

HANSER



Leseprobe

zu

Aufgabensammlung Mess- und Sensortechnik

von Andreas Hebestreit

Print-ISBN: 978-3-446-47870-1
E-Book-ISBN: 978-3-446-47877-0

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446478701>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Für Evi, Felix und Ali

Das Buch richtet sich an Studierende der Fachrichtungen Elektrotechnik, Informationstechnik, Feinwerktechnik, Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Systemtechnik und Physikalische Technik, die ihr Wissen auf dem Gebiet der Mess- und Sensortechnik festigen und anwenden möchten.

Im Teil I ist der Schwierigkeitsgrad niedrig. Dieser richtet sich an Anfänger (Studierende im Grundstudium). Teil II ist für Fortgeschrittene (Studierende im Hauptstudium). Auf *plus.hanser-fachbuch.de* finden Sie weitere Aufgaben und Lösungen, die einen noch höheren Schwierigkeitsgrad aufweisen, sowie ein deutsch-englisches Dictionary der wichtigsten Fachbegriffe der Mess- und Sensortechnik. Den Zugangscode finden Sie auf der ersten Seite des Buchs.

Wie jeder weiß, kennt die berufliche Praxis keine Aufgaben im Sinne von gegeben und gesucht. In der Ingenieurpraxis sind nie genau die Werte „gegeben“, die zur Problemlösung benötigt werden. Um der beruflichen Praxis zumindest nahe zu kommen, sind bei manchen Aufgaben Werte gegeben, die für die Lösung nicht erforderlich sind, während bei anderen Aufgaben Zahlenwerte fehlen.

Für Leserhinweise bin ich dankbar.

Leipzig, im März 2023

Andreas Hebestreit

Inhalt

Teil I: Anfänger	11
1 Grundlagen	12
1.1 Einführung	12
1.2 Fragen und Aufgaben	12
2 Statische Eigenschaften	15
2.1 Einführung	15
2.2 Fragen und Aufgaben	15
3 Dynamische Eigenschaften	20
3.1 Einführung	20
3.2 Fragen und Aufgaben	20
4 Digitale Messtechnik	31
4.1 Einführung	31
4.2 Fragen und Aufgaben	31
5 Elektrische Größen	36
5.1 Einführung	36
5.2 Fragen und Aufgaben	36
6 Nichtelektrische Größen	46
6.1 Einführung	46
6.2 Fragen und Aufgaben	46
7 Verschiedenes	51
7.1 Einführung	51
7.2 Fragen und Aufgaben	51

Teil II: Fortgeschrittene	55
8 Signalverarbeitung im Zeitbereich	56
8.1 Einführung	56
8.2 Fragen und Aufgaben	57
9 Spektralanalyse	63
9.1 Einführung	63
9.2 Fragen und Aufgaben	63
10 Ausgewählte Messgrößen der Fertigungstechnik	68
10.1 Einführung	68
10.2 Fragen und Aufgaben	68
11 Prozessmesstechnik und ausgewählte Messgrößen	80
11.1 Einführung	80
11.2 Fragen und Aufgaben	80
12 Versuch und Erprobung	93
12.1 Einführung	93
12.2 Fragen und Aufgaben	93
13 Verschiedenes	97
13.1 Einführung	97
13.2 Fragen und Aufgaben	97
Teil III: Lösungen	99
14 Antworten, Lösungen, Erläuterungen	100
14.1 Kapitel 1: Grundlagen	100
14.2 Kapitel 2: Statische Eigenschaften	106
14.3 Kapitel 3: Dynamische Eigenschaften	116
14.4 Kapitel 4: Digitale Messtechnik	149
14.5 Kapitel 5: Elektrische Größen	159
14.6 Kapitel 6: Nichtelektrische Größen	183
14.7 Kapitel 7: Verschiedenes	199
14.8 Kapitel 8: Signalverarbeitung im Zeitbereich	204
14.9 Kapitel 9: Spektralanalyse	218
14.10 Kapitel 10: Ausgewählte Messgrößen der Fertigungstechnik	226
14.11 Kapitel 11: Prozessmesstechnik und ausgewählte Messgrößen	256

