

Vertiefende Aufgabenstellung Christof Götschl

Leistungstreiber im Bereich Mikrocontroller

Unterschrift:

.....

Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung.....	5
2. Zusammenfassung.....	5
3. Abstract.....	6
4. Theoretische Erörterungen.....	7
3.1 Definition Schalter	7
3.2 Idealer Schalter	7
3.3 Elementare Schaltvorgänge und Betriebsweise von Leistungshalbleitern	8
3.3.1 Nullstromschalter	8
3.3.2 Nullspannungsschalter	9
3.3.3 Hartes Schalten.....	9
3.3.4 Weiches Schalten.....	10
3.3.5 Resonantes Schalten	11
3.3.6 Neutrales Schalten.....	11
3.4 Schaltkomponenten.....	13
3.4.1 Bipolar-Transistor	14
3.4.1.1 Transistorprinzip.....	14
3.4.1.2 Vierquadranten-Kennlinienfeld	15
3.4.1.3 3.4.Eingangskennlinienfeld.....	15
3.4.1.4 Stromsteuerkennlinienfeld.....	16
3.4.1.5 Das Ausgangskennlinienfeld	17
3.4.2 Feldeffekttransistor.....	18
3.4.2.1 Sperrschicht-FET – Junction-FET	18
3.4.2.2 Eingangskennlinien eines n-Kanal Sperrschicht-FET	18
3.4.2.3 Ausgangskennlinien eines n-Kanal Sperrschicht-FET	19
3.4.3 Der Thyristor	20
3.4.3.1 Thyristoreigenschaften	21
3.4.4 Der Triac	21
3.4.5 Halbleiterrelais	23
5. Praktische Umsetzung.....	24
4.1 Auswahl der zu Vermessenden Komponenten	24
CRYDOM	25
OPTO 22.....	25
SHARP.....	25
4.2 Ansteuerung der einzelnen Module	25
4.3 Messaufbau.....	28

4.3.1	Messschaltung	28
4.3.2	Messequipment:.....	29
4.3.3	Messaufbau:	30
4.4	Messung	31
4.4.1	Messung bei ohmscher Last.....	32
4.4.1.1	CRYDOM	32
4.4.1.2	OPTO22.....	33
4.4.1.3	SHARP	34
4.4.2	Messung bei induktiver Last:	35
4.4.2.1	CRYDOM	35
4.4.2.2	OPTO22.....	35
3.4.5.1	SHARP	36
6.	Ergebnisse	37
7.	Schlussfolgerung.....	39
8	Literaturverzeichnis	40



Abbildung 1 Nullstromschalter	8
Abbildung 2: Nullspannungsschalter.....	9
Abbildung 3: Hartes Schalten	10
Abbildung 4: Weiches Schalten	10
Abbildung 5: Resonantes Schalten.....	11
Abbildung 6: Neutrales Schalten	11
Abbildung 7: Schaltzeichen und Aufbau eines Bipolar-Transitors	14
Abbildung 8: Messaufbau für Eingangskennlinienfeld.....	15
Abbildung 9: Eingangskennlinie Bipolar-Transistor	15
Abbildung 10: Messaufbau für Stromsteuerkennlinienfeld	16
Abbildung 11: Steuerstromkennlinienfeld.....	16
Abbildung 12: Ausgangskennlinienfeld	17
Abbildung 13: Ausgangskennlinienfeld	17
Abbildung 14: N-Kanal Feldeffekttransistor.....	18
Abbildung 15: Eingangskennlinie N-Kanal FET	19
Abbildung 16: Ausgangskennlinienfeld Feldeffekttransistor	19
Abbildung 17: Kennlinienfeld eines Thyristors in Abhängigkeit der Gate-Kathodenspannung	20
Abbildung 18: Prinzip eines TRIACS	21
Abbildung 19: Innerer Aufbau eines TRIACS.....	22
Abbildung 20: DATENBLATTAUSZUG SHARP	26
Abbildung 21.DATENBLATT AUSZUG SHARP	26
Abbildung 22: DATENBLATTAUSZUG OPTO22.....	26
Abbildung 23: Schaltplan für den Messaufbau.....	28
Abbildung 24: Messaufbau des Messequipments.....	30
Abbildung 25: Messaufbau der Platine	30
Abbildung 26: CRYDOM mit ohmscher Last im Einschaltmoment	32
Abbildung 27: CRYDOM mit ohmscher Last im Ausschaltmoment	32
Abbildung 28: CRYDOM mit ohmscher Last.....	32
Abbildung 29: Infrarotbild CRYDOM	32
Abbildung 30: OPTO22 mit ohmscher Last.....	33
Abbildung 31: OPTO22 mit ohmscher Last im Ausschaltmoment	33
Abbildung 32: OPTO22 mit ohmscher Last im Einschaltmoment.....	33
Abbildung 33: Infrarotbild OPTO22.....	33
Abbildung 34: SHARP mit ohmscher Last im Ausschaltmoment	34
Abbildung 35: SHARP mit ohmscher Last	34
Abbildung 36: SHARP mit ohmscher Last im Einschaltmoment.....	34
Abbildung 37: CRYDOM bei induktiver Last im Ausschaltmoment.....	35
Abbildung 38: CRYDOM bei induktiver Last im Einschaltmoment.....	35
Abbildung 39: OPTO22 bei induktiver Last im Einschaltmoment	35
Abbildung 40: OPTO22 bei induktiver Last im Ausschaltmoment.....	35
Abbildung 41: SHARP im Ausschaltmoment bei induktiver Last (1).....	36
Abbildung 42: SHARP im Ausschaltmoment bei induktiver Last (2).....	36
Abbildung 43: SHAPR bei induktiver Last im Einschaltmoment	36
Tabelle 1: Parameter eines idealen Schalters.....	7
Tabelle 2: Übersicht der elementaren Schaltvorgänge.....	11

1. Aufgabenstellung

Im theoretischen Teil werden unterschiedliche Möglichkeiten zum Schalten von externen Verbrauchern mittels Mikrocontroller untersucht. Hierbei wird vor allem auf Schaltvorgänge bei Wechselspannung und Gleichspannung unter ohmschen und ohmsch-induktiven Lasten eingegangen.

Im praktischen Teil werden die Vor und Nachteile der einzelnen Lösungsvarianten in Bezug auf Spannungs- und Stromverläufe, Schaltzeiten, Leistungsverlust ermittelt und gegenüber gestellt.

2. Zusammenfassung

Ein Mikrocontroller (auch μ Controller, μ C, MCU) ist praktisch ein Ein-Chip-Computersystem.

Viele Komponenten die sich heute in einem Computer befinden sind hierbei bereits in einem Chip integriert. So befinden sich nicht nur ein Prozessor sondern auch ein Arbeitsspeicher, ein Programmspeicher, als auch digitale und analoge Ports und Schnittstellen zur externen Kommunikation auf einem Chip. Durch diese hohe Integration an Komponenten ist es möglich mit nur einem Chip komplexe Aufgaben zu bewältigen für die normalerweise aufwändige Schaltungen und eine hohe Anzahl an Komponenten benötigt werden würde.

Mikrocontroller sind in Leistung und integrierten Komponenten auf die jeweilige Anwendung angepasst. Daher haben sie gegenüber „normalen“ Computern deutliche Vorteile bei den Kosten und der Leistungsaufnahme. Kleine Mikrocontroller sind in höheren Stückzahlen unter 1 € verfügbar.

Einsatzgebiete sind unter anderem:

- Computer: Tastatur, Maus, Drucker, Monitor, Scanner
- Unterhaltungselektronik: Radios, Fernsehgeräten, DVD oder Blu-ray-Player, Spielekonsolen
- Kraftfahrzeugen: ABS, Airbag, Motormanagement, ESP
- Industrie: Messwerterfassung, Steuerung und Regelung
- Haushalt: Waschmaschine, Kühlschrank, Heizung, Mixer

Ein Mikrocontroller kommt also in vielen Anwendungen zum Einsatz. Jedoch ist das Schalten von externen Verbrauchern meist nicht ohne zusätzliche Schaltelektronik möglich da hierfür die nötige Schaltleistung von einem Mikrocontroller nicht zu Verfügung gestellt werden kann.

In dieser Vertiefenden Aufgabenstellung soll auf die verschiedenen Möglichkeiten eingegangen werden.

Während dem sich der theoretische Teil mit den Grundbegriffen und der Aufzählungen der einzelnen Möglichkeiten befasst, wird dem gegenüber im praktischen Teil ein Versuchsaufbau unternommen.

3. Abstract

A microcontroller (or μ Controller, μ C, MCU) is a kind of one-chip-computer system.

A lot of components which are normally implemented in a computer are already integrated in the chip. In addition of a processor the chip contains a working processor, a program memory, also digital and analog ports and a big amount of interfaces for extern communication. That complex integration of all these components in only one chip helps to manage tasks which would normally need complicated circuits and many components.

The power and the capacity due it's components of microcontrollers are perfect to be used in each application.

Compared to an average computer system the microcontroller has a lot of advantages: pricewise and less power consumption. In high quantity small microcontrollers are available for less than one euro.

Because of these advantages there are a lot of fields of application:

- Computer: keyboard, mouse, printer, monitor, scanner;
- Consumer electronics: radios, televisions, DVD or Blu-ray-player, game-consoles
- Motor vehicles: ABS, airbag, motor management, ESP
- Industry: Data Acquisition, control system and regulation
- Household: washing machine, fridge, heating, blender

As it is explained above a microcontroller is useful in many fields of application. To switch a microcontroller it is most of the time necessary to combine them with an additional switching electronic system because by itself the microcontroller does not have the capacity to provide the switching power on its own.

In this profound setting of task the various possibilities of a microcontroller are demonstrated.

While the theoretical part is dealing with basic terms and the list of several possibilities, the practical part shows the experimental setup.

4. Theoretische Erörterungen

Die theoretische Erörterung befasst sich in erster Linie mit der Definition von Schaltern in der Elektronik. Des Weiteren werden die verschiedenen Schaltarten erklärt.

In dritter Folge werden auf die spezifischen Komponenten und deren Schalterverhalten eingegangen.

4.1 Definition Schalter

Unter dem Begriff Schalter versteht man ein Bauteil oder Gerät bei dem mittels zweier elektrisch leitender Materialien, oder eines Halbleiterbauelements, eine elektrisch leitende Verbindung hergestellt oder getrennt wird.

Im eingeschalteten Zustand soll ein Schalter den Eingang möglichst schnell und niederohmig mit dem Ausgang verbinden. Ein möglichst schnelles und niederohmiges Schalten soll hierbei die Verlustleistung des Bauteiles oder des Gerätes gering halten.

Im ausgeschaltetem Zustand sollen Ein – und Ausgangsseite möglichst schnell voneinander getrennt werden und hochohmig voneinander isoliert sein. Auch dies ist eine Voraussetzung für ein verlustfreies Schalten.

