

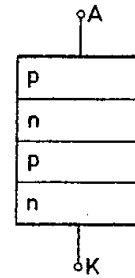
Leistungselektronik

1. Verschichtdioden (=Thyristordioden)

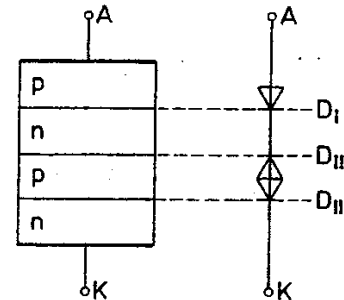


Aufbau und Arbeitsweise

Die Thyristordiode ist ein Halbleiterbauteil mit 4 Halbleiterzonen wechselnden Leitfähigkeitstyps. Die beiden Anschlüsse heißen Kathode K und Anode A.



Die Thyristordiode hat 3 pn Übergänge, wobei jeder pn Übergang eine Diodenstrecke darstellt.



Legt man an die Kathode eine positive Spannung, so sind die Diodenstrecken D_I und D_{III} in Sperrrichtung gepolt, es fließt nur ein geringer Sperrstrom

Legt man nun an die Anode eine positive Spannung, so ist nur noch die Diodenstrecke D_{II} gesperrt. Diese wird ab einer bestimmten Spannung plötzlich niederohmig. Da D_I und D_{III} ebenfalls leiten wird das komplette Bauteil leitend

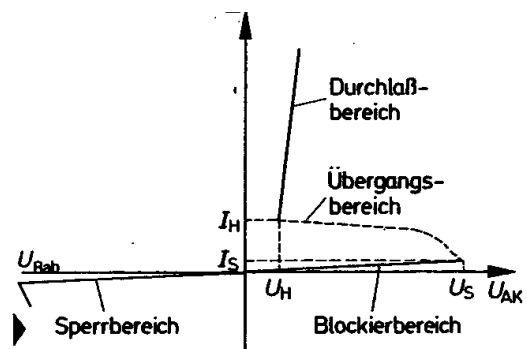
→ Zwei Schaltzustände (gesperrt und leitend)

→ Diode mit Schalteneigenschaft

Kennlinie

Man unterscheidet Sperr-, Blockier-, Übergangs-, und Durchlassbereich.

Im Blockierbereich ist die Diode hochohmig. Bei U_S geht sie in den leitenden Bereich über. Dabei sinkt die Spannung auf den Wert U_H ab, bei ihr fließt der Strom I_H . Werden U_H bzw. I_H unterschritten fällt die Diode in den hochohmigen Zustand zurück



Kennwerte

Wichtige Kennwerte sind die Schaltspannung U_S , der Schaltstrom I_S , die Haltespannung U_H , der Haltestrom I_H sowie der differentielle Widerstand r_f

Der Wert r_f ergibt sich aus dem Kennlinienfeld nach $r_f = \frac{\Delta u}{\Delta i}$ im Durchlassbereich.

Anwendung

Hauptsächlich werden Thyristordioden zum Ansteuern von Thyristoren verwendet. Es können aber auch Zähler- und Impulsschaltungen aufgebaut werden.

2. Thyristoren (rückwärtssperrende Thyristortrioden)

Aufbau und Arbeitsweise

Thyristoren sind Halbleiterbauelemente mit vier oder mehr Schichten unterschiedlicher Leitfähigkeitsart. Sie sind meist ähnlich aufgebaut wie Thyristordioden und haben die gleichen Schalteigenschaften. Das Umschalten vom sperrenden in den leitenden Zustand ist steuerbar. Der Thyristor hat drei Elektroden: K, A und das Gate G. Der Steueranschluss G liegt an der inneren p oder n-Zone. Sie werden entsprechend p oder n-gesteuerte Thyristoren genannt.

