

RATIONELLE PLANUNG VON REGELUNGSANLAGEN

BERTHOLD STURM

Farbenfabriken Bayer, Leverkusen, Deutschland

Mit den Regelungseinrichtungen in chemischen Fabrikationsanlagen verfolgt man im allgemeinen ganz konkrete Zielsetzungen. Die wichtigsten sind (1) Optimale Produktqualität, z. B. besondere Reinheit des Produktes; (2) Optimale Ausbeute; (3) Hoher Umsatz (Durchsatz), (kurze Reaktionszeiten, Ausschaltung von Störeinflüssen, hohe Belastung der Apparatur usw.); (4) Niedrige Betriebskosten, insbesondere geringer Energieverbrauch; (5) Anpassungsfähigkeit der Anlage an die Marktlage, ohne Verzicht auf die vorgenannten Punkte.

Darüber hinaus hat die Regelungstechnik natürlich noch weitere Aufgaben zu erfüllen. Nicht zu vergessen ist z. B. die Personaleinsparung. Wir wollen uns aber für die folgenden Betrachtungen auf die fünf aufgeführten, allgemein wichtigen Gesichtspunkte beschränken.

Es hat in neuerer Zeit nicht an Bemühungen [2] gefehlt, eine Art Sammelösung zur gleichzeitigen Bewältigung dieser Aufgabenstellungen zu finden. Die Verwendung eines Digitalrechners im Regelsystem eröffnet tatsächlich die bestechende Aussicht, dieses Ziel einer Sammelösung zu erreichen und darüber hinaus sogar, wegen der hohen Arbeitsgeschwindigkeit des Rechners, jedoch abhängig von seiner Größe, gleichzeitig mehrere Prozesse zu beherrschen.

Der Vorteil des Digitalrechners liegt in erster Linie in seiner Speicherfähigkeit. Der Zusammenhang von Regel- und Stellgrößen und ihre gegenseitige Abhängigkeit braucht also nicht allein auf Grund von Momentanwerten ermittelt zu werden. Auch frühere Zustände können für die optimale Betriebsweise des Prozesses ausgewertet werden.

Weiterhin ist die Eingabe bekannter Zusammenhänge, oder auch marktwirtschaftlicher Größen über Lochstreifen oder dgl. möglich. Die Anpassung eines derartigen Regelungssystems an die spezielle Aufgabe wird durch zweckentsprechende Festlegung des jeweiligen Programms erreicht.

Diese Ideallösung für die Optimierung chemischer Prozesse ist nun trotz der schnell wachsenden Literatur, die über Systeme dieser Art berichtet, bisher zu keiner in die Breite gehenden Realisierung gelangt und man fragt sich, welche Gründe für diese langsame Entwicklung einer technisch so

überaus interessanten und rationell erscheinenden Methode maßgebend sein können.

Der erste Grund ist zweifellos rein wirtschaftlicher Natur. Die Automatisierung chemischer Prozesse mit Hilfe analog arbeitender Regelgeräte ist so weit fortgeschritten, daß der Produktionswert pro Kopf und Schicht des verbleibenden Bedienungspersonale eine Größenordnung erreicht hat, bei der die Lohnkosten in der Gesamtbilanz des Betriebes nur noch einen verhältnismässig geringen Anteil darstellen.

Überdies ist es häufig möglich, diese Werte durch eine größere Apparatur für die ja meist dieselben Regeleinrichtungen wie bei einer kleineren Apparatur gebraucht werden, oder aber durch zwei oder mehrere auf einen Leitstand geschaltete Anlagen, zu erhöhen.

Ein zweiter Grund liegt in der überaus rationellen Struktur der konventionellen Regelsysteme, die in jeder Größe und für jeden Bedarfsfall mit Hilfe genormter Bausteine an jede Aufgabe angepasst werden können. Man denke nur an das Teleperm-Telepneu-System [4] der Siemens & Halske A.G.

Weiterhin hat die Zahl des Betriebspersonals in chemischen Fabriken vielfach schon die Grenze erreicht, die aus Sicherheitsgründen mit Rücksicht auf den Verfahrensablauf nicht unterschritten werden darf.

Schließlich ist es psychologisch falsch, eine ohnehin (aus Sicherheitsgründen) anwesende Mannschaft durch weitere Automatisierung völlig tätigkeitslos zu machen.

