

5. Stellmotor und Leistungsverstärker

Als Stellmotor kommt nur ein Gleichstrommotor mit geringem Rotorträgheitsmoment und niedriger Nennspannung in Frage (Gleichstromstellmotore HSM 150 oder WSM 45, 24 V Nennspannung). Ein derartiger Gleichstromstellmotor gestattet einen Reversierbetrieb, einen Wechsel der Drehrichtung bei sehr kleinen Umsteuerzeiten. Für eine weitere Verbesserung des dynamischen Verhaltens dürfen die Spitzenströme des Stellmotors ein Mehrfaches des Nennstromes betragen.

Sollen die dynamischen Eigenschaften des Stellmotors (kleine mechanische und elektrische Zeitkonstante, hohes Anzugsmoment) sinnvoll genutzt werden, ist ein entsprechend angepaßter Leistungsverstärker erforderlich. Ein Analogbetrieb des Verstärkers wäre mit hohen Verlustleistungen verbunden, da für Beschleunigungsvorgänge Ströme bis ≥ 20 A erforderlich sind. Günstiger ist es, den Verstärker als Pulssteller im Schalterbetrieb zu betreiben (Bild 6). An den Motor wird abwechselnd eine positive und eine negative Spannung gelegt. Die mittlere Ausgangsspannung des Verstärkers ist dann vom Verhältnis der Ein- und Ausschaltzeiten (Tastverhältnis) der Schalttransistoren abhängig. Damit der Motorstrom als Folge der geschalteten Span-

nung nicht zu sehr schwankt, müssen die im Ankerkreis vorhandene Induktivität und die Schaltfrequenz aufeinander abgestimmt sein.

Die mit 24 V (bis 29 V) vorausgesetzte Betriebsspannung des Pulsstellers verlangt eine Brückenschaltung von vier Schalttransistoren. Der Aufbau der zum Pulssteller gehörenden Steuerlogik, des Lenkwinkelreglers und eines untergeordneten Zweipunktstromregelkreises bereiten keine Schwierigkeiten [7]. Für die Signalverarbeitung werden aus der Bordspannung ± 15 V und 5 V gewonnen. Bei einer Bordspannung von nur 12 V sind ein elektronisches Aufstocken der Spannung und der Einsatz eines kleinen Bleisammlers erforderlich.

6. Zusammenfassung

Die Analyse bisher eingesetzter Stelleinrichtungen für die automatische Lenkung mobiler Aggregate ergibt, daß entsprechend dem verwendeten servohydraulischen Handlenksystem die Parallelschaltung eines elektromagnetisch gesteuerten Ventils (diskret oder analog wirkend) nicht in jedem Fall eine optimale Lösung darstellt. Eine für alle servohydraulischen Handlenksysteme unifizierbare Alternativlösung besteht in der Nutzung des für die Handlenkung vorhandenen hydraulischen Servoventils auch für die automatische Lenkung. Dazu

wird ein bei Automatikbetrieb zuschaltbarer elektrischer Stellmotor über ein Getriebe mit der Lenkspindel verbunden.

Literatur

- [1] Kollar, L.: Gründe und Möglichkeiten für die automatische Lenkung mobiler landwirtschaftlicher Aggregate. *agrartechnik* 30 (1980) H. 3, S. 95—98.
- [2] Gawendowicz, M.: Zur automatischen Lenkung mobiler landwirtschaftlicher Aggregate mit großen Arbeitsbreiten und -geschwindigkeiten. *agrartechnik* 30 (1980) H. 3, S. 101—104.
- [3] Poláček, B.: Analyse hydrostatischer Servolenkungen. *ölhydraulik und pneumatik* 18 (1974) H. 8, S. 612—615.
- [4] Freist, M.; Barrakewitsch, H.; Trommler, J.: Vollhydraulische Fahrzeuglenkungen. *Kraftfahrzeugtechnik* (1972) H. 7, S. 212—215.
- [5] Ott, M.: Servolenkung. *antriebstechnik* 10 (1971) H. 4, S. 119—124.
- [6] Batel, W.: Technische Möglichkeiten zur Erleichterung der Arbeit der Fahrer von Schleppern, Mähreschern und anderen selbstfahrenden Arbeitsmaschinen. *Grundlagen der Landtechnik* 24 (1974) H. 1, S. 21—24.
- [7] Schulze, M.: Transistor-Gleichstrompulssteller für reaktionsschnelle Antriebe kleiner Leistung. *Elektrische* 28 (1974) H. 7, S. 368—371. A 2638

Experimentelle Untersuchung des Lenkverhaltens mobiler landwirtschaftlicher Aggregate unter Einsatzbedingungen

Dipl.-Ing. D. Berfeld, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

1. Problemstellung

Um ein mathematisches Modell des Lenkverhaltens eines mobilen Aggregats auf nachgiebigem Boden aufstellen zu können, ist es notwendig, die Abhängigkeit zwischen Lenkwinkeländerungen und den daraus resultierenden Fahrkursänderungen zu kennen.

