Sichere Antriebstechnik für Maschinen und Anlagen

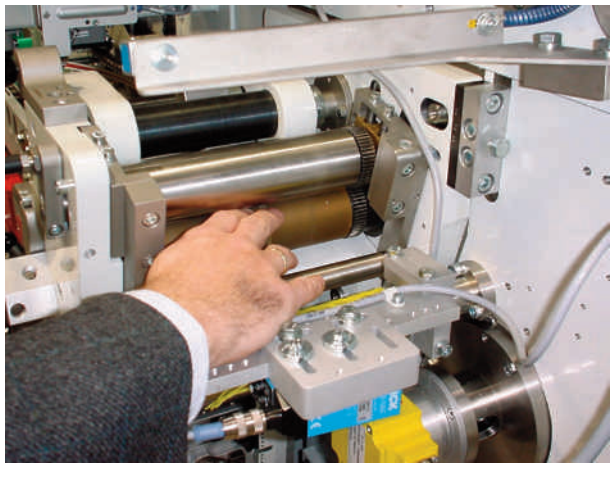

Bild 1: *Entfernen einer Folie durch manuellen Eingriff.*

Moderne Antriebe arbeiten hochdynamisch und erzeugen enorme Kräfte. Hier kann es zu schwerwiegenden Verletzungen kommen. Zum Schutz des Menschen vor jeglichem Schaden gibt es fest vorgeschriebene Sicherheitsfunktionen für Antriebe. Der folgende Beitrag stellt den technischen Stand sicherer Antriebe vor und beschreibt im Detail, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, wenn man Personen vor den Gefahren der Antriebe schützen möchte.

Moderne Antriebe ersetzen heute ehemalige Getriebefunktionen innerhalb komplexer Maschinen und Anlagen. Durch die strenge elektronische Kopplung werden mechanische Elemente stark vereinfacht, so dass große Trägheitsmassen oder Vibrationsquellen fast völlig verschwinden. Diese Antriebe arbeiten dabei hochdynamisch und erzeugen enorme Kräfte. Ungewollte oder unerwartete Drehungen können jedoch zu schwerwiegenden Verletzungen führen, die es unbedingt zu vermeiden gilt. Obwohl diese Tatsache innerhalb der Sicherheitstechnik von Anfang an bekannt war, hat man sich erst in den letzten Jahren geeinigt, fest vorgeschriebene Sicherheitsfunktionen für Antriebe zu fordern. Das lag nicht zuletzt daran, dass man die häufig verwendeten Synchron- und Asynchronmotoren nur mit elektronischen Einheiten ansteuern kann. Sicherheitsfunktionen müssen daher entweder extern hinzugefügt oder direkt intern integriert werden.

1.Sicherheitsfunktionen

Nahezu jeder Hersteller von Antrieben bietet heute sicherheitsgerichtete Funktionen an. Dabei wird zumeist ein sicherer Halt (STO: Safe Torque Off, Stopp-Kategorie 0) als Standard geliefert. Die weiteren Sicherheitsfunktionen lassen sich oftmals durch externe Komponenten, wie Drehzahlwächter oder Zeitrelais, hinzufügen. Eine ganze Reihe der Antriebsanbieter stellen ihren Kunden aber auch bereits weitreichende Sicherheitsfunktionen zur Verfügung, die eine sichere Integration in Maschinen erheblich vereinfachen. Die wichtigsten Sicherheitsfunktionen werden im Folgenden vorgestellt.

1.1 Arbeitssicherheit einer Maschine

Die Arbeitssicherheit einer Maschine ist zum großen Teil dadurch bestimmt, in welchem Maße gefahrbringende Bewegungen von dieser Maschine ausgehen. Trennende oder berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen verhindern im automatischen Ablauf den Zugriff zu den Gefahrstellen einer Maschine oder Anlage, jedoch muss gelegentlich auch bei aufgehobener Schutzwirkung ohne diese Schutzeinrichtungen gearbeitet werden. Hierbei sind ersatzweise Sicherheitsmaßnahmen notwendig, die dem Bediener auch in solchen Situationen ausreichenden Schutz bieten. In vielen Fällen sind diese Sicherheitsmaßnahmen darauf gerichtet, das Bewegungsverhalten des elektrischen Antriebssystems so zu beeinflussen, dass ein gefahrloses Arbeiten möglich ist. Dabei müssen bestimmte Kriterien für das Verhalten des Antriebssystems beim Auftreten von Fehlern erfüllt sein. Diese Anforderungen sind in einigen Fällen in maschinenspezifischen Normen durch eine Steuerungskategorie nach EN 954-1 festgelegt. In den meisten Fällen sicherheitsgerichteter Funktionen übernimmt auch die Steuerungselektronik des elektrischen Antriebssystems eine Sicherheitsverantwortung. Zur Beurteilung der Sicherheitsfunktion sollte in jedem Fall eine Risikoanalyse durchgeführt werden, die letztlich auch die technische Lösung vorgibt.

