

Aktive Bauelemente in der Elektronik – 1

Werkstatt

Fachdidaktik - Kurs am D-ITET im Wintersemester 2002/03

moderiert von Georgios Lekkas und Adolf Hermann Glattfelder

überprüft von Roland Büchi an der Zürcher Hochschule Winterthur

Inhaltsverzeichnis

I	Anleitungen	4
1	Diode in Brückenschaltung	6
1.1	Einleitung	6
1.2	Absicht	7
1.3	Aufgaben	7
1.4	Lösungsblatt	9
2	Thyristor in Dimmerschaltung	11
2.1	Einleitung	11
2.2	Absicht	11
2.3	Aufgaben	12
2.4	Lösungsblatt	13
3	Schalt-Transistor (FET)	15
3.1	Einleitung	15
3.2	Absicht	16
3.3	Aufgaben	16
3.4	Begriffe	18
3.5	Lösungsblatt	19
4	Leucht- und Photodioden	21
4.1	Einleitung	21
4.2	Absicht	21
4.3	Aufgaben	21
4.4	Anhang	24
4.5	Lösungsblatt	25
II	Lösungsvorschläge	26
1	Zu: Diode in Brückenschaltung	27
1.1	Spannungsverlauf	27
1.2	Laststrom	27

1.3	Datenblätter	28
1.4	Diodenauswahl	28
1.5	Zusatzaufgabe	28
2	Zu: Thyristor in Dimmerschaltung	29
2.1	Funktionsweise	29
2.2	Datenblätter, BauteilAuswahl	30
2.3	Zusatzaufgabe	30
3	Zu: Schalt-Transistor (FET)	31
3.1	Mikrokontroller	31
3.2	Transistor	31
3.3	Zusatzaufgaben	33
4	Zu: Leucht- und Photodioden	34

Wozu diese Werkstatt?

Diese Werkstatt eignet sich als Unterrichtsblock in der Vorlesung Grundlagen der Elektronik an einer Fachhochschule. Die Studenten wenden das Gelernte in konkreten Schaltungsbeispielen an und repetieren so ihr theoretisches Wissen. Sie lernen verschiedene Bauformen und Auswahlkriterien kennen und üben den Umgang mit Datenblättern.

Als didaktisches Element fördert die Werkstatt das selbständige Arbeiten und Lernen.

Voraussetzungen

Die Werkstatt ist gedacht als Ergänzung des theoretischen Wissens der Studenten und sollte deshalb unmittelbar nach dessen Vermittlung in den Unterricht eingebaut werden.

Zum Zeitpunkt der Durchführung haben die Studenten folgenden Stoff bereits behandelt:

- Funktionsprinzip der aktiven Bauelemente und deren wesentliche Kenngrößen
- Grundsaltungen der Elektronik (z.B. Brückenschaltung, Transistor als Verstärker, ...)

Noch nicht behandelt wurden:

- Verschiedene Bauformen der aktiven Bauelemente
- Umgang mit Datenblättern und Katalogen

Werkstatt-Arbeitsstationen

In dieser Werkstatt sind folgende vier Arbeitsstationen enthalten:

- Vier Arbeitsstationen zu "schaltenden" aktiven Bauelementen (Dioden, Thyristoren, Schalt-Transistoren, Optokoppler-Paare)

In den beiden weiteren "Werkstätten" sind enthalten:

- -2: Vier Arbeitsstationen zu Operationsverstärkern (Audio, zu Thermoelement, zu Dehnmess-Streifen, zu Pt100-Sensor)
- -3: Vier verschiedene Aufgaben (Stecker-Netzteil, Bitstrom-Generator, Neonröhren-Starter, Watchdog)

Damit sollte ausreichend Material für zwei bis drei Durchführungen einer Werkstatt vorhanden sein.

Organisationshinweise für die Lehrperson

Die Auswahl der Arbeitsstationen, der Ablauf, die Gruppeneinteilung und der Entscheid, ob der Werkstattstoff auch Prüfungsstoff sein soll, können natürlich individuell gestaltet werden. Das hängt wesentlich von Faktoren wie der Klassengrösse, der zur Verfügung stehenden Zeit, dem bereits behandelten Stoff etc., ab.

Am Anfang der Werkstatt informieren Sie kurz, was zu tun ist. Sie können sich dabei wirklich kurz halten, denn jeder Student besitzt ein Blatt mit den notwendigen Anweisungen. Ausserdem wird er an jeder Arbeitsstation durch den Versuch geführt.

Möglicher Ablauf

Im Folgenden wird ein Vorschlag gemacht, wie die Werkstatt organisiert werden kann. Dabei gehen wir von folgenden Annahmen aus:

- Gruppengrösse $G = 2$
- Anzahl Werkstatt-Arbeitsstationen $P = 4$

Mit der Klassengrösse Z erhalten wir das Vielfache N jeder Arbeitsstation:

$$N = \frac{Z}{P \cdot G}$$

Mit einer Klassengrösse von 24 Studenten ($Z = 24$) und 4 Werkstatt-Arbeitsstationen ($P = 4$) könnte die Werkstatt folgendermassen in drei Lektionen (135 min.) durchgeführt werden:

Bei beiden Beispielen gilt: $N = 3$, jede Arbeitsstation muss also 3 mal kopiert werden.

	Zeit
Einführung (Lehrperson)	10 min
1. Arbeitsstation	25 min
Wechsel	3 min
2. Arbeitsstation	25 min
Wechsel	3 min
3. Arbeitsstation	25 min
Wechsel	3 min
4. Arbeitsstation	25 min
Reserve / Korrektur	16 min
Total	135 min

Mit 2 weiteren Arbeitsstationen ($P = 6$) könnte die Werkstatt optimal auf 4 Lektionen (180 min) ausgebaut werden:

	Zeit
Einführung (Lehrperson)	15 min
6 Arbeitsstationen	150 min
Korrektur, Auswertung	15 min
Total	180 min

Hinweis: Die einzelnen Werkstatt-Arbeitsstationen benötigen möglicherweise unterschiedlich viel Zeit.

Planen Sie deshalb eine Zeitreserve ein und/oder sorgen Sie dafür, dass die Studierenden nicht alle zur selben Zeit den Posten wechseln müssen.

Korrektur

Jeder Student erhält einen Lernpass, auf dem alle Arbeitsstationen eingetragen sind. Nach Ablauf der ganzen Werkstatt oder nach Ablauf der Zeit für eine einzelne Arbeitsstation kontrollieren Sie das Lösungsblatt jedes Studenten und bestätigen die korrekte Versuchsdurchführung mit Ihrem Visum auf dem Lernpass des Studenten.

Datenblätter

In dieser Werkstatt werden Datenblätter zu diversen Bauteilen benötigt. Sie entscheiden, ob Sie

- alle Datenblätter selber vorgängig herunterladen und kopieren
- oder den Studenten vor der Durchführung der Werkstatt die Aufgabe geben, sich im Netz die entsprechenden Informationen zu beschaffen.

Die Datenblätter können sehr einfach mittels der Suchmaschine Google gefunden werden:

<http://www.google.com>

Suchbefehl:

z.B.

datasheet <Bezeichnung>

datasheet <LM741>

Verwendete Bauteile:

Bauteil	Anbieter
Diode in Brückenschaltung	
1N4001	Fairchild Semicond.
RUR1S1560S	Fairchild Semicond.
IRF1405	International Rectif.
BAP65-01	Philips Semicond.
BB148	Philips Semicond.
Thyristor in Dimmerschaltung	
BTH151S-650R	Philips Semicond.
2N5064	Philips Semicond.
BT145B - 500R	Philips Semicond.
BT145B - 600R	Philips Semicond.
BT145B - 800R	Philips Semicond.