4.2 Idealer Schalter

Ein Bauteil oder Gerät, das einen elektrischen Stromfluss unter allen Betriebsbedingungen verzögerungsfrei und in beliebiger Stärke ein-, aus- oder umschalten kann. Es setzt diesem Strom keinen Widerstand entgegen. In der Praxis können mechanische oder elektronische Schalter das Idealbild simulieren, jedoch nicht erreichen. Stets treten Einschränkungen wie begrenzter Strom- oder Spannungsbelastbarkeit auf. Verzögerungsfreies Umschalten ist nicht möglich. Einen geringen Widerstand weist jeder Schalter auch auf.(1)

Tabelle 1: Parameter eines idealen Schalters

Parameter	Wert	Einheit
Einschaltzeit	0	[ms]
Ausschaltzeit	0	[ms]
Widerstand im eingeschaltetem Zustand	0	[Ohm]
Widerstand im ausgeschaltetem Zustand	∞	[Ohm]
max. Schaltstrom	∞	[A]
max. Schaltspannung	∞	[V]
max. Schaltleistung	∞	[W]

4.3 Elementare Schaltvorgänge und Betriebsweise von Leistungshalbleitern

Elektromechanische und Leistungshalbleiter arbeiten bis auf wenige Sonderanwendungen im Schaltbetrieb. Zielstellung bei jeder Applikation und bei jedem System ist die Annäherung an eine möglichst verlustarme Betriebsweise.

Begriffe für elementare Schaltvorgänge:

- Nullstromschalter (Zero-Current-Switch)
- Nullspannungsschalter (Zero-Voltage-Switch)
- Hartes Schalten
- Weiches Schalten
- Resonantes Schalten
- Neutrales Schalten

4.3.1 Nullstromschalter

Ein Schalter in einem induktivitätsbehafteten Zweig kann bei unendlich kurzer Einschaltzeit zu jedem beliebigen Zeitpunkt verlustfrei einschalten.

Im Einschaltmoment liegt die gesamte Spannung an der Induktivität an. Daraus resultierend liegt am Schalter keine Spannung an und es entsteht keine Verlustleistung.

Bei fließendem Strom ist Energie in der Induktivität gespeichert und muss im Ausschaltmoment umgesetzt werden. Der Schalter kann aus diesem Grund ohne Energieumsatz nur bei Stromfluss = 0 ausschalten. Man spricht in diesem Fall von einem passiven Ausschalten, weil der Schaltzeitpunkt von dem Stromverlauf im Schalterzweig bestimmt ist. Ein Schalter, der ausschließlich diesen Schaltbedingungen unterliegt, wird als (ZCS, Zero-Current-Switch) Null-Stromschalter bezeichnet.

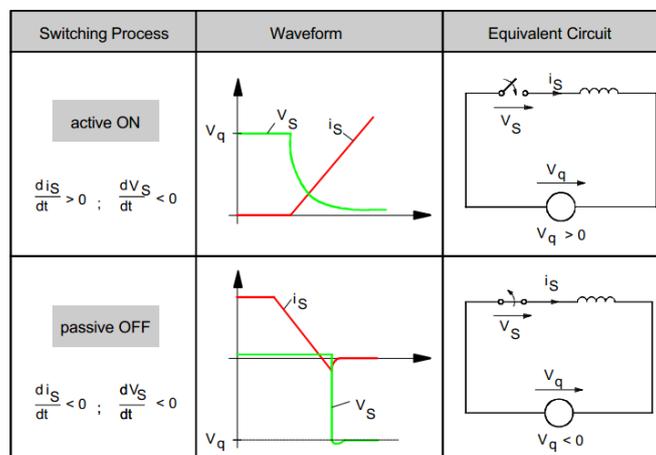


Abbildung 1: Nullstromschalter

4.3.2 Nullspannungsschalter

Schalter zwischen kapazitätsbehafteten Punkten (eingepögte Spannung) Eine eingepögte Spannung über einem Schalter föhrt dazu, dass ein Einschalten nur bei $v_S = 0$ verlustfrei erfolgen kann. In diesem Fall liegt ein passives Einschalten vor, da der Spannungsverlauf und damit auch der Nulldurchgang durch das äußere Netzwerk bestimmt sind. Ein Ausschalten dagegen ist aktiv zu jedem beliebigen Zeitpunkt möglich. Schalter, die nach diesen Schaltbedingungen arbeiten, werden Nullspannungsschalter (ZVS, Zero-Voltage-Switch) genannt. (2)

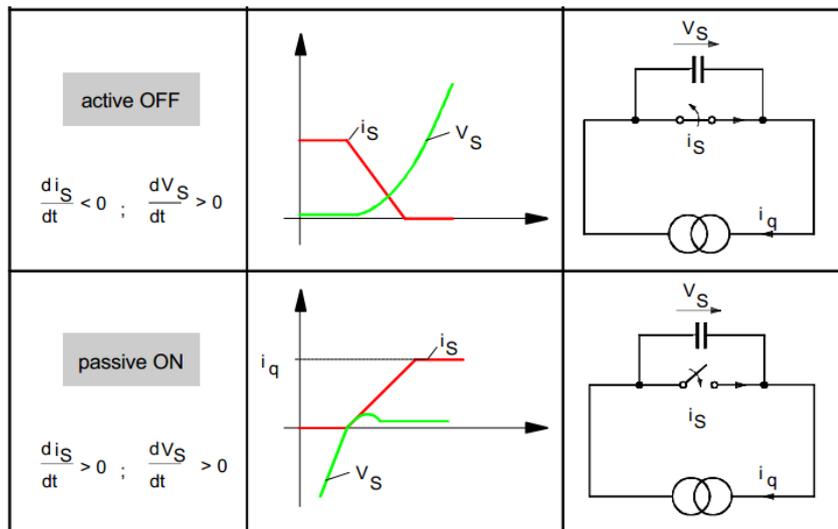


Abbildung 2: Nullspannungsschalter

4.3.3 Hartes Schalten

Ein harter Einschaltvorgang zeichnet sich durch aus, dass im Einschaltmoment beinahe die gesamte Kommutierungsspannung am Schalter abfällt. In dem zu schaltendem Netz befinden sich im Einschaltmoment keine einflussnehmenden Induktivitäten.

Der harte Einschaltvorgang ist dadurch gekennzeichnet, dass während der Stromkommutierungszeit t_K nahezu die gesamte Spannung v_K über dem stromführenden Schalter S1 abfällt, wodurch erhebliche Verlustleistungsspitzen im Leistungshalbleiter auftreten. Die Kommutierungsinduktivität hat dabei ihren Minimalwert, d.h. der Stromanstieg wird durch den einschaltenden Leistungshalbleiter bestimmt. Durch den passiven Ausschaltvorgang von Schalter S2 endet die Stromkommutierung. Die Kommutierungszeit ist annähernd identisch mit der Schaltzeit. Während des harten Ausschaltvorganges steigt die Spannung an S1 bei weiterfließendem Strom i_{S1} bis über den Wert der Spannung v_K an. Erst ab diesem Zeitpunkt beginnt die Stromkommutierung durch passives Einschalten von Schalter S2. Die Kommutierungskapazität ist dabei minimal, wodurch der Spannungsanstieg wesentlich durch die Eigenschaften der Leistungshalbleiter festgelegt ist. Schaltzeit und Kommutierung sind deshalb annähernd gleich, verbunden mit hohen Verlustleistungsspitzen im Schalter. (2)

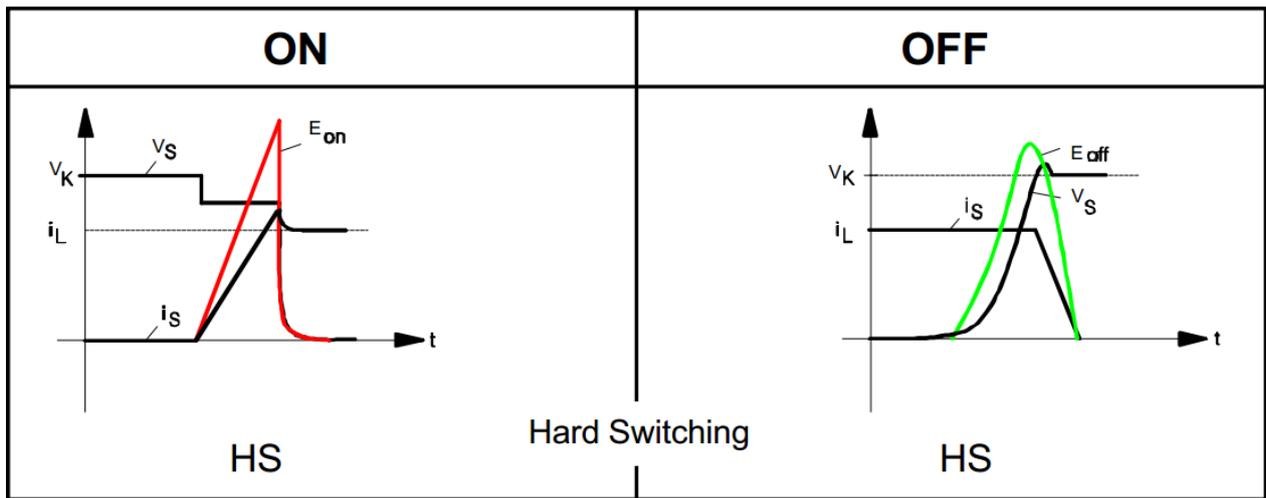


Abbildung 3: Hartes Schalten

4.3.4 Weiches Schalten

Während des weichen Einschaltvorganges eines Nullstromschalters (ZCS) fällt bei ausreichend großem LK die Schalterspannung relativ schnell auf den Wert des Durchlassspannungsabfalls ab, so dass während der Stromkommutierung keine bzw. geringe überhöhte Verluste in Schaltern auftreten können. Die Kommutierungsinduktivität L

K bestimmt den Stromanstieg. Die Stromkommutierung endet mit dem passiven Ausschalten von Schalter S2. Damit erhöht sich die Kommutierungszeit t_K gegenüber der Schaltzeit t

Der weiche Ausschaltvorgang eines Nullspannungsschalters (ZVS) wird durch aktives Ausschalten von S1 eingeleitet. Der abnehmende Schalterstrom kommutiert in die Beschaltungskapazitäten C_K und leitet die Spannungskommutierung ein. C

K ist gegenüber C_K , \min größer, wodurch der Spannungsanstieg wesentlich beeinflusst wird. Durch den verzögerten Spannungsanstieg am Schalter reduziert sich die Verlustleistung.

Arten von Schaltvorgängen (v_K = treibende Kommutierungsspannung, i = Laststrom)

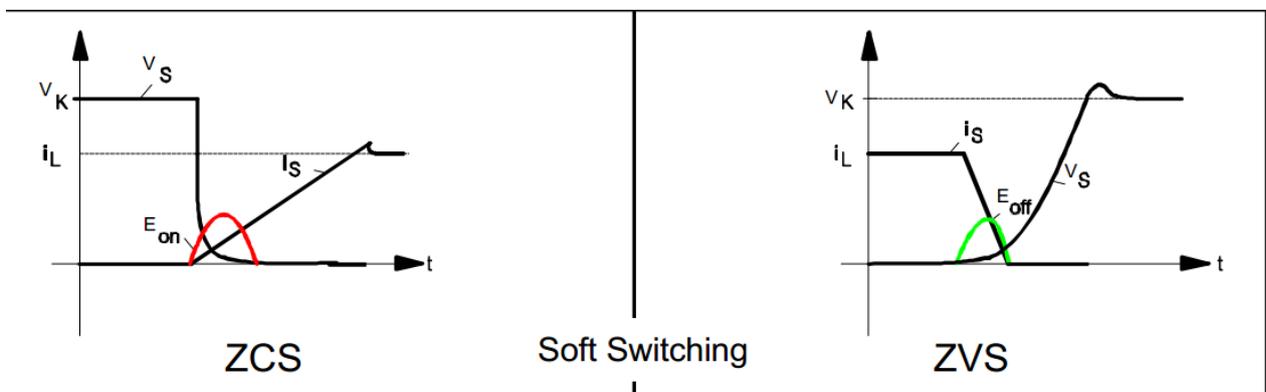


Abbildung 4: Weiches Schalten

4.3.5 Resonantes Schalten

Von Resonanz-Einschalten spricht man, wenn ein Nullstromschalter in dem Zeitpunkt einschaltet, in dem der Strom i_L annähernd den Wert Null einnimmt. Die Schaltverluste reduzieren sich damit weiter gegenüber dem weichen Einschalten des Nullstromschalters. Weil der Zeitpunkt des Stromnulldurchganges vom Schalter aus nicht aktiv bestimmt werden kann, geht ein Steuerfreiheitsgrad verloren. Ein Resonanz-Ausschalten eines Nullspannungsschalters liegt dann vor, wenn während des Ausschaltvorganges die Kommutierungsspannung annähernd Null ist. Auch dabei sind gegenüber dem weichen Ausschalten des Nullspannungsschalters die Schaltverluste nochmals reduziert.

