

F11 – Kontaktskydd

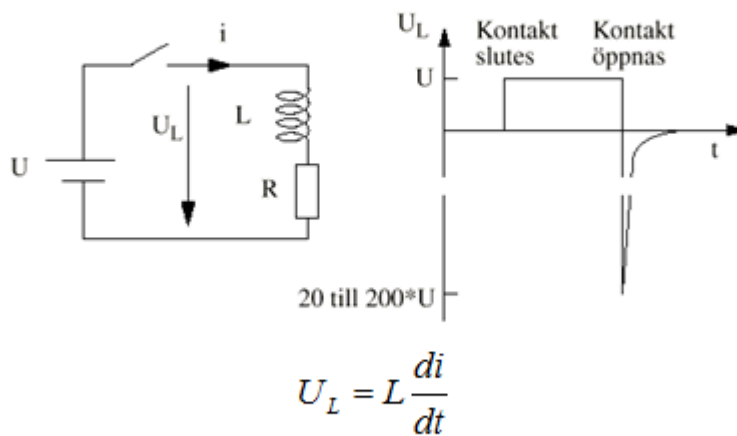
- Gnistsläckning.
- Kontaktskydd för induktiv och kapacitiv last
överspänningsskydd.



Läsning:
Kompendiet, Kapitel 9

Fördjupning: [4] Kap. 7, s115-s122), [5] Kap. 7, s210,

Spänningsförlopp över ett kontakt

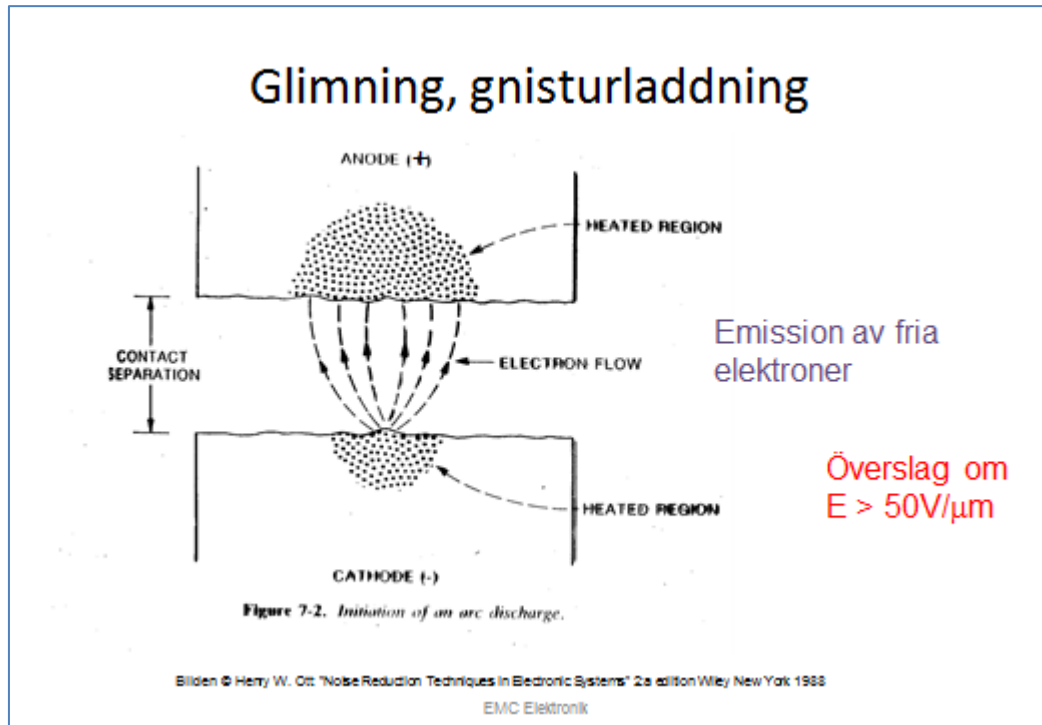


EMC Elektronik

Strömställaren eller strömbrytaren är intressant ur EMC-synvinkel p.g.a. strökapacitanser och ströinduktanser (parasitparametrar) som i praktiken förekommer i varje elektronisk krets.

