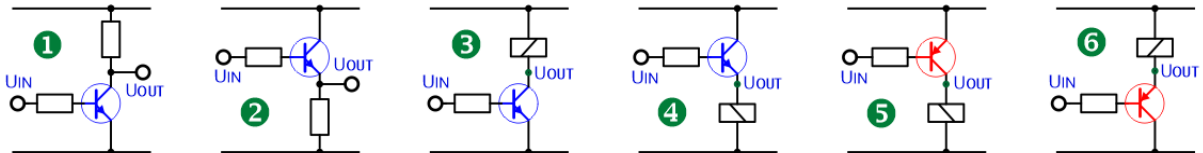


Praktische Anwendungen: Pegelanpassung bei Steuerungen mit Transistoren

Mikrocontroller, OPV-Schaltungen, Sensoren, etc. stellen für nachfolgende Schaltvorgänge meist einen Ausgangspegel LOW – HIGH von 0V bis 5V zur Verfügung, mit einer Belastung von einigen mA. Sollen damit Leistungsstromkreise geschaltet werden, sind Relais oder Schütze (siehe Erklärungen am Ende dieses Dokuments) mit unterschiedlichen Spannungen erforderlich.

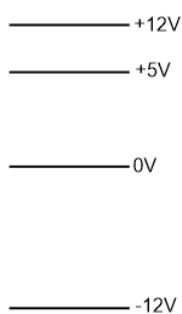
Einige Vorschläge für verschiedene Variationen von Bedingungen.

Zur Erinnerung werden hier zwei der drei Transistorgrundschaltungen näher betrachtet:



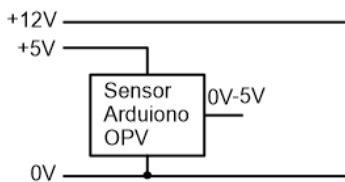
- 1) Emittergrundschaltung EGS (Emitter an der Versorgungsspannung), Ausgang zu Eingang gegenphasig, Spannungsverstärkung hoch, Stromverstärkung hoch.
- 2) Kollektorgrundschaltung KGS (Kollektor an Versorgungsspannung), Ausgang und Eingang gleichphasig, Spannungsverstärkung nahezu 1, Stromverstärkung hoch. Die Schaltung wird auch Emitterfolger genannt, da die Emitterspannung immer um 0,7V kleiner ist, als die Basisspannung.
- 3) Wie Schaltung 1, das Relais zieht an, wenn $U_{in} > 0,7V$ ist. Stromverstärkung I_c/I_b 70 bis 200. Relais fällt ab, wenn $U_{in} < 0,7V$.
- 4) Wie Schaltung 2, das Relais zieht an, wenn die Eingangsspannung nahe der Betriebsspannung ist. Stromverstärkung I_c/I_b 70 bis 200. Relais fällt ab, wenn $U_{in} < (U_{Halte} + 0,7V)$.
- 5) Wie Schaltung 1, EGS, das Relais zieht an, wenn $U_{in} < U_{Betr} - 0,7V$. Relais fällt ab, wenn $U_{in} > U_{Betr} - 0,7V$.
- 6) Wie Schaltung 2, KGS, das Relais zieht an, wenn $U_{in} = 0V$. Relais fällt ab, wenn $U_{in} < U_{Betr} - U_{Halte}$
 U_{Halte} ist jene Spannung, bei der das angezogene Relais gerade noch angezogen bleibt.

Die dritte Transistorschaltung, die Basisgrundschaltung wird hauptsächlich im Hochfrequenzbereich eingesetzt und ergibt keine sinnvolle Anwendung bei obigen Anforderungen.

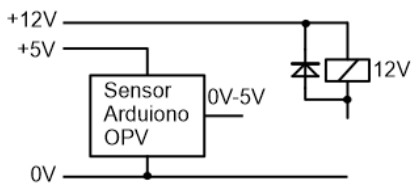


1. Konkrete Aufgabe: Von einem Mikrocontroller, z. B. Arduino Uno, mit einer Ausgangsspannung 0V bis 5V soll ein Relais mit 12V Betriebsspannung angesteuert werden. Der direkte Anschluss eines Relais mit einer Relaispule für 5V an den Arduino ist wegen des zu geringen Ausgangsstromes nicht möglich.

