvorgängen (Langrange-, Mayer- und Bolza-Problem).Vergleich zwischen dem Pontrjaginschen Maximumprinzip und der dynamischen Programmierung, die über die mehrstufigen Entscheidungsprozesse abgeleitet wird, bei der Optimierung von Regelungssystemen.

W. Hahn: Stabilitätsprobleme bei nichtlinearen Regelungen

Da die Theorie der nichtlinearen Regelungen kaum eigenständige Methoden entwickelt hat, befaßt sich das Referat allgemein mit nichtlinearen Bewegungsgleichungen.
Hauptprobleme: Untersuchung des Stabilitätsverhaltens von Gleichgewichtslagen und isolierten periodischen Lösungen; Abschätzung des Einzugsbereichs und Stabilitätsbereichs im Parameterraum.
Methoden:
a) Linearisierung nach Taylor (nur in nichtkritischen Fällen anwendbar).
b) Konstruktion in der Phasenebene (bei Systemen 2. Ordnung vor allem bei stückweise linearen Funktionen)
c) Die Andronovsche Punkttransformation
d) Die direkte Methode von Ljapunov - geometrische Idee - die Hauptsätze und ihre Anwendung - gestörte Gleichun-

gen - Bestimmung des Einzugsbereichs - Ausdehnung auf Gleichungen von allgemeinerem Typ: Differenzengleichungen (Schrittregelung), Differential-Differenzengleichungen (Regelungen mit Totzeit), Gleichungen mit verteilten Parametern (Funktionalgleichungen der Reaktorregelung, partielle Differentialgleichungen).

e) Probleme der absoluten Stabilität. Das Verfahren von V.-M. Popov.

G. Schneider: Synthese von Regelsystemen bei Berücksichtigung einer Stellgrößenbeschränkung

1. Aufgabenstellungen
2. Kontinuierliche Systeme
   1. Entwurf eines linearen Reglers für klassische Aufgabenstellung
   2. Entwurf eines Reglers für quadrat. Gütekriterien
   3. Umschaltung zwischen mehreren linearen Reglern
   4. Synthese nach Ljapunov.
   5. Synthese zeit-(sub)-optimaler Systeme nach Hartmann
3. Diskrete Systeme
   1. Synthese zeitoptimaler Systeme ohne Stellgrößenbeschränkung
   2. Entwurf nach Koepcke
   3. Entwurf nach Desoer-Wing-Ludyk

E. D. Gilles: Systeme mit örtlich verteilten Parametern

Eine Regelstrecke mit ortsverteilten Parametern wird durch einen allgemeinen linearen Differentialoperator beschrieben. Der zugehörige inverse Operator ist dann durch die Greensche Funktion bestimmt. Es wird eine mathematische Struktur des Reglers gegeben, womit die Regelung des örtlichen Profils einer Regelgröße auf eine

endliche Anzahl entkoppelter Einfachregelungen zurückgeführt wird. Dieses Verfahren,das im wesentlichen auf einer Eigenachsentransformation der Streckenmatrix beruht, besitzt im Gegensatz zur idealisierten Amplitudenregelung der einzelnen Eigenfunktionen den Vorteil, auch technisch exakt realisierbar zu sein.

U. Clauß: <u>Differentialspiele</u>

Es wurde eine Übersicht über Lösungsverfahren für Differentialspiele gegeben. Dargestellt wurden die Verfahren von R. ISAACS, L. S. PONTRYAGIN und L. D. BERKOVITZ: ISAACS geht aus vom Prinzip der Dynamischen Programmierung, PONTRYAGIN wendet sein Maximumprinzip an auf Minimaxprobleme, und BERKOVITZ verallgemeinert das BOLZA-MAYER-Problem der Variationsrechnung. Speziell Verfolgungsprobleme wurden behandelt von N. N. KRASOVSKII.

Die Lösung wird dadurch erschwert, daß sehr verschiedenartige Singularitäten schon bei einfachen Problemen auftreten. Die von ISAACS untersuchten Singularitäten wurden angegeben.

F. Mesch: <u>Statistische Verfahren in der Regelungstechnik</u>

Übersicht über verschiedene Anwendungen statistischer Methoden in der Meß- und Regelungstechnik, Nachrichtentechnik, Informationstheorie und Mechanik:

Analyse großer Systeme mit statistisch schwankenden Einzelelementen,
Zuverlässigkeit von großen Systemen,
Fehler- und Ausgleichsrechnung,
Informationstheorie,
Thermodynamik, Gastheorie,
Planung von Versuchen, Qualitätskontrolle,

stochastische Prozesse,
Analyse dynamischer Systeme mit stochastischen Eingangssignalen,
Synthese dynamischer Systeme mit stochastischen Eingangssignalen (Filter)

Didaktische Überlegungen und als Schlußfolgerung Wünsche bezüglich der notwendigen statistischen Grundlagen in Kursusvorlesungen der Höheren Mathematik für Ingenieurstudenten der genannten Fachrichtungen.

