

# Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

*redakce nakladatelství BEN – technická literatura*  
[redakce@ben.cz](mailto:redakce@ben.cz)

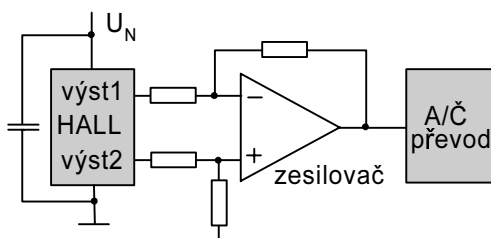


## Analogová Hallova sonda

Analogová Hallova sonda poskytuje na výstupu signál přímo úměrný proudu protékajícímu sondou a velikosti magnetické indukce prostředí, do něhož je sonda vložena. Kromě Hallova čidla obsahuje sonda také obvody pro teplotní kompenzaci, zesílení a linearizaci napětí z výstupu Hallova čidla a výstupní obvod.

Obr. 4.2.6 znázorňuje ideové zapojení lineární Hallovy sondy do obvodu s analogově číslicovým převodníkem.

Výstupy sondy poskytují dva signály opačné fáze (diferenční signál). Zesilovač tento signál upraví na úroveň potřebnou pro analogově číslicový převodník, který provede převod analogové veličiny na číslo a umožní další číslicové zpracování, např. pomocí mikroprocesoru.

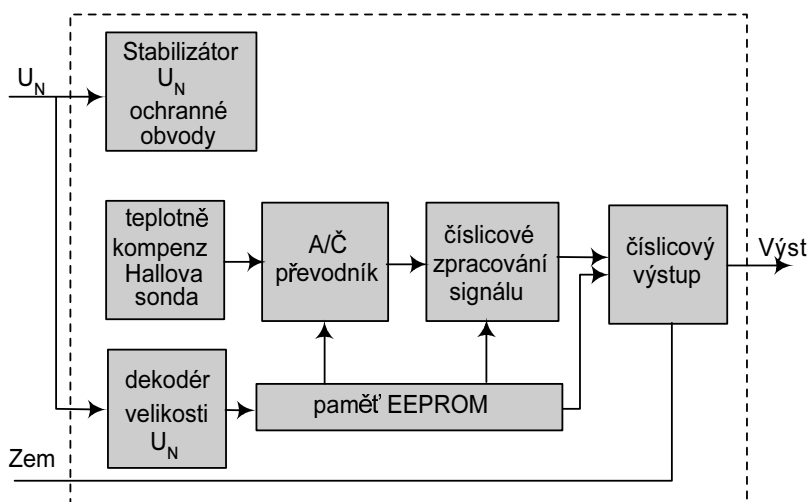


Obr. 4.2.6  
Aplikace analogové  
Hallový sondy

## Programovatelná Hallova sonda

Ideové schéma programovatelné integrované Hallový sondy je znázorněno na obr. 4.2.7.

Stabilizátor  $U_N$  zajišťuje rozvod napájecího napětí na všechny obvody sondy. Programování je prováděno modulací napájecího napětí prostřednictvím detektoru velikosti napájecího napětí. Vložený program je uchovávan v paměti EEPROM.



Obr. 4.2.7  
Programovatelná Hallova sonda

Teplotně kompenzované Hallovo čidlo dodává signál úměrný velikosti magnetického pole na vstup analogově číslicového převodníku. V obvodu pro číslicové zpracování signálu jsou provedeny naprogramované úpravy signálu.

Takto upravený signál je v číslicové formě přiveden na výstup obvodu.

### 4.2.1.3 Využití Hallova jevu

Hallův jev je využíván, kromě aplikací v logických obvodech, ke konstrukci čidel používaných k měření:

- magnetických polí;
- elektrického proudu;
- elektrického výkonu.

Při měření výkonu pracují Hallovy sondy jako elektrické násobičky. Přitom se využívá toho, že Hallovo napětí je úměrné součinu proudu  $I$  a magnetické indukce  $B$  (vztah 4.2.2)).

**Uplatnění v číslicové technice** je mnohostranné. Využívá se v řídicích systémech spalovacích motorů, při měření otáček motoru, při řízení okamžiků zapalování, u elektrických ovládačů oken, sedadel apod. Např. každá disketová mechanika obsahuje tři Hallovy čidla.

#### Výhody:

- vysoká spolehlivost;
- mechanická odolnost, necitlivost na vibrace;
- poměrně široký rozsah provozních teplot ( $-40$  až  $+150$  °C);
- díky hromadné výrobě mají poměrně nízkou cenu.

