

Technische Dokumentation zur Ansteuerung von Relais

Version 1 - 2026

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Monostabile Relais	3
2.1 Signalverlauf bei monostabilen Relais	3
2.2 Ansteuerungsphilosophie: Spannungs- vs. Stromsteuerung	5
2.2.1 Spannungsgesteuerte Ansteuerung	5
2.2.2 Stromgesteuerte Ansteuerung	5
2.3 Ansteuerung in der Low-Side Konfiguration	5
2.4 Ansteuerung in der High-Side Konfiguration	6
3. Bistabile Relais (Latching)	7
3.1 Bistabiles Relais mit einer Spule (Single-Coil)	7
3.1.1 Signalverlauf	7
3.1.2 Ansteuerung mit einer H-Brücke	9
3.2 Bistabiles Relais mit zwei Spulen (Dual-Coil)	10
3.2.1 Signalverlauf	10
3.2.2 Ansteuern mit zwei separaten Treiberstufen	11
4. Schutz der Ansteuerelektronik vor Induktionsspannung	12
4.1 Einfache Freilaufdiode	12
4.2 Freilaufdiode mit Z-Diode in Serie	13
4.3 TVS-Diode (Transient Voltage Suppressor)	14
4.4 Vergleich der Freilaufmethoden	14
4.5 Dimensionierung der Schutzbeschaltung	15
4.6 Einfluss der Leitungslänge	15
5. Hinweise zur Fehlersuche	15
6. Zusammenfassung	16
7. Haftungsausschluss	17
8. Glossar	17

1. Einleitung

Diese technische Dokumentation bietet einen detaillierten Einblick in die Ansteuerung von monostabilen und bistabilen Relais. Sie richtet sich an Entwickler, Techniker und interessierte Einsteiger und behandelt die notwendigen Treiberschaltungen, Schutzmechanismen und Signalverläufe, um eine robuste und zuverlässige Relaisschaltung zu entwerfen.

Die Prinzipien gelten sowohl für digitale als auch für analoge Steuerschaltungen. Die hier dargestellten Informationen sind allgemeingültig, ersetzen jedoch nicht das sorgfältige Studium des Datenblatts des spezifisch verwendeten Bauteils.

2. Monostabile Relais

Monostabile Relais (nicht rastend) wechseln ihren Kontaktzustand nur solange, wie die Spule erregt wird. Wird die Spule nicht mehr bestromt, kehrt das Relais durch Federkraft in seine Ruhestellung zurück. Diese Relaisart ist die am häufigsten verwendete und eignet sich für allgemeine Schaltaufgaben.

Bei vielen monostabilen Relais muss zum sicheren Anziehen kurzzeitig eine höhere Anzugsleistung (Anzugsspannung/-strom) anliegen. Eine dauerhafte Ansteuerung mit dieser Anzugsleistung würde die Spule thermisch überlasten und kann sie zerstören. Deshalb wird nach dem Anzugsimpuls auf eine reduzierte Haltebestromung umgeschaltet (z. B. PWM oder Stromregelung), die oberhalb der Halteschwelle bleibt.

2.1 Signalverlauf bei monostabilen Relais

Abbildung 1 zeigt den typischen zeitlichen Verlauf der Signale bei der Ansteuerung eines monostabilen Relais. Dabei werden folgende Größen erläutert:

UNenn/INenn: Nennspannung/-strom der Spule

UAnzug/IAnzug: Anzugsspannung/-strom der Spule

UHalten/IHalten: Haltespannung/-strom der Spule

UDrop-Out/IDrop-Out: Spannung/Strom, ab der die Kontakte wieder öffnen

tAnzug: Dauer des Anzugsimpulses bei Nennspannung/-strom, sodass die Kontakte sicher schließen

tan: Anzugsverzögerung (Zeit von Ansteuerbeginn bis Kontakt schließt)

taus: Abfallverzögerung (Zeit vom Abschalten, bis Kontakt öffnet)

Hinweis: Die genauen Werte sind datenblattabhängig.