Ein wichtiger *technischer* Grund für die nur zögernd fortschreitende Anwendung großer Digitalrechner in Regelungssystemen der chemischen Industrie liegt in der ungenügenden Zuverlässigkeit solcher Rechner. Allerdings wird diese Schwierigkeit in dem Maße geringer werden, als nicht mehr Röhren, sondern Transistoren und Magnetkerne als Bauelemente verwendet werden und auf bewegliche Teile verzichtet wird. Unbedingte Voraussetzung für eine stationäre Verwendung eines Rechners zur Regelung chemischer Betriebe, insbesondere wenn er mehrere Betriebe gleichzeitig steuern soll, ist eine über Monate, besser Jahre, garantierte Betriebssicherheit.

Ein zweites technisches Hemmnis für den Einsatz von Rechnern in Regelungssystemen der chemischen Industrie liegt in der Anlage, d.h. dem chemischen Verfahrensablauf selbst. Chemische Prozesse verlaufen, verglichen mit der Arbeitsgeschwindigkeit eines modernen Digitalrechners, sehr langsam. Eine wirtschaftliche Ausnutzung des Rechners wäre also nur durch Aufschaltung von sehr vielen Prozessen möglich. Dies würde aber ein erhebliches technisches Risiko bedeuten, das einzugehen man nur bei sicherstehender Bewährung verantworten könnte. Hieraus folgt erneut die Forderung nach garantierter Betriebssicherheit.

Diese Schwierigkeiten werfen die Frage auf, welcher Weg zu beschreiten ist, um die eingangs erwähnten Optimierungsprobleme auf rationellste Weise

zu lösen. Am naheliegendsten ist es, die Probleme zunächst *einzel*n zu betrachten. Hierbei zeigt sich dann, daß häufig ein bestimmtes Problem im Vordergrund steht und für die Lösung der übrigen nur noch beschränkte Freiheiten offen bleiben.

PRODUKTQUALITÄT

Unter dem Begriff Qualität versteht man in der Chemie meist den Grad der Reinheit eines bestimmten Produktes. Die Qualitätsprüfung kann also im allgemeinen durch eine automatische Analyse erfolgen. An einem sehr einfachen Beispiel soll eine echte Qualitätsregelung näher erläutert werden:

Durch Verbrennung von Schwachgas, das als Abfallgas zur Verfügung steht, wird Stickstoff erzeugt, der als Schutzgas dienen soll und deshalb eine bestimmte Reinheit besitzen muß, d.h. nur einen gewissen Höchstgehalt an Sauerstoff enthalten darf. Diese Aufgabe läßt sich unschwer mit Hilfe eines magnetischen Sauerstoffschreibers lösen, dessen Ausgangssignal über einen geeigneten Regler zur Einstellung der für die Verbrennung erforderlichen Luftmenge dient. Bei großen und schnellen Schwankungen der ankommenden Gasmenge, aber auch wegen des Zeitverhaltens des Sauerstoffanalysengerätes kann es zweckmässig sein, eine Gas-Luft-Gemischregelung vorzuschalten und das Ausgangssignal des Sauerstoffreglers als Führungsgröße für den Gemischregler zu verwenden.

Die Qualitätskontrolle bzw. Qualitätsregelung ist vielleicht die wichtigste Aufgabe bei der Planung von Regelungsanlagen. Nicht immer wird jedoch eine so einfache Lösung möglich sein, wie sie in dem zuvor erwähnten Beispiel geschildert wurde. Oft sind mehrere Komponenten oder Verhältnisse mehrerer Komponenten das entscheidende Kriterium für die Qualität, u. U. wiederum verknüpft mit bestimmten Reinheitsforderungen für die Einzelkomponente oder das Gemisch. In solchen Fällen sind außerdem meistens auch mehrere Stellgrößen vorhanden, die die Qualitätsgrößen beeinflussen können.

Die Qualitätsregelung wird also u. U. nur als Führungsregelung, die auf bestehende Regelkreise wirkt, möglich sein. Sofern die Führung dieser Regelkreise nicht gleichsinnig, sondern nach einer empirisch oder rechnerisch zu ermittelnden Gesetzmäßigkeit erfolgen muß, ist überdies die Zwischenschaltung eines vorteilhafterweise analogen Rechengliedes erforderlich.