Strömmens uppgång från noll till det nominella värdet sker inte ögonblickligen. Detta medför en oscillatorisk karaktär av spänningen över kontakten. Oscillationerna uppstår vid energiutbyte mellan kapacitansen C och induktansen L.

En noggrann modell av händelseförloppet är komplicerad men en enklare beskrivning av förloppet för brytande kontakter beskrivs här.



Glimning, gnisturladdning

Vid kontaktytan finns det i kretsen en resistans i vilken värme utvecklas. Värmen orsakar emission av fria elektroner från metallen. När ett gap uppstår räcker det med en fältstyrka på 50 MV/m (eller 5 V över 100 nm) för att elektronerna inte skall återvända till elektroden (kontakten) utan fortsätta till den andra elektroden. Detta kallas genombrott eller överslag.

Strömtätheten är stor och värme utvecklas snabbt, metallen förgasas och bildar en brygga (glimning, glimurladdning). Spänningen faller när kapacitansen laddas ur, strömmen minskar och spänningen börjar växa igen. Eftersom avståndet nu har ökat sker genombrottet vid en högre spänning än tidigare.

Glimning



Glimning pågår tills en av följande sker:

- Kontakterna når varandra (vid slutande förlopp)
- Kontakterna avlägsnar sig så fort att bryggan med förgasade metaller inte räcker till den andra kontakten
- Spänningen växer så mycket att *jonisering* av luften mellan kontakterna uppstår

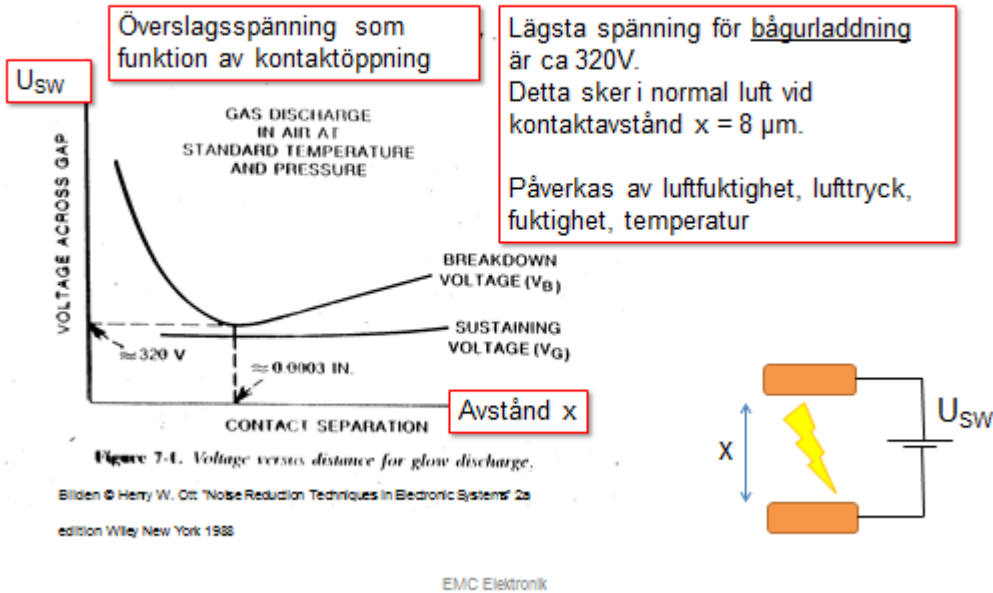
EMC Elektronik

Bågurladdning, gnisturladdning

Vid bågurladdning joniseras luften mellan kontakterna. Flera faktorer påverkar detta som t.ex. joniseringsförmåga och lufttryck. Följande villkor gäller vid bågurladdning:

- Spänningen är ca 320 V
- Avståndet är ca 8 μm

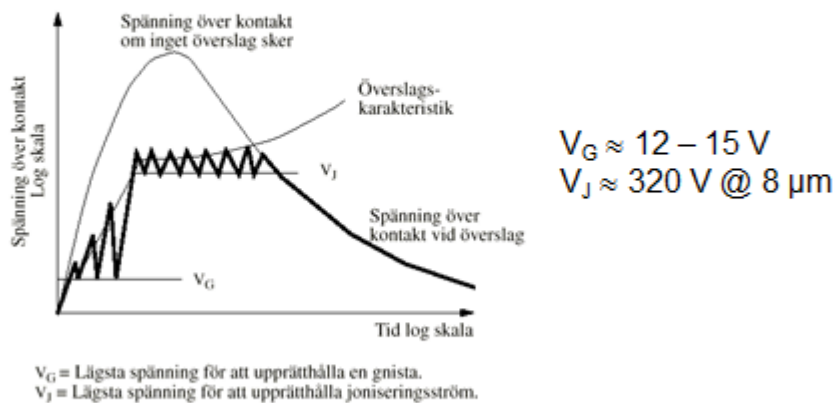
Bågladdning



Här upprepas den oscillatoriska karaktären för urladdningen vid den tidigare fasen, glimurladdningen. Denna fas pågår så länge:

- Det finns tillräckligt med ström/laddning från kretsen så att bågen kan upprätthållas.
- Avståndet mellan kontakterna inte blir så stort att spänningen inte räcker till.

Spänningsförlopp i tidsskala



Sammanfattning Glimning



- Glimning uppstår beroende på:
 - Kontaktmaterial
 - Hastigheten vid öppnande av kontakten
 - Strömförsörjningen
- Glimning övergår i ljusbåge om
 - Spänningen stiger tillräckligt snabbt (beror på R, L, mm.)
- Strömmen är tillräcklig

EMC Elektronik

Glimningströskel för olika kontaktmaterial

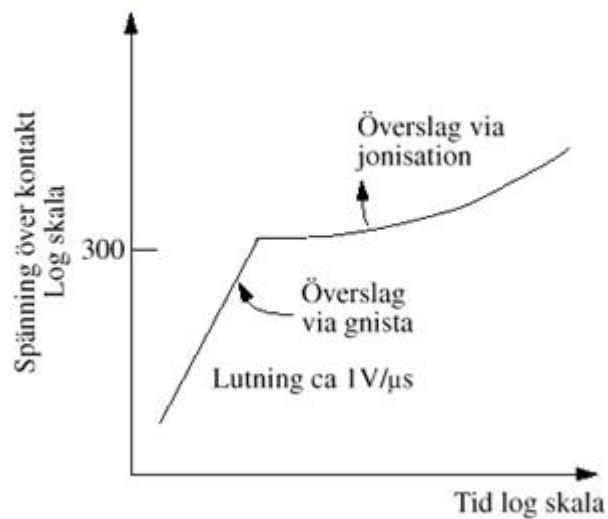
Kontaktmaterial	V_G [V]	I_a [mA]
Silver	12	400
Guld	15	400
Legering med 69% Au, 25% Ag, 6% Pt	9	400
Palladium	16	800
Platina	17,5	700

V_G = lägsta gnistspänning

I_a = genomslagsström

EMC Elektronik

Spänningsförlopp över kontakter



EMC Elektronik

Åtgärder för att undvika överslag

- Håll spänningen över kontakten $U_{sw} < V_G = 10-15 \text{ V}$
- Håll hastigheten av spänningsökningen över kontakten $\Delta U_{sw}/\Delta t < 1 \text{ V}/\mu\text{s} = I_0/C$
- Begränsa matningsströmmen till kontakten $I_0 < 400 \text{ mA}$

