

Störbeeinflussung durch nicht beschaltete Lasten / Kontakte

Klaus Padberg, Comat AG, Worb

Werden elektrische Lasten über elektromechanische Kontakte geschaltet, so werden sehr steile Spannungs- und Stromflanken EMV mässig wirksam. Dies wird durch die Einschalt- und, insbesondere bei induktiven Lasten, die Ausschaltvorgänge, verstärkt noch durch das unvermeidliche Prellen der Kontakte bewirkt. Nicht nur, dass die Einschalt- und Ausschaltvorgänge massgeblich den Kontaktabbbrand verursachen, werden hochfrequente Störungen erzeugt, die zu unberechenbaren Funktionsstörungen führen. Beschaltungsmassnahmen werden aufgezeigt.

Um die Vorgänge besser verstehen zu können, sei einleitend die Funktionsweise eines Relais mit seinem Kontakt aufgezeigt.

Das Prinzip

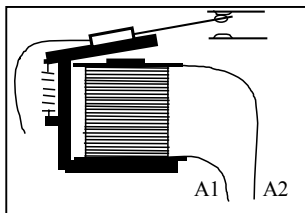


Bild 1 Typischer Aufbau eines Relais

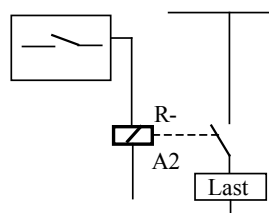


Bild 2 Prinzipielles Schaltschema

Funktion

Einschaltvorgang

Mit dem Anlegen einer Spannung an die Spule (A1, A2) beginnt in der Relaisspule ein Strom zu fließen. Durch die Kräfte des resultierenden Magnetfeldes wird der Anker angezogen; d.h. der Magnetkreis wird geschlossen. Bei DC Relais wird danach das Strommaximum erreicht. Bei AC Relais, AC Schützen, sinkt der anfänglich hohe Einschaltstrom auf den niedrigen Betriebsstrom ab.

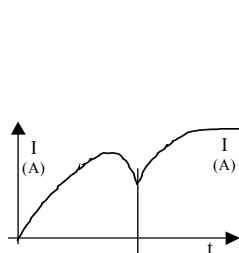


Bild 3
Typischer Einschaltstromverlauf DC Relais

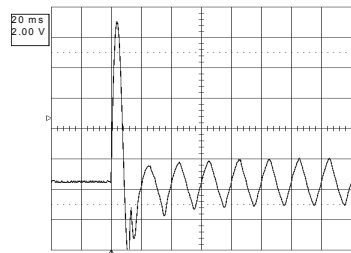


Bild 3a AC Relais

Nach der Anzugsverzögerung t_1 öffnet der Ruhekontakt; der Arbeitskontakt des Relais schliesst. Der Vorgang ist erkennbar durch das Einbrechen des Spulenstroms, verursacht durch den Anstieg der Induktivität.

Abschaltvorgang

Wird der Stromfluss durch die Relaisspule abgeschaltet, so wird nach der Abfallzeit (Rückfallzeit) der Anker des Relais in seine Ruhestellung zurückkehren, der Arbeitskontakt öffnet, der Ruhekontakt schliesst.

Nun ist es so, dass die magnetische Energie in der Relaisspule abgebaut werden muss; d.h., dass der Spulenstrom sich nach einer e-Funktion verringert. Ist das nicht ohne Weiteres gewährleistet, entsteht eine Selbstinduktionsspannung, die so hoch wird, dass der Spulenstrom dem ursprünglichen Strom entspricht.

Dieser Vorgang aber ist genau das Problem wenn man mit einem elektromagnetischen Kontakt eine Induktivität schalten will. Dieses Phänomen wird im Folgenden noch genauer betrachtet.

Schaltverhalten der Kontakte

Bei den elektromechanischen Kontakten handelt es sich mechanisch gesehen um federnd angeordnete Massen. Damit ist eigentlich schon alles gesagt.

Das heisst, dass wenn die Kontakte aufeinander prallen, oder von einander weg bewegt werden, beginnen die Kontaktarme zu schwingen; d.h. der Kontakt wird für eine sehr kurze Zeit (bei Relais im Bereich von 0,2 bis ca. 5ms) sehr schnell geschlossen und geöffnet, bis er seinen stabilen Zustand erreicht.

