

Grundlagen der Elektronik und Messtechnik



Grundlagen der Elektronik und Messtechnik

Herausgeber HYDAC Service GmbH
 Training Center
 Hirschbachstraße 2
 D-66125 Dudweiler/Saar
 E-Mail: Training-Center@hydac.com
 SAP-Nr. 3508607

Abbildungen sofern keine abweichenden Quellenangaben vermerkt: HYDAC International GmbH

© 2016 by HYDAC International GmbH
Alle Rechte vorbehalten.

www.hydac.com

Haftungsausschluss

Wir haben unser Möglichstes getan, die Richtigkeit des Inhalts dieser Unterlagen zu gewährleisten, dennoch können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Deshalb übernehmen wir keine Haftung für Fehler und Mängel in diesem Dokument, auch nicht für Folgeschäden, die daraus entstehen können. Die Angaben in dieser Druckschrift werden regelmäßig überprüft, und notwendige Korrekturen sind in den nachfolgenden Auflagen enthalten. Für Anregungen und Verbesserungsvorschläge sind wir dankbar. Inhaltliche Änderungen dieser Unterlagen behalten wir uns ohne Ankündigung vor. Nachdruck nur mit unserer Genehmigung möglich!

I	Einführung in die Physikalischen Grundlagen	
1	Einleitung	9
1.1	SI-Basisgrößen und -einheiten	9
1.2	Einheitenvorsätze	10
2	Grundgrößen und Grundgesetze	11
2.1	Gleichstromkreis	11
2.2	Elektrische Ladung, Elementarladung	12
2.3	Elektrischer Strom	12
2.4	Spannung und Potential	13
2.5	Strom- und Spannungsarten	14
2.6	Effektivwert	15
2.7	Ohmsches Gesetz	16
2.8	Widerstand und Leitwert	17
2.9	Temperaturabhängigkeit von Festwiderständen	19
2.10	Temperaturabhängigkeit von Widerständen NTC/PTC	20
2.11	Leistung und Energie	21
2.12	Wirkungsgrad	22
3	Elektrische und magnetische Felder	23
3.1	Elektrostatistisches Feld	23
3.2	Magnetismus	24
3.3	Magnetisches Feld	25
3.4	Elektromagnetismus	26
3.5	Induktion	27
4	Halbleiterphysik	29
4.1	Halbleiterwerkstoffe	29
4.2	Spezifischer Widerstand/Leitfähigkeit	30
4.3	Dotieren	31
II	Komponenten und ihre Anwendung	33
1	Einleitung	35
1.1	Sicherheitshinweise	35
1.2	Grundsätzliches zu Schaltungen	36
2	Spannungs- und Stromquellen	37
2.1	Ideale Spannungsquelle	37
2.2	Reale Spannungsquelle	38
2.3	Ideale Stromquelle	39
2.4	Reale Stromquelle	40
2.5	Spannungserzeugung/Energieumwandlung	41
2.5.1	Generator (Dynamo)	42
2.5.2	Galvanisches Element	43
3	Fest-Widerstand	45
3.1	Allgemein	45
3.2	Reihenschaltung von Widerständen	46
3.3	Parallelschaltung von Widerständen	46
3.4	Messen von Strom und Spannung am Widerstand	47
4	Kapazität (Kondensator)	49
4.1	Allgemein	49
4.2	Reihenschaltung von Kapazitäten	50
4.3	Parallelschaltung von Kapazitäten	50
4.4	Reihenschaltung von R und C an einer Spannungsquelle	51
5	Induktivität (Spule)	53
5.1	Allgemein	53
5.2	Reihenschaltung von Induktivitäten	54
5.3	Parallelschaltung von Induktivitäten	55
5.4	Reihenschaltung von R und L an einer Spannungsquelle	55
5.5	Abschalten einer ohmsch-induktiven Last ohne Freilaufdiode	56
5.6	Abschalten einer ohmsch-induktiven Last mit Freilaufdiode	57
5.7	Elektromagnet	58
6	Halbleiterdiode	59
6.1	Allgemein	59
6.2	Diodenkennlinie	60
6.3	Einweg-Gleichrichterschaltung (E1)	61

