

Zadanie č. 8

ODOZVA POLOVODIČOVÝCH PRVKOV NA RÔZNE TYPY VNÚTENÝCH NAPÄTÍ

KEE, katedra techniky vysokých napätí, TU v Košiciach, Mäsiarska 74

[Nasledujúca](#) [Predchádzajúca](#) [Späť](#) [Obsah](#)

[Koniec](#)

Obsah

Úloha

Teoretické minimum

Atóm germánia a atóm kremíka

Kovalentná väzba

Kryštálová mriežka kremíka

Pásmová teória tuhých látok

Zakázané pásmo tuhých látok

Prímesové atómy

Kryštálová mriežka prímesového polovodiča

Pásmo dopovaných polovodičov

P-N prechod

Polarizácia P-N prechodu

Dióda

Volt-ampérová charakteristika diódy

Základné charakteristiky diódy

Zenerová dióda

Volt-ampérová charakteristika Zenerovej diódy

Základné charakteristiky Zenerovej diódy

Supresorová dióda

Volt-ampérová charakteristika supresorovej diódy

Základné charakteristiky supresorovej diódy

Diak

Volt-ampérová charakteristika diaku

Základné charakteristiky diaku

Schéma zapojenia

Postup merania

Meracie pracovisko

Použité typy vnútených napätí

Určenie typu prvku

Tabuľka nameraných veličín

Vyhodnotenie

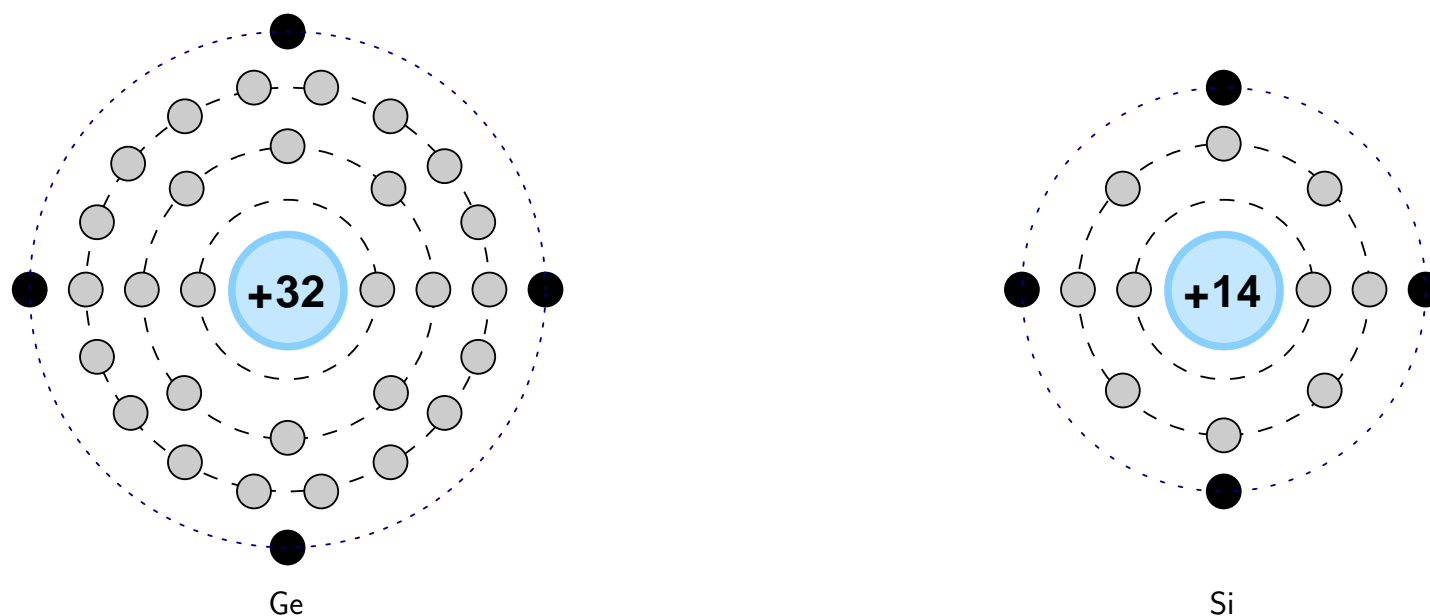
Úloha

Zistite vlastnosti polovodičových prvkov:

1. preskúmajte vplyv amplitúdy vnúteného napätia na elektrické charakteristiky polovodičových prvkov;
2. preskúmajte odozvu polovodičových prvkov na rôzne typy vnútených napätí;
3. zistené charakteristiky porovnajte s údajmi v katalógu.

Teoretické minimum

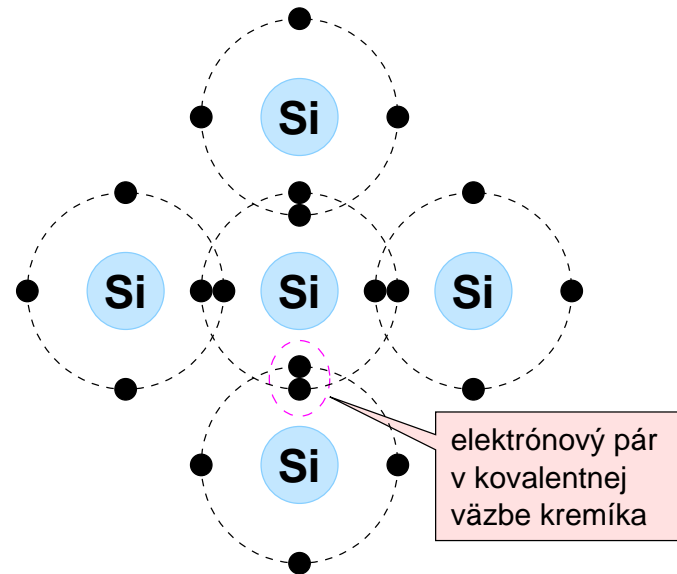
Atóm germánia a atóm kremíka



Obr. 1 Germánium a kremík

Germánium a kremík majú štyri valenčné elektróny, ktoré vytvárajú kovalentné väzby so susednými elektrónmi.