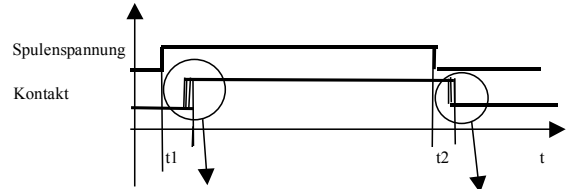


Bild 4 Relaisfunktion

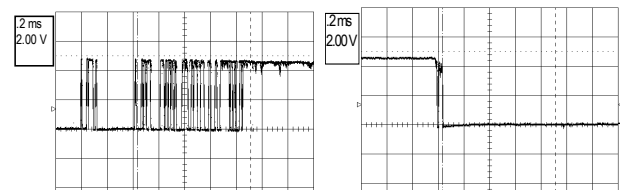


Bild 4a Kontaktprellen beim Einschalten

Bild 4b Kontaktprellen beim Abschalten

Aus diesen Vorgängen resultieren die folgend beschriebenen Effekte:

Mit dem Schaltvorgang des Kontakts wird auf einer Leitung eine sehr schnelle elektrische Zustandsänderung erzwungen: Bei 24V Anlagen ergibt sich ein Spannungshub von 24V, Bei 230V Anlagen ein solcher - statistisch verteilt- zwischen 0 und $\pm 320V$.

Mit diesem Spannungshub sind auch immer Ladungverschiebungen also auch Ströme und damit Magnetfelder verbunden. Der Prelleneffekt wirkt sich nur verstärkend aus, ist nicht aber nicht ursächlich.

Da es sich hier im Prinzip um rechteckförmige Vorgänge handelt, sind entsprechend wirksame Frequenzspektren bis hinauf in den UKW und FS Bereich zu erwarten.

Neben direkter Abstrahlung führt die Umladung der Leitungen physikalisch zwingend zu Einkopplungen, d.h. Übersprechen, auf benachbarte Leitungen.

Allein das zeitlich zusammenhängende Schalten mehrerer Lasten über längere Leitungen kann ausreichen, um einen normalen Steuereingang, z.B. einer SPS, über eine entsprechend lange, parallel geführte Steuerleitung zu aktivieren, geschweige einen schnellen Zählergang von Positioniereinrichtungen, usw..

Lastarten

Man kann elektrische Lasten grundsätzlich unterscheiden nach:

- Ohmschen Lasten, z.B. Glühlampen, Heizungen
- Induktiven Lasten, z.B. Relais, Magnetkupplungen, Ventile, Schütze
- Kapazitiven Lasten z.B. komp. Leuchten, Kondensatoren

Das ist sicher korrekt, bezogen auf den Leistungsfaktor im statischen Zustand. Schaut man aber die Situation für die Dauer der Einschalt- und Ausschaltvorgänge an, ergibt sich ein wesentlich differenzierteres Bild:

- Eine Glühlampe zeigt einen bis zu zwanzigfachen Einschaltstrom
- Jede Leitung erweist sich als eine komplexe Schaltung von Kapazitäten, Induktivitäten und Widerständen
- Ein Motor wird sich nur nach einem ordentlichen Einschaltstromstoss bewegen (Vier- bis Achtfache des Nennstromes), dazu gibt es noch eine ordentliche Abschaltspitze mit hoher Energie - gratis.

usw.

Daraus folgt, dass wenn sich beim Einschalten mit elektromechanischen Kontakten die Kontaktoberflächen sich zum ersten Mal zart berühren, ein Einschaltfunke resultiert (wohl ähnlich wie bei der Liebe), der auch dazu führt, dass einige Moleküle des Kontaktmaterials aufschmelzen und sich nach kurzem Flug entweder am gegenüberliegenden Kontakt oder an der Gehäusewand niederlassen; das bedeutet technisch ausgedrückt: Materialwanderung, Kontaktabbrand.

Beim Abschalten passiert eigentlich das Gleiche. In dem Moment, wo sich die Kontaktoberflächen trennen, entsteht eine sehr hohe Stromdichte, bzw. die Abschaltspannung überspringt für kurze Zeit die sich bildende Lücke, so entsteht wieder ein Funke mit dem gleichen Effekt, d.h. Kontaktabbrand und Materialwanderung.

Diese Wirkung ist natürlich sehr stark abhängig vom geschalteten Strom und der geschalteten Spannung, bzw. der geschalteten Leistung.

Je nachdem, ob es sich nun um kapazitive oder induktive Lasten handelt, werden diese Effekte noch wesentlich verstärkt.

Das kann dazu führen, dass ein Abschalten, insbesondere einer induktiven DC Last sehr bald einmal unmöglich wird, weil der Lichtbogen beim Abschalten nicht mehr verlöscht (Lastgrenzkurve).

Nun, was aber hat das mit EMV zu tun?

Der vorzeitige Verschleiss eines Kontakts, die Zuverlässigkeit und der Unterhalts ist das eine Thema. Das andere Thema heisst EMV:

Wie noch aus Zeiten der Ausbildung (Stifti) bekannt sein sollte, gab es da einen berühmten Forscher: Heinrich Hertz.