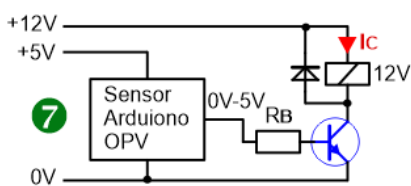
In Steuerungen sind auf Grund von unterschiedlichen Anforderungen meist mehrere Versorgungsspannungen vorhanden, z.B. +5V, -5V, +12V, -12V bezogen auf die Bezugsmasse (Ground). Die negativen Spannungen werden z.B. bei OPV-Schaltungen benötigt.



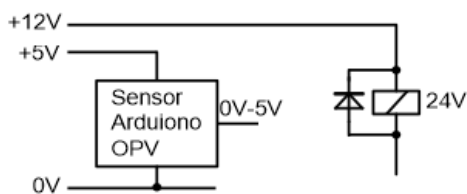
In der ersten Aufgabenstellung wird der Mikrocontroller mit +5V betrieben und es soll ein 12V-Relais angesteuert werden. Es kann gewählt werden, ob das Relais an +12V oder am 0V angeschlossen werden soll.



Es wurde +12V gewählt. In der Schaltung ist auch die Schutzdiode parallel zur Relaisspule zu sehen, die beim Ausschalten der Spule die sehr hohe, aber leistungsschwache Selbstinduktionsspannung (bis zu hunderten V) kurzschließt und damit davor liegende Bauteile schützt.

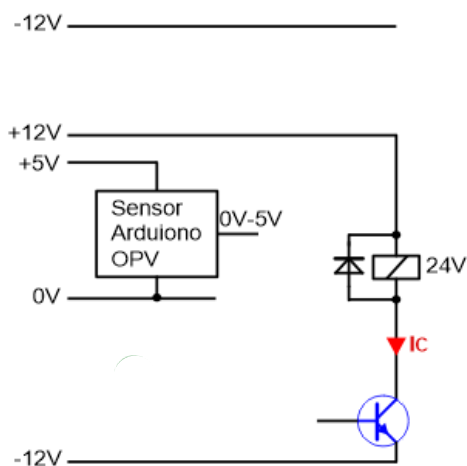


Ein NPN-Transistor in Emitterschaltung bringt die nötige Spannungs- und Stromverstärkung, um die 0V bis 5V auf 0V bis 12V zu verstärken. Die Phasenumkehr der Emitterschaltung ist notwendig, da ein HIGH am Controller ein LOW am Relais ergibt und da das Relais auf +12V liegt, zieht es an.



2. Konkrete Aufgabe: Von einem Sensor, mit einer Ausgangsspannung 0V bis 5V soll ein 24V-Relais, dass an +12V angeschlossen ist geschaltet werden. Dazu ist nun die -12V Versorgungsspannung erforderlich.

Nun bietet sich wie im 1. Beispiel ein NPN-Transistor in Emitterschaltung gegen -12V an.

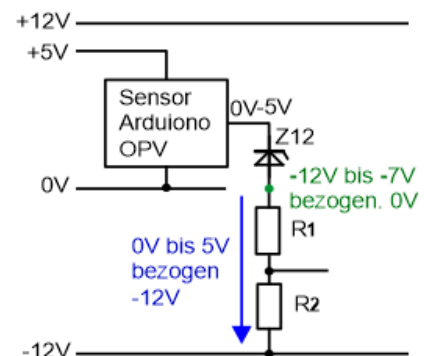


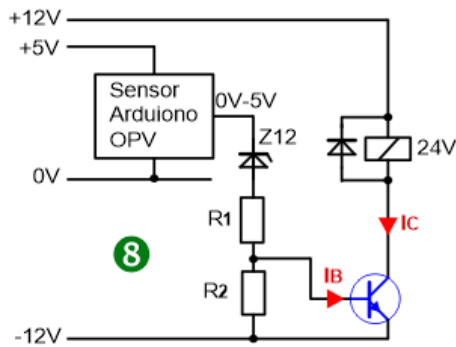
Nun besteht die Herausforderung aus der Ausgangsspannung des Sensors von 0V bis 5V eine Steuerspannung für den Transistor von -12V bis -7V zu erzeugen.

