

Inovácie v odbornom vzdelávaní



projekt realizovaný s finančnou podporou ESF

predmet: ELEKTROTECHNIKA 2

ročník: druhý

odbor: MECHATRONIKA

autor: Ing. Stanislav LOKAJ



**ŽILINSKÝ
samosprávny kraj
zriaďovateľ**



**Stredná priemyselná škola
Nábřežná 1325
024 14 Kysucké Nové Mesto**

Inovácie v odbornom vzdelávaní



Európsky sociálny fond

projekt realizovaný s finančnou podporou ESF

autor: Ing. Stanislav LOKAJ

grafické spracovanie: Ing. Stanislav LOKAJ

rok vydania: 2007

V knihe sú použité názvy programových produktov a firiem, ktoré môžu byť ochrannými známkami alebo registrovanými ochrannými známkami príslušných vlastníkov.

OBSAH:

1	ELEKTRICKÉ STROJE.....	5
1.1	ASYNCHRÓNNE STROJE	5
1.1.1	Trojfázový asynchrónny motor s kotvou nakrátko.....	5
1.1.2	Trojfázový krúžkový motor	7
1.1.3	Jednofázový asynchrónny motor.....	9
1.1.4	Špeciálne asynchrónne stroje.....	10
1.2	SYNCHRÓNNE STROJE	11
1.2.1	Synchrónne alternátory.....	11
1.2.2	Synchrónne motory	12
1.3	STRIEDAVÉ KOMUTÁTOROVÉ MOTORY.....	13
1.3.1	Jednofázový sériový komutátorový motor	14
1.3.2	Trojfázové komutátorové motory	15
1.3.2.1.	Derivačné trojfázové komutátorové motory napájané do statora	15
1.3.2.2.	Trojfázové derivačné komutátorové motory napájané do rotora.	15
1.4	JEDNOSMERNÉ STROJE	16
1.4.1	Jednosmerné generátory – dynamá	17
1.4.1.1.	Generátor s cudzím buđením.....	17
1.4.1.2.	Derivačný generátor	17
1.4.1.3.	Kompaundný generátor	18
1.4.2	Jednosmerné motory	18
1.4.2.1.	Motor s cudzím buđením.....	19
1.4.2.2.	Derivačný motor	19
1.4.2.3.	Motor so sériovým buđením.....	20
1.4.2.4.	Kompaundný motor	20
1.5	TRANSFORMÁTORY	21
1.5.1	Jednofázový transformátor	21
1.5.2	Trojfázový transformátor.....	23
1.5.3	Paralelný chod transformátorov	25
1.6	Riadenie napätia transformátorov	25
2	OVLÁDANIE ELEKTRICKÝCH POHONOV.....	27
2.1	Zásady tvorby elektrotechnických schém.....	27
2.2	Spúšťanie indukčného motora s kotvou nakrátko automatickým prepínaním do hviezdy a do trojuholníka.....	28
2.3	Reverzácia indukčného motora s kotvou nakrátko stýkačkami ovládaného z jedného a viacerých miest	29
2.4	Reverzácia indukčného motora s kotvou nakrátko stýkačkami s automatickým prepínaním do hviezdy a do trojuholníka.....	30
2.5	Ručné riadenie asynchrónneho krúžkového motora.....	31
2.6	Spúšťanie asynchrónneho motora s krúžkovou kotvou na základe princípu času	31
3	VÝROBA A ROZVOD ELEKTRICKEJ ENERGIE.....	33
3.1	Tepelné elektrárne a teplárne	33
3.2	Jadrové elektrárne	34
3.3	Vodné elektrárne	35
3.4	Elektrické vedenia nn, vn a vvn	37
3.4.1	Ochranné pásma vedení.....	37
3.4.2	Montážne materiály.....	37
3.4.3	Stožiare a ich druhy.....	38
3.4.4	Silnoprúdové káble a ich montáž	38
3.4.5	Stavba vonkajších vedení nn, vn a vvn.....	38
3.4.6	Revízia a údržba elektrických vedení.....	38
3.5	Elektrické rozvody v priemyselných závodoch	38
3.6	Miestny rozvod siete – domová prípojka.....	41
3.6.1	Miestne rozvodné siete	41

3.6.2	Domová prípojka.....	42
4	ELEKTRICKÉ TEPLLO.....	44
4.1	Elektrické chladenie a prečerpávanie tepla	44
4.2	Elektrické ohrievače vody.....	46
4.3	Elektrické vykurovanie	48
4.4	Svetlo, Fotometria	50
4.4.1	Svetlo je energia, ktorá ma formu elektromagnetického žiarenia (vlnenia).....	50
4.5	Žiarovky, výbojky, žiarivky, svetelné trubice.....	52
5	NELINEÁRNE POLOVODIČOVÉ SÚČIASTKY.....	55
5.1	Vedenie prúdu v tuhých látkach.....	55
5.1.1	Pásmový model atómu.....	55
5.1.2	Vlastná vodivosť a nevlastná vodivosť polovodiča.....	56
5.2	Priechody PN	57
5.2.1	Priechod PN bez pôsobenia vonkajšieho napätia	57
5.2.2	Priechod PN s pripojeným vonkajším napätím	58
5.2.3	Vytvorenie priechodu PN	60
5.2.4	Spojenie: Kov - Polovodič	61
5.3	Polovodičové diódy	62
5.3.1	Voltampérová charakteristika diódy.....	62
5.3.2	Druhy polovodičových diód : Plošné, Hrotové.....	63
5.3.3	Diódy na stabilizáciu napätí, Zenerov jav.....	64
5.4	Bipolárne tranzistory	66
5.4.1	Činnosť tranzistora	66
5.4.2	Zapojenie tranzistora so spoločnou bázou (SB)	67
5.4.3	Zapojenie tranzistora so spoločným emitorom (SE)	68
5.4.4	Prúdový zosilňovací činiteľ v zapojení so (SB, SE, SK).....	68
5.4.5	Tranzistor ako spínač.....	70
5.4.6	Tranzistor ako zosilňovač	71
5.5	Tyristor, (štruktúra, charakteristika)	72
5.6	Diak, Triak,(štruktúra, charakteristika).....	73
5.7	Termistor (negatívny termistor, NTC).....	74
5.8	Pozistor (pozitívny termistor, PTC).....	76
5.9	Fotorezistor	77
5.10	Fotodióda	78
5.11	Fototranzistor, Fototyristor	79
5.12	Optrón (optoelektronický spájací člen).....	80
6	USMERŇOVAČE	81
6.1	Jednofázové : jednopulzné, dvojpulzné	81
6.2	Trojfázové: trojpulzné	82
7	ZOBRAZOVACIE PRVKY A ZARIADENIA	83
7.1	Svietivá dióda (LED), Laserová dióda	83
7.2	Vlastnosti zobrazovacích jednotiek	84
7.3	Segmentové zobrazovacie jednotky s elektroluminiscenčnými diódami.....	85
7.4	Segmentové zobrazovacie jednotky s kvapalnými kryštálmi (LCD)	86
7.5	Obrazovky.....	87
7.6	Elektrónová dýza.....	88
7.7	Vychýľovanie elektrónového lúča elektrostatickým poľom	89

1. ELEKTRICKÉ STROJE

1.1. ASYNCHRÓNNE STROJE

Podľa spôsobu práce sa asynchrónne stroje rozdeľujú na :

- Asynchrónny motor – privádzaná elektrická energia sa mení na mechanickú, ktorá prekonáva odpor poháňaného zariadenia
- Asynchrónny alternátor – mechanická energia privádzaná na rotor sa mení na elektrickú energiu odoberanú zo statorového vinutia.
- Indukčnú brzdu – využíva na brzdenie točivý moment vznikajúci otáčaním rotora proti smeru, ktorým by sa otáčal pôsobením elektromagnetických síl.
- Asynchrónny menič frekvencie – využíva zmeny frekvencie prúdu indukovaného v otáčajúcom sa rotore.

Asynchrónny motor sa podľa usporiadania statorového vinutia rozdeľuje na **jednofázový** (s pomocnou rozbehovou fázou) a **trojfázový**. Podľa konštrukcie rotorového vinutia sa rozlišujú **krúžkové** motory a motory **nakrátko**.

Všetky asynchrónne (indukčné) stroje pracujú tak, že ich rotor má iné otáčky ako otáčavé magnetické pole vytvorené vinutím uloženým v ich statore. Čím väčšie je zaťaženie asynchrónneho stroja, tým sú menšie jeho otáčky. Rozdiel medzi otáčkami otáčavého magnetického poľa statora a otáčkami rotora sa vyjadruje **sklzom**, ktorý je daný:

$$S = \frac{h_s - h}{h_s} \quad (-, \text{min}^{-1})$$

alebo v percentách synchrónnych otáčok

$$S = \frac{h_s - h}{h_s} * 100\% \quad (\%, \text{min}^{-1})$$

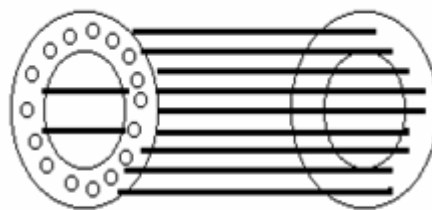
Sklz býva v rozpätí od 1 % až do 15 %, priemerne asi 5 %. Malé motory majú sklz väčší ako veľké motory.

1.1.1. Trojfázový asynchrónny motor s kotvou nakrátko

Trojfázový asynchrónny motor sa skladá z pevnej časti statora a otáčavej časti rotora.

Stator a rotor sa skladá zo zväzkov plechu z feromagnetického materiálu. Plechy sú navzájom izolované a nalisované, ktoré tvoria magnetický obvod. V drážkach statora je umiestnené statorové vinutie, drážky na obode rotora sú vyplnené rotorovým vinutím. Podľa druhu vinutia rotora rozlišujeme **asynchrónne motory s kotvou na krátko** a **asynchrónne motory s krúžkovou kotvou**.

Rotorové vinutie je vyhotovené z hliníkových, medených alebo bronzových tyčí, ktoré vyplňajú drážky a na čelách rotora sú kruhy z toho istého materiálu spojené nakrátko. Keby sme odleptali plechy rotora, zostane akási klieťka, preto hovoríme o rotorovej klieťke.



obrázok 1. Rotorová klieťka

Nevýhodou motorov s jednoduchým rotorom nakrátko je veľký záberový prúd pri spúšťaní a malý záberový moment. Tieto nedostatky možno odstrániť napríklad spúšťaním, prepínaním hviezda – trojuholník, odporovou dvojitou alebo vírovou klieťkou. Zväčšenému odporu rotorového obvodu zodpovedá záberový moment, väčší sklz a horšia celková účinnosť.

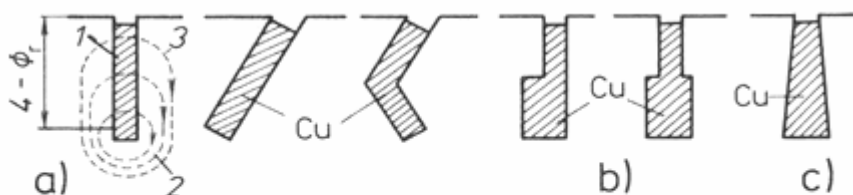
Odporové klieťky sa používajú pri žeriavových a výtahových motoroch, pri ktorých je dôležitý veľký záberový moment.

Dvojité klieťka má dve sústavy tyčí s rozličným prierezom, ktoré sú uložené nad sebou, alebo vedľa seba spojené vodivými kruhmi.

Rozbehová klieťka je pokiaľ možno najbližšie pri vzduchovej medzere, aby jej rozptylová indukčnosť bola čo najmenšia, zhotovená je z materiálu s veľkou rezistivitou.

Pracovná klieťka je zhotovená z medených vodičov s veľkým prierezom uložených hlboko v rotore. Tak sa dosiahne veľký rozptylový magnetický tok a tým aj veľká rozptylová indukčnosť..

Vírová klieťka sa používa pri motoroch s ešte väčšími výkonmi. Úzke masívne medené vodiče sú uložené v hlbokých drážkach. Vplyvom veľkého rozptylového magnetického toku spriahnutého so spodnou časťou tyčového vodiča majú tieto vodiče väčšiu reaktanciu, čím sa prúd sústreďuje do vrchných vrstiev. Vírová klieťka sa správa ako odporová, pretože prúd prechádza menším prierezom. Pri rozbehu vznikajú veľké straty, čím sa vyvolá veľký záberový moment.. Motory s vírovou klieťkou sa používajú pre väčšie výkony a požadované záberové momenty.

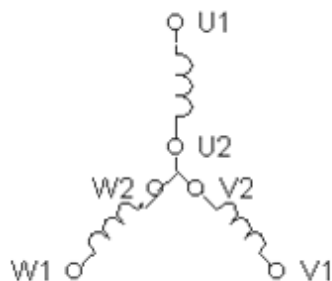


obrázok 2. Rôzne tvary tyčí vírovej klieťky

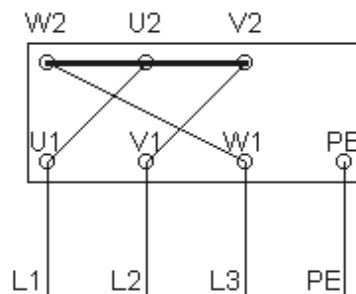
- a) tyče rovnakých širok, b) odstupňované tyče, c) klinový tvar pre rýchlobežné motory
 1 - úzky masívny medený vodič, 2 - spodné vlákna vodiča, 3 - vrchné vlákna vodiča,
 4 - rozptylový magnetický tok Φ_r

Ďalším spôsobom ako možno zmierniť prúdový náraz, je spúšťanie prepínačom **hviezda – trojuholník**. Trojfázové vinutie statora sa najskôr spoji do hviezdy a po rozbehu sa prepojí do trojuholníka. Príkonov náraz tým zmenšíme na jednu tretinu, lebo každá fáza má $\sqrt{3}$ – krát nižšie napätie, tým odoberá $\sqrt{3}$ – krát menší prúd a $(\sqrt{3})^2 = 3$ – krát menší príkon. Priebeh prúdov a momentov znázorňuje obr. 8. Treba si uvedomiť, že pri spúšťaní motora týmto spôsobom vznikajú vlastne dva prúdové nárazy (krivka A). Jeden vznikne pri pripojení na sieť, druhý pri prepínaní z hviezdy do trojuholníka. So zmenou prúdov sa menia aj momenty (krivka B).

obrázok 3
Trojfázové
vinutie
zapojené
do hviezdy



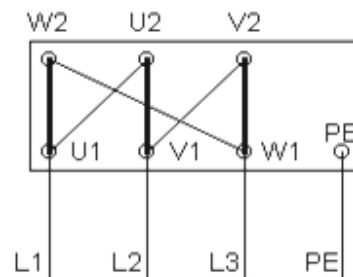
obrázok 4
Svorkovnica
motora zapojená
do hviezdy



obrázok 5
Trojfázové
vinutie
zapojené
do trojuholníka

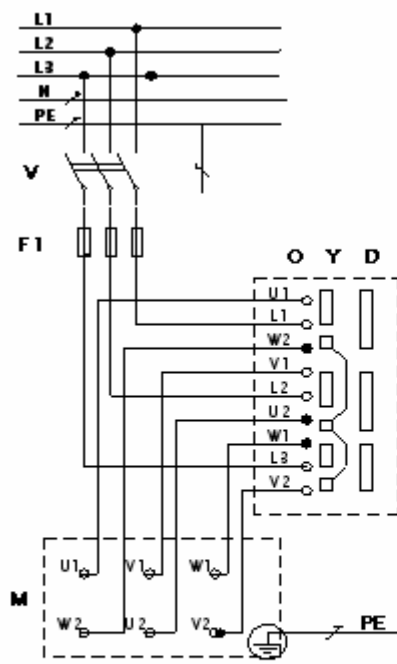


obrázok 6
Svorkovnica
motora zapojená
do trojuholníka

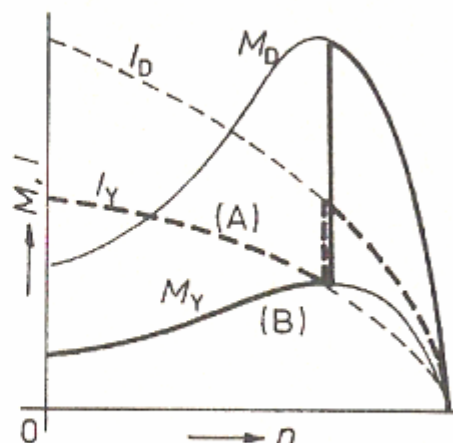


Pripája sa v prípade, že motor je určený pre napätie 3 x 400 V

Obrátenie zmyslu otáčok motora sa urobí prehodením dvoch fáz na svorkovnici motora, alebo na svorkách stykača.



obrázok 7. Rozbeh motora s prepínaním
hviezda – trojuholník



obrázok 8. Momentová charakteristika
motora s prepínaním hviezda - trojuholník

1.1.2. Trojfázový krúžkový motor

Krúžkový motor je výhodný v prípadoch, keď je neprípustný veľký záberový prúd (aký by mal motor nakrátko), prípadne pri požiadavke, aby otáčky boli ovládateľné. Krúžkový motor má v rotorových drážkach uložené trojfázové vinutie natrvalo spojené do hviezdy, výnimočne do trojuholníka. Jednotlivé fázy sú pripojené na tri krúžky z vodivého materiálu, ktoré sú izolovane upevnené na hriadieli. Uhlíkové kefy umiestnené v držiakoch ich spájajú s tromi svorkami rotorovej svorkovnice. Rotor je od statora oddelený tenkou vzduchovou

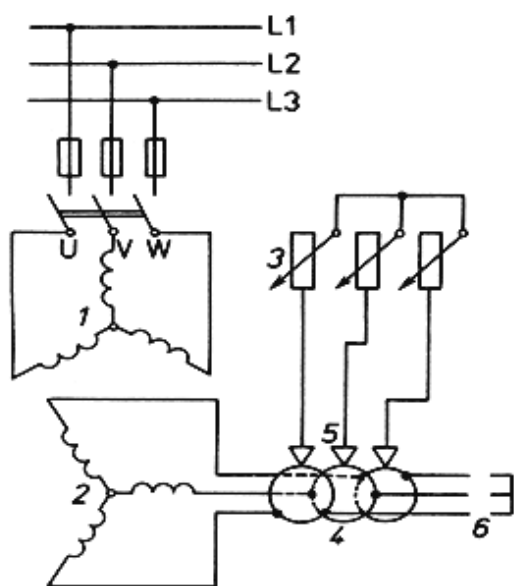
medzerou, otáča sa pôsobením otáčavého kruhového elektromagnetického poľa vytvoreného statorovým vinutím.

Otáčky tohto poľa (synchrónne otáčky) sú dané vzťahom:

$$h_s = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ (min}^{-1}, \text{ Hz, -)}$$

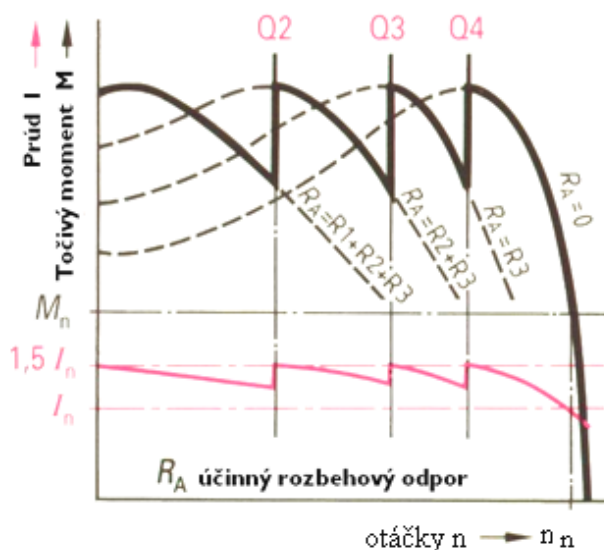
f je frekvencia napájacieho prúdu siete, **p** je počet pólových dvojíc

Väčšie motory majú mať podpäťovú ochranu, ktorá ich vypne pri poklese napätia v sieti. Tak ich ochráni pred prúdovým preťažením a pred prípadným prúdovým nárazom po obnovení dodávky prúdu bez zapojeného spúšťača. Výhodné je použiť blokovací kontakt, ktorý nedovoľuje zapnúť motor, kým spúšťač a spájač nakrátko nie sú v základnej polohe.



obrázok 9. Inštruktívna schéma zapojenia krúžkového motora so spúšťačom

- 1 – stator
- 2 - rotor s rozbehovým rezistorom
- 3 - rotorový spúšťač
- 4 - krúžky motora
- 5 – kefy
- 6 - spájač nakrátko



obrázok 10. Točivý moment a rozbehový prúd motora s krúžkovou kotvou s trojstupňovým rozbehovým rezistorom

Spúšťačím rezistorom (spúšťačom) možno ľubovoľne zmenšiť záberový prúd a zväčšiť záberový moment motora. Po skončení sa spúšťač vyradí a rotorové vinutie sa spájačom nakrátko (skratovačom) spojí nakrátko, pri väčších motoroch sa súčasne odklopia kefy, aby nezapríčiňovali straty trením. Motor potom pracuje ako s kotvou nakrátko. Motory s krúžkovou kotvou vyvíjajú veľký rozbehový moment pri malom rozbehovom prúde. Môžu byť spúšťané zaťažené. Motory s krúžkovou kotvou sú konštruované od 5 kW do 500 kW. Používajú sa ako pohony čerpadiel, drtičov kameňa a veľkých obrábacích strojov a tiež ako pohony s veľkými výkonmi a s ťažkým rozbehom, napr. pre zdvíhaky.

1.1.3. Jednofázový asynchrónny motor

Podobne ako jedna fáza trojfázového motora po pripojení na sieť motor nerozbehne, nestane sa tak ani po pripojení jednofázového asynchrónneho motora na sieť. Aby sa jednofázový motor začal sám bez pomoci otáčať, musí sa nejakým spôsobom roztočiť aspoň na 20 % synchronných otáčok. Na to používame buď mechanický impulz, alebo najčastejšie pomocné rozbehové vinutie, takže tieto motorčeky sa rozbiehajú ako dvojfázové.

Rozbehové vinutie sa navrhne tak, aby bolo proti hlavnému vinutiu posunuté o uhol $90^\circ/p$. Môže sa navrhnuť aj ako trojfázové, pričom cievky dvoch fáz sa spoja do série a vytvoria hlavnú fázu, drážky tretej fázy sa využijú na uloženie rozbehového vinutia.

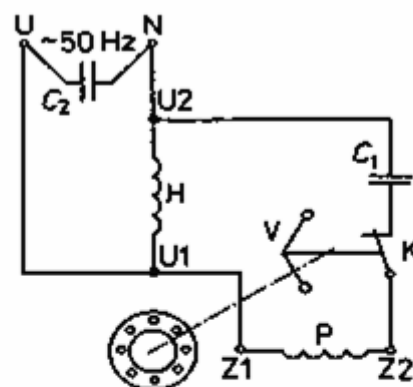
U jednofázového motora s pomocnou odporovou fázou vznikne točivé magnetické pole. Potrebný činný odpor možno vytvoriť pomocným vinutím z odporového drôtu. Pomocná odporová fáza musí byť po rozbehu odpojená, aby nedochádzalo k prehrievaniu motora. K odpojeniu možno použiť napr. odstredivý vypínač. Jednofázové motory s pomocnou odporovou fázou sa vyrábajú do výkonu asi 300W. Tieto motory sa používajú s malou frekvenciou rozpínania napr. ako pohony kompresorov v chladničkách.

Kondenzátorový motor, je jednofázový asynchrónny motor s kondenzátorom v pomocnej fáze.

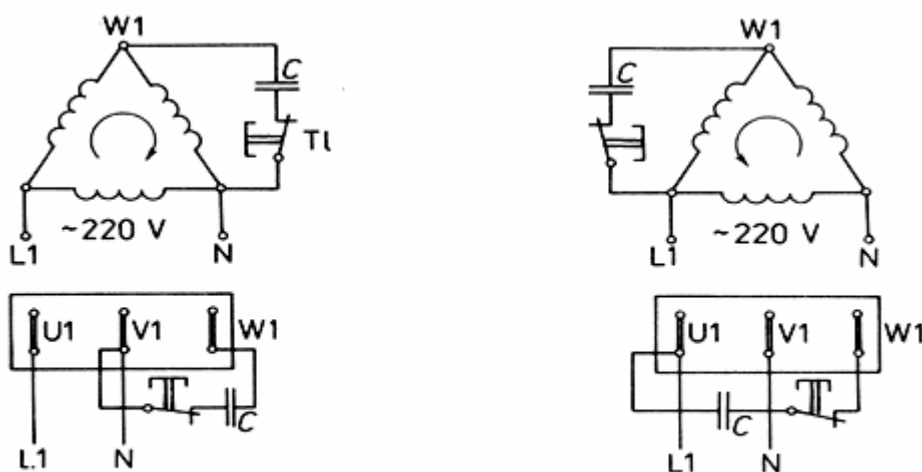
Potrebný fázový posun sa dosiahne zapojením kondenzátora do pomocnej fázy. Táto fáza slúži len na rozbeh motora. Ak otáčky motora prekročia určitú hodnotu, pomocná fáza sa automaticky odpojí, čo sa robí najčastejšie odstredivým vypínačom namontovaným priamo na hriadeli motora.

Kapacita rozbehového kondenzátora k motoru s výkonom P sa uvádza podľa empirickej rovnice vzťahom :

$$C \geq 68 * P \quad (\mu F, kW)$$



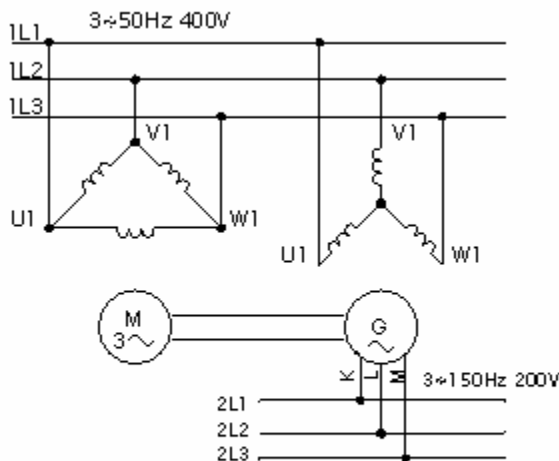
obrázok 11. Inštruktívna schéma zapojenia jednofázového asynchrónneho motorčeka
H - hlavná fáza, P - pomocná fáza,
C₁ - rozbehový kondenzátor,
C₂ - odrušovací kondenzátor,
V - odstredivý vypínač, K - rozpínací kontakt



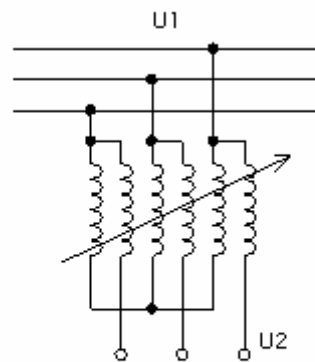
obrázok 12. Osvedčené spôsoby pripájania asynchrónnych motorov na sieť s napätím 230V, 50 Hz.

1.1.4. Špeciálne asynchrónne stroje

Asynchrónny menič frekvencie sa skladá z trojfázového motora s kotvou nakrátko a stroja s krúžkovou kotvou. Statorové vinutia oboch strojov sú pripojené na vstupnú sieť. Výstupná sieť je napájaná z kief na krúžkoch krúžkového rotora obr. 13. Trojfázový prúd vytvára v statore krúžkového generátora točivé magnetické pole. Toto točivé pole indukuje vo vnútri rotora napätie, ktoré je potom odoberané z krúžkov. Pokiaľ sa rotor neotáča, pôsobí generátor ako transformátor a výstupná frekvencia je rovnaká ako vstupná. Pokiaľ otáča hnací motor krúžkovú kotvu proti smeru točivého poľa statora, sú prúdové zmeny v kotve urýchlenné a frekvencia výstupného prúdu kotvy bude vyššia než vstupná. Pokiaľ otáča hnací motor krúžkovú kotvu v smere točivého poľa statora, je výstupná frekvencia menšia. V závislosti na počte otáčok hnacieho motora a počtu pólov krúžkovej kotvy možno dosiahnuť frekvenciu až do 500 Hz. Asynchrónne meniče frekvencie sú používané napr. ako generátory vyššej frekvencie k napájaniu vysokoobrátkových indukčných motorov (napr. motorov na 180 Hz) pre textilne drevoobrábacie a kovoobrábacie stroje.



obrázok 13. Indukčný menič frekvencie



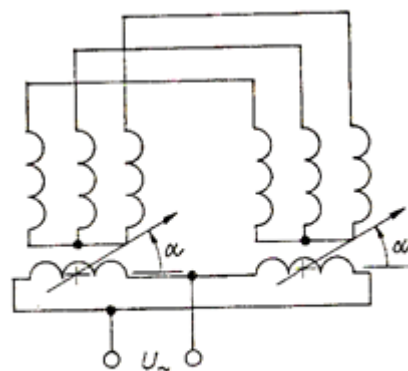
obrázok 14. Natáčavý transformátor na reguláciu napätia

siete U_1 . Toto indukované napätie U_r závisí od pootočenia

rotora proti statoru (rotor sa neotáča). Pootáčaním rotora proti statoru môžeme dosiahnuť to, že napätie na statore U_2 sa pohybuje v rozpätíach $U_{\min} = U_1 - U_r$ a $U_{\max} = U_1 + U_r$

Riaditeľný transformátor napätia sa používa na plynulú reguláciu napätia pri elektrických peciach, v rozhlasových a televíznych vysielачoch atď.

Selsyn je zariadenie, ktoré umožňuje prenášať polohu na vzdialenosť ako hriadeľ, ale po drôte pomocou elektrickej energie). Princíp činnosti je na obr.15. Sú to vlastne dva trojfázové motory s dvojpólovým budiacim vinutím rotora. Rotory a statory sú vzájomne spojené. Ak sú rotory v rovnakej polohe, indukujú sa vo vinutiach statorev rovnaké napätia: pôsobia proti sebe, odpočítajú sa a spojovacím vedením neprechádza žiadny prúd. Ak jedným rotorom pootočíme, rovnováha napätí sa poruší a prúdy prechádzajúce spojovacími vodičmi medzi statormi pootočia



obrázok 15. Selsyn

aj druhý rotor do rovnakej polohy. Selsyny sa používajú tam, kde nemožno použiť pevný hriadeľ, napr. na diaľkové natáčanie antény, v ovládacej technike (kormidlá veľkých lodí) a pod.

1.2. SYNCHRÓNNE STROJE

Podľa účelu sa synchrónne stroje rozdeľujú na

- **alternátory**, t. j. synchrónne generátory, ktoré sa používajú v energetike na výrobu striedavého elektrického prúdu. Turboalternátory sú poháňané parou alebo plynovou turbínou a hydroalternátory vodnou turbínou;
- **synchrónne motory**, t. j. stroje na premenu elektrickej energie na mechanickú energiu pri stálych synchrónnych otáčkach;
- **synchrónne kompenzátory**, ktoré pracujú ako nezaťažené motory a podľa nastaveného budenia dávajú do siete len jalový výkon, používajú sa na riadenie napätia a účinníka v elektrizačnej sústave;

Výhoda synchrónnych strojov (synchrónne generátory, synchrónne motory a synchrónne kompenzátory) je v tom, že frekvencia ich svorkového napätia je priamo úmerná otáčkam podľa vzťahu:

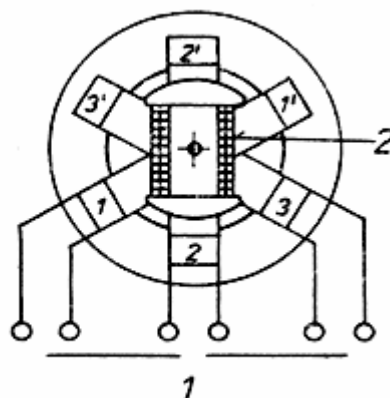
$$f = \frac{p \cdot n_s}{60} \text{ (Hz, -, min}^{-1}\text{)}$$

Synchrónne stroje nemajú sklz a ich rotor sa otáča súčasne s otáčavým magnetickým poľom statora synchrónnymi otáčkami n_s . Preto sa tieto stroje nazývajú synchrónne.

1.2.1. Synchrónne alternátory

Alternátor sa skladá zo statora s pevnými satorovými cievkami, v jeho dutine sa otáča konštantnými otáčkami rotor. Rotorové cievky sú napájané z jednosmerného zdroja - budiča. Napájanie rotorových cievok nazývame budením generátora. Nastáva tu prípad elektromagnetickej indukcie, pričom vinutie je nehybné a magnetické pole sa pohybuje.

Podľa indukčného zákona sa v satorových vinutiach indukuje napätie. Ak sú tri vhodné rozmiestnené satorové vinutia, pretínané magnetickým poľom, ktoré vyvoláva rotor, indukujú sa v statore tri napätia (trojfázová sústava) ktorých frekvencia je daná otáčkami rotora a počtom pólov statora. Ak má stator a rotor viac pólov ako dva, dosiahneme rovnakú



obrázok 16. Princíp činnosti asynchrónneho generátora

frekvenciu pri menších otáčkach. Veľké alternátory vyrábajú striedavý prúd so združeným napätím až 25 kV a pracujú s veľkou účinnosťou až 98 %.

Podľa usporiadania rotora poznáme synchrónne stroje:

- **s vyjadrenými pólmi**, ktoré majú rotor zložený z rotorového kolesa, na ktorom je upevnený určitý počet pólov s vlastnými budiacimi cievkami,
- **s hladkým rotorom**, ktorý tvorí pevný valec, na povrchu pozdĺžne drážkovaný.

V hlbokých drážkach rotora je umiestnené sústredené budiace vinutie, napájané jednosmerným prúdom.

Alternátory s vyjadrenými pólmi

Najväčšiu skupinu synchrónnych strojov s vyjadrenými pólmi tvoria hydroalternátory. Podľa uloženia hriadeľa sú hydroalternátory s vodorovným hriadeľom, ktorý je poháňaný Peltonovou turbínou alebo Francisovou a Kaplanovou turbínou so zvislým hriadeľom so závesným alebo podperným uložením.

Agregát má otáčky $68,2 \text{ min}^{-1}$, čo je dané konštrukciou hydroalternátora, ktorého rotor je 88-pólový.

Turboalternátory s hladkým rotorom

Väčšina elektrickej energie sa vyrába v turboalternátoroch priamo spojených s parnými alebo plynovými turbínami, ktoré pracujú pri otáčkach 3000 min^{-1} . Preto nemožno použiť alternátory s vyjadrenými pólmi, lebo by sa vzhľadom na značné namáhanie rotora odstredivými silami mohli poškodiť.

Turboalternátory s hladkým rotorom majú rotorové budiace vinutie uložené v hlbokých drážkach. Rotorové drážky sú uzatvorené presne lícovanými kovovými nemagnetickými klinmi a cez čelá budiaceho vinutia sú natiiahnuté bandážovacie kruhy z nemagnetických ocelí, takže rotor má tvar hladkého valca.

1.2.2. Synchrónne motory

Konštrukcia synchrónnych motorov je v podstate rovnaká ako pri synchrónnych alternátoroch. Do 1500 min^{-1} sa motory stavajú s vyjadrenými pólmi nad 1500 min^{-1} do 3000 min^{-1} sa konštruujú ako turbomotory s hladkým rotorom. Synchrónne motory majú stále otáčky, samé sa však nerozbehnú. Na vznik magnetického poľa je potrebný budič. Nezaťažuje elektrickú sieť jalovým prúdom, ale naopak v prebudenom stave ho možno dodávať do siete. Má väčšiu prevádzkovú účinnosť ako indukčný motor s rovnakým výkonom a nie je citlivý na kolísanie napätia v sieti.

Nevýhodou týchto motorov je zložitý spúšťacie zariadenie a malý záberový moment. Synchrónne motory potrebujú k rozbehu rozbehový systém.

Synchrónny motor je vlastne synchrónny generátor, ktorého statorové vinutie pripojíme na trojfázovú sieť. V dutine statora vznikne otáčavé magnetické pole, ktoré ovplyvňuje polohu rotora budeného jednosmerným elektrickým prúdom. Rotor sa sám neroztočí (veľká zotrvačnosť), preto ho musíme roztočiť pomocným zariadením. Keď otáčky rotora sú zhodné s otáčkami otáčavého poľa, môžeme motor pripojiť na sieť, kedy je vo vhodnom okamihu vtiahnutý do synchronizmu a otáča sa ďalej aj, keď rozťáčací motor odpojíme. Motor beží synchrónne s točivým poľom statora. Pri rastúcom zaťažení motora narastá vzdialenosť pootočenia medzi pólmi kotvy a protipólmi statora. Póly rotora tak zaostávajú späť o uhol záťaže, za pólmi točiveho poľa.



obrázok 17. $\frac{3}{4}$ pri plnom napätí
 $\frac{3}{4}$ pri polovičnom napätí

Točivý moment je tým väčší, čím väčší je uhol záťaže. Uprostred medzi dvoma susednými pólmi (kladným a záporným) statora pôsobí na póly rotora najväčšia sila, kedy predbiehajúci pól statora ťahá a nasledujúci tlačí. U dvojpolového motora je teda optimálny uhol záťaže 90° . Pri ďalšom narástane uhlu záťaže točivý moment opäť klesá.

Moment zvratu nastane v polovici uhlu medzi susednými pólmi, t.j. pri uhlu záťaže 90° u dvojpolového motora. Synchronne motory väčšinou majú moment zvratu (maximálny moment) dvojnásobný než menovitý moment. Pri prekročení momentu zvratu sa preruší spojenie medzi točivým polom a kotvou. Kotva vypadne zo synchronizmu a zastaví sa.

Ak je synchronny motor napájaný väčším, než menovitým prúdom hovoríme o prebudenom stave. Motor pôsobí súčasne ako generátor a dodáva do siete induktívny jalový výkon. Synchronne motory môžu byť používané ako **kompenzátory fázového posunu**. V prebudenom režime môžu byť použité ku kompenzácii jalového prúdu ako kompenzačné kondenzátory. V nevybudenom (pri málo vybudenom rotore) režime odoberajú synchronne motory induktívny jalový výkon zo siete. Použitie synchronných motorov je najvýhodnejšie pri pohonoch, ktoré nevyžadujú veľký záberový moment, sú zaťažované rovnomerne bez nárazov a nevyžadujú časté nastavovanie a spúšťanie. Veľmi výhodné sú prevádzky, ktoré nevyžadujú riadenie otáčok a reverzáciu pohonov. Synchronne motory sa prednostne používajú na pohony veľkých motorgenerátorov, guľových mlynov v elektrárňach a cementárňach, vodných čerpadiel, ventilátorov, gumárenských kalandrov, dýchadiel pre vysoké pece a v oceliarnach, veľkých valcovacích stolíc v hutných závodoch, točivých a piestových kompresorov, lodných skrutiek a pod.

1.3. STRIEDAVÉ KOMUTÁTOROVÉ MOTORY

Niektoré druhy pohonov vyžadujú plynulé riadenie otáčok vo veľkom rozsahu, napr. pohony obrábacích, textilných, papierenských, trakčných strojov ale aj menších spotrebičov. Týmto požiadavkám nevyhovujú asynchronne motory; v obmedzenom rozsahu môžeme použiť len krúžkové motory.

Požadovanú riaditeľnosť otáčok majú len komutátorové motory, ktoré v sebe spájajú výhodnú riaditeľnosť jednosmerných motorov s možnosťou priameho pripojenia na striedavú sieť.

Podľa počtu fáz rozdeľujeme komutátorové motory na jednofázové a trojfázové :

- **univerzálny motorček** sa používa na pohon menších spotrebičov; možno ho pripojiť na jednosmerné a striedavé napätie,
- **jednofázový komutátorový sériový motor** sa používa v trakčných pohonoch;
- **repulzný motor**, ktorého otáčky možno riadiť natáčaním kief; tieto motory sa používajú pri výťahoch, žeriavoch, malých ťažných zariadeniach, ventilátoroch, pumpách,
- **komutátorový derivačný motor napájaný do statora**,
- **komutátorový derivačný motor napájaný do rotora**,
- **žeriavový motor** sa používa ako zdvihač motor pri žeriavoch zapojených v sieťach, kde nemožno dovoliť nesúmerné zaťaženie jednofázovým motorom a ako riaditeľný motor.

Konstruktúra komutátorových strojov.

Stator tvorí póly s plným ocelovým prstencovým jadrom a pólovými nástavcami. Jadrá cievok sú z elektroplechov na ktorých sú cievky statorových vinutí.

V strojoch s výkonom nad 1 kW sú medzi hlavnými pólmi statora, umiestnené ešte pomocné (komutačné) póly, tvorené cievkami na jadrách z plechov, alebo plnej oceli. Na pólových nástavcoch hlavných pólov môžu byť ešte **kompenzačné vinutia**.

Stator môže byť zhotovený aj bez vyjadrených pólov. Je vytvorený zväzkom statorových plechov s drážkami pre vinutie, tak ako statory trojfázových motorov. V drážkach je uložené budiace vinutie a vinutie pomocných komutačných pólov.

Kotva (rotor) sa skladá z oceľového hriadeľa a zväzkov rotorových plechov nalisovaných na hriadeľ. V drážkach zväzku rotorových plechov je vinutie napojené na komutátor umiestnený taktiež na hriadeľi stroja.

Komutátor je valec, ktorého plášť je tvorený lamelami z tvrdej medenej liatiny, oddelenými od seba sľudou. K lamelám sú priletované vývody rotorových vinutí. Na statore je nosič kief s čapmi na ktorých sú otočne upevnené držiaky uhlíkových kief. Uhlíkové kiefy sú pritláčané k povrchu komutátora tak, aby po lamelách kĺzali pri otáčaní rotora.

