

## Stromrichter

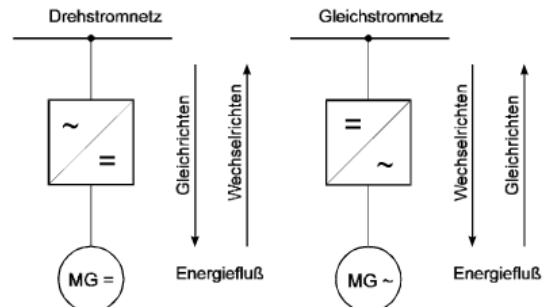
Stromrichter dienen der Steuerung von Strömen sowie der Umwandlung elektrischer Energie bezüglich Strom, Spannung oder Phasenlage. Bei den Stromrichtern unterscheidet man zwischen

**Gleichrichtern**, die Wechselspannung in Gleichspannung umformen,

**Wechselrichtern**, die Gleichspannung zu Wechselspannung umformen,

**Umrichtern**, die eine Wechselspannung in eine andere Wechselspannung mit anderer Amplitude und Frequenz umformen

und **DC/DC-Wandlern**, die eine Gleichspannung in eine höhere oder niedrigere Gleichspannung umsetzen.



## Arbeitsweise der Stromrichter

Die Umformung der elektrischen Energie in den Stellgliedern soll möglichst ohne Verluste erfolgen. Dies ist praktisch nur über ideale Schalter möglich:

- Schalter offen (Aus, Sperren): es fließt kein Strom; es kann eine fast beliebige Spannung am geöffneten Kontakt anliegen.
- Schalter geschlossen (Ein, leitend): es fließt ein lastbestimmter Strom; es tritt kein Spannungsfall am Schalter auf.
- Schalterbetätigung durch Steuerbefehle Ein/Aus.
- Kein Schalterverschleiß.
- Möglichst hohe Schaltfrequenz.

Halbleiterbauteile kommen den genannten Anforderungen ziemlich nahe. Im Gegensatz zum idealen Schalter haben sie Verluste die nicht überschritten werden dürfen:

- **Sperrverluste** beim Anliegen einer Sperrspannung.
- **Durchlassverluste** beim Stromfluss.
- **Schaltverluste** wegen der endlichen Schaltzeit, d.h. beim Übergang vom stationären Schalt-zustand „Aus“ in den Zustand „Ein“ und umgekehrt.

Beim Betrieb des Halbleiterschalters sind folgende **Grenzwerte** zu beachten:

- Die Höhe der **Sperrspannung**.
- Die Höhe des **Schaltstromes**.
- Die Höhe der **Schaltfrequenz**.
- Die **Betriebstemperatur**.

## Thyristoren

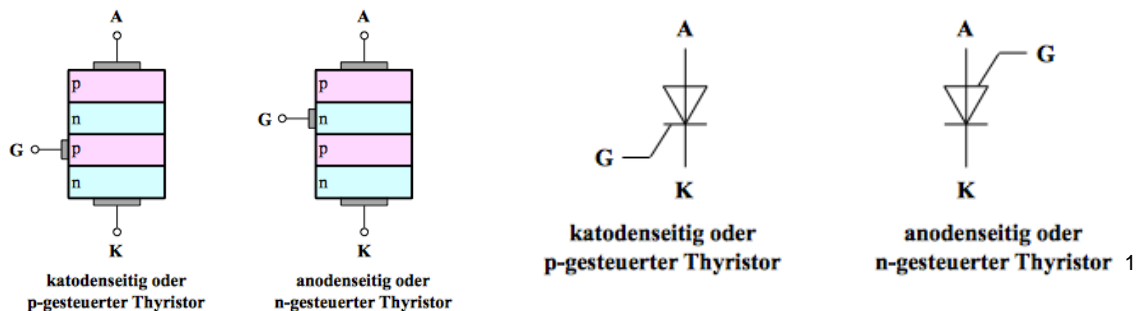
Der Name "Thyristor" ist ein Kunstwort aus Thyatron und Transistor.

Thyatronen waren/ sind Quecksilberröhren mit einer Zündelektrode. Bei einer Quecksilberröhre ist das Zünden zu sehen, wenn sie beim Einsetzen des Stromes hell aufleuchtet. Daher stammt auch der Ausdruck "ein Thyristor zündet".

Im angelsächsischen Sprachraum ist auch die Abkürzung SCR (Silicon Controlled Rectifier) üblich.

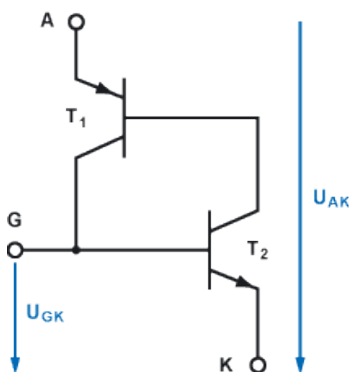
Der Thyristor ist ein Bauteil mit Schalteneigenschaften, d.h. er hat einen hochohmigen und einen niederohmigen Zustand. Über einen Steueranschluss, der als Gate-Elektrode bezeichnet wird, erfolgt das Umschalten vom hochohmigen auf den niederohmigen Zustand.

### Aufbau und Arbeitsweise von Thyristoren



Ein Thyristor besteht aus vier Halbleiterschichten pnpn. Die beiden Außenelektroden heißen **A (Anode)** für die p-Schicht und **K (Kathode)** für die n-Schicht. Die Steuerelektrode **G (Gate)** ist an eine der beiden mittleren Schichten angeschlossen. Je nachdem, ob die n oder p Schicht dazu verwendet wird, spricht man von einem p-Gate-Thyristor bzw. von einem n-Gate-Thyristor.

Die 4 Halbleiterschichten kann man sich als eine Zusammenschaltung aus einem pnp und einem npn Transistor vorstellen.



Nach dem Anlegen der Spannung  $U_{AK}$  passiert zunächst nichts.

Beide Transistoren sind gesperrt, es kann kein Strom fließen.

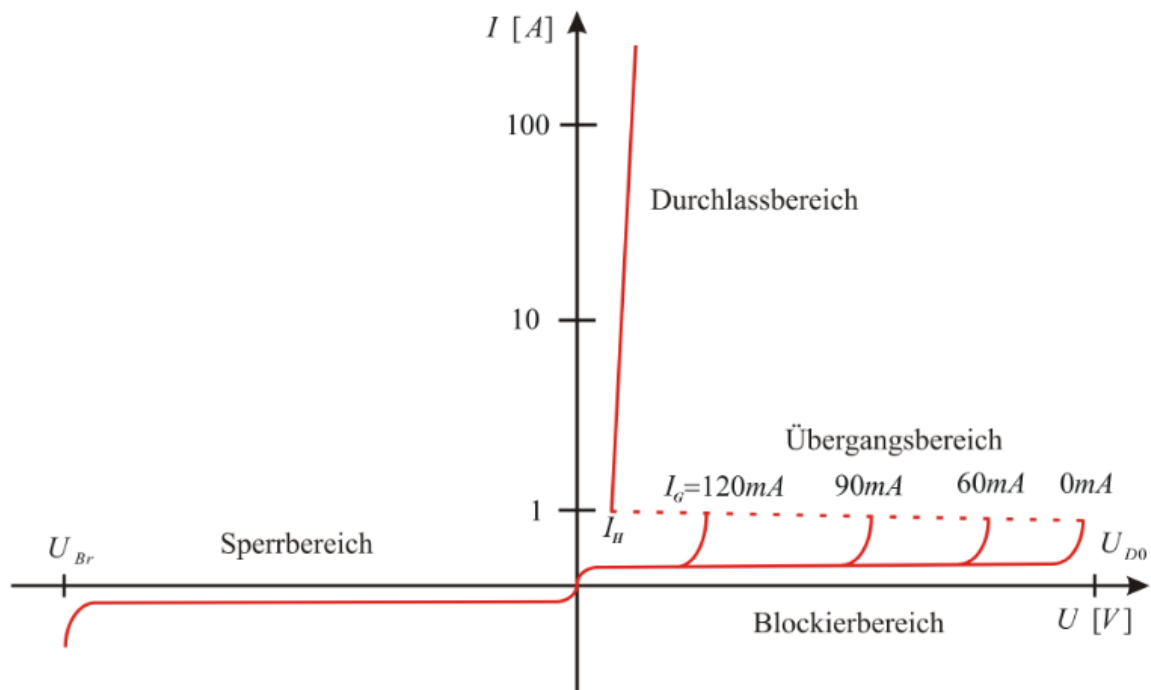
Wird jetzt die Spannung am Gate gegenüber der Kathode in positiver Richtung erhöht, so beginnt in  $T_2$  ein Basisstrom zu fließen. Dadurch wird die Kollektor-Emitterstrecke von  $T_2$  leitend, was wiederum einen Basisstrom für  $T_1$  bedeutet. Wenn  $T_1$  leitend wird, verstärkt das wiederum zusätzlich den Basisstrom von  $T_2$ .