Kovalentná väzba

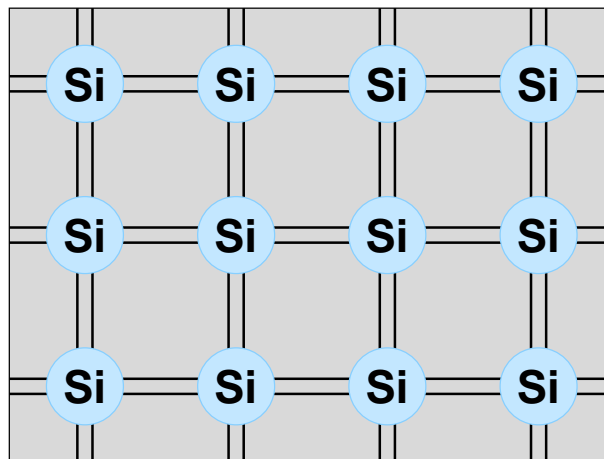


Obr. 2 Kovalentné väzby v kremíku

Valenčná vrstva je posledná (najviac vzdialená od jadra atómu) vrstva; valenčné elektróny určujú vlastnosti chemických reakcií atómu a elektrické vlastnosti tuhých látok.

Kovalentná väzba spočíva vo vytváraní spoločných elektrónových párov.

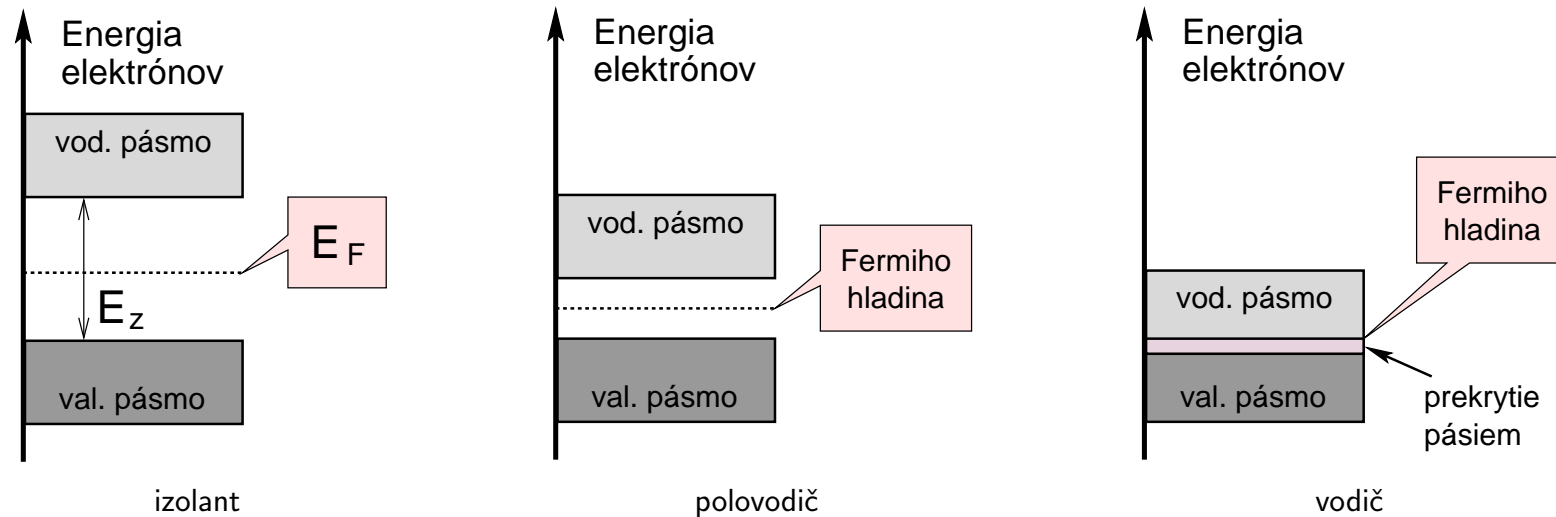
Kryštalová mriežka kremíka



Obr. 3 Atómy kremíka
s kovalentnými väzbami

Kryštalová mriežka kremíka je totožná s kryštalovou mriežkou diamantu. Kryštál kremíka (germánia) je vlastný polovodič a môže viesť malý prúd.

Pásmová teória tuhých látok



Obr. 4 Rozdelenie tuhých látok podľa šírky zakázaného pásma

Elektrické vlastnosti tuhej látky sa vysvetľujú pomocou pásmovej teórie tuhých látok, kde určujúcim faktorom je množstvo energie potrebné na uvoľnenie valenčného elektrónu.

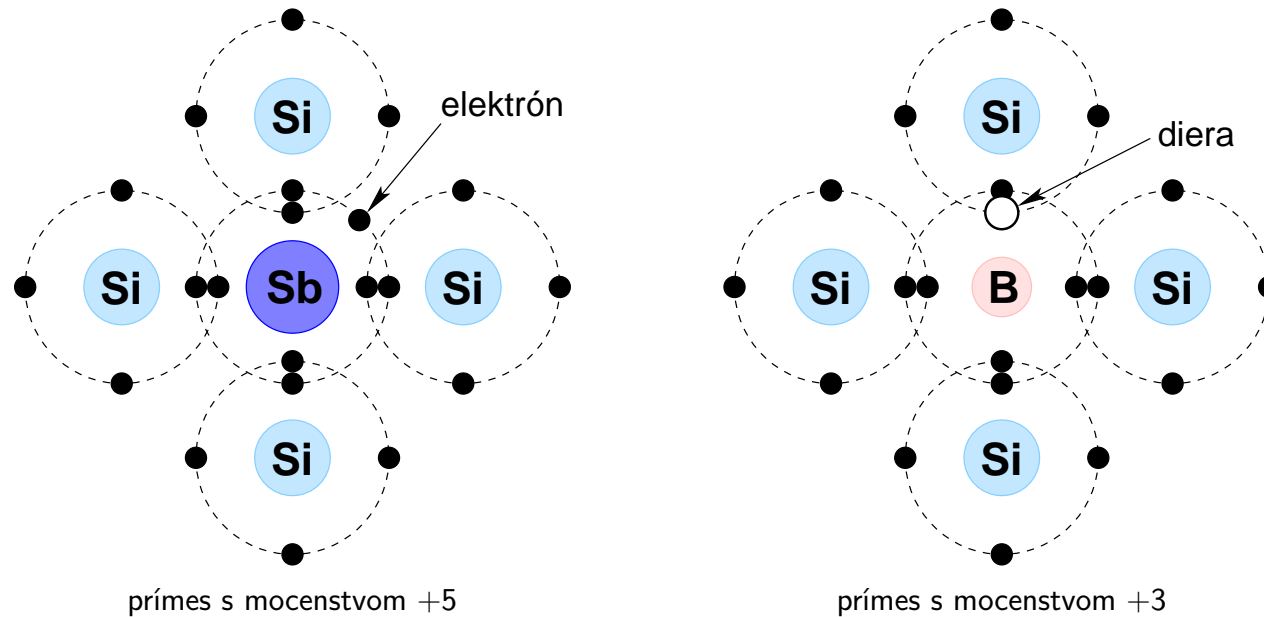
Zakázané pásmo tuhých látok

Energia zakázaného pásma izolantov je $E_z > 5 \text{ eV}$, kým energia zakázaného pásma polovodičov je $E_z < 3 \text{ eV}$.

