

Halbleitertechnologie von A bis Z

Bauelemente

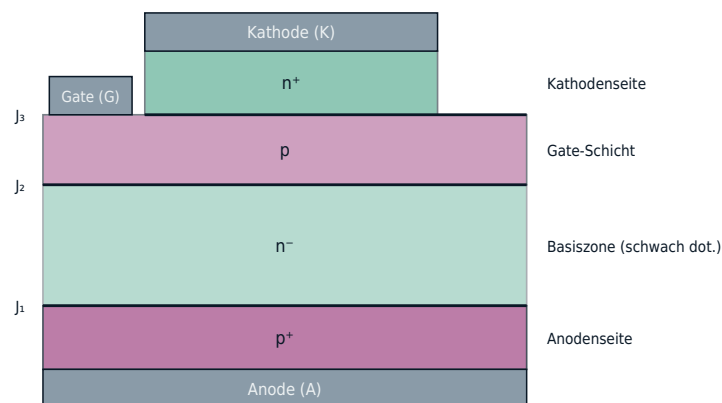
Thyristor und Triac	3
<i>Die Vierschicht-pnpn-Struktur</i>	3
<i>Zündverhalten und Haltestrom</i>	3
<i>Der Triac als bidirektionaler Thyristor</i>	5

Thyristor und Triac

Die Vierschicht-pnpn-Struktur

Ein Thyristor besteht aus einer Abfolge von vier abwechselnd dotierten Halbleiterschichten (p-n-p-n) mit insgesamt drei pn-Übergängen und lässt sich elektrisch äquivalent als zwei kreuzgekoppelte Bipolartransistoren auffassen – ein pnp-Transistor und ein npn-Transistor, deren Basis- und Kollektorgebiete jeweils miteinander verschaltet sind. Diese Zwei-Transistor-Ersatzschaltung ist exakt dieselbe Struktur, die bereits im Kapitel zu ESD-Schutzstrukturen als parasitärer Effekt in Snapback-Bauelementen auftrat und dort unerwünschtes Latchup verursachen kann; im Thyristor wird dieses Verhalten jedoch nicht als parasitärer Nebeneffekt toleriert, sondern als gezielt genutztes, eigenständiges Leistungsbauelement konstruiert und dimensioniert.

Schichtaufbau eines Thyristors
Vier abwechselnd dotierte Schichten mit drei pn-Übergängen



Ersatzschaltung: p^+-n-p bildet den pnp-, $n-p-n^+$ den npn-Transistor – beide teilen sich die mittleren Schichten und sind dadurch kreuzgekoppelt.

J_1, J_2, J_3 : die drei pn-Übergänge – im Sperrzustand blockiert J_2 , nach dem Zünden sind alle drei Übergänge leitend.

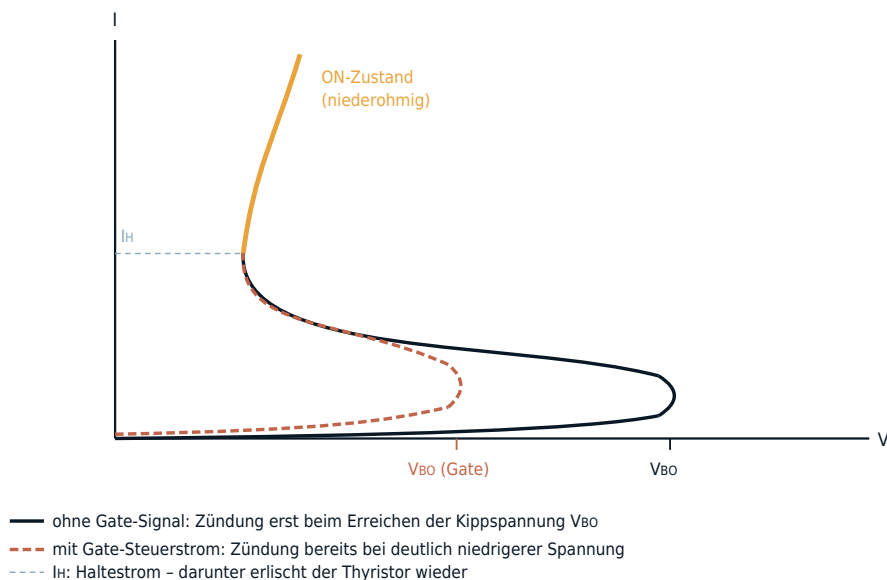
Die drei äußeren Anschlüsse eines Thyristors sind Anode (am äußeren p-Gebiet), Kathode (am äußeren n-Gebiet) und ein Steueranschluss, das Gate, der an einer der beiden inneren Schichten angebracht ist und über einen vergleichsweise kleinen Steuerstrom das Zünden der Struktur auslöst. Thyristoren werden für Sperrspannungen von wenigen hundert Volt bis zu mehreren Kilovolt und für Ströme von wenigen Ampere bis zu mehreren tausend Ampere gefertigt und gehören damit zu den leistungsfähigsten heute verfügbaren Halbleiterschaltern.