14.12 Kapitel 12: Versuch und Erprobung	294
14.13 Kapitel 13: Verschiedenes	304
Glossar	307
Literaturverzeichnis	321
Index	323

**Inhalte auf *plus.hanser-fachbuch.de***

- 60 Seiten Aufgaben und Lösungen mit einem noch höheren Schwierigkeitsgrad
- deutsch-englisches Dictionary der wichtigsten Fachbegriffe der Mess- und Sensortechnik

Teil I

Anfänger

1

Grundlagen

Gegenstand dieses Kapitels sind vor allem die Grundbegriffe der Messtechnik, die in allen Bereichen von großer Bedeutung sind.

■ 1.1 Einführung

Es ist in der Praxis von großer Wichtigkeit, dass metrologische Begriffe einheitlich verstanden und angewandt werden. Dies gilt unabhängig davon, ob die Messgröße elektrischer oder nichtelektrischer Natur ist, ob diese mit elektrischen oder mit nichtelektrischen Mitteln erfasst wird, ob die Messung analog oder digital erfolgt, ob in der Industrie oder im Forschungslabor gemessen wird, ob sich die Messstelle in der Stückgutfertigung oder in einer verfahrenstechnischen Anlage befindet, ob die Messung der Qualitätssicherung oder der Gefahrenabwehr dient. Entwickler, Planer, Forscher, QM-Beauftragte, Inbetriebnahme-, Produktions- und Vertriebsingenieure müssen die messtechnische Terminologie richtig anwenden können, um einander zu verstehen. Wichtigen Grundbegriffen und Grundlagen der Messtechnik sind deshalb nachfolgende Fragen und Aufgaben gewidmet. Antworten, Lösungen und erläuternde Hinweise sind in Kapitel 14 zu finden.

■ 1.2 Fragen und Aufgaben

1. Die statische Kennlinie eines Messgerätes wird aufgenommen. Mit welchem Begriff bezeichnet man diesen Vorgang in der Metrologie? Erläutern Sie die Bedeutung!
2. Wozu benötigt man ein Normal?
3. Wie lange ist eine Kalibrierung gültig?
4. Was unterscheidet das Eichen vom Kalibrieren?
5. Wann ist eine Eichung erforderlich?
6. Was unterscheidet das Justieren vom Kalibrieren?

7. Warum ist es nicht möglich, durch beliebig viele Wiederholmessungen die Unsicherheit eines Messergebnisses beliebig zu verringern?
8. Welche Messabweichungen werden durch eine Justierung beeinflusst?
9. Für Sensoren eines bestimmten Typs ist im Datenblatt angegeben: Empfindlichkeitstoleranz 1 %. Dennoch können Sie mit einem solchen Sensor Messunsicherheiten besser 0,1 % erzielen. Wie ist das möglich?
10. Warum ist die Bezeichnung Autokalibrierung für Systeme, die sich selbst nachjustieren, unkorrekt?
11. Was versteht man unter dem „Anschluss von Messgeräten“?
12. Wann sind Kalibrierungen rückführbar?
13. Welche Messergebnisse sind rückführbar?
14. Wie lautet Name und Abkürzung des nationalen metrologischen Instituts in Deutschland?
15. Von einer Messeinrichtung ist bekannt, dass diese eine unzulängliche Langzeitstabilität aufweist. Was ist zu tun, wenn diese Messeinrichtung verwendet wird, um die Qualität von Produkten nach DIN ISO 9001 zu sichern?
16. Welche Größe ist am genauesten und am einfachsten messbar und wie haben sich Messgerätehersteller darauf eingestellt?
17. Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist eine Naturkonstante und wird mit 9 Ziffern exakt ohne jede Unsicherheit (!) angegeben. Hat man die Lichtgeschwindigkeit ohne jede Abweichung gemessen?
18. Die PTB gibt für ihre Normalzeit eine Unsicherheit von $1,5 \cdot 10^{-14}$ an. Welche Zeit muss verstreichen, bis die absolute Unsicherheit eine Sekunde beträgt?
19. Wodurch ist ein frequenzanaloges Messsignal gekennzeichnet? Nennen Sie ein Beispiel!
20. Wofür dienen statische Kenngrößen?
21. Wofür dienen dynamische Kenngrößen?
22. Woraus bestehen eine Wheatstonesche Viertel-, eine Halb- und eine Vollbrücke?
23. Zeichnen Sie die statischen Kennlinien der Wheatstoneschen Voll-, Halb- und Viertelbrücke und diskutieren Sie diese!
24. Geben Sie die üblicherweise verwendeten Brückengleichungen für die Voll-, Halb- und Viertelbrücke an!
25. Erläutern Sie den Begriff Messprinzip an einem Beispiel!
26. Was sind wichtige elektrische Einheitssignale und in welchen Bereichen liegen deren Hauptanwendungen?
27. Was versteht man unter „eingepprägter Spannung“?
28. Was versteht man unter „eingepprägtem Strom“?
29. Was ist die Voraussetzung für eine eingepprägte Spannung?
30. Was ist die Voraussetzung für einen eingepprägten Strom?
31. Was ist ein live-zero-Signal und worin liegt dessen Vorteil?

