

# Anwendung von Leistungsschaltern für den Motorschutz mit Frequenzumrichtern

Serie 140M Leistungsschalter für den Motorschutz

Thema	Seite
<a href="#">Einführung</a>	<a href="#">2</a>
<a href="#">Typische Anwendung</a>	<a href="#">2</a>
<a href="#">Leistungsschalter am Eingang eines FU</a>	<a href="#">4</a>
<a href="#">Leistungsschalter am Ausgang eines FU</a>	<a href="#">4</a>
<a href="#">Zusammenfassung</a>	<a href="#">6</a>

## Weitere Unterlagen

Diese Dokumente enthalten zusätzliche Information zu verwandten Produkten von Rockwell Automation.

Quelle	Beschreibung
Richtlinien zur störungsfreien Verdrahtung und Erdung von industriellen Automatisierungssystemen, Publikation <a href="#">1770-4.1DE</a>	Gibt generelle Richtlinien zur Installation eines industriellen Automatisierungssystems von Rockwell Automation.
Produktzertifikations-Website, <a href="http://www.ab.com">http://www.ab.com</a>	Enthält Konformitätserklärungen, Zertifikate und andere Zertifikationsdetails.
Verdrahtungs- und Erdungsrichtlinien für pulsweitenmodulierte (PWM) Frequenzumrichter, Publikation <a href="#">DRIVES-IN001 -DE-P</a>	Enthält Anleitungen zur korrekten Verdrahtung von AC-Frequenzumrichterantrieben.
Weichert, H.; Benz, P.; Liberto, S.: Application of (Motor Protection) Circuit Breakers in Combination with Variable Frequency Drives, 57th Holm Conference on Electrical Contacts, Portland, 2012 <a href="http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/140m-wp002_-en-p.pdf">http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/140m-wp002_-en-p.pdf</a>	Beschreibt das Zusammenwirken von Frequenzumrichter-Spannungspulsen mit Leitung, Motor und Schaltgeräten (English)
Weichert, H.; Benz, P.; Liberto, S.: Wechselwirkung zwischen elektromechanischen Schaltgeräten und Frequenzumrichtern, 22. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe, 2013 <a href="http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/140m-wp002_-de-p.pdf">http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/140m-wp002_-de-p.pdf</a>	Beschreibt das Zusammenwirken von Frequenzumrichter-Spannungspulsen mit Leitung, Motor und Schaltgeräten. (Deutsch)

Sie können Publikationen unter <http://www.rockwellautomation.com/global/literature-library/> ansehen und herunterladen. Um gedruckte Exemplare von technischen Dokumentationen zu erhalten, kontaktieren Sie ihren lokalen Allen-Bradley Vertrieb oder Rockwell Automation Vertreter.



# Einführung

Ein Motorabgang, bestehend aus einem Frequenzumrichter (kurz FU) und einem oder mehreren Leistungsschaltern für den Motorschutz (kurz MPCB), ist ein komplexes System und seine zuverlässige Funktion hängt von allen Geräten, weiteren Komponenten, ihrer Anordnung und den Verbindungselementen ab.

Bei Anwendungen, in denen ein MPCB (am Ausgang) eines FU verwendet werden soll, müssen hinsichtlich der Einflüsse der PWM-Spannungspulse und Stromoberwellen einige Faktoren berücksichtigt werden. Stromoberwellen und reflektierte Spannungswellen, die insbesondere bei langen Leitungen an den Motorklemmen entstehen, können einen signifikanten, negativen Einfluss auf die MPCB- bzw. die Schaltgerätefunktion allgemein haben, wenn sie nicht ausreichend berücksichtigt werden.

Diese Publikation erläutert einige spezielle Überlegungen zur Auswahl von Leistungsschaltern mit Motorschutzfunktion. Im deutschsprachigen (IEC) Raum wird hierfür häufig der Begriff Motorschutzschalter verwendet, in Nordamerika werden die hier beschriebenen Geräte als Self-Protected Motor Controller Type E (UL 508) oder Self-Protected Combination Controller (NEC) bezeichnet. Leistungsschalter sind dort nur Geräte nach UL 489.

