

Auslegung Aktorversorgung ELP

1 Netzteil

1.1 Anforderungen

Für das Netzteil der Aktorversorgung gelten besondere Anforderungen bezüglich Sicherheit, Funktion und Bemessung.

1. Das Linearmodul ELP erfordert eine Versorgung mit einer schützenden Kleinspannung (PELV). Die Versorgungsnetzteile müssen die Anforderungen für eine sichere Trennung nach IEC 60364-4-41 (DIN VDE 0100-410) erfüllen.
2. Das Netzteil muss tolerant sein gegenüber einem Anstieg der Spannungen auf Werte oberhalb der geregelten Ausgangsspannung. Es darf bei Spannungen bis 35 V bei 24 V - Versorgung und 63 V bei 48 V - Versorgung nicht durch eine Überspannungsschutzschaltung abgeschaltet werden, sondern muss bei Erreichen der Regelspannung sofort wieder bereit sein, Strom zu liefern.
3. Das Netzteil muss in der Lage sein, den benötigten Spitzenstrom für die angeschlossenen Verbraucher zu liefern, ohne dass die Strombegrenzung anspricht und es zu Spannungseinbrüchen kommt.

1.2 Dimensionierung

Parameter	Symbol	Bedeutung
ELP Nennstrom	I_{ELP_N}	Nennstrom eines Linearmoduls ELP beim Andrücken an einen Anschlag, siehe Tabelle 1
ELP Spitzenstrom	I_{ELP_max}	Maximalstrom eines Linearmoduls ELP beim Beschleunigen, siehe Tabelle 1.
Netzteil Nennstrom	I_{NT_N}	Der Nennstrom des Netzteils ist der Dauerstrom, den das Netzteil bei einer bestimmten Umgebungstemperatur dauerhaft liefern kann. Er entspricht der Summe der Nennströme aller angeschlossenen Linearmodule ELP. $I_{NT_N} = I1_{ELP_N} + I2_{ELP_N} + \dots + In_{ELP_N}$
Netzteil Spitzenstrom	I_{NT_max}	Der Spitzenstrom des Netzteils ist die Summe der Spitzenströme aller gleichzeitig beschleunigten Linearmodule ELP und der Nennströme aller restlichen angeschlossenen Aktoren. Werden mehrere unterschiedliche ELP zu verschiedenen Zeitpunkten beschleunigt, so sind die höchsten gleichzeitig auftretenden Spitzenströme zu betrachten. Beispiel: Aktor 1 und Aktor 2 beschleunigen gleichzeitig und sind die größten Baugrößen. Die restlichen Aktoren

		sind in Ruhe. $I_{NT_max} \geq I1_{ELP_max} + I2_{ELP_max} + I3_{ELP_N} + \dots + In_{ELP_N}$
Netzteil Überlastfaktor	ÜF	Kurzzeitig kann das Netzteil Strom aus der Ausgangskapazität liefern, ohne dass die Strombegrenzung anspricht und die Spannung zusammenbricht. Der Überlastfaktor des Netzteils ist das Verhältnis von Spitzenstrom zum Nennstrom für die typische Stromform beim Beschleunigen von ELP Linearmodulen. $I_{NT_max} = I_{NT_N} * \text{ÜF}$ Bei unbekanntem Überlastfaktor ist $I_{NT_max} = I_{NT_N}$ Bekannte Überlastfaktoren siehe Tabelle 2.

Tabelle 1: Stromaufnahmen ELP

Baugröße	U _A [V]	I _{ELP_N} [A]	I _{ELP_max} [A]
ELP 025	24	0,64	2,0
	48	0,33	1,0
ELP 050	24	1,00	2,1
	48	0,50	2,0
ELP 100	24	1,60	5,9
	48	0,83	5,9

Tabelle 2: Überlastfaktoren von Netzteilen

Hersteller	Typ	ÜF
Block	PC-1AC/DC24	1,35
Block	PC-1AC/DC48	1,35
Weidmüller	PRO MAX 240W 24V	2,0
Weidmüller	PRO MAX 240W 48V	1,7