Bauteil	Anbieter
Transistor (FET)	
J308	ON Semiconductor
ZVN2106A	Solarbotics
BUK7514-55A	Philips Semiconductors
Leuchtdioden	
TSMF3700	Vishay Telefunken
TLHK5100	Vishay Telefunken
TSFF5200	Vishay Telefunken
TSFF5400	Vishay Telefunken
TSAL6200	Vishay Telefunken
Photodioden	
BPV10NF	Vishay Telefunken
BPV22NF	Vishay Telefunken
BPV22NF	Vishay Telefunken
TEMD1000	Vishay Telefunken

Teil I

Anleitungen

Informationen für die Studenten

Sie werden in den nächsten Lektionen eine Werkstatt zum Thema aktive Bauelemente in der Elektronik bearbeiten. Sie arbeiten dabei selbständig während den normalen Unterrichtszeiten. Es gibt 4 Werkstatt-Arbeitsstationen. Diese sind auf Ihrem Lernpass, den Sie bereits erhalten haben, aufgeführt. Sie müssen alle Arbeitsstationen bearbeiten. Bei jeder Station liegt ein Arbeitsauftrag auf. Dort steht genau, welche Arbeiten Sie erledigen sollen. Lesen Sie immer zuerst die Einleitung und beginnen Sie dann mit dem Arbeitsauftrag. Bei den Stationen existiert ein Lösungsblatt, in welches Sie die Antworten zu den gestellten Fragen eintragen. Die ausgefüllten Lösungsblätter zeigen Sie mir und erhalten dafür, falls die Anforderungen erfüllt sind, auf dem Lernpass meine Unterschrift. Den Lernpass geben Sie mir am Schluss der Werkstatt ab. Alle anderen Blätter können Sie behalten.

Lernziele:

- Funktionsweise der Bauelemente in typischen elektronischen Schaltungen verstehen
- Auswahl der geeigneten aktiven Bauelemente anhand der Datenblätter lernen
- Die wichtigsten Kenngrößen erkennen und die Bauelementauswahl begründen können

Die Aufgaben sind erfüllt, wenn

- die richtigen Bausteine gewählt wurden
- die Auswahl auf dem Lösungsblatt schriftlich begründet wurde

Lernpass

Arbeitsstation	Visum

Kapitel 1

Diode in Brückenschaltung

Autor: David Gehring

1.1 Einleitung

Diese Werkstatt-Arbeitsstation behandelt die Diode als Bauelement. Dabei sollen anhand einer Brückenschaltung einige Berechnungen durchgeführt werden. Mit Datenblättern soll die für die gegebene Anwendung beste Diode herausgesucht werden.

Dioden sind Bauelemente mit zwei Anschlüssen und stromrichtungsabhängigem Widerstand. Verschiedene Kennzeichnungen sind in Abbildung 1.1 gezeigt.

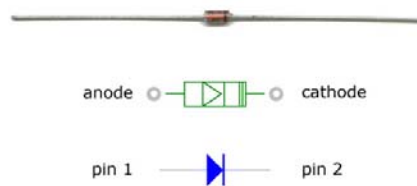


Abbildung 1.1: Drei verschiedene Darstellungen einer Diode

Eine typische Kennlinie ist in Abbildung 1.2 gezeigt

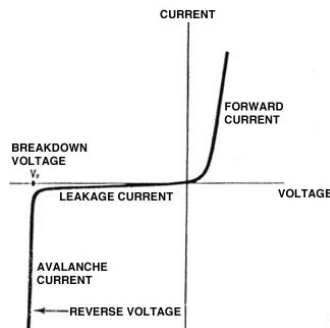


Abbildung 1.2: Allgemeiner Plot einer Diodenkennlinie

In den Aufgaben gehen wir davon aus, dass die Diode eine ideale Kennlinie besitzt (Abbildung 1.3).

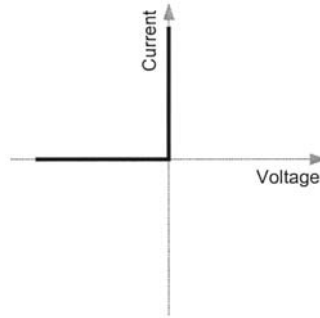


Abbildung 1.3: Kennlinie der idealen Diode

1.2 Absicht

Das Ziel dieser Arbeitsstation ist, dass Sie sich mit den verschiedenen Diodentypen auseinandersetzen und ihre wichtigsten Kenndaten repetieren. Somit sollten Sie sich ohne Probleme in den Datenblättern zu den verschiedenen Dioden zurechtfinden.

1.3 Aufgaben

1.3.1 Spannungsverlauf

Es sei eine Brückenschaltung wie in Abbildung 1.4 gegeben. Am Spannungseingang liege eine sinusförmige Spannung mit folgenden Kenndaten an:

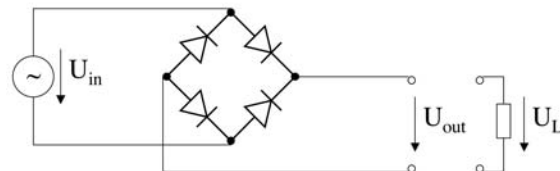


Abbildung 1.4: Brückenschaltung

$$\begin{aligned}
 U_{in} &= A_{in} \sin(\omega_{in} t) \\
 A_{in} &= 12V \\
 f_{in} &= 50Hz
 \end{aligned}$$

Zeichnen Sie die zur Abbildung 1.5 entsprechende Ausgangsspannung U_{out}

Hinweis: Unterscheiden Sie zwischen $U_{in} > 0$ und $U_{in} < 0$ (ideale Diodenkennlinie)

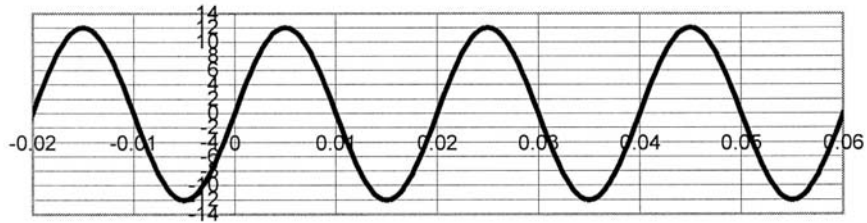


Abbildung 1.5: U_{in}

1.3.2 Laststrom

Am Ausgang hänge eine ohmsche Last $R_L = 20\Omega$.

Berechnen Sie die den Strom, der durch die Last R_L fließt. Was für ein Strom fließt jeweils durch eine ideale Diode?

1.3.3 Datenblätter

Schauen Sie sich die Datenblätter zuerst an, um eine Übersicht zu gewinnen!

Die wichtigen Daten befinden sich immer am Anfang des Datenblattes. Achten Sie auch darauf, dass immer die maximale Belastung sowie der Arbeitspunkt angegeben ist.

Eine Übersicht ist folgend gegeben:

Referenz	Typ	Bezeichnung
A	Si-Diode	1N4001
B	Schottky-Diode	RUR1S1560S
C	MOS-Diode	IRF1405
D	PIN-Diode	BAP65-01
E	VHF-Diode	BB148

Welche Dioden können sofort als unpassend ausgeschieden werden? Geben Sie eine Begründung an.

