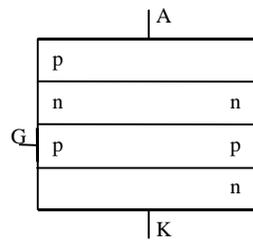


# Versuch 6

# Thyristoren

29.11.2000

# Thyristor



Das Vierschichtkristall hat drei Elektroden: Anode A, Kathode K und Steueranschluss G. Auf Grund dieser drei Elektroden wird das Bauteil auch *Thyristortriode* genannt.

Bei den meisten Thyristoren liegt der Steueranschluss an der inneren p-Zone. Sie heißen dann dementsprechend p-gesteuerte oder auch kathodenseitig steuerbare Thyristoren.

Bei Polung des Thyristor in Sperrrichtung liegt der negative Pol der Spannung  $U_{AK}$  an der Anode. Die beiden äußeren p-n-Übergänge werden dann in Sperrrichtung und der mittlere p-n-Übergang in Durchlassrichtung betrieben. Bei dieser Beschaltung bleibt der Thyristor unabhängig von der Polung des Steueranschlusses stets hochohmig. Das bedeutet, dass er sperrt. Allerdings kann der Thyristor durch eine Überschreitung des höchstzulässigen Wertes für die Spannung  $U_{AK}$  durch einen Wärmedurchbruch zerstört werden.

Wenn der positive Pol der Spannung  $U_{AK}$  an der Anode anliegt, wird der Thyristor in Schallrichtung betrieben. Die beiden äußeren p-n-Übergänge werden nun in Durchlassrichtung betrieben, während der innere p-n-Übergang in Sperrrichtung gepolt ist. Wenn der Steueranschluss unbeschaltet bleibt, ist der Thyristor immer noch hochohmig. Er blockiert. Es fließt nur ein geringer Sperrstrom.

Bei einem bestimmten Wert der Spannung  $U_{AK}$  kippt der Thyristor plötzlich in den niederohmigen Zustand um. Diese Spannung bezeichnet man als *Nullkippspannung*. Der Steueranschluss ist hierbei immer noch offen.

Man unterscheidet bei Thyristoren vier verschiedene Bereiche:

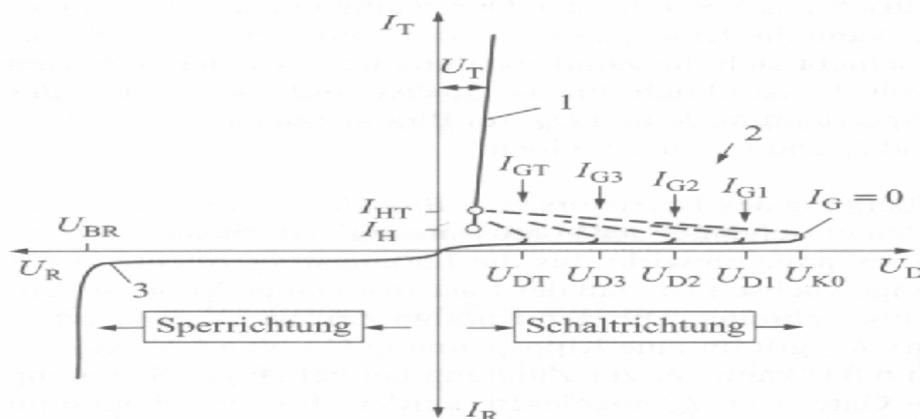


Bild 6.85 Strom-Spannungs-Kennlinie eines Thyristors  
1 Durchlaßkennlinie, 2 Blockierkennlinie, 3 Sperrkennlinie

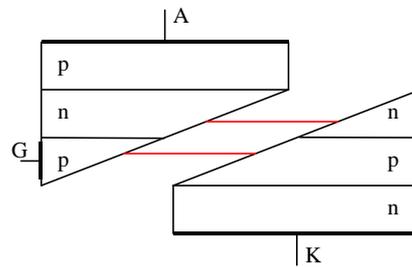
- Sperrbereich: es fließt ein geringer Sperrstrom, der Thyristor ist gesperrt
- Blockierbereich: der Thyristor ist hochohmig
- Übergangsbereich: ab der Schaltspannung wird der Thyristor niederohmig
- Durchlassbereich: der Thyristor ist niederohmig

Zu beachten ist, dass das Verhalten des Thyristors stark temperaturabhängig ist.

Quelle:  
Taschenbuch der  
Elektrotechnik  
und Elektronik

Lindner, Brauer,  
Lehmann

Fachbuchverlag  
Leipzig



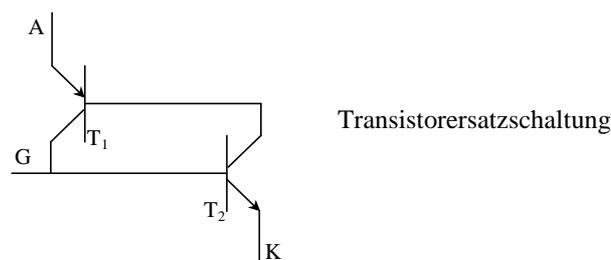
Ein Thyristor lässt sich als eine Zusammenschaltung von zwei Transistoren darstellen. Der obere Teil des Thyristors stellt dabei einen p-n-p-Transistor dar, während der untere Teil einen n-p-n-Transistor darstellt. Dieses ist in der obigen Skizze veranschaulicht. Sobald entsprechend der Schaltung die Spannung zwischen A und K erhöht wird, so steigen die Sperrströme der beiden Transistorstrecken an.