2 Brems-Chopper

Durch Einsatz moderner Leistungselektronik ist es möglich, die Energie aus Bremsvorgängen (kinetische Energie und Lageenergie) in die Versorgung zurück zu liefern. Diese Betriebsart wird als generatorischer Betrieb bezeichnet. Je nach Nutzlast, erreichter Geschwindigkeit und Einbauart sind die Linearmodule ELP in der Lage, während des Bremsvorgangs mehr Energie zu erzeugen als sie selbst über elektrische Verluste und Reibungsverluste verbrauchen. In diesem Fall verteilt sich die Bremsenergie auf die Zwischenkreiskapazitäten aller angeschlossenen Geräte und auf die Ausgangskapazität des Netzteils, was zu einem Anstieg der Versorgungsspannung führt. Das Netzteil stoppt die eigene Energiezufuhr sofort bei Überschreiten der Regelspannung, kann aber einen weiteren Anstieg nicht verhindern. Als Folge kann das Netzteil dauerhaft abschalten oder sogar zerstört werden.

2.1 Platzierung

Der Brems-Chopper wird immer in der Nähe der größten Kapazität in der Versorgung angeschlossen, damit die größten Bremsströme nur lokal fließen und keine Spannungsabfälle an langen Leitungen verursachen.

In der Regel befindet sich die größte Kapazität im Netzteil, so dass der Brems-Chopper direkt an das Aktor-Netzteil im Schaltschrank angeschlossen wird. Ein Durchschleifen der Aktorspannung über den Brems-Chopper ist je nach Bauform möglich. Funktionell liegt der zuschaltbare Bremswiderstand jedoch immer zwischen dem Pluspol und Minuspol der Aktorversorgung, also parallel zur Last.

2.2 Bremsenergie und Bremsleistung

Der Brems-Chopper muss so ausgelegt sein, dass er bei seiner maximalen Umgebungstemperatur die überschüssige Energie in Wärme umsetzen kann, welche in die Aktorversorgung nach Erreichen der Schaltschwelle von den angeschlossenen Geräten im Mittelwert eingespeist wird. Zur Berechnung der Bremsenergie und Bremsleistung wird die Gesamtkapazität der Aktorversorgung benötigt. Die Werte der Zwischenkreiskondensatoren aller angeschlossenen Aktoren, sowie die Ausgangskapazität des Netzteils sind von den Herstellern zu erfragen.

Parameter	Symbol	Bedeutung
Aktorspannung	U_A	Nominale Versorgungsspannung der Aktoren
Schaltschwelle, Schwellenspannung	$U_{th} (V_{th})$	Der Wert muss entsprechend der Versorgungsspannung U_A gewählt werden. $U_A = 24 \text{ V} \rightarrow U_{th} = 28 \text{ V}$ $U_A = 48 \text{ V} \rightarrow U_{th} = 56 \text{ V}$
Speicherenergie	W_S	Die Speicherenergie kann von der Gesamtkapazität aller Aktoren aufgenommen werden, ohne die Schaltschwelle U_{th} zu überschreiten. Kapazitätswerte C_{NT} Netzteil Fa. Block:

		24 V / 5 A 6000 µF 24 V / 10 A 7500 µF 24 V / 20 A 9680 µF 48 V / 5 A 2240 µF 48 V / 10 A 2900 µF Kapazitätswerte C_A Linearmodule: ELP 025 390 µF ELP 050 560 µF ELP 100 1360 µF $W_S = 0,5 * (C_{NT} + C_{A1} + ... + C_{An}) * (U_{th}^2 - U_A^2)$ Wird die Aktorspannung zur Kompensation von Spannungsabfällen am Netzteil anheben, verringert sich die Speicherenergie. In diesem Fall ist es sinnvoll, den Brems-Chopper an einen Verteiler in der Nähe der Linearmodule anzuschließen oder auf die Anhebung der Versorgungsspannung zu verzichten.
Bremsenergie	W _{B1} W _{B2}	Die Bremsenergie ist die Energie, die bei einem Bremsvorgang in die Versorgung zurückgeliefert wird. W_{B1} = Bremsenergie Richtung 1 W_{B2} = Bremsenergie Richtung 2 Bei horizontaler Einbaulage ist W_{B1} = W_{B2} Bremsenergie in Abhängigkeit der Einbaulage und Nutzlast siehe Tabelle 3 oder Tabelle 4. Einzelne Aktoren erfordern einen Brems-Chopper, wenn W_{B1} oder W_{B2} größer als Speicherenergie W_S sind. Ein Brems-Chopper ist nötig, wenn die Bremsenergie aller gleichzeitigen Bremsvorgänge die Speicherenergie übersteigt. Beispiel: Aktor 1 mit Bremsenergie W1 bremst in Richtung 1 gleichzeitig mit Aktor 2 mit Bremsenergie W2 in Richtung 2. Falls W_{B1} + W_{B2} > W_S ist ein Brems-Chopper nötig.
Dauerverlustleistung	P _{cont}	Die Verlustleistung im Brems-Chopper kann aus den Bremsleistungen der einzelnen Aktoren berechnet werden. Sie ist die Energie, die während einem Zyklus nicht als Speicherenergie W_S aufgenommen werden kann. Nach jeder Bewegung B1 und B2 wird der Speicher durch den Verbrauch des Linearmoduls am Anschlag geleert.

