

## Thyristor

Datum:		Uhrzeit:		
Name	Vorname	Matr.-Nr.	Teilnahme-Testat	Protokoll-Abnahme

### Ziel des Versuchs:

Messung des Zünd- und Löschvorganges an einem Thyristor bei Gleichspannung sowie Ermittlung der Steuerkennlinie einer gesteuerten Einweggleichrichtung bei Wechselspannung.

### 1. Vorbemerkungen

#### 1.1 Wirkungsweise und Aufbau eines Thyristors (prinzipiell)

Ein Thyristor ist eine steuerbare Diode, d.h. er stellt zunächst eine in beiden Spannungsrichtungen sperrende Diode dar, die aber bei in Durchlassrichtung anliegender Spannung durch einen Steuerstromimpuls "gezündet", d.h. durchlässig gemacht werden kann. Der einmal gezündete, also stromführende Thyristor kann nicht durch eine Ansteuerung gelöscht werden, vielmehr setzt seine Sperrfähigkeit in Durchlassrichtung erst wieder ein, nachdem der Strom einen minimalen Wert, den Haltestrom  $I_H$ , unterschritten hat.

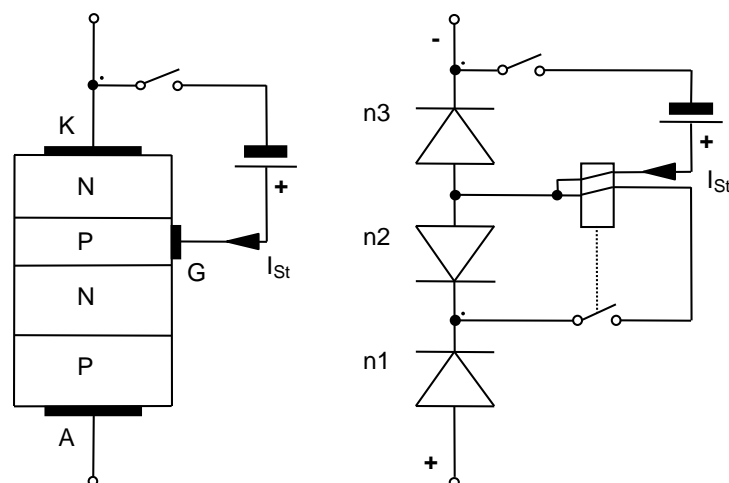


Bild 1: Prinzipieller Aufbau und Ersatzschaltbild eines Thyristors

Realisiert wird der Thyristor durch 4 Halbleiterschichten mit abwechselnder Dotierung (n-p-n-p), wobei die äußere p-Schicht die Anode, die äußere n-Schicht die Kathode ist. Die innere p-Schicht trägt den Steueranschluss (Gate). In Bild 1 ist ein Ersatzschaltbild des Thyristors dargestellt. Die anliegende Spannung ist dann in Durchlassrichtung, wenn  $A = +$  und  $K = -$  gegeben ist, da dann die beiden Ersatzdioden n1 und n3 in Durchlassrichtung liegen und nur n2 sperrt. Die Überwindung der Sperrfähigkeit dieser mittleren Ersatzdiode n2 erfolgt durch eine

Ansteuerung (Zündung) und der Selbsthalteeffekt ist durch ein Relais mit Selbsthaltekontakt dargestellt. Wird der Strom durch den Thyristor unter den Haltestrom abgesenkt und fließt kein Steuerstrom, so fällt das Relais ab, d.h. die mittlere Ersatzdiode  $n_2$  geht wieder in Sperrverhalten.

Aus der Wirkungsweise des Thyristors geht hervor, dass er bei Gleichstrom nur durch Kunstgriffe gelöscht werden kann und dass er bei Wechselstrom in jeder Periode erneut gezündet werden muss.

## 1.2 Die Kennlinie des Thyristors

Bild 2 zeigt das Kennlinienfeld eines Thyristors. Hier unterscheidet man zwischen Sperrbereich, Durchlassbereich und Blockierbereich. Die Kennlinie im Sperrbereich hat den gleichen Verlauf wie eine Diode. Die Durchlasskennlinie unterscheidet sich hiervon erheblich. Bei Unterschreiten des Haltestromes geht der Arbeitspunkt auf die Blockierkennlinie über. Wird der Gatestrom zu Null gemacht, so zündet der Thyristor bei Erreichen der maximalen Blockierspannung  $U_{BT0}$  und der Arbeitspunkt springt auf die Durchlasskennlinie.

