

# Die Anwendung elektronischer Rechenautomaten in der Maschinen-Industrie

Autor(en): **Meier, Hans-Peter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **76 (1958)**

Heft 12

PDF erstellt am: **10.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-63946>

## Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



die Werte  $V_1, M_1, \Theta_1, y_1$ , sodann im Punkt  $x_2$  die Werte  $V_2, M_2, \Theta_2, y_2$  usw. bis zum nächsten Lager, in unserem Fall bis  $x_6$ . Die hierzu benötigten Formeln ergeben sich aus den Gleichungen (1) bis (3)

$$(4) \quad V_i = V_{i-1} + m_{i-1} \omega^2 y_{i-1} \quad (m_i = \text{Masse})$$

$$(5) \quad M_i = M_{i-1} + V_i \Delta x_i$$

$$(6) \quad \Theta_i = \beta_i \frac{M_{i-1} + M_i}{2} + \Theta_{i-1} \quad \left( \beta_i = \frac{\Delta x_i}{J E} \right)$$

$$(7) \quad y_i = \left[ \beta_i \left( \frac{M_{i-1}}{3} + \frac{M_i}{6} \right) + \Theta_{i-1} \right] \Delta x_i + y_{i-1}$$

Die im nächsten Lager, in unserem Fall in  $x_6$  gewonnenen Werte seien  $V_6(v)$ ;  $M_6(v)$ ;  $\Theta_6(v)$ ;  $y_6(v)$ .

Der Buchstabe  $v$  in den Klammern erinnere uns daran, dass wir  $V_0 = 1$  setzten. Jetzt wird die ganze Rechnung wiederholt mit  $V_0 = 0$  und  $\Theta_0 = 1$ . Man erhält analog

$$V_6(\Theta); M_6(\Theta); \Theta_6(\Theta); y_6(\Theta)$$

Da die Durchbiegung im Lager null sein muss, gilt

$$y_6 = y_6(v) V_0 + y_6(\Theta) \Theta_0 = 0$$

woraus

$$(8) \quad V_0 = - \frac{y_6(\Theta)}{y_6(v)} \Theta_0$$

Weiter ist

$$\Theta_6 = \Theta_6(v) V_0 + \Theta_6(\Theta) \Theta_0$$

$$M_6 = M_6(v) V_0 + M_6(\Theta) \Theta_0$$

also wegen (8)

$$\Theta_6 = \left[ \Theta_6(\Theta) - \frac{y_6(\Theta)}{y_6(v)} \Theta_6(v) \right] \Theta_0 = z_1 \Theta_0$$

$$M_6 = \left[ M_6(\Theta) - \frac{y_6(\Theta)}{y_6(v)} M_6(v) \right] \Theta_0 = z_2 \Theta_0$$

Jetzt werden die Formeln (4), (5), (6) und (7) vom zweiten Lager aus (d. h. von  $x_6$  aus) bis zum nächsten Lager, in unserem Beispiel bis zum Wellenende durchgerechnet. Die erste Durchrechnung mit  $V_6 = 0, M_6 = z_2, \Theta_6 = z_1, y_6 = 0$  liefert im Punkt  $x_{14}$  die Werte  $V_{14}(M\Theta)$  bzw.  $V_{15}(M\Theta), M_{14}(M\Theta), \Theta_{14}(M\Theta), y_{14}(M\Theta)$ . Die zweite Durchrechnung mit  $V_6 = 1, M_6 = 0, \Theta_6 = 0, y_6 = 0$  ergibt  $V_{14}(v)$  bzw.  $V_{15}(v), M_{14}(v), \Theta_{14}(v), y_{14}(v)$ .

Am Wellenende muss als dritte Randbedingung gelten

$$V_{15} = V_{15}(v) V_6 + V_{15}(M\Theta) \Theta_0 = 0, \text{ woraus}$$

$$(9) \quad V_6 = - \frac{V_{15}(M\Theta)}{V_{15}(v)} \Theta_0$$

Weiter ist

$$M_{14} = M_{14}(v) V_6 + M_{14}(M\Theta) \Theta_0$$

oder wegen (9)

$$M_{14} = \left[ M_{14}(M\Theta) - \frac{V_{15}(M\Theta)}{V_{15}(v)} M_{14}(v) \right] \Theta_0 = F(\omega) \Theta_0$$