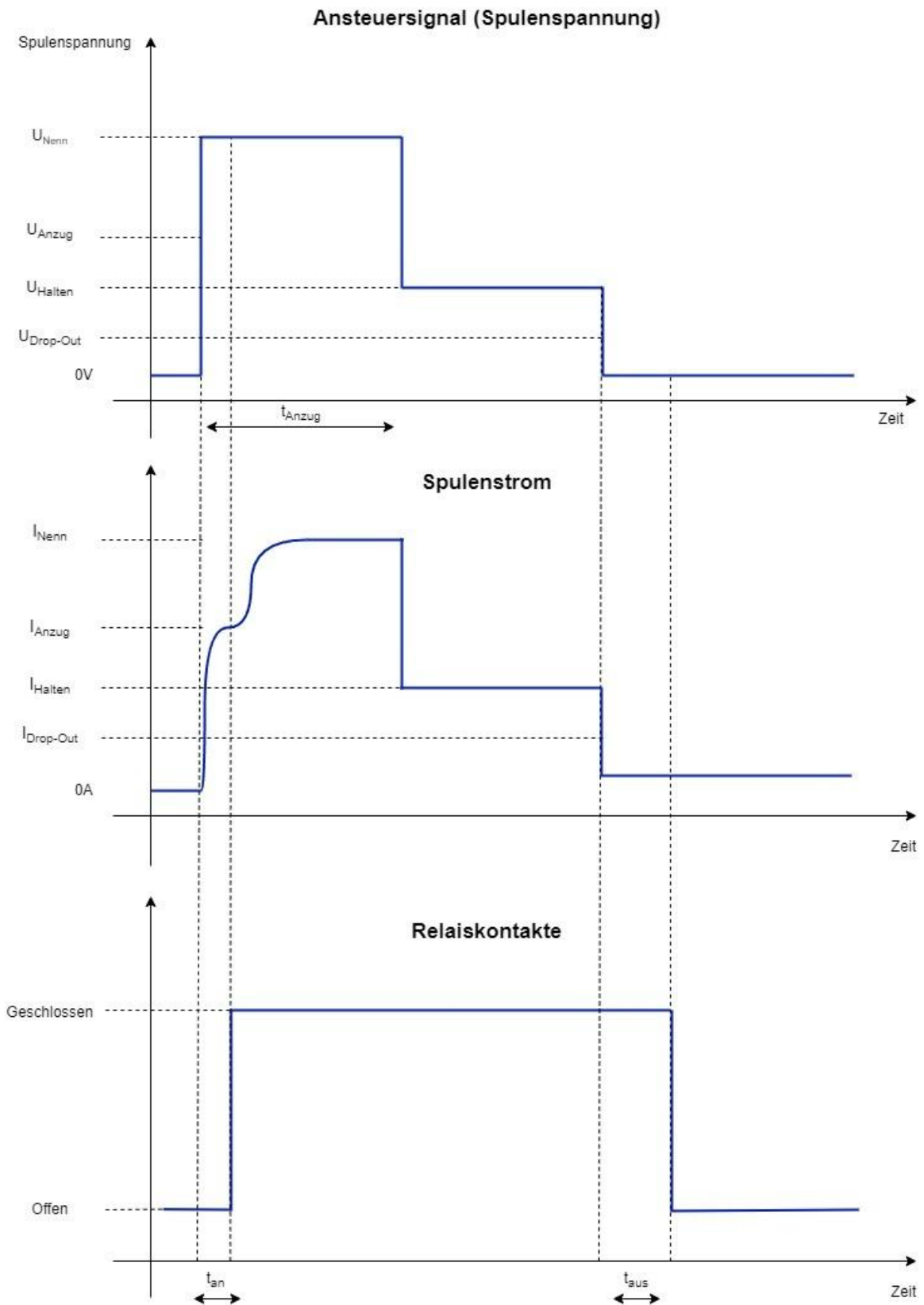


Abbildung 1: Signalverlauf monostabiles Relais

2.2 Ansteuerungsphilosophie: Spannungs- vs. Stromsteuerung

Die Kraft, die ein Relais zum Anziehen bringt, wird durch die Amperewindungen (AW) definiert, also das Produkt aus Spulenstrom und Windungszahl. Für ein zuverlässiges Schalten und Halten muss ein definierter Mindeststrom fließen.

2.2.1 Spannungsgesteuerte Ansteuerung

Eine feste Haltespannung wird an die Spule angelegt. Der Strom ergibt sich aus dem Ohmschen Gesetz ($I = U / R$). Hierbei ist zu beachten, dass der Spulenwiderstand temperaturabhängig ist. Bei Erwärmung (Umgebungstemperatur oder Eigenerwärmung) steigt der Spulenwiderstand. Dies hat zur Folge, dass der Spulenstrom bei konstanter Spannung und steigendem Widerstand sinkt. Somit muss die Spannung so ausgelegt sein, dass unter Worst-Case-Bedingungen die Mindeststromstärke zum Halten sicher erreicht wird. Nachteilig ist, dass im kalten Zustand ein unnötig hoher Strom fließt, was zu erhöhter Verlustleistung und starker Eigenerwärmung führt.

2.2.2 Stromgesteuerte Ansteuerung

Eine elegantere Variante ist die stromgesteuerte Ansteuerung. Hierbei kann eine Konstantstromquelle oder eine PWM-Regelung mit Strommessung genutzt werden. Da die AW maßgeblich für die Haltekraft sind (Windungen = konstant, Strom = variabel), ist ein konstanter Strom ideal, um die Eigenerwärmung zu minimieren. Der Nachteil einer stromgesteuerten Ansteuerung liegt in der Regel im höheren Schaltungsaufwand.

Fazit: Für hochzuverlässige oder energieeffiziente Anwendungen, besonders bei weitem Temperatureinsatzbereich, ist eine stromgesteuerte Ansteuerung der spannungsgesteuerten Methode überlegen.

2.3 Ansteuerung in der Low-Side Konfiguration

Eine einfache Methode ist die Low-Side-Ansteuerung der Spule mit einem N-Kanal-MOSFET. Die Schaltung ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die Relaispule wird zwischen der positiven Versorgungsspannung und dem Drain-Anschluss des MOSFET geschaltet. Das Steuersignal wird über einen Gate-Widerstand an das Gate des MOSFET angelegt. Ein Pull-Down-Widerstand zwischen Gate und Source stellt sicher, dass der MOSFET im stromlosen Zustand des Steuersignals sicher sperrt. Steuert man den MOSFET nach dem Anzugsimpuls mit einer festen PWM an, spricht man von einer spannungsgesteuerten Ansteuerung. Fügt man zwischen MOSFET und Masse einen Shunt ein

und regelt die PWM über den gemessenen Strom, spricht man von einer stromgesteuerten Ansteuerung.

