

Magnetspulen für Schalt- und Proportionalventile

Magnete und Spulen werden eingesetzt, um elektrische Energie in mechanische Kräfte umzuwandeln, mit denen die Ventilkomponenten betätigt werden, um Ströme oder Drücke zu steuern. In der Terminologie von SUN Hydraulik sind Spule und Magnet separate Komponenten. Als Magnet wird das Schaltrohr bezeichnet, in dem sich der Anker und der Pol befinden. Die Spule wird auf den Magneten geschoben und enthält eine Anzahl Windungen von Kupferdraht. Bei elektrisch betätigten Schaltventilen wird sie Spule entweder bestromt oder sie ist stromlos. Bei Proportionalventilen wird der Strom durch die Spule über einen Proportionalverstärker geregelt. Für Schaltmagnete und Proportionalmagnete werden die gleichen Spu-

len benutzt. Das Flussdiagramm und der Ventilquerschnitt in Bild 1 zeigen ganz allgemein, wie ein analoges Eingangssignal die Leistung der Spule eines Proportionalventils regelt. Der Ausgang des Ventils ist entweder ein Volumenstrom oder ein Druck. Das gleiche Flussdiagramm kann auch benutzt werden, um zu zeigen, wie der elektrische Strom, der durch die Spule fließt, auf ein Schaltventil einwirkt. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Komponenten Eingangssignal und Verstärker entfallen. SUN bietet zwei verschiedene Spulenleistungen an, 12 Watt und 22 Watt. Es gibt die Spulen im Bereich von 12 VDC bis 220 VDC und mit 24, 115 und 230 VAC.

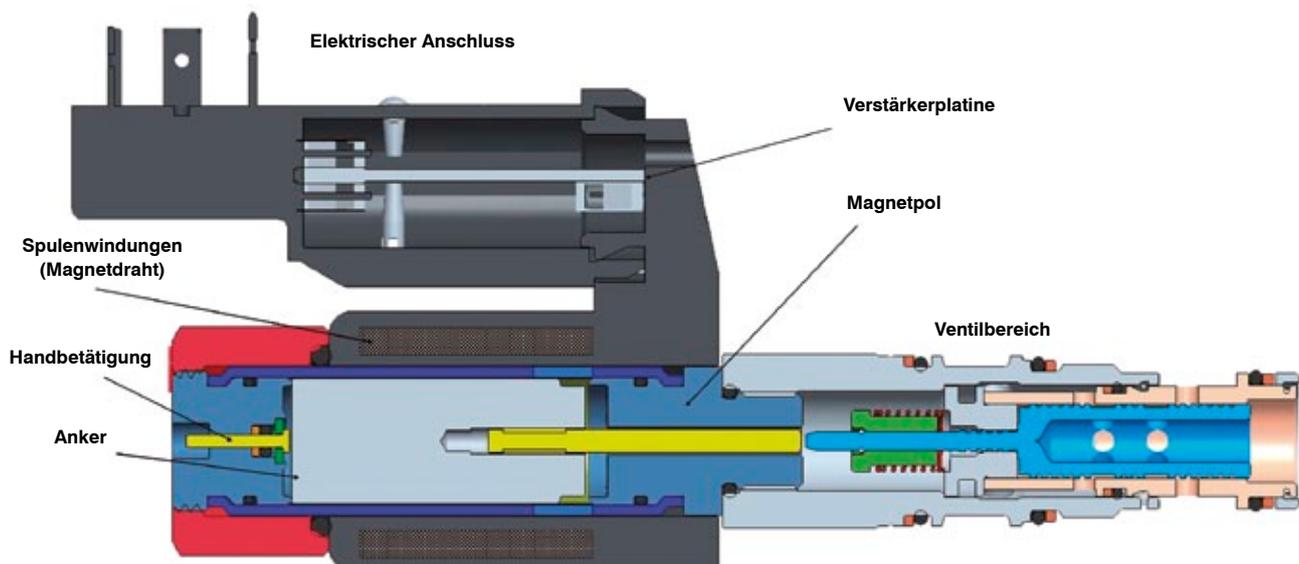


Bild 1: Querschnitt eines Proportionalventils

Magnetspulen für Schalt- und Proportionalventile



Bild 2: Spule in verschiedenen Phasen der Herstellung

Magnetspulen werden hergestellt, indem der Magnetdraht auf den Spulenkörper aufgewickelt wird. Nachdem die Anschlüsse und eventuelle Elektronik installiert wurden, wird die Spule vergossen und das Abschirmgehäuse wird angebaut.