EMC Elektronik

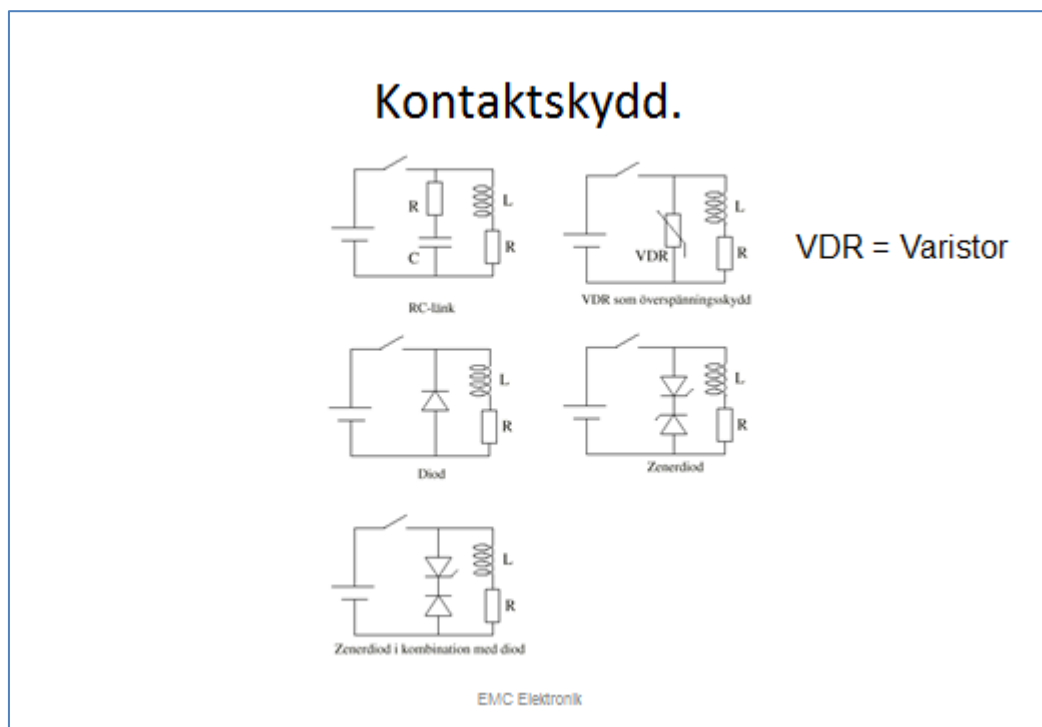
Inkoppling av en kondensator parallellt med parasitkapacitansen kan släcka urladdning eftersom

$$\frac{\Delta U_{sw}}{\Delta t} = \frac{I_0}{C}$$

Men detta skyddar inte kontakterna eftersom det uppstår stor rusning av laddningsström. Oftast behövs det ett skyddsnät runt kontakten och/eller över lasten.

Ibland kan skyddsåtgärder påverka funktionaliteten som t.ex. för ett relä där skyddet över reläets spole kan göra tillslaget långsammare. Då detta kan hela apparatens funktion äventyras, men ofta måste man kompromissa.

Beräkningar är svåra med ett så stort antal variabler och det är svårt att dimensionera t.ex. hastigheten för slutning och öppning av kontakter eller impedansen för urladdning. Därför görs överslagsberäkningar ofta med empiriska formler och det krävs att man verifierar resultatet i praktiken.

