

Vorbereitungsaufgaben: Leistungselektronik

1. Aufgabe:

- Zeichnen und erläutern Sie die ideale und reale I/U Thyristorkennlinie. Was haben diese mit den Diodenkennlinien gemeinsam?
- Welche 3 Zündungsarten des Thyristors sind möglich?
- Erläutern Sie die Funktionsweise eines NPN- und PNP-Transistors. Wie müssen die Transistoren beschaltet werden, damit sie als Schalter leiten? Wie funktioniert das Thyristormodell mit 2 Transistoren?

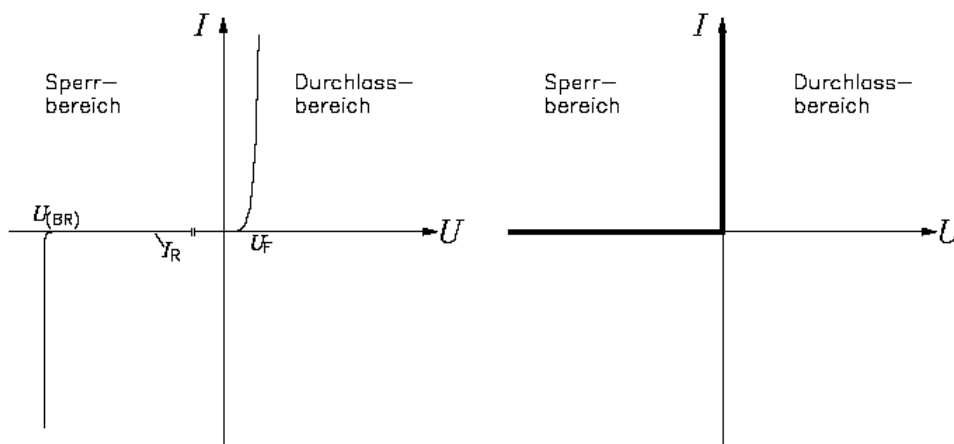


Abbildung 3.2: Reale und ideale I/U -Kennlinie der Diode

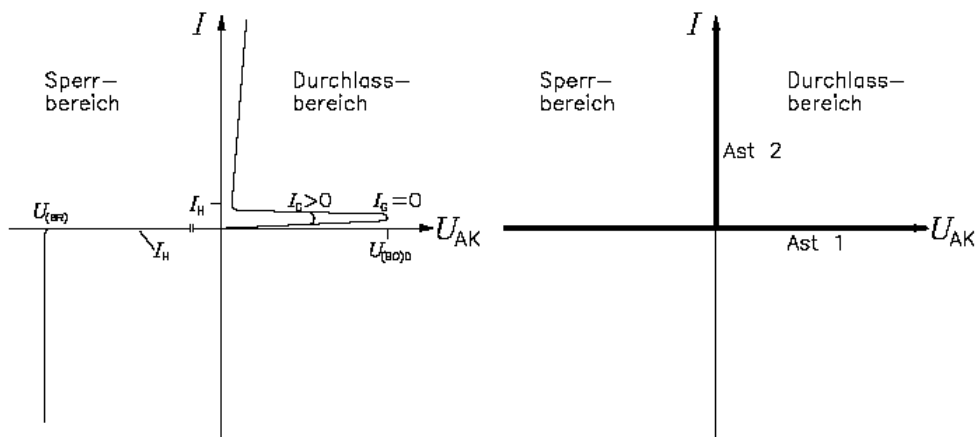


Abbildung 3.5: Reale und ideale I/U -Kennlinie des Thyristors

Zu a): Gemeinsamkeiten:

Beide Bauelemente besitzen einen Sperr- und einen Durchlassbereich, sind also nur in einer Richtung leitend. Beide Bauelemente weisen eine negative Durchbruchspannung auf, bei der auch im Sperrbereich hohe Ströme fließen können. Sowohl bei der realen Diode als auch beim realen Thyristor gibt es einen Spannungsabfall am Bauelement in Durchlassrichtung, das heisst, beide Bauteile sind nicht ideal leitend. Ebenso sperren sie im Sperrbereich nicht

vollkommen, es fließt ein sehr geringer Sperrstrom.
(bedingt durch Minoritätsladungsträger).

Im Rahmen der Leistungselektronik kann man aber sehr gut mit der idealen Vorstellung eines Thyristors arbeiten.