6.4	Brücken-Gleichrichterschaltungen (B2)	62
6.5	Glättung und Siebung	63
7	Bipolar-Transistor	65
7.1	Allgemein	65
7.2	Grundsaltungen	67
7.3	Transistor als Schalter	68
III	Messumformer	71
1	Einleitung	73
1.1	Übersicht	73
1.2	Grundsätzliches zum Messen	73
1.3	Messgrößen in der Hydraulik	74
2	Aufbau	75
2.1	Sensorzelle	76
2.1.1	Dehnungsmess-Streifen (DMS)	77
2.1.1.1	DMS-Varianten	78
2.1.1.2	DMS-Messbrücke	79
2.1.2	Piezoelektrisch	80
2.1.3	Thermoelement	81
2.1.4	Induktiv (induktiver Näherungsschalter)	82
2.1.5	Kapazitiv (kapazitiver Näherungsschalter)	83
2.2	Signalaufbereitung	84
2.3	Elektrische Schnittstelle	85
2.4	Messbereich	86
IV	Messverfahren	87
1	Einleitung	89
1.1	Messkette	89
1.2	Auswahl des Messumformers	90
1.2.1	Genauigkeit	91
1.2.2	Kennlinienabweichung von Grenzpunkteinstellung	92
1.2.3	Kennlinienabweichung bei Kleinstwerteinstellung	93
1.2.4	Genauigkeitsangabe: Typ und Max.	94
1.2.5	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	95
1.2.6	Temperatureinfluss	96
1.2.7	Messdynamik	97
1.2.8	Langzeitstabilität	98
1.3	Auswahl des Messgerätes	99
1.3.1	Abtastrate	100
1.3.2	Transientenrecorder mit Trigger	101
1.3.3	Messkanal	102
2	Druck-Messtechnik	103
2.1	Einleitung	103
2.2	Mechanische Druckmessumformer	104
2.2.2	Druckmessumformer mit Plattenfeder (Membran)	105
2.2.1	Druckmessumformer mit Rohrfeder (Bourdon-Rohr)	106
2.2.4	Kolbenmanometer	107
2.2.3	Differenzdruckmessumformer	108
2.2.5	Kalibrierung	109
2.3	Elektronische Druckmessumformer	110
2.3.1	Dehnungsmessstreifen (DMS)	111
2.3.2	Piezoresistiv	112
2.3.3	Kapazitiv	113
2.3.4	Genauigkeit	114
2.4	Druckschalter	115
2.4.1	Bauformen	116
2.4.1.1	Mechanische Druckschalter	117
2.4.1.2	Elektrische Druckschalter	118
2.4.2	Genauigkeit	119
3	Volumenstrom-Messtechnik	121
3.1	Einleitung	121
3.2	Verdrängerprinzip	122
3.2.1	Zahnradzähler	122
3.2.2	Ovalradzähler	123

3.3	Strömungsprinzip	124
3.3.1	Volumenstrommessblende	124
3.3.2	Schwebekörperverfahren	125
3.3.2.1	Schwebekörper nach dem Schwerkraftprinzip	125
3.3.2.2	Schwebekörper gegen Federkraft	126
3.3.3	Turbinenradzähler	127
3.4	Geschwindigkeitsmessung	128
3.4.1	Ultraschallsensor	128
3.4.2	Kalorimetrische Messung	129
4	Temperatur-Messtechnik	131
4.1	Widerstandsthermometer	132
4.2	Thermistoren	133
4.3	Thermoelement	134
4.4	Pyrometer	135
4.5	Vergleich	136
4.6	Genauigkeit	137
4.7	Ansprechverhalten	138
4.8	Einbaukriterien	139
5	Füllstandsmesstechnik	141
5.1	Schauglas	142
5.2	Schauglas mit Schwimmerschalter	143
5.3	Schauglas mit Thermoschalter	144
5.4	Kapazitives Messverfahren	145
6	HMG 2500	147
6.1	Aufgaben und Funktion	147
6.2	Technische Daten	148
6.3	Das Gerät	149
6.3.1	Bedienelement	149
6.3.2	Anschlüsse	150
6.4	Durchführung einer Messung	151
6.4.1	Einstellung der Messkanäle	151
6.4.2	Anzeigeeinstellungen	152
6.4.3	Aufnahme starten	153
6.4.4	Aufnahme ansehen	154
6.5	HMGWIN	155
V	Anhang	157
1	Tabellen	157
1.1	Einheiten der Elektrotechnik	157
1.2	Naturkonstanten	158
1.3	Formelzeichen des griechischen Alphabets	158
1.4	Farbcode zur Kennzeichnung der Widerstände (4 Ringe)	159
1.5	Farbcode zur Kennzeichnung der Widerstände (5 Ringe)	160
2	Formelsammlung	161
2.1	Grundlegende Größen	161
2.2	Widerstandsschaltung	162
2.3	Elektrisches Feld und Kondensator	163
2.4	Magnetisches Feld und Spule	164
3	Schaltzeichen	165
3.1	Grundlegende Elektronische Schaltzeichen	165
3.2	Weitere Elektronische Schaltzeichen	166
4	Schutzmaßnahmen	167
4.1	Allgemein	167
4.2	Stromwirkung	169
4.3	Normen	170
4.4	Schutzklassen	170
4.5	Schutzarten	171