Die Informationen in diesem Dokument wurden auf Basis bekannter technischer Regeln erarbeitet und durch eingehende Versuche und Simulationen überprüft.

# Typische Anwendung

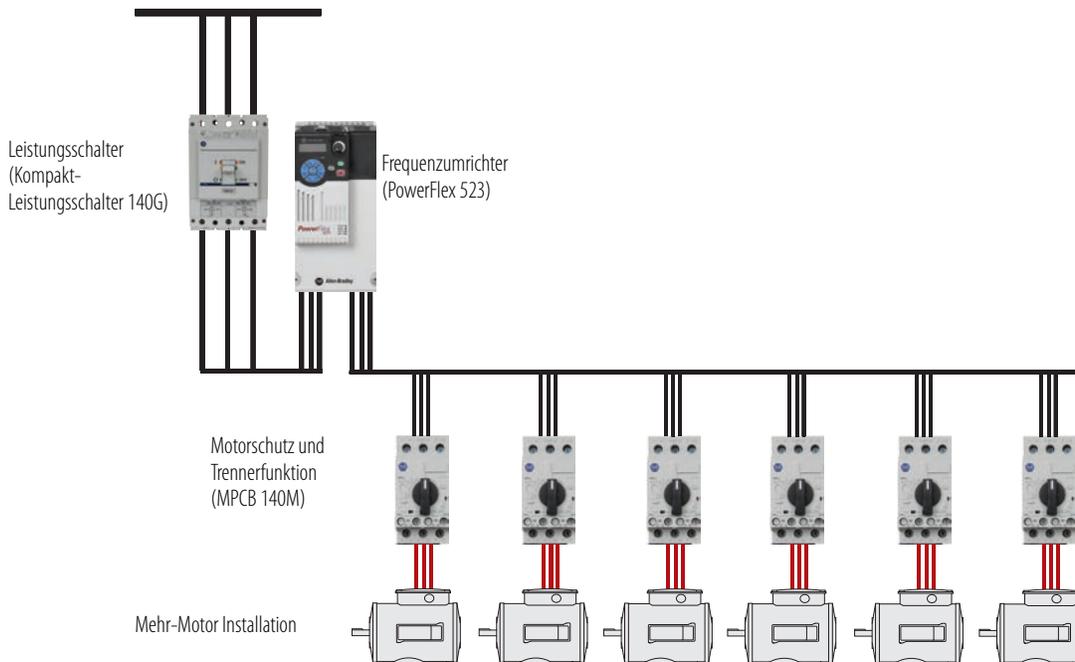
MPCBs z. B. der Serie 140M beinhalten die Steuer- und Schutzfunktionen wie sie von lokalen Installationsverordnungen (z. B. National Electrical Code (NEC) in den USA, VDE 0100 in Deutschland, SEV 1000 (NIN) in der Schweiz) verlangt werden. Sowohl für Einzel- als auch für Mehr-Motoren-Installationen bieten die Schutzschalter vom Typ 140M einige wichtige Steuer- und Schutzfunktionen wie sie für diese Art von Installationen erforderlich sind. MPCBs verfügen für die Ansteuerung von Einzelmotoren über die folgende Funktionalität:

- Trenner-Funktion, zum Freischalten von Motor-Abgängen (nur mit Symbol  markierte Geräte)
- Lastschalter-Funktion, zum EIN/AUS-Schalten
- Motor-Überlastschutz, zum Schutz vor thermischer Überlastung
- Kurzschlusschutz, für den Motor und die Zuleitung

## ACHTUNG:

Nicht jeder Leistungs- oder Motorschutzschalter hat Trenner-Eigenschaften (IEC Symbol ). Falls zusätzlich eine Trenner-Funktion erforderlich ist, sollten geeignete Lastschalter mit Trenner-Funktion eingesetzt werden (IEC Symbol .

Bild 1 - Typische mehr-Motor Installation mit FU



## Allgemeines

Leistungsschalter für den Motorschutz (MPCB) sind üblicherweise für den Betriebs-Frequenzbereich bis zu 60 Hz konstruiert. Da sie magnetische Kurzschluss-Auslösespulen enthalten, muss die Taktfrequenz des FU so niedrig wie möglich gewählt werden (max. 4 kHz), um Überhitzung zu vermeiden. Die gleiche Empfehlung gilt für Drossel- und Filterlösungen.