- Meistens wird der p-gesteuerte Typ verwendet.
- Zwei Schaltzustände (gesperrt und leitend)
- Triode mit Schaltereigenschaft

Legt man eine positive Spannung an die Anode, so ist wieder nur die Diodenstrecke D_{II} gesperrt.

Bei unbeschaltetem Gate verhält sich der Thyristor ab einer bestimmten Spannung, der sog. Nullkippspannung (U_{K0}), wie die Thyristordiode. Er wird dann also von selbst leitend.

Sobald am G ein positiver Steuerimpuls anliegt kippt der Thyristor in den leitenden Zustand. Der Thyristor wird erst durch das Unterschreiten des Haltestroms gesperrt.

Kennlinie

Man unterscheidet wie bei der Thyristordiode Sperr-, Blockier-, Übergangs-, und Durchlassbereich.

Im Blockierbereich ist die Diode hochohmig. Bei der Nullkippspannung (U_{K0}) oder Ansteuerung des Gates geht sie in den leitenden Bereich über.

Werden U_H bzw. I_H unterschritten fällt der Thyristor in den hochohmigen Zustand zurück.

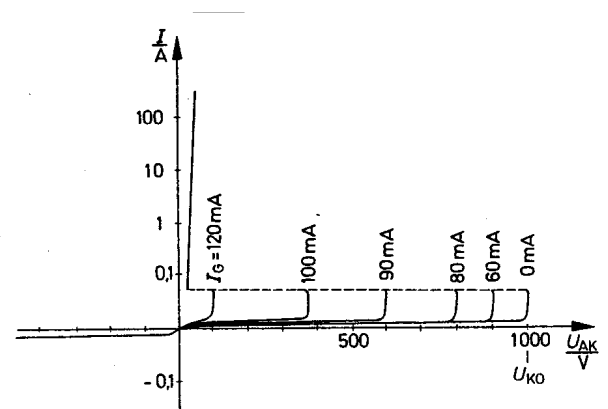
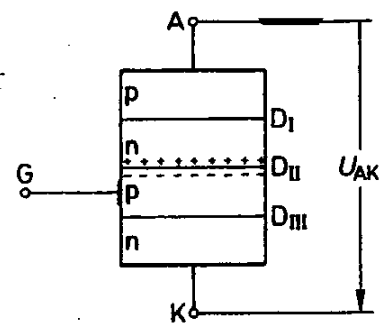
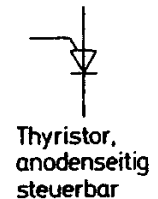
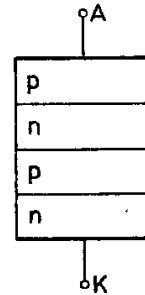
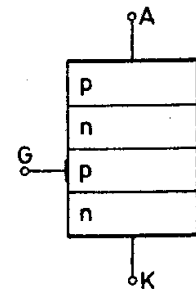
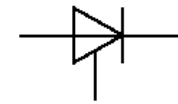
Es werden die zum Kippen benötigten Mindeststeuerstromwerte im Kennlinienfeld angegeben.

Kennwerte

Wichtige Kennwerte sind der Nennstrom I_N , die Durchlassspannung u_r , der Haltestrom I_H , der Zündstrom I_{GT} der zum zuverlässigen Kippen benötigt wird und die Nullkippspannung U_{K0}

Anwendung

Thyristoren werden überwiegend als kontaktlose Schalter und als steuerbare Gleichrichter eingesetzt



Der Thyristor in Bild 10.22 kann durch einen richtig gepolten, genügend großen und genügend lange dauernden Strom- und Spannungsimpuls auf den Steuereingang vom hochohmigen Zustand in den niederohmigen Zustand geschaltet werden.

Befindet sich der Thyristor im niederohmigen Zustand (Durchlaßzustand), so ist der Steuereingang wirkungslos. Erst nach Unterschreiten des Haltestromes kippt der Thyristor wieder in den hochohmigen Zustand. Das Kippen in den hochohmigen Zustand erfolgt in der Nähe eines jeden Nulldurchganges des Wechselstromes.