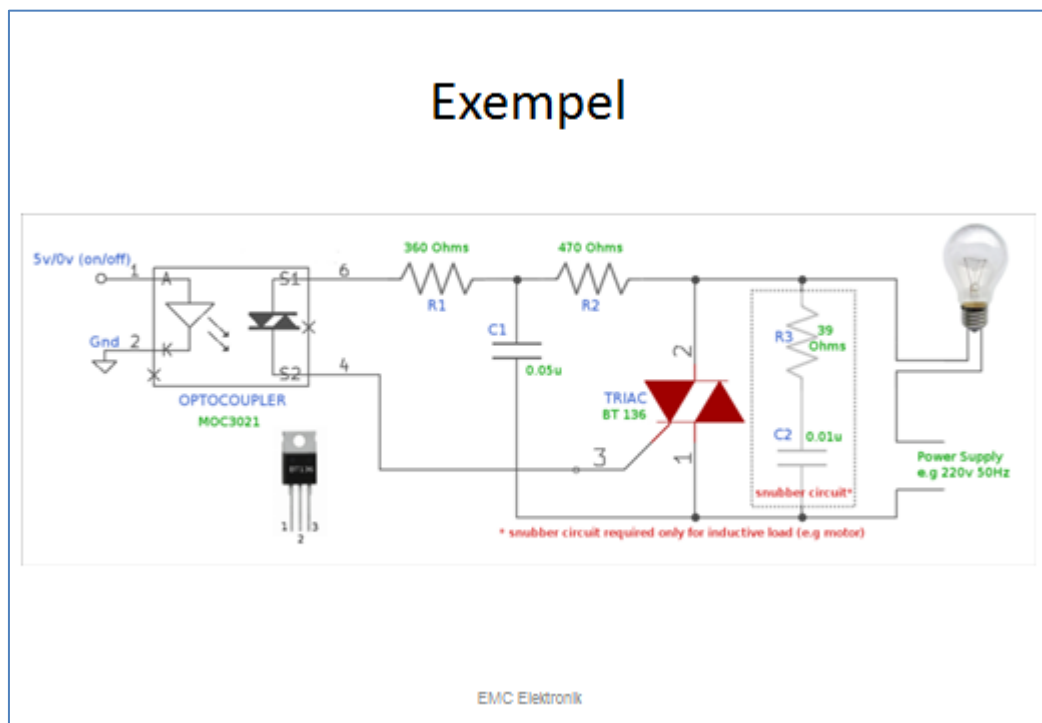
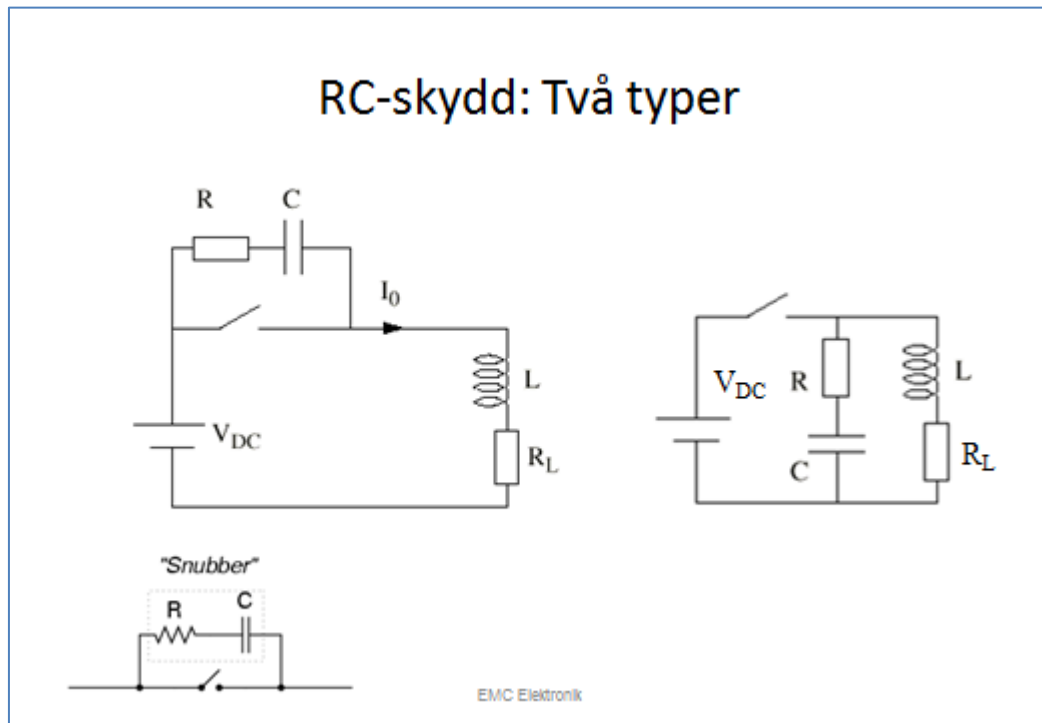


Skyddsnät kan uppdelas i nät för kontakten och nät för lasten, men ofta kan de användas för bägge fallen. Användning av RC-nät är den vanligaste typen av skydd. Detta nät har inga förluster när omkopplaren är stängd.

Om man bara har ett motstånd R över lasten går strömmen genom R när kontakten bryts så att spänningsfallet inte överstiger matningsspänningen VDD. Om R är lika med lastens resistans blir spänningen över kontakten $2 \times VDD$. Detta är ett slöseri med energi eftersom R förbrukar lika mycket energi som lasten i arbetsläget. Detta kan förbättras genom att använda en varistor VDR. Denna har hög resistans vid låg spänning och låg resistans vid hög. Detta skyddar inte mot gnistbildning vid små avstånd mellan kontakterna då gnista kan bildas för spänningar som är lägre än omslagsspänningen från hög till låg.

Kontaktskydd med RC-länk

Man kan antingen lägga en RC-länk över kontakten eller över lasten, R och C blir samma värde.



Det är en kompromiss mellan att ha så stort R som möjligt vid stängning av kontakt för att begränsa strömmen och så litet R som möjligt för att vid öppning inte hindra kondensatorn att kortsluta spolen.