Ab einem gewissen Strom wird der Thyristor durch die gegenseitige Verstärkung der Basisströme schlagartig leitend. Man sagt der Thyristor zündet.

Im niederohmigen Zustand kann der Thyristor einen Widerstandswert von wenigen Milliohm haben. Es muss deshalb ein ausreichend großer Widerstand im Stromkreis des Thyristors geschaltet sein, um den auftretenden Strom zu begrenzen.

<sup>1</sup> <http://elektronik-kurs.net/elektronik/thyristor/>

## Kennlinienfeld



2

In der Strom-Spannung-Kennlinie eines Thyristors wird die Angabe der Mindeststeuerströme  $I_G$  gemacht.

Überschreitet die Spannung  $U_{AK}$  die Nullkipp-Schaltspannung  $U_{D0}$ , dann schaltet sich der Thyristor auch ohne Gatestrom in den niederohmigen Zustand.

Im eigentlichen Betrieb sollte der Thyristor jedoch durch das Gate eingeschaltet werden.

Ist der Thyristor einmal gezündet, so wird er durch den fließenden Laststrom im leitenden Zustand gehalten.

Es ist keine weitere Steuerung über das Gate mehr möglich.

Er bleibt so lange niederohmig, bis der Durchlassstrom einen Mindestwert, den Haltestrom  $I_H$  unterschreitet.

Wird er in einem Wechselstromkreis eingesetzt, so löscht er kurz vor dem Nulldurchgang des Stromes. In der nächsten Halbwelle kann er dann zu einem beliebigen Zeitpunkt gezündet werden und ist dann wieder bis zum Nulldurchgang leitend.

### Besonderheiten

- $\frac{dU}{dt}$  Einen schnellen Spannungsanstieg von  $U_{AK}$  sollte man vermeiden. Denn der Thyristor kann dadurch auch ohne Steuerimpuls vorzeitig in den niederohmigen Zustand kippen, eine sog. Selbstzündung, oder Überkopfzündung = Zündung eines Thyristors ohne Gatestrom.  
Das Ansteigen der Betriebsspannung wird durch die Spannungsteilheit  $\frac{dU}{dt}$  angegeben (z.B. 200V/ $\mu s$  bis 2000V/ $\mu s$ ). Abhilfe: RC Schutzbeschaltung.
- $\frac{dI}{dt}$  Da sich der leitfähige Kanal im Thyristor nur mit endlicher Geschwindigkeit ausbreitet, muss die Anstiegsgeschwindigkeit des Stromes begrenzt werden (20A/ $\mu s$  und 200A/ $\mu s$ ). Abhilfe: Drossel im Thyristorkreis.

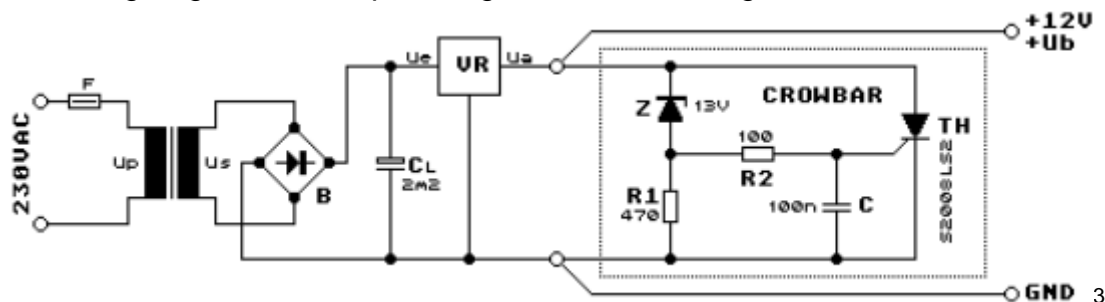
<sup>2</sup> [http://nnp.physik.uni-frankfurt.de/activities/EUS/Skript\\_Teske/Vorlesung12.pdf](http://nnp.physik.uni-frankfurt.de/activities/EUS/Skript_Teske/Vorlesung12.pdf)

## Anwendungen von Thyristoren

### Aktiver Überspannungsschutz mit Thyristor

Ein Anwendungsgebiet für den Thyristor findet sich beim Überspannungsschutz von elektronischen Schaltungen. Im angelsächsischen Sprachraum sind solche Schaltungen als crowbar (Brecheisen) bekannt.

Folgende Schaltung zeigt einen Thyristor-Crowbar in einem Netzteil, das eine konstant geregelte Gleichspannung von +12 V erzeugt.



Sollte ein **Defekt** im Spannungsregler VR auftreten, dann kann es passieren, dass die Ausgangsspannung  $U_a$  den Wert, der über dem Lade-Elko CL unregelte DC-Spannung **+Ub** annimmt.

Diese Spannung würde die angeschlossene Schaltung zerstören.

Dies vermeidet der Crowbar -> der Thyristor TH zündet und schließt die gesamte Schaltung kurz, wodurch blitzschnell die **Schmelzsicherung F** im Primärkreis **durchbrennt**.

Im Fehlerfall steigt die Ausgangsspannung  $U_a$  soweit an, dass die Z-Diode leitet.

Der Spannungsabfall an R1 bewirkt, dass über R2 ein ausreichend großer Gatestrom in den Thyristor fließt.

Der Thyristor zündet und schließt kurz.

Die Ausgangsspannung reduziert sich zunächst auf die Durchflussspannung des Thyristors (1,6 bis 2V) bis die Schmelzsicherung F durchbrennt und abschaltet.

Zum einen dient R2 der Strombegrenzung durch die Z-Diode. Zum anderen bildet er gemeinsam mit C ein Tiefpassfilter welches dazu dient, Fehlzündungen aufgrund von kurzzeitigen Störimpulsen ( $< 1\mu s$ ) zu vermeiden.

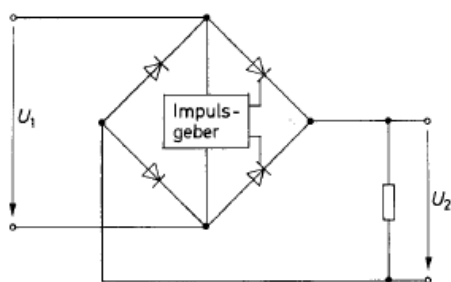
Mit Hilfe des pull down Widerstandes R1 ist das Potential am Thyristorgate im Fall dass die Z-Diode sperrt auf Masse.



