

Prof. Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. Edmund Schiessle (Hrsg.)

Prof. Jörg Linser

Prof. Dr. Manfred Reichert

Prof. Dr. Wolf-Dieter Ruf

Dipl.-Ing. Alois Vogt

Prof. Friedrich Wolf

# Mechatronik

Aufgaben und Lösungen

Vogel Buchverlag

Prof. Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. EDMUND SCHIESSLE (Hrsg.)  
Jahrgang 1946, studierte Maschinenbau, danach Physik mit  
Nebenfach Elektronik. Als Elektronik-Entwicklungsingenieur  
bei der Daimler Benz AG (Mercedes-Benz AG) gelangen ihm  
verschiedene Patente auf dem Gebiet der Sensor- und Elektro-  
technik. Seit März 1991 ist er Professor für Grundlagen der  
Elektrotechnik, Elektrische Messtechnik und Sensorik im  
Studiengang Mechatronik an der Fachhochschule Aalen.

Prof. Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. E. SCHIESSLE

AM1 / A1, AM1 / A2.1–A2.5  
und A2.18–A2.19 / AM1 / A4

Prof. J. LINSER

AM1 / A5.15–A5.20

Prof. Dr. M. REICHERT

AM2 / A1 und A2

Prof. Dr. W.-D. RUF

AM2 / A3

Dipl.-Ing. A. VOGT

AM1 / A5.1–A5.14

Prof. F. WOLF

AM1 / A2.6–A2.17, AM1 / A3

Die Autoren sind Verfasser folgender Bücher  
aus dem Vogel Buchverlag:

Mechatronik 1

Mechatronik 2

Mechatronik Aufgaben und Lösungen

Edmund Schiessle: Sensortechnik Meßwertaufnehmer

---

## Weitere Informationen:

[www.vogel-buchverlag.de](http://www.vogel-buchverlag.de)

---

ISBN 3-8023-1955-9

1. Auflage. 2004

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form

(Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem

anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung

des Verlages reproduziert oder unter Verwendung

elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder

verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG

ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 2004 by

Vogel Industrie Medien GmbH & Co. KG, Würzburg

Umschlaggrafik: Michael M. Kappenstein, Frankfurt/Main

Herstellung: dtp-project Peter Pfister,

97222 Rimpar-Maidbronn

# Vorwort

Als neuartige interdisziplinäre Ingenieurswissenschaft und Technologie vereint die Mechatronik Elemente der traditionellen Disziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik. Sie wird überall dort gebraucht, wo durch intelligente Verknüpfungen der einzelnen Teildisziplinen eine Steigerung der Gesamtfunktionalität erreicht werden soll. In den neuen mechatronischen Produkten bilden also die mechanischen Systeme, Sensoren, Aktoren und Mikrorechner sowie die zugehörige Software ein technisch aktives oder kürzer: ein mechatronisches System. Der Integrationsgrad mechatronischer Systeme geht so weit, dass nur das Zusammenwirken aller Teilfunktionen die Gesamtfunktion gewährleistet. Mechatronik ist also die Basis für neue, intelligent gesteuerte und geregelte technische Produkte mit gesteigerter Funktionalität, höherer Zuverlässigkeit und höherer Wirtschaftlichkeit.

Studenten/innen aller Fachrichtungen an Universitäten und Fachhochschulen sowie Ingenieure und Techniker verschiedenster Fachrichtungen, die sich mit Mechatronik weiterbilden oder beruflich befassen müssen, können mit diesen Aufgaben und Lösungen ihren Wissensstand, Kenntnisse und Fähigkeiten zur Mechatronik überprüfen und einschätzen.

Die Aufgaben wurden in der Reihenfolge an die Kapitel der beiden im Vogel Buchverlag erschienenen Bände Mechatronik 1 und Mechatronik 2 angelehnt, sind didaktisch aber grundsätzlich so gehalten, dass sie auch ohne die beiden Bücher gelöst werden können. Die Bezeichnungen AM1 / A1, AM1 / A2, AM1 / A3 usw. kennzeichnen Aufgaben bezüglich **Mechatronik Band 1 (AM1)**, Kapitel 1, 2, 3 usw., die Aufgaben AM2 / A1, AM2 / A2, AM2 / A3 Aufgaben bezüglich **Mechatronik Band 2 (AM2)**, Kapitel 1, 2, 3. Dasselbe gilt für die Lösungen LM1 / L1, LM1 / L2, LM1 / L3 und LM2 / L1, LM2 / L2, LM2 / L3.

Es werden Grundkenntnisse in Mathematik, Physik, Technische Mechanik und Elektrotechnik vorausgesetzt, wie sie im technischen oder physikalischen Grundstudium an einer Hochschule vermittelt werden.

Die Autoren danken allen, die mit Informationen und kritischen Hinweisen mitgeholfen haben Aufgaben und Lösungen zu optimieren, sowie dem Verlag für die Umsetzung. Resonanz von Anwendern ist uns über «E-Mail: [edmund.schiessle@fh-aalen.de](mailto:edmund.schiessle@fh-aalen.de)» immer willkommen.

Aalen

Edmund Schiessle  
die Autoren



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>Aufgaben Mechatronik 1</b> .....	9
AM1 / A1 Grundlagen .....	11
AM1 / A2 Analogelektronik .....	15
AM1 / A3 Leistungselektronik .....	29
AM1 / A4 Sensoren .....	31
AM1 / A5 Aktoren .....	53
<b>Aufgaben Mechatronik 2</b> .....	71
AM2 / A1 Digitale Steuerungstechnik .....	73
AM2 / A2 Regelungstechnik .....	81
AM2 / A3 Mechanische Systeme .....	95
<b>Lösungen Mechatronik 1</b> .....	101
LM1 / L1 Grundlagen .....	103
LM1 / L2 Analogelektronik .....	111
LM1 / L3 Leistungselektronik .....	131
LM1 / L4 Sensoren .....	133
LM1 / L5 Aktoren .....	155
<b>Lösungen Mechatronik 2</b> .....	191
LM2 / L1 Digitale Steuerungstechnik .....	193
LM2 / L2 Regelungstechnik .....	205
LM2 / L3 Mechanische Systeme .....	239