Es ist zwingend eine Freilauf- bzw. Klemmschaltung für die Induktionsspannung der Spule beim Abschalten vorzusehen. Diese ist in Abbildung 2 nicht eingezeichnet und wird im weiteren Verlauf der Dokumentation gesondert behandelt.

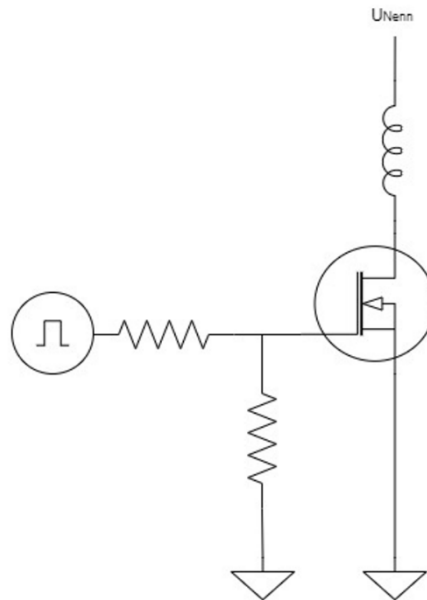


Abbildung 2: Low-Side Konfiguration

2.4 Ansteuerung in der High-Side Konfiguration

Eine weitere Methode ist die High-Side-Ansteuerung der Spule mit einem P-Kanal-MOSFET. Die Schaltung hierzu ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Relaispule wird zwischen Masse und die Source des P-MOSFET geschaltet. Die Besonderheit hierbei ist, dass die Spule im ausgeschalteten Zustand von der Versorgungsspannung getrennt ist. Der Schaltungsaufwand ist im Vergleich zur Low-Side-Variante höher, kann aber in vielen Applikationen die bessere Wahl sein, z. B. wenn Masseverschiebungen oder Störungen auf der Masseleitung vermieden werden sollen. Grundsätzlich ist die Kombination beider Ansteuerungen (High-Side und Low-Side) die beste Wahl, da sie eine vollständige Trennung der Last ermöglicht.

Hinweis zur Gate-Ansteuerung (Praxis): Bei einer High-Side-Ansteuerung mit P-Kanal-MOSFET muss das Gate im AUS-Zustand sicher auf Source-Potential liegen ($V_{GS} \approx 0\text{ V}$). Zum EIN-Schalten muss das Gate ausreichend nach unten gezogen werden (negatives V_{GS}), ohne die maximal zulässige Gate-Source-Spannung zu überschreiten. Wenn die Relaisspannung (z. B. 12/24 V) deutlich über der Mikrocontroller-Logik (3,3/5 V) liegt, ist eine direkte Ansteuerung des P-MOSFET-Gates durch den Mikrocontroller oft nicht ausreichend. In diesem Fall wird

eine Treiber-/Pegelwandlerstufe (z. B. NPN oder N-Kanal-MOSFET als Gate-Puller) benötigt, um das Gate sauber und schnell zu schalten.

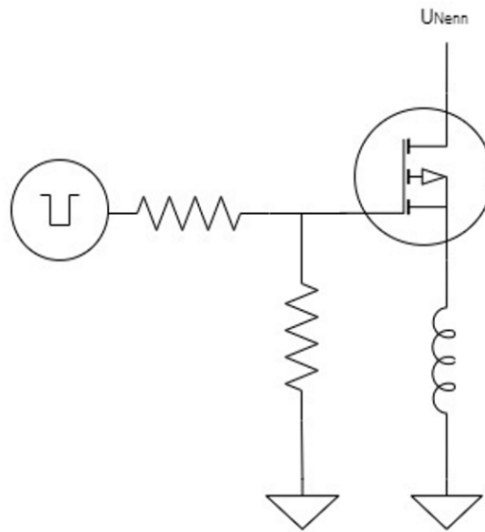


Abbildung 3: High-Side Konfiguration

3. Bistabile Relais (Latching)

Bistabile Relais behalten ihren Schaltzustand nach einem kurzen Ansteuerimpuls ohne weitere Energiezufuhr bei. Dies macht sie besonders energieeffizient für Anwendungen, bei denen der Schaltzustand über längere Zeiträume gehalten werden muss.

3.1 Bistabiles Relais mit einer Spule (Single-Coil)

Diese Variante besitzt nur eine Spule. Der Schaltzustand wird durch die Polarität des Ansteuerimpulses bestimmt.

3.1.1 Signalverlauf

Die Spulenspannung wechselt ihre Polarität, um zwischen SET und RESET zu wechseln. Ein positiver Impuls schaltet das Relais in den einen Zustand, ein negativer Impuls (umgekehrte Polarität) schaltet das Relais in den anderen Zustand. Die Impulsdauer beträgt typisch zwischen 50 und 100 ms und ist dem Datenblatt zu entnehmen. Der Relaiszustand bleibt nach dem SET-Impuls erhalten, auch wenn kein Strom mehr fließt. Erst der RESET-Impuls mit umgekehrter Stromrichtung schaltet zurück. Spulen in bistabilen Relais sind nicht für Dauerströme ausgelegt und können bei Überschreitung der zulässigen Impulsdauer thermisch zerstört werden. Der Signalverlauf ist in Abbildung 4 zu sehen.

