	Technische Kundeninformation	KI0109d0
	Notevakuierung USV oder Batterie Spezifikation, elektrische Auslegung	16.09.01
		Seite 1 von 6

Mechatronik für Aufzugsmonteure und Antriebstechniker, Teil 9

Von Dipl. Ing. Holger Schwedt und Dipl. Ing. Götz Benczek
(Dietz-electronic GmbH)

1 Einführung

Das Thema Notevakuierung von Personen, die bei einem ev. Stromausfall zwischen den Stockwerken im Aufzug gefangen sind, ist ein besonders beachtenswerter Punkt. Die räumliche Enge in der Kabine erzeugt früher oder später bei den eingeschlossenen Personen eine nicht zu unterschätzenden Stressfaktor. Es ist daher optimal, wenn die Aufzugsanlage - möglichst ohne irgendeinen manuellen Eingriff - automatisch bei Stromausfall in eine geeignete Haltestelle fährt, damit die Personen den Lift verlassen können. Wir sind bereits in vorherigen Berichten kurz auf das Thema Notevakuierung eingegangen. An dieser Stelle wollen wir wichtige Details einmal näher betrachten.

Zur Durchführung der Evakuierung wird ein Minimum elektrischer Energie benötigt, für:

- Notbeleuchtung der Kabine
- Steuerung der Aufzugsanlage
- Öffnen/Schließen der Bremse
- Öffnung der Türen
- Antrieb der Kabine
- Weitere Systeme (Notruf usw.)

Im weiteren wollen wir in der Hauptsache den Energiebedarf der Antriebsmaschine betrachten. Die anderen Verbraucher müssen natürlich in die gesamte Energiebilanz während der Notevakuierung einbezogen werden.

Zur Energieversorgung während eines Stromausfalls der normalen Netzversorgung können folgende Möglichkeiten für eine Evakuierung zur Verfügung stehen:

1. Muskelkraft, manuelles Öffnen der Bremse und Türen, Betätigung des Handrades
2. Notstromversorgung der Anlage durch einen Generator mit Dreh-/Wechselstrom
3. Batterieschrank mit Akkumulatoren $U_{typ} 240V DC$
4. USV Anlage mit Akkumulatoren als Energiespeicher mit nachgeschaltetem Hochsetzsteller auf z. B. $U_{ac}=230V 50Hz 1AC$

Die o. g. Notstromeinrichtungen werden aus Kostengründen normalerweise nicht auf den Nennenergiebedarf der gesamten Anlage ausgelegt (Ausnahme kann der Betrieb an einem Aggregat mit Verbrennungsmotor sein, mit dem für einen kurzen Zeitraum ein ganz normaler Aufzugsbetrieb aufrechterhalten werden kann). Sie sind in der Regel für kurzzeitigen und sparsamsten Betrieb ausgelegt. Die Spezifikationen - z. B. die volle Nenngeschwindigkeit - müssen bei der Notevakuierung nicht eingehalten werden. Besonders durch Reduktion der Fahrgeschwindigkeit im Notbetrieb kann die installierte Leistung - im Falle der USV oder dem Batterieschrank - erheblich vermindert werden.

2 Spezifikationen

Das folgende Rechenbeispiel wollen wir an Hand der technischen Daten, die wir bereits in einem früheren Kapitel (Auslegung/Planung von Aufzugsanlagen, siehe dort auch Bild 8) erörtert hatten, zu Grunde legen. Zur Erinnerung verwendeten wir folgende Lift-Daten:

Aufzug

Nutzlast m_n :	1000 kg	Geschwindigkeit v :	1,6 m/s
Kabinengewicht m_{kab} :	500 kg	Getriebeübersetzung i	57:2
Gegengewicht m_g :	1000 kg	Treibscheibendurchmesser D	0,6 m
Aufhängung:	1:1	Massenträgheitsmoment J_g	0,3 kg*m ²
		(bezogen auf Motorwelle)	
max. Beschleunigung a :	1,4 m/s ²		