Da es sich um eine konstante Differenz von 12V handelt ist die Aufgabe mit einer Zenerdiode einfach zu lösen. R1 und R2 sind

die Basiswiderstände, um den erforderlichen Basisstrom bereitzustellen, der wieder vom nötigen Kollektorstrom abhängig ist.

Der Widerstand R2 ist wichtig, um eine sichere Ableitung des Basisstromes zu gewährleisten ($U_{BE} < 0,7V$, I_B möglichst 0mA).

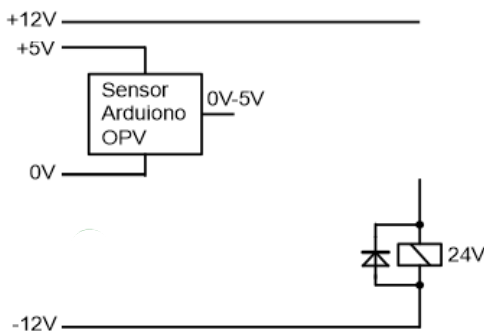




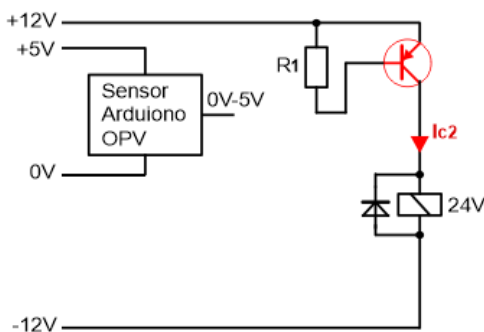
Hier die fertige Schaltung. Bei einem Steuerstrom des Relais von 100mA und einer Stromverstärkung des Transistors von mindestens 100, beträgt der notwendige Basisstrom 1mA.

Somit errechnet sich der Widerstand R1 maximal mit $R_1 = 4,3V / 1mA = 4,3k\Omega$. Gewählt wird ein kleinerer Wert von 3,9k Ω um ein sicheres Schalten des Transistors sicherzustellen. R2 wird mit 10k Ω gewählt (siehe Erklärung am Ende der vorigen Seite).

3. Konkrete Aufgabe: Von einem Arduino, mit einer Ausgangsspannung 0V bis 5V soll ein 24V-Relais, dass an -12V angeschlossen ist, geschaltet werden. Das ist eine ähnliche Aufgabe wie vorher, die Bedingung, dass das Relais an -12V angeschlossen ist, kann dadurch zustande kommen, dass alle anderen Relais der gesamten Steuerung ebenfalls an -12V angeschlossen sind.

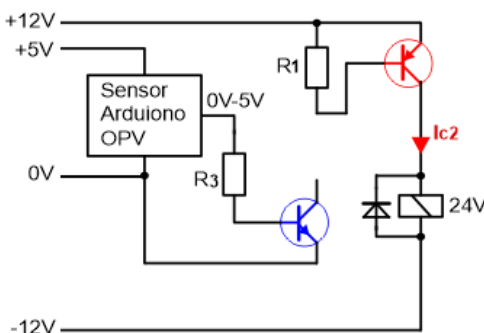


Die Ansteuerung des Relais könnte mit einem NPN-Transistor in Kollektorschaltung (keine Phasenumkehr) realisiert werden, was aber auch bedeutet, dass die Ansteuerung dieses Transistors ebenfalls mit einer Kollektorschaltung (keine Phasenumkehr) erfolgen muss, damit ein HIGH am Arduino zu einem HIGH am Relais werden kann. Das wäre aber aufwändiger in der Ausführung.

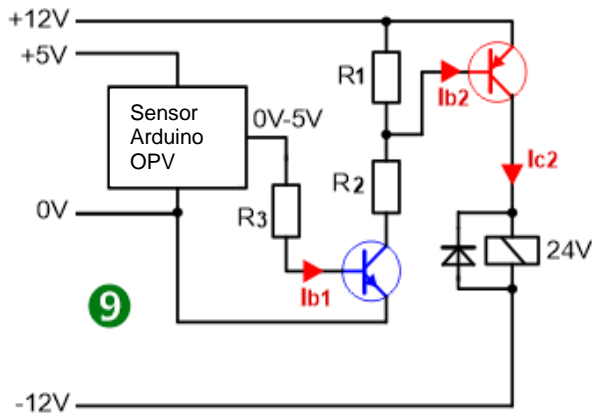


Es wurde ein PNP-Transistor in Emitterschaltung gewählt. Der Widerstand R1 sichert ein exaktes Abschalten des Transistors.