		Bremsleistung bei nicht synchronem Betrieb mehrerer Aktoren mit unterschiedlichen Zykluszeiten: Bremsleistung Aktor 1: $P1 = (W1_{B1} - W_S + W1_{B2} - W_S) / T_{Zyklus1}$ Bremsleistung Aktor 2: $P2 = (W2_{B1} - W_S + W2_{B2} - W_S) / T_{Zyklus2}$ Die Bremsleistungen bei synchronem Betrieb mehrerer Aktoren mit gleicher Zykluszeit werden zu einem Aktor zusammengefasst: Bremsleistung Aktor 1: $P1 = (W1_{B1} + W2_{B1} - W_S + W1_{B2} + W2_{B2} - W_S) / T_{Zyklus}$ Die Bremsleistungen der restlichen Aktoren mit unterschiedlicher Zykluszeit werden einzeln berechnet. Bremsleistung Aktor 3: $P3 = (W3_{B1} - W_S + W3_{B2} - W_S) / T_{Zyklus3}$ Die Dauerverlustleistung des Brems-Choppers muss bei seiner maximalen Umgebungstemperatur höher sein als die Summe aller Bremsleistungen. Derating laut Datenblatt beachten. $P_{cont} > P1 + P2 + \dots + Pn$ Brems-Chopper dürfen zur Vergrößerung der Dauerverlustleistung nicht parallel geschaltet werden.
Maximaler Strom Spitzenstrom	I_{max}	Der Spitzenstrom im Brems-Chopper wird durch den Bremswiderstand und die Aktorspannung bestimmt und kann nur bei externem Bremswiderstand durch den Anwender beeinflusst werden.

Tabelle 3: Bremsenergie bei Aktorspannung 24 V

Die Bremsenergie von ELP 025 ist kleiner 0,2 J und kann vernachlässigt werden.

Die Energien dürfen zwischen den Werten gleicher Ausrichtung für fehlende und maximale Nutzlast linear interpoliert werden.

Linearmodul	Nutzlast [kg]	Ausrichtung	Energie W_{B1} [J]	Energie W_{B2} [J]
ELP 050-H060	3	Horizontal	0,31	0,30
	2	Vertikal	0,55	0,14
	0	Horizontal	0,34	0,33
	0	Vertikal	0,47	0,23
ELP 050-H100	3	Horizontal	0,66	0,62
	2	Vertikal	1,14	0,17
	0	Horizontal	0,45	0,41
	0	Vertikal	0,63	0,24
ELP 100-H080	6	Horizontal	2,00	2,00
	4	Vertikal	3,21	0,88
	0	Horizontal	1,32	1,35
	0	Vertikal	1,86	0,99
ELP 100-H120	6	Horizontal	3,44	3,46
	4	Vertikal	5,45	1,40
	0	Horizontal	1,38	1,38
	0	Vertikal	2,17	1,03
ELP 100-H200	6	Horizontal	5,39	5,57
	4	Vertikal	8,25	1,55
	0	Horizontal	1,73	1,73
	0	Vertikal	3,35	1,16

Tabelle 4: Bremsenergie bei Aktorspannung 48 V

Die Bremsenergie von ELP 25 ist kleiner 0,2 J und kann vernachlässigt werden.