Die Zündimpulse können periodisch oder nichtperiodisch auf den Steuereingang gegeben werden.

Werden die Impulse periodisch mit bestimmter Phasenlage zur Wechselspannung U_1 auf den Steuereingang gegeben, so zündet der Thyristor periodisch, d.h., er kippt bei einem ganz bestimmten *Phasenwinkel* innerhalb einer Periode in den niederohmigen Zustand.

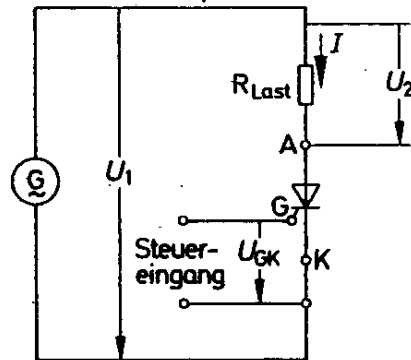


Bild 10.22 Steuereingang und Laststromkreis eines Thyristors

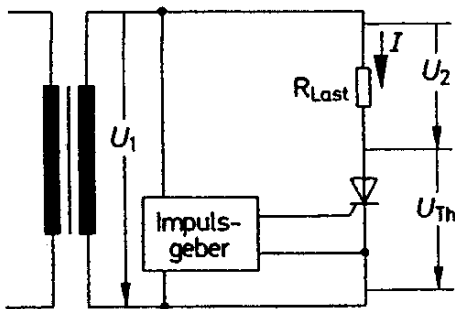


Bild 10.23 Gesteuerte Gleichrichterschaltung mit Thyristor

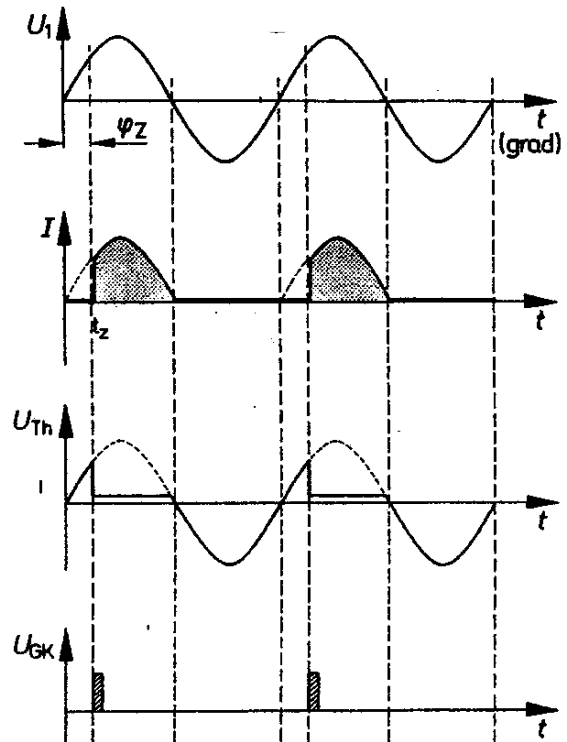


Bild 10.24 Zeitliche Verläufe der Spannungen U_1 , U_{Th} , U_2 , U_{GK} und des Stromes I

Bild 10.23 zeigt eine gesteuerte Gleichrichterschaltung. Der Thyristor zündet in jeder Periode bei der zum Winkel φ_z gehörenden Zeit t_z .

Der Winkel φ_z heißt *Zündverzögerungswinkel*.

Der Thyristor bleibt nach der Zündung niederohmig, bis der Phasenwinkel $\varphi = 180^\circ$ fast erreicht ist (Stromnulldurchgang).

Es ergeben sich angeschnittene Stromhalbwellen. In Bild 10.24 sind die zeitlichen Verläufe der Spannungen U_1 , U_{Th} , U_2 , U_{GK} und des Stromes I angegeben.