Annahmen: $I_R = 0$, $I_D = 0$, $U_T = 0$

- Zu b): 3 Möglichkeiten:
1. Anlegen eines Steuerstroms I_G am Gate
 2. Überschreiten der Nullkippspannung $U_{(BO)0}$ (Der Thyristor zündet dann auch bei $I_G = 0$)
 3. (du/dt) -Zündung [zu rascher Anstieg der positiven Sperrspannung.

2. und 3. bezeichnet man auch als Eigenzündung des Thyristors. Dies ist allerdings in der Leistungselektronik unerwünscht, da man den Thyristor gezielt zünden möchte.

- Zu c): Ein Transistor besteht aus drei dotierten Schichten, hat also 2 pn-Übergänge. Dabei gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten der Kombination. Besteht der Transistor aus zwei p- und einer n-dotierten Schicht spricht man von einem pnp-Transistor, analog bei einem p- und zwei n-dotierten Schichten von einem npn-Transistor.
Unabhängig von der Art des Transistors leitet dieser bei Anschluß in Richtung des p-n-Übergangs.
Ein Transistor hat 3 Anschlussmöglichkeiten. Die Basis, den Kollektor und den Emittor. Die Basis ist immer die mittlere Schicht.



Thyristormodell mit 2 Transistoren:

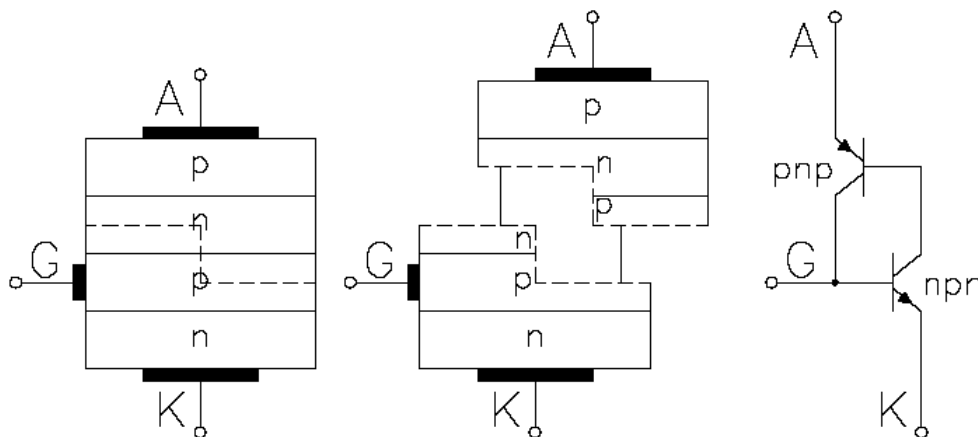
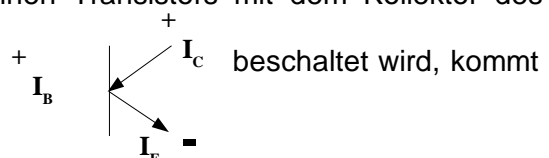


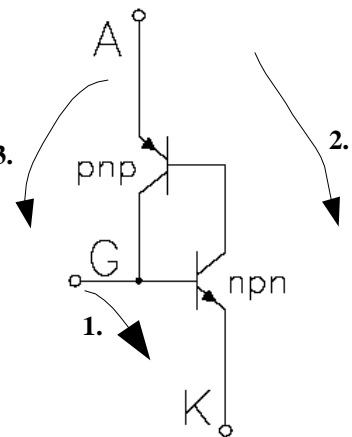
Abbildung 3.7: Zerlegung der Thyristorstruktur in 2 Transistoren

Die 4 Schichten des Thyristors werden geschickt geteilt und man kann sich vorstellen, dass jeweils die Basis des einen Transistors mit dem Kollektor des anderen Transistors verbunden ist.

Wenn jetzt der npn-Transistor nun so:



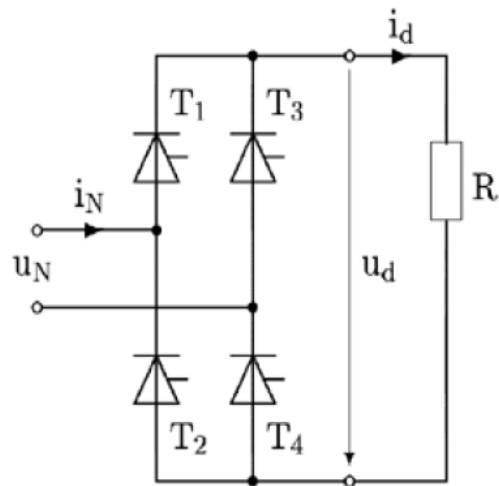
Zunächst fließt der Strom nur in Richtung des ersten pn-Übergangs, also direkt vom Gate zur Kathode. Der Gatestrom wird aber auch verstärkt und geht als Basisstrom in den pnp-Transistor. Damit kann nun auch der Strom direkt von der Anode zur Kathode fließen. Der Basisstrom des pnp-Transistors wird nun aber auch wieder verstärkt und geht zusammen mit dem Gatestrom wieder in die Basis des npn-Transistors. Ist der Strom genügend verstärkt kommt es zur Mitkopplung, der Thyristor zündet vollständig.



