

## Erläuterung zum STO mit PFH = 0 / PFD = 0

Frequenzumrichter der NORD DRIVESYSTEMS Group unterstützen die Funktionale Sicherheit von Maschinen. Sie können mit sicheren Abschaltwegen geliefert werden, die es ermöglichen elektrische Maschinen sicher abzuschalten. Mittels der „sicheren Pulssperre“ kann das Drehmoment sicher abgeschaltet werden, indem der Stromfluss des Motors unterbrochen wird. Dies stellt die sichere Funktion „sicher abschaltendes Moment“ (STO – Safe Torque Off) dar.

Diese „sichere Pulssperre“ ist bei Geräten mit kleinen bis mittleren Leistungen so aufgebaut, dass sich eine Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls pro Stunde von  $PFH = 0$  und eine Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls bei Anforderung von  $PFD = 0$  ergibt. Daraus folgt, dass der Diagnose Deckungsgrad aufgrund der Division mit 0 nicht ermittelt werden kann. Dies führt bei Kunden und Experten zu nachfragen bezüglich der Richtigkeit, da z. B. in der früheren Version des Berechnungstool SISTEMA V1.1 des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) der PFHD-Wert ungleich Null angegeben werden musste. SISTEMA V2.0 ermöglicht nun die Eintragung des PFHD-Wertes von Null.

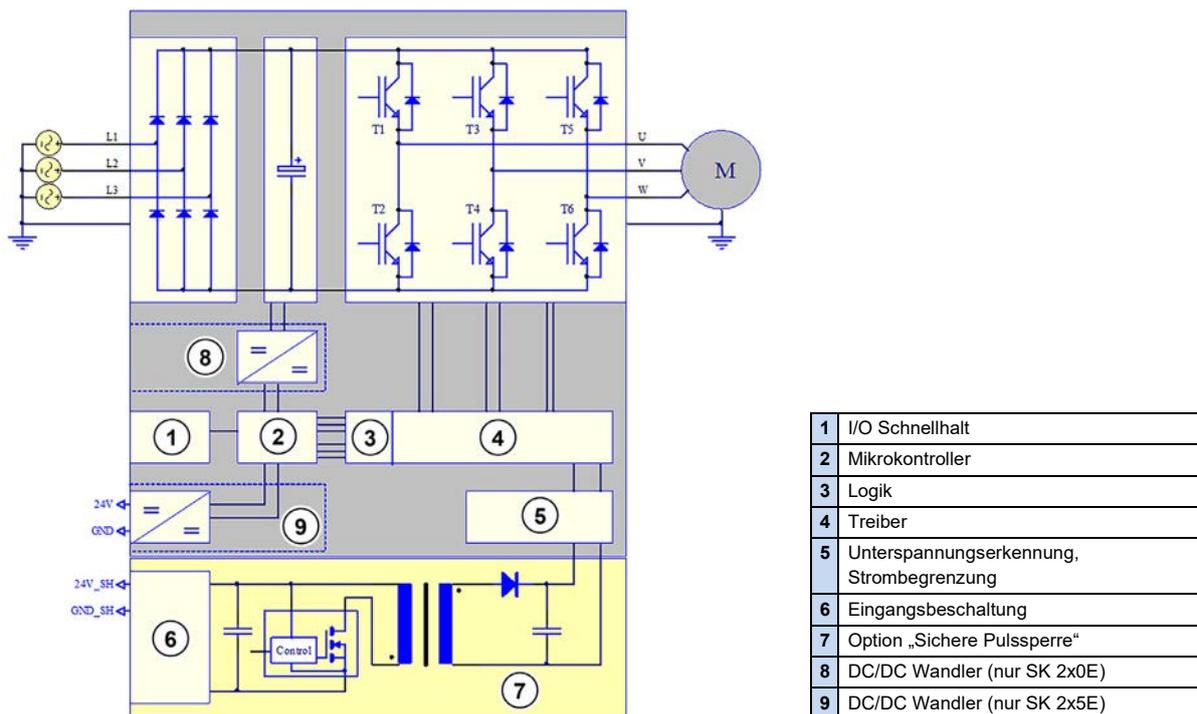


Abbildung 1: Aufbau sichere Pulssperre, Baugröße 1 bis 3

Der Aufbau von Frequenzumrichtern kleiner und mittlerer Leistung, welche die sichere Pulssperre enthalten, ist im oberen Bild dargestellt. Die prinzipielle Funktionsweise ergibt sich wie folgt.