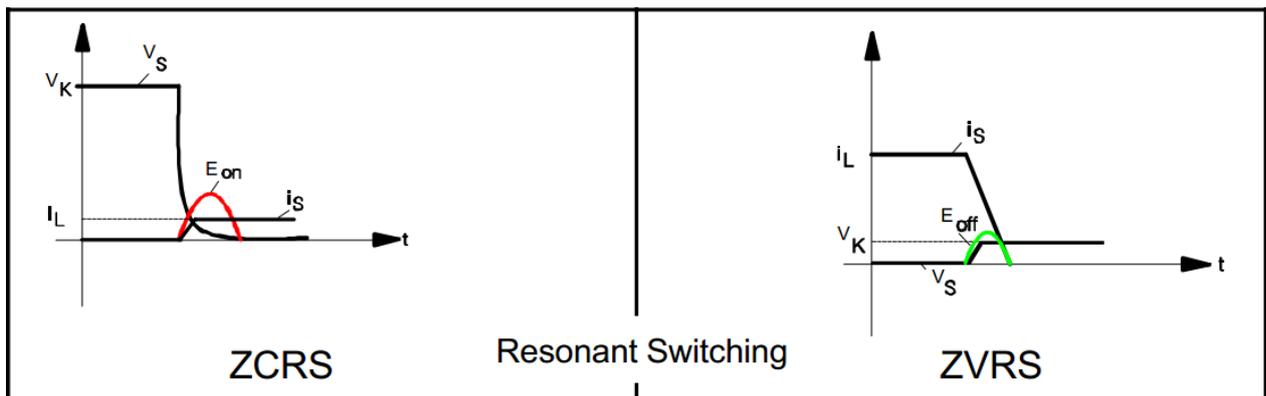


Abbildung 5: Resonantes Schalten

4.3.6 Neutrales Schalten

Neutrales Schalten liegt vor, wenn sowohl die Schalterspannung als auch der Schalterstrom im Schaltaugenblick annähernd Null sind. Bei Einsatz von Dioden liegt dieser Fall im Allgemeinen vor.

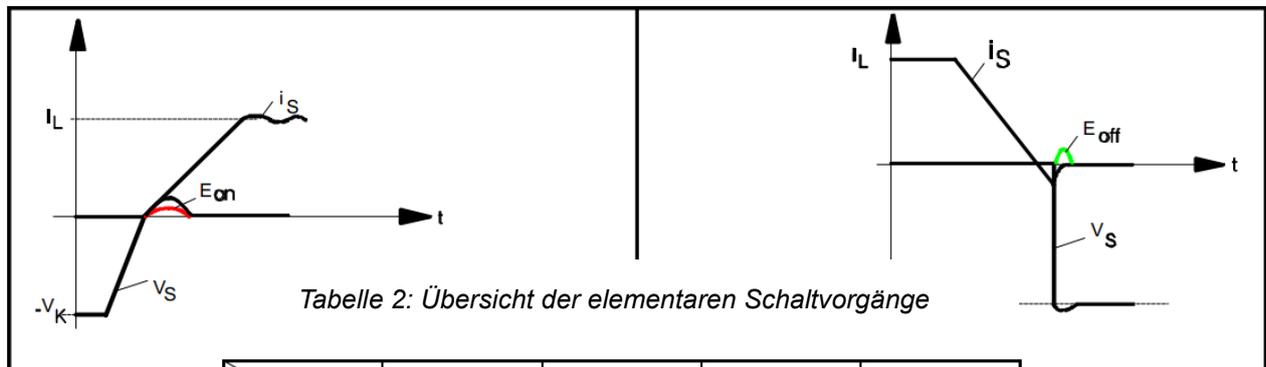


Tabelle 2: Übersicht der elementaren Schaltvorgänge

OFF \ ON	hard	soft L_K in Series	resonant $i_L = 0$	neutral $V_S = 0$
hard	HS	MZCS		ZVHS
soft C_K in Parallel	MZVS			ZVS
resonant $V_K = 0$				ZVRS
neutral $i_S = 0$	ZCHS	ZCS	ZCRS	NS

4.4 Schaltkomponenten

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Auswahl der richtigen Schaltkomponenten.

Auswahlkriterien:

- Schaltart (Kapitel 7.4.3)
- Schaltspannung
- Schaltleistung
- Schaltstrom
- Schalthäufigkeit
- Steuerspannung & Steuerstrom in Abhängigkeit vom Mikrocontroller
- Einschaltzeit
- Ausschaltzeit
- Größe
- Preis
- Lieferbarkeit

In diesem Kapitel sollen die verschiedenen elektronischen und elektrotechnischen Halbleiter und Module kurz und anschaulich erklärt werden.

Unter Aufbau und Funktionsweise wird hierbei auch auf die unterschiedlichen Einsatzgebiete eingegangen.

Komponenten:

- Bipolar-Transistoren
- Feld Effekt Transistoren
- Thyristor
- TRIAC
- Halbleiterrelais

4.4.1 Bipolar-Transistor

Der Begriff Transistor setzt sich aus dem englischen Wort **transfer** und **resistor** zusammen. Dies soll in einem Wort das Grundprinzip eines Transistors beschreiben welcher durch eine angelegte elektrischen Spannung oder elektrischen Strom seinen Widerstand verändert.

Bei Bipolar Transistoren wird mit Hilfe eines vergleichsweise kleinen Basisstroms ein großer Laststrom geschaltet bzw. vserstärkt.

Ein Bipolar Transistor besteht in seinen Grundzügen aus drei sich abwechselnden p- und n-Dotierten Halbleiterschichten. Die drei unterschiedlichen Bereiche werden Kollektor(C), Basis(B) und Emitter(E) genannt. In Abhängigkeit der Schichtfolge unterscheidet man unter pnp und npn Transistoren. Das Transistorprinzip ist für beide Typen gleich. Jedoch ändert sich die Polarität an den Elektroden.

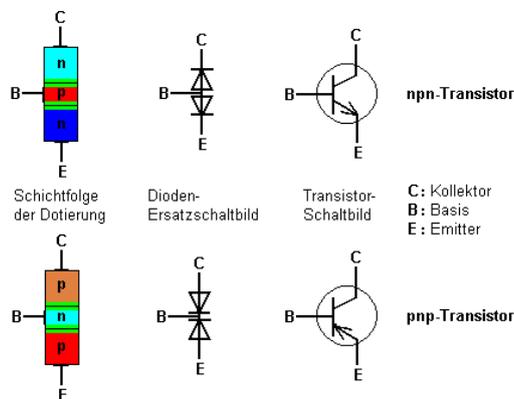


Abbildung 7: Schaltzeichen und Aufbau eines Bipolar-Transistors

4.4.1.1 Transistorprinzip

Die beiden p-n-Übergänge werden im Folgenden als EB (Emitter-Basis) bzw. CB (Kollektor-Basis) bezeichnet. Ohne äußere Spannung bilden sich an EB und CB Raumladungszonen aus. Mit einer negativen Spannung am Emitter und einer positiven Spannung am Kollektor wird die Raumladungszone an EB abgebaut, an CB jedoch vergrößert. Wird an der Basis nun eine positive Spannung angelegt, so wird EB leitend - Elektronen gelangen in die Basisschicht. Da diese sehr dünn ist, können die Ladungsträger in den Kollektor injiziert werden, wo sie auf Grund der angelegten positiven Spannung abgesaugt werden. Somit fließt ein Strom von Emitter zu Kollektor. Nahezu alle Elektronen gelangen so bereits bei einer geringen Spannung an der Basis zum Kollektor (>95 %), was bedeutet, dass mit einem relativ kleinen Basisstrom (Emitter zu Basis) ein sehr großer Kollektorstrom (Emitter zu Kollektor) ermöglicht wird. (3)

4.4.1.2 Vierquadranten-Kennlinienfeld

Die Arbeitsweise eines bipolaren Transistors ist von einigen Parametern in Bezug auf Ströme, Spannungen und Betriebsart abhängig. Um einen raschen Überblick über alle wichtigen Eigenschaften zu bekommen, lassen sich die wichtigsten Kennwerte und Kennlinien in einem Vierquadranten-Kennlinienfeld zusammenfügen.

Zusammensetzung der 4 Quadranten:

- Eingangskennlinienfeld
- Stromsteuerkennlinienfeld
- Ausgangskennlinienfeld
- Spannungsrückwirkungs-Kennlinienfeld

4.4.1.3 3.4.Eingangskennlinienfeld

Die Eingangsgrößen der Emitterschaltung sind der Basisstrom I_B und die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} . Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Werten stellt die Durchlasskennlinie der pn-Schicht zwischen Basis und Emitter dar. Es handelt sich dabei um eine der beiden Diodenstrecken im Transistor. Die Kennlinie gilt jeweils für eine bestimmte Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} . (3)

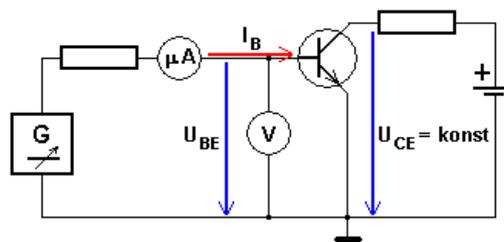


Abbildung 8: Messaufbau für Eingangskennlinienfeld

Der Anstieg an einem bestimmten Punkt in der Kennlinie nennt man differentieller Eingangswiderstand r_{BE} . Der Widerstand r_{BE} ändert sich, wenn die Spannung U_{CE} nicht konstant ist und bezieht sich auf einen bestimmten Arbeitspunkt. (3)

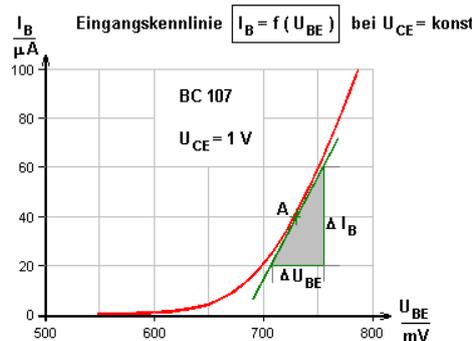


Abbildung 9: Eingangskennlinie Bipolar-Transistor

4.4.1.4 Stromsteuerkennlinienfeld

Die Stromsteuerkennlinie ergibt sich aus dem Zusammenhang von Kollektorstrom I_C und dem Basisstrom I_B . Die Stromsteuerkennlinie wird auch als Übertragungskennlinie bezeichnet.