1.3.4 Diodenauswahl

Die Schaltung soll möglichst klein sein und ohne zusätzliche Kühlkörper auskommen. Was für eine Leistung fällt jeweils über den von Ihnen ausgewählten Dioden ab? Treffen Sie eine endgültige Entscheidung.

1.3.5 Zusatzaufgabe

Es wird nun noch zu U_{out} ein Kondensator parallel geschaltet. Zeichnen Sie in den bereits ausgefüllten Ausgangsspannungsverlauf mit einer anderen Farbe den neuen Spannungsverlauf ein. Was ist der Zweck solch eines Kondensators?

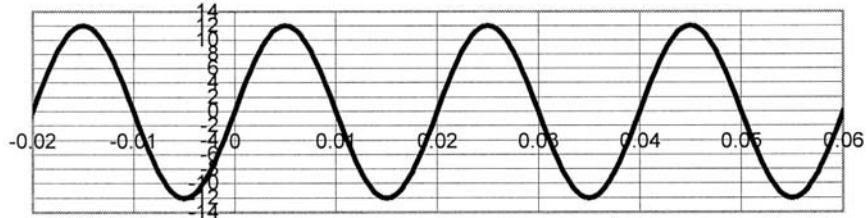
An der Last tritt nun ein Kurzschluss auf. Überlebt das die von Ihnen gewählte Diode?

Hinweis: Die Diode ist nicht ideal und hat somit einen Innenwiderstand.

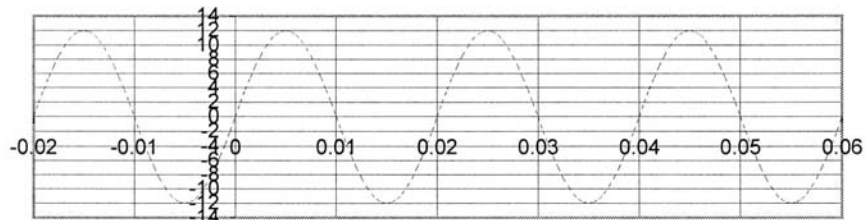
1.4 Lösungsblatt

1.4.1 Spannungsverlauf

Gegebene Eingangsspannung:

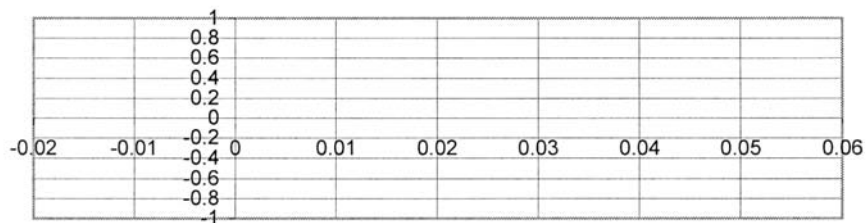


Zugehöriger Verlauf der Ausgangsspannung:



1.4.2 Laststrom

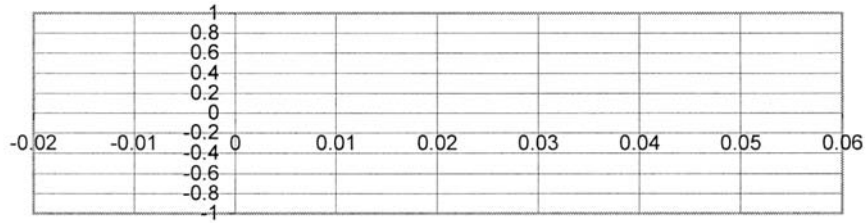
Zeichnen Sie den Laststrom ein:



Und den Strom durch eine Diode:

1.4.3 Datenblätter

Welche Dioden sind für die Schaltung ungeeignet? Weshalb?



1.4.4 Diodenauswahl

Getroffene Auswahl mit Begründung:

1.4.5 Zusatzaufgabe

Zeichnen Sie die neue Ausgangsspannung oben mit einer anderen Farbe ein. Was ist der Zweck des Kondensators? Was passiert im Falle eines Kurzschlusses an der Last?

Kapitel 2

Thyristor in Dimmerschaltung

Autor: Christian Eisenhut

2.1 Einleitung

Die vorliegende Werkstatt-Arbeitsstation beschäftigt sich mit dem Thyristor als Bauelement. Anhand einer einfachen Thyristorschaltung mit ohmscher Last (Abbildung 2.1) repetieren Sie die Funktionsweise des Thyristors und wählen mit Hilfe von 3 Thyristordatenblättern ein geeignetes Bauteil aus.

Schaltungstopologien dieser Art werden beispielsweise für die Helligkeitssteuerung von sehr leistungsstarken Lampen verwendet. Der wesentliche Vorteil der Schaltung liegt in ihrem hohen Wirkungsgrad.

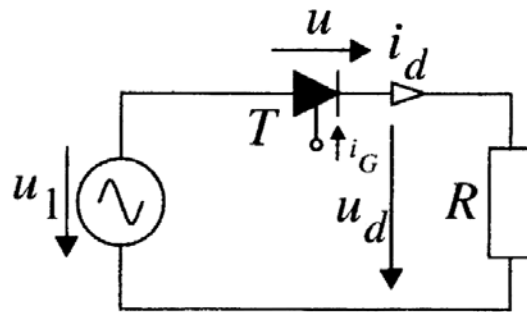


Abbildung 2.1: steuerbare Einweggleichrichterschaltung mit ohmscher Last

2.2 Absicht

Das Ziel dieser Werkstatt-Arbeitsstation ist die Auseinandersetzung mit verschiedenen Thyristortypen und ihren, für die Realisierung obiger Schaltung, wesentlichen Kenndaten. Sie üben somit den Umgang mit verschiedenen Datenblättern.

2.3 Aufgaben

In der vorgegebenen Zeit sollten Sie die Aufgaben 2.3.1 und 2.3.2 lösen können. Falls Sie noch Zeit haben, lösen Sie zusätzlich die Aufgabe 2.3.3. Die Lösungen notieren Sie auf beiliegendem Lösungsblatt.

2.3.1 Funktionsweise

Gegeben ist die Schaltung aus Abbildung 2.1. Der Zündwinkel des Thyristors, die Wechselspannung u_1 sowie der Widerstand R des Verbrauchers sind bekannt.

$$u_1 = \hat{U} \cdot \sin(\omega t)$$

$$\hat{U} = \sqrt{2} \cdot U_{eff}$$

$$U_{eff} = 230V$$

$$f = 50Hz$$

$$R = 13.2\Omega$$

1. Wie gross ist die maximale Leistung des Verbrauchers (wählen Sie $\alpha = 0^\circ$)?
2. Zeichnen Sie auf dem Lösungsblatt folgende Zeitverläufe ($\alpha = 30^\circ$):
 - a) Zündimpuls i_g am Gate des Thyristors: $i_g = f(t)$
 - b) Spannung u_d an der Last: $u_d = f(t)$
 - c) Spannung u über dem Thyristor T: $u = f(t)$

2.3.2 Datenblätter, Bauteilauswahl

Sie benötigen 3 verschiedene Datenblätter der Thyristortypen

- BTH151S-650R,
- 2N5064 und
- BT145B series.

3. Begründen Sie, welche Thyristortypen für die Schaltung aus Abbildung 2.1 in Frage kommen und welche nicht. Tragen Sie dazu die relevanten Kenndaten ins Lösungsblatt ein.