1.2 Sicheres Stillsetzen

Beim sicheren Stillsetzen erfolgt ein der Gefahrensituation entsprechendes Stillsetzen des Antriebs. Dabei müssen die elektrischen, die elektronischen sowie

Kurzbezeichnung	Funktion	Ablauf	Hinweis
STO	Safe Torque Off Stopp-Kategorie 0	Der Antrieb wird von der Ansteuerwirkung getrennt (Netzversorgung oder Impulsmusterversorgung).	Nach Auslösung der Funktion trudelt der Antrieb aus. Er erreicht seine Ruhelage in Abhängigkeit der Drehzahl und des angeschlossenen Drehmoments. Wenn der Antrieb hängende oder schwebende Lasten betreibt, kommt es in der Regel zu keinem kurzzeitigen Stillstand. Eventuell ist dann sogar eine Erhöhung der Drehgeschwindigkeit möglich. Dieses Verhalten kann durch den Einsatz einer Bremse unterbunden werden.
SS1	Safe Stop 1 Stopp-Kategorie 1	Der Antrieb wird durch die Wirkung der Antriebssteuerung abgebremst. Nach Erreichen der Ruhelage erfolgt eine Trennung von der Versorgung.	Ein Stillsetzen nach der Stopp-Kategorie 1 geht erheblich schneller als bei der Stopp-Kategorie 0, da die Leistung der Antriebssteuerung in die aktive Abbremsung umgesetzt wird.
SS2	Safe Stop 2 Stopp-Kategorie 2	Der Antrieb wird durch die Wirkung der Antriebssteuerung abgebremst. Nach Erreichen der Ruhelage verbleibt der Antrieb in Regelung. Dabei wird die Lage stabilisiert. Eine externe Bewegung (wie bei den Stopp-Kategorien 0 und 1) ist nicht möglich.	Da der Antrieb in der Ruhelage geregelt wird, ist die Funktion oftmals von den Stopp-Kategorien 0 und 1 nicht unterscheidbar. Allerdings kann ein Versagen der Regelung zu einem ungewollten Anlauf führen. Daher sollte der sichere Stillstand während des Eingriffs durch eine Person überwacht werden.

Bild 2: *Die beschriebenen Halt-Funktionen führen alle zu einer Bewegungsunterbrechung, die jedoch ganz unterschiedlich verlaufen oder sogar verschiedenartig fortgeführt werden. Die Tabelle gibt eine Übersicht der einzelnen Funktionen.*

die elektromechanischen Einrichtungen, die für die Verzögerung des Antriebs notwendig sind, in die Sicherheitsbetrachtungen mit einbezogen werden. Geeignet sind z.B.:

- gesteuertes Stillsetzen mit sicher überwachter Verzögerungszeit
- gesteuertes Stillsetzen mit sicherer Überwachung der Bremsrampe
- ungesteuertes Stillsetzen mit mechanischen Bremsen

Um einen Wiederanlauf sicher zu verhindern, sind unmittelbar nach erfolgtem Stillstand des Antriebs Maßnahmen innerhalb der Ansteuerung notwendig. Zu den typischen Applikationen gehört hierbei der Betrieb mit einem Zustimmschalter oder das zwangsweise Stillsetzen einer Maschine durch Öffnen einer Schutztüre, die den Zutritt einer Person in den Gefahrenbereich ermöglicht.