Temperaturbereiche

Beim Festlegen der Temperaturbereiche müssen die Konstruktionsmaterialien und der Stromverbrauch betrachtet werden. Die Temperatur hängt direkt von der Spulenleistung ab.

Alle Materialien, die SUN in den Spulen einsetzt, haben Spezifikationen, die weit über die veröffentlichten Temperaturbereiche hinausgehen. Das schließt den Magnetdraht, das Material des Spulenkörpers und die Vergussmasse ein.

Alle Spulen werden mit Klasse N Magnetdraht (200 °C Nenntemperaturklasse) gewickelt.

Die Klassifizierung des Magnetdrahtes basiert auf der Drahtisolierung. Die Klassifizierung ist definiert als 20.000 Stunden (Etwa 2,25 Jahre) ununterbrochener Einsatz bei 200 °C, der Nenntemperatur. Die Schmelztemperatur in der Tabelle 1

ist die Temperatur, bei der die Drahtisolierung schmilzt. Klasse N Magnetdraht wird verwendet, weil er die höchste Temperaturklasse hat, leicht verfügbar ist und sich gut auf den Spulenkörper wickeln lässt.

Tabelle 1. Konstruktionsmaterialien und Schmelztemperaturen

Teil	770 und 790 Spulenfamilie		760 Spulenfamilie	
	Material	Schmelztemperatur	Material	Schmelztemperatur
Magnetdraht Klasse N (200 °C Nenntemperaturklasse)	Polyamidbeschichteter Kupferdraht	390 °C	Polyamidbeschichteter Kupferdraht	390 °C
Spulenkörper	PA66-GF33, 33 % glasfaserverstärktes Polyamid 66 (schwarz) [DuPont Zytel]	285-305 °C	PA66-GF33, 33 % glasfaserverstärktes Polyamid 66 (natur) [DuPont Zytel]	285-305 °C
Vergussmasse	PA66-GF33, 33 % glasfaserverstärktes Polyamid 66 (schwarz) [DuPont Zytel]	285-305 °C	Polyester Thermoset Bulk Molding Compound, 10 % Glasfaserverstärkung	nicht anwendbar
Anschlüsse	Verzinntes Messing	900-940 °C	Verzinntes Messing	900-940 °C

Glasfasergefülltes Nylon (DuPont Zytel® 70G33L BK031) wird eingesetzt bei den Spulenkörpern und als Vergussmasse bei den 770 und 790 Spulen. Das Material wird genutzt, weil die Eigenschaften über einen weiten Temperaturbereich stabil bleiben. Zytel® wird anstelle von herkömmlichen Thermoplasten bei der Spulenherstellung genutzt, weil es weniger spröde ist. Die höhere Flexibilität ermöglicht das Bestehen des thermischen Schocktests, der weiter unten beschrieben wird.

Polyester thermoset bulk molding compound wird benutzt zum Vergießen der

760 Spulen. Das Vergießen mit Thermoset ist ein älterer Prozess, der nur bei den älteren 760 Spulen zum Einsatz kommt. Bei der 770 Spulenfamilie wird er nicht mehr genutzt, da der Prozess langsamer und teurer ist. Thermoset Polymere werden bei hohen Temperaturen nicht wieder plastisch, daher gibt es keine Angabe der Schmelztemperatur.