Schon der fand heraus, dass mit elektrischen Funken hochfrequente Schwingungen erzeugt werden können, welche sich zur Nachrichtenübermittlung eignen.

In unserem Fall heisst die enthaltene Nachricht sehr einfach "EMV Störung".

Bedenken wir, dass die Zeit eines einzelnen Schaltvorgangs zwar recht kurz ist (einige 100µs) aber die auftretende Hf-Leistung durchaus sehr hoch werden kann.

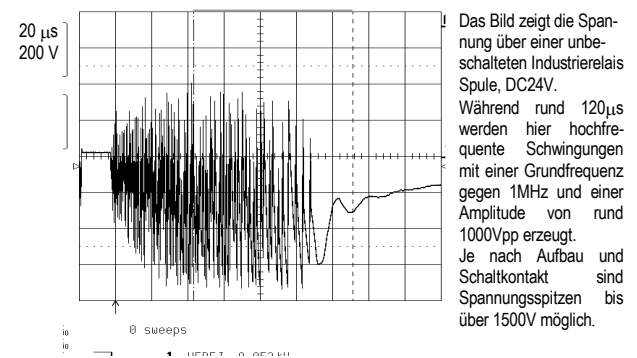


Bild 7

Da leuchtet bald einmal ein – auch weil sich in einer komplexen Anlage solche Schaltvorgänge zeitlich überlagern, aneinander hängen können –, dass gegen solche Hertzische Funkensender etwas getan werden muss. Man merke:

Durch die Verkopplung von mehreren Schaltvorgängen kann es ohne Weiteres gelingen, übliche Entstör- und Verzögerungsmassnahmen, z.B. 5ms an SPS Eingängen, zu "überlisten".

Beschaltung

Grundsätzlich muss die Störung verursachende Last beschaltet werden, in dem Sinne, dass die Störung emittierende Wirkung minimalisiert wird.

Häufig spricht man aber auch von der Kontaktbeschaltung, was aber meist auf das Gleiche hinausläuft.

Kapazitive Lasten

Hier hilft wohl keine Parallel-Diode und kein RC - Glied. Die einzigen Massnahmen, die greifen, sind Seriewiderstände, oder eine kleine Drossel um die extremen Einschaltströme und damit den störenden Einschaltfunken und entsprechenden Kontaktabbrand in Griff zu bekommen. Wenn es nicht anders möglich ist, kann auch eine gestaffelte Einschaltung notwendig sein, wie z.B. Softstart, Stern- Dreieck - Schaltung bei Motoren. Soll mit einem kleinen Relais eine Last über eine lange Leitung geschaltet werden, empfiehlt sich ein kleiner Seriewiderstand.

– Induktive Lasten

Hier muss das Ziel sein, dafür zu sorgen, dass sich die gespeicherte magnetische Energie nicht in dem Lichtbogen am sich öffnenden Kontakt abbaut.

Dies kann dadurch erfolgen, dass parallel zur Last eine Freilaufdiode (DC) oder ein RC Glied (DC / A) geschaltet wird.

Während bei einer Diodenschaltung immer noch steile Spannungsflanken zumindest in der Höhe der Betriebsspannung (+ ca. 1V), auftreten, bewirkt ein RC Glied - sofern ausreichend bemessen - eine Verlangsamung der Spannungsflanke.

Ist die Spannungsflanke langsamer als die Öffnungsgeschwindigkeit des Kontakts, kann jede Funkenbildung beim Abschalten vermieden werden,

So kann die Schaltleistung des Kontakts wie bei rein ohmscher Last, oder sogar darüber, erreicht werden.

Dadurch, dass bei RC Gliedern eine reduzierte Flankensteilheit erreicht wird, ist auch das entstehende Störfrequenzspektrum stark begrenzt (auf wenige 100Hz). Damit wird auch die Abstrahlung von Störimpulsen - Leiter- als auch Nichtleiter gebunden - vermieden.

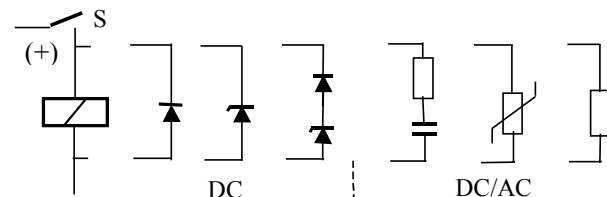


Bild 8 Beschaltungsarten am Beispiel eines Industrirelais (induktive Last)

Kommentar

Selbstverständlich kann z.B. ein RC Glied parallel zum Kontakt geschaltet werden. Allerdings führt das u.U. zu unzulässigen Restströmen und kann sich nicht nur im Fehlerfall (Resonanzeffekte) verheerend auswirken.

