

Markus Hüging, Josef Kruse, Nico Nordendorf, Karl Renkert

Fachqualifikationen Elektrotechnik

Betriebstechnik
Lernfelder 5 bis 13

2. Auflage

Bestellnummer 50004



Bildungsverlag EINS



Haben Sie Anregungen oder Kritikpunkte zu diesem Produkt?
Dann senden Sie eine E-Mail an 50004@bv-1.de
Autoren und Verlag freuen sich auf Ihre Rückmeldung.

www.bildungsverlag1.de

Bildungsverlag EINS
Sieglarer Straße 2, 53842 Troisdorf

ISBN 978-3-427-**50004-9**

© Copyright 2009: Bildungsverlag EINS GmbH, Troisdorf

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf deshalb der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

Hinweis zu § 52a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

Inhalt

5	Energieversorgung und Sicherheit von Betriebsmitteln gewährleisten	27
5.1	Kompressor installieren und in Betrieb nehmen	27
	Sternschaltung	28
	Dreieckschaltung	28
	Leistung bei Stern- und Dreieckschaltung	32
	Wirkungsgrad	33
	Stern-Dreieck-Anlassschaltung	33
	Leistungsmessung	43
	Zeitabhängige elektromagnetische Schalter (Zeitrelais)	45
	Leitung zwischen Unterverteilung Tiefgarage und Schaltschrank Kompressorraum	47
	Unterverteilung Tiefgarage	48
	Kompressor in Betrieb nehmen	50
	NH-Sicherungssysteme	51
	Sicherungstrenner	52
	Sicherungslasttrenner	52
	Lasttrennschalter	52
	Netzsysteme	53
5.2	Aufstellung der drei Kompressoren vorbereiten	58
	Inbetriebnahme	61
	Farbkennzeichnung in Steuerstromkreisen	69
	Pflichtenheft	69
	Nachweis der durchgängigen Verbindung des Schutzleitersystems	71
	Abnahme von Maschinen	72
	Niederohmige Prüfung des Schutzleiters	73
	Messung der Schleifenimpedanz	73
	Isolationsmessung	74
	Schutz gegen Restspannung	76
	Gefahren bei der Anwendung der elektrischen Energie	76
	Begriffsbestimmungen	76
	Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag	77
	Spannungsfall auf Wechselstromleitungen, Leistungsverlust	80
6	Geräte und Baugruppen in Anlagen analysieren und prüfen	81
6.1	Entwurf der Kompressorsteuerung analysieren	81
	Schaltungsanalyse	83
	Programmablaufplan	89
	Druckwächter	89

6.2 Vorrangsteuerung analysieren, prüfen und in Schaltung integrieren	90
6.3 Kompressoren mit Kleinsteuerung betreiben	93
Programm für Kleinsteuerung	95
Hardware auswählen	98
Kleinsteuerung	100
Programmierung	101
Anschlussplan der Kleinsteuerung	104
Not-Befehlseinrichtungen	106
Analogwertverarbeitung	108
6.4 Druckwächter mit analogem Ausgangssignal einsetzen	109
Darstellung von Analogwerten bei Kleinsteuerungen	112
Störsicherer Aufbau der Kleinsteuerung	115
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	117
Galvanische Kopplung	118
Kapazitive Kopplung	120
Abschirmung	120
Induktive Kopplung	121
Abschirmung magnetischer Felder	122
Leitungsgebundene Störungen	122
Abgestrahlte Störungen	124
Systematische EMV-Planung	124
Planung des Schaltschranks	124
6.5 Spannungsversorgung analysieren und testen	131
Schaltung der Netzteilplatine	131
6.6 Kompressoren mit Softstarter ausrüsten	139
Prinzip des Sanftanlaufs	139
Aufbau von Thyristoren	141
Thyristor an Spannung	141
Antiparallelschaltung von zwei Thyristoren im Wechselstromkreis	145
Wechselwegschaltungen im Softstarter	147
Ansteuerungsvarianten eines Softstarters	148
Parametrierung	150
Fehlerdiagnose	153
7 Steuerungen für Anlagen programmieren und realisieren	155
7.1 Speicherprogrammierbare Steuerungen auswählen	155
Auswahl der Hardware	156
System konfigurieren	159

Aufbau einer SPS	164
Programmierung einer SPS	166
Darstellung von Steuerungsprogrammen	168
Bearbeitung binärer Verknüpfungen	169
Speicherfunktionen	174
Zeitfunktionen	176
Programmtest	182
Sprachelemente, Datentypen und Variablen	185
Programmbearbeitung bei S7	186
Programmierung von Funktionen	187
Programmierung von Funktionsbausteinen	187
Programmierung von Datenbausteinen	188
Instanz-Datenbausteine	188
Quellorientierte Programmierung	191
7.2 Strukturierte Programmierung	193
Baustein Stern-Dreieck-Anlauf entwickeln	195
Kompressorsteuerung mit Funktionsbaustein Stern-Dreieck	201
Einbindung des Funktionsbausteins Stern-Dreieck	204
FB Stern-Dreieck quellorientiert erstellen	207
7.3 Zeitgeber für Instanzen entwickeln	208
Flankenauswertung	214
Lade- und Transferfunktionen	216
Arithmetische Funktionen	219
Vergleichsfunktionen	220
Statusbits	221
Sprungfunktionen	222
Zähler	223
7.4 Kompressorauslastung überwachen	225
Einschaltvorgänge der Kompressoren zählen	226
7.5 Kompressorsteuerung mit Ablaufsteuerung entwickeln	230
Steuerung eines Kompressors	230
Zweiten Kompressor hinzufügen	234
7.6 Ablaufsteuerung mit Schützen	237
Schrittfolge mit Schützen	237
Darstellung der Ablaufkette mit RS-Speichern	242
Flexibilisierung der Reihenfolge	244
Strukturierter Text (SCL)	246
Ablaufsprache	252
Schrittdarstellung	253
Befehle (Aktionen)	255
Befehlsfreigabe	260
Befehlsrückmeldung	260
Ablaufkette bei S7 (GRAPH7)	262

8	Antriebssysteme auswählen und integrieren	268
8.1	Austauschmotor für den Kompressor auswählen	268
	Anpassung des Motors an die Arbeitsmaschine	268
	Wechselstrommaschinen	280
	Energieumwandelnde Systeme	280
	Asynchronmotoren	282
	Kurzschlussläufermotor	283
	Kennlinien des Kurzschlussläufermotors	287
	Verluste des Asynchronmotors	288
	Schleifringläufermotor	290
	Energiesparmotoren	291
8.2	Geschwindigkeit des Rollengangantriebes anpassen	292
	Bauformen von Elektromotoren	294
	Polumschaltbarer Drehstrommotor mit getrennten Wicklungen	296
	Polumschaltbarer Drehstrommotor in Dahlanderschaltung	298
	Bremsen von Elektromotoren	302
	Betriebsarten von Elektromotoren	304
	Schutzarten	306
	Drehsinn	306
	Auswahl des Antriebsmotors	306
8.3	Temperaturgeregelten Schaltschrank-Lüfter einbauen	308
	Selbstanlaufende Einphasen-Wechselstrommotoren	311
	Kondensatormotor	312
	Drehstrom-Asynchronmotor an Einphasen-Wechselspannung	313
	Spaltpolmotor	313
	Linearmotor	315
	Gleichstrommotoren	317
	Bemessungsspannungen für Gleichstrommotoren	322
	Schaltungsarten	323
	Fremderregter Motor	323
	Nebenschlussmotor	324
	Reihenschlussmotor	325
	Doppelschlussmotor	325
	Universalmotor	326
	Schrittmotor	327
	Isolierstoffklassen	329
	Kühlung	329
	Wartung, Prüfung, Pflege	330
8.4	Fräsmaschine mit Servoantrieb ausrüsten	332
	Servomotor	333
	Servosystem	334
	Der Servoverstärker und seine Schnittstellen	335
	Technische Daten des Servoantriebes	341
	Hinweise zur Installation	343

9 Gebäudetechnische Anlagen ausführen und in Betrieb nehmen	344
9.1 Beleuchtung des Tischplattenmagazins planen	344
Beleuchtungstechnik	346
Lichttechnische Größen	346
Lichtstrom	346
Lichtmenge	347
Beleuchtungsstärke	347
Lichtstärke	347
Lichtausbeute	347
Leuchtdichte	347
Beleuchtungsniveau	348
Richtwerte für Beleuchtungsstärke	348
Lichtfarbe	348
Lampen	348
Glühlampen	348
Halogenglühlampen	349
Energiesparlampen	349
Natriumdampf-Niederdruck Lampen NA	349
Natrium-Hochdrucklampen NAV	350
Quecksilber-Hochdrucklampen	350
Halogen-Metaldampflampen	350
Mischlichtlampen	350
Industriebeleuchtung	351
9.2 Verwaltungsgebäude über den Installationsbus steuern	353
Technische Informationen	353
Aufbau des EIB-Systems	354
Telegramm	356
Physikalische Adressen	356
Schaltzeichen für EIB	357
Planung der Linienstruktur	357
Auswahl der Busteilnehmer	358
Spannungsversorgung der Teilnehmer	360
Installation des EIB	360
Prüfung der Installation	363
Projektierung	364
Inbetriebnahme	365
Dokumentation	367
9.3 Brandmeldeanlagen	368
Aufgaben und Schutzziele von Brandmeldeanlagen	368
Analyse der Brandmeldeanlage	369
Brandmelder	369
Rauchmelder	369
Anordnung und Anzahl der Brandmelder	370
Leitungen und Leitungsverlegung	372

