

## Automatisierungstechnik

Grundbegriffe	267
Schütze	269
Relais	271
Schutzbeschaltung	273
Befehls- und Meldegeräte	274
Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	276
Binäre Verknüpfungen	277
Speicher	281
Zeitfunktionen und Zählfunktionen	282
Sprungfunktionen	284
Flankenauswertung	284
Ablaufsteuerung, Schrittsteuerung	285
GRAFCET	289
Strukturierte Programmierung	291
Sprachelemente, Datentypen, Variablen	292
Anweisungen	294
Wortverarbeitung, Analogwertverarbeitung	296
Kleinsteuerung	298
Regelungstechnik	300
Industriebussysteme	310
ASI-Bus	311
Profibus	314
Interbus	318
CAN-Bus	318
Profinet-Industrial Elternet	319
Maschinensicherheit	320
Not-Befehleinrichtung	326
Erdschlussicherheit	329
Steuertransformator	330
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	332

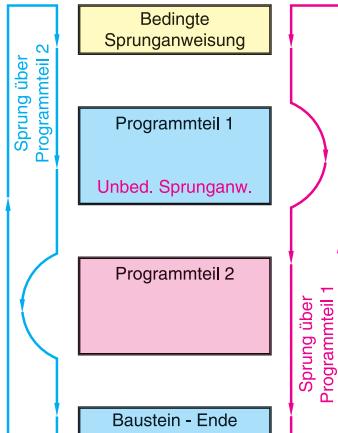
Automatisierungstechnik	
Steuerungstechnik	
Grundbegriffe	
Begriff	Erläuterung
Digitales Signal	Informationsdarstellung durch eine Anzahl von Binärsignalen nach einem bestimmten Code.
Analoges Signal	Die Steuerungsgröße wird nach Betrag und Vorzeichen in Abhängigkeit von der Zeit kontinuierlich nachgebildet.
Sensorik/Aktorik	<p><i>Sensorik</i> ist der Teil des Steuerungssystems, das die Prozesszustandsdaten <b>erfasst, aufbereitet</b> und zur <b>Verarbeitung</b> weiterleitet.</p> <p><i>Aktorik</i> ist der Teil des Steuerungssystems, das</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• die verarbeiteten <i>Signale aufnimmt und verstärkt</i>,</li> <li>• wichtige Prozesszustände <b>rückmeldet</b>.</li> </ul> <p>Die <i>Aktorik</i> führt die Stellaktionen aus.</p>
Schütze	<p>Schütze sind elektromagnetische Schalter. Wird die <i>Schützspule</i> vom Steuerstrom durchflossen, zieht sie einen Eisenanker an. Die <i>Schaltglieder</i> des Schützes werden dann betätigt: Schließer werden geschlossen, Öffner werden geöffnet.</p> <p>Vorzugswerte für die <i>Steuerspannung</i> sind: <b>24 V, 48 V, 110 V, 230 V</b></p>
Hauptschütze	<p>Hauptschütze (Lastschütze) eignen sich für das <i>direkte Schalten von Lastströmen</i> (z. B. bei Elektromotoren).</p> <p>Sie verfügen dazu über drei <i>Hauptschaltglieder</i>. Im Allgemeinen sind sie zusätzlich mit <i>Hilfsschaltgliedern</i> ausgestattet (z. B. für die Selbsthaltung).</p>
Hilfsschütze	<p>Hilfsschütze sind grundsätzlich wie Hauptschütze aufgebaut. Allerdings verfügen sie nur über <i>Hilfsschaltglieder</i>, die nur relativ gering belastbar sind (10 A, 16 A). Hilfsschütze werden für <i>Verriegelungs- und Verknüpfungsfunktionen</i> eingesetzt.</p> <p>Außerdem werden Hilfsschütze zur <i>Kontaktvervielfachung</i> eingesetzt.</p>

## Automatisierungstechnik

## Steuerungstechnik

## Programmsprung

## • Bedingter Programmsprung



**SPB** Sprung bei VKE = „1“  
**SPBN** Sprung bei VKE = „0“  
**SPZ** Sprung bei Ergebnis gleich 0  
**SPN** Sprung bei Ergebnis ungleich 0  
**SPP** Sprung bei Ergebnis größer 0  
**SPPZ** Sprung bei Ergebnis größer oder gleich 0

## • Unbedingter Programmsprung

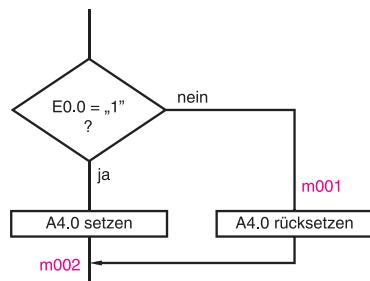
Sprung wird *bedingungsunabhängig* durchgeführt. Das Programm wird unbedingt an der angegebenen Marke fortgesetzt.

**SPA m001**

Das Programm wird *unbedingt* an der Marke (Label) m001 fortgesetzt.