2.3.3 Zusatzaufgabe

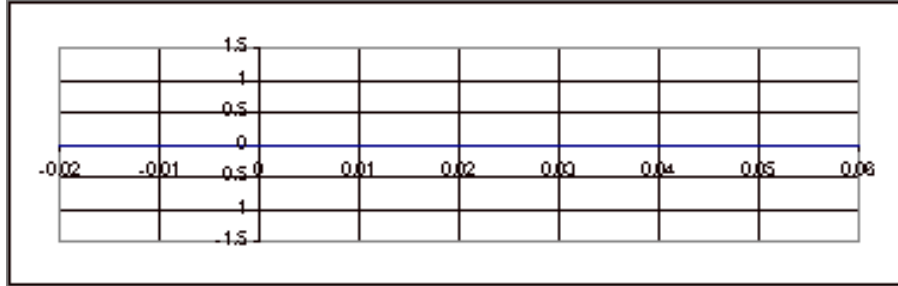
Im Stromnetz kann es aus diversen Gründen Überspannungen geben, die die Bauteile einer Schaltung belasten können. Aufgrund der ohmschen Last in unserer Schaltung steigt bei kurzzeitigen Überspannungen auch der Strom an.

4.
 - a) Wie hoch darf eine kurzzeitige Überspannung maximal sein, damit die ausgewählten Thyristoren nicht beschädigt werden?
 - b) Welche Bedingungen müssen dabei erfüllt sein?

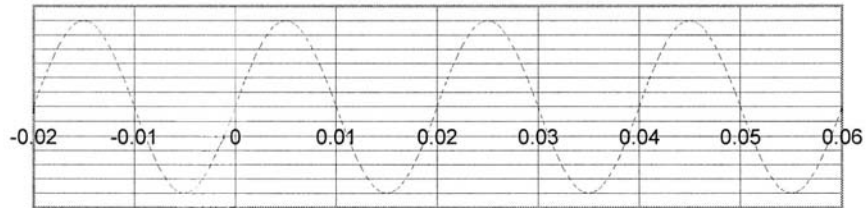
2.4 Lösungsblatt

2.4.1 Funktionsweise

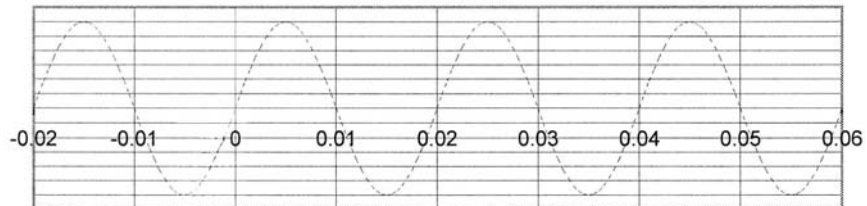
1. Maximale Leistung an der Last R : $P =$
2. a) Zündimpuls i_g am Gate des Thyristors:
 $i_g = f(t)$



- b) Spannung u_d an der Last:
 $u_d = f(t)$



- c) Spannung u über dem Thyristor T:
 $u = f(t)$



2.4.2 Datenblätter, Bauteilauswahl

Bauteil	Parameter 1	Parameter 2
BTH151S-650R		
2N5064		
BT145B - 500R		
BT145B - 600R		
BT145B - 800R		

3. Gewählte Thyristortypen:

Begründung:

2.4.3 Zusatzaufgabe

4. a) Kurzzeitige Überspannung: $U_{max} =$

b) Bedingungen:

Kapitel 3

Schalt-Transistor (FET)

Autor: Thomas Degen

3.1 Einleitung

In dieser Werkstatt-Arbeitsstation bekommen Sie einen Einblick in die Verwendung eines Transistors als Schalter. Die Auswahl des geeigneten Transistors sollen Sie selber treffen. Als Hilfe bekommen Sie die Datenblätter der verschiedenen Komponenten. An Hand von ein paar wenigen Rechnungen werden Sie die zu Grunde liegende Schaltung analysieren und Ihre Wahl begründen können.

Transistoren sind wohl die am meisten verwendeten Grundbausteine der modernen Elektronik. Seit der Erfindung im Jahr 1947 durch William Shockley und seine Mitarbeiter wurde der Transistor immer weiterentwickelt. Die grundlegende Funktion ist aber die gleiche geblieben: Ein grosser Strom wird durch einen kleinen Strom (Bipolar-Transistor) oder eine kleine Spannung (FET-Transistor) gesteuert. Im vorgängigen Unterricht wurde genauer auf die Eigenschaften und Kennlinien der verschiedenen Transistoren eingegangen.

In der Abbildung 3.1 sehen Sie zwei Bauarten des Transistors und die verwendeten Kennzeichnun-

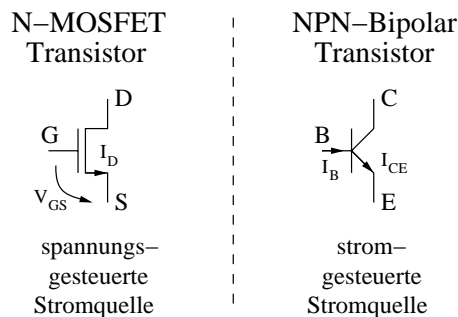


Abbildung 3.1: zwei Bauarten eines Transistors

gen: MOS steht für Metal-Oxyd-Semiconductor und weist auf die Struktur dieser FET-Transistoren hin. FET steht für Field-Effect-Transistor. Die dargestellten Symbole weichen etwas von der IEC-Norm ab. Zeichnen Sie deshalb die korrekte Form auf Ihr Lösungsblatt.

In dieser Arbeitsstation beschäftigen wir uns mit dem Einsatz eines Transistors als Schalter. Dazu werden normalerweise N-MOS FET-Transistoren eingesetzt. Der FET-Transistor weist einen klei-

neren Stromverbrauch auf als ein Bipolar-Transistor, da kein Basisstrom fließt. Der N-FET hat im durchgeschalteten Zustand einen kleineren Widerstand als der entsprechende P-FET, da sich Elektronen mit weniger Widerstand bewegen können als Löcher.

Der Transistor wird dabei entweder gesperrt ($V_{GS} \leq V_T$) oder durchgeschaltet ($V_{GS} = V_{max}$). V_{max} bezeichnet dabei die maximal zur Verfügung stehende bzw. erlaubte Spannung. Für kleine Drain-Source Spannungen ($V_{DS} \leq (V_{GS} - V_T)$) verhält sich der MOS-FET wie ein Widerstand. Dessen Wert wird in den Datenblättern meist mit $R_{DS_{on}}$ angegeben.

3.2 Absicht

Nach dem Sie diese Arbeitsstation bearbeitet haben, sollten Sie imstande sein, den Einsatz eines N-FET MOS-Transistors als Schalter zu verstehen. In Zukunft sollen Sie selber den geeigneten Transistor finden und einsetzen können. Gleichzeitig sollen Sie sich mit den entsprechenden Datenblättern auseinandersetzen und die darin verwendeten Ausdrücke verstehen.

3.3 Aufgaben

Abbildung 3.2 zeigt eine Mikrokontroller gesteuerte Schaltung, die zum Beispiel in Abwesenheit der Bewohner das Licht (oder die Waschmaschine etc.) ein- und ausschalten kann. Dazu wird neben dem Mikrokontroller ein Transistor und ein Relais verwendet. Als Spannungsversorgung

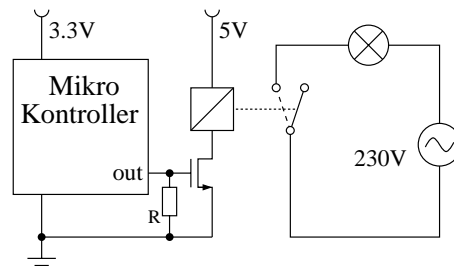


Abbildung 3.2: Die von uns entworfene Schaltung zur programmierbaren Ansteuerung des Lichts, (vgl. Anmerkung oben zum IEC-Norm-Symbol)

wird eine unregelte 5V Speisung verwendet, aus der auch die geregelte 3.3V Spannung für den Mikrokontroller abgeleitet wird.