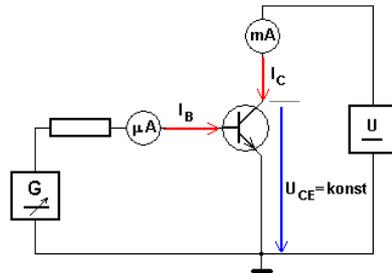


Abbildung 10: Messaufbau für Stromsteuerkennlinienfeld

Die Kennlinie gilt jeweils für eine bestimmte Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} . Die Charakteristik der Kennlinie ist anfangs nahezu linear und krümmt sich dann gegen Ende etwas.

Aus der Steilheit der Kennlinie kann die Gleichstromverstärkung B und differenzielle Stromverstärkung β abgelesen werden. Je steiler die Kennlinie, desto größer die Stromverstärkung. Ist die Kennlinie stark gekrümmt, dann ist die Verstärkung nicht konstant. Dadurch entstehen Verzerrungen am Ausgang einer Verstärkerschaltung.

Der Gleichstromverstärkungsfaktor B ergibt sich direkt aus dem Kollektorstrom I_C und dem Basisstrom I_B , bei einer bestimmten Kollektor-Emitter-Spannung.

Der Wechselstromverstärkungsfaktor β ergibt sich aus der Kollektorstromänderung ΔI_C und der Basisstromänderung ΔI_B bei einer bestimmten Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} . (3)

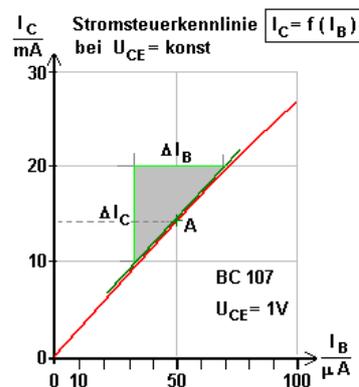


Abbildung 11: Steuerstromkennlinienfeld

4.4.1.5 Das Ausgangskennlinienfeld

Die Ausgangsgrößen der Emitterschaltung sind der Kollektorstrom I_C und die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} . Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Werten wird bei verschiedenen Basisströmen I_B angegeben.

Jede Kennlinie gilt für jeweils einen anderen Basisstrom I_B .

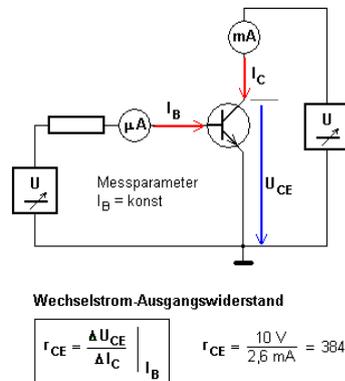


Abbildung 12:
Ausgangskennlinienfeld

Mit eingestelltem Basisstrom und Kollektor-Emitterspannungen unter 1 Volt steigt I_C bei Erhöhung der U_{CE} anfangs sehr steil an. Zwischen 500 mV und 1 V wird ein Sättigungswert erreicht. Bei weiterer Erhöhung der U_{CE} vergrößert sich der Kollektorstrom nur noch wenig. Bestimmt man zusätzlich die Kollektor-Basisspannung, so kann man feststellen, dass ab $U_{CB} = 0 \text{ V}$ die Ausgangskennlinie in den linearen flachen Verlauf übergeht. (3)

Der Arbeitsbereich des Transistors als Signalverstärker liegt im Bereich der linearen Kennlinienschar und wird von der Verlustleistungshyperbel begrenzt. Mit dem Basisstrom als Parameter kann in jedem gewählten Arbeitspunkt der Ausgangsleitwert und als dessen Kehrwert der Gleichstrom-Ausgangswiderstand (Innenwiderstand) errechnet werden. Die Tangentensteigung im Arbeitspunkt ist gleich dem dynamischen Ausgangsleitwert. Sein Kehrwert, das Verhältnis von ΔU_{CE} und ΔI_C ergibt den Wechselstrom-(Innen-)Ausgangswiderstand. Er liegt in der Größenordnung weniger Kiloohm und ist vom Arbeitspunkt abhängig. (3)

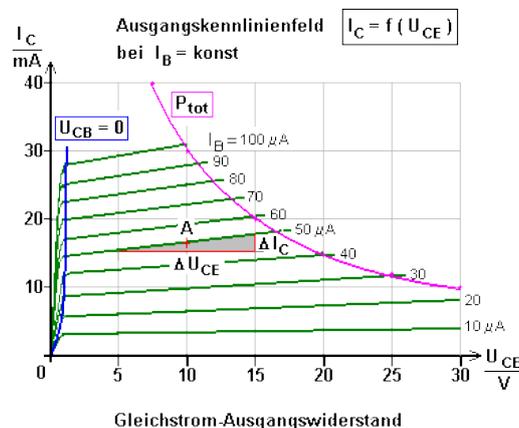


Abbildung 13: Ausgangskennlinienfeld

4.4.2 Feldeffekttransistor

Er ist mit einem elektrisch leistungslos steuerbaren Widerstand vergleichbar. Am Stromtransport im FET ist nur eine Ladungsträgerart beteiligt. Bei einem n-leitenden Substrat sind es ausschließlich Elektronen und bei einem p-leitenden FET bewegen sich Defektelektronen oder Löcher. Der FET ist daher ein Unipolartransistor. Der Stromtransport durch den FET wird vom elektrischen Feld der angelegten Spannung gesteuert.

4.4.2.1 Sperrschicht-FET – Junction-FET

Ein n- oder p-leitendes Substrat wird an den Enden elektrisch leitend mit den Elektroden Drain (Senke) und Source (Quelle) verbunden. Liegt eine Gleichspannung an, so fließt zwischen beiden, dem Kanal, ein von der Feldstärke abhängiger elektrischer Strom. Der Kanal wird von beiden Seiten durch eine eindiffundierte Halbleiterschicht gegensätzlicher Dotierung umschlossen, die mit der Steuerelektrode, dem Gate, elektrisch leitend verbunden ist. Am pn-Übergang bildet sich eine Raumladungszone. Ein Verändern des Gatepotenzials engt den Kanal mehr oder weniger ein und steuert so den Strom im Kanal. Der Stromfluss durch den FET ist in beiden Fällen nur von der elektrischen Feldstärke, dem Feldeffekt, gesteuert. (3)

Beim Sperrschicht-FET muss die Raumladungszone zwischen Gate und Kanal immer erhalten bleiben.

Aufbau eines n-Kanal Sperrschicht-FET und dessen Schaltzeichen.



Abbildung 14: N-Kanal Feldeffekttransistor

In vergleichbarer Bauweise gibt es den p-Kanal Sperrschicht-FET. Sein elektrisches Verhalten ist zum n-Kanal JFET-Transistor bei Beachtung der umgekehrten Polarität der Spannungen identisch.

Prinzipiell ist die Polarität der Drain-Source-Spannung nicht festgelegt. Die einzige Bedingung ist eine in Sperr-Richtung betriebene Gate-Source-Strecke. Für einen n-Kanal FET muss das Gatepotenzial immer negativ oder Null gegenüber dem Sourcepotenzial bleiben. (3)

4.4.2.2 Eingangskennlinien eines n-Kanal Sperrschicht-FET

Von Interesse ist die Eingangs- und Ausgangskennlinie mit den daraus ablesbaren Eigenschaften. Die Eingangs- oder Steuerkennlinie zeigt die Abhängigkeit des Drainstroms bei Veränderung der negativen Gate-Source-Spannung. Die Kanalspannung zwischen Drain und Source bleibt für die Messungen konstant. (3)

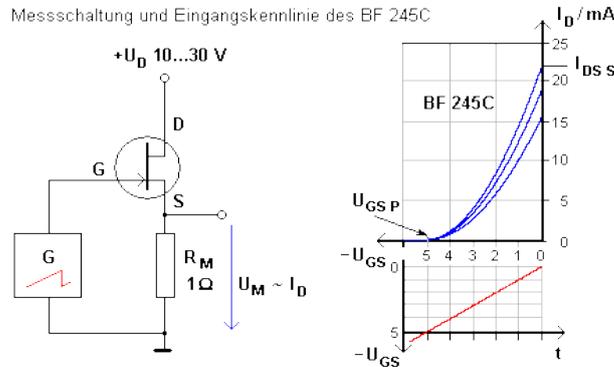


Abbildung 15: Eingangskennlinie N-Kanal FET

Drain-Source-Kurzschlussstrom

Bei der Gate-Source-Spannung $U_{GS} = 0 \text{ V}$ fließt ein auf der Eigenleitfähigkeit beruhende maximale Drainstrom. Er erreicht mit höheren Drainspannungen ebenfalls höhere Werte, da die Feldstärke zwischen Drain und Source mehr Elektronen durch den Kanal treibt. (3)

Abschnür- oder Schwellenspannung

Ist die Gate-Source-Spannung ausreichend negativ, hier unterhalb $U_{GS} = 5 \text{ V}$, berühren sich die Raumladungszonen und der n-Kanal wird abgeschnürt. Der Drainstrom geht gegen Null. Die Abschnür- oder Schwellenspannung U_{GS} ist ein charakteristischer Wert der Eingangskennlinie. (3)

4.4.2.3 Ausgangskennlinien eines n-Kanal Sperrschicht-FET

Das Ausgangskennlinienfeld zeigt den Drainstrom I_D in Abhängigkeit von der Drain-Source-Spannung U_{DS} für konstant gehaltene Gate-Source-Spannungen U_{GS} . Werden Gate und Source miteinander verbunden und die Drainspannung von 0 V an stetig erhöht, so steigt der Drainstrom fast proportional mit der Spannung wie bei einem ohmschen Widerstand an. Ab einem bestimmten Wert, der Kniespannung, nimmt der Strom nur noch geringfügig zu. Alle Kniespannungspunkte im Ausgangsfeld verbunden ergeben die Abschnürgrenze. Bis zu dieser Grenze reicht das ohmsche Verhalten des FET. Danach folgen mit linear verlaufenden Kennlinien der Abschnürbereich und ein im Verstärker nutzbarer Arbeitsbereich des FET. (3)

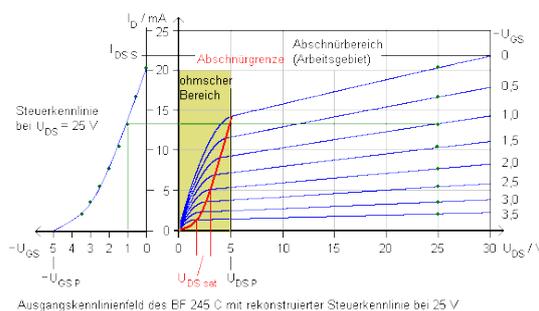


Abbildung 16:
Ausgangskennlinienfeld
Feldeffekttransistor

Abschnür- oder Pinch-Off-Spannung U

Sie wird bei Gate-Source-Kurzschluss $U_{GS}=0V$ gemessen. Bis zur U_{DS} , geht der ohmsche Bereich. Mit zusätzlicher Gatespannung wird die Abschnürspannung kleiner und als Kniespannung U_{DS} bezeichnet. Ist die Gate-Source-Schwellenspannung U_{GS} bekannt, so kann die Kniespannung für jede Gate-Source-Spannung errechnet werden.