1.3.1. Jednofázový sériový komutátorový motor

Pri pripojení komutátorového motora so sériovým buđením na striedavé napätie sa mení súčasne smer magnetického toku v budiacom vinutí i vo vinutí kotvy, takže má točivý moment stále rovnaký smer. Motor so sériovým buđením je teda použiteľný ako jednosmerný motor a tiež ako striedavý motor. Veľký počet závitov budiaceho vinutia predstavuje veľkú indukčivnú reaktanciu. Budiaci prúd je potom malý a fázovo oneskorený za prúdom kotvy.

Univerzálne motory sú konštruované pre prevažujúcu striedavú prevádzku. Mávajú väčšinou výkon do 1,5 kW a používajú sa v ručnom elektrotechnickom náradí (vítačky, brúsky), kuchynských strojoch (mixéry, mlynčeky) a v domácich strojoch (vysávač, sekačka trávy).

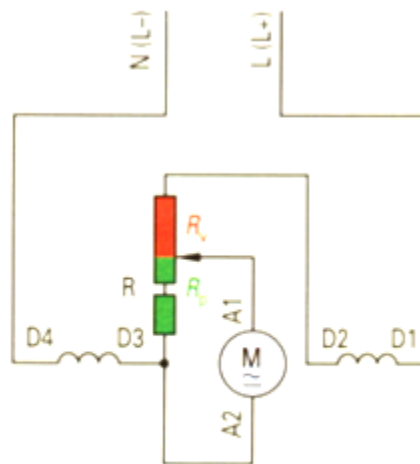
Prevádzkové vlastnosti (charakteristiky) univerzálneho motora sú podobné vlastnostiam sériovo buďeného jednosmerného motora. Otáčky motora nezávisia na frekvencii napájacieho napätia a bývajú až 30 000/min. Univerzálne motory majú vzhľadom k veľkosti veľký točivý moment a veľký výkon. Ich otáčky sú veľmi závislé na zaťažení.

Riadenie otáčok je závislé od napätia na motore rovnako ako u jednosmerných motorov. Jednoducho sa dajú otáčky riadiť predradným odporom R_v , alebo jemnejšie pomocou Barkhausenovho zapojenia s premenným deličom napätia pre kotvu obr.18.

Prúd, tečúci pri behu naprázdno paralelným odporom, zosiluje indukciu budiaceho poľa, tým obmedzuje otáčky a zabraňuje pretočeniu. U malých motorov sa môže meniť aj pripojenie rôznych počtov závitov budiaceho vinutia. Oslabením budiaceho poľa je možné zvýšiť otáčky. Dnes sa však uplatňuje hlavne elektronická regulácia napätia pre kotvu fázovým spínaním tranzistorov, tyristorov alebo triakov.

Odrúšenie motora. Na kontaktoch tvorených lamelami komutátora a kefách vzniká iskrenie, ktoré je zdrojom rušivého elektromagnetického vlnenia, ktoré ruší príjem rozhlasu a televízie. Preto sa ku kefám univerzálnych motorov vhodne pripojené odrúšovacie kondenzátory.

Jednofázové sériové komutátorové motory možno používať aj pre väčšie výkony, napr. ako trakčné motory. Výhodnejšie však sú lokomotívy s polovodičovými usmerňovačmi a jednosmernými motormi.



obrázok 18. Barkhausenové zapojenie

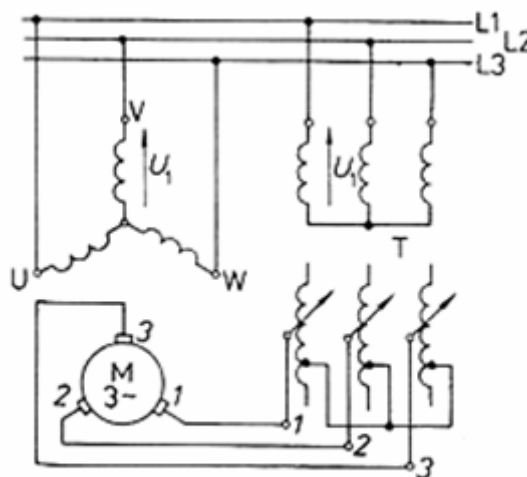
1.3.2. Trojfázové komutátorové motory

Pre menšie výkony sa používajú trojfázové sériové komutátorové motory, ako zdvíhacie motory pri žeriavoch a riaditeľné motory. Motory s výkonom nad 100 kW s možnosťou napájania vysokým napätím sú:

1.3.2.1. Derivačné trojfázové komutátorové motory napájané do statora

(Winterove - Eichbergove), podľa ich vynálezcov obr.19.

Statorové trojfázové vinutie je pripojené priamo na sieť, rotor je jednosmerný a na komutátore má pre každú pólovú dvojicu tri sady kief, pootočených o $120^\circ/\text{p}$. Paralelne je na tú istú sieť pripojené primárne vinutie riadiateľného transformátora, ktorého sekundárne vinutie je cez zberné kladky transformátora pripojené na kefy komutátora. Posúvaním dvoch sád kladiek sa dosiahne zmena veľkosti a fázy riadiaceho napätia. Zmenou veľkosti riadiaceho napätia rovnakej fázy statora môžeme otáčky motora plynulo znižovať až na nulu. Toto riadenie nemá straty, lebo prebytok výkonu otáčavého poľa sa neznehodnocuje v rezistoroch, ale sa vracia do siete cez komutátor a riadiaci transformátor.



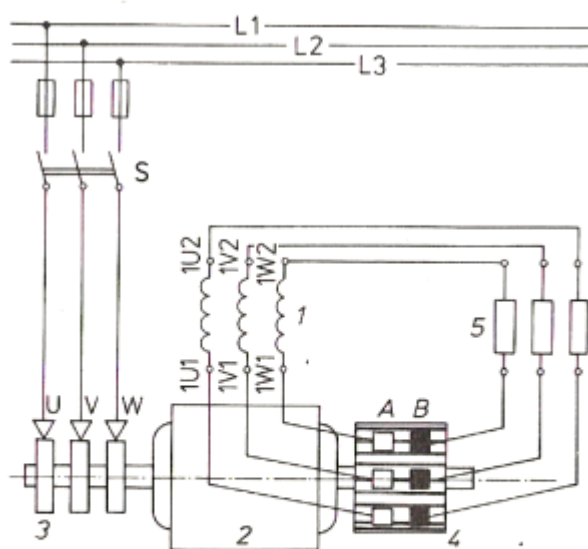
obrázok 19. Zapojenie trojfázového derivačného komutátorového motora napájaného do statora

1.3.2.2. Trojfázové derivačné komutátorové motory napájané do rotora.

Vynálezcom tohto motora je nórsky inžinier H. K. Schrage. Používa sa najčastejšie do výkonu 100 kW, obr.20. Motor pracuje podobne ako trojfázový derivačný komutátorový motor napájaný do statora, len stator a rotor si vymenili svoje funkcie.

Stator má v drážkach rozložené trojfázové sekundárne vinutie, ktoré je pripojené na tri sady kief, pootočených o $120^\circ/\text{p}$. Dvojice kief sú usporiadané tak, že ich môžeme natáčať proti sebe v oboch smeroch.

Rotor má vo svojich drážkach dvojité vinutie. Spodné vinutie rovnaké ako trojfázové vinutie rotora krúžkového motora a je vyvedené tri krúžky, cez ktoré je pripojené na trojfázovú sieť. Vrchné vinutie je rovnaké ako pri jednosmernom stroji a je pripojené na komutátor, na ktorom sú dve sady kief. Jednosmerné riadiace vinutie zastupuje funkciu riadiaceho transformátora, pretože



obrázok 20. Zapojenie trojfázového derivačného komutátorového motora napájaného do rotora

1 - statorové vinutie, 2 - motor s dvojitým vinutím, 3 - krúžky, 4 - komutátor, 5 - rezistory, A,B - dva rady kief

jeho napätím sa napája sekundárne vinutie motora, ktoré je rozložené na statore. Ak kefy jednej a druhej sady stoja na tých istých lamelách komutátora, sekundárne vinutie na statore je spojené nakrátko a stroj pracuje ako asynchrónny motor, pričom otáčavé pole vyvodzuje rotorové vinutie a sekundárny obvod tvorí satorové vinutie.

Ak natočíme proti sebe obidve súpravy kief, privedieme do satorového vinutia riadiace napätie a podľa zmyslu vzájomného natočenia obidvoch sád kief dostaneme podsynchronný alebo nadsynchronný chod motora.

Schragov motor sa spravidla spúšťa priamym pripojením na sieť striedavého napätia pri polohe kief nastavených na najmenšie otáčky. Pri väčších výkonoch alebo ťažkom rozbehu používame spúšťačie rezistory, ktoré sa po rozbehu vyradia z prevádzky špeciálnym stykačom.

1.4. JEDNOSMERNÉ STROJE

Rozdelenie: Každý jednosmerný stroj môže pracovať ako generátor – dynamo na výrobu jednosmerného prúdu alebo ako motor, ak sa napája jednosmerným prúdom.

Jednosmerné stroje môžu mať budenie:

- cudzie, ktoré je napájané z cudzieho zdroja, (akumulátorová batéria, budiace dynamo),
- derivačné, ktoré je paralelne pripojené na rotor (kotvu),
- sériové, zapojené do série s rotorom,
- zmiešané (kompaundné), ktoré je čiastočne pripojené paralelne na rotor a čiastočne je s rotorom v sérii.

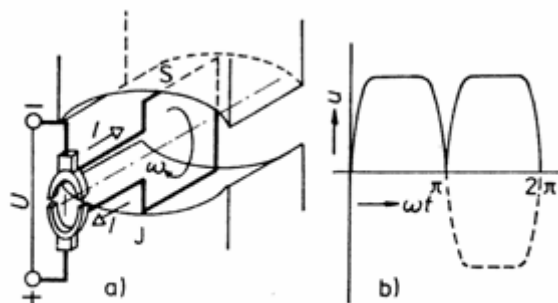
Vlastnosti jednosmerných strojov

Pri otáčaní závit v magnetickom poli, indukuje sa v ňom striedavé napätie. Toto napätie môžeme usmerniť elektronicky alebo mechanicky. Mechanické usmernenie sa robí tak, že zabezpečíme, aby kefy ktoré zbierajú napätie závit, striedali konce závit. Znamená to, že kefa, na ktorej chceme mať kladný pól jednosmerného napätia, bude polovicu periódy pripojená na jeden koniec závit a druhú polovicu periódy na druhý koniec závit. Prepínač, ktorý toto prepínanie zabezpečuje, nazývame komutátor, obr. 21.

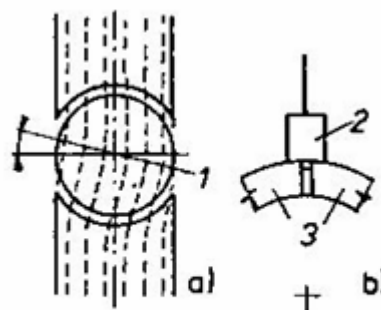
Konce závitov sú vyvedené na dve polkruhové, vzájomne izolované lamely. Ak sa pootočí závit tak, že sa v ňom začne indukovať indukované napätie opačného zmyslu, pootočia sa súčasne lamely tak, že toto opačné napätie sa bude dodávať do vonkajšieho obvodu z opačnej kefy. Pribeh indukovaného napätia je na obr. 21b.

Je to teda jednosmerné napätie pulzujúce, ktoré nie je vhodné, pretože príliš kolíše. Pre plynulejší priebeh napätia je potrebné, umiestniť na rotor väčší počet cievok. Ich napätia budú vzájomne posunuté a ich súčtom (pri sériovom zapojení cievok) získame napätie, ktoré je ešte zvlnené, ale tým menej kolísavé, čím viac cievok bude umiestnených na rotore.

Problém jednosmerných strojov je vo vzduchovej medzere rotora. Ak zaťažíme dynamo, skladajú sa



obrázok 21. Princíp činnosti jednosmerného generátora



obrázok 22. Reakcia kotvy jednosmerného stroja, 1 - neutrálna os, 2 - kefa, 3 - lamela

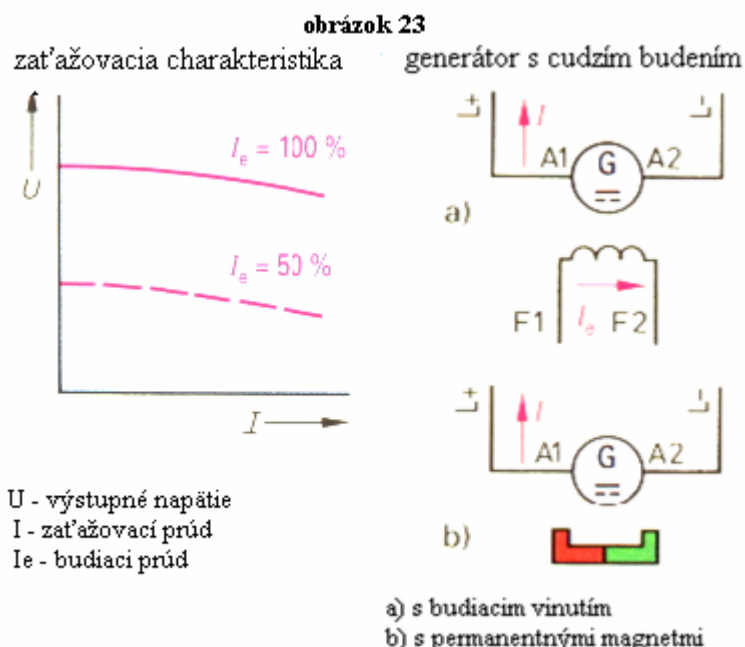
spolu vo vzduchovej medzere medzi statorom a rotorom dva magnetické toky: magnetický tok pólových nástavcov statora a naň kolmý magnetický tok budený prúdom rotora. Výsledný tok je zdeformovaný obr. 22. V okamihu, keď kefa prechádza z jednej lamely na druhú, spája jednu cievku do skratu. Ak by táto cievka mala napätie, bude kefa neustále iskriť. Celá sústava kief sa teda musí pootočiť tak, aby kiefy skratovali tie cievky, v ktorých sa žiadne napätie neindukuje. Musia sa pootočiť do neutrálnej osi. Neutrálna os sa neustále mení podľa zaťaženia rotora prúdom. Tento problém odstránime zavedením na stator kolmo na hlavné póly ešte slabšie kompenzačné póly, čím sa automaticky potláča reakcia rotora a neutrálna os zostáva stále v rovnakej polohe.

1.4.1. Jednosmerné generátory – dynamá

Podľa spôsobu zapojenia medzi budiacim vinutím statora a vinutím rotora rozoznávame rôzne typy jednosmerných generátorov.

1.4.1.1. Generátor s cudzím budením

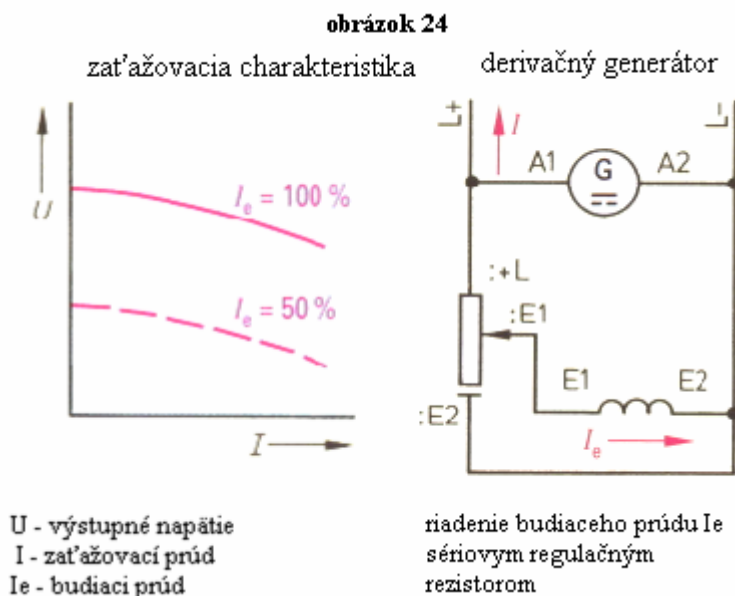
Budiace vinutie generátora s cudzím budením nie je prepojené s vinutím rotora (kotvy) obr.23. Budiaci prúd je dodávaný z cudzieho zdroja, napr. zo sieťového zdroja s usmerňovačom. Pri zaťažení klesá vyrábané napätie oproti napätiu naprázdno vplyvom odporu vinutia rotora. Generátor s cudzím budením sa používa napr. v Leonardovej skupine pre budenie rotora jednosmerného motora, jeho otáčky možno regulovať vo veľkom rozsahu. Stator motora a dynamo sú budené spoločným budičom. Budič a dynamo sú na spoločnom hriadeli a sú poháňané väčšinou asynchrónnym trojfázovým motorom.



1.4.1.2. Derivačný generátor

Derivačný generátor má budiace vinutie pripojené paralelne k vinutiu rotora obr.24.

Pri rozbehu derivačného generátora sa v rotore indukuje malé napätie, spôsobené zvyškovým magnetizmom statora. Pri správnom pripojení budiaceho vinutia preteká najskôr malý budiaci prúd, ktorý zosilní indukciu magnetického poľa a tá spôsobí zväčšenie indukovaného napätia. Dynamo sa samo nabudí.



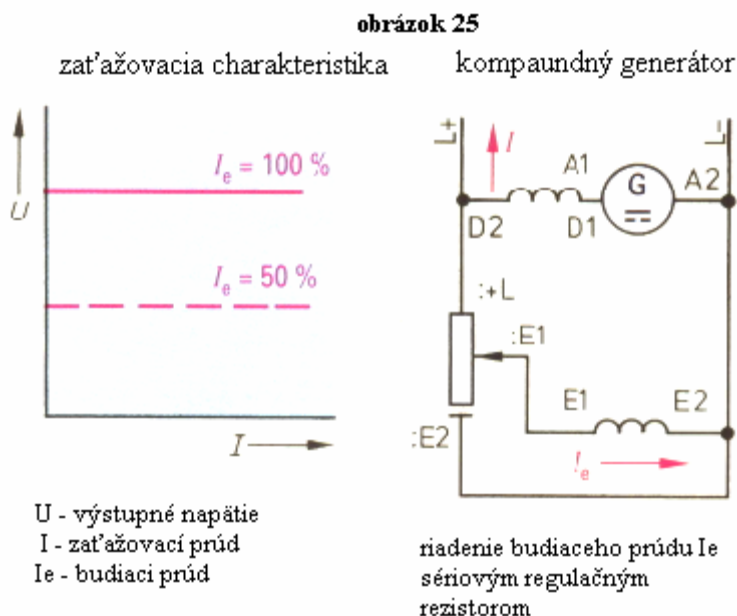
Pri obrátenom pripojení budiaceho vinutia zoslabí budiaci prúd zbytkové magnetické pole a dynamo sa nenabudí. Svorkové napätie derivačného generátora s rastúcou záťažou klesá ešte viac, ako u generátora s cudzím budením. Malý úbytok napätia na vinutí rotora spôsobí zmenšenie napätia na budiacom vinutí a následne zmenšenie budiaceho prúdu.

1.4.1.3. Kompaundný generátor

Kompaundný generátor ma dve budiace vinutia nasadené na póloch statora obr.25. Jedno budiace vinutie je zapojené ako derivačné (paralelne k vinutiu rotora) a druhé budiace vinutie je zapojené sériové k vinutiu rotora. Regulačný odpor je v paralelnej vetve zapojený sériové s derivačným paralelným vinutím.

Sériové budiace vinutie je zapojené väčšinou tak, že s rastúcou záťažou svojim zosilňujúcim magnetickým poľom zosilní magnetické pole paralelného vinutia. Sériové budiace vinutie spôsobí pri narastajúcej prúdovej záťaži, narast svorkového napätia, na rozdiel od správania sa derivačného generátora. Sériové vinutie kompenzuje pokles napätia paralelného vinutia pri naraste záťaženia. Ak klesá so záťažou napätie, je generátor podkompenzovaný, ak narastá so záťažou napätie, je prekompenzovaný.

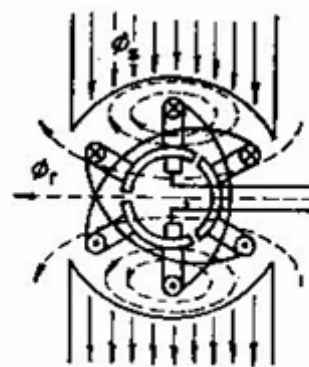
Kompaundné generátory sa používajú tam, kde sa ráta s veľkým kolísaním záťaženia napr. v hutiach, valcovniach a pod.



1.4.2. Jednosmerné motory

Princíp činnosti: Jednosmerné stroje majú nezávisle na svojom použití ako generátor, alebo ako motor rovnakú konštrukciu.

Jednosmerné motory majú veľký záberový moment a umožňujú stupňovité riadenie otáčok. Ich otáčky môžu byť omnoho väčšie ako otáčky točiveho magnetického poľa motora. Ak do rotora jednosmerného stroja privádzame jednosmerný prúd, vzniká vzájomným pôsobením magnetického poľa statora a rotora moment, ktorý pootočí rotor tak, aby vodiče prešli z najsilnejšieho magnetického poľa do najslabšieho. Vinutie rotora má napr. tri cievky, ktoré sú pripojené na tri lamely komutátora obr.26. Cievka, ktorou preteká prúd, pootočí rotorom o 120°. Tým komutátor prepojí prúd do ďalšej cievky. Dej sa tak neustále opakuje a rotor sa točí. V otáčajúcom sa rotore indukuje sa napätie ktoré pôsobí proti napájaciemu napätiu. Existujú však určité otáčky motora, ktoré pri danom napájacom napätí nemožno prekročiť, lebo pri ich dosiahnutí sa indukované napätie rovná vnútenému napätiu a vinutím rotora prestane pretekať prúd. Tieto



obrázok 26. Princíp jednosmerného motora

otáčky nazývajú rovnovážne otáčky. Ak by sme elektromotor umelo roztočili rýchlejšie, bude indukované napätie vyššie a motor bude pracovať ako dynamo.

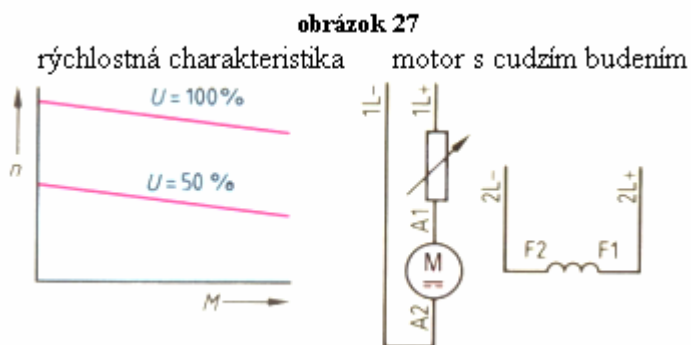
1.4.2.1. Motor s cudzím buđením

Budiace vinutie motora s cudzím buđením nie je prepojené s obvodom rotora a napájané vonkajším zdrojom jednosmerného napätia obr. 27. Pri rozbehu a pri znižovaní otáčok je znižované napätie na kotve, napr. pomocou spúšťacieho odporu.

Na zvýšenie otáčok (pomocou satorového vinutia) nad menovité otáčky je možné použiť regulačný odpor v obvode budiaceho vinutia, ktorým je možno znížiť budiaci prúd a tým indukciu magnetického poľa.

Cudzíe buzenie je (na rozdiel od budenia ostatných typov jednosmerných motorov) nezávislé na napätí na kotve motora a zostáva tak nezmenené i pri poklese napätia na kotve. Otáčky motora sú v porovnaní s derivačným motorom ešte stabilnejšie pri kolísaní záťaže.

Motory s cudzím buđením sa používajú všade tam, kde sa vyžaduje plynulé a hospodárne riadenie otáčok v širokých medziach, alebo kde sa požaduje dodržiavanie nastavených otáčok pri veľmi kolísajúcom zaťažení strojového zariadenia.



1.4.2.2. Derivačný motor

Derivačný motor je jednosmerný motor s budiacim vinutím zapojeným paralelne k vinutiu rotora – kotvy obr. 28.

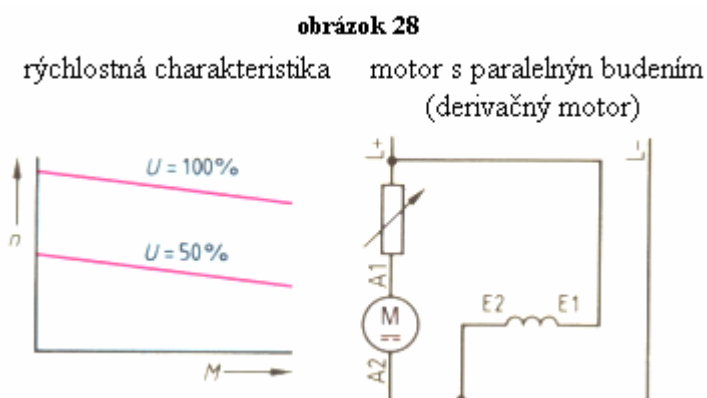
Otáčky derivačného motora možno regulovať spúšťacím odporom a odporom nastavovania budiaceho prúdu.

Pri behu naprázdno a pri zaťažení sa chová derivačný motor ako motor s cudzím buđením. Ma rovnakú zaťažovaciu charakteristiku.

Motory, ktoré sa pri behu naprázdno nepretočia a pri rastúcom zaťažení majú len malý pokles otáčok, nazývame motory s **chovaním derivačných motorov**. Otáčky derivačného motora nemožno riadiť napätím na rotore ako u motora s cudzím buđením.

Pri prevádzke derivačných motorov a motorov s cudzím buđením je potrebné zaistiť, aby nedošlo k odpojeniu budenia, pretože by sa kotva mohla v slabom magnetickom poli zbytkového magnetizmu roztočiť do značne vysokých otáčok.

Derivačný motor sa môže pri prerušení budiaceho obvodu pretočiť. Derivačný motor sa používa na pohon obrábacích strojov, valcových stolíc, lokomotívnych točníc a pod.



1.4.2.3. Motor so sériovým buđením

Budiace vinutie motora so sériovým buđením je zapojené v sérii s vinutím rotora – kotvy obr. 29.

Na rozbeh a na reguláciu otáčok sa používa predradený spúšťač rezistor. Celkový prúd kotvy preteká i budiacim vinutím a je teda rovnako veľký.

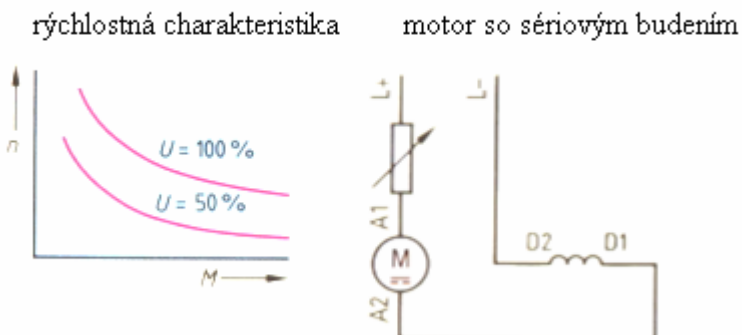
Motory so sériovým buđením majú zo všetkých jednosmerných motorov najväčší záberový moment.

Pri rozbehu bez zaťaženia postupne klesá prúd a slabnutie budiaceho poľa podporuje ďalší nárast otáčok.

Motory so sériovým buđením sa pri behu naprázdno pretočia. Proti prebehnutiu sa chránia odstredivým vypínačom, alebo ochranným relé. Pri narastaní záťaže motora so sériovým buđením, narastá prúd spoločne v kotve a budiacom vinutí, klesajú otáčky a narastá točivý moment. Otáčky motora so sériovým buđením sú veľmi závislé od zaťaženia.

Sériový motor sa používa pre elektrické trakčné vozidlá, na pohon žeriavového mostu a mačky. Nehodí sa pre obrábacie stroje, ktoré často bežia naprázdno.

obrázok 29



1.4.2.4. Kompaundný motor

Kompaundný motor je jednosmerný motor so sérioparalelným buđením.

Na póloch statora kompaundného motora je navinuté sériové a paralelné budiace vinutie, podobne ako u kompaundného generátora.

Otáčky kompaundného motora možno nastavovať odporovým spúšťačom a odporovým regulátorom budiaceho prúdu obr.30.

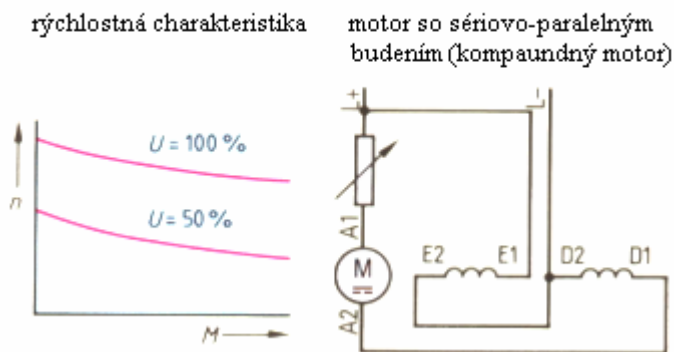
V kompenzovanom (vyváženom) kompaundnom motore, je sériové budiace vinutie zapojené tak, že jeho magnetické pole má rovnaký smer, ako pole paralelného vinutia. Pri behu naprázdno sa kompaundný motor chová ako derivačný motor.

Pri zaťažení však klesajú otáčky trochu rýchlejšie (obr.2), lebo s rastúcim prúdom kotvy rastie i hlavný magnetický tok.

Ak sa motor roztočí umelo (napr. pri jazde z kopca), mení sa na dynamo a dodáva elektrickú energiu do siete. Tomuto deju hovoríme **rekuperácia**. Rekuperácia má aj brzdiace účinky, lebo časť mechanickej energie rozbehnutého vozidla sa premení na elektrickú energiu.

Kompaundé motory sa používajú tam, kde nestačí malý záberový moment derivačných motorov, napr. u zdvíhacích mechanizmov.

obrázok 30.



1.5. TRANSFORMÁTORY

Väčšinu transformátorov používame na premenu napätia jednofázovej alebo trojfázovej sústavy danej frekvencie na iné napätie s rovnakou frekvenciou. Takto vhodne transformované napätia používame nielen na rozvod elektrickej energie na veľké vzdialenosti, ale aj na napájanie priemyselných objektov, baní, lomov, sídlisk a obcí. Rozdelenie a používanie transformátorov:

- **Blokové transformátory** sa používajú v elektrárnach s príslušným alternátorom ako jednotka.

- **Sieťové alebo spájacie transformátory** slúžia na vyvedenie výkonu z elektrárni do siete rôzneho napätia, alebo na vzájomné spojenie týchto sietí.

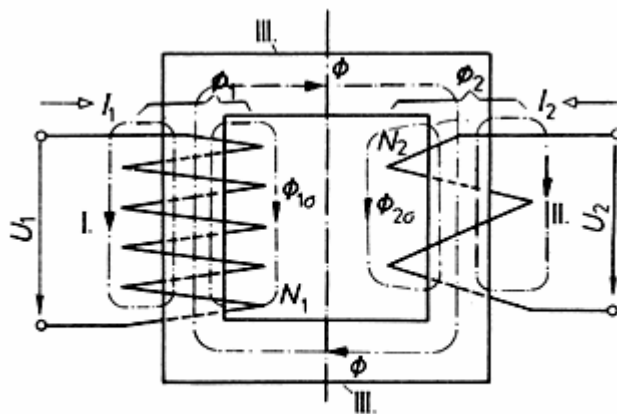
- **Transformátory vlastnej spotreby** slúžia pre zabezpečenie vlastnej spotreby elektrickej energie pre pomocné prevádzky elektrárni

- **Pojazdné transformovne** na zabezpečenie elektrickej energie pre prechodné alebo odľahlé pracoviská.

Na špeciálne účely sa používajú: ohrievacie, pecové, zvaracie, rozmrazovacie, natáčavé, spúšťacie, oddeľovacie, bezpečnostné, usmerňovačové, trakčné, lokomotívne, skúšobné a meracie transformátory.

1.5.1. Jednofázový transformátor

Základnou časťou transformátora je magnetický obvod zložený z elektrotechnických plechov hrúbky $0,35 \div 0,5$ mm. Na železnom jadre sú navinuté dve cievky: primárna – vstupná (I), a sekundárna – výstupná (II) obr. 31. Vinutia sú ukončené na veku transformátorovej nádoby priechodkami NN, VN alebo VVN.



obrázok 31. Základná schéma jednofázového transformátora

Do vstupného (primárneho) vinutia vteká striedavý prúd a tým aj elektrická energia. Táto energia je prostredníctvom striedavého magnetického toku v magnetickom jadre odovzdávaná ďalej. Pretože magnetický tok periodicky mení svoju veľkosť a smer s frekvenciou vstupného prúdu, indukujú sa v sekundárnom vinutí napätie rovnakej frekvencie.

Výstupné napätie transformátora má rovnakú frekvenciu ako vstupné napätie.

Pri návrhu transformátora používame tieto vzťahy:

Pre **okamžité hodnoty napätia** platí :

$$u_1 = N_1 * \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}; \quad u_2 = N_2 * \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}; \quad \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{u_1}{N_1} = \frac{u_2}{N_2}$$

Pre **efektívne hodnoty napätia a prúdu** platí:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}; \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Prevodom transformátora rozumieme pomer svorkových napätí:

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Prevod transformátorov sa uvádza pomerom napätia pri chode naprázdno.
Základné vlastnosti transformátorov zisťujeme z merania naprázdno a nakrátko.

Príkion nameraný pri **chode naprázdno** sa rovná stratám v železe a stratám, ktoré vznikli prechodom prúdu naprázdno vstupným vinutím transformátora.

Príkion zistený pri **meraní nakrátko** sa spotrebuje na krytie strát vo vinutí transformátora a na dodatočné straty, ktoré vznikajú nerovnomerným rozdelením prúdu vo vodičoch väčšieho prierezu a v kovových konštrukciách obklopujúcich vinutie. Podstatné zmenšenie strát v železe dosiahneme použitím orientovaných plechov (valcovaných za studena), ktoré majú špecifické straty len 0,6 až 0,8 W.kg⁻¹.

Pri **meraní nakrátko** zisťujeme **percentuálne napätie nakrátko**, ktoré je dôležitým parametrom transformátora.

Percentuálne napätie nakrátko je dané vzťahom:

$$u_k = \frac{U_k}{U_1} * 100 = \frac{I_1 * Z}{U_1} * 100 \quad (\%, V, V, A, \Omega, V)$$

kde U_k je namerané napätie nakrátko.

Prúd nakrátko určíme podľa vzťahu:

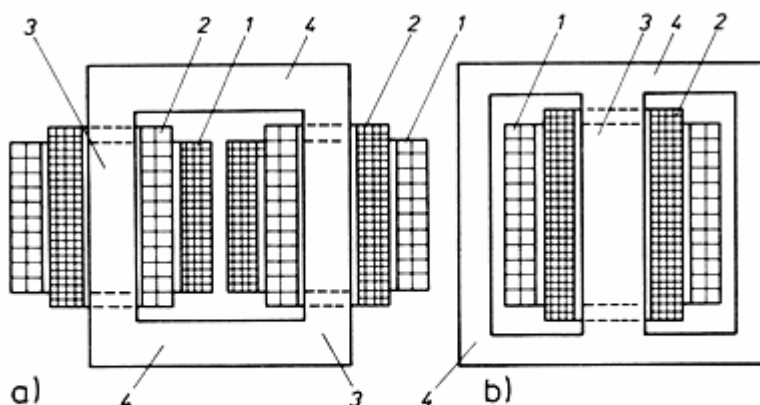
$$I_{1k} = \frac{I_1}{u_k} * 100 \quad (\%, A, V)$$

Napätie nakrátko býva pri transformátoroch do (1600 kVA) 4÷6% a pri väčších transformátoroch až 11%. Čím väčšie je napätie nakrátko, tým menší je prúd nakrátko a tým menšie sú aj straty vo vinutí transformátora, t.j. straty nakrátko. **Celkové straty transformátora** sú dané súčtom strát naprázdno a nakrátko podľa vzťahu:

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_k$$

Jednofázové transformátory sa konštruujú dvoma spôsobmi, ako je uvedené na obr.32 podľa konštrukcie magnetického obvodu a spôsobu vinutia sú to jadrové alebo plášťové transformátory.

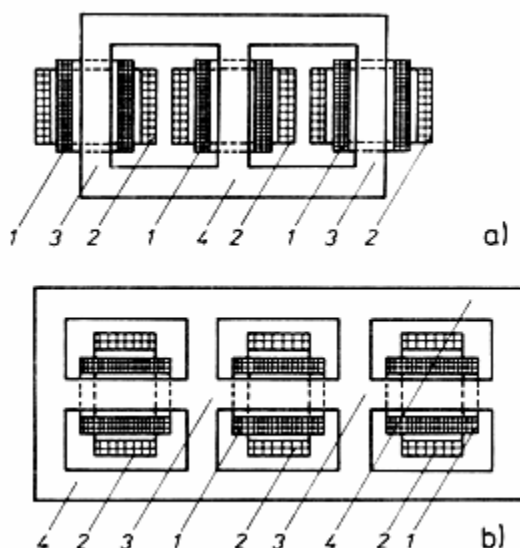
Transformátory s veľkými výkonmi používané v energetických výrobníach, alebo významných elektrických staniciach sa skladajú z veľkých jednofázových jednotiek do trojfázových skupín. Každá skupina je doplnená ovládateľným transformátorom, takže tvorí úplný trojfázový ovládateľný transformátor.



obrázok 32. Usporiadanie magnetického obvodu jednofázových transformátorov
a) jadrových, b) plášťových
1 - cievky nn, 2 - cievky vn, 3 - jadro transformátora, 4 - magnetický obvod

1.5.2. Trojfázový transformátor

Trojfázové striedavé napätie sa dá transformovať troma rovnakými jednofázovými transformátormi, ak sú ich vstupné a výstupné vinutia medzi sebou prepojené do trojuholníka alebo do hviezdy. Preto je účelne použiť jeden trojfázový transformátor so spoločným železným jadrom pre všetky tri vinutia, ktorý sa skladá z troch jadier spojených navzájom dvoma magnetickými spojkami ako ukazuje obr.33.



obrázok 33. Usporiadanie magnetických obvodov trojfázových transformátorov

a) jadrových, b) plášťových,
1 - cievka nn,
2 - cievka vn,
3 - jadro transformátora,
4 - magnetická spojka,

Pri návrhu transformátorov berieme do úvahy vždy to, na ktorom miesta elektrizačnej sústavy budú umiestnené a podľa toho sa navrhne spojenie ich vnútorných vinutí. Charakteristickým údajom o zapojení vinutia trojfázového transformátora je hodinový uhol, ktorý uvádza fázový posun medzi fázovou vstupného výstupného napätia v hodinách, pričom uhol 30° predstavuje jednu hodinu. Uvádza vždy oneskorenie výstupného napätia za vstupným napätím.

Základné vnútorné napojenia transformátorov sú:

- hviezda (Y, y)
- trojuholník (D, d)
- lomená hviezda (Z, z)

Veľkým písmenom sa označuje zapojenie vinutí s vyšším napätím, malým písmenom zapojenie vinutí s nižším napätím. Zapojenie Y sa používa v sieťach v ktorých:

a) zaťaženie stredného vodiča nemôže prekročiť 20 % zaťaženia fázy.

b) stredný vodič nie je vyvedený. Väčšie transformátory potláčajú vplyv nesúmerného zaťaženia pomocným vyrovnávacím vinutím.

Zapojenie sa dá používať pri výkonových transformátorov nad 400 kVA, ak je ich stredný vodič vyvedený a zaťažený (aj plno). Vstupné vinutie trojuholníka pôsobí ako vyrovnávacie a potláča vplyv nesúmerného zaťaženia transformátora.

Zapojenie Y nepotrebuje vyrovnávacie vinutie. Je výhodné pre najväčšie transformátorové jednotky v elektrizačnej sústave.

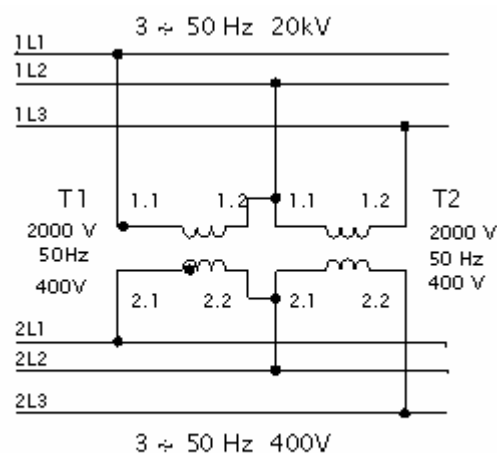
Zapojenie Dy sa používa pri trojfázovej skupine zloženej z troch jednofázových transformátorov. Pri poruche jedného z nich spojíme zvyšujúce dva do V, čím vznikne trojfázová sústava s menším výkonom, ale schopná prevádzky. Zapojenie vinutia v tomto prípade sa označuje V obr. 34.

Zapojenie Y sa používa do výkonu transformátorov 315 kVA, ktoré napájajú sekundárne siete NN s nesúmerným zaťažením stredného vodiča nad 20 % menovitého prúdu.