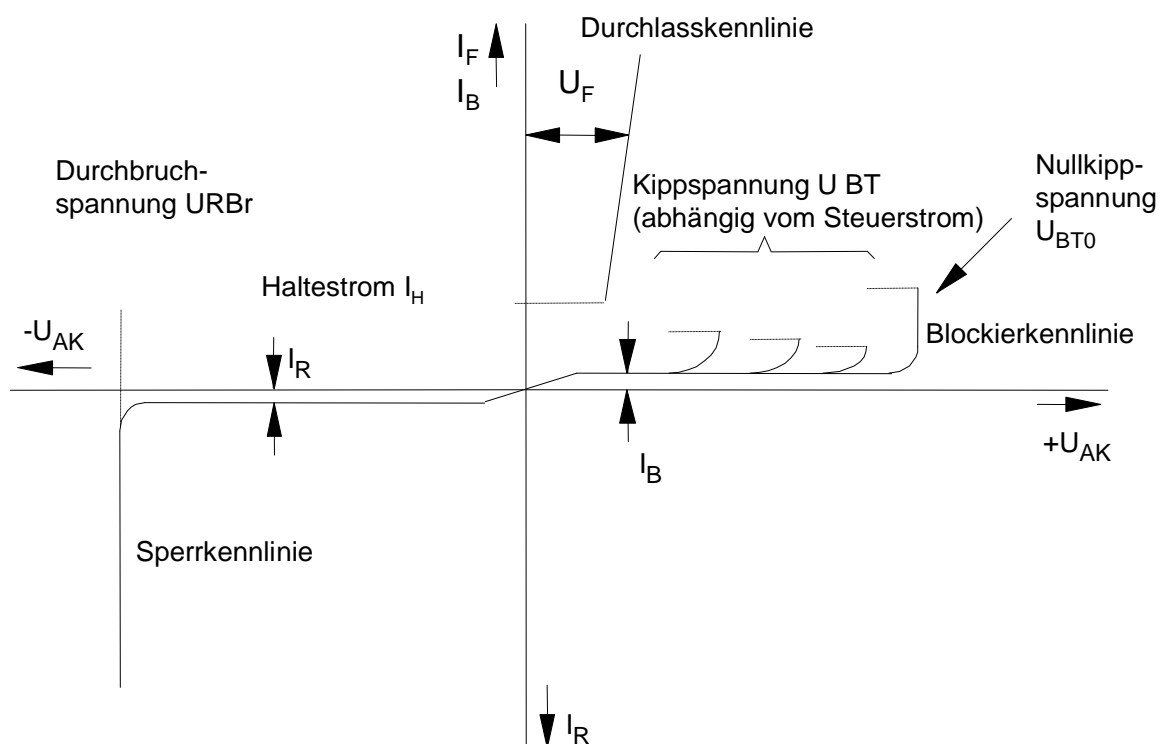


Bild 2: Kennlinienfeld eines Thyristors

Wird der Gatestrom erhöht, so verringert sich die Blockierspannung kontinuierlich. Für sicheres Zünden in Durchlassrichtung ist ein bestimmter minimaler Steuerstrom erforderlich (etwa 1...10mA). Da nach dem Zünden kein Steuerstrom mehr erforderlich ist, werden in der Praxis nur kurze Zündimpulse angelegt (Impulslänge etwa 10...100µs).

## 1.3 Der Thyristor zur Ansteuerung im Wechselstromkreis

Wird ein Thyristor in einen Wechselstromkreis geschaltet, so besteht während einer Halbwelle (wenn die Spannung am Thyristor in Durchlassrichtung liegt) die Möglichkeit, ihn zu zünden. Dabei übernimmt ein sogenannter Steuersatz die Aufgabe, Zündimpulse zu erzeugen, die netzsynchron sind und jeweils einen einstellbaren Winkel (Steuerwinkel  $\alpha$ ) nach dem Spannungsnulldurchgang liegen. Bild 3 zeigt, wie durch Veränderung des Steuerwinkels  $\alpha$  die am Verbraucher liegende Spannung verändert werden kann. Für den Steuerwinkel  $\alpha = 0$  ergibt sich ein Verhalten wie bei einer normalen Diode, für  $\alpha = 180^\circ$  wird der Thyristor praktisch nicht gezündet.

und der Verbraucher erhält keine Spannung. Alle Betrachtungen gelten hier für ohmsche Last. Für jeden Steuerwinkel  $\alpha$  lässt sich ein arithmetischer Mittelwert  $U_d$  und ein geometrischer Mittelwert (Effektivwert)  $U_{eff}$  sowie ein Scheitelfaktor  $F_s$  und ein Formfaktor  $F_f$  ermitteln.