Die Energien dürfen zwischen den Werten gleicher Ausrichtung für fehlende und maximale Nutzlast linear interpoliert werden.

Linearmodul	Nutzlast [kg]	Ausrichtung	Energie W_{B1} [J]	Energie W_{B2} [J]
ELP 050-H060	3	Horizontal	0,28	0,28
	2	Vertikal	0,50	0,12
	0	Horizontal	0,49	0,47
	0	Vertikal	0,59	0,36
ELP 050-H100	3	Horizontal	0,61	0,58
	2	Vertikal	1,01	0,16
	0	Horizontal	0,82	0,72
	0	Vertikal	0,98	0,50
ELP 100-H080	6	Horizontal	1,48	1,49
	4	Vertikal	2,44	0,72
	0	Horizontal	1,81	1,81
	0	Vertikal	2,30	1,46
ELP 100-H120	6	Horizontal	2,78	2,79
	4	Vertikal	4,62	1,13
	0	Horizontal	3,20	3,23
	0	Vertikal	4,05	2,44
ELP 100-H200	6	Horizontal	5,50	5,63
	4	Vertikal	7,65	1,22
	0	Horizontal	5,66	5,70
	0	Vertikal	7,50	3,77

3 Beispielrechnung

3.1 Beispiel 1

2 ELP 050-H100 horizontal mit maximaler Nutzlast
gleichzeitige Bremsung und gleichzeitige Beschleunigung möglich, Zykluszeit 1 s
maximale Geschwindigkeit

2 ELP 025-H080 vertikal mit maximaler Nutzlast
gleichzeitige Bremsung und gleichzeitige Beschleunigung möglich, Zykluszeit 1 s
maximale Geschwindigkeit

Netzteil

Versorgungsspannung 24 V

$$I_{NT_N} = I_{1ELP_N} + I_{2ELP_N} + \dots + I_{nELP_N}$$

$$I_{NT_N} = 1,0 \text{ A} + 1,0 \text{ A} + 0,64 \text{ A} + 0,64 \text{ A} = 3,28 \text{ A}$$

Spitzenstrom 2 gleichzeitig beschleunigte ELP 050 + Nennstrom 2 ELP 025:

$$I_{NT_max} \geq I_{1ELP_max} + I_{2ELP_max} + I_{3ELP_N} + \dots + I_{nELP_N}$$

$$2,1 \text{ A} + 2,1 \text{ A} + 0,64 \text{ A} + 0,64 \text{ A} = 5,48 \text{ A}$$

Spitzenstrom 2 gleichzeitig beschleunigte ELP 025 + Nennstrom 2 ELP50:

$$2,0 \text{ A} + 2,0 \text{ A} + 1,0 + 1,0 = 4,0 \text{ A}$$

ELP 025 und ELP 050 werden nicht gleichzeitig beschleunigt!

Bei Verwendung Block PC-1AC/DC24 wären bis zu $10 \text{ A} \cdot 1,35 = 13,5 \text{ A}$ möglich

Das Netzteil Block PC-1AC/DC24/10 A ist ausreichend für den höchsten Spitzenstrom 5,48 A.

Speicherenergie

$$W_S = 0,5 \cdot (C_{NT} + C_{A1} + \dots C_{An}) \cdot (U_{th}^2 - U_A^2)$$

$$W_S = 0,5 \cdot (7500 \mu\text{F} + 390 \mu\text{F} + 390 \mu\text{F} + 560 \mu\text{F} + 560 \mu\text{F}) \cdot (28 \text{ V}^2 - 24 \text{ V}^2) = 0,98 \text{ J}$$

Auch die Zwischenkreiskapazitäten der ELP 025 werden als Speicher verwendet.

Bremsenergie ELP 050

$$W_{1B1} + W_{2B2} > W_S ?$$

$$W_{1B1} + W_{2B2} = 0,67 \text{ J} + 0,67 \text{ J} = 1,34 \text{ J} > 0,98 \text{ J}$$

Bei gleichzeitiger Bremsung von 2 ELP 050 ist ein Brems-Chopper notwendig.

ELP 025 wird nicht in die Berechnung der Bremsenergie einbezogen.