G. Schmidt: Stochastische Optimierung in Steuerungs- und Regelungstechnik

Im Rahmen eines Übersichtsvortrages wird die Verbindung zwischen der klassischen Wiener-Filtertheorie und der modernen Kalman-Bucy-Filtertheorie aufgezeigt. Die Problematik des Kalman-Bucy-Filters - bestehend aus Algorithmen zur Bestimmung des optimalen Schätzwertes, des optimalen Filterverstärkungsgrades und der Varianzen - wird eingehend diskutiert. Die Anwendung dieser Ergebnisse der stochastischen Optimierung auf das optimale Regelproblem (Separationstheorem) wird behandelt.

L. Arnold: Stochastische Differentialgleichungen

In diesem Übersichtsvortrag werden folgende Fragen behandelt:

1. Auftreten stochastischer Differentialgleichungen. Klassische Lösungsmethode über die Fokker-Planck-Gleichung.
2. Stochastische Integrale bezgl. des Wienerprozesses. Berechnung in einigen Beispielen.
3. Stochastische Differentialgleichungen, Diffusionsprozesse, Fokker-Planck-Gleichung, infinitesimaler Operator.
4. Lösung von stochastischen Differentialgleichungen, Approxiamtion durch Lösung gewöhnlicher Differential-

gleichungen.

5. Stochastische Regelung, Bellman-Gleichung für die optimale Regelung von Diffusionsprozessen.

G. Schweizer: Eine mathematische Modellvorstellung für das Verhalten des Menschen als Regler

In dem Referat wird der Versuch gemacht, das Verhalten des Menschen bei der Regelung von quasi-stationären stochastischen Vorgängen mathematisch mit Hilfe von Differentialgleichungen zu beschreiben. Es werden ein- und mehrkanalige Regelungsaufgaben betrachtet. Bei dem Vortrag wird vor allem gezeigt, wie man vom Meßergebnis ausgehend auf die Zweckmäßigkeit und Zulässigkeit eines mathematischen Modells schließen kann. Die Untersuchungen zeigten, daß das Verhalten des Menschen bei den obenerwähnten Aufgaben am besten durch ein System von linearen Differentialgleichungen mit stochastischen Koeffizienten beschrieben werden kann. Im einzelnen wird gezeigt, wie man experimentell den Nachweis führen kann, daß das Verhalten vorwiegend linear ist und wie man zeigen kann, daß die Differentialgleichungen stochastisch mit der Zeit sich veränderliche Koeffizienten haben.

## Fachvorträge

R. Reißig: Über das dynamische Verhalten einiger nichtlinearer Regelungssysteme

Bei der mathematischen Behandlung von nichtlinearen Regelungssystemen spielen vor allem zwei Typen von Diff.gl.-systemen höherer Ordnung eine Rolle: Systeme mit getrennten Variablen in den Nichtlinearitäten und Systeme vom Lurjeschen Typ. Bei den letzteren unterscheidet man die Systeme

Gefördert durch
DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

der direkten und diejenigen der indirekten Regelung. Das System der indirekten Regelung im Hauptfall ist dem System der direkten Regelung im einfachsten singulären Fall mathematisch äquivalent. Die Untersuchung des Problems der absoluten Stabilität bei den Lurjeschen Systemen mittels Konstruktion Ljapunovscher Funktionen, die den bekannten Stabilitätssätzen genügen, hat zu keinen Resultaten von praktischer Bedeutung geführt. Erst die Popovsche Methode, die auf der Anwendung der Fourier-Transformation beruht und die Tatsache ausnutzt, daß ein stabiles lineares System mit abklingender Störung nur zur Nullage hinstrebende Bewegungen gestattet, hat zu weitreichenden Kriterien für absolute Stabilität geführt. Diese sind zwar für die Existenz gewisser Ljapunovscher Funktionen notwendig und hinreichend, aber für die gewünschte Stabilitätsform nur hinreichend. An einem der von Tuzov behandelten Systeme dritter Ordnung mit einer Nichtlinearität kann z. B. durch Konstruktion zweier Ljapunovscher Funktionen absolute Stabilität nachgewiesen werden, obwohl die entsprechende Popovsche Bedingung (für den einfachsten singulären Fall bei direkter Regelung) versagt.