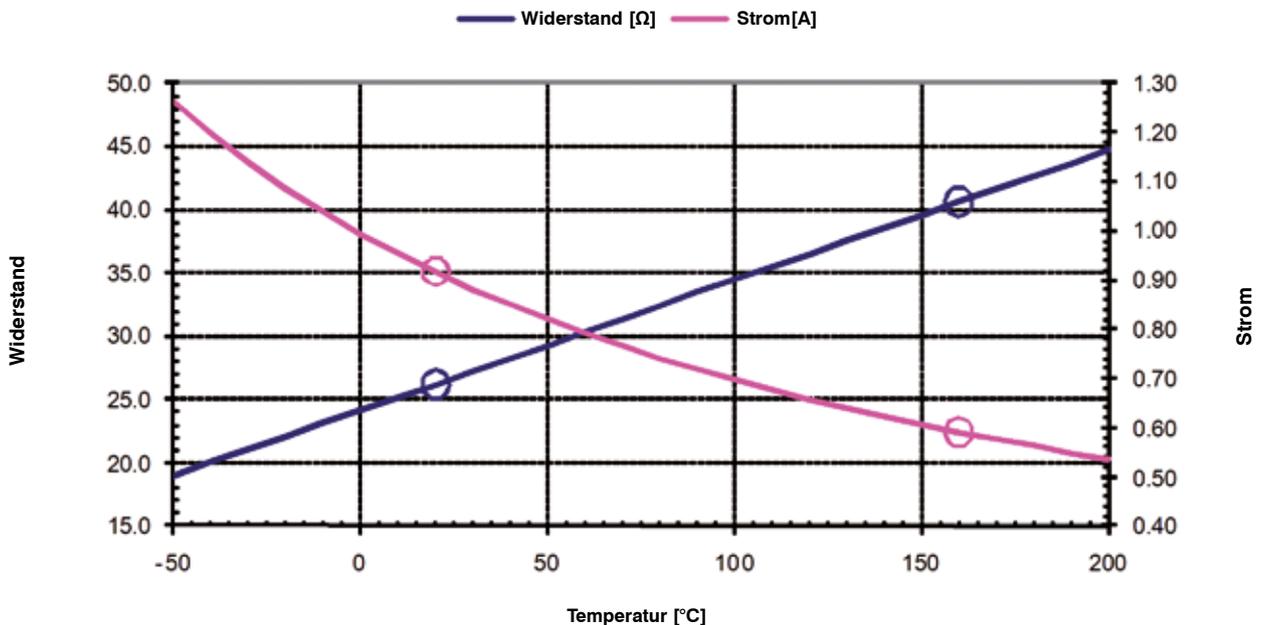
Die Wahl der Konstruktionsmaterialien ist ausschlaggebend für die Lebensdauer der Spule. Der limitierende Faktor beim Design der Spulen sind die Konstruktionsmaterialien und die Isolationsrate.

Um die Leistungsaufnahme der Spulen zu verstehen, muss man die Effekte

von Temperaturanstieg und den Einfluss der Temperatur auf den Widerstand des Kupferdrahtes kennen. Wenn ein Strom durch die Kupferwindungen fließt, steigt die Temperatur. Wenn die Temperatur des Kupfers steigt, steigt auch der elektrische Widerstand.

Der Temperaturanstieg und die Änderung des Widerstandes kann mit den Gleichungen 1-4 mathematisch beschrieben werden. Das Ergebnis dieser Gleichungen ist graphisch in Bild 3 für eine 24 VDC Spule (770-224) dargestellt. Der Anfangswiderstand von 26,2 Ω ist der Widerstand, den die Spule bei einer Nominaltemperatur von 20 °C hat.

Bild 3: Einfluss der Temperatur auf den Widerstand von Kupfer



$$\frac{234.5 + t_2}{234.5 + t_1} = \frac{R_2}{R_1} \quad [1] \quad \rightarrow \quad t_2 = \frac{R_2}{R_1} (234.5 + t_1) - 234.5 \quad [2] \quad \theta = t_2 - t_1 \pm \Delta T \quad [3]$$

$$\text{oder} \quad \theta = \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right) (234.5 + t_1) \pm \Delta T \quad [4]$$

R1 = Widerstand, bevor die Spule bestromt wird [Ω]
 R2 = Widerstand, nachdem die Spule bestromt wird [Ω]
 t1 = Temperatur, bevor die Spule bestromt wird [°C]
 t2 = Temperatur, nachdem die Spule bestromt wird [°C]

ΔT = Änderung der Umgebungstemperatur (Addieren, wenn die Temperatur steigt, subtrahieren, wenn die Temperatur sinkt)
 Θ = Anstieg der Kupfertemperatur [°C]

Die Schlüsselstellen, die in Bild 3 mit einem Kreis versehen sind, zeigen den nominalen Widerstand von 26,2 Ω bei 20 °C und den Strom bei diesem Widerstand und 24 VDC (0,92 A) an. Auf der rechten Seite sind die Stellen hervorgehoben, die 160 °C (0,59 A und 40,6 Ω) entsprechen. Die Schlüsselstelle bei 0,59 A ist wichtig beim Einstellen von Proportionalverstärkern auf 24 VDC Spulen.