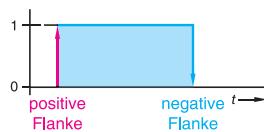
*Beispiele*

**SPB** m001 //Programm wird bei VKE = „1“  
 //an der Marke m001 fortgesetzt  
**SPBN** m010 //Programm wird bei VKE = „0“  
 //an der Marke m010 fortgesetzt  
**SPA** m006 //Programm wird unabhängig  
 //vom VKE (unbedingt) an  
 //der Marke m006 fortgesetzt



U E0.0	E0.0	E0.0 = „0“ → VKE = „0“
SPBN m001		Sprung nach Marke m001;
S A4.0		A4.0 rücksetzen!
SPA m002		
m001: R A4.0		E0.0 = „1“ → VKE = „1“
m002: BE		Sprung nach Marke m001;
		A4.0 setzen!
		Unbedingter Sprung nach
		Marke m002

## Flankenauswertung



- Positive Flanke (*ansteigende Flanke*)  
Signal wechselt von „0“ nach „1“.
- Negative Flanke (*fallende Flanke*)  
Signal wechselt von „1“ nach „0“.

## Programmierung der positiven Flanke

U E0.0 E0.0 → M0.0  
 UN M0.0 M0.0 → M0.1  
 = M0.1  
 U E0.0  
 = M0.0 E0.0 → M0.0  
 E0.0 → M0.1

M0.1 = Flankenmerker  
M0.0 = Hilfsmerker

## Automatisierungstechnik

## Kleinsteuerung

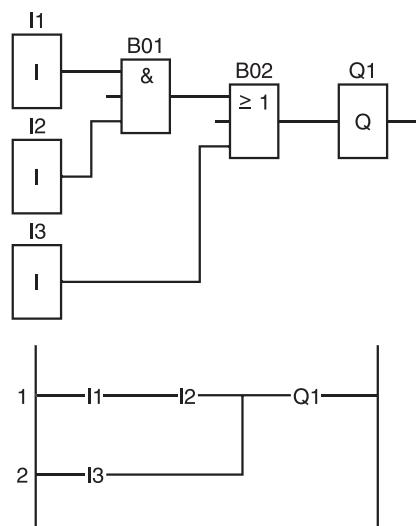
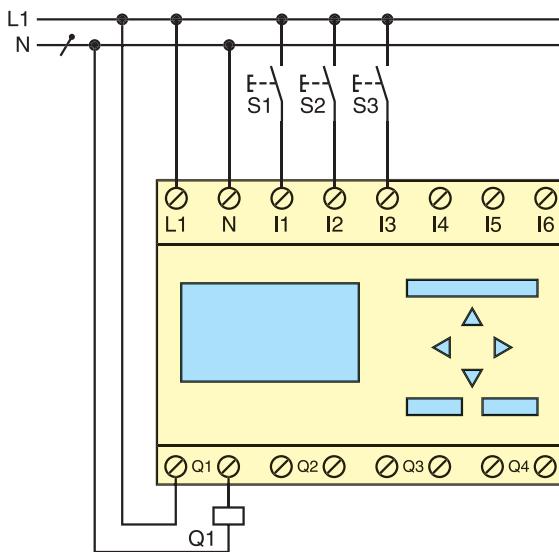


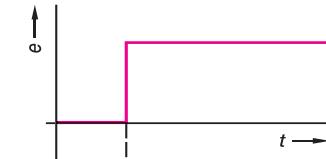
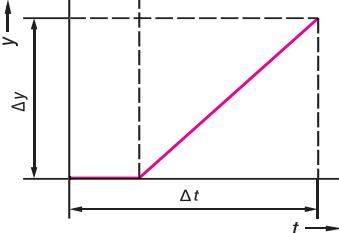
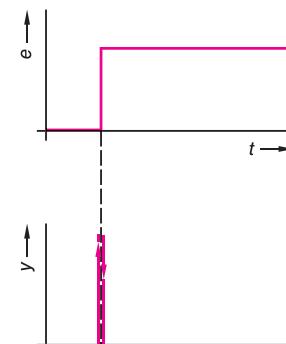
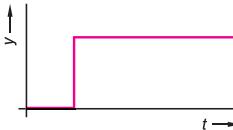
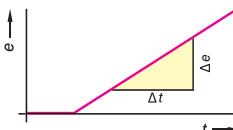
## Technische Daten

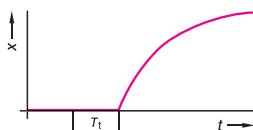
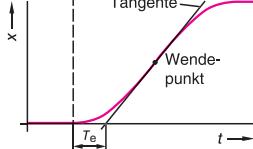
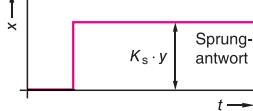
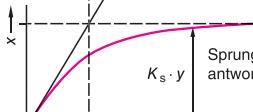
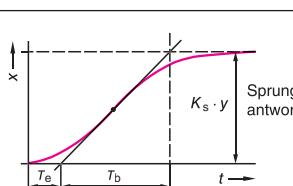
- Betriebsspannung 230 V AC bzw. 24 V DC
- 24-V-DC-Eingänge
- 230-V-AC-Eingänge
- Transistor- (24 V) oder Relaisausgänge
- Erweiterbar durch Zusatzmodule
- Logikfunktionen
- Zeit- und Zählfunktionen
- Funktionen der Installationstechnik
- Schaltfunktionen
- Analogwertverarbeitung
- Arithmetische Funktionen
- Busankopplung optional