32. Warum unterscheidet man zufällige und systematische Messabweichungen?
33. Was sagt die Unsicherheit eines Messergebnisses aus? Geben Sie ein Beispiel!
34. Was versteht man unter einfacher und was unter erweiterter Messunsicherheit?
35. Worin besteht das Wesen der Ausschlagmethode, das der Differenzmethode und das der Kompensationsmethode?
36. Ein Widerstand wird mit der Ausschlagmethode gemessen. Eine Konstantstromquelle prägt hierzu einen Strom von 1 mA in diesen ein. Der Spannungsabfall am Widerstand verhält sich proportional zu diesem und wird mit einem Voltmeter erfasst. Wie groß ist die Messabweichung, wenn die Unsicherheit des Konstantstromes 0,5% beträgt?
37. Ein Widerstand wird mit der Ausschlagmethode gemessen. Eine Konstantstromquelle prägt hierzu einen Strom von 1 mA in diesen ein. Der Spannungsabfall am Widerstand verhält sich proportional zu diesem und wird mit einem analogen Voltmeter (Messbereich 5 V, Fehlerklasse 2) erfasst (Messwert 2,8 V). Geben Sie den Widerstandswert und die Unsicherheit absolut und relativ an, die infolge der Ungenauigkeit des Voltmeters auftreten!
38. Warum können mit der Wheatstone-Brücke kleinste Widerstandsänderungen gemessen werden?
39. Wie kann man mit einer Wheatstone-Brücke die Wirkung von Einflussgrößen auf den Messwert unterdrücken?
40. Was ist bezüglich der Speisespannung einer Wheatstone-Brücke zu beachten, wenn die beiden darin befindlichen messgrößenempfindlichen Elemente kapazitiv oder induktiv sind?
41. Was ist erforderlich, damit bei Wechselspannungsspeisung einer Wheatstone-Brücke, die Vorzeicheninformation erhalten bleibt?
42. Was ist der Informationsparameter des Ausgangssignals eines induktiven inkrementellen Drehzahlsensors?
43. Welche Parameter einer Rechteckspannung können Informationsparameter sein?
44. Was ist der Informationsparameter des Ausgangssignals eines Widerstandsthermometers?

2

Statische Eigenschaften

Unter den statischen Eigenschaften werden jene verstanden, die das Verhalten einer Messeinrichtung für den Fall beschreiben, dass die Messgröße konstant ist und sich das Ausgangssignal eingeschwungen hat, das heißt ebenfalls einen konstanten Wert angenommen hat.

■ 2.1 Einführung

Alle Arten von Messgeräten, beginnend von einfachen Sensoren bis hin zu vielkanaligen Messwerterfassungssystemen, werden u. a. anhand der statischen Eigenschaften charakterisiert. Diese sind im Datenblatt zu finden. Um das geeignete Messgerät auszuwählen, muss man imstande sein, die Angaben im Datenblatt interpretieren zu können. Zu den statischen Eigenschaften gehören unter vielen anderen der Messbereich, die Empfindlichkeit, der Temperatureinflusskoeffizient und die Linearitätsabweichung. In den nachfolgenden Fragen und Aufgaben spielen statische Kenngrößen sowie die statische Kennlinie eine wesentliche Rolle.

