

DIN EN 60546-1

ICS 25.040.40

Ersatz für
DIN EN 60546-1:1995-01
Siehe Anwendungsbeginn

Regler mit analogen Signalen für die Anwendung in Systemen der industriellen Prozessleittechnik –**Teil 1: Verfahren zur Bewertung des Betriebsverhaltens****(IEC 60546-1:2010);****Deutsche Fassung EN 60546-1:2010**

Controllers with analogue signals for use in industrial-process control systems –

Part 1: Methods of evaluating the performance

(IEC 60546-1:2010);

German version EN 60546-1:2010

Régulateurs à signaux analogiques utilisés pour les systèmes de conduite des processus industriels –

Partie 1: Méthodes d'évaluation des performances

(CEI 60546-1:2010);

Version allemande EN 60546-1:2010

Gesamtumfang 40 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2010-10-01 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2011-06-01.

Daneben darf DIN EN 60546-1:1995-01 noch bis 2013-10-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60546-1:2008-06.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 961 „Elektrische Messwertaufnehmer und Messgrößenumformer“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 65B „Devices“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Im Normentext bedeuten:

$j = \sqrt{-1}$ (imaginäre Einheit);

$\int dt$ (Integraloperator);

$\frac{d}{dt}$ (Differentialoperator).

Im IEC Original steht gelegentlich irrtümlich T_1 statt T_I und K_1 statt K_I (z.B. Gleichung (6c) mit Legende und Bild 5). Es muss aber grundsätzlich T_I bzw. K_I lauten. Dieser Fehler wurde in der deutschen Norm bereits korrigiert. IEC wurde auf den Fehler hingewiesen.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60546-1:1995-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Der Normentext wurde entsprechend den aktuellen IEC-Formatierungsvorgaben für Dokumente aktualisiert;
- b) Bezüge und Verweisungen im Text wurden aktualisiert;
- c) neue Begriffe wurden hinzugefügt;
- d) eine Prüfung zum Einfluss elektrostatischer Entladungen wurde eingeführt.

Frühere Ausgaben

DIN IEC 60546-1: 1990-04

DIN EN 60546-1: 1995-01

Regler mit analogen Signalen für die Anwendung in Systemen der industriellen
Prozessleittechnik –
Teil 1: Verfahren zur Bewertung des Betriebsverhaltens
(IEC 60546-1:2010)

Controllers with analogue signals for use
in industrial-process control systems –
Part 1: Methods of evaluating
the performance
(IEC 60546-1:2010)

Régulateurs à signaux analogiques
utilisés pour les systèmes de conduite
des processus industriels –
Partie 1: Méthodes d'évaluation
des performances
(CEI 60546-1:2010)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2010-10-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2010 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60546-1:2010 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 65B/659A/CDV, zukünftige 3. Ausgabe von IEC 60546-1, ausgearbeitet von dem SC 65B „Devices & process analysis“ des IEC/TC 65 „Industrial-process measurement, control and automation“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2010-10-01 als EN 60546-1 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 60546-1:1993.

Diese EN-Ausgabe stellt eine untergeordnete technische Überarbeitung dar, die die Aktualisierung von Begriffen, Maßeinheiten und Verweisungen zum Ziel hat.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN und CENELEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2011-07-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2013-10-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60546-1:2010 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60027-2:2005	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60027-2:2007 (nicht modifiziert).
IEC 60382	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60382.
IEC 60546-2	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60546-2.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Grundlegende Beziehungen und Zusammenhänge	8
4.1 Eingangs-/Ausgangsbeziehungen idealisierter Regler	8
4.2 Einschränkungen	9
4.3 Skalenteilung von Reglern	10
5 Allgemeine Prüfbedingungen	10
5.1 Umgebungsbedingungen	10
5.1.1 Empfohlene Bereiche der Umgebungsbedingungen für die Prüfungen	10
5.1.2 Bezugs-Normalklima	11
5.1.3 Normalklima für Schiedsmessungen	11
5.2 Bedingungen für die Energieversorgung	11
5.2.1 Bezugswerte	11
5.2.2 Grenzübergänge	11
5.3 Lastimpedanz	12
5.4 Weitere Bedingungen	12
5.5 Stabilisierung des Reglerausganges	12
6 Bleibende Regelabweichung	14
6.1 Prüfungsvorbereitung	14
6.2 Anfangsbedingungen	14
6.3 Prüfverfahren	14
6.3.1 Bleibende Regelabweichung bei verschiedenen Werten von X_p	14
6.2.2 Einfluss von Änderungen der Nachstell- und Vorhaltzeit	15
7 Skalenteilungen und Skalenwerte	15
7.1 Überprüfung der Skalen für die Führungsgröße	15
7.2 Proportionalverhalten	15
7.2.1 Anfangsbedingungen	15
7.2.2 Prüfverfahren	16
7.2.3 Totzone	16
7.3 Integralverhalten	17
7.3.1 Anfangsbedingungen	17
7.3.2 Prüfverfahren	17
7.4 Differentialverhalten	20
7.4.1 Anfangsbedingungen	20
7.4.2 Prüfverfahren	20
8 Wirkung von Einflussgrößen	21
8.1 Allgemeines	21
8.2 Anfangsbedingungen	22
8.3 Klimatische Einflüsse	22
8.3.1 Umgebungstemperaturen (siehe IEC 61298-3)	22
8.3.2 Relative Luftfeuchte (nur elektrische Regler) (siehe IEC 61298-3)	22
8.4 Mechanische Einflüsse	22