Leistungsthyristor für Überspannungsschutz

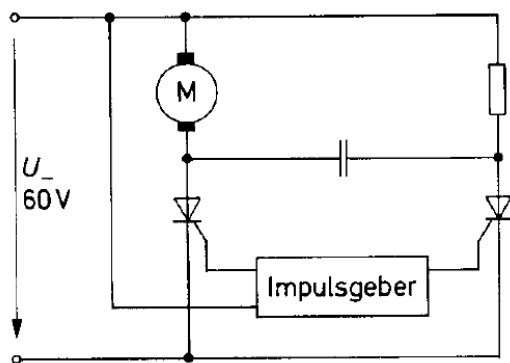
<sup>3</sup> <http://www.elektronik-kompodium.de/public/schaerer/crowbar.htm>

## gesteuerte Gleichrichterschaltung:



Der Impulsgeber bestimmt den Zündverzögerungswinkel und generiert den Steuerimpuls für die Thyristoren. Beide Halbwellen werden angeschnitten (Phasenanschnittsteuerung).

## Steuern batteriebetriebener Fahrzeuge



Die dargestellte Schaltung dient zum kontaktlosen Abschalten. Der linke Thyristor, der Hauptthyristor Th1, kann die große Last schalten. Der Abschaltthyristor kann für eine kleinere Last bemessen werden.

Während des niederohmigen Zustands von Th1 ist Th2 gesperrt und der Kondensator lädt sich auf (auf ca. 58V).

Wird nun der Abschaltthyristor gezündet, so sinkt die Spannung an dessen Anode auf ca. 2V ab, wodurch der linke Pol des Kondensators kurzzeitig das Potential -56V aufweist. Durch dieses Potential wird der Thyristor 1 in den hochohmigen Zustand gekippt.

Der Kondensator lädt sich dann über den Motor und Th2 um.

Danach ist der Strom durch den Thyristor 2 nur noch durch den Widerstand R begrenzt.

Ist R genügend hochohmig, so wird der Haltestrom unterschritten und der Thyristor 2 schaltet selbsttätig wieder ab.

Th2 muss den Ladestrom von C aushalten!

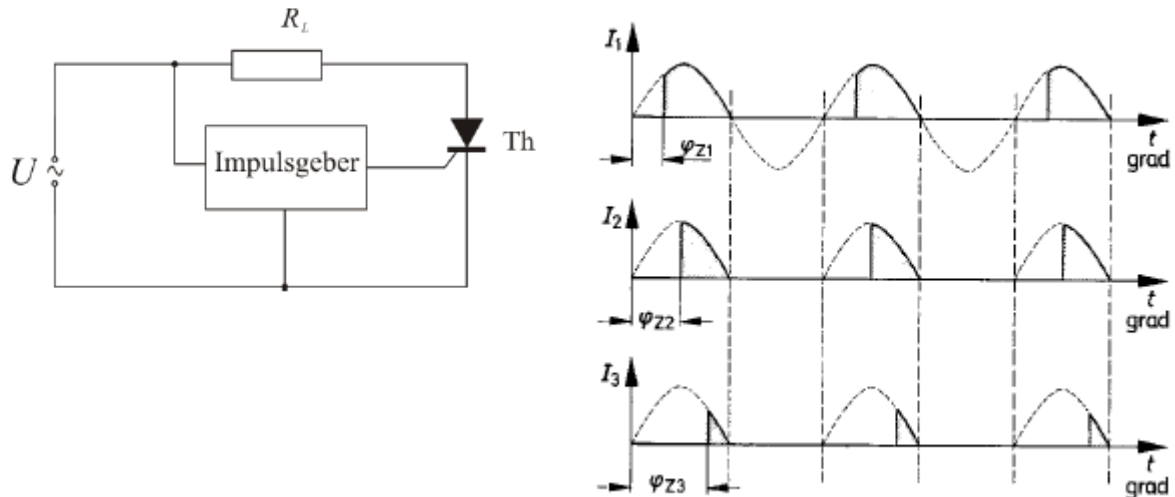
Für die Dimensionierung von C ist die **Freiwerdezeit**  $t_F$  von Th1 und die Größe des Laststromes wichtig.

Der Kondensator muss während der Freiwerdezeit ständig eine negative Anodenspannung am Th1 garantieren.

Bsp.:  $U = 60V, t_F = 10\mu s, \text{Laststrom } 10A$

### Anschnittsteuerung<sup>4</sup>

Thyristoren werden überwiegend als kontaktlose Schalter eingesetzt. Der Thyristor zündet in jeder Periode bei der zum Zündverzögerungswinkel  $\varphi_z$  gehörenden Zeit  $t_z$ . Der Thyristor bleibt dann bis zum Stromnulldurchgang niederohmig. Es ergeben sich angeschnittene Stromhalbwellen. Ändert man die Phasenlage von  $U_{GK}$  so ändert man  $\varphi_z$ . Durch Verschieben des An schnittpunktes lässt sich das Produkt aus  $U$  und  $I$  am Verbraucher ändern, was gleichbedeutend mit einer Leistungssteuerung ist.

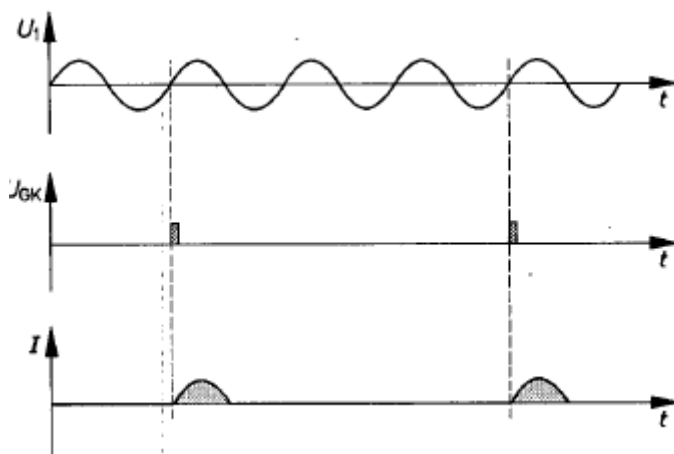


Je größer der Zündverzögerungswinkel ist, desto schmaler sind die angeschnittenen Stromhalbwellen. Man nennt dieses Verfahren An schnittsteuerung.

Es ergibt sich eine sehr ungleichmäßige Belastung des Versorgungsnetzes. Die sinusförmigen Spannungs- und Stromverläufe werden verzerrt und dadurch entstehen Oberwellen!

### Halbwellensteuerung

Hierfür werden Steuerimpulse mit einer veränderbaren Impulsfolgefrequenz und starrer Phasenlage zu erzeugen.

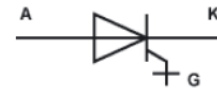


Dies ermöglicht ein Sperren bestimmter positiver Halbwellen. Diese Art der Steuerung nennet man Halbwellensteuerung. Ausgangsspannung und Ausgangsleistung sind umso geringer, je mehr positive Halbwellen gesperrt sind. Die Halbwellensteuerung erzeugt wesentlich weniger Oberwellen.