## Anschluss einer Kleinsteuerung (230 V AC) und Programmdarstellung



Automatisierungstechnik		
Regelungstechnik		
Stetige Regeleinrichtungen		
Regeleinrichtung	Beschreibung	Gleichungen, Kenngrößen
<b>I-Regeleinrichtung (integral)</b>   	<p>Jeder Regelabweichung ist eine bestimmte <i>Stellgeschwindigkeit</i> <math>\Delta y/\Delta t</math> zugeordnet.</p> <p>Die Stellgeschwindigkeit ist der Regelabweichung proportional.</p> <p><b>Vorteil:</b> Keine bleibende Regelabweichung</p> <p><b>Nachteil:</b> Langsamere Reaktion auf Eingangsgrößenänderung als beim P-Regler. Der Sollwert wird beim Aus-regeln mindestens einmal über- oder unterschritten.</p> <p><b>Zum Beispiel</b> Der Druck (Regelgröße <math>x</math>) betätigt eine Membran, die über einen Differenzialhebel ein Stahlrohr verstellt. Die Strahlrohrstellung bestimmt den Fluidstrom zum Stellantrieb. Die Stellgeschwindigkeit <math>\Delta y/\Delta t</math> ist dem Druck proportional.</p>	$\frac{\Delta y}{\Delta t} = K_I \cdot e$ $y - y_0 = K_I \cdot e \cdot t$ <p><math>y_0</math> Anfangswert der Stellgröße bei <math>t = 0</math></p> <p><math>K_I</math> Integrierbeiwert</p> $K_I = \frac{1}{e} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t}$ <p><b>Kenngröße</b> Integrierzeit <math>T_I</math></p> $T_I = \frac{1}{K_I}$ <p>Einsatz bei Regelstrecken mit P-Verhalten.</p>
<b>D-Regeleinrichtung (differenzial)</b>   	<p>Jeder Änderungsgeschwindigkeit der Regelabweichung ist ein bestimmter Stellgrößenwert zugeordnet.</p> <p>Die Stellgrößenänderung <math>\Delta y</math> ist der Änderungsgeschwindigkeit der Regelabweichung proportional.</p> <p>Eine D-Regeleinrichtung ist allein nicht ausreichend, um die Regelgröße an die Führungsgröße anzugeleichen.</p> <p><b>Kenngröße</b> Vorhaltezeit <math>T_d</math> <math display="block">T_d = \frac{1}{K_D}</math></p>	$\Delta y = K_d \cdot \Delta e / \Delta t$ <p><math>K_d</math> Differenzierbeiwert</p> 

Automatisierungstechnik		
Regelungstechnik		
Zeitverhalten von Regelstrecken		
Bezeichnung	Sprungantwort	Erläuterung
Regelstrecke mit Totzeit	 	Die Ausgangsgröße der Strecke reagiert mit einer <i>Zeitverzögerung</i> (Totzeit $T_t$ ) auf die Sprungfunktion.
Regelstrecke mit Verzugszeit	 	Die Strecke reagiert zunächst (Verzugszeit $T_e$ ) mit <i>geringfügiger Änderung</i> der Ausgangsgröße.
$P_0$ -Strecke		Die Regelgröße $x$ folgt <i>proportional und unverzögert</i> der Stellgröße $y$ . Proportionalbeiwert: $K_S = \frac{x}{y}$
$PT_1$ -Strecke		Die Regelgröße folgt nach einer <i>e-Funktion</i> der Stellgröße $y$ . Proportionalbeiwert: $K_S = \frac{x_\infty}{y}$ $T_S$ Zeitkonstante
$PT_2$ -Strecke		Die Regelgröße $x$ folgt (verzögert mit zwei Zeitkonstanten) der Stellgröße $y$ <i>proportional</i> . Proportionalbeiwert: $K_S = \frac{x_\infty}{y}$ $T_e$ Verzugszeit $T_b$ Ausgleichszeit
$PT_t$ -Strecke		Um die Totzeit $T_t$ verzögert, folgt die Regelgröße $x$ <i>proportional</i> der Stellgröße $y$ . Proportionalbeiwert: $K_S = \frac{x}{y}$

Automatisierungstechnik																																					
Maschinensicherheit																																					
Sicherheitsbezogener Steuerungsaufbau																																					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cat 2, PL a, b, c, d</li> </ul>	<p>Wie Cat 1 mit folgenden Zusätzen: In bestimmten Zeitabständen wird die Sicherheitsfunktion durch die Steuerung selbst überprüft. Dadurch wird ein Verlust der Sicherheitsfunktion erkannt.</p>																																				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cat 3, PL b, c, d, e</li> </ul>	<p>Wie bei Cat 1 mit folgenden Zusätzen: Die sicherheitsbezogenen Teile der Steuerung sind zweifach ausgeführt. Die Steuerungslogik überwacht sich gegenseitig. Ein einzelner Fehler in einem Teil führt nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion. Ein einzelner Fehler muss mit geeigneten Mitteln (Stand der Technik) erkennbar sein, wenn die Prüfung in angemessener Weise durchführbar ist. Eine Häufung von Fehlern darf zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen.</p>																																				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cat 4, PL e</li> </ul>	<p>Wie bei Cat 3, zusätzlich: Ein einzelner Fehler sicherheitsbezogener Teile muss vor oder bei der nächsten Anforderung der Sicherheitsfunktion erkannt werden. Eine Häufung von Fehlern darf nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen.</p>																																				
Abhängigkeit Cat, PL und MTTF <sub>d</sub>																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PL</th> <th>Cat. B</th> <th>Cat. 1</th> <th>Cat. 2</th> <th>Cat. 3</th> <th>Cat. 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a</td> <td>niedrig</td> <td>niedrig</td> <td>niedrig</td> <td>niedrig</td> <td>niedrig</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>mittel</td> <td>mittel</td> <td>mittel</td> <td>mittel</td> <td>mittel</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>hoch</td> <td>niedrig</td> <td>niedrig</td> <td>niedrig</td> <td>niedrig</td> </tr> <tr> <td>d</td> <td>niedrig</td> <td>niedrig</td> <td>mittel</td> <td>niedrig</td> <td>niedrig</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>niedrig</td> <td>niedrig</td> <td>niedrig</td> <td>mittel</td> <td>hoch</td> </tr> </tbody> </table>	PL	Cat. B	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4	a	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig	b	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	c	hoch	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig	d	niedrig	niedrig	mittel	niedrig	niedrig	e	niedrig	niedrig	niedrig	mittel	hoch	
PL	Cat. B	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4																																
a	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig																																
b	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel																																
c	hoch	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig																																
d	niedrig	niedrig	mittel	niedrig	niedrig																																
e	niedrig	niedrig	niedrig	mittel	hoch																																
<p>Bei gleichem Aufbau ändert sich PL je nach Qualität der verwendeten Bauteile.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wenn MTTF<sub>d</sub> niedrig ist, kann bei Cat 2 bestenfalls ein PL von b erreicht werden.</li> <li>• Bei Cat 3 ist bei niedrigem MTTF<sub>d</sub> so eben ein PL von b zu erreichen. Bei mittlerem MTTF<sub>d</sub> jedoch ein PL von d.</li> <li>• Bei Cat. 2, 3, 4 muss ein Fehler erkannt werden, bevor ein Schadensfall eintritt.</li> </ul>																																					