# **Mechatronik 1**

## **Aufgaben**





# AM1/A1 Grundlagen

Prof. E. Schiessle

## AM1 / A1.1

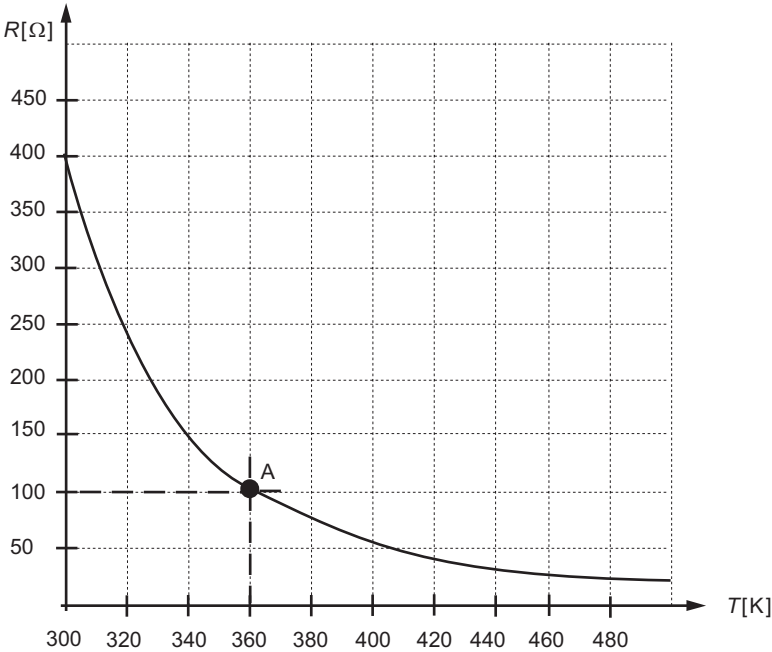
Thermistoren sind elektrische Halbleiter-Bauelemente mit temperaturabhängigen elektrischen Widerständen. Die Bestimmungsgleichung lautet:

$$R(T) = R_0 \cdot \exp\left(\frac{b}{T}\right) \quad (\text{AM1 / Gl. A1.1.1})$$

mit:

$R_0 = 0,1 \, \Omega$  Grundwiderstand

$b = 2490 \, \text{K}$  (materialabhängige Konstante)



AM1 / Bild A1.1.1 Nicht lineare Widerstandskennlinie eines Thermistors

In AM1 / Bild A1.1.1 ist die nichtlineare Widerstandskennlinie des Thermistors über der Temperatur dargestellt.

Linearisieren Sie die nichtlineare Berechnungsgleichung AM1 / Gl. A1.1.1 für die Umgebung des Arbeitspunktes «A».

## AM1 / A1.2

Die dynamischen Eigenschaften eines elektronischen Temperaturmessgeräts sollen mit Hilfe eines Wärmebades, zur Erzeugung einer thermischen «Rechteckfunktion», und mit einem digitalen Speicheroszilloskop mit Plotterausgang ermittelt werden.

Der thermische Messwertempfänger des elektrischen Temperaturmessgerätes hat vor der Messung eine Eigentemperatur von  $\vartheta_s = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  (Umgebungsluft).

Zur Erzeugung des thermischen Rechteckimpulses wird der Messwertempfänger in das Wärmebad mit einer erhitzten Flüssigkeit von  $\vartheta_f = 100 \text{ }^\circ\text{C}$  ruckartig eingetaucht (Erwärmungsphase). Der stationäre Temperaturendwert ist nach 60 s erreicht. Der Messwertempfänger des elektrischen Temperaturmessgerätes wird ruckartig aus dem Wärmebad entfernt, wobei er sich wieder in der Umgebungsluft von  $\vartheta_s = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  befindet (Abkühlphase). Die Testfunktion (thermische Sprungfunktion) und die Testantwort (thermische Sprungantwort) ist im Diagramm von AM1 / Bild A1.2.1 dargestellt.

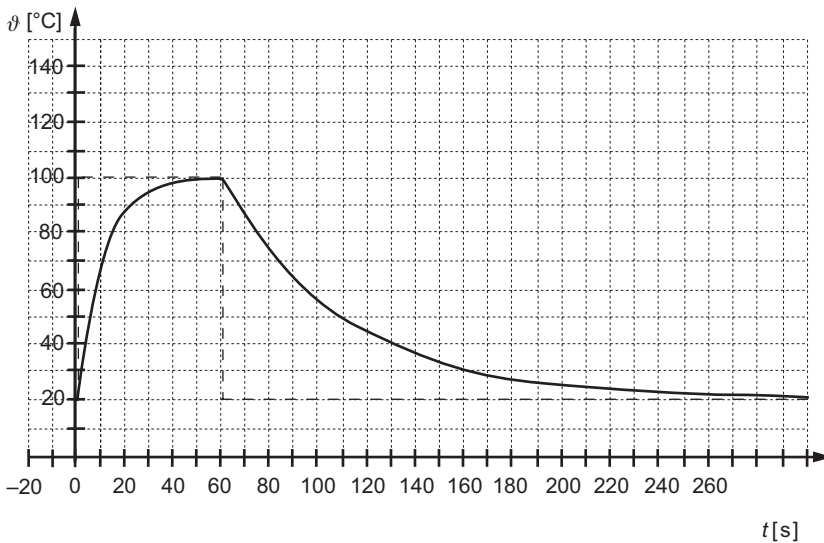
- Bestimmen Sie mit dem Oszillogramm von AM1 Bild A1.2.1 die physikalische dynamische Ordnung des Temperaturmessgerätes.
- Wie sieht die allgemeine algebraische Form der Differentialgleichung (Diff.-Gl.) für das dynamische Verhalten des Temperaturmessgerätes aus?
- Wie sieht die algebraische Form der Berechnungsgleichung (Lösung der Diff.-Gl.) für die Erwärmungsphase und die Abkühlungsphase aus?

Mit Hilfe eines Cursors werden 2 Messpunkte im Oszillogramm AM1 / Bild 1.2.1 angefahren und mit folgenden Werten auf dem Bildschirm des DSO angezeigt:

Erwärmungsphase  $\vartheta_{a1} = 69,704 \text{ }^\circ\text{C}$  nach  $t_1 = 009,71 \text{ s}$

Abkühlungsphase  $\vartheta_{a2} = 49,734 \text{ }^\circ\text{C}$  nach  $t_2 = 109,48 \text{ s}$

- Bestimmen Sie mit Hilfe dieser Werte, die Zeitkonstante  $T_1$  der Erwärmungsphase und die Zeitkonstante  $T_2$  der Abkühlphase.  
(Anmerkung: Streng genommen müssten mindesten 10 Messpunkte angefahren werden, um mit jedem Wertepaar jeweils eine Zeitkonstante zu bestimmen und aus diesen statistisch den besseren Näherungswert, mit seiner Standardabweichung, zu berechnen.)
- Nach welcher Zeit darf in der Erwärmungsphase frühestens abgelesen werden, damit die dynamische Temperaturmessabweichung +1 % nicht überschreitet?



