

### 8.2.23 Karusselltürsteuerung – Kategorie 3 – PL d (Beispiel 23)

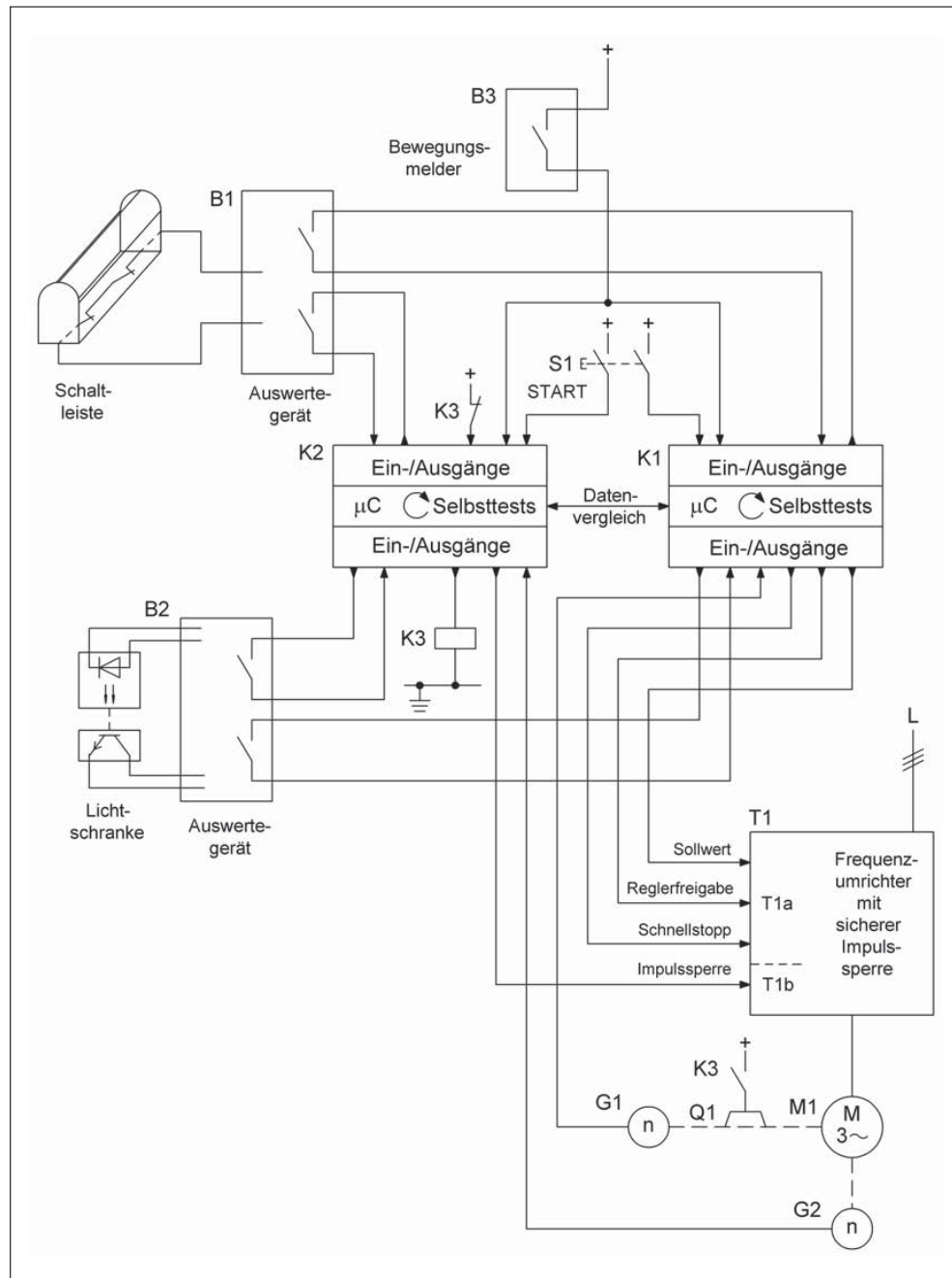
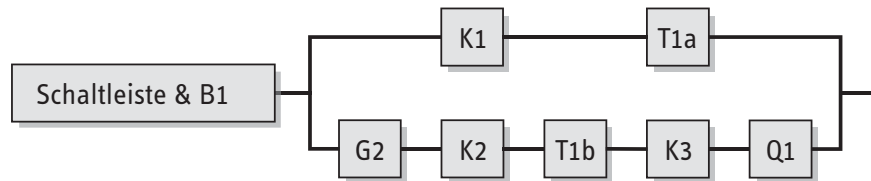


