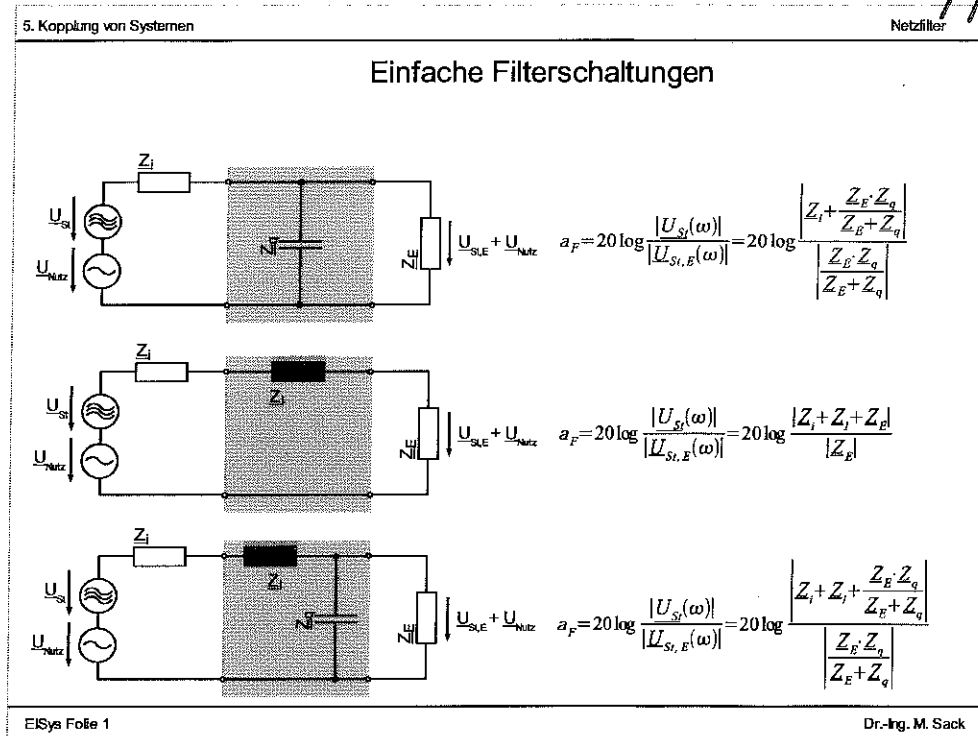


5. Filter und galvanische getrennte Koppung



Diese Folie zeigt drei einfache Möglichkeiten für ein Netzfilter.

Im ersten Fall ist ein Kondensator zwischen L und N zwischen Netz und Last geschaltet. Er stellt für hochfrequente Störsignale eine geringe Impedanz dar und leitet sie zur Masse hin ab. Wichtig für die Funktion der Schaltung ist die Innenimpedanz des Netzes Z_i . Die Schaltung stellt einen Spannungsteiler dar zwischen der Innenimpedanz des Netzes einerseits und der Parallelschaltung aus Last und Filterkondensator andererseits. Entsprechend berechnet sich der Übertragungsfaktor. Er ist definiert als das Verhältnis von Störspannung der Quelle zum Störspannungsanteil, der an der Lastimpedanz ankommt. Er wird im log. Maßstab in dB angegeben.

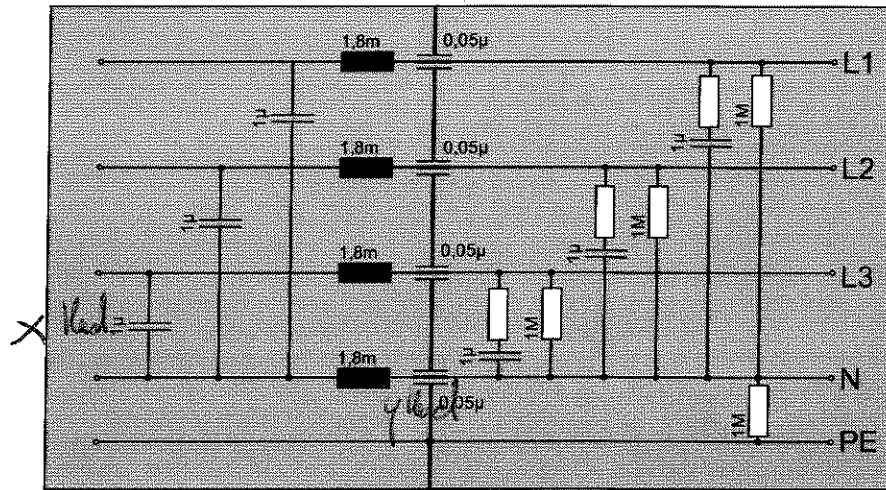
Statt des Kondensators parallel zur Last kann man auch eine Serieninduktivität verwenden. Diese Schaltung arbeitet als frequenzabhängiger Spannungsteiler mit dem Innenwiderstand des Netzes und der Serieninduktivität einerseits und der Lastimpedanz andererseits. Entsprechend ergibt sich der Übertragungsfaktor.

Während die Schaltung mit dem Kondensator nur gut funktioniert, wenn das Netz einen gewissen Innenwiderstand aufweist, stellt die Serieninduktivität im zweiten Fall einen gewissen Mindestwiderstand zur Verfügung. Allerdings lässt hier die Filterwirkung bei höherohmigen Lasten nach.

Abhilfe schafft die Kombination beider Schaltungen zu einem Tiefpass-Filter 2. Ordnung. Auch diese Schaltung lässt sich als frequenzabhängiger Spannungsteiler beschreiben. Das Filter hat mit 40 dB/Dekade einen steileren Übergang in den Sperrbereich als die beiden einfacheren Schaltungen.

Die LC-Schaltung ist im Prinzip ein schwingungsfähiges Gebilde. Bei der Auslegung sollte man auf eine ausreichende Dämpfung achten. Wenn nämlich der Lastwiderstand groß und der Leitungswiderstand klein ist, und die Schaltung nahe ihrer Resonanzfrequenz angeregt wird, kommt es zu Überspannungen und im Extremfall zu Beschädigungen der Bauelemente.

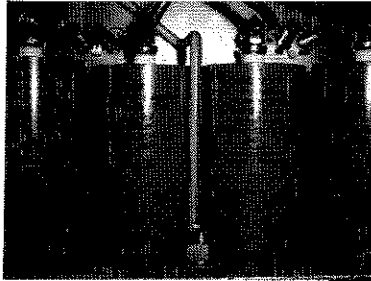
Beispiel: Funkentstörgerät



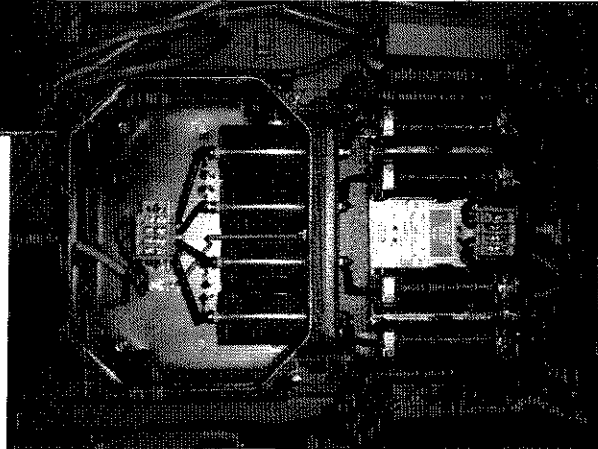
Das nächste Beispiel zeigt ein Funkentstörgerät, wie es bei der Versorgung beispielsweise von Schirmkabinen eingesetzt wird; hier in Drehstromausführung. Zur besseren Störungsschirmung ist das Gehäuse in 2 Kammern unterteilt. Die Schaltung entspricht einem pi-Glied mit X-Kondensatoren in beiden Kammern jeweils gegen N. Dazwischen sind Drosseln in Serie geschaltet. Durch die Trennwand werden die Leitungen über Durchführungskondensatoren geführt. Die Trennwand sorgt dafür, dass das Feld nicht von einer zur anderen Kammer überkoppelt. Die Durchführungskondensatoren wirken wie Y-Kondensatoren gegen Masse. Eingangsseitig sind Widerstände in Serie zu den Kondensatoren geschaltet. Sie dienen der Einschaltstrombegrenzung. Die 1MΩm Widerstände sind Entladewiderstände.