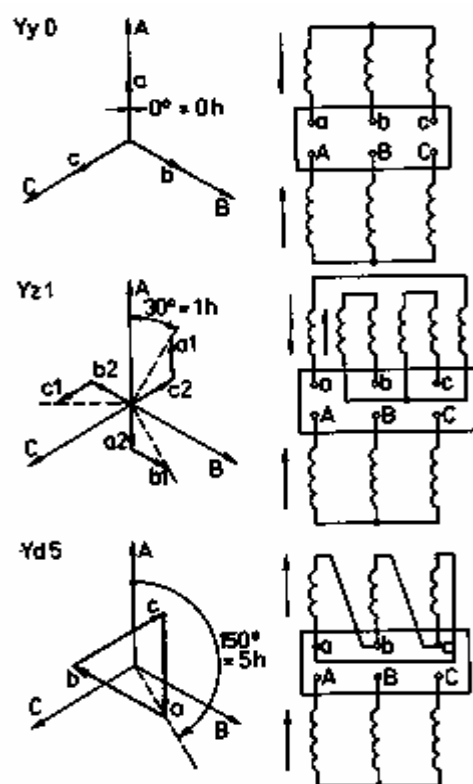
Zapojenie T (Scottove) slúži na premenu dvojfázovej sústavy na trojfázovú a naopak, čo sa využíva na napájanie dvoch jednofázových úsekov elektrickej trakcie z trojfázovej siete alebo na napájanie jednofázových oblúkových pecí.

V energetických zariadeniach sa používa zapojenie Yy0; Yd1; Dy1; Yz1. Iné zapojenia sa v elektrizačnej sústave používajú len tam, kde má paralelne spolupracovať nový a existujúci transformátor.

Výkony trojfázových transformátorov sú značne veľké, pretože výkony turboalternátorov dosahujú hodnoty nad 1000 MVA. Niektoré schémy zapojenia sú na obr. 35.



obrázok 34. Zapojenie transformátora do V



obrázok 35. Základné schémy spojenia transformátorov

1.5.3. Paralelný chod transformátorov

Nestačí výkon jedného transformátora, spájajú sa transformátory paralelne.

V elektrizačnej sústave napája spravidla niekoľko transformátorov paralelne spoločnú sieť.

Podmienky pre paralelnú spoluprácu:

- rovnaké menovité vstupné a výstupné (naprázdno) napätie
- prevody napätia sa nesmú líšiť viac ako o $\pm 0,5 \%$.
- napätie nakrátko musí byť pri všetkých transformátoroch približne rovnaké

s maximálnou toleranciou $\pm 10 \%$.

– trojfázové transformátory musia mať rovnaký hodinový uhol, inak prechádzajú medzi vstupnými vinutiami transformátorov veľké vyrovnávacie prúdy.

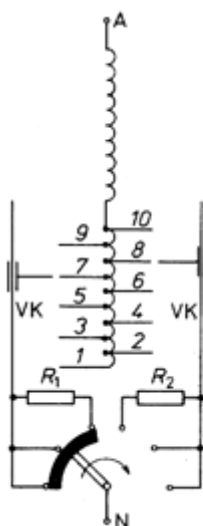
1.6. RIADENIE NAPÄTIA TRANSFORMÁTOROV

V elektrizačnej sústave musíme veľmi často upravovať napätie tak, aby sme vykompenzovali úbytok napätia vo vedeniach pri premenlivom zaťažení u spotrebiteľov. Napätie riadime na vstupnej strane transformátorov, pretože je jemnejšie a prepínacie kontakty sú menšie, lebo vedú menšie prúdy.

Pri prepínaní treba vždy transformátory odpojiť od siete, nastaviť príslušnú odbočku a transformátor znova uviesť pod napätie. Transformátory s výkonom od 2 MVA majú 16 až 18 napäťových stupňov po 1,78 alebo 2 % menovitej hodnoty vyššieho napätia. Tieto ovládateľné transformátory možno prepínať podľa potreby aj počas prevádzky.

Odbočky prepíname napríklad stupňovým prepínačom s tlmivkou, rezistormi alebo prídavným transformátorom. Najpoužívanejší je Jansenov prepínač odbočiek s rezistormi, ktorý je na obrázku 36.

Hlavnou časťou prepínača je volič odbočiek, ktorým sa vopred nastaví požadovaná odbočka a výkonový vypínač, ktorý prepne bez prerušenia elektrického prúdu a bez skratovania cievky. Vyrovnávací prúd medzi odbočkami je počas prepínania ohraničený prepínacími rezistormi R_1 a R_2 . Odbočky sa prepínajú diaľkovo z dozorne prostredníctvom motorového pohonu umiestneného v transformátore, alebo v prípade jeho poruchy ručne pákou v mieste pohonu.



obrázok 36.

Jansenov transformátorový odporový
prepínač odbočiek
VK - volič odbočiek, R_1 a R_2 prepínacie
rezistory

Kontrolné otázky k opakovaniu

- Vymenujte zloženie statora a rotora
- Popíšte vplyv statora na rotor po pripojení na elektrickú sieť.
- Vyznačte na momentovej charakteristike sklz pri M_n
- Charakterizujte podmienky pri spúšťaní motora
- Popíšte zapojenie krúžkovej kotvy
- V ktorom štádiu rozbehu krúžkového motora beží motor ako s kotvou nakrátko
- Vysvetlite funkciu skratovača u krúžkového motora
- Vysvetlite rozbeh jednofázového motora s pomocným vinutím a pomocným kondenzátorom
- Vyznačte na svorkovnici motora zmysel otáčania rotora vpravo a vľavo
- Vysvetlite princíp indukčného meniča frekvencie od otáčok
- Charakterizujte riaditeľný transformátor v závislosti od indukovaného napätia a pootočenia rotora proti statoru
- Popíšte vlastnosti Selsyna
- Vysvetlite funkciu alternátora a motora
- Od čoho závisí frekvencia napätia u alternátora
- Aké sú synchrónne a asynchrónne otáčky rotora
- Popíšte rozbeh synchrónneho motora s pomocným zariadením
- Popíšte prvky v schéme jednofázového komutátorového motora a vysvetlite ich význam
- Charakterizujte jednotlivé obvody Winr.-Eichberg.derivačného komutátorového motora na vyznačenej schéme
- Vymenujte druhy dynám
- Vysvetlite riadenie otáčok pri spúšťaní: derivačného a sériového motora
- Nakreslite jadro jednofázového transformátora a vysvetlite jeho význam
- Popíšte vo vzorcoch pre výpočet vlastností transformátora jeho parametre
- Vymenujte možnosti paralelnej spolupráce transformátorov

2. OVLÁDANIE ELEKTRICKÝCH POHONOV

2.1. ZÁSADY TVORBY ELEKTROTECHNICKÝCH SCHÉM

Elektrotechnická schéma je dorozumievací prostriedok, ktorý formou symbolického záznamu informuje o spôsobe zapojenia jednotlivých súčiastok elektrického zariadenia. Elektrické schémy musia obsahom aj formou vyhovovať základným normám a to STN EN 60617-1. Značky pre elektrotechnické schémy - STN EN 60617-2. Označovanie v elektrických schémach. Zásady pre kreslenie schém zapojenia obsahuje STN EN 60617-11.

Každá **schéma** ma byť správna, prehľadná, zrozumiteľná a pritom aj jednoduchá. Schémy môžeme kresliť ako jedнопólové, alebo viacpólové.

Pri **jedнопólovom** kreslení označíme vedenie len jednou čiarou, hoci v skutočnosti sa skladá z niekoľkých vodičov. Aj prístroje označujeme len jedнопólovou značkou pre jeden pól alebo fáz. Skutočný počet vodičov udávame tak, že cez vedenie alebo značku prístroja urobíme toľko priečnych čiar, koľko je vedení, fáz alebo pólů.

Pri **viacpólových** schémach kreslíme samostatne každý vodič, pól alebo fáz. **Ovládacie obvody** sa zvyčajne kreslia vo forme riadkových schém.

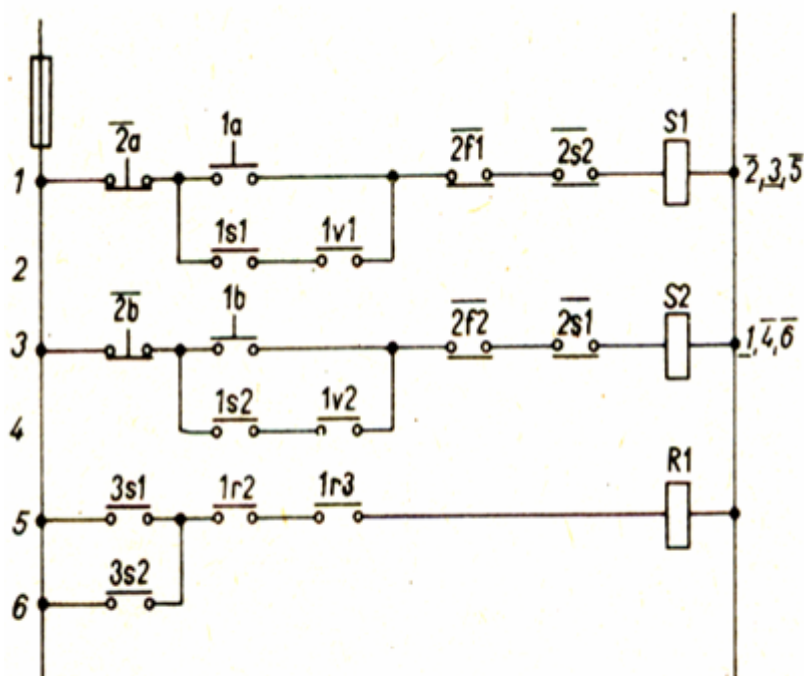
Riadková schéma sa kreslí pre zariadenie v pokoji, bez napätia, teda v základnej polohe. Za základnú považujeme takú polohu, v ktorej elektromagneticky ovládané prvky sú bez napätia a mechanicky ovládané časti sú tiež vo vypnutom stave. Riadkové schémy kreslíme tiež tak, že prípojnice sú zvislé, pričom záporný pól, alebo stredný vodič je vždy na pravej strane.

Jednotlivé súčiastky prístrojů (cievka a kontakty stýkača) kreslíme vždy od seba oddelene, hoci v skutočnosti tvoria mechanický celok. Súvislosť jednotlivých častí sa vyjadruje skupinou písmen a čísl. Poradie rovnakých prístrojů sa označuje číslom za písmenom a pred písmeno píšeme poradové číslo kontaktu.

Zapínacie kontakty sa označujú nepárnyymi číslami (1Q1, 3Q1, 5Q1) a vypínacie kontakty párnymi číslami (2Q1, 4Q1, 6Q1). Jednotlivé riadky označujeme poradovými číslami zľava ľavej napájacej prípojnice. Zapínacie kontakty kreslíme nad vodorovnou čiarou, vypínacie kontakty pod vodorovnou čiarou vodiča. Signálne zariadenia a cievky stýkačov a relé zapojujeme na strane stredného vodiča (N) alebo zápornej prípojnice.

Pre ľahšiu orientáciu sa v riadkovej schéme uvádzajú sprava pravej prípojnice poradové čísla riadkov, v ktorých má prístroj príslušné kontakty.

Druh kontaktů sa označujú vodorovnou čiarou, pričom ak je to zapínací kontakt, kreslíme vodorovnú čiaru nad číslom a pri vypínacích kontaktoch kreslíme čiaru pod číslom. Jedno polové, trojpólové značky prístrojů sú normalizované.



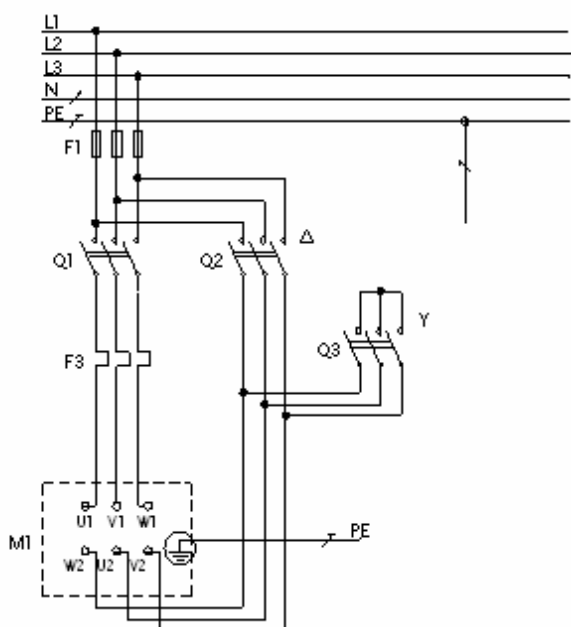
obrázok 1 Príklad riadkovej schémy
Mostíkový tvar kontaktů

2.2. SPÚŠŤANIE INDUKČNÉHO MOTORA S KOTVOU NAKRÁTKO S AUTOMATICKÝM PREPINANÍM DO HVIEZDY A DO TROJUHLNÍKA

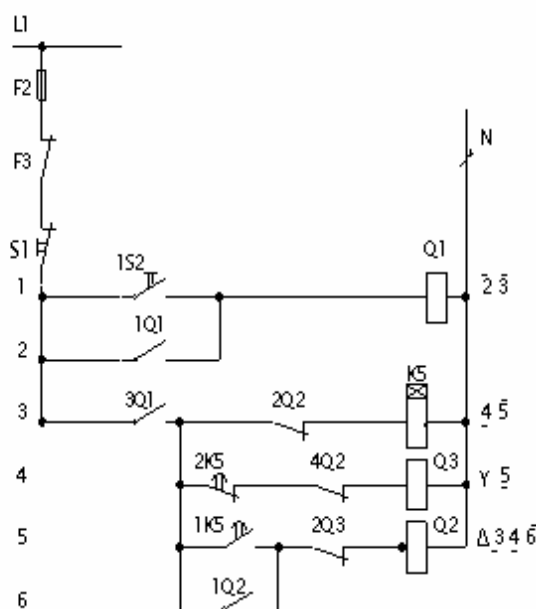
Opis riešenia úlohy : Prepínanie motora z hviezdzy do trojuholníka obstarávajú zvyčajne tri stýkače. Stýkač Q1 pripojí na sieť začiatky statorového vinutia a spolu s tepelnou nadprúdovou ochranou F3 a troma tavnými poistkami F1 chráni indukčný motor M1 proti účinkom nadprúdu a proti skratu. Stýkač Q3 zapína konce statorového vinutia do hviezdzy a stýkač Q2 do trojuholníka.

Súpis použitých strojov, prístrojov a zariadenia : F1 – tavné poistky, Q1- trojpólový stýkač s dvojicou pomocných zapínacích kontaktov a tepelnou ochranou F3; Q2, Q3 – trojpólové stýkače s dvojicou pomocných zapínacích a vypínacích kontaktov, K5 – časové relé s rozpínacím a zapínacím kontaktom, S2 – zapínacie tlačidlo, S1 – vypínacie tlačidlo.

Funkcia ovládania : Po stlačení zapínacieho kontaktu 1S2 tlačidla S2 sa pritiahne kotva stýkača Q1 a pripojí na sieť začiatky vinutia U1, V1, W1 indukčného motora M1. Súčasne sa zapnú zapínacie kontakty 1Q1 v obvode 2 a 3Q1 v obvode 3. Zapínacím kontaktom 3Q1 dostane zároveň napätie cievka časového relé K5, ktoré začne odpočítavať nastavený čas a cievka stýkača Q3, ktorý pripojí do hviezdzy konce vinutia U2, V2, W2, indukčného motora M1, kedy sa rotor motora roztočí. Stýkače Q1, Q3 a časové relé K5 sa držia v zapnutom stave zapínacími kontaktami 1Q1 a 3Q1 aj vtedy, keď uvoľníme zapínacie tlačidlo S2. Stýkač Q2 sa nepripojí, lebo rozpínací kontakt 2Q3 v obvode 5 je rozpojený. Po určitej nastavenej dobe sa pritiahne kotva časového relé K5 a rozpínacím kontaktom 2K5 preruší obvod 4 a zapne zapínací kontakt 1K5 v obvode 5. Stýkač Q3 odpadne, čím sa rozpojí uzol zapojenia do hviezdzy. Stýkač Q1 však ostane v zapnutom stave, lebo sa drží cez kontakt 1Q1. Po odpadnutí stýkača Q3 sa však zapojí kontakt 2Q3, ktorý pripojí na napätie stýkač Q2 v obvode 5. Tento stýkač pripojí konce vinutia U2, V2, W2 na sieť tak, aby vzniklo zapojenie do trojuholníka. Zapnutím stýkača Q2 sa zároveň rozopne kontakt 2Q2 ktorým vypne časové relé K5 a kontaktom 4Q2 ktorým blokuje zapnutie do hviezdzy stýkača Q3 po odpadnutí časového relé K5. Zapnutím zapínacieho kontaktu 1Q2 v obvode 6 sa drží stýkač v zapnutom stave. Motor sa vypne tlačidlom S1, alebo pri preťažení zapôsobí nadprúdová ochrana F3.



obrázok 2. Hlavné obvody



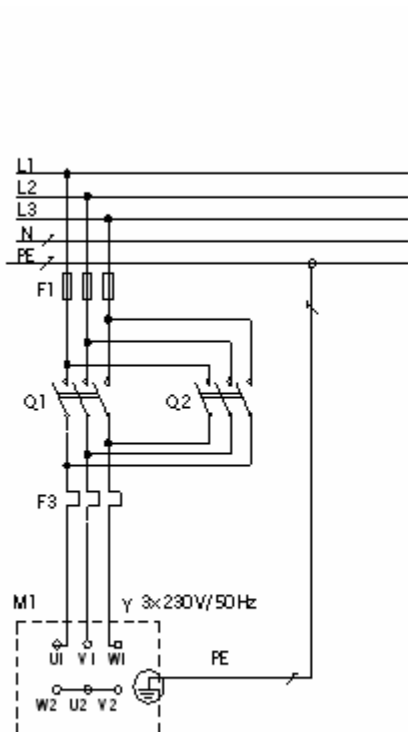
obrázok 3. Riadiace obvody

2.3. REVERZÁCIA INDUKČNÉHO MOTORA S KOTVOU NAKRÁTKO STÝKAČMI OVLÁDANÉHO Z JEDNÉHO A VIACERÝCH MIEST

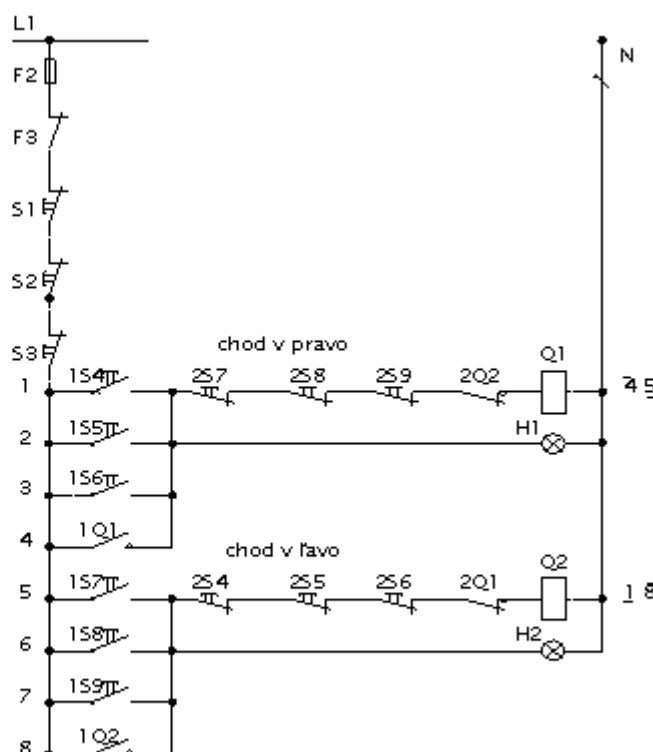
Opis riešenia úlohy : Zmena smeru otáčania (reverzácia) patrí medzi veľmi časté spôsoby ovládania indukčného motora s kotvou nakrátko. Zmena smeru otáčok je pri indukčnom motore jednoduchá, lebo stačí vzájomne zameniť dva prírodné fázové vodiče. Na zmenu smeru otáčok sú potrebné dva stýkače, z ktorých jeden zapína motor pre chod vľavo, druhý pre chod vpravo. Oba stýkače musia byť vzájomne blokované, aby sa nedali zapnúť oba naraz do priameho skratu.

Súpis použitých strojov, prístrojov a zariadenia : F1, F2 – tavné poistky, F3 – tepelná nadprúdová ochrana, Q1, Q2 – trojpólové vzduchové stýkače s dvojicou pomocných zapínacích a vypínacích kontaktov; S1, S2, S3 – vypínacie tlačidlá; S4, S5, S6 – zapínacie tlačidlá pre chod vpravo; S7, S8, S9 – zapínacie tlačidlá pre chod vľavo; tlačidlá S4 až S9 majú zapínacie a vypínacie kontakty pre zdvojenú funkciu blokovania.

Funkcia ovládania : Riadiace obvody pre pripojenie stýkačov majú vzájomne blokovanie stýkačov a navyše blokovanie tlačidiel. Stýkač Q1 pre smer otáčania vpravo sa zapína tlačidlami S4, S5, S6, pričom prúd pretečie obvodom 1, rozpínacími kontaktami 2S7, 2S8, 2S9 a blokovacím kontaktom 2Q2 nezapnutého stýkača Q2 na ovládaciu cievku Q1. Stýkač Q1 zapojí hlavný silnoprúdový obvod a motor sa roztočí. Súčasne s hlavnými kontaktami stýkača Q1 sa zapoja aj pomocné kontakty. Zapínací kontakt 1Q1 premostí zapínací kontakt 1S4, 1S5, 1S6 zapínacích tlačidiel, ktoré s ľubovoľných stlačených sa môže vrátiť do pôvodnej, teda vypnutej polohy. Vypínací kontakt 2Q1 v obvode 5 sa rozpojí a bráni zapnutiu stýkača Q2 dovtedy, kým sa neodpojí stýkač Q1. Pri reverzácii je potrebné najprv stlačiť ľubovoľné tlačidlo S1, S2, S3 a tak vypnúť stýkač Q1. Až potom môžeme ľubovoľným tlačidlom zapínacím kontaktom 1S7, 1S8, 1S9, pripojiť stýkač Q2 pre opačný smer otáčania. Zapínacie kontakty 1S7, 1S8, 1S9, premostí zapínací kontakt 1Q2 stýkača Q2. Obdobne vypínací kontakt 2Q2 v obvode 1, bráni zapnutiu stýkača Q1 kým sa neodpojí stýkač Q2.



obrázok 4 . Hlavné obvody



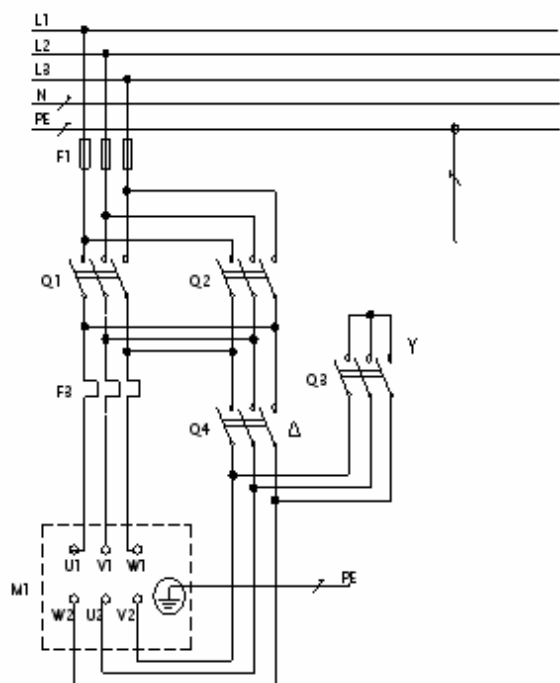
obrázok 5. Riadiace obvody

2.4. REVERZÁCIA INDUKČNÉHO MOTORA S KOTVOU NAKRÁTKO STÝKAČMI S AUTOMATICKÝM PREPÍNANÍM DO HVIEZDY A DO TROJUHLNÍKA

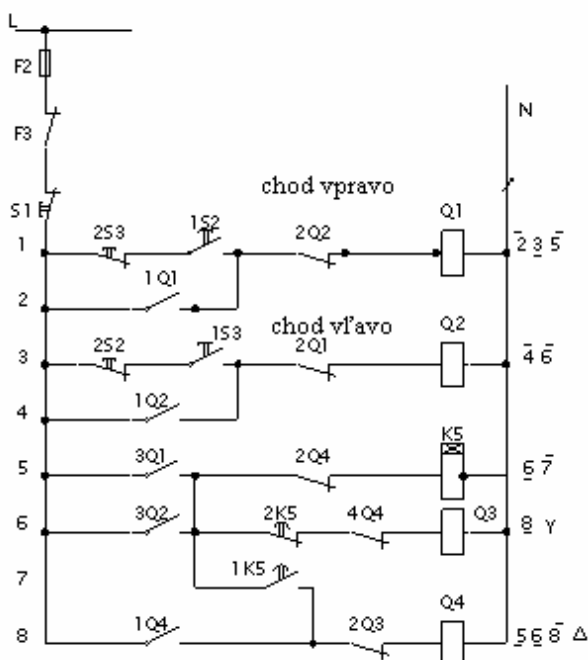
Opis riešenia úlohy : Ak je pri automatickom prepínaní hviezda – trojuholník požadovaná reverzácia otáčok trojfázového asynchrónneho motora, potom sú okrem stýkača pre hviezdu, stýkača pre trojuholník a časového relé potrebné ešte dva sieťové stýkače, ktoré musia byť vzájomne blokovanie tak, aby nemohli byť naraz zapnuté.

Súpis použitých strojov, prístrojov a zariadenia: F1, F2 – tavné poistky, F3 – tepelná nadprúdová ochrana, Q1, Q2 – hlavné stýkače pre chod vpravo a vľavo, Q3 – stýkač pre zapojenie do hviezdy, Q4 – stýkač pre zapojenie do trojuholníka, K5 – časové relé s rozpínacím a zapínacím kontaktom, 1S2, 1S3 – zapínacie tlačidlá, 2S2, 2S3 – blokovacie tlačidlá, S1 – vypínacie tlačidlo.

Funkcia ovládania : Tlačidlo 1S2 zapína cez rozpínací kontakt 2Q2, stýkač Q1. Rozpínací kontakt 2Q1 a 2S2 počas stlačenia 1S2 blokuje stýkač Q2 a prostredníctvom svojho zapínacieho kontaktu 1Q1 sa udržiava v zapnutom stave. Zapínací kontakt 3Q1 zapína rozpínacím kontaktom 2Q4 časové relé K5, zároveň je zopnutý stýkač Q3 zapojený do hviezdy pomocou rozpínacieho kontaktu 4Q4. Po uplynutí nastaveného času prepne prepínací kontakt 2K5. Tým sa preruší prúdový obvod stýkača pre zapojenie do hviezdy, Q3 odpadne. Prepnutý kontakt časového relé 1K5 zapne cez rozpínací kontakt 2Q3 prúdový obvod Q4. Stýkač pre zapojenie do trojuholníka Q4 odpojí pomocou rozpínacích kontaktov 2Q4 a 4Q4 časové relé K5 a stýkač pre zapojenie do hviezdy Q3. Pomocou vlastného pridržovacieho kontaktu 1Q4 sa stýkač Q4 drží sám v zapnutom stave. Tlačidlom S1 sa motor vypne. V súlade so zmyslom otáčania zapína tlačidlo 1S3 stýkač Q2 a motor sa začne rozbiehať opačným smerom.



obrázok 6. Hlavné obvody



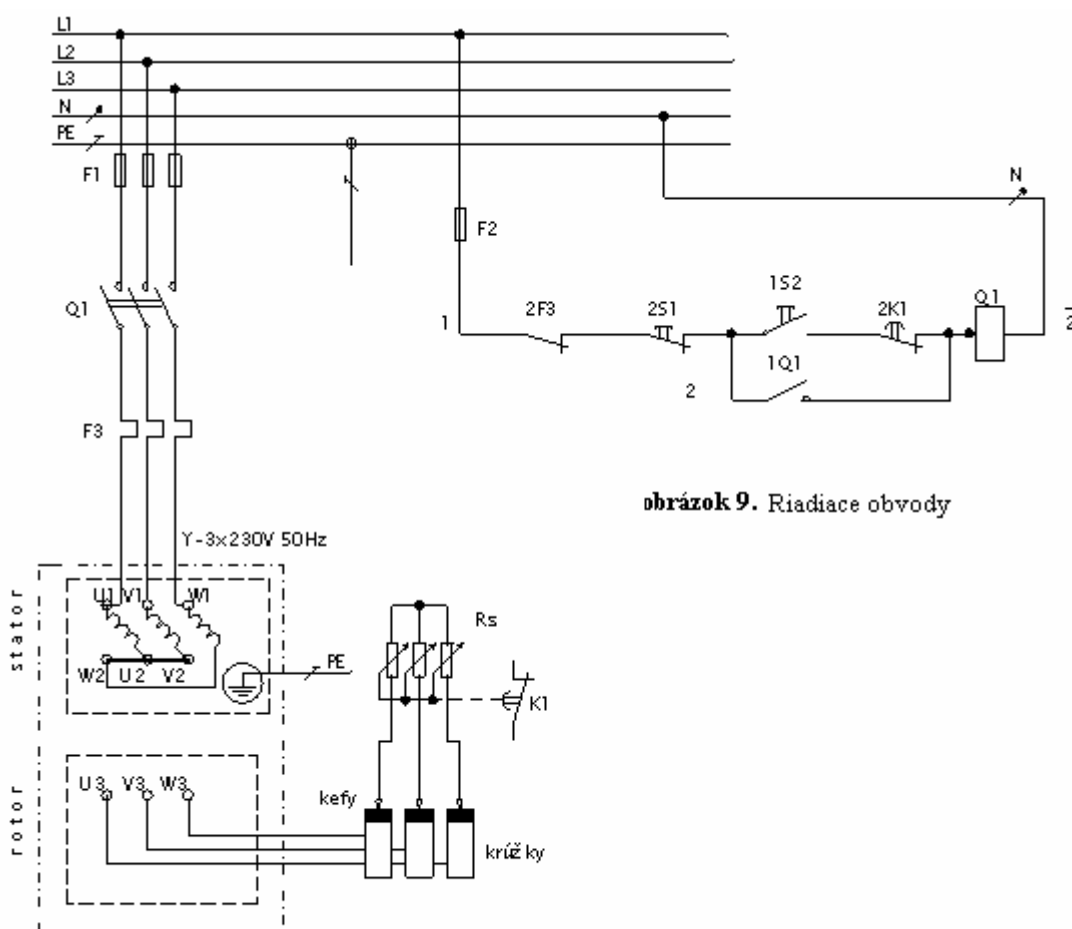
obrázok 7. Riadiace obvody

2.5. RUČNÉ RIADENIE ASYNCHRÓNNEHO KRÚŽKOVÉHO MOTORA

Opis riešenia úlohy : Zapnutie motora je zabezpečené rotorovým odporovým spúšťačom, blokovým koncovým spínačom (K1), ktorý zaručuje, že motor nemožno spustiť ak v rotorovom spúšťači nie je zaradený maximálny odpor.

Súpis použitých strojov, prístrojov a zariadenia : F1, F2, - tavné poistky; F3 – nadprúdová tepelná ochrana; Q1 – trojpólový sieťový stýkač napájací satorové vinutie ; Rs – Rotorový spúšťač; S1 – vypínacie tlačidlo; S2 – zapínacie tlačidlo; K1 – koncový spínač

Funkcia ovládania : Pri stlačení zapínacieho tlačidla S2 zapínacieho kontaktu 1S2 sa uzavrie obvod 1 cievky Q1 stýkača a pripojí na sieť satorové vinutie motora zapojené do hviezdy. Pomocným zapínacím kontaktom 1Q1 stýkača Q1 v obvode 2 sa ešte v čase, kedy držíme tlačidlo S2, zapínací kontakt 1S2 premostí zapínacie tlačidlo a koncový spínač K1, čím sa stýkač Q1 pridrží. Znižovaním odporu v rotorovom spúšťači sa rotor motora rozbieha a koncový spínač K1 zároveň rozopne kontakt 2K1. Po vyradení odporov v rotorovom spúšťači motor beží ako s kotvou nakrátko. Pri výpadku siete a po znovu obnovení sa motor nerozbehne, lebo je blokován obvod 1, koncovým spínačom K1. Po znovu rozbehnutí motora musí byť zaradený maximálny odpor v rotorovom spúšťači, pričom sa zopne rozpojovací kontakt 2K1, koncového spínača K1. Tým sa spriechodní cesta el. prúdu pri stlačení tlačidla 1S2 v obvode 1 a tak môže znovu pritiahnuť elektromagnet cievka stýkača Q1. Vypnutie motora je zabezpečené vypínacím tlačidlom S1, v prípade preťaženia nadprúdom zareaguje prúdová poistka F2 alebo tepelná ochrana rozpínacím kontaktom 2F3.



obrázok 9. Riadiace obvody

2. obrázok 8. Hlavné obvody

2.6 SPÚŠŤANIE ASYNCHRÓNNEHO MOTORA S KRÚŽKOVOU KOTVOU NA ZÁKLADE PRINCÍPU ČASU

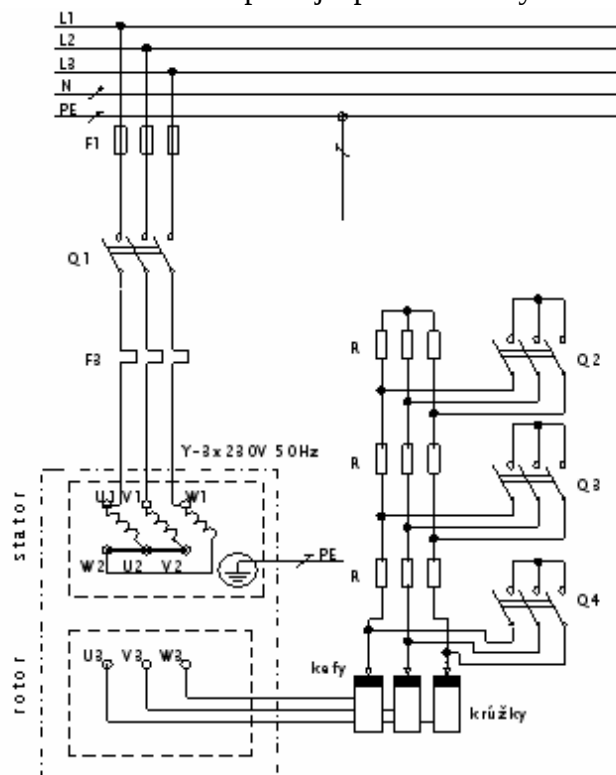
Opis riešenia úlohy : Samočinný rozbeh motora sa môže riešiť na princípe času, prúdu alebo rýchlosti, a to časovým alebo prúdovým relé alebo snímačom rýchlosti. Najčastejšie v praxi sa na samočinnné vyradovanie rezistorov pri spúšťaní používa časový princíp.

Rezistory v obvode kotvy sú vyradované postupne stykačmi Q2, Q3 a Q4, ktoré sa ovládajú časovými relé K1, K2, a K3. Po zapnutí stykača Q4 je spúšťanie motora ukončené, časové relé a stykače Q2 a Q3 sa rozpoja a motor sa točí menovitými otáčkami.

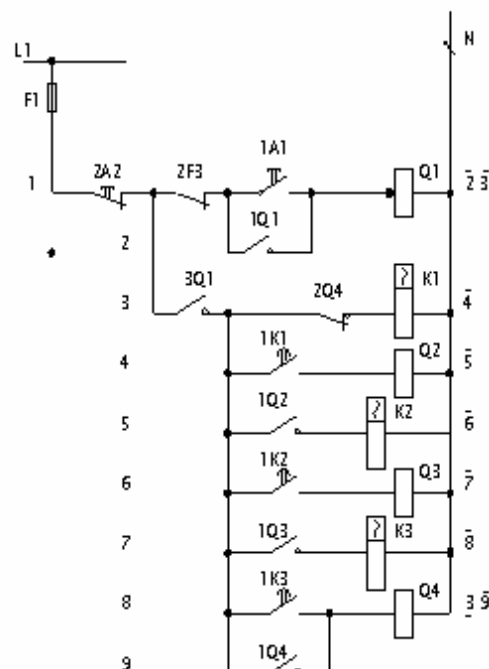
Súpis použitých strojov, prístrojov a zariadenia : F1 – tavné poistky; F3 – nadprúdová tepelná ochrana; Q1 – trojpólový sieťový stykač napájací statorové vinutie ; Q2, Q3, Q4 – trojpólové stykače v rotorovom obvode pre vyradovanie sady rezistorov; K1, K2, K3 – časové relé so zapínacím kontaktom; A1 – zapínacie tlačidlo; A2 – vypínacie tlačidlo.

Funkcia ovládania : Po stisnutí zapínacieho kontaktu 1A1 tlačidla A1 v obvode 1 sa pritiahne kotva stykača Q1, ktorý pripojí na sieť vstupné svorky U1, V1, W1 statorového vinutia motora zapojeného do hviezdy. Súčasne sa zopnú pomocné kontakty 1Q1 a 3Q1 v obvode 2 a 3. Zapínací kontakt 1Q1 preklenie tlačidlo 1A1, takže stykač ostane v zapnutej polohe aj po uvoľnení tlačidla 1A1. Cez zapínací kontakt 3Q1 a blokovací 2Q4 dostane napätie cievka K1 časového relé, ktoré začne odpočítavať nastavený čas. Po určitej nastavenej dobe sa pritiahne kotva časového relé K1 a kontaktom 1K1 v obvode 4 privedie napätie na cievku stykača Q2, ktorý pritiahne kotvu a v hlavnom obvode silovými kontaktami vyradí prvú sadu odporov v rotorovom obvode, kedy sa rotor roztočil do určitých otáčok. Postupným zapínaním časových relé a stykačov K2 – Q3 - K3 – Q4 sa vyradujú sady odporov v rotorovom obvode. Po zapnutí stykača Q4 sa rozpinacím kontaktom 2Q4 preruší obvod pre K1, Q2, K2, Q3, K3, čím stykač Q4 sa drží v zapnutom stave cez zapínací kontakt 1Q4.

V tomto čase motor pracuje pri nominálnych otáčkach ako s kotvou nakrátko. Pri motoroch



obrázok 10. Hlavné obvody



obrázok 11. Riadiace obvody

väčších výkonov sa odklopa kefy z krúžkov a súčasne sa konce rotorového vinutia spoja nakrátko, čím sa odstráni strata trením.

3. VÝROBA A ROZVOD ELEKTRICKEJ ENERGIE

3.1. TEPELNÉ ELEKTRÁRNE A TEPLÁRNE

Výroba elektrickej energie v tepelnej elektrárni je charakteristická tým, že hlavným zdrojom jej výroby je spaľovanie uhlia, plynu alebo mazutu. V kotle sa vyrába para, ktorá poháňa turbínu pripojenú k alternátoru. Premena tepelnej energie na elektrickú sa realizuje parným cyklom.

Tepelnú elektráreň tvorí niekoľko samostatných výrobných blokov o potrebnej veľkosti a výkone.

Klasická elektráreň pozostáva z kotolne, medzistrojovne, strojovne, vyvedenia elektrického výkonu a z pomocných prevádzok (zauhl'ovanie, úprava vody, vodné hospodárstvo, zadný palivový cyklus atď.).

Tepelné elektrárne poznáme:

kondenzačné, ktoré sú zamerané na výrobu elektrickej energie teplárne, zamerané na kombinovanú výrobu elektrickej energie a tepla.

V klasickej kondenzačnej tepelnej elektrárni prevažuje blokové usporiadanie výroby elektrickej energie. Každý výrobný blok elektrárne je samostatnou výrobnou jednotkou - samostatnou elektrárnou. Podľa spôsobu spaľovania sa kotle spaľujúce pevné palivo rozdeľujú na roštové, granulačné, výtavné a fluidné. Uvedené kotle sú doplnené kotlami spaľujúcim tekuté a plynné palivá.

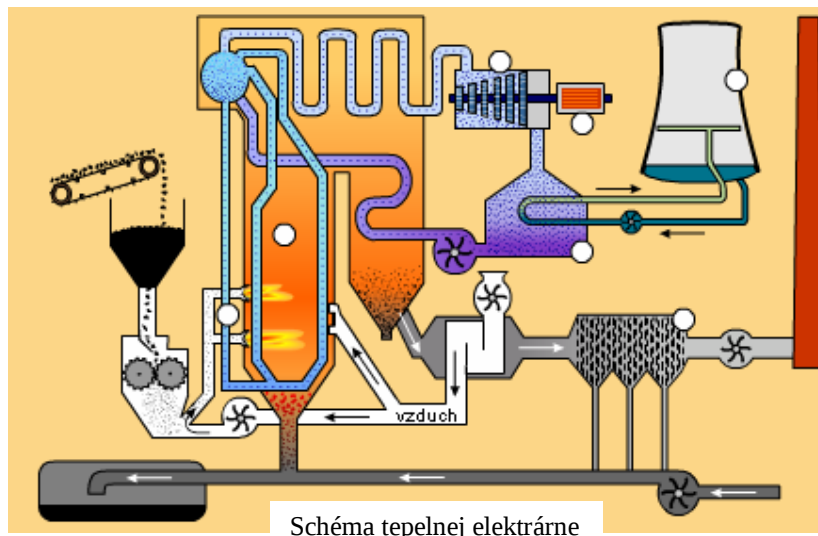
Každý blok elektrárne môže pracovať samostatne. Princíp fungovania je jednoduchý. Uhlie zo skládky je buldozermi nahrnuté do odberného zariadenia odkiaľ je vynášané zauhl'ovacím pásom do zásobníka uhlia, ktorý sa nachádza pri každom kotle. Uhlie sa postupne suší a melie na prášok, následne sa spaľuje v kotle. V stenách kotla sú umiestnené trubkové alebo membránové výparníky, v ktorých sa voda mení na paru a vzniknutá para o vysokej teplote a tlaku je odvádzaná do parného bubna. Odtiaľ je para vedená cez prehrievače a prihrievače parným rozvodom na lopatky turbíny, ktorá je spojená s generátorom.