AM1 / Bild A1.2.1 Thermische Sprungfunktion und thermische Sprungantwort

- f) Nach welcher Zeit, darf bei Wiederholung der Messung, der Messwertaufnehmer frühestens ins Wärmebad eintauchen, wenn die dadurch entstehende dynamische Messabweichung  $-1\%$  nicht unterschreiten darf?

### AM1 / A1.3

An einer Maschine sollen technische Schwingungsuntersuchungen durchgeführt werden. Über piezoelektrische Beschleunigungssensoren sollen mit Hilfe eines Lichtstrahloszillographen zwei 100-Hz-Schwingungen aufgezeichnet werden. Die Spulenschwinger (Aufzeichnungselemente des Lichtstrahloszillographen) sind mit jeweils  $D = 0,7$  gedämpft. Sie sind jedoch für unterschiedliche Eigenfrequenzen von 1000 Hz und von 4000 Hz ausgelegt. Aufgrund der Eigenfrequenzen der beiden Spulenschwinger tritt eine Phasenverschiebung und damit eine Zeitverschiebung zwischen den registrierten Schwingungssignalen auf.

Die piezoelektrischen Beschleunigungssensoren erzeugen eine vernachlässigbar kleine Zeitverschiebung der Schwingungssignale.

- Berechnen Sie die Zeitverschiebungen der von den Schwingspulen registrierten Schwingungssignale. (Hinweis: Berechnung über die Phasenverschiebung.)
- Wie groß muss die Verzögerungszeit eines zwischen Sensor und Schwingspule geschalteten Verzögerungsgliedes gewählt werden, damit die Zeitverschiebung zwischen den beiden Schwingungssignalen 0 wird?

### AM1 / A1.4

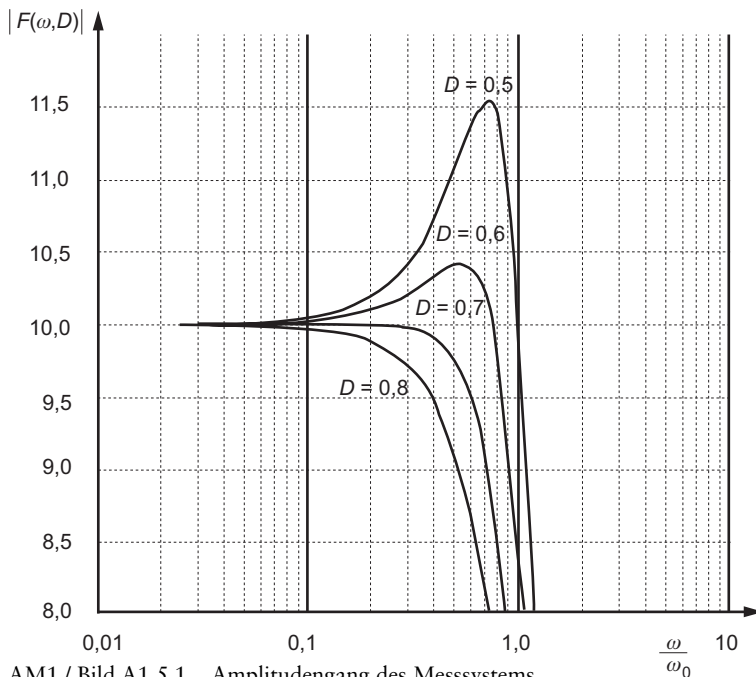
Mit einem elektrischen Messwerk (Daten:  $f_0 = 10$  Hz,  $D = 0,5$ ) soll ein sinusförmiges Signal mit einer Frequenz von 8 Hz registriert werden.

- Berechnen Sie den Wert der Amplitude für die Frequenz des Messsignals.
- Wie groß ist die relative prozentuale Messabweichung der Amplitude?
- Welchen Wert muss das Dämpfungsmaß  $D$  des Messwerkes haben, wenn die relative Anzeigenmessabweichung nicht größer als 1 % werden soll?

### AM1 / A1.5

In AM1 / Bild A1.5.1 ist der gemessene Amplitudengang  $A(\omega/\omega_0, D)$  eines Messsystems zur elektrischen Messung einer mechanischen Größe dargestellt.

- Welches dynamische Verhalten zeigt das System (Begründung in kurzen Sätzen)?
- Bestimmen Sie für die Amplitudenabweichung von  $\pm 2,5$  % das Dämpfungsmaß  $D$  und das Frequenzverhältnis  $\omega/\omega_0$  so, dass die Frequenzbandbreite des Systems seinen größtmöglichen Wert hat.
- Geben Sie mit den Ergebnissen aus b) in Gleichungsform an, wie groß die maximale Frequenz  $\omega_{\max} = \omega_{\max}(\omega_0)$  sein darf.



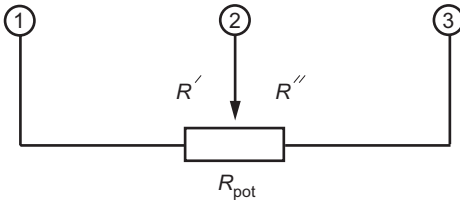
# AM1/A2 Analogelektronik

Prof. E. Schiessle A2.1–A2.5, A2.18–A2.19,  
Prof. F. Wolf A2.6–A2.17

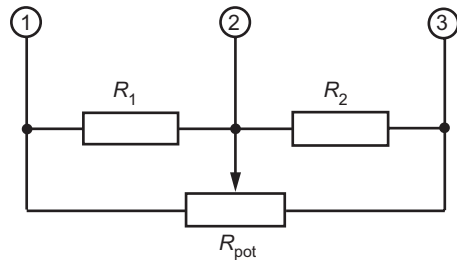
## AM1 / A2.1

Zum Spannungsabgleich eines Messverstärkers wird das in AM1 / Bild A2.1.1a dargestellte Potentiometer verwendet. Nach dem bestmöglichen Spannungsabgleich wird  $R'$  und  $R''$  gemessen.

