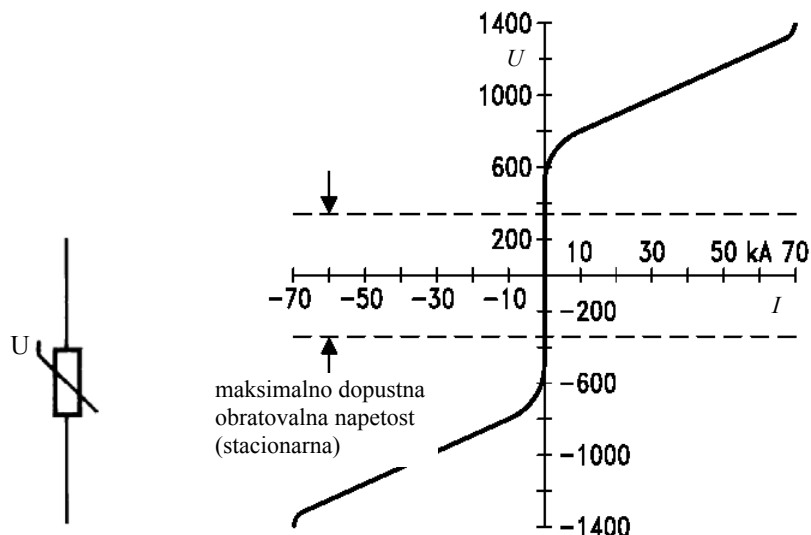


Varistor

Varistor, imenovan tudi VDR upor (Voltage Dependent Resistor), je upor z veliko nelinearno odvisnostjo upornosti od pritisnjene napetosti.



Slika 1: Simbol in statična u-i karakteristika

Značilno za varistor je, da pri prekoračitvi neke karakteristične napetosti, t.j. nazivne napetosti varistorja U_N , začne upornost elementa naglo upadati oziroma tok prične naglo naraščati.

Materiala iz katerih so izdelani varistorji sta običajno silicijev karbid SiC in cinkov oksid ZnO.

Statično u-i karakteristiko (slika 1) analitično opišemo s pomočjo dveh konstant C in β v obliki

$$U = C \cdot I^\beta$$

ali v obratni obliki

$$I = K \cdot U^\alpha,$$

kjer sta α (vrednost 5 za SiC in 50 za ZnO) in β snovni konstanti materiala. Konstanta α podaja torej strmino naraščanja toka z napetostjo (večja pri ZnO).

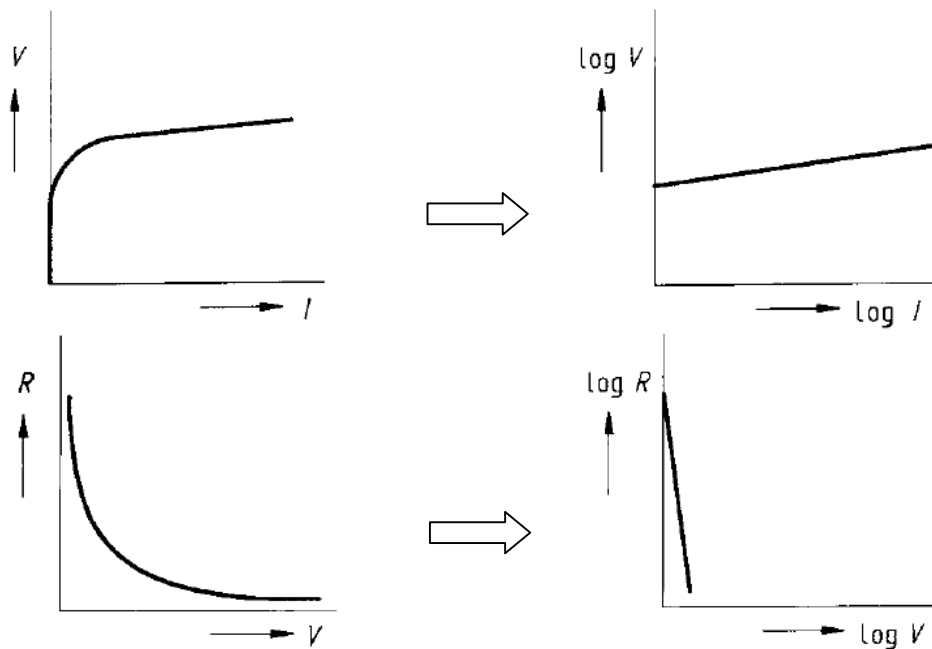
Upornost varistorja izpeljemo iz predhodnih dveh enačb

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{KU^\alpha} = \frac{1}{K} U^{1-\alpha},$$

medtem ko je izgubna moč definirana kot

$$P = U \cdot I = K \cdot U^{1+\alpha}.$$

Omenjene napetostno tokovne razmere proizvajalci podajajo za družino varistorjev največkrat grafično na enega izmed načinov, ki ga kaže slika 2.