Der Transistor schaltet durch (das Relais zieht an), wenn die Basisspannung um 0,7V negativer als die Emitterspannung (+12V) ist. Die Masse (0V) liegt um -12V unter der Emitterspannung, somit kann die Ansteuerung mit den 0V bis 5V des Arduino nicht realisiert werden.



Die Ausgangsspannungsverstärkung mit dem NPN-Transistor ist schon bei Schaltung 1 und 3 angewendet worden. Um den Basisstrom vom PNP-Transistor zu begrenzen, ist ein Widerstand zum Kollektor vom NPN-Transistor nötig.



Hier die fertige Schaltung. Bei einem Steuerstrom des Relais von 100mA und einer Stromverstärkung des Transistors von mindestens 100, beträgt der notwendige Basisstrom $I_{b2} = 1\text{mA}$.

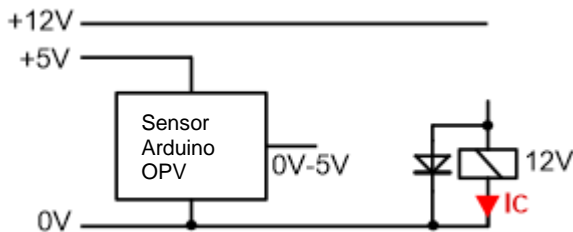
Somit errechnet sich der Widerstand R_2 maximal mit $R_2 = 10,8\text{V} / 1\text{mA} = 10,8\text{k}\Omega$. Gewählt wird ein kleinerer Wert von $8,2\text{k}\Omega$ um ein exaktes Schalten des Transistors sicherzustellen. R_1 wird mit $10\text{k}\Omega$ gewählt (wie im vorigen Beispiel).

Die 10,8V kommen zustande, da im Durchschaltfall des NPN-Transistors die Durchschaltspannung 0,5V und Spannungsdifferenz vom Kollektor (NPN) zur Basis (PNP) daher $12\text{V} - 0,7\text{V} - 0,5\text{V} = 10,8\text{V}$ beträgt.

$I_{b1} = I_{b2} / 100 = 1\text{mA} / 100 = 10\mu\text{A}$, $R_3 = (5\text{V} - 0,7\text{V}) / I_{b1} = 4,3\text{V} / 10\mu\text{A} = 430\text{k}\Omega$. Gewählt $47\text{k}\Omega$, da so hochohmige Schaltungen im $\text{M}\Omega$ -Bereich für kapazitive Störspannungen anfällig sind und alle Verlustleistungen der Elemente weitab von den zulässigen Werten sind.

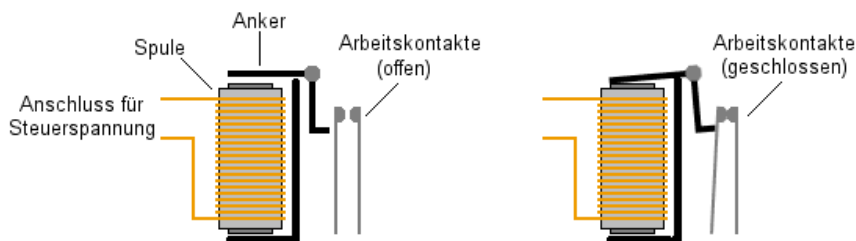
Die Phasenlage stimmt auch: B1 – HIGH \Leftrightarrow C1 – LOW \Leftrightarrow B2 – LOW \Leftrightarrow C2 – HIGH \Leftrightarrow Relais zieht an.

Hier noch eine Aufgabe zum Selbstentwickeln:



Ähnlich wie die 1. Konkrete Aufgabe, nur mit einem Relais, das auf 0V angeschlossen ist. Lösungsvorschläge können zur Überprüfung per [Mail](#) eingesandt werden.