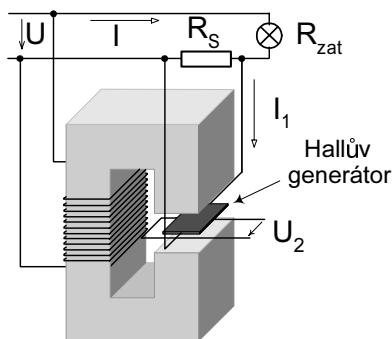
### Hallův generátor

Hallův generátor využívá ke generování napětí Hallův jev. Princip konstrukce je naznačen na obr. 4.2.8. Z důvodu optimalizace se nepoužívají pouze obdélníkové, ale i upravené složitější tvary polovodičové destičky.

Pro výrobu jsou z cenových i technologických důvodů perspektivním typem **Hallové snímače CMOS**. Touto technologií se snadno vyrábějí čidla, která na jednom čipu sdružují také zesilovače, obvody pro kompenzaci teploty, zdroj konstantního proudu atd.

Pro výrobu Hallova čidla jsou také používány klasické dražší materiály, jako je indiumantimonid  $\text{In}_5\text{Sb}_3$  a další materiály,  $\text{InAs}$ ,  $\text{InSb}$ ,  $\text{GaAs}$ .

V aplikaci uvedené na obr. 4.2.8 je uveden příklad použití Hallova jevu k měření elektrického výkonu. Na vinutí transformátoru je přivedeno síťové napětí, v jehož vzduchové mezeře je umístěn



Obr. 4.2.8  
Měření elektrického výkonu

těn Hallův generátor. Magnetické pole v magnetickém obvodu transformátoru je úměrné velikosti proudu vybuzeného přiloženým napětím  $U$  a proto je velikost magnetické indukce úměrná velikosti tohoto napětí.

Velikost proudu  $I$  spotřebiče  $R_{zat}$  je snímána rezistorem  $R_S$ , který má malou hodnotu. Napětí na rezistoru  $R_S$  způsobí malý proud tekoucí Hallova destičkou. Výstupní napětí  $U_2$  Hallova generátoru je úměrné dodávanému výkonu určenému podle vztahu (4.2.2).

## 4.2.2 Magnetorezistor

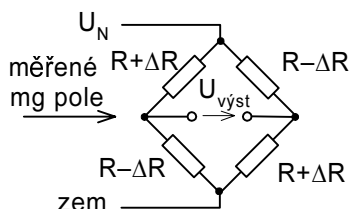
Stejně, jako Hallova sonda, je i magnetorezistor tvořen tenkou destičkou vodivého materiálu. Vychýlení proudových vláken působením vnějšího magnetického pole na jednu stranu, kromě toho, že vyvolává Hallův jev, způsobuje zmenšení průřezu, kterým protéká proud a tím zároveň zvětšení velikosti elektrického odporu destičky.

Magnetorezistory mají, na rozdíl od Hallova čidla, pouze dva vývody. Jsou to odpory závislé na velikosti vnějšího magnetického pole.

Magnetorezistory jsou často používány v zapojení do můstku, jak je to znázorněno na obr. 4.2.9. Uspořádání rezistorů je takové, aby v jedné větvi byly zapojeny proti sobě, tj. aby změnou magnetického pole jeden z rezistorů zvětšil hodnotu odporu, zatímco druhý ji zmenší. Výsledné napětí

$$U_{výst} = \frac{-U_N}{R} \cdot \Delta R,$$

kde  $\Delta R$  je změna odporu vlivem magnetického pole.



Obr. 4.2.9  
Měření magnetického pole

Pro výrobu magnetorezistorů jsou používány kromě polovodivých i další materiály. Např. firma Philips používá tenké permaloyové plátky, tedy plátky magneticky měkkého materiálu.

### Použití:

- měření magnetických polí;
- měření magnetického pole Země, výroba kompasů apod.;
- měření elektrického proudu;
- detekce projíždějících vozidel v dopravě atd.

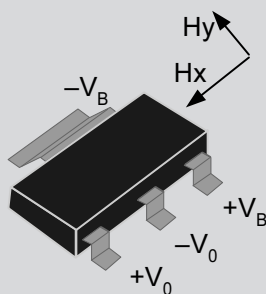
### 4.2.3 Magnetodioda

Magnetodioda je polovodičová součástka citlivá na velikosti magnetického pole, ve kterém je umístěna. Její princip spočívá v řízení životnosti injektovaných nosičů náboje vnějším magnetickým polem. Dioda má uspořádání PIN.