Der tatsächliche Motor-Betriebsstrom der MPCBs (z. B. 140M) sollte am unteren Ende des Einstellbereichs gewählt werden, um die Verlustleistung auf einem Minimum zu halten und Korrekturen zu ermöglichen.

Wenn MPCBs aufgrund von Teillast niedrigere Ströme als den unteren Einstellwert führen, sind sie nicht in der Lage thermisch auszulösen falls eine zusätzliche Erwärmung der Auslösespule auftritt. Der Schutzschalter erfährt jedoch dauernd die zusätzliche thermische Belastung durch die Spannungspulse wie unten beschrieben wird. Schutzschalter-Varianten mit rein magnetischer Kurzschluss-Auslösefunktion (z. B. 140M-xxN) mit Bemessungsströmen unter 10 A und in Verbindung mit separatem Bimetall-Motorschutzrelais und Schütz sind ebenfalls ungeeignet für diese Anwendungen, da diese Schutzschalter keine thermische Auslösefunktion zum Selbstschutz haben. Weiterhin werden separate Bimetallrelais mit Nennströmen unter 1 A ebenfalls durch die Spannungspulse thermisch belastet und lösen u. U. nicht zum Selbstschutz aus.

Das Benutzerhandbuch des FU enthält Tabellen mit maximal zulässigen Kabellängen in Abhängigkeit der FU-Baugröße und der Isolationsklasse des Motors. Siehe dazu die Publikation "[DRIVES-IN001 -DE-P](#); „Verdrahtungs- und Erdungsrichtlinien für pulsweitenmodulierte (PWM) Frequenzumrichter“.

Es gibt verschiedene Filterlösungen, um die Anstiegszeit der PWM-Spannungspulse bzw. das Auftreten von Spannungsreflexionen am Motor zu reduzieren. Die Anwendung von Filterlösungen wie „Leitungs-drossel“ (3R...) und „Schaltung zur Verminderung von Spannungsreflexionen“ (3RWR...) kann bezüglich reduzierter Spannungsanstiegszeit vorteilhaft sein. Sogenannte Sinusfilter vermeiden dagegen das Auftreten von Spannungsreflexionen.

Um die für die FU-Installation erforderliche Isolationskoordination einzuhalten müssen ggf. auftretende Spannungsreflexionen an den Motorklemmen auf max.  $1400V_{pk}$  (IEC-Motoren Kategorie A) begrenzt werden, da die Isolationsspannung der Schaltgeräte nur  $690V_{RMS}$  ist. Die maximal zulässige Betriebsspannung in solchen Anwendungen ist dann entsprechend  $500V_{RMS}$ .

## Leistungsschalter am Eingang eines FU

Der NEC §430.53 bzw. §430.52 der USA z. B. verlangt zum Kurzschlusschutz am Eingang eines FU die Installation eines Leistungsschalters (nach UL 489 oder einer Vorsicherung. Alternativ kann ein Leistungsschalter mit Motorschutzcharakteristik (Self-Protected Combination Controller) verwendet werden wenn nur ein einzelner Motor betrieben wird. Voraussetzung ist, dass der Schutzschalter für Verwendung mit dem FU getestet und in dessen Benutzerhandbuch aufgeführt ist.

Der Eingangsstrom eines FU ist durch die Rückwirkung auf das Netz nicht rein sinusförmig und enthält hohe Stromspitzen und Oberschwingungen. Die Spitzenwerte können 1,5...4 mal höher sein als der Ausgangsstrom des FU.

Ein Leistungsschalter 140M oder 140U am Eingang eines FU bietet Kurzschluss-Schutz und Trenner-Funktion.

Wenn der Motor mit niedriger Drehzahl betrieben wird (niedrige Frequenz des Ausgangsbetriebsstroms) kann der Eingangsstrom spürbar ansteigen und es könnte zu unerwünschten Auslösungen kommen.