Ergänzende Informationen:



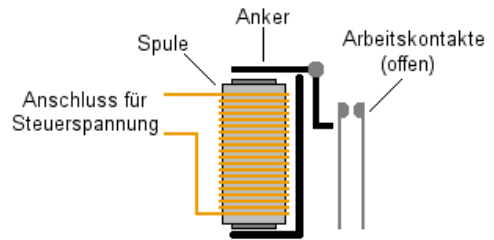
In den Beispielen wurde ein Relais angesteuert. Es gibt die klassische Ausführung als mechanischer Schalter, die über eine magnetische Erregerspule einen oder

mehrere Kontakte betätigt (siehe linkes Bild), oder die elektronische Ausführung, die mittels Halbleiter Ströme schaltet. In beiden Fällen wird mit relativ kleinen Steuer-Spannungen (-Strömen) meist große Last-ströme geschaltet.

Das obigen Bild ist [verlinkt](#) zu Wikipedia, aus dem auch die Grafik stammt.

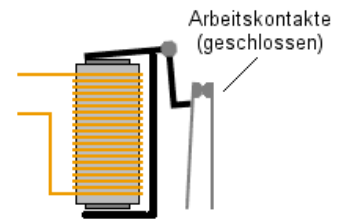


Einige ergänzende Erklärungen zu dem mechanischen Relais. Im Ruhezustand sind im magnetischen Kreis zwei Luftspalte beim Anker, links bei der Spule und rechts in der Nähe des Drehpunktes, vorhanden.



Ein Luftspalt im magnetischen Eisenverlauf stellt einen sehr hohen magnetischen Widerstand dar, der um eine bestimmte Kraft zu erzielen mit erhöhter magnetischer Erregung ($\Theta = I \cdot N$ (Windungszahl)) kompensiert werden muss.

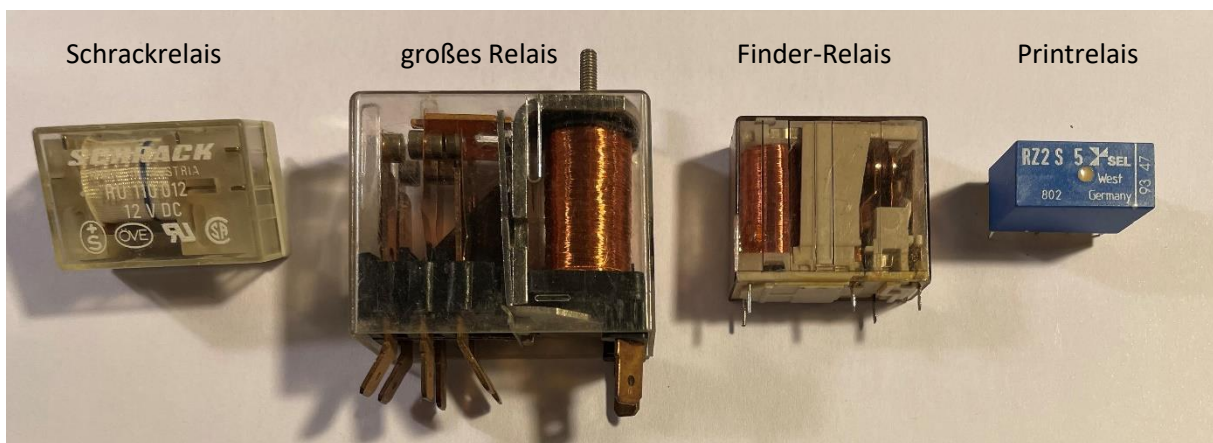
Im angezogenen Zustand sind die beiden Luftspalte sehr gering. Das bedeutet, dass zum Anziehen des Ankers ein höherer Spulenstrom erforderlich ist, als zum Halten des Ankers. Da sich der Widerstand der Spule nicht verändert gilt dieses Verhalten auch für die Erregerspannung.



$$U_{\text{Anzug}} > U_{\text{Halte}} \text{ beides aber kleiner als die Betriebsspannung}$$

Hier eine kleine Tabelle von Messungen an konkreten Relais:

Bezeichnung	Betriebsspannung	Anzugsspannung	Haltespannung
5V Printrelais	5V	2,1V 42%	0,9V 18%
12V Schrack	12V	6,6V 55%	3,4V 28%
24V Finder	24V	8,1V 33%	6,8V 28%
24V groß	24V	16,7V 69%	3,5V 15%

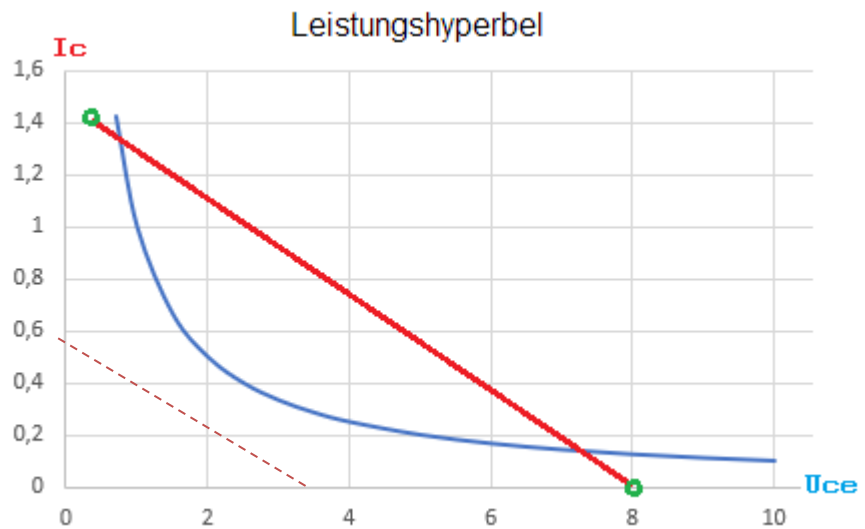


Die Tabelle zeigt, dass die Betriebsspannung grob zusammengefasst die doppelte Anzugsspannung beträgt, was ein sicheres und schnelles Anziehen der Relais bewirkt. Die sehr unterschiedliche Haltespannung ist von der mechanischen Ausführung und dem Rest-Luftspalt im angezogenen Zustand abhängig, kleiner Luftspalt, niedrige Haltespannung.

Noch einige Informationen über die Betriebsart „Transistor als Schalter“

In Ausgangskennlinienfeld eines Transistors wird die Leistungshyperbel eingezeichnet (blaue Kurve).

Wenn der Transistor als Verstärker verwendet wird, darf diese Hyperbel nirgendwo überschritten werden. Im rechten Diagramm wäre also der Transistor weitestgehend stark thermisch überlastet.



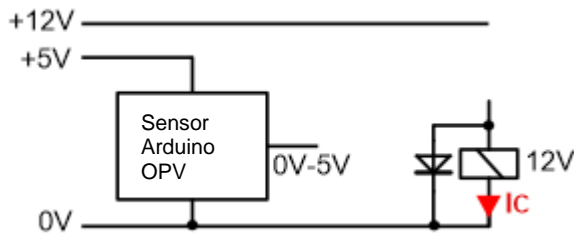
Die strichlierte Arbeitsgerade wäre für die maximale Dauerbelastung von 0,4W, wenn der Transistor als Verstärker verwendet wird.

Wird der Transistor aber als Schalter genutzt, gibt es nur zwei Zustände, der Transistor leitet (linker grüner Punkt) U_{ce} etwa 0,3V und ein Laststrom von $I_c = 1,4A$ ergibt eine Verlustleistung $P = 0,42W$, oder der Transistor sperrt (rechter grüner Punkt) U_{ce} ist die Betriebsspannung und kein Laststrom, $I_c = 0$, ergibt eine Verlustleistung $P = 0W$. Der Bereich dazwischen wird sehr „schnell“ durchfahren, sodass es zu keiner thermischen Überlastung (Überhitzung) kommen kann.