Bei besonders wichtigen, insbesondere zwischenbetrieblichen Qualitätsregelungen, wird man wegen der nie voll zu garantierenden Betriebssicherheit der Analysengeräte die sogenannte 2- von 3-Schaltung für die entscheidende Meßgröße anwenden müssen. Die Führungsgröße wird hierbei nur solange im Eingriff bleiben, als mindestens 2 von 3 Analysengeräten

gleiche Werte anzeigen. Auch doppelte Besetzung einer kritischen Meßstelle wird manchmal hinreichende Betriebssicherheit gewährleisten.

Weiterhin ist bei den meisten automatischen Analysengeräten und mehr noch bei den zugehörigen Probenahmeinrichtungen mit einem ausgesprochen ungünstigen Zeitverhalten zu rechnen. Die Ansprechzeit des magnetischen Sauerstoffschreibers, des Ultrarotschreibers oder des Wärmeleitgerätes liegt zwar in der Größenordnung von Sekunden [3]. Die zugehörige Gasentnahmeeinrichtung steigert aber, sofern noch mit Staubabscheidern, Filtern oder Kühlern zu rechnen ist und kein übermäßiger Gasverbrauch in Kauf genommen werden kann, diese Zeiten u.U. in die Größenordnung von Minuten. Ausnahmen von dieser Regel sind bei Messungen im Hauptstrom möglich. Ein typisches Beispiel für ein Analysengerät mit ideal günstiger Ansprechzeit ist der Flüssigkeitsdichteschreiber nach dem Rohrwiegeprinzip.

Diese Hinweise zeigen, wie sehr bei der Planung von Qualitätsregelungen bzw. der Auswahl des zugehörigen physikalischen Meß-Prinzips auf das Zeitverhalten der Meßeinrichtung zu achten ist. Das Zeitverhalten wird die Auswahl vor allem dann entscheiden, wenn zwei oder mehrere gleichwertige Meß-Prinzipien für die Lösung eines Analysenproblems zur Verfügung stehen.

Die Gaschromatographie mit ihrem Analysenzyklus, d.h. der im Meßprinzip begründeten periodischen Arbeitsweise, macht durch die streng genommen notwendige Integration des gesuchten Ausgangssignals über seine Laufzeit dem Regelungsstechniker noch besondere Schwierigkeiten. Die periodisch anfallenden Ausgangssignale eines Gaschromatographen können nur zur Korrektur von Sollwerten benutzt werden, wobei es nur bei unbedingter Betriebssicherheit des Analysengerätes ratsam ist, diese Korrektur automatisch ausführen zu lassen.

Ein anderer indirekter Weg zu einer verbesserten Einhaltung der Qualität der Endprodukte geht von der automatischen Analyse der Rohstoffe aus. Konzentrationsschwankungen der Rohstoffe werden im allgemeinen als Störgrößen für das Regelsystem der Anlage in Erscheinung treten, d.h. erhöhte Schwankungen in den einzelnen Regelkreisen verursachen und damit letzten Endes auch die Qualität der Endprodukte verschlechtern. Es ist also vorteilhaft, wenn man auf Grund der Rohstoffanalyse den zu erwartenden Störgrößen schon vorab entgegenwirken kann. Hier handelt es sich um eine Führungssteuerung von Reglersollwerten nach zuvor rechnerisch oder empirisch ermittelten Abhängigkeiten. Häufig genügt hier, insbesondere bei nur schleichender Veränderung der Rohstoffzusammensetzung, eine Handsteuerung. Diese Art der Führungssteuerung hat überdies den Vorteil, daß ein ungünstiges Zeitverhalten des Analysengerätes sich weniger störend auswirkt, als bei der Führungsregelung.

AUSBEUTE

Das Verhältnis der erzeugten Produktmenge zur eingesetzten Rohstoffmenge bestimmt die Ausbeute. Die Optimierung der Ausbeute erfolgt in der Praxis nicht immer exakt nach den stöchiometrischen Beziehungen. Vielfach wird aus wirtschaftlichen Gründen mit einer oder mehreren Reaktionskomponenten im Überschuß gefahren. Dies geschieht besonders dann, wenn eine wertvolle Komponente zu einer möglichst vollständigen Umwandlung gebracht werden soll. Auf diese Weise ergibt sich gegenüber der theoretischen Optimalausbeute eine niedriger liegende wirtschaftliche Optimalausbeute. Die Einhaltung dieses wirtschaftlichen Optimums eröffnet interessante und wichtige Regelprobleme. Ihre Lösung erfolgt meist mittels Dosiereinrichtungen für Stoffmengen, deren Verhältnis durch Analysenwerte korrigiert wird. Die regelungstechnische Aufgabe ist also ähnlich wie bei der Qualitätsregelung.