Davon sei also dringend abgeraten.

Die Beschaltung sollte aus naheliegenden Gründen möglichst beim Verursacher erfolgen.

Grundsätzlich verlängert eine Beschaltung die Rückfallzeit des Relais, des Schützes oder des Ventils. Eine Diode über eine DC Relaispule verursacht eine ca. 3-fach längere Rückfallzeit; d.h. statt üblicher 10ms (Industrirelais) resultieren bis zu 30ms. Dies gilt es zu berücksichtigen.

Im Übrigen muss die Diode so bemessen sein, dass der

Betriebsstrom für die Dauer von jeweils ca. 50ms geführt werden kann.

Die einfache Beschaltung mit einem Widerstand – sehr billig und zuverlässig – ist aber wohl nur bei kleinen Betriebsspannungen und kurzen Einschaltzeiten opportun und wird deshalb auch nur in der Automobiltechnik häufig angewendet.

Selbstverständlich sind auch Schaltungskombinationen, z.B. mit Zenerdioden oder Diode und RC Glied möglich.

Bei der Bemessung von RC Gliedern wird häufig das RC Glied zu klein gewählt, wenn eine Lebensdauerverlängerung für den Kontakt erreicht werden soll. RC Glieder sind relativ teuer. Der Name Rifa ist wohl der Inbegriff.

Niemals darf ein einfacher Kondensator zur Beschaltung verwendet werden. Das hilft wohl beim Abschalten; dafür kommt es aber beim Einschalten zu den bekannten Problemen.

Das nachfolgende Bild 7a zeigt den Spannungsverlauf an der Spule eines Standard - Industrirelais, DC 24V. Mit Dioden Beschaltung ist deutlich zu erkennen, dass die Rückfallverzögerung ca. 30ms ausmacht (1V über der Diode = Strom in der Spule). Das Bild 7b zeigt den Spannungsverlauf mit einem RC Glied (0,25µF + 470Ω). Man erkennt, dass trotz des schon relativ grossen RC Glieds immer noch eine Selbstinduktionsspitze von -70V auftritt. Wesentlich ist aber, dass es sich um eine fast reine, gedämpfte sinusförmige Schwingung mit einer Frequenz von ca.125Hz handelt. Das Relais fällt nach Standardabfallzeit + ca. 4ms ab, weil der Strom dann praktisch 0 ist. Bei dieser Flankensteilheit tritt kein Funke mehr auf! Da stört nichts mehr!

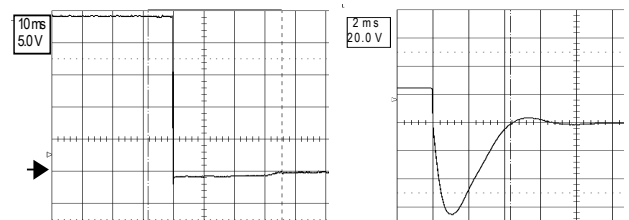


Bild 7a

Bild 7b

Bemessung von Beschaltungen

Grundsätzlich ist zu beachten, dass bei der Leistungs-bemessung der Beschaltungskomponenten, insbesondere bei Dioden, VDR's, zu berücksichtigen ist, dass bei übergeordneter Abschaltung, z.B. durch Sicherheitsausfall, zusätzliche Abschaltenergien von benachbarten Geräten mit zu übernehmen sind.

RC-Glieder

Soll ein RC - Glied ausgewählt werden, ist es sicher richtig, neben dem EMV - auch gleich den Lebensdaueraspekt des Kontaktes zu berücksichtigen. Zur genügenden EMV - Unterdrückung sind sehr kleine Kapazitäten ($<0,1\mu\text{F}$) ausreichend. Unter Berücksichtigung der Kontaktlebensdauer oder einer maximalen Abschaltspannung sind erheblich grössere Kapazitäten einzusetzen. Für entsprechende Dimensionierung kann dann folgende einfache Vorgehensweise empfohlen werden:

Kapazität in $[\mu\text{F}]$:

Entsprechend Strom in $[\text{A}]$, jedoch $\geq 0,1$.

Die Betriebsspannung wird wohl üblicherweise mit AC125V oder AC250V gewählt .

Widerstand: für Betriebsspannungen bis 60V: 100Ω ; bis Betriebsspannung 250V: 470Ω .

Achtung: Wird das RC Glied selbst zusammengestellt, sollte der Kondensator eine X2 Ausführung und der Widerstand impulsfest sein, z. B ein Kohlemassewiderstand.