teplota T (K)	energia E_z (eV)				
	germánium	kremík	GaAs	GaSb	InP
0	0,75	1,17	1,52	0,81	1,42
300	0,67	1,12	1,43	0,78	1,35

Tabuľka 1 Energia zakázaného pásma niektorých polovodičov

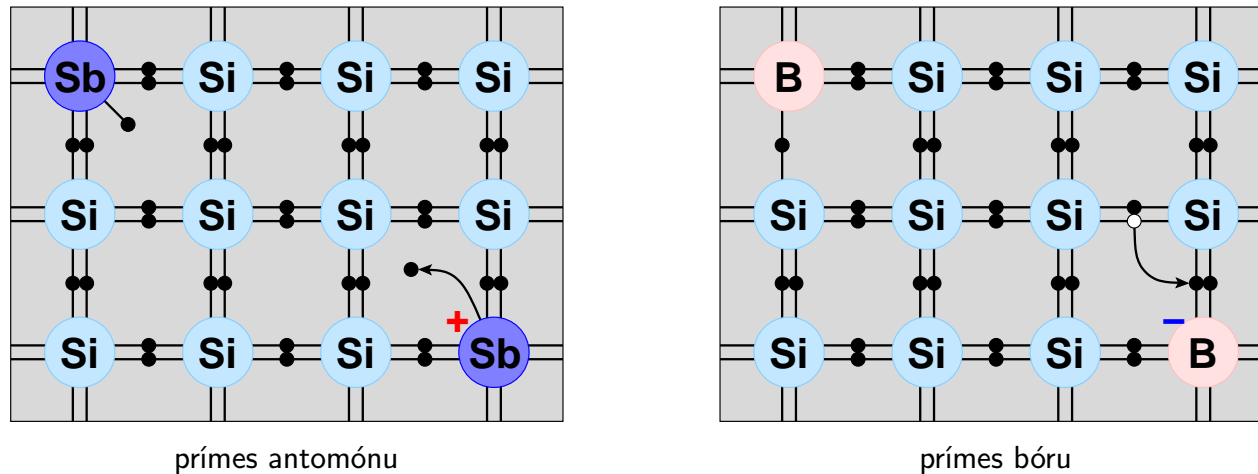
Prímesové atómy



Obr. 5 Znečistený atóm kremíka

Atómy s mocenstvom +5 (Sb, As, P) produkujú voľné elektróny, čím sa veľmi zvýši vodivosť polovodiča. Hovoríme o polovodiči typu N. Atómy s mocenstvom +3 (B, Al, Ga) vytvárajú neúplný elektrónový oktet, nedostatok valenčných elektrónov – „diery“. Hovoríme o polovodiči typu P.

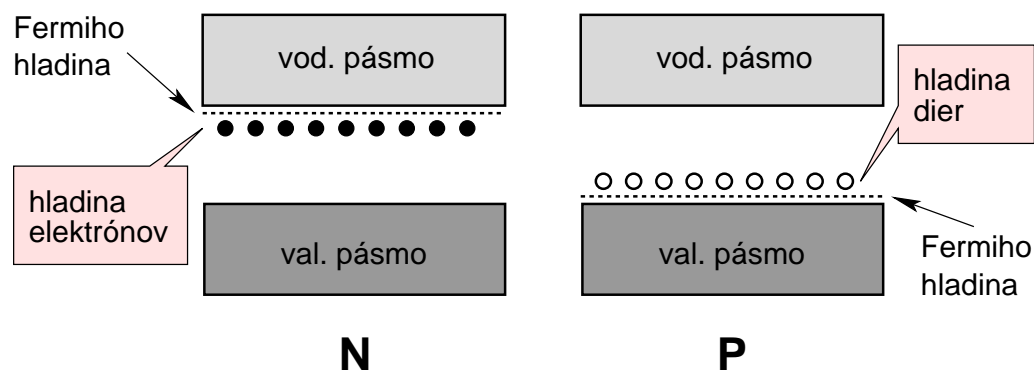
Kryštalová mriežka prímiesového polovodiča



Obr. 6 Kryštal polovodiča N a polovodiča P

Prímies antimónu vyvolá voľný pohyb neviazanému elektrónu e^- a vznik kladného pevne viazaného iónu Sb^+ . Vodivosť je vyvolaná elektrónmi, atóm Sb je *donor*. Prímies bóru vyvolá odtrhnutie viazaného elektrónu e^- vo väzbe Si–Si, naviazanie do väzby Si–B a vznik záporného pevne viazaného iónu B^- . Vodivosť je vyvolaná dierami, atóm B je *akceptor*.

Pásma dopovaných polovodičov

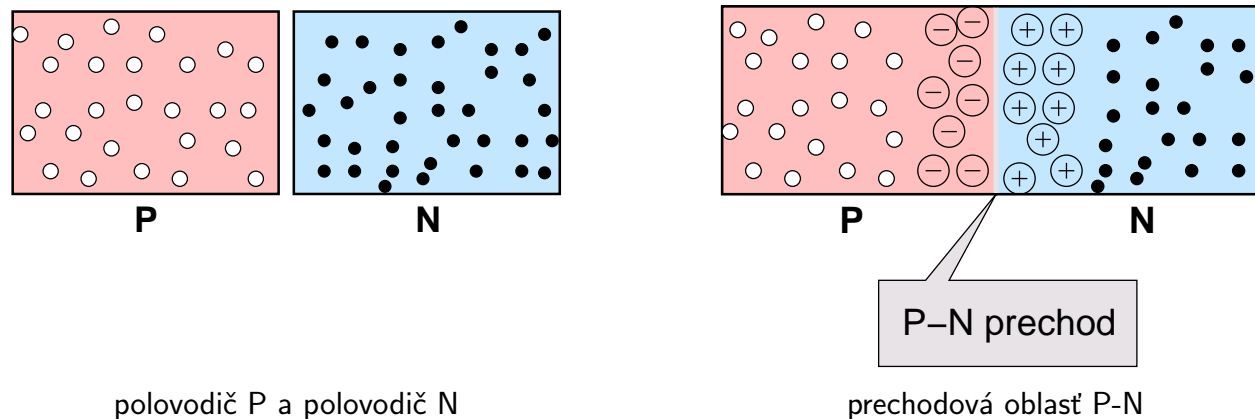


Obr. 7 Zakázané pásmo polovodiča typu N a typu P

Použitie pásmovej teórie na polovodič typu N a typu P poukazuje na vytvorenie ďalšej hladiny. V polovodiči typu N existuje blízko vodivostného pásma hladina voľných elektrónov, ktoré môžu ľahko prechádzať (excitovať) do vodivostného pásma.