## Automatisierungstechnik

## Maschinensicherheit

## Not-Aus, Not-Halt, Drahtbruchsicherheit, Zweihandverriegelung

Alle gefahrbringenden Ausgänge sind vom speisenden Netz zu trennen. Wenn Ausgänge zur Vermeidung einer Gefahr notwendig sind (sowie Meldeeinrichtungen), dürfen diese nicht abgeschaltet werden.

Nach *Entriegelung* der Not-Aus-Befehlseinrichtung darf die Maschine nicht automatisch wieder starten.

Ein *Drahtbruch* (bzw. gelöste Klemmenverbindung) darf die Maschine nicht starten oder ihre Stillsetzung verhindern. AUS-Funktionen durch Öffner, EIN-Funktionen durch Schließer.

**Not-Aus** durch Abschalten der Energieversorgung durch elektromechanische Schaltgeräte (Stopp-Kategorie 0)

**Not-Halt** entspricht der Stopp-Kategorie 0 oder 1 und hat Vorrang gegenüber allen anderen Funktionen. Entweder wird die Energiezufuhr zu den Antrieben unterbrochen oder der Antrieb wird schnellstmöglich gestoppt.

- **Drahtbruchsicherheit (DIN VDE 0113)**  
Ausschalten muss im Allgemeinen *Vorrang* vor dem Einschalten haben.

*Drahtbruchsicher:*  
*Einschalten* erfolgt durch *Schließer*  
(Arbeitsprinzip)  
*Ausschalten* erfolgt durch *Öffner*  
(Ruhestromprinzip)

Einschalten durch „1“-Signal  
Ausschalten durch „0“-Signal

- Zweihandverriegelung

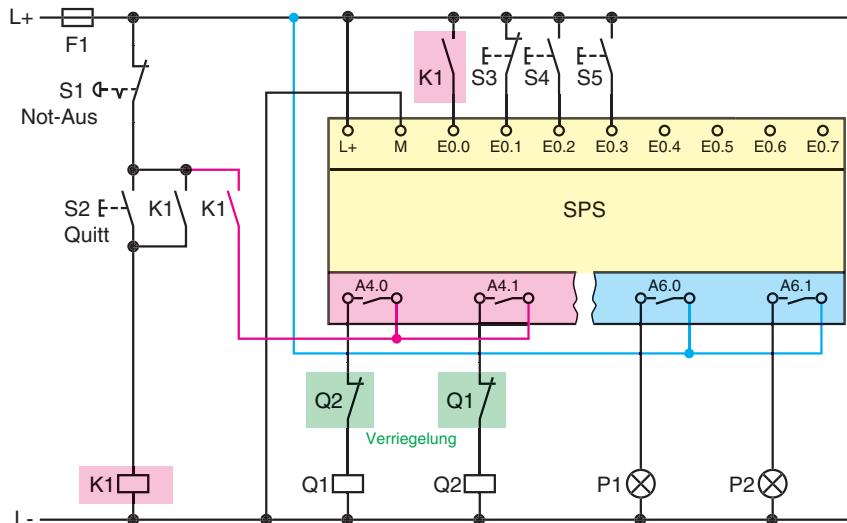
**Entzündungsvorgang**  
Wenn **unbeabsichtigte Wiederholung** eines Arbeitszyklus zur Gefährdung des Bedienpersonals führen kann.

*Start:* Befehlsgabe mit beiden Händen; Taster müssen während der gesamten Dauer des Arbeitszyklus betätigt sein.

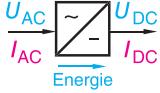
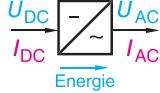
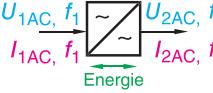
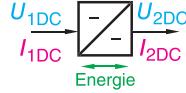
Die Drucktaster müssen innerhalb einer kurzen Zeit (0,5 s) gemeinsam betätigt sein.