Dieses Moment muss auch null werden, wenn  $\omega$  eine kritische Frequenz sein soll (vierte Randbedingung), und da  $\Theta_0 \neq 0$  ist, muss  $F(\omega) = 0$  sein. Dies wird im allgemeinen nicht zutreffen, folglich muss die ganze Rechnung mit anders gewählten  $\omega$  so lange wiederholt werden, bis  $F(\omega) = 0$  wird, wozu sich nun eine programmgesteuerte digitale Rechenmaschine ausgezeichnet eignet. Die Maschine rechnet  $F(\omega)$  für  $\omega_1, \omega_1 + \Delta\omega, \omega_1 + 2\Delta\omega$  usw. Man kann dann die Kurve  $F(\omega)$  von Hand auftragen oder aber auch das Programm in dem Sinne verfeinern, dass die Maschine bei einem Vorzeichenwechsel von  $F(\omega)$  die in diesem Moment durchschrittene Nullstelle selbst «sucht». Hierauf wird man die Einteilung der Welle verfeinern und die Rechnung von neuem beginnen.

Nun wird das Flussdiagramm aufgestellt. Es deutet schematisch an, in welcher Reihenfolge obige Formeln durchzurechnen sind. Bild 2 gibt einen Ausschnitt davon.

Unser Schema gilt nun ganz allgemein für  $n$  Lager, wobei die Welle beidseitig überhängend sein kann. Im gewählten Beispiel wäre also der linksüberhängende Teil nicht vorhanden und  $n = 2$ .

### 3. Programmierung

Das Flussdiagramm muss nun in die Sprache der Maschine übertragen werden. Mit Hilfe einer konventionellen, beispielsweise an den Bedienungstasten angebrachten Symbolik muss man ihr befehlen können, welche Operationen sie durchführen soll<sup>1)</sup>. So bedeute etwa

- $\nabla$  = Eingeben einer Grösse in die Maschine
- $S$  = Speichern
- $A$  = Ablesen
- $\times$  = Multiplizieren
- $+$  = Addieren, usw.

Die Formel  $V_i = V_{i-1} + m_{i-1} y_{i-1} \omega^2$  müsste also wie folgt programmiert werden:

Sei gespeichert  $m_{i-1}$  in Zelle  $r_0$

$$\begin{array}{llll} \omega & \ll & \ll & r_1 \\ y_{i-1} & \ll & \ll & r_2 \\ V_{i-1} & \ll & \ll & r_3 \end{array}$$

dann lautet das Programm

$$\left. \begin{array}{l} A \ r_1 \\ \times \ r_1 \\ \times \ r_0 \\ \times \ r_2 \\ + \ r_3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Bildung von } \omega^2 \\ \text{Bildung von } m_{i-1} \omega^2 y_{i-1} \\ \text{womit } V_i \text{ gebildet ist.} \end{array}$$

Zusammenfassend stellen wir fest: Der Ingenieur gibt die Durchmesser  $\varnothing_i$ , die Längen der einzelnen Wellenstücke  $\Delta x_i$  und einige Hilfswerte (Elastizitätsmodul usw.) in die Rechenmaschine und erhält nach wenigen Sekunden sämtliche kritischen Drehzahlen  $n_k$ . Selbstverständlich braucht die Lösungsmethode nicht von Fall zu Fall neu entwickelt zu werden. Sie ist ein für allemal programmiert.

## II. Die Analogie-Rechenmaschinen und ihre Anwendung

Bei diesem Rechenmaschinentyp werden die zu verarbeitenden Rechengrößen durch Analogiegrößen dargestellt, d. h. der physikalische Vorgang, den man untersuchen will, wird durch einen anderen physikalischen Vorgang ersetzt. Dieser muss nun genau den gleichen Gesetzen (z. B. Differentialgleichungen) gehorchen wie der erste, wobei die sich entsprechenden, d. h. analogen Größen auch entsprechende Rand- und Anfangsbedingungen erfüllen müssen. Dieser analoge Vorgang wird von der Rechenmaschine dargestellt und die den gesuchten Größen entsprechenden werden gemessen. Ein einfaches Analogierechengerät stellt den Rechenschieber dar, bei dem die Analogiegrößen durch Strecken wiedergegeben werden. Bei den elektronischen Rechenmaschinen bilden z. B. Spannungen die Analogie-Größen. Während eine digitale Rechenmaschine mit den vier Grundoperationen Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division arbeitet, können mit gewissen Analogie-Rechengeräten — man denke an den Rechenschieber — die beiden Grundoperationen Addition und Subtraktion nicht durchgeführt werden. Welche von beiden Rechenmaschinentypen von Fall zu Fall mit grösstem Vorteil — kleinsten Zeitaufwand und damit höchste Rentabilität — anzuwenden sei, kann am besten der für solche Fragen spezialisierte Mathematiker entscheiden.