	Seite
8.4.1 Montagelage	22
8.4.2 Stoß	22
8.4.3 Mechanische Schwingungen	23
8.5 Einfluss der Energieversorgung	24
8.5.1 Änderungen der Energieversorgung	24
8.6 Elektrische Störeinflüsse	25
8.6.1 Gleichtakt-Störspannungseinfluss (siehe Bild 7)	25
8.6.2 Serien-Störspannungseinfluss	26
8.6.3 Erdung	27
8.6.4 Hochfrequenzeinstrahlung	27
8.6.5 Einfluss magnetischer Fremdfelder	27
8.6.6 Elektrostatische Entladung	28
8.7 Ausgangslast (nur elektrische Regler)	28
8.8 Beschleunigte Prüfung der Lebensdauer	28
8.8.1 Anfangsbedingungen	28
8.8.2 Prüfverfahren	29
9 Ausgangskennlinien und Energieaufnahme	29
9.1 Verbrauchte und abgegebene Energie	29
9.1.1 Allgemeines	29
9.1.2 Anfangsbedingungen	29
9.1.3 Luftabgabe oder Luftaufnahme (pneumatische Regler)	29
9.1.4 Luftaufnahme im Beharrungszustand (pneumatische Regler)	30
9.1.5 Energieaufnahme (elektrische Regler)	30
9.2 „Hand“-/„Automatik“-Umschaltung	30
9.3 Welligkeit des elektrischen Ausgangssignals	30
10 Frequenzgang	30
10.1 Anwendung der Frequenzgang-Prüfungen	30
10.2 Prüfverfahren	31
10.3 Auswertung der Prüfergebnisse	31
11 Sonstige Prüfungen	31
11.1 Spannungsprüfung (siehe auch IEC 61010-1)	31
11.2 Isolationswiderstand (siehe auch IEC 61010-1)	32
11.3 Bereichsüberschreitung der Eingänge	32
12 Angaben zur Dokumentation	32
13 Technische Begutachtung	32
14 Prüfbericht	33
15 Zusammenfassung der Prüfungen	33
Literaturhinweise	37
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	38
Bild 1 – Signale zum und vom idealisierten Regler	8
Bild 2a – Anordnung für Prüfungen im offenen oder geschlossenen Regelkreis	13
Bild 2b – Anordnung zur Luftdurchflussmessung	14
Bild 3 – Kennlinien eines reinen Proportionalreglers	17
Bild 4 – Aufgezeichnete Kennlinien eines proportionalen Verhaltens	18
Bild 5 – Aufgezeichnete Kennlinien eines Integralverhaltens	19

	Seite
Bild 6 – Aufgezeichnete Kennlinien eines Differentialverhaltens	21
Bild 7 – Anordnung zur Prüfung des Gleichtakt-Störspannungseinflusses (Wechselstromgenerator).....	26
Bild 8a – Anordnung zur Prüfung des Serien-Störspannungseinflusses – Spannungseingang	27
Bild 8b – Anordnung zur Prüfung des Serien-Störspannungseinflusses – Stromeingang.....	28
Bild 9 – Luft-Durchflussskennlinie eines pneumatischen Reglers	30
Bild 10 – Prüfergebnisse für den Frequenzgang.....	36
 Tabelle 1 – Betriebsbedingungen für Prüfungen mechanischer Schwingungen	 23
Tabelle 2 – Vorgaben für Prüfungen des Frequenzgangs	31
Tabelle 3 – Werte für die Spannungsprüfung.....	32

Einleitung

Die in dieser Norm festgelegten Bewertungsverfahren dienen den Herstellern, um das Betriebsverhalten ihrer Erzeugnisse zu bestimmen, und den Anwendern oder unabhängigen Prüfstellen zum Nachweis des von den Herstellern angegebenen Betriebsverhaltens.