V polovodiči typu P existuje blízko valenčného pásma hladina voľných dier, ktorá umožňuje excitovať elektrónom z valenčného pásma a tak zanechať vo valenčnom pásme voľné diery.

P-N prechod



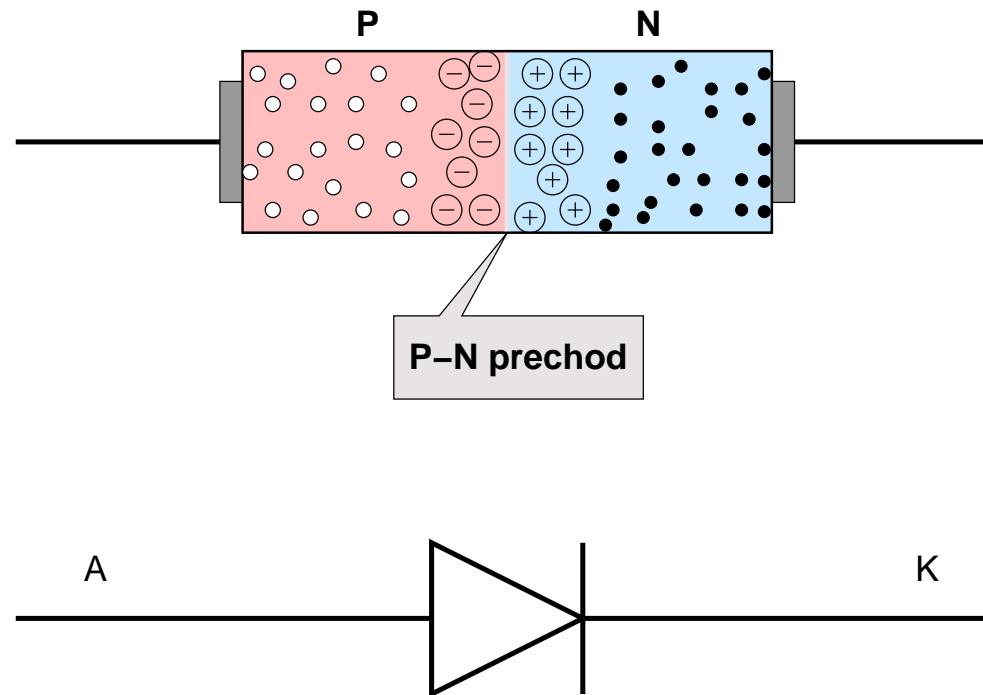
polovodič P a polovodič N

prechodová oblasť P-N

Obr. 8 Vytvorenie P-N prechodu na rozhraní polovodiča P a polovodiča N

Na rozhraní polovodiča typu P a polovodiča typu N vytvorí sa prechodová oblasť P-N. Voľné elektróny v oblasti N, ktoré dosiahli vodivostné pásmo, difundujú do oblasti P, pričom v oblasti N vzniknú viazané kladné ióny. Tým sa vytvorí priestorový náboj.

Polarizácia P-N prechodu

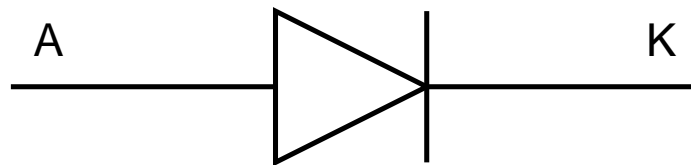


Obr. 9 Polarizácia P-N prechodu v priepustnom smere

Polarizáciou polovodiča typu P a typu N so spoločným P-N prechodom v priepustnom smere dochádza k pohybu elektrónov cez P-N prechod. Substrát má malý odpor. Prepólovaním sa P-N bariéra zväčší, substrát má veľmi veľký odpor – hovoríme o polarizácii v závernom smere.

Dióda

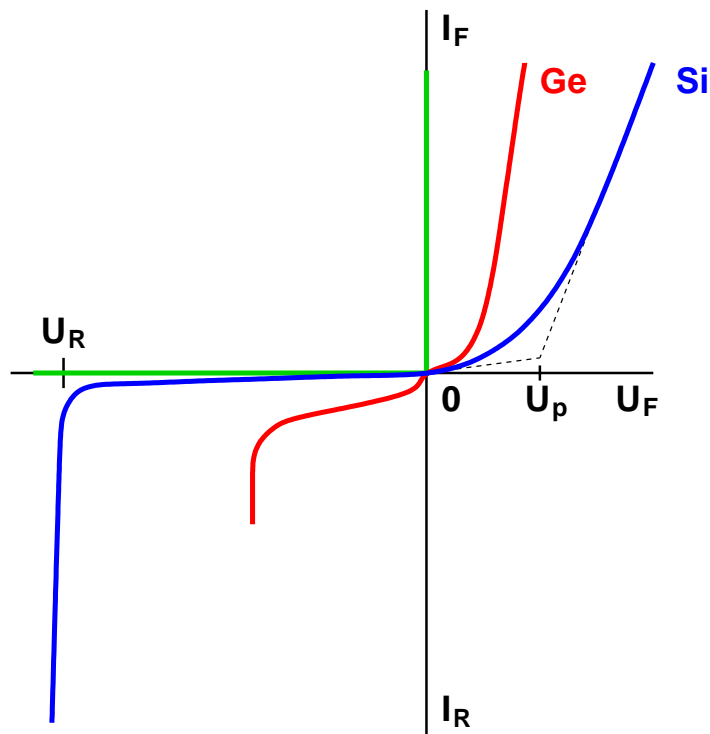
Polovodič s jedným P-N prechodom, dvojpól: anóda (+) a katóda (–). Signálová dióda pracuje v rozsahu niekoľkých miliampérov, usmerňovacia dióda od 1 A do 1 000 A a viac.



Ideálna dióda má v priepustnom smere odpor rovný nule, v závernom smere má nekonečne veľký odpor.

Kým sa nepresiahne napätie na P-N prechode – prahové napätie U_p , dióda vedie v priepustnom smere malý prúd; pre germániové diódy je prahové napätie približne 0,3 V, pre kremíkové diódy približne 0,7 V.