Bild 4 zeigt die stabilisierte Temperatur einer 24 VDC Spule bei 10 % Überspannung (26,4 VDC) und 50 °C Umgebungstemperatur. Es ist zu sehen, dass sich der Strom bei etwa 0,59 A und die Oberflächentemperatur bei etwa 135 °C stabilisiert. Wird das verglichen mit den 160 °C Kupfertemperatur in Bild 3, sieht man eine Temperaturdifferenz zwischen der Spulenoberfläche und den Kupferwindungen. 50 °C Umgebungstemperatur und 10 % Überspannung sind die obersten Grenzen, die SUN für die 770 Spulen zulässt. Es besteht also ein Sicherheitsbereich von 40 °C zwischen der Kupfertemperatur und der Nenntemperatur des Drahtes. Bei diesen Bedingungen von hoher Umgebungstemperatur und Überspannung ist der Sicherheitsbereich ausreichend bemessen. Jedoch gibt der Magnetdrahthersteller nur die 200 °C an, bei der die Drahtisolierung eine Lebensdauer von 2,25 Jahren im Dauerbetrieb hat. Es gibt keine veröffentlichten Daten bei Temperaturen unter 200 °C. Daher sollte man,

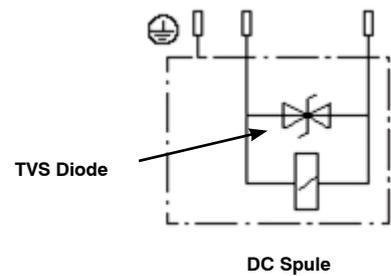
um vorzeitigem Spulenverschleiß zu vermeiden, unterhalb der von SUN angegebenen Grenzen bleiben. Ein Betrieb oberhalb dieser Grenzen kann zu vorzeitigem Spulenausfall führen.

Überblick

Überspannungsunterdrückung

Die 770 Spulen von SUN haben standardmäßig TVS-Löschdioden parallel zu der Wicklung eingebaut.

Ohne die Löschdioden würde beim Abschalten des Stromflusses durch das zusammenbrechende Magnetfeld eine hohe Spannung induziert. Wie Bild 5 zeigt, kann die Spannungsspitze beim Abschalten einer 24 V Spule über 400 V betragen. Diese Spitzen können sowohl negativ als auch positiv sein. Bild 6 zeigt, wie die Löschdiode die Spannungsspitze auf 68 V begrenzt. Die Spannungsspitzen können zu Beschädigungen an den elektrischen oder elektronischen Teilen der Maschine führen. Die Durchbruchspannung wird auf den jeweiligen Produktseiten der Spulen aufgeführt. Sie wird ausgewählt auf Basis der Spitzenamplitude, die mit der Gleichung unten ausgerechnet werden kann. Die Durchbruchspannung ist definiert als der Punkt, an dem die Diode zum Leiter wird. Zusätzlich wird noch ein Sicherheitsfaktor addiert, um Toleranzen