Princip uspořádání spočívá v použití slabě dotované polovodičové destičky délky  $l$ , která je na jednom konci vývodů silně dotovaná příměsími typu P+, na druhém příměsími typu N+. Mezi nimi je ponechána oblast s vlastní (intrinzičnou) vodivostí (oblast I), okrajové oblasti destičky jsou vytvořeny tak, aby při vychýlení nosičů elektrických nábojů na jedné stranu vznikal větší počet rekombinací než na druhé. Po přiložení napětí  $U_d$  na dotované konce destičky, se destičkou pohybují z dotovaných oblastí vlivem elektrického pole  $E = U_d/l$  nosiče elektrického náboje. Je-li destička vložena do magnetického pole, které je kolmé na vytvořené elektrické pole, podle směru magnetického pole směrem k jedné nebo druhé straně destičky. Při vychýlení na jednu stranu se rychlost rekombinací zvýší, odpor destičky vzroste, při opačném směru magnetického pole je tomu naopak. Hustota nosičů elektrického náboje se tak bude zvyšovat kolmo na směry elektrického  $E$  a magnetického  $B$  pole, čehož důsledkem vznikne závislost V-A charakteristiky na velikosti magnetického pole.

Diody jsou zhotovovány na bázi křemíku, germania, InSb, případně gallium-arsenidu. Pro zmenšení teplotní závislosti, jsou magnetodiody zpravidla zapojovány do můstku. Jejich účinnost je u současných diod přibližně desetkrát větší než je účinnost Hallovy sondy.

**POZNÁMKA:** Kromě magnetodiód jsou vyráběny také magnetotranzistory (též nazývané magnistory) a to jak bipolární tak unipolární technologií.



Obr. 4.2.10  
Magnetorezistor

$V_B$  – napájecí napětí  
 $V_0$  – výstupní napětí

## 4.3 SOUČÁSTKY Z POLYKRystalického MATERIÁLU

Součástky vyrobené na bázi polykrystalických polovodičů jsou z hlediska svých elektrických vlastností blízké rezistorům. Jejich V-A charakteristiky jsou souměrné vůči počátku.

Protože je vodivost polovodičových materiálů závislá na vnějších vlivech (teplota, intenzita světla, elektrické pole atd.), mohou být součástky konstruované na bázi uvedených materiálů upraveny tak, aby se u nich projevoval některý z uvedených jevů jako dominantní. V kapitole 4.5.4 jsme se již seznámili s fotorezistory.

### 4.3.1 Termistory

Termistory jsou teplotně závislé rezistory, které mají podle typu:

- záporný teplotní koeficient (negativní – NTCR);
- kladný teplotní koeficient (pozitivní – PTCR).

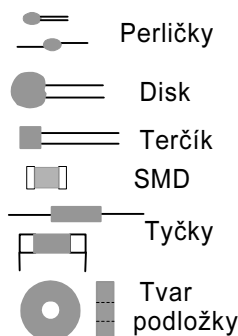
Název termistor: **Thermal**y sensitive resistor (teplotně citlivý rezistor). Termistory jsou teplotně závislé polovodičové rezistory.

#### 4.3.1.1 Termistory se záporným teplotním koeficientem – termistory NTC

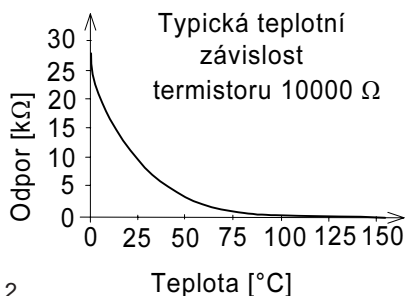
Termistory NTC zmenšují hodnotu svého odporu, když jejich teplota vzrůstá. Jejich důležitou vlastností je to, že změna jejich odporu je předvídatelná a je na stupeň změny teploty relativně velká. Jsou vyráběny z oxidů kovů, kterými jsou mangan, kobalt, měď, titan, železo a nikl. Při výrobě jsou používány směsi dvou nebo více metaloxidových prášků. Změnou typů a poměrného množství použitých oxidů ve směsi a technologických postupů je dosahován široký rozsah hodnot vyráběných rezistorů a jejich teplotní závislost.

Provozní teploty mohou dosahovat v oblasti záporných teplot až  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , v oblasti kladných teplot až  $+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Z hlediska jejich provedení jsou vyráběny dva základní typy termistorů – perličkové a s metalizovanými kontakty (obr. 4.3.1).