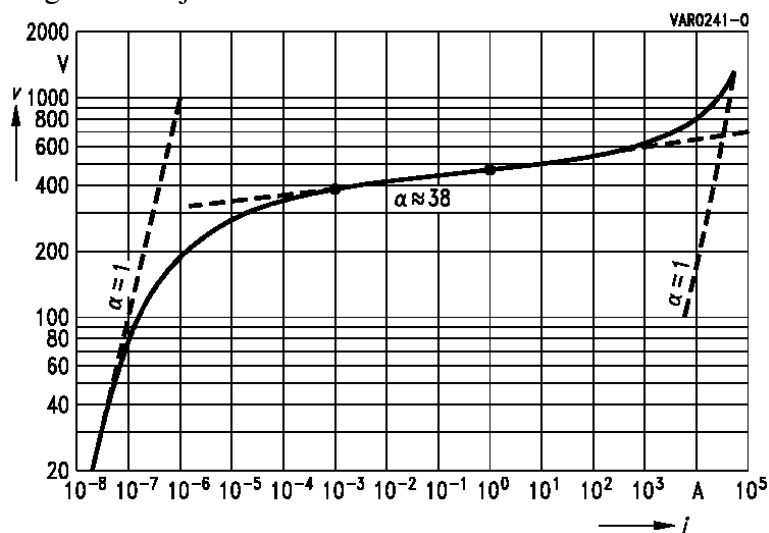
Slika 2: Načini prikaza u-i in r-u karakteristik v linearnem in dvojnem log. merilu

Zaradi izredno velikega razpona napetosti in toka se v praksi uporablja izključno dvojno logaritmčno merilo, v katerem postaneta obe odvisnosti premosorazmerni

$$\log I = \log K + \alpha \log U$$

$$\log R = \log\left(\frac{1}{K}\right) + (1 - \alpha)\log U$$

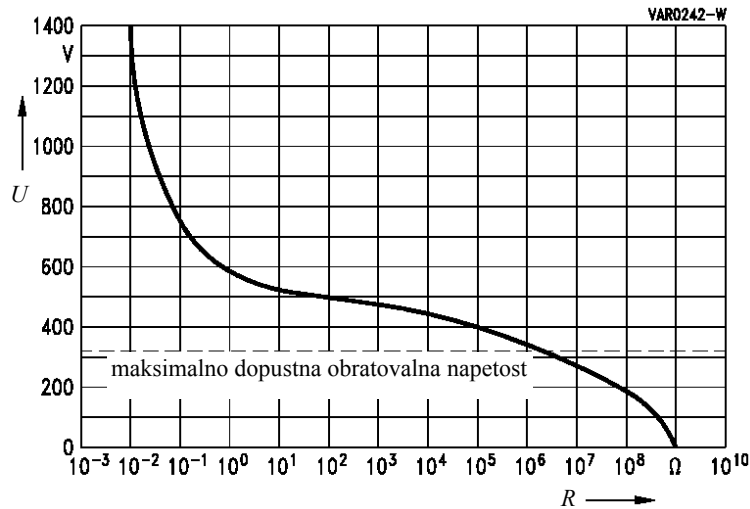
Karakteristiki realnega varistorja kažeta sliki 3 in 4.



Slika 3: Realna u-i karakteristika

Kot je razvidno s slike 3 lahko realno karakteristiko v grobem nadomestimo s tremi odseki veljavnimi premicami. Njihovo strmino t.j. snovno konstanto α izračunamo s poznavanjem dveh točk, ki ju vstavimo v izraz