9.4 Einbruchmeldeanlagen	373
Überwachungsarten	374
Einbruchmelder	374
Überfallmelder	377
Meldelinien	378
Sabotagemeldelinien	378
Anschluss der Melder	378
Auswahl und Verlegung der Leitung	379
Alarmzentrale und Schalteinrichtung	379
Energieversorgung der Zentrale	380
Alarmierungsgeräte	380
Geistige Schalteinrichtung	384
Blitzschutz	385
Äußerer Blitzschutz	385
Erdungsanlage	387
Innerer Blitzschutz	387
Schutz gegen Überspannung	389
Blitzstromableiter	390
Überspannungs-Schutzableiter	390
Geräteschutz	391
Funkenstrecke	392
Gleitentladungsstrecke	393
Varistoren	393
Supressor-Dioden	393
10 Energietechnische Anlagen errichten und instand halten	394
10.1 Energieversorgung der Tiefgarage erweitern, Parallelschaltung einer Leitung	394
10.2 Energieversorgung der Tiefgarage erweitern, einen weiteren Transformator aufstellen	397
10.3 Kompensation der Blindleistung	399
Kosten des Blindverbrauchs	404
Trennschalter (Trenner)	405
Erdungsschalter	406
HH-Sicherungen	406
Lastschalter	406
Leistungsschalter	408
Selektivität	409
Erdungsanlagen	410
Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art	412
Elektrische Betriebsstätten	412
Trockene Räume	413
Feuchte Bereiche	413

Nasse Räume	413
Anlagen im Freien	413
Feuergefährdete Betriebsstätten	413
Explosionsgefährdete Bereiche	413
Baustellen	416
Prüfung vor Inbetriebnahme von Niederspannungsanlagen	417
Besichtigen	417
Erproben	418
Messen	419
Prüfung des Hauptpotenzialausgleichs	421
Prüfung des zusätzlichen Potenzialausgleichs	421
Messung des Isolationswiderstandes	422
Durchgängigkeit des Schutzleiters	422
Messung von Schleifenimpedanzen	424
Prüfung bei Verwendung von RCDs	425
Prüfung ortsveränderlicher Betriebsmittel	426
Energieerzeugung	431
Dezentrale Energieversorgung	432
Aufbau des Energieverteilungsnetzes	434
Kabel und Freileitungen	437
Schutzeinrichtungen	438
Transformatoren	438
Übersetzungsverhältnisse	439
Betriebsverhalten des Transformators	441
Kurzschlussspannung	442
Belastungsverhalten	443
Belastungsarten	443
Kurzschlussstrom	444
Einschaltstrom	445
Wirkungsgrad	445
Drehstromtransformatorwicklungen	446
Schaltgruppen	448
Parallelschaltung von Transformatoren	449
Leistungsschild	449
Sondertransformatoren	450
Kleintransformatoren	451
Sicherheitstransformatoren	452
Messwandler	453

11 Automatisierte Anlagen in Betrieb nehmen und instand halten 455

11.1 Tischplattenmagazin in Betrieb nehmen 455

Steuerungsprogramm analysieren und instand setzen	463
Sensoren	473
Einteilung der Sensoren	474
Temperaturmessung	474
Thermoelemente	475

Messung mechanischer Größen	476
Induktive Näherungssensoren	478
Abstandssensor	483
Magnetfeldsensoren	483
Kapazitive Näherungssensoren	484
Optische Wegaufnehmer	485
Dehnungsmessstreifen	486
Drucksensoren	488
Tachogeneratoren	489
Digitaler Drehfrequenzaufnehmer	489
Drehgeber	490
Analogverarbeitung mit SPS	502
Fernwartung	505
Laden von Peripherie	507
Transferieren eines Wortes	507
UW – UND-Wort (16 bit)	507
Maskieren	507
Schiebefunktionen	508
Projektierung von Steuerungen	508
Zuverlässigkeit von Steuerungen	508
Fehlerverteilung bei SPS-Anlagen	509
Verfügbarkeit von Steuerungen	509
Sicherheit von Steuerungen	509
Elektromechanische und elektronische Steuerungen	510
Sicherheitsbestimmungen	510
Steuer- und Meldestromkreise	511
Steuertransformator	512
Schaltanlagen	514
Not-Befehlseinrichtungen	514
Mechanische Sicherheitsvorkehrungen	515
Not-Aus-Schaltgeräte, Schutztürwächter	516
Risikokategorien	516
Erdschlusssicherheit	520
Drahtbruchsicherheit	520
Zweihandverriegelung	520
11.2 Frequenzumrichter auswählen und parametrieren	522
Komponenten eines FU	522
Drehzahlverstellung eines DASM mit Frequenzumrichter	528
Auswahl des Frequenzumrichters	530
Installation des FU	531
Parametrierung des FU	531
Fachgespräch vorbereiten	535
Feldeffekttransistor	536
Operationsverstärker	540
AD-/DA-Wandler	546
11.3 Torsteuerungen.	552
SPS-Programm für Hallentor	555
Parkschrankensteuerung	557
Regelungstechnik	566

Komponenten und Größen eines Regelkreises	568
Zeitverhalten von Strecken.	569
Regler	575
Unstetige Regler (Zweipunktregler)	575
Stetige Regler	577
Regelkreis	582
11.4 Regelung parametrieren	584
11.5 Anbindung der Betriebstore an die Zentralsteuerung	591
Hierarchieebenen der Automatisierungstechnik	602
Datenübertragung	602
AS-Interface	608
PROFIBUS-DP.	609
12 Elektrische Anlagen planen und realisieren	615
12.1 Der betriebliche Auftrag	615
Pneumatik	623
Qualitätsmanagement	627
Projektbearbeitung	630
Dokumentation	633
Erstellung einer Dokumentation	636
Dokumentation eines betrieblichen Auftrages	637
Präsentation	638
13 Elektrotechnische Anlagen instand halten und ändern	643
13.1 Anlage Fußzufuhr instand setzen	643
Fehlersuche	647
Möglicher Ablauf von Instandsetzungsanlagen	647
Inspektion/Wartung.	648
Instandhaltung technischer Systeme.	649
Inspektion	649
Instandsetzung	650
Diagnose von Fertigungssystemen	651

6.5 Spannungsversorgung analysieren und testen

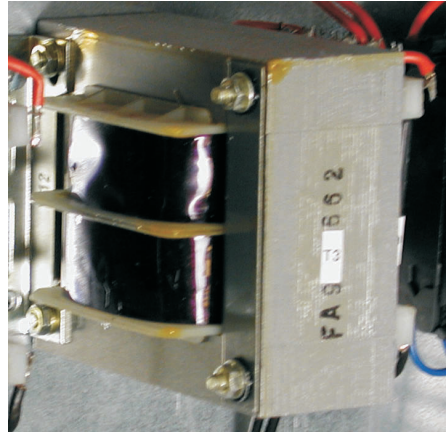
Auftrag

Für Ergänzungskomponenten der Kleinsteuerung und einiger 24-V-Gleichspannungsrelais wird eine stabilisierte Gleichspannung von 24 V benötigt.

Für diesen Zweck wurde in den Schaltschrank ein Transformator und eine Netzteilplatine eingebaut.

Sie erhalten vom Ausbilder den Auftrag, sich für künftige Wartungs- und Reparaturarbeiten mit dieser Gleichspannungsversorgung vertraut zu machen.

Dazu müssen Sie die Schaltung kennen, die Funktion der einzelnen Komponenten verstehen und wissen, wie die Schaltung messtechnisch zu überprüfen ist.