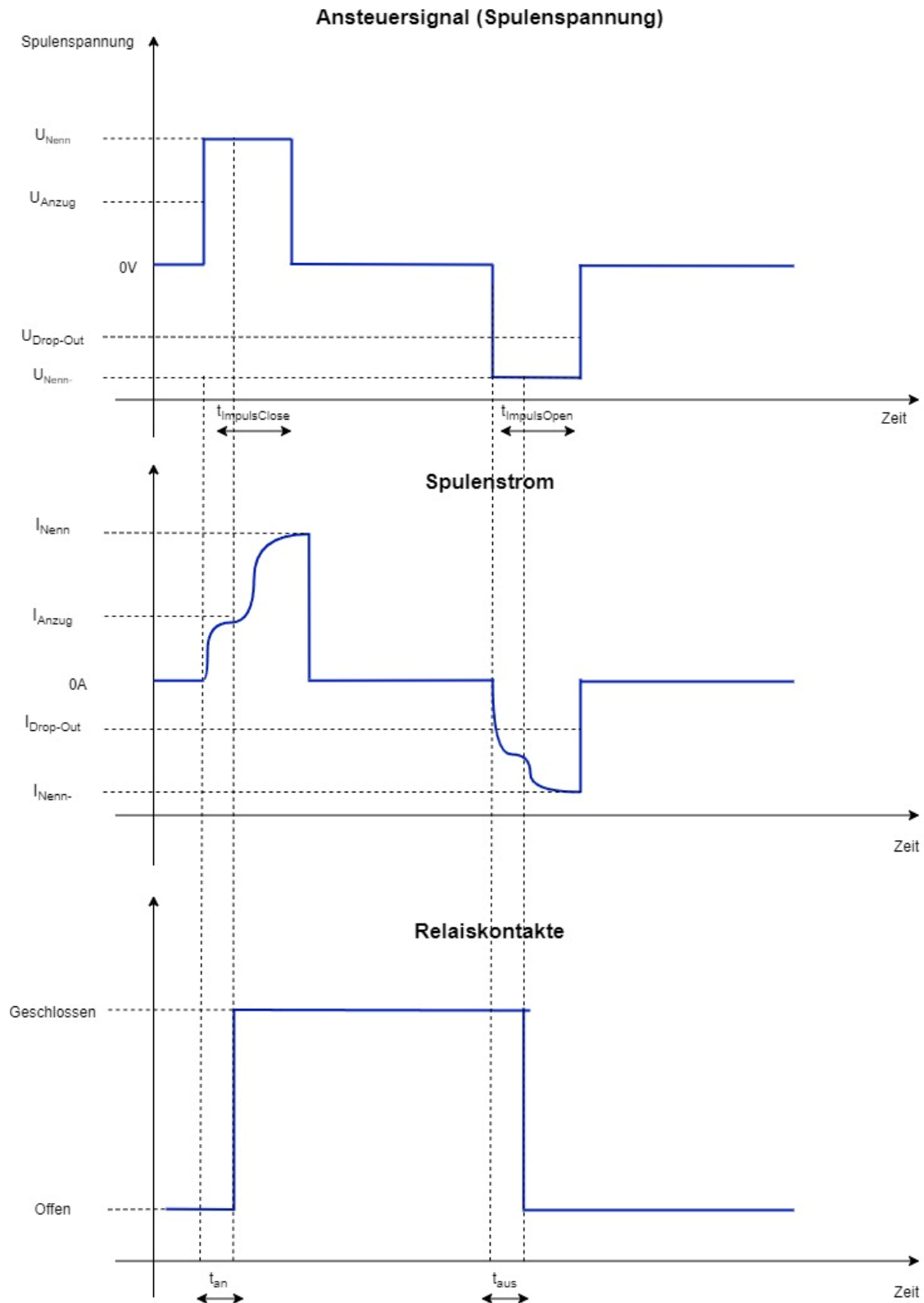


Abbildung 4: Signalverlauf bistabiles Relais mit einer Spule

3.1.2 Ansteuerung mit einer H-Brücke

Eine H-Brücke ermöglicht es, die Polarität der Spannung an der Spule umzukehren. Sie besteht aus vier Schaltern (typischerweise MOSFETs), die in einer H-förmigen Konfiguration angeordnet sind. Ein Schaltbild hierzu ist in Abbildung 5 zu sehen.