Ändert man die Phasenlage der Impulse U_{GK} , so ändert man den Zündverzögerungswinkel φ_z . Die angeschnittenen Stromhalbwellen bekommen eine andere Form. Bild 10.25 zeigt angeschnittene Stromhalbwellen für verschiedenen Zündverzögerungswinkel.

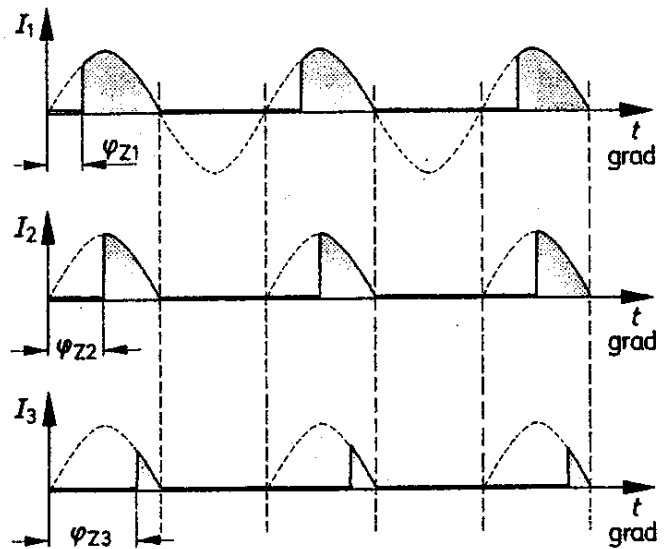
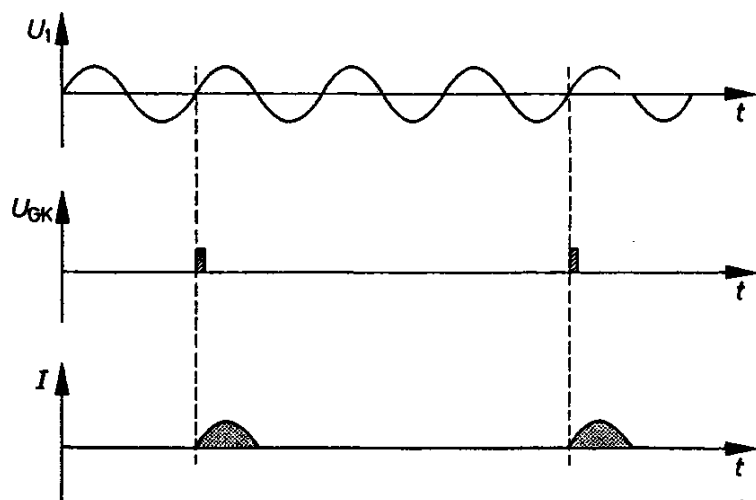


Bild 10.25 Angeschnittene Stromhalbwellen für verschiedene Zündverzögerungswinkel

Bild 10.26 Halbwellensteuerung



Je größer der Zündverzögerungswinkel φ_z ist, desto schmaler sind die angeschnittenen Stromhalbwellen.

Werden die angeschnittenen Stromhalbwellen gesiebt, so ergibt sich am Ausgang der Siebkette eine um so kleinere Gleichspannung, je schmaler die angeschnittenen Stromhalbwellen sind. Die Ausgangsgleichspannung kann also durch Anschnitt der Halbwellen gesteuert werden. Man nennt dieses Verfahren *Anschnittsteuerung*.

Bei Anschnittsteuerung ergibt sich eine sehr ungleichmäßige Belastung des Energieversorgungsnetzes. Die sinusförmigen Spannungs- und Stromverläufe werden verzerrt. Dadurch entstehen Oberwellen. Diese Oberwellen sind unerwünscht. Sie können erhebliche Störungen bei Geräten und Maschinen hervorrufen. Außerdem ergeben sich Rundfunkstörungen. Sehr große Leistungen dürfen daher nicht mit Anschnittsteuerung gesteuert werden.