Turbína tvorí spoločne s elektrickým generátorom jedno sústrojenstvo - turbogenerátor. V turbogenerátore sa uskutočňuje premena tepelnej energie na elektrickú. Vzniknutá elektrická energia je vedená cez sústavu transformátorov, rozvodnou sieťou až ku konečným spotrebiteľom.

Para po odovzdaní svojej energie lopatkám turbín kondenzuje v tepelnom výmenníku - kondenzátore. Pri prechode turbínou sa znižuje tlak a teplota pary. Para mení svoje skupenstvo na kvapalnú a od tej chvíle sa nazýva kondenzát. Na kondenzáciu pary je potrebné veľké množstvo chladiacej energie. Na chladenie sa využíva povrchová voda z toku alebo nádrže. Ak je dostatok chladiacej vody používa sa prietochný systém chladenia, ak je chladiacej vody nedostatok používa sa cirkulačný systém chladenia, kde ochladzovanie vody nastáva v chladiacich vežiach. Spaliny vznikajúce pri spaľovaní uhlia pri svojej ceste do komína zohrievajú vodu v ekonomizéri, v ďalšom výmenníku tepla vzduch pre spaľovanie. Vychladené dymové plyny potom prechádzajú cez elektrostatické filtre, kde je zachytávaný popol, do komína.

Pri znižovaní oxidov dusíka a síry u klasických kotlov sa ku kotlom doinštaluje odsírovacie a denitrifikačné zariadenie. U fluidných kotlov je odsírenie a denitrifikácia spalín zabezpečená priamo v procese spaľovania technológiou kotla.

obrázok 1



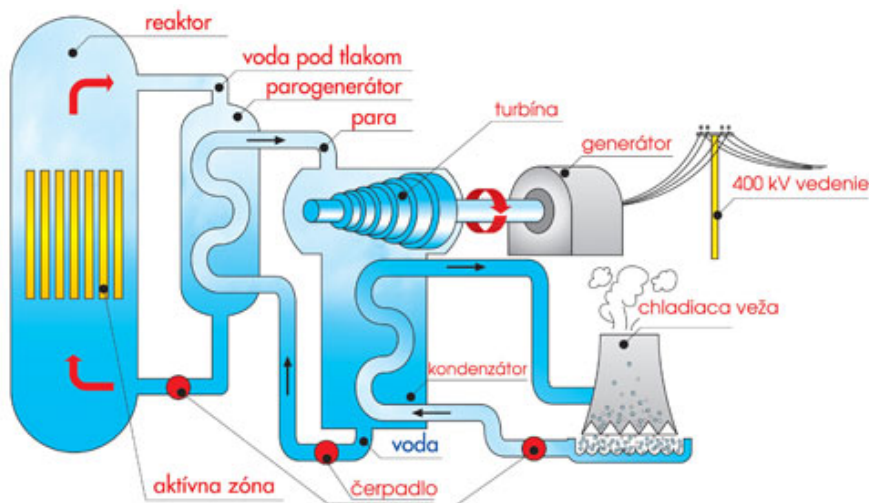
3.2. JADROVÉ ELEKTRÁRNE

Spôsob výroby elektrickej energie v jadrovej elektrárni

Princíp výroby elektriny v jadrovej elektrárni je podobný ako v klasickej tepelnej elektrárni. Rozdiel je len v zdroji tepla. V tepelnej elektrárni je zdrojom tepla fosílné palivo (uhlie, plyn), zatiaľ čo v jadrovej elektrárni je to jadrové palivo (prírodný alebo obohatený urán). Palivo v podobe palivových kaziet je umiestnené v tlakovej nádobe reaktora, do ktorej prúdi chemicky upravená voda. Táto preteká kanálkami v palivových kazetách a odvádza teplo, ktoré vzniká pri štíepnej reakcii. Voda z reaktora vystupuje s teplotou asi 297°C a prechádza horúcou vetvou primárneho potrubia do tepelného výmenníka - parogenerátora. V parogenerátore preteká zväzkom trubiek a odovzdáva teplo vode, ktorá je privádzaná zo sekundárneho okruhu s teplotou 222°C . Ochladená voda primárneho okruhu sa vracia späť do aktívnej zóny reaktora. Voda sekundárneho okruhu sa v parogenerátore odparuje a cez parný kolektor sa para odvádza na lopatky turbíny. Hriadel turbíny roztáča generátor, ktorý vyrába elektrickú energiu. Po odovzdaní energie turbíne para kondenzuje v kondenzátore a vo vodnom skupenstve cez ohrievače prúdi späť do parogenerátora. Zmes v kondenzátore je chladená tretím chladiacim okruhom. V tomto okruhu sa voda ochladzuje vzduchom prúdiacim zo spodnej do hornej časti chladiacej veže tzv. komínovým efektom. Prúd vzduchu so sebou unáša vodnú paru a drobné kvapky vody, a tak sa nad chladiacimi vežami vytvárajú oblaky pary.

Spôsob výroby elektrickej energie v jadrovej elektrárni:

obrázok 2



Atómové elektrárne Bohunice - parametre

JE V2

Inštalovaný výkon	880,00 (2x440) MW
Počet blokov	2
Palivo	obohatený urán
Typ reaktora	VVER 440 / V213
Rok uvedenia do prevádzky	1984, 1985

Atómové elektrárne Mochovce - parametre

Inštalovaný výkon	880,00 (2x440) MW
Počet blokov	2
Palivo	obohatený urán
Typ reaktora	VVER 440 / V213
Rok uvedenia do prevádzky	1998, 2000

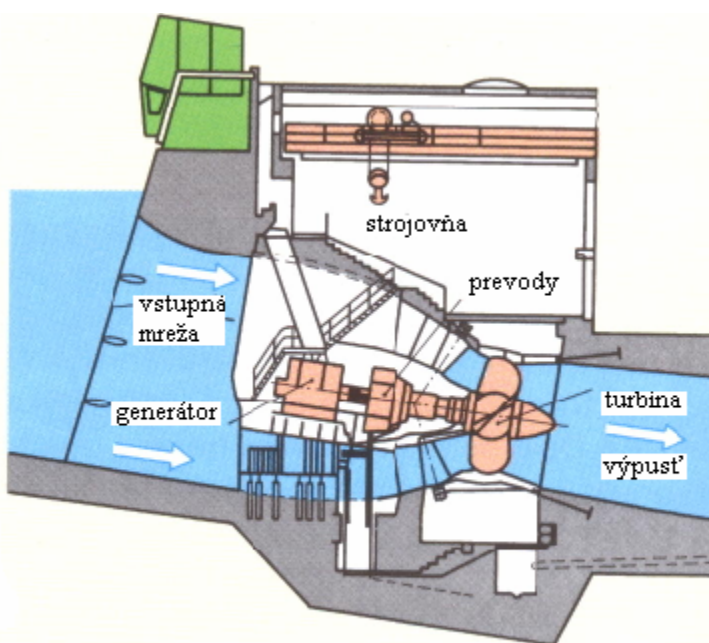
Jadrová bezpečnosť

Základnými požiadavkami jadrovej bezpečnosti sú ovládanie štiepnej reakcie, zadržiavanie rádioaktívnych látok a odvod tepla.

V elektrárni je nainštalovaný celý rad bezpečnostných systémov, ktorých úlohou je bezpečne odstaviť a dochladiť reaktor za akýchkoľvek podmienok. Bezpečnostné systémy majú 200 percentnú zálohu, to znamená, že každý systém sa skladá z troch identických nezávislých systémov, z ktorých už jeden postačuje na vykonanie projektovanej funkcie. Systémy sa nachádzajú v oddelených priestoroch a každý z nich má samostatný zdroj elektrického napájania.

3.3. VODNÉ ELEKTRÁRNE**Spôsob výroby elektrickej energie vo vodnej elektrárni**

Vodné elektrárne fungujú na princípe premeny mechanickej energie vody na elektrickú energiu. Vodný prúd prechádza nepohyblivými rozvážacími kanálmi turbíny a takto usmernený vodný prúd vteká do opačne zakrivených lopatiek obežného kola vodnej turbíny, roztáča tieto lopatky a odovzdáva im svoju mechanickú energiu. Mechanická energia vody sa mení na mechanickú energiu hriadeľa, tá sa následne mení pomocou elektrických generátorov na energiu elektrickú. S vysokou účinnosťou premieňa elektrický generátor vodnej elektrárne energiu mechanickú na energiu elektrickú.



obrázok 3. Kaplanová turbína (vodná axiálna)

Elektrická energia sa v synchronnom generátore vytvára indukciou rotujúceho magnetického poľa rotora do pevného vinutia statora generátora. Pre vytvorenie magnetického poľa rotora je potrebný budiaci jednosmerný prúd, ktorý je vyrábaný v budiči generátora. Vyrobená elektrická energia sa prenáša pomocou elektrických sietí pozostávajúcich z rozvodných zariadení, z transformovaní a cez rozvodné siete až ku konečnému spotrebiteľovi. Vodné elektrárne sa delia podľa pracovného režimu na prietochné, akumulčné a prečerpávacie akumulčné elektrárne.

Vodné turbíny sa delia podľa vodného spádu na nízkotlaké (rozdiel vodných hladín 25m), stredotlaké (spád 25 – 100m) a vysokotlaké (spád nad 100m). Najpoužívanější nízkokotlaká turbína je Kaplanová turbína obr.3. Pre stredné a vysoké tlaky sa používa Francisová turbína, ku ktorej sa voda taktiež privádza vo smeru osi rotácie lopatkového kola. Pre spády nad 400m sa používajú turbíny s privodom vody na lopatky kola vo smeru obvodovej rýchlosti známe ako Peltonové turbíny.

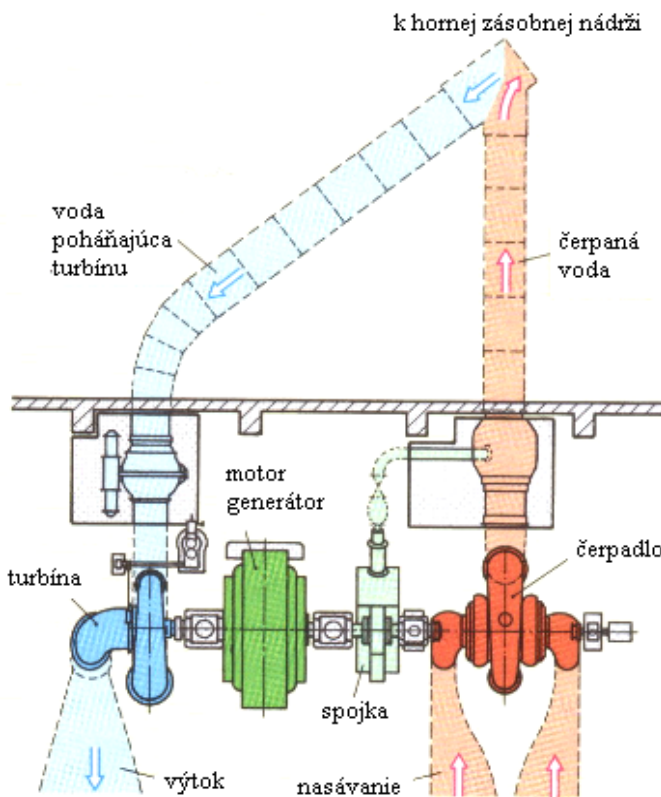
Prietochné elektrárne (so stálym prietokom) sú budované na riečnych tokoch alebo kanáloch. Voda je privádzaná priamo k elektrárni. Pri malom spáde sa používa Kaplanová turbína. Môže byť inštalovaná so zvislou osou (pri dostatočnom spáde), alebo ako čelná turbína obr.3. Čelná turbína má os otáčania rovnobežnú so smerom prietoku vody a generátor je umiestnený v oceľovom puzdre obtekaný vodou, prístupnom z prevádzkovej haly.

Akumulčné elektrárne využívajú vody zhromaždené v nádrži údoliach priehrady za dlhšie obdobie dažďov alebo topenia snehu.

Prečerpávajúce akumulčné elektrárne obr.4 vyrábajú elektrinu, keď prúdi voda cez turbínu do dolnej nádrže z vysoko položenej zásobnej nádrže. Pri prebytku elektrického výkonu v energetickej sústave napr. v nočných hodinách, je voda prečerpávaná späť z dolnej nádrže do hornej zásobnej nádrže. Ústrojenstvo prečerpávacej elektrárne sa skladá z vodnej turbíny, elektromotora/generátora

a čerpadla obr.4. Elektromotor/generátor pracuje striedavo ako generátor, ktorý dodáva do siete elektrickú energiu, alebo ako motor poháňajúci čerpadlo. Prečerpávajúce vodné elektrárne môžu behom niekoľko minút prejsť z režimu čerpania vody do režimu výroby elektriny a opačne. Sú využívané pri špičkovej záťaži rozvodnej siete. **Prílivové elektrárne** využívajú energiu vody pritekajúcu pri prílivu do prílivovej nádrže a odtekajúcu z nádrže pri odlive.

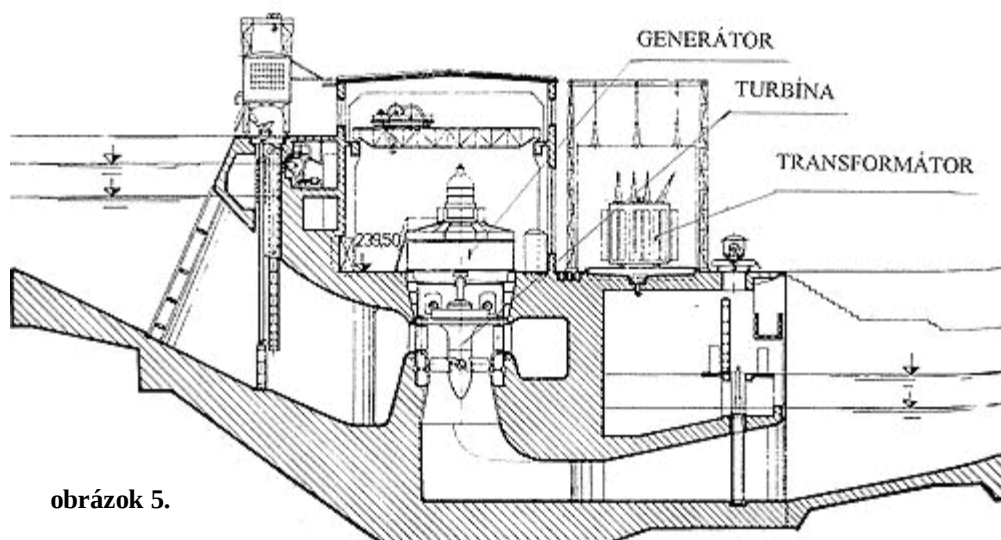
Tieto elektrárne sú budované v miestach s veľkým prílivom napr. na atlantickom pobreží Francúzska.



obrázok 4. Ústrojenstvo prečerpávajúcej vodnej elektrárne

Vodné elektrárne sa členia podľa toho, pre aké spády a akým spôsobom vodný tok využíva:

1. Akumulačné VE - ich súčasťou je veľká akumulčná nádrž
2. Derivačné VE - sú postavené na derivačnom kanále
3. Prietokové VE - prehradzujú pôvodné alebo nové koryto vodného toku
4. Prečerpávacie VE - v čase nízkej záťaže prečerpávajú vodu do vyššie položenej nádrže. V čase vyššej záťaže táto voda potom poháňa hydrogenerátor na výrobu elektrickej energie.
5. Kombinované VE



obrázok 5.

3.4. ELEKTRICKÉ VEDENIA NN, VN A VVN

Zariadenia na rozvod elektrickej energie sú veľmi dôležitou súčasťou elektrizačnej sústavy. Tieto zariadenia musia počas dlhoročnej prevádzky a pri každom počasí preniesť elektrickú energiu z výrobní až k najvzdialenejším spotrebiteľom.

3.4.1. Ochranné pásma vedení

Každé elektrické vonkajšie, káblové vedenie a elektrická stanica musia mať ochranné pásma, ktoré zabezpečujú jeho bezpečnú prevádzku.

Pri vonkajších vedeniach je ochranné pásmo od krajného vodiča široké na každú stranu 5 m (v lesnom prieseku) a 10 m (mimo lesného prieseku) pre napätia v , 15 m od 60kV do 110kV vrátane, 20 m vyše 110kV do 220kV a 25 m nad 220kV do 400kV (mimo lesného prieseku), pre 750kV je to 110 m až 120 m od krajného vychýleného vodiča.

Pri káblových vedeniach všetkých druhov (vrátane ovládacích, signálnych a oznamovacích) je šírka ochranného pásma od krajného kábla 1m.

Pri elektrických staniciach je ochranné pásmo 30 m.

3.4.2. Montážne materiály

Na silové vedenia, zemné laná a oznamovacie vedenia sa používajú tvrdá meď, bronz, hliník a jeho zliatiny (Andrey, jareal a pod.) a oceľ.

Vodiče majú rôznu konštrukciu. Používajú sa drôty s kruhovým prierezom, sústredné a nesústredné laná, antivibračné, duté a špeciálne laná. Na vedenie vvn sa používajú zväzkové vodiče s dvoma, troma alebo štyrmi vodičmi-lanami vo fáze.

Ďalšie podrobnosti sú uvedené v príslušných normách.

3.4.3. Stožiare a ich druhy

Pri stavbe vedení nn, v a vvn sa používajú oceľové, betónové, železobetónové stožiare, zo zliatin hliníka a vo výnimočných prípadoch aj drevené pätkové stožiare.

Oceľové stožiare používané sú vežové s úzkou základňou alebo rozkročené, portálové dvojdielkové alebo kĺbové tvaru V, priehradové a ďalšie podľa príslušných noriem.

Železobetónové stožiare sú duté, vyrábajú sa z predpätého betónu zhutneného odstredovaním alebo natriasaním podľa stanovených noriem.

Základy stožiarov sa rozdeľujú podľa vyhotovenia na postranný tlak pôdy na platňové (tiažové), betónové (monolitické) a špeciálne, napr. prefabrikované, konzolové na pilótach, pilierové a pod.

3.4.4. Silnoprúdové káble a ich montáž

Káble používané v ČR a SR sa rozdeľujú podľa prevádzkových napätí, materiálu ich plášťa, podľa pancierovania alebo uloženia v zemi a iných hľadísk. Podľa použitého izolačného média poznáme olejové káble, káble so stlačeným plynom, homogénnou izoláciou, supravodivé alebo plnené plynom.

V niektorých štátoch sa používajú káble plnené fluoridom sírovým (SF₆) a tzv. rúrové káble.

3.4.5. Stavba vonkajších vedení nn, vn a vvn

Výstavba vonkajších vedení sa realizuje rôznymi druhmi podperných bodov, napr. konzolami, strešíkmi a stožiarimi. Od toho závisí aj spôsob ich montáže a použitie mechanizačných prostriedkov a zariadení. Stavba stožiarov v a vvn a montáž ich výzbroje je už oveľa náročnejšia ako pri stožiaroch Nín.

3.4.6. Revízia a údržba elektrických vedení

Po uvedení vonkajších a káblových vedení do prevádzky je nevyhnutné pravidelne vykonávať ich revíziu podľa Revízneho poriadku uvedeného v oborovej norme. Tieto revízie treba vykonávať modernými metódami, aby sa elektrické vedenia v a vvn zbytočne nevypínali. Pri údržbe týchto zariadení sa preto často pracuje bez ich vypínania, teda pri plnom prevádzkovom napätí.

3.5. ELEKTRICKÉ ROZVODY V PRIEMYSELNÝCH ZÁVODOCH

Rozvod elektrickej energie v priemyselných závodoch je na celkové vystrojenie oveľa náročnejší ako v obytných budovách, pretože sa ním prenášajú veľké výkony často v oveľa nepriaznivejších podmienkach.

Pri návrhu priemyselných rozvodov postupujeme podľa platných noriem.

Elektrický silnoprúdový rozvod dimenzujeme podľa **výpočtového zaťaženia (P_p)**, ktoré sa určí z inštalovaného výkonu (P_i) a súčiniteľa náročnosti podľa vzťahu

$$P_p = P_i \cdot \beta \quad (\text{kW})$$

kde P_i je súčet menovitých výkonov všetkých inštalovaných spotrebičov

β – činiteľ náročnosti, ktorý sa určí z maximálneho príkonu (P_{max}) a inštalovaného výkonu podľa vzťahu

$$\beta = P_{\max} / P_i$$

Výpočtový prúd (I_p) je prúd vypočítaný z výpočtového zaťaženia (P_p), menovitého napätia a účinníka podľa vzťahu

$$I_p = P_p / U \cdot \cos \varphi$$

Súčinitele náročnosti (β) a hodnoty účinníka ($\cos \varphi$) pre jednotlivé prevádzky sú uvedené v príslušnej norme.

Na zabezpečenie dodávky elektrickej energie v priemyselných závodoch treba často vybudovať jednu alebo viac transformovateľ s niekoľkými transformátormi, rozvádzačmi a rozvodnicami, z ktorých sa napájajú podružné rozvodne a jednotlivé spotrebiče.

Potrebný výkon transformátora, ktorý napája jeden úsek prípojnic je približne daný vzťahom

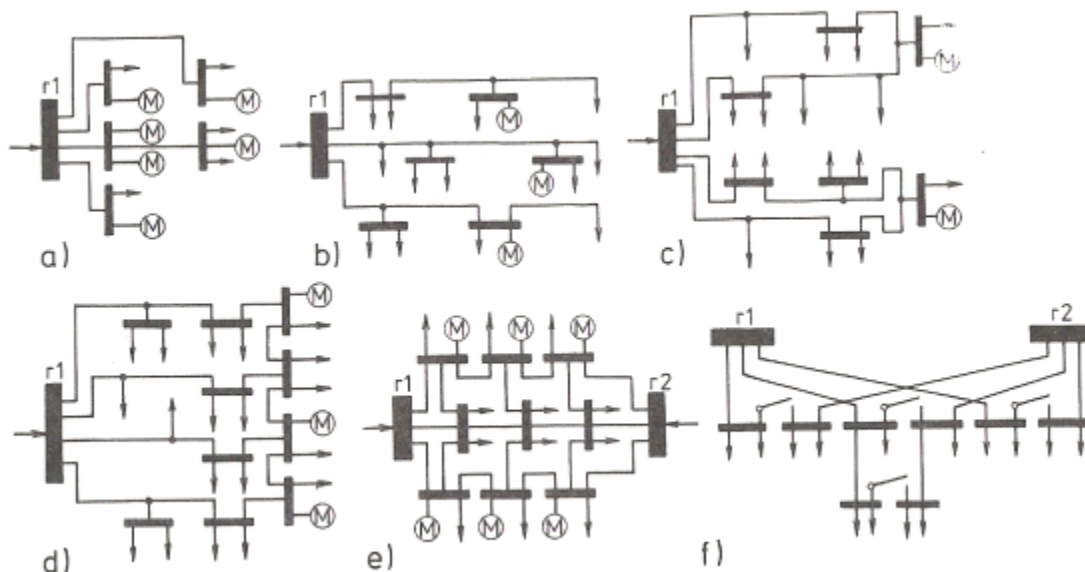
$$S_T = \frac{u_k \cdot S_{ks}}{110} \quad (\text{MVA; \%; MVA})$$

kde S_{ks} je začiatkový nárazový skratový výkon, ktorý je dovolený na sekundárnej strane transformátora na prípojniciach, u_k je napätie nakrátko uvažovaného transformátora. Veľmi často však musí paralelne pracovať niekoľko transformátorov. Ich výsledný výkon určíme podľa vzťahu

$$S'_T = S_1 + S_2 \frac{u_{k1}}{u_{k2}} + S_3 \frac{u_{k1}}{u_{k2}} + \dots$$

kde S_1, S_2, S_3 sú zdanlivé výkony (kVA) jednotlivých transformátorov pracujúcich paralelne (u_{k1} je najnižší u_k skupiny transformátorov.)

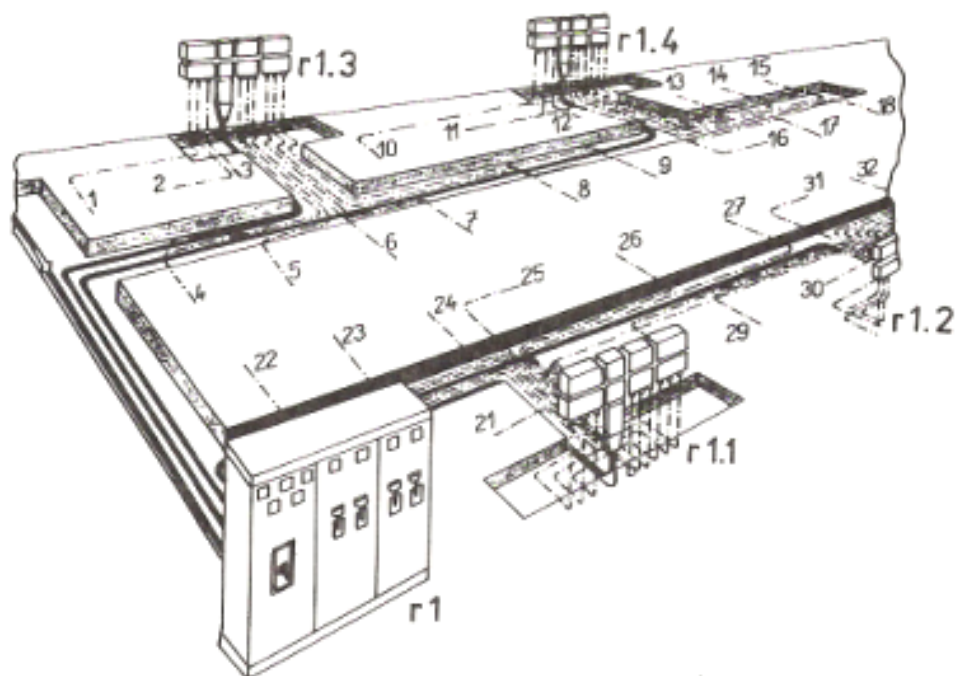
Transformátory môžu pracovať paralelne, ak sú splnené nasledujúce podmienky :



obrázok 6. Základné druhy silnoprúdových rozvodov v priemyselných závodoch

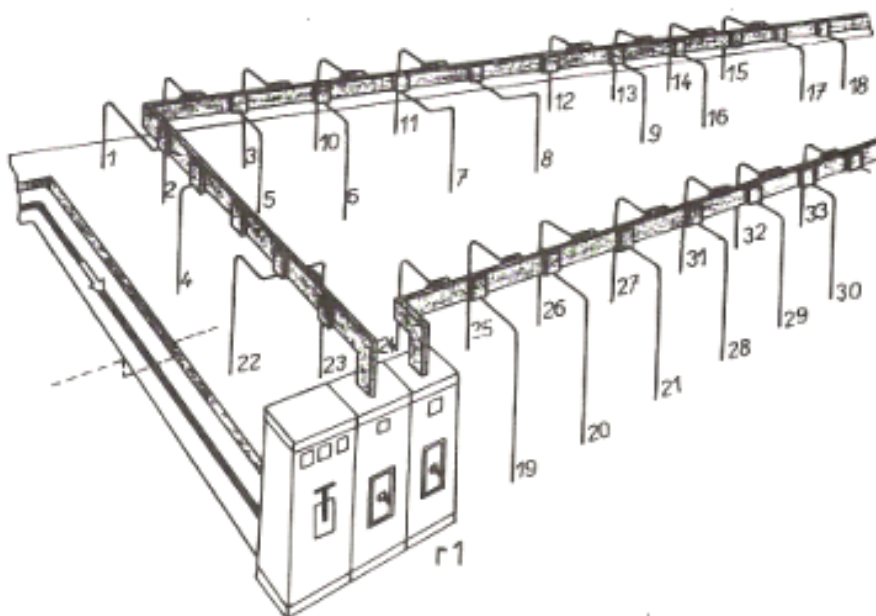
a) lúčový rozvod, b) priebežný rozvod, c) okružný rozvod, d) hrebeňový rozvod, e) mrežový rozvod, f) dvojlúčový rozvod

rovnaký prevod napätia naprázdno, rovnaké napätie nakrátko u_k , rovnaký pomer u_1 / u_2 , rovnaký uhol rovnako označených fáz (hodinový uhol). Jednotlivé vinutia transformátorov môžu byť spojené do trojuholníka (D), do hviezdy (Y) alebo do lomenej hviezdy (Z). Z hlavného rozvádzača sa vyvádza elektrický silnoprúdový rozvod podľa dôležitosti dodávky elektrickej energie (stupeň 1, 2, 3) a výrobných požiadaviek prevádzky niektorým zo spôsobov uvedených na obr. 6. Príklad priemyselného lúčového rozvodu elektrickej energie je na obr. 7. Rozvod elektrickej energie po záводе sa robí v káblových kanáloch alebo prípojnícovým rozvodom obr. 8. Pre elektrický silnoprúdový rozvod v priemyselných prevádzkach treba dôsledne dodržiavať príslušné normy a pre ochranu všetkých zariadení pred bleskom.



obrázok 7. Lúčový rozvod elektrickej energie

r1 – hlavný rozvádzač, r1.1 až r1.4 – podružné rozvádzače, 1 až 32 – stanovište strojov a spotrebičov



obrázok 8. Moderný prachotesný prípojnicový rozvod

r1 – hlavný rozvádzač, 1 až 33 stanovište strojov a spotrebičov

3.6. MIESTNY ROZVOD SIETE – DOMOVÁ PRÍPOJKA

3.6.1. Miestne rozvodné siete

Miestne rozvodné siete nízkeho napätia sú v hustej mestskej zástavbe budované ako zemné káblové siete. V menej osídlenej zástavbe sú výhodnejšie vonkajšie rozvody. Podpornými bodmi vonkajších rozvodov sú domové strešné stožiare, tzv. strešníky, alebo samostatne stojace stĺpy z dreva, betónu, betónu a dreva, alebo ocele. Podľa funkcie sa podporné body delia na : radové, rohové, vetviace a koncové.

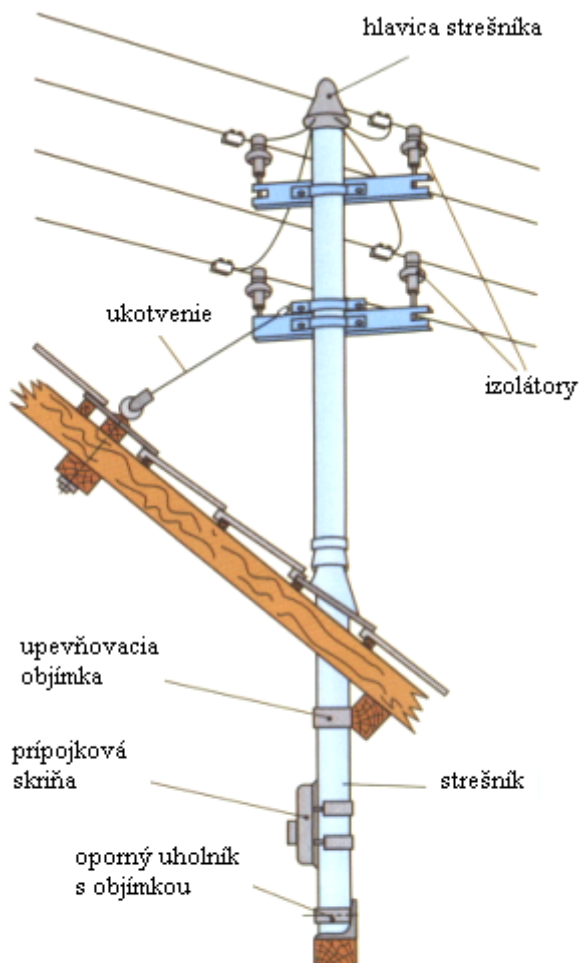
Rohové, vetviace a koncové stĺpy sú vystavené ťahu vedenia a preto musia mať vzpery alebo kotvenie. Strešníky sa vyhotovujú z pozinkovanej ocelevej rúrky priemeru 75 mm až 100 mm. Strešník sa upevňuje objímkami ku strešnej konštrukcii a na výstupe otvorom strechy sa osadzuje manžetou proti zatekaniu vody. Na strešníku sú pripevnené konzoly vyrobené z oceleového pozinkovaného U profilu osadené izolátormi. Na hornom konci je strešník uzatvorený hlavicom, pod ktorou sú do rúrky vtiahnuté vodiče domovej prípojky. Vodiče nn vzdušných rozvodov sú medené alebo hliníkové lana. Neizolované vodičové laná sú na sklených alebo porcelánových nosných izolátoroch upevnené jednoduchou alebo dvojitou skríženou smyčkou.

Na pripojenie odbočných vedení, napr. domovej prípojky k priebežným vodičom, sa používajú svorky ťahované skrútkami.

Prípojka musí byť voľná a nesmie zaťažovať priebežné vedenie ťahom. Na spájanie lanových vodičov sa používajú vrubové alebo rúrkové spojky.

Pri spájaní medzi medeným a hliníkovým lanom je nutné používať kombinovaných svoriek z rovnakých kovov ako sú vodiče, aby pri styku rôznych kovov nedochádzalo ku korózii, napr. pri napojení medenej domovej prípojky na priebežné hliníkové vedenie.

K ochrane proti prepätiu pri údere blesku sú na všetkých odbočkách, napájacích prípojkách, koncoch vzdušných vedení i prechodoch na káblové vedenia pripojené bleskoistky. V sústavách TN sú bleskoistky na fázových vodičoch vyžadované normou. Vodič PEN je pripojený so zvodmi bleskoistiek a priamo uzemnený. Pre vonkajšie prípojky k vonkajším vedeniam sa tiež používajú závesné káble s nosným oceľovým lanom.



obrázok 9. Strešníkový stožiar s kotviacim lankom

obrázok 1. Strešníkový stožiar s kotviacim lankom

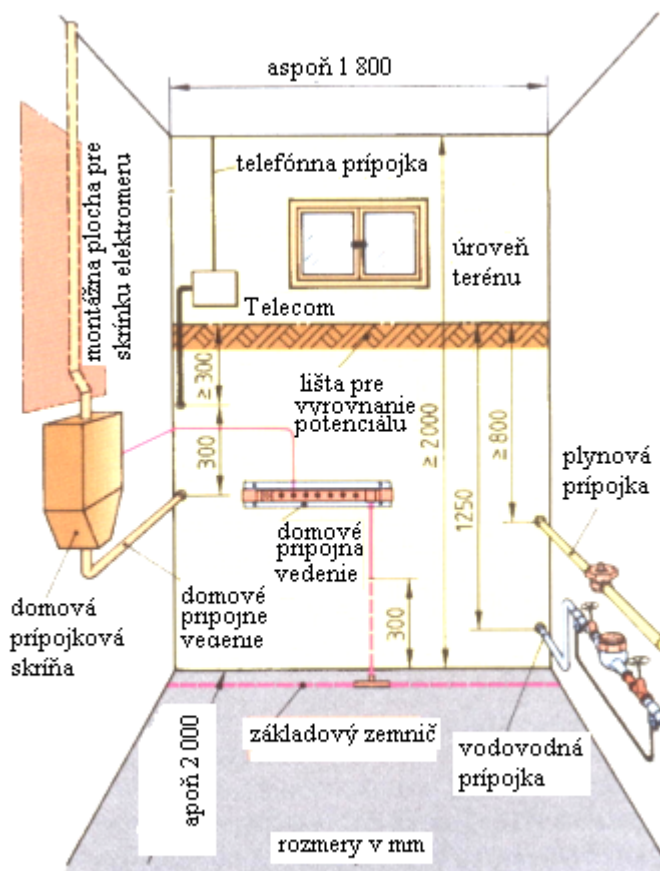
3.6.2. Domová prípojka

Domová elektrická prípojka sa skladá z prípojného vedenia (k prípojkeovej skrini na stĺpe, na stene alebo na verejne prístupnej časti domu) a zo vstupného vedenia (od poistkovej skrine pri vonkajšom vedení a od káblovej skrine pri káblovom vedení, s poistkami a elektromerom) k domovej alebo bytovej rozvodnici. Prípojné vedenie a elektromer sú majetkom prevádzkovateľa distribučnej sústavy (v zmysle Energetického zákona) a sú zaplombované jeho pracovníkmi. Vstupné vedenie z vonkajšej prípojky môže byť privedené vnútorným strešným, alebo priechodkami v murive steny domu.

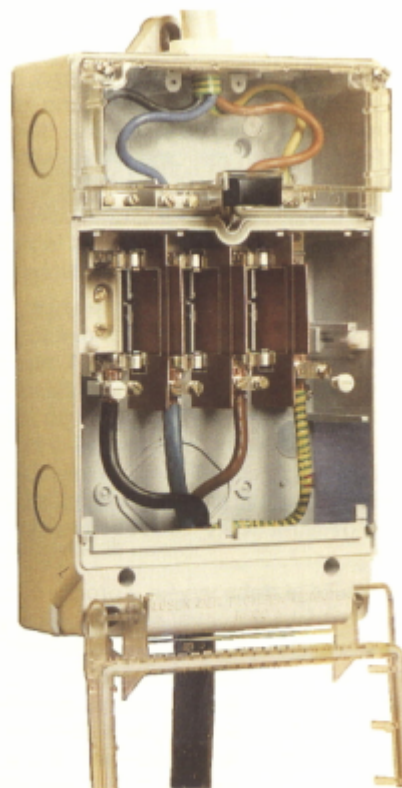
Vstupné vedenie je privedené na svorkovnicu rozvodnice rodinného domu, bytu alebo rekreačnej chaty. Ak je napr. pre prípojku k bytu použitý kábel A05VV-U 5G6 alebo CYKY s medenými vodičmi $5 \times 6 \text{ mm}^2$, potom pre vstupné vedenie možno použiť vedenie slabšie, napr. $5 \times 4 \text{ mm}^2$. Vstupné vedenie musí byť uložené tak, aby náhodné plamene pri skratu medzi vodičmi nemohli nič zapáliť.

Vedenie môže byť upevnené na nehorľavej stene, alebo napr. na 30 cm širokej žiaruvzdornej podložke na drevenej stene. Žiaruvzdorná podložka môže byť napr. 2 cm hrubými doskami z vláknitého silikátu alebo 5 mm hrubého lignátu. Pri uchytení vedenia na konzolách s objímkami, musí byť dodržaná bezpečná vzdialenosť od steny z horľavého materiálu.

Prívody zo strešnikov vo vlhkých priestoroch, alebo v priestoroch so zvýšeným nebezpečenstvom požiaru napr. stolárňach, stodolách, senníkoch a pod. musia byť vykonané podľa toho, či sa jedná o priestory nebezpečné, alebo o priestory zvlášť nebezpečné. Ak je prívod zhotovený jednožilovými izolovanými vodičmi, musí byť vedený napr. viackanálovým plastovým profilom, odolný proti vplyvu tepla a vlhkosti.



Obrázok 10. Doporučené usporiadanie priestorov domových prípojok v rodinnom dome



obrázok 11. Domová prípojková skriňa

Kontrolné otázky k opakovaniu

- Nakreslite značky kontaktov stýkača : zapínacích a vypínacích a označte ich
- Popíšte schému : jednopólovú, riadkovú, trojpólovú
- Nakreslite riadkovú schému stýkačového ovládania z jedného miesta
- Vysvetlite pojem reverzácia a v čom spočíva zmena otáčok rotora
- Vysvetlite funkciu jednotlivých prvkov v riadkovej schéme reverzácia asynchr.motora
- Popíšte hlavné zásady pred spustením ručne ovládaného krúžkového motora
- Uveďte stav, kedy sa pripája rotorové vinutie krúžkového motora nakrátko
- Charakterizujte opätovné spustenie krúžkového motora pri výpadku el. prúdu
- Popíšte obvody pri postupnom spínaní stýkačov a časových relíi krúžkového motora
- Vysvetlite príčinu prepínania asynchr.motora Y/D
- Charakterizujte parné turbíny a turboalternátory
- Vysvetlite princíp výroby elektrickej energie v jadrovej elektrárni
- Vymenujte jadrové elektrárne postavené v ČR a SR
- Uveďte spôsoby zabezpečenia proti možnému úniku rádioaktívnych prvkov
- Charakterizujte pojem, vodné dielo
- Uveďte význam vodných, prečerpávacích, prietokových a akumulčných elektrární
- Vymenujte vodné turbíny a charakterizujte ich
- Vymenujte ochranné pásma elektrických vedení nn, vn a vvn
- Vysvetlite najčastejšie používané nn káble a ich značky
- Určite základné druhy silnoprúdových rozvodov
- Nakreslite sieť : kruhovú, hviezdicovú a viac smyčkovú a vysvetlite ich prednosti
- Vymenujte typy nn prípojk
- Rozčleňte rozvod pred elektromerom a za ním

4. ELEKTRICKÉ TEPLLO

4.1. ELEKTRICKÉ CHLADENIE A PREČERPÁVANIE TEPLA

Chladienie je v podstate prečerpávanie tepla, ktoré odoberáme ochladzovanej látke alebo priestoru a odvádzame ho do inej látky alebo priestoru. Chladienie môže byť vzdušné alebo vodné. Dokonalejšie je strojové chladienie, založené na odparovaní vhodného chladiva.

Podľa spôsobu skvapalňovania odpareného chladiva rozdeľujeme chladničky na kompresorové, absorpčné, absorpčné s nepretržitým chladením a termoelektrické.

Elektrická kompresorová chladnička značky Calex používa ako chladivo difluór (ledon). Jej princíp je na obr. 1. Spúšťanie elektromotora kompresora je periodické a obstaráva ho termostat a rozbehové relé.

Elektrická absorpčná chladnička používa ako chladivo zmes čpavku, vody a vodíka v určitom pomere. Funkcia chladničky je založená na fyzikálnych zákonoch vyparovania kvapalín, miešania plynov a absorpcie plynov v kvapalinách. Celé zariadenie pracuje nehučne a veľmi hospodárne.