1.3 Schutz gegen unerwarteten Anlauf

Beim sicheren Halt ist die Energieversorgung zum Antrieb sicher unterbrochen. Der Antrieb darf kein Drehmoment und somit keine gefahrbringenden Bewegungen erzeugen können. Eine Überwachung der Stillstandsposition muss nicht erfolgen. Eine kontaktbehaftete Trennung zur Energieversorgung kann, muss jedoch nicht verwendet werden. Ist beim sicheren Halt mit Krafteinwirkung von außen zu rechnen (z.B. Durchsacken hängender Lasten), sind zusätzliche Maßnahmen vorzusehen, die diese Bewegungen sicher verhindern. Dies kann durch die Verwendung mechanischer Bremsen geschehen. Geeignete Maßnahmen für einen sicheren Halt sind z.B.: Schütz zwischen Netz und Antriebssystem (Netzschütz), Schütz zwischen Leistungsteil und Antriebsmotor (Motorschütz), Sicheres Sperren der Impulse der Leistungshalbleiter (Sichere Impulssperre). Die Sicherheitsfunktion wird auch als Stopp-Kategorie 0 oder als STO (Safe Torque Off) bezeichnet. In bestimmten Anwendungsfällen ist es notwendig, das Antriebssystem an einem bestimmten Punkt im Produktionsprozess zu stoppen (Betriebshalt). Dieser Betriebshalt wird auch als Stopp-Kategorie 2 oder SS2 bezeichnet. Alle Regelfunktionen zwischen der elektronischen Steuerung und dem Antriebsmotor bleiben erhalten (Drehmoment, Drehzahl, Lage usw.). Die Anwendung dieser SS2-Funktion ist immer dann notwendig, wenn mehrere Antrieb als 'elektronisches Getriebe' miteinander verbunden sind und während eines Stopps keine Veränderung der gemeinsamen Lage zueinander erwünscht ist.

Bild 3: *Bediengerät: Front und Rückseite mit Zustimm- oder Tipp-Taster.*

1.4 Halt-Funktionen

Die beschriebenen Halt-Funktionen erfüllen ganz unterschiedliche Anforderungen. Im Endeffekt führen sie alle zu einer Bewegungsunterbrechung, die jedoch ganz unterschiedlich verlaufen oder sogar verschiedenartig fortgeführt werden. Die Tabelle (siehe Bild 2) gibt

