

Thyristor und Triac
Untersuchung des Verhaltens im Gleich- und Wechselstromkreis

Studiengang: KIT
Set: 3.08 Platz: 4
Teilnehmer: Michael Goldbach, Jürgen Döflinger

Datum: 20.01.2011

A. F. Kahnt

Zielstellung

3.5 ! Wäher des Thyristors!

- Bestimmung des zum Zünden erforderlichen Gatestromes I_{Gmin}
- Bestimmung von Einschalt- und Abfallstrom
- Zündung des Thyristors durch Stromimpuls, Bestimmung der Mindestimpulsdauer
- Impulslöschung des Thyristors
- Phasenanschnittsteuerung von Thyristor und Triac

1. Begriffe und Formelzeichen

Thyristor, Triac, Zündstrom I_{GT} , Abfallstrom I_{AT} , Einschaltstrom I_{HT} , Nullkippspannung U_{K0} , Durchbruchspannung U_{BR} , Sperrstrom I_R , Zündwinkel Θ , Phasenanschnittsteuerung

2. Versuchsvorbereitung

- 2.1. Wiederholen Sie den Vorlesungsabschnitt "Thyristoren". Machen Sie sich mit den in Punkt 1. angegebenen Begriffen und Formelzeichen vertraut.
- 2.2. Skizzieren Sie den qualitativen Verlauf der I/U-Kennlinie einer Thyristortriode. Tragen Sie die wichtigsten Kenngrößen in die Skizze ein und erläutern Sie diese.
- 2.3. Erklären Sie die Wirkungsweise eines Thyristors anhand des Ersatzschaltbildes mit komplementären bipolaren Transistoren!
- 2.4. Erklären Sie die Funktion der Schaltung nach Bild 3 mit folgendem Ablauf der Schalterstellungen:
 - S1 in Stellung 1
 - S1 in Stellung 2
 - S1 in Stellung 1
 - S2 schließen und wieder öffnen.
- 2.5. Bereiten Sie die Darstellung der Kennlinien bzw. Meßwerte auf Millimeterpapier vor. Es empfiehlt sich folgende Teilung der Achsen:

- für Versuch nach 3.4.: I_G : $0 \text{ mA} \leq I_G \leq 15 \text{ mA}$ 1 mA/cm
 t : nach ermitteltem τ 15 cm

- für Versuch nach 3.6.: U_{LA} : $0 \text{ V} \leq U_{LA} \leq 15 \text{ V}$ 1 V/cm
 t : $0 \text{ ms} \leq t \leq 10 \text{ ms}$ 1 ms/cm

3.4. Zündung des Thyristors durch Gatestromimpuls

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 3 auf. Verwenden Sie für den Kondensator eine Kondensator-Dekade, die Sie auf 1 μF einstellen.

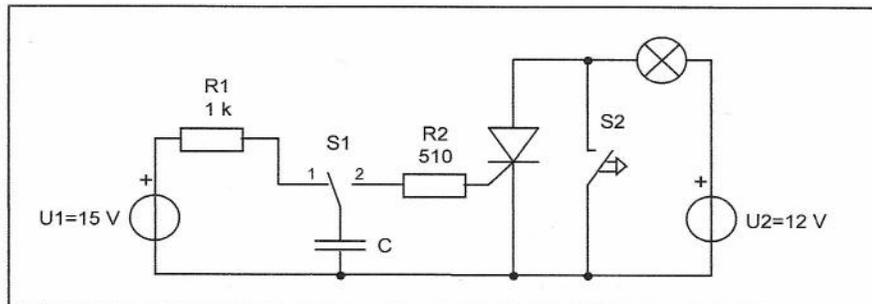


Bild 3: Zündung des Thyristors durch Stromimpuls

Überzeugen Sie sich von der Funktionsfähigkeit der aufgebauten Schaltung. Verringern Sie den Kondensator C solange, bis die in ihm gespeicherte Energie nicht mehr zum Zünden ausreicht. Stellen Sie den Mindestwert für C fest, der für ein sicheres Zünden erforderlich ist.