Die Netzspannungen werden gleichgerichtet und die so entstandene DC-Zwischenkreisspannung wird nach den Erfordernissen des Betriebszustandes des Motors (Frequenz und Spannung) wieder wechselgerichtet.

Die Halbleiterschalter des Wechselrichters (T1 bis T6) werden mit einem sehr komplexen Pulsmuster angesteuert. Dieses Pulsmuster wird von dem Mikrocontroller ( $\mu C$ ) erzeugt und vom Treiber verstärkt.

Technische Information / Datenblatt	Functional Safety - STO			
Funktionale Sicherheit	TI 80_0045	V 1.0	4822	de

Der Treiber übernimmt dabei die Umsetzung der Logik-Signale auf die Steuerspannungen der Halbleiterschalter. Die Halbleiterschalter werden durch die Steuerspannung geschaltet und das Pulsmuster wird in verstärkter Form an die Motorklemmen angelegt. Aufgrund der Tiefpasswirkung des Motors entsteht aus der pulsformigen Spannung, einer dreiphasigen pulsweitenmodulierten Sinusspannung, ein Drehstromsystem. Der Motor entwickelt ein Drehmoment.

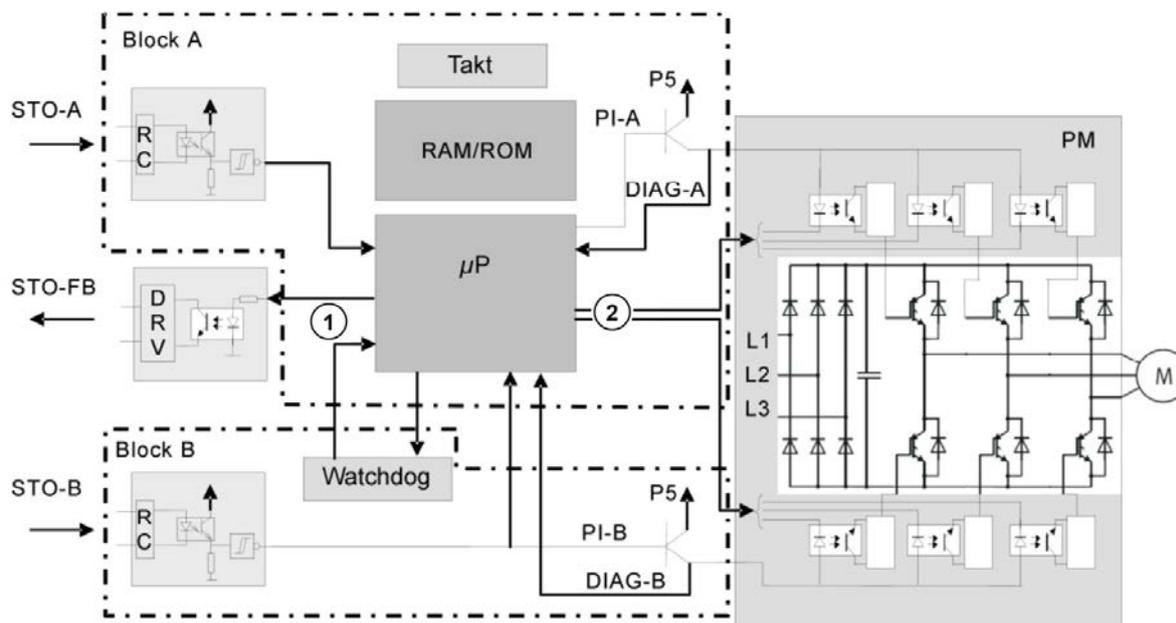
Die Geräte, die mit der „sicheren Pulssperre“ ausgerüstet sind, besitzen einen zusätzlichen DC/DC-Wandler, welcher aus einer 24-V-Spannung (Kontakte 24V\_SH, GND\_SH) die Versorgungsspannung für die Treiber erzeugt.

Wird diese 24-V-Spannung abgeschaltet, so überträgt der DC/DC-Wandler keine Energie zu den Treibern. Da nun die Treiber nicht versorgt werden, gelangen keine Steuerpulse an die Halbleiterschalter (T1 bis T6) des Wechselrichters. Der Stromfluss in den Halbleiterschaltern und im Motor wird unterbrochen. D.h. der Motor entwickelt nach einer gewissen Reaktionszeit der Elektronik und nach der Abklingzeit des Motorstromes kein antreibendes Moment.