Vor dem Beginn des nächsten Arbeitszyklus müssen beide Taster losgelassen und erneut betätigt werden.

## Beschaltung einer SPS



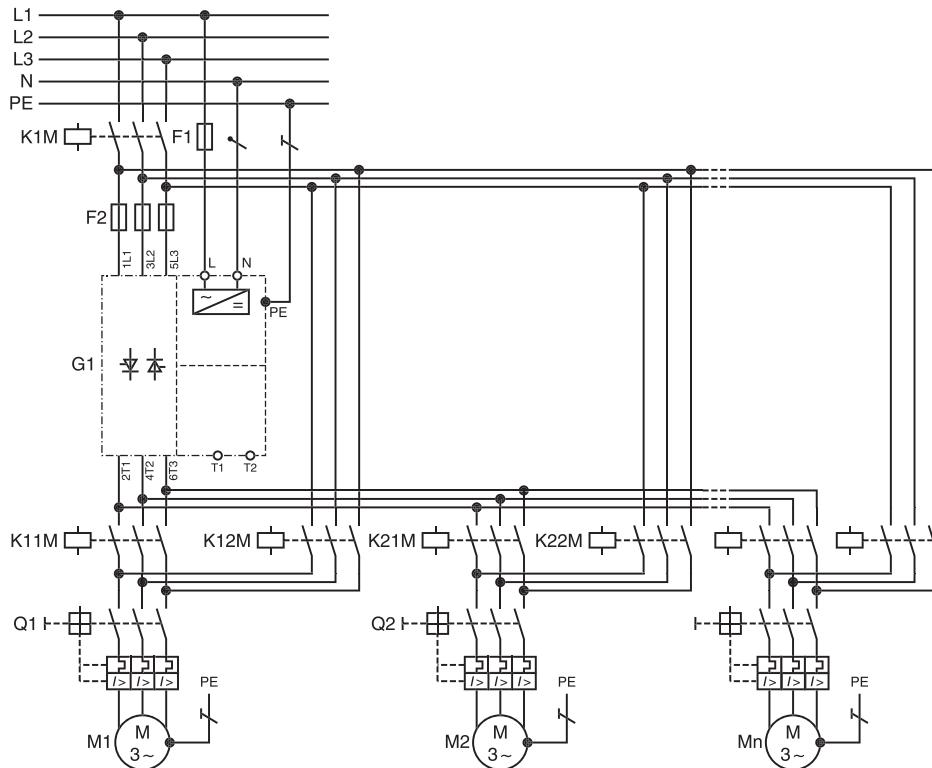
**Stromrichter****Ungesteuerte Stromrichter** 338**Gesteuerte Stromrichter** 338**Wechselrichter** 343**Drehzahlsteuerung von Drehfeldmaschinen** 344**Betriebsdiagramm von Stromrichterantrieben** 346**Gleichstromsteller, Chopper, Pulswandler** 347**Wechselstromsteller** 347**Schutz von Halbleitern und Stromrichtern** 348**Halbleiterschütz** 349**Softstarter** 350**Frequenzumrichter** 355**Netz- und Geräteventile** 363**Schaltschrank und Leitungsführung** 363**Spannungsversorgung von Betriebsmitteln** 364**Schaltnetzteile** 366**Oberschwingungen** 368

Stromrichter			
Stromrichter sind Funktionsgruppen zur <i>Umformung</i> oder <i>Steuerung</i> elektrischer Energie. Typische Bauelemente dieser Funktionsgruppen sind Dioden, Transistoren oder Thyristoren.			
Gleichrichter	Wechselrichter	Wechselstromumrichter	Gleichstromumrichter
			
Wechselstrom wird in Gleichstrom umgeformt. <i>Eine</i> Energieflussrichtung: Vom Wechselstrom zum Gleichstrom.	Gleichstrom wird in Wechselstrom umgeformt. <i>Eine</i> Energieflussrichtung: Vom Gleichstrom zum Wechselstrom.	Wechselstrom mit vorgegebener Frequenz, Spannung und Phasenzahl wird in einen Wechselstrom mit abweichen- der Frequenz, Spannung und Phasenzahl umgewandelt. Energiefluss in <i>beiden</i> Richtungen.	Gleichstrom mit vorgegebener Spannung wird in einen Gleichstrom mit abweichen- der Spannung umgewandelt. Dabei kann die Spannungspolarität verändert werden. Energiefluss in <i>beiden</i> Richtungen.
Ungesteuerter Stromrichter	Gesteuerter Stromrichter	4-Quadranten-System	
Konstantes Verhältnis von Eingangs- und Ausgangsspannung.	Die Ausgangsspannung ist einstellbar.	Die Energieflussrichtung ist bei Stromrichtern unter Umständen umkehrbar.	
Kennzeichnung von Stromrichtern			
Schaltung	Benennung	Kennbuchstabe	Kennzahl
<b>Einwegschaltung</b>	Mittelpunktschaltung	M	Pulszahl $p$
<b>Zweiwegschaltung</b>	Brückenschaltung Verdopplerschaltung	B D	
	Wechselwegschaltung Parallelschaltung	W P	Phasenzahl $m$
Ergänzende Kennzeichnung			
Kennzeichen	Bedeutung	Kennzeichen	Bedeutung
<b>U</b> <b>C</b> <b>H</b> <b>HA (HK)</b>	ungesteuert vollgesteuert halbgesteuert halbgesteuert (anodenseitige, kathodenseitige) Zusammenfassung der gesteuerten Ventile	<b>A (K)</b> <b>Q</b> <b>R</b> <b>F</b>	(anoden-, kathodenseitige) Zusammenfassung der Hauptzweige Löschzweig Rücklaufzweig Freilaufzweig
<b>Hz</b>	Zweigpaar halbgesteuert	<b>FC</b>	gesteuerter Freilaufzweig

## Stromrichter

### Kaskadenschaltung (nach Herstellerunterlagen)

Ein Softstarter kann mehrere Motoren *nacheinander* starten. Der Parametrierung von Rampen- und Pausenzeiten ist besondere Beachtung zu schenken, da bei den Motorstarts eine hohe Verlustleistung hervorgerufen wird.