Berechnen Sie die Zeitabhängigkeit des Gatestromes nach folgender Beziehung:

$$I_G(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{mit } \tau = RC \quad /1/$$

Berücksichtigen Sie den Eingangswiderstand des Thyristors, den Sie aus 3.1. ermitteln können. Legen Sie den Maßstab für das Koordinatensystem fest, indem der Wert für τ etwa das erste Drittel der x-Achse bestimmt und stellen Sie die berechneten Werte dar. Tragen Sie den Mindestzündstrom als Parallele zur t-Achse ein und ermitteln Sie die Mindestdauer des Zündimpulses t_{\min} .

3.5. Impulslöschung des Thyristors

Erklären Sie die Wirkungsweise der Schaltung nach Bild 5 und skizzieren Sie den zu erwartenden zeitlichen Verlauf von I_G , I_A und U_{AK} im Bild 4.

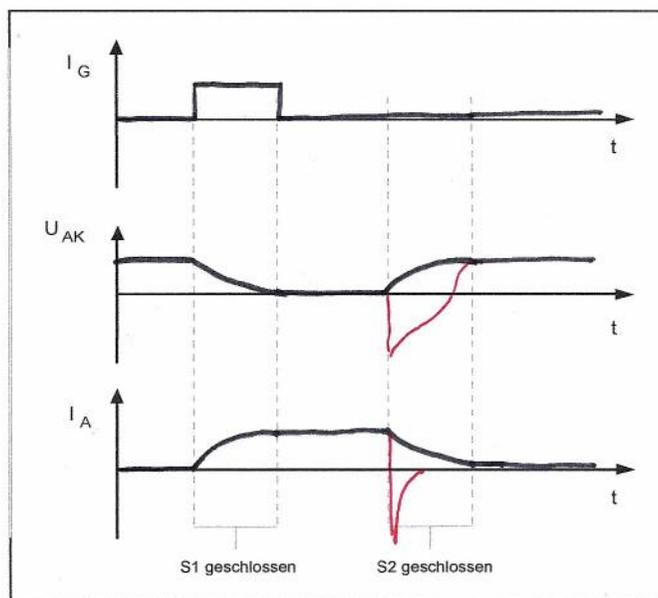


Bild 4: zeitlicher Verlauf von I_G , I_A und U_{AK}

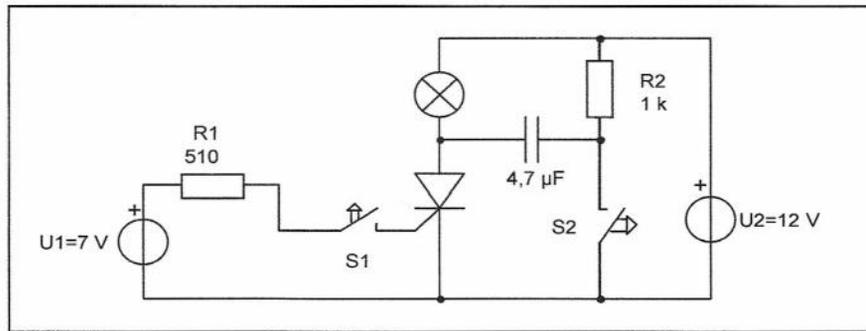


Bild 5: Impulslöschung des Thyristors

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 5 auf und überzeugen Sie sich von der Funktion.

3.6. Phasenanschnittsteuerung eines Thyristors

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 6 auf. Für C1 verwenden Sie eine Kondensator-Dekade, die sie auf 7 μF einstellen. Ermitteln Sie den maximal und minimal möglichen Zündwinkel, mit dem sich der Thyristor ansteuern läßt.