Reinleitung Kondensator → Übergang vom einen
Gebäude zum nächsten
→ 4 Kond.,

Netzleitungsfilter einer Schirmkabine



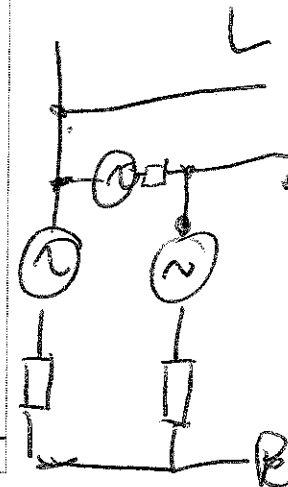
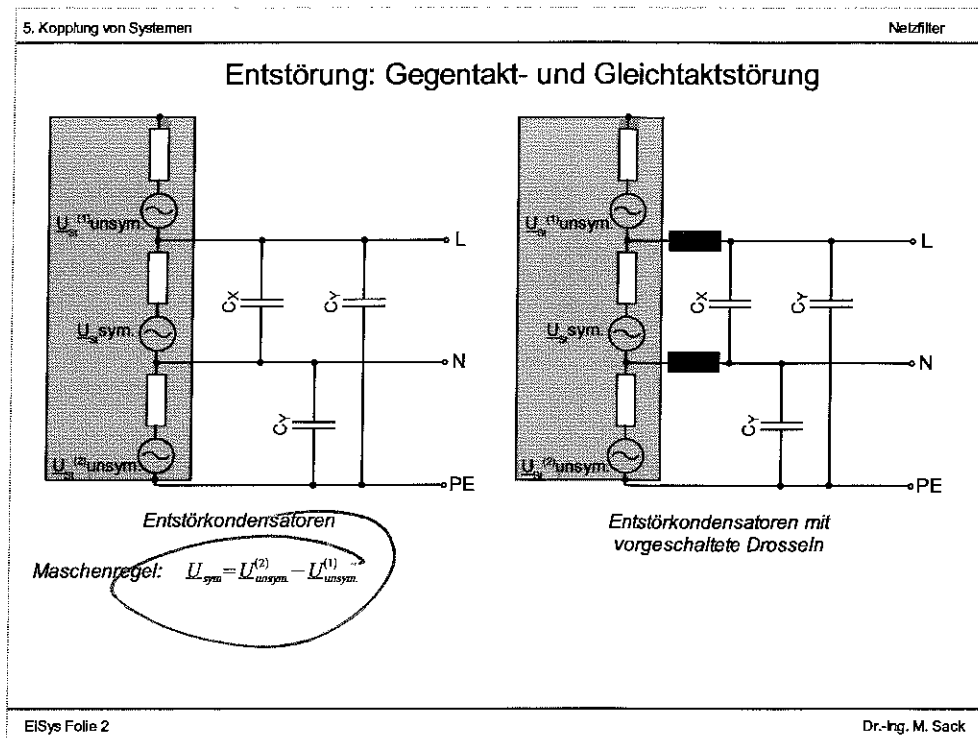
Oberes Bild: Durchführungsfilter



Rechtes Bild: Geöffnetes Gehäuse

Hier ist nun ein Foto eines vergleichbaren Filters:

Rechts der Trennwand die Einspeisung und Drosseln, links der Trennwand Durchführungsfilter-Module als RF-Filter. Die Kabelverbindung zwischen der Anschlussbox und der Schirmkabine wird üblicherweise in einem flexiblen Metallschlauch oder Rohr geführt (links). Dadurch ist nach dem Filter die Störeinstrahlung verringert. Der Metallschlauch wirkt wie eine Ausstülpung der Schirmkabinen-Schirmung.

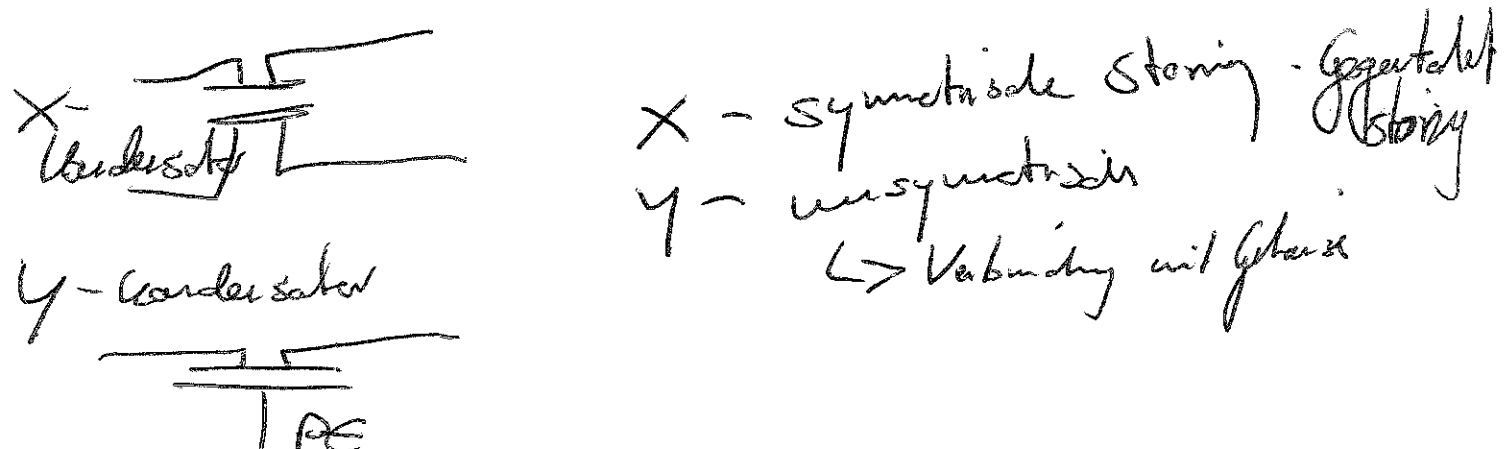


In einem Wechselspannungsnetz (TN-Netz) können Störspannungen zwischen L und N oder auch zwischen L oder N und PE auftreten. In den beiden Beispielen symbolisiert der Kasten ein Gerät, das eine sog. symmetrische Störspannung zwischen L und N und eine sog. unsymmetrische Störspannung zwischen L oder N und PE erzeugt. Nach der Maschenregel ist die Summe aller Spannungen Null. Damit ergibt sich die Gegentaktstörung $U_{a,sym}$ als Differenz der beiden unsymmetrischen Störspannungen. Mit den Entstörkondensatoren werden die Störungen zum Netz hin abgeblockt.

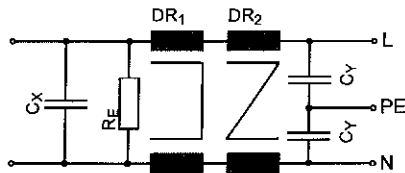
Als einfaches Beispiel könnte man sich einen Kollektormotor vorstellen. Hier entstehen die Störungen durch das Bürstenfeuer, d.h. die Funken am Kollektor beim Kommutieren. Die Entstörkondensatoren sind dann im Motor nahe des Kollektors angelötet. Bei niederohmigen Störquellen (kleiner R_s) können Drosseln in Serie geschaltet werden.

Die Kondensatoren zum Blocken der symmetrischen Störungen bezeichnet man als X-Kondensatoren. Sie sind besonders niederinduktiv gebaut: Schließt man einen üblichen Folienkondensator an, wirken die Zuleitungsinduktivitäten insbesondere bei höheren Frequenzen als Sperrdrossel und setzen die Filterwirkung herab. Die X-Kondensatoren besitzen dagegen zwei Anschlüsse pro Plattenelektrode, an jeder Seite einen. Dadurch wirken die Zuleitungsinduktivitäten eher als Serieninduktivität eines LC-Tiefpasses. Das Schaltsymbol mit den 4 Anschlussleitungen erinnert der Form nach an ein X.