Das Wegschalten der Versorgungsspannung der Treiber stellt einen einfachen Ansatz zur Realisierung der sicheren Funktion „sicher abschaltende Moment“ (STO – Safe Torque Off) dar.

Der Trend geht jedoch zu signalbasierten Lösungen, bei denen die Ausgangssignale des Mikrocontrollers abgeschaltet werden. Diese Ausgangssignale erzeugen das Pulsmuster. Ein Beispiel ist im nachfolgenden Bild dargestellt.

Ausgelöst wird die Sicherheitsfunktion über einen oder mehrere Digitaleingänge, die analog oder über den Mikrocontroller ausgewertet werden. Da das Abschalten der Ansteuersignale über den Mikrocontroller oder andere elektronische Schalter erfolgt, ist davon auszugehen, dass sich zumindest in geringem Maße gefährliche Fehler ergeben können. Solche Lösungen mit einem PFH ungleich 0 sind dem Großteil der Experten aus der Antriebstechnik und der Steuerungstechnik gut bekannt.



## Legende

(1)	Rücksetzen
(2)	Impulssignale
P5	Versorgungsspannung 5 V
PI-A(B)	Impulskanal A(B)
DIAG-A(B)	Diagnosekanal A(B)
RC	Widerstandskondensator-Filter
DRV	Ausgangs
PM	Leistungsmodul
µP	Mikroprozessor

**Abbildung 2:** Beispiel für den signalbasierten Ansatz zum Aufbau der sicheren Funktion „sicher abschaltendes Moment“ (STO – Safe Torque Off) nach EN 61800-5-2 (VDE-Verlag, 2017, DIN EN 61800-5-2 (VDE 0160-105-2)).

Die Sicherheitsfunktion der „sicheren Pulssperre“ wurde mittels einer FMEA bewertet. Hierbei wurden Einzel- und Mehrfachfehler der Baugruppe und dessen Schaltungsteile bis auf Bauteilebene analysiert.

Mögliche Fehler, die im Schaltungsteil der funktionalen Sicherheit oder des Frequenzumrichters auftreten, führen nicht zu gefährlichen Fehlern. Das heißt auch durch mehrfach Fehler ist es nicht möglich, dass Fremdspannungen die Treiber mit Energie versorgen, sodass eine Ansteuerung der IGBTs trotz ausgelöster Sicherheitsfunktion möglich ist.

Ein möglicher Fehler wäre, dass der IGBT durch einen internen oder äußeren Kurzschluss am Treiber IC mit 5 V angesteuert wird, obwohl die Versorgungsspannung der Treiber (15 V) abgeschaltet ist. Der IGBT würde, sofern er überhaupt schaltet, im linearen Bereich betrieben werden und bei einem neuen Fehler, bei dem ein Stromfluss im IGBT zustande kommt, thermisch zerstört werden.

Ein weiterer Fehler wäre ein dauerhaft durchgeschalteter IGBT, aufgrund eines internen Kurzschlusses. Da der Motor zur Rotation ein komplexes Pulsmuster benötigt, das eine sinusförmige Spannung erzeugt, ist keine Bewegung möglich.

Durch zwei dauerhaft kurzgeschlossene IGBTs würden ein Gleichstrom durch den Motor fließen, hier könnte es zu einer Ausrichtbewegung des vierpoligen Motors um maximal 90° kommen.

Die erhöhten normativen Anforderungen an die Luft- und Kriechstrecken auf der Leiterplatte und im Gerät werden eingehalten, es ist der Betrieb in einem IP54 Gehäuse vorgeschrieben und die maximalen

EMV-Grenzwerte der Störfestigkeit sind benannt. Auf dieser Grundlage wurde ein Fehlerausschluss für den Kurzschluss von benachbarten Leitern angewendet.

Bei dem Betrieb des Frequenzumrichters in dem im Handbuch definierten Rahmen darf normativ davon ausgegangen werden, dass der Schaltungsteil der Sicherheitsfunktion nicht durch eine externe Spannung oder eine interne Spannung des allgemeinen Schaltungsteil des Frequenzumrichters versorgt werden kann.

Die Bewertung der Sicherheitsfunktion der „sicheren Pulssperre“ über eine FMEA ergab eine Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls pro Stunde von PFH = 0 und eine Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls bei Anforderung von PFD = 0.