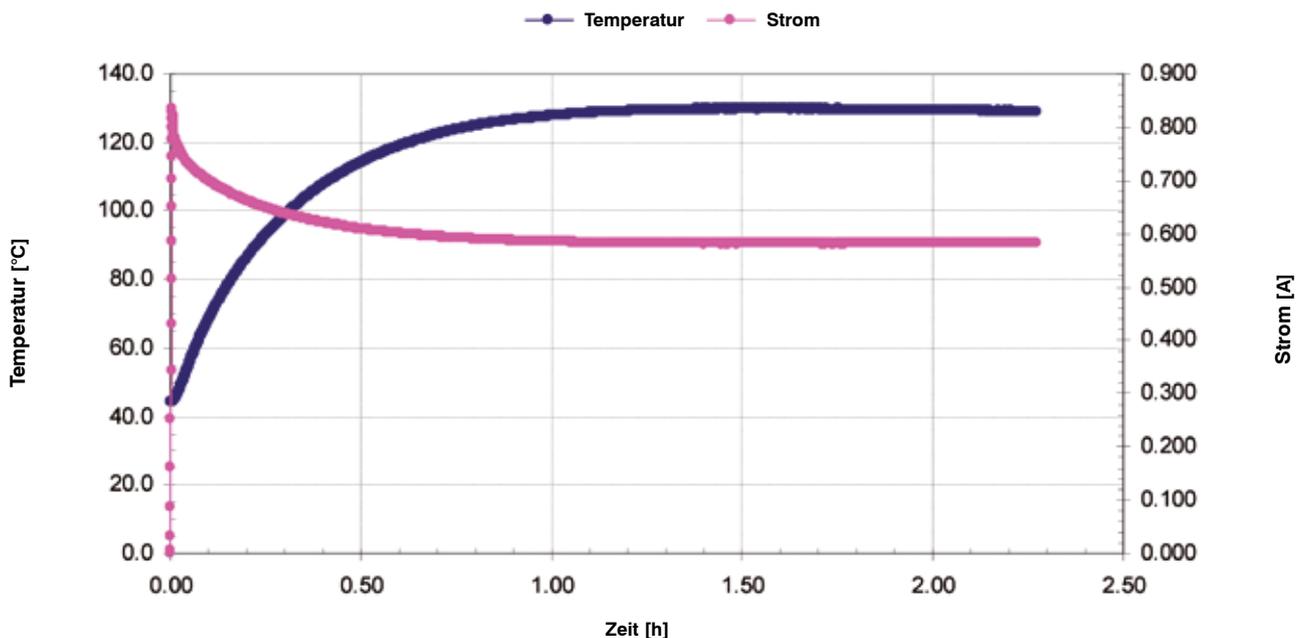
bei der Diodenfertigung zu eliminieren und einen üblichen Industriestandard zu garantieren. Vrms ist die Quadratwurzel der sinusförmigen Spannung. Beachten Sie, dass der Wert Spitze bis Spitze das Doppelte der Spannung beträgt.

Wenn die Durchbruchspannung der eingebauten Löschdiode zu hoch ist, muss der Anwender eine externe Diode mit einem geringeren Wert parallel zur Spule schalten.

Generell ist es so, dass die TVS-Dioden, wenn sie versagen, die Spule kurzschließen. Übermäßig hohe Spannungsspitzen können zum Versagen der Dioden führen. Die Dioden wurden sorgfältig ausgewählt, um solche Ausfälle zu vermeiden.

Die 760 Spulen sind standardmäßig mit einem integrierten Metal Oxide Varistor (MOV) ausgestattet. MOVs unterscheiden sich in der Größe von TVS-Dioden. Die

Bild 4: Stabilisierte Temperatur der Spulenoberfläche



$$V_{\max} = V_{\text{RMS}} \cdot \sqrt{2}$$

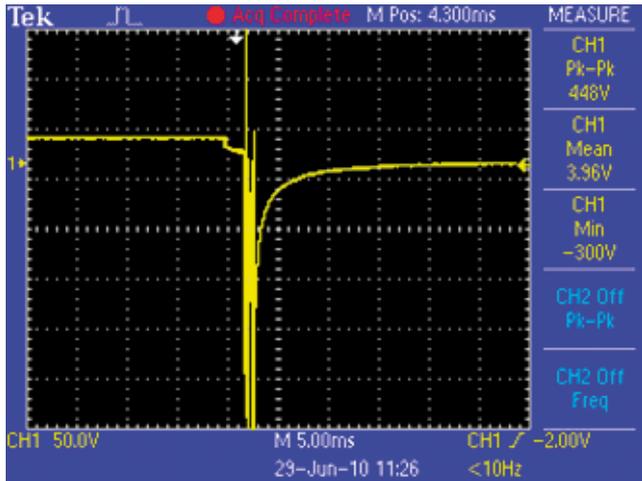


Bild 5: Spannungsspitze ohne Löschiode

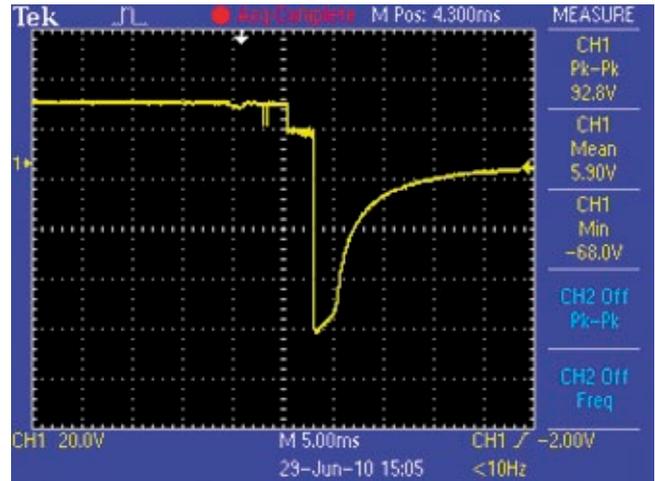


Bild 6: Durch TVS-Diode begrenzte Spannungsspitze

Spezifikationen der MOVs fordern jeweils maximalen VDC und VRMS.