Vorwort

HYDAC ist ein weltweit tätiges Unternehmen mit einer breiten Produktpalette rund um die Fluidtechnik. Das Produktangebot reicht von Komponenten über Subsysteme bis hin zu komplexen, gesteuerten und geregelten Antriebseinheiten für mobile und stationäre Maschinen und Anlagen.

Zusätzlich bieten wir unseren Kunden ein umfassendes Paket an technischen Dienstleistungen im Rahmen des HYDAC-Fluidengineering für Medien wie Hydrauliköle, Schmierstoffe, Kühlschmierstoffe und Wasser. Unsere Ziele sind ausschließlich darauf ausgerichtet, die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen zu erhöhen und die Betriebskosten unserer Kunden zu senken.

HYDAC verfügt über ein weltweites Netzwerk aus Kompetenz, sowie Qualitätsanspruch, Kundenorientierung und erfüllt damit die hohen Anforderungen des internationalen Marktes.

Der kontinuierliche Ausbau unserer globalen Präsenz mit starker lokaler Ausrichtung ermöglicht es uns, nahezu an jedem Ort der Welt auf die Bedürfnisse unserer Kunden einzugehen.

Mit 12 Vertriebsbüros in Deutschland, über 45 Auslandsgesellschaften mit teilweise eigener Produktion oder Montage, mehr als 500 Vertriebs- und Servicepartnern und über 7000 Mitarbeitern ist HYDAC immer in Ihrer direkten Nähe.

Um unsere Mitarbeiter, Servicepartner und Kunden in die Lage zu versetzen den ständig wachsenden Anforderungen und Aufgaben in ihrem beruflichen Umfeld gerecht werden zu können, bieten wir in unserem Training Center Schulungen, Seminare und praktische Trainings an.

Dabei gewinnt der Begriff „Lebenslanges Lernen“ immer mehr an Bedeutung.

Lernen hört nach Schule, Ausbildung oder Studium nicht auf, denn Lernen ist das wesentliche Werkzeug zum Erlangen von Bildung und damit für die Gestaltung individueller Lebens- und Arbeitschancen.

Lebenslanges Lernen durchbricht die Grenzen herkömmlicher Bildungsstrukturen und die Einteilung in strikt aufeinander folgende Abschnitte eines Bildungsweges, der oft mit dem Schul- oder dem Hochschulabschluss beendet ist. Es schließt auch mit ein, Bildung als Weg zu mehr Eigenverantwortlichkeit im Leben zu erkennen und zu nutzen. Die Befähigung zum lebenslangen Lernen wird zukünftig immer stärker ein wesentlicher Schlüssel für den persönlichen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Erfolg sein.

Um diesen innovativen Formen des Lernens individuell gerecht werden zu können haben wir uns für ein Lernkonzept entschieden, welches die medialen Möglichkeiten des E-Learnings mit den Vorteilen von Präsenzs Schulungen und praktischen Trainings bedarfsgerecht kombiniert.

Zu diesem Konzept gehört auch die Entwicklung einer Buchserie, in der sowohl grundlegende Themen der Hydraulik als auch weiterführende hydraulische Systeme behandelt werden sollen.