2 Transformator

Die **Gleichspannungsversorgung** enthält folgende **elektrotechnischen** Komponenten:

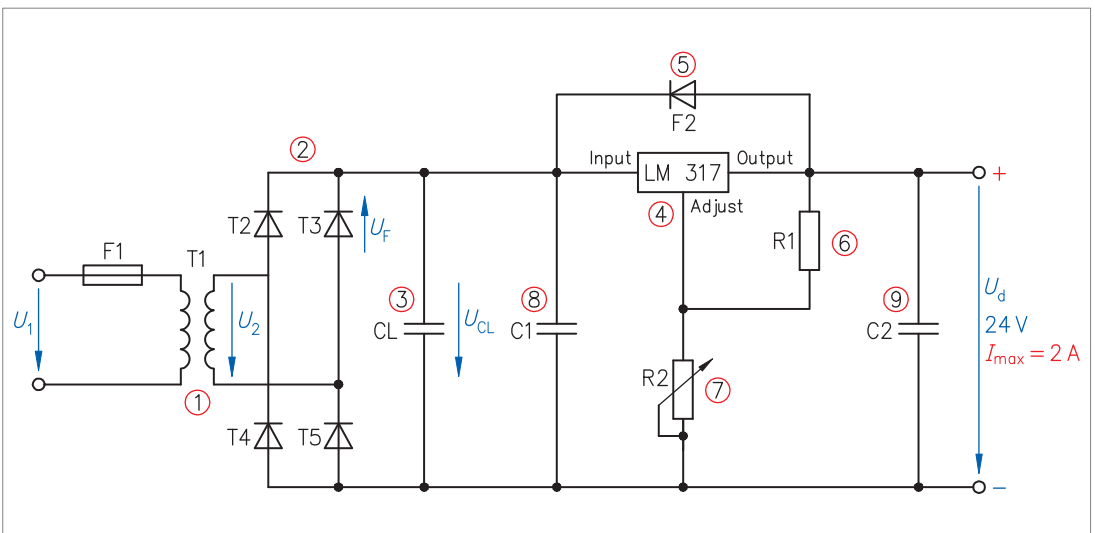
- (1) Netztransformator 230/24 V
- (2) Brückengleichrichter B 80 C 3200/5000
- (3) Elektrolytkondensator C_L 3300 μ F/60 V
- (4) Einstellbarer Spannungsregler LM317
- (5) Diode 1N4002
- (6) Festwiderstand R1
- (7) Einstellbarer Widerstand R2
- (8) Kondensator C_1 0,1 μ F
- (9) Kondensator C_2 10 μ F

Schaltung der Netzteilplatine

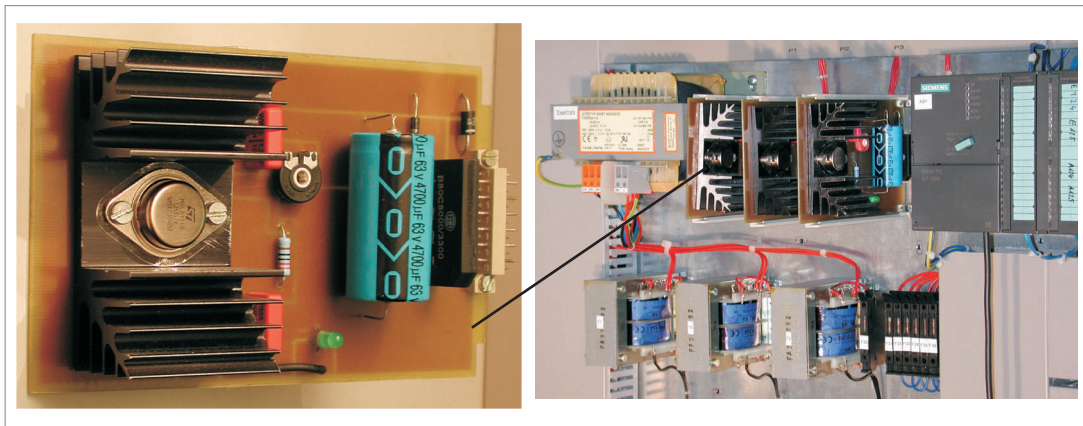
Der **Transformator** T1 setzt die Netzwechselfspannung $U_1 = 230$ V auf die benötigte Spannung $U_2 = 24$ V herab (\rightarrow 438). Dem **Gleichspannungsnetzteil** kann ein Strom von $I_{\max} = 2$ A entnommen werden.

Die **Gleichstromleistung** beträgt dann:

$$P_{d\max} = U_d \cdot I_{d\max} = 24 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 48 \text{ W}$$



1 Schaltung der Netzplatine, Platine auf Seite 132



1 Netzplatine und Spannungsversorgung

Der Transformator muss die **Scheinleistung** S abgeben.

Die **Trafo-Scheinleistung** ergibt sich aus

$$S = 1,23 \cdot P_d \quad (\rightarrow \text{Tabellenbuch})$$

$$S = 1,23 \cdot 48 \text{ VA} = 59 \text{ VA}.$$

Der Transformator T1 hat also die **Bemessungswerte**:

$$U_1 = 230 \text{ V}, U_2 = 24 \text{ V}, S = 60 \text{ VA}$$

Transformatoren dieser Leistungsklasse haben eine **relative Kurzschlussspannung** (\rightarrow 442) von etwa $u_K = 8\%$.

Dies bedeutet, dass bei Belastung des Trafos mit dem **Bemessungsstrom** ($I = 2 \text{ A}$) an der Sekundärwicklung ein **Spannungsfall** auftritt:

$$\Delta U_2 = \frac{U_{2N} \cdot u_K}{100\%}$$

$$\Delta U_2 = \frac{24 \text{ V} \cdot 8\%}{100\%} \approx 2 \text{ V}$$

Im **Leerlauf** müsste an der **Sekundärseite** des Transformators die Spannung

$$U_{20} = U_{2N} + \Delta U_2 = 24 \text{ V} + 2 \text{ V} = 26 \text{ V}$$

messbar sein.

Anwendung

1. Ermitteln Sie das Übersetzungsverhältnis des Transformators.
2. Wie groß ist etwa der Widerstand der Sekundärwicklung?
3. Warum muss der Transformator eine höhere Scheinleistung (23 %) abgeben, als dem Netzteil an Wirkleistung entnommen werden kann?

Die **Sekundärspannung** U_2 des Transformators ist die Eingangsspannung des **Brückengleichrichters** (\rightarrow Kernqualifikationen).

Der Gleichrichter B2 ist ein **Zweipulsleichrichter** und liefert eine **pulsierende Gleichspannung** mit **zwei Pulsen pro Periode** der Wechselspannung.

Der eingebaute Gleichrichter enthält 4 Dioden.

Während der **positiven Halbwelle** der Wechselspannung sind die Dioden T2 und T5 leitend, während der **negativen Halbwelle** die Dioden T3 und T4.

Wenn die **Schleusenspannung** der Leistungsdioden etwa 1 V beträgt, tritt für beide Halbwellen ein **Spannungsfall** von jeweils 2 V innerhalb des Gleichrichters auf.

Englisch

Transformator
transformer

Netzteil
power pack

Gleichrichter
rectifier

Brückengleichrichter
bridge rectifier

Kurzschlussspannung
short-circuit voltage,
impedance voltage

Leerlauf
no-load

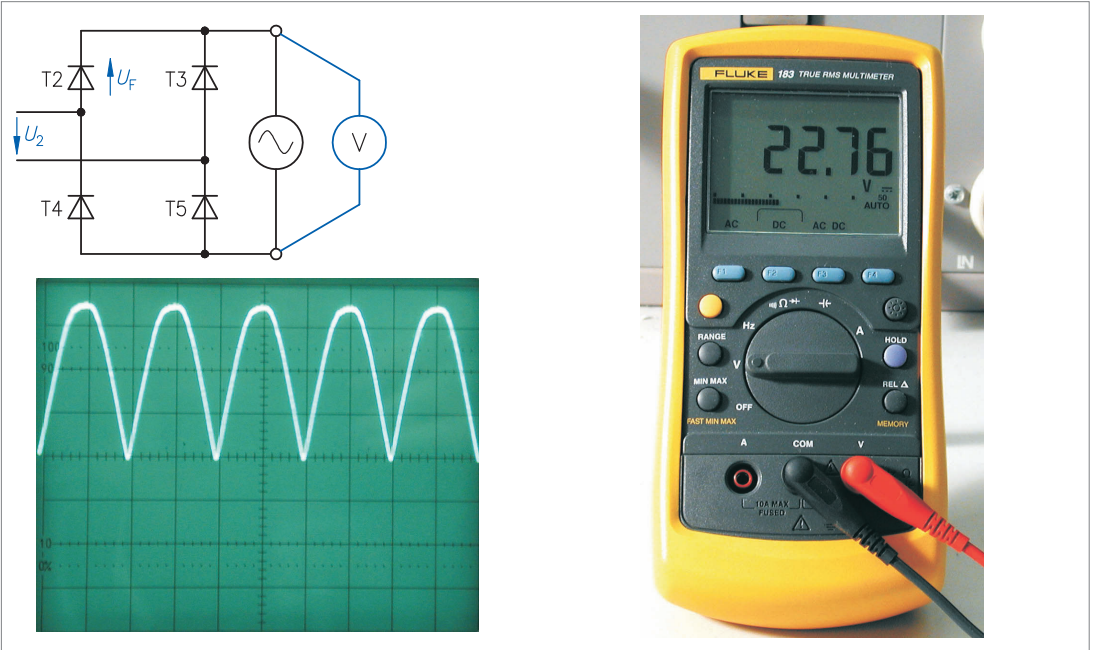
**Zweipuls-
Brückenschaltung**
two-pulse bridge
connection