3.3.1 Mikrokontroller

Sie sollen den leistungssparenden Mikrokontroller MSP430 von Texas Instruments verwenden. Im Anhang finden Sie dessen Datenblatt und darin den Aufbau der internen Treiberschaltung eines Ausgangspins. Diese interne Schaltung besteht aus einer Ansteuerlogik und zwei MOS-FET Transistoren. Der Mikrokontroller wird mit der Spannung $V_{CC} = 3V$ betrieben. Im Anhang finden Sie das Datenblatt des von uns gewählten Relais ("Standard Type 5V").

Fragen:

- 1a) Warum kann das Relais nicht direkt vom Mikrokontroller geschaltet werden? Es gibt zwei verschiedenen Gründe, finden Sie beide!
- 1b) Welcher Strom kann maximal aus einem Output-Pin fließen (die Ausgangsspannung soll mindestens 3.05V betragen)?
- 1c) Welcher Strom kann maximal in einen Output-Pin fließen (die Eingangsspannung soll höchstens 0.25V betragen)?

3.3.2 Transistor

Wiederum im Anhang finden Sie die Datenblätter von drei Transistoren

- J308,
- ZVN2106A und
- BUK7514-55A,

welche bei Ihnen in der Firma an Lager sind. Sie sollen einen Prototypen bauen. Wählen Sie dazu den Transistor aus, der sich für diese Schaltung am Besten eignet.

Fragen:

- 2a) Finden Sie im Datenblatt den Innenwiderstand der Relais-Spule.
- 2b) Welcher Strom muss maximal durch den Transistor fließen?
- 2c) Welcher Zweck erfüllt der Widerstand zwischen Gate und Source? Wählen Sie einen Wert für den Widerstand R und begründen Sie Ihre Wahl.
- 2d) Wählen Sie den Transistor aus den Datenblättern aus, der sich am besten eignet.
- 2e) Schreiben Sie zu jedem der drei Transistoren kurz auf, warum Sie diesen gewählt oder eben nicht gewählt haben.

3.3.3 Zusatzaufgaben

Falls Sie noch genügend Zeit haben sollen Sie bitte die folgenden zwei Fragen beantworten:

- 3a) Die Schaltung wird so aufgebaut. Jedes Mal wenn das Licht ausgeschaltet wird, fällt der Mikroprozessor in seinen Initialzustand zurück. Was mag die Ursache sein?
- 3b) Überlegen Sie sich mögliche Lösungen zu diesem Problem und zeichnen Sie entsprechende Korrekturen ins Lösungsblatt.
- 3c) Der Zustand des Relais soll mittels einer Leuchtdiode dargestellt werden. Es steht Ihnen dazu ein weiterer Output-Pin zur Verfügung. Vervollständigen Sie die Zeichnung im Lösungsblatt und begründen Sie Ihre Wahl.

3.4 Begriffe

- FET Field-Effect Transistor: Der Strom durch Drain und Source wird durch ein Feld gesteuert. Das Feld wiederum wird durch die Spannung zwischen Gate und Source erzeugt.
- MOS Metall Oxide Semiconductor: Spezielle Bauweise eines FET-Transistors. Das Gate aus Metall wird vom Drain-Source Kanal (Halbleiter) durch eine Oxidschicht getrennt. Es fließt kein Strom zwischen Gate und Source.
- JFET Junction Field-Effect Transistor: ein Transistor, bei dem das Gate nicht durch eine Oxidschicht vom Drain-Source Kanal getrennt wird. Im aktiven Bereich fließt somit immer ein Gate-Source Strom.
- DMOS Double Diffusion Metal Oxide Silicon: ein MOS-Transistor, der senkrecht statt horizontal gebaut wird. Drain ist auf der Rückseite des Halbleiters. Dadurch können höhere Spannungen geschaltet werden.

3.5 Lösungsblatt

3.5.1 Normgerechte Symbole

für Bipolar- und FeldEffekt-Transistoren, und für jeweils beide Dotierungen zeichnen.

3.5.2 Mikrokontroller

- 1a) Die Gründe sind:
- 1b) Es fließen maximal mA
- 1c) Es fließen maximal mA

3.5.3 Transistor

- 2a) Der Innenwiderstand beträgt Ω
- 2b) Durch den Transistor fließen maximal mA
- 2c) Zweck des Widerstands:
von mir gewählter Wert:
- 2d) Name des von mir gewählten Transistors:
- 2e) Begründung:

J308:

ZVN2106A:

BUK7514-55A:

3.5.4 Zusatzaufgaben

3a) Ursache des unerwünschten Resets:

3b) Zeichnen Sie einen Verbesserungsvorschlag:

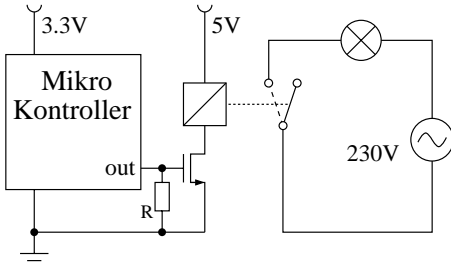


Abbildung 3.3: Schaltung zum Verbessern

3c) Zeichnen Sie die fehlenden Verbindungen im Schema:

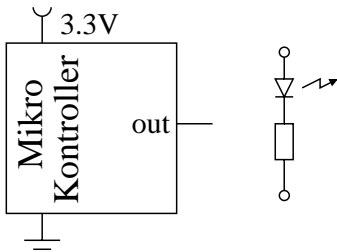


Abbildung 3.4: Ansteuerung einer LED

Kapitel 4

Leucht- und Photodioden

Autor: Dario Ammann

4.1 Einleitung

Diese Arbeitsstation befasst sich mit Leucht- und Photodioden. Wie Sie aus der Vorlesung wissen, basiert das Funktionsprinzip der Leuchtdioden (LED) und der Photodioden bei beiden auf dem inneren photovoltaischen Effekt. Bei der Leuchtdiode vereinigt sich (rekombiniert) ein Elektronen-Loch-Paar, wobei ein Photon entsteht. Bei den Photodioden wird ein Elektronen-Loch-Paar von einem Photon erzeugt. In der Aufgabe befassen wir uns mit der Auslegung der Leucht- und Photodiode für eine Kommunikationslichtschranke anhand von gegebenen Spezifikationen. Schaltungen dieser Art werden beispielsweise verwendet um zwei Systeme elektrisch voneinander zu entkoppeln.

4.2 Absicht

Das Ziel dieser Werkstatt-Arbeitsstation ist die Einführung in das Auslegungsprinzip von Leucht- und Photodioden - Kombinationen. In der Suche nach relevanten Auslegungskenngrößen wird der Umgang mit Datenblättern geübt.

Für diese Arbeitsstation steht Ihnen die doppelte Bearbeitungszeit zur Verfügung.

4.3 Aufgaben

Die Schaltung in Abbildung 4.3 stellt eine Lichtschranke mit einer Leuchtdiode und einer Photodiode dar. Die Lichtschranke soll zur Übertragung von seriellen Daten genutzt werden. Diese Methode wird zum Teil verwendet um zwei Systeme elektrisch voneinander zu entkoppeln. Deshalb sind auch die dynamischen Effekte der Komponenten (Schaltgeschwindigkeiten) wichtig. Ziel dieser Aufgabe ist die Auslegung der Leuchtdiode und der Photodiode für eine Kommunikationslichtschranke anhand der gegebenen Spezifikationen. Für die Berechnungen wird nur der eingerahmte Teil der Schaltung betrachtet. Der restliche Teil der Schaltung ist nur vollständigkeithalber aufgezeichnet.