Bei dem zuvor erwähnten einfachen Beispiel der Reinstickstoffherzeugung durch Schwachgasverbrennung ist die Ausbeute dann optimal, wenn die Qualität dem Sollwert entspricht. Ausbeute- und Qualitäts-Regelung fallen als Aufgabe zusammen. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Stickstoffherzeugung nach dem Lindeverfahren. Die Qualitätsregelung für den Reinstickstoff erfolgt hier nach der O_2 -Spurenanalyse hinter der Trennsäule. Für die Beurteilung der Gesamtausbeute des Systems muß jedoch auch die O_2 -Erzeugung in Betracht gezogen werden. Hierbei ist aber die Reinheit des Sauerstoffes nicht unabhängig von der Reinheit des Stickstoffes optimierbar.

Eine Regelungsanlage für die Qualität bzw. Ausbeute einer Luftzerlegungsanlage nach Linde muß also so projektiert werden, daß bei vorgegebener Reinheit des Stickstoffes die maximal mögliche Reinheit des Sauerstoffes und unter diesen Bedingungen die optimale Auslastung der Apparatur erzielt wird. Bei dieser Planung kann natürlich auch die Reinheit des Sauerstoffes in den Vordergrund gestellt werden.

Ausbeuteregelungen sind hauptsächlich für Kontaktprozesse wichtig, bei denen die Vollständigkeit der Stoffumwandlung und zum Teil auch die Reaktionsgeschwindigkeit durch Eingriffe von außen, etwa Änderung der Kontaktbelastung, Zumischung von Reaktionsbeschleunigern, Variation der Temperatur, des Druckes, der Konzentration, der Stoffzusammensetzung usw. beeinflußt werden kann.

Die Ausbeute ergibt sich im allgemeinen als Verhältnis zweier Meßgrößen, z. B. zweier Analysenwerte. Die zeitliche Veränderung der Ausbeute erfolgt meist langsam. Man kann also für mehrere gleichartige Fabrikationsanlagen ein Meßwerterfassungssystem mit angeschlossenem Kleinrechnergerät einsetzen und die Ausbeuten der Anlagen im regelmäßigen Zyklus ausrechnen

lassen. Auf Grund dieser Werte wird dann der Prozess „gefahren“, meist von Hand durch gelegentliches Nachjustieren der Reglersollwerte. Bei schnellverlaufenden Reaktionen kann auch eine automatische, im Abfragezyklus erfolgende Justierung der Reglersollwerte sinnvoll sein.

UMSATZ (DURCHSATZ)

Der Begriff Umsatz ist gleichbedeutend mit Ausbeute, sofern man die erzeugte Fertigproduktmenge auf die eingesetzte Rohstoffmenge bezieht. Bezieht man sie jedoch auf die Fabrikationsanlage, so kann man von der mit dieser Apparatur umgesetzten Stoffmenge sprechen. Der Umsatz der Anlage entspricht also nach dieser Begriffsbestimmung ihrem Durchsatz, d.h. ihrer Produktivität. Die Einhaltung des größtmöglichen Durchsatzes, d.h. der maximalen Belastung der Apparatur ist eine regelungstechnische Aufgabe von besonderer wirtschaftlicher Bedeutung. Ihre Lösung muß unter Einhaltung optimaler Qualität und Ausbeute erfolgen. Hierzu sind wiederum Einspeisungsregler oder Dosiermaschinen erforderlich. Die Sollwerte dieser Regeleinrichtungen dürfen jedoch nicht zu nahe an die Beanspruchungsgrenze der Apparatur herangeführt werden. Optimale Verhältnisse sind dann gegeben, wenn ihre Sollwertbereiche soeben an diese Beanspruchungsgrenze heranreichen. Eine derartige begrenzende Justierung der Sollwertbereiche ist insbesondere dann notwendig, wenn die Sollwerte von Qualitätsreglern geführt werden.