2. Aufgabe:

Gegeben ist die nebenstehende Brückenschaltung. U_n ist dabei die Netzspannung.

- Ersetzen Sie die Thyristoren mit Dioden und zeichnen Sie farbig die Stromverläufe sowie die Richtungen für die positive und die negative Halbwelle in die Brücke ein.
- T_1 und T_4 sind Thyristoren, T_2 und T_3 sind Dioden. Der Zündwinkel α beträgt 30° . Berechnen Sie den arithmetischen Mittelwert der Spannung am Verbraucher R .
- T_1, T_2, T_3, T_4 sind Thyristoren, $\alpha = 60^\circ$. Berechnen Sie nun den Mittel- und Effektivwert der Spannung U_d .



- Die Halbleiter in der Schaltung bestehen weiterhin aus Thyristoren. Zeichnen Sie für die ersten 2 Perioden: $U_n(t)$, $i_n(t)$, $u_d(t)$, $i_d(t)$ sowie die Spannung am T_1 .
- Zeichnen Sie die entsprechenden Zündimpulse. Warum leitet die Thyristorbrücke nach dem Nullübergang nicht mehr und muss deswegen neu gezündet werden?
- $R = 100 \text{ Ohm}$, berechnen Sie die umgesetzte Leistung für $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 180^\circ$.

Zu a):

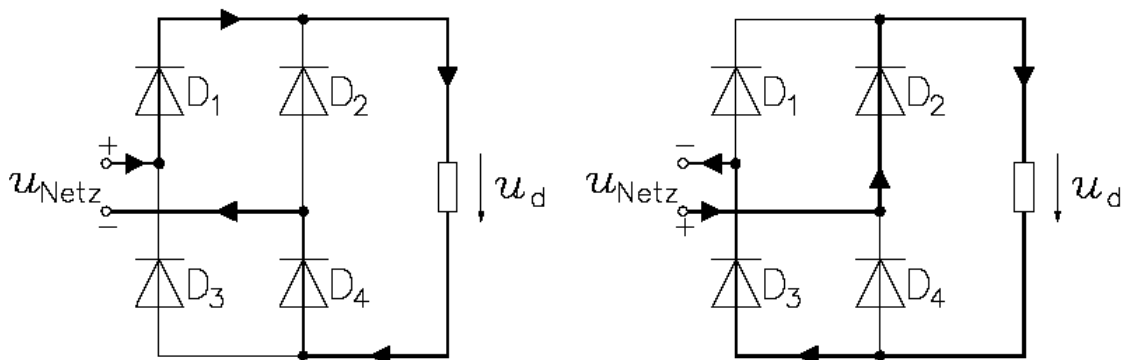


Abbildung 4.6: Brückengleichrichter mit Dioden

Zu b):

$$\hat{U}_{d, Diode} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \hat{u} \sin(\omega t) d\omega t = \frac{\hat{u}}{\pi} = \frac{230 \cdot \sqrt{2}}{\pi} = 103,536 V$$

$$\hat{U}_{d, Thyristor} = \frac{1}{2\pi} \int_{30^\circ = \frac{\pi}{6}}^{\pi} \hat{u} \sin(\omega t) d\omega t = \frac{\hat{u}}{2\pi} (1 + \cos 30^\circ) = 96,6 V$$

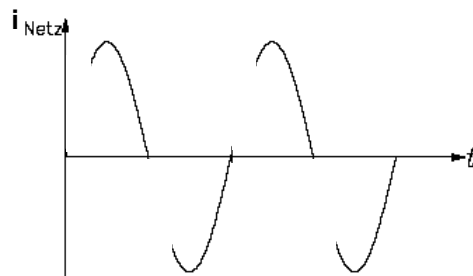
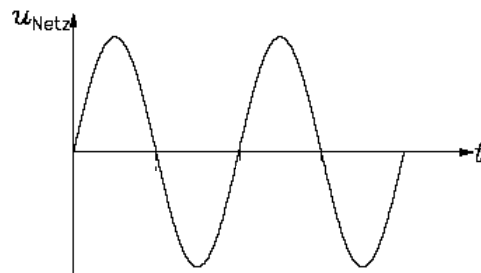
$$\frac{\hat{U}}{2\pi} \left(3 + \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \underline{\underline{200,137 V}} = 103,536 V + 96,6 V$$

