Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 61 (1970)

Heft: 11

Artikel: Regelungstechnik

Autor: Kolb, O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915947

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Regelungstechnik [1])

Von *O. Kolb*, Baden

712-720

62-50

1. Vorwort

Der Begriff Regelungstechnik hat zwei Bedeutungen: Technik der Regelungen und Anwendung der Regelungen in der Technik. Ersteres ist etwa gleichbedeutend mit Regelungslehre. Sie beschränkt sich keineswegs auf das Gebiet der Technik, denn Regelvorgänge findet man überall dort, wo der Einfluss eines Ordnungsprinzips wirksam ist. Im organischen Bereich sind die Konstanthaltung der menschlichen Körpertemperatur, die Erhaltung des Körpergleichgewichtes, die Veränderung der Augenpupille bei wechselnder Lichtstärke Beispiele von Regelungen. Auch im wirtschaftlichen Bereich und im menschlichen Zusammenleben sind Regelungsvorgänge wirksam. Das immer weitere Vordringen von Regelungen in alle Gebiete der Elektrotechnik zwingt auch den Nichtfachmann, sich wenigstens mit den Grundlagen der Regelungslehre vertraut zu machen. Er wird dann diesem Gebiet nicht mehr skeptisch gegenüberstehen, sondern durch die Kenntnis der Zusammenhänge sicher Freude an dieser eleganten Technik finden.

2. Steuern und Regeln

Aufgabe von Steuerungen und Regelungen ist es, eine Grösse (z. B. die Drehzahl eines Motors oder die Spannung eines Generators) in bestimmter Weise zu beeinflussen. Man spricht von Regelung, wenn der vorgegebene Wert einer Grösse fortlaufend durch Eingriffe auf Grund von Messungen dieser Grösse hergestellt und aufrechterhalten wird. Kennzeichnend für eine Regelung ist also, dass eine Grösse vorhanden ist, die vorgegeben wird und deren Wert durch Messung fortlaufend erfasst wird. Die Herstellung und Aufrechterhaltung auf Grund der Messung kann nun durch den Menschen oder selbsttätig erfolgen. Im ersten Fall spricht man von Handregelung, im zweiten von automatischer Regelung, oder kurz Regelung.

Fig. 1 zeigt die Gegenüberstellung des Wirkschemas der Steuerung und Regelung der Drehzahl eines Gleichstrommotors. Die Drehzahl kann durch Verändern seiner Ankerspannung z. B. über ein Potentiometer gesteuert werden. Jede Einstellung des Potentiometers entspricht im Leerlauf einer bestimmten Drehzahl. Wird nun aber der Motor belastet, so ändert sich seine Drehzahl und die im Leerlauf gemessene Zuordnung von Drehzahl und Potentiometerstellung stimmt nicht mehr, die Drehzahl ändert sich ja je nach Last. Soll sie trotzdem konstant bleiben, so muss ein Organ da sein, das sie misst. Entsprechend diesem Messergebnis wird der Wert der Ankerspannung so beeinflusst, dass die gewünschte Drehzahl auch dann erhalten bleibt, wenn der Motor belastet wird. Die Regelung löst also die Aufgabe, den vorgeschriebenen Wert einer Grösse, der ohne Regelung infolge störender Einflüsse in unerwünschter Weise sich ändern würde, herzustellen und aufrechtzuerhalten. Hierzu wird der Wert der Grösse gemessen und mit dem vorgeschriebenen Wert verglichen. Weicht der gemessene Wert ab, so wird an geeigneter Stelle eingegriffen und die Abweichung wieder behoben. Der Wirkungsablauf vollzieht sich also in einem geschlossenen Kreis, dem sog. Regelkreis. Das Wesen jeder Regelung ist die Rückführung im Sinne einer Gegenkopplung, die die offene Steuerkette zu einem Kreis schliesst. Eine Regelung muss überall dort eingesetzt werden, wo veränderliche Störgrössen zu erwarten sind. Wenn keine oder nur konstante Störgrössen vorhanden sind, so genügt grundsätzlich eine Steuerung. Diese bietet den Vorteil geringeren Aufwandes und enthebt aller Stabilitätsprobleme. Eine Steuerung ist immer stabil, da ihr die Ursache jeder Instabilität, der geschlossene Wirkungskreis, fehlt.

3. Der Regelkreis

Fig. 2 zeigt das Blockschema eines Regelkreises und Fig. 3 als Beispiel den eines drehzahlgeregelten Antriebes. Wie daraus zu ersehen ist, besteht der Regelkreis aus Regelstrecke und Regler. Als physikalische Anordnung betrachtet, ist der Regelkreis die Zusammenschaltung einzelner gerichteter, also rückwirkungsfreier Glieder, zu einem geschlossenen Kreis. Innerhalb dieses Kreises sind die einzelnen Verbindungsgrössen dieser Glieder gleichberechtigt. Die Trennung zwischen Regelstrecke und Regler ist also aus physikalischen Gesichtspunkten heraus nicht streng abgrenzbar. Die Grenzen sind daher auch nicht immer einheitlich. Die Regelstrecke ist der Bereich der Anlage, in welchem eine Grösse durch die Regelung beeinflusst wird und dessen Zustandsänderungen für den Ablauf der Regelung massgebend sind. Bei dem in Fig. 2 gezeichneten Regelkreis stellen der Motor mit angetriebener Maschine, dessen Drehzahl geregelt werden soll, die Regelstrecke dar.