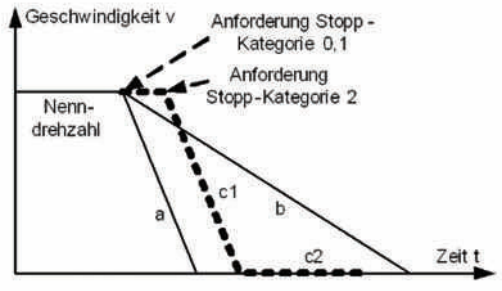

Bild 4: *Die Stopp-Kategorien und deren Funktionen.*

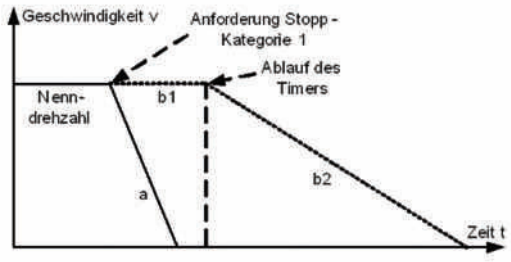

Bild 5: *Versagen der Ausführung der Stopp-Kategorie 1.*

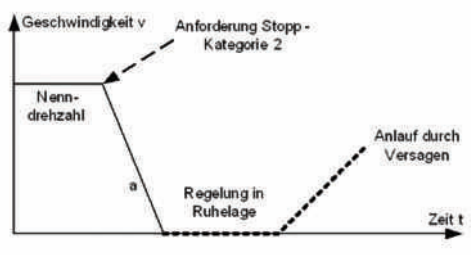

Bild 6: *Versagen der Stopp-Kategorie 2 mit ungewolltem Anlauf.*

eine Übersicht der einzelnen Funktionen: Ein Antrieb wird mit Nenngeschwindigkeit betrieben (siehe Bild 4). Nach einer Anforderung der Stopp-Kategorie 0 wird der Antrieb von seiner Versorgung getrennt und trudelt aus (b). Wenn er nach Stopp-Kategorie 1 motorisch abgebremst wird, erreicht er die Ruhelage erheblich früher (a). Nach Erreichen der Ruhelage oder nach Ablauf einer sicheren Zeitspanne wird er dann auch von der Versorgung getrennt. Er ist dann momentenfrei. Nach einer Anforderung der Stopp-Kategorie 2 erfolgt ebenfalls eine Abbremsung (c1). Nach Erreichen der Ruhelage verweilt der Antrieb jedoch in Regelung und die Ruhelage wird stabilisiert (c2). Bei einem Versagen der Stopp-Kategorien können fatale Fehler auftreten (siehe Bilder 5 und 6). Der Antrieb führt die Abbremsung nach der Stopp-Kategorie 1 nicht aus. Erst nach Ablaufen der sicheren Zeit (Timer) erfolgt eine Trennung von der Versorgung. Damit wird nicht die Bewegungsfunktion a sondern zuerst b1 und dann b2 ausgeführt (Bild 5). Der Antrieb erhält eine Anforderung nach Stopp-Kategorie 2. Dadurch bremst er rasch ab und verweilt in der Ruhelage. Allerdings kommt es dann durch einen Fehler zu einem ungewollten Anlauf. Eine Person, die gerade ein Werkstück in der Maschine einbaut, kann so verletzt werden. Der Ablauf der Funktion ist in Bild 6 dargestellt. Es ist daher besonders wichtig, diesen unerwarteten Anlauf aus der Ruhelage mit Sicherheit zu vermeiden. Zahlreiche Antriebe enthalten daher eine Sicherheitsfunktion, die den Wiederanlauf unterbinden. Eine Person kann damit bedenkenlos innerhalb der Maschine arbeiten, ohne einer Gefahr ausgesetzt zu sein. Die sichere Funktion wird auch Wiederanlaufsperre genannt.

1.5 Sicher reduzierte Geschwindigkeit

Durch steuerungstechnische Maßnahmen ist sicher verhindert, dass der Antrieb vorgegebene Geschwindigkeitsgrenzwerte überschreitet. Die Steuerungselektronik des Antriebssystems muss so gestaltet sein, dass durch unbefugtes Eingreifen von außen keine Veränderungen der Geschwindigkeitsgrenzwerte möglich sind. Die sicher reduzierte Geschwindigkeit wird bei Maschinen stets dann verwendet, wenn man die Maschine im Betrieb bedienen oder beobachten möchte, ohne Gefahr laufen zu müssen, dass eine rasche Bewegung zu einer nicht abschätzbaren Bewegung führt.

1.6 Sicher begrenzter Weg

Nach Auslösen eines Fahrbefehls darf der Antrieb maximal ein inkrementelles, fest vorgegebenes Schrittmaß abfahren. Nach Erreichen des Grenzwertes muss ein sicherer Halt oder sicherer Betriebshalt wirksam werden. Die Steuerungselektronik des Antriebssystems muss so gestaltet sein, dass durch unbefugtes Eingreifen von außen keine Veränderungen der Inkrementwerte möglich sind. Der sicher begrenzte Weg garantiert, dass eine Maschine oder Anlage nur innerhalb fest vorgeschriebener Bereiche arbeitet. So besteht die Möglichkeit, dass sich eine Person außerhalb des Wirkungsbereichs gefahrlos aufhält.

1.7 Sicher begrenzte Kraft

In der Sicherheitsfunktion ‘Sicher begrenzte Kraft’ verfügt der An-

trieb nur noch über eine sicher reduzierte Kraft, die sich nicht überschreiten lässt. In der Regel wird der Antrieb dabei mit einem Strom versorgt, der nach oben hin begrenzt ist. Bei Auftreten eines größeren Widerstandes, wird ein vorgegebener Grenzwert für die zur Verfügung stehende Kraft erreicht. Die Funktion kann dazu verwendet werden, Verletzungen zu vermeiden, wenn Personen oder Teile von Personen der Krafteinwirkung eines Antriebs ausgesetzt sind.

1.8 Sichere Tipp-Schaltung

Durch konstruktive Ausführung der Betätigungselemente der Tipp-Schaltung und steuerungstechnische Maßnahmen wird erreicht, dass bei Loslassen des Betätigungsorgans die Bewegung sicher stillgesetzt wird. Eine Fortsetzung der Bewegung nach Loslassen des Betätigungsorgans ist sicher verhindert. Ein zusätzliches Mittel zum sicheren Stillsetzen der Bewegung (z.B. Zustimmungsschalter) ist nicht erforderlich, außer wenn maschinenspezifische Erfordernisse vorliegen (z.B. Zweihandbindung). Tipp-Funktionen werden bei Maschinen und Anlagen häufig von Bedientableaus ausgeführt. Solange der Anwender dieses Bedientableau in der Hand hält, geht man davon aus, dass er sich nicht im gefahrvollen Bereich zu Schaffen macht. Das Bild 3 stellt die Ober- und Unterseite eines derartigen Bedientableaus dar. Die Oberseite enthält oftmals zusätzlich ein Not-Aus-Gerät, mit dem der Antrieb von der Versorgung getrennt wird (Stopp-Kategorie 0). Auf der Unterseite ist ein Zustimmschalter zu sehen, der nur in der Mittelstellung aktiviert wird. Wenn es entweder überhaupt nicht betätigt oder ganz eingedrückt (Panik-Modus) wird, so erfolgt sofort eine Abschaltung der Versorgung. Gute Zustimmtaster mit Mittelstellung haben zusätzlich die Eigenschaft, dass sie bei Übergang von dem ganz eingedrückten Zustand zum Loslassen nicht mehr in den Betriebszustand gehen. Im Bild 3 ist die Frontseite eines Bediengeräts mit dem Not-Aus-Taster und die Rückseite mit dem Zustimmtaster (IDEC) dargestellt.