Von Studierenden wird oft fälschlicherweise angenommen, dass statische Kenngrößen das Adjektiv „statisch“ tragen, weil sie konstant im Sinne von zeitinvariant sind. Das hat nichts miteinander zu tun!

■ 2.2 Fragen und Aufgaben

1. Was beschreiben statische Kenngrößen?
2. Nennen Sie mindestens drei statische Kenngrößen!
3. Was ist die korrekte Bezeichnung der statischen Kennfunktion von Messeinrichtungen?
4. Zeichnen Sie die statische Kennlinie eines Messsystems, dessen Empfindlichkeit vom Wert der Eingangsgröße abhängt!

5. Worin unterscheiden sich additive von multiplikativen Fehlern? Nennen Sie je ein Beispiel!
6. Warum sind additive Fehler gefährlicher als multiplikative?
7. Mit welchen Parametern werden quantitativ eine Parallelverschiebung und eine Anstiegsänderung der statischen Kennlinie infolge Temperaturänderung beschrieben?
8. Ein Messsignal soll mit einem ADU (Messbereich von 0 bis 10 V) digitalisiert werden. Der Linearitätsfehler darf 10 mV nicht überschreiten. Geben Sie die zulässige Linearitätsabweichung (Bezugsgerade durch Anfangs- und Endpunkt) des ADU in Prozent an!
9. Was sagt die Auflösung eines Messgeräts über den Wahrheitsgehalt des Messergebnisses aus?
10. Welche praktische Bedeutung hat die relative Abweichung?
11. Berechnen Sie die Empfindlichkeit eines Spannungs-Strom-Wandlers, von dem folgender Zusammenhang zwischen Ein- u. Ausgangsgrößen bekannt ist:

Eingangsspannung in V	-10	10
Ausgangsstrom in mA	4	20

Zeichnen Sie die statische Kennlinie! Geben Sie eine Gleichung für diese an!

12. Die statische Kennlinie eines fiktiven Temperatursensors mit Spannungsausgang wird durch folgende Gleichung beschrieben: $U = f(T) = T^2 \cdot 0,001 \text{ mV/K}^2$. Zeichnen Sie die statische Kennlinie für den Temperaturbereich von 200 bis 400 K! Berechnen Sie hierfür fünf Stützstellen. Berechnen Sie die Empfindlichkeit für eine Temperatur von 300 K mit Hilfe der Infinitesimalrechnung!
13. Ein resistiver Sensor (dessen Widerstand R_s verhält sich proportional zur Messgröße x) wird in Reihe zu einem Widerstand $R_v = 500 \Omega$ an eine konstante Spannung $U_0 = 5 \text{ V}$ angeschlossen. Auf diese Weise wird der Widerstand R_s in eine Spannung U_s umgewandelt (R/U-Wandlung), die über dem Sensor abfällt. Worin besteht der Nachteil gegenüber einem Konstantstrom, der den Widerstand gemäß des Ohmschen Gesetzes in eine Spannung umwandelt? Geben Sie die Funktion $U_s = f(R_s)$ als Gleichung an! Zeichnen Sie die statische Kennlinie dieses R/U-Wandlers für den Wertebereich 0 bis 1000 Ω ! Falls R_s nur Werte annehmen würde, die kaum von 500 Ω abweichen; welche lineare Gleichung könnte man verwenden, um die Abhängigkeit der Ausgangsspannung vom Sensorwiderstand R_s zu beschreiben?