K. Hirai: <u>Die Lösung der linearen unbestimmten Gleichungen und Anwendungen</u>

Es wird die Lösung der folgenden unbestimmten Gleichungen betrachtet: $a_m x = b_m$ $(m=1,2,3)$ dabei ist $x=(x_1,..x_n)$, $a_m=(a_{1m},...a_{nm})$, $b_m$ sind Skalare. Die Lösung wird in allgemeiner aber nicht eindeutiger Form durch die Elemente des Koeffizientenvektors dargestellt. Die Anwendungen dieser Lösung auf Regelungsprobleme sind folgende:

1) Das inverse Problem der Grenzzyklen: die Form eines Grenzzyklus wird vorgegeben, dasjenige System, das diesen Grenzzyklus hat, wird gesucht.
2) Lineare Programmierung: Benutzt man die oben erwähnte Lösung, so kann man das Problem der Linearen Programmie-

rung lösen, ohne die sogenannte "Simplex Method" anzuwenden.

3) Die Synthese eines Regelungssystems: man kann z. B. ein asymptotisch stabiles System entwerfen.

F. Kappel: Optimale Anwendung der direkten Methode auf Gleichungen mit linearem Hauptteil

Es werden Systeme der Gestalt $\dot{x} = Ax + g(x)$ mit der Ruhelage $x = o$ untersucht. Die Matrix A sei stabil; die Koordinaten der Vektorfunktion g (x) seien linear abschätzbar, d. h. ihre Funktionswerte sollen in einem Winkelraum liegen. Gesucht sind Winkelräume mit möglichst großen Öffnungswinkel, wobei $x = o$ für das System bei allen Funktionen g(x), deren Koordinaten Werte in diesen Winkelräumen annehmen, asymptotisch stabil im Ganzen sein soll. Zur Behandlung dieser Problemstellung werden quadratische Formen als Ljapunov-Funktionen für das verkürzte System $\dot{x} = Ax$ herangezogen. Zulässige Winkelräume ergeben sich aus der Forderung, daß eine solche quadratische Form auch Ljapunov-Funktion für das unverkürzte System sein soll. Außerdem wird ein Verfahren angegeben, nach welchem man sich schrittweise jener quadratischen Form annähern kann, welche die günstigsten Winkelräume liefert.

J. Hrusak: Anwendung der Äquivalenz bei Stabilitätsprüfung

In diesem Vortrag wird ein Verfahren vorgeschlagen, mit dem die Ljapunov'schen Funktionen durch die Integration des Gradienten konstruiert werden können. Für diesen Zweck wird die Aufgabe der Symmetrisierung des Systems formuliert. Die Lösung dieser Aufgabe kann im allgemeinen nicht im reellen, sondern im komplexen Gebiet gefunden werden. Diese Behauptung wird durch einige einfache Beispiele der nichtlinearen Systeme illustriert.

Ist das System linear, dann kann die allgemeine Lösung explizit in symmetrischer Form angegeben werden.

G. Siffling: Synthese von nichtlinearen Abtastsystemen mit Hilfe der linearen Programmierung

Das Verfahren, im Zeitbereich einen Abtastregler auf endliche Einstellzeit (dead beat response) zu entwerfen, wird auf den Fall übertragen, daß die Regelstrecke mehrere Begrenzungskennlinien enthält (z. B. Begrenzung von Geschwindigkeit und Hub des Stellmotors). Während das Synthese-Problem beim linearen Regelkreis auf das Lösen eines linearen Gleichungssystems führt, muß beim nichtlinearen Regelkreis ein lineares Gleichungs-Ungleichungssystem gelöst werden. Dazu werden die Methoden der linearen Programmierung verwendet.

H. Schwarz: Zur Struktur linearer getasteter Mehrgrößensysteme

In der modernen Regelungstheorie sind Strukturfragen von besonderer Bedeutung. Die Struktur eines linearen Regelungssystems, die eng mit der Struktur linearer Transformationen linearer Vektorräume zusammenhängt, beeinflußt das Regelungsverhalten im praktischen Anwendungsfall außerordentlich.
Ausgehend von linearen, kontinuierlichen Systemen wird dargelegt, wie die Struktur eines getasteten kontinuierlichen Systems von der eines zugrundeliegenden kontinuierlichen Teils abhängt.