Motor

Nennleistung	P_n :	15 kW	Nenndrehzahl	n_n :	1450/min
Nennmoment	M_n :	98 Nm	Nennstrom	I_n :	33 A
$\cos\phi$		0,83	Wirkungsgrad	η_{mot} :	0,9
Nennfrequenz	f_n :	50 Hz	Nennspannung	U_n :	360 V
Trägheitsmoment	J_{mot} :	0,1 kg*m ²	Statorwiderstand	R_a :	0,22 Ω bei 100°C

Die nachfolgende Berechnung wird an Hand der o. g. Daten und einer typischen USV ("unterbrechungsfreie" Stromversorgung) oder Batterie mit folgender Spezifikation durchgeführt:

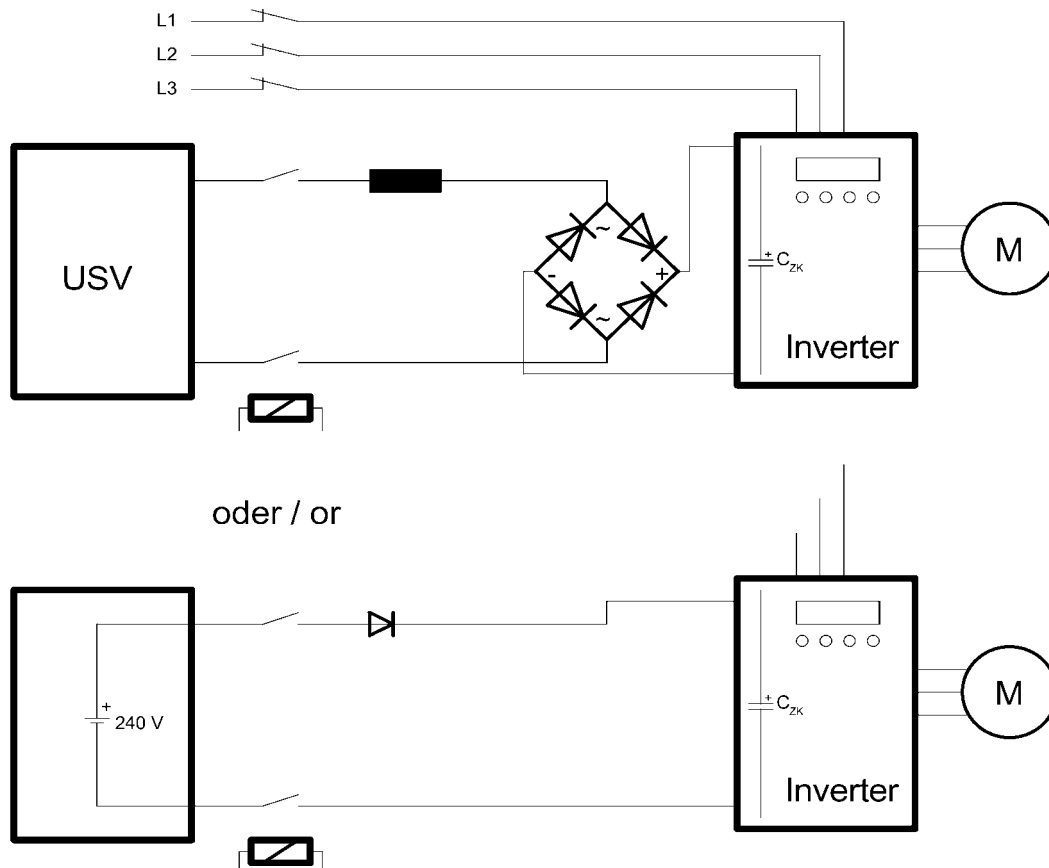
USV

Nennspannung:	U_e :	230 V 50/60 Hz
Nennleistung:	P :	3000 VA
Nennwirkleistung	P_{wmax} :	2250 W
Batteriekapazität	BK:	4 * 12 V á 17 Ah