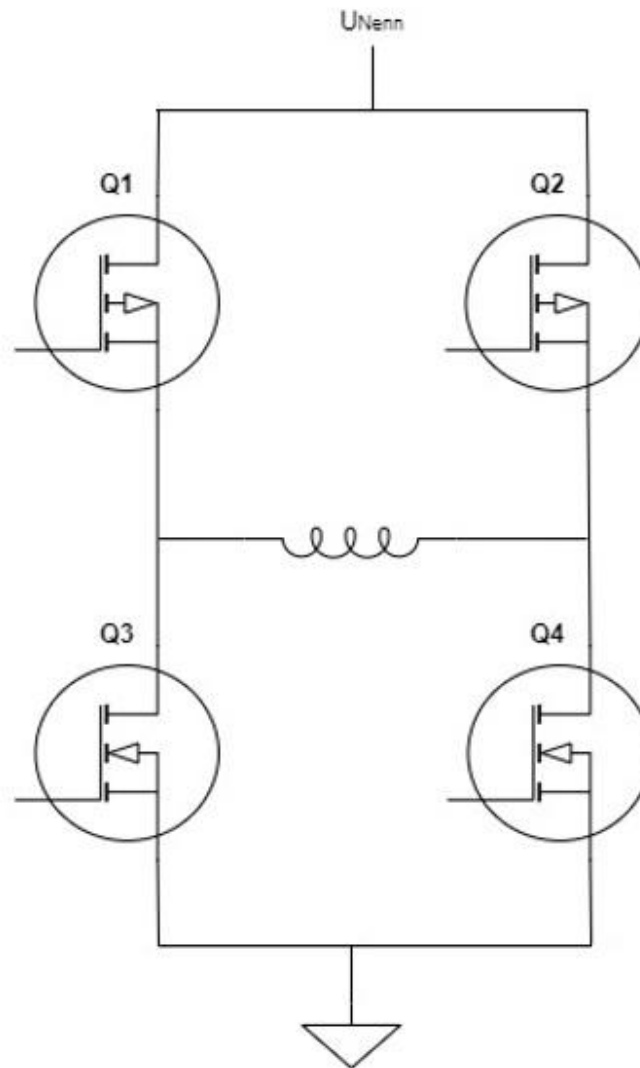


Abbildung 5: H-Brücke für Single-Coil

Wichtiger Hinweis (Shoot-Through vermeiden): In einer H-Brücke dürfen niemals die beiden Schalter eines Halbzweigs gleichzeitig leitend sein (oberer und unterer Transistor derselben Seite), da sonst ein Kurzschluss zwischen Versorgung und Masse entsteht. Beim Umschalten ist eine definierte Totzeit (Dead-Time) vorzusehen.

Die Body-Dioden der MOSFETs bieten bereits einen Schutz. Für höhere Ströme können zusätzlich externe Dioden parallel zu den MOSFETs geschaltet werden.

Die oberen MOSFETs sind P-Kanal-MOSFETs (Q1 und Q2), die unteren sind N-Kanal-MOSFETs (Q3 und Q4). Alternativ können auch alle vier als N-Kanal-MOSFETs ausgeführt werden, benötigen dann aber einen High-Side-Gate-Treiber.

3.2 Bistabiles Relais mit zwei Spulen (Dual-Coil)

Diese Variante ist einfacher anzusteuern, da sie separate Spulen für SET und RESET besitzt. Jede Spule kann mit einer eigenen Treiberschaltung angesteuert werden.

3.2.1 Signalverlauf

Die SET-Spule erhält einen kurzen Impuls (50-100 ms), um das Relais zu schließen. Die RESET-Spule erhält einen separaten Impuls, um das Relais wieder zu öffnen. Beiden Spulen werden niemals gleichzeitig angesteuert. Der Relaiszustand bleibt nach dem SET-Impuls geschlossen, ohne dass weitere Energie benötigt wird, bis der RESET-Impuls erfolgt. Der Signalverlauf hierzu ist in Abbildung 6 dargestellt.