Obr. 4.3.1



Obr. 4.3.2

**Perličkové termistory** mají vývody z platinové slitiny přímo sintrované do těla termistoru. Mají tvar perličky opatřené drátovými vývody.

**Termistory s metalizovanými kontakty** mají kontakty vytvořené metalizací plošek povrchu těla termistoru. Jsou vyráběny v mnoha provedeních jako disky, tyčky, plátky, SMD atd.

Ve specifikovaném teplotním rozsahu  $T_0$  až  $T$  může být velikost odporu v závislosti na teplotě určena podle vztahu:

$$R_T = R_{T_0} \cdot e^{\beta \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} = R_{T_0} \cdot e^{\beta \cdot \frac{T_0 - T}{T \cdot T_0}}, \quad (4.3.1)$$

kde  $R_T$  je odpor termistoru při absolutní teplotě  $T$  [K];

$\beta$  je materiálová konstanta, která udává teplotní závislost termistoru v intervalu teplot  $T_0$  až  $T$  (někdy je místo  $A$  používáno písmeno  $B$ ).

Konstanta  $\beta$  nabývá hodnot v rozmezí přibližně od 2000 do 4000.

Uvedený vztah je rovněž udáván ve tvaru:

$$\ln \frac{R_T}{R_{T_0}} = \beta \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \Rightarrow \beta = \frac{T \cdot T_0}{T_0 - T} \ln \left( \frac{R_T}{R_{T_0}} \right). \quad (4.3.1a)$$

Termistory jsou obvykle specifikovány charakteristikou teplotní závislosti a jejich hodnotou při 25 °C.

Jmenovitá hodnota odporu termistoru je udávána pro teplotu 25 °C ±0,1 °C

Obr. 4.3.2 znázorňuje charakteristiku termistoru, který má jmenovitou hodnotu  $R_{25} = 10 \text{ k}\Omega$ .

**POZNÁMKA:** Vztah (4.3.1) je zcela platný v poměrně úzkém teplotním rozmezí, ve kterém platí lineární závislost mezi  $\ln R_T$  a velikostí  $1/T$ . Z toho důvodu někteří výrobci uvádějí složitější vztahy.

Jeden z předních výrobců termistorů, firma Thermometrics USA, udává čtyři konstanty  $A$ ,  $B$ ,  $C$  a  $D$ .

Velikost odporu potom vypočítáme pomocí vztahu:

$$\ln \frac{R_T}{R_{T_{25}}} = A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3}, \quad (4.3.2)$$

kde  $T$  je teplota v K.

Uvedené konstanty jsou platné pouze pro určité teplotní intervaly, jak je zřejmé z tab. 4.1, která platí pro materiál termistoru označený 10KY.

Tab. 4.1

Teplotní interval [°C]	A	B	C	D
-50 až 0	-1,3840984E+01	4,5845962E+03	-1,1255348E+05	-7,1383340E+06
0 až 50	-1,3867840E+01	4,6053853E+03	-1,1969264E+05	-6,4512578E+06
50 až 100	-1,3894006E+01	4,6436036E+03	-1,3429922E+05	-4,4935401E+06
100 až 150	-1,3828359E+01	4,5620098E+03	-1,0095714E+05	-8,9851252E+06

## Příklad použití termistoru NTC:

Termistory jsou často používány ke kompenzaci teplotních závislostí rezistorů, případně teplotních změn parametrů dalších elektronických součástek.

Jednou z mnoha možných aplikací je příklad uvedený na obr. 4.3.3. Zátěž  $Z$  tvořená žárovkou je napájena přes sériově zapojený NTC termistor  $R_T$ . Jak je známo, má vlákno studené žárovky mnohem menší odpor než vlákno ohřáté. Z toho důvodu dochází po připojení žárovky ke zdroji napájecího napětí k proudovému nárazu ( $I = U/R$ ), který může být několikanásobkem provozního proudu (velikost odporu žárovky za studena bývá desetkrát i vícekrát menší, než jakou velikost má vlákno za provozní teploty). Například 75watová žárovka má provozní velikost odporu  $R_{zp} = 326 \Omega$ , za studena  $R_{zs} = 33 \Omega$ .