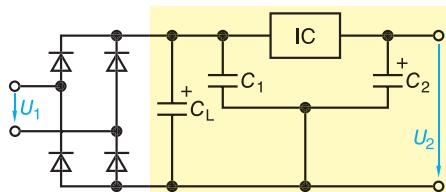
### Werkeneinstellung für Softstarter (nach Herstellerunterlagen)

Anschlussklemme/ Funktion	Werkseinstellung	Wichtige Einstellungen
E1	Start und Stopp	Anlaufzeit in Sekunden s
E2	Freigabe	Startspannung Prozent von $U_N$
Startspannung	20 % mit automatischer Lastanpassung	
Rampenzeiten	Start: 5 s; Stopp: 0 s	
Relais K1	Run	Verzögerungszeit in Sekunden s
Relais K2	Rampenzeit beendet, Netzspannung wurde erreicht	
Relais K3	Alarm	
Relais K4	Überlastbetrieb	
Analogausgang 1	Motorstrom	
Analogausgang 2	Zündwinkel	

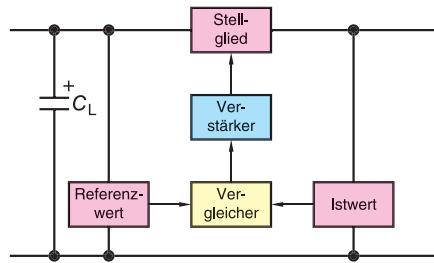
## Stromrichter

### Stabilisiertes Netzteil mit Regel-IC

#### Schaltung

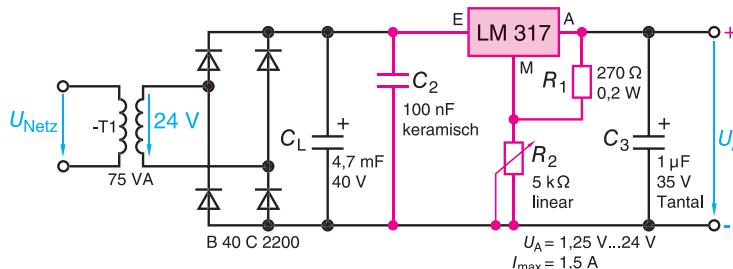


#### Bockschaltbild



Das Stellglied ist ein Leistungstransistor, der als *Regelwiderstand* arbeitet. Bei geringer Belastung ist der Widerstand hochohmig, bei hoher Belastung niederohmig.

### Netzteil mit einstellbarer stabilisierter Ausgangsspannung

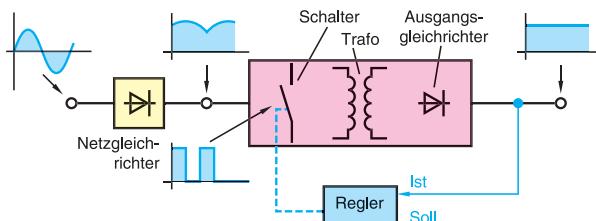


$$\text{Ausgangsspannung} \\ U_A = 1,25 \cdot \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

## Schaltnetzteile

Schaltnetzteile zeichnen sich durch eine geringe Baugröße und damit geringes Gewicht aus. Bei hohen Frequenzen kann der Kernquerschnitt des Transformators nämlich sehr viel kleiner gewählt werden. Schaltnetzteile finden heute vielfältigen Einsatz (z. B. als Steckernetzgerät).

### Arbeitsprinzip



### Funktionsgruppen von Schaltnetzteilen

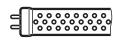
- **Netzgleichrichter**  
Gleichrichtung und Siebung der Netzspannung; Netzentstörung durch Filter (Grenzfrequenz 100 kHz)
- **Schalter**  
Umwandlung der Gleichspannung in eine Rechteckwechselspannung. Geschaltet wird i. Allg. durch Feldefekttransistoren mit einer Schaltleistung von 50 bis 200 W.
- **Transformator**  
Trafo mit Ferritkern (Spannungsübersetzung, galvanische Trennung); Frequenz bis 200 kHz, Leistung bis 1000 W.
- **Ausgangsgleichrichter**  
Die hochfrequente Ausgangsspannung des Transformators wird gleichgerichtet und gesiebt.