Die Spezifikationen der Schaltung sind:

- Lichtschrankenabstand $d = 10mm$
- maximaler Eingangstrom: $I_{1,max} = 100mA$

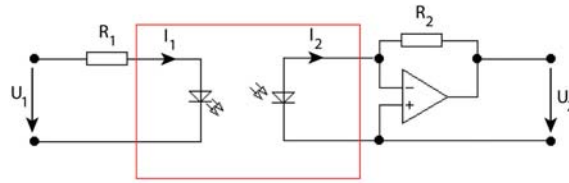


Abbildung 4.1: Schaltung der Lichtschranke

- maximaler Ausgangsstrom: $I_{2max} = 1mA$ (bei $I_1 = I_{1max}$)
- Schaltgeschwindigkeiten der Leuchtdiode: $t_S < 80ns$
- Schaltgeschwindigkeiten der Photodiode: $t_S < 80ns$
- Billigste Kombination von Leucht- und Photodiode

4.3.1 Kombination von Leucht- und Photodioden

Finden Sie die billigste Kombination von Leucht- und Photodiode, die obige Spezifikationen erfüllt. Verwenden Sie dazu als Hilfe die untenstehende Tabelle.

Bauteil	Anbieter
Leuchtdioden	
TSMF3700	Vishay Telefunken
TLHK5100	Vishay Telefunken
TSFF5200	Vishay Telefunken
TSFF5400	Vishay Telefunken
TSAL6200	Vishay Telefunken
Photodioden	
BPV10NF	Vishay Telefunken
BPV22NF	Vishay Telefunken
BPV22NF	Vishay Telefunken
TEMD1000	Vishay Telefunken

Die Datenblätter finden Sie in Ihren Unterlagen.

Hinweis: Bei der schrittweisen Abarbeitung der untenstehenden Auslegungskriterien werden gewisse Leucht- und Photodioden - Kombinationen wegfallen. Am Schluss bleiben noch wenige Kombinationen übrig. Aus diesen soll dann die billigste Kombination ausgewählt werden.

Achten Sie auf folgende Merkmale:

- falsches Spektrum (Leucht- und Photodiode)
- zu langsam (Leucht- und Photodiode)
- starke / mittlere / schwache Abstrahlung (Leuchtdiode)
- starke / mittlere / schwache Empfangsumsetzung (Photodiode)

Hierzu noch ein paar Erläuterungen:

1. **Spektren der Leucht- und Photodioden (Range of Spectral Bandwidth)** Die Spektren von der Leucht- und der Photodiode des Lichtschrankenaufbaus müssen im gleichen Bereich liegen.
2. *Schaltgeschwindigkeit der Leuchtdioden (Rise Time, Fall Time)* Die Leuchtdiode muss die in den Spezifikationen gegebene Schaltgeschwindigkeit erfüllen.
3. *Schaltgeschwindigkeit der Photodioden (Rise Time, Fall Time)* Die Photodiode muss die in den Spezifikationen gegebene Schaltgeschwindigkeit erfüllen.
4. *Übertragungsbilanz der Leucht- und Photodioden Kombinationen* Die Leucht- und Photodioden Kombination muss den in den Spezifikationen gegebenen maximalen Ausgangsstrom liefern können. In den folgenden Schritten wird eine vereinfachte Gleichung für die Herleitung der Übertragungsfunktion vom Eingangsstrom zum Ausgangsstrom hergeleitet.

Eingangsstrom \Rightarrow gesamte Lichtleistung

Radiant Power: ϕ_e [W] bei $I_1 = 100mA$

gesamte Lichtleistung \Rightarrow Lichtleistung auf Photodiodenoberfläche

Zur Vereinfachung der Rechnung werden wir nicht mit Kugeloberflächen, sondern mit Kreisflächen rechnen.

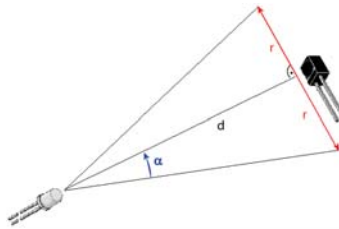


Abbildung 4.2: Geometrische Anordnung der Lichtschranke

Es gilt: $\frac{r}{d} = \tan \alpha$

Für die Ausleuchtfläche im Abstand d gilt: $A_{LED} = r^2 \pi = (d \tan \alpha)^2 \pi$

Das Flächenverhältnis ist dann: $A_V = \frac{A_{PhotoD}}{A_{LED}} = \frac{A_{PhotoD}}{(d \tan \alpha)^2 \pi}$

Unter der Annahme, dass die Leistung homogen über die Ausleuchtfläche im Abstand d verteilt ist, ist das Flächenverhältnis gleich dem Leistungsübertragungsverhältnis von der Leuchtdiode zur Photodiode.

Lichtleistung auf Photodiodenoberfläche \Rightarrow Ausgangsstrom

Absolute Spectral Sensitivity: $s(\lambda)$ [A/W]

Die Berechnung des Photodiodenstromes I_2 erfolgt dann wie folgt : (bei $I_1 = 100 mA$)

$$I_2 = s(\lambda) \cdot A_V \cdot \phi_e|_{I=100mA} = s(\lambda) \cdot \frac{A_{PhotoD}}{(d \tan \alpha)^2 \pi} \cdot \phi_e \Big|_{I=100mA}$$

mit den Einheiten:

$$s(\lambda) : \left[\frac{A}{W} \right]; A_V : [-]; \phi_e : \left[\frac{W}{A} \right] \quad \text{Hinweis: Bei TSFF 5200 ist dies in [W] bei } I = 100mA \text{ angegeben.}$$

5. Kosten der Leuchtdioden- und Photodioden-Kombinationen

Für die verbleibenden möglichen Kombinationen soll jetzt mit Hilfe der Preisliste die billigste Variante gefunden werden. Die Preisliste befindet sich im Anhang.

4.4 Anhang

4.4.1 mögliche Auslegungskriterien

- **LED-Abstrahlintensität:** Umsetzungsverhältnis des Stroms in Licht
- **PhotoD-Empfindlichkeit:** Umsetzungsverhältnis von Licht in Strom
- **Schaltgeschwindigkeiten der LED:** Gibt eine Aussage über die Zeit die es dauert bis die Leuchtdiode auf einen Stromsprung reagiert. (Rise Time, Fall Time)
- **Schaltgeschwindigkeiten der PhotoD:** Gibt eine Aussage über die Reaktionszeit der Photodiode auf einen Lichtsprung (Rise Time, Fall Time)
- **Abstrahlwinkel der LED:** Gibt eine Aussage über welchen Winkel sich die gesamte Lichtmenge verteilt.
- **Empfangswinkel der PhotoD:** Gibt eine Aussage über welchen Winkel die Photodiode Licht detektiert.
- **LeD-Oberfläche:** Oberfläche, auf der die Leuchtdiode abstrahlt.
- **PhotoD-Oberfläche:** Oberfläche, auf der die Photodiode Licht detektiert.
- **LED-Spektrum:** Abstrahlintensität der Leuchtdiode für bestimmte Lichtwellenlängen. Ziel dieses begrenzten Abstrahlspektrums ist die Effizienz im Verhältnis zum Umgebungslicht zu steigern.
- **PhotoD-Spektrum:** Sensitivität der Photodiode für bestimmte Lichtwellenlängen. Ziel eines zusätzlichen Eingangsfilters ist es, den Einfluss von Umgebungslicht zu reduzieren.
- **Temperaturempfindlichkeit:** Alle Dioden sind temperaturabhängig.
- **Abmessungen:** Die Dioden sollen an den dafür vorgesehen Orten auch genügend Platz haben.
- **Preis:** Bei der Massenproduktion von Produkten lohnen sich schon kleine preisliche Einsparungen.