Abbildung 8.40:  
Karusselltürsteuerung  
mit Mikrocontrollern

#### Sicherheitsfunktionen

- Sicherheitsbezogene Stoppfunktion: Bei Betätigung der Schaltleiste wird die Drehbewegung der Karusselltür stillgesetzt (SS1 – Sicherer Stopp 1).
- Sicher begrenzte Geschwindigkeit (SLS): Bei Detektion einer Person oder eines Gegenstandes durch die Lichtschranke wird die Geschwindigkeit der Karusselltür reduziert und sicher begrenzt.



#### Funktionsbeschreibung

- Die Drehbewegung der Karusselltür wird erstmals nach dem Einschalten der Steuerung durch den Taster S1 eingeleitet. Im Normalbetrieb erfolgt die Anforderung zur Drehung über den an der Tür befindlichen Bewegungsmelder B3. Der Frequenzumrichter T1 wird gemeinsam durch die beiden Mikrocontroller K1 und K2 angesteuert. Jeder Mikrocontroller (µC) beinhaltet einen Mikroprozessor (CPU) als Recheneinheit sowie Arbeits- (RAM) und Festwertspeicher (ROM). K1 steuert die Funktionen der Sollwertvorgabe, Reglerfreigabe sowie des Schnellstopps. Durch K2 wird die Impulssperre angesteuert und die Haltebremse Q1 kann mithilfe des Hilfsschützes K3 gelöst werden. Die Drehgeber G1 und G2 übermitteln die Motordrehzahl an K1 bzw. K2.
- Fehler in der Schaltleiste bzw. der Lichtschranke werden in den zugehörigen Auswertegeräten B1 und B2 erkannt werden. Dies gilt auch für Fehler in B1 und B2, die durch interne Überwachung erkannt werden. Fehler in den Komponenten der Mikrocontroller werden über durchgeführte Selbsttests bzw. durch Datenvergleich erkannt. Die korrekte Funktion des Frequenzumrichters T1 wird mithilfe der Drehgeber G1 und G2 in K1 bzw. K2 überwacht. Aufgedeckte Fehler führen, gesteuert über K1 und/oder K2, zur Stillsetzung der Türdrehbewegung durch T1 und/oder Q1. Zur Befreiung eingeschlossener Personen können die Türflügel von Hand geklappt werden.
- Durch redundante Verarbeitungskanäle führt ein einzelner Fehler nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktionen. Die Kombination unerkannter Fehler kann zum Verlust der Sicherheitsfunktionen führen.