Volt-ampérová charakteristika diódy



Obr. 10 Volt-ampérová charakteristika diódy: **ideálna**, **germániová**, **kremíková**

Úbytok napätia v priepustnom smere U_F sa stanoví pre prúd v priepustnom smere I_F . V závernom smere tečie diódou záverný prúd I_R až kým sa nepresiahne záverné napätie diódy U_R . Pracovný rozsah napätia na dióde musí byť menší ako je záverné napätie diódy U_R .

Prúd tečúci diódou musí byť menší ako maximálny prúd diódy v priepustnom smere I_{FM} .

Čas zotavenia diódy t_{rr} je čas potrebný na prepnutie diódy z priepustného stavu do záverného stavu. S rastúcim kmitočtom signálu musí byť čas zotavenia diódy kratší.

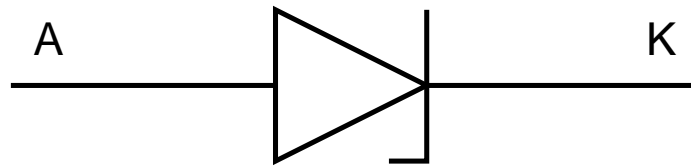
Základné charakteristiky diódy

U_F	napätie v priepustnom smere
U_R	napätie v závernom smere
I_F	prúd v priepustnom smere
I_R	prúd v závernom smere
I_{FM}	maximálny prúd v priepustnom smere
t_{rr}	čas zotavenia

$$I_F \leq I_{FM} \quad U \leq U_R$$

Zenerová dióda

Polovodič s jedným P-N prechodom, dvojpól: anóda (A) a katóda (K).

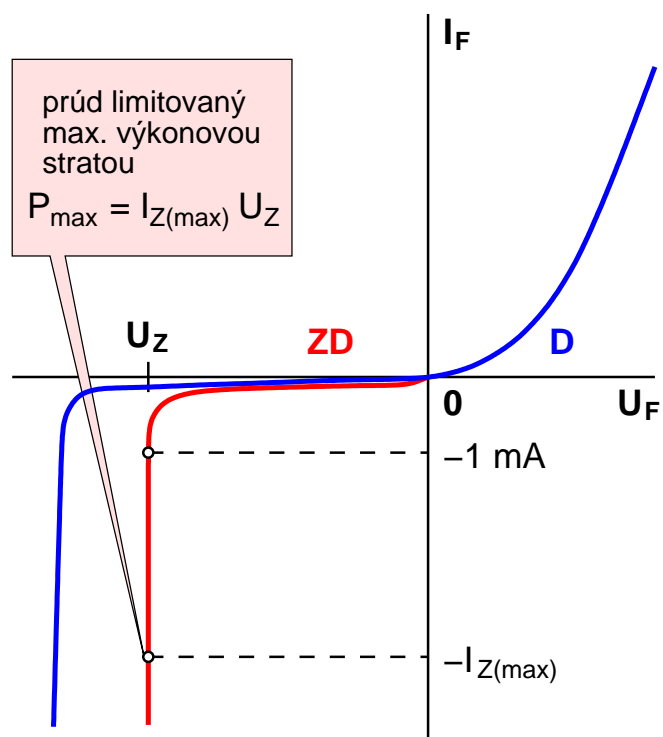


Zenerová dióda používa P-N prechod v závernom smere a využíva Zenerov efekt. Ide o nedeštruktívny prierez udržiavajúci napätie na konštantnej hodnote, nazývanej Zenerovo napätie U_Z . Strata záverných vlastností môže mať dve príčiny:

1. *vnútorný emisný jav* pri prieraznom napätí od 0 do 5,6 V,
2. *lavínový jav* pri prieraznom napätí väčšom ako 5,6 V.

Používa sa na stabilizáciu napätia, obmedzovanie striedavého napätia, zmenšenie napätových špičiek, ochranu meracích prístrojov.

Volt-ampérová charakteristika Zenerovej diódy



Obr. 11 Volt-ampérová charakteristika diódy:
Zenerová, usmerňovacia

Volt-ampérová charakteristika Zenerovej diódy je v priepustnom smere totožná s diódovou charakteristikou.

V nepriepustnom smere existuje Zenerova oblasť, ktorá je určená Zenerovým napätím. V tejto oblasti dynamický odpor diódy je veľmi malý a využíva sa na stabilizáciu napätia.

Prípustný prúd v pracovnom bode diódy je daný dovoleným oteplením diódy (150°C). Maximálna výkonová strata je:

$$P_{\max} = I_{Z\max} U_Z$$

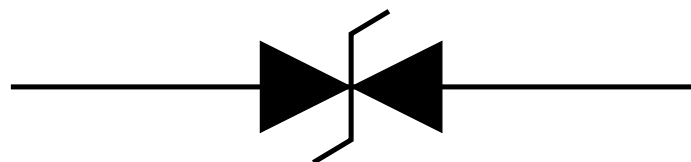
Základné charakteristiky Zenerovej diódy

U_z	Zenerovo napätie
I_z	prúd v pracovnom pásme
I_{zmax}	maximálny prúd v závernom smere
P_{max}	celkový stratový výkon

$$P \leq P_{max}$$

Supresorová dióda

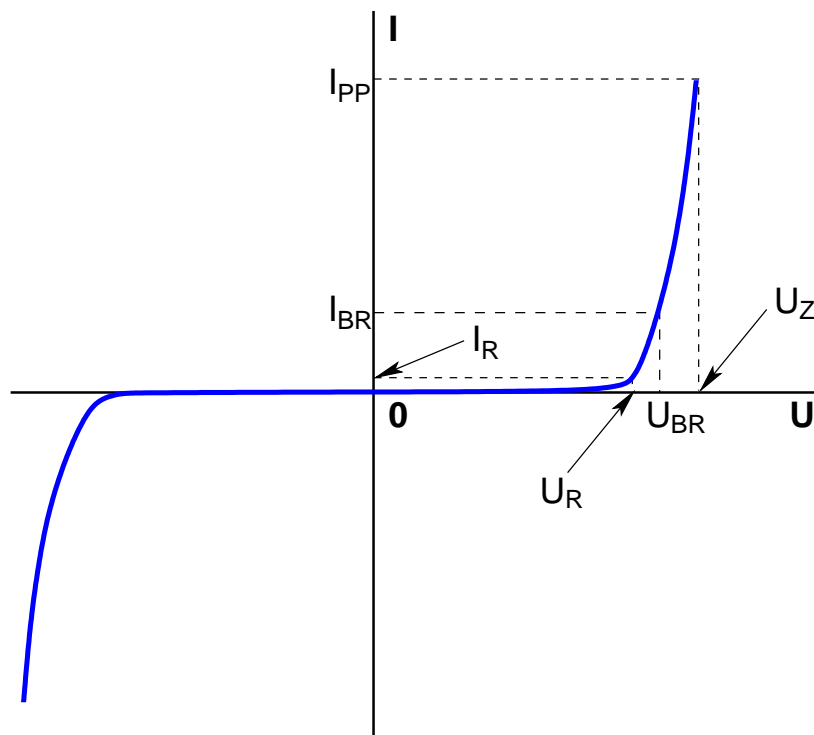
Polovodič s tromi vrstvami P-N-P, dvomi P-N prechodmi, dvojpól.