Der Regler ist die gesamte Einrichtung, die den Regelvorgang an der Regelstrecke bewirkt. Unter Regler ist also ein Gerät zu verstehen, das eine Messeinrichtung für die Regelabweichung (= Differenz zwischen Regelgrösse und Führungsgrösse) und eine Einrichtung zur Veranlassung des Eingriffes besitzt. In den meisten Fällen reicht die Leistung des Reglers nicht aus, um direkt auf die Regelstrecke einzuwirken, so dass ein besonderes Stellglied vorgesehen werden muss.

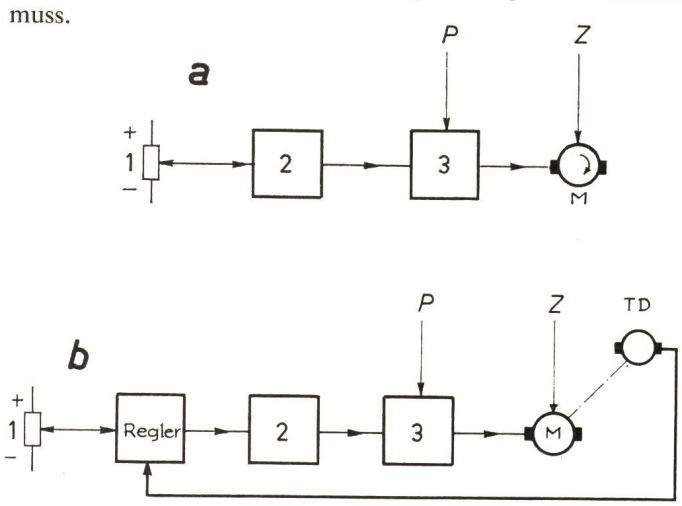


Fig. 1
Steuerung (*a*) und Regelung (*b*) der Drehzahl eines Gleichstrom-Motors
1 Potentiometer; *2* Vorverstärker; *3* Leistungs-Verstärker; *M* Gleichstrom-Motor; *TD* Tacho-Dynamo; *Z* Störgrösse (Belastung); *P* Leistungszufuhr aus dem Netz

[1]) Vortrag, gehalten im Rahmen der «Vortragsreihe über den Stand in wichtigen Bereichen der Elektronik» des Eidg. Personalamtes in Bern.

4. Güte einer Regelung

Mit dem Auftreten einer Störung ändert sich die Regelgrösse. Fig. 4 zeigt den Ausregelvorgang nach einer Störgrössenänderung. Bei endlicher Verstärkung des Regelkreises — und alle technischen Regelkreise haben eine endliche Verstärkung — wird es dem Regler nicht gelingen, die Regelgrösse wieder genau auf den vorgeschriebenen Wert zu bringen. Es bleibt eine Abweichung gegenüber dem alten Wert der Regelgrösse vor der Störung zurück. Diese Abweichung x_{w1} ist die sog. bleibende Regelabweichung, hervorgerufen durch die Änderung der Störgrösse Z_1. Jede Störgrösse hat eine entsprechende bleibende Regelabweichung zur Folge. Die Summe der bleibenden Regelabweichungen, hervorgerufen durch alle möglichen maximalen Störungen, ergeben die grösste bleibende Regelabweichung. Sie ist durch den zulässigen Toleranzstreifen x_w für eine bestimmte Regelung vorgeschrieben. Das dynamische Verhalten, auch Übergangsverhalten genannt, wird durch die beiden Grössen Ausregelzeit T_R und Überschwingweite x_m beschrieben. Das Produkt $0{,}5\ x_m\ T_R$ ergibt ungefähr die Regelfläche. Dieser Wert ist in vielen Fällen am besten geeignet, um verschiedene Regelungen in ihrer «Güte» miteinander zu vergleichen. Der Begriff Regelgüte kann nicht eindeutig festgelegt werden, weil bei verschiedenen Regelaufgaben verschiedene Anforderungen an die Regelung gestellt werden.