Bei MOVs ist es generell so, dass sie beim Versagen offen bleiben und die Spule ohne Löschfunktion weiterarbeiten kann. Die Anwender sollten das Verhalten der MOVs im Fehlerfall kennen und gegebenenfalls eine zusätzliche Funkenlöschung vorsehen.

Der Einsatz der Spulen erfolgt üblicherweise in industrieller Umgebung. In dieser Umgebung ist die Spannungsversorgung

bekanntermaßen schlecht und mit vielen Laststößen und Spannungsspitzen und -abfällen versehen. Da SUN TVS-Dioden oder MOVs einsetzt, um den integrierten Brückengleichrichter zu schützen, können die beschriebenen Fehler auftreten. Falls der Fehler häufiger auftritt, muss das Stromnetz der Fertigung überprüft werden.

Tabelle 2 listet die Standard Durchbruchspannungen auf.

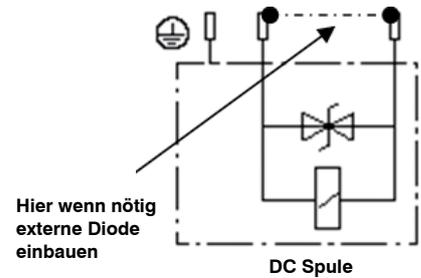


Bild 7: Alternative Möglichkeit der Überspannungsunterdrückung

Tabelle 2: Technische Daten der verwendeten Halbleiter

Spannung	770 Spulenserie Durchbruchspannung	760 Spulenserie Maximale Dauerspannung
6 VDC	--	45
12 VDC	68	45
14 VDC	68	--
24 VDC	68	45
28 VDC	68	--
36 VDC	68	65
48 VDC	100	65
127 VDC	250	--
220 VDC	400	--
24 VAC	68	--
115 VAC	250	130
230 VAC	400	250

Polarität und Ausrichtung

Bei einfachen Spulen (ohne integrierte Elektronik) ist keine Polarität zu beachten. Gleichstromspulen können beliebig mit der Spannung verbunden werden. Ähnliches gilt für Wechselstromspulen, Phase und Nullleiter können nach Belieben angeschlossen werden. Aus Sicherheitsgründen sollte bei den DIN Steckern der Anschluss 3 geerdet werden. Die Spulen können in beliebiger Lage angebaut werden, es gibt hier kein „oben“ und „unten“. Hinweis: Es liegt in der Verantwortlichkeit des Anwenders, die üblichen Regeln der Elektroinstallation einzuhalten.

Einschaltstoß

Alle SUN Spulen sind für den Betrieb mit Gleichstrom vorgesehen. Sie werden, einschließlich der Wechselstromspulen, für Gleichstrombetrieb gewickelt. Die Wechselstromspulen haben jedoch einen integrierten Brückengleichrichter. Daher gibt es keinen merklichen Einschaltstoß, wenn die Spule bestromt wird. Bild 8 zeigt den

typischen Einschaltvorgang einer 12 VDC Spule. Es ist zu erkennen, dass nach dem Anlegen der 12 V Spannung (gelbe Linie) der Strom (blaue Linie) gleichmäßig über eine Zeit von 50 ms ansteigt. Es sind keinerlei Impulsspitzen oder Schwingungen zu erkennen.

Anschlüsse

SUN bietet eine Anzahl von Steckverbindungen und Kabelanschlüssen. Die häufigsten Steckverbindungen sind unten aufgelistet. Weitere Varianten finden Sie auf der SUN Webseite.