Zweipulsleichrichter
two-phase rectifier

Amplitude
amplitude

Spitzenwert
peak voltage

Regler
regulator



1 Leerlaufspannung (ohne Ladekondensator), Einstellungen: 10 V/cm, 5 ms/cm, Messung U_{dAV}

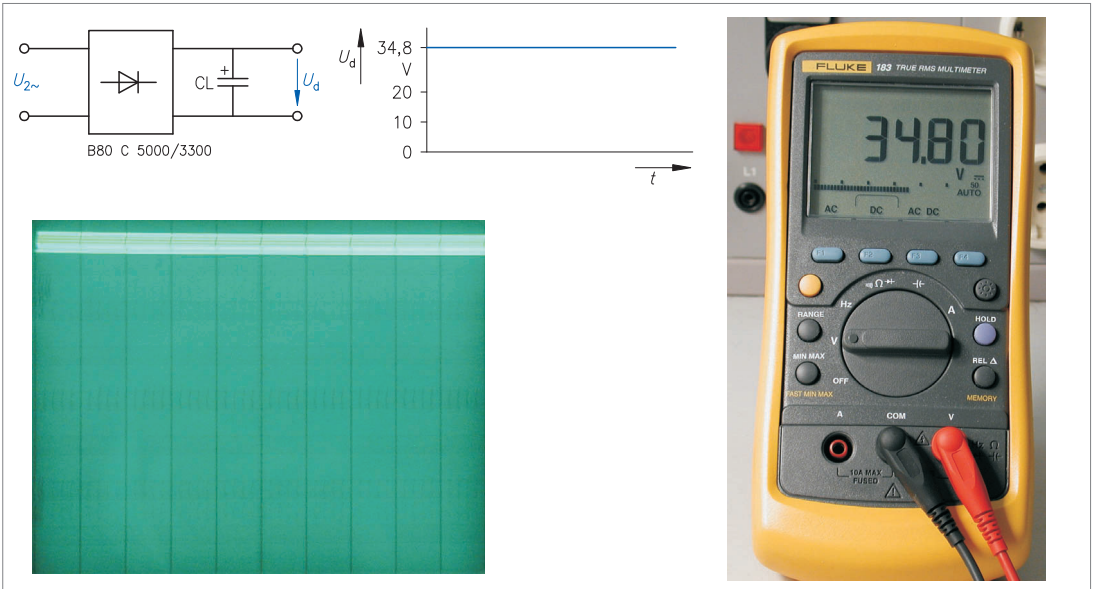
Im **Leerlauf** und ohne Anschluss des Ladekondensators ist mit dem *Oszilloskop* die in Bild 1 gezeigte Spannung darstellbar.

Die **Amplitude** der *pulsierenden* Spannung beträgt:

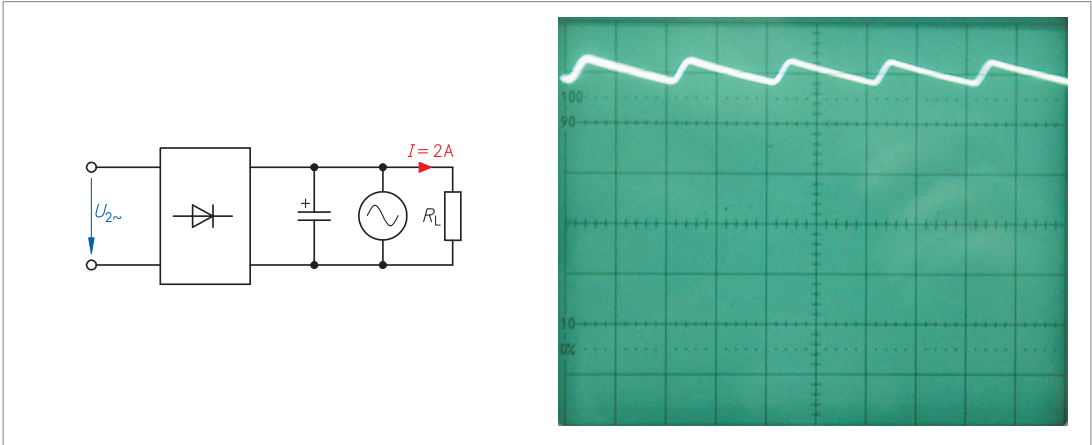
$$u_s = U_{20} \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot U_F$$

$$u_s = 26 \text{ V} \cdot \sqrt{2} - 2 \text{ V} = 34,8 \text{ V}$$

Mit einem **Multimeter**, Stellung DC, kann ein **Gleichspannungsanteil** U_{dAV} von 23 V gemessen werden (\rightarrow Tabellenbuch: $U_{di} = 0,9 \cdot U_{20}$).



2 Ladekondensator angeschlossen



1 Geglättete Spannung

Wird der Kondensator C_L angeschlossen, ergeben sich folgende Verhältnisse:

• *Leerlauf*

Der Kondensator lädt sich auf den **Spitzenwert** der pulsierenden Gleichspannung auf.

• *Belastung mit 2 A*

Einer Gleichspannung ist eine *nicht sinusförmige Wechselfspannung (Brummspannung)* überlagert. Der Kondensator wirkt als *Energiespeicher* (Puffer).

Ist die Spannung des Gleichrichters *größer* als die Kondensatorspannung, wird der *Kondensator geladen* und der *Gleichrichter* liefert zugleich den *Laststrom*.

Ist die Kondensatorspannung *größer* als die Spannung des Gleichrichters, liefert der *Kondensator* den *Laststrom*.

Die Spannung am Lastwiderstand (Bild 1) wird *geglättet (Glättungskondensator)*.

Die Höhe der Spannungsanteile an dieser **Mischspannung** (Gleichspannung U_{dAV} und Brummspannung U_{Br}) ist belastungsabhängig. Es gilt:

Zunehmender *Laststrom*

→ zunehmender *Brummspannungsanteil*

Die überlagerte **Brummspannung** kann überschlägig berechnet werden:

$$u_{Br} = \frac{0,75 \cdot I_L}{f_{Br} \cdot C_L} \text{ in Vss}$$

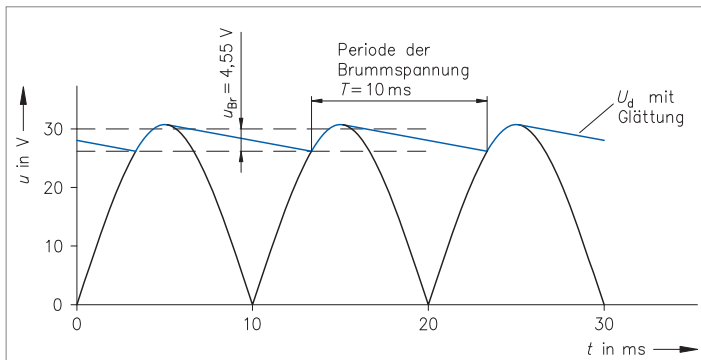
Das Ergebnis wird in *Volt-Spitze-Spitze (Vss)* angegeben.

Für den Belastungsfall $I_{dmax} = I_L = 2 \text{ A}$ ergibt sich:

$$u_{Br} = \frac{0,75 \cdot 2 \text{ A}}{100 \text{ Hz} \cdot 3,3 \text{ mF}} = 4,55 \text{ Vss}$$

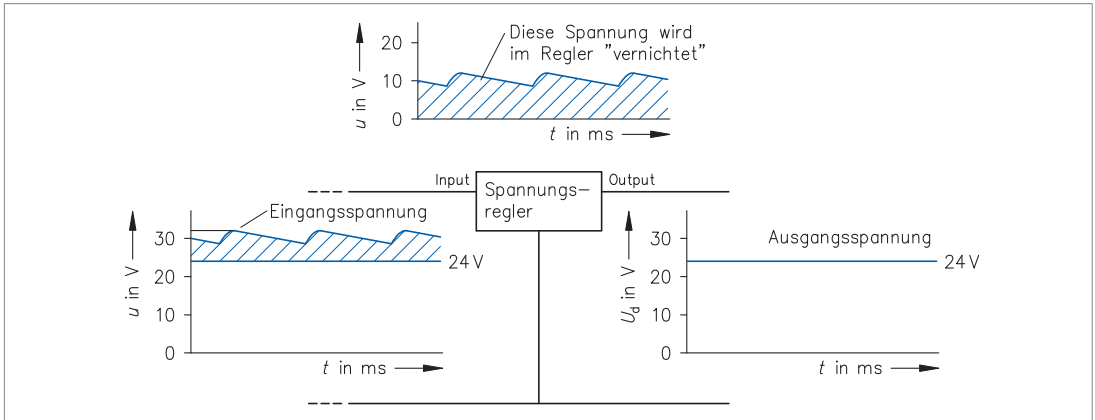
Spannungs-Zeit-Diagramm (Bild 2).

Diese Spannung u_d ist in dieser Form noch nicht für die vorgesehene Anwendung brauchbar.