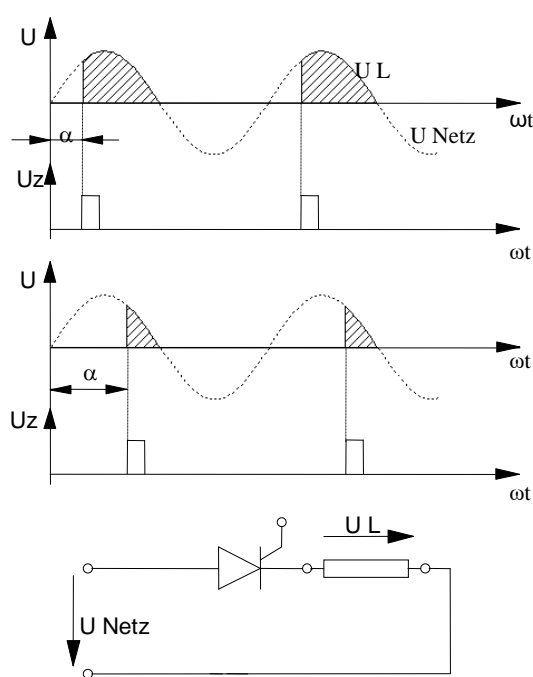


Bild 3

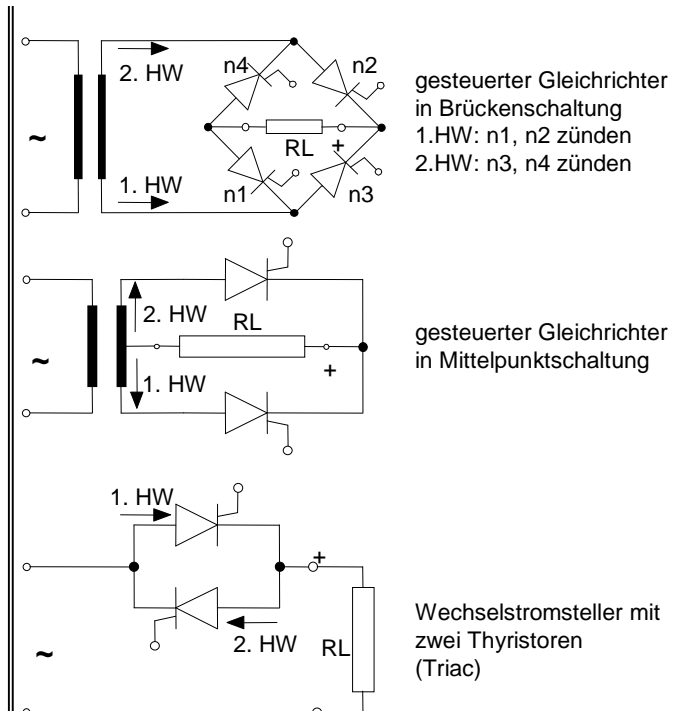


Bild 4

Die Darstellung der Spannungsmittelwerte über dem Steuerwinkel wird in der Literatur als Steuerkennlinie bezeichnet. Dabei werden die Spannungsmittelwerte in der Regel normiert, d.h. bezogen auf die maximalen Mittelwerte bei  $\alpha = 0$ , aufgetragen. In diesem Laborversuch werden die Steuerkennlinien wie folgt bezeichnet:

$$S1(\alpha) = \frac{U_d(\alpha)}{U_d(\alpha=0)}$$

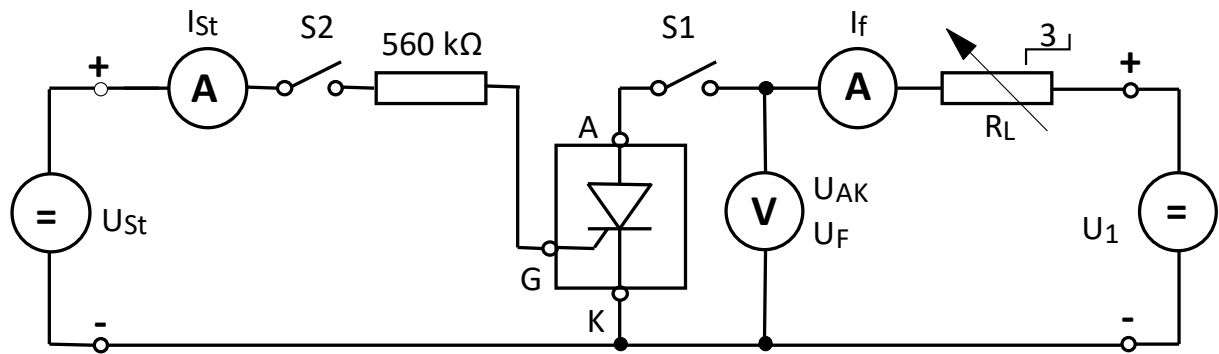
$$S2(\alpha) = \frac{U_{eff}(\alpha)}{U_{eff}(\alpha=0)}$$

