

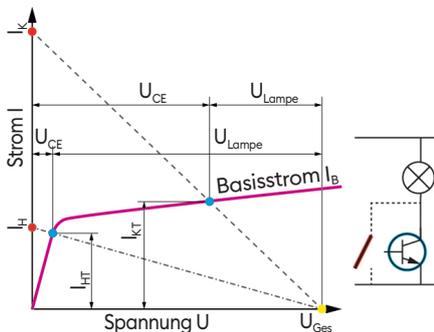
Die Leistungselektronik lebt zu einem grossen Teil vom Schalten und Steuern von Gleich- und Wechselspannung. Das Schalten kann theoretisch mit mechanischen Schaltern, mit bipolaren Transistoren, mit MOSFET's oder IGBT's passieren. In der Folge werden einige Schaltungen mit Hilfe von bipolaren Transistoren beschrieben. Es geht um die Bestimmung von Arbeitspunkten und den Leistungsverlust beim Schalten und damit um die Erwärmung des Transistors.

Bipolare Transistoren

Die Betriebspunkte von elektronischen Bauteilen wie Dioden oder Transistoren werden mit Arbeitsgeraden gekennzeichnet. Im Bild zeigt die Abszisse (x-Achse) die Spannung, wobei der gelbe Punkt auf die Betriebs- oder Gesamtspannung (U_{Ges}) hinweist. Die Ordinate (y-Achse) bezeichnet den Strom. Die Punkte errechnen sich:

$$I = \frac{U_{Ges}}{R}$$

Im Diagramm wird der gezeichnete Lampenstromkreis einmal mit einem Schalter und einmal mit einem Transistor gesteuert. Die Lampe hat ein starkes PTC-Verhalten und die Glühwendel weist im kalten Zustand einen ca. 10-mal klei-



Arbeitsgerade eines Transistors

neren Widerstand auf als im heissen Betriebszustand. Mit dem Schalter betätigt, fliesst also im Einschaltmoment (I_K) ungefähr 10-mal mehr Strom als im Betriebszustand (I_H).

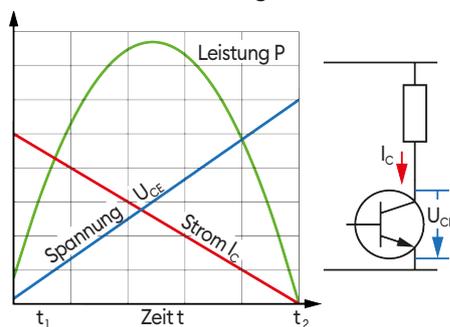
Ins gleiche Diagramm ist violett eine Basisstromlinie eines Transistors eingezeichnet. Diese unterteilt die Eigenschaften des Transistors: Links liegt der steile Schaltbereich und rechts der flache Verstärkungsbereich. Die blauen Schnittpunkte bedeuten in waagrechter Richtung die Spannungsabfälle am Transistor (U_{CE}) und an der Lampe (U_{Lampe}). In senkrechter Richtung ist der Strom eingetragen, welchen der Transistor fliessen lässt. I_{HT} liegt sehr nahe bei dem manuell geschalteten Lampenstrom I_H . I_{KT} ist aber viel kleiner als I_K . Das bedeutet, dass der Transistor den hohen Einschaltstrom der Lampe dämpft und so unter Umständen sogar die Schmelzsicherung überflüssig macht. Natürlich kann der Transistor mit unterschiedlichen Basisströmen beschaltet werden. Dabei verschieben sich die Arbeitspunkte

beim Transistor und die Lampe könnte «sanft» eingeschaltet werden.

Der mechanische Schalter hat den Vorteil, dass am Schalter kaum ein Spannungsabfall anfällt. Dagegen kann der Transistor sowohl als Schalter wie auch als Pulssteller eingesetzt werden. Bei der Pulssteuerung wird der Transistor mit einer konstanten oder einer zeitveränderlichen Pulsfrequenz angesteuert.

Schalten von ohmschen Lasten

Wird eine ohmsche Last von einem mechanischen- oder einem elektronischen Schalter ein- oder ausgeschaltet, ergibt sich eine Verlustleistung.



Energieverlust während dem Schaltvorgang.