14. Dargestellt ist die statische Kennlinie eines Wirkdruckgebers.

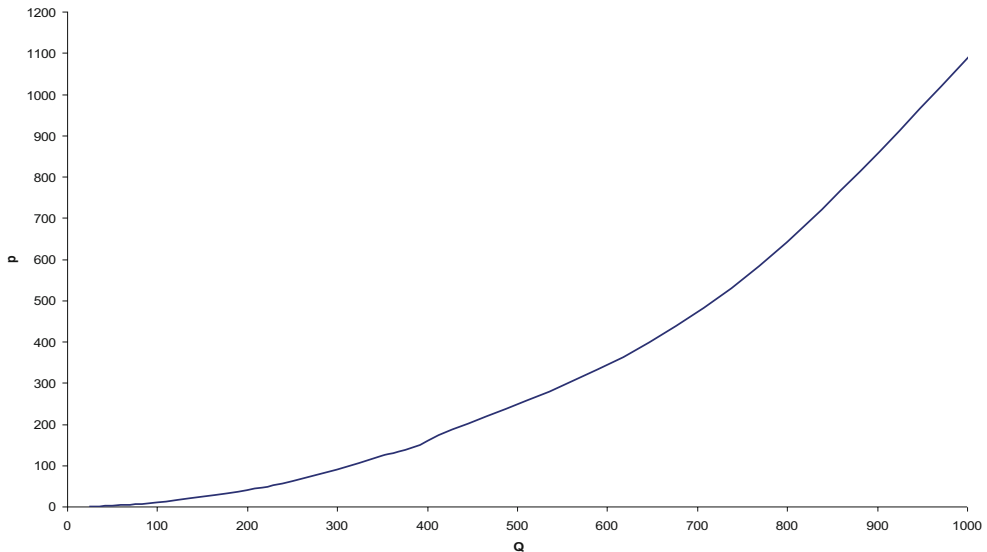


Bild 2.1 Nichtlineare Kennlinie eines Wirkdruckgebers

Dessen Ausgangssignal (Differenzdruck p) ist quadratisch vom Durchfluss Q abhängig. Ein Differenzdruckmessumformer mit linearer Kennlinie wandelt das Drucksignal proportional in eine Spannung um. Damit ein nachfolgendes Digitaldisplay den Durchfluss ziffernrichtig anzeigen kann, ist dem Display ein Spannungswandler mit gekrümmter Kennlinie vorzuschalten. Zeichnen Sie die statische Kennlinie des Spannungswandlers!

15. Von einem Widerstandsthermometer sind Nullpunkt ($R_0 = 100 \Omega$ bei 0°C) und Empfindlichkeit ($\Delta R/R_0 = 0,004 \text{ K}^{-1}$) bekannt. An dieses wird ein zweiadriges Messkabel (jede Ader hat 5Ω) angeschlossen. Geben Sie die Veränderung der Empfindlichkeit (in %) mit Vorzeichen an!

Entsteht durch den Zuleitungswiderstand eine Messabweichung?

16. Ein Flüssigkeitsausdehnungsthermometer kann folgende Imperfektionen aufweisen:
- Röhrchen zu weit oben an der Skala befestigt
 - Innendurchmesser des Röhrchens ist über der Länge nicht konstant
 - Innendurchmesser des Röhrchens ist zu groß

Welche Auswirkungen auf die statische Kennlinie erwachsen daraus? Begründen Sie Ihre Antworten und benutzen Sie dabei die Begriffe Empfindlichkeitsabweichung, Nullpunktabweichung und Linearitätsabweichung!