2 Spannungs-Zeit-Diagramm

Englisch	Regelgröße	controlled value
	Störgröße	disturbance variable
	Stellglied	actuator
	Referenzspannung	reference voltage
	Regelabweichung	system deviation
	Wärmeleitung	heat conduction
	Kühlkörper	heat sink



1 Prinzip eines Spannungsreglers

Gefordert ist eine *konstante Gleichspannung* von $U_d = 24\text{ V}$. Diese Forderung kann durch einen **Festspannungsregler** erfüllt werden.

Auf dieser Netzteilplatine ist ein einstellbarer **Spannungsregler** (LM317) montiert.

Aufgabe eines *Spannungsreglers* ist, die Ausgangsspannung (U_d) bei *unterschiedlicher Belastung* und *schwankender Eingangsspannung konstant* zu halten.

Die Ausgangsspannung U_d wird in der Regelungstechnik (\rightarrow 566) als **Regelgröße** x bezeichnet.

Auf die Ausgangsspannung (Regelgröße) wirken **Störgrößen** z (z. B. Lastschwankungen), die die Ausgangsspannung beeinflussen.

Um diese *Störgrößen auszugleichen*, muss der *Innenwiderstand* des Spannungsreglers *veränderbar* sein:

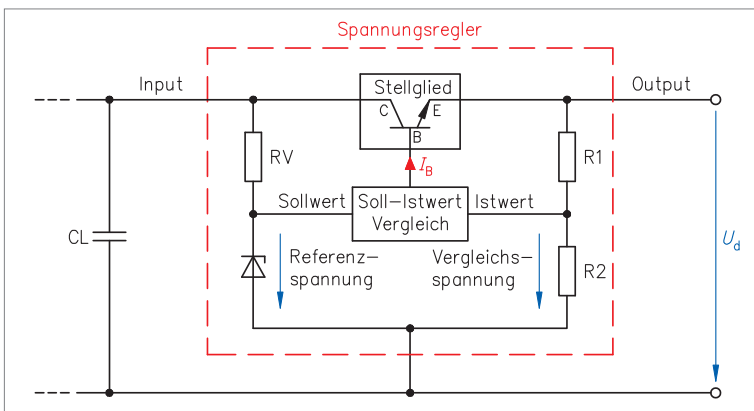
- Geringer Laststrom \rightarrow großer Innenwiderstand
- Hoher Laststrom \rightarrow kleiner Innenwiderstand

Als *verstellbarer Innenwiderstand (Stellglied)* eignet sich die *Kollektor-Emitter-Strecke* eines Transistors. Das *Prinzip der Regelung* verdeutlicht das in Bild 2 dargestellte Blockschaltbild.

- Ein Teil der Ausgangsspannung (Spannung an R2) wird mit einer **Referenzspannung** (Z-Spannung) *verglichen*.
- Ergibt sich eine *Differenz* zwischen Sollwert und Istwert, so wird diese **Regelabweichung** dazu genutzt, den Transistor (Stellglied) so anzusteuern, dass die Ausgangsspannung konstant bleibt.

In der Praxis sind in diesem **Regler-IC** ca. 25 Transistorfunktionen zusammengefasst.

Das *einstellbare Regler-IC LM317* wird vom Hersteller in seiner *Funktion und Beschaltung* beschrieben (Datenblatt Seite 136).



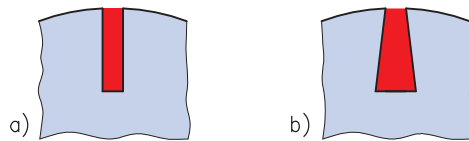
2 Spannungsregler (Regelkreis \rightarrow 568)

Information

Hochstabläufer

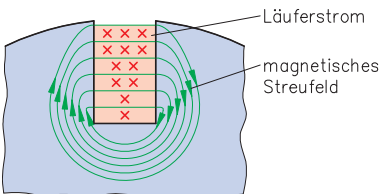
Der Läufer hat tiefe Nuten, die mit gut leitenden, hohen Leiterstäben ausgelegt sind. Die tiefer im Eisenpaket liegenden Leiterschichten sind von mehr *Streu-feldlinien* umgeben als die weiter außen liegenden. Sie haben damit einen höheren *induktiven Widerstand*.

Hochstabläufer



An der Leiteroberfläche ist die magnetische Flussdichte geringer als im Leiterinneren. Das magnetische Streufeld ist inhomogen. Daher ist der Widerstand nicht für den gesamten Querschnitt des Hochstabes gleich. Er ist an der Läuferoberfläche am geringsten und wird zum Läuferinneren hin größer.

Stromverteilung im Hochstabläufer



Dadurch konzentriert sich der *Anlaufstrom* nahezu ausschließlich im *äußeren Teil* des Läuferstabes, was eine Erhöhung des *Wirkwiderstandes* bedeutet.

Nach dem Hochlaufen ist die Läuferfrequenz relativ gering, was einen geringen induktiven Widerstand bedeutet. Der Strom verteilt sich dann über den gesamten Stabquerschnitt; der *Wirkwiderstand* hat dann einen relativ geringen Wert.

Kennlinien des Kurzschlussläufermotors

Drehmoment

Das *Drehmoment* eines Elektromotors ist *drehzahl-abhängig*. Der Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drehzahl wird anschaulich durch eine *Kennlinie* beschrieben.

Anzugsmoment M_A

Drehmoment, das der Motor beim Anlaufen, also aus dem Stillstand heraus, abgibt

Sattelmoment M_S

Das kleinste während des Anlaufens abgegebene Drehmoment

Kippmoment M_K

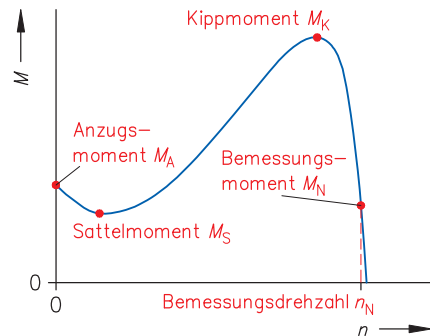
Größtes Drehmoment, das der Motor abgeben kann. Wird der Motor überlastet, sinkt die Drehzahl ab. Der Schlupf wird größer.

Im Läufer wird eine höhere Spannung induziert, der Strom steigt an, und der Motor wird ein größeres Drehmoment entwickeln.

Hat das Drehmoment einen bestimmten Wert erreicht, fällt die Drehzahl sehr schnell ab. Der Motor bleibt stehen, seine Drehzahl „kippt“.

Der **Kippschlupf** beträgt etwa 20 – 30 %.

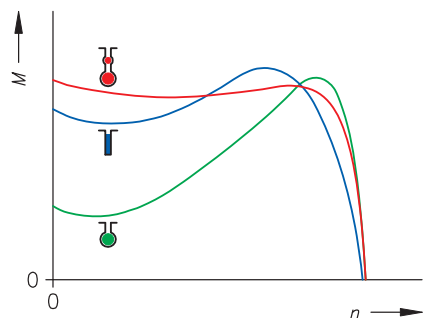
Asynchronmotor, Drehmoment-Kennlinie



Bemessungsmoment M_N

Beim Nennmoment gibt der Motor bei Bemessungsdrehfrequenz n_N seine Bemessungsleistung P_N ab. Die *Drehmoment-Drehfrequenz-Kennlinie* ist abhängig von der Läuferart. *Stromverdrängungsläufer* haben ein *größeres Anzugsmoment*.

Kennlinien für unterschiedliche Läuferarten



Stromstärke

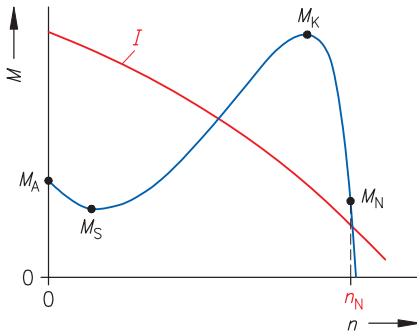
Auf Seite 288 ist die *Abhängigkeit der Stromaufnahme von der Drehfrequenz* dargestellt.

Zum Vergleich ist die bekannte Drehmoment-Kennlinie ebenfalls eingetragen. Deutlich ist der *hohe Anlaufstrom* (Anzugsstrom) des Motors erkennbar.

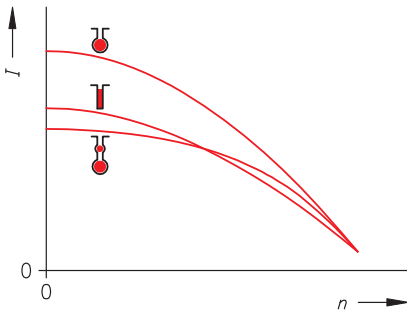
Die *Läuferart* hat wesentlichen Einfluss auf den Stromverlauf.

Information

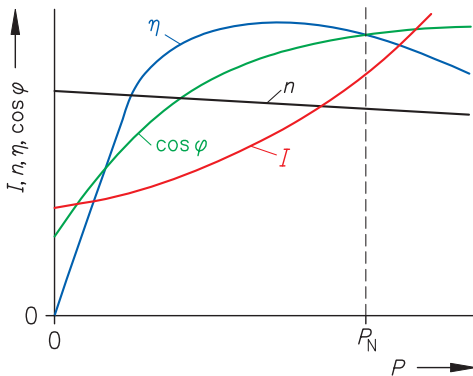
Stromaufnahme und Drehmoment



Unterschiedliche Läuferarten



Betriebskennlinie des Asynchronmotors



Betriebskennlinie

Man erkennt, dass die Drehfrequenz n bei Belastung nur geringfügig abfällt. Man sagt, der Asynchronmotor hat **Nebenschlussverhalten**.