Das vorliegende Buch kann begleitend in unseren Seminaren und Schulungen eingesetzt werden und soll zugleich als Nachschlagewerk dienen für die weitere berufliche Praxis.

Jürgen Ringle
Leiter HYDAC Training Center

I Einführung in die Physikalischen Grundlagen

In diesem Kapitel werden die physikalischen Grundlagen und Effekte der Elektrotechnik erklärt. Dabei wird insbesondere auf die physikalischen Grundgrößen und ihre Einheiten eingegangen.



Anmerkungen:

1 Einleitung

1.1 SI-Basisgrößen und -einheiten

Messbare Eigenschaften von Körpern oder physikalischen Zuständen nennt man physikalische Größen. Sie bestehen aus einem Zahlenwert und der Maßeinheit. In der Technik werden nur SI-Einheiten oder davon abgeleitete Einheiten verwendet (siehe Tabelle).

SI-Einheiten:

Basisgröße	Basiseinheit	Einheitenzeichen	Formelzeichen
Länge	Meter	m	l
Masse	Kilogramm	kg	m
Zeit	Sekunde	s	t
elektrische Stromstärke	Ampere	A	I
Temperatur	Kelvin	K	T
Stoffmenge	Mol	mol	n
Lichtstärke	Candela	cd	I_v

Abb. 1 Tabelle SI-Einheiten

1.2 Einheitenvorsätze

Sehr große und sehr kleine Größenwerte drückt man mit einem Einheitenvorsatz aus.

Die Einheitenvorsätze (auch SI-Präfixe genannt) basieren auf Zehnerpotenzen mit ganzzahligen Exponenten und werden im Internationalen Einheitensystem (SI) verwendet.

Die SI-Präfixe sind folgendermaßen definiert:

SI-Präfixe	Name	Wert	
T	Tera	$(10^3)^4 = 10^{12}$	1.000.000.000.000
G	Giga	$(10^3)^3 = 10^9$	1.000.000.000
M	Mega	$(10^3)^2 = 10^6$	1.000.000
k	Kilo	$(10^3)^1 = 10^3$	1.000
h	Hekto	10^2	100
da	Deka	10^1	10
Einheit		10^0	1
d	Dezi	10^{-1}	0,1
c	Zenti	10^{-2}	0,01
m	Milli	$(10^{-3})^1 = 10^{-3}$	0,001
μ	Mikro	$(10^{-3})^2 = 10^{-6}$	0,000.001
n	Nano	$(10^{-3})^3 = 10^{-9}$	0,000.000.001
p	Piko	$(10^{-3})^4 = 10^{-12}$	0,000.000.000.001
f	Femto	$(10^{-3})^5 = 10^{-15}$	0,000.000.000.000.001

2 Grundgrößen und Grundgesetze

2.1 Gleichstromkreis

Ein Stromkreis besteht mindestens aus:

- Stromerzeuger (z. B. Batterie, Generator)
- Verbraucher (z. B. Glühlampe, Motor)
- Hin- und Rückleiter