Die Y-Kondensatoren verhindern das Gehäuse den Netzleitungen. Eine typische Bauform sind Durchführungskondensatoren, die in die Gehäusewand entweder eingeschraubt oder eingelötet werden. Entfernt erinnert das Schaltsymbol des Y-Kondensators mit seinen beiden verbundenen Anschlussleitungen und der gemeinsamen Masseleitung an ein geweitetes Y. Die Y-Kondensatoren verbinden das Gehäuse mit insbesondere auch mit dem Spannung führenden Leiter L. Damit das Gehäuse auch bei einer Unterbrechung des PE keine lebensgefährliche Spannung führt, dürfen die Y-Kondensatoren nicht zu groß gewählt werden. Der X-Kondensator ist dagegen in der Größe des Werts nicht beschränkt. Wenn C_x sehr viel größer als C_y ist, kann man sich evtl. einen der beiden Y-Kondensator sparen, weil C_x beide Leiter L und N sehr niederohmig miteinander verbindet.



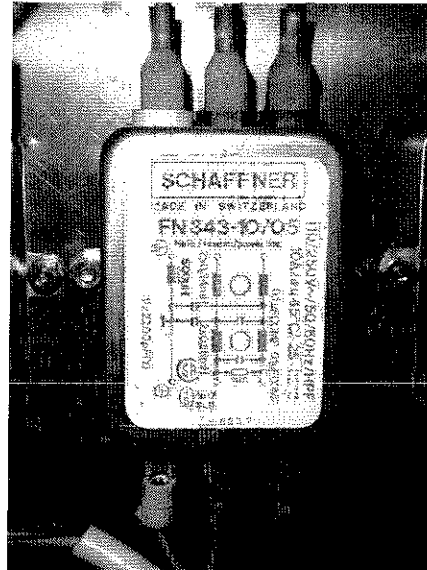
Einphasiges Netzleitungsfilter



Einphasiges Netzleitungsfilter
für symmetrische und unsymmetrische Störungen:

- DR1: Stromkompensierte Drossel für asymmetrische Störungen
- DR2: Drossel für symmetrische Störungen
- R_E : Entladewiderstand für große X-Kapazität

Foto: Einphasiges Netzfilter, andere Variante



Diese Folie zeigt nun ein Beispiel für ein einphasiges Netzleitungsfilter. Es enthält die schon bekannten X- und Y-Kondensatoren. Re ist ein Entladewiderstand für eine große X-Kapazität. Statt einfacher Induktivitäten sind eine stromkompensierte Drossel gegen asymmetrische Störungen und eine Drossel gegen symmetrische Störungen eingebaut. Bekanntlich unterscheiden sich die beiden Drosseln durch den Wicklungssinn der beiden Wicklungen: Im Durchlassfall schwächen sich die beiden Magnetfeldteile gegenseitig, im Sperrfall verstärken sie sich.

Das Foto zeigt ein Netzleitungsfilter mit einer etwas anderen Innenschaltung. Zur Unterdrückung symmetrischer Störungen hat es ein Filter höherer Ordnung: 2 X-Kondensatoren, 2 Spulenpaare.

geleicht *geleicht*
gekehrter Wicklungssinn für entgegengesetzte Störungen

Edelgas-Überspannungsableiter

Typischer Wertebereich:

Nennansprechspannung (DC bis $dU/dt = 100 \text{ V/s}$): $U_N = 70 \text{ V} \dots 1500 \text{ V}$

Dynamische Ansprechspannung ($U_N < 400 \text{ V}$):

$dU/dt = 100 \text{ V} / \mu\text{s}$:	ca. 450 V +/- 100 V
$dU/dt = 1 \text{ kV} / \mu\text{s}$:	ca. 600 V +/- 150 V
$dU/dt = 10 \text{ kV} / \mu\text{s}$:	ca. 900 V +/- 200 V

Ansprechzeit ($dU/dt = 1 \text{ kV}/\mu\text{s}$):

ca. 700 ns

Stoßstrom (8/20 μs)

bis 40 kA

Wechselstrom (50 Hz, 1 s)

bis 20 A

Isolationswiderstand:

$> 10^{10} \Omega$

Lichtbogenspannung:

10 V ... 25 V

Lichtbogenwiderstand:

$< 0,1 \Omega$

Kapazität:

1 pF ... 3 pF



Vorteile:

- Geringer Lichtbogenwiderstand:
Energie einer einlaufenden Überspannungswelle wird auf die Leitung zurückreflektiert
- Niedrige Kapazität:
Schutz von Leitungen, die hochfrequente Signale führen

Nachteile:

- Ansprechzeit $t_A = \frac{U_D - U_N}{\frac{dU}{dt}}$ abhängig von der Spannungsanstiegsgeschwindigkeit
-> transiente Überspannung
- Geringe Brennspannung:
Schlechtes Löschvermögen bei Netzwechselspannung,
zum Einsatz im Wechselspannungsnetz nur in Serie mit Varistor

Filter helfen bei der Unterdrückung insbesondere höherer Frequenzen. Um eine Schaltung vor Überspannung zu schützen, kommen Überspannungsableiter zum Einsatz.

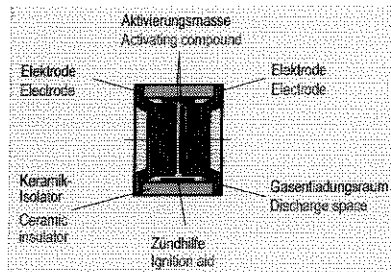
Edelgas-Überspannungsableiter sind im Prinzip eine gekapselte Funkenstrecke mit einer Zündhilfe.

Es gibt sie für Nennansprechbereiche von 70 V bis ca. 1500 V. Die Nenn-Ansprechspannung ist die Spannung, bei der der Ableiter durchschaltet, wenn man ihn mit einer Gleichspannung oder flach ansteigenden Spannung bis ca. 100 V/s beansprucht. Allerdings ist die Ansprechspannung abhängig von der Spannungsanstiegsgeschwindigkeit: Die dynamische Ansprechspannung bei einem Anstieg von z.B. 10 kV/ μs kann 900 V betragen bei einer Nenn-Ansprechspannung von 400 V.

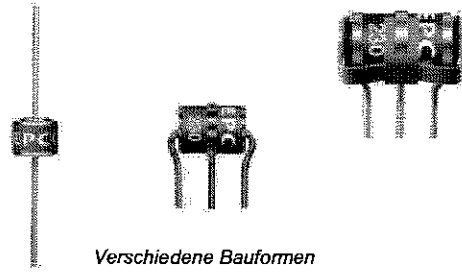
Die Ansprechzeit ist die Zeit, die es braucht, bis der Überspannungsableiter ab dem Überschreiten der statischen Zündspannung bzw. Nennansprechspannung durchschaltet. Sie hängt von der Spannungsanstiegsgeschwindigkeit ab. Für 1 kV/ μs ist ein typischer Wert 700 ns. Die Stoßstrombelastbarkeit ist recht hoch: bis 40 kA bei Wechselstrom (1 s) dagegen nur bis 20 A. Wie auch Shunts für die Impulsstrommessung sind die Überspannungsableiter auf eine adiabatische Erwärmung, d.h. einer Erwärmung ohne Energieabgabe an die Umwelt ausgelegt. Der Isolationswiderstand ist mit $> 10^{10} \Omega$ sehr hoch. Im eingeschalteten Zustand ist der Überspannungsableiter dagegen gut niederohmig ($< 0,1 \Omega$) bei einer Lichtbogenbrennspannung von 10 ... 25 V. Auch die Kapazität des Ableiters ist mit 1 ... 3 pF klein. Der geringe Lichtbogenwiderstand sorgt dafür, dass eine einlaufende Überspannungswelle auf die Leitung zurückreflektiert wird. Die Energie wird damit nicht im Überspannungsableiter umgesetzt. Durch die niedrige Kapazität eignet die dieser Ableitertyp zum Schutz von HF-Leitungen.