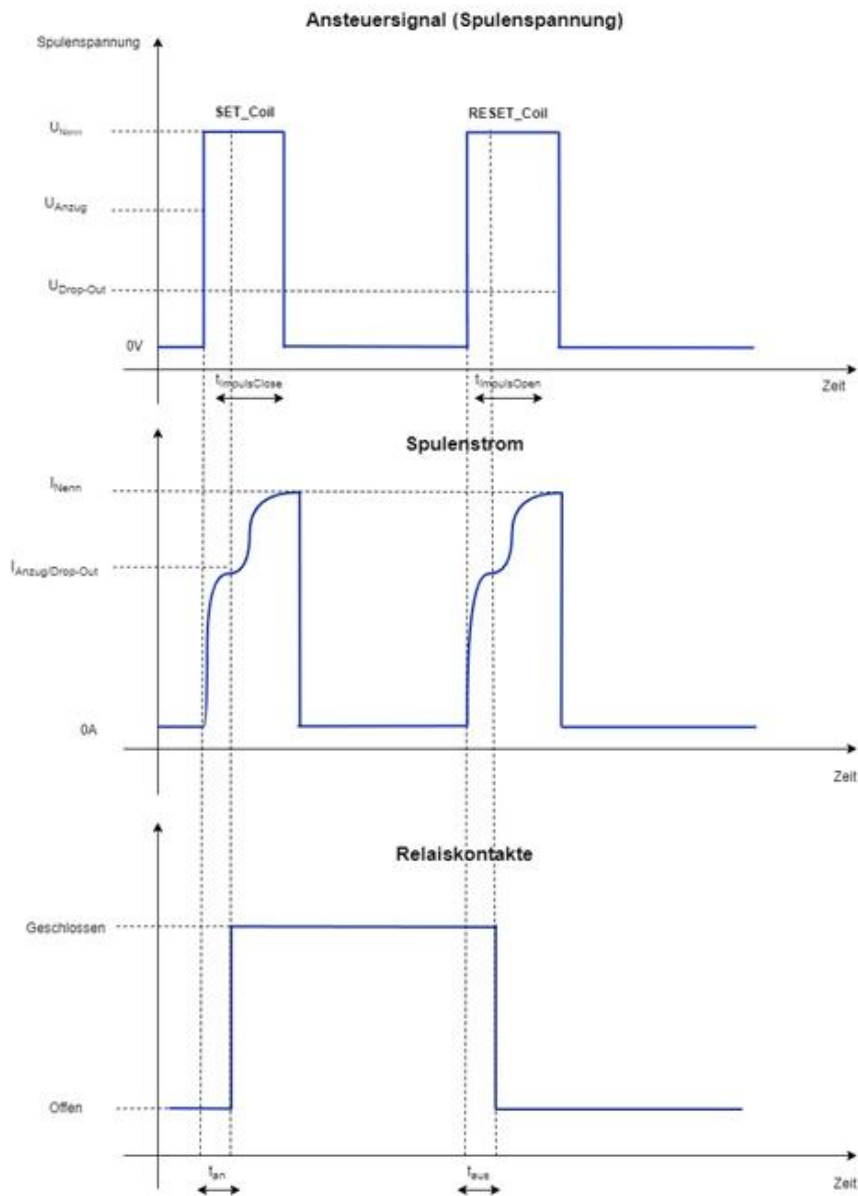


Abbildung 6: Signalverlauf bistabiles Relais mit zwei Spulen

3.2.2 Ansteuern mit zwei separaten Treiberstufen

Jede Spule wird mit einem eigenen N-Kanal-MOSFET angesteuert, siehe Abbildung 7.

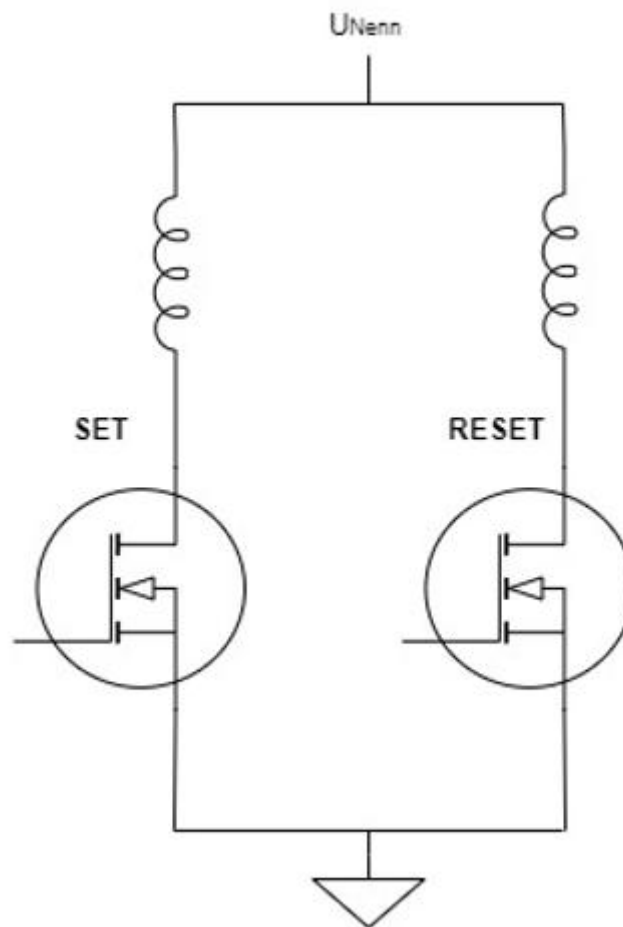


Abbildung 7: Schaltbild Bistabiles Relais mit zwei Spulen

4. Schutz der Ansteuerelektronik vor Induktionsspannung

Beim Abschalten einer induktiven Last wie einer Relaispule bricht das Magnetfeld zusammen. Nach dem Induktionsgesetz entsteht dabei eine Spannungsspitze mit umgekehrter Polarität, die – abhängig von Strom, Induktivität und Abschaltgeschwindigkeit – sehr hoch werden kann und die Ansteuerelektronik beschädigen kann. Daher ist eine geeignete Schutzbeschaltung zwingend erforderlich. Im Folgenden werden gängige Schutzbeschaltungen sowie deren Vor- und Nachteile beschrieben.

4.1 Einfache Freilaufdiode

Eine antiparallel zur Spule geschaltete Diode (Kathode an der Nennspannung) ist eine sehr gängige Methode der Schutzbeschaltung. Sie begrenzt die Spannungsspitze auf etwa 0,7 V (Durchlassspannung der Diode). In Abbildung 8 ist das Schaltbild hierzu zu sehen.

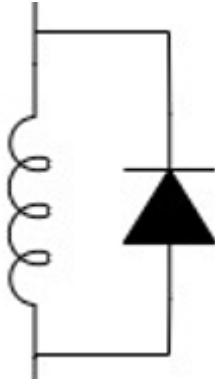


Abbildung 8: Schutzbeschaltung Diode

Nachteile für das Relais:

Langsames Abfallen: Der Spulenstrom klingt nur sehr langsam über die Diode ab. Das Magnetfeld bricht langsam zusammen.

Längerer Lichtbogen: Durch das langsame Abfallen öffnen sich die Relaiskontakte ebenfalls langsam. Beim Schalten von Lasten (besonders DC, induktiv oder kapazitiv) entsteht ein Lichtbogen, der durch die langsame Kontaktöffnung länger brennt.