Es ist aber möglich, Steuerimpulse mit einer veränderbaren Impulsfolgefrequenz und starrer Phasenlage zu erzeugen (Bild 10.26). Dies ermöglicht ein Sperren bestimmter positiver *Halbwellen*.

Man kann z.B. jede 100. Halbwelle sperren, man kann auch jede 10., 8., 5. oder jede 2. Halbwelle sperren, oder man kann z.B. 10 Halbwellen sperren und dann jeweils die 11. Halbwelle durchlassen. Man kann beliebig festlegen, welche Halbwellen gesperrt und welche durchgelassen werden.

Diese Art der Steuerung nennt man *Halbwellensteuerung*.

Bei der Halbwellensteuerung zündet der Thyristor während bestimmter positiver Halbwellen nicht.

Ausgangsspannung und Ausgangsleistung einer Thyristorgleichrichterschaltung sind um so kleiner, je mehr positive Halbwellen gesperrt werden.

Die Halbwellensteuerung erzeugt wesentlich weniger Oberwellen. Dieses Verfahren wird für die Steuerung großer Leistungen verwendet.

10.2.3.2. Thyristor im Gleichstromkreis

Thyristoren arbeiten in Gleichstromkreisen als kontaktlose Schalter. Mit Hilfe eines kleinen Steuerstromes kann ein großer Laststrom eingeschaltet werden.

Das Ausschalten des Laststromes ist jedoch nicht ganz so einfach. Der normale Thyristor kann über den Steuereingang nicht in den hochohmigen Zustand geschaltet werden. Ein Kip-

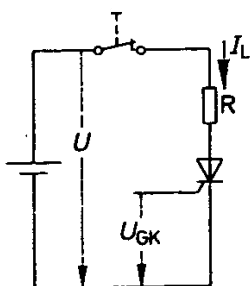


Bild 10.27 Thyristor im Gleichstromkreis

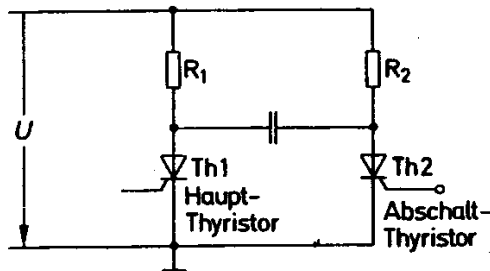


Bild 10.28 Steuerschaltung mit Hauptthyristor und Abschaltthyristor

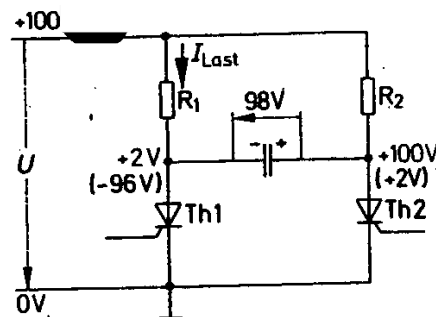


Bild 10.29 Erläuterung der Arbeitsweise einer Steuerschaltung mit Haupt- und Abschaltthyristor

pen in den hochohmigen Zustand kann nur durch Unterschreiten des Haltestromes herbeigeführt werden. Der Laststrom muß also zumindest kurzzeitig wesentlich herabgesetzt werden. Es gibt natürlich die Möglichkeit, den Laststrom mit Hilfe eines Schalters zu unterbrechen (Bild 10.27). Doch dies erfordert den Einsatz elektromechanischer Bauteile, z.B. von Relais. Eine kontaktlose Abschaltmöglichkeit ist besser.

Die in Bild 10.28 dargestellte Schaltung erlaubt ein kontaktloses Abschalten. Thyristor Th 1 ist der sogenannte Hauptthyristor. Er kann die gewünschte große Leistung schalten.

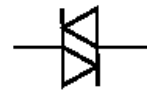
Der Thyristor Th 2 ist der Abschaltthyristor. Er kann für eine kleinere Leistung bemessen sein.