Dioden

Als Bemessungskriterien sind hier der Durchlassstrom und die Sperrspannung massgebend. Der Strom sollte mindestens dem Betriebsstrom entsprechen. Die Sperrspannung sollte mindestens zweimal U_{Betrieb} entsprechen, keinesfalls aber unter 200V. Probleme sind hier schon aufgetreten, weil durch Fremdeinkopplung Dioden mit zu niedriger Sperrspannung "übrumpelt" wurden. Im Allgemeinen empfiehlt sich, als Diode die weit verbreitete und preisgünstige Standard Diode 1N4007 einzusetzen, die vermag immerhin bis 1000V zu sperren und Spitzenströme von weit über 10A / 10ms zu verkraften. Kommen in dem Netz Transienten über 1000V vor, so werden auch solche Dioden zerstört. Eine Diode ergibt bei Standardanwendungen (24V , 1A) immer auch einen Gewinn an Kontaktlebensdauer.

Bei der Auswahl von Zenerdioden ist der in den Datenblättern angegebene Spitzenstrom zu beachten. Im Zweifelsfall ist auf Suppressordioden (impulsfeste Zenerdioden) zurückzugreifen. Selbstverständlich lassen sich auch Kombinationsschaltung zur Reduktion der Rückfallverzögerung verwenden.

Varistoren

Sollen Varistoren eingesetzt werden, ist die Bemessungsspannung auf die max. Betriebsspannung auszuliegen. z.B. min. $1,5 \times U_{\text{Betrieb}}$. Auf den Bauteilen ist üblicherweise die AC Spannung aufgedruckt.

Zu beachten ist auch, dass sich VDR's keinesfalls zur Begrenzung der Versorgungsspannung eignen. VDR's können eigentlich auch nicht parallel geschaltet werden.

Eine zu schwach dimensionierte Auslegung (entspricht dem Durchmesser) führt zu vorzeitigem Ableben.

Beispiel:

Ein 10mm Typ AC275V vermag einmalig einen Impuls von über 60A / 1ms zu verkraften. aber nur ca.7A/1ms unbegrenzt wiederholend. Die Dauerverlustleistung eines 10mm Typs beträgt nur 400mW.

Fazit

Grundsätzlich sollten in einer Steuerung alle mit Kontakten geschalteten induktiven Lasten beschaltet werden. Das vermeidet die Störbeeinflussung und verlängert - bei richtiger Dimensionierung - massiv die Lebensdauer der Kontakte.

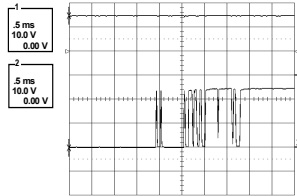
Eine grundsätzliche Beschaltung ist somit wirtschaftlich, weil Unterhaltskosten gespart, EMV Probleme, Fehlersuche und teure Nachrüstung vermieden werden.

Anhang zu Störbeeinflussung durch nicht beschaltete Lasten / Kontakte

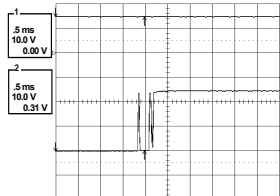
Kontaktprellen, gemessen an 3 pol. 10A Industrierelais im Vergleich

Einschalten

Prüfling 11 pol. Standard

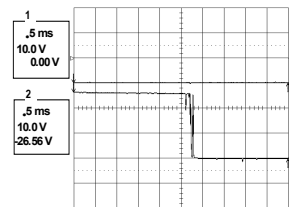


Prüfling CR31

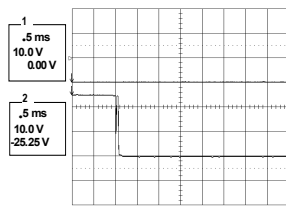


Ausschalten

Prüfling 11 pol. Standard



Prüfling CR31



Kommentar

Die Aufnahmen zeigen das Verhalten, gemessen an einem typischen Exemplar. Obwohl über die Serien erhebliche Streuungen zu erwarten sind, zeigen sich wohl auf Grund der Konstruktionsunterschiede tendenziell erhebliche zeitliche Differenzen.

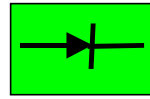
Die Unterschiede haben sicher einen entsprechenden Einfluss auf das Störverhalten, das Störspektrum aber auch auf die zu erwartende Lebensdauer der Kontakte mit elektrischer Belastung.

Solche Unterschiede lassen also auch auf unterschiedliche Qualitäten schließen.