Supresorová dióda sa používa na ochranu voči prepätiam v obvode. Dostupné sú symetrické a nesymetrické vyhotovenia.

Supresorová dióda je špeciálne vyrobená rýchla Zenerová dióda schopná odolávať pôsobeniu impulzov prúdu. Od bežných Zenerových diód sa líši homogénnejším kremíkovým materiálom, lepším rozložením prúdu na povrchu čipu, lepšou ochranou hrán kryštálu a geometriou čipu. Čas odozvy je niekoľko jednotiek pikosekúnd.

Volt-ampérová charakteristika supresorovej diódy



Prierazné napätie U_{BR} definuje hranicu prechodu supresorovej diódy zo stavu nevodivého do stavu vodivého. Prierazné napätie sa merá pri referenčnom prúde, zvyčajne 1 mA.

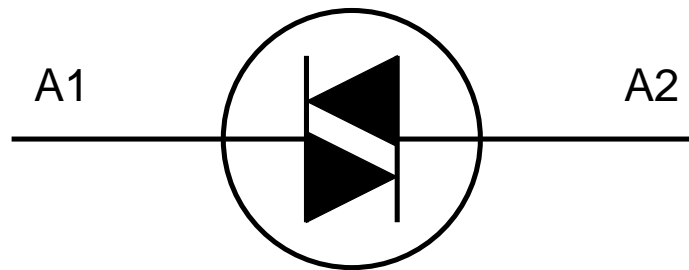
Obvod so supresorovou diódou pracuje pri napätí menšom ako je menovité napätie U_R . Menovitý prúd I_R je meraný pri menovitom napätí. V impulznom režime supresorová dióda spoľahlivo

znáša maximálny impulz prúdu I_{PP} . Zvyškové napätie U_Z je maximálne napätie na supresorovej dióde pri prúde I_{PP} .

Základné charakteristiky supresorovej diódy

U_{BR}	prierazné napätie
U_R	menovité napätie
U_z	zvyškové napätie
I_R	menovitý prúd
I_{PP}	impulz prúdu
I_{PPmax}	maximálny impulz prúdu

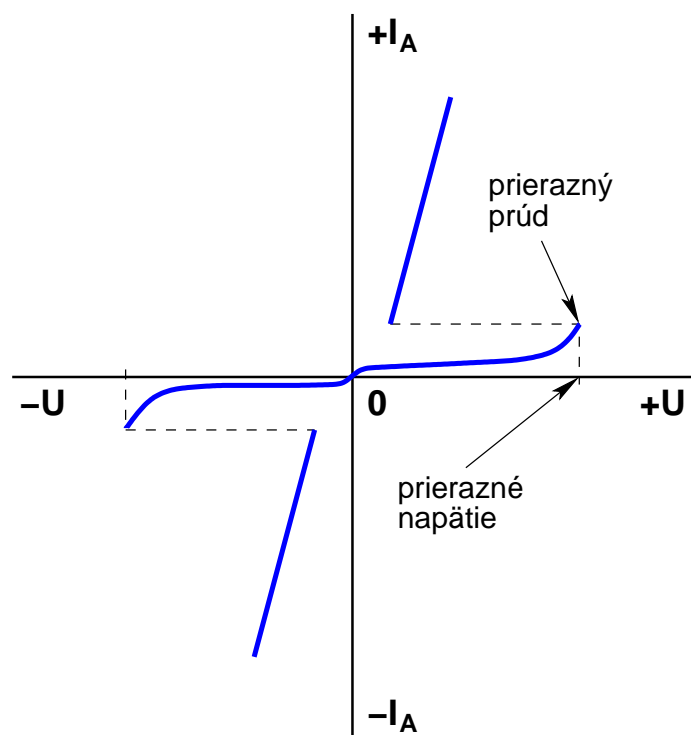
Diak



Polovodič s tromi vrstvami P-N-P, dvomi P-N prechodmi, dvojpól: anóda A1 (+) a anóda A2 (-).

Diak je obojsmerná dióda určená na spínanie ďalších spínacích prvkov s väčším výkonom, napr. triaku. Hodnota prierného napätia U_{BO} sa pohybuje v rozmedzí ± 20 až ± 40 V a jednosmerný odpor v hodnotách 5 až 50 k Ω .

Volt-ampérová charakteristika diaku



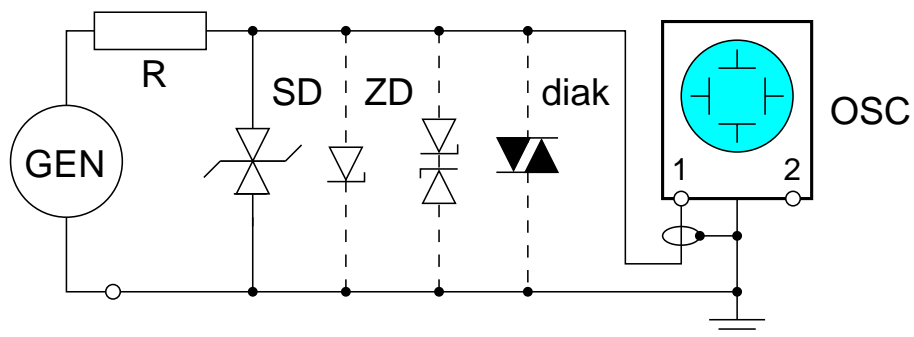
Diak je v nevodivom stave kým sa nepresiahne prierazné napätie U_{BO} . V tomto bode dochádza k lavínovému prierazu a diak prechádza do stavu lavínovej vodivosti. Úbytok napätia na diaku sa skokom zníži na hodnotu približne 5 V pričom vznikne prierazný prúd I_{BO} vhodný na spínaie tyristora, triaku a pod. Typická výkonová strata diaku je 0,5–1 W.