Während des niederohmigen Zustandes von Th 1 wird der Kondensator C aufgeladen (siehe Bild 10.29). Th 2 ist gesperrt.

Wird nun Th 2 durch einen Impuls gezündet, so sinkt die Spannung an der Anode von Th 2 auf etwa +2 V (gegen Masse). Der Kondensator ist aber auf 98 V aufgeladen. Sein zweiter Pol hat also kurzzeitig das Potential -96 V. Durch dieses Potential wird der Laststrom praktisch unterbrochen und der Thyristor Th 1 in den hochohmigen Zustand gekippt.

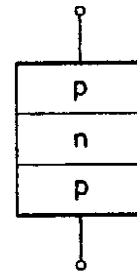
Schaltungen dieser Art werden z.B. in den Steuerungen batteriebetriebener Fahrzeuge wie Elektrokarren, Gabelstapler usw. verwendet.

3. Diac (Zweirichtungsdiode)



Aufbau und Arbeitsweise

Der Diac besteht aus drei Zonen, die abwechselnd p- und n-leitend sind. Wie man die angelegte Spannung auch polt, ein pn-Übergang wird immer in Sperrrichtung betrieben, der andere in Durchlassrichtung. Bei einer bestimmten Spannung U_{BO} bricht der in Sperrrichtung betriebene pn-Übergang durch und wird niederohmig. Das Zurückkippen erfolgt beim Unterschreiten der Haltespannung.



Kennlinie und -werte

Kennwerte sind die Durchbruchspannung U_{BO} und die Haltespannung U_H sowie der Durchbruchstrom I_{BO} . Dieser soll möglichst klein sein, da er ein unerwünschter Sperrstrom ist.

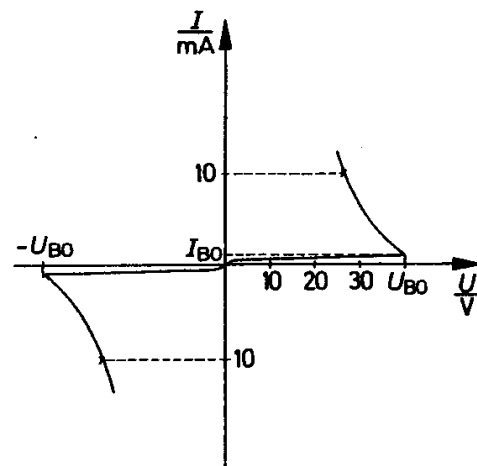
Übliche Kennwerte:

$$U_{BO} \approx 32V$$

$$I_{BO} \approx 50\mu A$$

$$U_H \approx 20V$$

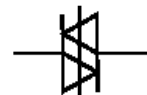
$$P_{tot} \approx 0,5W$$



Anwendung

Diacs werden hauptsächlich in Zündschaltungen von Triacs eingesetzt, um einen Zündimpuls mit sehr steiler Flanke zu erzeugen.

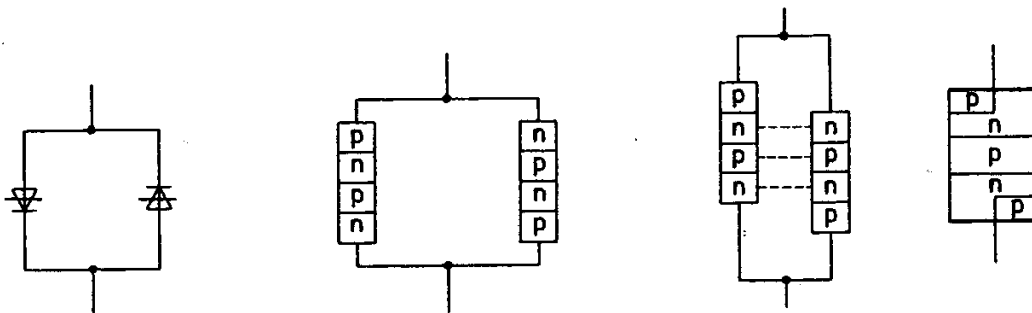
4. Zweirichtungs – Thyristordiode



Aufbau und Arbeitsweise

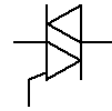
Eine Zweirichtungs Thyristordiode ist im Prinzip eine Antiparallelschaltung von zwei Thyristordioden.