Deutsch

www.deutsch.net

- Spulen mit integrierter Elektronik und Steckverbindung DT 04-6P
- Magnetspulen der Reihe 770-9** und Steckverbindung DT 04-2P
- Einzelteile der Steckverbinder sind separat erhältlich

Metri-Pack und Weather Pack

Delphi
www.delphiconnect.com

- Magnetspulen der Reihe 770-8** Metri-Pack Serie 150 (Abgedichtet) mit zwei Stiften
- Magnetspulen der Reihe 770-7**-19 Weather Pack 2M Steckverbindung
- Einzelteile der Steckverbinder sind separat erhältlich

AMP Junior Timer

AMP/Tyco Electronics
www.delphiconnect.com

- Magnetspulen der Reihe 770-6** AMP Junior Timer mit zwei Stiften
- Einzelteile der Steckverbinder sind separat erhältlich
- Zum Befestigen der Kabelschuhe auf dem Kabel ist eine spezielle Crimpzange erforderlich

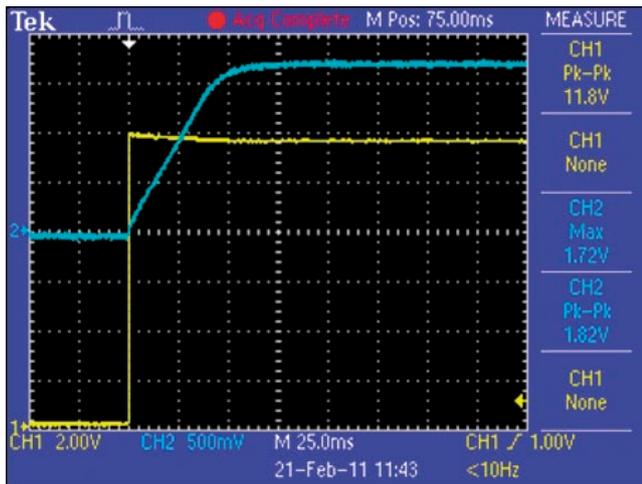


Bild 8: Einschaltvorgang einer 12 VDC Spule

Spulen mit integrierter Elektronik

Tabelle 3: Anschlussbelegung bei Spulen mit integrierter Elektronik und DIN Stecker

Anschluss	Funktion
1	-V Null-Leiter
2	+V Speisespannung
3	Eingangssignal
4	Option B- gemeinsamer Null-Leiter Option C- +5 V Referenz Option D- Schalteingang

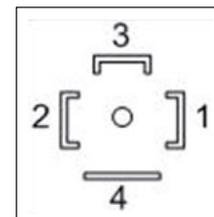


Bild 9: Lage der Kontakte bei Spulen mit integrierter Elektronik und DIN Stecker

Tabelle 4. Anschlussbelegung bei Spulen mit integrierter Elektronik und Deutsch Stecker

Anschluss	Funktion
1	+V Speisespannung
2	Eingangssignal
3	-V Null-Leiter
4	+5 V Referenz
5	Signal-Null
6	Schalteingang

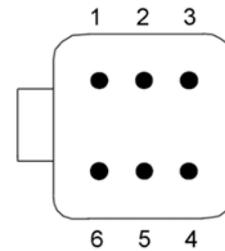
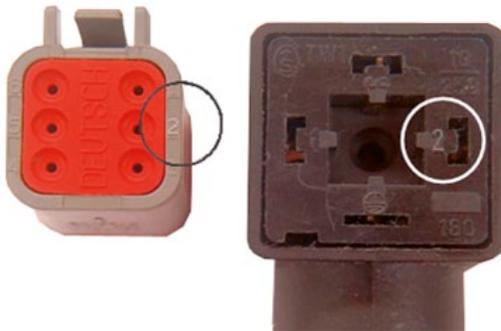


Bild 10: Lage der Kontakte bei Spulen mit integrierter Elektronik und Deutsch Stecker.



Im Zweifelsfall prüfen Sie den Stecker genau. Fast alle Hersteller beschriften die Kontakte mit Nummern.

Überblick über die bei SUN Hydraulik eingesetzten Umweltprüfverfahren

SUN Hydraulics Engineering Standard S-367 beschreibt die Umweltprüfverfahren für elektrische und elektronische Komponenten. Mit 14 Tests wird der Einfluss der Umwelt auf Spulen und elektronische Bauteile überprüft. Diese standardisierten Tests beinhalten die folgenden Überprüfungen:

- Akzeptanztests
- Wasserstrahltests (IP Tests)
- Erweiterter Eintauchtest mit thermischem Schock
- Lagertemperaturtest
- Test auf chemische Widerstandsfähigkeit
- Freifalltest
- Feuchtigkeitstest
- Test unter erschwerten Umweltbedingungen
- Vibrationstest
- Stoßtest

- Korrosionstest
- Lebensdauertest
- Test auf Kurzschluss und Verpolsicherheit
- Test der Zugfestigkeit der Anschlusskabel

Diese Tests wurden entwickelt, um die Zuverlässigkeit in einem weiten Bereich von Umgebungsbedingungen sowohl in der Industrie- als auch in der Mobilhydraulik sicherzustellen.