Bild 7: *Bediengerät: Front und Rückseite mit Zustimm- oder Tipp-Taster.*

2. Technische Realisierung sicherer Antriebsfunktionen

Zum sicheren Betrieb bzw. zum sicheren Abschalten im Gefahrenfall stehen unterschiedliche Techniken zur Verfügung, die im Folgenden beschrieben und bewertet werden.

2.1 Abschaltung über elektromechanische Elemente

Die einfachste Form der Abschaltung eines Antriebs geschieht über ein Schütz. Dieses trennt bei Anforderung der Sicherheitsfunktion die Versorgung des Antriebs. Dieses Prinzip erfüllt die Anforderung nach Kategorie 1 (nach EN 954-1). Hier erfolgt eine Abschaltung bei Anforderung der Sicherheitsfunktion. Die Anforderungen nach Kategorie 3 werden dagegen nicht erfüllt, da bereits ein Defekt im Schütz eine sicherheitsgerichtete Abschaltung verhindert (nach Kategorie 3 wird eine Fehlersicherheit gefordert). Eine Verbesserung im Hinblick auf die Sicherheit wird durch die Kombination zweier Schütze in Serie erreicht. Diese Schaltung erlaubt nur dann keine sichere Abschaltung mehr, wenn beide Schütze auf Anforderung versagen. Auch diese Schaltung erfüllt nur bedingt die Anforderungen nach Kategorie 3, da ein eventueller Defekt eines der Schütze unbemerkt bleibt. Ein Öffnen des noch verbleibenden Schützes ist in der Regel möglich. Die Wahrscheinlichkeit des Versagens hängt nun aber von der Ausfallsrate des einzelnen Schützes oder einem Common-Cause-Fehlers ab. Eine wesentliche Verbesserung der Schaltung mit zwei Schützen wird dadurch erreicht, dass man die Funktion der Schütze regelmäßig prüft. Hierzu verwendet man Schütze mit zwangsgeführten Kontakten. Beide Öffner lassen sich über den Startkontakt verknüpfen. Damit ist der Start des Antriebs nur dann möglich, wenn alle Schließerkontakte beider Schütze vor dem Start in Ordnung waren. Die Schaltung kann damit sogar die Kategorie 4 (nach EN 954-1) erfüllen, sofern die Kontaktstellung regelmäßig geprüft wird. Es ist daher unbedingt vorzusehen, dass man den Antrieb regelmäßig vom Netz trennt und wieder über den Starttaster einschaltet. Von einem zu häufigem Test ist jedoch abzuraten, da man die Schütze relativ schnell an den Rand der zugelassenen Lebensdauer bringt. Die Schaltung ist daher auch nicht für zyklisch arbeitende Maschinen geeignet, die jede Minute oder gar mehrfach in der Minute eine Abschaltung herbeiführen. Das regelmäßige Prüfen der Abschaltschütze hängt von der Applikation ab. Beispielsweise ist beim Betrieb eines Aufzugs (nach Norm EN 81A) bei jeder Richtungsumkehr (unterste oder oberste Etage) das Hauptschütz abzuschalten. Hierdurch wird dessen Funktion dauernd überwacht.