Die in AM1 / Bild A2.1.1a dargestellte einfache Potentiometerschaltung soll nun durch die in AM1 / Bild A2.1.1b dargestellte Widerstandsschaltung ersetzt werden.



AM1 / Bild A2.1.1a Potentiometer für den Spannungsabgleich von Messverstärkern



AM1 / Bild A2.1.1b Verbesserte Potentiometerschaltung

Diese Widerstandsschaltung ermöglicht einen feineren Spannungsabgleich. Stellen Sie die Berechnungsgleichung für die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  auf. Der Schleifer von  $R_{pot}$  soll im abgeglichenen Zustand in seiner Mittelstellung sein. (Hinweis: Die beiden Schaltungen müssen klemmenäquivalent sein.)

## AM1 / A2.2

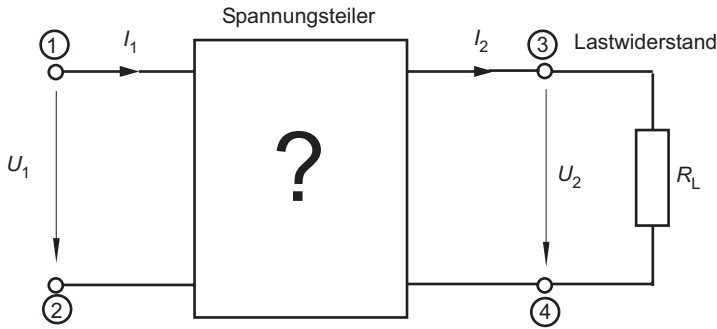
Gegeben ist der in AM1 / Bild A2.2.1 gleichspannungsgespeiste Spannungsteiler (als Blackbox) mit einem Lastwiderstand  $R_L$ .

mit:

$$U_1 = 20 \text{ V}$$

$$U_{2 \text{ Leerlauf}} = 15 \text{ V}$$

$$R_L = 100 \Omega, R_1, R_2 \text{ (zu berechnen, siehe Aufgabentext!)}$$



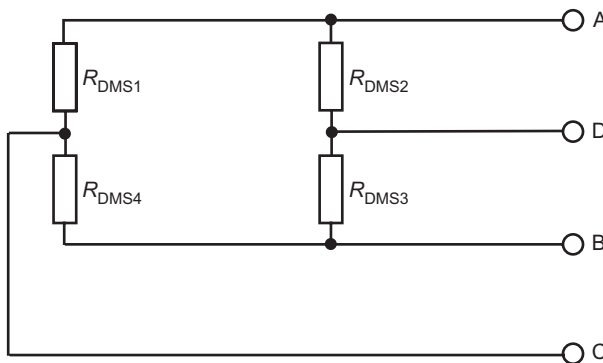
AM1 / Bild A2.2.1  
DC-Spannungsteiler

Die elektrische Spannung  $U_2$  am Ausgang des Spannungsteilers (Klemme 3, 4) soll bei der elektrischen Belastung mit  $R_L$  nur um 2 % zurückgehen. Der Querstrom  $I_{\text{quer}}$  des Spannungsteilers soll 10-mal größer sein, als der Laststrom  $I_2$ .

- Skizzieren Sie die elektrische Innenschaltung des Spannungsteilers.
- Berechnen Sie für die oben genannten Bedingungen, die Widerstandswerte und die jeweilige maximale Leistungsaufnahme der Spannungsteilerwiderstände ( $R_1$ ,  $R_2$ ).
- Berechnen Sie die vom Spannungsteiler aufgenommene Gesamtleistung bei Belastung.

### AM1 / A2.3

Ein in der messtechnischen Praxis oft auftretendes Problem ist die Fehlerdiagnose in Vollbrückenschaltungen mit 4 Dehnmessstreifen (AM1/Bild A2.3.1), d.h. das Erkennen von Brückenzweigen mit einer elektrischen Unterbrechung, wenn die Leitungen in der Brückenschaltung nicht oder nicht mehr markiert sind.



AM1 / Bild A2.3.1  
Elektrische Fehlerdiagnose an einer DMS-Vollbrücke

AM1/Tabelle A2.3.1 zeigt die Messungen für die DMS-Widerstände in den 4 Brückenzweigen, unter den Voraussetzungen, dass keine Hilfsschaltung angeschlossen ist und an der Schaltung keine Spannung anliegt.

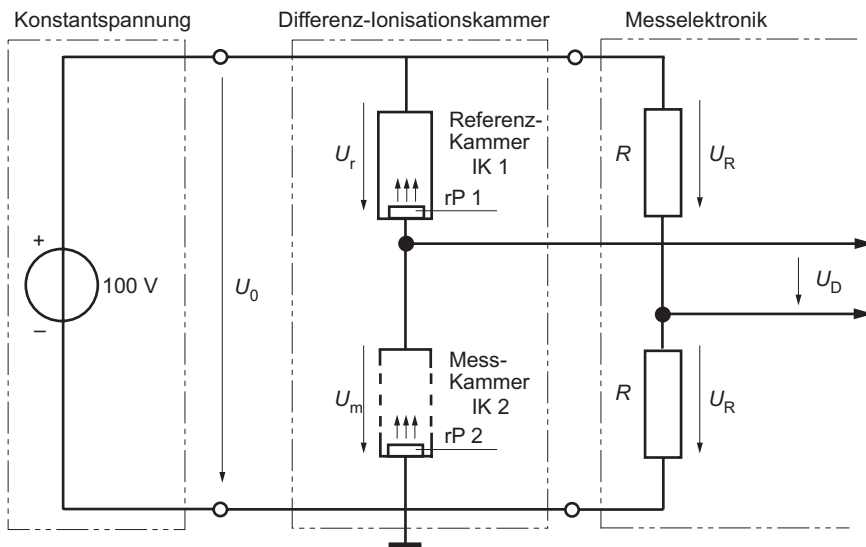
Tabelle AM1 / Tabelle A2.3.1 DMS-Widerstandsmessung

Anschlüsse	A-C	C-D	A-C	A-D	B-C	B-D
DMS-Werte	240 Ω	240 Ω	120 Ω	120 Ω	120 Ω	360 Ω

Bestimmen Sie mit Hilfe der Tabellwerte den unterbrochenen DMS-Zweig. Kennzeichnen Sie den unterbrochenen DMS-Zweig in der DMS-Brückenschaltung.