4.4.3 Der Thyristor

Der Thyristor ist ein Si-Halbleiterbauteil mit zwei Arbeitszuständen. Er hat die Eigenschaften eines schnellen elektronischen Schalters mit den Zuständen gesperrt oder leitend. Er kann in Gleich- und Wechselstromkreisen eingesetzt werden. Ein Thyristor arbeitet als Schaltverstärker, der mit einer geringen Steuerleistung, meist einem kleinen Steuerimpuls, eine große Leistung schaltet. (3)

Thyristoren findet man in Steuer- und Regelschaltungen, in der Antriebssteuerung und Drehzahlregelung elektrischer Motoren. Er kann als schaltbare Diode den Leistungsbedarf von Gleichrichterschaltungen und Netzteilen steuern. (3)

Der innere Halbleiteraufbau entspricht einer mehrfachen p-n-Schichtenfolge und besitzt drei Elektrodenanschlüsse. Anode und Kathode bilden den Hauptstromweg und das Gate dient als Steuerelektrode. Die Wirkweise gleicht einer gesteuerten Diode. (3)

Im Rückwärtssperrzustand ist die Anode negativ gegenüber der Kathode. Ohne Ansteuerung entspricht die Kennlinie des Thyristors somit einer normalen Si-Diode. Es gibt eine Durchbruchspannung, wo der Sperrstrom lawinenartig ansteigt. Der Thyristor nimmt aber nicht seinen üblichen leitenden Schaltzustand ein. Mit dem plötzlich einsetzenden Sperrstrom nimmt die Verlustleistung schnell zu, wobei die Gefahr der Bauteilzerstörung gegeben ist. (3)

In Vorwärtsrichtung geschaltet ist die Anode positiv gegenüber der Kathode und die mittlere Diode sperrt. Es bedarf einer kleinen Steuerspannung, die den mittleren pn-Übergang leitend steuert. Damit wird der gesamte Kanal niederohmig und leitend. Der Thyristor zündet, kann aber jetzt über die Steuerelektrode nicht mehr gelöscht, also unterbrochen werden. Bei den meisten Thyristoren wird die mittlere Diode mit einem positiven Steuersignal leitend geschaltet. Es sind p-Gate Thyristoren, die mit einem gegenüber der Katode positiven Gatepotenzial den Thyristor zünden. (3)

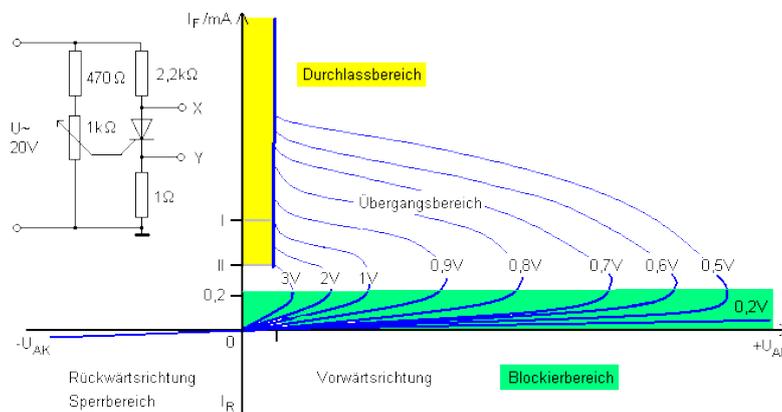


Abbildung 17: Kennlinienfeld eines Thyristors in Abhängigkeit der Gate-Kathodenspannung

4.4.3.1 Thyristoreigenschaften

Rückwärtssperrzustand

Das Anodenpotenzial ist negativ gegenüber dem Kathodenpotenzial. Der Thyristor sperrt wie eine normale Diode. Es kann ein sehr geringer Sperrstrom fließen. Im Rückwärtssperrzustand ist eine Steuerung über das Gate normalerweise nicht gegeben. Im Sperrzustand sollte keine positive Spannung am Gate anliegen.

Durchbruch-(Sperr)Spannung

Oberhalb dieser maximalen Sperrspannung wird der Halbleiter plötzlich leitend und durch Überschreiten der maximalen Verlustleistung zerstört.

Blockierzustand

Die Anode ist positiv gegenüber der Kathode. Das Gate wird nicht angesteuert. Der Thyristor verbleibt im Sperrzustand. Es fließt ein geringer Blockierstrom.

Gatesteuerung

Ein gegenüber der Katode positives Gatepotenzial hebt bei ausreichend hohem Gatestrom den Blockierzustand auf. Der Thyristor zündet und verhält sich wie eine Diode in Durchlassrichtung. Nach dem sicheren Zünden kann das Gate stromlos bleiben. Ein Abschalten oder Sperren über das Gate ist nicht möglich.

Haltestrom

Im gezündeten Zustand muss der Durchlassstrom zum Abschalten und erneuten Sperren des Thyristors den Haltestromwert unterschreiten. Dieser Wert wird mit zunehmender Kristalltemperatur niedriger.

4.4.4 Der Triac

Ein im Wechselstromkreis betriebener Thyristor kann nur eine Halbwelle nutzen. Die Wechselspannung erfährt eine Einweggleichrichtung, die je nach Lage der Zündzeitpunkte einen Phasenanschnitt aufweist. Schaltet man antiparallel dazu einen zweiten rückwärtssperrenden gleichartigen Thyristor, so kann auch die andere Halbwelle genutzt werden. Das Ausgangssignal ist nicht mehr gleichgerichtet. Die Thyristorkombination stellt einen Wechselstromsteller dar.

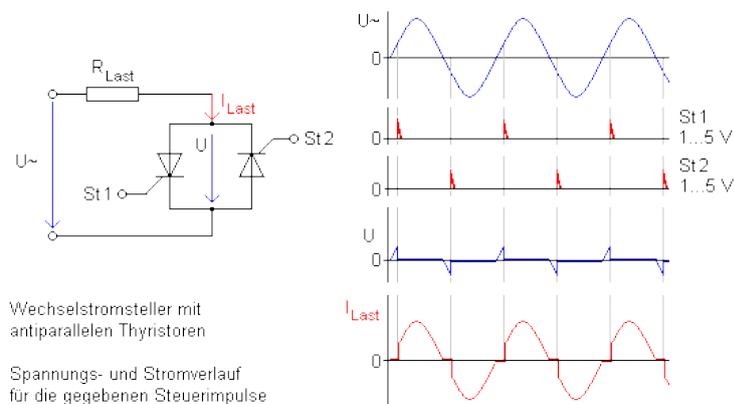


Abbildung 18: Prinzip eines TRIACS

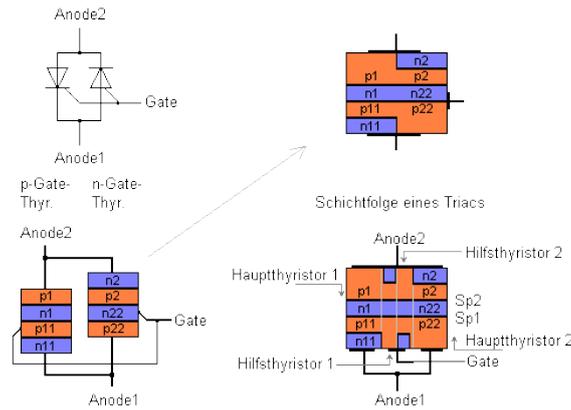
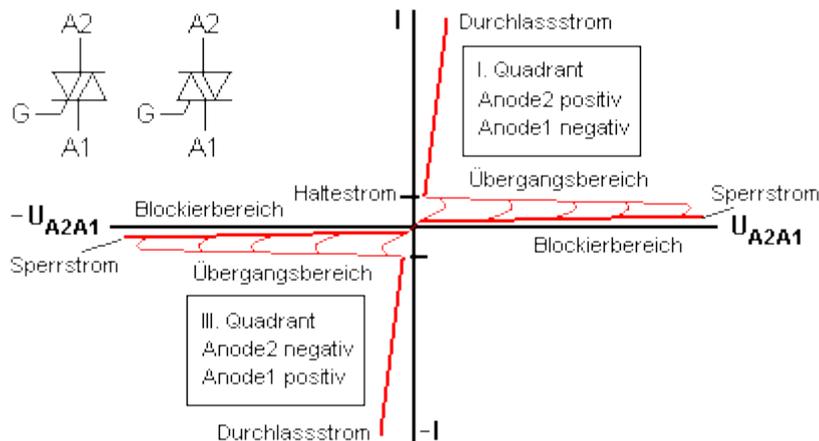


Abbildung 19: Innerer Aufbau eines TRIACS

Es lassen sich vier Betriebszustände beschreiben, die sich aus der Polaritätsfolge der Anoden und den Polaritäten der Steuerimpulse ergeben. In den ersten beiden Fällen ist die Anode2 positiv gegenüber der Anode1. Die Sperrschicht Sp1 unterbricht den Stromfluss, solange keine Steuerpulse anliegen. In den beiden anderen Betriebsfällen ist die Anode1 positiv gegenüber der Anode2. Ohne Ansteuerung unterbricht die Sperrschicht Sp2 den Stromfluss. Das Zünden der entsprechenden Hauptthyristorstrecke kann sowohl mit einem positiven als auch negativen Steuerpuls am Gate erfolgen. (3)

Das Kennlinienfeld entspricht dem der antiparallelen Thyristoren und liegt im I. und III. Quadranten. Ohne Ansteuerung fließt in beiden Richtungen ein sehr geringer Sperrstrom. Nach dem Zünden bleibt der Triac solange niederohmig, bis der Haltestrom beim Nulldurchgang der Wechselspannung an den Hauptelektroden unterschritten wird. Die beiden Schaltzeichen sind gleichberechtigt anwendbar. (3)



Triacs eignen sich nicht für sehr schnelle Strom- und Spannungsänderungen. Ihre Spannungsfestigkeit kann bis zu 1200 Volt betragen. Die maximale Strombelastung ist geringer als bei Thyristoren. Sie lassen sich für einige 100 Ampere herstellen. Allgemein bekannte Anwendungsbereiche für Triacs sind Licht-Dimmschalter und drehzahlgesteuerte Motoren. (3)

4.4.5 Halbleiterrelais

Halbleiterrelais (engl. Solid state relay oder SSR) gleichen in ihrer Größe und Art der Anschaltung den elektromechanischen Relais. Jedoch sind dies die einzigen Übereinstimmungen. Sie arbeiten nicht mit elektromechanisch betätigten Schaltern sondern mit Halbleiterkomponenten wie Transistoren, Thyristoren, Triacs oder MOS-FETs.

Zusätzlich besteht bei manchen Halbleiterrelais die Möglichkeit bei Nulldurchgang zu schalten wodurch störende Impulse vermieden werden können. Des Weiteren sind sie meist mit einer galvanischen Trennung ausgeführt (Optokoppler). Sie arbeiten prell- und verschleißfrei sowie mit hohen Schaltgeschwindigkeiten, die bei Spezialausführungen Schaltfrequenzen bis zu 100 kHz erreichen können.