2.2 Elektronische Abschalttechniken

Eines der Grundprinzipien bei der Abschaltung eines Antriebs besteht darin, die zur Erzeugung

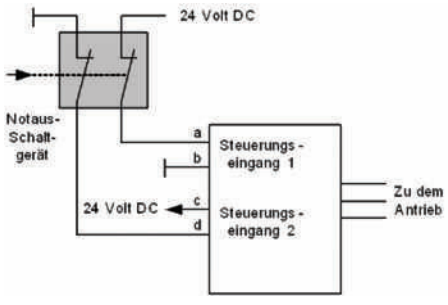

Bild 5: *Zweikanalige Not-Aus-Abschaltung.*

des Drehfeldes notwendigen Impulsmuster abzuschalten. Bei Synchron- oder Asynchronantrieben kann eine Kommutierung (Erregung und Drehung) des Antriebs nur dann erfolgen, wenn man Impulsmuster erzeugt, die eine genau abgestimmte Sequenz darstellen. Fehlen die Impulsmuster, so führt der Antrieb eine Abschaltung nach Stopp-Kategorie 0 durch (STO). Eine oftmals verwendete Applikation bewirkt dabei die Unterdrückung der Impulssignale, wenn man die verwendeten Optokoppler, die die Impulse übertragen, dunkel schaltet. Ein Optokoppler dient zur sicheren Trennung zwischen dem Ansteuerungskreis und dem Leistungskreis. Wenn die Spannung an der Versorgung des Optokopplers ausbleibt, so erhält der galvanisch isolierte Kreis mit den Optokopplern keine Versorgung mehr und das Impulsmuster zur Ansteuerung der IGBT erlischt. Das vorgestellte Prinzip der sicheren Abschaltung der Impulsmuster über Optokoppler lässt sich auch auf alle Verfahren übertragen, die zur Ansteuerung Elemente einsetzen, die eine sichere Trennung zwischen dem Eingangs- und dem Ausgangskreis garantieren. Zu diesen Elementen gehören beispielsweise:

- Transformator
- Magnetische Koppler
- Kapazitive Koppler

Eine besonders sichere Trennung zwischen dem Steuerkreis und dem Impulserregerkreis gelingt, wenn man neben den Optokopplern noch zusätzlich Übertrager (Transformatoren) verwendet. Ein externer Sicherheitssteuerungseingang versorgt einen Zerhacker, der auf seiner Sekundärseite die Versorgung der Treiber und der Optokoppler bewirkt. Die sechs notwendigen Impulsmuster gelangen von einer Impulsmusterlogik über die Optokoppler zu den jeweiligen Leistungsschaltern für die Ansteuerung gegenüber dem Masse-Potential (Low side) und zur Betriebsspannung (High side). Wenn man die Spannung am Sicherheitssteuerungseingang wegnimmt, werden die Impulsmuster nicht mehr übertragen, und der Antrieb wird momentenlos. Die Schaltung ist derart aufgebaut, dass eine einzige Steuerungsspannung alle Optokoppler bedient. Man kann sie auch erweitern, indem man jeweils den oberen und den unteren Leistungskreis von zwei getrennten Kreisen abhängig macht. In diesem Fall besteht eine direkte Zweikanaligkeit, die auch bei einem eventuellen Versagen einer Ansteuerung immer noch den sicheren Stopp zulässt. Das Bild 7 stellt eine Umrichterserie dar, die mit diesen zweikanaligen Einheiten ausgerüstet ist. Da die beiden Eingänge der Sicherheitssteuerung galvanisch vollkommen entkoppelt sind, kann man sie innerhalb einer Maschinensteuerung frei verdrahten. Bild 8 zeigt eine Schaltung, bei der ein zweikanaliges Not-Aus-Gerät mit den beiden Steuerungseingängen verbunden ist. Durch die Anschaltung im ersten Kreis zur Versorgungsspannung und im zweiten Kreis zur Masse hin, werden auch Kurz- oder Querschlüsse sofort erkannt. Die Schaltung erfüllt damit die Anforderungen nach Kategorie 4 (EN 954-1) und SIL 3 (IEC 61508).

2.3 Zweikanalige Lösungen

Die folgenden Sicherheitsfunktionen erfordern eine zwei- oder mehrkanalige Auswertung (zur eventuellen Erhöhung der Verfügbarkeit) der Signalgrößen, wenn die Abdeckung einer Steuerungskategorie 3 oder 4 (nach EN 954-1) nachzuweisen ist:

- Sicherer Halt nach Stopp-Kategorie 0 bei direkter Abschaltung der Impulsmuster ohne Verwendung von Optokopplern
- Sichere Kontrolle der Abschaltung nach Stopp-Kategorie 1 (Kontrolle der Zeit oder Kontrolle der Bremsfunktion)
- Stillsetzung nach Stopp-Kategorie 2
- Alle komplexeren Funktionen (Schleichgang, Tipp-Betrieb, Reduziertes Schrittmaß,...)