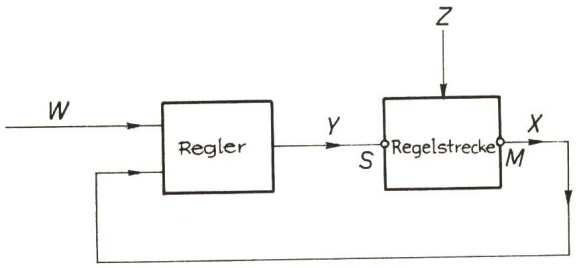


Fig. 2
Blockschema eines Regelkreises
M Messort; *S* Stellort; *W* Führungsgrösse (Sollwert); *X* Regelgrösse (Istwert); *Y* Stellgrösse; *Z* Störgrösse

5. Regelgüte und Preis

Der Grundpreis einer Regeleinrichtung wird wesentlich durch die Anforderungen, speziell an die Regelgenauigkeit, bestimmt. Im Grundpreis sind alle Elemente enthalten, die unabhängig von der Leistung bei jeder Regelung vorhanden sein müssen. Nur das Stellglied, z. B. der Leistungsverstärker, ist im Preis von der Leistung abhängig und zwar wächst sein Preis ungefähr proportional mit ihr. Zwischen Regelgenauigkeit und Grundpreis besteht aber keineswegs eine Proportionalität, sondern ein exponentieller Zusammenhang. Entscheidende Preiserhöhungen treten auf, wenn durch höhere Regelgenauigkeiten teure Präzisionselemente anstatt Normalbauteile eingesetzt werden müssen oder anstatt der analogen eine digitale Regelung vorgesehen werden muss.

6. Zeitverhalten der Regelkreisglieder

Ausschlaggebend für das Verhalten einer Regelung ist das Zeitverhalten ihrer Glieder. Darunter versteht man den zeitlichen Verlauf der Ausgangsgrösse, wenn man die Eingangsgrösse in bestimmter Weise ändert. Während das Zeitverhalten der Regelstrecke vom Regelungstechniker meist als gegeben hingenommen werden muss, ist es seine Aufgabe,

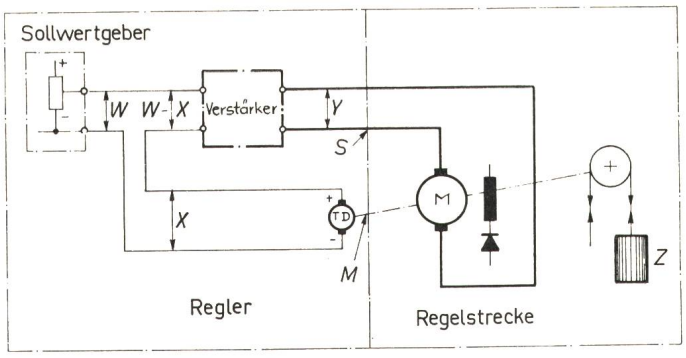


Fig. 3
Schema eines drehzahlgeregelten Antriebes
Bezeichnungen siehe Fig. 2

das Zeitverhalten der übrigen Glieder des Regelkreises so zu machen, dass die gesamte Regelung den Anforderungen entspricht. Da nur das zeitliche Verhalten massgebend ist, hat es keine Bedeutung, ob z. B. die Regelstrecke ein Ofen, eine Dampfmaschine oder ein Elektromotor ist. Es ist daher möglich, bei der Darstellung eines Regelkreises zur Ermittlung der regelungstechnischen Eigenschaften vom gerätetechnischen Aufbau vollkommen abzusehen und Regelkreisglieder als Kästchen darzustellen, deren Zeitverhalten in irgendeiner Weise gekennzeichnet wird. Man gelangt so zum Blockschaltbild, wie es z. B. in Fig. 2 wiedergegeben ist.

6.1 Übergangs-Funktion

Handelt es sich um lineare Glieder, so genügt es zur vollständigen Kennzeichnung des zeitlichen Verhaltens, den zeitlichen Verlauf der Ausgangsgrösse für eine ganz bestimmte, an sich willkürliche Eingangsfunktion zu kennen. Als eine solche Normal-Eingangsfunktion wird meistens die

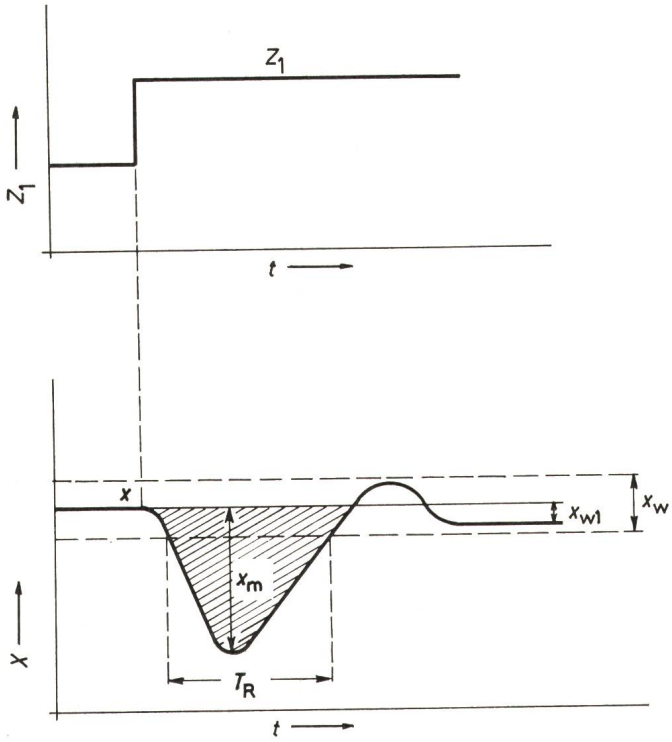
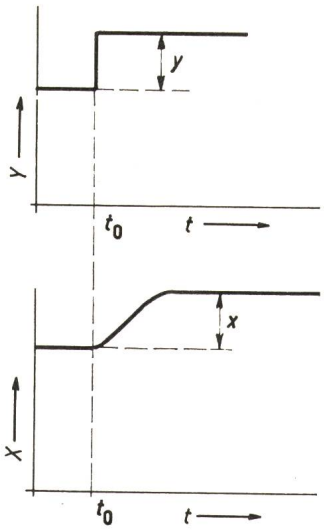