Wirkungsgrad η und Leistungsfaktor $\cos \varphi$ sind stark belastungsabhängig.

Die Motoren sind so ausgelegt, dass bei **Bemessungsbetrieb** (Bemessungsleistung P_N) das Produkt $\eta \cdot \cos \varphi$ möglichst groß wird.

Da **unterbelastete Motoren** im Allgemeinen einen geringeren Leistungsfaktor und Wirkungsgrad haben, sollte die Bemessungsleistung des Motors dem Leistungsbedarf der **Arbeitsmaschine** möglichst angepasst werden.

Besonders bemerkenswert ist der **schlechte Leistungsfaktor** bei Teillast des Asynchronmotors.

Im **Leerlauf** des Motors fließt nur der verhältnismäßig geringe Leerlaufstrom, dessen Wirkstromanteil (Eisenverluststrom) sehr gering ist. Der geringe Wirkstromanteil bewirkt einen **schlechten Leistungsfaktor**.

$$\cos \varphi = \frac{I_w}{I_b}$$

Bei **Belastung des Motors** wird der Wirkstromanteil größer. Es muss ja Wirkleistung an der Welle des Motors abgegeben werden. Der Leistungsfaktor wird somit größer und erreicht bei Bemessungslast annähernd seinen Höchstwert.

Bei **Überlastung des Motors** nimmt der Leistungsfaktor bis zum **Kippmoment** erst langsam und dann schneller wieder ab. Damit ist erklärlich, dass bei Überlastung des Motors der Strom schneller als die Leistung ansteigt und der Motor zu warm wird.

Weiterhin ist der **Leistungsfaktor** umso besser, je größer **Leistung** und **Drehfrequenz** des Motors sind. Der Ständerstrom wird im Verhältnis zum Laststrom desto größer, je größer der Leerlaufstrom ist.

Der **Leerlaufstrom** wird mit zunehmendem Luftspalt zwischen Ständer und Läufer und zunehmender Eisensättigung größer.

Der Läuferstrom ist bei unverändertem Läuferdurchmesser umso größer, je höher die Drehzahl des Läufers ist. Daher haben **schnell laufende** Motoren einen besseren Leistungsfaktor als langsam laufende.

Ein Drehstrommotor sollte stets mit Volllast betrieben werden. Ist der Motor für den Antrieb überdimensioniert, arbeitet er mit einem geringen Leistungsfaktor.

Dem Netz wird dann eine größere **Scheinleistung** entnommen. Dies bewirkt **höhere Verluste**.

Der **Wirkungsgrad** des Motors verringert sich somit.

Verluste des Asynchronmotors

Die vom Motor benötigte **Blindleistung**

$$Q_L = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi = S \cdot \sin \varphi$$

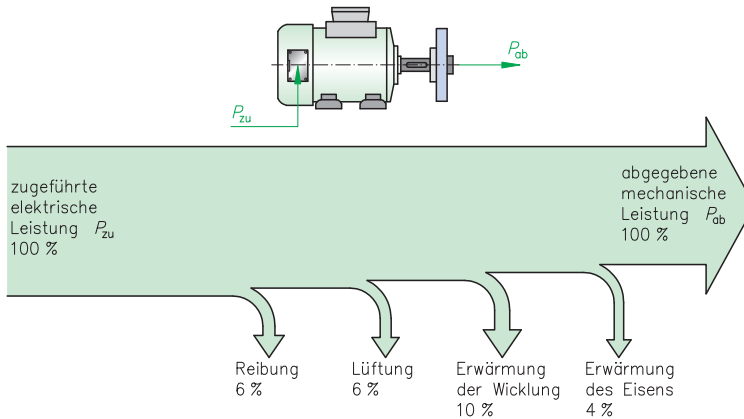
hat die Aufgabe, die zur **Drehmomentbildung** erforderlichen **Magnetfelder** aufzubauen. Außerdem wird sie zum Aufbau der **magnetischen Streufelder** benötigt.

Die Blindleistung ist abhängig von der **Bemessungsleistung** und der **Drehfrequenz** des Motors und beträgt etwa 30 – 60 % der Scheinleistung.

Im **Ständer** treten **Kupfer-** und **Eisenverluste** auf. **Eisenverluste** sind **Wirbelstrom** und **Ummagnetisierungsverluste**.

Information

Verluste beim Asynchronmotor



Die *Kupferverluste* werden durch den ohmschen Widerstand der Wicklungen hervorgerufen.

Die *Läuferverluste* sind *schlupfabhängig*. Hat der Motor z. B. ein *Schlupf* von 5 %, dann betragen die Läuferverluste 5 % der abgegebenen *Ständerleistung* P_{ab} .

Auf dem *Leistungsschild* des Motors wird die an der Welle abgegebene Leistung P_{ab} (Welle) angegeben.

Zur Bestimmung der *aufgenommenen Leistung* muss der *Wirkungsgrad* des Motors bekannt sein.

$$P_{zu} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (\text{aufgenommene elektrische Leistung})$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

Leistungsschild

Die auf dem *Leistungsschild* angegebenen Werte gelten für den **Bemessungsbetrieb** des Motors. Das ist der Betriebszustand, für den der Motor vom Hersteller bemessen ist.

Die auf dem Leistungsschild angegebene **Bemessungsleistung** kann *dauernd* an der Welle des Motors abgegeben werden.

Leistungen beim Drehstrommotor

Aufgenommene Scheinleistung

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

Aufgenommene Wirkleistung

$$P_{auf} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Abgegebene Wirkleistung (Nennleistung)

$$P_{ab} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \eta \cdot \cos \varphi$$

Aufgenommene Blindleistung

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

Die auf dem *Leistungsschild* angegebene *Bemessungsspannung* muss eingehalten werden.

Bei unzulässig hoher Netzspannung wird der *Leistungsfaktor* geringer und die magnetische Sättigung des Eisens nimmt proportional mit der Spannung zu.

Die *Verluste* werden größer, der Motor wird *unzulässig warm*, die Wicklungsisolierung kann zerstört werden.

Bei *zu geringer Netzspannung* muss bei konstanter Belastung der *Schlupf* größer werden. Damit nimmt der aufgenommene *Strom* zu.

Je nach Bauart des Motors und magnetischer Sättigung des Eisens kann bei 25 % Unterspannung der 1,5-fache Bemessungsstrom fließen.

Die *stromabhängigen Wicklungsverluste* würden dann um den Faktor $1,5^2$ (2,25) ansteigen. Isolationschäden können die Folge sein.

Muss ein Motor aus betrieblichen Gründen eine Zeit lang zwingend an eine *geringere Netzspannung* angeschlossen werden, sind zwei Punkte unbedingt zu beachten.

- *Anzugsmoment* und *Kippmoment* nehmen *quadratisch* mit der Netzspannung ab.
- Die *Ansprüche an das Drehmoment bei Vollast* und an die *Leistung* sind mit *Rücksicht auf die Erwärmung der Wicklung* proportional der Spannung zurückzunehmen.

Auf dem *Leistungsschild* ist ebenfalls die *Bemessungsfrequenz* angegeben.

Drehstrommotoren für *50-Hz-Bemessungsfrequenz* und *kleinerer Bemessungsleistung* können in Netzen mit Frequenzen zwischen 40 und 60 Hz eingesetzt werden. Während das *Bemessungsmoment* dabei gleich bleibt, verändern sich *Drehfeldfrequenz* und *Leistung* proportional mit der Frequenz.

Die angegebene *Bemessungsdrehfrequenz* wird bei Bemessungsleistung und Bemessungsfrequenz erreicht. Je höher die Belastung, umso mehr fällt die Drehfrequenz ab, weil der Motor bei *zunehmender Belastung ein größeres Drehmoment* erzeugen muss. Hierzu muss jedoch der *Läuferstrom* größer werden, was nur durch eine *Läuferspannungserhöhung* erreicht werden kann.

Da die *Läuferspannung induziert* wird, muss der Läufer *langsamer* laufen, damit die Relativgeschwindigkeit zwischen *Ständerdrehfeld* und *Läufer* größer wird. Dann werden nämlich mehr *Feldlinien* des *Ständerdrehfeldes* von den *Läuferstäben* geschnitten und die *Läufer-Induktionsspannung* steigt.

Information

Energieerzeugung

Den überwiegenden Teil der elektrischen Energie liefern **Wärme- und Kraftwerke**, die an bestimmte Standorte gebunden sind (z.B. wegen der Versorgung mit Brennstoffen). Die **Generatorleistung** muss also über größere Entfernungen übertragen werden.