17. Die im Bild dargestellte Spannungsteilerschaltung ist Teil eines Messgeräts.

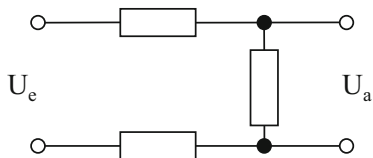


Bild 2.2

Spannungsteiler bestehend aus drei Widerständen

- Alle Widerstände betragen $100\ \Omega$ und haben einen Temperaturkoeffizienten von $0,01\ 1/K$. Leiten Sie eine Gleichung für die statische Kennlinie her! Geben Sie den Temperaturkoeffizienten des Nullpunkts und den der Empfindlichkeit an!
18. Ein Druckmessumformer wurde bei $20\ ^\circ\text{C}$ so justiert, dass dieser Drücke von 0 bis 100 bar in Spannungen von 0 bis 10 V umwandelt. Bekannt sind aus dem Datenblatt dessen Maximalwerte der Temperaturkoeffizienten für den Nullpunkt und für die Empfindlichkeit, die beide $\pm 0,5\%/10\ \text{K}$ betragen. Zeichnen Sie die statische Kennlinie des Messumformers für $20\ ^\circ\text{C}$ sowie die möglichen Extremfälle für eine Temperatur von $100\ ^\circ\text{C}$!
19. Ein Einheitsspannungssignal (0 bis 10 V) soll in ein Einheitsstromsignal (4 bis 20 mA) gewandelt werden. Wo muss der Nullpunkt (Offset) liegen und welche Empfindlichkeit muss der Spannungs-Strom-Wandler haben?
20. Die statische Kennlinie eines Temperatur-Messumformers ist linear. Bei $0\ ^\circ\text{C}$ prägt dieser 4 mA und bei $100\ ^\circ\text{C}$ prägt dieser 20 mA in die Stromschleife ein. Zeichnen Sie die statische Kennlinie einer angeschlossenen Digitalanzeige (Stromeingang), die ziffernrichtig die Temperatur in $^\circ\text{C}$ anzeigt. Geben Sie auch die Gleichung für die Kennlinie der Digitalanzeige an!
21. Ein Messsystem wandelt Abstände von 0 bis 100 mm in Spannungen von 0 bis 10 V. Die statische Kennlinie ist linear und weist bei $20\ ^\circ\text{C}$ keine Abweichungen auf. Außerdem sind die Temperaturkoeffizienten des Systems mit Betrag und Vorzeichen bekannt: $\text{TKN} = +2\%/10\ \text{K}$, $\text{TKE} = -4\%/10\ \text{K}$. Diese sind ungewöhnlich groß und wurden mittels Temperaturprüfschrank experimentell bestimmt. Zeichnen Sie die statischen Kennlinien für die Temperaturen von $20\ ^\circ\text{C}$ und $70\ ^\circ\text{C}$!
22. Ein Druckmessumformer (0 ... 6 bar entsprechen 0 ... 10 V) soll an ein DVM (Messbereich = 20 V, $R_i = 1\ \mu\Omega$) angeschlossen werden. Der Druck soll vom DVM ziffernrichtig angezeigt werden. Zeichnen Sie den Schaltplan einer geeigneten passiven Anpassschaltung! Geben Sie Werte für die Bauelemente an!
23. Das Tachometer eines PKW darf nicht zu wenig anzeigen. Es darf aber 4 km/h und zusätzlich 10% der Istgeschwindigkeit zuviel anzeigen. Zeichnen Sie die ideale statische Kennlinie sowie die Kennlinie mit der größten noch erlaubten Messabweichung in ein Diagramm (Messbereich 240 km/h)! Geben Sie die maximal erlaubte Messabweichung (absolut und relativ) für eine Geschwindigkeit von 130 km/h an!
24. Ihre Messkette besteht aus Sensor, Messverstärker, ADU und PC. Nennen Sie wichtige Eigenschaften der einzelnen Glieder, welche für das Auftreten von statischen Messabweichungen relevant sind!

25. Wie sieht die statische Kennlinie des abgebildeten RC-Glieds im Eingangsbereich von -10 V bis +10 V aus?

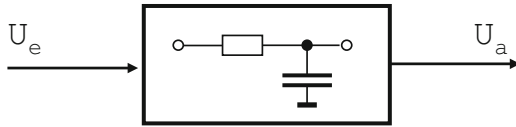


Bild 2.3
RC-Glied

3

Dynamische Eigenschaften

Dynamische Eigenschaften beschreiben das Verhalten einer Messeinrichtung für den Fall, dass die Messgröße veränderlich ist. Diese Eigenschaften sind insbesondere dann von Bedeutung, wenn die Messgröße soeben erst zugeschaltet bzw. an den Eingang des Messgerätes angelegt wurde, oder für den Fall, dass sich die Messgröße so schnell ändert, dass die Messeinrichtung diesen Änderungen nicht leicht folgen kann.