Fig. 4
Ausregelvorgang
Regelfläche: $0{,}5\ x_m\ T_R$
x_m Überschwingweite; x_w zulässige, bleibende Regelabweichung; x_{w1} bleibende Regelabweichung, hervorgerufen durch Z_1; T_R Ausregelzeit; *X* Regelgrösse; Z_1 Störgrösse

Fig. 5
Übergangsfunktion einer Regelstrecke

$$\frac{x}{y} = f(t)$$

X Regelgrösse; Y Stellgrösse; y Änderung der Stellgrösse; x Änderung der Regelgrösse; t Zeit



sog. Sprungfunktion verwendet. Man untersucht also, z. B. mit einem Oszillographen, den zeitlichen Verlauf der Ausgangsgrösse eines Gliedes des Regelkreises bei einer sprunghaften Änderung der Eingangsgrösse um den Betrag 1. Die Ausgangsgrösse nennt man dann Übergangsfunktion. Fig. 5 zeigt sie für eine Regelstrecke. Die Übergangsfunktion ist relativ leicht aufzunehmen und bietet die anschaulichste Darstellung des Zeitverhaltens.

6.2 Einteilung der Regelstrecken

Alle Regelstrecken kann man entsprechend ihrer Übergangsfunktion in zwei grosse Gruppen einteilen: Regelstrecken mit Ausgleich, Regelstrecken ohne Ausgleich. Bei einer Regelstrecke mit Ausgleich strebt die Regelgrösse nach einer Störung und Ablauf der Übergangszeit einem bestimmten neuen Endwert zu, während sie bei Regelstrecken ohne Ausgleich stetig weiter anwächst, bis sie in der Praxis durch einen Anschlag begrenzt wird. Das Wort «Ausgleich» besagt, dass diese Strecken eine gewisse Selbstregeleigenschaft haben. Die weitere Unterteilung erfolgt in verzögerungsarme Regelstrecken, Regelstrecken 1., 2. und höherer Ordnung entsprechend ihrer mathematischen Beschreibung durch Differentialgleichungen 1., 2. und höherer Ordnung.

6.3 Einteilung der Regler

Bei den Reglern findet man eine ähnliche Vielfalt wie bei den Regelstrecken. Eine wichtige Gruppe ist dadurch gekennzeichnet, dass die Stellgrösse von der Regelabweichung stetig beeinflusst wird und man spricht dann von stetigen Reglern. Sie werden, genau so wie die Regelstrecken, durch ihr zeitliches Verhalten gekennzeichnet. Ob es sich um eine mechanische, pneumatische oder elektrische Ausführung handelt, ist belanglos.

Beim Proportional-Regler ändert sich die Ausgangsgrösse, wie der Name sagt, proportional zur Eingangsgrösse. Er stellt einen Verstärker dar, dessen Verstärkungsgrad einstellbar sein muss. Ein P-Regler ist nie in der Lage die Regelabweichung zu Null zu machen, denn er braucht sie ja, um eine entsprechende Ausgangsgrösse abgeben zu können. Die Verstärkung kann aber nicht beliebig hoch gemacht werden, weil dadurch der Regelkreis instabil wird, denn Stabilität und Verstärkung sind zwei Dinge, die sich nicht vertragen.

Macht man nicht die Stellgrösse, sondern die Geschwindigkeit, mit der sich die Stellgrösse ändert, der Regelabweichung proportional, so erhält man einen Regler, der den erwähnten Nachteil des P-Reglers nicht hat. Man nennt ihn Integral-Regler, da hier die Stellgrösse dem Zeitintegral der Regelabweichung proportional ist. Der technisch realisierbare I-Regler braucht eine, wenn auch kleine Regelabweichung und seine Ausregelzeit wird umso grösser, je kleiner diese ist. Er arbeitet daher an Regelstrecken mit grossen Zeitkonstanten zu langsam.

Will man einen Regler, der rasch eingreift wie der P-Regler, aber trotzdem nur eine kleine Regelabweichung zurücklässt, wie der I-Regler, so muss man einen P- und I-Regler kombinieren und erhält den PI-Regler. Seine Übergangsfunktion setzt sich aus jenen des P- und des I-Reglers zusammen, wie aus Fig. 6 zu ersehen ist. Er stellt den wohl am häufigsten verwendeten Regler-Typ dar.