### AM1 / A2.4

In einem sog. Ionisationsrauchmelder AM1 / Bild A2.4.1a sind 2 Ionisationskammern (IK) elektrisch in einer Halbbrückenschaltung angeordnet.

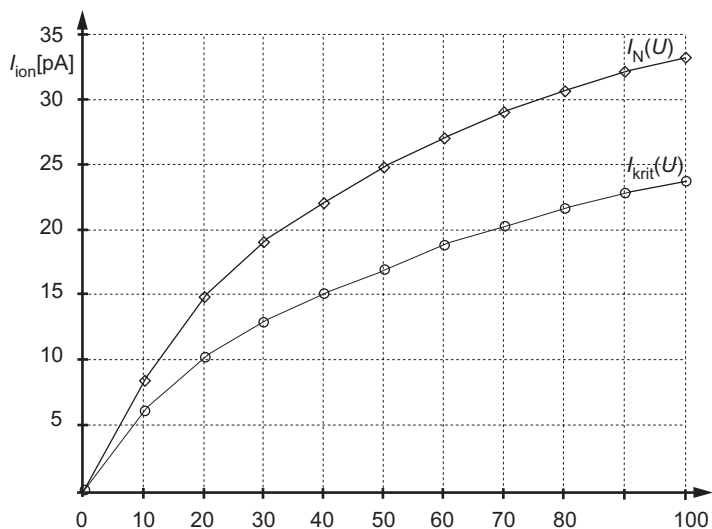


AM1 / Bild A2.4.1a Ionisationsrauchmelder einer Brückenschaltung

### Kurzbeschreibung:

In jeder Ionisationskammer (IK1, IK2) befindet sich ein radioaktives Präparat (rP1, rP2), das die Gasmoleküle der Luft ionisiert. Es entstehen so negativ geladene Elektronen und positiv geladene Gasionen. Wird an die Ionisationskammer eine elektrische Spannung gelegt, entsteht eine Gasentladung, und es fließt ein Ionisationsstrom. Durch

die Entladung ist die  $I$ - $U$ -Kennlinie nicht linear (AM1 / Bild A2.4.1b). Die Referenzkammer IK1 ist gegen die Umgebungsluft abgeschlossen. Sie hat daher immer dieselbe Kennlinie  $I_N = I_N(U)$ . Die Messkammer IK2 steht mit der Umgebungsluft in Verbindung. Ohne Raucheinfluss hat sie ebenfalls die Kennlinie  $I_N = I_N(U)$ . Dringt Rauch in die Messkammer IK2, verschiebt sich deren Kennlinie zu kleineren Stromstärken hin (AM1 / Bild A2.4.1b). Wird die Konzentration des Rauches so groß, dass die kritische Kennlinie  $I_{krit} = I_{krit}(U)$  erreicht wird, so löst die nachgeschaltete Messelektronik, gesteuert durch die Brückenausgangsspannung  $U_D$ , einen akustischen und optischen Alarm aus.



AM1/Bild A2.4.1b Nicht lineare  $I/U$ -Kennlinie der Ionisationskammern

- Bestimmen Sie mit Hilfe der oben dargestellten Kennlinien im Normalbetrieb N, d.h. ohne Raucheinwirkung, die Spannung  $U_{m(N)}$  an der Messkammer IK2, die Spannung  $U_{r(N)}$  an der Referenzkammer IK1, die Brückenausgangsspannung  $U_{D(N)}$  und den Kammerionisationsstrom  $I_N$ .
- Bestimmen Sie mit Hilfe der oben gegebenen Kennlinien im Alarmbetrieb A, d.h. bei kritischer Rauchgaskonzentration, die Spannung  $U_{m(A)}$  an der Messkammer, die Spannung  $U_{r(A)}$  an der Referenzkammer, die Brückendiagonalspannung  $U_{D(A)}$  und den Kammerionisationsstrom  $I_A$ .

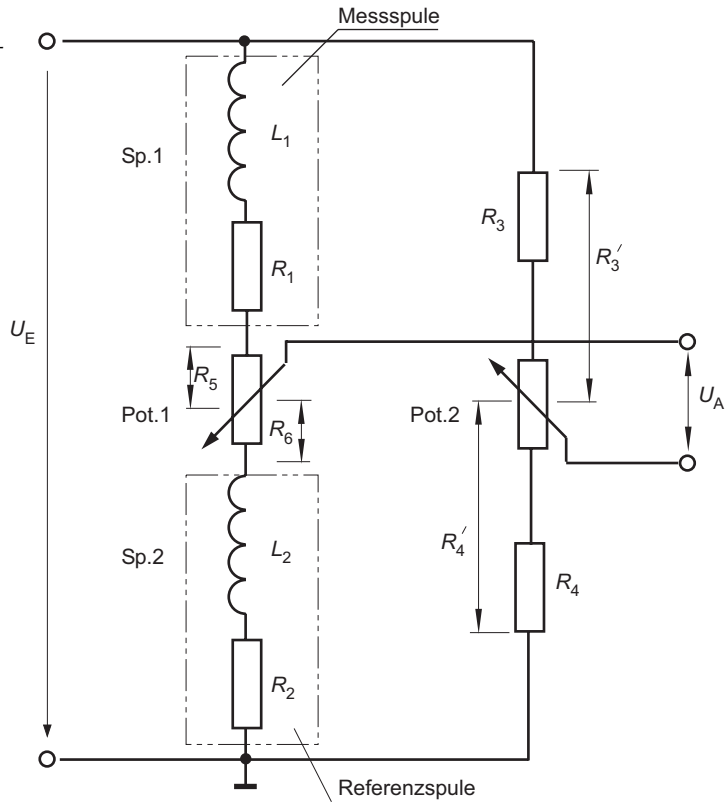
Lösungshinweis: Die Ionisationskammern sind in Reihe geschaltet und werden vom gleichen Strom durchflossen. Im Alarmfall sind die  $I$ - $U$ -Kennlinien nicht deckungsgleich. Zur Bestimmung der gesuchten Werte muss aus den gegebenen Kennlinien eine Ersatzkennlinie konstruiert werden und mit dieser die zugehörigen Werte.