Elektrická chladnička s nepretržitou prevádzkou pracuje bez čerpadla, ktoré je nahradené vhodným plynom (vodíkom), ktorý vyrovnáva tlakový rozdiel medzi výparníkom a kondenzátorom.

Polovodičová termoelektrická chladnička pracuje na princípe Peltierovho javu. Chladiace batérie sú zložené z polovodičových článkov. Chladný spoj polovodičov N a P možno použiť na chladiace účely tak, že sa umiestni do tepelne izolovanej časti chladničky. Teplá strana článku sa pripojí na zdroj jednosmerného prúdu. Tieto chladničky sa úspešne používajú v zariadeniach s malými chladiacimi výkonmi.

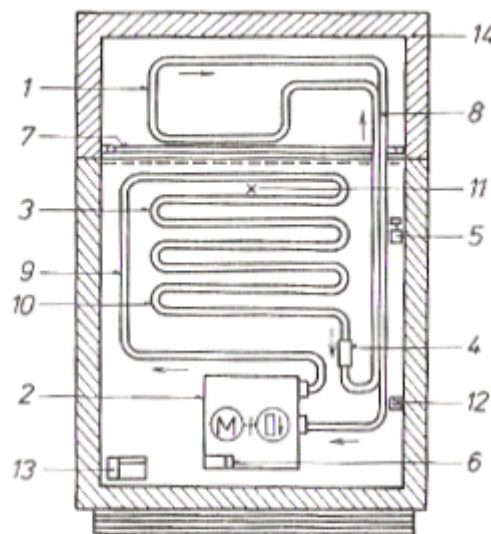
Prečerpávanie tepla. Slnko vysiela na našu Zem každodenné oveľa viac energie, ako jej môžeme spotrebovať. Pôda a voda odoberajú časť tejto energie zo vzduchu a akumulujú ju v lete rovnako ako v zime.

Toto akumulované teplo možno veľmi jednoducho využívať tepelnými čerpadlami, ktorými možno získať teplo z pôdy, vody alebo zo vzduchu.

Princíp tepelného čerpadla je na obr. 2. Zariadenie pracuje podobne ako kompresorová chladnička, ale s tým rozdielom, že výparník prečerpáva teplo z miesta nižšej teploty (3 °C až 10 °C) do miesta vyššej teploty v miestnosti, v ktorej je umiestnený radiátor 6.

Zdrojom tepla môže byť napr. podzemná voda zo studne, riečna voda, vonkajší vzduch, priemyslová odpadová voda a odpadové teplo, odpadová voda z čistiarni, parných elektrární, vzduch zo šachiet, sušiarň a pod.

Tepelné čerpadlo má štyri základne časti: 1 - výparník, 2 - kondenzátor, 3 - kompresor, 4 - redukčný ventil. Okruh tepelného čerpadla je naplnený kvapalinou s nízkym bodom varu, ktorý

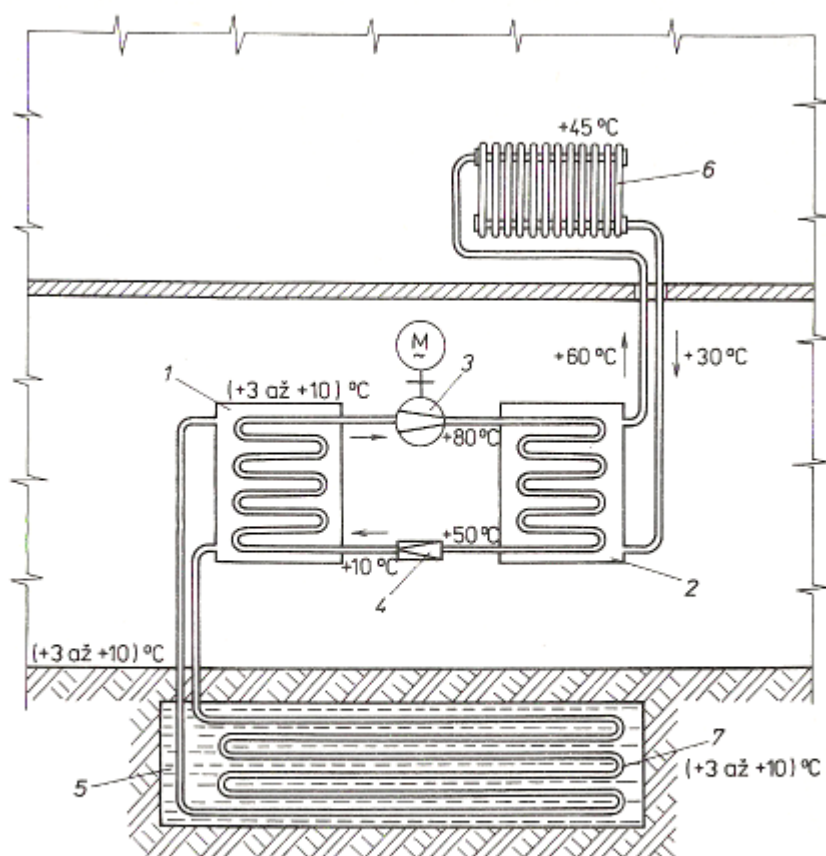


obrázok 1. Schéma chladiaceho okruhu kompresorovej chladničky 1 – výparník, 2 – kompresor, 3 – kondenzátor, 4 – dehydrátor, 5 – termostat s prepínačom a rozbehovým relé, 6 – elektrický privod, (avorkovnica), 7 – klimatizačná priečka, 8 – kapilárna rúrka, 9 – plyný ledon, 10 – kvapalný ledon, 11 – vnútorné osvetlenie, 12 – dverový kontakt, 13 – magnetické tesnenie dvier, 14 – smaltovaný plášť s tepelnou izoláciou

nazývame pracovné médium. Kompresor 3 nasáva pracovné médium z výparníka 1, v ktorom nastáva podtlak, médium sa vyparuje, na čo spotrebúva výparné teplo zo zdroja – 5. Médium sa stlačí kompresorom, zahreje sa na teplotu asi 70 °C a vháňa do kondenzátora 2, v ktorom sa skvapalňuje. Pri skvapalňovaní odovzdáva pohltene výparné teplo do sústavy teplovodného vykurovania 6.

Skvapalnene médium preteká redukčným ventilom 4, expanduje, čím stráca tlak a výrazné sa ochladzuje. Pretože pracovné médium je chladnejšie ako zdroj tepla 5, odčerpáva z neho teplo a cyklus sa znova opakuje v smere výparník, kompresor, kondenzátor a redukčný ventil.

Účinnosť tepelného čerpadla je vyjadrená vykurovacím faktorom. Teoretická hodnota vykurovacieho faktora je tri až šesť, praktická dve až štyri, čo znamená, že príkonom 1 kW môžeme prečerpávať asi (2 až 4) kW tepelného výkonu.



obrázok 2 Príklad využitia tepelného čerpadla na vykurovanie

- 1 - výparník, 2 - kondenzátor, 3 - kompresor s elektromotorom, 4 - redukčný ventil
5 - zdroj tepla, 6 - teplovodný radiátor, 7 - podzemný výmenník tepla

Tepelnú energiu získanú tepelnými čerpadlami možno využívať na vykurovanie, klimatizáciu a ohrev úžitkovej vody v obytných budovách, školách, zhromažďovacích alebo pracovných priestoroch, plavárňach, administratívnych a priemyselných budovách aj v kombinácii s chladiacimi zariadeniami, napr. v mliekárenskom priemysle na chladenie mlieka alebo pri sušení dreva, tehál, prádla, potravín a pod.

Tepelné čerpadlá sú v porovnaní s klasickým vyhrievaním výhodnejšie, pretože nie sú potrebné sklady palív, spaľovacie zariadenia a komíny, ktoré značne znečisťujú svoje okolie. Tak sa ozdravuje životné prostredie, a to ovzdušie aj spodné vody v okolí miest, priemyselných a iných objektov.

4.2. ELEKTRICKÉ OHRIEVAČE VODY

Zariadenie pre elektrický ohrev vody môže mať jedno alebo viac odberných miest v byte, alebo môže slúžiť pre celý dom. Ohrievače vody sú dvojakého typu.

Otvorené ohrievače vody obr. 3 nie sú pod tlakom vodovodného rozvodu, môžu mať preto len jedno odberné miesto (pod úrovňou výtoku z nádrže). Tieto ohrievače musia byť vybavené netlakovou armatúrou s prepádovým výtokom pre prípad prehriatia a ventilom pre napúšťanie vody do zásobníka ohrievača.

Uzatvorené ohrievače vody obr. 3 sú stále pod tlakom vodovodného rozvodu a voda v zásobníku sa dopĺňa automaticky pri odbere ako u prietokových ohrievačov. Tieto ohrievače musia byť vybavené tlakovou bezpečnostnou armatúrou. Ak je v rozvode vody tlak väčší než 5 bar, musí byť ohrievač vody chránený redukčným tlakovým ventilom.

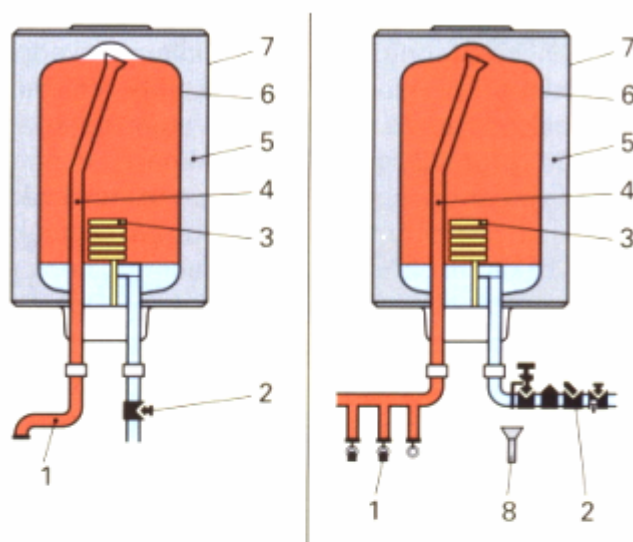
Pre jednotlivé odbery možno použiť otvorené i uzatvorené ohrievače vody, pre bytový alebo centrálny domový rozvod teplej vody je nutne použiť uzatvorený ohrievač.

Elektrická prípojka k ohrievaču vody

- Ohrievače vody s príkonom do 2 kW možno pripojiť do zásuvkového rozvodu s ochrannými kontaktmi v zásuvkách.

- Výkonnejšie ohrievače bývajú trojfázové a vyžadujú samostatný pevný prívod so samostatným vypínačom a ističom.

- Inštaláciu ohrievača s príkonom nad 6 kW by mal schváliť dodávateľ elektrickej energie.



**otvorené zásobníky
a bojler**

- 1 otvorený výtok teplej vody (prepád)
- 2 ventil pre odber teplej vody s prívodu studenej vody

uzatvorené zásobníky

- 1 odbery na rozvode teplej vody (ventily)
- 2 bezpečnostná tlaková armatúra

- 3 vyhrievané teleso
- 4 prepádová rúrka
- 5 tepelná izolácia
- 6 vnútorná nádrž
- 7 vonkajší plášť
- 8 zberač pre vypúšťanie

obrázok 3. Zásobníkové elektrické ohrievače vody

Prietokové ohrievače vody, sú uzatvorené ohrievače. Ohrievajú priebežne pretekajúcu vodu. K tomu je potrebný veľký tepelný výkon (v umývačke riadu 2 kW, pre sprchu od 5,5 kW vyššie), ktorý býva u samostatných ohrievačov pre rozvod teplej vody 12 kW až 27 kW. Účinnosť tohto ohrevu je skoro 100%. Výchrevné telesá prietokových ohrievačov vody sú pre dobrú tepelnú vodivosť väčšinou zhotovené z neizolovaných výchrevných drôtov. Plášť ohrievača s výchrevnými špirálami spolu s dostatočným dlhým prívodom a odvodom vody je z elektricky nevodivého materiálu, aby nebolo na vzdialenejších kovových častiach rozvodu nebezpečné dotykové napätie.

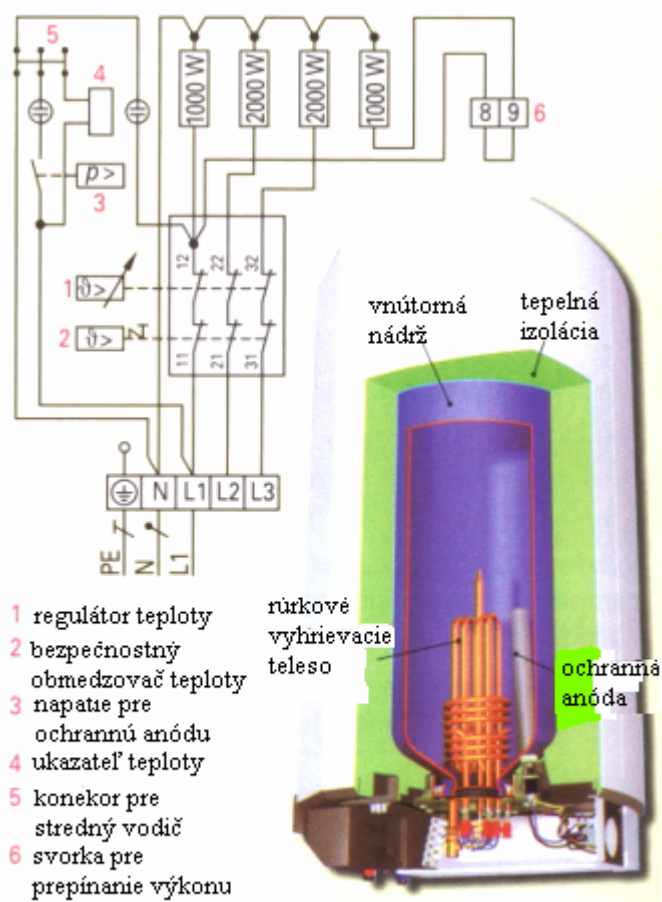
Zásobníky teplej vody majú (na rozdiel od bojlerov) tepelne izolovanú nádrž s ohrievanou vodou, aby mohli udržiavať teplú vodu bez veľkých tepelných strát dlhšiu dobu. Obsahujú rúrkové (izolované) vyhrievacie teleso, tepelné bidlo a tepelný regulátor.

Pre prípad zlyhania tepelného regulátora je zásobník vybavený ešte jedným tepelným bidlom pre odpojenie výchrevných špirál pri prekročení medznej teploty. Vnútrotný povrch ocelevej nádrže, je chránený smaltovaným náterom proti korózii (pri prasklinách v nátere) ochrannou anódou. **Dvoj okruhové zásobníky** majú pre prípad veľkého odberu ešte doplnkový ohrev. **Základný ohrev** (na lacnejšiu energiu napr. nočný prúd) ohrieva vodu vo výhodnej dobe. Doplnkový ohrev musí byť v prípade potreby zapnutý ručne tlačidlom.

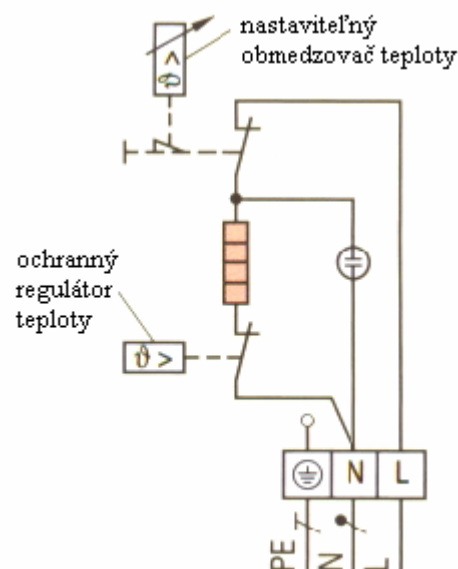
Bojler je otvorený ohrievač vody so zásobníkom bez tepelnej izolácie. Po ručnom zapnutí je voda v zásobníku jednorázovo ohriata na nastavenú teplotu a po dosiahnutí nastavenej teploty sa ohrev vypne. Bojler slúži k ohriatiu vody bezprostredne pred jej využitím napr. na umývanie alebo sprchovanie.

Varné prístroje sú otvorené kuchynské spotrebiče, väčšinou bez prívodu vody a bez tepelnej izolácie, pripojované elektricky do zásuvky, ako napr. varné kanvice, variče prekvapkávanej alebo presso kávy. Príkonný výkon vyhrievacieho telesa býva 2 kW a prístroje sú ešte proti prehriatiu tepelného telesa (pri nedostatku vody) tepelným vypínačom.

U niektorých prístrojoch možno nastaviť požadovanú teplotu vody od 35 °C až do bodu varu.



obrázok 4. Závesný zásobník teplej vody a jeho zapojenie



obrázok 5. Zapojenie varného prístroja

Niektoré prístroje sa po dosiahnutí bodu varu odpoja (varné kanvice) a niektoré udržujú zapínaním nastavenú teplotu (prístroje na kávu presso).

4.3. ELEKTRICKÉ VYKUROVANIE

Elektrické tepelné telesá vyhrievajú priestor, v ktorom sú umiestnené. Teplo vzniká priechodom vzdušného prúdu vyhrievacími telesami a je prenášané do okolia.

Priamo výhrevné môžu byť pripojené do zásuvkových rozvodov, pretože ich príkon nepresahuje 3 kW.

Akumulačné kachle majú príkon do 7 kW na trojfázovej prípojke (3 x 2,33 kW) a využívajú lacnejší nočný prúd. Teplo z rúrkových výhrevných telies sa akumuluje v masívnych, minerálnych alebo keramických doskách, ktoré sú vyhriate na 600 – 700 °C.

V režime vykurovania miestností je vzduch miestností preháňaný pomocou ventilátora akumuláčnych kachiel medzi horúcimi doskami a tým je ohrievaný.

Teplo môže byť akumulované i v mazanine kryjúcou výhrevné telesá stropného (podlahového) vykurovania.

V priestoroch so zvýšením nebezpečenstva požiaru alebo nebezpečenstva výbuchu nesmú byť inštalované tepelné žiariče ani otvorené akumuláčne kachle.

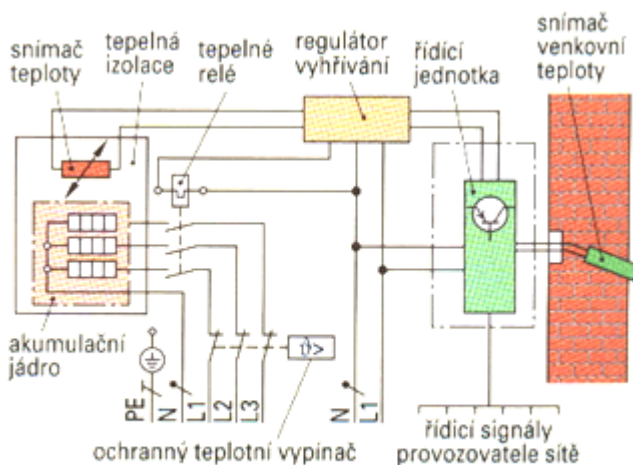
Elektrické kachle kombinujúce akumuláciu tepla a tepelné vyžarovanie sú **sálavé tepelné zdroje** vyžarujúce teplo a ohrievajú vzduch kontaktne ako kachľové masívne pece. Tieto elektrické kachle sú dnes vybavené elektronickou reguláciou nastaveného priebehu teploty s možnosťou nočného poklesu.

Elektrické akumuláčne kachle sú väčšinou vyhrievane v dobe určované prevádzkovateľom siete, v ktorej je využívaný lacnejší nočný prúd (lacnejšia elektrická energia). Rozlišujú sa tri rôzne spôsoby riadenia doby vyhrievania akumuláčnych kachiel.

Vonkajšie tepelné bidlo (termistor NTC) meria vonkajšiu teplotu a signál privádza ako riadiacu veličinu do riadiacej jednotky kachiel. Táto veličina je spolu s ďalšími nastavovacími veličinami akumuláčnych kachiel, vnútorným časovačom a vonkajším riadiacim signálom (začiatku a konca nízkeho tarifu) od prevádzkovateľa siete (signál v oblasti tónových frekvencií, základom pre činnosť riadiaceho systému). Riadenie a regulácia vyhrievania akumuláčného jadra je elektromechanická i elektronická.

V **elektronickej riadiacej jednotke** je mostíkovým meraním vonkajšej teploty riadený spínací zdroj (spínanie bloku kmitov) vyhrievajúce pomocné akumuláčne teleso riadiacim výhrevným telesom. Jeho teplota vyjadruje integrálne priebeh vonkajšej teploty a jej hodnota cez spínač ovplyvňuje spoločne so snímačom teploty akumuláčnych telies elektronický regulátor obr. 6.

Elektronický regulátor s mikrop procesorom vypočíta podľa teploty akumuláčnych telies, vonkajšiu teplotu a nastavené požadované teploty miestností potrebnú dobu vyhrievania kachiel



obrázok 6. Princíp regulácie vyhrievania akumuláčného jadra

prúdom a v závislosti na vonkajších riadiacich signáloch potom určí čas zapnutia a čas vypnutia vyhrievania. Kachle sú najviac chránené proti prehriatiu pomocou tepelného (vypínacieho) relé. Zapínanie je elektromechanické.

Vykurovanie miestností kachľami je riadené pomocou **regulácie teploty v miestnosti**, založené na zapínaní a vypínaní ventilátora a natáčania vzduchovej klapky podľa teploty v miestnosti snímanej vhodne umiestneným bidlom.

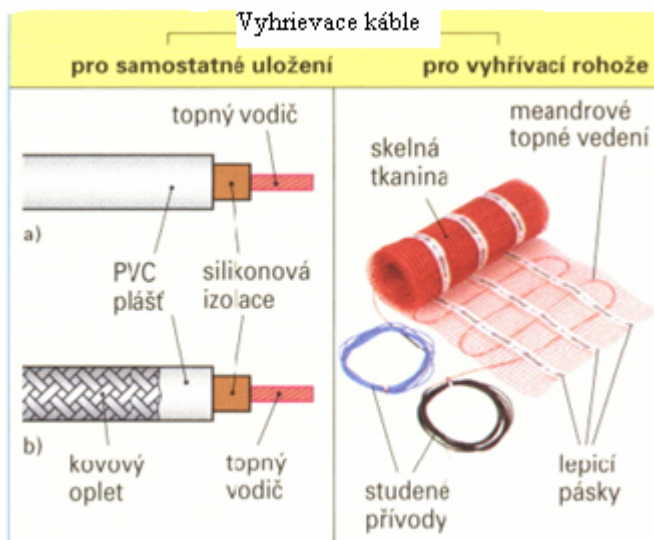
Akumulačné kachle by mali byť umiestnené v miestnosti v mieste najväčších tepelných strát.

Elektrické podlahové vykurovanie

Pri podlahovom vykurovaní sa ohrieva vzduch v miestnosti od vyhrievanej podlahy. Podlaha sa vyhrieva vyhrievacími káblami uloženými v podlahe.

Vyhrievacie káble pre veľkoplošné vykurovanie obr. 7 sú špeciálne vodiče podľa TP 12-41 MHS 161/75 alebo napr. podľa DIN VDE 0254. Sú ukladané jednotlivo do betónu, mazaniny alebo pod omietku stien, alebo sú súčasťou vyhrievacích rohoží.

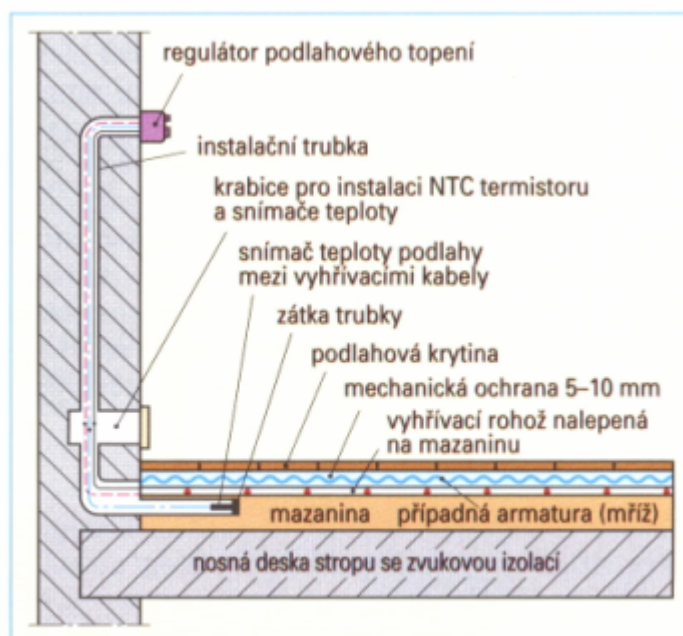
Podlahové kúrenie môže byť vykonané ako priamo výhrevné alebo ako akumulčné kúrenie.



obrázok 7. Vyhrievacie káble a rohože

Priame podlahové vykurovanie obr.8 má vyhrievacie káble kryté len tenkou vrstvou mazaniny, ktorá umožňuje prenos tepla s malým časovým omeškaním po zapnutí vykurovania. Priame podlahové vykurovanie sa využíva ako doplnkové kúrenie pre občasné rýchle prikúrenie napr. v kúpeľni alebo domácej dielni. Výkon tohto vykurovania býva od 80 W/m^2 až 180 W/m^2 .

Akumulačné podlahové vykurovanie ma vyhrievacie káble izolované vrstvou mazaniny hrúbky 8 – 12 cm, izolácia nosnej časti stropu (napr. stropného panelu) a podlahovou krytinou. Prevádzka využíva lacnejšieho nočného prúdu a vyhrievanie je riadené a regulované podobne ako u akumulčných kachiel. Pre udržiavanie teploty povrchu podlahy 27°C je potrebný plošný výkon približne 70 W/m^2 . Podlahová krytina pri podlahovom vykurovaní môže byť vybavená



obrázok 8. Priame podlahové elektrické vykurovanie

keramickou dlažbou, krytinou z PVC alebo vhodnej textílie, korkom alebo parketami. Pri pokladaní podlahovej krytiny na vykurovanú podlahu je treba rešpektovať údaje výrobcu

týkajúcej sa prípustnej teploty. Vyhrievacie káble majú väčšinou zaručené menovité vlastnosti v rozpätí teplôt – 5 °C až + 85 °C.

V spojení s tepelným čerpadlom môže byť podlahové vykurovanie realizované teplovodné vykurovanie s teplovodnými rúrkami namiesto vyhrievacích káblov.

4.4. SVETLO, FOTOMETRIA

Ak je vlákno žiarovky rožhavené pretekajúcim elektrickým prúdom, vyžaruje svetlo.

4.4.1. Svetlo je energia, ktorá má formu elektromagnetického žiarenia (vlnenia).

Elektromagnetické žiarenie sa šíri vo vzduchoprázdne rýchlosťou $c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \approx 300\,000 \text{ km/s}$. Celé spektrum elektromagnetického žiarenia zahŕňa rôzne typy žiarenia. Viditeľné svetlo je žiarenie vo vlnovom rozsahu 380 až 780 nm tj. Vo frekvenčnom rozsahu 790×10^{12} až $385 \times 10^{12} \text{ Hz}$. Každé vlnovej dĺžke z tohto rozsahu odpovedá svetlo určitej farby, napr. vlnovej dĺžke $\lambda = 700 \text{ nm}$ odpovedá červené svetlo. Pre vlnovú dĺžku platí vzťah :

λ – vlnová dĺžka

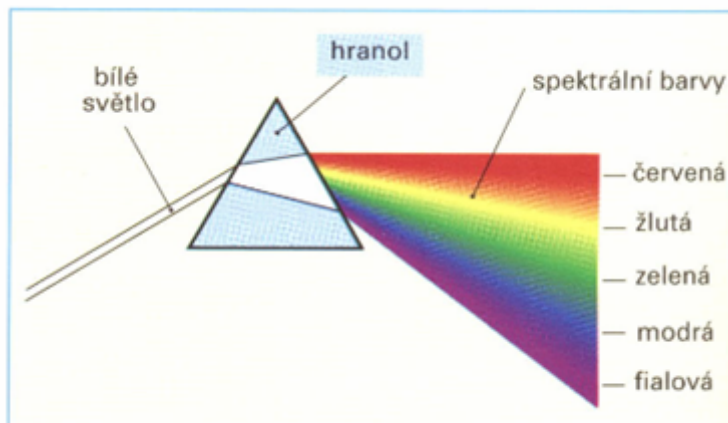
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{m; m/s; 1/s}) \quad c - \text{rýchlosť šírenia (300 000 km)}$$

f - frekvencia

Vlnová dĺžka svetla určuje jeho farbu.

Farebné spektrum. Farby svetla tvorí viditeľné spektrum. Biele svetlo obsahuje všetky typy farby v určitom pomernom zastúpení. Za biele svetlo je považované žiarenie povrchu slnka, tj. žiarenie so spojitým spektrom a s teplotou chromatičnosti 5400 °K. Optickým hranolom možno biele (denné) svetlo rozložiť na jednotlivé farebné zložky obr.9, ktoré majú pri rôznych vlnových dĺžkach rôzne **indexy lomu**.

Miešaním základných farieb (červená, zelená, modrá) môžeme dostať ďalšie farby (žltá = červená + zelená, azúrová = zelená + modrá, purpurová = červená + modrá). Spektrá výbojov v žiarivkách sú nespojité tvorené úzkymi pásmi a čiarami. V prípade ortuťových par prevažuje neviditeľné ultrafialové žiarenie (UV žiarenie).



obrázok 9. Rozklad bieleho svetla na spektrálne farby

Farebné zloženie. Predmety sa javia vo farbe svetla, ktoré odrážajú. Napríklad červené teleso odráža červené svetlo a ostatné časti svetelného spektra pohlcuje. Červený predmet sa však nemôže javiť ako červený, ak je osvetlený svetlom, ktoré červenú zložku neobsahuje, napr. svetlom sodíkovej výbojky s jedinou žltou spektrálnou čiarou.

Farba telesa môže byť viditeľná len pri osvetlení zdrojom, ktorý má túto farbu vo svojom spektre.

Fotometria

Základnou fotometrickou veličinou je svietivosť a jednotkou svietivosti je 1 kandela (1 cd). Kandela je svietivosť v danom smere zdroja, ktorý vysiela monochromatické žiarenie frekvencie 540×10^{12} Hz a jeho žiarivosť v tomto smere činí $1/683$ wattov na ste radián. Ďalšou dôležitou veličinou je **svetelný tok**, ktorý je žiarivým svetelným výkonom a jednotkou je 1 lúmen. Bodový zdroj svetla vysiela do priestorového uhla 1 ste radiánu svetelný tok 1 lúmena, ak je svietivosť tohto zdroja (vo všetkých smeroch) rovný 1 kandeľe.

Svetelný tok zdroja je celkový svetelný výkon vyžarovaný zdrojom.

Z definície kandely plynie, že pri teoretickej premene 100 % elektrickej energie vo viditeľnom svetle žiarenia by jednowattová žiarovka mala svetelný tok 683 lúmen.

Merný svetelný výkon je pomer výkonu svetelného žiarenia a elektrického príkonu.

Osvetlenie je podiel svetelného toku a plochy, na ktorú dopadá. Plocha je osvetlená intenzitou 1 lux, dopadá na plochu 1 m^2 svetelný tok 1 lm obr. 10. Intenzita osvetlenia zemského povrchu slnkom je približne 100 000 luxov. Požadovaná intenzita osvetlenia pracovných priestoroch sú uvedené v príslušných normách. Intenzita osvetlenia sa meria buď luxmetrom priamo proti zdroju alebo expozimetrom meraním odrážaného svetla pri známej odrážavosti povrchu.

Pre rôzne priestory sú doporučované minimálne hodnoty osvetlenia, zaručujúce dobré podmienky viditeľnosti.

Väčšina svetelných zdrojov starne a stráca s časom časť svetelného výkonu, preto musí byť inštalovaný svetelný výkon s určitou rezervou (bežne o 25 % vyššie), pri návrhu teda použijeme koeficient $\rho = 1,25$.

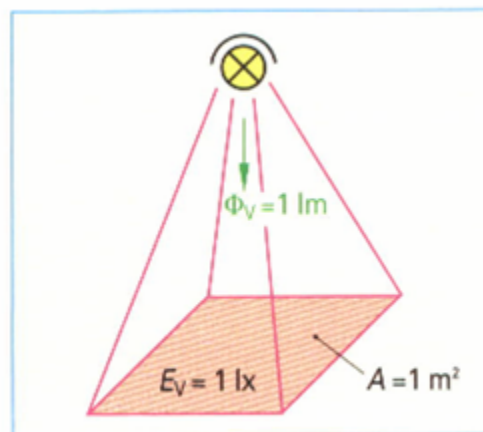
Jas je intenzita svietivosti žiarivej plochy zdroja svetla a je jedno, či sa jedná o primárny zdroj alebo zdroj sekundárny (zdroj odrážaného svetla).

Veľký jas zdroja spôsobuje oslnenie.

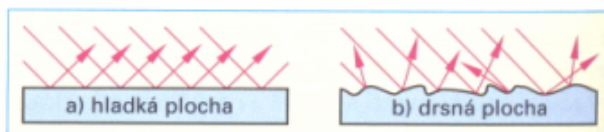
Veľký jas má napr. číra žiarovka alebo elektrický oblúk. Menší jas má mliečna žiarovka alebo žiarivka, ešte menší jas má povrch veľkoplošných svietidiel.

Odras svetla. Pri dopade svetla na rozhranie s iným optickým prostredím sa časť svetla odrazí. Pri odraze od hladkej kovovej plochy má odrazené svetlo rovnaký charakter ako svetlo dopadajúce. Pri odraze od nekovovej hladkej plochy dochádza k tzv. polarizácii svetla. Pri odraze od drsných plôch (napr. stien alebo snehu) dochádza k **rozptylu** svetla tak, ako napr. po prechode mliečnym sklom, mrakmi alebo zemskou atmosférou obr.11.

Lom svetla. Pri prechode svetla z jedného optického prostredia do prostredia inej **optickej hustoty** (prostredie s inou rýchlosťou šírenia svetla) mení svetlo svoju rýchlosť. Pri dopade svetelného papriku na rovinné optické rozhranie obr.12 sa časť svetla odrazí a časť prechádza ďalším prostredím. Pri prechode rozhraním sa paprsok pri prechode do prostredia optický



obrázok 10. Definícia osvetlenia



obrázok 11. Odras svetla na, a – hladkej ploche, b – drsnej ploche



obrázok 12. Priechod s lomom paprsku

hustejšieho (s pomalším šírením) láme ku kolmici (uhol $\beta < \alpha$) a pri prechode do prostredia optický redšieho (napr. zo skla do vzduchu) sa láme od kolmice.

4.5. ŽIAROVKY, VÝBOJKY, ŽIARIVKY, SVETELNÉ TRUBICE

Žiarovka je svetelný zdroj v ktorom vzniká svetelné optické žiarenie, tj. tepelným budením pri zohriatí na vysokú teplotu prechodom elektrického prúdu. Podiel viditeľného (svetelného žiarenia) narastá s teplotou, limitovanou teplotou tavenia materiálu vlákna. Vlákna dnešných žiaroviek sú z wolframu, jeho teplota tavenia je 3653 °K (teplota vyparovania je 6173 °K). Žiarovky sú buď vákuové, alebo plnené zmesou vzácnych plynov (argónom a kryptónom) pre zníženie odparovania wolfrámu. Pre zväčšenie vyžarovacieho povrchu bývajú vlákna žiaroviek navinuté ako jednoduché alebo dvojité špirály obr.13.

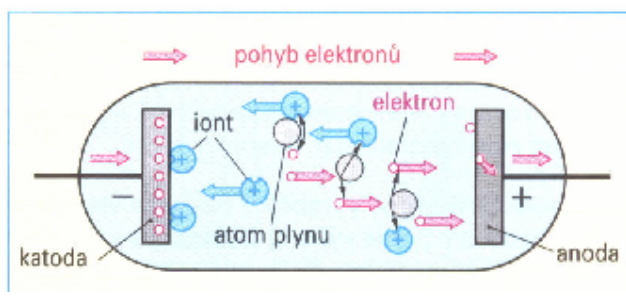


obrázok 13. Špirálové vlákno

Odparujúci wolfrám sa usadzuje na sklenenej banke žiarovky a červený povlak znižuje postupne využitelný svetelný tok.

Výbojky. Vo výbojkách vzniká pri elektrickom výboji medzi elektródami v prostredí plynu alebo par kovové elektromagnetické žiarenie vo viditeľnej alebo ultrafialovej časti spektra. Neviditeľné žiarenie je prevedené do viditeľnej oblasti pomocou luminofora na vnútornej strane sklenenej alebo kremíkovej výbojke.

Výboj v plyne nastáva pri prechode elektrického prúdu plynom. Výbojky bývajú plnené vzácnymi plynmi (argón, neón, xenón), halogenidy (napr. jodidy NeJ, InJ, TIJ) alebo parami kovov (ortuti alebo sodíka). Farba svetla závisí na zložení a tlaku náplne. Neón dáva prevažne červené svetlo, sodík žlté a ortuť modré a UV žiarenie.



Obrázok 14. Ionizácia plynu nárazom vo výbojke

Ionizácia nárazom. Pri privedení dostatočného elektrického napätia na elektródy výbojky sa vplyvom elektrického poľa začnú pohybovať voľné elektróny od katódy k anóde, nárazy budia alebo ionizujú ďalšie atómy plynu obr.14 a plyn sa stáva elektricky vodivým.

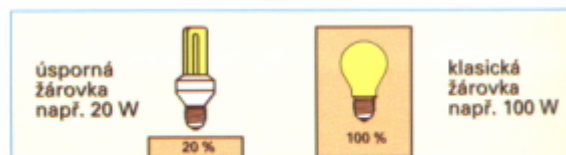
Obmedzenie prúdu výbojky. Ionizácia plynu spôsobená nárazmi voľných elektrónov prebieha lavínovite (pri dostatočnom silnom elektrickom poli), a tým klesá odpor plynu. Narastajúci prúd by mohol výbojku zničiť.

Výbojky plnené plynom používajú k vytvoreniu zapalovacieho napätia a k obmedzeniu prevádzkového prúdu predradné žiarenie.

Žiarivky sú nízkotlakové výbojky plnené ortuťovými parami s malou prímiesou vzácnych plynov napr. argónu, kryptónu. Prevažne UV žiarenie ($\lambda = 253,7 \text{ nm}$) ortuťových pár sa mení na vrstve luminofora na svetlo. Rožhavené špirálové wolfrámové elektródy sú pokryté emisnou vrstvou, napr. bariumoxidom. Prítomnosť znižuje zápalné napätie, zabraňuje rozprašovaniu materiálu elektród a zväčšuje intenzitu rezonančných čiar v spektre ortuti. Pri izbovej teplote 20 °C až 25 °C sa udržiava optimálna pracovná teplota žiarivky 40 °C. Pri znižovaní teploty svetelný tok žiarivky rýchlo klesá.

Žiarivky majú veľkú životnosť (asi 7500 hodín) a veľký merný svetelný výkon 30 až 100 lm/W, bežne 60 lm/W (5-krát viac než bežná žiarovka).

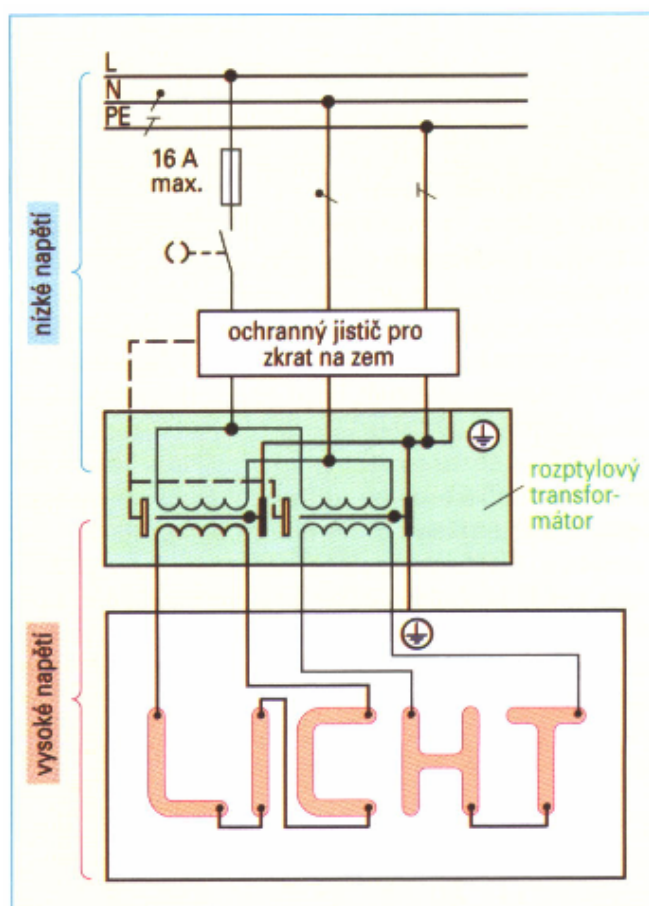
Kompaktné žiarivky označované ako **úsporné žiarovky** sú malé žiarivkové svetidlá, ktoré majú potrebné predradné obvody vstavené v päťci a môžu sa zaskrutkovať do žiarovkového závitu E27 alebo E14 namiesto bežných žiaroviek. V porovnaní so žiarovkami s rovnakým svetelným tokom majú 5-krát menšie svetelné straty, nevypaľujú objímky a izoláciu v málo vetraných a málo ochladzovaných svetidlách (napr. v odsávači par nad sporákom) a väčšia nákupná cena je kompenzovaná až 8-krát väčšou životnosťou obr.15. Sú zvlášť vhodné v miestach s trvalým alebo dlhodobým svietením.



obrázok 15. Porovnanie príkonov svetelných zdrojov s rovnakým svetelným tokom (1300 lm)

Svetelné trubice sú plynom plnené výbojky s nažhavenými elektródami, vysokým zapalovacím i prevádzkovým napätím (1 000 V až 10 000 V) a malým svetelným výkonom.