Základné charakteristiky diaku

U_{BO} prierazné napätie

I_{BO} prierazný prúd

Schéma zapojenia



GEN generátor napätia

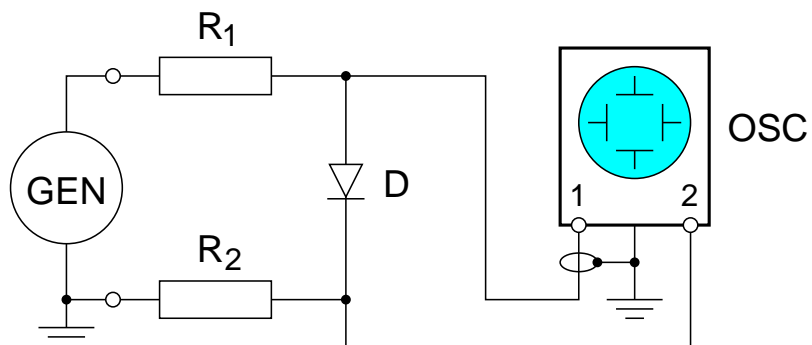
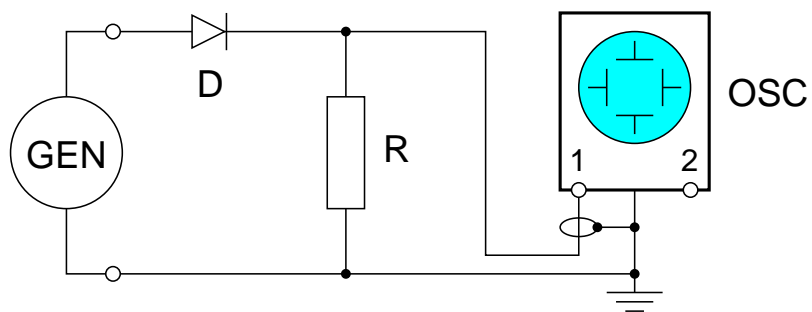
OSC osciloskop

R obmedzovací rezistor

SD supresorová dióda

ZD Zenerová dióda

D usmerňovacia dióda



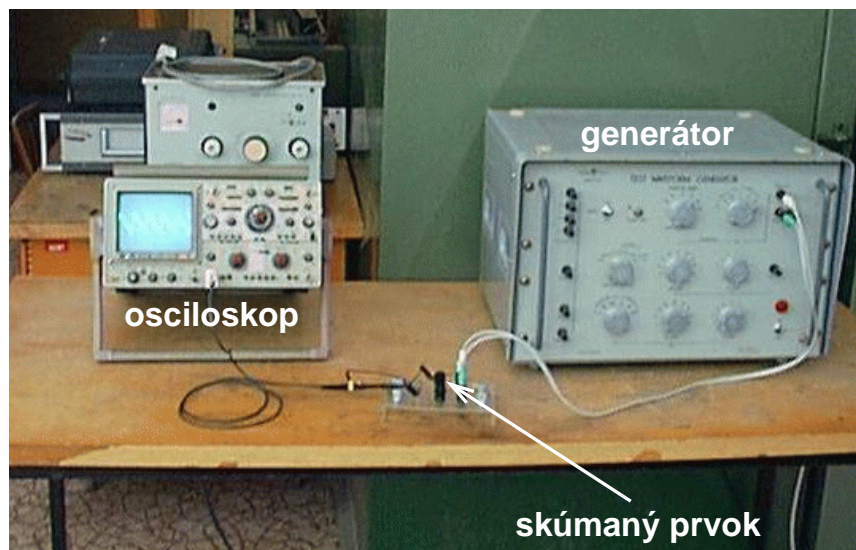
Nasledujúca Predchádzajúca Späť Obsah

Koniec

Postup merania

1. obvod zapojiť podľa kapitoly **Schéma zapojenia**;
2. skúmaný prvok zapojiť do obvodu, pozri **obr. 12**;
3. podľa označenia zistiť typ prvku a nastaviť amplitúdu napätia tak, aby sa neprekročilo maximálne prípustné napätie udávané výrobcom;
4. zvolený typ napätia (**obr. 14**) pripojiť na skúmaný prvok a sledovať odozvu na osciloskope;
5. odčítať amplitúdu U_z (resp. U_{BO} , U_o podľa typu prvku), pozri kapitolu **Určenie typu prvku**;
6. namerané veličiny zapísať do **tabuľky 2**.