Soll ein Verbraucher einen phasengeschnittenen Wechselstrom erhalten, so muss für jede Halbwelle ein Thyristor vorgesehen werden und ein Steuersatz zwei Zündimpulse erzeugen, die jeweils um  $1/2 T$  versetzt sind (Wechselstromsteller). Bei Gleichrichterschaltungen unterscheidet man Mittelpunktschaltungen und Brückenschaltungen. Sind die Ventile als Thyristoren mit Steuersätzen ausgeführt, so kann dem Verbraucher eine gesteuerte Gleichspannung zugeführt werden (Bild 4).

Für die Erzeugung der Zündimpulse, synchronisiert mit dem Netz und in der Phasenlage einstellbar, werden spezielle ICs eingesetzt (z.B. UAA 145). Dabei werden die von den IC erzeugten Impulse über Zündübertrager (Zündtrafo), die eine Anpassung an die erforderlichen Steuerströme gestatten, an die Thyristoren gegeben.

Auf die besondere Problematik des Einsatzes von Thyristoren bei induktiven Lasten und für Wechselrichter (Zwangslöschung) wird hier ebenso wenig eingegangen wie auf das Thema der dynamischen Eigenschaften und der erforderlichen Schutzschaltungen von Thyristorschaltungen. Dies sind spezielle Themen der Leistungselektronik.

## 2. Versuch: Thyristortyp: TIC 106 D



Schaltbild 1: Versuchsaufbau

### 2.1 Ermittlung der erforderlichen Zündströme bei Gleichstrom - siehe Schaltbild 1

- $U_{St} = 0$ ,  $U_{AK} = 0$ , S1 schließen, S2 schließen ( $I_{St} = 0$ )
- $U_{AK}$  einstellen, S1 schließen, Schalter auf 14  $\Omega$ , Messgerät  $I_f$  auf 2A
- $I_{St}$  langsam steigern (durch Vergrößern von  $U_{St}$ ) bis Zündung erfolgt
- S1 öffnen, S2 öffnen,  $U_{St}$  etwas verringern
- Punkte a) bis d) mehrmals wiederholen

Messwerte:

$U_{AK}$ in V	10	30
$I_{St}$ in $\mu A$		

### 2.2 Ermittlung der Durchlasskennlinie und des Haltestromes

Siehe Schaltbild 1!

- S1 und S2 öffnen,  $U_{AK} = 30$  V einstellen, Schalter auf 14  $\Omega$
- S2 schließen und genügend großen Steuerstrom einstellen, S2 öffnen
- S1 schließen, Thyristor durch S2 zünden, S2 öffnen
- Werte für Durchlasskennlinie nach Protokoll messen, ab 100 mA auf 234  $\Omega$  und Messgerät auf 200 mA: Bitte beachten, dass der Strom mittels der Netzteilspannung zu verändern ist!
- Haltestrom  $I_H$  ermitteln mit Schalter Widerstandsbox in Mittelstellung (47 K $\Omega$ ) durch Verringerung der Spannung  $U_1$  von 30V ab.