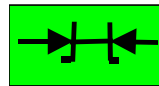
Überblick der Eigenschaften der gängigsten Beschaltungen

Diode:

Nur für **DC**



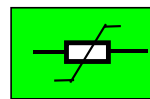
Sehr preiswert
Sehr wirksam bis ca. 1A DC24V
Min. Rückschlagspannung (<1V)
Verlängert Rückfallzeit um ca. Faktor 3 ... 10



Diodenlösung für **DC** und **AC**
Minimale Rückschlagspannung
ca. 1,5 x U_B Betrieb

Varistor:

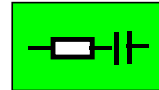
Für **AC** und **DC**



Preisgünstig
Gute Wirksamkeit für EMV
Mittlere Rückschlagspannung (ca. 2 x U_B)
Zusätzlich wirksame allg. Störspitzenbegrenzung
Kleine Verzögerung
Auswirkung auf Lebensdauerverlängerung gering
Kapazitive Belastung

R-C - Glied:

Für **AC** und **DC**



Relativ teuer
Bei ausreichender Bemessung sehr wirksam, auch im Sinne einer Lebensdauerverlängerung
Rückschlagspannung relativ hoch
Min. Stör- Frequenzspektrum
Bei AC Reststromabsorption Mittlere Verzögerung
Es sind Resonanzeffekte zu beachten

Es sind noch weitere Schaltungen denkbar. Im Bereich Kleinspannungen findet man auch die einfache Parallelschaltung eines Widerstandes. Die Parallelschaltung eines R - C Gliedes mit einer Diode erlaubt eine minimale Rückschlagspannung, usw.

Varistoren (VDR) typische Kapazitäten

Die Varistoren sind nach ihrem Durchmesser , d.h. ihrer Leistung sortiert.

Die Varistoren werden von verschiedenen Herstellern mit kompatiblen Eigenschaften geliefert.

Direkt am Netz sollte man keine Varistoren mit Durchmesser unter 10mm einsetzen.

Typ:

05mm / 0,01W / AC30V / DC38V:	580pF	05mm / 0,10W / AC275V / DC350V	50pF
07mm / 0,02W / AC30V / DC38V	1050pF	07mm / 0,25W / AC275V / DC350V	95pF
10mm / 0,05W / AC30V / DC38V	2150pF	10mm / 0,40W / AC275V / DC350V	195pF
14mm / 0,10W / AC30V / DC38V	3600pF	14mm / 0,60W / AC275V / DC350V	320pF
20mm / 0,20W / AC30V / DC38V	7200pF	20mm / 1,00W / AC275V / DC350V	630pF

Nenndaten bei 1kHz

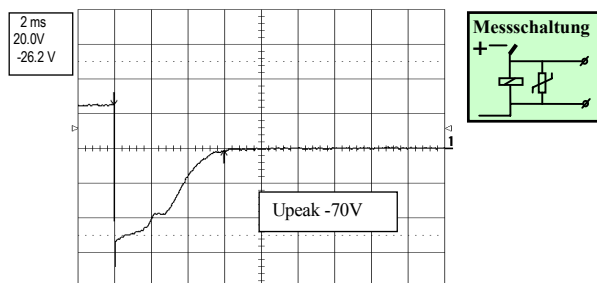
Die Kapazität hilft hochfrequente Störspektren zu begrenzen, andererseits verursacht diese aber Einschalt - Strom - Spitzen.

Beispiel für Begrenzung mit VDR:

Typ: **10mm** AC 30V/DC38V: **93V / 5A**;
10mm AC 275V/DC350V: **710V / 25A**

Bei häufigen Schaltvorgängen ist darauf zu achten, dass die mittlere Abschaltenergie die Belastbarkeit der VDR nicht überschreitet, da es sonst zu Lebensdauerbegrenzungen kommt.

Bild der Selbstinduktionsspannung, gemessen an einem 3 pol. Industrirelais (CR31), DC24V. Beschaltung mit einem VDR Typ 20mm / AC30V (DC38V).



Energiebetrachtungen zu Induktivitäten im Vergleich

Beispiel Industrirelais / SPS Eingang

Formeln: $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$; $X_L = \omega L$; $W = 0,5 L i^2$;

$$W = i u t$$

Dreipoliges Industrirelais Typ C3-A30 o.ä.