Meracie pracovisko



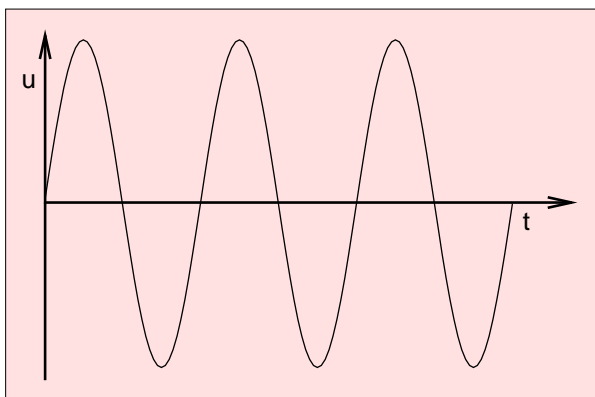
použité prístroje



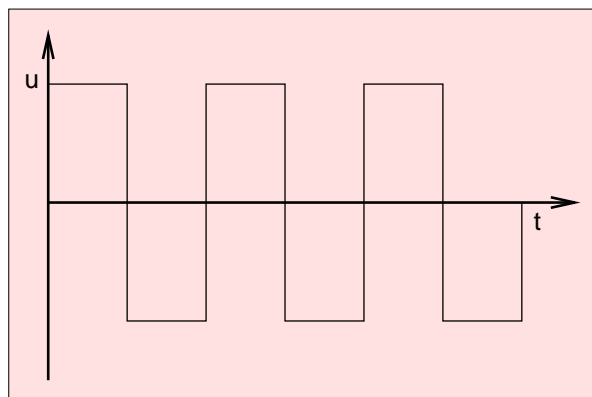
pripojenie na skúmaný prvok

Obr. 12 Usporiadanie prístrojov

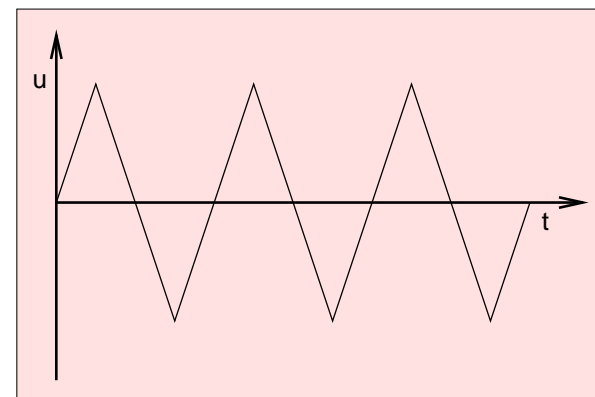
Použité typy vnútených napätí



sínusový

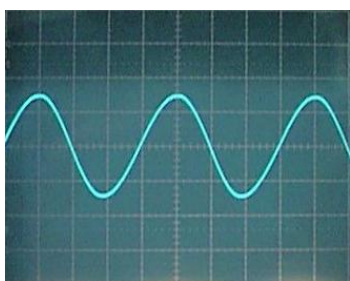


obdĺžnikový

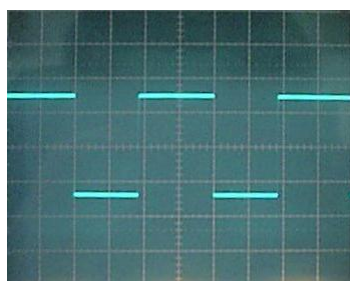


pílový

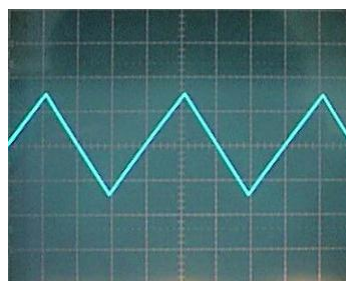
Obr. 13 Priebeh napätia



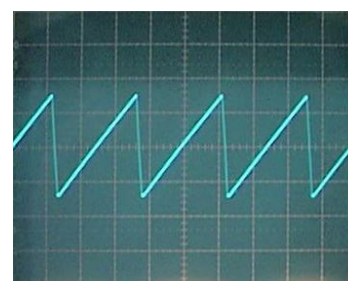
a



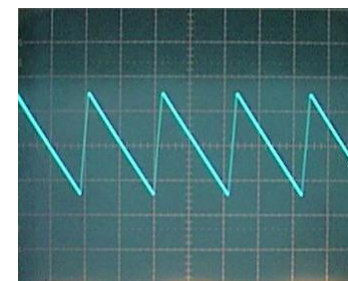
b



c



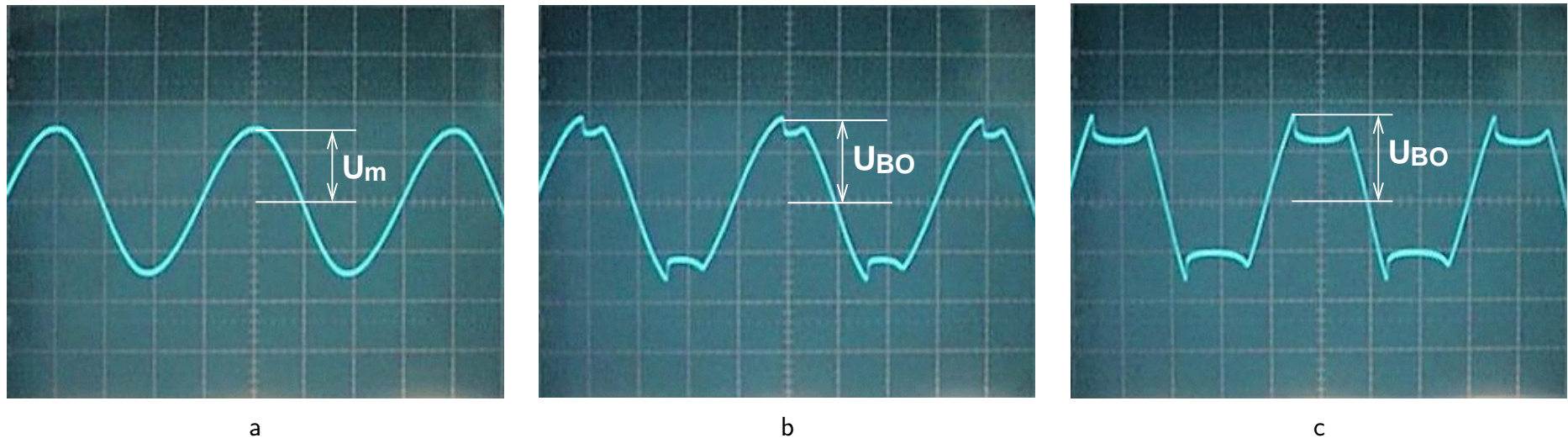
d



e

Obr. 14 Záznam priebehu napätia pomocou osciloskopu

Určenie typu prvku



Obr. 15 Určenie ochranej hladiny na prvkoch prepäťových ochrán

Zvolený typ napätia (pozri kapitolu **Použité typy vnútených napätí**) sa privedie na skúmaný prvok.

Postupným zväčšovaním amplitúdy vstupného napätia sa mení priebeh napätia na pripojenom prvku. Podľa tvaru napätia sa určí, aký typ prvku je pripojený. Namerané veličiny sa porovnajú s údajmi v katalógu.

Tabuľka nameraných veličín

- ▷ U_Z Zenerovo napätie
- ▷ U_{BO} spínacie napätie
- ▷ U_{PN} napätie na p-n prechode

Pre každý typ prvku sa vyplní len zodpovedajúca kolonka.

prvok	typ	U_Z (V)	$U_{Z_{kat}}$ (V)	U_{BO} (V)	$U_{BO_{kat}}$ (V)	U_{PN} (V)
dióda	GA 205					
dióda	KY 130/80					
dióda	KA 262					
dióda	KAY 20					
Zenerová dióda	KZ 140					
Zenerová dióda	KZ 141					
Zenerová dióda ¹	KZ 260/16					
diak	DB3					
supresorová dióda	1.5 KE 24CA					

Tabuľka 2 Namerané veličiny U_Z , U_{BO} , U_o

Kompletná tabuľka na cvičenie vo verzii pre **tlač**.

¹ Antisériové zapojenie

Vyhodnotenie

Vo vyhodnotení uvažujte:

1. zhodu nameraných parametrov s údajmi v katalógu výrobcu;
2. oscilácie alebo zákmity počas spínania;
3. vplyv strmosti napätia na odozvu skúmaných prvkov;
4. vlastnosti polovodičov vyrobených na báze kremíka alebo germánia.