Als Leitwinkel β wird bei Fahrzeugen mit Achsschenkelenkung der Stellungswinkel der gelenkten Räder und bei Fahrzeugen mit Knicklenkung der Knickwinkel des Rahmens definiert. Die Fahrkursabweichung s_y ist der Abstand auf der Normalen zur Bewegungsbahn des Aggregats durch dessen Schwerpunkt [1, 2].

Aus Untersuchungen mobiler Aggregate ist bekannt, daß die Fahrkursabweichung von vielen sich determiniert und stochastisch ändernden Kenngrößen des mobilen Aggregats, wie z. B. Aggregatmasse, Fahrgeschwindigkeit, Normalkraft auf die Räder, sowie von den Eigenschaften der Fahrbahn (nachgiebiger Ackerboden) abhängt. Eine rein theoretische Prozeßanalyse des Lenkverhaltens ist unter den spezifischen Bedingungen der Landwirtschaft wenig geeignet [1, 2]. Die wichtigsten Gründe dafür sind:

— Nicht alle Wechselwirkungen zwischen Aggregat und Fahrbahn (besonders bezüglich der Fahrbahn) sind theoretisch bekannt und mathematisch beschreibbar.

— Wegen des stochastischen Verhaltens der Führungs- und Störgrößen ist es theoretisch nicht möglich, deren Einfluß auf die Über-

tragungsfunktion unter verschiedenen Einsatzbedingungen zu ermitteln.

— Die theoretische Prozeßanalyse ist sehr aufwendig, die ermittelten Übertragungsfunktionen sind kompliziert, wodurch die weitere Arbeit zur Entwicklung geeigneter Regeleinrichtungen sehr erschwert wird.

Deshalb ist es sinnvoll, die Übertragungsfunktionen mobiler Aggregate mit Hilfe der experimentellen Prozeßanalyse zu ermitteln. Bei Beachtung der notwendigen Genauigkeit entsprechend den agrotechnischen Forderungen können vereinfachte Übertragungsfunktionen für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten und Bodenarten ermittelt werden. Eine geeignete Untersuchungsmethode dafür ist die Korrelationsanalyse, weil sie auch bei Prozessen mit großem Störsignal-Testsignal-Verhältnis angewendet werden kann. Als A-priori-Information muß nur bekannt sein, daß der Prozeß linearisierbar ist [3]. Mit Hilfe der Korrelationsanalyse kann die Gewichtsfunktion $g(t)$ des zu identifizierenden linearen Systems aus der Wiener-Hopf-Gleichung bestimmt werden:

$$R_{uu}(\tau) = \int_0^\infty g(t) R_{uu}(\tau - t) dt$$

Dazu ist es erforderlich, den Eingang des Systems mit einem stochastischen Testsignal zu beaufschlagen, das Ausgangssignal zu messen und daraus die Autokorrelationsfunktion $R_{uu}(\tau)$, die Kreuzkorrelationsfunktion $R_{uy}(\tau)$

und schließlich die Gewichtsfunktion $g(t)$ zu ermitteln. Aus der Gewichtsfunktion kann dann die gesuchte Übertragungsfunktion abgeleitet werden.

2. Auswahl und Erzeugung des Testsignals

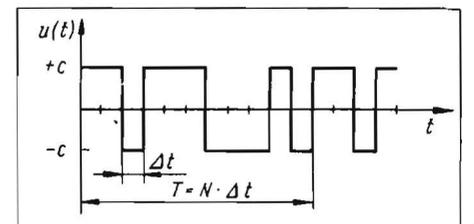
Als Testsignal werden binäre pseudostochastische Signale (BPSS) angewendet (Bild 1), die gegenüber anderen Rauschsignalen wesentliche Vorteile haben:

— Die Meßzeit wird wesentlich verkürzt, weil die Integrationsgrenzen durch die Periodendauer T ersetzt werden.