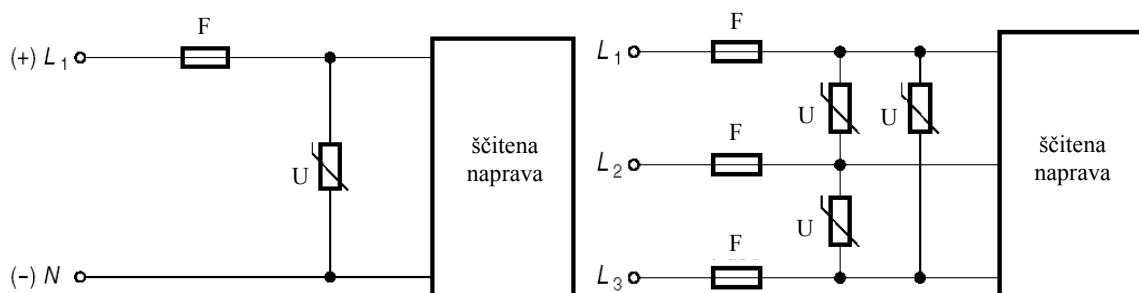
$$\alpha = \frac{\log I_2 - \log I_1}{\log U_2 - \log U_1}.$$



Slika 4: Realna r-u karakteristika

Iz dosedanjega opisa je razvidna osnovna naloga varistorja, ki ga vgrajujemo paralelno k elementom in napravam, ki bodisi generirajo periodične ali naključne prenapetosti (s ciljem omejevanja prenapetosti na mestu njihovega nastanka), ali pa k elementom, ki jih želimo pred temi prenapetostmi zaščititi (s ciljem omejevanja prenapetosti na mestu njihovega pojava). Ne glede na način nastanka prenapetosti lahko opazovano vezje ponazorimo s poenostavljeno električno shemo po sliki 6. Ko nastopi prenapetost, steče skozi varistor in vir tok, ki je omejen s konstantno impedanco vira in spremenljivo upornostjo varistorja. Padeč napetosti na varistorju je zaradi njegove karakteristične oblike u-i karakteristike takorekoč neodvisen od velikosti toka.

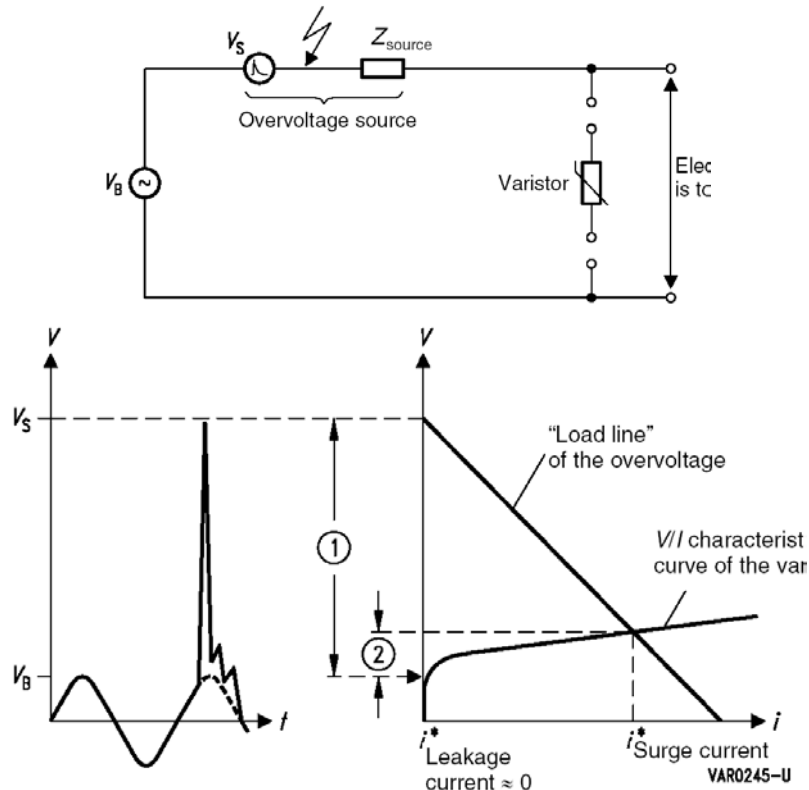
Varistor omeji napetost toliko boljše čim manjša je njegova upornost v primeru prenapetosti. Na sliki 4 vidimo, da je upornost varistorja, ko je priključena napetost manjša od maksimalne obratovalne napetosti, večja od 1 MΩ. V primeru prenapetosti pa se upornost zmanjša tudi za faktor 10^8 do 10^{10} .



Slika 5: Zaščita naprav pred prenapetostmi na napajalnih vodih

Prenapetostna zaščita električnih naprav pred udarnim napetostnim valom, ki ga povzroči udar strele v bližino ali v vod električnega omrežja, predstavlja najbolj tipično področje uporabe varistorjev (slika 5). Ker se upornost varistorja v primeru porasta napetosti izrazito zmanjša, je iz požarno varnostnih razlogov uporaba varovalk v napajalnih vodih obvezna.