Bei Frequenzumrichtern größerer Leistung reicht die Leistung des Sicherheitsschaltgerätes zur Treiberversorgung nicht mehr aus. Aus diesem Grund werden die Treiber von einem separaten Netzteil versorgt, dessen Steuerspannung durch das Sicherheitsschaltgerät versorgt wird. Wird die Steuerspannung des Netzteils weggeschaltet, kann das Netzteil keine Energie mehr zu den Treibern übertragen. Die IGBTs können nicht mehr angesteuert werden und der Motor trudelt aus.

Die FMEA hat gefährliche Mehrfachfehler aufgezeigt. Hierzu müssen mehrere Bauteile des Netzteils der internen Spannung (nachfolgendes Bild, Punkt 7) defekt (leitend/ hochohmig) sein. Durch eine oszillierende Spannung (AC-Spannung) an der Eingangsklemme der 24-V-Versorgungsspannung könnten über das Netzteil zu den Treibern Energie übertragen werden.

Dieser Fehlerfall wurde in der FMEA bewertet und es ergeben sich für den SK 200E in Baugröße 4 eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls pro Stunde von PFH = 0,0058 Fit und eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls bei Anforderung von PFD = 5,23x10<sup>-5</sup>.

Der Anteil der sicheren Ausfälle SFF ist größer 99 %.

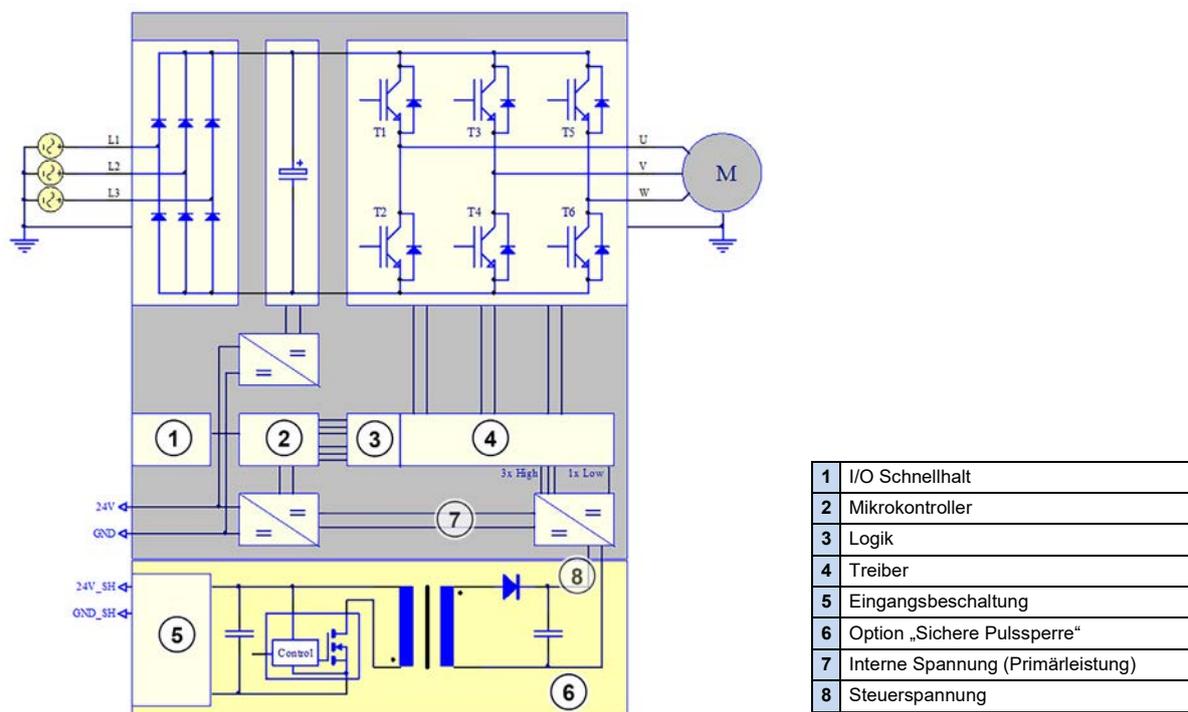


Abbildung 3: Aufbau sichere Pulssperre, Baugröße 4

Die in den Handbüchern der NORD DRIVESYSTEMS Group angegebenen technischen Daten, wie der PFH und PFD, sind korrekt. Sie wurden von der TÜV NORD CERT GmbH überprüft und bestätigt. Das Produkt wird in dieser Form seit vielen Jahren erfolgreich am Markt eingesetzt.