<sup>4</sup> Beuth, Klaus; Vogel Fachbuch Elektronik2, Bauelemente, Würzburg, Seite 261ff

## Weitere Ausführungsformen von Thyristoren

Schaltzeichen



### 1. GTO Thyristoren

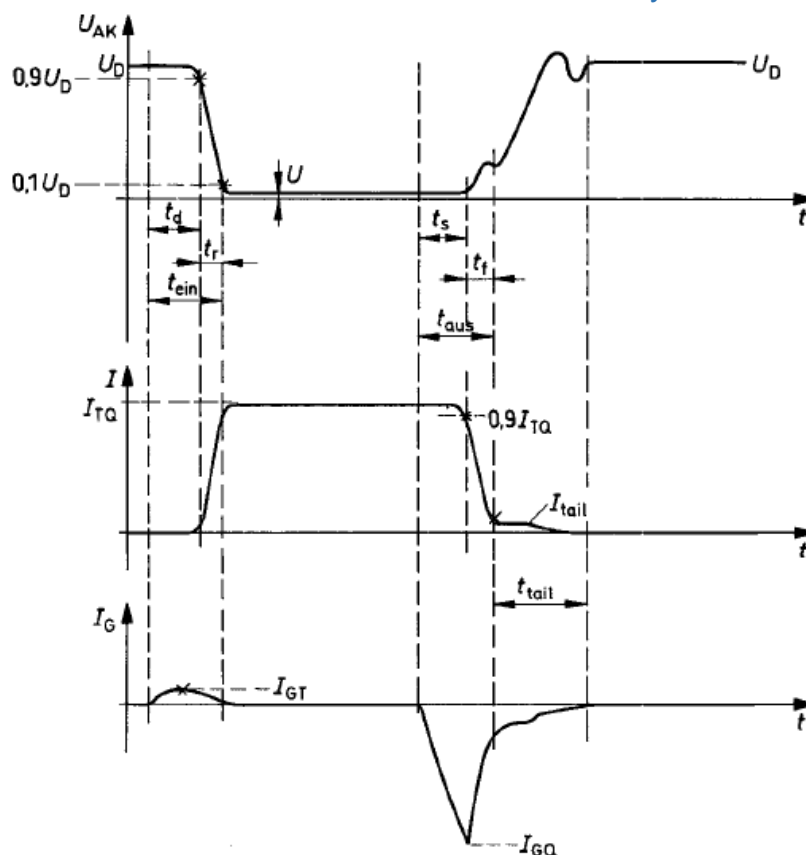
Der GTO- (Gate-turn-off-) bzw. abschaltbarer Thyristor kann wie ein herkömmlicher Thyristor durch einen Gateimpuls gezündet werden, aber zusätzlich durch einen Steuerstrom in umgekehrter Richtung auch gelöscht werden.

Zum Abschalten ist ein relativ großer Abschaltstrom notwendig, der etwa 20% bis 30% des Laststromes beträgt. Die Schaltzeiten von GTO-Thyristoren sind umso kleiner, je größer und steiler die Steuerströme sind und ansteigen.

#### Übliche Kennwerte

Laststrom	$I_{TQS}$	400A
Zündstrom (Einschalt Steuerstrom)	$I_{GT}$	2A
Abschalt Steuerstrom	$I_{GQ}$	100A
Maximale Sperrspannung	$U_{DRM}$	1800V

#### Einschalten und Ausschalten von GTO Thyristoren



5

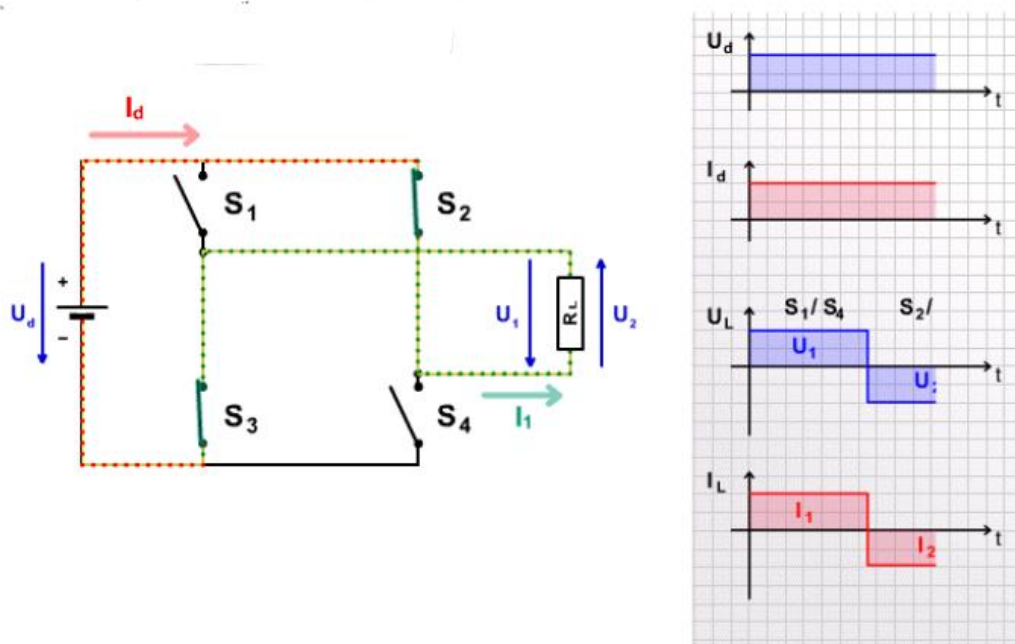
Einschaltzeit	$t_{ein}$	Ausschaltzeit	$t_{aus}$
Verzögerungszeit (delay time)	$t_d$	Speicherzeit (storage time)	$t_s$
Ausstiegszeit (rise time)	$t_r$	Abfallzeit (fall time)	$t_f$
		Nachstromzeit (tail time)	$t_{tail}$

<sup>5</sup> Beuth, Klaus; Vogel Fachbuch Elektronik2, Bauelemente, Würzburg, Seite 264

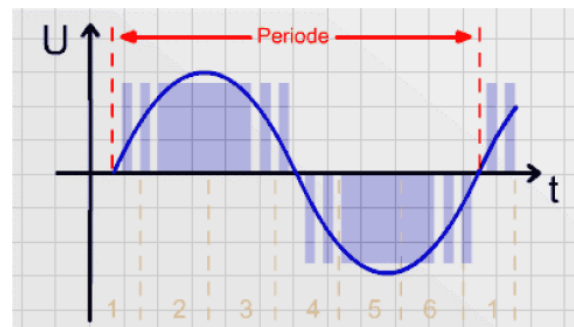


## Anwendungen

GTO Thyristoren eignen sich gut zum Aufbau von sogenannten Wechselrichtern, welche Gleichspannungen in Wechselspannungen umrichten.



Durch eine entsprechend aufwändige Ansteuerung der elektronischen Schalter lässt sich aber die Ausgangswechselspannung so beeinflussen, dass sie einer sinusförmigen Wechselspannung sehr nahe kommt.



6

Der Effektivwert der Motorspannung wird durch die Einschaltdauer der Gleichspannung beeinflusst. Dieses Prinzip lässt sich auch auf das Dreiphasenwechselstromsystem übertragen, wodurch Drehstromverbraucher an einer Gleichspannung betrieben werden können.

<sup>6</sup> <http://www.vcb.de/VCB-ContentB/mechatronik/basiswissen/gllt/gllt01q01/files/script.pdf>, Seite 57

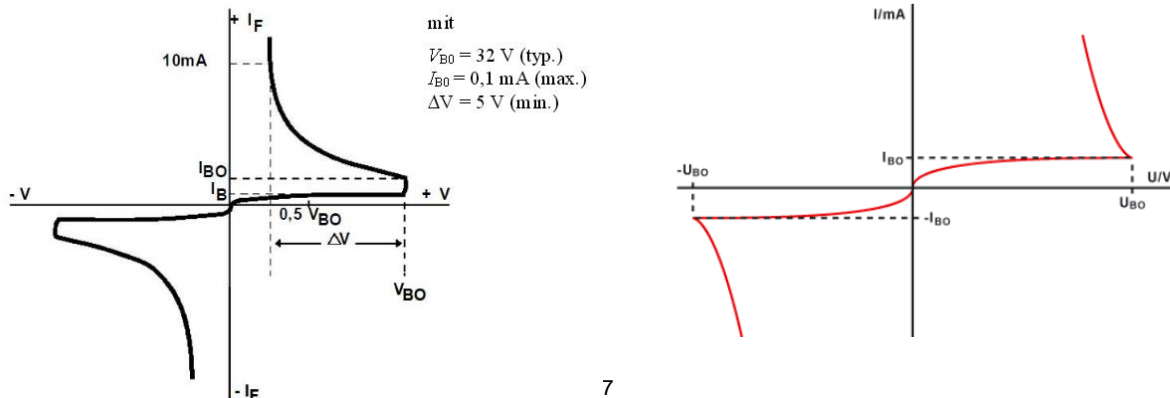


Schaltzeichen



### 3. Diac

Der Diac (Diode alternating current switch) entspricht vom Aufbau her einem Thyristor ohne Gatesteueranschluss. Der Diac ist ein Halbleiterbauelement mit Schalteneigenschaften. Er hat einen hochohmigen und einen niederohmigen Zustand. Der Diac schaltet bei der Durchbruchspannung  $U_{BO}$



Beim Überschreiten einer Kippspannung, der Durchbruchspannung  $U_{BO}$ , wird der Diac leitend und schaltet vom hochohmigen in den niederohmigen Zustand. Der gegenparallele

Aufbau des Diac ermöglicht diese Leitung oberhalb der Kippspannung für beide Stromrichtungen.