Die beiden Dioden können auf einen Kristall vereinigt werden. Es ergibt sich ein Fünfschicht Halbleiterbauelement.



Die Eigenschaften entsprechen denen von zwei antiparallel geschalteten Thyristordioden.

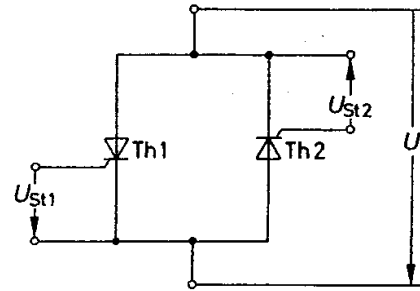
5. Triac



Aufbau und Arbeitsweise

Ein Triac ist im Prinzip eine Antiparallelschaltung von zwei Thyristoren. Zur Ansteuerung der Antiparallelschaltung sind aber zwei Steuerströme erforderlich.

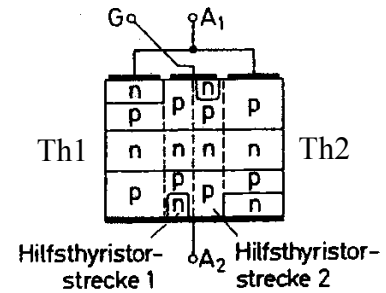
Der Aufwand für die Ansteuerung ist verhältnismäßig groß.



Dieses Problem wird durch den Aufbau der beiden Thyristoren auf den gleichen Kristall gelöst.

Das Thyristorsystem 1 kann problemlos über G gezündet werden.

Über die beiden Hilfsth Thyristorstrecken wird die Strecke Th2 gezündet.

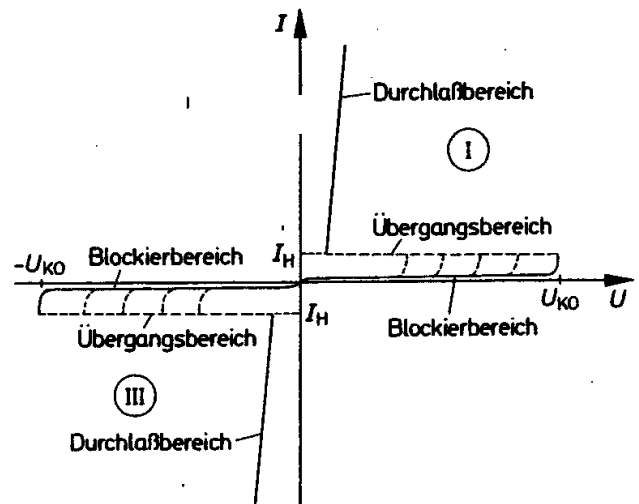


Kennlinie

Man unterscheidet Blockier-, Übergangs-, und Durchlassbereich der Kennlinie im I. und entsprechend im III. Quadranten.

Bei der Nullkippspannung (U_{K0}) oder Ansteuerung des Gates geht der Triac in den leitenden Bereich über.

Werden U_H bzw. I_H unterschritten fällt der Triac in den hochohmigen Zustand zurück.



Kennwerte

Wichtige Kennwerte sind die maximale Durchlassspannung U_{TM} , der Haltestrom I_H , der Gate Triggerstrom I_{GT} der zum sicheren Durchschalten benötigt wird, die Gate Triggerspannung U_{GT} und die Einschaltzeit t_{gt} die der Triac vom Eintreffen des Gate-Spannungsimpulses bis zum Durchschalten benötigt.