Eine Zweikanaligkeit lässt sich durch den Aufbau von zwei Mikrocontrollern und einer Fail-Safe-Logik realisieren. Um Common-Cause-Fehler weitgehend ausschließen zu können, verwendet man zwar identische Controller, diese sollten jedoch mit unterschiedlicher Software ausgestattet sein (homogene Hardware, diversitäre Software). Die Zweikanaligkeit ist hier durch zwei Mikrocontroller aufgebaut, die sich über einen Kommunikationskanal unterhalten. Ein Mikrocontroller ist direkt für die Ansteuerung des Antriebs zuständig. Beide Mikrocontroller wirken unabhängig auf die Fail-Safe-Logik. Diese kann den Antrieb jederzeit abschalten (z.B. durch eine Impulssmustersperre). Der zweite Mikrocontroller arbeitet in dieser Technik als Zustimmschaltung für den ersten Mikrocontroller. Im Fehlerfall erfolgt eine Abschaltung nach Stopp-Kategorie 0. Dieses Verhalten kann dazu führen, dass der Antrieb im Fehlerfall austrudelt oder (bei hängenden Lasten) sogar beschleunigt. In der Regel setzt eine Zweikanaligkeit auch eine redundante Erfassung der sensorischen Größen voraus. Bei der Verwendung von sin/cos-Encodern ist die Zweikanaligkeit eventuell bereits gegeben, da jeder Fehler am Encoder oder an den Zuleitungen normalerweise erkannt wird. Die sin- und cos-Signale folgen nämlich stets der Kreisfunktion, bei der sich die Quadrate von sin und cos jeweils zu 1 ergänzen (sin2 + cos2 =1, r = 1). Um eine einwandfreie Kontrolle des Stillstands zu erreichen, sind nur solche Encoder und Auswerteeinheiten erlaubt, die eine DC-Kopplung zur Verfügung stellen. Damit ist gewährleistet, dass auch bei Stillstand (ohne Dynamisierung) die Auswertung der Funktion zum korrekten Wert führt. Man kann auch Encoder verwenden, die nur Impulsmuster zur Verfügung stellen, wenn man einen regelmäßigen Test des gesamten Systems vorsieht. Dieser kann durch

den laufenden Betrieb oder durch das Hinzufügen von Schwankungen innerhalb der Ruhelage erfolgen. Die Tests müssen hierbei innerhalb der Prozesssicherheitszeit erfolgen, wobei als Fehlerreaktion der sichere Halt gilt. Mit einer zweikanaligen Struktur lassen sich im Prinzip alle weiteren Sicherheitsfunktionen ausführen:

- Sicherer Betriebshalt nach Stopp-Kategorie 2
- Schleichgang
- Tipp-Betrieb
- Reduzierte Geschwindigkeit
- Reduzierter Weg
- Sichere Absolutlage
- Zustimmbetrieb

Antriebshersteller bieten oftmals Standardantriebe an, bei denen sich Sicherheitsmodule hinzufügen lassen, wenn man den Antrieb für Sicherheitstechnik einsetzen möchte. Sobald das Sicherheitsmodul gesteckt wird, kontrolliert es intern den funktionalen Ablauf der gewünschten Funktion. Im Versagensfall greift die Sicherheitslogik ein und schaltet die Impulsmuster ab.

3. Versagen der Leistungshalbleiter

Die Antriebssteuerung erzeugt Impulse, die die Leistungshalbleiter innerhalb einer Brücke erregen. Wenn man unterstellt, dass gleichzeitig zwei der Leistungshalbleiter versagen, kann es zu einem kurzzeitigen Rukken des Antriebs kommen. Der Drehwinkel, der bei diesem Doppelfehler auftritt, hängt von der Polzahl des Antriebs und von der Über- oder Untersetzung im Getriebe ab. Dabei führt jedes Doppelversagen zum Anrucken. Insgesamt gibt es innerhalb der sechs Leistungshalbleiter 15 Kombinationsmöglichkeiten, bei denen ein Doppelversagen vorliegt. Davon führen sechs zu einem Anrukken. Da die Versagensrate der Halbleiter jedoch sehr gering ist, werden die soeben vorgestellten Fehlerfälle in der Regel nicht unterstellt.