Version AC 230V:

Typische Werte

Stromaufnahme bei 230V/50Hz: 10mA

Ohmscher Widerstand: 6k28

Die Induktivität ergibt sich zu **90H**

Der maximale Energieinhalt ergibt sich zu:

$$W = 0,5 \times 90H \times (0,01A \times 1,414)^2 = 0,00899Ws$$

$$W = 9,0mWs$$

Version DC 24V:

Typische

Werte

Stromaufnahme bei AC 30V: 12,5mA

Stromaufnahme DC24V: 57mA

Ohmscher Widerstand: 419Ω

Die Induktivität ergibt sich zu **7,5H**

Der Energieinhalt ergibt sich zu:

$$W = 0,5 \times 7,5H \times 0,057A^2 = 0,0122Ws = 12,2mWs$$

Energie zur Betätigung des Steuereingangs einer SPS:

Typische Werte:

Ansprechspannung: 16V

Eingangsstrom: 5mA

Ansteuerimpuls 10ms

Die Energie ergibt sich zu:

$$W = 16V \times 0,005A \times 0,010s = 4 \cdot 10^{-4}Ws = 0,8mWs$$

Resultat: $W_{Relais} \gg W_{Ansprech} !$

Frequenzbetrachtungen Beschaltung von induktiven Lasten mit R - C Gliedern

Die aufgezeigten Induktivitäten mögen je nach Exemplar um mehr als 25% abweichen. Die Frequenzbetrachtung ist nicht nur aus EMV Sicht wichtig. Wird eine R - C Beschaltung vorgenommen, die im Bereich der Netzfrequenz, bzw. allfällig vorhandener Oberwellen (2.; 3. Oberwelle), Resonanz zeigt, so kann es vorkommen, dass ein AC Relais brummt, oder nicht mehr abfällt. Im Extremfall kann es in Verbindung mit langen Leitungen sogar ansprechen.

$$\text{Formel: } f = 1 / (2\pi \sqrt{C L})$$

Beispiel Industrierelais

Dreipoliges Standard - Industrierelais Typ C3-A30 o.ä.

Version AC 230V:

Stromaufnahme bei 230V/50Hz:	7,1mA
Ohmscher Widerstand:	7k4
Die Induktivität beträgt	100,4H

Mit einer Beschaltung von

10nF ergibt sich eine Resonanzfrequenz von **159 Hz**,

100nF ergibt sich eine Resonanzfrequenz von **50,25Hz**

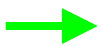
Version DC 24V:

Stromaufnahme bei AC30V:	12,5mA
Stromaufnahme DC24V:	57mA
Ohmscher Widerstand:	419Ω
Die Induktivität beträgt	7,5H

Mit einer Beschaltung von

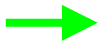
10nF ergibt sich eine Resonanzfrequenz von **580Hz**

100nF ergibt sich eine Resonanzfrequenz von **184Hz**



Diese Frequenzen ergeben praktisch keine Abstrahlung, kein Übersprechen!

Wird die Frequenz niedrig genug gewählt, d.h. ein kleines du / dt , d.h. grosses C, so kann der Kontakt öffnen, wobei jeder Abschaltfunke vermieden werden. Das gilt auch für DC Last.



Lange Kontaktlebensdauer

Die resultierende Rückschlagspannung

Will man die mit einer R - C Schaltung resultierende Rückschlagspannung ermitteln, so kann man das überschlagsmässig (Vernachlässigung der Widerstände) sehr einfach, indem man die Energien gleichsetzt:

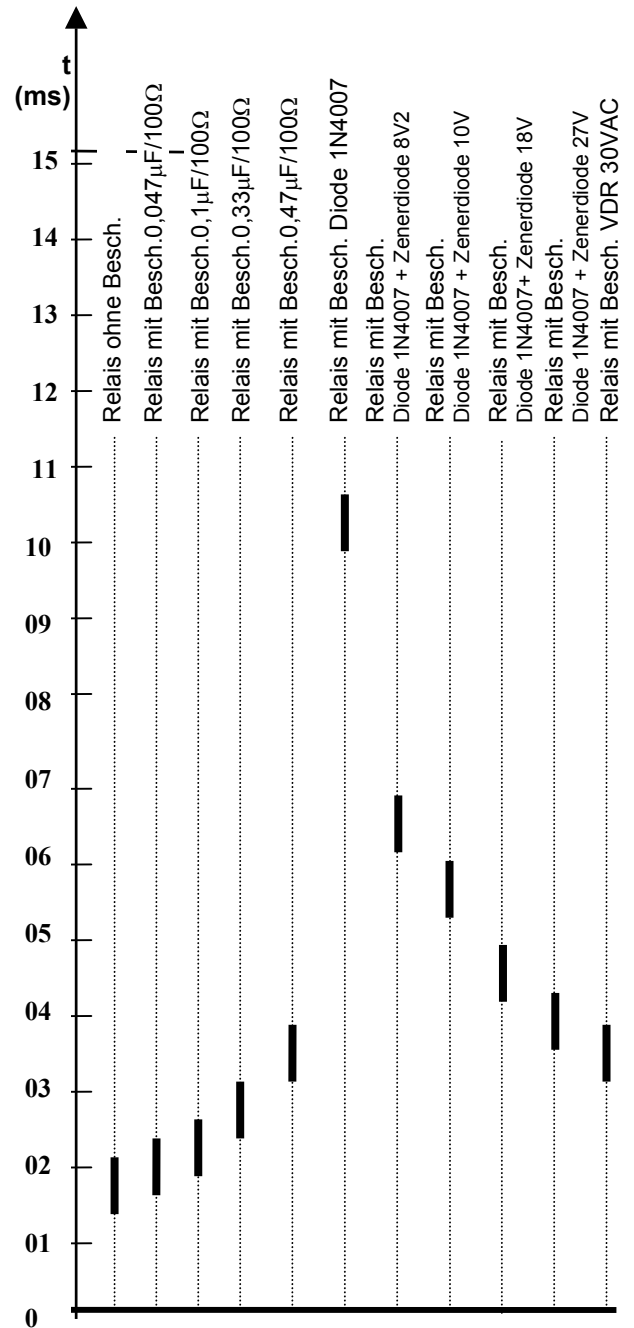
$$W_L = W_C \quad 0,5 L \times i^2 = 0,5 C \times u^2 ;$$