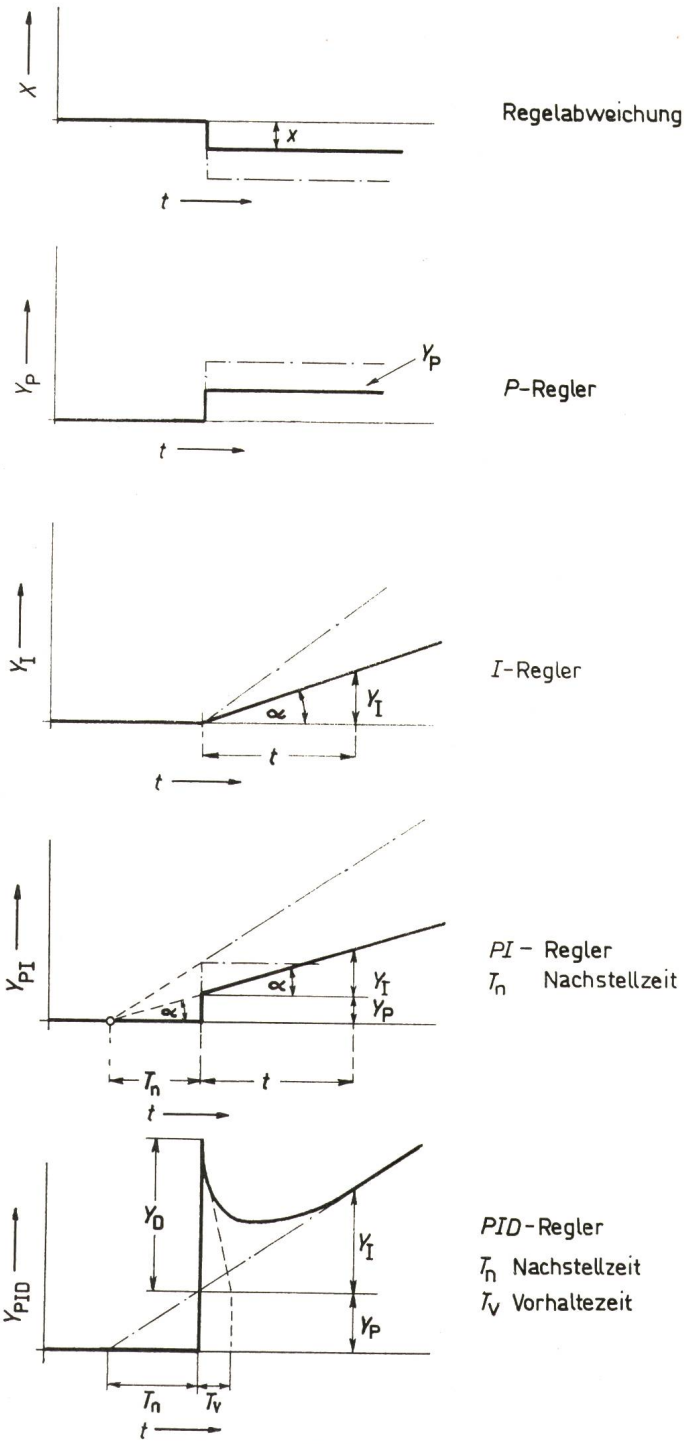
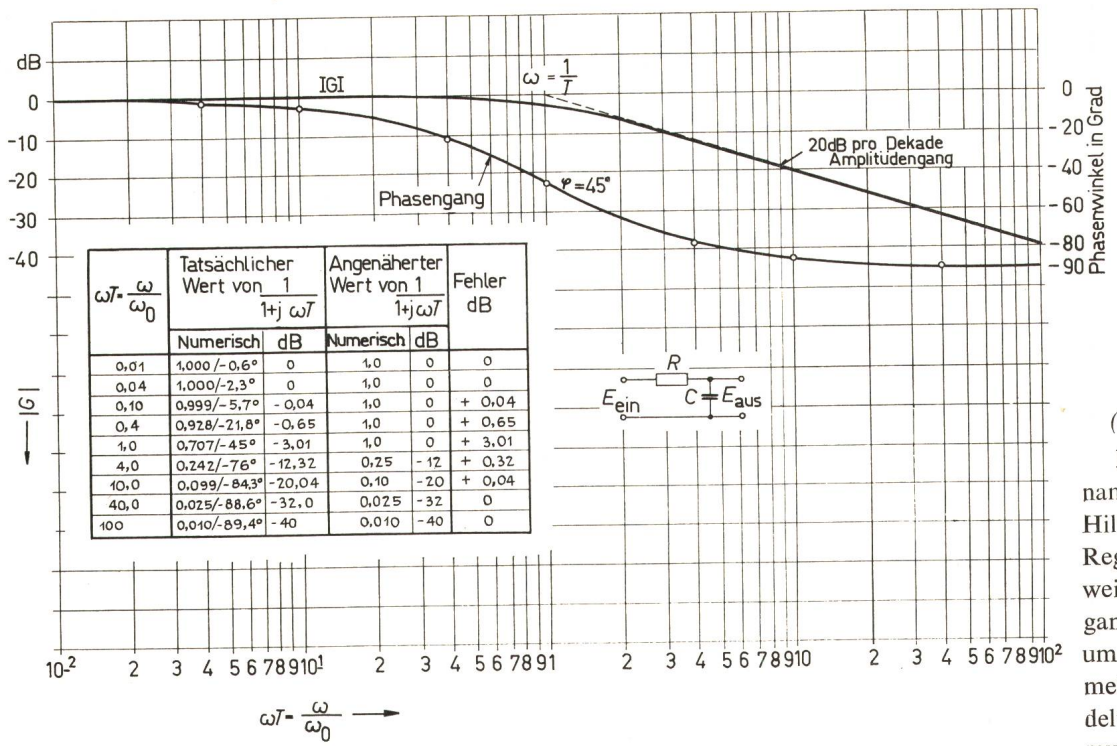