Um Leitungsquerschnitte der Übertragungsleitungen und deren Verluste möglichst gering zu halten, wird mit **höherer Spannung** übertragen.

Die Übertragung und Verteilung elektrischer Energie ist nur bei hohen Übertragungsspannungen wirtschaftlich möglich.

Bei höheren Spannungen kann eine elektrische Leistung mit **niedrigerer Stromstärke** übertragen werden.

Zu übertragende Leistung: $1300 \text{ MW} (1300 \cdot 10^6 \text{ W})$

Mittlerer Leistungsfaktor: $\cos \varphi = 0,9$

a) Übertragungsspannung: 400 V

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

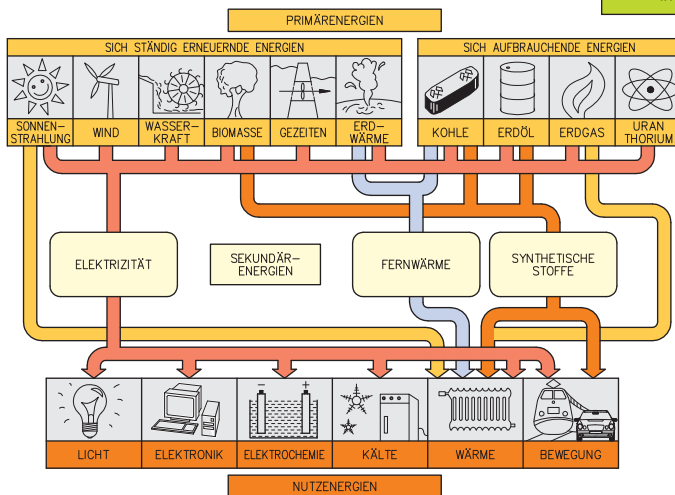
$$I = \frac{1300 \cdot 10^6 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,9} = 2,09 \cdot 10^6 \text{ A (!)}$$

b) Übertragungsspannung: $380 \text{ kV} (380\,000 \text{ V})$

$$I = \frac{1300 \cdot 10^6 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 380\,000 \text{ V} \cdot 0,9} = 2197 \text{ A}$$

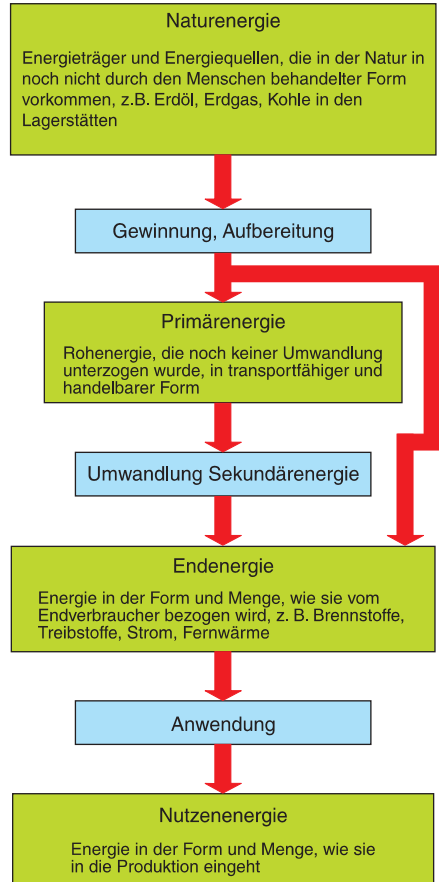
In der **Energieversorgung** hat die elektrische Energie einen besonderen Stellenwert, da sie leicht zu transportieren, einfach zu verteilen und sauber in der Anwendung ist.

Von der Primärenergie zur Nutzenergie



Die elektrische Energie ist in großen Mengen nicht direkt speicherbar, daher muss die Erzeugung in jedem Augenblick auf den Bedarf abgestimmt werden.

Energieumwandlung, Prinzip



Kraftwerke wandeln Primärenergien in elektrische Energie um. Die Umwandlung erfolgt in mehreren Stufen (Umwandlungsketten).

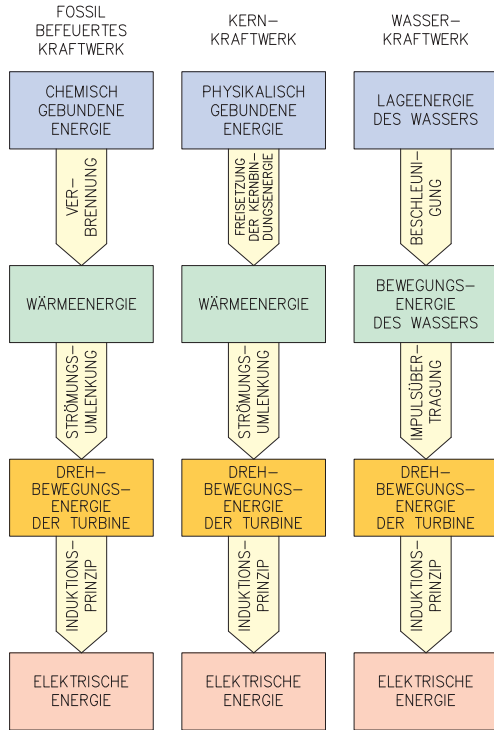
Grundlast
Leistungsanteil, der rund um die Uhr benötigt wird. Grundlast-Kraftwerke haben eine hohe Ausnutzungsdauer.

Mittellast
Leistungsanteil, der überwiegend, jedoch nicht ständig benötigt wird. Diese Kraftwerke werden in der Nacht abgeschaltet.

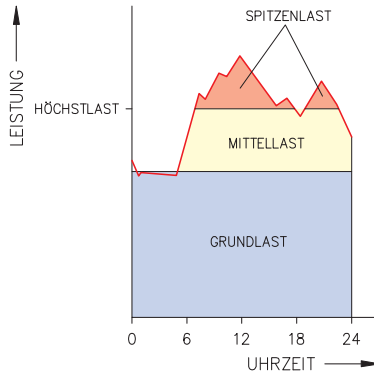
Spitzenlast
Wird nur relativ kurzzeitig benötigt. Die Kraftwerksauslastung ist relativ gering.

Information

Energieumwandlungsketten



Tagesbelastungsdiagramm



Dezentrale Energieversorgung

Nutzung regenerativer Energieträger

Windkraftanlage

Die vom Wind angetriebenen Rotorblätter sind mechanisch mit einem Drehstromgenerator gekoppelt, der elektrische Energie erzeugt. Im Allgemeinen erfolgt eine Einspeisung in die Netze der Versorgungsnetzbetreiber (VBN).

Da diese eine Spannung konstanter Höhe und konstanter Frequenz benötigen, sind *Windkraftanlagen* mit einem *Wechselrichter* ausgerüstet.

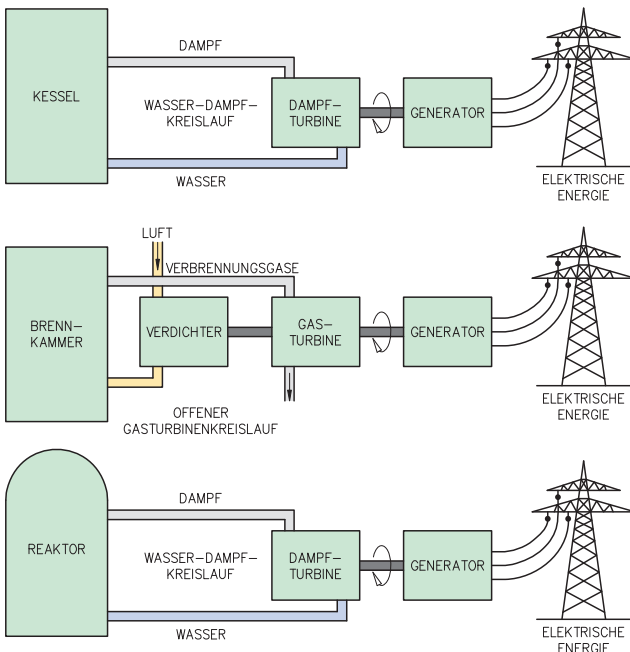
Windrotoren können eine waagerechte oder eine senkrechte Achse haben. Waagerechte Achsen ermöglichen höhere Wirkungsgrade. Drehfrequenz der Rotoren: 10–50 1/min

Die meisten Windenergiekonvertern arbeiten im *Verbundbetrieb*. Bei ausreichendem Wind wird in das öffentliche Netz eingespeist. Ansonsten wird elektrische Energie aus dem Versorgungsnetz bezogen.

Windkraftanlagen



Energieumwandlung in Kraftwerken



Information

Wahl des geeigneten Näherungssensors

Für die Wahl des geeigneten Sensors sind vier Überlegungen zwingend:

1. Gehäuseform
2. Schaltabstand
3. Elektrische Daten und Anschlüsse
4. Allgemeine Spezifikationen

Gehäuseform

Zylinderförmige Sensoren (aktive Zone an der Stirnseite in axialer Richtung)

Lieferbar in verschiedenen Durchmessern (z. B. von 4–30 mm), Befestigungsgewinde.