Triggerung von Diacs

Das Steuern vom hochohmigen Zustand (Blockierbereich) in den niederohmigen Zustand (Durchlaßbereich) kann auf vier verschiedene Arten geschehen. Man unterscheidet dementsprechend vier Steuerarten (Triggermodes).

I^+ -Steuerung

A_2 ist positiv gegen A_1 . Man arbeitet im I. Quadranten der Strom-Spannungs-Kennlinie (I in der Bezeichnung der Steuerart). Die Spannung U_{GA1} des Steuerimpulses ist positiv gegen A_1 (+ in der Bezeichnung der Steuerart). Die Spannungen sind in Bild 11.18 angegeben.

III^- -Steuerung

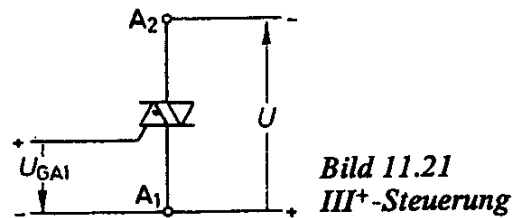
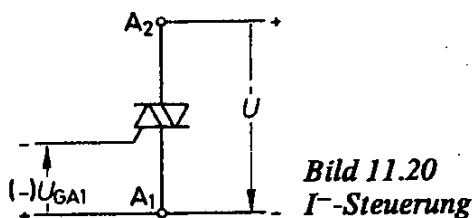
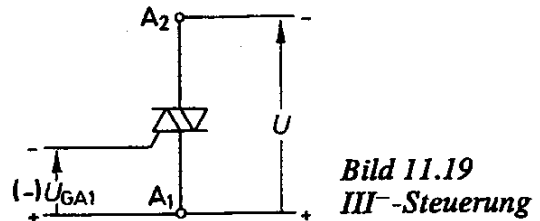
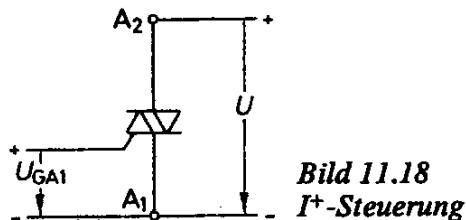
A_2 ist negativ gegen A_1 . Man arbeitet im III. Quadranten der Kennlinie. Die Spannung U_{GA1} des Steuerimpulses ist negativ gegen A_1 (Bild 11.19).

I^- -Steuerung

Betrieb im I. Quadranten der Kennlinie (A_2 positiv gegen A_1). Die Spannung des Steuerimpulses ist negativ gegen A_1 (Bild 11.20).

III^+ -Steuerung

Betrieb im III. Quadranten der Kennlinie (A_2 negativ gegen A_1). Die Spannung des Steuerimpulses ist positiv gegen A_1 (Bild 11.21).



Triacs werden meist in I^+ -Steuerung und III^- -Steuerung betrieben. Die Steuerempfindlichkeit ist bei diesen Steuerarten besonders groß. Bei den anderen Steuerarten sind etwa doppelt so große Steuerimpulse erforderlich.

Die Steuerelektrode eines Triacs hat wie die Steuerelektrode eines Thyristors nach der Zündung ihre Wirksamkeit verloren. Der Triac bleibt so lange niederohmig, bis der Haltestrom I_H unterschritten wird. Dann kippt er in den hochohmigen Zustand.

Bei der Steuerung von Wechselstrom muß der Triac in jeder Halbwelle erneut gezündet werden.

Triacs verformen die Strom- und Spannungsschwingungen. Sie erzeugen Oberwellen. Die Frequenzen dieser Oberwellen reichen bis in den Rundfunkbereich. Triacschaltungen müssen daher in allen Fällen entstört werden. Dies erfolgt mit Hilfe von Kondensatoren und Drosseln. Triacschaltungen erzeugen Rundfunkstörungen.