- Um unerwünschte Auslösungen zu vermeiden, muss der eingangsseitige Leistungsschalter entsprechend dem maximalen Eingangsstrom des FU gewählt werden, nicht entsprechend dem Motorstrom.
- Das Benutzerhandbuch der FU enthält empfohlene Schutzgeräte.

## Leistungsschalter am Ausgang eines FU

### Allgemeines

Bei Mehr-Motoren-Anwendungen muss die Verdrahtung ausgangsseitig des FU den Regeln für Group Motor Installation gem. NEC §430.53 entsprechen. In diesem Fall ist auf der Ausgangsseite des FU nur individuelle Überlast-Schutzfunktion erforderlich.

Die Verwendung eines MPCB mit Überlast- und Kurzschluss-Auslösern oder nur mit Kurzschluss-Auslösern und separatem Schütz und Überlastrelais ist erforderlich wenn ein Bypass-Pfad zum FU verwendet wird (s. NEC §430.130/131).

Wenn Leistungsschalter auf der Ausgangsseite eines FU installiert werden sollen, müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden, um eine einwandfreie und zuverlässige Funktion zu gewährleisten: FU haben einen definierten, maximalen Ausgangsstrom. Der fest eingestellte Kurzschluss-Auslösewert eines MPCB ist dagegen das ca. 13- bis 15-fache des maximalen thermischen Einstellstroms. Da die Ausschaltzeit eines FU im Bereich von  $\mu\text{s}$  liegt, die Ansprechzeit einer magnetischen Auslöseeinheit dagegen im ms-Bereich ist durch einen nachgeschalteten Motorschutzschalter kein Kurzschlusschutz für einen einzelnen Motorabgang einer Mehr-Motoren-Anwendung gegeben, auch wenn der Ansprechstrom unterhalb des max. FU-Ausgangsstroms liegt. In diesem Fall könnte lediglich eine thermische Auslösung erfolgen.

Aufgrund der PWM Spannungspulse des FU und des Wellenwiderstands des Motors treten an dessen Anschlussklemmen Spannungsreflexionen auf. Deren Amplitude hängt von folgenden Faktoren ab:

- Netzspannung
- Spannungs-Anstiegszeit  $t_d$  des FU
- Bemessungsstrom des MPCB (Wellenwiderstand)
- Zwischenkreisspannung ( $DC_{BUS}$ -Spannung)
- Position des MPCB (nahe am FU oder nahe am Motor)
- Kabel-Bauart und -Länge zwischen MPCB und Motor (Wellenwiderstand)

Bei Netzspannungen bis 240V AC braucht es keine speziellen Überlegungen. Um bei höheren Betriebsspannungen die Belastung der Komponenten zu reduzieren, sollte...

- die Verbindungsleitung zwischen FU und Motor so kurz wie möglich sein und die Herstellerempfehlungen nicht überschreiten.
- der MPCB möglichst nahe am Motor installiert sein.

Die Formel, die Motor- und FU-Hersteller zur Bestimmung der maximal zulässigen ("kritischen") Leitungslänge  $l_{krit}$  ab der Spannungsreflexionen voll ausgebildet sind verwenden ermöglicht auch für Anwendungen in denen MPCBs nahe am Ausgang des FU installiert sind eine geeignete Abschätzung:

#### Gleichung 1

$$l_{krit} \approx \frac{v_{Kabel} * t_a}{2}$$

$l_{krit}$  - kritische Länge  
 $v_{Kabel}$  - Puls-Laufgeschwindigkeit  
 $t_a$  - Anstiegszeit der Pulse

Typische Puls-Laufgeschwindigkeit auf einem Kabel ist  $v_{Kabel} \approx 150 \text{ m}/\mu\text{s}$ . Die Spannungsanstiegszeit  $t_a$  ist abhängig von der eingesetzten Halbleitertechnologie:

Halbleiter-Technologie	$t_a$ [ $\mu\text{s}$ ]		$l_{krit}$ [m]	
	$t_a \text{ min.}$	$t_a \text{ max.}$	$t_a \text{ min.}$	$t_a \text{ max.}$
BJT	0.2	2	15	150
GTO	2	4	150	300
IGBT	0.05	0.4	3.75	30