Diacs werden für die Impulserzeugung in Steuersätzen verwendet. Der Zündwinkel bei einer Triacsteuerung wird oft mit einem RC-Glied und einem Diac eingestellt, wobei über den stellbaren Widerstand die Zeitkonstante der Aufladung bis zur Kippspannung des Diac verändert wird.

#### Übliche Kennwerte

Durchbruchspannung	$U_{BO} \approx 32V$
Durchbruchstrom	$I_{BO} \approx 50\mu A$
Haltespannung	$U_H \approx 20V$

<sup>7</sup> <http://public.rz.fh-wolfenbuettel.de/~buchwald/vl/eb/Kap5EB.pdf>

Schaltzeichen



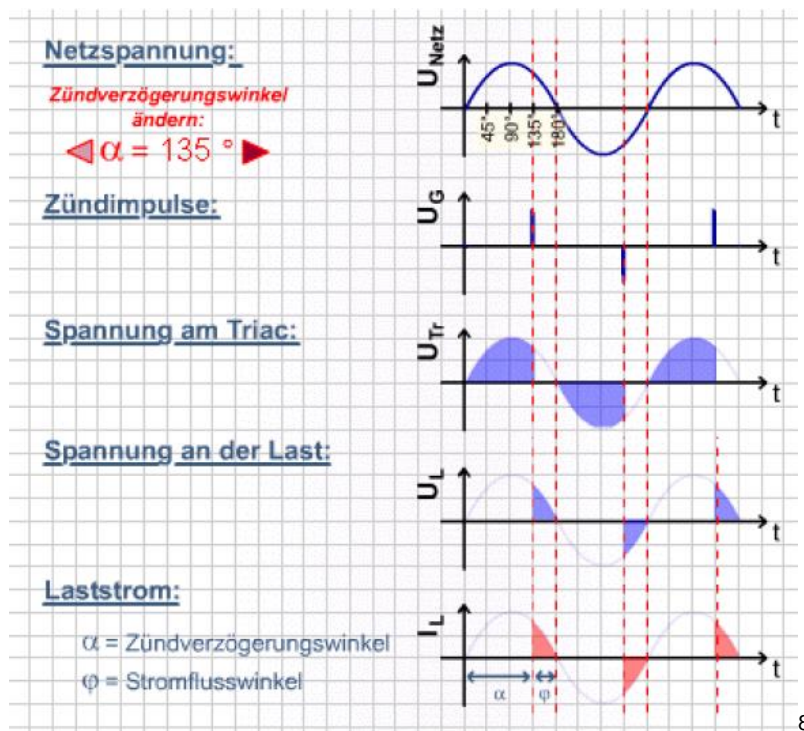
## 4. Triacs

Triacs sind prinzipiell nichts anderes als zwei integrierte antiparallele Thyristoren in einem Gehäuse. Sie werden über einen gemeinsamen Steueranschluss (Gate) angesteuert und verhalten sich wie zwei Thyristoren.

Bei der Phasenanschnittsteuerung erfolgt die Zündung des Triacs stets mit Impulsen. Damit eine Änderung der Effektivwerte von Lastspannung und Laststrom möglich ist, müssen diese Steuerimpulse in ihrer Phasenlage zur Netzwechselspannung verschiebbar sein.

Die Verschiebung der Steuerimpulse gegenüber einem Nulldurchgang der Wechselspannung wird als Zündverzögerungswinkel  $\alpha$  angegeben. Als Stromflusswinkel  $\varphi$  wird dagegen der Phasenwinkel bezeichnet, während dem Strom durch den Verbraucher fließt.

Da Triacs wie Thyristoren bei jedem Nulldurchgang der Betriebsspannung wieder in den Sperrzustand zurückkippen, muss die Zündung in jeder Halbwelle neu erfolgen.



8

### Anwendungen von Triacs

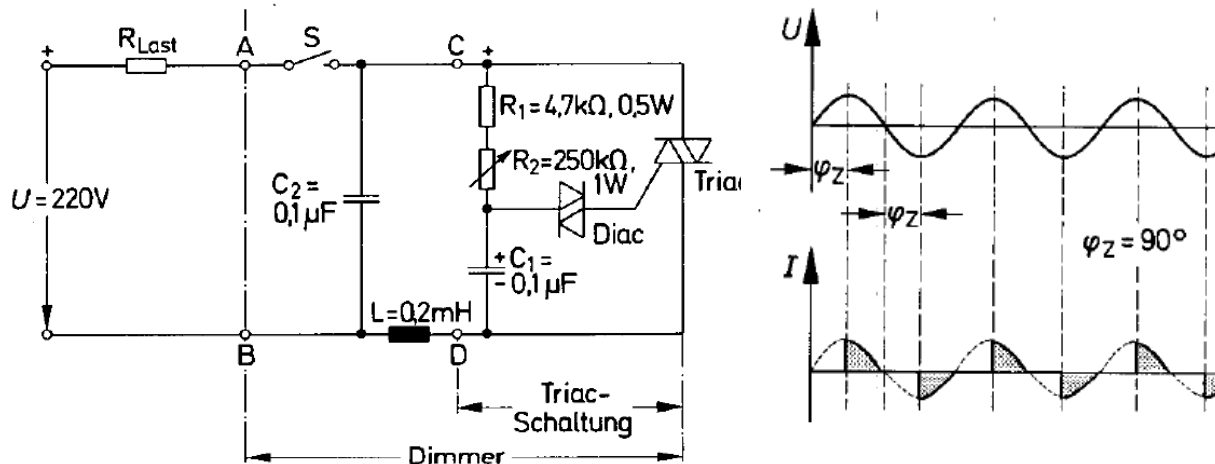
Recht einfach und kostengünstig lassen sich Phasenanschnittsteuerungen mit einem Triac und einem Diac aufbauen. Wird als Lastwiderstand eine Glühlampe verwendet, so wird eine Phasenanschnittsteuerung auch als **Dimmer** bezeichnet.

Bei der Phasenanschnittsteuerung erfolgt die Zündung des Triacs immer erst mit einer bestimmten Phasenverschiebung gegenüber dem Beginn einer Sinushalbwellen. Dadurch lässt sich der Effektivwert der Ausgangsspannung und damit auch die mittlere Leistungsaufnahme des Verbrauchers in einem Bereich von 0% bis 100% einstellen.

<sup>8</sup> <http://www.vcb.de/VCB-ContentB/mechatronik/basiswissen/gllt/gllt01q01/files/script.pdf> Seite 51

### Dimmerschaltung<sup>9</sup>

Die Phasenanschnittsteuerung arbeitet mit Thyristoren und Triacs und gestattet es, die umgesetzte Leistung durch Phasenanschnitt stufenlos von etwa 0% bis 100 % zu verändern.