Man erkennt aus diesen einfachen Überlegungen, daß auch für die optimale Auslastung der Apparatur die gleichen Regeleinrichtungen dienen können, wie sie für die Qualitäts- und Ausbeuteregelung ohnehin benutzt werden, d.h. es ist hierfür kein zusätzlicher regelungstechnischer Aufwand erforderlich.

ENERGIE- UND ROHSTOFFKOSTEN

Um die wesentlichen Betriebskosten, dies sind die Energie- und Rohstoffkosten, eines Prozesses niedrig halten zu können, ist als wichtigste Voraussetzung eine schnelle und fehlerfreie Erfassung der zugehörigen Verbräuche erforderlich. Die Anwendung automatischer Meßwerterfassungssysteme ermöglicht die Aufstellung von Betriebsbilanzen ohne nennenswerte Zeitverzögerung [5]. Solche Systeme sollen in ihrem Aufwand den Eigenarten chemischer Prozesse angepaßt sein. Es wäre z. B. unrationell bei chemischen Anlagen kommerzielle Schnellerfassungssysteme mit Abfragezeiten von Bruchteilen einer Sekunde anzuwenden, wenn die Stoff- und Energieverbräuche nur als integrierte Werte über eine Stunde, oder über einen Tag

gebraucht werden. Für diese Aufgabe der Energie- und Rohstofffassung sind in neuerer Zeit mehrere spezifisch geeignete Systeme entwickelt worden [6, 7]. Sie beruhen fast durchweg auf dem Festmengenprinzip. D.h. die Meßgeräte zur Stoffmengen- und Durchflußmessung werden mit Impulsgebern ausgerüstet. Jeder Impuls stellt dann eine bestimmte Menge dar und die Summierung der Impulse über den gewünschten Zeitraum ergibt die verbrauchte Menge. Diese Werte werden in Lochkarten oder Lochstreifen gespeichert, so daß nachfolgende Rechenoperationen zur Bilanzierung, Umkostenberechnung und dgl. mit handelsüblichen Digitalrechnern durchgeführt werden können.

ANPASSUNGSFÄHIGKEIT

Von jeder Fabrikationsanlage wird eine Anpassungsfähigkeit an die Marktlage gefordert, d.h. der Durchsatz muß so regelbar sein wie es dem Bedarf entspricht. Hierbei sollen die Sollwerte für Qualität und Ausbeute eingehalten und die anteiligen Energieverbräuche nicht größer werden. Diese Forderungen sind, wenn nur ein einziges Fabrikationssystem zur Verfügung steht, nur in einem beschränkten Bereich erfüllbar. Man verteilt daher vielfach die Produktionskapazität der Gesamtanlage auf mehrere Systeme. Diese werden zum größten Teil entsprechend den Forderungen des Abschnittes „Umsatz“, optimal ausgefahren, während lediglich ein System zur Aufnahme der Belastungsschwankungen dient. Es handelt sich hier um eine Steuerung der Anlage nach Maßgabe der auftretenden Last wie sie hauptsächlich bei Energieerzeugungsanlagen üblich ist. Diese Methode läßt sich bei chemischen Fabrikationsprozessen jedoch nicht immer anwenden. Insbesondere sind Kontaktprozesse, Fließbettreaktionen und dgl. auf eine definierte Last angewiesen, um optimal arbeiten zu können. Die Anpassung der Gesamtanlage an die Soll-Last kann hier nur durch Zu- und Abschaltung einzelner Systeme erfolgen. Dieser Vorgang läßt sich automatisieren. Ob sich die Automatisierung lohnt, hängt einmal von der Häufigkeit des Schaltvorganges und zum andern von dem technischen Aufwand, den die Automatisierung erfordert und von deren Betriebssicherheit ab. Praktisch wird heute eine teilweise Automatisierung des An- und Abfahrvorganges der einzelnen Systeme als rationellste Lösung gelten können.

Besondere Vorteile hinsichtlich Anpassungsfähigkeit bieten zweifellos diskontinuierliche Prozesse, d.h. sogenannte Chargenbetriebe. Auch Mehrzweckanlagen, die meist als Chargenbetriebe ausgebildet sind, gehören hierzu.