## AM1 / A2.5

Gegeben ist die in AM1/Bild A2.5.1 dargestellte LRRL-Wechselstrom-Messbrücke zur Messung der elektrischen Daten ( $L_1$ ,  $R_1$ ) eines induktiven 1-Spulen-Wegaufnehmers mit Hilfe der Referenzspule ( $L_2$ ,  $R_2$ ) und den beiden Potentiometern (Pot.1, Pot.2).

AM1 / Bild A2.5.1  
LRRL-Wechselstrom-  
Messbrücke



- Stellen Sie die Gleichungen für die Abgleichbedingungen auf.
- Interpretieren Sie, die von Ihnen aufgestellten Gleichungen, bezüglich der Durchführung des Abgleichvorganges.

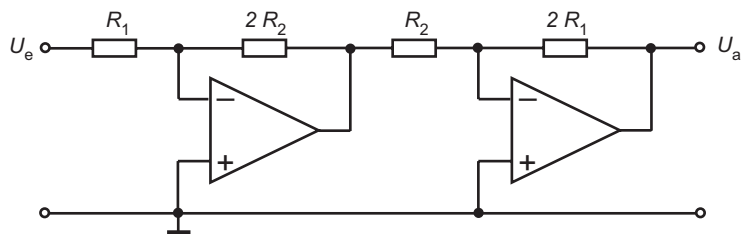
## AM1 / A2.6

Skizzieren Sie 6 analoge OPV-Grundsaltungen, die jeweils aus 1 OPV und bis zu 3 passiven Bauelementen (Widerstände, Kondensatoren) bestehen. Geben Sie für jede Schaltung die Bezeichnung und die sie beschreibende Gleichung  $U_a = f(U_e, \dots)$  an.

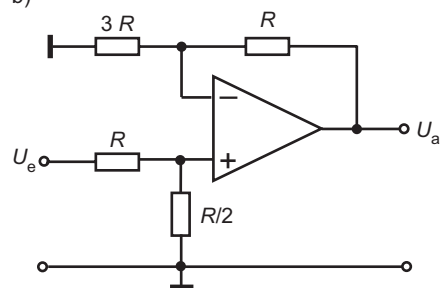
### AM1 / A2.7

Gegeben sind die 2 Schaltungen von AM1 / Bild A2.7.1 a) und b).

a)



b)



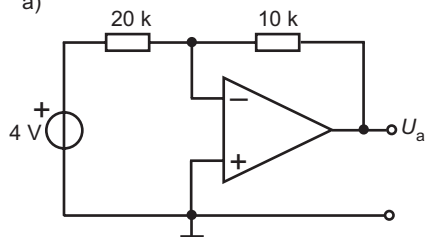
AM1 / Bild A2.7.1 2 OPV-Schaltungen a) und b)

- 1) Ermitteln Sie für jede Schaltung die Gleichung  $U_a = f(U_e, \dots)$ .
- 2) Geben Sie für jede Schaltung den Eingangswiderstand an.

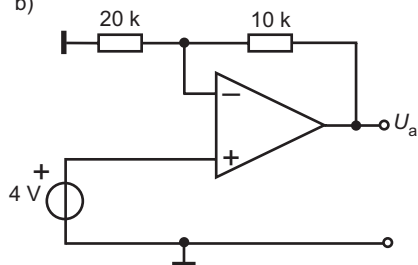
### AM1 / A2.8

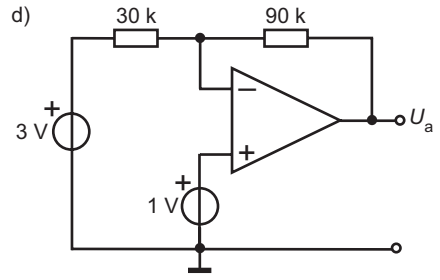
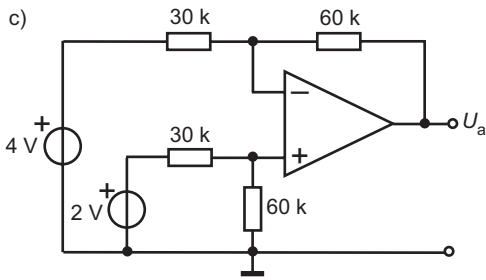
Geben Sie für jede der 4 Schaltungen von AM1 / Bild A2.8.1a), b), c), d) den Wert der Ausgangsspannung  $U_a$  an.

a)



b)



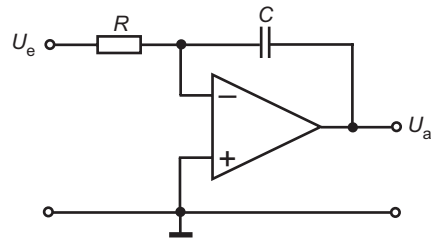


AM1 / Bild A2.8.1 4 OPV-Schaltungen mit Signalquellen am Eingang, a), b), c), d)

### AM1 / A2.9

Gegeben ist ein Integrator (Integrierer, AM1 / Bild A2.9.1).

AM1 / Bild A2.9.1  
Integrator

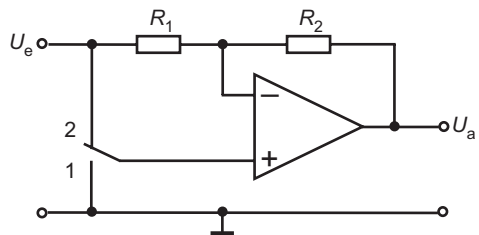


- Berechnen Sie die Beziehung  $U_a = f(U_e, R, C)$  im Zeitbereich.
- Berechnen Sie die Beziehung  $\underline{U}_a = f(\underline{U}_e, R, C)$  im Frequenzbereich.

### AM1 / A2.10

Gegeben ist die Schaltung von AM1 / Bild A2.10.1.

AM1 / Bild A2.10.1  
Umschaltbare OPV-Schaltung

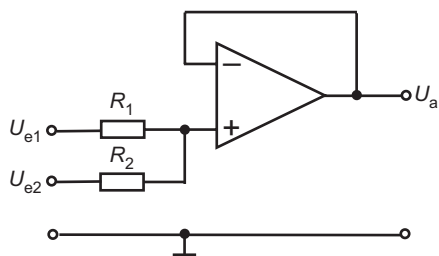


Gesucht wird die Gleichung, die das Verhalten der Schaltung beschreibt und der Eingangswiderstand  $R_e$

- bei Schalterstellung 1,
- bei Schalterstellung 2.