**Achtung: Bei Messungen mit hohen Strömen wird die Widerstandsbox warm!**

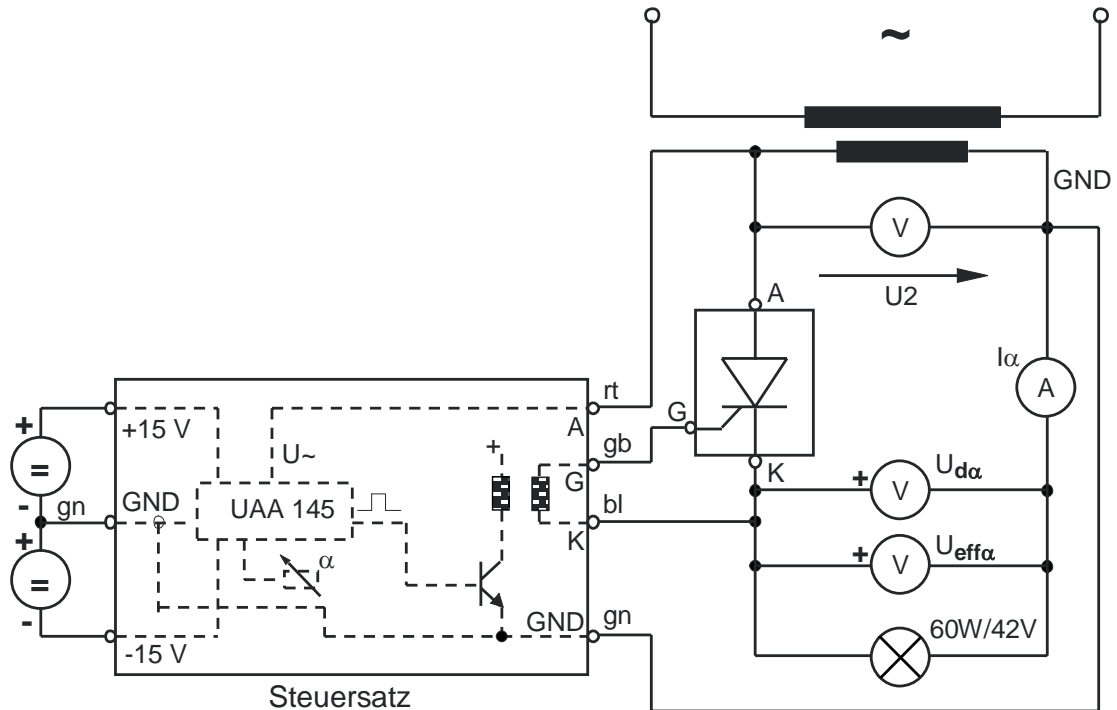
Messwerte eintragen:

$I_f$ in mA	1.800	1.400	800	400	200	100	50	20	10	5
$U_F$ in V										

Haltestrom:  $I_H = \underline{\hspace{2cm}} \mu A$

## 2.3 Ermittlung der Steuerkennlinien für arithmetischen und für geometrischen Mittelwert für gesteuerte Einweggleichrichtung

Siehe Schaltbild 2!



Schaltbild 2: Gesteuerte Einweggleichrichtung

a) Schaltung nach Schaltbild 2 aufbauen

b) Oszilloskop anschließen:

Kanal A: Signal A gegen GND

Kanal B: Signal K gegen GND

Triggerung mit Kanal A, DC, Slope +, Level 0  
Zeitablenkung einstellen auf 1 DIV = 20 Grad el.

c) Spannung  $U_d$  und  $U_{eff}$  für die Steuerwinkel  $\alpha$  nach Protokoll messen  
( $U_{\sim}$  mit Stelltrafo konstant halten)

**Messprotokoll:**

Steuerwinkel $\alpha$	$U_{\sim}=\text{const. [V]}$	$U_d$ [V]	$U_{\text{eff}}$ [V]	$F_f$	$S1 = f(\alpha)$	$S2 = f(\alpha)$
0°	40					
10°	40					
20°	40					
30°	40					
* 40°	40					
50°	40					
60°	40					
70°	40					
80°	40					
* 90°	40					
100°	40					
110°	40					
120°	40					
* 130°	40					
140°	40					
150°	40					
160°	40					
170°	40					
180°	40					

### 3. Auswertungen

Zu verwendende Formeln:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \hat{U} \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) \quad F_f = \frac{U_{eff}}{U_d}$$
$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \hat{U}^2 \cdot \sin^2(\omega t) \cdot d(\omega t)} \quad S1_{(\alpha)} = \frac{U_{d(\alpha)}}{U_{d(\alpha=0)}}$$
$$S2_{(\alpha)} = \frac{U_{eff(\alpha)}}{U_{eff(\alpha=0)}}$$

#### 3.1 Protokoll zu 2.3. durch Rechenwerte ergänzen

#### 3.2 Durchlasskennlinie $I_F = f(U_F)$ graphisch darstellen

#### 3.3 Steuerkennlinien $S1(\alpha)$ und $S2(\alpha)$ graphisch darstellen (siehe 1.3.)

#### 3.4 Diagramm $F_f(\alpha)$ graphisch darstellen

#### 3.5 Kontrollrechnungen durchführen

Für die im Messprotokoll mit \* gekennzeichneten Messpunkte sind ausführliche Kontrollrechnungen durchzuführen. Es sind die Integrale  $U_{d(\alpha)} = f(U, \alpha)$  und  $U_{eff(\alpha)} = f(U, \alpha)$  zu lösen und in eine technisch verwendbare Formel zu bringen. Der Lösungsweg muss erkennbar sein!