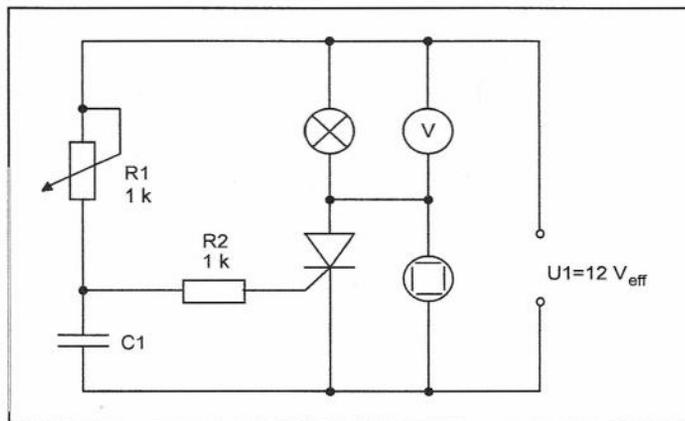


Bild 6: Phasenanschnittsteuerung eines Thyristors

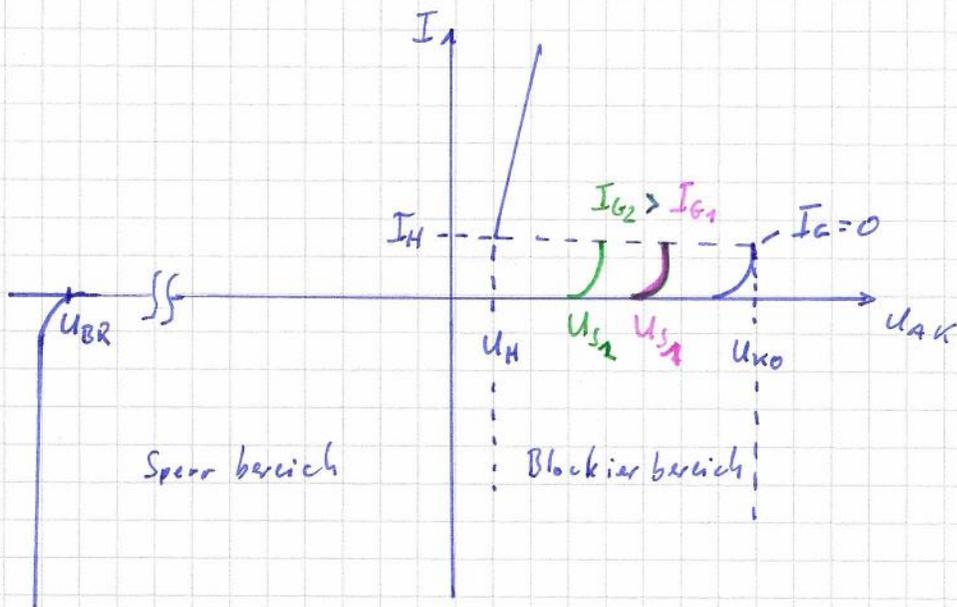
Ermitteln Sie die Meßwerte zur Darstellung der Funktion $U_{LA}=f(t)$, wobei t der Zündzeitpunkt innerhalb der positiven Halbwelle ist. Beachten Sie, daß die Lampenspannung als echter Effektivwert gemessen werden muß, d.h. im AC+DC-Bereich (Multimeter MX 54).

Ersetzen Sie den Thyristor durch einen Triac. Überzeugen Sie sich von der Funktion und ermitteln Sie für diese Schaltung Meßwerte zur Darstellung der Funktion $U_{LA}=f(t)$. Stellen Sie die Meßwerte beider Schaltungen in einem gemeinsamen Diagramm dar. Diskutieren Sie die Unterschiede zwischen beiden Funktionen.

Ersetzen Sie die Ansteuerschaltung aus R1, R2 und C1 durch eine Impulsgeberschaltung mit dem Schaltkreis TCA 785. Bestimmen Sie für den Triac wieder die Funktion $U_{LA}=f(t)$ und tragen Sie diese ebenfalls in das Diagramm ein. Begründen Sie die Unterschiede zur Zündung mittels RC-Glied.