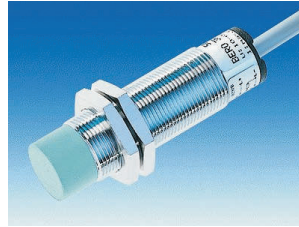
Quaderförmige Sensoren haben die in der Europannorm EN 60947 festgelegte Montagelochanordnung (identisch mit mechanischen Positions-Endschaltern).

Die aktive Fläche kann nach vorn, rechts, links, oben oder unten gerichtet sein; bei manchen Modellen in 15°-Schritten einstellbar.

Flächensensoren haben eine große Stirnfläche und damit einen großen Schaltabstand. Montagelochanordnung nach EN 60947.

Aufschraubbare Näherungssensoren können auf die vorgegebene Oberfläche geschraubt werden. Aktive Zone entweder nach oben oder nach vorn gerichtet.

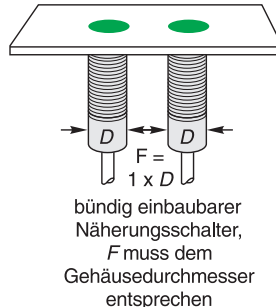
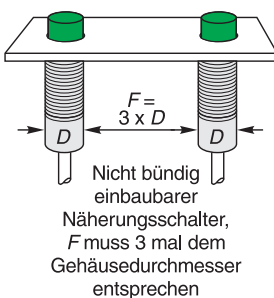
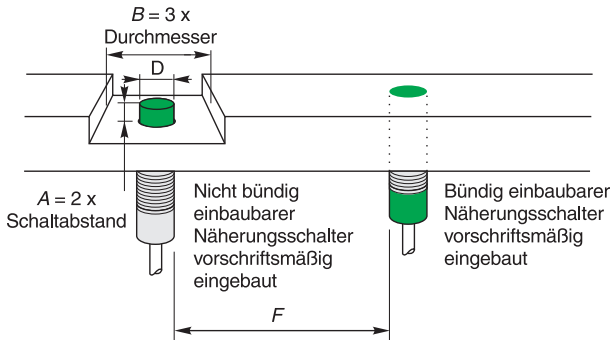
Induktive Näherungssensoren



Schlitzförmige Näherungssensoren haben ein U-förmiges Gehäuse. Das elektromagnetische Wechselfeld wird zwischen zwei Spulen aufgebaut, die sich in den Schenkeln des U gegenüberstehen.

Wenn das Objekt in den Bereich zwischen den Spulen eintaucht (Schaltfahne), wird der Schaltvorgang ausgelöst.

Einbau von Näherungssensoren



Ringförmige Näherungssensoren sind als Ring ausgebildet, wobei das elektromagnetische Wechselfeld im Inneren des Ringes konzentriert ist.

Wenn sich ein metallisches Objekt in den Ring hineinbewegt, wird der Schaltvorgang ausgelöst.

Einbaubeispiele

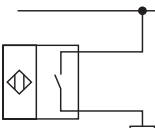
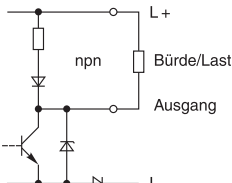
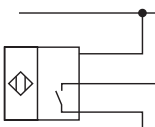
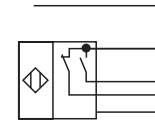
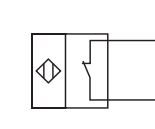
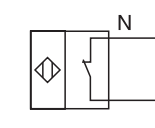
Bündig eingebaute Sensoren sind mechanisch besser geschützt und unempfindlicher gegen Fehlbeeinflussungen. Die dafür notwendige Reduktion des seitlichen Feldes wird durch eine spezielle interne Abschirmung erreicht. Dies geschieht auf Kosten der Reichweite (nur 60 % des Schaltabstandes von Ausführungen für den nichtbündigen Einbau).

Gegenseitige Beeinflussung

Mindestabstände sind einzuhalten, um eine gegenseitige Beeinflussung der Sensoren auszuschließen.

Information

Elektrische Daten und Anschlüsse

Elektrische Ausführungen	Code	Normsymbol	Prinzipschaltung/ Typische Daten
Gleichspannung 10 V–60 V	Zweidraht Z Z0, Z1, Z2	 <p>Beispiel: Schließer Z/Z0</p>	<p>Basisreihe 5 V / 4–100 mA Standardreihe 4 V / 2–200 mA Reststrom 0,7 mA</p>
	verpolsicher Standard kurzschlussfest	<p>Schließer; NO oder Öffner, NC</p>	
Basisreihe 10 V–30 V 100 mA Standardreihe 10 V–60 V 200 mA	Dreidraht E, E0, E1, E2, E3	 <p>Beispiel: Schließer E/E0</p>	<p>Daten wie Typ A</p>
	kurzschlussfest verpolsicher	<p>Schließer; NO oder Öffner, NC</p>	
Wechselspannung 20 V–250 V	Vierdraht A A2	 <p>Beispiel: Öffner und Schließer A2</p>	<p>Spannungsfall 2,5 V Reststrom 0,3 mA Betriebsstrom 0 mA–200 mA Leerlaufstrom 20 mA</p>
	kurzschlussfest verpolsicher	<p>Öffner, NC und Schließer, NO</p>	
Allstrom 20 V–250 VAC 45 Hz–65 Hz 30 V–300 VDC	WS WÖ W W3	 <p>Beispiel: Öffner WÖ oder UÖ</p>	<p>Spannungsfall „ein“ 5 V Reststrom 1 mA Betriebsstrom 5 mA–500 mA</p>
	US UÖ	<p>Öffner, NC und Schließer, NO</p>	<p>Spannungsfall „ein“ 5 V Reststrom 1,5 mA Betriebsstrom 5 mA–500 mA</p>
Gleichspannung 8 V	NAMUR N 1N SN S1N EN 50227	 <p>Beispiel: N/NO oder SN</p>	<p>Bemessungsspannung 8 V Ausgangsstrom < 1 mA betätigt > 3 mA unbetätigt</p>
		<p>Öffner, NC und Schließer, NO</p>	

Information

Aderfarben und Steckerbelegung			
Typ	Funktion	Aderfarbe	Anschlussziffer
2 Anschlüsse AC und	Schließer	jede Farbe ¹⁾ außer Gelb, Grün oder Grün/Gelb	3
	Öffner		4
2 Anschlüsse DC Polung frei	Schließer		1
	Öffner		2
2 Anschlüsse DC Polung beachten	Schließer	+ Braun (BN) – Blau (BU)	1 4
	Öffner	+ Brau (BN) – Blau (BU)	1 2
3 Anschlüsse DC Polung beachten	Schließer Ausgang	+ Braun (BN) – Blau (BU) Schwarz (BK)	1 3 4
	Öffner Ausgang	+ Braun (BN) – Blau (BU) Schwarz (BK)	1 3 2
4 Anschlüsse DC Polung beachten	Wechsler (öffnen, schließen)	+ Braun (BN) – Blau (BU)	1 3
	Schließer-Ausgang Öffner-Ausgang	Schwarz (BK) Weiß (WH)	4 2

1) Es wird empfohlen, dass beide Drähte die gleiche Farbe haben.

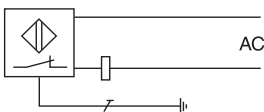
Die **Wechselspannungs-Näherungssensoren** enthalten zusätzlich zum Oszillator einen *Thyristor-Ausgangsverstärker* und werden in Reihe mit der Last (z. B. dem Schütz) betrieben.

Auch im gesperrten Zustand fließt systembedingt ein *Reststrom* über die Last. Dies ist besonders bei sehr hochohmigen Eingängen elektronischer Schaltungen zu beachten.

Außerdem tritt am Näherungssensor im *durchgesteuerten Zustand* ein *Spannungsfall* auf, was insbesondere im Kleinspannungsbereich von Bedeutung sein kann.

Bemessungsspannung	20–250 V
Netzfrequenz	45–65 Hz
Dauerstrom	≤ 500 mA
Reststrom	≤ 2,5 mA
Spannungsfall	≤ 5 V
Umgebungstemperatur	– 25 bis +70°C

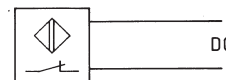
Wechselspannungs-Näherungssensor, Symbol



Gleichspannungs-Näherungssensor (Beispiel)

Bemessungsspannung	8 V DC
Stromaufnahme	
aktive Fläche frei	≥ 3 mA
aktive Fläche bedeckt	1 mA
Umgebungstemperatur	– 25 bis +100°C

Gleichspannungs-Näherungssensor, Symbol



Es werden auch Näherungssensoren angeboten, bei denen der *Ausgangs-Signalzustand* *zwangsweise* „0“ wird, wenn im Näherungssensor ein Fehler auftritt.

Diese *Messwertaufnehmer* wurden vom *Technischen Überwachungsverein* (TÜV) nach den sicherheitstechnischen Forderungen für wichtige Schaltungen geprüft und zugelassen.