Teil 2 von IEC 60546, beschreibt eine begrenzte Anzahl von Prüfungen, die als Abnahmeprüfungen angewandt werden können.

Die in dieser Norm festgelegten Prüfungen sind nicht notwendigerweise ausreichend für Geräte, die speziell für außergewöhnlich schwierige Bedingungen ausgelegt sind. Umgekehrt kann eine begrenzte Reihe von Prüfungen angemessen sein für Geräte, die für einen begrenzten Bereich von Bedingungen vorgesehen sind.

Es wäre zu begrüßen, wenn eine möglichst enge Zusammenarbeit zwischen der bewertenden Stelle und dem Hersteller bestehen würde. Die Angaben des Geräteherstellers müssen beachtet werden, wenn die Prüffolge bestimmt wird, und der Hersteller sollte aufgefordert werden, sowohl zur Prüffolge als auch zu den Ergebnissen Stellung zu nehmen. Seine Stellungnahme zu den Ergebnissen sollte in jedem durch die prüfende Einrichtung erstellten Bericht enthalten sein.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für pneumatische und elektrische Proportional-Integral-Differential (PID) Regler der industriellen Prozesstechnik, welche analoge kontinuierliche Eingangs- und Ausgangssignale nutzen, die mit den derzeitigen internationalen Normen übereinstimmen.

Es sollte festgehalten werden, dass die hier angegebenen Prüfungen für Regler gelten, die solche Signale haben, dass sie aber auch grundsätzlich auf Regler angewandt werden können, welche andere kontinuierliche Signale haben. Es sollte aber auch angemerkt werden, dass diese Norm für pneumatische und elektrische Regler der industriellen Prozesstechnik mit ausschließlich analogen Baugruppen erarbeitet wurde und nicht zwangsläufig für Regler mit Mikroprozessoren anwendbar ist.

Diese Norm dient der Festlegung einheitlicher Prüfverfahren zur Beurteilung des Betriebsverhaltens von PID-Reglern der industriellen Prozesstechnik mit analogen Eingangs- und Ausgangssignalen.¹⁾

Die in dieser Norm festgelegten Prüfbedingungen, zum Beispiel der Bereich der Umgebungstemperaturen, der Stromversorgung usw. müssen verwendet werden, wenn vom Hersteller und Anwender keine anderen Werte vereinbart worden sind.

Wenn eine vollständige Bewertung entsprechend dieser Norm nicht notwendig ist, dann müssen die Prüfungen, die erforderlich sind, jeweils so durchgeführt und die Ergebnisse so berichtet werden, dass sie mit den entsprechenden Teilen der Norm übereinstimmen. Das Prüfungsprogramm sollte in Abhängigkeit von der Art und dem Umfang der zu betrachtenden Einrichtung zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60068-2-6, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-30, *Environmental testing – Part 2-30: Tests – Test Db: Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle)*

IEC 60068-2-31, *Environmental testing – Part 2-31: Tests – Test Ec: Rough handling shocks, primarily for equipment-type specimens*

IEC 61000-4-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*

IEC 61000-4-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

IEC 61010-1, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements*

¹⁾ Siehe hierzu IEC 60381 und IEC 60382.

IEC 61298-1, *Process measurement and control devices – General methods and procedures for evaluating performance – Part 1: General considerations*

IEC 61298-3, *Process measurement and control devices – General methods and procedures for evaluating performance – Part 3: Tests for the effects of influence quantities*

IEC 61298-4, *Process measurement and control devices – General methods and procedures for evaluating performance – Part 4: Evaluation report content*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Proportionalbereich

Proportionalbereich X_p eines linearen Reglers, ausgedrückt in Prozent, gegeben durch den Ausdruck:

$$X_p = \frac{100}{K_p} \quad (1)$$

3.2

direkte Wirkungsrichtung

Reglerausgang, der mit ansteigender Regelgröße ebenfalls ansteigt

3.3

umgekehrte Wirkungsrichtung

Reglerausgang, der mit ansteigender Regelgröße abfällt

3.4

bleibende Regelabweichung

Abweichung zwischen Regelgröße und Führungsgröße im Beharrungszustand

3.5

P-Regler (Proportionalregler)

ein Regler mit ausschließlich proportionaler Wirkung

3.6

PD-Regler

ein Regler mit proportionaler und differenzierender Wirkung

3.7

PI-Regler

ein Regler mit proportionaler und integraler Wirkung

3.8

PID-Regler

ein Regler mit proportionaler, integraler und differenzierender Wirkung

3.9

Totzone

begrenzter Wertebereich, bei dem die Änderung der Eingangsgröße keine messbare Änderung der Ausgangsgröße verursacht