Versuchs Vorbereitung

2.2.



$U_{KO} \hat{=} \text{Nullkippspannung}$

- Übergang in den niederohmigen Zustand bei $I_G = 0$

I_G - Gate - Strom

I_H - Haltestrom

- Strom der mindestens fließen muss, damit die Thyristortriode nach der Zündung im niederohmigen Zustand bleibt. ✓

U_H - Haltespannung

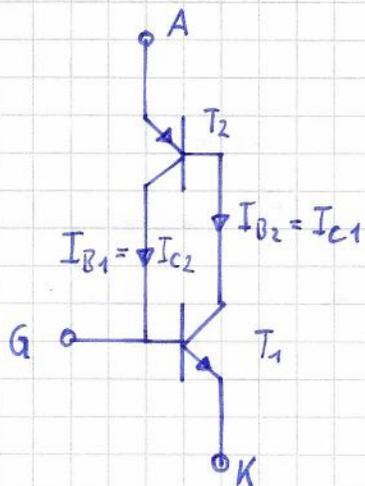
- Unterstreitung von U_H sperrt die Thyristortriode ✓

U_S - Schaltspannung

- Übergang in den niederohmigen Zustand in Abhängigkeit vom fließenden I_G . ✓

2.3.

Ersatzschaltbild



1. Zunächst soll an Gate keine Spannung abliegen bzw. das gleiche Potential wie an K anliegen. $U_{AK} < U_{KO}$. Der Thyristor ist nicht durchgesteuert, da $U_{CE_{T_2}}$ nicht hoch genug ist, da $U_{BE_{T_2}}$ nicht hoch genug ist um den Transistor durchzusteuern, damit I_{B_1} so hoch wird, dass T_1 durchsteuert. ✓

2. $U_G = 0V$ $U_{AK} \geq U_{KO}$

Die Spannung U_{DE} von T_2 ist groß genug und T_2 durchzusteuern, dadurch ergibt sich ein I_{B_1} welches den Transistor T_1 zum durchsteuern bringt.

Beide Transistoren sind nun durchgesteuert. ✓

2.4.

1. S1 in Stellung 1

Der Kondensator C wird aufgeladen. Der Thyristor ist nicht durchgesteuert, wodurch die Lampe nicht leuchtet. ✓

2. S1 in Stellung 2

Der Kondensator wird über den Widerstand R_2 und den Gate des Thyristors entladen, dabei wird ein Stromimpuls erzeugt der den Thyristor durchsteuern lässt. Dadurch kann über den Thyristor ein Strom fließen und die Lampe leuchtet. ✓

3. S1 in Stellung 1

Der Kondensator wird wieder an die Spannungsquelle U_1 geladnet und wieder aufgeladen. Der Thyristor bleibt aufgrund $U_2 \geq U_H$ durchgesteuert (Selbsterhaltung). Dadurch leuchtet auch die Lampe weiter, da der Stromkreis weiterhin geschlossen ist. ✓

4. S2 schließen und wieder öffnen

Durch das Schließen des Tasters S2 wird die Anode auf Masse gelegt und die Halbespannung U_H unterstritten, womit der Thyristor sperrt.

Nach Öffnen des Tasters S2 erlöscht auch die Lampe, da nun der Stromkreis geöffnet ist.



2.1.

U_G	vor der Zündung	0,66	0,65	0,66	0,65	0,65	0,654
\checkmark	nach der Zündung	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,766
I_G	vor der Zündung	8,05	7,90	7,87	7,83	7,83	7,896
mA	nach der Zündung	7,70	7,57	7,54	7,50	7,50	7,562



3.2.

$$U_{AK} = 0,79V$$

$\frac{I_{AT}}{mA}$	29,09	29,05	29,10	28,98	28,98
---------------------	-------	-------	-------	-------	-------

✓

Der gemessene $U_{AK} = 0,79V$ entspricht dem U_{KO} , welche die Spannungswert ist der überschritten werden muss, damit der Thyristor bei $I_G = 0$ selbstständig zündet.