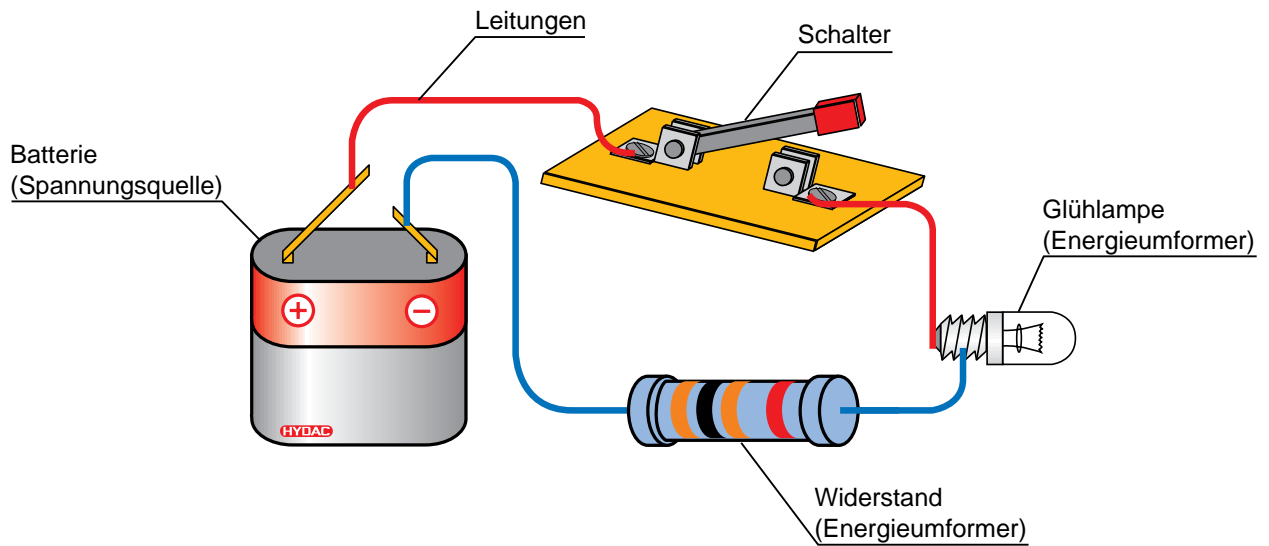


Abb. 2 Zeichnerische Darstellung eines Gleichstromkreises

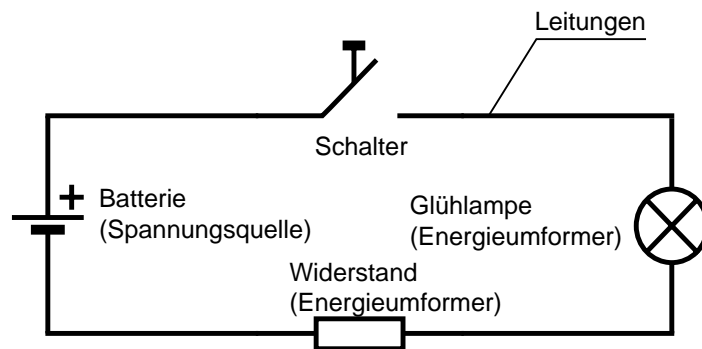


Abb. 3 Symbolische Darstellung eines Gleichstromkreises

2.2 Elektrische Ladung, Elementarladung

Formelzeichen	Basiseinheit
Q	$C = As$ (Coulomb)

Alle elektrischen Erscheinungen lassen sich auf die Ladung zurückführen. Man unterscheidet zwischen positiver (+) und negativer (-) Ladung. Zwischen elektrischen Ladungen besteht eine Kraftwirkung (Coulombsches Gesetz). Ladungen gleichen Vorzeichens stoßen sich ab. Ladungen ungleichen Vorzeichens ziehen sich an.

Physikalisch gesehen ist jede Ladungsmenge ein ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung e ($e = +/- 1,602 \cdot 10^{-19} C$). Elektronen tragen die negative Elementarladung, Protonen die positive Elementarladung. Ein Mangel an Elektronen auf einem Körper bewirkt eine positive Ladung des Körpers, ihr Überschuss eine negative.

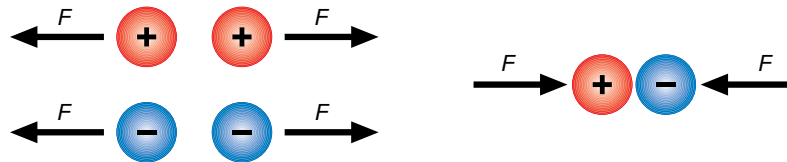


Abb. 4 Anziehung und Abstoßung von elektrischen Ladungen



Merke:

Zum trennen zweier Ladungsträger mit unterschiedlicher Polarität benötigt man Arbeit.
 Arbeit = Kraft \cdot Weg $\Rightarrow W = F \cdot s$

2.3 Elektrischer Strom

Formelzeichen	Basiseinheit
I	A (Ampere)

Die gerichtete Bewegung der elektrischen Ladungsträger bezeichnet man als elektrischen Strom. Der elektrische Strom fließt nur, wenn genügend freie und bewegliche Ladungsträger zwischen zwei unterschiedlichen elektrischen Ladungen vorhanden sind. Zum Beispiel in einem leitfähigen Material (Metall, Flüssigkeit, etc.).