<sup>1)</sup> Bei modernen Maschinen wird die Symbolik meist durch Zahlen dargestellt und hierauf durch besondere Lochkarten der Maschine vermittelt.

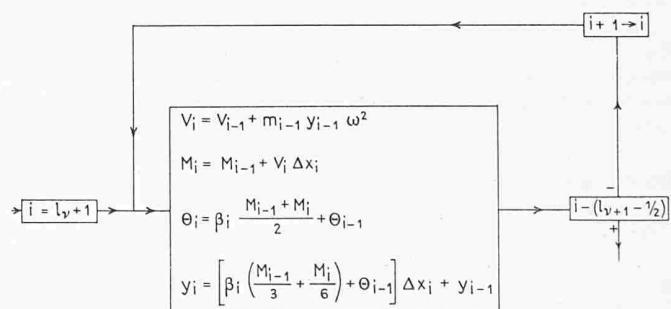


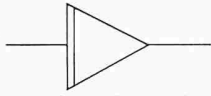
Bild 2. Ausschnitt aus dem Flussdiagramm zur Berechnung der kritischen Drehzahlen

Die elektronische Analogie-Rechenmaschine gründet ihre Arbeitsweise auf die Integration, die sie beispielsweise mit Hilfe eines Kondensators durchführt, gemäss der Formel

$$V(t) = \frac{1}{CR} \int V dt$$

[ $C$  = Kapazität,  $R$  = Widerstand,  $V(t)$  = Spannung]

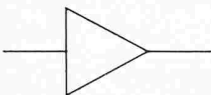
Diesen Vorgang wollen wir schematisch durch das Symbol



andeuten, und die Apparatur, welche die Operation durchführt, soll Integrierglied heissen. Links sei der Eingang der Analogie-Grösse (elektrische Spannung) in das Integrierglied, rechts der Ausgang. Führt man also  $f(t)$  in den Eingang, so kommt  $\int f(t) dt$  rechts am Ausgang heraus.



wobei der Faktor  $\frac{1}{CR}$  im Symbol eingeschlossen sein möge.

Daneben bedeutet das Symbol  «nicht integrieren».

Da sich also die Integration bei einer Analogie-Rechenmaschine derart einfach durchführen lässt, eignen sich diese Geräte ausgezeichnet für die Lösung von gewöhnlichen Differentialgleichungen.

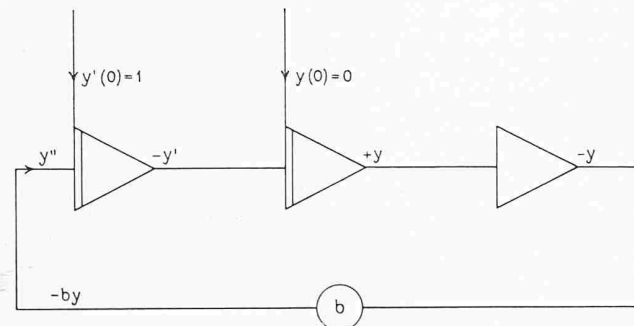
Die Lösung der Differentialgleichung

$$y'' + by = 0$$

auf einem Analogie-Rechengerät geht wie folgt vor sich. Man löst die Differentialgleichung nach der höchsten Ordnung auf

$$y'' = -by$$

und führt  $y''$ , das man vorläufig noch nicht kennt, in den Eingang.



Dann erscheint am Ausgang  $-y'$ . Das Minuszeichen rührt von der Eigenheit der Verstärker her. Mit  $-y'$  gehen wir in einen neuen Eingang und es entsteht am Ausgang  $+y$ . Dies wird in einen neuen Eingang geführt, wobei nicht integriert wird. Dann bildet sich am Ausgang  $-y$ . Dieses  $-y$  leiten wir über ein Potentiometer, an dem wir den Faktor  $b$  einstellen. Damit erzeugen wir  $-by$ . Dies ist aber  $y''$ , womit das anfänglich angenommene  $y''$  gefunden ist. Schliesslich werden noch die Anfangsbedingungen eingeführt, z. B.  $y'(0) = 1$  und  $y(0) = 0$ .

Was wir hier an diesem einfachen Beispiel erläutern, gilt natürlich auch für Systeme von Differentialgleichungen, wie sie zum Beispiel Regelproblemen zu Grunde liegen.