3.3.

$\frac{I_{HT}}{mA}$	29,21	29,16	29,15	29,11	29,19
---------------------	-------	-------	-------	-------	-------

✓

Der Unterschied zwischen Haltestrom und Abfallstrom ist, dass der Haltestrom der ist bei dem der Thyristor nach der Zündung im durchgesteuerten Zustand bleibt. Der Abfallstrom ist der Strom der mindestens erreicht bzw. unterschritten werden muss, damit der Thyristor in den hochohmigen Zustand (gesperret) übergeht.

✓

3.4.

$$\underline{\underline{C = 7 \mu F}} \leftarrow \text{ermittelt} \quad \checkmark$$

$$U_G = 0,766 \text{ V} \quad I_G = 7,562 \mu\text{A} \quad (\text{aus 3.1. übernommen})$$

$$R_G = \frac{U_G}{I_G} = \frac{0,766 \text{ V}}{7,562 \mu\text{A}} = \underline{\underline{101,3 \Omega}}$$

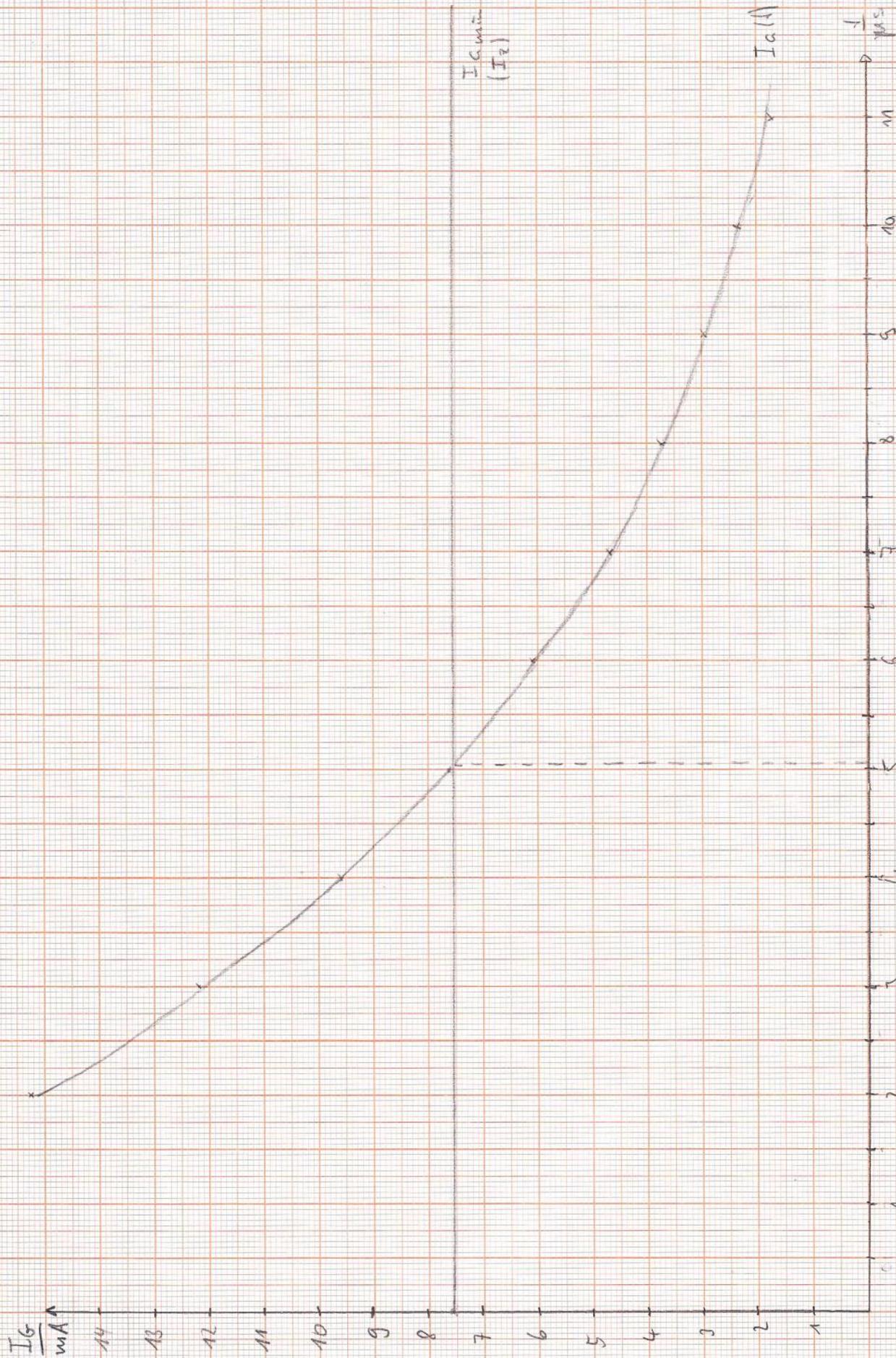
$$R = R_G + R_2 = 101,3 \Omega + 510 \Omega$$