**Beispiel:** Bei einer angenommenen Anstiegszeit von 200 ns (z.B. für BJT) ist die kritische Länge 15 m.

MPCBs mit Bemessungsstrom 10 A und höher werden durch diese Effekte nicht signifikant belastet wenn sie nahe am Ausgang eines FU installiert sind. Der Wellenwiderstand von MPCBs mit Bemessungsstrom <10 A passt dagegen nicht ausreichend genau zu dem des entsprechenden Kabels, daher verursachen die an den Motorklemmen entstehenden, reflektierten Spannungspulse hohe elektrische Beanspruchung der Kurzschluss-Auslösespulen. Das resultiert in beschleunigter Alterung der Isolation und möglicherweise Zerstörung der Kurzschluss-Schutzfunktion.

Für

- Standard MPCBs mit Bemessungsstrom 10 A und höher gelten die maximalen Kabel-Längen, die in den FU-Handbüchern angegeben sind.
- Standard MPCBs mit Bemessungsstrom kleiner als 10 A ist der niedrigere Wert entweder gemäss Gleichung 1 oder gemäss FU-Handbuch anzuwenden.
- Andernfalls müssen spezielle MPCBs verwendet werden, die für Betrieb am FU-Ausgang geeignet sind (z. B. Katalognummer 140M-D8V-xxx).

In jedem Fall sollten die Spannungsanstiegszeiten in der Anwendung durch Messung mit geeigneten Messgeräten überprüft und verifiziert werden.

# Spare Allen-Bradley Parts

## Zusammenfassung

Die Auswahl von Schaltgeräten für Anwendungen mit FU sollte die Komplexität des Systems bezüglich kapazitiver Lasten und Spannungsreflexionen berücksichtigen, falls die Komponenten nicht ausdrücklich als FU-gesegnet bezeichnet sind. Wenn MPCBs am Ausgang eines FU verwendet werden sollen, müssen einige Faktoren beachtet werden, um den Einfluss der Spannungspulse und Oberschwingungen zu minimieren.

- Der Motorschutzschalter sollte so gewählt werden, dass sein Betriebsstrom am unteren Ende des Einstellbereichs liegt. Das reduziert die Temperaturbelastung der Auslösespule und ermöglicht evtl. erforderliche Korrekturen.
- Für Standard MPCB mit Bemessungsstrom 10 A und höher – Die Leitungslänge zwischen FU und Motor sollte so kurz wie möglich gehalten werden und die Empfehlungen des FU-Herstellers nicht überschreiten.
- Für Standard MPCB mit Bemessungsstrom < 10 A – Der niedrigere Wert der maximal zulässigen ("kritischen") Kabellänge  $I_{krit}$  gemäss [Gleichung 1](#) oder gemäss FU-Handbuch gilt.
- Vorzugsweise sollten MPCB so nahe wie möglich am Motor installiert sein, um die Kabel-Länge dazwischen kurz zu halten.
- Die Taktfrequenz des FU sollte so niedrig wie möglich gewählt werden und 4 kHz nicht überschreiten.
- Filterlösungen wie Leitungs-Drosseln und Schaltungen zur Verminderung von Spannungsreflexionen können Spannungsanstiegszeiten reduzieren. Sinusfilter vermeiden das Entstehen von Spannungsreflexion. Sie werden von FU-Herstellern empfohlen
- In jedem Fall sollten Messungen der Spannungsspitzen mit geeigneten Messgeräten erfolgen, um die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen zu verifizieren.
- Der Wellenwiderstand von elektronischen Überlastrelais ist eher niedrig, dennoch sind sie nicht für diese Anwendungen geeignet, da ihre Stromsensoren die niederfrequenten Lastströme und die Oberschwingungen u. U. nicht richtig messen können.
- Die Hauptstromkreise von Schützen und Lastschaltern sind wegen ihrer niedrigen Wellenwiderstände normalerweise nicht in der Art belastet wie oben beschrieben. Allerdings könnten, abhängig von der kapazitiven Last durch lange Kabel oder Zwischenkreiskondensatoren, beim Ausschalten unter Last Kontaktverschweissungen auftreten. Deshalb sollten diese Geräte auch nach dem kapazitiven Schaltvermögen ausgewählt werden.
- Prüfen Sie die Verwendung eines Leistungsschalters vom Typ 140U auf der Eingangsseite des FU wenn der Dauerstrom 24 A nicht überschreitet.