Dauerverlustleistung

$$P_{cont} = P_1 + P_2 + \dots P_n$$

$$P_1 = (W_{1B1} + W_{2B1} - W_S + W_{1B2} + W_{2B1} - W_S) / T_{Zyklus1}$$

$$P_1 = (0,67 \text{ J} + 0,67 \text{ J} - 0,98 \text{ J} + 0,67 \text{ J} + 0,67 \text{ J} - 0,98 \text{ J}) / 1 \text{ s} = 0,72 \text{ W}$$

$$P_{cont} = P_1 = 0,72 \text{ W}$$

ELP 025 wird nicht in die Berechnung der Verlustleistung einbezogen.

3.2 Beispiel 2

2 ELP 100-H200 horizontal mit maximaler Nutzlast

gleichzeitige Bremsung und gleichzeitige Beschleunigung, Zykluszeit 2 s
maximale Geschwindigkeit

2 ELP 50-H060 vertikal mit maximaler Nutzlast

gleichzeitige Bremsung und gleichzeitige Beschleunigung, Zykluszeit 2 s
maximale Geschwindigkeit

Netzteil

Versorgungsspannung 24 V

Nennstrom = 1,6 A + 1,6 A + 1,0 A + 1,0 A = 5,2 A

Spitzenstrom 2 gleichzeitig beschleunigte ELP 100 + Nennstrom 2 ELP 050:

5,9 A + 5,9 A + 1,0 A + 1,0 A = 13,8 A

Spitzenstrom 2 gleichzeitig beschleunigte ELP 050 + Nennstrom 2 ELP100:

2,1 A + 2,1 A + 1,6 + 1,6 = 7,4 A

ELP 100 und ELP 050 werden nicht gleichzeitig beschleunigt!

Bei Verwendung Block PC-1AC/DC24 wären bis zu $10 \text{ A} \cdot 1,35 = 13,5 \text{ A}$ möglich

Das Netzteil Block PC-1AC/DC24/10 A ist noch ausreichend für den Spitzenstrom 13,8 A, weil der Spitzenstrom in den technischen Daten ohne Nutzlast mit maximaler Geschwindigkeit bestimmt wurde.

Speicherenergie

$$W_S = 0,5 \cdot (C_{NT} + C_{A1} + \dots C_{An}) \cdot (U_{th}^2 - U_A^2)$$

$$W_S = 0,5 \cdot (7500 \mu\text{F} + 1360 \mu\text{F} + 1360 \mu\text{F} + 560 \mu\text{F} + 560 \mu\text{F}) \cdot (28 \text{ V}^2 - 24 \text{ V}^2) = 1,18 \text{ J}$$

Bremsenergie ELP 100

$$W_{1B1} + W_{2B2} = 4,3 \text{ J} + 4,3 \text{ J} = 8,6 \text{ J} > 1,18 \text{ J}$$

Ein Brems-Chopper ist notwendig.

Dauerverlustleistung

Für die beiden ELP 100 ist

$$P_1 = (W_{1B1} + W_{2B1} - W_S + W_{1B2} + W_{2B1} - W_S) / T_{\text{Zyklus1}}$$

$$P_1 = (4,3 \text{ J} + 4,3 \text{ J} - 1,18 \text{ J} + 4,3 \text{ J} + 4,3 \text{ J} - 1,18 \text{ J}) / 2 \text{ s} = 7,42 \text{ W}$$

Für die beiden ELP 50 ist

$$P_2 = (W_{1B1} + W_{2B1} - W_S + W_{1B2} + W_{2B1} - W_S) / T_{\text{Zyklus1}}$$

$$P_2 = (0,58 \text{ J} + 0,58 \text{ J} - 1,18 \text{ J} + 0,05 \text{ J} + 0,05 \text{ J} - 1,18 \text{ J}) / 2 \text{ s}$$

Die Bremsenergien beider Bewegungen B1 und B2 sind kleiner als die Speicherenergie. Sie werden vollständig gespeichert und erzeugen keine Verlustleistung im Brems-Chopper.

$$P_2 = 0 \text{ W}$$

$$P_{\text{cont}} = P_1 + P_2 + \dots P_n$$

$$P_{\text{cont}} = 7,42 \text{ W}$$

Die Dauerverlustleistung wird allein durch die beiden ELP 100 bestimmt.