Diese Rechenmethode lässt sich beispielsweise auf die Regulierung einer Gasturbine anwenden, wo ein wesentliches Problem darin besteht, bei der Abschaltung den Drehzahlanstieg zu beherrschen, ohne dass gleichzeitig die Flamme der Brennkammer auslöscht. Dieses Reglerproblem kann

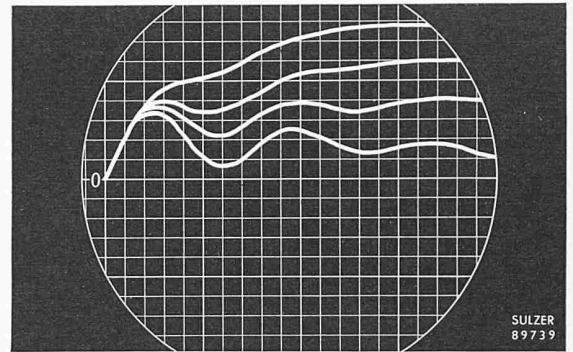


Bild 3. Gasturbinenanlage Hainaut (Belgien), Drehzahlverlauf bei verschiedenen Regelgeschwindigkeiten

durch ein System von Differentialgleichungen dargestellt werden, dessen Lösung von Hand nur unter sehr grossem Zeitaufwand möglich, mit dem Analogie-Rechengerät hingegen sehr einfach ist. So ergeben sich beispielsweise für den Drehzahlverlauf bei verschiedenen Regelgeschwindigkeiten die in Bild 3 dargestellten Kurven.

Wir möchten zum Schluss noch bemerken, dass nicht jedes Problem mit elektronischen Rechenautomaten behandelt werden sollte, da dieses Vorgehen unter Umständen sehr unwirtschaftlich werden kann (z. B. wenn es sich bei einer kleinen einmaligen Aufgabe um grosse Programmierungsarbeiten handelt). Es muss vielmehr von Fall zu Fall entschieden werden, ob sich die Bearbeitung eines Problems mit einer Rechenmaschine lohnt und welcher Typ von Rechenautomat anzuwenden ist.

Adresse des Verfassers: Dr. Hans-Peter Meier, Platanenstrasse 25, Winterthur.

## Mitteilungen

**Aus der Tätigkeit des S.I.A.** Dem soeben erschienenen Protokoll der Delegiertenversammlung vom 11. Sept. 1957 in Luzern entnehmen wir noch folgende Einzelheiten, nachdem wir über die wichtigsten Vorfälle bereits im Jahre 1957 auf den Seiten 633, 713, 765 und 783 berichtet hatten. Als Vertreter in der Hohen Kommission der Schweizerischen Landesausstellung 1964 in Lausanne hat das Central-Comité Ing. G. Gruner und Arch. A. Gnaegi ernannt; zwei weitere Vertreter wird die Sektion Waadt bezeichnen. Ein Nachtrag zur Norm Nr. 106 über Aufzugsanlagen wurde einstimmig genehmigt. Die Revision von Artikel 16 der allgemeinen Bedingungen für Bauarbeiten (Norm 118) wurde als Provisorium genehmigt; umstritten war der mehrheitlich angenommene folgende Passus «Der Unternehmer hat die zur Ausführung seiner Arbeiten erforderlichen Installationen und Gerüste solid, fachgemäss und unter Beobachtung der einschlägigen Vorschriften zu erstellen und, solange er dieselben benützt, zu unterhalten. Bei Hochbauten sind die übrigen am Bau beschäftigten Unternehmer befugt, die vorhandenen Gerüste unentgeltlich zu benutzen; sie haften für den sachgemässen Unterhalt derselben.» (Die Minderheit wollte den Ersteller des Gerüsts für den dauernden Unterhalt haftbar machen.)

**Das «Velux»-Dachflächenfenster** wurde geschaffen für den Einbau in der Ebene der Dachhaut; es kann mit beliebigen Bedachungsmaterialien und für Dachneigungen bis hinunter zu 30° verwendet werden. Es ist ein Doppelfenster, das um die horizontale Mittelachse schwenkend und gleitend geöffnet wird; beim Schliessen beschreibt es eine Gleitbewegung nach oben. Ein Wippscharnier gestattet das Wenden der Aussenseite nach innen für die Reinigung; auch der Doppelscheibenzwischenraum lässt sich für diesen Zweck leicht öffnen, wobei der aufgeklappte Flügel gesichert bleibt. Auch das Anbringen von Rollvorhängen oder Jalousien ist möglich. Das Fenster, das durch die Firma V. Kann Rasmussen & Co. in Kopenhagen hergestellt wird, ist aus Holz mit äusserer Zinkverkleidung, die auch für wasserdichten Anschluss an den Rahmen sorgt. Es hat sich seit 15 Jahren bewährt und ist in letzter Zeit auch in der Schweiz verwendet worden; so von