Ein großer Nachteil ist allerdings die relativ lange Ansprechzeit, die noch dazu vom Spannungsanstieg abhängt. Dadurch treten nach dem Ableiter noch transiente Überspannungen auf, die die Schaltung entweder verkraften muss, oder die man durch andere Ableitertypen begrenzen kann. Die geringe Brennspannung hat einen Nachteil beim Einsatz im Wechselspannungsnetz: Der Ableiter löscht schlecht. Man schaltet dann einen Varistor in Serie, der die Zeit des Stromnulldurchgangs für den Überspannungsableiter verlängert. So hat Funken oder Lichtbogen genügend Zeit zur Abkühlung und Ladungsträgerrekombination.

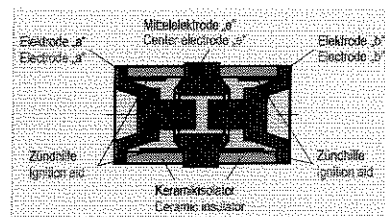
Edelgas-Überspannungsableiter: Bauformen



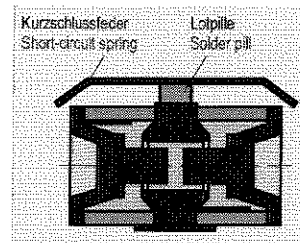
Zwei-Elektroden-Ableiter



Verschiedene Bauformen



Drei-Elektroden-Ableiter



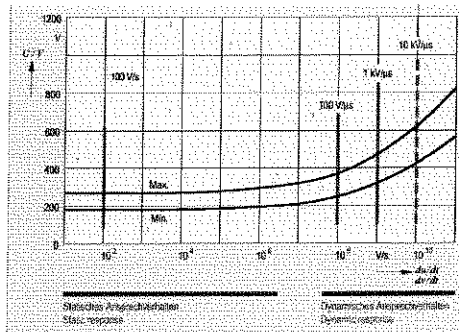
Ableiter mit Kurzschluss-Bügel

Diese Folie zeigt den Aufbau verschiedener Ableiter. Üblich sind 2-Elektroden- und 3-Elektroden-Ableiter, die 2-Elektroden-Ableiter kommen z.B. zwischen L und N zum Einsatz, die 3-Elektroden-Ableiter zwischen L, N und PE. Der prinzipielle Aufbau ist wie folgt: In einem Keramikkörper ist eine Edelgas. Zwei Elektroden bilden einen Spalt, in dem die Entladung entsteht. Zündhilfen sorgen durch Vorionisation für ein gleichmäßiges Durchzünden. Sie sind z.B. radioaktiv.

Überspannungsableiter können sehr heiß werden, wenn der Ableiter längere Zeit brennt ($>300^{\circ}\text{C}$). Das muss man beim Schaltungsentwurf berücksichtigen. In der Nähe dürfen keine wärmeempfindlichen Bauteile sitzen. Auch muss man ggf. Speziallot einsetzen, das erst bei höheren Temperaturen schmilzt und/oder den Ableiter zusätzlich mechanisch befestigen. Wenn man nicht sicherstellen kann, dass der Ableiter schnell genug wieder löscht, sollte man einen Ableiter mit einem Kurzschlussbügel einbauen. Der Kurzschlussbügel schließt den Ableiter dauerhaft kurz, wenn er zu warm wird. Dann schmilzt eine Lötperle (oder auch Kunststoff) und der Bügel überbrückt durch Federkraft den Ableiter.

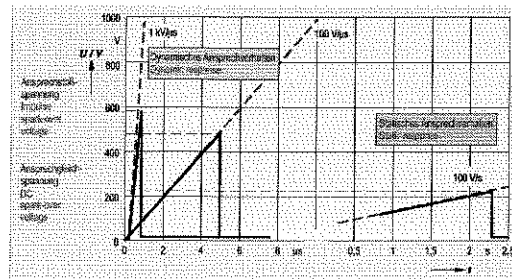
Edelgas-Überspannungsableiter: Zündverhalten

Experimentell ermitteltes Einschaltverhalten
eines 230 V -Ableiters.



Zündverhalten in Abhängigkeit
von der Spannungssteilheit

Einschaltzeiten in Abhängigkeit
von der Spannungssteilheit



Zur Auslegung einer Schaltung greift man auf die Datenblätter der Hersteller zurück. Hier ist das Ansprechverhalten in Abhängigkeit von der Spannungssteilheit dokumentiert. Das untere Diagramm zeigt die Einschaltzeit abhängig von der Spannungssteilheit, für einen 200 V-Ableiter. Man sieht, dass für schnelle Anstiege bis zu 3-fache Überspannung auftritt, die über einige μs anliegen.

Varistor

Typischer Wertebereich:

Betriebsspannung (Varistor sperrt):	6 V ... 2 kV
Varistorspannung ($I = 1 \text{ mA}$):	8 V ... 2 kV
Maximale Schutzspannung:	ca. 2 x Varistorspannung
Stoßstrom (8/20 μs):	100 A ... 100 kA
Maximale Pulsenergie:	ca. 0,1 J ... 15 kJ
Mittlere Dauerleistung:	ca. 0,01 W ... 2 W
Ansprechzeit:	< 25 ns
Spannungsfestigkeit:	> 2,5 kV
Kapazität:	500 pF ... 20 nF
Isolationswiderstand:	> 1 G Ω
Leckstrom bei Nennspannung:	einige 10 μA

Eigenschaften:

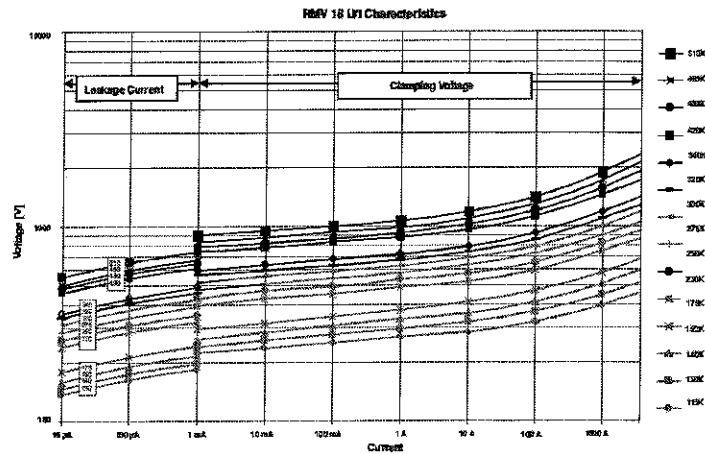
- Spannungsabhängiger Widerstand
- Material: ZnO, auch SiC
- Durchbruchspannung der Korngrenzen: 3 V...5 V
- Materialdicke bestimmt Durchbruchspannung, Querschnittsfläche bestimmt Stromstärke
- Nicht polarisiert: Für Gleich- und Wechselspannung
- Für kurze Ansprechzeiten: Geringe Zuleitungsinduktivitäten, d.h. kurze Anschlüsse
- Relativ hohe Kapazität: nicht für HF-Signalleitungen
- Zulässige Stoßbelastung durch Abmessungen bestimmt (adiabatische Erwärmung)
- Bei Überlastung: Reduzierung der Varistorspannung
bei Annäherung an Betriebsspannung: Anstieg der Verlustleistung, Explosion des Varistors möglich

Der Varistor ist ein spannungsabhängiger Widerstand. Oberhalb der sog. Varistorspannung fließen Ströme $> 1 \text{ mA}$. Die maximale Schutzspannung beträgt ca. 2 x Varistorspannung. Der Varistor wird aus ZnO oder SiC hergestellt. Die Durchbruchspannung an den Korngrenzen dieser Materialien liegt bei 3 ... 5 V. Die Materialdicke bestimmt die Durchbruchspannung, die Querschnittsfläche die Stromstärke. Das Bauelementeverhalten ist symmetrisch, d.h. hat für beide Polaritäten, Gleich- und Wechselspannung gleiches Verhalten. Ein Varistor spricht sehr schnell an, im ns-Bereich (< 25 ns). Um diese Eigenschaft zu nutzen, sollten allerdings die Zuleitungsinduktivitäten gering sein, d.h. die Anschlüsse kurz sein.