Svetelné trubice sú väčšinou používané na svetelné reklamy. Farby svetelných trubíc závisia od plynovej náplni a od luminofora. V kombinácii s farebnými sklami trubíc je možné dosiahnuť všetky farby. Trubice sa pripojuje **rozptylový transformátor**, ktorý dáva dostatočné vysoké zapalovacie napätie a obmedzuje prevádzkový prúd podobne ako tlmivka u žiaroviek. Účinník je v rozmedzí 0,5 až 0,65. Svetelné trubice sa taktiež nazývajú ako žiarivky so studeným zápalom. Ich elektródy nie sú predžhavené, spravidla majú tvar dutého niklového alebo kovového valca a nemajú povlak z emisnej hmoty. Majú veľký katódový úbytok, preto sa vyrábajú pomerne dlhé, až 2,4 m, aby sa dosiahol väčší merný výkon. Majú relatívne dlhú životnosť a zapalujú sa spoľahlivo pri nízkych teplotách okolia.



obrázok 16. Zapojenie zariadenia so svetelnými trubicami

Pri zapojení svetelných trubíc je nutné vzhľadom k vysokému napätiu rešpektovať bezpečnostné predpisy. K odpojeniu zariadenia od siete pri skrate na zem slúži ochranný istič (obrázok), ktorý musí byť na vstupe zariadenia a mal by sa odpojiť do 0,2 s. Na jeden rozptylový transformátor musí byť pripojený len jeden sériový obvod s trubicami obr. 16. Celé zariadenie musí byť odpojiteľné jedným hlavným vypínačom, zaistený proti prístupu nepovolanej osoby. Ako nad prúdové ochrany sa pre zariadenie používajú tavné poistky alebo ističe do 16 A.

Všetky přístupné vodivé části, na kterých by sa pri poruche mohlo objaviť nebezpečné dotykové napätie, musia byť vzájomne pospájané vodičom pre vyrovnanie potenciálu a pomocou jeho je spojený s ochranným vodičom. Ide hlavne o nosné kovové konštrukcie (na stenách a strechách budov) a ochranné kovové kryty.

Na strane vysokého napätia je nutné pre privody k trubiciam použiť odpovedajúce vodiče pre vysoké napätie (5 až 10 kV) o priereze aspoň 1,5 mm².

U zariadeniach so svetelnými trubicami nesmie byť prekročené menovité napätie 10 kV a napätie proti zemi 5 kV.

Kontrolné otázky k opakovaniu

- Vymenujte základné časti tepelného čerpadla
- Popíšte okruh tepelného čerpadla
- Vymenujte elektrické ohrievače vody a elektrotepelné prístroje
- Charakterizujte plošné vykurovanie a akumulčné vykurovanie
- Porovnajzte otvorené a zatvorené vykurovacie články
- Vymenujte rozklad bieleho svetla na spektrálne farby
- Definujte : svietivosť, svetelný tok a osvetlenie
- Charakterizujte svetlo žiarovky, žiarivky a výbojky
- Porovnajzte výkon a svietivosť žiarovky a výbojky
- Vysvetlite príčinu kombinácie žiarovky a žiarivky
- Popíšte na schéme elektrický obvod so svetelnými trubicami
- Aká ochrana sa používa proti nebezpečnému dotykovému napätiu pri zapájaní so svetelnými trubicami

5. NELINEÁRNE POLOVODIČOVÉ SÚČIASTKY

5.1. VEDENIE PRÚDU V TUHÝCH LÁTKACH

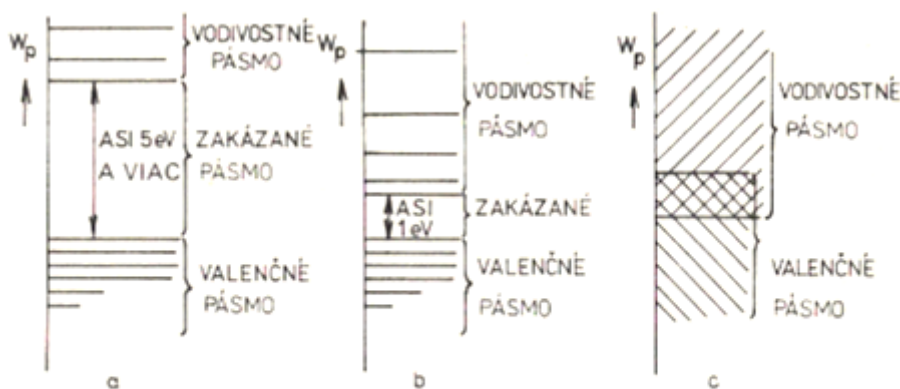
5.1.1. Pásmový model atómu

Základnú predstavu o stavbe hmoty dáva Bohrov model atómu. Podľa tohto modelu je atóm tvorený sústavou častíc, ktoré sú usporiadané podobným spôsobom ako planéty v našej slnečnej sústave. Uprostred atómu je umiestnené jadro (Slnko) a okolo neho sa pohybujú elektróny (planéty). Jadro sa skladá z kladných protónov a z elektricky neutrálnych neutrónov.

Ak je atóm v priestore osamotený a nepôsobí naň žiadne vonkajšie silové pole, sú dráhy elektrónov kruhové so stredom v strede jadra atómu. Polomery dráh elektrónov nie sú ľubovoľné. Možné dráhy elektrónov sú združené do skupín, ktoré nazývame sféry a označujeme ich písmenami K, L, M, N, O, P. Pre vedenie prúdu majú najväčší význam tie elektróny ktoré obiehajú vo vonkajšej sfére atómu. Táto sféra sa nazýva valenčná sféra a elektróny zase valenčnými elektrónmi.

Pretože medzi jadrom a elektrónom pôsobí príťažlivá sila, odpovedá každej vzdialenosti elektrónu od jadra určitá potenciálová energia. V strede jadra je potenciálová energia takmer nulová, smerom od jadra sa potenciálna energia zväčšuje. Potenciálovú energiu v gravitačnom poli jadra atómu môžeme vyniesť na zvislú os grafu podľa obr.1. Získame tzv. **pásmový model atómu**.

Ak prijme atóm zvonku určité kvantum energie, dôjde k vyzdvihnutiu niektorého elektrónu valenčnej sféry na dráhu vzdialenejšiu od jadra, tj. Na dráhu s väčšou potenciálnou energiou. Pokiaľ je atómom prijatá energia malá, dochádza v krátkej dobe k jej spätnému vyžiareniu a elektrón opäť zaujme polohu na dráhe s minimálnou energiou. Ak je však prijatá energia tak veľká, že elektrón prekoná určitú oblasť energií, v ktorej neležia žiadne energetické hladiny, na ktorých by sa mohol dlhšiu dobu udržať, hovoríme, že elektrón prekonal zakázané energetické pásmo. Prekonaním zakázaného pásma sa elektrón dostal na dráhy značne vzdialené od jadra. K jadru je pripútaný už len veľmi slabo, v krátkej dobe sa uvoľní a pohybuje sa priestorom kryštálovej mriežky. Tým dochádza k prenosu náboja, teda k vedeniu elektrického prúdu v látke. Energetické hladiny odpovedajúce tejto situácii tvorí vodivostné energetické pásmo. Z toho vyplýva, že schopnosť látky viesť elektrický prúd závisí na šírke jej zakázaného pásma. Čím je toto energetické pásmo širšie, tým je látka horším vodičom elektrického prúdu, pretože tým väčšiu energiu je nutné dodať elektrónom valenčnej sféry k tomu, aby prešli do vodivostného pásma a uvoľnili sa od jadra.



obrázok 1. Pásmový model atómu
a - izolantu, b - polovodiča, c - vodiča (kovu)

Zakázané pásmo izolantov je široké niekoľko (5 a viac) elektrónvoltov. Polovodiče majú zakázané pásmo široké asi 1 eV. U vodičov (kovov) zakázané pásmo chýba. Vodivostné a valenčné pásmo sa čiastočne prekrývajú, takže vo vodivostnej sfére kovov je za všetkých podmienok dostatočný počet voľných elektrónov, ktoré vedú elektrický prúd.

5.1.2. Vlastná vodivosť a nevlastná vodivosť polovodiča

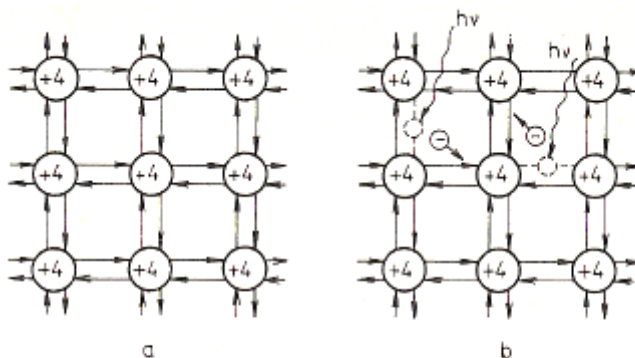
Čisté polovodičové materiály (kremík, germánium) majú atómy usporiadané do pravidelnej kryštalickej mriežky. Pri teplote blízkej absolútnej nule sa nevyskytujú žiadne voľné elektróny, pretože všetky valenčné elektróny sú zúčastnené vo valenčných väzbách. To znamená, že tieto materiály sú pri nízkych teplotách nevodiče (izolanty).

Ak však privedieme do látky také množstvo energie, ktoré elektrónom dovolí prekonať zakázané pásmo, dôjde k rozbitiu niektorých väzieb obr.2. Elektróny uvoľnené z týchto väzieb sa voľne pohybujú po kryštálovej mriežke a umožňujú vedenie prúdu. Vo väzbe, z ktorej bol elektrón uvoľnený zostáva voľné miesto nazývané diera. Pretože nenasýtená väzba má snahu doplniť sa opäť na osem elektrónov (nasýtiť sa), pôsobí diera na okolité náboje rovnakým spôsobom, ako keby sa v danom mieste nachádzal kladný náboj. K zaplneniu diery vo väzbe dôjde, buď pritiahnutím niektorého voľného elektrónu alebo tým, že v dôsledku pohybu kryštálovej mriežky sa v určitom okamihu priblíži niektorý zo susedných atómov natoľko, že dôjde k vytrhnutiu elektrónu z niektorej jeho väzby. Tento elektrón zaplní voľné miesto vo väzbe prvého atómu, avšak diera sa objaví vo väzbe iného atómu, z ktorého väzby bol elektrón odtrhnutý. Tento dej sa neustále opakuje. Tým je v látke prítomné určité množstvo voľných elektrónov i kladných nábojov (dier).

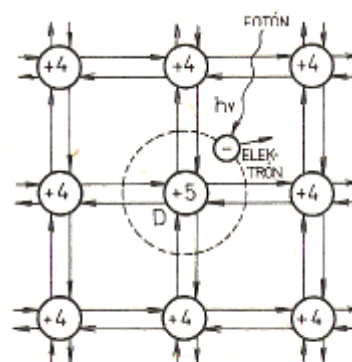
Nevlastná vodivosť polovodiča vznikne prímесou, ktorá v kryštálovej mriežke chemicky čistého polovodiča nahradí niektoré jeho atómy. Podľa druhu prímеси získame dva typy nevlastných polovodičov:

Polovodič typu N: Vznikne pridaním niektorého prvku z piatej skupiny periodickej sústavy, napr. arzenu, fosforu alebo antimónu. Tieto prímеси nazývame donory. Atómy týchto prvkov majú vo valenčnej sfére päť elektrónov. Štyri elektróny tvoria spolu s rovnakým počtom elektrónov susedných atómov vlastného polovodiča valenčnej väzby a piaty elektrón je voľný. Tým sa zväčší elektrická vodivosť. Vznikne polovodič s elektrónovou vodivosťou. Taký polovodič sa nazýva polovodič typu N obr.3.

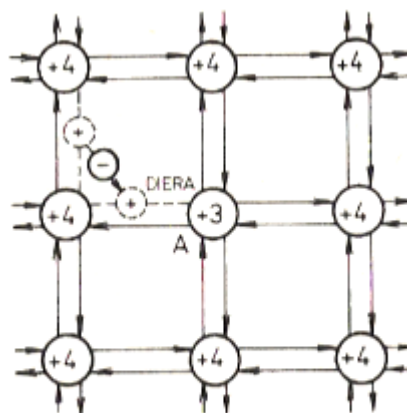
Polovodič typu P: Vznikne pridaním niektorého prvku z tretej skupiny periodickej sústavy, napr. gália, bóru, hliníka. Tieto prímеси nazývame akceptory. Atómy týchto prvkov majú vo valenčnej sfére tri elektróny, ktoré tvoria so všetkými elektrónmi vlastného polovodiča valenčné väzby. Jedna väzba nie je zaplnená



obrázok 2. Kovalentná väzba medzi atómami čistého štvormocného polovodiča. Atóm bez valenčných elektrónov je označený symbolom +4 a elektróny šípkami
a - energia sa neprivádza, b - energia sa privádza vo forme žiarenia



obrázok 3. Vznik nevlastnej vodivosti N. D je atóm donora



obrázok 4. Vznik nevlastnej vodivosti P
A - atóm akceptora

a vznikne diera. Polovodič má dierovú vodivosť. Taký polovodič sa nazýva polovodič typu P. Diera je voľný kladný nosič elektrického prúdu. Smer pohybu dier je opačný než smer pohybu elektrónov.

V skutočnosti sú v každom nevlastnom polovodiči elektróny i diery. V polovodiči typu N je väčšina elektrónov (elektróny sú väčšinové – majoritné nosiče) a menšina dier (diery sú menšinové – minoritné nosiče). V polovodiči typu P je väčšina dier a menšina elektrónov obr. 4.

5.2. PRIECHODY PN

5.2.1. Priechod PN bez pôsobenia vonkajšieho napätia

Máme platničku z monokryštálu, ktorej jedna časť má nevlastnú vodivosť **P** a druhá časť **N**. Miesto, kde sa mení vodivosť **P** na **N**, sa nazýva **priechod PN** obr.5a.

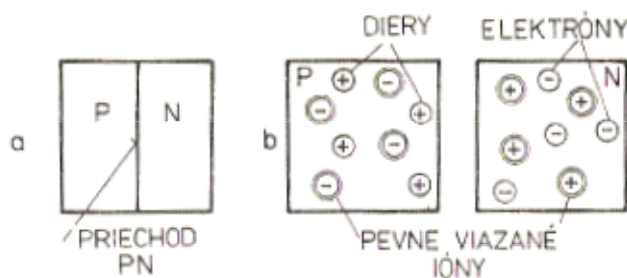
Z atómov prímies vznikli v kryštálovej mriežke pevne viazané jednomocné ióny, ktoré sa nemôžu zúčastniť vedenia elektrického prúdu. Prechod prúdu kryštálom však môžu veľmi podstatne ovplyvniť pôsobením svojho elektrostatického poľa.

Predstavme si, že obidve časti monokryštálu sú najprv od seba priestorovo oddelené obr.5b. Časť **P** obsahuje okrem neutrálnych atómov základného prvku určitý počet viazaných záporných iónov a rovnaký počet voľne pohyblivých dier. V časti **N** sú pevne viazanými nábojmi kladné ióny a pohyblivými nábojmi elektróny. Ako sme už vysvetlili, tieto časti kryštálu sú navonok celkom elektricky neutrálne. Nevytvárajú žiadne vonkajšie elektrické pole, ktoré by mohli akokoľvek ovplyvniť pohyb voľných nábojov v kryštálovej mriežke druhej časti.

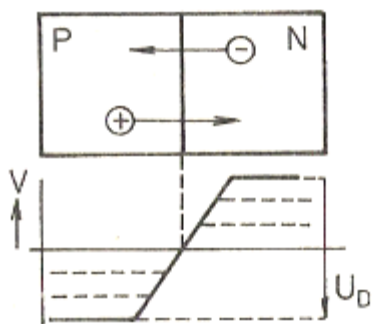
Na lepšie pochopenie predpokladajme, že by sme mohli navzájom spojiť obidve časti monokryštálu tak dokonale, aby kryštálová mriežka jednej časti, bez akýchkoľvek nepravidelností (porúch), nadväzovala na kryštálovú mriežku druhej časti. Hneď po spojení obidvoch častí by začala pôsobiť **difúzia**, tj. snaha nosičov náboja rovnomerne sa rozptýliť v celom objeme monokryštálu. Ak niektorý elektrón prejde z časti **N** do **P**, alebo diera z časti **P** do **N**, sa poruší rovnováha elektrických nábojov obidvoch pôvodne elektricky neutrálnych častí. V časti **N**, ktorá stráca elektróny, prevláda kladný náboj pevne viazaných iónov donoru. Súčasne v časti **P**, v ktorej rekombinujú elektróny, prevláda záporný náboj pevne viazaných iónov akceptora. Medzi časťou **P** a **N** sa vytvára rozdiel potenciálov, ktorý sa nazýva **difúzne napätie** (na obr.6 označené U_D). Čím viac nosičov prejde cez priechod, tým väčšie je difúzne napätie.

Súčasne so vznikom rozdielu potenciálov sa v okolí priechodu vytvára **elektrostatické pole** pevných iónov obr.7. Ďalšia difúzia voľných nábojov cez priechod je silovým pôsobením tohto poľa stále ťažšia, pretože záporné ióny v časti **P** odpudzujú elektróny, ktoré sa snažia preniknúť do tejto časti. Rovnako pôsobia aj kladné ióny v časti **N** na prichádzajúce diery. Pritom každý ďalší prechod náboja zväčšuje intenzitu poľa a tým aj odpudivú silu, ktorá pôsobí na difundujúce náboje.

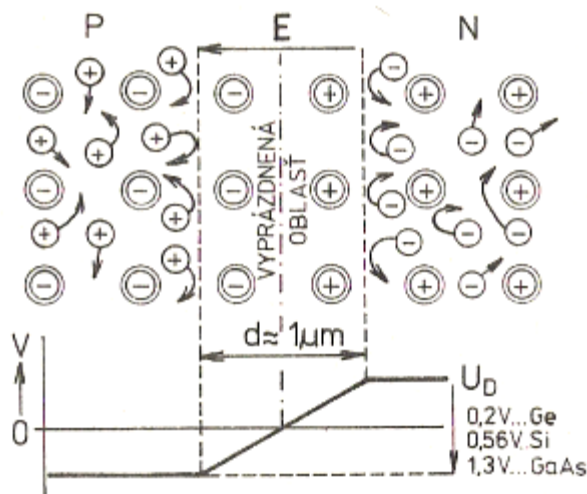
Dej prebieha tak dlho, až nastane **dynamická rovnováha** medzi kinetickou energiou difundujúcich nosičov náboja a odpudivou silou elektrostatického poľa iónov. Teraz už kinetická energia nosičov náboja nestačí na prekonanie rozdielu potenciálnych energií



obrázok 5. a - Priechod PN, b - časť P a časť N



obrázok 6. Difúzne napätie U_D na priechode PN



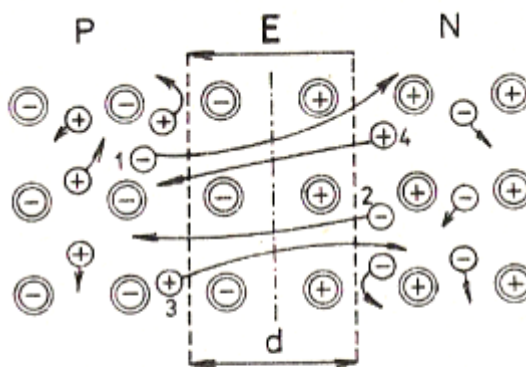
obrázok 7. Priechod PN bez vonkajšieho napätia

obidvoma časťami kryštálu. Ďalší rast difúzneho napätia sa zastaví.

Pre majoritné nosiče náboja vytvára difúzne napätie (elektrostatické pole pevných iónov) prekážku, ktorá sa nazýva **potenciálová priehrada** (potenciálová bariéra), cez ktorú nemôžu nosiče náboja preniknúť z jednej časti do druhej. Elektrostatické pole pevných kladných iónov časti N odpudzuje od miesta priechodu voľné diery, ktoré sa pohybujú v časti P. Pole pôsobí rovnako aj na voľné elektróny v časti N.

V okolí priechodu vzniká oblasť, z ktorej sú vytlačené všetky majoritné nosiče náboja obr.7. Táto oblasť, ktorá má v prípade, že na priechod nie je pripojené žiadne napätie, hrúbku asi 1 μm , sa nazýva **vyprázdnená oblasť**.

Pretože počet minoritných nosičov náboja je pri určitej teplote materiálu malý, malý je aj nimi spôsobený prúd prechádzajúci cez priechod. Prechádzajúce minoritné nosiče náboja (elektróny z P do N a diery z N do P) spôsobia postupné zmenšovanie difúzneho napätia (pretože prinášajú do časti N záporný a do časti P kladný náboj). Akýkoľvek pokles difúzneho napätia sa však hneď vyrovnáva difundujúcimi majoritnými nosičmi náboja, ktorých kinetická energia stačí na prekonanie zmenšeného difúzneho napätia, pretože rýchlosti jednotlivých nosičov náboja nie sú vplyvom vzájomných zrážok rovnaké obr.8.



obrázok 8. Priechod PN bez vonkajšieho napätia
1,4 - minoritné nosiče, 2,3 - majoritné nosiče s veľkou kinetickou energiou

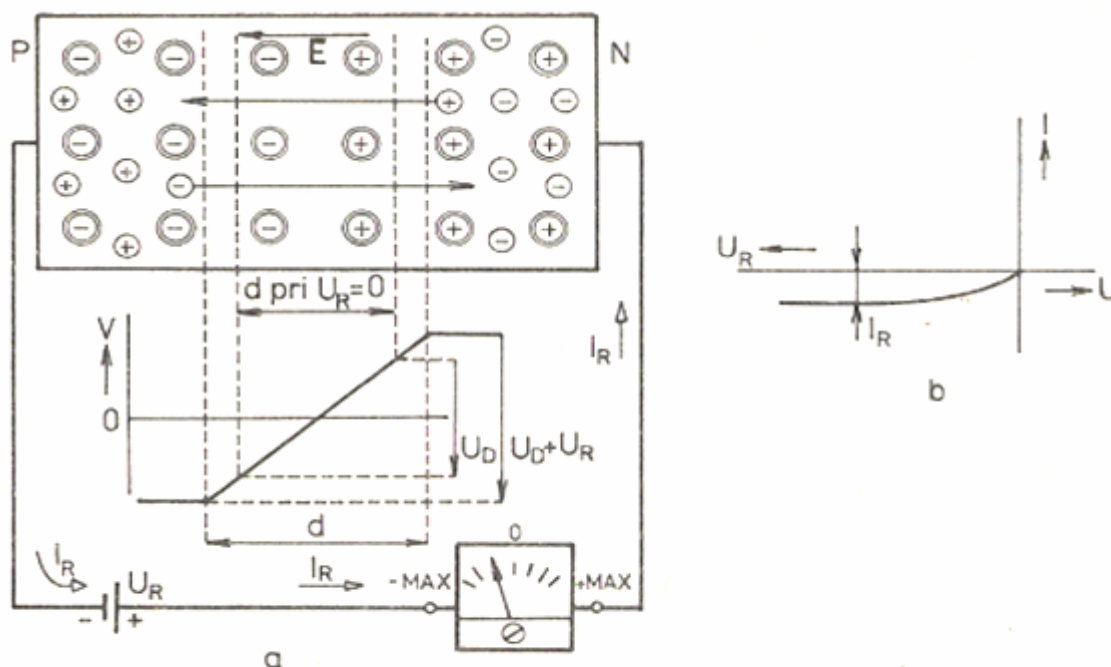
Priechod je trvale v dynamickej rovnováhe a difúzne napätie je pri konštantnej teplote konštantné. Prúd minoritných nosičov sa vyrovnáva (kompenzuje) prúdom tých majoritných nosičov, ktoré majú dostatočnú kinetickú energiu. Celkový náboj na oboch stranách priechodu PN zostáva konštantný.

5.2.2. Priechod PN s pripojeným vonkajším napätím

Ak dáme na polovodičovú štruktúru PN privody, na ktoré pripojíme jednosmerné napätie s rovnakou polaritou akú má difúzne napätie (obr.10a), tj. na časť P mínus a na časť N plus,

elektrostatické pole, ktoré vznikne vplyvom pripojeného napätia bude mať súhlasný zmysel ako elektrostatické pole pevných iónov, ktoré pôsobí v okolí priechodu.

Potenciálová priehrada medzi časťou **P** a **N** sa zväčší a vyprázdnená oblasť sa rozšíri, pretože obidve polia sa budú navzájom podporovať. Ani najrýchlejšie majoritné nosiče nemôžu prekonať zväčšenú potenciálovú priehradu a prúd majoritných nosičov zanikne. Priechod je pre majoritné nosiče náboja uzavretý. Hovoríme, že je **polarizovaný v spätnom smere**. Cez priechod aj vonkajší obvod prechádza len prúd minoritných nosičov náboja I_R , lebo prúd majoritných nosičov, ktorý ho pri priechode **PN**, bez vonkajšieho zdroja kompenzoval, zanikol.

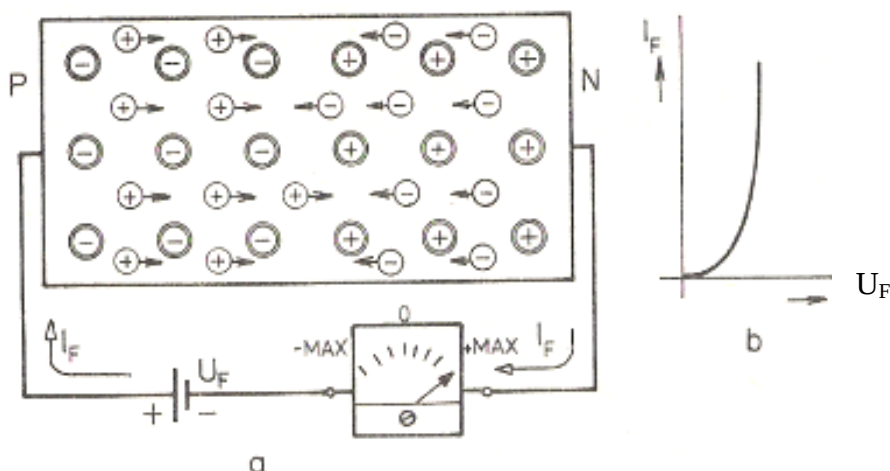


obrázok 9. a) Priechod **PN** polarizovaný v spätnom smere, b) $I_R = (U_R)$

Elektrostatické pole spôsobené vonkajším zdrojom napätia síce podporuje pohyb minoritných nosičov cez priechod, ale znateľne nezväčšuje prúd, pretože všetky minoritné nosiče, ktoré pri danej teplote boli k dispozícii, už priechodom prechádzali. Prúd I_R je nasýtený obr.9b.

Ak zmeníme polaritu pripojeného napätia zodpovedajúce elektrostatické pole bude pôsobiť proti elektrostatickému poľu pevných iónov. Majoritné nosiče tohto poľa priblížia k priechodu, potenciálová priehrada sa zruší a vyprázdnená oblasť zanikne. Priechod je pri tejto polarite pripojeného napätia (tj. na **P** plus a na **N** mínus) pre majoritné nosiče otvorený. Hovoríme, že je **polarizovaný v priamom smere**. Obvodom prechádza prúd I_F obr.10a, ktorý pri zväčšovaní vonkajšieho napätia prudko narastá obr.10b, pretože v kryštálovej mriežke vzniká veľké množstvo majoritných nosičov, ktoré vedú prúd.

Priechod **PN** má usmerňovací účinok (jednosmernú vodivosť). Ak pripojíme na časť **P** kladné napätie proti časti **N**, je odpor priechodu veľmi malý (rádovo zlomky ohmov). Pri opačnej polarite má priechod veľmi veľký odpor (pri kremíku až niekoľko MΩ).



obrázok 10. a) Priechod PN polarizovaný v priamom smere, b) $I_F = f(U_F)$

5.2.3. Vytvorenie priechodu PN

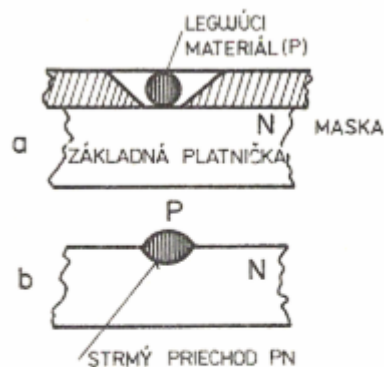
Základný materiál na vytvorenie priechodu **PN** veľmi čistý kryštál polovodiča s pravidelnou stavbou kryštálovej mriežky bez nerovnosti a porúch. Takýto materiál sa nazýva **monokryštál**. Monokryštály vhodné na výrobu polovodičových súčiastok majú určité množstvo prímies, ktoré spôsobujú nevlastnú vodivosť **P** alebo **N**.

Monokryštál sa najskôr vo vhodnom smere vzhľadom na kryštalografické osi rozreže na platničky s hrúbkou niekoľko desiatín milimetra, ktoré sa obrúsia a vyleštia na zrkadlový lesk. Na platničkách sa môže vytvoriť priechod **PN** niekoľkými spôsobmi: zlievaním, epitaxným rastom, difúziou a iónovou implantáciou.

Pri výrobe **zlievaním (legovaním)** sa na povrch základnej platničky priloží maska s otvorom v mieste, kde sa má vytvoriť priechod. Do otvoru sa vloží potrebné množstvo materiálu, ktorý spôsobuje opačný typ vodivosti ako má základná platnička obr.11. Celok sa zohreje na takú teplotu, aby sa roztavil materiál vložený do otvoru masky a súčasne sa natavil aj povrch základnej platničky v mieste styku s taveninou. Pri pozvoľnom tuhnutí vzniká kryštálová mriežka, ktorá plynulo nadväzuje na kryštálovú mriežku základnej platničky. Vzniknutý priechod **PN** sa nazýva **strmý** (alebo úzky), pretože zmena koncentrácie nečistôt z **P** do **N** je rýchla.

Ak sa má vytvoriť priechod **PN epitaxným rastom**, musí sa odstrániť zo základnej platničky povrchová zoxidovaná vrstva materiálu v miestach, kde má vzniknúť vrstva s opačným typom vodivosti, akú má základná platnička. Potom sa základná platnička vloží do rúrky z kremenného skla, do ktorej sa vháňa vodík a silany (plynné zlúčeniny kremíka s halovými prvkami, napr. s chlóróm). Ak sa do prostredia v rúrke pridá vhodná prímies v plynnom stave, zúčastnia sa atómy prímies stavby kryštálovej mriežky a narastajúca vrstva má zodpovedajúci typ nevlastnej vodivosti.

Pri výrobe priechodu **PN difúziou** sa musí opäť z povrchu základnej platničky odstrániť vrstva oxidu v miestach, kde má vzniknúť oblasť s opačným typom vodivosti. Takto pripravená platnička sa vloží do rúrky do ktorej sa vháňajú pary prvku, spôsobujúce nevlastnú vodivosť opačného typu, ako má základná platnička. Po zohriatí na vhodnú teplotu získajú atómy



obrázok 11. Vytvorenie priechodu **PN** zlievaním
a – postup, b - hotový priechod

prímesi takú veľkú kinetickú energiu, že pri náraze na základnú platničku prenikajú pod jej povrch a zachytia sa v kryštálovej mriežke. Koncentrácia prímiesí je tesne pod povrchom základnej platničky najväčšia a smerom do hĺbky klesá. Difúzia prebieha tak dlho, až v určitej hrúbke povrchovej vrstvy prevládne koncentrácia difundujúcich prímiesí nad koncentráciou prímiesí, ktoré mala základná platnička. Priechod, ktorý takto vznikne sa nazýva **široký (pomalý)**, pretože zmena typu nevlastnej vodivosti vzniká v pomerne hrubej vrstve materiálu.

Kinetická energia dotujúcich častíc sa využíva aj pri výrobe priechodu **PN iónovou implantáciou**. Vo vzduchoprázdnom priestore sa nechá dopadať na povrch polovodičovej platničky prúd ionizovaných atómov (iónov) dotujúceho prvku, urýchlený silným elektrickým poľom. Urýchlené ióny prenikajú do potrebnej hĺbky pod povrch polovodičového materiálu. Výhodou je možnosť presnejšieho ovládania hĺbky, do ktorej prenikajú ióny a riadenia smeru ich dopadu. Preto v tomto prípade možno vytvoriť jemnejšiu štruktúru ako pri výrobe priechodu PN difúziou, kedy smer a rýchlosť pohybu dotujúcich častíc sú náhodné.

5.2.4. Spojenie: Kov - Polovodič

Spojenie kov – polovodič môže mať **usmerňovací účinok** podobne ako priechod PN alebo môže mať iba **odporový charakter**.

Usmerňujúce spojenie sa nazýva **Schottkyho kontakt**. Na vytvorenie dobre usmerňujúceho kontaktu treba, aby koncentrácia prímiesí v polovodiči bola malá a jeho povrch bol čo najmenej mechanicky poškodený. Kontakt vzniká napr. pritlačením ortuťovej kvapky, alebo vákuovým naparením hliníka, molybdénu, titánu, platiny alebo paládia na povrch kremíkovej platničky alebo na povrch arzenidu gália a ďalším tepelným spracovaniam.

Zmysel potenciálovej priehrady sa môže určiť pomocou Schottkyho pravidla, ktoré hovorí, že voľné nosiče náboja v polovodiči sa ľahšie pohybujú z polovodiča do kovu ako naopak.

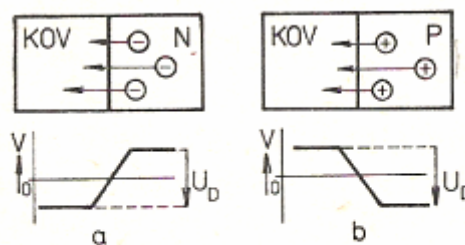
Polovodič **N** teda pri styku s kovom stráca elektróny a získava kladný potenciál obr.12a, polovodič **P** stráca diery a získava záporný potenciál obr.12b.

Schottkyho kontakt bude polarizovaný v priamom smere zrušením potenciálovej priehrady tj. pripojením záporného napätia na polovodič **N** alebo kladného napätia na polovodič **P**.

Najcennejšou vlastnosťou Schottkyho kontaktu je neobyčajne vysoká rýchlosť, ktorou kov odsáva z miesta priechodu voľné nosiče náboja. Preto súčiastky, ktorý využívajú tento kontakt, sú vhodné ako rýchle spínacie prvky. Malý odpor Schottkyho kontaktu predurčuje tieto súčiastky aj na použitie pri veľmi vysokých frekvenciách (desiatky až stovky GHz).

Neusmerňujúce spojenie sa používa na vytvorenie kontaktných plôšok na pripojenie vývodov z polovodičových súčiastok alebo v prípadoch, kde sa musí polovodičový kryštál pripájať na kovovú podložku, ktorá zlepšuje odvod tepla z polovodičového materiálu. Neusmerňujúce spojenie vznikne vtedy, ak koncentrácia prímiesí v polovodiči je taká veľká, že ide o degenerovaný polovodičový materiál. (Označuje sa N^+ alebo P^+). Potenciálová priehrada je v tomto prípade taká malá, že nosiče náboja ju prekonávajú bez veľkých prekážok, kontakt neusmerňuje, ale správa sa ako odpor.

Na vytvorenie neusmerňujúcich kontaktov sa používajú kovy, ako napr. hliník, titan a zlúčeniny platiny, paládia s kremíkom alebo nikel.



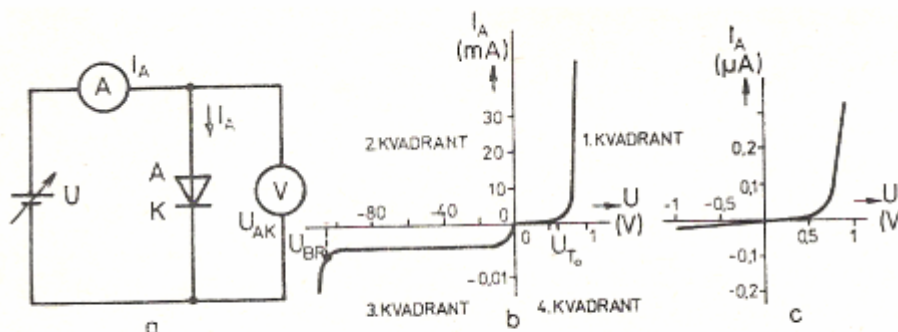
obrázok 12. Schottkyho pravidlo

5.3. POLOVODIČOVÉ DIÓDY

5.3.1. Voltampérová charakteristika diódy

Voltampérová charakteristika (VACH) poskytuje základnú informáciu o vlastnostiach diódy. Je to závislosť jednosmerného prúdu I_A prechádzajúceho diódou od jednosmerného napätia U_{AK} , ktoré pôsobí medzi jej anódou a katódou. VACH môžeme merať podľa zapojenia na obr.13a. Nameraný priebeh je na obr.13b. Všimnime si, že obidve osi majú v kladnej a zápornej časti rôzne mierky. Ak sú mierky na osiach rovnaké, charakteristika má v okolí začiatku súradníc hladký priebeh obr.13c.

Na charakteristike vidíme dve oblasti. Oblasť, v ktorej je dióda otvorená (polarizovaná v priamom smere – 1. kvadrant), a oblasť, v ktorej je dióda zavretá (polarizovaná v spätnom smere – 3. kvadrant). Anódový prúd začína prechádzať pri napätí $U_{AK} > U_{T0}$, kedy elektrostatické pole vznikajúce vnútri diódy pôsobením anódového napätia prekoná elektrostatické pole vytvorené v oblasti priechodu pevne viazanými iónmi akceptora a dohora. Inými slovami: prúd v priamom smere začne prechádzať až vtedy keď napätie vonkajšieho zdroja zruší potenciálovú priehradu.



obrázok 13. Charakteristiky diódy

a – meranie, b – celkový priebeh, c – detail v okolí začiatku

Prahové napätie U_{T0} zodpovedá difúznemu napätiu na priechode a závisí od materiálu diódy a od teploty. Pri germánii je pri $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ asi $0,2\text{ V}$, pri kremíku asi $0,56\text{ V}$. Pri dióde arzenidu gália napätie U_{T0} veľmi závisí od druhu a koncentrácie prímies. Môže byť niekoľko desiatín voltu (kov – polovodič) až asi $1,3\text{ V}$ (priechod PN). Po prekonaní tohto napätia prechádza diódou prúd majoritných nosičov, ktorý pri vzraste napätia prudko stúpa. Pri týchto podmienkach je odpor diódy veľmi malý (niekoľko stotín až niekoľko jednotiek ohmu, podľa typu diódy). Anódové napätie je najviac asi 1 V .

Ak zmeníme polaritu anódového napätia, zodpovedajúce elektrostatické pole bude podporovať potenciálovú priehradu a priechod sa pre majoritné nosiče náboja celkom uzavrie. V tomto prípade je odpor diódy niekoľko $100\text{ k}\Omega$ až niekoľko desiatok $\text{M}\Omega$. Ak však dosiahne záporné anódové napätie určitú hodnotu U_{BR} obr.13b, ktorá je podľa druhu diódy niekoľko desiatok až niekoľko sto volt, nastane prudký vzrast anódového prúdu v spätnom smere.

Elektrické pole v oblasti priechodu dosiahlo pri tomto napätí takú intenzitu, že vytrháva elektróny z väzieb medzi atómami a vzniká **ionizácia kryštálovej mriežky**. Táto ionizácia môže byť nedeštruktívna (po zmenšení napätia nastane rekombinácia a obnoví sa funkcia diódy) alebo môžu nastať také zmeny v kryštálovej mriežke, že sa dióda zničí.

5.3.2. Druhy polovodičových diód : Plošné, Hrotové

Diódy pre sieťové usmerňovače sú plošné diódy určené na usmerňovanie prúdov rádovej jednotky až desiatky ampér pri napätí desiatky až stovky volt technických frekvencií. Vyrábajú sa z kremíka zväčša difúznou technológiou.

Základná platnička má nevlastnú vodivosť N. Na nej sa difúziou bóru alebo gália vytvorí vrstva P. Silno dotovaná vrstva N^+ (obr.1) umožňuje neusmerňujúce vodivé spojenie kryštálu s kovovou podložkou, ktorá odvádza teplo a tvorí vývod katódy. Vrstva niklu vytvára neusmerňujúce spojenie s vývodom anódy.

Dôležité vlastnosti usmerňovacích diód sú v katalógu napr. pre diódu KY 130/600 udáva katalóg tieto hodnoty: stredný usmernený prúd $I_{FAV} \leq 300 \text{ mA}$, najväčšie anódové napätie v priamom smere $U_F < 1 \text{ V}$, napätie v spätnom smere $U_R \leq 600 \text{ V}$, spätný prúd $I_R \leq 10 \text{ }\mu\text{A}$ pri $U_R = 600 \text{ V}$ a teplote $+25 \text{ }^\circ\text{C}$.

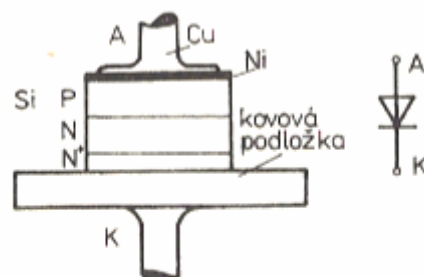
Diódy na usmerňovanie malých vysokofrekvenčných prúdov

Plošné diódy, na usmerňovanie malých VF prúdov do frekvencie niekoľko MHz sa vyrábajú z kremíka. Základom je platnička s nevlastnou vodivosťou N, ktorá tvorí katódu. Anóda sa vyrába difúznou technológiou. Kryštál má rozmery asi $1 \times 1 \text{ mm}$. Je prispájkovaný na základnú kovovú platničku, ktorá zväčšuje mechanickú pevnosť diódy a odvádza teplo. Prívodné vodiče prechádzajúce cez sklenú priechodku, sú prispájkované na celok, ktorý je uzavretý v kovovom puzdre.