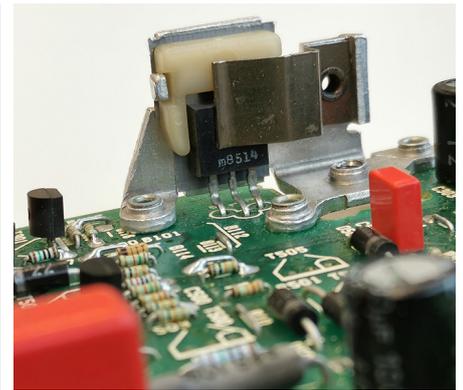
Im Moment t_1 ist der Transistor durchgeschaltet und der Spannungsabfall zwischen Kollektor und Emitter U_{CE} beträgt ungefähr 0.3 Volt. Der fliessende Strom ist abhängig von der Betriebsspannung und der ohmschen Grösse des Verbrauchers. Die sich daraus ergebende Verlustleistung ist klein, dafür aber während der gesamten Einschaltzeit des Transistors vorhanden.

Im Zeitpunkt t_2 ist der Transistor nicht mehr angesteuert und sperrt. Demzufolge zeigt das Voltmeter in diesem Moment die Betriebsspannung an. Dafür ist der Stromfluss unterbrochen und das Ampèremeter zeigt den Wert 0 A an. Dadurch ist auch die Leistung 0 W. Dazwischen sind Spannung und Strom vorhanden und die Leistung macht den im Diagramm gezeichneten Bogen.

Wird der Transistor nur selten ein- oder ausgeschaltet, ist die dadurch in den Transistor eingebrachte Wärmemenge gering, da die Schaltzeit zwischen t_1 und t_2 sehr kurz ist. Die Verlustenergie muss aber noch mit der Arbeitsfrequenz des Schalters multipliziert werden. Deshalb müssen Leistungstransistoren entsprechend gekühlt oder die Schaltung angepasst werden.

Schalten von induktiven Lasten

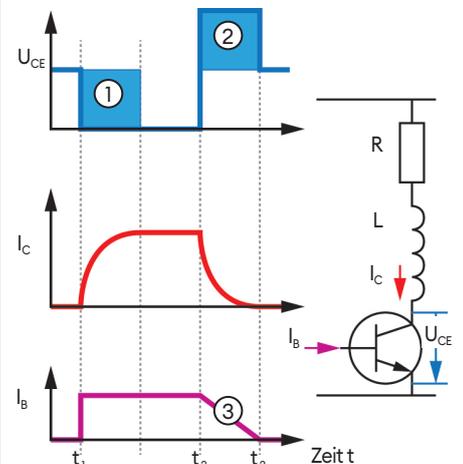
Müssen von Transistoren Spulen oder induktive Lasten geschaltet werden, spielt auch die Selbstinduktion eine Rolle. Diese führt zu besonderen Belastungen der schaltenden elektronischen Bauteile.



Der Leistungstransistor wird mit Federkraft an das Kühlblech geklemmt.

Im Bild sind ein ohmscher Widerstand (R), ein induktiver Widerstand (L) und der Schalttransistor in Serie geschaltet. Der Widerstand und die Induktivität werden in der Theorie häufig getrennt dargestellt, in der Realität hat eine Spule aber einen ohmschen und einen induktiven Widerstandsanteil.

Die Induktion und damit auch die Selbstinduktion sind nur wirksam, wenn sich das Magnetfeld auf- oder abbaut. Wird der Basisstrom eingeschaltet (t_1), sinkt die Kollektor-Emitter-Spannung (U_{CE}) auf ca. 0.3 Volt. Durch die Einschaltinduktion entsteht eine Gegenspannung in der Spule und lässt die aktive Spulenspannung nur langsam ansteigen.



Schalten von Induktivitäten

Damit steigt auch der Kollektorstrom nur langsam und die Energie (1) wird als magnetisches Feld in der Spule gespeichert. Zwischen t_1 und t_2 ist der Transistor durchgeschaltet und da passiert in der Induktivität nichts. Erst beim Ausschalten des Basisstromes (3) des Transistors entsteht wieder eine Selbstinduktion in der Spule. Dabei wird die beim Einschalten gespeicherte Energie (1) wieder frei (2). Wird der Transistor auf einen Schlag ausgeschaltet, entsteht eine kurze, dafür sehr hohe Ausschaltinduktion (analog der Zündung), was den schaltenden Transistor sehr belasten würde. Der sanfte Abfall des Basisstromes bei (3) verschafft der Energieabgabe eine gewisse Zeit, was die Selbstinduktionsspannung weniger ansteigen lässt.