Vorteile gegenüber elektromechanischen Relais:

- Höhere Schaltfrequenzen
- Höhere Lebensdauer bei häufigen Schaltzyklen
- Prellfreies Schalten
- Keine Schaltimpulse beim Einschalten (Rauschen)
- Geeignet für explosionsgefährdete Räume
- Geräuscharm
- kleinere Bauformen
- Unempfindlicher in der Lagerung
- Unempfindlich gegen Luftfeuchtigkeit, magnetische Felder, Vibrationen

Nachteile gegenüber elektromechanischen Relais:

- Höherer Ausgangswiderstand
- Kriechströme im ausgeschalteten Zustand
- Möglichkeit der Verpolung
- Benötigte Zusatzkomponenten in der Anschaltung
- Sekundäre Absicherung bei Überspannungen

5. Praktische Umsetzung

In diesem Teil der vertiefenden Aufgabenstellung wird das Wissen von der theoretischen Erörterung in die Praxis umgesetzt.

Es gilt drei verschiedene Schaltungen oder Komponenten auszuwählen und in einem Messaufbau gegenüberzustellen. Besonderes Merkmal wird hierbei auf Belastungen mit ohmschen und ohmsch induktiven Lasten gesetzt. Ein weiteres Kriterium ist die mögliche Ansteuerung mittels Mikrocontroller. Daraus resultierend ergibt sich eine Steuerspannung von 5VDC oder 3,3VDC.

Für diesen Teil wurden drei solid state relays von drei verschiedenen Herstellern ausgewählt. Alle drei solid state relays besitzen dieselben oder ähnlichen Schaltspannungen und Schaltströme.

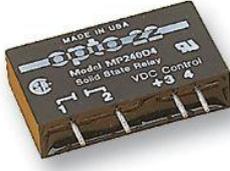
Wie bereits in der theoretischen Erörterung beschrieben, können solid state relay aus unterschiedlichen Halbleiterelementen und Schaltungen bestehen. Somit ist nicht in jedem Fall sicher welche Schaltung in einem solid state relay zum Einsatz kommt. Dieser Punkt macht es interessant die ausgewählten Komponenten vorab in einem Prototyp zu validieren und verifizieren bevor sie in einem Produkt oder einer Schaltung zum Einsatz kommen.

5.1 Auswahl der zu vermessenden Komponenten

Alle Kriterien wurden so gewählt dass sie Zukünftig für das Projekt Remote Equipment Controll verwendet werden können. Gesucht wurde unter den bekanntesten Elektronik Distributoren (Farnell, RS Components, Mouser, DigiKey).

Kriterien:

- Maximale Schaltspannung größer 230VAC rms
- Maximaler Schaltstrom größer 1A
- Steuerspannung bis 5VDC
- Steuerstrom kleiner 20mA
- Zero Crossing Detection

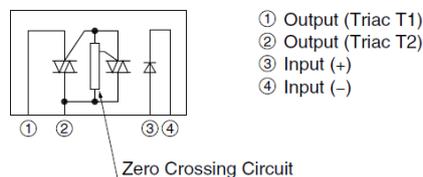
Hersteller	CRYDOM	OPTO 22	SHARP
Herstellerbezeichnung	D2W202F	MP240D2	S202T02F
Bild			
Laststrom	2[A]	2[A]	2[A]
Zero Crossing Detection	OK	OK	OK
Schaltspannung	24VAC bis 280VAC	24VAC bis 280V AC	80VAC bis 240VAC
Maximale Spannungsbelastung RMS	280VAC	280VAC	600VAC
Einzelstückpreis [Farnell]	€ 13,99	€ 15,79	€ 7,92

Nach der Auswahl der zu vergleichenden Komponenten erfolgt der nächste Schritt im Aufbau einer geeigneten Messschaltung. Kriterien hierfür sind ein schnelles Anschalten der Steuerleitungen (ns-Bereich) und ein sicheres Einschalten. Um dies zu gewährleisten sind die jeweiligen Empfehlungen der einzelnen technischen Datenblätter zu befolgen.

5.2 Ansteuerung der einzelnen Module

Ansteuerung SHARP:

■ Internal Connection Diagram



Aus dem Internal Connection Diagram ist ersichtlich dass die interne Schaltung hauptsächlich aus 4 Halbleitern besteht. Einem Triac als Leistungskomponente, einem Triac mit zugehörigem Widerstand als Zero Crossing Detection und einer LED (light-emitting diode) als Ansteuerung. Hierbei ist nicht ersichtlich welche Komponenten tatsächlich eingebaut worden sind. Es handelt sich lediglich um eine Schematische Darstellung zum Verständnis der Funktionsweise.

Bei der Ansteuerung dieses solid state relay gilt als wichtiger Ansteuerungsparameter die richtige Dimensionierung eines Vorwiderstandes bei der gewünschten Betriebsspannung.

Aus dem Datenblatt ergeben sich hierbei des Weiteren die gesuchten Parameter welche für die Auslegung der Ansteuerung benötigt werden.

■ **Electro-optical Characteristics**

(T_a=25°C)

Parameter		Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Input	Forward voltage	V _F	I _F =20mA	-	1.2	1.4	V
	Reverse current	I _R	V _R =3V	-	-	100	µA

Abbildung 20: DATENBLATTAUSZUG SHARP

Fig.2 RMS ON-state Current vs. Ambient Temperature

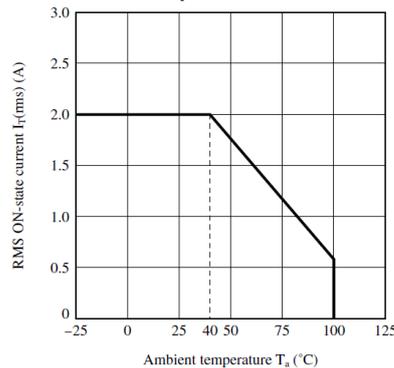


Abbildung 21:DATENBLATTAUSZUG SHARP

$$\text{Vorwiderstand} = \frac{\text{Betriebsspannung} - \text{Max. Vorwertsspannung}}{\text{RMS ON state current}}$$

Daraus resultiert ein Vorwiderstand von 1800Ω.

Ansteuerung OPTO22:

Für das solid state relay OPTO22 werden in den technischen Datenblättern keine Angaben über die Zusammensetzung des Relais gemacht. Jedoch ist auch hier ersichtlich dass die Ansteuerung über ein LED mit bereits integriertem Vorwiderstand für eine Steuerspannung von 3V3 ausgelegt ist. Ebenso ist bereits die Berechnung eines externen Vorwiderstandes in Abhängigkeit der Betriebsspannung vorgerechnet.

$$I_c = \frac{E_c - 1}{1000}$$

where R_c = zero.

With a 5V control signal,

$$I_c = \frac{5 - 1}{1000} = 4 \text{ mA.}$$

Abbildung 22: DATENBLATTAUSZUG OPTO22

Da alle Relais über die 5VDC Ebene angesteuert werden wird hierfür ein externer 1kΩ Widerstand benötigt.

Ansteuerung CRYDOM:

Crydom solid state relays sind bei allen Distributoren angeführt und besitzen ein weites Spektrum in Bezug auf Eingangsspannungsbereich und Schaltstrom. Jedoch sind in den Datenblättern keine Angaben über inneren Aufbau oder Schaltung. Allerdings ist die Ausführung der Ansteuerung sehr überschaubar gehalten.

INPUT SPECIFICATIONS (1)

Description	
Control Voltage Range	3-32 VDC
Must Turn On Voltage	3.0 VDC
Must Turn Off Voltage	1.0 VDC

Bei dieser Ansteuerung wird kein zusätzlicher Vorwiderstand benötigt.

5.3 Messaufbau

5.3.1 Messschaltung

Nachdem ausgelegt wurde welche Ansteuerungen für welches Modul zu verwenden ist wird nun der grundsätzliche Aufbau der Messschaltung in Altium Designer verwirklicht.

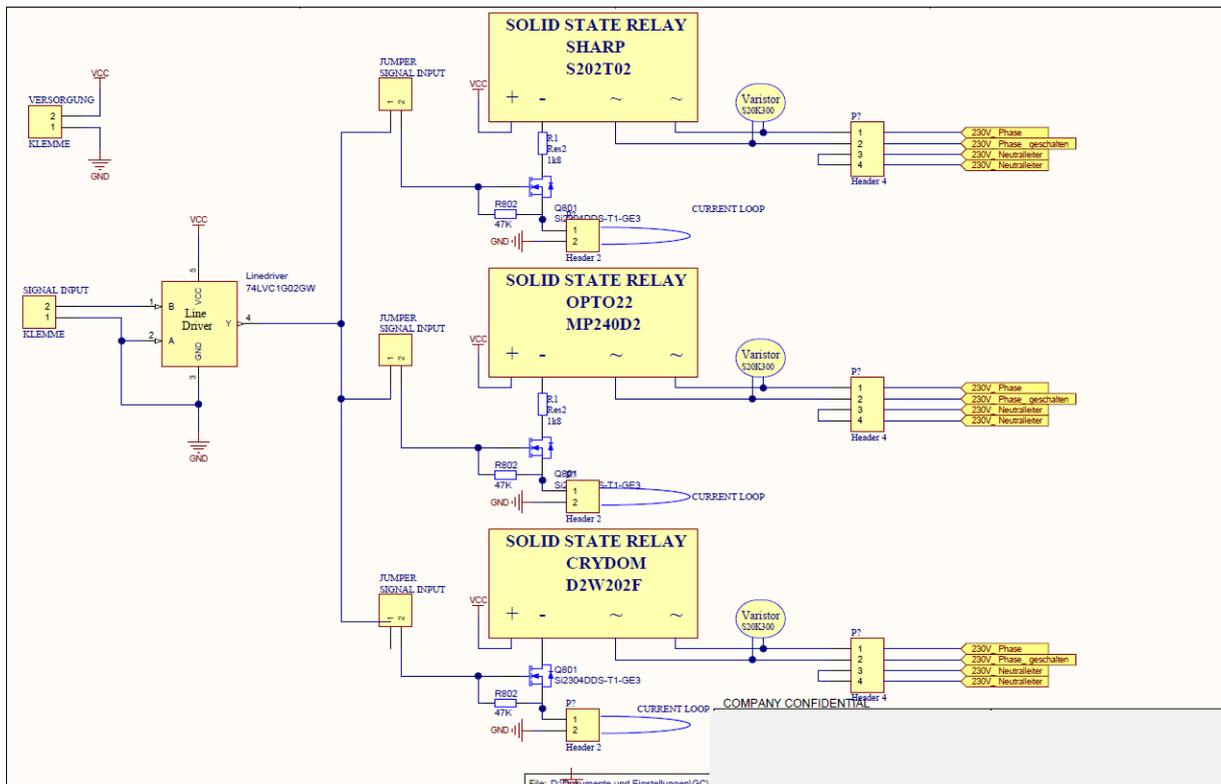


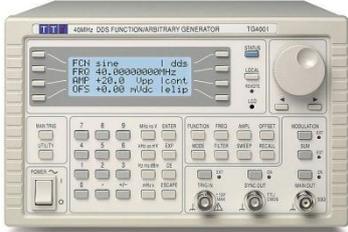
Abbildung 23: Schaltplan für den Messaufbau

Um eine schnelle und sichere Anschaltung der einzelnen Module zu gewährleisten kommen hierfür ein Frequenzgenerator und ein Linedriver Modul zum Einsatz. Damit werden eventuelle Messabweichungen bedingt durch ein langsames oder unsicheres Schalten reduziert.

Die solid state relays werden alle über einen separaten N-Kanal MOSFET angesteuert. Dieser N-Kanal MOSFET wird vorübergehend in Buck Driver Applikationen verwendet und ist vor allem für schnelle Schaltvorgänge sehr gut geeignet.