Det är fördelaktigt att begränsa strömmen till I_0 så att urladdningen sker snabbt och maxvärdet begränsas vid öppnande då spänningsspike är lika med matningsspänningen.

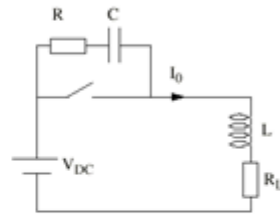
$$\frac{V_{DC}}{I_a} < R < R_L$$

Val av R

Vilket kontaktmaterial? $V_G = ?$, $I_a = ?$

Välj R så att $I_0 < I_a$ $I_0 = V_{DC} / R_L$

$$\frac{V_{DC}}{I_a} \leq R \leq R_L$$



(I_a = genomsnittsström)

(V_G = Lägsta gnistspänning)

EMC Elektronik

Värdet för C väljs enligt två kriterier:

- 1) Topvärdet för U_{sw} får inte överstiga 300 V.
- 2) Starthastigheten bör inte vara mindre än 1 V/ μ s.

Toppspänningen över kondensatorn beräknas utan hänsyn till kretsens resistans så att all energi från spolen transporteras till kondensatorn. Då är

$$V_{ctopp} = I_0 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

, där I_0 är strömmen genom induktansen då kontakten börjar öppnas. Denna spänning bör inte överstiga 300 V. Då är

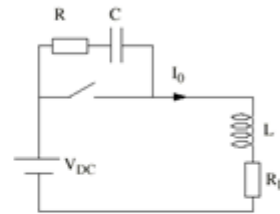
$$C \geq L \left(\frac{I_0}{300 \text{ V}} \right)^2$$

Val av C

$U_{SW} < 300V$ (undvika jonisering)

Toppspänningen över C: $300V > \hat{V}_C = I_0 \sqrt{\frac{L}{C}}$

$$C \geq L \left(\frac{I_0}{300V} \right)^2$$



EMC Elektronik

Hastigheten av spänningsökningen dU/dt över kontakten begränsas till högst $1V/\mu s$ med kapacitansen C. Initialt gäller då att

$$I_0 \leq C \frac{dU}{dt}$$

och

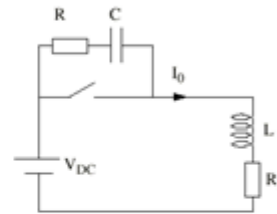
$$C \geq I_0 \frac{1}{\frac{dU}{dt}} = I_0 \cdot 10^{-6} [F]$$

Val av C

Stigtiden $< 1 \text{ V}/\mu\text{s}$ (undvika gnistbildning)

$$i = C \frac{du}{dt} \quad \frac{du}{dt} < 10^6 \left[\frac{\text{V}}{\text{s}} \right]$$

$$C \geq I_0 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{s}}{\text{V}} \right]$$



EMC Elektronik

För att kapacitans och induktans inte skall oscillera bör också detta villkor uppfyllas:

$$C \geq \frac{4L}{(R_L + R)^2}$$

Villkoren ovan som är ett överdämpat system kräver relativt stort värde på C.

Spänningsförlopp vid RC skydd

222

7 · CONTACT PROTECTION

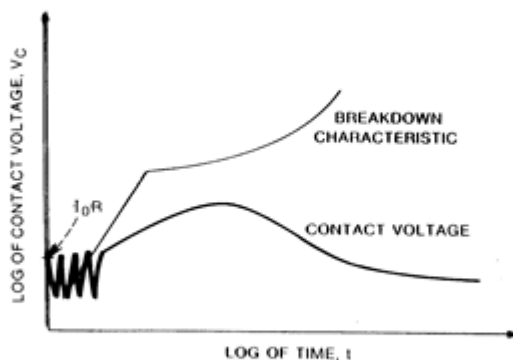
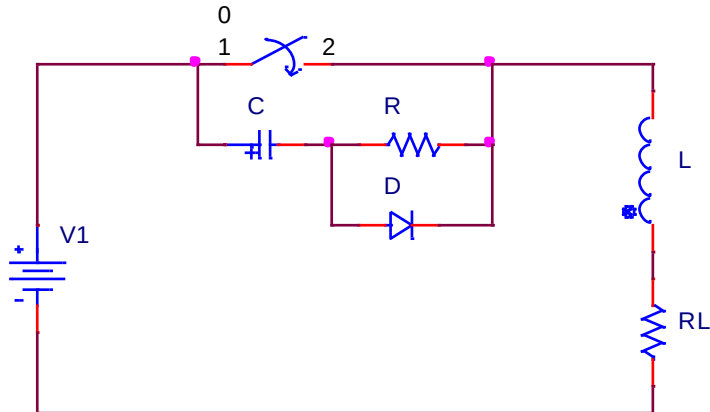


Figure 7-17. Voltage across opening contact with R-C protection network.