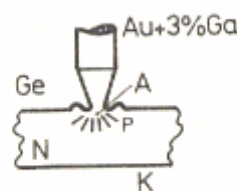
Dovolené napätia v spätnom smere sú 100 až 200 V. Stredná hodnota usmerneného prúdu je max. niekoľko desiatok mA. Typickým príkladom sú diódy KA 501 až KA 504, uvedené hodnoty sú v katalógu.

Hrotové diódy, v súčasnosti sa vyrába niekoľko druhov hrotových diód určených na usmerňovanie malých VF prúdov. Vzhľadom na plošné diódy má ich VACH pozvoľnejší priebeh a väčšie zakrivenie pri malých hodnotách prúdu. Preto sú na niektoré účely vhodnejšie hrotové diódy. Najdôležitejšie sú germániové hrotové diódy a germániové diódy so zlatým hrotom. **Germániové hrotové diódy** majú kryštál s nevlastnou vodivosťou N štvorcového tvaru s rozmermi $1 \times 1 \text{ mm}$, hrúbky $0,1 \text{ mm}$ je prispájkovaný na kovovú platničku privarenú na prívodný drôt. Na povrch germániovej platničky, ktorá tvorí katódu diódy sa pružne pritláča hrot tenkého volfrámového drôtu spojeného s druhým prívodným drôtom diódy.

Volfrámový drôt tvoriaci vývod anódy má iba mechanický kontakt s povrchom polovodičovej platničky. Celý systém diódy je zatavený do skleného puzdra. Vývod katódy sa označuje farebne. Veľmi dobrý usmerňovací účinok sa dosiahne formovaním, ktoré sa robí na konci výrobného postupu impulzom prúdu asi 1 A , ktorý prejde diódou v priepustnom smere. Miesto dotyku hrotu a polovodiča sa veľmi zohreje a niektoré atómy volfrámu pritom prejdú do povrchovej vrstvy polovodiča. Vznikne tak miniatúrna oblasť s vodivosťou P tesne pod miestom dotyku hrotu. Najlepšie výsledky sa dosiahnu ak hrot obsahuje prímеси, ktoré spôsobujú v germániiu vodivosť P (napr. indium).



obrázok 1. Štruktúra diódy pre sieťové usmerňovače



obrázok 15. Priechod PN diódy so zlatým hrotom

Germániové diódy s privareným zlatým hrotom, rozdiel medzi diódou so zlatým hrotom a hrotovou diódou opísanou v predchádzajúcej časti vidieť na obr.15. Základom diódy je opäť platnička germánia N, ktorá tvorí katódu. Drôtik tvoriaci privod k anóde je zlatý s prímiesou gália. Pri formovaní sa zlatý drôtik privarí k polovodičovému kryštálu. Súčasne sa gálium rozpustí v roztavenom germánii a vytvorí silne dotovanú oblasť s vodivosťou P. Vznikne dióda s miniatúrnym zliatinovým prechodom PN.

Takto vyrobená dióda združuje v sebe výhodné vlastnosti hrotových a plošných diód. Má vysokú hraničnú frekvenciu bežne asi 100 MHz, a pri niektorých typoch diód až 1000 MHz. Výhodou je aj menší odpor v priamom smere, väčší odpor a menší prúd v spätnom smere ako pri hrotových diódach.

Stabilné vlastnosti diód so zlatým hrotom ich predurčuje na použitie v meracej technike. Pretože ich čas zotavenia je krátky (desiatky mikro sekúnd), používajú sa často na spínanie. Zapuzdrené sú v kovovom puzdre s jednostrannými vývodmi. Potrebné údaje pre uvedené diódy sú v katalógu.

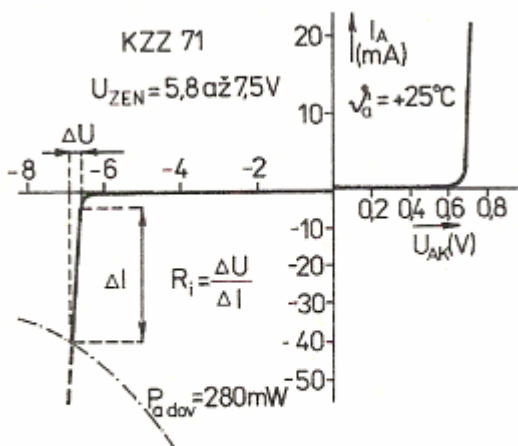
5.3.3. Diódy na stabilizáciu napätí, Zenerov jav

Na stabilizáciu jednosmerných napätí sa môžu využiť vlastnosti priechodu PN plošných kremíkových diód vyrobených vhodným spôsobom, ktoré sú **polarizované v spätnom smere**.

Ak má dióda veľmi tenký priechod PN, vzniká pri pôsobení napätia v spätnom smere v jej veľmi úzkej vyprázdnenej oblasti taká veľká intenzita elektrostatického poľa, že sa vytrhávajú elektróny z väzieb kryštálovej mriežky. V dôsledku toho veľmi vzrastie počet minoritných nosičov náboja. To sa prejaví prudkým rastom spätného prúdu diódy pri takmer konštantnom napätí.

Opísaný dej sa nazýva **Zenerov jav** podľa svojho objaviteľa. Napätie, pri ktorom vzniká Zenerov jav, nazýva sa **Zenerovo napätie**. Na vyvolanie Zenerovho javu musí intenzita elektrostatického poľa v kremíku dosiahnuť hodnotu 10^7 V/m. Pri najtenších vrstvách sa dosahuje kritická intenzita poľa (Zenerovho napätia) asi pri 3 V. Pri zväčšovaní hrúbky priechodu sa Zenerovo napätie postupne zväčšuje. Pri prechode priechodom v dôsledku veľkej intenzity poľa získavajú elektróny značnú kinetickú energiu. Ak je priechod široký, je veľká pravdepodobnosť, že letiaci elektrón narazí vo vyprázdnenej oblasti na iný elektrón a uvoľní ho z väzby. Obidva elektróny sa potom ďalej urýchľujú a na svojej ceste nárazom uvoľnia ďalšie elektróny a tie podobným spôsobom opäť ďalšie. Vznikne **lavínová ionizácia** v oblasti priechodu, ktorá sa prejavuje podobným spôsobom ako je Zenerov jav.

Zenerov jav sa uplatňuje v úzkych priechodoch. Začína pôsobiť pri napätí asi 3 V a v dôsledku zväčšovania šírky priechodu pri napätiach vyšších ako 6 V postupne mizne a plynulo ho vystrieda lavínový jav. Obidva javy sa z hľadiska stabilizácie napätí prejavuje rovnakým spôsobom. Preto sa v katalógu TESLA diódy, ktoré využívajú tieto javy nerozlišujú a nazývajú sa stabilizačné diódy (Zenerove diódy). Pri Zenerovom jave vyvoláva zvýšenie teploty pokles prierného napätia, pri lavínovom jave zvýšenie prierného napätia. Pri napätí okolo 6 V sa teplotná závislosť obidvoch javov kompenzuje. Preto dióda stabilizujúca napätie 6 V je takmer nezávislá od teploty.



obrázok 16. Voltampérová charakteristika stabilizačnej diódy KZZ 71

VACH stabilizačnej diódy je na obr.16. Všimnime si, že stabilizačná dióda ma v priamom smere rovnaký priebeh charakteristiky ako bežná usmerňovacia dióda. Zenerov aj lavínový prieraz je nedeštruktívny. Ak by prúd prechádzajúci diódou prekročil určitú hranicu, zohrial by sa priechod nad povolenú teplotu a dióda by sa zničila. Výrobca diód preto pre každú diódu udáva tepelný odpor R_{th} , najväčšiu prípustnú anódovú stratu $P_{a\ do v}$ a jej závislosť od teploty okolia.

Kontrolné otázky k opakovaniu

- Objasnite vedenie elektrického prúdu v tuhej látke
- Charakterizujte vlastnú vodivosť a aké častice ju spôsobujú
- Vysvetlite príčinu vodivosti typu N a P
- Popíšte difúzne napätie na rozhraní priechodu PN a vyznačte jeho smer
- Nakreslite PN priechod polarizovaný v spätnom smere a vysvetlite príčinu polarizácie
- Popíšte technologický postup výroby zlievaním priechodu PN
- Charakterizujte polovodič typu N a P pri styku s kovom
- Vysvetlite neusmerňujúce spojenie na vytvorenie kontaktných plôšok
- Nakreslite VACH diódy a popíšte jej stav
- Vysvetlite aké vlastnosti majú germániové diódy s privareným zlatým hrotom
- Popíšte Zenerov jav, Zenerove napätie, lavínovú ionizáciu

5.4. BIPOLÁRNE TRANZISTORY

5.4.1. Činnosť tranzistora

Tranzistory sú zosilňovacie (aktívne) polovodičové prvky. Môžeme ich deliť na **bipolárne** a **unipolárne**. Na zosilňovaní sa podieľajú oba typy nosičov náboja (vodivé elektróny a diery), alebo len jeden typ nosičov.

Bipolárne tranzistory sú väčšinou vyrábané na báze kremíka. Skladajú sa z troch na sebe ležiacich polovodičových vrstiev, vytváraných striedavé polovodiče typu P a N obr.17. Podľa zostavy týchto troch vrstiev rozlišujeme typy PNP alebo NPN (tabuľka 1). Obidva tieto typy tranzistorov sa chovajú komplementárne (vzájomne sa dopĺňajú). Ako jednotlivé tranzistory sa používajú prevažne typy NPN.

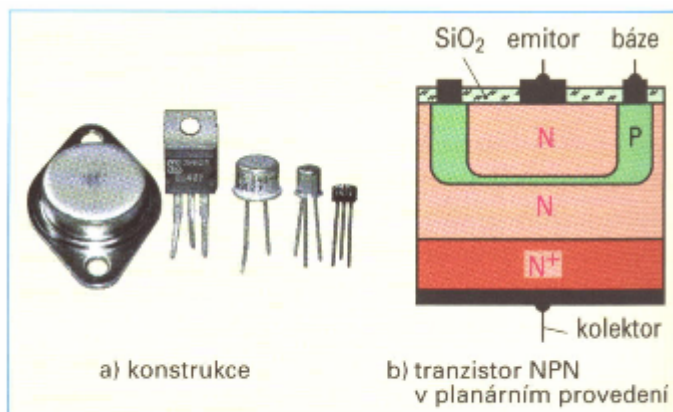
Všetky tri polovodičové vrstvy majú vyvedené privody von z puzdra tranzistora. Stredná vrstva sa nazýva **báza**, vonkajšie vrstvy potom **emitor** a **kolektor**. Emitor vysiela (emituje) nosiče nábojov a kolektor ich príma. Na prechodoch medzi polovodičmi typu N a typu P sa vytvárajú záverné vrstvy, ktoré sú u bipolárneho tranzistora dve.

Prechod báza – emitor je pri činnosti tranzistorov v priepustnom smere, prechod báza – kolektor je púšaný (nastavený) v závernom smere (emitorová šípka v značke tranzistora udáva smer prúdu).

Malá zmena prúdu na báze I_B spôsobí v tranzistore veľkú zmenu prúdu v kolektore I_C (tranzistor má veľké prúdové zosilnenie I_C/I_B).

Emitorová oblasť je u bipolárneho tranzistora silne dotovaná, kolektorová oblasť je dotovaná menej. Mimoriadne tenká vrstva bázy (hrúbky len niekoľko μm) obsahuje len malé množstvo cudzích atómov. Ak tečie prúd bázou, preteká sem z emitora mnoho nosičov náboja (napr. elektróny v prípade NPN tranzistora) cez tenkú vrstvu bázy. Táto vrstva je len málo dotovaná, preto môže rekombinovať len malou časťou elektrónov s vlastnými dierami. Preto je prúd bázy veľmi malý.

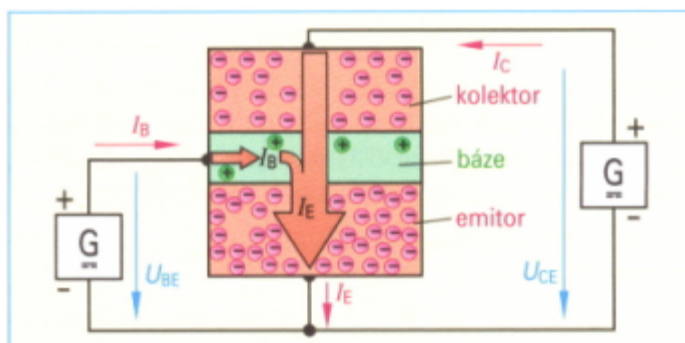
Väčšina nosičov náboja tlačí elektrické pole závernej vrstvy báza – kolektor do kolektora obr.18. Takto vzniká veľký kolektorový prúd, ktorý je 10 až 500 krát väčší než prúd bázy.



obrázok 17. Konštrukcia bipolárnych tranzistorov

tabuľka 1. konštrukcie a schematické značky bipolárnych tranzistorov

typ	poradie zón	diódový ekvivalent	schematická značka
NPN	kolektor báza emitor		
PNP	kolektor báza emitor		



obrázok 18. Prúdy v tranzistore NPN zapojenie so spoločným emitorom

Pomer medzi prúdom kolektora a odpovedajúcim prúdom bázy nazývame jednosmerné prúdové zosilnenie **B**.

V bipolárnom tranzistore je kolektorový prúd riadený prúdom bázy. K riadeniu je potrebný len malý výkon.

Ak je napätie báza – emitor $U_{BE} = 0$ V alebo menšie ako medzná hodnota asi 0,4 V, je tranzistor zatvorený. Tečie len zanedbateľný záverný prúd, ktorý je spôsobený pásmi nábojov vzniknutých v závernej vrstve prechodu báza – kolektor pôsobením tepla.

5.4.2. Zapojenie tranzistora so spoločnou bázou (SB)

Tranzistor môže byť v obvode zapojený troma spôsobmi: **so spoločnou bázou, so spoločným emitorom, so spoločným kolektorom.** Rôzne správanie sa tranzistora v jednotlivých

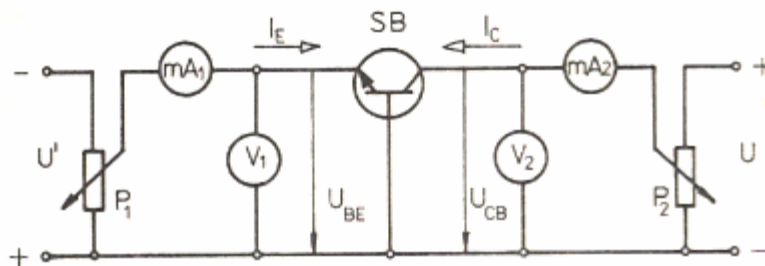
základných zapojeniach je spôsobené využitím jeho rôznych elektród vo vstupnom a výstupnom obvode. Ďalšie porovnávame najdôležitejšie vlastnosti tranzistora **NPN**

v týchto základných podmienkach. Všetky závery platia aj pre tranzistory **PNP**. V zapojeniach aj grafoch sa však musí pri tranzistore PNP zmeniť polarita všetkých napätí a zmysel prúdov.

Prvú informáciu dostaneme z priebehu VACH (statických tj. meraných jednosmerným prúdom).

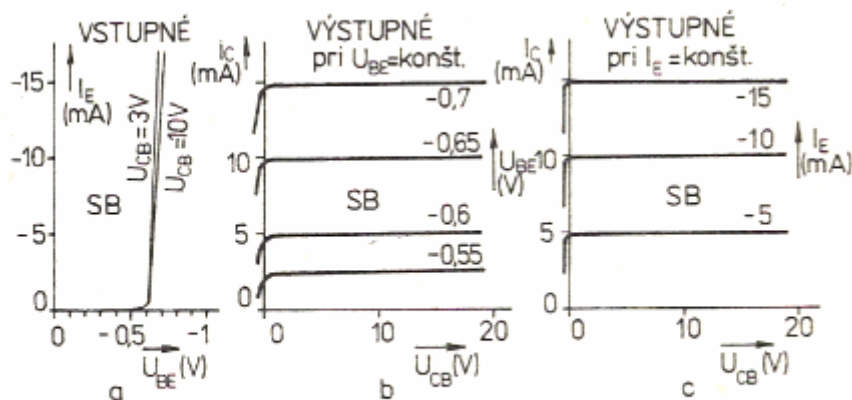
Pri tranzistore so **spoločnou bázou** ich meriame v zapojení podľa obr.19. Ak budeme udržiavať konštantné napätie U_{CB} (napr. $U_{CB} = 10$ V) a potenciometrom P_1 zapojeným vo vstupnom obvode budeme regulovať napätie U_{BE} , dostaneme závislosť prúdu I_E od napätia U_{BE} , ktorú nazývame **vstupná charakteristika**. Jej priebeh pre kremíkový tranzistor je na obr.20a. Zodpovedá VACH diódy polarizovanej v priamom smere. Ak zopakujeme meranie pri inej hodnote U_{CB} (napr. pri $U_{CB} = 3$ V), zistíme že priebeh vstupnej charakteristiky len veľmi málo závisí od vstupného napätia U_{CB} .

Závislosť výstupného prúdu I_C od vstupného napätia U_{CB} je **výstupná charakteristika**. Určíme ju pri konštantnom napätí U_{BE} obr.20b, alebo pri konštantnom prúde I_E obr.20c.



obrázok 19.

Meranie statických charakteristík tranzistora so spoločnou bázou



obrázok 20. Charakteristiky tranzistora **NPN** so spoločnou bázou

5.4.3. Zapojenie tranzistora so spoločným emitorom (SE)

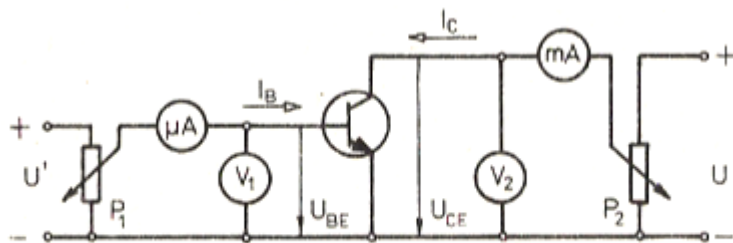
Pri tranzistore so spoločným emitorom dostaneme statické charakteristiky v zapojení podľa obr.21.

Vstupná charakteristika, ktorá predstavuje závislosť vstupného napätia od vstupného prúdu, zmeriame rovnako ako pri zapojení so spoločnou bázou ak budeme udržiavať konštantné výstupné napätie.

Priebehy sú nakreslené na obr.22a. Ich závislosť od vstupného napätia je podobne, ako pri zapojení so spoločnou bázou veľmi malá.

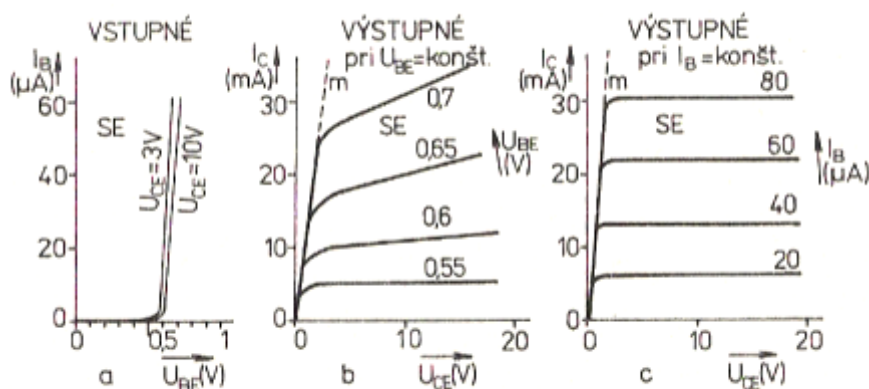
Výstupné charakteristiky sa merajú opäť pri konštantnom vstupnom napätí (obr.22b) alebo pri konštantnom vstupnom prúde (obr.22c). Všimnime si, že jednotlivé výstupné charakteristiky sa oddeľujú od hraničnej priamky m tranzistora, ktorá prechádza začiatkom súradníc a prudko smeruje hore.

Naľavo od hraničnej priamky nemôže z fyzikálnych dôvodov ležať žiadna výstupná charakteristika.



obrázok 21.

Meranie statických charakteristík tranzistora so spoločným emitorom

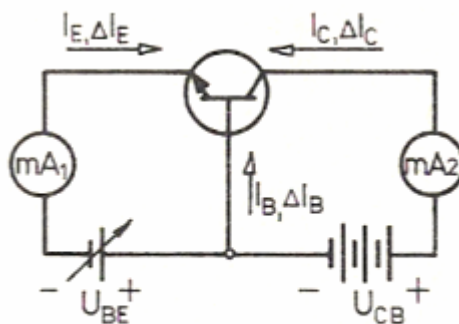


obrázok 22. Charakteristiky tranzistora NPN so spoločným emitorom

5.4.4. Prúdový zosilňovací činiteľ v zapojení so (SB, SE, SK)

Rozdielne správanie sa tranzistora v rôznych základných zapojeniach pri zmenách prechádzajúcich prúdov môžeme posúdiť podľa nasledujúcej úvahy.

Zapojenie tranzistora so spoločnou bázou (obr.23). Pomocnými napájacími zdrojmi určíme pracovné podmienky (pracovný bod) tranzistora. Napr. $U_{CB} = 10\text{ V}$, $I_E = -5\text{ mA}$. Kolektorový prúd má hodnotu $I_C = 4,975\text{ mA}$. Je menší ako emitorový prúd o bázový prúd, ktorý je $I_B = 0,025\text{ mA}$. Zvyškový prúd I_{CB0} vzhľadom na jeho malú hodnotu neberieme do úvahy. Ak zmenou napätia U_{BE} zmeníme emitorový prúd, napr. o $\Delta I_E = -1\text{ mA}$ (z hodnoty $I_E = -5\text{ mA}$ na hodnotu $I_E = -6\text{ mA}$), pomocou miliampérmetra mA_2 , ktorý je zapojený vo



obrázok 23. Určenie prúdového zosilňovacieho činiteľa v zapojení so spoločnou bázou

výstupnom obvode zistíme, že sa kolektorový prúd zmenil o $\Delta I_C = 0,995 \text{ mA}$. Súčasne bázový prúd sa zmenil o $\Delta I_B = 0,005 \text{ mA}$, pretože podľa Kirchhoffovho zákona platí $\Delta I_E + \Delta I_C + \Delta I_B = 0$.

Ak porovnáme zmenu výstupného prúdu so zmenou vstupného prúdu dostaneme vzťah:

$$\left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \right)_{U_{CB}=\text{konšt}} = \frac{0,995}{-1} = -0,995$$

Podľa ktorého tranzistor v zapojení so spoločnou bázou nezosilňuje prúd (zmena výstupného prúdu je menšia ako zmena vstupného prúdu). Znamienko mínus súvisí s označením zmyslu prúdov na obr.1

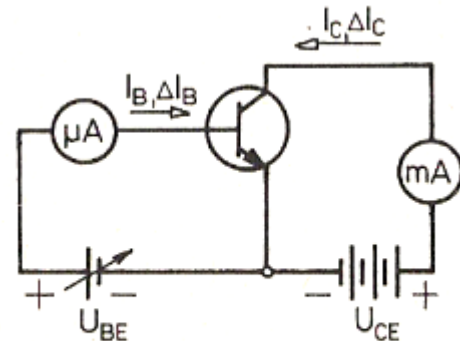
Ak sú zmeny prúdov ΔI_E a ΔI_C také malé, že tranzistor môžeme považovať za lineárnu súčiastku, nazývame pomer $\Delta I_C / \Delta I_E$ určený pri konštantnom napätí U_{CB} **prúdový zosilňovací činiteľ tranzistora v zapojení so spoločnou bázou** pri výstupe nakrátko (predpokladáme, že vnútorný odpor zdroja U_{CB} je nulový). Túto veľmi dôležitú veličinu, ktorou sa budeme podrobne zaoberať označujeme h_{21b} . Z predchádzajúceho vyplýva, že zosilňovací činiteľ h_{21b} je záporný a o málo menší ako 1.

Ak zapojíme **tranzistor so spoločným emitorom** podľa obr.24 a pri konštantnom výstupnom napätí U_{CE} vyvoláme zmenou napätia U_{BE} rovnaké zmeny prúdov ako v prípade zapojenia so spoločnou bázou $\Delta I_E = -1 \text{ mA}$, $\Delta I_C = 0,995 \text{ mA}$ a $\Delta I_B = 0,005 \text{ mA}$, dostaneme prúdový zosilňovací činiteľ v zapojení so spoločným emitorom pri výstupe nakrátko, ktorý označujeme h_{21e} .

Vypočítame:

$$h_{21e} = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \right)_{U_{CE}=\text{konšt}} = \frac{0,995}{-0,005} = 199$$

Z výsledku vyplýva, že tranzistor zapojený so spoločným emitorom má veľké prúdové zosilnenie.



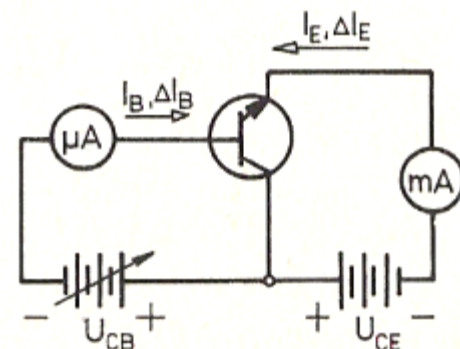
Obrázok 24. Určenie prúdového zosilňovacieho činiteľa v zapojení so spoločným emitorom

V zapojení **so spoločným kolektorom** obr.25, vyvoláme vhodnou zmenou vstupného napätia U_{CB} opäť rovnaké zmeny prúdov ako v predchádzajúcich prípadoch.

($\Delta I_E = -1 \text{ mA}$, $\Delta I_C = 0,995 \text{ mA}$ a $\Delta I_B = 0,005 \text{ mA}$). Z pomeru zmien výstupného a vstupného prúdu dostaneme prúdový zosilňovací činiteľ v zapojení so spoločným kolektorom pri výstupe nakrátko h_{21c} .

$$h_{21c} = \left(\frac{\Delta I_E}{\Delta I_B} \right)_{U_{EC}=\text{konšt}} = \frac{-1}{0,005} = -200$$

Vidíme, že h_{21c} je záporný a o 1 väčší ako h_{21e} . Ak by sme doplnili vstupný obvod tranzistora zdrojom striedavého vstupného signálu a výstupný obvod zaťažovacím (pracovným) rezistorom, mohli by sme vypočítať aj napäťové a výkonové zosilnenie tranzistora v rôznych základných zapojeniach.



obrázok 25. Určenie prúdového zosilňovacieho činiteľa v zapojení so spoločným kolektorom

5.4.5. Tranzistor ako spínač

Tranzistory sú používané ako elektronické spínače obr.26 k bezkontaktnému a rýchlemu spínaniu prúdov. Pre tranzistory používané pre spínanie nie je dôležitý tvar charakteristík, ale len vlastnosti v stave otvorenia (vodivosti tranzistora) a v stave uzatvorenia (veľkého odporu tranzistora). Tranzistor pôsobí ako spínač medzi emitorom a kolektorom tj. mení odpor medzi týmito vývodmi. Riadiaci signál je privádzaný medzi bázu a emitor.

Spínanie záťaže činného charakteru

V uzavretom stave obr.27 je odpor R_{CE} medzi kolektorom a emitorom veľký (pracovný bod A1). S rastúcim prúdom bázy I_B klesá napätie kolektor – emitor U_{CE} . Pri minimálnom prúde bázy I_{Bmin} sa posunie pracovný bod do polohy A2. Tranzistor je tu na začiatku oblasti **nasýtený** alebo tiež v oblasti **prebudenia**. Odpovedajúce napätie sa nazýva **napätie nasýtenia tranzistora** U_{CEsat} alebo tiež **saturačné napätie**. Pri ďalšom zvyšovaní U_{BE} a I_B sa pracovný bod posunie do polohy A3 a odpor R_{CE} je veľmi malý. V pracovnom bode A3 klesne U_{CEsat} na zvyškové napätie asi 0,2 V.

Tranzistory ako spínače striedajú vodivý stav nasýtenia a nevodivý stav uzavretia.

Obidva pracovné body odpovedajúce stavu zopnutia A3 a stavu prerušenia A1 na pracovnej priamke zaťažovacieho odporu R_C obr.27 musia ležať pod **výkonovou hyperbolou**, ktorá odpovedá maximálnemu stratovému výkonu P_{tot} . Pracovná priamka však môže pretínať výkonovú hyperbolu medzi bodmi A3, A1, pretože pri krátkom čase ($< 1\mu s$) prepnutia nedôjde k preťaženiu tranzistora.

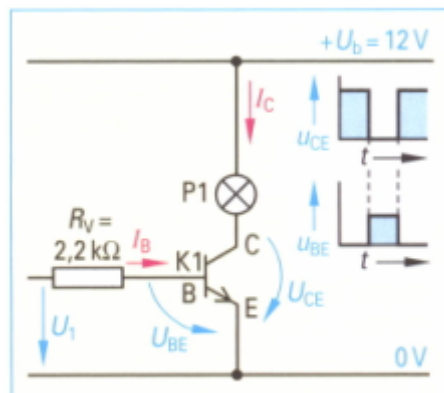
Prepínacie časy, závislé na konštrukcii tranzistora je možné skrátiť u spínacích zosilňovačov **prebudením**, tj. niekoľkonásobným zvýšením minimálneho budiaceho prúdu I_{Bmin} potrebného k nasýteniu na hodnotu I_B .

Pre istejšie a rýchlejšie spínanie tranzistorov sa používa väčší budiaci prúd $I_B = p \cdot I_{Bmin}$, kde p je činiteľ prebudenia, v praxi volený $p = 2$ až 5 .

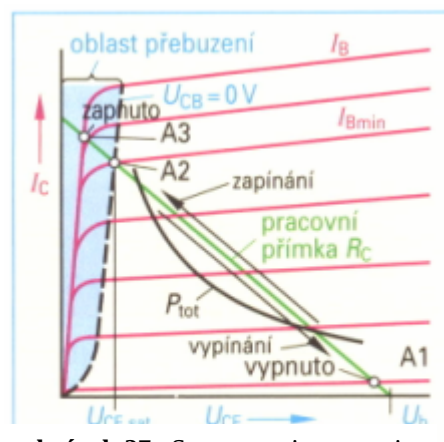
Prebudením sa taktiež zmenší stratový výkon $P_v = U_{CEsat} \cdot I_C$ tranzistora, pretože pri zväčšení I_C klesne saturačné napätie U_{CEsat} približne na 0,2 V. Vypínacia doba sa však zväčší, pretože báza tranzistora musí byť vždy najprv zbavená nosičov náboja.

Spínanie záťaže indukčného charakteru

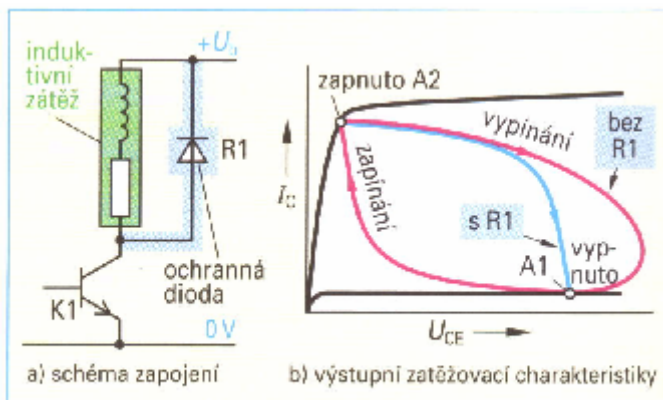
Pri spínaní záťaže indukčného charakteru obr.28a (napr. cievky relé) je nárast prúdu omeškaný vplyvom vlastnej indukcie cievky a mení sa podľa spínacej krivky z bodu A1 do bodu A2 obr.28b. Pri vypínaní sa



obrázok. 26 Tranzistor ako spínač



obrázok 27. Stavy tranzistorov pri spínaní odporovej záťaže



obrázok 28. Spínanie pri záťaži indukčného charakteru

v cievke indukuje napätie a bez zapojenej diódy R1 sa vypínací prúd mení podľa vypínacej krivky, vyznačenej krivkou bez R1.

Pri odpájaní záťaže induktívneho charakteru tranzistorom môže veľké indukované napätie medzi kolektorom a emitorom zničiť tranzistor.

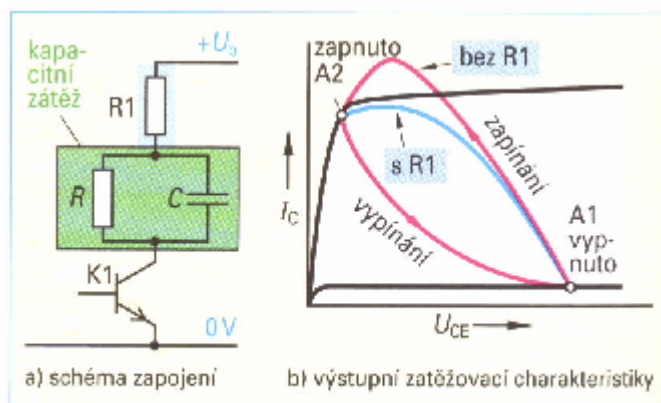
Ochranu pred veľkým napätím poskytuje skratovacia ochranná dióda pripojená paralelne k induktívnej záťaži obr.28. Vypínacia krivka na obr.28b vyznačená krivkou s R1 sa tým skrúti.

Spínanie záťaže kapacitného charakteru

Pri spínaní záťaže kapacitného charakteru, napr. kondenzátora napájacieho zdroja je spínací prúd vplyvom nabíjania kapacity, predstavujúci pri nabíjaní malou impedanciu, väčší obr.29a. Spínací prúd sa mení podľa spínacej krivky bez odporu R1 a pri vypínaní sa mení podľa vybíjacej krivky medzi bodmi A2 a A1 obr.29b.

Pri zapínaní záťaže kapacitného charakteru tranzistorom môže veľký nabíjací prúd medzi kolektorom a emitorom zničiť tranzistor

Ochranu pred veľkým spínacím prúdom poskytuje obmedzovací odpor R1 v kolektorovom obvode obr.29.



obrázok 29. Spínanie pri záťaži kapacitného charakteru

5.4.6. Tranzistor ako zosilňovač

V súlade s názvami troch elektród tranzistora rozlišujeme **zapojenie so spoločným emitorom, so spoločným kolektorom a so spoločnou bázou (tabuľka 2)**. Rozhodujúce pre názov je pomenovanie elektródy, ktorá je spoločná pre vstup aj výstup. Medzi spoločnou elektródou a zemou nevzniká žiadny striedavý napäťový signál.

tabuľka 2. Základné zapojenie bipolárneho tranzistora ako zosilňovač

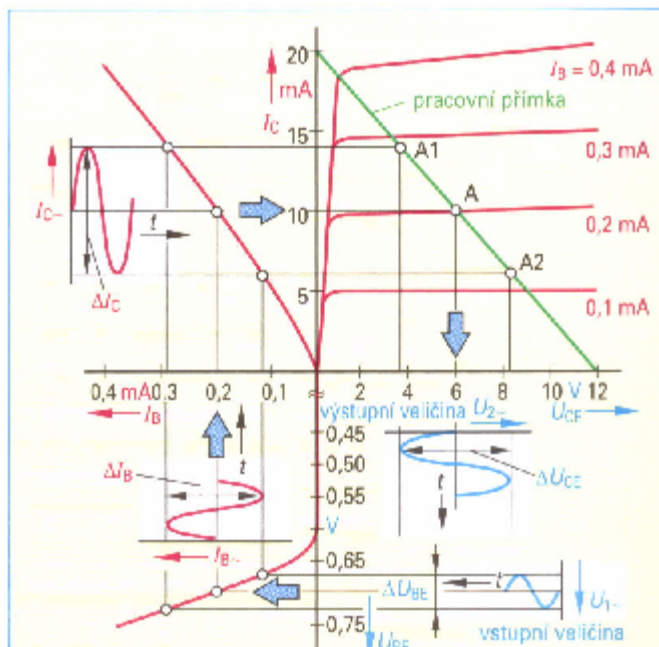
druh zapojenia	so spoločným emitorom	so spoločným kolektorom	so spoločnou bázou
schéma zapojení (příklad)			
napätové zesílení V_u	velké, např. 200	malé (< 1)	velké, např. 200
proudové zesílení V_i	velké, např. 200	velké, např. 200	malé (< 1)
výkonové zesílení V_p	vysoké, např. 40 000	velké, např. 200	velké, např. 200
vstupní odpor	střední, např. 5 k Ω	velký, např. 50 k Ω	malý, např. 50 Ω
výstupní odpor	velký, např. 20 k Ω	malý, např. 100 Ω	velký, např. 50 k Ω
fázový posun mezi U_1 a U_2	v protifázi 180°	ve fázi	ve fázi
příklad použití	nf zesilovač	nf vstupní zesilovač	nf zesilovač

Charakteristiky zosilňovača obr.30 uvádzajú v 4 kvadrantoch **výstupné charakteristiky (I)**, **prúdovú prevodovú charakteristiku (II)**, **vstupnú charakteristiku (III)** a popřípade ešte

napäťovú prevodovú charakteristiku. Na vstupe zosilňovača je cez oddeľovací kondenzátor C1 tranzistor budený vstupným striedavým signálom, napr.

$U_1 = 50 \text{ mV}$ (**oscilograf 1**). Spoločne s prepätím bázy tvorí $U_1 \sim$ zmiešané napätie so striedavou a jednosmernou zložkou (**oscilograf**

2). Napätie U_{BE} sa mení o ΔU_{BE} v rytme vstupného signálu a kmitá okolo hodnoty jednosmerného prepätia, napr. $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$. Pracovný bod sa pohybuje po pracovnej priamke medzi bodmi A1 a A2 obr.30. Pri stúpajúcom napätí U_{BE} stúpa lineárne prúd bázy I_{BE} a tým kolektorový prúd I_C . Zaťažovací odpor R_C (pracovný odpor) prevádza zmeny kolektorového prúdu I_C na zmeny úbytku napätia na R_C . So stúpajúcim vstupným napätím sa pohybuje pracovný bod po pracovnej priamke, z A do A1 a napätie kolektor – emitor U_{CE} klesá. Potom sa pracovný bod presúva z A1 cez pokojový pracovný bod A do A2. Meniace sa napätie U_{CE} je rovnaké ako U_{BE} zmiešané napätie a mení sa v opačnej fáze oproti vstupu okolo jednosmernej hodnoty U_{CE} s kmitom ΔU_{CE} (**oscilograf 3**).



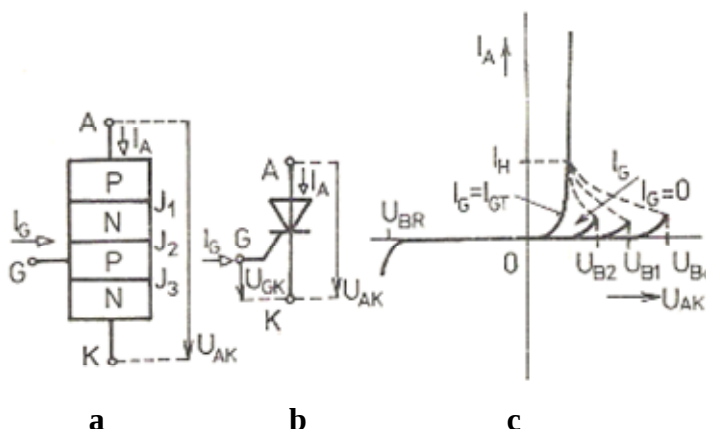
obrázok 30. Pribeh zosilnenia striedavého signálu na charakteristikách v štyroch kvadrantoch

Pri zapojení so spoločným emitorom invertuje tranzistor vstupný signál, preto sa výstupný signál pri sínusovom vstupnom signály javí ako fázovo posunutý o 180° .

Pri dobre navrhnutom zapojení zosilňovača, správne nastavenom pracovnom bode a budení v lineárnej časti charakteristík prevádza zosilňovač zmeny U_{BE} o ΔU_{BE} nezkrútené a s veľkým zosilnením na zmeny U_{CE} o ΔU_{CE} obr.30. Vstupné striedavé napätie $U_1 \sim$ je zosilňované na výstupné napätie $U_2 \sim$ (**oscilograf 4**).

5.5. TYRISTOR, (štruktúra, charakteristika)

Tyristor je **štvorvrstvová spínacia súčiastka** vyrábaná z kremíka, v ktorej sú vytvorené tri nad sebou ležiace priechody PN. Štruktúra, schematická značka a VACH sú na obr. 31. Vonkajšia vrstva P je anóda a vonkajšia vrstva N je katóda tyristora. Po zopnutí prechádza elektródami celkový výstupný prúd, ktorého veľkosť môže byť podľa typu tyristora jednotky až stovky A.



obrázok 31. a - štruktúra, b - značka, c - charakteristika

Jedna z vnútorných vrstiev tyristora je vyvedená ako riadiaca elektróda G. Priechody J_1 , J_2 a J_3 si označíme podľa obr.31a. Ak nebude pripojená riadiaca elektróda G a na anódu tyristora pripojíme malé kladné napätie proti katóde, otvoria sa priechody J_1 , (kladným napätím na vrstve P) a J_3 (záporným napätím na vrstve N). Priechod J_2 zostane zavretý, pretože do vrstvy N

peniká kladné napätie cez otvorený priechod J_1 a do vrstvy P záporné napätie cez otvorený priechod J_3 . V tomto stave je tyristor zablokovaný. Odpor medzi anódou a katódou je niekoľko $M\Omega$ a prúd v obvode anódy (v pracovnom obvode tyristora) je takmer nulový.