Fig. 6
Übergangsfunktionen von Reglern

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Y_I}{t} = \frac{Y_P}{T_n}$$

Y_P Proportionalanteil; Y_I Integralanteil; Y_D Differentialanteil
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1...5



$\omega T = \frac{\omega}{\omega_0}$	Tatsächlicher Wert von $\frac{1}{1+j\,\omega T}$		Angenäherter Wert von $\frac{1}{1+j\,\omega T}$		Fehler dB
	Numerisch	dB	Numerisch	dB	
0,01	1,000 /-0,6°	0	1,0	0	0
0,04	1,000/-2,3°	0	1,0	0	0
0,10	0,999/-5,7°	-0,04	1,0	0	+ 0,04
0,4	0,928/-21,8°	-0,65	1,0	0	+ 0,65
1,0	0,707/-45°	-3,01	1,0	0	+ 3,01
4,0	0,242/-76°	-12,32	0,25	-12	+ 0,32
10,0	0,099/-84,3°	-20,04	0,10	-20	+ 0,04
40,0	0,025/-88,6°	-32,0	0,025	-32	0
100	0,010/-89,4°	-40	0,010	-40	0

Fig. 7
Bode-Diagramm eines Verzögerungsgliedes 1. Ordnung

$$G = \frac{E_{aus}}{E_{ein}} = \frac{1}{1 + j\,\omega\,T} = \frac{1}{1 + j\,\frac{\omega}{\omega_0}}$$

$$T = R\,C$$

Um noch schneller eingreifen zu können, hat man die Möglichkeit, die Geschwindigkeit, mit der sich die Regelgrösse ändert, als «Voranmeldung» zu verwenden. Die Änderungsgeschwindigkeit ist identisch mit dem Differential-Quotienten der Regelgrösse nach der Zeit. Ein Regler, der diesen Differential-Quotienten verwendet, wird daher Regler mit D-Einfluss genannt. Ein PI-Regler mit D-Einfluss heisst PID-Regler. Überlagert man der Übergangsfunktion eines PI-Reglers den D-Anteil, so erhält man die Übergangsfunktion des PID-Reglers, wie sie Fig. 6 zeigt. Seiner praktischen Anwendung sind meist dadurch Grenzen gesetzt, dass der Istwert keine reine Gleichgrösse ist, sondern Oberwellen hat, die, durch den D-Einfluss besonders verstärkt, sehr störend wirken.

7. Das Verhalten des Regelkreises

Entsprechend den statischen und dynamischen Forderungen zerfällt die Anpassung des Reglers an die Regelstrecke in zwei Aufgaben: Die erste Aufgabe besteht darin, die Bedingungen festzulegen, die an den Regler gestellt werden müssen, damit die bleibende Regelabweichung den vorgeschriebenen Wert nicht überschreitet. Die zweite Aufgabe verlangt die Untersuchung des dynamischen Verhaltens. Sie muss den Reglertyp und die Einstellung der Regler-Kenngrössen ergeben, so dass insbesondere stabiler Betrieb erreicht wird.

7.1 Das statische Verhalten

Das statische Verhalten kann aus den Gleichungen der Regelstrecke und des Reglers ermittelt werden, in denen die zeitlichen Ableitungen weggelassen sind. Daraus ergibt sich, dass die Einwirkung einer Störgrösse durch eine Regelung um den Faktor $R = 1/1 + V_R V_S$ gegenüber einer Steuerung herabgesetzt wird. Man nennt deshalb diesen Ausdruck den Regelfaktor. Man kann also die bleibende Regelabweichung dadurch berechnen, dass man die Änderung der Regelgrösse, die ohne Regelung eintreten würde, mit diesem Regelfaktor multipliziert (V_R Reglerverstärkung, V_S Streckenverstärkung).