Delovanje varistorja najnazorneje ponazorimo s spodnjo sliko, ki kaže grafično določitev delovne točke v primeru prenapetosti. Električno vezje je prikazano z zaporedno vezavo vira stacionarne (obratovalne) napetosti U_B , prenapetostnega vira U_S in skupne impedance obeh virov. Ko nastopi prenapetost, steče tok, ki je na sliki 6 določen s presečiščem u-i karakteristike varistorja in u-i karakteristike napajalnega vira.



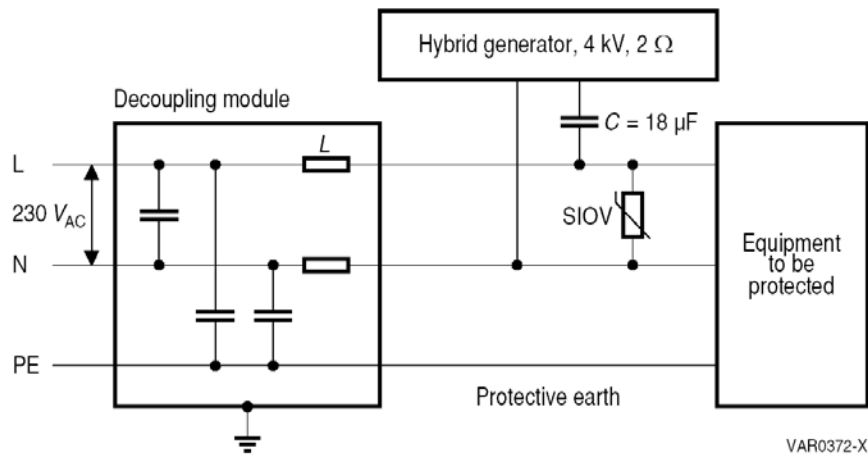
Slika 6: Poenostavljeno vezje za analizo napetostno-tokovnih razmer

Da bi bil porast napetosti na varistorju čim manjši, je razvidno, da mora biti dinamična upornost varistorja v področju prevajanja čim manjša. Od tu izhajata dva osnovna koraka pri izbiri optimalnega varistorja:

- 1) Določitev maksimalnega dovoljenega porasta napetosti na napravi, ki jo ščitimo z varistorjem.
- 2) Izbira varistorja, čigar razlika med maksimalno temensko napetostjo obratovalne napetosti in nazivno napetostjo varistorja mora biti čim manjša.

Odločilen vpliv na amplitudo toka in energijo, ki se sprošča na varistorju, ima amplituda prenapetosti kot tudi njena pogostost pojavlja. Zaradi naključne narave generiranja prenapetosti je razpon obeh veličin lahko zelo velik, s čimer je otežena pravilna (optimalna) izbira varistorja.

Izhod iz omenjene zagate ponujajo standardizirani testni preizkusi, ki predpisujejo amplitudo, časovne parametre kot tudi obliko prenapetosti. Omenjeno problematiko pokrivajo standardi s področja elektromagnetne kompatibilnosti električnih naprav. Tako naprimer morajo vse naprave priključene na javno distribucijsko omrežje biti sposobne vzdržati prenapetost, ki se v testnih laboratorij preverja s pomočjo t.i. udarnih generatorjev. Po enem izmed standardov (IEC61000-4-5) priključimo v primeru enofazne naprave generator med fazni in ničelni vodnik preko sklopnega kondenzatorja (slika 7). Naprava je pri tem na omrežje priključena preko posebnega prilagodilnega vezja (umetna mreža, LISN), ki zagotavlja primerljivost testov s konstantno impedanco (50Ω) v širokem frekvenčnem razponu.



Slika 7: Priklop preizkusnega generatorja napetosti za kontrolo skladnosti IEC61000-4-5

Naprava je (vsled pravilne izbire varistorja!) skladna s standardom, če je delovanje naprave nespremenjeno tudi po desetih napetostnih impulzih poljubne polaritete.