Der dargestellte Triac hat einen höchstzulässigen Strom von 10A, daraus ergibt sich für die Last (z.B. Glühlampe) ein Mindestwert von  $R_{Last} = \frac{220}{10} = 22\Omega$ .

Ein Dimmer darf nur in Reihe mit einem genügend großen Lastwiderstand betrieben werden, da der Triac ansonsten durch einen zu großen Laststrom zerstört wird!

#### Positive Halbwelle:

Während der Triac gesperrt ist, liegt zwischen den Punkten C und D die volle Netzspannung. Der Kondensator lädt sich mit der Zeitkonstanten  $\tau = (R_1 + R_2) \cdot C_1$  auf. Je größer  $\tau$  ist, desto langsamer lädt sich der Kondensator auf. Erreicht die Kondensatorspannung die Durchbruchspannung  $U_{B0}$  des Diac (z.B. 30V), so kippt dieser in den niederohmigen Zustand und der Kondensator  $C_1$  gibt einen Steuerimpuls an das Gate des Triac. Der Triac schaltet in den niederohmigen Zustand und ein Laststrom kann fließen (außerdem entlädt sich  $C_1$ ).

Der Triac ist bis zum Spannungsnulldurchgang leitend.

#### Negative Halbwelle:

Während des hochohmigen Zustands des Triac lädt sich  $C_1$  mit umgekehrter Polarität auf bis wiederum  $U_C$  groß genug ist um den Diac in den leitenden Zustand zu versetzen und den Steuerimpuls an den Triac abgibt.

Die Ladegeschwindigkeit bestimmt somit den Zündzeitpunkt und den Zündverzögerungswinkel  $\varphi_Z$  des Triac. **Mit dem Potentiometer  $R_2$  kann die Ladegeschwindigkeit eingestellt werden.**

$\varphi_Z$  kann zwischen  $5^\circ$  und  $180^\circ$  bzw.  $185^\circ$  und  $360^\circ$  eingestellt werden. Damit ist es möglich die Leitung an der Last zwischen beinahe voller Leistung und Null kontinuierlich einzustellen.

Die Bauteile L und  $C_2$  dienen der Entstörung.

<sup>9</sup> Beuth, Klaus; Vogel Fachbuch Elektronik2, Bauelemente, Würzburg, Seite 276

### Funkenstörung

Die sogenannte Phasenanschnittsteuerung erzeugt Oberwellen, die sich ohne technische Maßnahmen im Netz ausbreiten würden.

Laut Norm dürfen nur bestimmte Anteile von jeder Oberwelle aus dem Gerät ins Netz eingespeist werden.

Für die folgende Betrachtung ist der Thyristor die Störquelle  $U_{in}$  und die Spannung am Netzanschluss ist zu berechnen.

Für diverse Geräte ist die Phasenanschnittsteuerung nicht geeignet:  
Zur Helligkeitsregelung von Leuchtstofflampen einschließlich der Energiesparlampen (Kompaktleuchtstofflampen) sind Phasenanschnittsteuerung in der Regel nicht geeignet, außer wenn die Elektronik der Leuchte speziell hierfür entwickelt wurde. Gleiches gilt für Leuchtdioden (LED-Lampen).

- Kapazitive Lasten (z. B. Schaltnetzteile) können zur Zerstörung einer Phasenanschnittsteuerung führen, da beim Einschalten hohe Stromspitzen entstehen.
- Dagegen sind viele (aber nicht alle) Phasenanschnittsteuerungen für induktive Lasten (z. B. Transformatoren) geeignet.

Diverse elektronische Geräte funktionieren nicht ordnungsgemäß mit einer nicht sinusförmigen Versorgungsspannung.

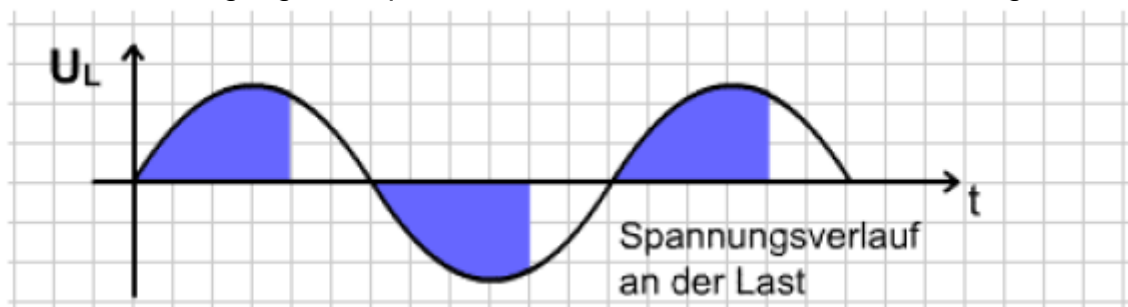
Sogenannte Universaldimmer erkennen automatisch welche Last vorliegt und wirken demnach als Phasen- oder -abschnittsteuerung.

### Phasenabschnittsteuerung<sup>10</sup>

Das Prinzip der Phasenabschnittsteuerung beruht darauf, dass im Nulldurchgang der Netzwechselspannung gezündet wird. Durch eine geeignete Zeitsteuerung wird der Stromfluss innerhalb der jeweiligen Halbwelle abgeschaltet.

Der technische Aufwand hierfür ist etwas höher, aber solche Steuerungen sind für kapazitive (nicht für induktive) Lasten geeignet, beispielsweise für viele Schaltnetzteile. Ansonsten gelten ähnliche Einschränkungen wie bei der Phasenanschnittsteuerung.

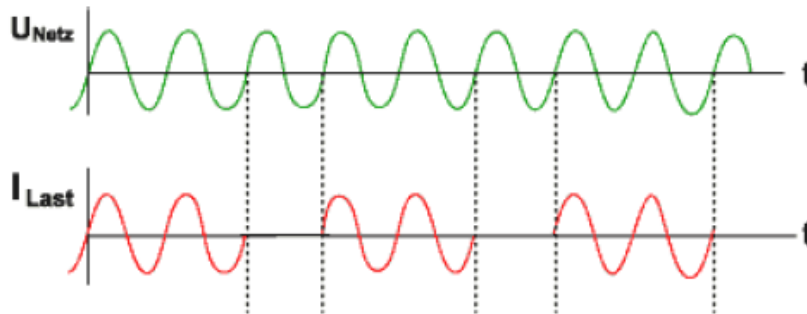
Die Phasenabschnittsteuerung wird insbesondere zur Steuerung von Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten und zum Dimmen von Niedervolt-Halogenglühlampen mit elektronischen Transformatoren eingesetzt.