Die Bauelemente die in der Fertigungstechnik, d.h. der Massengüterherstellung zur Automatisierung verwendet werden, sind hervorragend ge-

eignet, um automatische Steuerungen für diskontinuierliche Prozesse aufzubauen. Der zeitabhängige Programmablauf kann hierbei nach Bedarf unterbrochen, nach Maßgabe physikalischer Größen fortgeführt und nach Erreichung der vorgeschriebenen Werte wieder auf Zeitabhängigkeit zurückgeschaltet werden.

Es gibt eine Reihe von handelsüblichen Programmsteuersystemen, die derartige Abläufe automatisch steuern und nach Bedarf wiederholen. Besonders hervorzuheben sind hierbei wegen ihrer Übersichtlichkeit die in Bausteinbauweise aufgebauten Systeme [1].

Allen diesen Systemen ist gemeinsam, daß sie eine sehr einfache Anpassung der Produktionsmenge, d.h. des Durchsatzes, an den Bedarf erlauben. Es braucht hierzu nur die Frequenz des Programmablaufs verändert, d.h. mit mehr oder weniger großen Pausen zwischen den einzelnen Chargen gearbeitet zu werden.

Es ist zweifellos damit zu rechnen, daß die Vorzüge der Programmsteuerungen, verbunden mit ihrer in neuerer Zeit erheblich gewachsenen Betriebssicherheit, Einfachheit und Billigkeit einen Einfluß auf die Verfahrensplanung selbst haben werden. Insbesondere bei kleineren Fabrikationseinheiten wird die diskontinuierliche Betriebsweise gegenüber der kontinuierlichen wieder an Bedeutung gewinnen. Der Automatisierungsgrad der diskontinuierlichen Fabrikationsanlagen wird das gleiche hohe Niveau erreichen, wie es bei kontinuierlichen Prozessen schon seit Jahren verwirklicht ist. Chargenbetriebe werden also von der regelungstechnischen Seite her gesehen keine wirtschaftlichen Nachteile mehr aufweisen.

FOLGERUNGEN

In den Verfahrensindustrien werden, so weit es sich um kontinuierliche Prozesse handelt, analog arbeitende Regelräte, insbesondere die Geräte der Einheitssysteme auf längere Sicht den größten wirtschaftlichen Vorteil bieten. Zusätzliche Führungsregelungen, die von Analysengeräten und, soweit erforderlich, von Kleinrechengeralten ausgehen, werden an Bedeutung gewinnen.

Digitale Regeleinrichtungen werden insbesondere einen höheren Automatisierungsgrad bei diskontinuierlichen Prozessen ermöglichen. Sie können sogar die Chargenbetriebe ganz grundsätzlich in eine wirtschaftlich günstigere Lage versetzen. Für die Erfassung der Energie- und Rohstoffverbräuche bieten automatische, digital arbeitende Meßwerterfassungssysteme die größtmöglichen Vorteile.

Die rationelle Planung vollständiger Meß- und Regelanlagen setzt eine konsequente Beachtung dieser Erkenntnisse voraus. Wenn darüber hinaus

eine systematische Normung bei der Instrumentierung im einzelnen angestrebt wird, weiterhin auf die gegenseitige Verzahnung der Instrumentierungsaufgaben geachtet, d. h. doppelte Geräteausnutzung, soweit möglich, eingeplant wird, wird auch der Arbeitsaufwand für die Planung selbst ein Minimum sein und auch für die spätere Instandhaltung wird man mit den geringsten Kosten rechnen können.

LITTERATUR

1. HAESLICH, R., *Die Maschine* 14, 26 (1960).
2. KAUFMANN, H., *Regelungssysteme mit Digitalrechnern*, S. D 102. Berichtswerk INTERKAMA. Verlag R. Oldenbourg, München, 1957.
3. LEHRER, E., *Dynamic Behavior of Instruments for Gas Analysis in Connection with Automatic Control*. Instrument Society of America, Preprint Number 75, 59, 1959.
4. PAVLIK, E. und MACHEI, B., *Ein kombiniertes Regelsystem für die Verfahrensindustrie*, Verlag R. Oldenbourg, München, 1960.
5. STURM, B., *Chem. Ind.* X, 493 (1957).
6. — *Regelungstechnik* VII, 378 (1959), *Neue Technik* I, 11 (1960).