### AM1 / A2.11

Gegeben ist die Schaltung von AM1 / Bild A2.11.1

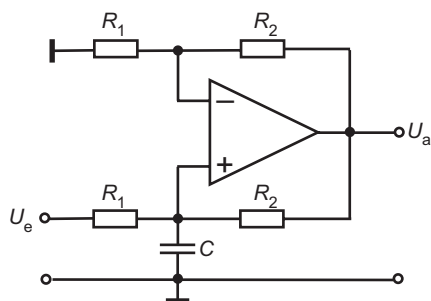


AM1 / Bild A2.11.1  
Nicht invertierender Addierer

Berechnen Sie die Beziehung  $U_a = f(U_{e1}, U_{e2}, R_1, R_2)$

### AM1 / A2.12

Gegeben ist die Schaltung von AM1 / Bild A2.12.1



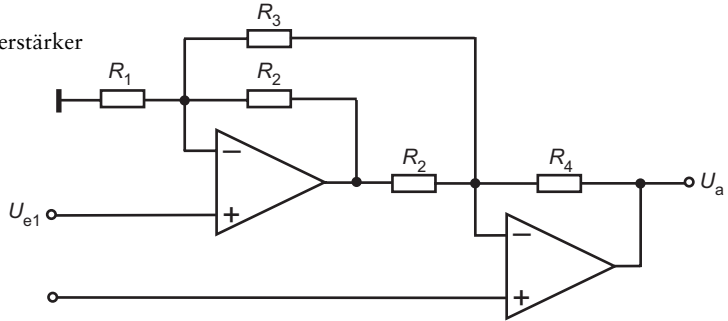
AM1 / Bild A2.12.1  
OPV-Schaltung mit Kondensator

- Berechnen Sie die Beziehung  $U_a = f(U_e, R_1, R_2, C)$  im Zeitbereich.
- Berechnen Sie die Beziehung  $\underline{U}_a = f(\underline{U}_e, R_1, R_2, C)$  im Frequenzbereich.
- Welches Verhalten zeigt die Schaltung?

**AM1 / A2.13**

Gegeben ist die Schaltung von AM1/Bild A2.13.1

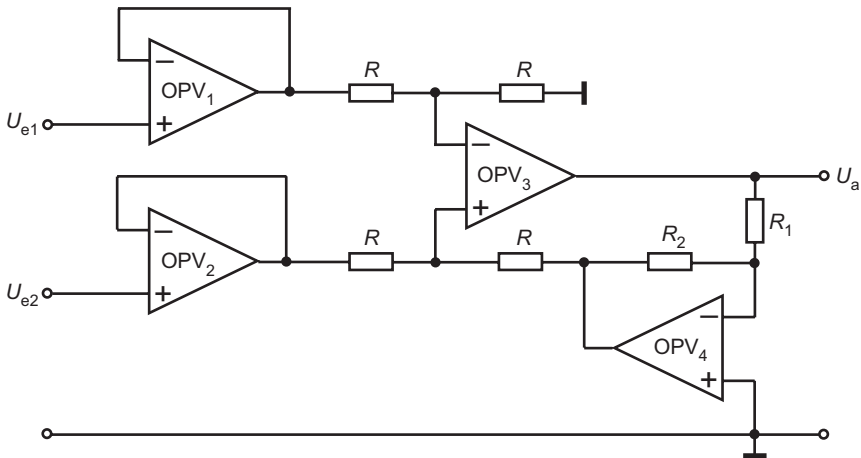
AM1 / Bild A2.13.1  
Spezieller Differenzverstärker



Berechnen Sie die Beziehung  $U_a = f(U_{e1}, U_{e2}, R_1, R_2, R_3, R_4)$

**AM1 / A2.14**

Gegeben ist die Schaltung von AM1/Bild A2.14.1 eines Instrumentenverstärkers mit linear veränderbarer Verstärkung.

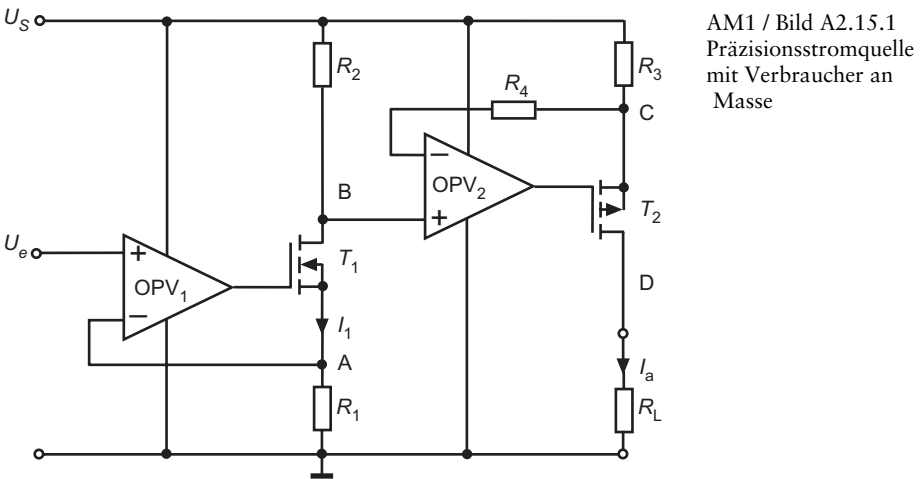


AM1 / Bild A2.14.1 Instrumentenverstärker

- a) In welcher Grundschaltung werden die Operationsverstärker OPV<sub>1</sub>, OPV<sub>2</sub> und OPV<sub>4</sub> jeweils betrieben?
- b) Berechnen Sie die Ausgangsspannung  $U_a$  in Abhängigkeit von  $U_{e1}$ ,  $U_{e2}$  und den Widerständen.
- c) Mit welchem Widerstand kann die Verstärkung linear verändert werden?

**AM1 / A2.15**

Gegeben ist die Schaltung von AM1 / Bild A2.15.1 einer Präzisionsstromquelle mit Verbraucher an Masse.