Batterie

Nennspannung:	U_b :	240 V DC (20*12V in Reihe)
Batteriekapazität	BK:	typ. min. 3Ah

Schaltbild (siehe auch Bild 24 im Kapitel Sicherheit/Inbetriebnahme):


Beschreibung der oben gezeigten Schaltungen

Eine geeignete Verriegelung z. B. mit Schützen verhindert, dass normaler Netzbetrieb und Notevakuierung gleichzeitig am Umrichter anliegen. Dies gewährleistet außerdem der Gleichrichter (USV) oder die Entkopplungsdiode (Batterie) zum Zwischenkreis des

	Technische Kundeninformation	KI0109d0
	Notevakuierung USV oder Batterie Spezifikation, elektrische Auslegung	16.09.01 Seite 3 von 6

Umrichters. Die nominale Zwischenkreisspannung des Umrichters ist im Netzbetrieb um vieles höher als die Spannung der USV oder der Batterie. Daher besteht bei direkter Verbindung Zerstörungs- und u. U. sogar Explosionsgefahr. Der Gleichrichter bzw. die Diode muss für die Netzspannung, also 400-500 Volt 3AC ausgelegt sein; d. h., dass die Sperrspannung typisch 1400...1600V betragen sollte.

Ein Teil die erzeugten Wechselspannung der USV wird für den Umrichter gleichgerichtet und in dessen Zwischenkreis eingespeist. Hierbei dämpft eine Drossel (alternativ auch ein Widerstand mit zeitlicher Überbrückung durch ein Hilfsschütz) den Ladestrom auf die Zwischenkreiskapazität. Die Gleichspannung eines Batterieschrankes kann dagegen direkt über die Entkopplungsdiode in den Zwischenkreis gespeist werden (die hierbei verwendeten Akkumulatoren vertragen den kurzzeitigen Ladestromstoß problemlos).

4. Notwendige Funktionen des Umrichters und der Notstromversorgung:

- Notbetrieb des Frequenzumrichters mit niedriger Spannung muss möglich sein!
- Beim Einschalten der Notstromversorgung auf den entladenen Zwischenkreis muss ein hoher Ladestrom beherrscht werden. Der Ladestrom darf nicht zur Abschaltung der Notstromversorgung führen, eventuelle Sicherung müssen für das Einschalten geeignet sein.
- Während der Einschaltung bricht die Spannung der USV deutlich zusammen. Ihre Steuerung und alle anderen durch Notstrom versorgten Anlagenteile müssen dies sicher tolerieren und gegebenenfalls automatisch neu gestartet werden.
- Akkumulatoren altern schneller als andere elektrische Komponenten; daher müssen sie auch bei regelmäßiger Wartung besonders beachtet werden.
- Die Leistung und die Batteriekapazität der Notstromversorgung muss ausreichen, damit die Aufzugskabine überhaupt bewegt und die spezifizierte Haltestelle erreicht werden kann.
- Die Auslegung sollte so sein, dass - unabhängig vom Beladungszustand der Kabine - sowohl aufwärts als auch abwärts evakuiert werden kann.

5. Auslegungsbeispiel


Zuerst muss die Geschwindigkeit während der Evakuierung spezifiziert werden. Diese Geschwindigkeit soll und muss sehr klein sein, damit Hubleistung gespart wird und keine zusätzlichen Drehmomente für Beschleunigungen anfallen. Typisch beträgt diese Geschwindigkeit V_{not} 1-10% der Nenngeschwindigkeit $V3$. Wir wählen für unsere folgende Betrachtung $V_{not} = 0,1m/s$, d. h. für 1m werden 10 sec Zeit benötigt. Die Fahrzeitüberwachung der Steuerung muss während der Evakuierung diese langen Zeiten tolerieren. Die Berechnung der "Evakuierungsleistung" erfolgt nach dem "Einzelverlustverfahren". Dazu benötigen wir:

- Die Hubleistung während der Evakuierung bei V_{not} P_{hnot}
- Die Rotorverlustleistung des Asynchronmotors P_{vrot}
- Die Statorverlustleistung des Motors P_{vsta}
- Die Eisenverluste des Motors und sonstige (Umrichter, Drossel Gleichrichter...)