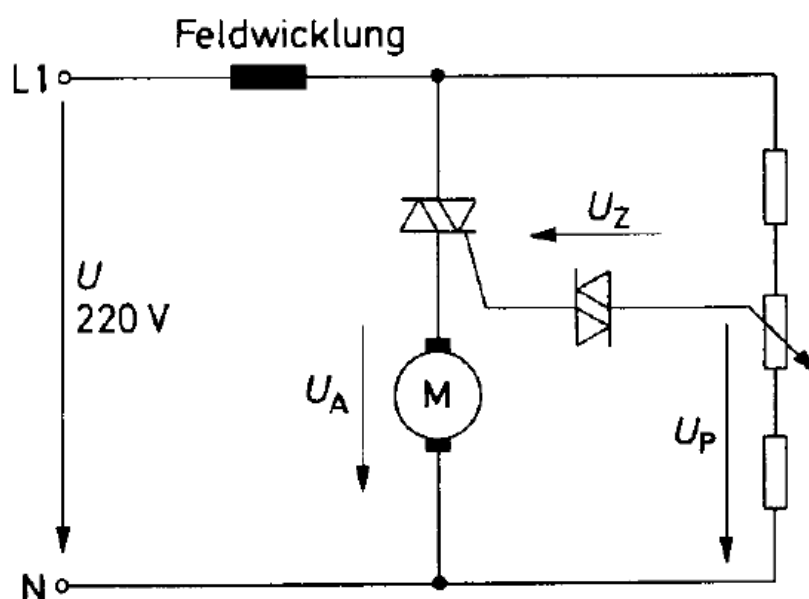
<sup>10</sup> <http://www.vcb.de/VCB-ContentB/mechatronik/basiswissen/gllt/gllt01q01/files/script.pdf> Seite 53

### Schwingungspaketsteuerung <sup>11</sup>

Bei der Schwingungspaketsteuerung wird der Verbraucher abwechselnd für eine bestimmte Anzahl von Perioden ein- und ausgeschaltet. Das Ein- und Ausschalten erfolgt jeweils im Nulldurchgang der Netzwechselspannung. Diese Aufgabe übernehmen Nullspannungsschalter. Mit ihnen kann z.B. ein Thyristor exakt im Nulldurchgang gezündet werden. Damit wird ein sinus-förmiger Verlauf des Laststromes erzielt. Netzstörungen, wie sie bei der Phasenanschnittsteuerung auftreten, werden weitgehend vermieden. Einschalt- und Pausendauer können dabei so verändert werden, dass die vom Verbraucher aufgenommene mittlere Leistung von 0% bis 100% gesteuert werden kann.



### Motor-Drehzahlsteuerung



Masche:  

$$-U_Z + U_P - U_A = 0$$

Die Zündspannung ergibt sich zu  $U_Z = U_P - U_A$

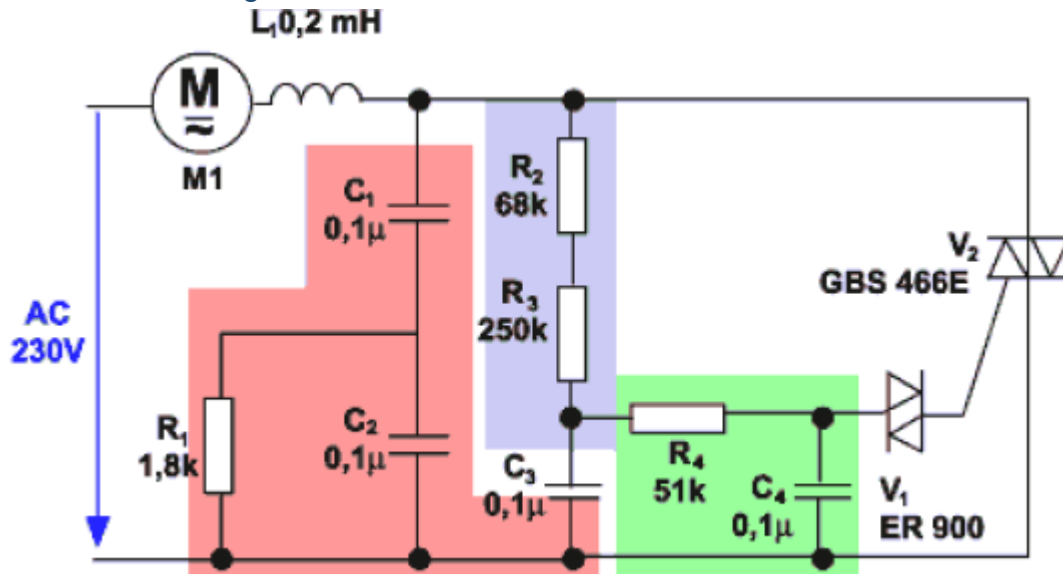
Die induzierte Ankerspannung  $U_A$  ist proportional zu Drehzahl  $n$ . Sinkt die Drehzahl ab, so wird dadurch die Ankerspannung geringer und die Zündspannung größer. Der Diac zündet früher.

Der Motor erhält mehr Leistung und dreht wieder schneller.

Mit Hilfe des Potentiometers kann die Nenndrehzahl eingestellt werden.

<sup>11</sup> <http://www.vcb.de/VCB-ContentB/mechatronik/basiswissen/gllt/gllt01q01/files/script.pdf> Seite 54

## Drehzahlsteuerung beim Universalmotor



Beim Universalmotor, der sowohl mit Gleichstrom, als auch mit Wechselstrom betrieben werden kann, lässt sich die Drehzahl durch Veränderung des Effektivwertes der Netzwechselspannung verändern.

Mit  $R_2$ ,  $R_3$  und  $C_3$  kann man den Zündzeitpunkt des Triacs und damit die Drehzahl einstellen.

$R_4$  und  $C_4$  verringern die Hysterese des Schaltvorganges. Diese macht sich dadurch bemerkbar, dass der Triac bei unterschiedlichen Winkeln ein- und ausschaltet.

$R_1$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  und die Drossel  $L_1$  dienen der Funkentstörung.



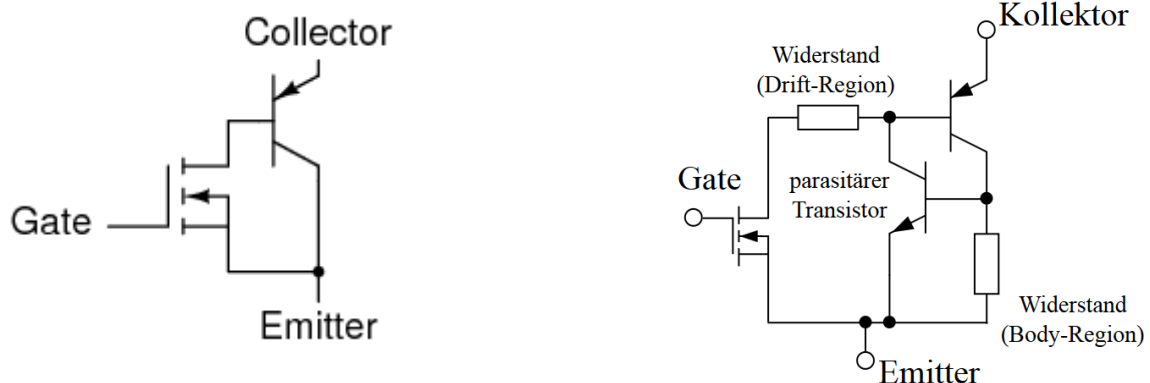


## 6. IGBT

Für Schaltanwendungen im Leistungsbereich weisen Bipolartransistoren zu hohe Basisströme auf. Eine Alternative ist der MOS-FET, der auch in weiten Bereichen der Energieumformung mit höheren Frequenzen und niedriger Spannungsfestigkeit Anwendung findet. Nachteilig sind die relativ hohen Durchschaltverluste zufolge des Spannungsabfalls zwischen Drain und Source ( $R_{DS} \approx 0,01\Omega$ ).

Weiters nimmt dieser Widerstand bei Erhöhung der Sperrfestigkeit mehr als quadratisch zu  $R_{DS} \sim U_{DS,max}^{2,6}$

Die Lösung für beide Probleme (hoher  $R_{DS}$  und niedrige  $U_{DS,max}$ ) stellt ein Hybrid aus MOS-FET und Bipolartransistor dar, der IGBT.<sup>12</sup>



Ein IGBT (**Insulated Gate Bipolar Transistor**) kann im ersten Ansatz wie eine Kombination aus Feldeffekt-Transistor und bipolarem Transistor betrachtet werden, bei der ein N-Kanal FET einen PNP Bipolartransistor ansteuert.

IGBT vereint die Vorteile des Bipolartransistors (gutes Durchlassverhalten, hohe Sperrspannung, Robustheit) und Vorteile eines Feldeffekttransistors (nahezu leistungslose Ansteuerung).