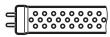
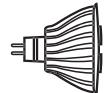
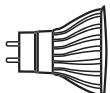
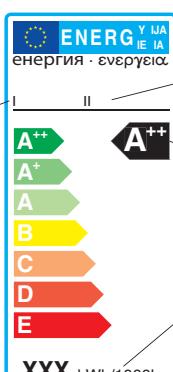
## Installationstechnik

Sicherheitsregeln	371
Arbeiten unter Spannung	371
Installationsrohre	372
Installationsschaltungen	374
Leuchtstofflampen	377
Licht- und Beleuchtungstechnik	377
Beleuchtungsberechnung	378
Lampendaten	380
Leuchtdioden	386
Lampentypen und Lampensockel	389
Kennzeichnung von Leuchten	390
Gebäudesystemtechnik	392
Räume mit elektrischen Anlagen	398

Installationstechnik								
Installationsrohre								
Verwendung von Installationsrohren								
Verwendung	Kunststoffrohre						Metallrohre	
	Starke Rohre			Flexible Rohre			Stahlpanzer	Flexibel
	leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer		
Auf Putz	nein	nein	ja	nein	ja	ja	ja	ja
Unter Putz	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Im Putz	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Auf Holz	nein	nein	ja	nein	ja	ja	ja	ja
Im Erdreich	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein
Im Schüttbeton	nein	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja
Im Rüttelbeton	nein	nein	ja	nein	nein	ja	ja	ja
Im Estrich	nein	nein	ja	nein	nein	ja	ja	ja
Installationsschaltungen								
Bezeichnung	Übersichtsschaltplan			Stromlaufplan in zusammenhängender Darstellung				
<b>Ausschaltung</b> Die Ausschaltung wird heute im Allgemeinen mit einem Wechselschalter realisiert.								
<b>Ausschaltung mit Kontrollausschalter und Steckdose</b>								
<b>Serienschaltung</b>								

Installationstechnik											
Raumwirkungsgrad											
Reflexionsgrade $\rho$ , Raumindex $k$ und Raumwirkungsgrad $\eta_R$									Lichtverteilung bei 1000 lm		
Decke $\rho_1$	0,8			0,5			0,3				
Wände $\rho_2$	0,5		0,3		0,5		0,3				
Boden $\rho_3$	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1			
Raumindex $k$	Raumwirkungsgrad $\eta_R$ in %										
0,6	41	39	31	30	37	35	29	28	27		
1,0	59	55	49	46	52	50	44	43	41		
1,5	74	67	64	60	66	61	58	55	52		
2,0	83	74	73	67	73	68	66	62	59		
3,0	95	83	87	77	83	76	77	71	68		
5,0	106	91	99	86	91	83	87	80	76		
Raumindex $k$	Raumwirkungsgrad $\eta_R$ in %										
0,6	36	34	27	26	29	28	23	22	19		
1,0	52	48	43	40	41	39	35	33	29		
1,5	65	59	56	52	52	49	45	43	38		
2,0	74	66	65	59	58	54	52	49	43		
3,0	84	74	77	68	66	61	61	57	50		
5,0	94	81	88	77	74	67	70	64	56		
Raumindex $k$	Raumwirkungsgrad $\eta_R$ in %										
0,6	15	15	9	10	11	12	6	8	5		
1,0	28	27	20	19	18	19	13	13	8		
1,5	41	39	31	30	26	25	20	19	13		
2,0	51	48	41	40	32	30	26	25	16		
3,0	65	58	55	52	39	37	34	32	20		
5,0	77	68	70	63	45	43	42	39	24		
Lampendaten											
Leuchtstofflampen in Stabform (230 V)						Energieeffizienzklasse A, B					
Leistung in W	Art		Farbwiedergabe			Durchmesser in mm	Länge in mm	Sockel	Lichtstrom in lm		
20	Standard		2A			38	590	G13	1150		
36	Standard		2A			38	1200	G13	2500		
58	Standard		2A			38	1500	G13	4000		

Installationstechnik							
Lampendaten							
LED-Lampen, wichtige technische Daten							
E14 – 220 - 240 V							
Leistung in W	Lichtstrom in lm	Lichtstärke in cd	Abstrahlwinkel	Länge in mm	Durchmesser in mm	Farbe	Typ
0,7 1,5	35 65	– –	– –	61 61	26 26	Day Light Day Light	9 9
E27 – 220 - 240 V							
8 12	400 620	– –	– –	117 131	42 42	Warm White Warm White	10 10
E27 – 220 - 240 V							
15 21	830 1230	– –	– –	124 141	52 60	Warm White Warm White	11 11
LED-Lampen für Beleuchtungszwecke (Beispiele)							
Ersatz für Standardglühlampen und Reflektorlampen							
Abmessungen, Fassung	Spannung	Leistung	Lichtfarbe Lichtstrom	Lebensdauer		Bauform	
Ø 55 mm l = 109 mm E27	110 ... 240 V	2 W	ww 132 lm tw 117 lm	25000 h			
Ø 55 mm l = 113 mm E27	110 ... 240 V	8 W	ww 345 lm tw 450 lm	25000 h			
Ø 50 mm l = 64 mm E27	110 ... 240 V	4 W	ww 130 lm tw 140 lm	15000 h			
Ø 50 mm l = 50 mm E27	230 V	3,5 W	tw 180 lm	30000 h			
Ø 51 mm l = 118 mm 54 LED E27	230 V	8 W	ww 580 lm tw 760 lm	10000 h			
Ø 50 mm l = 72 mm 80 LED E27	230 V	1,4 W	ww 45 lm tw 45 lm 45°	50000 h			
SMD-LED-Röhren							
Abmessungen, Fassung	Spannung	Leistung	Lichtfarbe Lichtstrom	Lebensdauer		Bauform	
l = 60 cm: 120 LED	230 V	8 W	950 lm	50000 h			
l = 120 cm: 240 LED		14 W	1800 lm				