Zuerst berechnen wir die Hubleistung und erinnern uns an unseren Artikel "Auslegung und Planung von Aufzugsanlagen" (siehe dazu Aufsatz in "Liftreport 02/2001" S. 40ff):

Hubleistung

$$\begin{aligned}
M_h &= (m_n + m_{kab} - m_g) * g * D/2 && \text{(das Moment an der Treibscheibe)} \\
M_h &= 1471,5 \text{ Nm} \\
M_{hmot} &= M_h / i && \text{(auf Motorwelle bezogen Division durch i)} \\
M_{hmot} &= 51,6 \text{ Nm} \\
M_{vmot} &= M_{hmot} * (1/ \eta - 1) && \text{(Verlustmoment bezogen auf Motorwelle)}
\end{aligned}$$

	Technische Kundeninformation	KI0109d0
	Notevakuierung USV oder Batterie Spezifikation, elektrische Auslegung	16.09.01
		Seite 4 von 6

$$M_{vmot} = 22,1 \text{ Nm}$$

$$P_{hnot} = \frac{(M_{hmot} + M_{vmot}) * n_{not}}{9550}$$

Mit unseren Vorgaben $n_n = 1450/\text{min}$ bei $V_n = 1,6 \text{ m/s}$ ergibt sich n_{not} bei $V_{not} = 0,1 \text{ m/s}$

$$n_{not} = \frac{n_n}{16}$$

$$P_{hnot} = 699 \text{ W}$$

Rotorverlustleistung

Die Rotorverlustleistung lässt sich einfach, ohne genaue Kenntnis der Motortheorie und der exakten Werte des Motorersatzschaltbildes, aus der Schlupfdrehzahl n_{sl} und dem benötigten Drehmoment M abschätzen. Die Nennschlupfdrehzahl n_{sln} kann leicht aus den Motorenndaten errechnet werden. Für die o. g. Maschine gilt:

$$\begin{aligned} n_{sln} &= 1500/\text{min} - 1450/\text{min} && (\text{bei Nennmoment } M_n = 98 \text{ Nm}) \\ n_{sln} &= 50/\text{min} \end{aligned}$$

Da der Zusammenhang zwischen Schlupfdrehzahl und Drehmoment linear ist - dafür sollte die gute Feldorientierung im Frequenzumrichter sorgen - kann die Schlupfdrehzahl n_{sl} im Betriebspunkt berechnet werden:

$$n_{sl} = \frac{(M_{hmot} + M_{vmot}) * n_{sln}}{M_n}$$

$$n_{sl} = 37,6/\text{min}$$

Damit ergibt sich als Rotorverlustleistung durch Einsetzen in die bekannte Formel

$$P_{vrot} = \frac{(M_{hmot} + M_{vmot}) * n_{sl}}{9550}$$

$$P_{vrot} = 290 \text{ W}$$

Statorverlustleistung


Die Statorverlustleistung wird durch den Wicklungswiderstand R_a und den Motorstrom im o. g. Betriebspunkt nach folgender Formel bestimmt:

$$P_{vsta} = 3 * I^2 * R_a$$

R_a ist dabei der Wicklungswiderstand in Sternschaltung des Motors. Falls Sie den Motor in Dreiecksschaltung verwenden ergibt sich $R_a = R_w/3$. Außerdem betrachten wir eine betriebswarme Maschine mit einer Wicklungstemperatur von 100°C . Der Motorhersteller spezifiziert - siehe oben in unserer Beispielanlage - $R_a = 0,22 \Omega$.