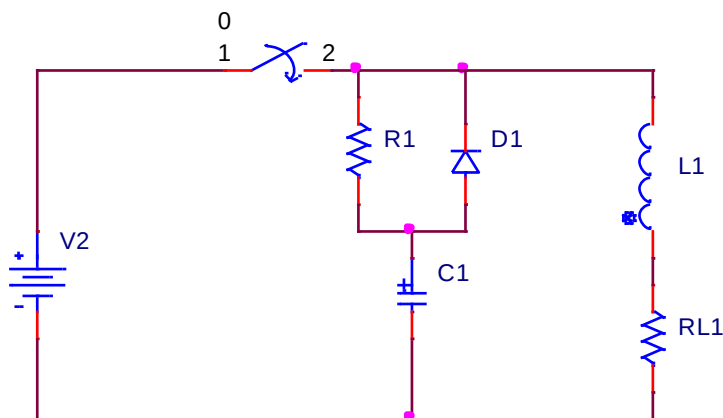
Bilden © Henry W. Ott "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems" 2a edition Wiley New York 1988

EMC Elektronik

RC-nätet orsakar $I_0 \cdot R$ spänningsfall över kontakten och är inte 100 % effektiv. En tidig gnista bildas.



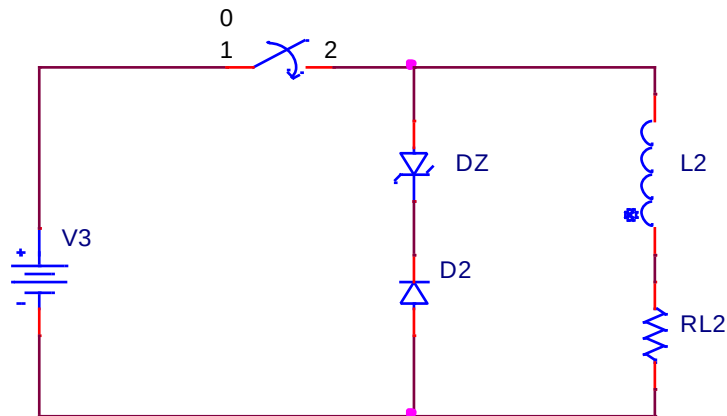
För att förbättra funktionen ytterligare kan man lägga en diod parallellt med motståndet R. När kontakten är öppen laddas kondensatorn C till batteriets spänning. När kontakten sluts urladdas C genom R. När kontakten öppnas kortsluter dioden R.



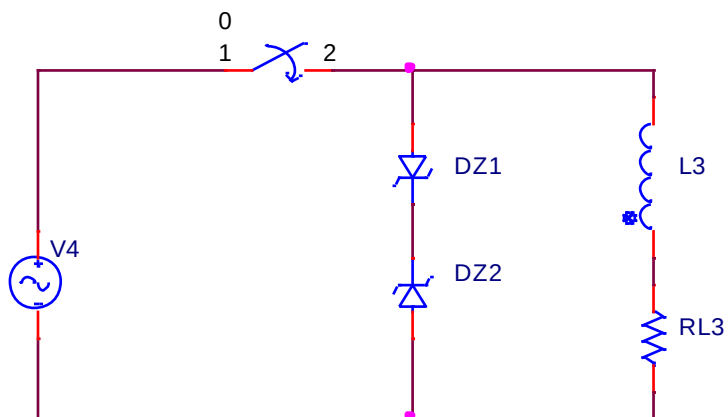
Samma gäller om man kopplar över lasten ($L1+RL1$). R behöver inte kompromissas då

$$R \geq \frac{10V_{DC}}{I_A}$$

Detta är ett bra skydd fast dyrt och det fungerar dåligt för växelström.