Varistoren haben eine relativ hohe Kapazität: 500 pF ... 20 nF. Sie sind daher nicht für HF-Leitungen geeignet. Die zulässige Stoßbelastbarkeit ist durch die Abmessungen vorgegeben (0,1 J ... 15 kJ). Man geht wieder von einer adiabatischen Erwärmung aus. Wenn man einen Varistor überlastet, reduziert sich die Varistorspannung. Dann verschmelzen nämlich einzelne Korngrenzen miteinander. Nähert sich so die Varistorspannung der Betriebsspannung an, steigt die Verlustleistung und der Varistor kann explodieren.

Beispiel: Varistor RMV18-230K

Werte laut Datenblatt:

Maximale Betriebsspannung: $U_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$, $U_{\text{N}} = 300 \text{ V}$ Varistorspannung bei $I = 1 \text{ mA}$: 360 V Spannungsbegrenzung: 595 V bei $I = 100 \text{ A}$ $I_{\text{Max}} = 6500 \text{ A}$ (8/20 μs) $W_{\text{Max}} = 120 \text{ J}$ (10/1000 μs)Kapazität: $C = 670 \text{ pF}$ 

Hier nun ein Beispiel: Das Diagramm zeigt die Spannung über dem Varistor in Abhängigkeit vom Strom. Unterhalb 1 mA ist der Leckstrom bei anliegender Spannung angegeben, darüber die Klemmspannung bei gegebenem Strom. Nehmen wir als Beispiel den Typ 230 heraus: Betriebsspannung: 230 VAV, 300 VDC. Die Varistorspannung liegt bei 360 V. Bei 100 A begrenzt der Varistor auf 595 V. Wie man an den Kennlinien sieht, ist der Übergang vergleichsweise flach. Daher kommt es auch hier zu relativ hohen Überspannungen.

Schutzdiode

Typischer Wertebereich:

Betriebsspannung:	5 V ... 400 V
Durchbruchspannung ($I = 1 \text{ mA}$):	ca. Betriebsspannung + 20 %
Ableitverhalten:	
bei 10/1000 μs -Belastung:	
- Begrenzungsspannung:	ca. Betriebsspannung + 70 %
- Begrenzungsstrom:	ca. 1 A ... 60 A
bei 8/20 μs -Belastung:	
- Begrenzungsspannung:	ca. Betriebsspannung + 120 %
- Begrenzungsstrom:	ca. 10 A ... 260 A
Maximale Pulsenergie	ca. 0,5 J ... 15 kJ
Maximal zulässige Spitzenleistung:	ca. 500 W ... 15 kW
Ansprechzeit:	
- einwegig:	ca. 1 ps
- zweiwegig:	ca. 1 ns
Kapazität:	100 pF ... einige nF
Leckstrom bei Nennspannung:	einige μA

Eigenschaften:

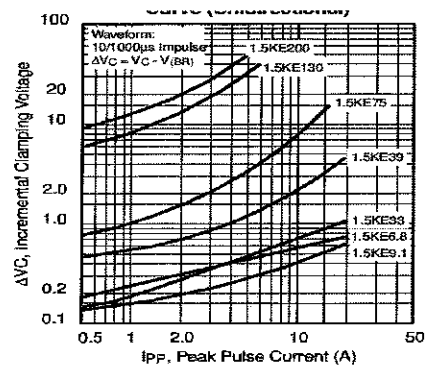
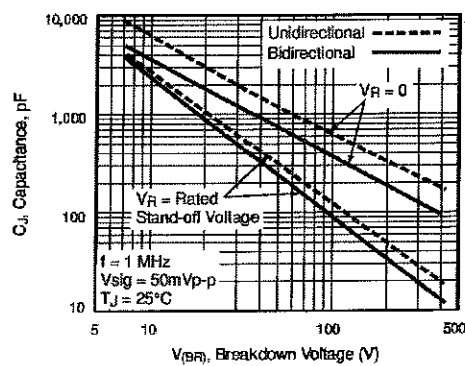
- pn-Übergang im Lawinendurchbruch betrieben
- Material: Silizium
- Großflächiger pn-Übergang für hohe Sperrstromtragfähigkeit
- Unipolar und bipolar erhältlich
- Sehr schnelles Ansprechen
- Geringer Spitzenstrom

Bei der Schutzdiode/Suppressor-Diode wird der pn-Übergang in Sperrrichtung im Lawinendurchbruch betrieben. Die Betriebsspannung liegt typischerweise zwischen ca. 5 V und 400 V, die Durchbruchspannung (gemessen bei einem Strom von 1 mA durch die Diode) ca. 20 % oberhalb der Betriebsspannung.

Abhängig vom Laststrom können Überspannungen bis ca. 120 % der Betriebsspannung auftreten. Der zulässige Begrenzungsstrom ist im Allgemeinen geringer als beim Varistor. Um einen hohen Strom in Sperrrichtung tragen zu können, ist der pn-Übergang großflächig ausgelegt. Suppressordioden sind unipolar und bipolar erhältlich. Unipolare Suppressordioden besitzen nur einen pn-Übergang, sie weisen in Durchlassrichtung übliches Diodenverhalten auf. Bei bipolaren Suppressordioden sind zwei pn-Übergänge gegeneinander in Serie geschaltet. Sie besitzen üblicherweise aufgrund der Serienschaltung eine kleiner Kapazität als sie nur ein pn-Übergang aufweist. Suppressordioden sprechen sehr schnell an, die Ansprechzeiten liegen unterhalb einer ns.

Beispiel: Transzorb 1.5KE350A (Transient Zener Absorber)

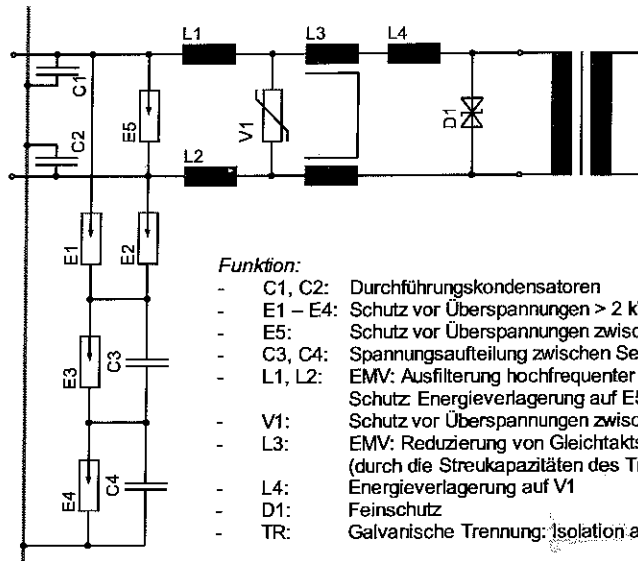
Werte laut Datenblatt:

Stand-off-Voltage: $U = 300\text{ V}$ bei Leckstrom $I = 1\text{ }\mu\text{A}$ Durchbruchspannung: $U_{BR} = 333\text{ V} \dots 368\text{ V}$ bei $I = 1\text{ mA}$ Spannungsbegrenzung: 482 V bei $I = 3,1\text{ A}$ 

Das linke Diagramm zeigt die Kapazität einer Suppressordiodenserie abhängig von der Durchbruchspannung. Die Kapazität sinkt mit steigender Durchbruchspannung. Auch wenn man die anliegende Spannung an einem Exemplar steigert, sinkt die Kapazität der Diode. Dies ist bedingt durch die spannungsabhängige Sperrschichtkapazität. Das rechte Diagramm zeigt die Zunahme der Klemmspannung in Abhängigkeit vom maximalen Pulsstrom durch die Diode für Dioden mit verschiedenen Durchbruchspannungen.