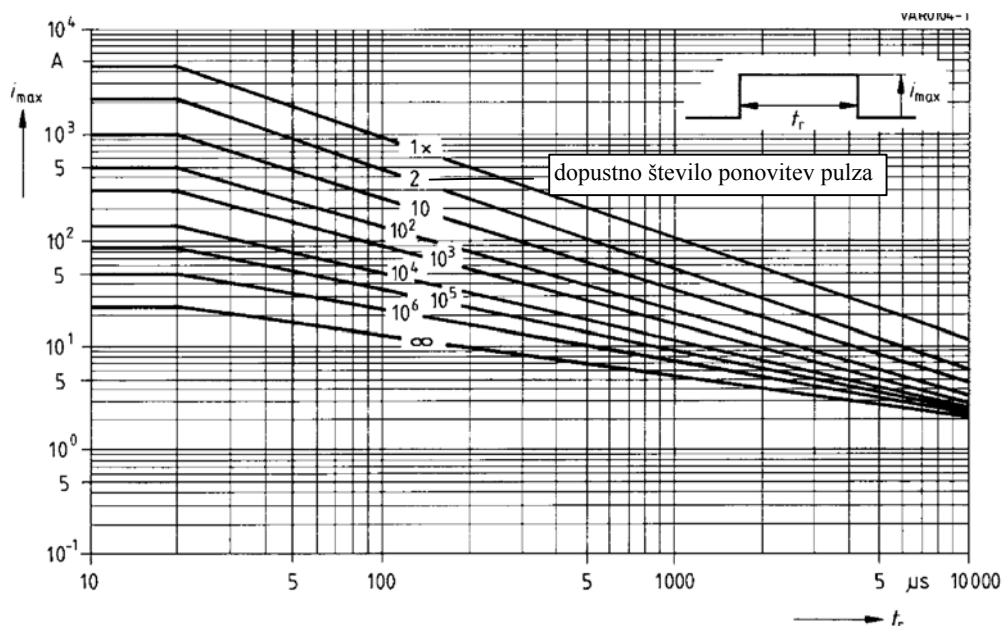
Pri nadaljnji izbiri varistorja predpostavimo, da maksimalna napetost vgrajenih komponent v napravi ne presega 1000 V. Da dosežemo največji možni nivo prenapetostne zaščite, izberemo varistor, katerega obratovalna napetost je najbližja maksimalni temenski napetosti omrežne napetosti (253 V). Iz kataloga izberemo varistor iz napetostne družine K275 z deklariranimi napetostnimi tolerancami $\pm 10\%$. V prvi izbiri se odločimo npr. za S14K275, skozi katerega bo ob prenapetosti stekel tok z amplitudo

$$i^* = \frac{4000 \text{ V} - 820 \text{ V}}{2 \Omega} = 1590 \text{ A}.$$

Zaščitni nivo je bil pri tem zaradi toleranc varistorja zmanjšan za obseg tolerančnega pasu ter ne zgolj za tolerančno odstopanje!

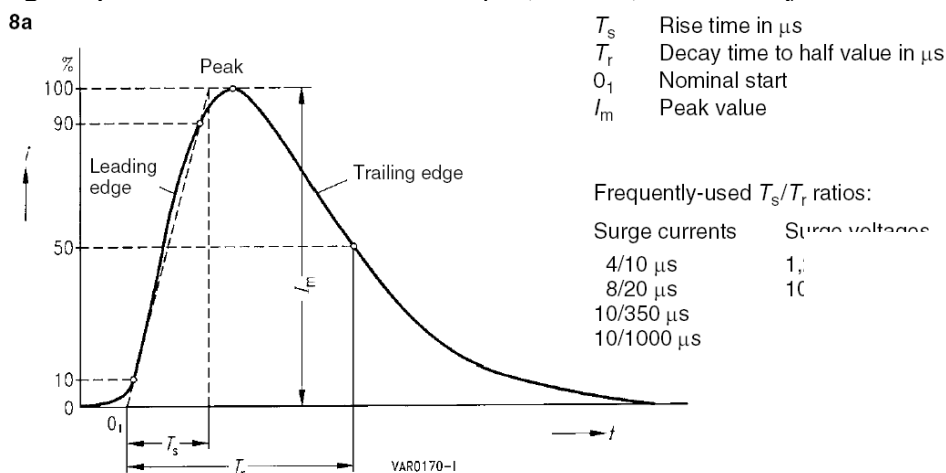
$$U_{VDR} = 1000 \text{ V} \frac{0,9}{1,1} = 820 \text{ V}$$

Varistor mora vzdržati tokovni impulz navkljub desetkratni ponovitvi. V ta namen moramo vedeti kolikšna energija se lahko sprosti na varistorju, ne da bi se ta poškodoval. Slednje izračunamo, priročneje pa je da se poslužimo kataloško podanih omejevalnih krivulj, ki podajajo dopustno število ponovitev tokovnega impulza pravokotne oblike amplitude i_{max} in trajanja t_r . Slednje podatke proizvajalci določijo na osnovi številnih preizkusnih testov, iz katerih lahko razberemo odzivni čas varistorja in njegovo energijsko sposobnost. Odraža se kot produkt trajanja tokovnega pulza in njegove amplitude. Ponovljivost tokovnih pulzov in njihova energijska vsebina so osnovno merilo za pričakovano življenjsko dobo varistorja.