4.4.2 Preislisten (Sommer 2003)

LEDs [SFr]

TSMF3700	0.35
TLHK5100	0.20
TSFF5200	0.45
TSFF5400	0.40
TSAL6200	0.40

Photodioden [SFr]

BPV10NF	1.30
BPV22NF	1.50
BPV23NF	1.50
TEMD1000	1.20

4.5 Lösungsblatt

LED			Photodiode		
	BPV10NF	BPV22NF	BPV23NF	TEMD1000	Beschreibung:
TSMF3700					
TLHK5100					
TSFF5200					
TSFF5400					
TSAL6200					
Beschreibung:					

Teil II

Lösungsvorschläge

Kapitel 1

Zu: Diode in Brückenschaltung

Autor: David Gehring

1.1 Spannungsverlauf

Den Spannungsverlauf sehen Sie in Abbildung 1.1.

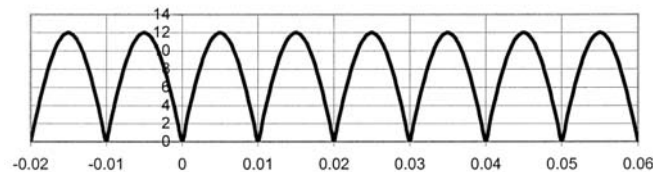


Abbildung 1.1: Spannungsverlauf

1.2 Laststrom

Den Laststrom erkennen Sie in Abbildung 1.2, den Strom durch eine Diode in Abbildung 1.3

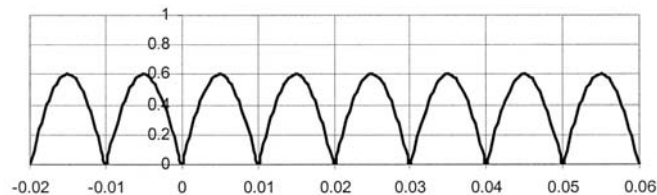


Abbildung 1.2: Laststrom

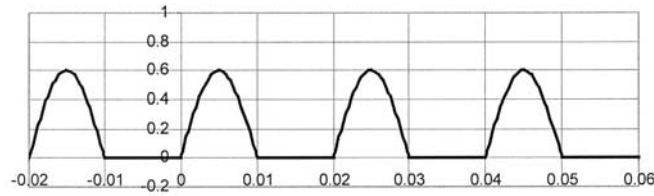


Abbildung 1.3: Strom durch eine Diode

1.3 Datenblätter

Folgende Dioden sind für die Schaltung ungeeignet:

Ref.	Diode	Begründung
D	BAP65-01	Mit $100mA$ Vorwärtsstrom ist Diode zu klein
E	BB148	Mit $20mA$ Vorwärtsstrom ist Diode zu klein

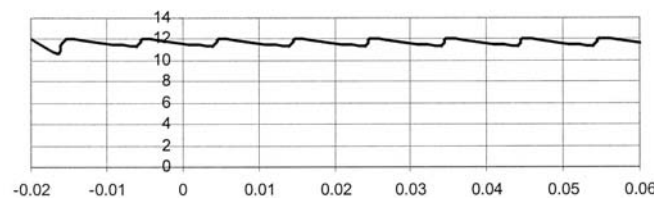
1.4 Diodenauswahl

Ref.	Diode	Verlustleistung	Erwärmung Junction
A	1N4001	ca. $\frac{1}{2} \cdot 0.8V \cdot 400mA = 0.3W$	$7.5K$
B	RUR1S1560S	ca. $\frac{1}{2} \cdot 0.7V \cdot 400mA = 0.25W$	$7.5K$
C	IRF1405	ca. $\frac{1}{2} \cdot 0.7V \cdot 400mA = 0.25W$	$7.5K$

Schlussendlich wird die Diode A (1N4001) gewählt, da dieses Bauteil wohl am billigsten ist. Den leicht höheren Spannungsabfall und damit der höhere Verlust nimmt man in Kauf, da dies bei unserer Anwendung unkritisch ist.

1.5 Zusatzaufgabe

Der Kondensator macht den Gleichrichter zu einem Spitzenwert-Gleichrichter. Die Spannung wellt weniger, d. h. sie kommt einer DC-Spannung näher. Es wird ebenfalls der Effektivwert angehoben (um nahezu auf den Spitzenwert, also um den Faktor $\sqrt{2}$).



Jedoch wird der Eingangsstrom verzerrt. Es treten starke Strom-Peaks auf, die den zulässigen Maximalstrom übersteigen können.

Im Kurzschlussfall fällt die volle Quellenspannung an zwei Dioden ab und ein entsprechender Strom stellt sich ein. Die Diode wird zerstört.

Kapitel 2

Zu: Thyristor in Dimmerschaltung

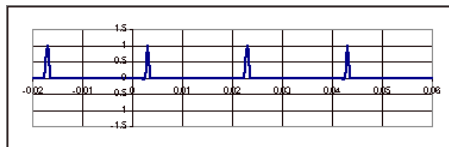
Autor: Christian Eisenhut

2.1 Funktionsweise

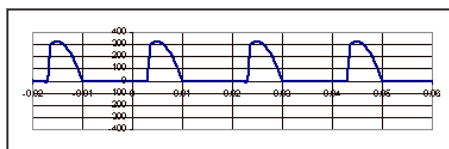
1. Maximale Leistung des Verbrauchers: Bei Zündwinkel $\alpha = 0^\circ$ wirkt der Thyristor wie eine (ideale) Diode, wobei die Leistung maximal ist.

$$P_{max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{eff}^2}{R} = 2kW$$

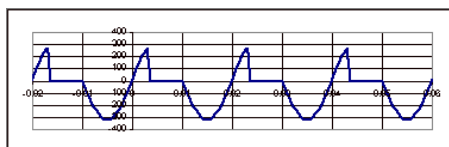
2. a) Zündimpuls i_g am Gate des Thyristors ($i_g = f(t)$):



- b) Spannung u_d an der Last ($u_d = f(t)$):



- c) Spannung u über dem Thyristor T ($u = f(t)$):



2.2 Datenblätter, BauteilAuswahl

Relevante Kenndaten der Thyristoren:

Bauteil	V_{DRM}, V_{RRM}	$I_{T(RMS)}$
BTH151S-650R	650V	12A
2N5064	200V	0.8A
BT145B - 500R	500V	25A
BT145B - 600R	600V	25A
BT145B - 800R	800V	25A

3. *Gewählte Thyristortypen:* Alle drei Thyristortypen der Serie BT145B series.

Begründung: Die wiederkehrende Spannung über dem Thyristor ist $\hat{U} = \sqrt{2} \cdot U_{eff} = 325V$, der wiederkehrende Strom $\hat{I} = \frac{U}{R} = 24.6A$. Nur die Thyristoren aus der BT145B - Serie genügen beiden Anforderungen.