AM1 / Bild A2.15.1  
Präzisionsstromquelle  
mit Verbraucher an  
Masse

mit:

$U_S = 10 \text{ V}$ ;  $U_e = 0 \dots 5 \text{ V}$ ;  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ ;  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ;  $R_3 = 4,7 \text{ }\Omega$ ;  $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$

OPV<sub>1</sub> und OPV<sub>2</sub> sind Rail-to-Rail-Typen

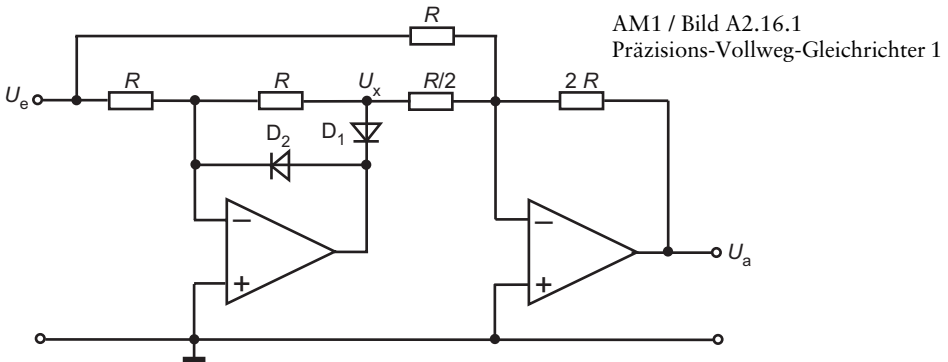
$T_1$ : N-Kanal-MOSFET mit  $R_{DS(on)} = 1 \text{ }\Omega$ ;  $T_2$ : P-Kanal-MOSFET mit  $R_{DS(on)} = 0,1 \text{ }\Omega$

- a) Warum ist der Ausgangsstrom  $I_a$  unabhängig von  $R_4$ ?
- b) Wie groß ist die Spannung am Punkt A allgemein?
- c) Wie groß ist der Strom  $I_1$  allgemein?
- d) Wie groß ist die Spannung am Punkt B allgemein?
- e) Wie groß ist die Spannung am Punkt C allgemein?
- f) Wie groß ist der Ausgangsstrom  $I_a$  allgemein?
- g) Wie groß ist die Spannung am Punkt D allgemein?
- h) Ermitteln Sie  $I_a$  zahlenmäßig
  - (1) für  $U_e = 0$
  - (2) für  $U_e = 5 \text{ V}$

- i) Wie groß darf  $R_L$  höchstens werden, damit noch ein Strom  $I_a = 100 \text{ mA}$  erreicht wird?
- j) Muss die Versorgungsspannung stabilisiert sein (begründen Sie Ihre Antwort)?

**AM1 / A2.16**

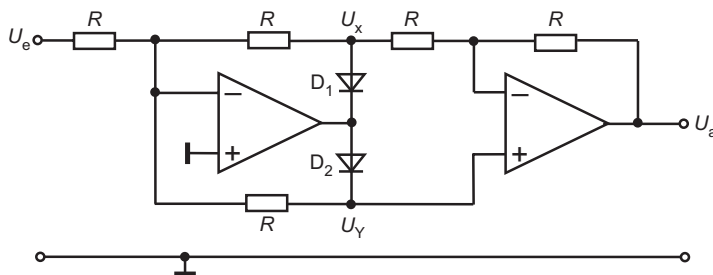
Gegeben ist die Schaltung von AM1 / Bild A2.16.1 eines Präzisions-Vollweg-Gleichrichters



- a) Tragen Sie an allen Knoten die Spannung ein für den Fall  $U_e = 1 \text{ V}$  (Hinweis:  $D_1$  leitet,  $D_2$  sperrt)
- b) Geben Sie die Beziehung  $U_a = f(U_e, U_x, R)$  für den 2. OPV an.
- c) Geben Sie die Gleichung für die Gesamtschaltung an.
- d) Wie groß ist der Eingangswiderstand  $R_e$  der Gesamtschaltung allgemein?

**AM1 / A2.17**

Gegeben ist die Schaltung von AM1 / Bild A2.17.1 eines Präzisions-Vollweg-Gleichrichters



AM1 / Bild A2.17.1 Präzisions-Vollweg-Gleichrichter 2

- a) Tragen Sie an allen Knoten die Spannung ein für den Fall  $U_c = 1 \text{ V}$ .  
 Hinweis 1:  $D_1$  leitet,  $D_2$  sperrt.  
 Hinweis 2: Eine Möglichkeit mit der Lösung der Aufgabe zu beginnen ist zu überlegen,  
 wo  $I \approx 0$  gilt und dann zu überlegen, wo  $U \approx 0$  gilt.
- b) Berechnen Sie die Beziehung  $U_a = f(U_X, U_Y, R)$ .

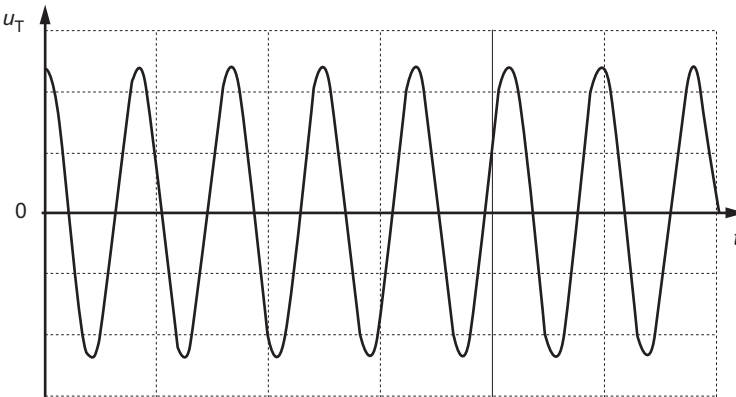
**AM1 / A2.18**

Beschreiben Sie in kurzen Sätzen die Wirkungsweise und die Einsatzmöglichkeiten eines Trägerfrequenzverstärkers.

**AM1 / A2.19**

Ein induktiver Schwingwegaufnehmer wird mit einem Trägerfrequenzverstärker (TFV) betrieben. In AM1 / Bild A2.19.1 a) ist das Trägerfrequenzsignal  $u_T(t)$  des TF-Oszillators und in AM1 / Bild A2.19.1 b) das Schwingwegsignal  $u_S(t)$  des induktiven Aufnehmers dargestellt.

Skizzieren Sie mit Hilfe des Trägerfrequenzsignals  $u_T(t)$  und des Aufnehmersignals  $u_S(t)$  das Ausgangsspannungssignal  $u_a(t)$  des Trägerfrequenzverstärkers.



AM1 / Bild A2.19.1a Trägerfrequenzsignal  $u_T(t)$