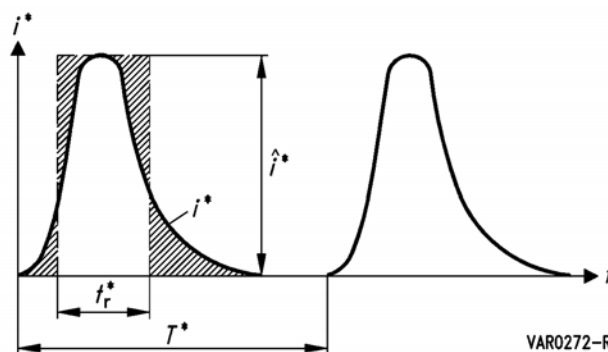


Slika 8: Dopustna ponovljivost tokovnih pulzov glede na njihovo energijsko vsebino

Pravokotna oblika tokovnega impulza je tu privzeta zato, ker v praksi preizkušanje varistorjev in naprav, ki vsebujejo varistorje, poteka z različnimi oblikami prenapetosti. Pretvorbo parametrov napetostnega impulza posamezne oblike v pravokotno podajajo proizvajalci v svojih katalogih. Za najpogosteje uporabljeno obliko (slika 9) impulza $8 \mu\text{s}/20 \mu\text{s}$ je trajanje pravokotnega impulza kar enako času $t_r^* = 20 \mu\text{s}$ (slika 10). Enako velja tudi za amplitudi.



Slika 9: Tipična oblika udarnega toka

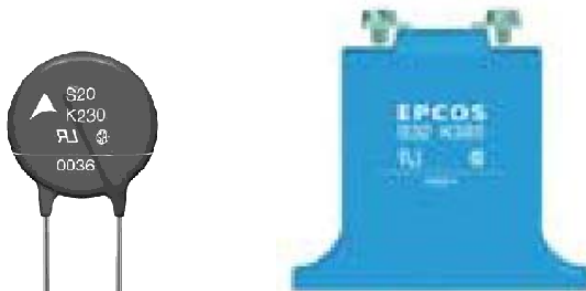


Slika 10: Priedba parametrov tokovnega impulza $8 \mu\text{s}/20 \mu\text{s}$ v pravokotni impulz

Izbrani varistor S14K275 pri izračunani amplitudi toka 1590 A ne ustreza zastavljenim kriterijem, saj dopušča (slika 8) le dvakratno ponovitev tokovnega impulza izračunane amplitude in časa trajanja 20 μ s.

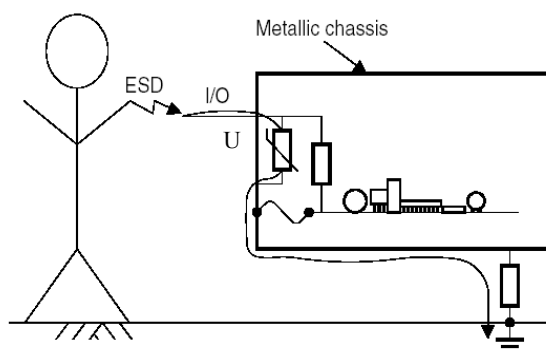
V drugem poizkusu izbire se odločimo za varistor istega napetostnega nivoja a z večjo energijsko sposobnostjo S20K275. Iz omejevalne karakteristike slednjega razberemo, da izbrani varistor dopušča desetkratno ponovitev tokovnega impulza ($t_r^* = t_r = 20 \mu$ s.) z amplitudo 2500 A. Izbrani varistor ustreza zastavljenim kriterijem.

Velja, da večje kot so dimenzije varistorja, večja je njegova energijska sposobnost.