3.10

mittlere Abweichung bei aufwärtsgehender Messung

das arithmetische Mittel der Abweichungen an jedem Messpunkt bei aufwärtsgehenden Messungen für jeden Messzyklus

3.11

mittlere Abweichung bei abwärtsgehender Messung

das arithmetische Mittel der Abweichungen an jedem Messpunkt bei abwärtsgehenden Messungen für jeden Messzyklus

3.12

mittlere Abweichung

das arithmetische Mittel aller Abweichungen bei aufwärtsgehenden und abwärtsgehenden Messungen an jedem Messpunkt

3.13

Hysterese

die Differenz zwischen der mittleren Abweichung für aufwärtsgehende Messungen und der mittleren Abweichung für abwärtsgehende Messungen an jedem Messpunkt

4 Grundlegende Beziehungen und Zusammenhänge

4.1 Eingangs-/Ausgangsbeziehungen idealisierter Regler

In der einfachsten Form kann die Beziehung durch eine Gleichung angegeben werden, die im Allgemeinen in einer der folgenden Formen dargestellt wird:

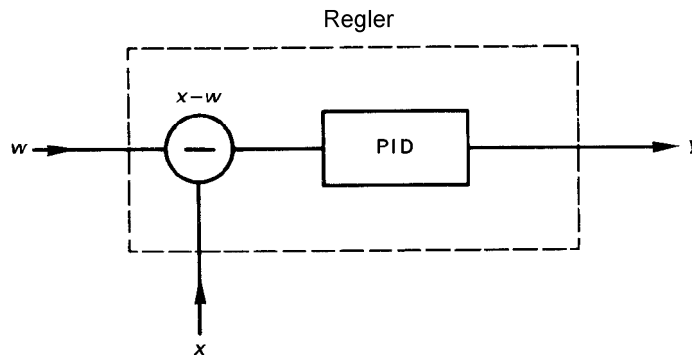


Bild 1 – Signale zum und vom idealisierten Regler

$$y - y_0 = K_p(x - w) + K_I \int_0^t (x - w) dt + K_D \frac{d(x - w)}{dt} \quad (2)$$

$$y - y_0 = K_p \left[(x - w) + \frac{1}{T_I} \int_0^t (x - w) dt + T_D \frac{d(x - w)}{dt} \right] \quad (3)$$

oder im Frequenzbereich:

$$F(j\omega) = K_p \left[1 + \frac{1}{j\omega T_I} \right] + j\omega T_D \quad (4)$$

Diese Gleichungen sind gültig für Regler ohne gegenseitige Abhängigkeit zwischen Kenngrößen K_p , K_I und K_D . Die Gleichung für idealisierte Regler unter Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeit kann wie folgt aufgestellt werden:

$$y - y_0 = K_p' A \left[(x - w) + \frac{1}{AT_I'} \int_0^t (x - w) dt + \frac{T_D' d(x - w)}{A dt} \right] \quad (5)$$

In dieser Gleichung ist A der Abhängigkeitsfaktor (en: interaction factor), der von der Struktur des Reglers abhängt. Für diesen gelten häufig die Beziehungen:

$$A = 1 + \frac{T_D'}{T_I'} \quad (6a)$$

$$K_p' = \frac{K_p}{A} \quad (6b)$$

$$T_I' = 1 + \frac{T_I}{A} \quad (6c)$$

$$T_D' = AT_D \quad (6d)$$

Dabei ist:

t die Zeit;

y das Ausgangssignal (Stellgröße);

y_0 das Ausgangssignal zur Zeit $t = 0$ (Regler im stationären Zustand);

x der Messwert (Regelgröße);

w der Sollwert (Führungsgröße);

K_p der Proportionalbeiwert (siehe Anmerkung 1);

K_I der Integrierbeiwert (siehe Anmerkung 1);

K_D der Differenzierbeiwert (siehe Anmerkung 1);

T_I die Nachstellzeit;

T_D die Vorhaltezeit;

x und w und dementsprechend auch y können Funktionen der Zeit t sein und:

e der Fehler oder die Regelabweichung, z. B.: $x - w$;

ω die Winkelgeschwindigkeit.

ANMERKUNG 1 Die Begriffe sind IEC 60050-351 entnommen.