Beispiel:

Der Stromfluss wird gerne mit fließendem Wasser in einem Rohr verglichen. Je mehr Wasser im Rohr, desto mehr Wasser kommt am Ende des Rohres an. Genauso ist es auch bei dem elektrischen Strom.

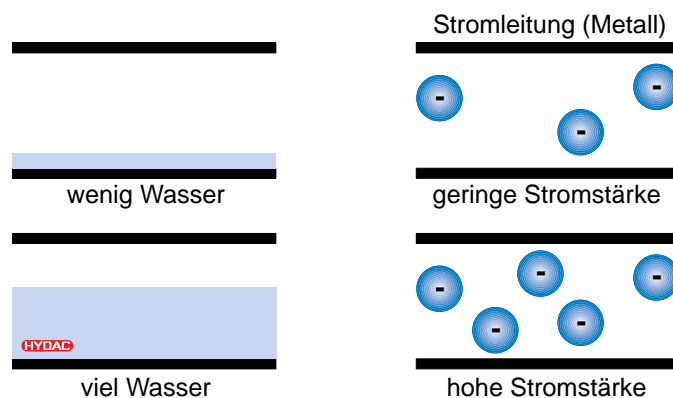


Abb. 5 Vergleich zwischen Wasserstrom und elektrischem Strom

Je mehr freie Ladungsträger vorhanden sind, desto größer ist die elektrische Stromstärke durch den Leiter. In metallischen Leitern sind Elektronen die Ladungsträger.

Offener und geschlossener Stromkreis:

Generell bewegen sich Ladungen immer in einem Kreislauf. Das heißt, der Strom fließt immer in einem geschlossenen Umlauf. Ist der Schalter also geöffnet, kann kein Strom fließen. Erst wenn der Schalter geschlossen wird, kommt es zu einem Stromfluss, da der Stromkreis geschlossen wird.

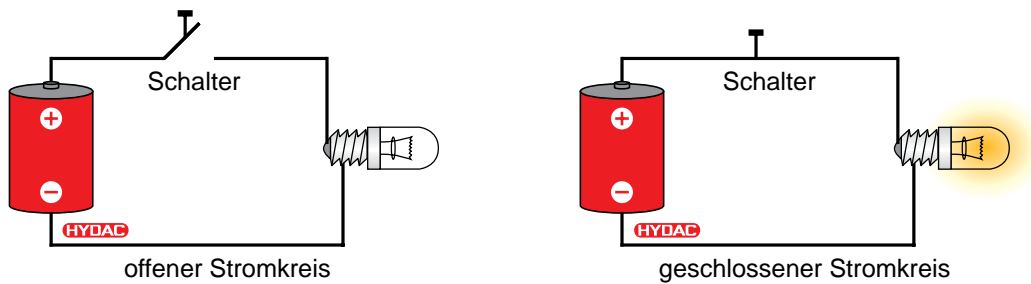


Abb. 6 Schaltplan elektrischer Stromkreis

2.4 Spannung und Potential

Formelzeichen Spannung	Basiseinheit Spannung
U	V (Volt)

Die elektrische Spannung gibt den Unterschied der Ladungen zwischen zwei Polen an.

Spannungsquellen besitzen mindestens zwei Pole mit unterschiedlichen Ladungen. Auf der einen Seite befindet sich der Pluspol mit einem Mangel an Elektronen. Auf der anderen Seite befindet sich der Minuspol mit einem Elektronenüberschuss. Die Differenz der Elektronenmenge nennt man elektrische Spannung. Werden nun die Pole der Spannungsquelle miteinander verbunden, kommt es zu einem Stromfluss (Entladung). Dabei fließt der Strom immer vom Pluspol zum Minuspol der Spannungsquelle (technische Stromrichtung). Die elektrische Spannung ist somit die treibende Kraft, die die Ladungsbewegung verursacht.