Proudový náraz za studena (proud který protéká žárovkou bezprostředně po jejím připojení k napájecímu zdroji) proto dosáhne velikosti:

$$I_s = \frac{230}{33} \cong 7 \text{ A}$$

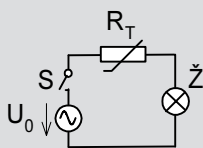
zatímco žárovkou po zahřátí teče proud:

$$I_p = \frac{230}{326} \cong 0,7 \text{ A.}$$

Provozní velikost proudu žárovky je tedy 10× menší než je velikost proudu v okamžiku jejího připojení do napájecí sítě.

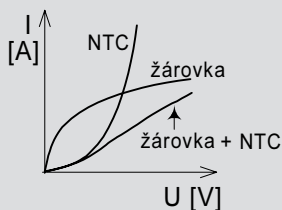
Použijeme-li NTC termistor s vhodným průběhem V-A charakteristiky, jak to je znázorněno na obr. 4.3.4, můžeme charakteristiku výsledného zapojení linearizovat a velikost proudového nárazu podstatně zmenšit. Při tomto zapojení protéká žárovkou i termistorem stejný proud a je využíván samoohřev termistoru.

Z porovnání V-A charakteristik termistoru a žárovky znázorněných na obr. 4.3.4 je zřejmé, že jsou téměř inverzní, takže výsledná V-A charakteristika sériového zapojení termistoru a žárovky má téměř lineární průběh.



Obr. 4.3.3

Kompenzace nelinearity V-A charakteristiky



Obr. 4.3.4

V-A charakteristika NTC termistoru a žárovky



## Aplikace termistoru

Termistor je součástka, která může být používána v širokém spektru aplikací, ve kterých je nutné měřit teplotu.

Podle typu aplikace je možné vycházet ze tří charakteristik, kterými jsou: závislost odporu na teplotě, V-A charakteristika a charakteristika závislosti proudu tekoucího termistorem na čase. Aplikace, kde je využívána V-A charakteristika nebo závislost proudu na čase vycházejí ze samoohřevu termistoru protékajícím proudem. V aplikacích, kde je využívána závislost odporu termistoru na teplotě prostředí, je nutné, aby samoohřev termistoru protékajícím proudem byl zanedbatelný, tomu musí odpovídat velikost proudu protékajícího termistorem.

Aplikace, ve kterých je využívána závislost odporu na teplotě prostředí zahrnují měření teploty, teplotní kompenzace součástek v elektronických obvodech (přitom musí být termistor tak spojen s kompenzovanou součástkou, aby s ní měl stejnou teplotu) a v řídicích obvodech, měření průtoku kapalin apod.

### 4.3.1.2 Termistory s kladným teplotním koeficientem – termistory PTC

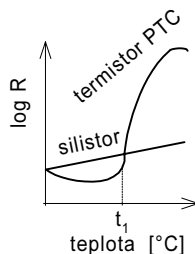
Termistory PTC jsou teplotně závislé keramické rezistory s kladným teplotním koeficientem. Jsou používány tehdy, když je požadován velký přírůstek odporu ve specifickém rozsahu teplot.

#### Dvě kategorie termistorů PTC:

- **První kategorii** představují teplotně závislé křemíkové rezistory někdy nazývané „silistory“. Tyto termistory vykazují v převážné části provozní charakteristiky téměř neměnný kladný teplotní koeficient (okolo  $0,77 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ), ale mohou vykazovat i záporný teplotní koeficient při teplotách nad  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tyto teplotně závislé rezistory jsou nejčastěji používány k teplotní kompenzaci obvodů s křemíkovými polovodičovými komponentami v rozsahu teplot  $-60$  až  $+150 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- **Druhou kategorii** tvoří klasické termistory PTC s charakteristikou teplotní závislosti vyznačenou na obr. 4.3.5. K jejich výrobě jsou používány nejčastěji sloučeniny baria, olova a stroncia s aditivou, jako je manganin, tantal a křemík.



Obr. 4.3.5

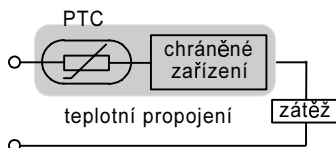
Typická teplotní závislost silistoru a termistoru PTC

### Jejích teplotní charakteristika má tři části:

- zpočátku vykazují malý záporný teplotní koeficient;
- ve druhé části po dosažení Curieho teploty se záporný teplotní koeficient mění na velký kladný teplotní koeficient;
- ve třetí části teplotní charakteristiky v oblasti nejvyšších teplot dochází opět ke změně teplotního koeficientu na záporný. Tato oblast charakteristiky není využívána, protože při přechodu do této oblasti dochází k nevratným změnám elektrických parametrů vlivem tepelného přetížení materiálu.