$$\text{Daraus folgt: } u = \sqrt{i^2 \times L / C}$$

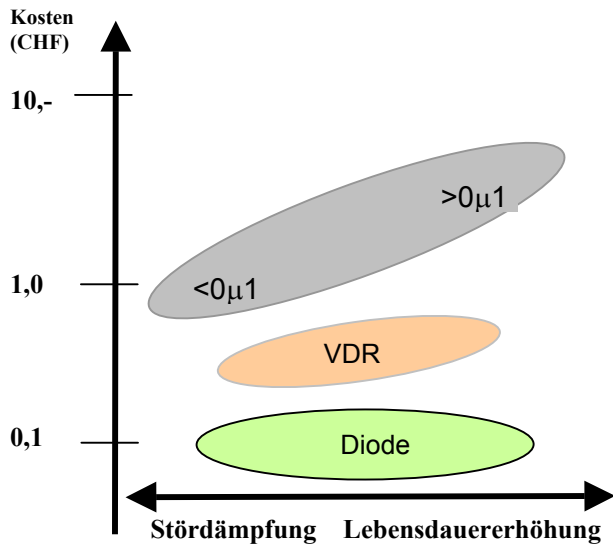
Rückfallverzögerungen ohne / mit Beschaltung am Beispiel eines Industrierelais

Gemessen an einem Miniaturindustrierelais Typ C7 .../DC24V

Typische Werte



Die verschiedenen Beschaltungen Verhältnis Kosten / Wirksamkeit



Bemerkungen:

Diode

Dioden wirken sehr gut bis ca. DC24V, 1A (Ventile, usw.), darüber hinaus ist die Lichtbogenunterdrückung nicht mehr ausreichend.

VDR

VDR wirken in erster Linie durch ihre Eigenkapazität. Es kann auf Dauer dadurch beim Einschalten Probleme geben.

R-C Glieder

R-C Glieder wirken sehr gut. Zur Entstörung sind nur sehr kleine Kapazitäten notwendig. Zur Lebensdauererhöhung sollte zur Beschaltung mindestens $0,22\mu\text{F}$ vorgesehen werden.

Als Faustformel kann man von ca. $1\mu\text{F} / \text{A}$ ausgehen.

Der Widerstand sollte nicht zu gross gewählt werden. Allerdings muss der max. Einschaltstrom des vorgeschalteten Kontakts berücksichtigt werden. Widerstände von 47Ω bis 470Ω sind üblich, der Wert ist unkritisch.

Schlussbemerkung

Für eine ausreichende Störemissionsbegrenzung genügen im allgemeinen schon relativ kleine kapazitive Beschaltungen mit $> \text{ca. } 10\text{nF}$, Dioden oder auch VDR Beschaltungen. Eine Beschaltung mit ausreichender Kontakt - Lebensdauer - Verlängerung ist weitaus aufwändiger und bedarf einer genaueren Last- bzw. Spannungsanpassung.

Es sei auch nochmals darauf hingewiesen, dass die rückfallverzögernde Beschaltung einer Relaispule, z.B. mit einer Freilaufdiode, je nach Relaisbauart, negative Auswirkungen auf die Kontaktlebensdauer des beschalteten Relais haben kann. Das wird dadurch verursacht, dass infolge der langsameren Ankerbewegung der Lichtbogen länger ansteht. Dazu sind Informationen vom Hersteller einzuholen.

StörbeeinflCEC1 D