$$I = \frac{(M_{hmot} + M_{vmot}) * I_n}{M_n}$$

$$P_{vsta} = 406 \text{ W}$$

	Technische Kundeninformation	KI0109d0
	Notevakuierung USV oder Batterie Spezifikation, elektrische Auslegung	16.09.01 Seite 5 von 6

Die Summe der Einzelleistungen ergibt:

$$P_{\text{hnot}} + P_{\text{vrot}} + P_{\text{vsta}} = 1395 \text{ W}$$

Bisher haben wir noch nicht die Eisenverluste unseres Motors und den Wirkungsgrad des Frequenzumrichters betrachtet. Zur Vereinfachung nehmen wir einen Faktor von 1,1 an:

$$P_{\text{not}} = 1535 \text{ W}$$

Mit oben spezifizierten USV mit Nennwirkleistung P_{wmax} : 2250 W wird eine Notevakuierung ohne Einschränkung möglich sein, solange keine außergewöhnlich hohen Losbrechmomente notwendig sind.

Zum Beispiel: 2 faches Losbrechmoment bedeutet 2 fachen Motorstrom, dh 4 fache Stator- und Rotorverluste)

Die o. g. Berechnung lässt sich analog auch auf Asynchron- und Synchron-Gearless-Winden übertragen.

Bei Synchron-Gearless-Winden entfällt dann selbstverständlich die Rotorverlustleistung. Hinweis: Die USV versorgt in der Regel die Bremsmagneten mit. In der Praxis kann die Energie, die der Bremse zugeführt werden muss - gerade bei Gearless-Antrieben - sehr hoch ausfallen (im ungünstigsten Fall kann sie fast so hoch sein wie die Fahr-Energie).

Maximal Betriebszeit, Fahrstrecke während der Notevakuierung USV

Der Hersteller der USV-Anlage gibt die Betriebsdauer für verschiedene Leistungen an. In unserem Fall finden Sie zum Beispiel folgende Angaben:

Last [VA]	1000	1250	1600	2000	3000
Betriebszeit [min]	26	19	13	10	5

Wir wählen die Last, entsprechend der Berechnung siehe oben, mit 2000 VA und erhalten eine Betriebszeit von 10 min oder 600 sec. Während dieser Betriebszeit kann eine max. Fahrtstrecke vom 60 m bei voller Beladung theoretisch evakuiert werden.

Achtung: Vergessen Sie nicht

- die weiteren Verbraucher
- den Ladestand der Akkumulatoren
- die Alterung der Akkumulatoren, d. h. sie verlieren Speicherkapazität
- der Umgebungstemperatur (Kapazitätsverlust bei tiefen Temperaturen)

Maximal Betriebszeit, Fahrstrecke bei Notevakuierung mit Akku-Schrank


Zur Berechnung der Betriebszeit brauchen wir den Entladestrom I_b der Batterie während der Notevakuierung und Ihre Kapazität in Ah. Wir vernachlässigen den Spannungsabfall und rechnen mit einer konstanten Spannung von z. B. 12V/Zelle (d. h. $U_b = 240\text{VDC}$).

Eine Leistung P ergibt sich aus der Formel $P = I \cdot U$, dh $I = P/U$

$$I_b = \frac{P_{\text{not}} (1535\text{W})}{U_b (240\text{V})}$$

$$I_b = 6,4 \text{ A}$$

Aus der Rechnung $t = 3\text{Ah}/I_b$ ergibt sich eine Betriebszeit für die Notevakuierung von immerhin 28 Minuten (ohne einen ev. an den Batterien mitlaufenden Wechselrichter für die AC-Verbraucher).

	Technische Kundeninformation	KI0109d0
	Notevakuierung USV oder Batterie Spezifikation, elektrische Auslegung	16.09.01
		Seite 6 von 6

Achtung: Vergessen Sie daher auch hier nicht

- die weiteren Verbraucher
- den Ladestand der Akkumulatoren
- die Alterung der Akkumulatoren, d. h. sie verlieren Speicherkapazität
- der Umgebungstemperatur (Kapazitätsverlust bei tiefen Temperaturen)
- Die Nennkapazität der Akkumulatoren wird für eine bestimmte Entladezeit z. B. 1h (Stunde) spezifiziert. Die Kapazität sinkt bei kürzeren Entladezeiten. Die genauen Angaben finden Sie in der Spezifikation der Batteriehersteller (Blei-Gel, NC-Akku).