Da aber jeweils der Sperrstrom des einen Transistors den Basisstrom des anderen Transistors darstellt, wird der Sperrstrom eines der Transistoren ab einer bestimmten Spannung  $U_{AK}$  so groß, dass er den anderen Transistor ein wenig aufsteuern kann.

Dieses hat zur Folge, dass der Sperrstrom größer wird. Dieser größere Sperrstrom steuert jetzt den zweiten Transistor weiter auf. Dadurch wird der erste Transistor wieder weiter aufgesteuert, was wiederum zur Folge hat, dass der zweite Transistor weiter aufgesteuert wird. Die beiden Transistoren steuern sich solange gegenseitig auf, bis beide voll durchgesteuert sind. Damit haben die beiden Transistorstrecken bzw. die Vierschichtdiode ihren niederohmigsten Zustand erreicht.

Das gegenseitige Aufsteuern der Transistoren und damit das Umkippen in den niederohmigen Zustand erfolgt bei der sogenannten Nullkippspannung. Durch die starke Temperaturabhängigkeit kann der Thyristor bei hohen Kristalltemperaturen auch schon bei niedrigeren Spannungen durchschalten, da die Nullkippspannung mit steigender Temperatur abnimmt.

Der Vorgang der gegenseitigen Aufsteuerung kann durch einen gegenüber der Kathode K positiven Impuls auf den Steueranschluss G beschleunigt werden.



Durch den positiven Impuls steuert die Transistorstrecke  $T_2$  sofort auf und leitet den Aufsteuervorgang zwischen  $T_1$  und  $T_2$  ein. Der Thyristor kippt in den niederohmigen Zustand um.

Der Steuerimpuls muss eine sogenannte *Mindestimpulszeit* haben, damit die beiden Transistorstrecken voll durchsteuern können. Ebenso muss der Impuls eine ausreichend große Stromstärke haben.

Bei der Bestimmung des Steuerimpuls ist darauf zu achten, dass auch dieser einen temperaturabhängigen p-n-Übergang ansteuert. Es gibt dementsprechend einen Bereich, in dem der Thyristor nicht zündet, einen Bereich in dem er zünden kann und dann natürlich einen Bereich, in dem der Thyristor auf jeden Fall zündet.

Im niederohmigen Zustand wird das Thyristorkristall von Ladungsträgern überschwemmt. Damit ist der Steueranschluss wirkungslos geworden. Der Thyristor kann also nicht mit Hilfe der Steuerelektrode in den hochohmigen Zustand zurückgeschaltet werden. Er bleibt solange niederohmig, bis der Strom einen bestimmten Wert, den sogenannten *Haltestrom*, unterschreitet.

Nachdem der Haltestrom unterschritten wurde, wird in dem mittleren p-n-Übergang wieder eine Sperrschicht aufgebaut, die zur Folge hat, dass die sich dort befindlichen Ladungsträger ausgeräumt werden. Der Thyristor kehrt in den hochohmigen Zustand zurück. Die dafür benötigte Zeit wird *Freiwerdezeit* genannt. Die Freiwerdezeit nimmt mit steigender Kristalltemperatur zu.

Erst nach dem die Freiwerdezeit verstrichen ist, darf die Spannung  $U_{AK}$  wieder positive Werte annehmen, da sonst der Thyristor wieder selbständig durchschalten könnte. Um auf jeden Fall ein sachgemäßes Arbeiten des Thyristors zu gewährleisten, veranschlagt man eine *Schonzeit*, die etwa das 1,5fache der Freiwerdezeit beträgt, in der die Spannung  $U_{AK}$  negativ ist.

Die Schonzeit bestimmt daher auch die höchstzulässige *Schaltfrequenz* mit.

Die höchstzulässige Schaltfrequenz gibt an, wie oft der Thyristor in einem bestimmten Zeitraum gezündet werden darf. Wenn dieser Wert überschritten wird, besteht eine erhöhte Zerstörungsgefahr. Dieses rührt daher, dass es bedingt durch den Anstieg des Stromes  $I$  auf den Durchlassstrom zu Einschaltverlusten kommt, die sich aus den Augenblickswerten von  $U_{AK}$  und  $I$  ergeben. Diese Einschaltverluste entstehen nur in kleinen Teilen in der Nähe der Gate-Elektrode und können daher unter Umständen zu einer Kristallüberhitzung führen. Es ist also darauf zu achten, dass der Anstieg des Stromes  $I$  unter der sogenannten *kritischen Stromsteilheit* des Bauteiles bleibt, damit nicht zu hohe Einschaltverluste entstehen.