Zündverhalten und Haltestrom

Im Sperrzustand leitet ein Thyristor auch bei angelegter Durchlassspannung zwischen Anode und Kathode zunächst nicht, bis er entweder durch einen kurzen Steuerstromimpuls von typischerweise wenigen Mikrosekunden Dauer am Gate oder durch Überschreiten der spannungsabhängigen Kippspannung (auch ohne Gate-Signal) gezündet wird. Sobald einer der beiden internen Transistoren zu leiten beginnt, liefert sein Kollektorstrom den Basisstrom für den jeweils anderen Transistor, dessen Kollektorstrom wiederum den ursprünglichen Basisstrom weiter verstärkt – diese positive Rückkopplung führt innerhalb weniger Mikrosekunden zu einem vollständigen, niederohmigen Durchschalten beider Transistoren.

Kennlinie eines Thyristors

Zünden durch Überschreiten der Kippspannung oder per Gate-Steuerstrom



Einmal gezündet, rastet der Thyristor unabhängig vom weiteren Verlauf des Gate-Signals in diesem leitenden Zustand ein und bleibt dort, solange der Anodenstrom oberhalb eines bauteilspezifischen Haltestroms I_H von üblicherweise einigen Milliampere bis wenigen zehn Milliampere bleibt. Das Gate verliert also nach dem Zünden vollständig die Kontrolle über das Abschalten des Bauelements – ein grundlegender Unterschied etwa zu einem MOSFET, bei dem das Gate den leitenden Zustand jederzeit aktiv beenden kann. In Wechselspannungsanwendungen ist dies unproblematisch, da der Strom bei jedem Nulldurchgang der Netzspannung ohnehin unter den Haltestrom fällt und der Thyristor von selbst erlischt, bevor er für die nächste Halbwelle erneut gezündet werden muss; bei Gleichspannungsanwendungen sind dagegen

zusätzliche Löschschaltungen nötig, die den Anodenstrom aktiv unter den Haltestrom drücken.

Der Triac als bidirektionaler Thyristor

Ein Triac (Triode for Alternating Current) entspricht im Wesentlichen zwei antiparallel geschalteten Thyristoren, die in einem gemeinsamen Halbleiterkristall und Gehäuse integriert sind und sich ein gemeinsames Gate teilen. Dadurch kann ein Triac im Gegensatz zu einem einzelnen Thyristor, der nur in einer Richtung leitet, Strom in beiden Richtungen sowohl leiten als auch steuern – eine Eigenschaft, die ihn besonders für die direkte Steuerung von Wechselspannung prädestiniert, da hier in jeder Halbwelle jeweils die entgegengesetzte Stromrichtung auftritt.

Diese bidirektionale Funktionsweise macht den Triac zum Standardbauelement für zahlreiche Anwendungen der direkten Wechselspannungssteuerung: Phasenanschnittsteuerungen für Dimmer in der Beleuchtungstechnik, Drehzahlsteuerungen für einfache Wechselstrommotoren in Haushaltsgeräten sowie Halbleiterrelais (Solid State Relays) nutzen die vergleichsweise einfache Ansteuerbarkeit über ein einzelnes Gate-Signal und den geringen Schaltungsaufwand von Triacs. Gegenüber zwei diskret verschalteten, antiparallelen Thyristoren bietet die monolithische Triac-Integration dabei einen deutlich kompakteren Aufbau, allerdings bei etwas geringerer Spannungsfestigkeit und einem komplexeren, in vier unterschiedlichen Quadranten möglichen Zündverhalten, das in der Schaltungsauslegung berücksichtigt werden muss.