Mit freundlichen Grüßen

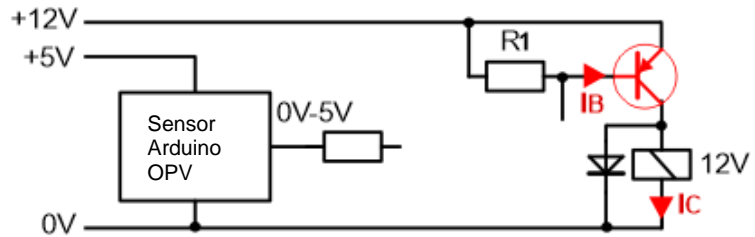


Lösungen zur gestellten Aufgabe von Seite 4

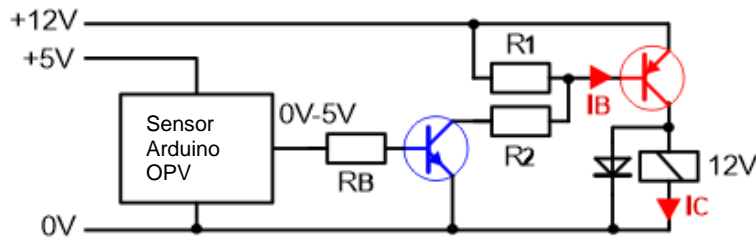


Hier nochmals die Aufgabenstellung im linken Bild, ein 12V – Relais soll mit einer Spannung von 0 – 5V angesteuert werden. Da bietet sich so wie in Schaltung 9 ein PNP-Transistor an, der in EGS an 12V liegt (Bild unten). Der Widerstand R1 sichert das Sperren des Transistors.

Ein Transistor in EGS kehrt die Phasenlage um und somit ist ein weiterer Transistor in EGS erforderlich (Bild unten). Bei einem Steuerstrom des Relais von 100mA und einer



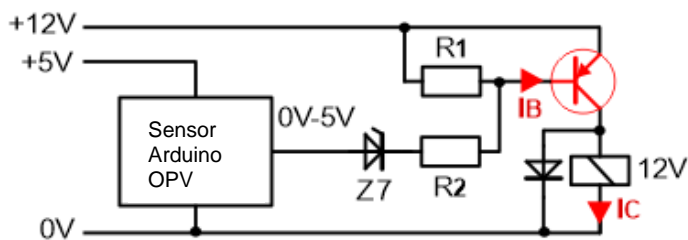
Stromverstärkung des Transistors von mindestens 100, beträgt der notwendige Basisstrom $I_{B2} = 1\text{mA}$.



Die Spannung an der Basis des PNP's beträgt $12\text{V} - 0,7\text{V}$. Somit berechnet sich der Widerstand R2

mit $R_2 = (U_{B2} - U_{C1}) / I_{B2} = (11,3\text{V} - 0,4\text{V}) / 1\text{mA} = 10,9\text{k}\Omega$, gewählt der nächst kleinere Normwert, also $10\text{k}\Omega$. Der Basisstrom des NPN's betrage $I_B = I_C / 100 = 1\text{mA} / 100 = 10\mu\text{A}$ und der Widerstand R_B berechnet sich mit $R_B = (5\text{V} - 0,7\text{V}) / 10\mu\text{A} = 430\text{k}\Omega$. Da ein höherer Basisstrom möglich ist und die Schaltung wegen kapazitiven Störeinflüssen nicht allzu hochohmig sein soll, wird ein Basiswiderstand von $47\text{k}\Omega$ gewählt.

Eine Schaltungsvariante ohne zweiten Transistor ist dann möglich, wenn die Phasenumkehr des PNP-Transistors dadurch kompensiert wird, dass der Ausgang des Mikrokontrollers **programmtechnisch** einfach invertiert wird.



Dann bleibt aber immer noch die Aufgabe zu lösen, dass der Ausgang 0V – 5V beträgt, die Ansteuerung des Transistors aber etwa $4,3\text{V} - 11,3\text{V}$ benötigt. Die Differenz ist 7V und da hilft eine Zenerdiode das Problem zu lösen, wie auch in der Schaltung 8.

Ist der Ausgang 0V liegt am Widerstand R2 eine Spannung von $12\text{V} - 0,7\text{V} - 7\text{V} = 4,3\text{V}$. Somit ist auch der Widerstand $R_2 = U / I = 4,3\text{V} / 1\text{mA} = 4,3\text{k}\Omega$, gewählt $3\text{k}\Omega$, zu berechnen.

Ist der Ausgang 5V addiert sich die Zenerspannung dazu und ergibt 12V , wodurch die $U_{BE} < 0,7\text{V}$ ist und der PNP sperrt.