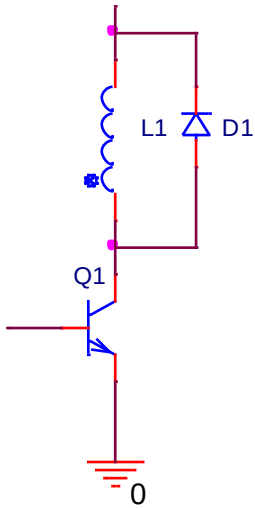


Använder man en zenerdiod i serie med en vanlig diod får man snabbare avgivning av energin i induktansen. Bra skydd för likströmskopplingar fast dyr.



Detta är det bästa skyddet vid växelströmsmatad last. Skyddsnätet fungerar för andra omkopplare än mekaniska (se kompendiet).

Diodskydd för transistor vid induktiv last



Dioden skyddar transistorn från hög spänning vid brytning av induktiv last, t.ex. vid styrning av relä.

Tumregler strömrusning

- 1) Icke induktiva laster som drar mindre än I_a behöver i regel inget skydd.
- 2) Induktiva laster med ström mindre än $I_a \Rightarrow$ RC-skydd eller diod.
- 3) Induktiva laster med ström större än $I_a \Rightarrow$ RCD-skydd eller dioder.
- 4) Icke induktiva laster som drar större än I_a skall RCD-skydd användas men $C \geq L \left(\frac{I_0}{300} \right)^2$ behöver inte iaktas om matningsspänning mindre än 300 V.

Exempel

Ett relä med $R = 150 \, \Omega$, $L = 0,2 \, \text{H}$, där spolen är aktiverad från en omkopplare med silverkontakter från en 12 V spänningskälla. Uppgift: Dimensionera skyddsnät!

Den konstanta belastningen är $I_0 = 12 \, \text{V} / 150 \, \Omega = 80 \, \text{mA}$. Detta är mindre än den ström som krävs för genomslag i silver ($I_a = 400 \, \text{mA}$). Därför väljs ett RC-nät eller diodskydd.

Villkor

$$C \geq I_0 \cdot 10^{-6}$$

ger att $C > 80 \, \text{nF}$ för att hålla $dV/dt < 1 \, \text{V}/\mu\text{s}$. Samtidigt skall detta samband gälla

$$C \geq L \left(\frac{I_0}{300} \right)^2$$

vilket ger att $C > 14 \, \text{nF}$.

Resistansen väljs enligt

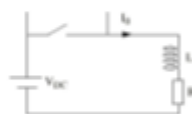
$$\frac{V_{DC}}{I_a} < R < R_L$$

vilket ger att $12 \text{ V} / 0,4 \text{ A} < R < 150 \Omega$. Följaktligen skall R ligga mellan 30Ω och 150Ω .

Ett bra RC-skydd blir $C = 100 \text{ nF}$ i serie med 100Ω placerade antingen över kontakten eller spolen.

Exempel – Dimensionera skyddsnät

- Ett relä med $R_L = 150 \Omega$, $L = 0,2 \text{ H}$, där spolen är aktiverad från en omkopplare med silverkontakter från en 12 V spänningskälla.
- Lösning
 - Beräkna I_0
 - Beräkna villkor för C
 - Beräkna villkor för R



EMC Elektronik

Lösningsförslag

$$I_0 = 12 \text{ V} / 150 \Omega = 80 \text{ mA}$$

Genomslag för silver, $I_a = 400 \text{ mA}$

$$C \geq I_0 \cdot 10^{-6}$$

$C > 80 \text{ nF}$ för att hålla $dV/dt < 1 \text{ V}/\mu\text{s}$

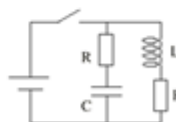
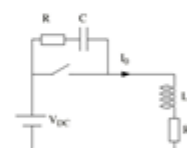
$$C \geq L \left(\frac{I_0}{300 \text{ V}} \right)^2$$

$$C > 14 \text{ nF}$$

$$\frac{V_{DC}}{I_a} < R < R_L$$

$$30 \Omega < R < 150 \Omega$$

$$\Rightarrow C \approx 100 \text{ nF}, R \approx 100 \Omega$$



EMC Elektronik