4. Betrieb gekoppelter Antriebe

Moderne Maschinen ersetzen mechanische Getriebe durch Einzelantriebe, die elektronisch miteinander gekoppelt werden. Diese Technik bringt ganz erhebliche Vorteile mit sich. Zum einen vermögen elektronische Getriebe komplexe Funktionen auszuführen, die bei rein mechanischen Einheiten kaum vorstellbar sind. Zum anderen lassen sich die gekoppelten Bewegungsfunktionen rasch verändern (durch die Parametrierung der Software), ohne den Umbau eines Getriebes durchführen zu müssen. Darüber hinaus werden Vibration und hohe Geräuschemissionen vermieden. Allerdings erkauft man sich die erhöhte Flexibilität durch ein eventuelles unsicheres Verhalten, wenn es um die Funktionen der Maschineneinrichtung geht. Bei der Verwendung eines einzigen Antriebs mit einem oder mehreren Getrieben folgen alle Bewegungen lediglich dem Antrieb selbst (Hauptantrieb). In größeren Maschinen wird die Erregung aller Bewegungen über eine einzige Welle als ‘Königswelle’ bezeichnet. Sofern der Haupantrieb momentenlos ist, verweilen auch alle anderen Wellen in Ruhe. Eine Bewegung kann über die Betätigung eines Handrads manuell erfolgen, wobei sich dann alle am Getriebe angeschlossenen Wellen synchron mitbewegen. Ein Maschineneinrichter kann auf diese Weise durch Drehen am Handrad alle anderen Bewegungen verfolgen. Sobald man das Handrad nicht mehr dreht, stehen auch alle anderen Wellen. Elektronisch gekoppelte Getriebe bestehen nun aber nicht aus einem einzelnen Antrieb mit einer Königswelle, sondern aus zahlreichen Einzelantrieben. Wie Bild 9 darstellt, führt die Steuerung die Bewegungsfunktion zwischen den beiden Antrieben durch. Dabei gibt der Hauptantrieb die Grundbewegung vor, die über den oberen Drehgeber zum Eingang der Steuerung führt (d1). Der untere Drehgeber ist fest mit dem Nebenantrieb verbunden. Dieser wird von der Steuerung, entsprechend der Getriebefunktion, nachgeregelt. Hierzu wird dessen Position ebenfalls zur Steuerung geleitet (d2). Wenn man sich innerhalb der Maschine zu schaffen macht, schaltet man den Hauptantrieb ab und verwendet zu dessen Bewegung ein Handrad. Der Nebenantrieb bleibt weiterhin in Regelung und folgt der Bewegung des Handrads. Hierdurch kann man die Bewegungen der Maschine gezielt ausführen. Beispielsweise lässt sich ein eingeklemmtes Papierstück oder eine verknickte Cellophanfolie manuell entfernen (Bild 1). Wenn während des manuellen Eingriffs die Steuerung versagt, kann der Nebenantrieb spontan anlaufen, ohne dass der Hauptantrieb erregt wurde. Wie Bild 1 zeigt, kann es in diesem Fall zu einem Einzug der Finger oder der Hand zwischen den Zuführrollen kommen. Eine Verletzung ist dann leicht möglich. Derartige Fehler sind stets auszuschließen, indem man sicherheitsgerichtete Techniken mit einer zweikanaligen Struktur verwendet.

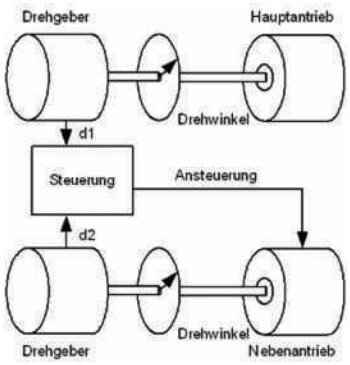

Bild 9: *Aufbau eines elektronischen Getriebes.*

5. Zusammenfassung

Sicherheitstechniken für Antriebe sind in der Norm IEC 61800 beschrieben. Die Ausführungen dieses Artikels basieren auf den Tätigkeiten eines Arbeitskreises (Drivecom), der die technischen Verfahren als Vorschlag ausgearbeitet hat. Die Methoden und die Schaltungen wurden sowohl vom TÜV (TÜV Rheinland) als auch von der Berufsgenossenschaft (BGIA St. Augustin) positiv bewertet. ■

VonDr. Peter Wratil

www.innotecsafety.de