Slika 11: Diskasta in »box« izvedba varistorja

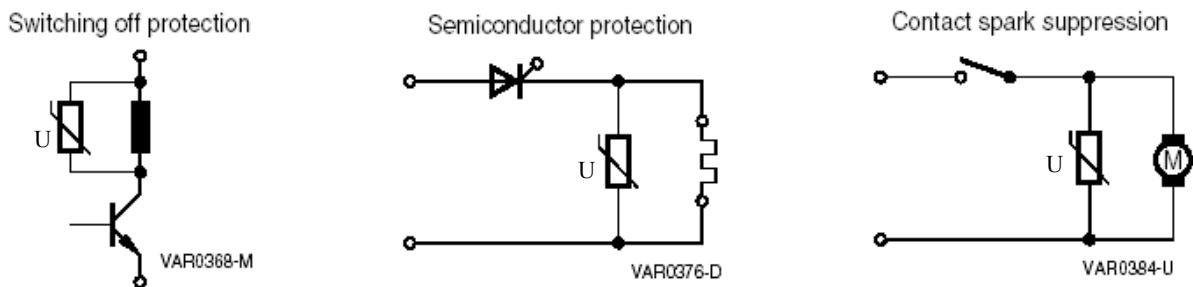
Varistorje uporabljamo tudi za prenapetostno zaščito pri razelektritvi elektrostaticnega naboja preko nizkonapetostnih analognih in digitalnih vhodov elektronskih naprav.



Slika 12: Omejitev prenapetosti na vhodu elektronske naprave zaradi ESD¹

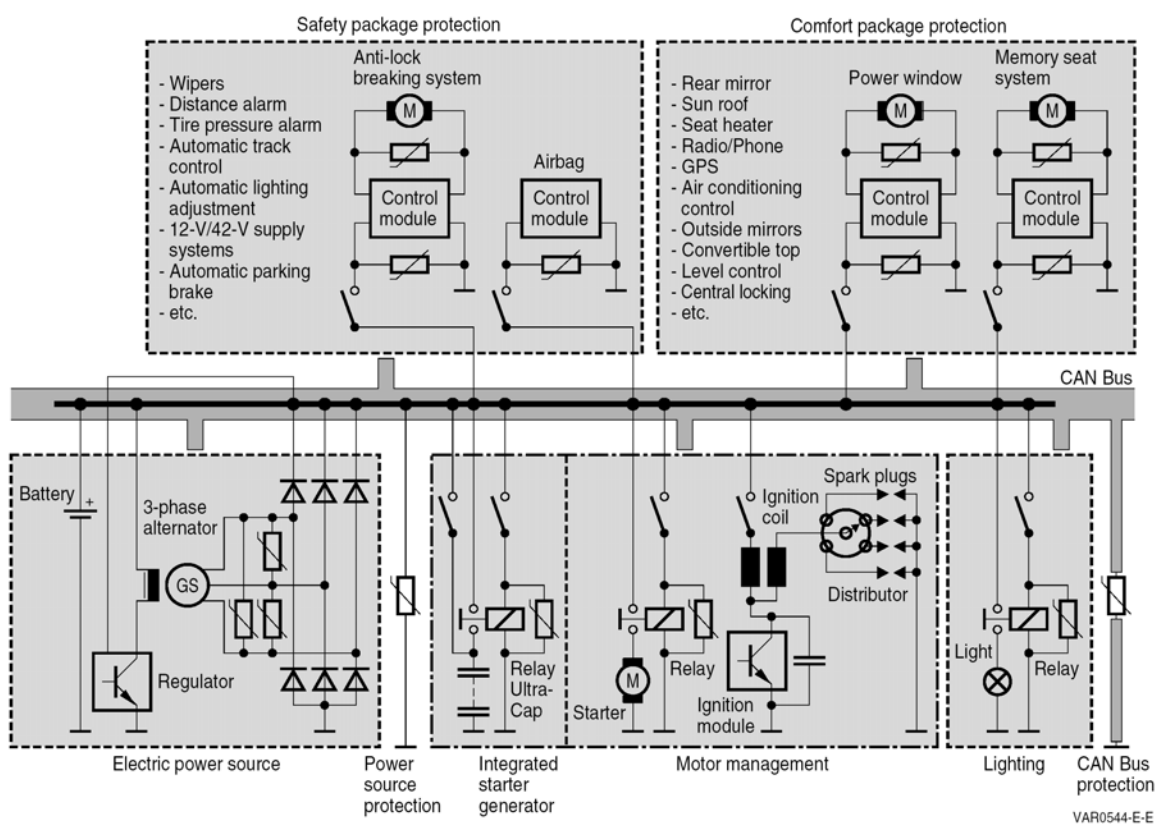
Poleg »zunanjih« vzrokov prenapetosti (udar strele, ESD) poznamo tudi »notranje prenapetosti«, ki jih generirajo naprave same. Najpogosteje je temu vzrok izklop bremen z nezanimarljivo induktivnostjo. Zelo razširjena je zaščita polprevodniških stikal pred prenapetostmi na polprevodniških stikalih ter posledičnemu pojavu iskrenja na kontaktih elektromehanskih stikal, ki so posledica izklopa induktivnih bremen (slika 13).