$$\underline{\underline{R = 611,3 \Omega}} \quad \checkmark$$

$$\tau = R \cdot C = 611,3 \Omega \cdot 7 \mu\text{F}$$

$$\underline{\underline{\tau = 4,2791 \text{ ms}}}$$

$$\underline{\underline{I_0 = \frac{15 \text{ V}}{611,3 \Omega} = 24,55 \mu\text{A}}} \quad \checkmark$$



3.5.

Zunächst sind S1 und S2 geöffnet und der Kondensator entladen. Wird nun die Betriebsspannung $U_2 = 12V$ angelegt und der Taster S1 betätigt, lüftet sich der Kondensator auf, da der Thyristor durchgesteuert ist. ✓
Die Lampe leuchtet. Durch betätigen von S2 wird Massepotential an den Kondensator gebracht, welcher sich umpolt und somit negatives Potenzial am Thyristor anliegt. Somit wird der Thyristor gesperrt, da die Haltespannung unterschritten wird. ✓

3.6.

$$\varphi_{\min} = \frac{180^\circ \cdot 2,02 \text{ ms}}{9,8 \text{ ms}} = 37,1^\circ$$

$$\varphi_{\max} = \frac{180^\circ \cdot 6,86 \text{ ms}}{9,8 \text{ ms}} = 126^\circ$$

t/ms	U_{LA1}/V	U_{LA2}/V	U_{LA3}/V
0,3			13,15
1			13,11
1,39		12,82	
1,54	9,16		
2	9,03	12,40	12,90
3	8,53	10,87	12,29
4	7,74	7,96	10,84
5	6,54	6,86	8,99
6	4,98	5,44	7,11
7	3,02	3,63	4,25
7,56	2,08		
8			2,43
9			0,5
10			0,02

$U_{LA1} \Rightarrow$ mit Thyristor

$U_{LA2} \Rightarrow$ mit Triac

$U_{LA3} \Rightarrow$ mit TCA 785

Diskussion:

Die erhöhten effektiven Spannungen beim Triac gegenüber der Thyristor triode lassen sich daraus erklären, dass die Thyristor triode die untere Halbwelle abschneidet und der Triac nicht.

Begründung:

Es ist zu erkennen, dass mit dem Schaltkreis TCA 785, die gesamte Halbwelle beschritten werden kann. Dies ist mit dem RC-Glied nicht möglich, denn dazu müsste der Kondensator sich nicht aufladen, damit der Triac nicht zündet und somit nicht durchsteuert, wodurch die komplette Halbwelle abgestrichen werden würde.