6 Abschätzung der benötigten Evakuierungsleistung

Für die o. g. Rechnung werden sehr genaue Spezifikationen benötigt, die oft in der Angebotsphase noch gar nicht vorliegen können. Für diesen Fall kann zur Abschätzung wie folgt argumentiert werden:

- Die Hubleistung während der Evakuierung bei $V_{\text{not}} \rightarrow P_{\text{hnot}}$ wird 5.-. 10% der installierten Motorleistung sein. (Bitte prüfen Sie dies so genau wie möglich!)
- Der Wirkungsgrad η_{mot} der Antriebsmaschine wird zwischen 0,75-0,95 liegen!

Durch Addition der Hubleistung und der Motorverlustleistung, kann vereinfacht die Evakuierungsleistung geschätzt werden. Sie liegt erfahrungsgemäß bei 15. - 25% der installierten, bzw. geplanten Motorleistung.

Wenn Sie Hersteller von Serienanlagen sind, können Sie den Leistungsbedarf bei der Notevakuierungs-Geschwindigkeit V_{not} natürlich auch in einer Anlage messen. Eine Notversorgung brauchen Sie dafür nicht, da die Messung der Leistung auch ohne großen Fehler im Netzeingang des Frequenzumrichters erfolgen kann. Das Meßgerät muss die Effektivwerte der Spannung U zwischen den Phasen und den Phasenstroms I bei Gleichrichterlast erfassen. ($P=\sqrt{3} \cdot U \cdot I$) Für diese Messung muss die Geschwindigkeit auf die geplante Notevakuierungsgeschwindigkeit eingestellt werden.

7 Zusammenfassung

Der Leistungsbedarf einer Notevakuierung läßt sich relativ genau und einfach abschätzen, solange die Motorverluste berechenbar sind. Dies trifft für Frequenzumrichter mit einer feldorientierten Regelung und Motordrehgeber zu. Andere Regelsysteme (ohne Drehgeber oder ohne eine Feldorientierung) haben insbesondere bei den gewünschten kleinen Motordrehzahlen, keine Kontrolle über den Motorschlupf. Der Motorstrom kann dabei unerwartet ansteigen, die Kippschlupfgrenze wird erreicht, und die gesamte Leistung der USV wird als Verlustleistung in Stator und Rotor verbraucht, ohne dass ein relevantes Drehmoment zur Verfügung steht. Die Funktion der Anlage bleibt dann dem Zufall (z. B. warme, kalte Maschine) überlassen.

Gearless Synchron-, Asynchronmotor und Altumrüstungen

- gearless Synchron und Winden mit Synchronmotoren können, wie oben beschrieben, berechnet werden. Durch die Permanentmagnete des Rotors entfällt der Schlupf und die Rotorverlustleistung.
Achtung: Berücksichtigen Sie den unter Umständen "schlechten" Wirkungsgrad dieser Maschinen. (durch mechanischen Baugröße und hohen Polzahl.)
- gearless Asynchron Winden werden analog zur o. g. Rechnung ausgelegt.
Achtung: Berücksichtigen Sie den verhältnismäßig hohen Leerlaufstrom dieser Maschinenart, er wird durch die Baugröße und die hohe Polzahl verursacht.
- Silumin-Läufer (bei Modernisierung), also "weiche" Motoren, die aus alten Anlagen übernommen wurden (vorher polumschaltbar, mit mehrtourigen Wicklungen, bzw. für Thyristorspannungsteller optimiert), sind zumindest für eine USV-Notevakuierung nicht geeignet. Hier sollte der Motor ausnahmsweise nicht weiterverwendet werden.