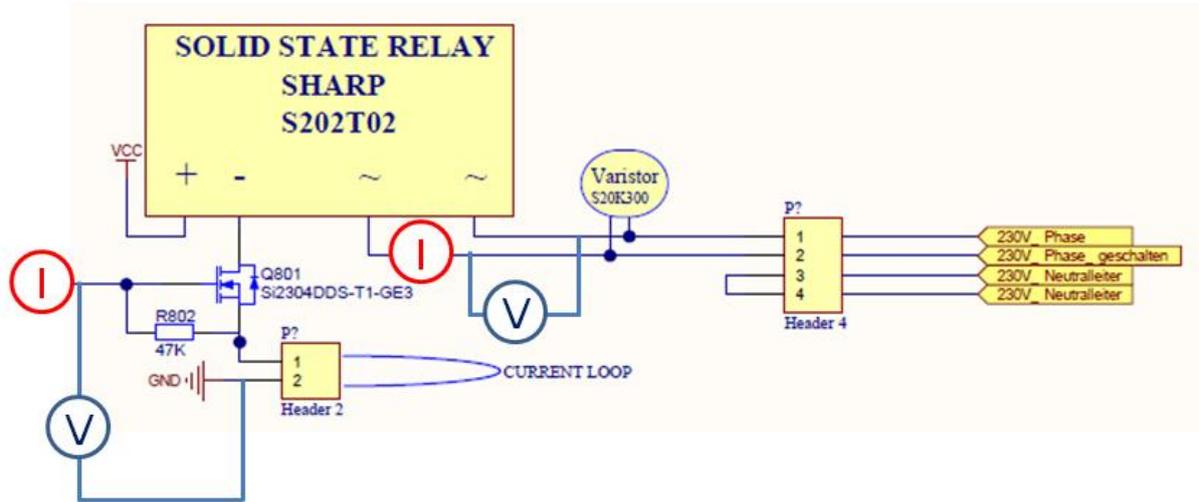
Um einen leichten Messaufbau zu gewährleisten ist in der Steuerleitung eine Stromschleife eingebaut. Außerdem ist die Ansteuerung des MOSFET über einen zusätzlichen Jumper geführt um das Signal vom Linedriver Modul nur auf das benötigte solid state relay zu bekommen. Um sicher zu gehen dass bei Induktiven Lasten keine für die Elektronik gefährlichen Spannungsspitzen auftreten wurde ein zusätzlicher Varistor eingebaut.

5.3.2 Messequipment

<p>Oszilloskop Agilent DSO9254A</p>		<p>2,5 GHz Bandbreite 20GS/s Abtastrate</p>
<p>Versorgung Agilent E3631A</p>		<p>80W Tripple Supply</p> <ul style="list-style-type: none"> • 6V, 5A • ±25V, 1A
<p>Funktionsgenerator TTI TG 4001</p>		<p>Bandbreite 40MHz</p>
<p>Infrarotkamera Flir Systems Infra Cam</p>		<p>Auflösung 0,2°C Auflösung 1,3 Megapixel</p>
<p>Verstärker für Strommesszange TCPA 300</p>		<p>Genauigkeit ±3%</p>
<p>Differentieller Tastkopf Hz 100</p>		<p>Genauigkeit ±3% Spannungsbereich 600Vrms Teilverhältnis 20 / 200</p>

5.3.3 Messaufbau

In dieser schematischen Darstellung sollte veranschaulicht werden an welchen Punkten die einzelnen Signale gemessen wurden.



Aufbau der Hardware:

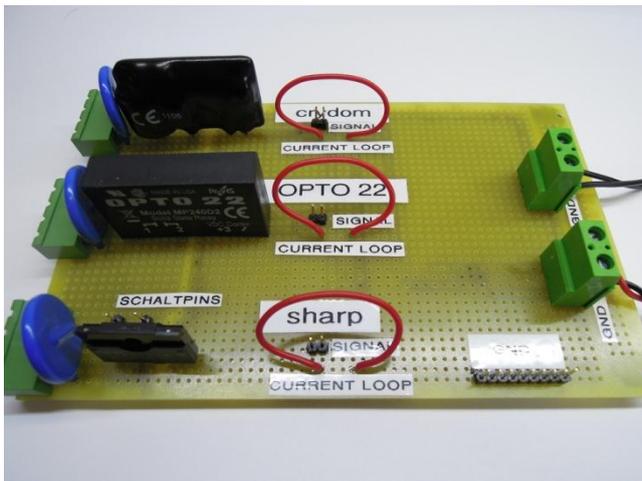


Abbildung 25: Messaufbau der Platine

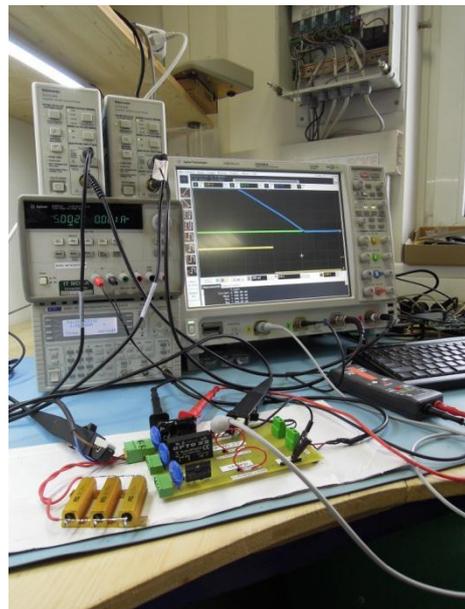


Abbildung 24: Messaufbau des Messequipments

5.3 Messung

Für die Messungen der einzelnen solid state relays wurde eine ohmsche Last und eine ohmsch induktive Last gewählt.

Als ohmsche Last wurden hierbei drei Leistungswiderstände mit einem Widerstandswert von 680 Ohm gewählt und parallel geschaltet. Der Gesamtwiderstand der ohmschen Last beträgt somit 227 Ohm. Dies entspricht bei einer Netzspannung von 230VAC einem Laststrom von ca. 1A.



Als induktive Last wurde ein Transformator gewählt.



Type	Leistung VA	Spannung prim. VAC	Spannung sek. VAC	Strom sek. mA
BV EI 306 2072	3.2	1 x 230	12	267

5.3.1 Messung bei ohmscher Last

5.3.1.1 CRYDOM

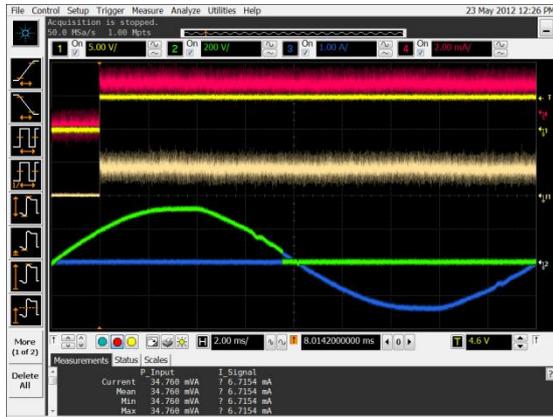


Abbildung 28: CRYDOM mit ohmscher Last

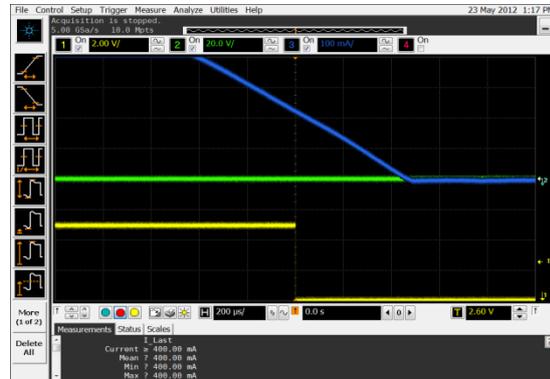


Abbildung 27: CRYDOM mit ohmscher Last im Ausschaltmoment

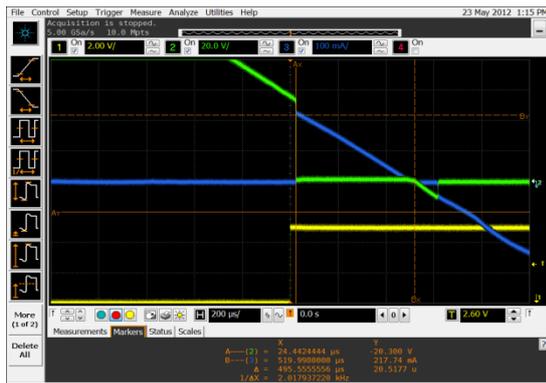


Abbildung 26: CRYDOM mit ohmscher Last im Einschaltmoment

Infrarotkamera:

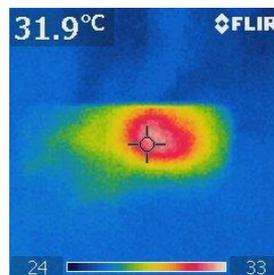


Abbildung 29:
Infrarotbild CRYDOM

5.3.1.2 OPTO22

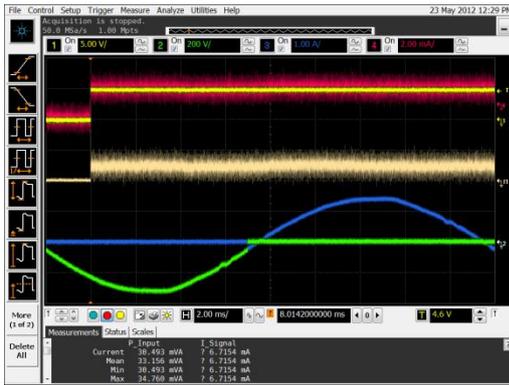


Abbildung 30: OPTO22 mit ohmscher Last

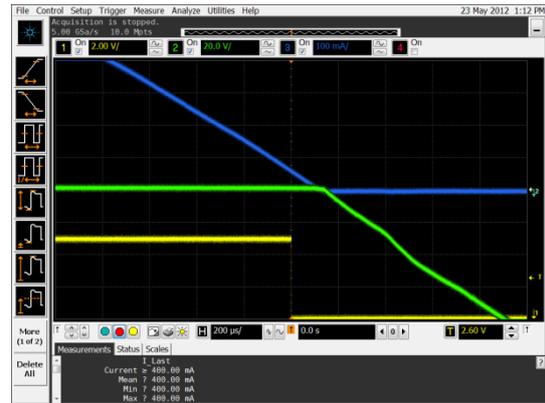


Abbildung 31: OPTO22 mit ohmscher Last im Ausschaltmoment



Abbildung 32: OPTO22 mit ohmscher Last im Einschaltmoment

Infrarotkamera:

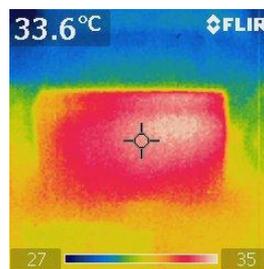


Abbildung 33:
Infrarotbild OPTO22

5.3.1.3 SHARP

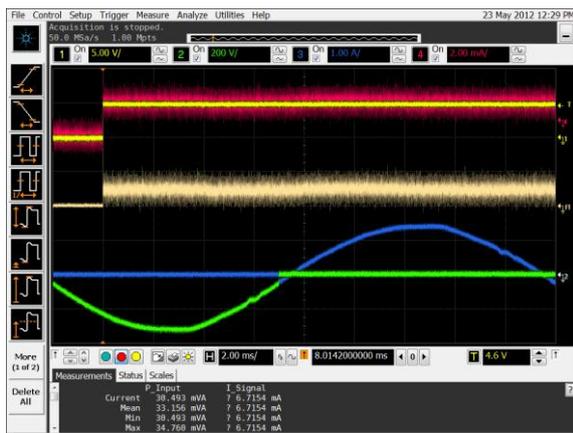


Abbildung 35: SHARP mit ohmscher Last

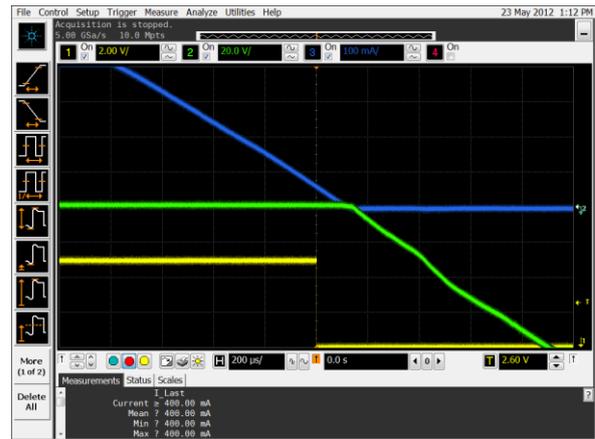


Abbildung 34: SHARP mit ohmscher Last im Ausschaltmoment



Abbildung 36: SHARP mit ohmscher Last im Einschaltmoment

5.3.2 Messung bei induktiver Last

5.3.2.1 CRYDOM



Abbildung 38: CRYDOM bei induktiver Last im Einschaltmoment

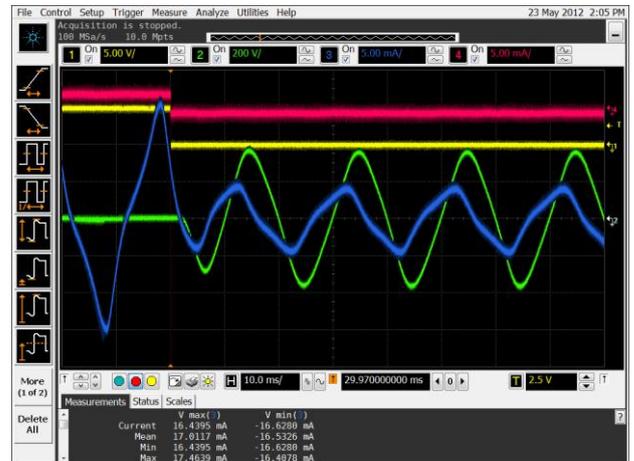


Abbildung 37: CRYDOM bei induktiver Last im Ausschaltmoment

5.3.2.2 OPTO22



Abbildung 39: OPTO22 bei induktiver Last im Einschaltmoment



Abbildung 40: OPTO22 bei induktiver Last im Ausschaltmoment

5.3.2.3 SHARP



Abbildung 43: SHAPR bei induktiver Last im Einschaltmoment



Abbildung 41: SHARP im Ausschaltmoment bei induktiver Last (1)

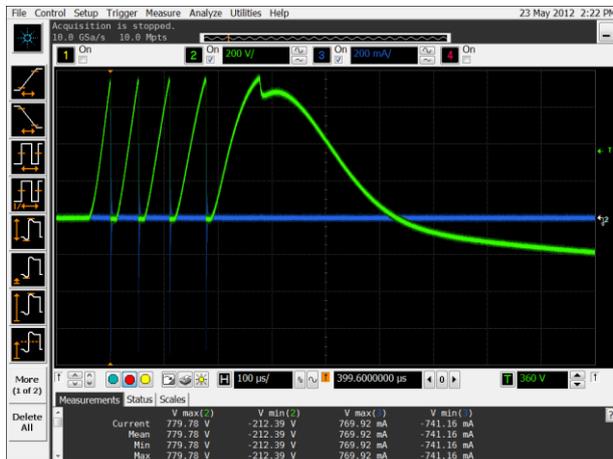


Abbildung 42: SHARP im Ausschaltmoment bei induktiver Last (2)

6. Ergebnisse

Verlustleistung auf der Steuerleitung:

Für die direkte Ansteuerung mittels Mikrocontroller ist es wichtig das Schaltspannung und Schaltstrom und die daraus resultierende Schaltleistung die maximale Leistung eines Mikrocontrollers nicht überschreiten.

Mit einer Versorgungsspannung von 5VDC benötigen das solid state relay von CRYDOM & OPTO22 einen Steuerstrom von 2-3mA während dem das solid state relay von SHARP eine höhere Stromaufnahme von ca. 9mA besitzt. Sollte eine größere Anzahl an Relais direkt von einem Mikrocontroller angesteuert werden so sollte bei dem Einsetzen des SHARP Moduls ein genauer Blick in das technische Datenblatt des jeweiligen Mikrocontrollers unternommen werden.

Jedoch ist es bei der Ansteuerung solcher Module oft von Vorteil die Versorgungsspannung mit einem Feldeffekttransistor oder einem Bipolaren Transistor zu schalten um den Mikrocontroller nicht zu belasten.

Einschaltmoment:

Im Einschaltmoment zeigen CRYDOM Relais & OPTO22 Relais dieselben Eigenschaften. Beide schalten 500µs vor dem Nulldurchgang. Dies entspricht im Schaltzeitpunkt einer Spannung von 50V und einem Schaltstrom von 217mA. Es ist naheliegend das beide Module eine ähnliche Ausgangsbeschaltung besitzen.

Das solid state relay von SHARP besitzt eine genauere zero crossing detection. Der Einschaltzeitpunkt liegt 200µs vor dem Nulldurchgang. Damit reduziert sich die Einschaltspannung auf 25V und einen Eingangsstrom von 107mA.

Wird eine kleinere Einschaltspannung benötigt liegt hierbei das SHAPR Modul klar im Vorteil.

Betrachtet man nun den Einschaltmoment bei induktiven Lasten zeigt sich eine deutlich erhöhte Stromaufnahme im Bereich der ersten Halbwelle. Sollte dies eine Anforderung bei einem Produkt sein, muss aus dem jeweiligen Datenblatt ermittelt werden wie hoch die kurzfristige Stromaufnahme des jeweiligen Moduls sein darf.

Ausschaltmoment:

Bei rein ohmscher Belastung zeigt sich dass alle Module präzise und verlustfrei im Nulldurchgang schalten. Im Ausgangszweig der Module ist ein Thyristor oder ein Triac welcher erst bei Unterschreitung des Haltestromes erlischt.

Bei induktiven Lasten ist bei dem Modul von OPTO22 & CRYDOM ein bleibendes Schwingen zu beobachten. Dies kann durch zwei Effekte bedingt sein. Eine Möglichkeit ist hierfür ist ein snuber circuit im Modul. Die dadurch enthaltende Kapazität verursacht mit der externen Induktivität einen Schwingkreis. Dies sollte für die meisten Anwendungen kein Problem darstellen. Dies ist aber je nach Anwendungsfall zu entscheiden. Eine zweite

Möglichkeit wäre ein nicht vollständiges Abschalten der Induktivität. Dies könnte in weiterer Folge zur Erwärmung und Zerstörung des solid state relais führen.

Mit dem solid state relays von SHARP konnte ein weiterer induktiver Effekt beobachtet werden. Obwohl das Modul von SHARP eine genauere Nullpunktschaltung besitzt wird die Restenergie der Spule nicht abgebaut und die Spannung am solid state relay steigt bis zu 780 V. In diesem Zustand wird der zusätzlich angebrachte Thyristor leitend und entlädt die in der Spule enthaltene Restenergie. Wäre hier kein zusätzlicher Varistor angebracht würde dies zum Defekt des solid state relays führen.

Thermische Erwärmung:

Mittels Infrarotkamera wurde versucht eventuellen Hot Spots bei den solid state relays zu erkennen. Jedoch konnte mit den unterschiedlichen Belastungstypen und durch den eingegossenen Zustand der solid state relais kein Hot Spot entdeckt werden.

Fazit:

Alle Module sind in ihrer Anwendung und Beschaltung nahezu ident.

In Abhängigkeit von Preis und Größe konnte sich das SHARP Modul gegenüber den beiden anderen klar durchsetzen. Die Kosten im Vergleich zu CRYDOM und OPTO22 betragen 50%.

Sollte das solid state relay direkt von einem Mikrocontroller Angesteuert werden ist es empfehlenswert ein CRYDOM Modul oder ein OPTO22 Modul zu verwenden da diese in der Ansteuerleistung wesentlich geringer sind.

Beim Schalten von Induktivitäten konnte kein Sieger ermittelt werden. Zwar ist die Funktion bei allen gegeben jedoch ist beim CRYDOM Modul und beim OPTO22 Modul ein Schwingen auf der Sekundärseite zu beobachten. Beim SHARP Modul ist die Gefahr einer Zerstörung durch Überspannung gegeben sollte man den Ausgang nicht mit einem Überspannungsschutz versehen.

7. Schlussfolgerung

Im ersten Teil der theoretischen Erörterung wurden auf das Prinzip eines Schalters und die Charakteristiken eines idealen Schalters eingegangen. Im Weiteren wurden die Grundkonzepte von Schaltvorgängen erörtert.

Es wurde auf die verschiedenen Halbleiterelemente und deren Funktionsweise eingegangen. Angesprochen wurden dabei lediglich Halbleiterelemente die für den direkten Betrieb mit einem Mikrocontroller geeignet sind.

Mit den solid state relays konnte in der praktischen Umsetzung der Vertiefenden Aufgabenstellung eine Möglichkeit gezeigt werden um Netzspannung direkt mit einem Mikrocontroller zu schalten. Es wurden die Vor- und Nachteile der einzelnen Module durch Messungen veranschaulicht und aufgezeigt.

Aus der theoretischen Erörterung und der praktischen Umsetzung zeigt sich das je nach Anwendungsfall, Applikation oder Produkt eine große Anzahl an Schaltmöglichkeiten für externe Lasten besteht. Die hohe Anzahl an unterschiedlicher Komponenten, Lasten, Betriebsspannungen, Schaltzyklen, Schaltungen, Schaltgeschwindigkeiten, Schaltspannungen, Schaltströme machen die richtige Auswahl oft schwer. Umso wichtiger ist es bereits im Vorfeld über die benötigten Schaltvorgänge Bescheid zu wissen um die richtige Wahl zu treffen. Dies ist natürlich nur möglich wenn ein gewisses Grundwissen vorhanden ist.

Nach der Auslegung der Schaltung und Wahl der Komponenten sollten stets Versuchsaufbauten durchgeführt werden um sicher zu stellen das die richtige Wahl getroffen worden ist und keine unerwünschten Kapazitäten, Induktivitäten oder Störungen die Schaltung beeinflussen.

8 Literaturverzeichnis

1. www.enzyklo.de/Begriff/Idealer. [Online]
2. **SEMIKRON**. *Applikationshandbuch Leistungshalbleiter*.
3. <http://www.elektroniktutor.de/>. Elektroniktutor. [Online]
4. **Böcker, Prof. Dr. Ing. Joachim**. *Leistungselektronik*. Universität Paderborn : s.n., 2008.
5. **Halblech, GmbH**. *Grundlagen der Leistungselektronik*.