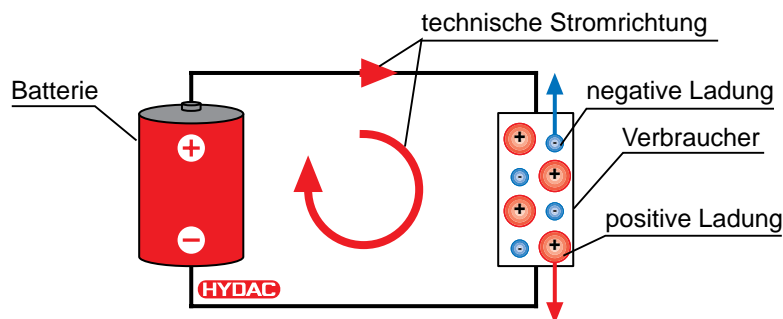


Abb. 7 Spannung einer Batterie



Merke:

Spannung entsteht durch Ladungstrennung. Das Streben getrennte Ladung wieder auszugleichen ist die elektrische Spannung mit dem Formelzeichen U . Spannung ist die zur Trennung aufgewendete Arbeit pro Ladung.

Formelzeichen Potential	Basiseinheit Potential
φ (Phi)	V (Volt)

Das Potential φ eines Punktes ist gleich der Spannung gegenüber einem bestimmten Bezugspunkt (z. B. Masse $\varphi_0 = 0$ V).

Bei der Messung eines positiven Wertes, ist das Potential positiver als der Bezugspunkt und das Vorzeichen ist Plus (φ_2, φ_3). Bei der Messung eines negativen Wertes genau umgekehrt (φ_1).

In einem Schaltplan wird die Wirkrichtung der Spannung durch einen Pfeil angezeigt. Grundsätzlich zeigt der Spannungspfeil von Plus nach Minus oder von einem höherem Spannungswert (Potential) zum niedrigeren Spannungswert (Potential).

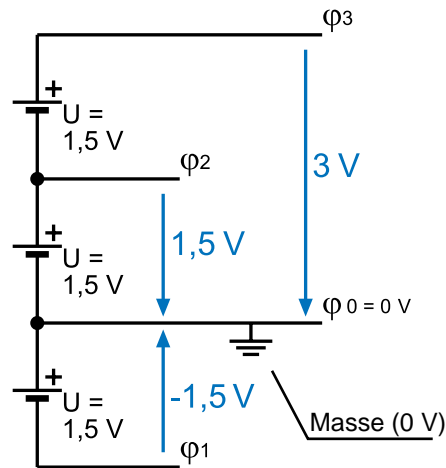


Abb. 8 Potential einer Batterie

2.5 Strom- und Spannungsarten

Gleichstrom/Gleichspannung (Englisch: Direct Current (DC)):

Gleichstrom ist ein Strom, der mit gleicher Stärke in die gleiche Richtung (Polung) fließt. Typische Gleichstromquellen sind Batterien, Solarzellen und Brennstoffzellen. Anwendung findet die Gleichstromtechnik z. B. bei Verstärkern, oder bei Schaltungen mit Halbleiterbauelementen und Relais.

Wechselstrom/Wechselspannung (Englisch: Alternating Current (AC)):

Wechselstrom ist ein Strom, der periodisch seine Größe und Richtung (Polung) ändert. Da Wechselstrom im Betrieb günstiger als Gleichstrom ist, wird unsere Energieversorgung mit sinusförmigem Wechselstrom betrieben. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Nachrichtentechnik.

Mischstrom/Mischspannung:

Mischstrom ist ein Strom, bei dem sich Gleichstrom- und Wechselstromanteile überlagern. Anwendung findet die Mischstromtechnik bei der Modulation, Wechselstromverstärkung und dem Telefonnetz.