2.3 Zusatzaufgabe

4. a) Für alle drei möglichen Thyristortypen der BT145B-Serie gilt: $I_{TSM} = 300A$. Es folgt somit: $U_{max} = I_{TSM} \cdot R = 3.96kV$. Die Thyristortypen der BT145B-Serie überleben also eine kurzzeitige Überspannung von $4kV$.
- b) Die Überspannung sollte annähernd die Form einer Sinushalbwellen haben und nicht länger als $10ms$ dauern.

Kapitel 3

Zu: Schalt-Transistor (FET)

Autor: Thomas Degen

3.1 Mikrokontroller

- 1a) Der erste Grund ist: *das Relais benötigt 5V Betriebsspannung, der Ausgang vom Mikrokontroller kann nur maximal 3.3V liefern. Würde das Relais ausgeschaltet, liegen 5V am Pin, die Schutzdioden des Mikrokontrollers würden ansprechen und es fließt doch ein Strom*
Der zweite Grund ist: *Der Pin könnte nie die geforderten 100mA Strom liefern*
- 1b) Es fließen maximal $1mA$ aus dem Pin
- 1c) Es fließen maximal $1.5mA$ in den Pin
in Aufgabe 1b) und 1c) wird die maximale bzw. minimale Ausgangsspannung berücksichtigt. Es können auch $6mA$ in einen Output-Pin fließen, dann ist die Spannung am Eingang aber nicht mehr maximal $0.25V$, sondern kann bis zu $0.6V$ betragen.

3.2 Transistor

- 2a) Der Innenwiderstand beträgt *typischerweise* 47Ω .
Um sicher zu sein, dass die Schaltung immer funktioniert, müssen Sie mit dem kleinstmöglichen Innenwiderstand rechnen. Der ist $47\Omega-10\%$. Also etwa 42Ω .
- 2b) Durch den Transistor fließen maximal $119mA$.
Berechnet mit einem minimalen Innenwiderstand von 42Ω
- 2c) Zweck des Widerstands:
der Widerstand soll sicher stellen, dass beim Einschalten des Mikrokontrollers nicht schon eine parasitäre Ladung auf dem Gate des Transistors das Relais einschaltet.
gewählter Wert:
ein möglichst grosse Widerstand verringert den Stromverbrauch im eingeschalteten Zustand.
Vorschlag: $100k\Omega$.
- 2d) Name des von Ihnen gewählten Transistors: $ZVN2106A$

2e) J308:

dieser Transistor leitet schon bei $V_{GS} = 0V$, der Mikrokontroller kann das Relais gar nicht ausschalten. Das ist das typische Verhalten eines J-FETs. J steht dabei für Junction und weist darauf hin, dass das Gate des Transistors nicht wirklich isoliert ist, sondern aus einer in Sperrrichtung gepolter Diode aufgebaut ist

ZVN2106A:

Auch dieser Transistor reicht nur knapp. Die Schwellspannung V_T ist sicher unter 3.3V. Doch der Spannungsabfall über V_{DS} ist bei 100mA geschätzt etwa 0.5V (aus dem Datenblatt nur sehr schwer zu schätzen). Am Relais müssten maximal 3.5V anliegen. Sind alle Komponenten im spezifizierten Bereich wird das Relais schalten. Der Transistor ist eigentlich gemäss Datenblatt für höhere V_{GS} ausgelegt. Im Notfall müssen Sie zwei oder drei Transistoren aus Ihrem Lager ausprobieren

BUK7514-55A:

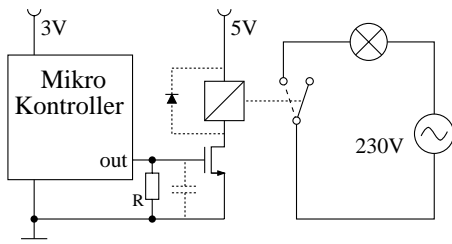
dieser Transistor hat eine Schwellspannung V_T , die über den 3.3V liegen kann. Der Mikrokontroller mag diesen Transistor eventuell gar nicht einschalten. Auch wenn die Schwellspannung unter 3.3V liegt, ist der Widerstand zwischen Drain und Source so hoch, dass bei den geforderten 100mA für das Relais nicht mehr genügend Spannung über dem Relais anliegen wird. Es werden gar keine 100mA fließen, und das Relais bleibt ausgeschaltet.

3.3 Zusatzaufgaben

3a) Ursache des unerwünschten Resets:

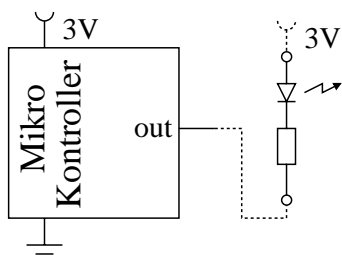
Beim Ausschaltvorgang können an der Spule des Relais sehr hohe Spannungsspitzen auftreten. Über die gemeinsame Masse oder auch über die Spannungsversorgung können solche Spannungsspitzen unter anderem auch den Mikrokontroller zurücksetzen. Wenn zum Beispiel die Versorgungsspannung des Mikrokontrollers kurzzeitig unter die minimale Spannungslimite fällt.

3b) Zeichnen Sie einen Verbesserungsvorschlag:



Es gibt verschiedene Möglichkeiten. Die Freilaufdiode ist auf jeden Fall nötig. Weiter kann der Abschaltvorgang mittels einer Kapazität verlangsamt werden. Oder das Relais kann durch ein Halbleiter-Relais mit getrennter Masse (Optokoppler) ersetzt werden.

3c) Zeichnen Sie die fehlenden Verbindungen im Schema:



Ansteuerung einer LED: der Eingangswiderstand des Output-Pins ist geringer als dessen Ausgangswiderstand. Deshalb wird die Diode nach Masse gezogen. Die Position des Vorwiderstands der Diode hat keinen Einfluss auf die Schaltung. Bei mehreren Dioden an verschiedenen Pins werden die verschiedenen Vorwiderstände oft in einem Array zusammengefasst. Dann kommt der Vorwiderstand unabdingbar vor die Diode.

Kapitel 4

Zu: Leucht- und Photodioden

Autor: Dario Ammann

Lösung 1:

		Photodiode	
		BPV10NF	BPV22NF
	TSMF3700	O	X
	TLHK5100	XX	X / XX
LED	TSFF5200	\$\$\$	X
	TSFF5400	O	X
	TSAL6200	X	X
	Beschreibung:	mittlere Empf.-Umsetzg	zu langsam: 100ns

Lösung 2:

Photodiode		
BPV23NF	TEMD1000	Beschreibung:
O	O	schwache Abstrahlung
XX	XX	falsches Spektrum: 565nm
	O	starke Abstrahlung
	O	mittlere Abstrahlung
X	X	zu langsam: 800ns
Empf.-Ums. stark	Empf.-Ums. schwach	

X : unmöglich aufgrund von Schaltgeschwindigkeit

XX: unmöglich aufgrund von Spektrum

O : unmöglich aufgrund von Übertragungsbilanz

\$\$\$: billigste der verbleibenden Kombinationen

Übertragungsbilanz:

			Photodiode	
		BPV10NF	BPV23NF	TEMD1000
	TSMF3700	0.014566 mA	0.11612 mA	0.0046685 mA
LED	TSFF5200	1.8 mA	14 mA	0.56309 mA
	TSFF5400	0.33462 mA	2.7 mA	0.10725 mA

Kosten:

			Photodiode	
		BPV10NF	BPV23NF	
LED	TSFF5200	1.75 SFr	1.95 SFr	
	TSFF5400	O	1.90 SFr	