Weitere Details finden Sie in den Testspezifikationen.

IP Schutzarten

Der Berührungs- und Fremdkörperschutz (IP) klassifiziert die Fähigkeit der Steckverbindung, das Eindringen von Staub und Wasser zu verhindern. Standardisierte Tests werden durch internationale Normen beschrieben (IEC 60529 und DIN 40050). Die Testparameter sind in der Tabelle unten aufgeführt. Es ist wichtig zu wissen, dass die Tests so ausgelegt sind, dass sie in der Reihenfolge steigender Anforderungen durchgeführt werden. Das bedeutet, dass Stecker mit einer hohen IP Schutzart die niedrigeren IP Klassen ebenfalls abdecken. Ein Stecker mit IP 69K muss also auch die Tests für IP 68, 67, 66, 65 usw. bestehen.

SUN bietet eine Vielzahl unterschiedlicher Steckverbindungen mit unterschiedlicher IP Klassifizierung an. Ein qualitativ hochwertiger Stecker ist nötig, um die minimalen IP Klassen zu erreichen, die für die Spulen veröffentlicht werden. Die meisten Hersteller von DIN Steckern geben IP 65 an, während hochwertige Stecker IP 67 erreichen.

IP	Test	Wassermenge	Dauer	Spulenstecker mit höchster IP Klasse
65	6.3 mm Düse, 2.5 - 3 m Entfernung	12.5 l/min	3 min.	DIN Spade Amp Jr. Timer Leads
66	12.5 mm Düse, 2.5 - 3 m Entfernung	100 l/min	3 min.	
67	1 m Eintauchtiefe	--	30 min.	DIN
68	Eintauchtiefe nach Absprache, üblich ist 1 m bei industriellen Anwendungen	--	Nach Absprache, üblich sind 120 h (SUN wählt 360 h)	Amp Jr. Timer
69 K	80-100 bar (1160-1450 psi) bei 80 °C 100-150 mm Entfernung	15 l/min	2 min.	Deutsch Metripack

Fehlersuche

Wegen des speziellen Designs von SUN Magnetspulen und unter Beachtung der Betriebsgrenzen sind keine Ausfälle der Spulen zu erwarten. Wenn trotzdem ein Fehler vermutet wird, helfen einige Basisinformationen bei der Entscheidung, ob und warum die Spule defekt ist.

Die vereinfachte Fehlersuche beinhaltet:

Ist die Spule im richtigen Moment bestromt?

Eine einfache Prüfung kann ohne Voltmeter durchgeführt werden, indem man versucht, die Spule vom Schaltrohr abzuziehen. Wenn der Widerstand der Magnetkräfte zu spüren ist, ist die Spule bestromt.

Wird die Spule warm nach dem Einschalten?

Wenn nicht, liegt ein Fehler vor.

Wird die Spule extrem heiß?

Geschmolzenes Plastik deutet darauf hin. Es kann ein innerer Kurzschluss vorliegen.

Weitergehende Fehlersuche mit einem digitalen Voltmeter erlaubt die Messung von Versorgungsspannung und Spulenwiderstand. Die Versorgungsspannung sollte im Bereich von +/-10 % der Spulennennspannung liegen. Der Spulenwiderstand kann ebenfalls mit dem Voltmeter

gemessen werden. Der gemessene Wert wird dann verglichen mit dem von SUN veröffentlichten Wert, wobei die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes beachtet werden muss. Wenn ein Kurzschluss in einer Gleichstromspule gemessen wird, wird das vermutlich von einer defekten TVS Diode (falls vorhanden) hervorgerufen.

Beachten Sie, dass der Widerstand einer Wechselstromspule nicht so einfach gemessen werden kann. Die Messspannung des Voltmeters ist nicht hoch genug, um die Dioden des Brückengleichrichters zu öffnen. Daher kann der Widerstand nicht direkt gemessen werden.