# Spare Allen-Bradley Parts

# Wichtige Hinweise für den Anwender

Lesen Sie dieses Dokument und die darin aufgeführten Dokumente über Installation, Konfiguration und Betrieb dieser Geräte bevor Sie diese Produkte installieren, konfigurieren, betreiben oder warten. Von Benutzern wird erwartet, dass sie sich mit den Installations- und Verdrahtungshinweise sowie mit den Anforderungen durch alle anwendbaren Richtlinien, Gesetze und Vorschriften vertraut machen.

Alle Tätigkeiten wie Installation, Anpassungen, Inbetriebnahme, Benutzung, Montage, Demontage und Wartung müssen von entsprechend ausgebildetem Personal in Übereinstimmung mit vorhandenen Arbeitsordnungen durchgeführt werden.

Wenn diese Geräte in einer Weise verwendet werden, die nicht vom Hersteller spezifiziert ist, kann die Schutzfunktion der Geräte zerstört werden.

Rockwell Automation, Inc. ist in keinem Fall verantwortlich oder haftbar für indirekte Schäden oder Folgeschäden, die durch den Einsatz oder die Anwendung dieser Geräte entstehen.

Die in dieser Anleitung aufgeführten Beispiele und Abbildungen dienen ausschliesslich zur Veranschaulichung. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen der jeweiligen Anwendung kann Rockwell Automation, Inc. keine Verantwortung oder Haftung für den tatsächlichen Einsatz der Produkte auf der Grundlage dieser Beispiele und Abbildungen übernehmen.

Rockwell Automation, Inc. übernimmt keine patentrechtliche Haftung in Bezug auf die Verwendung von Informationen, Schaltkreisen, Geräten oder Software, die in dieser Publikation beschrieben werden.

Die Vervielfältigung des Inhalts dieser Publikation, ganz oder auszugsweise, bedarf der schriftlichen Genehmigung von Rockwell Automation, Inc.

## Rückmeldungen

Ihre Kommentare helfen uns Ihrem Bedarf an Dokumentation besser zu entsprechen. Wenn Sie irgendeinen Vorschlag zur Verbesserung dieses Dokuments haben, füllen Sie bitte das Formular [RA-DU002](#) aus, es ist verfügbar unter <http://www.rockwellautomation.com/global/literature-library/>.

Allen-Bradley, Rockwell Software, Rockwell Automation, and LISTEN. THINK. SOLVE are trademarks of Rockwell Automation, Inc.  
Trademarks not belonging to Rockwell Automation are property of their respective companies.

**[www.rockwellautomation.com](http://www.rockwellautomation.com)**

---

### Hauptverwaltung für Antriebs-, Steuerungs- und Informationslösungen

Amerika: Rockwell Automation, 1201 South Second Street, Milwaukee, WI 53204 USA, Tel: +1 414 382 2000, Fax: +1 414 382 4444

Europa/Naher Osten/Afrika: Rockwell Automation NV, Pegasus Park, De Kleetlaan 12a, 1831 Diegem, Belgien, Tel: +32 2 663 0600, Fax: +32 2 663 0640

Asien/Australien/Pazifikraum: Rockwell Automation, Level 14, Core F, Cyberport 3, 100 Cyberport Road, Hong Kong, China, Tel: +852 2887 4788, Fax: +852 2508 1846

Deutschland: Rockwell Automation GmbH, Parsevalstraße 11, 40468 Düsseldorf, Tel: +49 (0)211 41553 0, Fax: +49 (0)211 41553 121

Schweiz: Rockwell Automation AG, Industriestrasse 20, CH-5001 Aarau, Tel: +41(62) 889 77 77, Fax: +41(62) 889 77 11, Customer Service – Tel: 0848 000 277

Österreich: Rockwell Automation, Kortzinastraße 9, A-4030 Linz, Tel: +43 (0)732 38 909 0, Fax: +43 (0)732 38 909 61