■ 3.1 Einführung

Immer dann, wenn ein Messergebnis schnell gewonnen werden muss oder im Messsignal hohe Frequenzen enthalten sind, kommt es auf die dynamischen Eigenschaften der Messkette an. Wichtige dynamische Eigenschaften (z. B. Einschwingzeit oder Bandbreite) sind im Datenblatt angegeben und für die Konfigurierung der Messeinrichtung von essentieller Bedeutung. Der Anwender muss sich der Bedeutung dynamischer Kenngrößen bewusst sein, sobald die Messgröße nicht konstant ist. Es ist zudem offenkundig, dass viele Messgrößen zeitvariant sind – man denke z. B. an die Geschwindigkeit eines Autos. Nachfolgende Fragen und Aufgaben setzen sich mit dynamischen Kenngrößen und Kennfunktionen auseinander. Bei einigen Aufgaben treten diese Kenngrößen und -funktionen nur hintergründig auf.

Von Studierenden wird oft fälschlicherweise angenommen, dass dynamische Kenngrößen das Adjektiv „dynamisch“ tragen, weil sie variabel sind. Das stimmt nicht! Dynamische Kenngrößen sind meist ebenso zeitinvariant wie statische.

■ 3.2 Fragen und Aufgaben

1. Nennen Sie vier Kenngrößen und Kennfunktionen, welche die dynamischen Eigenschaften von Messeinrichtungen beschreiben!
2. In welchem Zusammenhang stehen Frequenzgang und Übertragungsfunktion?

Index

Symbole

3-Leiter-Technik 192
4-Leiter-Technik 82

A

Abtastfrequenz 154
Abtastperiode 218
Abweichung 13
ADU 16
Amplitude 25
Amplitudengang 21
Anstiegszeit 135
Anzeige, ziffernrichtige 74
Auflösung 16
Aufnehmer 49
Ausgangsgrößen 16
Ausgangssignal 14
Ausgangswiderstand 24
Ausschlagmethode 14

B

Bandbreite 20
Berührungsthermometer 47
Beschleunigung 58
Biegebalken 94
Bode-Diagramm 121
Brückenspannung 69
Brückenspannungsverhältnis 49
Brückenverstimmung 48
Bruttomasse 88

C

CCD 238
CMOS 238

D

DAkkS-Labor 101
Dämpfung 127
Dämpfungsgrad 30
DAQ-System 21
DAU 158
DFT 63
Diagonalbrücke 48
Differenzmethode 14
Digitalanzeige 18
DMM 53
DMS 48
Doppler 91
Doppler-Effekt 106
Drehmoment 49
Drehmomentmessung 74
Drehwinkel 68
Drehwinkelmessung 73
Drehzahl 74
Drift 33
Druck 49
Druckmessumformer 50
Durchfluss 80
DVM 37

E

Effektivwert 36, 39
Eichen 12

Eigenfrequenz 30
Eigenschaften, dynamische 20
Einflussgrößen 14
Einflussgrößenempfindlichkeit 106
Eingangsgröße 15
Eingangssignal 21
Eingangswiderstand 43
Einheit 46
Einheitssignal 13
Einschwingzeit 20
E-Modul 49
Empfindlichkeit 15
Explosionsschutz 80

F

Federkonstante 228
Fehler 16
Fehlergrenze 37
Fehlerklasse 14
Fertigungstechnik 68
FFT 63
Flankensteilheit 150
FMCW 274
Formfaktor 38
Frequenzgang 20
Frequenzgenerator 31
Füllstandsmesstechnik 86

G

Garantiefehlergrenze 42
Genauigkeit 32
Genauigkeitsklasse 51
Geschwindigkeit 58
Gewicht 35
Gewinn 87
Gleichrichtwert 39
Gleichwert 39
GMR-Sensoren 241
Grenzfrequenz 21
Grenzwert 71
Grenzwertschalter 81
Größe, elektrische 36
GUM 167
Güte 253

H

Halbbrücke 48
HART® 81
Hochpass 24
Hysterese 115

I

IEPE 231
Impedanzwandlung 157
Induktivität 57
Informationsparameter 14
Inkrementalgeber 46
Inkrementalsignal 74
Input 47
Isolationswiderstand 70
Isotropstrahler 87