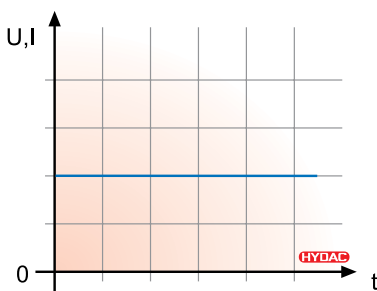


Abb. 9 Kennlinie Gleichstrom

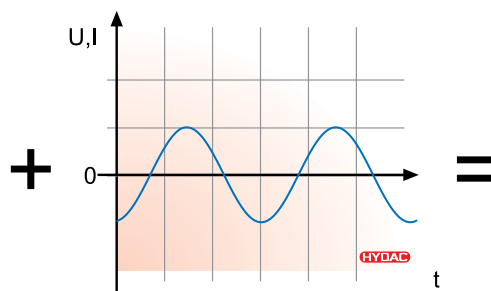


Abb. 10 Kennlinie Wechselstrom

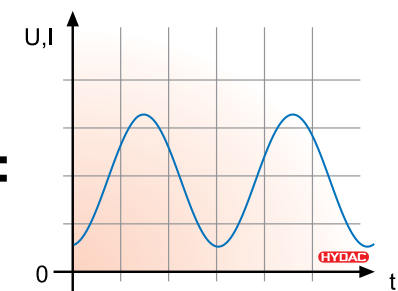


Abb. 11 Kennlinie Pulsierender Gleichstrom



Hinweis:

Allen weiteren physikalischen Betrachtungen wird eine Gleichstrom- bzw. Gleichspannungsquelle zu Grunde gelegt.

2.6 Effektivwert

Unter dem Effektivwert U_{eff} versteht man den quadratischen Mittelwert eines zeitlich veränderlichen Signals.

Er entspricht dem Wert einer Gleichspannung, die an einem ohmschen Verbraucher in der gleichen Zeit die gleiche Energie umsetzt. Dabei hängt seine Größe vom Scheitelwert \hat{U} (Amplitude) als auch von der Kurvenform des Signals ab.

Am häufigsten wird die Effektivspannung bei einer Wechselspannung angegeben, die man aus dem Stromnetz beziehen kann. Diese sinusförmige Spannung, mit einer Frequenz von 50 Hz (in den USA und anderen Ländern auch 60 Hz) und einem Scheitelwert von 325 V, erbringt an einem Verbraucher (z. B. einem Toaster) im zeitlichen Mittel die gleiche Leistung wie eine Gleichspannung von 230 V. Die Spitzenleistung zum Zeitpunkt des Scheitelwertes beträgt jedoch das Doppelte.

Mit Hilfe der Effektivwerte aus den periodischen Strom- und Spannungsverläufen können auf ohmsche Verbraucher die Gesetze der Gleichstromtechnik statt die der Wechselstromtechnik angewendet werden. Der Effektivwert einer sinusförmigen Wechselspannung berechnet sich nach untenstehender Formel.

Formel:

$$U_{eff} = U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$$

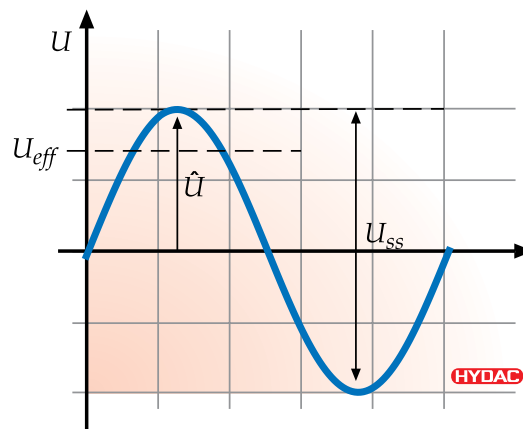


Abb. 12 Kennlinie Effektivwert



Hinweis:

U_{eff} = Effektivwert

U = Gleichspannung

\hat{U} = Scheitelwert der Wechselspannung

U_{ss} = Spitzen-Spitzen Wert der Wechselspannung



Accumulators DEF 3,000 J./.



Filtration Range DEF 7,000 J./.



Filters for Indust. Process. DEF 7,700 J./.



Fluid Service DEF 7,929 J./.



Compact Hydraulics DEF 5,300 J./.



Accessories DEF 6,100 J./.



Electronics DEF 18,000 J./.



Cooling Systems DEF 5,700 J./.

**Globale Präsenz.
Lokale Kompetenz.
www.hydac.com**



- HYDAC Stammhaus
- HYDAC Gesellschaften
- HYDAC Vertriebs- und Servicepartner

Lesesepare

HYDAC INTERNATIONAL

**HYDAC Service GmbH
TRAINING CENTER**

Hirschbachstraße 2
66280 Sulzbach/Saar
Germany

Phone:
+49 (0) 68 97/509-1022

Fax:
+49 (0) 68 97/509-1014

Internet: www.hydac.com
E-Mail: Training-Center@hydac.com



3508607