Erhöhter Kontaktverschleiß: Die längere Lichtbogendauer führt zu erhöhtem Abbrand und Materialwanderung an den Kontakten, was deren Lebensdauer drastisch reduziert und zum vorzeitigen Ausfall des Relais führen kann.

Fazit: Eine einfache Freilaufdiode ist nur für unkritische Anwendungen mit geringer Last und niedriger Schalzhäufigkeit geeignet.

4.2 Freilaufdiode mit Z-Diode in Serie

Eine Z-Diode in Serie zur Freilaufdiode ist ein guter Kompromiss. Die Spannungsspitze wird auf $U_{\text{Nenn}} + V_z$ begrenzt, der Spulenstrom baut sich deutlich schneller ab als bei der einfachen Freilaufdiode. Das Schaltbild ist in Abbildung 9 dargestellt.

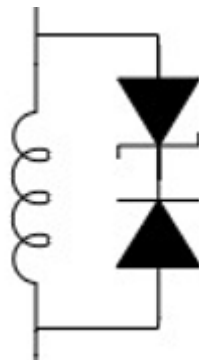


Abbildung 9: Freilaufschaltung mit Z-Diode

Vorteil: Schnelles, definiertes Abschalten; deutlich reduzierte Lichtbogendauer; guter Schutz für Elektronik

Nachteile: MOSFET muss die höhere Spannung $V_{DS} > U_{Nenn} + V_z$ aushalten. Die Z-Diode muss die Energie des Spulenabbaus aufnehmen können.

Empfehlung: V_z sollte etwa 0,5x bis 1,0x der Nennspannung des Relais betragen.

4.3 TVS-Diode (Transient Voltage Suppressor)

Eine TVS-Diode ist quasi eine sehr schnelle Z-Diode, die speziell zur Absorption von transienten Überspannungen entwickelt wurde. Sie wird parallel zur Spule geschaltet. Die Schaltung hierzu ist in Abbildung 10 aufgezeigt.

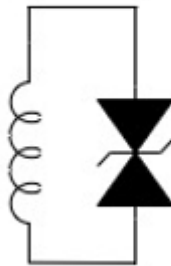


Abbildung 10: TVS-Diode

Vorteil: Sehr schnelle Reaktionszeit; hohe Energieabsorption; einfach Beschaltung.

Nachteil: Etwas teurer als eine Z-Diode

4.4 Vergleich der Freilaufmethoden

Methode	Spannungs- begrenzung	Abschalt- geschwindigkeit	Schutz der Kontakte	Schutz der Elektronik	Komplexität
Einfache Diode	Sehr gut (~0.7V)	Sehr langsam	Schlecht	Sehr gut	Sehr gering
Diode + Z- Diode	Gut ($V_{CC} + V_z$)	Schnell	Sehr gut	Gut	Gering
TVS-Diode	Gut (V_{clamp})	Sehr schnell	Sehr gut	Sehr gut	Gering

4.5 Dimensionierung der Schutzbeschaltung

Für die korrekte Dimensionierung der Schutzbeschaltung ist die Berechnung der in der Spule gespeicherten Energie entscheidend. Diese ergibt sich aus der Formel:

$$E = 0,5 \times L \times I^2$$

Dabei ist E die Energie in Joule, L die Induktivität der Spule in Henry und I der Spulenstrom in Ampere. Diese Energie muss von der Schutzbeschaltung (Z-Diode oder TVS-Diode) absorbiert werden können, ohne dass diese zerstört wird.

Bei der Auswahl einer Z-Diode oder TVS-Diode ist darauf zu achten, dass die maximale Impulsbelastbarkeit (angegeben im Datenblatt) größer ist als die berechnete Energie. Typische Werte für Relaispulen liegen im Bereich von wenigen Millijoule bis zu einigen hundert Millijoule.

Beispielrechnung: Bei einer Spuleninduktivität von 100 mH und einem Strom von 50 mA ergibt sich eine gespeicherte Energie von $E = 0,5 \times 0,1 \text{ H} \times (0,05 \text{ A})^2 = 0,125 \text{ mJ}$. Eine Standard-TVS-Diode kann diese Energie problemlos absorbieren.

4.6 Einfluss der Leitungslänge

Bei der Verlegung von Leitungen zwischen der Ansteuerelektronik und der Relaispule sind einige wichtige Aspekte zu beachten:

- **Zusätzliche Induktivität:** Lange Leitungen fügen dem Stromkreis zusätzliche Induktivität hinzu, was das Schaltverhalten beeinflusst und die Induktionsspannung beim Abschalten erhöht.
- **Leitungswiderstand:** Der ohmsche Widerstand der Leitung reduziert die effektive Spannung an der Spule und muss bei der Dimensionierung berücksichtigt werden.
- **Elektromagnetische Störungen (EMI):** Lange Leitungen können als Antennen wirken und elektromagnetische Störungen abstrahlen oder einfangen. Eine Verdrillung der Hin- und Rückleitung sowie eine Schirmung können diese Effekte minimieren.

Empfehlung: Die Schutzbeschaltung (Freilaufdiode, Z-Diode oder TVS-Diode) sollte möglichst nahe an der Relaispule platziert werden, um die Effektivität zu maximieren und Störungen zu reduzieren.