### Příklady použití PTC termistorů:

- teplotní čidla pro teploty od 60 do 180 °C, např. pro měření teploty vinutí elektromotorů a transformátorů (diagnostika správné činnosti);
- polovodičová pojistka k ochraně před nadměrným proudem od několika mA do jednotek ampéru;
- čidla úrovně kapalin.



Obr. 4.3.6

Aplikace termistoru PTC

Příklad možného použití termistoru ve funkci pojistky je znázorněn na obr. 4.3.6. Termistor je teplotně vodivě spojen s chráněným zařízením (např. výkonovým tranzistorem). Jakmile dojde k nadměrnému zvětšení teploty chráněného zařízení (nad Curieho teplotu), prudce vzroste odpor termistoru a proud zařízením se odpovídajícím způsobem zmenší.

Termistory PTC jsou k měření teploty využívány pouze zřídka.

#### 4.3.1.3 Důležité parametry termistorů

**Jmenovitý odpor** je měřen při teplotě  $25\text{ °C} \pm 0,1\text{ °C}$  za takových podmínek, že změna hodnoty odporu vlivem Jouleova tepla je s ohledem na chybu měření zanedbatelná;

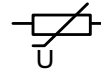
**Maximální zatížitelnost** je nejvyšší hodnota elektrického příkonu při teplotě prostředí  $25\text{ °C}$  a normálním atmosférickém tlaku vzduchu;

**Teplotní časová konstanta** je čas, za který se změní teplota termistoru vlivem výměny tepla s okolím o 63,2 %, když teplota prostředí byla skokově změněna – je označována  $\tau$ ;

**Maximální provozní teplota** je nejvyšší teplota termistoru, při které může pracovat s přijatelnou stabilitou parametrů. Tato teplota vzniká jako důsledek vnitřního a vnějšího ohřevu.

## 4.3.2 Varistor

Varistory jsou nelineární napětově závislé rezistory. Schematická značka rezistoru je znázorněna na obr. 4.3.7.



Obr. 4.3.7

Moderní varistory vyráběné z oxidu zinečnatého ZnO mají podstatně výhodnější charakteristiky než dříve vyráběné varistory na bázi karbidu křemíku (SiC).

ZnO varistory byly vyvinuty panem Matsuokou v Japonsku. Často jsou označovány jako **metal-oxidové varistory – MOV**.

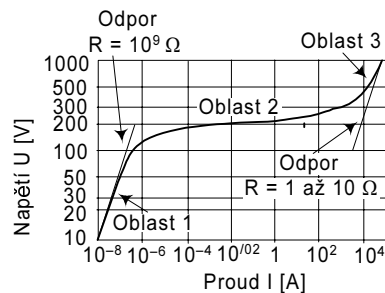
Činnost varistoru je dobře patrná z jeho V-A charakteristiky. Zpravidla je vyjadřována v log-log souřadnicích. V-A charakteristika varistoru je znázorněna na obr. 4.3.9.

**V-A charakteristika varistoru má tři oblasti:**

- **V oblasti 1** při nízkých hodnotách přiloženého napětí se varistory chovají jako vysokoohmový odpor;
- **Oblast 2** je nelineární oblast aktivní činnosti varistoru, ve které se hodnota odporu s rostoucím napětím velmi rychle snižuje;
- **Oblast 3** je saturační, varistor v ní dosahuje nejnižší konstantní hodnoty odporu.

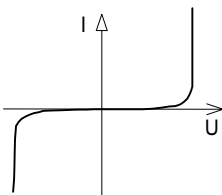


Obr. 4.3.8  
Terčikové varistory [32]

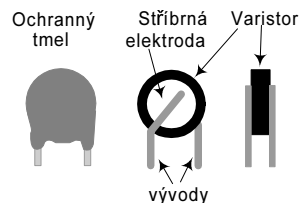


Obr. 4.3.9  
V-A charakteristika varistoru

Varistory mají symetrickou V-A charakteristiku (obr. 4.3.9, obr. 4.3.10), která umožňuje, aby byly používány k ochraně komponent elektronických obvodů nebo zařízení proti napětovým špičkám způsobeným např. spínáním induktivních zátěží v elektrické rozvodné síti, výboji blesku apod.



Obr. 4.3.10  
V-A charakteristika varistoru v lineárním měřítku



Obr. 4.3.11  
Jednovrstvý terčikový varistor