Zu c):

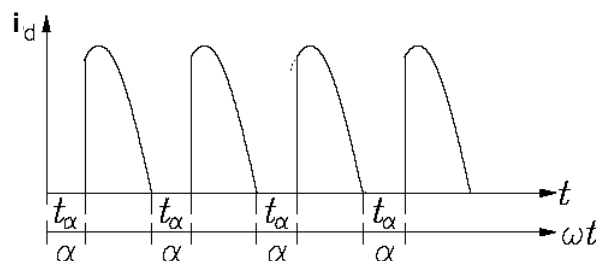
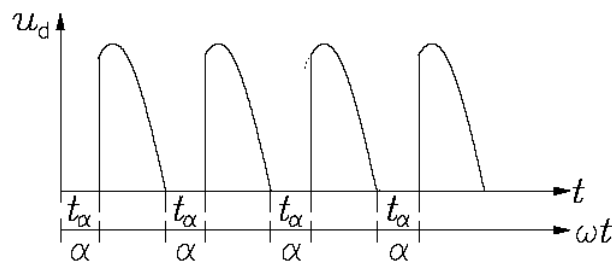
$$\bar{U}_d = 2 \cdot \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\pi} \hat{u} \sin(\omega t) d\omega t = \frac{230 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \right) = \frac{3\hat{U}}{2\pi} = \underline{\underline{155,3 V}}$$

$$U_{eff} = \hat{U} \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\pi} \sin^2(\omega t) d\omega t} = \hat{U} \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\frac{5\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = \underline{\underline{320,28}}$$

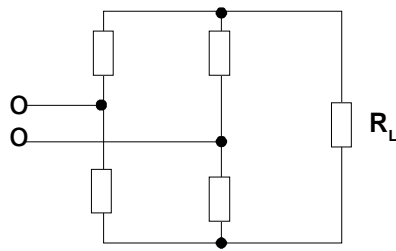
Zu d):



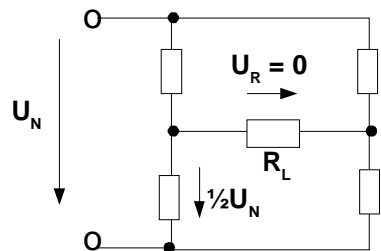
(Nur Strom, wenn Spannung an der Last, also nur bei gezündetem Transistor!)



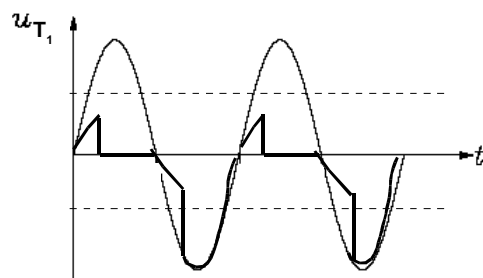
Für T_1 : Thyristoren wirken wie große Widerstände.



Ersatzschaltbild:



Alle Thyristoren sind gleich gross, also fließt keine Spannung über $R_L \rightarrow$ An jedem Thyristor liegt die halbe Netzspannung an.



solange der Thyristor noch nicht gezündet hat, ist die Spannung halb so hoch, wie die Netzspannung. Zündet der Thyristor, liegt keine Spannung mehr an T_1 an, da er nun ideal leitend ist.

Beim Nulldurchgang wird der Thyristor wieder gelöscht und es liegt wieder die halbe Netzspannung an. Nun schalten T_2 und T_3 durch und es liegt die volle negative Netzspannung am Kreislauf T_1 und T_4 an, bis es wieder zum Nulldurchgang kommt.

Zu e):



Zu f):

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{2}{T} \int_{\alpha}^{\frac{T}{2}} \frac{U_N^2}{R} \sin^2(\omega t) d\omega t$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_N^2 \sin^2(\omega t) d\omega t$$

$$= \frac{U_N^2}{2R\pi} (\pi - \alpha - \sin \alpha \cos \alpha)$$

$$\text{Für } 0^\circ : P = \frac{U_N^2}{2R} = 264 \text{ W}$$

$$\text{Für } 30^\circ : P = \frac{U_N^2}{2R} \left(\frac{5\pi}{6} - \frac{\sqrt{3}}{4} \right) = 576,84 \text{ W}$$

$$\text{Für } 180^\circ : P = 0$$