Beim Betrieb am Wechselspannungsnetz ermöglicht die Serienschaltung aus Varistor und Edelgas-Überspannungsableiter ein Löschen des Überspannungsableiters und verhindert ein dauerhaftes Kurzschließen.

Beispiel: Schutz und EMV-Maßnahmen bei einem Fernmeldegerät



Funktion:

- C1, C2: Durchführungskondensatoren
- E1 – E4: Schutz vor Überspannungen > 2 kV gegenüber Erde (Gehäuse)
- E5: Schutz vor Überspannungen zwischen beiden Leitern
- C3, C4: Spannungsaufteilung zwischen Serienschaltung von E3 und E4
- L1, L2: EMV: Ausfilterung hochfrequenter Stromanteile
- V1: Schutz vor Überspannungen zwischen beiden Leitern
- L3: EMV: Reduzierung von Gleichtaktströmen (durch die Streukapazitäten des Trafos)
- L4: Energieverlagerung auf V1
- D1: Feinschutz
- TR: Galvanische Trennung: Isolation auf 2 kV ausgelegt

Schlägt ein Blitz in oder in der Nähe eines Hauses ein, kommt es zu einer örtlichen Potentialanhebung des PE entsprechend des Spannungstrichters des Blitzeinschlags. L und N behalten das Potential der weiter entfernten Trafostation bei. So werden Überspannungen durch Blitze im Netz zwischen Erde (PE) auf der einen Seite und der Kombination aus L und N auf der anderen Seite eingekoppelt. Daher zweigt man den Edelgas-Überspannungsableiter von einer Serienschaltung aus zwei Varistoren zur Erde hin ab. Die Beiden Varistoren begrenzen eine evtl. Überspannung zwischen L und N, wie sie beispielsweise durch Induktionsspannung in einer Leiterschleife entsteht.

Folie Nr. 14 zeigt das Prinzipschaltbild eines Überspannungsschutzes für ein Fernmeldegerät. Bei der Verbindung weiter entfernter Stationen können Potentialunterschiede in der Größenordnung von 1 kV auftreten. Der Überspannungsschutz vereint Elemente des Grob- und Feinschutzes, sowie einen Transformator zur Potentialtrennung.

Galvanische Trennung

5. Kopplung von Systemen
Isolierende Signalübertragung

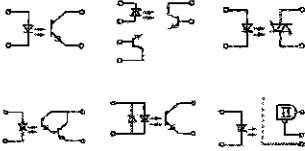
Signalübertragung über eine Isolierstrecke

Optisch:
Prinzip:
 - Signalübertragung durch Helligkeitsmodulation

Sender:
 - Leuchtdiode
 - Laser

Empfänger:
 - Photodiode
 - Phototransistor

Varianten:
 - Lichtwellenleiter-Übertragung
 - Trennverstärker
 - Optokoppler



Übertragung:
 - Basisband oder moduliert

Induktive Kopplung:
Prinzip:
 - Signalübertragung mittels Trenntrafo

Varianten:
 - Trenntrafo (Basisband)
 - Trennverstärker: moduliert Übertragung

Kapazitive Kopplung:
Prinzip:
 - Signalübertragung moduliert über kleine Kapazitäten

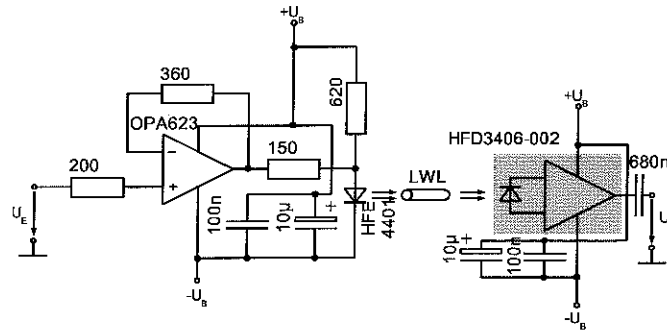
Anwendung:
 - Trennverstärker

außerdem:
Funk-Übertragung
Akustische Übertragung (insb. Ultraschall)
 ...

ElSys Folie 15
Dr.-Ing. M. Sack

Durch galvanische Trennung lassen sich einige EMV- und Überspannungsprobleme vermeiden. Zur Signalübertragung über eine Isolierstrecke bieten sich verschiedene Verfahren an:
 Optische Kopplung, induktive Kopplung und kapazitive Kopplung, außerdem Funkübertragung und akustische Übertragung.

Analoge optische Signalübertragung



Beispiel:

Analoge Signalübertragung über Lichtwellenleiter, Bandbreite $B = 125 \text{ MHz}$

Schaltungseigenschaften:

- Stromoffset zur Wechselspannungsübertragung
- Transimpedanzverstärker OPA623 als Spannungsfolger und Diodentreiber
- Ausgangsseitig: Wechselspannungsauskopplung mittels 680nF-Kondensator

Nachteil:

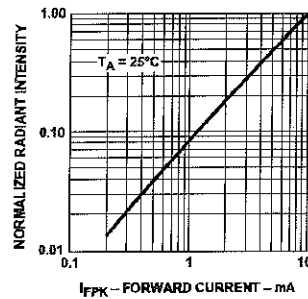
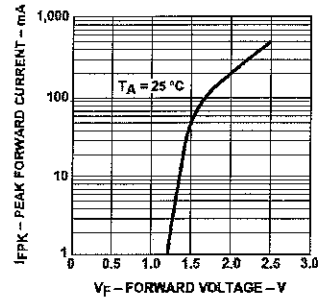
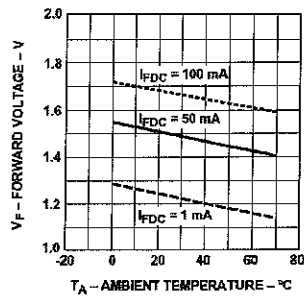
Nichtlinearitäten aufgrund der Diodenkennlinie, Temperaturabhängigkeit

Diese Folie zeigt ein Beispiel für eine einfache, dennoch breitbandige optische Signalübertragung mittels eines Transimpedanzverstärkers über Lichtwellenleiter.

Der Transimpedanzverstärker arbeitet als Spannungsfolger und liefert den Strom für die Helligkeitsmodulation der Leuchtdiode. Um Wechselspannung übertragen zu können, wird über den 620-Ohm-Widerstand ein Gleichstromoffset durch die Diode erzeugt. Empfängerseitig siebt der ausgangsseitige Kondensator den Gleichanteil wieder aus.

Die Schaltung arbeitet nicht sehr genau. Es treten nichtlinearitäten aufgrund der Diodenkennlinie in Erscheinung, außerdem verstellt sich durch die Temperaturabhängigkeit der Diode der Arbeitspunkt.

Kennlinien einer Leuchtdiode

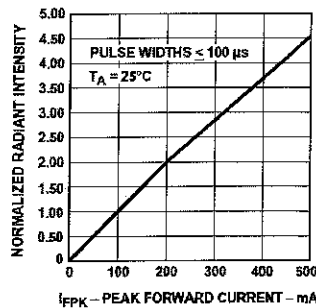
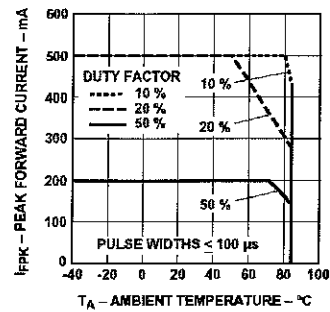
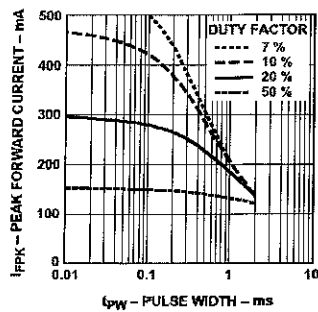


Den verschiedenen Kennlinien einer Leuchtdiode kann man entnehmen, wie sich die Diodenspannung in Flussrichtung abhängig von der Umgebungstemperatur ändert. Bei Betrieb über einen Vorwiderstand an konstanter Spannung verändert sich der Gleichstrom durch die Diode entsprechend. Der Einfluss ist umso größer je kleiner der Spannungsabfall am Vorwiderstand ist, da sich dann die Spannungsänderung an der Diode antelig mehr auswirkt.