#### Konstruktive Merkmale

- Grundlegende und bewährte Sicherheitsprinzipien sowie die Anforderungen der Kategorie B sind eingehalten. Schutzbeschaltungen (z.B. Kontaktabsicherung) wie in den ersten Abschnitten von Kapitel 8 beschrieben sind vorgesehen.
- Die Schaltleiste dient der Absicherung von Quetsch-, Scher- und Einzugsstellen. Sie ist über B1 mit der Steuerung verbunden. Das Teilsystem aus Sensor und Auswertegerät erfüllt die Anforderungen nach DIN EN 1760-2 in Kategorie 3 und nach DIN EN ISO 13849-1 für PL d. Fehler im Signalgeber der Schaltleiste bzw. in den Zuleitungen müssen ausgeschlossen oder über das Auswertegerät erkannt werden können (es können Schaltleisten, die nach dem Öffner- oder Schließer-Prinzip arbeiten, verwendet werden). Nach Entlastung einer zuvor betätigten Schaltleiste erfolgt ein automatischer zeitverzögerter Wiederanlauf der Drehbewegung. Die Schaltleiste verfügt über einen hinreichenden Verformungsweg und einen ausreichenden Wirkbereich.
- Die Lichtschranke dient der voreilenden, berührungslos wirkenden Absicherung von Gefahrstellen. Sie erfüllt zusammen mit B2 mindestens die Anforderungen für Typ 2 nach DIN EN 61496-1 und DIN CLC/TS 61496-2 sowie nach DIN EN ISO 13849-1 für PL d. Die nach der Detektion einer Person oder eines Gegenstandes durch die Lichtschranke eingenommene reduzierte, sicher begrenzte Geschwindigkeit wird nach einer voreingestellten Zeit wieder auf Normaldrehgeschwindigkeit erhöht. Die Zuleitungen zu Sender und Empfänger sind getrennt oder geschützt verlegt.
- Während des ersten Anlaufs der Türdrehbewegung werden Einschalttests durchgeführt. Dabei werden unter anderem die Blöcke der Mikrocontroller (Mikroprozessor, Arbeits- und Festwertspeicher) getestet, Ein- und Ausgangstests durchgeführt sowie die Ansteuerung des Motors über den Frequenzumrichter überprüft (u.a. Test der Reglerfreigabe, der Schnellstoppfunktionalität sowie der Impulssperre). Ebenfalls findet ein Bremsentest statt, bei dem der Frequenzumrichter gegen die eingefallene Haltebremse arbeiten muss.
- Im Rahmen des Datenvergleichs zwischen den beiden Controllern erfolgt der Austausch von Sollwerten und Zwischenergebnissen unter Einbeziehung der zyklisch durchgeführten Selbsttests.
- Durch die Verwendung eines Frequenzumrichters mit sicherer Impulssperre ist der Einsatz eines Schützes zum Abschalten der Versorgungsspannung nicht mehr erforderlich. Der Frequenzumrichter ist zum Antreiben und Bremsen geeignet.
- K3 besitzt zwangsgeführte Kontaktelemente entsprechend DIN EN 60947-5-1, Anhang L. Die Schaltstellung des Öffnerkontaktes wird vom Mikrocontroller K2 zur Fehleraufdeckung überwacht.

- Bei dem Beispiel wird davon ausgegangen, dass zur Bremsung der Karusselltür die Regelung über den Frequenzumrichter T1 hinreichend ist. Nach Erreichen des Stillstandes wird die Impulssperre aktiviert und die Reglerfreigabe weggenommen zur Vermeidung des unerwarteten Anlaufes. Bremszeit und Bremsweg werden von der Steuerung überwacht. Die Bremse Q1 ist im Fehlerfall erforderlich, damit es nach einem Fehler, wenn z.B. T1 die spezifizierte Funktion nicht mehr ausführen kann, zu keiner Gefährdung durch eine ungewollte Bewegung kommen kann. Q1 arbeitet nach dem Ruhestromprinzip.
- Programmierung der Software (SRESW) in K1 und K2 entsprechend den Anforderungen für PL d nach Abschnitt 6.3
- Die Standardkomponenten G1, G2 (soweit für die Drehgeber zutreffend) und T1 werden entsprechend den Hinweisen in Abschnitt 6.3.10 eingesetzt.
- Für die Sicherheitsfunktion „Sicher begrenzte Geschwindigkeit“ wird ein Fehlerausschluss für den Fehler Geberwellenbruch (G1/G2) angenommen. Einzelheiten zur Möglichkeit eines Fehlerausschlusses siehe z.B. IEC 61800-5-2, Tabelle D.16

#### Bemerkungen

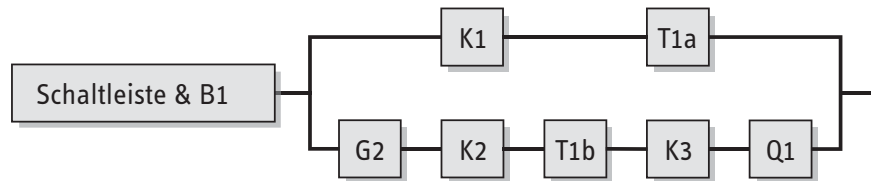
- Das Schaltungsbeispiel ist einsetzbar zur Realisierung der Sicherheitsfunktionen „Sicherheitsbezogene Stoppfunktion“ und „Sicher begrenzte Geschwindigkeit“ in einer Steuerung für drei- und vierflügelige Karusselltüren mit Break-Out-Funktion (Türflügel können im Notfall von Hand geklappt werden) für den Einsatz im öffentlichen und gewerblichen Bereich.
- Eine regelmäßige manuelle Überprüfung der Schaltleiste ist erforderlich. Zum einen muss die Funktionsfähigkeit überprüft werden und zum anderen ist eine optische Begutachtung der Schaltleiste notwendig, um Beschädigungen frühzeitig erkennen zu können.

#### Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeiten

- Der Frequenzumrichter T1 wird für die Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeiten in die Blöcke T1a und T1b zerlegt. Im Block T1a sind die Funktionen Sollwertvorgabe, Reglerfreigabe und Schnellstopp sowie deren steuerungstechnische Umsetzung enthalten. Der Block T1b beinhaltet die mit einer geringen Anzahl von Bauteilen realisierte sichere Impulssperre.

Die detaillierte Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit wird für die Sicherheitsfunktion „Sicherheitsbezogene Stoppfunktion (SS1)“, die auch im Blockdiagramm dargestellt ist, durchgeführt:

- Da die Schaltleiste mit zugehörigem Auswertegerät B1 als käufliches Sicherheitsbauteil vorliegt, wird deren Ausfallwahrscheinlichkeit am Ende der Berechnung addiert ( $3,00 \cdot 10^{-7}/\text{Stunde [G]}$ ).
- $MTTF_d$ : Die sicherheitsrelevanten Bauteile von K1 und K2 einschließlich ihrer Peripherie werden nach Anwendung des „Parts Count“-Verfahrens mit einem Wert von 878 Jahren [G] berücksichtigt. Für G2 fließt ein Wert von 75 Jahren [G] in die Berechnung ein. Für T1a wird ein Wert von 100 Jahren [G] und für T1b ein Wert von 1 000 Jahren [G] angesetzt. Für K3 wird ein  $B_{10d}$ -Wert von 400 000 Zyklen [N] angesetzt. Bei einer Betätigung pro Tag ergeben sich  $n_{op} = 365$  Zyklen/Jahr und eine  $MTTF_d = 10\,959$  Jahre. Q1 wird mit einer  $MTTF_d$  von 50 Jahren [G] berücksichtigt. Die Haltebremse Q1 ist nur im Fehlerfall erforderlich und unterliegt keinem betriebsmäßigen Verschleiß. Insgesamt ergibt sich ein symmetrisierter  $MTTF_d$ -Wert pro Kanal von 64,3 Jahren („hoch“).
- $DC_{avg}$ : Für K1 und K2 ergibt sich aufgrund der Auswahl geeigneter Testmaßnahmen ein DC von 60 %. Interne Selbsttests der Komponenten der Mikrocontroller werden durchgeführt. Für den Block T1a wird ein DC von 90 % angesetzt, da eine Fehleraufdeckung über den Prozess erfolgt. G2 wird mit einem DC von 90 % bemessen, die Fehleraufdeckung erfolgt auch hier durch den Prozess und den Vergleich mit G1 über K1 und K2. K3 wird mit einem DC = 99 % bemessen aufgrund der direkten Überwachung eines zurückgelesenen zwangsgeführten Kontaktes. Aufgrund des durchgeführten statischen Einschalttestes wird für T1b ein DC = 60 % und für Q1 ein DC = 30 % angesetzt. Durch Mittelung ergibt sich damit ein  $DC_{avg}$  von 62 % („niedrig“).
- Ausreichende Maßnahmen gegen Ausfälle infolge gemeinsamer Ursache (70 Punkte): Trennung (15), FMEA (5), Schutz gegen Überspannung usw. (15) und Umgebungsbedingungen (25 + 10)
- Die Kombination der Steuerungselemente entspricht Kategorie 3 mit hoher  $MTTF_d$  (64,3 Jahre) und niedrigem  $DC_{avg}$  (62 %). Für die Kombination der Komponenten K1 und T1a im ersten Kanal sowie G2, K2, T1b, K3 und Q1 im zweiten Kanal ergibt sich eine mittlere Wahrscheinlichkeit gefährlicher Ausfälle von  $1,94 \cdot 10^{-7}/\text{Stunde}$ . Zuzüglich der Sensoreinheit, bestehend aus Schaltleiste und Auswertegerät B1, beträgt die mittlere Wahrscheinlichkeit gefährlicher Ausfälle der Steuerung für diese Sicherheitsfunktion insgesamt  $4,94 \cdot 10^{-7}/\text{Stunde}$ . Dies entspricht PL d.



#### Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit für die Sicherheitsfunktion „Sicher begrenzte Geschwindigkeit (SLS)“:

- Für diese Berechnung muss zusätzlich G1 im ersten Kanal berücksichtigt werden. Dafür wird eine  $MTTF_d$  von 75 Jahren [G] angesetzt. Der DC von 99 % ergibt sich aufgrund der Fehlerrückmeldung durch den Prozess sowie den Vergleich mit G2 über K2 und K1. Ausreichende Maßnahmen gegen Ausfälle infolge gemeinsamer Ursache wurden analog zur ersten Beispielberechnung gewählt. Mit 34,9 Jahren  $MTTF_d$  und 70 %  $DC_{avg}$  ergibt sich eine mittlere Wahrscheinlichkeit gefährlicher Ausfälle von  $4,46 \cdot 10^{-7}$ /Stunde. Nach Hinzufügen der Sensoreinheit, hier bestehend aus Lichtschranke und Auswertegerät B1 mit einem Wert von  $2,00 \cdot 10^{-7}$ /Stunde [G], beträgt die mittlere Wahrscheinlichkeit gefährlicher Ausfälle der Steuerung für diese Sicherheitsfunktion insgesamt  $6,46 \cdot 10^{-7}$ /Stunde. Dies entspricht ebenfalls PL d.

#### Weiterführende Literatur

- DIN EN 1760-2: Sicherheit von Maschinen – Druckempfindliche Schutzeinrichtungen – Teil 2: Allgemeine Leitsätze für die Gestaltung und Prüfung von Schaltleisten und Schaltstangen (07.01). Beuth, Berlin 2001
- DIN 18650-1: Schlösser und Baubeschläge – Automatische Türsysteme (12.05). Beuth, Berlin 2005
- DIN EN 60947-5-1: Niederspannungsschaltgeräte – Teil 5-1: Steuergeräte und Schaltelemente – Elektromechanische Steuergeräte (02.05). Beuth, Berlin 2005
- DIN EN 61496-1: Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen (01.05). Beuth, Berlin 2005
- DIN CLC/TS 61496-2: Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 2: Besondere Anforderungen an Einrichtungen, welche nach dem aktiven opto-elektronischen Prinzip arbeiten (02.08). Beuth, Berlin 2008
- DIN EN 61800-5-2 (VDE 0160-105-2): Elektrische Leistungsantriebe mit einstellbarer Drehzahl – Teil 5-2: Anforderungen an die Sicherheit – Funktionale Sicherheit (07.07). Beuth, Berlin 2007

**Subsystem BGIA**

Dokumentation | PL | Kategorie | MTTFd | DCavg | CCF | Blöcke

**Kanal 1**

Name	DC [%]	MTTFd [a]
BL Mikrocontroller K1	60 (Low)	878.12 (-)
BL Frequenzumrichter T1a (S...	90 (Medium)	100 (High)

**Kanal 2**

Name	DC [%]	MTTFd [a]
BL Drehgeber G2	90 (Medium)	75 (High)
BL Mikrocontroller K2	60 (Low)	878.12 (-)
BL Frequenzumrichter T1b (si...	60 (Low)	1000 (-)
BL Hilfsschutz K3	99 (High)	10958.9 (-)
BL Haltebremse Q1	30 (None)	50 (High)

**Sicherheitsbezogene Stopfunktion (SS1 - Sic**

PLr	d
PL	d
PFH [1/h]	4,94E-7

**SB Mikrocontrollersteuerung**

PL	d
PFH [1/h]	1,94E-7
Kat.	3
MTTFd [a]	64,32 (High)
DCavg [%]	62,22 (Low)
CCF	70 (erfüllt)

Abbildung 8.41:  
PL-Bestimmung mithilfe  
von SISTEMA