J

Justieren 12

K

Kalibrieren 12
Kanalmessrate 34
Kapazität 70
Kennfunktion, statische 15
Kenngröße 13
Kenngröße, dynamische 20
Kenngröße, statische 15
Kennlinie 13
Kennlinie, statische 15
k-Faktor 48
Klirrfaktor 117
Komparator 169
Kompensationsmethode 14
Kondensator 33
Kraft 49
Kraftsensor 69
Kreisfrequenz 26

L

Ladungsverstärker 56
Langzeitstabilität 13

Leistung 36
 Linearisierung 56
 Linearitätsabweichung 15
 Linearpotentiometer 72
 live-zero-Signal 13
 Loops 81
 LSB 158
 LVDT 72

M

Maßstab, optischer 72
 Messabweichung 13
 Messabweichung, systematische 14
 Messbereich 14
 Messergebnisse 13
 Messgröße 12
 Messkabel 17
 Messkette 18
 Messobjekt 46
 Messprinzip 13
 Messrate 31
 Messsignal 13
 Messstelle 43
 Messsystem 15
 Messtechnik, elektrische 36
 Messung, nullpunktbezogene 231
 Messung, statische 197
 Messunsicherheit 13
 Messverstärker 18
 Messwert 14
 Metallfolie-DMS 48, 190
 Metrologie 12
 Mittelwert 36
 Mittelwert, quadratischer 165
 MSB 158

N

Neigungssensor 58
 Nennkennwert 69
 Nennmessweg 69
 Nettogewicht 91
 Netzbrummen 21
 Nullpunkt 17

O

Öffnungswinkel 87
 OIML 71
 OPV 34
 Ortsperiode 73
 Oszilloskop 36
 Output 47

P

Periodendauer 32
 Phasengang 21
 piezoelektrisch 50
 Pratzen 88
 Pre-Trigger 219
 Prozessmesstechnik 80
 Prüfung 71
 PSD 238
 PTB 13

Q

Quadratur-Demulator 73
 Quantisierungsfehler 34
 Querempfindlichkeit 226

R

Realgasfaktor 280
 Rechtecksignal 32
 Reflexionsfaktor 277
 Reihenstruktur 28
 Reproduzierbarkeit 232
 Resonanzfrequenz 63
 Resonanzüberhöhung 71

S

SAW 244
 Schallkennimpedanz 273
 Schallreflexionsfaktor 86
 Scheitelfaktor 38
 Schleifringen 74
 Schwingungen 58
 Seilzugaufnehmer 72
 Signal, frequenzanaloges 102

Signal, natürliches 56
Signalparameter 36
Signalvervielfacher 81
Skala 17
Skaleneinteilung 166
Spannung 36
Spannung, eingeprägte 13
Spannungsmessgerät 43
Spannungssignal 34
Speisetrenner 81
Sprungantwort 22, 76
Störungen 21
Stress 188
Strom, eingepprägter 13
Stromkreis, eigensicher 258
Stromschleife 18
Stromsignal 26
Stromstärke 36
Stromzangen 43
Strouhal-Zahl 89

T

Tara 88
Tastverhältnis 36
Temperatureinflusskoeffizient 15
Temperaturempfindlichkeit 60
Temperaturkoeffizient 18
Temperaturmessgerät 32
Temperatur-Messumformer 18
TF 59
Thermoelement 47
Tiefpass 21
Tiefpassfilter 22
TKE 18
TKN 18
Toleranzgrenze 22
Tor 31
Torzeit 31
Trigger 42

U

Überdruckmessgerät 50
Übergangsfunktion 21
Überschwingen 76
Überschwingweite 79
Übersprechen 70
Übertragungsfaktor 61
Übertragungsfunktion 20
Übertragungsglieder 23
Übertragungssystem 26
Übertragungsverhalten 101
Umgebungsdruck 268
Umkehrspanne 115
Unsicherheit, relative 32

V

Verfahrenstechnik 46
Verstärkungsfaktor 60
Viertelbrücke 13
Vollbrücke 13
Voltmeter 14

W

Wandler 16
Weg 58
Wendepunkt 136
Wheatstone-Brücke 48
Widerstand 36
Widerstandsänderung 14
Widerstandsmoment 193
Widerstandsthermometer 47
Wirbelstrom 72

Z

Zähler 31
Zeitgeber 31
Zeitkonstante 21