Die Diodenspannung weist eine Abhängigkeit vom Diodenstrom auf. Bemerkbar macht sich dabei auch der ohmsche Widerstandsanteil.

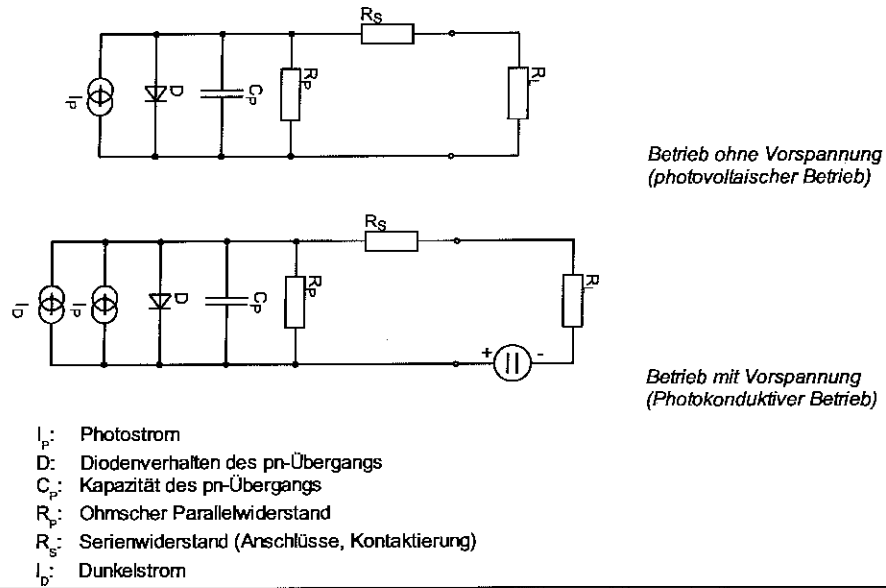
Die abgestrahlte Lichtintensität ist nur näherungsweise proportional zum Diodenstrom. Dies verursacht ohne Ausgleich Oberschwingungen im übertragenen Signal.

Kennlinien einer Leuchtdiode im gepulsten Betrieb



Im gepulsten Betrieb kann eine Leuchtdiode mit erhöhtem Strom betrieben werden. Dies erhöht beispielsweise die Reichweite von IR-Fernbedienungen. Während des Pulses wird die thermische Verlustenergie adiabatisch in der LED gespeichert und auch in den Pausen kontinuierlich abgegeben. Der Diodenstrom kann abhängig von der Pulslänge und der Pulsfrequenz, beides ausgedrückt durch den Duty Factor, gemäß dem Diagramm im Diodendatenblatt erhöht werden. Begrenzend wirkt allerdings die maximale Umgebungstemperatur, für die die Schaltung ausgelegt ist. Sie begrenzt das Kühlvermögen, insbesondere bei höheren thermischen Leistungen. Die Leuchtkraft ist auch bei gepulster Überlast näherungsweise proportional zum Diodenstrom.

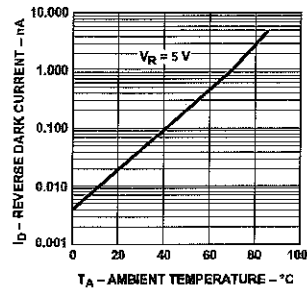
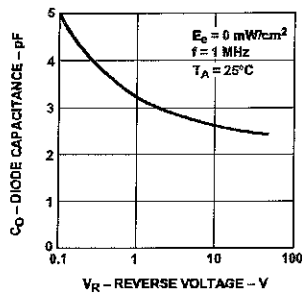
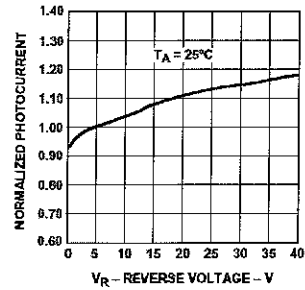
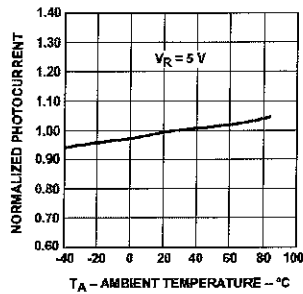
Ersatzschaltbilder einer Photodiode



Photodioden können einerseits im photovoltaische Betrieb ohne Vorspannung, andererseits im photokonduktiven Betrieb mit Vorspannung in Sperrichtung betrieben werden.

Das Ersatzschaltbild entspricht dem einer Solarzelle: Es enthält den geringen Serienwiderstand R_s und hohen Parallelwiderstand R_p . Die Kapazität des pn-Übergangs ist durch C_p dargestellt. Die Diode repräsentiert das Diodenverhalten des pn-Übergangs. Den sich bei Lichteinfall einstellende Photostrom symbolisiert die Stromquelle I_p . Bei einem Betrieb mit Vorspannung muss man zusätzlich den Dunkelstrom durch den pn-Übergang berücksichtigen.

Kennlinien einer Photodiode

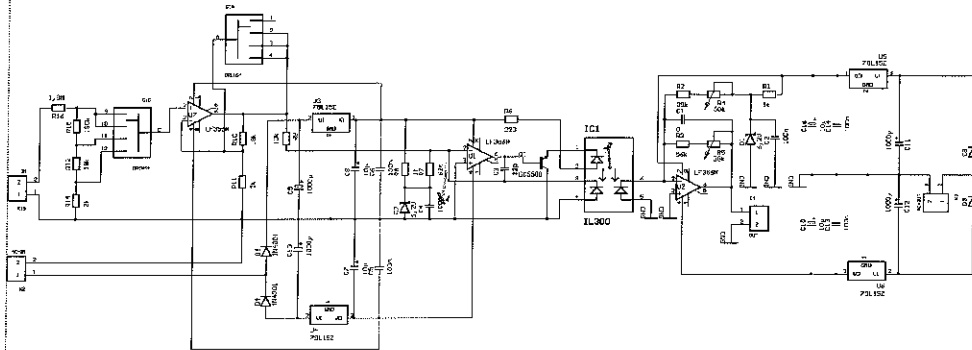


Für schnelle Anwendungen:
Betrieb mit Vorspannung:
 C klein

Für hohe Genauigkeitsanforderungen bei der Analog-
Übertragung:
Betrieb ohne Vorspannung:
kein Dunkelstrom

Die Kapazität des pn-Übergangs der Diode verringert sich mit steigender Sperrspannung. Daher bietet sich für schnelle Anwendungen der Betrieb mit Vorspannung an. Auch der Photostrom steigt mit steigender Sperrspannung, was die Empfindlichkeit entsprechend erhöht. Der Dunkelstrom steigt mit der Temperatur an. Er kann bei analoger Übertragung ein Störsignal verursachen. Für hohe Genauigkeitsanforderungen, z.B. bei der Analog-Digital-Wandlung bietet sich daher der Betrieb ohne Vorspannung an, der den Dunkelstrom vermeidet.