¹ ESD... elektrostaticna razelektritev (angl: Electro Static Discharge)



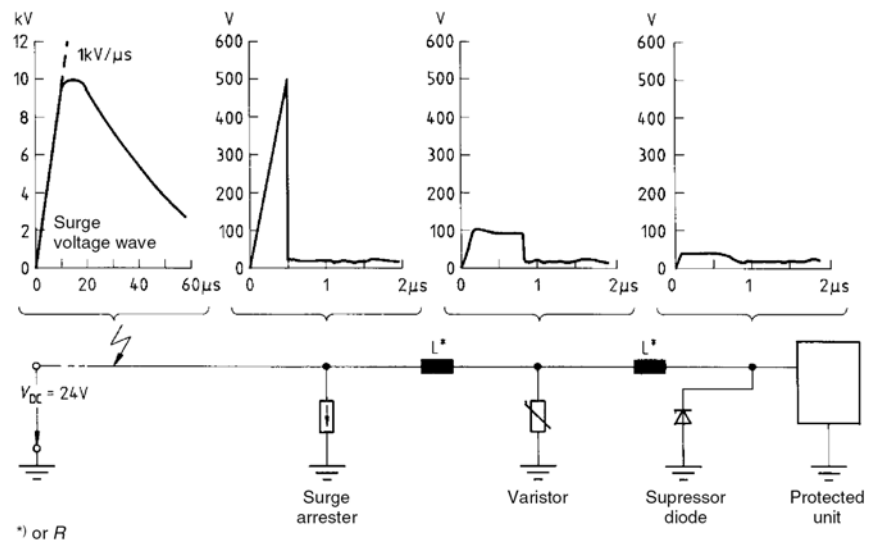
Slika 13: Zaščita polprevodniških in mehanskih stikal –izklop induktivnih bremen

Tipičen primer zaščite pred zunanji in notranji prenapetostmi kaže spodnja slika na primeru nizkonapetostne inštalacije sodobnega avtomobila. Poleg napajalnega voda se ščiti tudi komunikacijsko vodilo CAN, preko katerega se posredujejo informacije številnih senzorjev.



Slika 14: Razširjenost prenapetostnih elementov v »inštalaciji« sodobnega avtomobila

Pri dimenzioniranju ustrezne prenapetostne zaščite varistor ni edini element na katerega lahko računamo. Prav zaradi različne energijske sposobnosti in hitrosti odziva posameznega zaščitnega elementa je v praksi zaščita dosežena s skladno uporabo dveh ali več zaščitnih elementov (slika 15).



Slika 15: Stopnjevanje prenapetostnih ukrepov

Značilni kataloški podatki:

		Grenzdaten Maximum ratings ($T_A = 85\text{ °C}$)					Kenndaten Characteristics ($T_A = 25\text{ °C}$)				
		Betriebsspannung Operating voltage		Stoßstrom Surge current	Energieabsorption Energy absorption	Dauerbelastbarkeit Average power dissipation	Varistor-Spannung Varistor voltage	Toleranz Tolerance	Max. Schutzpegel Max. clamping voltage	Kapazität, typisch Capacitance, typical	
Typ Type SIOV-	Bestell-Nr. Ordering code	V_{RMS} V	V_{DC} V	i_{max} (8/20 μ s) A	W_{max} (2 ms) J	P_{max} W	V_V (1 mA) V	ΔV_V (1 mA) %	v V	i A	C_{typ} (1 kHz) pF
S05K35	Q69X3427	35	45	100	1,1	0,01	56	± 10	110	1,0	460
S07K35	Q69X3452	35	45	250	2,5	0,02	56	± 10	110	2,5	850
S10K35 ¹⁾	Q69X3016	35	45	500	5,4	0,05	56	± 10	110	5,0	1900
S14K35	Q69X3023	35	45	1000	10,0	0,10	56	± 10	110	10,0	3100
S20K35	Q69X3463	35	45	2000	33,0	0,20	56	± 10	110	20,0	6100