— Die Ermittlung von Auto- und Kreuzkorrelationsfunktionen kann mit Hilfe eines Relaiskorrelators erfolgen, weil ohne Informationsverlust folgende Beziehung gilt:

$$u(t - \tau) = c \operatorname{sgn}(t - \tau).$$

Bild 1. Binäre pseudostochastische Signale (BPSS); c Amplitude, Δt Impulsbreite, T Periodenlänge



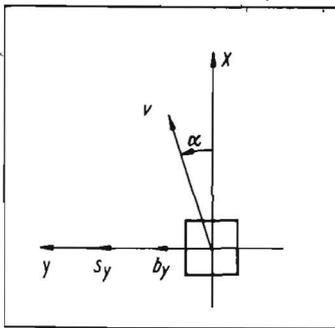
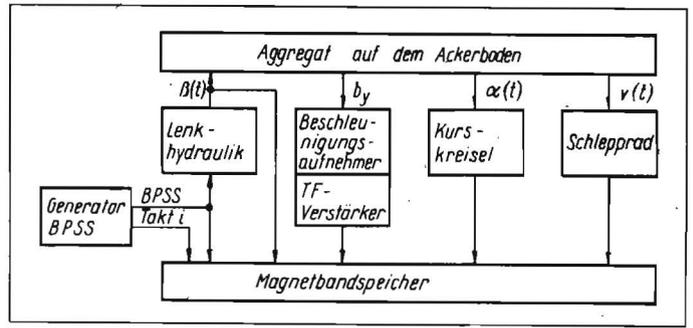


Bild 2
Komponenten der zu messenden Bewegungsgrößen in der Ebene

Bild 3
Meßgrößen und Geräte zur Meßwert-
erfassung



Damit wird:

$$s_y(t) = \int_0^t b_y(t) dt$$

$$R_{uv}(\tau) = \frac{c}{T} \int_0^T u(t) \operatorname{sgn} u(t - \tau) dt$$

$$R_{vy}(\tau) = \frac{c}{T} \int_0^T y(t) \operatorname{sgn} u(t - \tau) dt$$

— Die Realisierung von BPSS und ihre Anpassung an die zu untersuchenden Systeme (Regelstrecke) ist relativ einfach.

Die Folge von BPSS kann u. a. durch die Verwendung rückgekoppelter Schieberegister erzeugt werden [4]. Die dabei entstehende Folge hat in einer Periode $N = 2^n - 1$ Takte, wobei n die Anzahl der Stufen des Schieberegisters ist.

Der Nachteil solcher Folgen zur Identifizierung des Lenkverhaltens mobiler Aggregate besteht darin, daß der Mittelwert einer Periode größer Null ist. Das bedeutet, daß das mobile Aggregat nach jeder Periode eine bleibende Fahrkursabweichung hat, die mit der Anzahl der Perioden größer wird. Dieser systematische Fehler wird zu Null, wenn das System mit einer modifizierten Impulsfolge (mm-Folge) mit der Taktzahl $N = 2(2^n - 1)$ in einer Periode erregt wird [5].

Die vom Generator erzeugten BPSS ergeben Stellsignale zur Ansteuerung des hydraulischen Wegeventils der Lenkung des Aggregats. Ausgangssignal des Lenksystems wird der Lenkwinkel $\beta(t)$, der gleichzeitig Eingangssignal für das System Aggregat — nachgiebiger Ackerboden ist.

3. Ermittlung der Fahrkursabweichung

Die Fahrkursabweichung $s_y(t)$ des Aggregats ergibt sich als Funktion des Lenkwinkels $\beta(t)$ mit der Fahrgeschwindigkeit des Aggregats $v(t) = \text{const.}$ als Parameter. Meßtechnisch kann die Fahrkursabweichung durch zwei Verfahren ermittelt werden (Bild 2).

Das erste Verfahren besteht im Messen der Seitenbeschleunigung b_y und zweifacher Integration von b_y , so daß die Fahrkursabweichung nach folgender Beziehung errechnet wird:

Der Beschleunigungsaufnehmer zum Messen von b_y muß ständig im rechten Winkel zum durch einen Kurskreisel vorgegebenen Fahrkurs X ausgerichtet werden. Die Achse des Aufnehmers muß stets in der horizontalen Ebene gehalten werden, anderenfalls wird eine Komponente der Erdbeschleunigung bei Wankbewegungen des Aggregats mitgemessen. Bedingt durch die Größe der Erdbeschleunigung ist der Fehler auch bei kleinen Wankwinkeln γ erheblich (bei $\gamma = 1^\circ$ ergibt sich ein Fehler von $0,17 \text{ m/s}^2$). Der Einfluß des Fehlers kann durch Aufbau einer kreiselgestützten Plattform eliminiert werden. Die Genauigkeit und Nachführungsgeschwindigkeit der Regelung der Lage der Plattform wird durch die Nichtlinearität des Übertragungsverhaltens der Stellglieder verringert. Die daraus resultierenden Stabilitätsprobleme erschweren den Aufbau solcher Plattformen. Ein zu stabilisierender Beschleunigungsaufnehmer kann auf der Figurenachse des Kurskreisels befestigt werden. Der Kurskreisel ist nachträglich auszuwuchten. Nach Beseitigung der Störmomente auf den Kreisel durch Auswuchten bleibt der Aufnehmer in der horizontalen Ebene vom Kreisel gestützt. Das Meßsignal des Beschleunigungsaufnehmers wird mit einem Trägerfrequenzverstärker verstärkt.

Beim zweiten Verfahren werden Änderungen des Fahrkurswinkels $\alpha(t)$ und die Fahrgeschwindigkeit $v(t)$ gemessen. Die Fahrkursabweichung ergibt sich aus:

$$s_y(t) = \int_0^t v(t) \sin \alpha(t) dt$$

Der Fahrkurswinkel wird durch einen Kurskreisel und die Fahrgeschwindigkeit mit Hilfe eines Schlepprades gemessen.

4. Hinweise zur weiteren Bearbeitung der Meßwerte

Die Verläufe aller Ein- und Ausgangssignale werden bei verschiedenen Einsatzbedingungen (Fahrgeschwindigkeit, Bodenart, Normalkraft auf Räder) gemessen und mit Hilfe eines Ma-

gnetbandspeichers registriert (Bild 3). Die Bearbeitung der Meßergebnisse erfolgt weiter mit Hilfe eines Digitalrechners [3, 4, 6].

Die Korrelationsanalyse ergibt die gesamte Übertragungsfunktion zweier in Reihe geschalteter Systeme: des Lenksystems und des Systems Aggregat — nachgiebiger Ackerboden und außerdem die Übertragungsfunktion des Lenksystems selbst. Daraus kann die Übertragungsfunktion eines mobilen Aggregats unter Berücksichtigung der auf das Lenkverhalten des Aggregats einwirkenden Belastungen durch die Fahrbahn ermittelt werden.

5. Zusammenfassung

Die Korrelationsanalyse ermöglicht eine experimentelle Untersuchung des Lenkverhaltens mobiler landwirtschaftlicher Aggregate trotz stochastischer Störgrößen und des großen Stör-signal-Nutzsignal-Verhältnisses. Als Testsignal sind binäre pseudostochastische Signale (BPSS) anzuwenden, wobei als geeignete Folge von BPSS eine modifizierte Signalfolge vorteilhaft ist. Die Ermittlung der Fahrkursabweichung des Aggregats kann mit Hilfe von Kreiselgeräten erfolgen. Die Bearbeitung von Meßergebnissen kann zweckmäßigerweise mit Hilfe eines Digitalrechners durchgeführt werden.

Literatur

- [1] Lur'je, A. B.; Grombčevskij, A. A.: Berechnung und Konstruktion landwirtschaftlicher Maschinen. Leningrad: Verlag Mašinostroenie 1977.
- [2] Kollar, L.: Studie zur technischen Realisierung eines Systems zum selbsttätigen Einhalten des Arbeitsbreitenanschlusses der Werkzeuge einer Bodenbearbeitungs- und Bestellmaschine. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, 1971 (unveröffentlicht).
- [3] Isermann, R.: Prozeßidentifikation. Berlin — Heidelberg — New York: Springer-Verlag 1974.
- [4] Strobel, H.: Experimentelle Systemanalyse. Berlin: Akademie-Verlag 1975.
- [5] Funk, W.: Korrelationsanalyse mittels Pseudoräuschsignalen zur Identifikation industrieller Regelstrecken. TH Stuttgart, Dissertation 1975.
- [6] Längemack, H.: Einsatz eines Prozeßrechners zur Schätzung von Streckenparametern mit Hilfe der Korrelationsanalyse. TU Braunschweig, Dissertation 1974. A 2633

KATALOG

über die lieferbare und in Kürze erscheinende Literatur des VEB VERLAG TECHNIK kostenlos erhältlich durch jede Fachbuchhandlung oder direkt durch den Verlag, Abteilung Absatz—Werbung