J. Ackermann: Der Entwurf von Abtastsystemen mit endlicher Einstellzeit

Es wird ein diskret arbeitender Beobachter bestimmt, der aus den gemessenen Ausgangsgrößen der Regelstrecke in der

minimalen Zahl von Abtastintervallen den Zustand ermittelt. Zur Realisierung von zeitoptimalen Regelgesetzen, bei denen der Zustand als bekannt vorausgesetzt wird, kann der nicht meßbare Zustand der Regelstrecke durch den Zustand des Beobachters ersetzt werden. Wenn ein lineares Regelgesetz benutzt wird, läßt sich die praktische Anwendung des Verfahrens wesentlich vereinfachen. Es wird eine Synthesegleichung hergeleitet, die mit Hilfe der Parameter der Regelstrecke unmittelbar hingeschrieben werden kann. Die Lösung dieses linearen Gleichungssystems liefert die Koeffizienten des Abtastreglers, der den Beobachter und das lineare Regelgesetz in sich vereinigt.

Es wird diskutiert, wie dieses Verfahren unter Benutzung der kanonischen Formen von Luenberger auf Mehrfach-Regelsysteme übertragen werden kann und wie Beschränkungen der Stellgrößen durch Änderung der Regelungs-Abtastperiode eingehalten werden können, wobei die Beobachtungs-Abtastperiode konstant gehalten wird.

H. Kiendl: Synthese eines nichtlinearen Reglers aufgrund abgeschlossener Gebiete beschränkten Stellgröße

Ein von G. Schneider vorgeschlagenes Verfahren zur Synthese von Reglern bei Vorgabe einer Stellgrößenbeschränkung läuft darauf hinaus, den Zustandsraum der linearen Regelstrecke in endlich viele lineare Arbeitsbereiche zu zerlegen, d. h. in Zonen, in denen jeweils ein lineares Steuergesetz $u = \underline{k}^T \cdot \underline{x}$ gilt. Eine Modifikation dieses Syntheseverfahrens besteht darin, die Zahl der linearen Arbeitsbereiche so zu ordnen, daß sich der Vektor $\underline{k}$ längs einer Trajektorie (im Grenzfall) kontinuierlich ändert. Auf diese Weise wurde für die Regelstrecke $\dot{x}_1 = x_2$ $\dot{x}_2 = u$ ein in der ganzen Zustandsebene stetiges und sehr einfach zu realisierendes Steuergesetz, von der Form $u(\underline{x}) =$ sat $(f(x_1) - g(x_1) \cdot x_2)$ erhalten,

"observability" aus, die KALMANN für endlich dimensionale Systeme und WANG für Systeme mit verteilten Parametern definieren. Für ein Regelsystem mit örtlich verteilten Parametern wird gezeigt, daß diese Eigenschaften für eine Profilsteuerung nicht ausreichen. Die Definitionen für "controllable" und "observable", die in der Arbeit mit "beeinflußbar" und "beobachtbar" übersetzt werden, sagen nämlich nur aus, ob ein Systemzustand in endlicher Zeit erreicht bzw. durch Messung über eine endliche Zeitspanne ermittelt werden kann. Für eine Profilsteuerung ist es außerdem nötig, einen Zustand nach der Einstellung zu halten bzw. durch zeitlich punktuelle Messung eindeutig zu bestimmen. Die mathematischen Bedingungen dieser neuen Strukturen "Steuerbarkeit" und "Meßbarkeit" werden durch Analyse der Systemgleichungen in dem Koordinatensystem der Eigenfunktionen hergeleitet.

R. Swik: <u>Anwendung des Kalman-Bucy Filters zur Fehlerkorrektur einer Trägheitsnavigationsanlage</u>

Nach kurzer Behandlung der Funktionen eines Trägheitsnavigationssystems werden die Gleichungen für die Ausbreitung der Kreisel- und Beschleunigungsmesserfehler angegeben. In einem ungestützten System breiten sich diese Fehler ungedämpft aus und führen zu unzulässig großen Fehlern. Da die Fehlerursachen vorwiegend stochastischer Natur sind, wird hier die Stützung durch eine externe rauschbehaftete Positionsreferenz über ein Kalman-Filter untersucht. Nach Ergänzung und Diskretisierung der Fehlergleichungen kann das Filter zur optimalen Fehlerschätzung angegeben werden. Die geschätzten Fehler werden zur Fehlerkorrektur so behandelt, als ob sie exakte Werte darstellten. Durch digitale Simulation wurde dieses Konzept im Vergleich mit dem ungestützten System geprüft.