5. Hinweise zur Fehlersuche

Bei Problemen mit Relaisschaltungen können folgende Prüfschritte hilfreich sein:

- Spulenspannung messen: Mit einem Multimeter oder Oszilloskop die Spannung an der Spule während des Schaltvorgangs überprüfen. Die Spannung sollte den Nennwert erreichen.
- Spulenstrom prüfen: Den Strom durch die Spule messen und mit dem Datenblatt vergleichen. Ein zu niedriger Strom kann auf Leitungsverluste oder eine defekte Ansteuerung hindeuten.
- Induktionsspannung beobachten: Mit einem Oszilloskop die Spannung am MOSFET-Drain beim Abschalten beobachten. Übermäßige Spannungsspitzen deuten auf eine fehlende oder defekte Schutzbeschaltung hin.
- Schaltzeiten überprüfen: Die Anzugs- und Abfallverzögerung mit einem Oszilloskop messen und mit den Datenblattangaben vergleichen. Abweichungen können auf Probleme mit der Ansteuerung oder der Schutzbeschaltung hinweisen.
- Temperaturverhalten testen: Das Relais unter verschiedenen Temperaturbedingungen testen, um sicherzustellen, dass es im gesamten Einsatzbereich zuverlässig arbeitet.

6. Zusammenfassung

Die Wahl zwischen monostabilen und bistabilen Relais hängt von den Anforderungen der Anwendung ab. Monostabile Relais sind einfach anzusteuern und eignen sich für Anwendungen, bei denen der Schaltzustand aktiv gehalten werden muss. Bistabile Relais sind energieeffizienter und eignen sich für Anwendungen, bei denen der Schaltzustand über längere Zeiträume ohne Energiezufuhr gehalten werden soll.

Bei der Ansteuerung mit MOSFETs ist besonders auf die Verwendung von Pull-Down-Widerständen und geeigneten Freilaufschaltungen zu achten. Die Wahl der Freilaufschaltung hat direkten Einfluss auf die Lebensdauer der Relaiskontakte: Eine einfache Freilaufdiode schützt zwar die Elektronik optimal, führt aber zu langsamerem Abschalten und erhöhtem Kontaktverschleiß. Für kritische Anwendungen empfiehlt sich daher eine Z-Diode in Serie oder eine TVS-Diode.

Für Anwendungen mit weitem Temperaturbereich oder hohen Zuverlässigkeitsanforderungen ist eine stromgesteuerte Ansteuerung (Konstantstromquelle oder PWM mit Strommessung) der spannungsgesteuerten Ansteuerung vorzuziehen, da sie konstante Amperewindungen und geringere Verlustleistung gewährleistet.

Bei bistabilen Relais mit zwei Spulen ist zu prüfen, ob bereits integrierte Schutzdioden vorhanden sind, um eine Doppelbeschaltung zu vermeiden.

Für analoge Schaltungen gelten die gleichen Prinzipien wie für digitale Schaltungen. Die Steuersignale können von Operationsverstärkern, Komparatoren oder anderen analogen Schaltungen stammen, solange die erforderlichen Spannungspegel und Ströme eingehalten werden.

7. Haftungsausschluss

Diese Dokumentation wurde mit größter Sorgfalt erstellt, dient jedoch nur zu allgemeinen Informationszwecken. Die hierin enthaltenen Informationen stellen keine professionelle technische Beratung dar. Für eine korrekte und sichere Anwendung sind die im Datenblatt des jeweiligen Herstellers spezifizierten Parameter und Schaltungen maßgeblich. Wir übernehmen keine Haftung für Schäden, die durch die Anwendung der hier beschriebenen Informationen entstehen.

8. Glossar

Amperewindungen (AW): Das Produkt aus Spulenstrom und Windungszahl. Maßgeblich für die magnetische Kraft eines Relais.

Bistabiles Relais: Ein Relais, das seinen Schaltzustand ohne kontinuierliche Energiezufuhr beibehält.

Freilaufdiode: Eine Diode, die parallel zur induktiven Last geschaltet wird, um Induktionsspannungen beim Abschalten abzuleiten.

H-Brücke: Eine Schaltung aus vier Transistoren, die es ermöglicht, die Polarität der Spannung an einer Last umzukehren.

High-Side-Schaltung: Eine Konfiguration, bei der der Schalter zwischen der Versorgungsspannung und der Last angeordnet ist.

Induktionsspannung: Die Spannung, die beim Abschalten einer induktiven Last durch das zusammenbrechende Magnetfeld entsteht.

Low-Side-Schaltung: Eine Konfiguration, bei der der Schalter zwischen der Last und Masse angeordnet ist.

Monostabiles Relais: Ein Relais, das durch Federkraft in seine Ruheposition zurückkehrt, sobald die Ansteuerung beendet wird.

PWM (Pulsweitenmodulation): Eine Technik zur Steuerung der effektiven Spannung durch schnelles Ein- und Ausschalten mit variablem Tastverhältnis.

TVS-Diode (Transient Voltage Suppressor): Eine spezielle Diode zur schnellen Absorption von transienten Überspannungen.

Z-Diode (Zener-Diode): Eine Diode, die bei einer definierten Sperrspannung (Zenerspannung) leitend wird und zur Spannungsbegrenzung eingesetzt wird.