7.2 Das dynamische (Übergangs-) Verhalten

Die Berechnung des dynamischen Verhaltens mit Hilfe der Gleichungen von Regelstrecke und Regler ist weit schwieriger, wenn nicht ganz unmöglich, da es sich um Differentialgleichungen meist höherer Ordnung handelt. Der Regelungstechniker muss aber Reglertyp und -Kennwerte vorausbestimmen können, um vor allem eine stabile Regelung zu erhalten und darüberhinaus noch die dynamischen Bedingungen zu erfüllen. Hierfür eignet sich der Frequenzgang. Er bildet das Verhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangsgrösse eines Gliedes, wobei der Eingang der Reihe nach mit allen Frequenzen von 0 bis ∞ sinusförmig und mit konstanter Amplitude erregt wird. Am Ausgang erscheint eine Grösse gleicher Frequenz, deren Amplitude und Phase gegenüber dem Eingangssignal von der angelegten Frequenz abhängen. Der Frequenzgang eines Regelkreises lässt sich, ganz im Gegensatz zur Übergangsfunktion, auf sehr einfache Art aus den Frequenzgängen der einzelnen Glieder berechnen. Eine besonders vorteilhafte Darstellung erhält man, wenn man Amplitudengang und Phasengang getrennt in Abhängigkeit der Frequenz aufträgt und zwar die Amplitude in logarithmischem Maßstab, meistens in Dezibel. Verwendet man für die Frequenz ebenfalls den logarithmischen Maßstab, so erhält man einen guten Einblick in das Übergangsverhalten über einen weiteren Frequenzbereich. Diese Darstellungsart ist allgemein unter dem Namen Bode-Diagramm bekannt. Fig. 7 zeigt ein solches Bode-Diagramm für ein *RC*-Glied.

7.3 Prüfung der Stabilität

Die Instabilität von Regelungen lässt sich folgendermassen erklären: Der Regelkreis ist im Sinne einer Gegenkopplung geschlossen, d. h. ohne eine Phasendrehung in den Regelkreiselementen wird bei einer sinusförmigen Änderung des Sollwertes der Istwert mit entgegengesetztem Vorzeichen am Regler eintreffen und daher die Wirkung des Sollwertes abschwächen. Dies trifft für sehr niedrige Frequenzen zu. Erhöht man aber die Frequenz der sinusförmigen Änderung mehr und mehr, so wird durch die Verzögerungen in den Regelkreisgliedern eine immer grössere Phasenverschiebung zwischen Sollwert und Istwert entstehen. Erreicht diese den Wert von 180°, so wird der Istwert gleichphasig zum Sollwert und dadurch aus der Gegenkopplung eine Mitkopplung. Ist die Amplitude des Istwertes gleich der des Soll-

wertes, so wird die Regelgrösse mit der Frequenz, für die die Phasenverschiebung 180° ist, mit konstanter Amplitude schwingen. Ist die rückgeführte Amplitude grösser als die des Sollwertes, so werden die Schwingungen immer grösser, bis sie durch Sättigungserscheinungen oder andere Begrenzungen in den Gliedern des Regelkreises konstant gehalten werden. Ist die Amplitude des Istwertes aber kleiner als die des Sollwertes, so können höchstens abklingende Schwingungen entstehen. Das Kriterium dafür, ob eine Regelung stabil ist oder nicht, lässt sich also aus dem Verhalten des offenen Regelkreises ableiten, indem man die Phasenverschiebung zwischen Sollwert und Istwert bei der Frequenz ermittelt, für die die Verstärkung 1 beträgt. Aus der Amplitudenkurve des offenen Regelkreises, der noch nicht mit einem Regler versehen ist, lassen sich daher die Einstellgrössen des Reglers ableiten.

8. Vermaschte Regelkreise

Obwohl heute in der Elektrotechnik, insbesondere dank der Thyristoren, über den gesamten Leistungsbereich fast ideale Stellglieder zur Verfügung stehen (hohe Leistungsverstärkung, kleine Verzögerung) ist es nicht immer möglich mit einem einfachen Regelkreis ein befriedigendes Regelverhalten zu erreichen. Man kann dann folgende Massnahmen treffen: Verwendung von Hilfsregelgrössen, Störgrössenaufschaltung, Verwendung von Hilfsstellgrössen. Besonders grosse Verbreitung hat das erste Verfahren gefunden, welches auch unter dem Namen Kaskadenregelung oder Regelung mit unterlagertem (geschachteltem) Regelkreis bekannt ist. Das Prinzip soll an der in Fig. 8 dargestellten Drehzahlregelung aufgezeigt werden. Sie weist einen inneren Stromregelkreis auf, dem der Drehzahlregelkreis überlagert ist. Der Ausgang des Drehzahlreglers bildet den Sollwert für den Stromregler. Bei einer Drehzahlabsenkung erhöht die entstehende Regelabweichung über den Drehzahlregler den Stromsollwert und bringt dadurch den Antrieb wieder auf die ursprüngliche Drehzahl. Es stellt sich immer der Stromsollwert ein, der entsprechend den Belastungsverhältnissen verlangt wird. Durch Begrenzung der Ausgangsspannung des Drehzahlreglers wird der maximal zulässige Ankerstrom bestimmt. Da solche Begrenzungen meist eingeführt werden müssen, um Teile der Regelstrecke vor unzulässigen Beanspruchungen zu schützen (z. B. den Motor vor zu hohem Strom), findet man Kaskadenregelkreise auch dann, wenn