G. Schmidt: Lösung eines Verfolgungsproblems der Raumfahrttechnik

Die Anwendung der Theorie der Differentialspiele wird am Beispiel des Verfolgungsvorganges zweier Raumfahrzeuge erläutert. Mit Hilfe eines dem Maximum-Prinzip ähnlichen Minimum-Maximum-Prinzip gelingt es, die optimalen Steuerstrategien der beiden aktiv steuerbaren Fahrzeuge zu berechnen. Verbrauch und Verfolgungsdauer gehen in die Gütefunktion ein. Für das gewählte Beispiel, in dem Verfolger und Verfolgter jeweils durch lineare Differentialgleichungen 4. Ordnung beschrieben werden, wurde die Lösung analytisch formuliert und numerisch ausgewertet.

T. Baumann: Die zweiseitige Laplace-Transf. u. ihre Anwendung bei der Bestimmung optimaler realisierbarer Reglerübertragungsfunktionen

Die zweiseitige Laplace-Transf. ($L_2$) wird mit Hilfe eines linearen Operators auf die einseitige zurückgeführt.

1. Die $L_2$ erlaubt es, zu variabler Realisierbarkeitsachse die Impulsantwort eines lin. Systems so zu determinieren, daß an ihr die Kausalität oder Nichtkausalität dieses Systems offenbar wird.

2. Die $L_2$ wird bei der Bestimmung von Reglern zu lin. allpaß- (oder totzeit) haltigen Strecken verwendet. Für feste Stör- oder Führungsfunktionen erhält man jeweils Regler, die ihrer Struktur und ihren Koeffizienten nach minimale quadratische Regelfläche ergeben.

M. Pandit: Untersuchung periodischer Zustände in totzeitbehafteten Relaisregelungssystemen

Bei der Untersuchung von totzeitbehafteten Relaisregelungs-

systemen mit Hilfe der Beschreibungsfunktion stellt man unter Umständen fest, daß unendlich viele semistabile periodische Zustände möglich sind. Die Simulation realer Systeme am Analog- und Digitalrechner läßt aber nur endlich viele periodische Zustände erkennen. Der Zweck dieser Arbeit ist es, diese Diskrepanz durch eine geeignete Interpretation des Phasenbildes zu beheben. Mit Hilfe dieser Betrachtungen wird anschließend eine Methode entwickelt, die zur genauen Berechnung der sämtlichen periodischen Zustände eines totzeitbehafteten Relaisregelungssystems verwendet werden kann.

W. Schneeweiß: Streuung der Regelabweichung bei intermittierend geschlossenen Folgeregelkreisen

Es werden Methoden diskutiert, die eine Berechnung der Streuung von Signalen in nicht dauernd geschlossenen Regelkreisen ermöglichen: wenn die Schließungsbedingung nur mit Information aus demselben Kreis berechnet wird, gelingt es vielfach die gewünschte Streuung über die zugehörige Verteilungsdichte zu berechnen, die man als Lösung einer FOKKER-PLANCK-Gl. erhält.
Bei von außerhalb des Kreises mitbestimmten Schließungsbedingungen muß ebenfalls die Streuung elementar als Erwartungswert berechnet werden. Bei Einwirkung nach einem stationären Punktprozeß, z. B. bei POISSONscher Abtastung, kann jedoch nicht die Theorie der stochastischen Differentialgleichungen verwendet werden. Selbst bei einfachsten Systemen ergeben sich überaus aufwendige Rechnungen.

G. Heeß: Anwendung der statistischen Linearisierung bei der Optimierung nichtlinearer stochastischer Systeme

Zur Bestimmung einer suboptimalen Regelung eines nichtlinearen zeitinvarianten Systems, auf das weißes Rauschen wirkt, haben Wonham und Cashman ein Verfahren vorgeschlagen,

Gefördert durch
DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

Die Lösung der Bellman'schen Funktionalgleichung wird durch eine quadratische Form angenähert und die Nichtlinearität statistisch linearisiert. Es werden die Formeln für die verschiedenen Methoden der statistischen Linearisierung nach Kazakov für den Zustandsraum angegeben. Der Vergleich optimaler und suboptimaler Lösungen zeigt, daß kein Grund vorliegt, eine Methode der andern vorzuziehen. Die Annahme von Kazakov, daß der Mittelwert aus zwei verschieden erhaltenen Linearisierungskoeffizienten die besten Ergebnisse liefert, ist allgemein nicht gültig.

Berichterstatter
und Tagungsleiter: P. Sagirow, Stuttgart