Installationstechnik					
Lampendaten					
SMD-LED-Röhren					
Abmessungen, Fassung	Spannung	Leistung	Lichtfarbe Lichtstrom	Lebensdauer	Bauform
$l = 1500 \text{ cm}$ : 300 LED $\varnothing 26 \text{ mm}$ G13	230 V	17 W	2100 lm	50000 h	
Einbau-Reflektorlampen					
Abmessungen, Fassung	Spannung	Leistung	Lichtfarbe Lichtstrom	Lebensdauer	Bauform
$\varnothing 50 \text{ mm}$ $l = 4,8 \text{ cm}$ GU5,3	12 V	1,5 W	ww 120 lm	25000 h	
$\varnothing 50 \text{ mm}$ $l = 5,7 \text{ cm}$ GU10	230 V	4 W	ww 150 lm	25000 h	
Vergleichswerte					
Lichtstrom $\Phi_L$ in lm	Glühlampe $P$ in W	Halogenlampe $P$ in W	Energiesparlampe $P$ in W	LED-Lampe $P$ in W	
180 – 200	25	18	5 – 6	4 – 5	
350 – 390	40	28	8 – 10	6 – 7	
590 – 650	60	46	12 – 15	9 – 11	
800 – 890	75	52	15 – 18	11 – 14	
1150 – 1270	100	76	20 – 25	15 – 19	
Energieeffizienz von Lampen (Ökodesign-Richtlinie)					
A	60 lm/W				
B	25 lm/W				
C	17 lm/W				
D	14 lm/W				
E	12 lm/W				
F	10 lm/W				
G	< 10 lm/W				
 <p>Diagramm zur Energieeffizienz von Lampen (Ökodesign-Richtlinie). Es zeigt die Energieeffizienzklasse der Lampe (A++ bis E) in einem Balkendiagramm. Die Klassen sind von oben nach unten: A++, A+, A, B, C, D, E. Ein Pfeil zeigt auf die Klasse A++. Die Klassierung basiert auf dem Stromverbrauch in kWh/1000h. Ein blauer Rahmen umschließt das Diagramm. Die Klassierung ist in einem blauen Kasten mit der Aufschrift "XXX kWh/1000h" vermerkt.</p>					
Energiesparlampe		LED-Lampe		Halogenlampe	
Ähnlich geringer Energieverbrauch wie LED bei gleicher Lichtausbeute. Verzögerte Einschaltung, nicht sehr schaltfest, sinnvoll bei langen Leuchtzeiten. Enthaltendes Quecksilber ist Sondermüll.		Ca. 95 % der elektrischen Energie wird in Licht umgewandelt. Sehr lange Lebensdauer. Nicht alle LED sind dimmbar.		Natürliches Licht mit guter Farbwiedergabe. Wärmestrahler, ca. 85 % der elektrischen Energie wird in Wärme umgewandelt. Hohe Temperaturen (bis 250 °C).	

Installationstechnik								
Lampendaten								
Vergleichswerte								
Farbtemperatur bei LED-Lampen (angegeben in Kelvin)								
Warmweiß			Neutralweiß			Tageslichtweiß		
	1000 K	2000 K	3000 K	4000 K	5000 K	6000 K	7000 K	8000 K
Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaften								
Die Qualität von Lampen bezüglich der <b>Farbwiedergabe</b> wird durch den <b>Farbwiedergabe-Index <math>R_a</math></b> beschrieben. Lampen mit hohem Index geben alle Farben sehr natürlich wieder.								
Durch die <b>Farbtemperatur <math>T_F</math></b> in Kelvin wird die Lichtfarbe der Lampe angegeben.								
$T_F > 5300$ K:	tageslichtweiß (tw)							
$T_F 3300 - 5300$ K:	neutralweiß (nw)							
$T_F < 3300$ K:	warmweiß (ww)							
Lichtfarbe und Farbwiedergabeeigenschaften von Lampen								
Index $R_a$	90 – 100	80 – 89	70 – 79	60 – 69	40 – 59	unter 39		
Qualität	sehr gut	gut	bedingt gut	weniger gut	genügend	ungenügend		
tages-lichtweiß tw	De Luxe Leuchtstofflampen, Tageslicht	Dreibanden-leuchtstofflampen, Tageslicht	Mischlicht-lampen	Mischlicht-lampen, Halogen-lampen	–	–		
neutral-weiß nw	De Luxe Leuchtstofflampen, weiß	Halogenlampen, Kompakt-Leuchtstofflampen	Standard-Leuchtstofflampen, universal-weiß	Standard-Leuchtstofflampen, weiß	Quecksilber-dampf-lampen	–		
warm-weiß ww	Glühlampen, De Luxe Leuchtstofflampen, warmton	Kompakt-leuchtstofflampen, warmton	–	–	Standard-Leuchtstofflampen, warmton	Natrium-dampf-lampen		
Anwendung von Leuchtstofflampen								
Lichtfarbe	daylight	cool white	cool white de luxe	universal white	warmwhite	warmwhite de luxe	natura de luxe	interna
Kennzahl	860	840	940	25	830	930	76	2A
Farbwiedergabestufe	1B	1B	1A	2A	1B	1A	2A	1B
Eigenschaften	entspricht Tageslicht bei bedecktem Himmel	sehr gute Farbwiedergabe	sehr hohe Lichtausbeute	universale Lichtfarbe	warmes Licht, hohe Lichtausbeute	sehr gute Farbwiedergabe	natürliche Farbwiedergabe	für Kombination mit Glühlampen