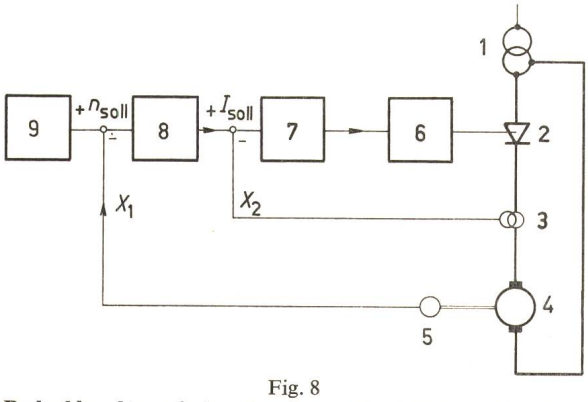


Fig. 8
Drehzahlregelung mit Strombegrenzung durch Kaskaden-Regelung
1 Transformator; *2* Thyristor-Stellglied; *3* Gleichstromwandler; *4* Gleichstrommotor; *5* Tachodynamo; *6* Steuersatz; *7* Stromregler; *8* Drehzahlregler; *9* Drehzahleinsteller; X_1 Regelgrösse «Drehzahl»; X_2 Regelgrösse «Strom» (Hilfs-Regelgrösse)

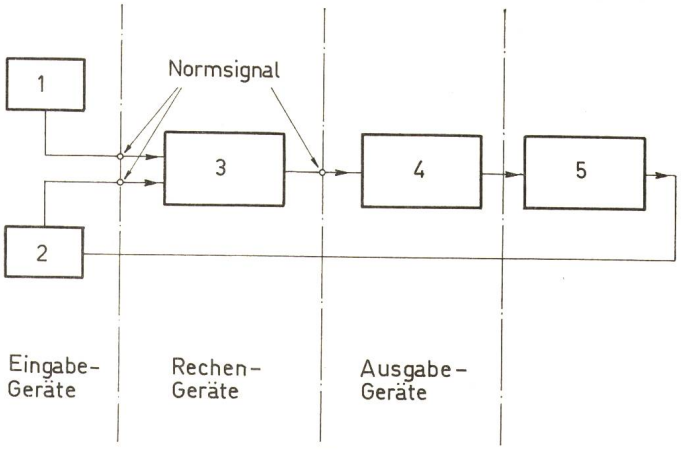


Fig. 9
Gerätetechnischer Aufbau einer Regelung
1 Sollwertgeber; *2* Istwertgeber (Tacho-Dynamo); *3* Drehzahlregler; *4* Stellglied (Thyristor-Schaltung); *5* Regelstrecke (Gleichstrom-Motor)

sie zur Verbesserung des regelungstechnischen Verhaltens nicht notwendig wären.

9. Gerätetechnischer Aufbau von Regelungen

Jede Regeleinrichtung baut sich aus drei Gerätegruppen auf: Eingabegeräte, Rechengeräte und Ausgabegeräte.

Eingabegeräte haben die Aufgabe, die Führungs-, Regel- und eventuell auch die Störgrössen in einer Form den nachfolgenden Rechengeräten zur Verfügung zu stellen, die diese verarbeiten können. Besonders vorteilhaft ist es, ein Normsignal (z. B. eine elektrische Spannung, die zwischen zwei Grenzen jeden Wert annehmen kann) einzuführen und von den Eingabegeräten zu verlangen, dass sie die Umformung einer physikalischen Grösse in das Normsignal durchführen. Bei der in Fig. 9 dargestellten Drehzahlregelung sind der Sollwertgeber und der Gleichspannungs-Tachodynamo die Eingabegeräte. Beide liefern dem nachfolgenden Regler eine Gleichspannung in Form des Normsignales.

Die Rechengeräte verarbeiten diese Eingabegrössen in vorgeschriebener Weise und bilden aus ihnen ein Ausgangssignal. Bei einer einfachen Drehzahlregelung stellt der Regler das Rechengerät dar. Er hat die Aufgabe, die Differenz aus Soll- und Istwert zu bilden, sie zu verstärken und ein bestimmtes Zeitverhalten zu bilden. Es sind also Rechenoperationen, die durchzuführen sind, daher der Name: Rechengeräte.

Die Ausgabegeräte verstärken das Ausgangssignal der Rechengeräte auf die am Stellort erforderliche Leistung. Hiezu werden in der heutigen Elektrotechnik hauptsächlich Thyristoren verwendet. Vollkommene Freizügigkeit in der Kombination von Rechen- und Ausgabegeräten erreicht man, wenn man verlangt, dass erstere Gruppe das Normsignal abgibt und letztere durch dieses ausgesteuert werden kann. Dadurch ist es möglich mit einer beschränkten Zahl von Geräten die verschiedensten regelungstechnischen Aufgaben zu lösen, denn die Rechengeräte sind weder von der physikalischen Natur der Regelgrösse noch von der Leistung abhängig, können also mit allen Eingabe- und Ausgabegeräten kombiniert werden. Daher findet man in der heutigen Technik überall dieses Baustein-Prinzip verwirklicht.

Adresse des Autors:
Dr. *Otto Kolb*, AG Brown, Boveri & Cie., 5400 Baden.

Weitere Vorträge dieser Vortragsreihe folgen