Beispiel: Trennverstärker mit IL300

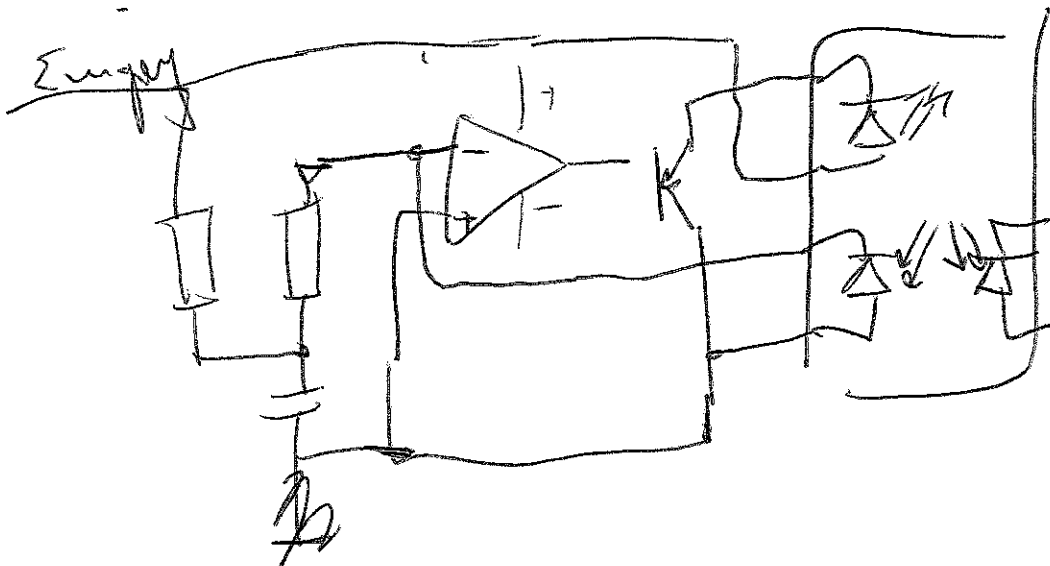


Diese Folie zeigt einen Trennverstärker, der mit einer analogen Übertragung über den Optokoppler IL300 arbeitet. Der IL300 vereint eine Sendediode und zwei Empfangsdioden in einem Gehäuse. Die Übertragung wird durch eine Gegenkopplung linearisiert. Der OP-Ausgang treibt über einen Transistor die Leuchtdiode, die die beiden Photodioden sowohl auf der Sende- als auch auf der Empfangsseite bestrahlt. Der Strom der sendeseitigen Photodiode kompensiert am invertierenden Eingang des Operationsverstärkers die Summe der Ströme, die über R7 und R9 eingekoppelt werden. Über R9 wird das Messsignal eingekoppelt, R7 liefert den Gleichspannungsoffset. Der Operationsverstärker ist also über die Lichtstrecke des Optokopplers gegengekoppelt. Da der nicht-invertierende Eingang auf Masse liegt, regelt sich auch das Potential am invertierenden Eingang auf Masse ein. Beide Photodioden sind mit einem Anschluss mit Masse verbunden. Daher werden sie ohne Vorspannung photovoltaisch betrieben.

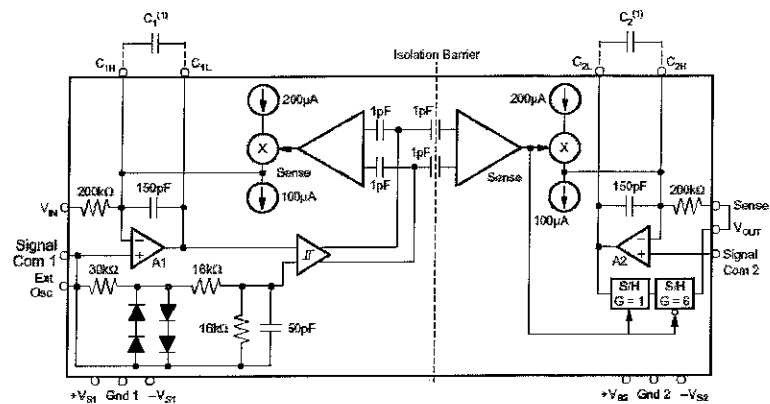
Bei der Herstellung des Optokopplers können die Kopplungsfaktoren zwischen der Sendediode und den beiden Empfangsdioden nicht genau eingestellt werden. Die produzierten Bauteile werden daher nach Messung der Kopplungsfaktoren in verschiedene Klassen aufgeteilt. Damit sind die Ströme der beiden Photodioden zwar proportional, unterscheiden sich aber um einen bauteilabhängigen Faktor. Daher ist auf der Empfangsseite der Schaltung vorgesehen, die Verstärkung und den Offset am empfangende Operationsverstärker abzugleichen.

Außer der Übertragungselektronik enthält die Schaltung eingangsseitig einen Vorverstärker mit umschaltbarer Eingangsabschwächung und Verstärkung, außerdem Gleichrichter sowie Spannungsregler zur stabilisierten und potentialgetrennten Versorgung von Sende- und Empfangsseite.

Anpassung mty



Beispiel: Trennverstärker ISO 120/121



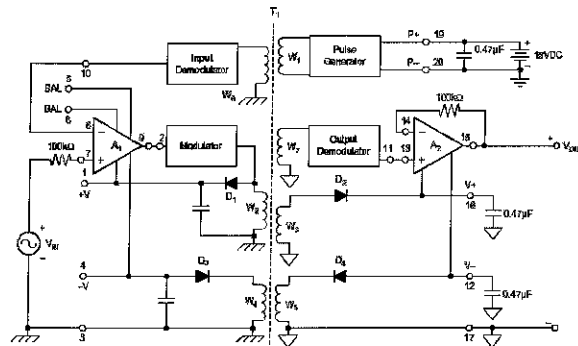
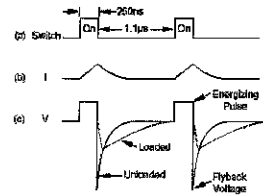
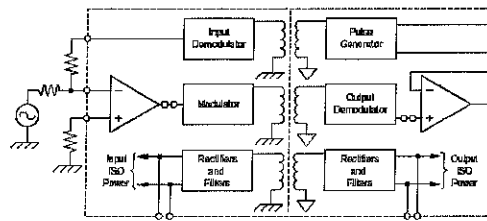
NOTE: (1) Optional. See text

- Potentialtrennung durch kleine Kapazitäten
- Signalübertragung durch Pulsweitenmodulation:
Integrierer A1 bildet mit Schmitt-Trigger einen Rechteck-Dreieck-Generator
- Rückkopplung zwecks Linearisierung
- Auf anderer Seite der Barriere: Demodulation

Der Trennverstärker ISO 120/121 überträgt das Signal potentialgetrennt über kleine Kapazitäten. Das Signal wird pulswertenmoduliert übertragen. Dazu bildet der Integrierer A1 zusammen mit einem getakteten Schmitt-Trigger einen Rechteck-Dreieck-Generator. Das Eingangssignal wird über den 200 kΩ-Widerstand aufgeschaltet. Abhängig vom Schaltzustand des getakteten Schmitt-Triggers erfolgt die Polaritätswahl der zusätzlich aufgeschalteten Stromquelle. Im Ergebnis steht am Ausgang des Integrieres entsprechend dem Aussteuerungsgrad eine Dreieck- bzw. Sägezahnspannung an. Auf der Empfangsseite erfolgt die Demodulation.

Bedingt durch die Taktung stellt der Trennverstärker ein Abtastsystem dar, so dass bei der Anwendung das Abtasttheorem beachtet werden muss.

Beispiel: Trennverstärker BB 3656



- Potentialtrennung durch Übertrager
- Nur ein Übertrager für Energie- und Signalübertragung -> klein
- Signalübertragung durch Beeinflussung der Selbstinduktionsspannung nach dem Versorgungsimpuls (flyback voltage)
- Rückkopplung über Demodulator zwecks Linearisierung
- Demodulator auf anderer Seite der Barriere: exakt gleich (Laserabgleich)

Der Trennverstärker BB3656 nutzt einen Übertrager zur Potentialtrennung. Als Besonderheit weist dieser Trennverstärker nur einen einzigen Übertrager zur Daten- und Energieübertragung auf. Das spart Platz. Die Sendeseite wird potentialgetrennt von der Empfangsseite aus mit Energie versorgt. Die Signalübertragung geschieht durch Beeinflussung der Selbstinduktionsspannung nach dem Abschalten des Treibertransistors am Ende des Versorgungspulses. Die Spannung wird von der Sendeseite entsprechend der zu übertragenden Spannung begrenzt. Die Rückkopplung geschieht über einen senderseitigen Demodulator. Durch Laserabgleich sind die beiden Demodulatoren auf beiden Seiten der Barriere aneinander angeglichen.

Auch dieser Trennverstärker beinhaltet ein Abtastsystem, so dass das Abtasttheorem zu beachten ist.