Daher ist der IGBT bezüglich der Ansteuereigenschaften wie der FET als spannungsgesteuertes Bauelement zu betrachten, und hat ein "Gate".

Die weiteren Eigenschaften ähneln aber einem Bipolartransistor, daher werden diese Anschlüsse mit "Kollektor" und "Emitter" bezeichnet.

IGBTs zeichnen sich aus durch geringste Leistungsverluste im Durchlass- und Sperrzustand, sie benötigen nur geringe Ansteuerungsleistungen und haben einen hohen Wirkungsgrad, der maßgeblich von der Schaltfrequenz bestimmt wird.

IGBTs werden bei Spannungen zwischen 600 V und 6 kV eingesetzt und arbeiten mit Schaltfrequenzen von 2 kHz bis 50 kHz.

Damit sie eine möglichst geringe Steuerleistung benötigen, werden technologisch MOSFET-Gates benutzt, was als weiteren Vorteil die hohe Eingangsimpedanz mit sich bringt.

Üblich sind n-Kanal-IGBTs.

<sup>12</sup> DI, Dr. Andreas Magauer: IE3, Kapitel 6, Bauelemente und Leistungselektronik

### Snubber Kondensatoren für IGBT-Schaltungen<sup>13</sup>

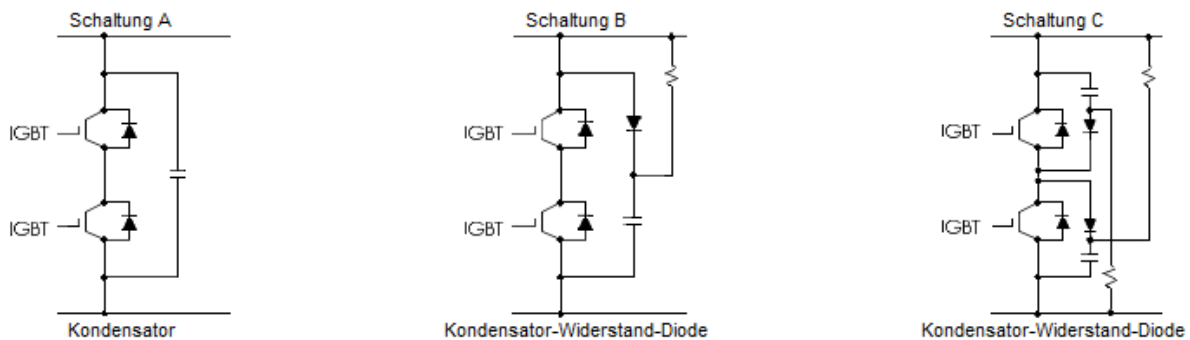
Die mit IGBTs realisierbaren Schaltleistungen bei kürzesten Schaltzeiten bedingen einen sehr induktionsarmen Schaltungsaufbau.

Die geringe Eigeninduktivität des Leistungsbusses kann gefährliche Spannungsüberhöhungen zwischen Kollektor und Emitter induzieren, die zur Zerstörung der Leistungshalbleiter führen können.

Zur Absicherung der Bauelemente werden sogenannte Snubberschutzbeschaltungen<sup>14</sup> eingesetzt.

Wichtigstes Bauelement ist dabei ein induktionsarmer Impulskondensator zum Dämpfen bzw. Abschneiden der Spannungsspitzen.

Im Allgemeinen werden im Bereich der IGBTs drei Grundschaltungen von "snubber circuits" eingesetzt.



Dabei hat der Kondensator die Aufgabe, gefährliche Induktionsspannungen, die beim Schalten der oftmals sehr hohen Ströme entstehen, zu unterdrücken.

Die wichtigsten Kriterien für die Auswahl eines solchen Kondensators sind

- niedrige Eigeninduktivität
- niedriger ESR (Equivalent Series Resistance)
- hohe Impulsbelastbarkeit
- geringer Verlustfaktor

### Auswahlkriterien: FET oder IGBT?

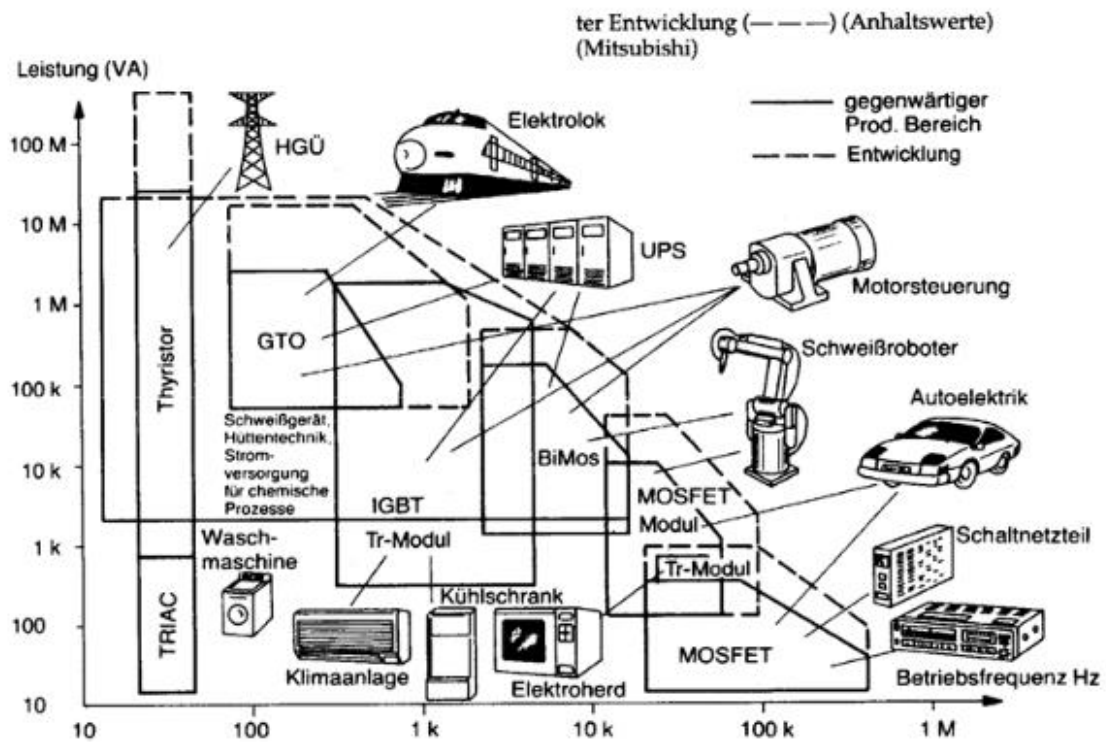
Welche Wahl getroffen wird, hängt vor allem von den technischen Anforderungen ab. FETs sind vorteilhaft, wenn eine der folgenden Bedingungen zutrifft:

- Frequenz ist höher als ca. 100kHz (IGBTs sind zu langsam)
- Spannung ist unter ca. 100V (Durchlass-Verluste sind beim FET geringer)
- Strom ist unter ca. 10A (Durchlass-Verluste sind beim FET geringer)

<sup>13</sup> <http://www.wima.de/DE/igbt.htm>

<sup>14</sup> Snubber „Dämpfer“. Als Snubber-Glied bezeichnet man eine elektrische Schaltung, die störende Hochfrequenzen oder Spannungsspitzen neutralisieren soll, die meist beim Schalten induktiver Lasten auftreten, wenn der Stromfluss abrupt unterbrochen wird

## Übersicht der Einsatzbereiche



15

<sup>15</sup> [http://electro.ltett.lu/ELECTRO/X2EE\\_TECEN\\_files/X2EE\\_GR\\_Schaltungen\\_stud.pdf](http://electro.ltett.lu/ELECTRO/X2EE_TECEN_files/X2EE_GR_Schaltungen_stud.pdf)