ANMERKUNG 2 Diese Norm beschränkt sich auf P-, PI-, PD- und PID-Regler.

ANMERKUNG 3 Die Kenngrößen K_p , K_I und K_D können Größen mit Vorzeichen sein; es ist üblich, das positive Vorzeichen der „direkten“, das negative Vorzeichen der „umgekehrten“ Wirkungsrichtung zuzuordnen.

ANMERKUNG 4 Die mit einem Strich markierten Größen (K_p' , T_I' , T_D') stellen, im Gegensatz zu den tatsächlichen Werten, Nennwerte dar.

ANMERKUNG 5 Die Begriffe Integrierzeit und Differenzierzeit sind nur auf reine Integral- bzw. Differentialregler anwendbar (IEC 60050-351).

Es gibt Regler mit noch anderen Strukturen, zum Beispiel solche, bei denen nur die Regelgröße x differenziert wird und nicht die Regelabweichung ($x - w$).

Gleichung (5) wird dann:

$$y - y_0 = K_p' A \left[(x - w) + \frac{1}{AT_I'} \int_0^t (x - w) dt + \frac{T_D'}{A} \frac{d}{dt}(x) \right] \quad (7)$$

4.2 Einschränkungen

Die Gleichungen zur Beschreibung des Betriebsverhaltens eines nichtidealen Reglers unterscheiden sich gewöhnlich von den Gleichungen (2) bis (7), weil sie zusätzliche Zeitkonstanten und Begrenzungen enthalten.

Zwei üblicherweise vorkommende Abweichungen von den idealisierten Reglergleichungen können wie folgt ausgedrückt werden:

a) Maximale Integrierverstärkung V_I

Aufgrund der endlichen Integrierverstärkung von nichtidealen Reglern sind die Integralterme der Gleichungen (1) und (2) Näherungen gegenüber dem wirklichen Frequenzgang, die nur für genügend hohe Frequenzen gelten. Für niedrige Frequenzen kann der Integralterm des Reglers entsprechend Gleichung (2b) im Frequenzbereich wie folgt ausgedrückt werden:

$$F(j\omega) = K_p \frac{V_I}{1 + j\omega T V_I} \quad (8)$$

b) Maximale Differenzverstärkung V_D

Aufgrund der endlichen Differenzierverstärkung von nichtidealen Reglern sind die Differentialterme der Gleichungen (1) und (2) Näherungen gegenüber dem wirklichen Frequenzgang, die nur für genügend tiefe Frequenzen gelten. Der Differentialterm von Gleichung (2b) kann dann im Frequenzbereich wie folgt ausgedrückt werden:

Differentialterm mit zusätzlicher Zeitkonstante

$$F(j\omega) = K_p \frac{j\omega T_D}{1 + j\omega T} \quad (9)$$

oder Proportional-Differentialterm und Zeitkonstante

$$F(j\omega) = K_p \frac{1 + j\omega T_D}{1 + j\omega T} \quad (10)$$

Dabei ist T die Zeitkonstante einer Verzögerung 1. Ordnung.

Das Verhältnis $\frac{T_D}{T}$ kann konstant sein für alle einstellbaren Werte von T_D (abhängig vom Aufbau des Reglers). In diesem Fall wird $\frac{T_D}{T}$ maximale Differenzierverstärkung oder V_D genannt.

4.3 Skalenteilung von Reglern

Die Beiwerte und Zeitwerte, wie sie in den oben angegebenen Gleichungen verwendet werden, ergeben eine idealisierte Beschreibung des Betriebsverhaltens eines Reglers. Ihre Werte können sich von den Skalenwerten des Reglers unterscheiden. Die Beziehung zwischen den Skalenwerten und den wirklichen Werten, die „Interaction-Formel“, ist vom Hersteller anzugeben. Der Zusammenhang kann in algebraischer Form oder durch grafische Darstellung, Tabellen, Diagramme usw. ausgedrückt werden.

5 Allgemeine Prüfbedingungen

5.1 Umgebungsbedingungen

Nach IEC 61298-1 gilt:

5.1.1 Empfohlene Bereiche der Umgebungsbedingungen für die Prüfungen

Temperaturbereich:	15 °C bis 35 °C
Relative Luftfeuchte:	45 % bis 75 %
Luftdruck:	86 kPa bis 106 kPa
Elektromagnetisches Feld	falls von Bedeutung, ist der Wert anzugeben

Die größte zulässige Geschwindigkeit der Umgebungstemperaturänderung während jeder Prüfung ist 1 °C in 10 min. Diese Bedingungen dürften den üblichen Betriebsbedingungen entsprechen.