Pri zvyšovaní napätia medzi anódou a katódou sa zväčšuje intenzita elektrostatického poľa v oblasti priechodu J_2 . Pri určitej veľkosti tohto napätia na obr. 31c U_{B0} dosiahne intenzita elektrostatického poľa svoju kritickú hodnotu, pri ktorej vzniká ionizácia kryštálovej mriežky (pre kremík asi $10^7 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$). Odpor v oblasti priechodu J_2 sa veľmi zmenší a v obvode anóda – katóda sa objaví veľký prúd, napätie medzi anódou a katódou sa zmenšilo na 1,5 až 2 V. Hovoríme, že tyristor prešiel do **zopnutého (vodivého) stavu bj, bkh**.

Ionizácia kryštálovej mriežky, tj. zopnutia tyristora, môže nastať už pri nižšom napätí anóda – katóda ako, je napätie U_{B0} (pri nižšej intenzite elektrostatického poľa ako je kritická). Stačí, ak privedieme do oblasti zatvoreného priechodu PN (J_2) voľné nosiče náboja, prúdom privedeným do riadiacej elektródy G. Elektrostatické pole, ktoré samo nestačí na vytrhávajúce nosičov náboja z väzieb, urýchli privedené nosiče a využije ich na ionizáciu kryštálovej mriežky. Z VACH obr.31c, je zrejmé, že veľkosťou prúdu I_G môžeme ovládať veľkosť spínacieho napätia U_B . Ak sa bude prúd I_G rovnáť **zapínaciu riadiacemu prúdu** I_{GT} , tyristor pri zvyšovaní kladného napätia na anóde prechádza plynulo do vodivého stavu. Pri $I_G \geq I_{GT}$ nevzniká **blokovací stav** a tyristor sa správa ako **polovodičová usmerňovacia dióda**.

Je dôležité, že na udržanie ionizácie kryštálovej mriežky stačí len prechod dostatočne veľkého anódového napätia (väčšieho ako **prídržný prúd** I_H). Prúd I_G môže zaniknúť. Preto do trvalo zopnutého stavu môžeme priviesť tyristor aj krátkym kladným impulzom prúdu I_G .

Zablokovanie tyristora (prerušenie prúdu medzi anódou a katódou) nastane vtedy, ak zanikne ionizácia kryštálovej mriežky v oblasti priechodu J_2 . Ionizácia zanikne pri zmenšení anódového prúdu na hodnotu menšiu ako je hodnota prídržného prúdu I_H (znížením napätia U_{AK} alebo zväčšením odporu v obvode záťaže), alebo pri odsatí voľných nosičov náboja z oblasti priechodu J_2 veľkým záporným impulzom privedeným medzi riadiacu elektródu G a katódu K. Na obnovenie blokovacej činnosti tyristora treba, aby z oblasti priechodu J_2 zmizli voľné nosiče náboja (rekombináciou alebo odsatím). Tento dej trvá určitý čas, ktorý nazývame **rozopínací čas** t_{off} . Pri bežných tyristoroch je tento čas niekoľko desiatok mikrosekúnd.

Ak na anódu pripojíme záporné a na katódu kladné napätie priechody J_1 a J_3 sú zavreté a tyristor je zablokovaný bez ohľadu na napätie, ktoré pôsobí na riadiacej elektróde. Prúd I_G sa samozrejme rovná nule, preto obvod G – K je prerušený zavretým priechodom J_3 .

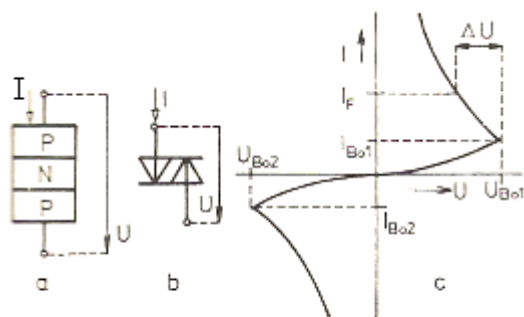
Tyristory sa používajú ako riadené spínače najmä v striedavých obvodoch prúdov technických frekvencií. Z vlastností tyristorov vyplýva, že pri použití jedného tyristora sa môžu využiť v pracovnom obvode len kladné polvlny striedavého prúdu, pretože tyristor môžeme uviesť do vodivého stavu len pri kladnom napätí U_{AK} .

5.6. DIAK, TRIAK, (štruktúra, charakteristika)

Diak je trojvrstvová spínacia súčiastka, ktorej štruktúra, schematická značka a VACH sú nakreslené na obr. 32.

Pretože vlastnosti diaku nezávisia od polarít pripojeného napätia, jeho vývody sa od seba neodlišujú. Je to **súmerná súčiastka**.

Pri malom napätí medzi vývodmi ($U < U_{B0}$) má diak veľký odpor (ako dióda v spätnom smere). Hovoríme, že je v blokovacom (rozopnutom) stave a že sa správa ako rozpojený spínač. V tomto prípade je priechod PN bližší ku kladnému pólu pripojeného napätia otvorený (na P je plus). Druhý priechod je zavretý, pretože druhá vrstva vodivosti P je pripojená na záporný pól napätia U a súčasne na strednej



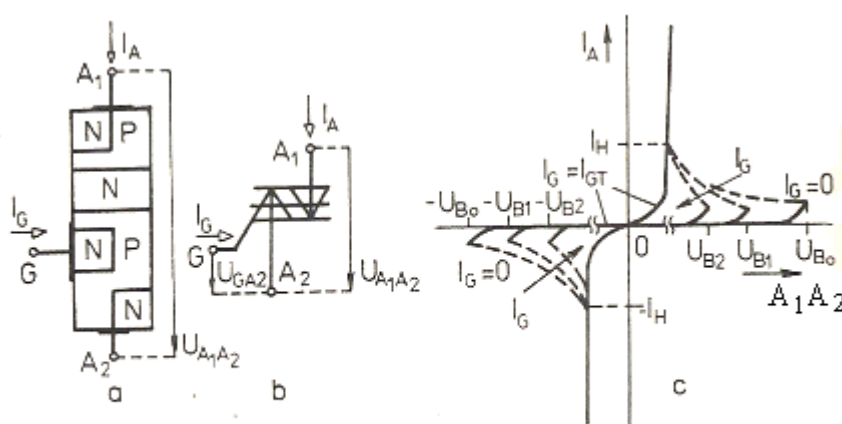
obrázok 32. a – štruktúra, b – značka, c – charakteristika diaku,

vrstve s vodivosťou N pôsobí kladné napätie, ktoré tam preniká cez prvý otvorený priechod. Po dosiahnutí spínacieho napätia U_{B0} vznikne ionizácia kryštálovej mriežky v okolí priechodu, ktorý bol zavretý. Odpor diaku sa náhle zmenší, napätie medzi jeho vývodmi klesne obr.32c a prúd v obvode rýchlo rastie. Rovnako sa správa súčiastka aj pri opačnej polarite napätia. Len činnosť oboch priechodov sa navzájom vymení.

Z priebehu VACH vidieť, že v priepustnom stave má diak záporný diferenciálny (dynamický) odpor. Spínacie napätie určitého diaku sa nemôže meniť, teda je to **neriadená súčiastka**. Diak sa používa ako pomocná spínacia súčiastka na riadenie tyristorov a triakov a ako prepäťová ochrana. V katalógu sa udávajú tieto hodnoty: spínacie napätie U_{B0} s dovolenými odchýlkami, prípustný rozdiel spínacích napätí U_{B01} a U_{B02} , spínací prúd I_{B0} , ktorý prechádza diakom tesne pred zopnutím, najmenší pokles ΔU po zopnutí a vzraste prúdu na určitú hodnotu prúdu I_F a najväčšia prípustná výkonová strata.

Triak je päťvrstvová spínacia súčiastka na reguláciu prúdu prechádzajúceho záťažou pri kladnej aj zápornej polvlně striedavého napätia. Jej štruktúra a schematická značka je na obr.33 a, b.

Triak sa správa podobne ako **dva paralelne spojené tyristory** tak, aby každý spínal v jednej polvlně striedavého napätia (antiparalelne zapojenie – spojenie anódy prvého



obrázok 33. a – štruktúra, b – značka, c – charakteristiky triaku,

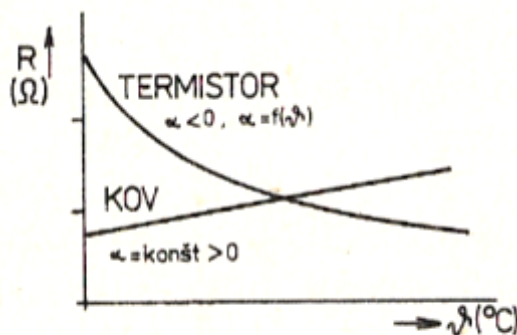
s katódou druhého a katódy druhého s anódou prvého tyristora). Z VACH nakreslených na obr.33c vidíme, že ide o **symetrický riadený spínač**. Anódy A_1 a A_2 sa pri zapojení triaku do obvodu nesmú navzájom zameniť. Triak by sa mohol zničiť.

Napätie U_{A1A2} , pri ktorom triak zopne, možno meniť veľkosťou prúdu I_G prechádzajúceho obvodom $G - A_2$. Triak zapína pri kladnom aj zápornom napätí U_{A1A2} , záleží iba na veľkosti riadiaceho prúdu, nie na jeho zmysle.

5.7. TERMISTOR, (negatívny termistor, NTC)

Termistor je polovodičová súčiastka **bez priechodu PN**, vyrobená z polykryštallického materiálu (z oxidov a sírníkov niektorých kovov).

Typickou vlastnosťou termistora je **veľký záporný teplotný súčiniteľ odporu**. To znamená, že odpor termistora pri zvyšovaní teploty veľmi klesá. Pretože jeho teplotný súčiniteľ nemá pri všetkých teplotách rovnakú hodnotu, odpor termistora sa pri zvyšovaní teploty znižuje nelineárne. Na obr.34 je znázornená závislosť odporu termistora od teploty v porovnaní so závislosťou odporu



Obrázok 34. Závislosť odporu termistora a drôtového rezistora od teploty

drôtového rezistora.

Ak poznáme odpor termistora pri určitej teplote Θ_0 udanej v Kelvinoch (absolútna teplota), jeho odpor pri inej teplote Θ môžeme vypočítať z približného vzťahu:

$$R_{\Theta} = R_{\Theta_0} \cdot e^{B \left(\frac{1}{\Theta} - \frac{1}{\Theta_0} \right)}$$

kde B je materiálová konštanta nazývaná **teplotná citlivosť termistora**, ktorá má hodnotu $1 \cdot 10^3$ až $5 \cdot 10^3$ °K. Pre jednotlivé typy termistorov ju udáva výrobca v katalógu.

Uviedli sme už, že teplotný súčiniteľ odporu termistora λ nie je konštantný. Pri nízkych teplotách má veľkú hodnotu (asi 10 – krát väčšiu, ako majú drôtové rezistory). Pri zvyšovaní teploty súčiniteľ λ klesá. Môžeme ho vypočítať zo vzťahu:

$$l = -\frac{B}{\Theta^2}$$

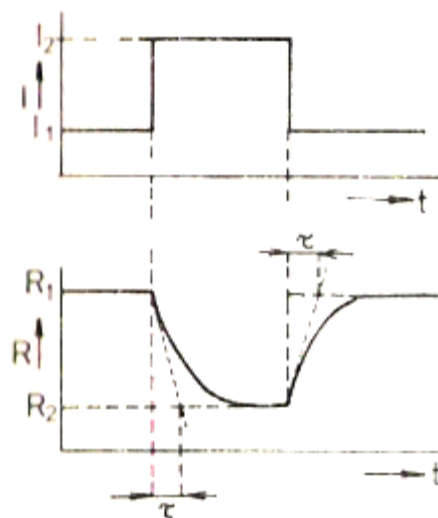
Pri skokovej zmene prúdu prechádzajúceho termistorom sa jeho odpor nemení okamžite. Trvá určitý čas, kým sa termistor pri zvýšení prúdu zohreje a zmenší svoj odpor. Podobne ani pri zmenšení prúdu sa okamžite nezväčší odpor termistora. Možno dokázať, že pri skokových zmenách prúdu a konštantnej teplote okolia sa odpor termistora mení exponenciálne obr. 35 s určitou časovou konštantou τ , ktorá sa nazýva **časová konštanta termistora**. Jej hodnota závisí od vyhotovenia termistora, najmä od jeho rozmerov. Môže mať hodnotu niekoľko desiatín s až niekoľko desiatok s.

Z priebehu VACH obr. 36a vidíme, že pri malom napätí medzi vývodmi termistora je prechádzajúci prúd malý a takmer lineárne závisí od napätia.

Termistor má veľký odpor, pretože pri malom prechádzajúcom prúde je výkon, ktorý sa v termistore mení na teplo, malý, teplota súčiastky sa veľmi nezvyšuje a odpor termistora sa takmer nemení. Od určitej veľkosti napätia sa však začína teplota termistora rýchlo zvyšovať. Preto sa jeho odpor znižuje a prechádzajúci prúd rýchlo rastie. Zmenšovanie odporu je také výrazné, že napätie medzi vývodmi termistora sa znižuje, hoci prúd sa zväčšuje. V tejto situácii má termistor záporný diferenciálny odpor. K jednotlivým bodom VACH môžeme pripísať zodpovedajúcu teplotu súčiastky v obr. 36a.

Priebeh VACH závisí aj od teploty okolia v_a a od chladenia termistora. Ak je teplota okolia v_a nízka, termistor je lepšie chladený a jeho odpor je pri určitom prechádzajúcom prúde väčší ako odpor rovnakého termistora pri rovnakom prúde, ale vyššej teplote okolia. VACH pri rôznych teplotách sú nakreslené na obr. 36a.

Opísaný priebeh VACH vrátane záporného diferenciálneho odporu, sa môže prejavíť (môžeme ho namerať) len vtedy, ak sa bude prúd a napätie meniť tak pomaly, že termistor stačí priebežne meniť svoju teplotu vždy na ustálenú hodnotu. Ak sú zmeny obvodových veličín tak rýchle, že ich teplota termistora nestačí sledovať, napr. ak je termistor v obvode striedavého prúdu, termistor sa zohreje na určitú teplotu, ktorá zodpovedá efektívnej hodnote prechádzajúceho striedavého prúdu. Termistor sa správa ako lineárny kladný odpor s určitou hodnotou, ktorá závisí od efektívnej hodnoty prechádzajúceho prúdu a teploty okolia obr.36b.

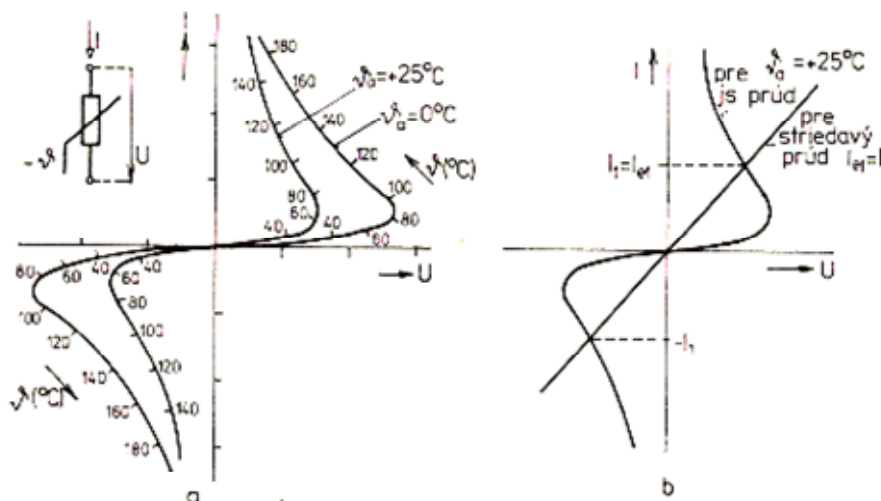


obrázok 35. Vysvetlenie pojmu časová konštanta termistora

Termistory sa vyrábajú v niekoľko tvarovo rôznych vyhotoveniach: **tyčinkové, platničkové a perličkové**. Používajú sa ako teplotné snímače v meracej a automatizačnej technike alebo sa využíva zmena ich odporu na rôzne stabilizačné a regulačné účely. Dôležité je aj využitie časovej závislosti zmien odporu termistora napr. na oneskorené zapínanie alebo na obmedzenie prúdových nárazov a pod.

Pre termistory sú uvedené v katalógu tieto údaje: menovitý odpor R_{25} pri teplote $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ bez ohrevu prechodom prúdu, teplotná citlivosť B , zaťažovacia konštanta D (tj. príkon potrebný na zohriatie termistora o $1\text{ }^{\circ}\text{K}$ nad teplotu okolia) a najväčšia dovolená výkonová strata P_{dov} .

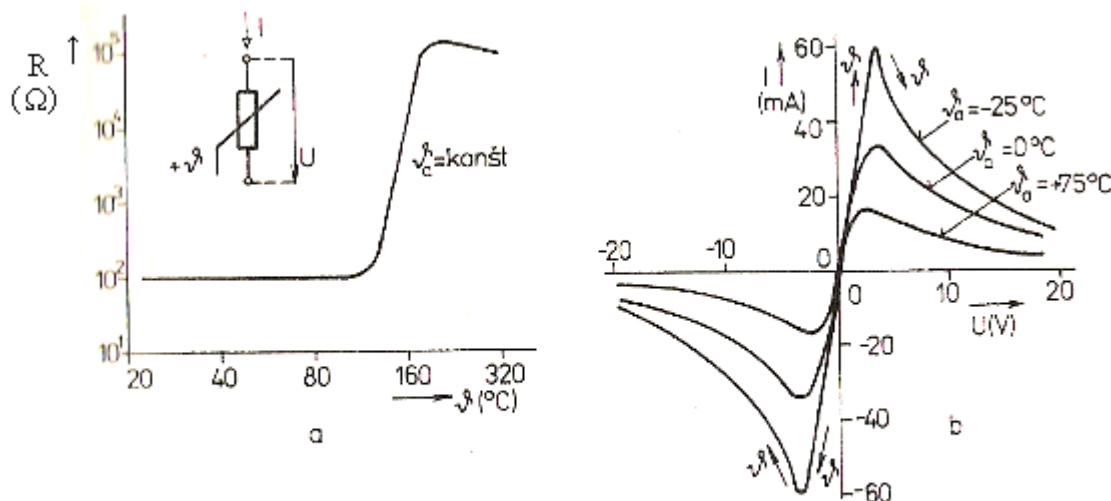
(Pozor – termistory sa nemôžu zapájať paralelne na dosiahnutie väčšej výkonovej straty, pretože pri zohrievaní je zmena odporu každého termistora iná. Zaťaženie by sa rozložilo nerovnomerne a termistory by sa zničili !)



obrázok 36. Voltapérové charakteristiky termistora

5.8. POZISTOR, (pozitívny termistor, PTC)

Pozistor je rovnako ako termistor **symetrická nelineárna súčiastka**, ktorej odpor sa veľmi mení s teplotou. Voľbou materiálu, ktorý má kladný a od teploty nelineárne závislý teplotný súčiniteľ odporu, sa dosiahne osobitná závislosť odporu pozistora od teploty.



obrázok 37 a - Závislosť odporu pozistora od teploty, b - charakteristika pozistora
 t - teplota súčiastky, t_a - teplota okolia

Pri nízkych teplotách odpor len pomaly narastá. Pri určitej teplote však náhle prudko stúpne až o niekoľko rádov obr.37a. Pri ďalšom zvyšovaní teploty odpor pozistora sa využíva pri jeho použití ako **teplotný snímač**. VACH je na obr. 37b. Ostatné vlastnosti (časová konštanta, záporný diferenciálny odpor atď.) sú podobné ako pri negatívnom termistore.

5.9. FOTOREZISTOR

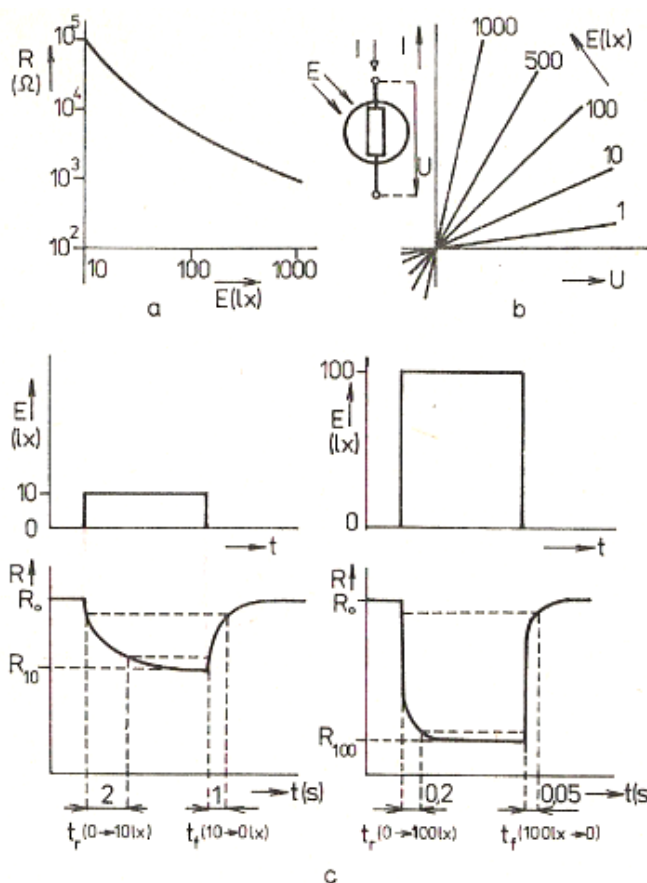
Fotorezistory sa vyrábajú zväčša **naparením vrstvy** vhodného polovodičového materiálu (napr. CdS, CdSe pre viditeľné svetlo alebo CdTe pre infračervené svetlo) na keramickú podložku. Aby sa dosiahol väčší odpor súčiastky, polovodičová vrstva má tvar meandra. Puzdro je upravené tak, aby na citlivú vrstvu mohlo dopadať svetlo (žiarenie).

V tme je odpor súčiastky veľmi vysoký (10^6 až $10^9 \Omega$). Ak osvetlíme citlivú vrstvu, odpor fotorezistora sa zmenší. Závislosť odporu od osvetlenia je približne logaritmická (v logaritmických súradniciach je priebeh takmer priamkový – obr. 38a). Pri osvetlení niekoľko sto lx je odpor fotorezistora len niekoľko sto Ω . Zmenší sa teda 10^4 až 10^7 – krát. Tento údaj poukazuje na veľkú citlivosť fotorezistora.

Keby sme merali VACH, dostali by sme sústavu priamok (obr. 38b), ktorá dokazuje, že fotorezistor je pri konštantnom osvetlení **lineárna symetrická jednobrána**.

Z prechodovej charakteristiky je charakteristická veľká zotrvačnosť fotorezistora. Všimnime si, že pri zväčšení osvetlenia je zmena odporu pomalšia, ako pri zatemnení. Dôležité je aj to, že rýchlosť zmien odporu závisí od veľkosti osvetlenia. Literatúra udáva časové konštanty fotorezistorov z CdS: pri osvetlení 10^{-2} lx je τ rádovo desiatky s, pri osvetlení 1000 lx asi 10^{-3} až 10^{-4} s, pri osvetľovaní impulzmi lasera klesne τ na 10^{-8} až 10^{-9} s.

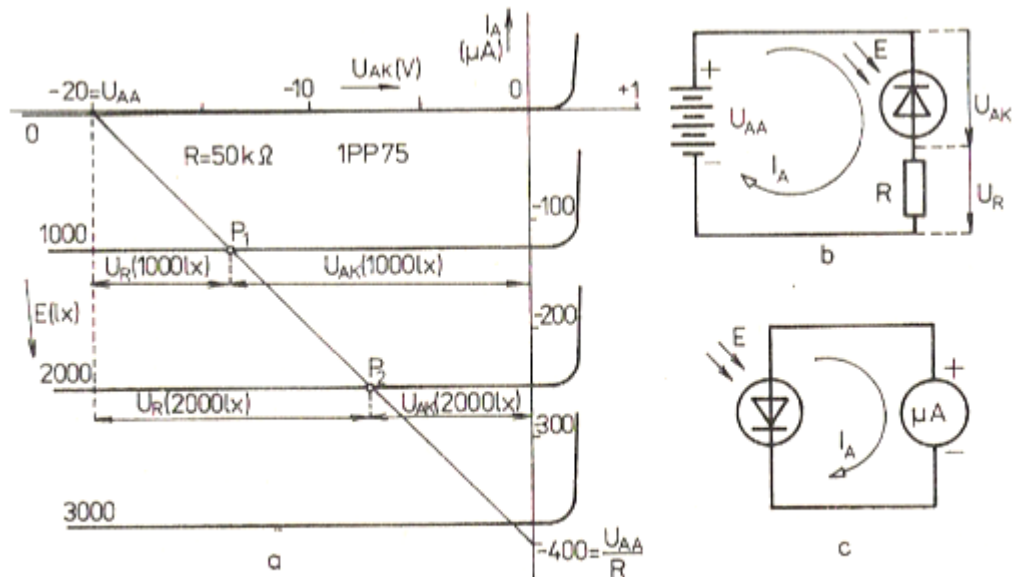
Nevýhodou je pomerne veľký pokles odporu fotorezistora pri zvýšení teploty, ktorý sa prejavuje najmä pri malom osvetlení. Príklad katalógových údajov: TESLA WK 650 60, prevádzkové napätie 10 V, max 50 V, menovité zaťaženie 50 mW pri teplote okolia $t_a \leq +25^\circ\text{C}$, odpor pri osvetlení 100 lx v rozpätí 0,6 až 3,6 k Ω , maximálna citlivosť pri $\lambda = 520$ až 580 nm, teplotný súčiniteľ odporu $\Delta R/R$ (25°C) = 3%/°K pri $E = 0,5$ lx, $t_r < 6$ s pri zmene E z 0,05 lx na 0,5 lx, $t_r < 8$ s pri zmene E z 0,5 lx na 0,05 lx. Odpor za tmy $R_0 > 100$ k Ω po 30 minútach zatemnenia.



Obrázok 38. a – Závislosť odporu fotorezistora od osvetlenia, b – voltapérové charakteristiky, c – prechodové charakteristiky

5.10. FOTODIÓDA

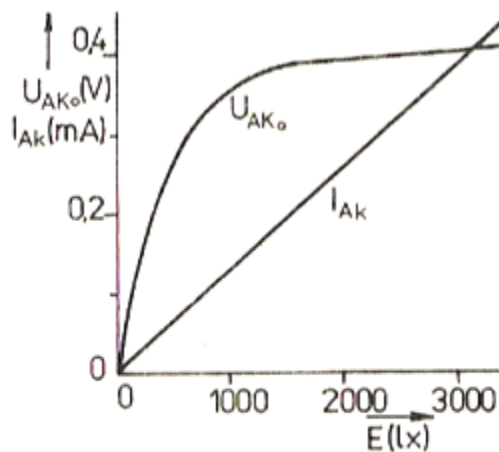
Fotodióda je plošná polovodičová dióda konštrukčne upravená tak, aby do oblasti priechodu PN prenikalo svetlo. Ak priechod nie je osvetlený, VACH fotodiódy má rovnaký priebeh ako charakteristika bežnej plošnej diódy. Vplyvy osvetlenia priechodu môžeme sledovať na obr. 39a, na ktorom je nakreslená VACH kremíkovej fotodiódy 1 PP 75.



obrázok 39. a - Voltapérové charakteristiky fotodiódy, b - c - zapojenie fotodiódy

Najväčší rozdiel medzi osvetleným a neosvetleným stavom pozorujeme pri polarizácii diódy v spätnom smere ($U_{AK} < 0$; 3. kvadrant), kedy prúd I_A narastá takmer lineárne pri rovnomernom zväčšovaní osvetlenia. V týchto podmienkach sa dióda správa ako **pasívna súčiastka**, ktorej odpor závisí od osvetlenia (odporový režim činnosti diódy). Ak chceme pracovný bod diódy umiestniť do tejto oblasti, použijeme zapojenie podľa obr.39b. Pri zmene osvetlenia sa mení napätie U_{AK} aj U_R obr. 39a.

Časť charakteristík, ktoré prebiehajú v 4. kvadrante, zodpovedá hradlovému režimu činnosti fotodiódy. V tomto režime sa súčiastka správa ako **zdroj elektrickej energie**. Na anóde má kladné napätie niekoľko desiatín V. Bodom, v ktorých anódové charakteristiky pretínajú zvislú os, zodpovedá prúd diódy nakrátko I_{AK} . Priesečníky charakteristík s vodorovnou osou určujú napätie naprázdno U_{AK0} . Z obr. 40 vidíme, že prúd I_{AK} závisí lineárne od osvetlenia, ale napätie naprázdno U_{AK0} približne logaritmicky. Preto ak chceme využiť hradlovú činnosť diódy napríklad na meranie osvetlenia, použijeme zapojenie podľa obr.39c. Snažíme sa o to, aby dióda pracovala nakrátko. Preto musí byť odpor mikroampérmetra čo najmenší. Potom je stúpnica lineárna. V Priepustnej oblasti charakteristík (1.kvadrant) sa vplyv osvetlenia takmer neprejavuje. V tejto oblasti sa dióda nepoužíva.



obrázok 40. Anódové napätie fotodiódy naprázdno U_{AK0} a prúd nakrátko I_{AK}

Fotodióda reaguje na zmeny osvetlenia veľmi rýchlo. Čas nábehu t_r je rádovo 10^{-6} až 10^{-9} s. Špeciálne konštrukcie týchto diód dosahujú čas nábehu rádovo 10^{-12} až 10^{-13} s. Sú to napr.

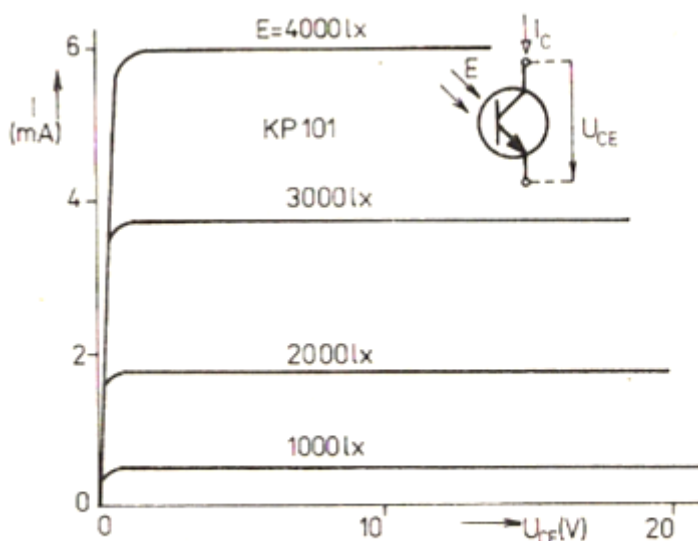
fotodióda **PIN**, ktorá má medzi vrstvu P a N vloženú vrstvu s intrinzičnou vodivosťou s veľkou elektrickou pevnosťou (U_{AK} je až -500 V), preto pracuje s veľmi vysokými intenzitami elektrického poľa v oblasti priechodu, alebo Schottkyho fotodióda (naparená vrstva zlata na kremíku).

Fotodiódy sa používajú na meranie osvetlenia (selénové a niektoré kremíkové v hradlovom režime), snímanie z diaľnej pásky, vo filmových projektoroch pri snímaní optického záznamu zvuku atď. Rýchle fotodiódy pracujú ako prijmače v optických spojoch, optrónoch a pod.

5.11. FOTOTRANZISTOR, FOTOTYRISTOR

Miesto vstupného prúdu privádzaného do bázy bipolárnych tranzistorov sa na riadenie kolektorového prúdu **fototranzistorov** využíva svetelná energia. Svetlo preniká do oblasti priechodu báza – emitor okienkom v puzdre uzavretom sklenou šošovkou. Výstupné charakteristiky fototranzistora TESLA KP 101 sú na obr.41.

Dôležitou charakteristickou veličinou je **svetelná citlivosť** $S = \Delta I_C / \Delta E$ ($\mu\text{A} \cdot \text{lx}^{-1}$), ktorá je analógiou strmosti y_{21} bežných tranzistorov. Pri vzraсте osvetlenia sa citlivosť S zväčšuje. Pre fototranzistor KP 101 je pri 100 lx asi $0,2\text{ }\mu\text{A} \cdot \text{lx}^{-1}$, pri 3000 lx už $2\text{ }\mu\text{A} \cdot \text{lx}^{-1}$. Nábeh $t_r < 30\text{ }\mu\text{s}$, príkon $P_{\text{dov}} = 50\text{ mW}$.

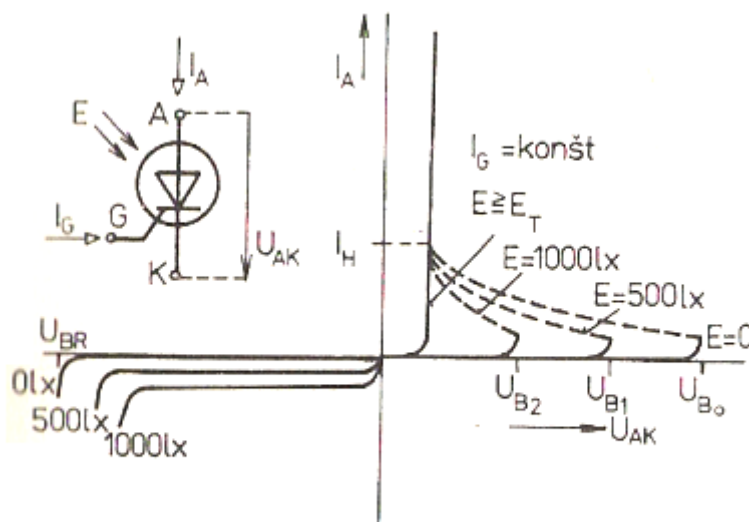


obrázok 41 Výstupné charakteristiky fototranzistora KP 101

Štvorvrstvomá štruktúra **PNPN fototyristora** je umiestnená v puzdre s priehľadným okienkom, ktoré umožňuje, aby do oblasti priechodu J_2 mohlo prenikáť svetlo. Súčiastka má vyvedenú riadiacu elektródu G a v tme má rovnaké vlastnosti ako tyristor ovládaný prúdom. Ak nastavíme určitý riadiaci prúd I_G a budeme meniť osvetlenie, zistíme, že blokovacie napätie U_B sa pri zväčšovaní osvetlenia znižuje. Túto skutočnosť znázorňujú VACH na obr. 42.

Dôležitou veličinou je **spínacie osvetlenie** E_T , pri ktorom zaniká blokovacia schopnosť fototyristora pri napätí $U_{AK} > 0$. Veľkosťou prúdu I_G (prípadne jeho polaritou) môžeme riadiť citlivosť fototyristora na intenzitu osvetlenia, pri ktorom fototyristor spína.

Použitie: spínacie a riadiace obvody ovládané svetlom, ochranné zariadenia strojov, optoelektronické obvody, optróny a pod.

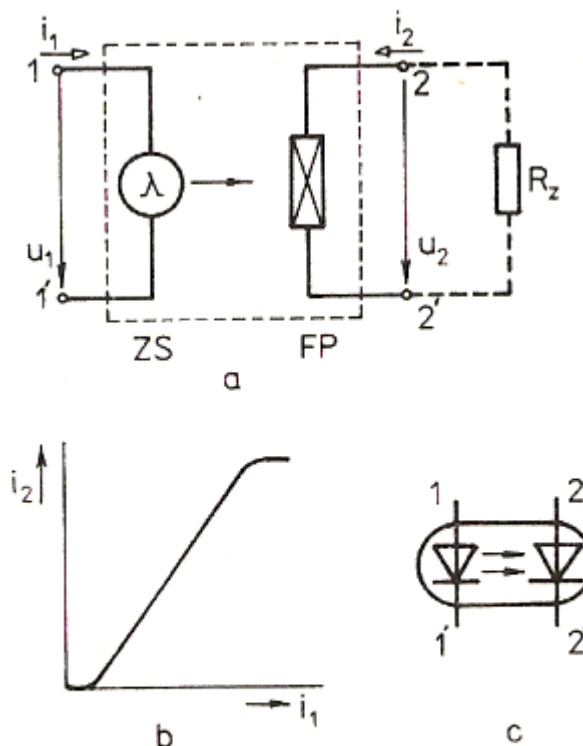


obrázok 42. Vltapérové charakteristiky fototyristora

5.12. OPTRÓN, (optoelektronický spájací člen)

Optrón je súčiastka, ktorá sa skladá z **riadeného zdroja svetla ZS** a **fotoelektronického prijímača FP** obr.43a. Z obvodového hľadiska je to dvojbrána, ktorej prevodová charakteristika by mala byť lineárna. Obyčajne sa dosahuje priebeh nakreslený na obr. 43b. Ako riadené zdroje svetla sa najčastejšie používajú LED diódy, pretože ich odozva na zmeny elektrického signálu je veľmi rýchla (t_r rádovo 10^{-7} až 10^{-8} s), majú malé rozmery, veľkú životnosť, malú spotrebu atď. Prijímače sú fotodiódy alebo fototransistory. Ak sa nepožaduje lineárna prevodová charakteristika (impulzové obvody), používajú sa ako prijímače lavínové fotodiódy, fotodiódy **PIN⁺** a fototyristory. Dôležité je, aby použitý zdroj svetla a fotoelektrický prijímač mali rovnaké spektrálne charakteristiky. Obidve časti optrónu sú uzatvorené v nepriehľadnom puzdre. S vonkajším obvodom súvisia iba elektrickými veličinami u_1, i_1, u_2, i_2 .

Optróny sa používajú napr. na **galvanické oddelenie dvoch obvodov**. Pritom užitočný signál optrónovou väzbou prechádza. Zmeny u_1 a i_1 na vstupe sa prejavajú ako zmeny u_2 a i_2 na výstupe.



obrázok 43. Optrón, a – princíp, b – prenosová charakteristika, c – normalizovaná značka diódového optrónu

Kontrolné otázky k opakovaniu

- Nakreslite značku bipolárneho tranzistora typu PNP a NPN a označte elektródy
- Vymenujte spôsoby zapojenia tranzistorov v elektrickom obvode
- Porovnajzte parametre elektród tranzistora (E – B), (E – K), (B – K)
- Vysvetlite činnosť tranzistora ako spínač
- Charakterizujte zapnutý a vypnutý stav tranzistora
- Nakreslite : štruktúru, značku a charakteristiku tyristora
- Vymenujte spôsoby zapnutia a vypnutia tyristora
- Nakreslite značku a charakteristiku diaku a triaku
- Vysvetlite stav zapnutia a vypnutia diaku a triaku
- Charakterizujte vlastnosti termistora a pozistora
- Popíšte stav fotorezistora v tme a pri dopade svetla
- Nakreslite jednoduché zapojenie fotodiódy
- Popíšte fotodiódu PIN a jej využitie
- Vysvetlite riadenie fototranzistora a fototyristora pri dopade svetla na riadiacu elektródu
- Charakterizujte na schéme optrón jeho zdroj svetla a fotoelektronický prijímač

6. USMERŇOVAČE

6.1. JEDNOFÁZOVÉ : JEDNOPULZNÉ, DVOJPULZNÉ

Neradené usmerňovače

Usmerňovače môžeme rozdeliť na neradené a riadené usmerňovače. Jednosmerným priepustným usmerňovacím prvkom sa hovorí obecné **ventily** a v súčasnosti sa používajú polovodičové ventily (predtým sa používali vákuové diódy). Pri **neriadenom usmerňovaní** sa používajú diódy (dnes polovodičové) a výstupné napätie je dané vstupným napätím a zapojením usmerňovača, tj. nejde ho nastaviť ako pri riadenom usmerňovaní.

Pri **riadenom usmerňovaní** sa používajú riadené prvky, minimálne triódy (dnes polovodičové, napr. tyristory alebo tranzistory), a ich priepustnosť (vodivosť) je riadená napätím na riadiacej elektróde. Riadenie potom závisí od riadenia (obmedzovania) doby, po ktorej sú usmerňovacie ventily otvorené (0 až 100 % polperiódy orientované polaritou v priepustnom smere ventilu).

Neradené jednofázové usmerňovače

Jednopulzné jednocestné zapojenie. Pri tomto usmerňovaní je využívaná z každej sínusovej polperiódy jednej polarizácie, pri zapojení podľa obr. 1 sú využité kladné polperiódy. Pre záporné polperiódy je dióda v závernom smere, preto je usmernené napätie za diódou kladné a pulzujúce obr. 1b.

Ručičkový voltmeter s otočnou cievkou potom ukazuje strednú hodnotu napätia na žiarovke, ktoré odpovedá ideálnemu jednosmernému napätiu U_{di} .

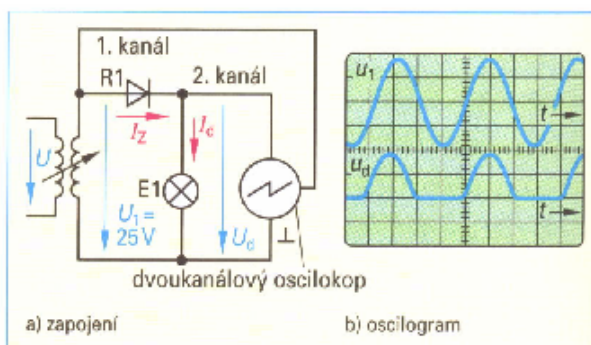
Dvojpulzné mostíkové zapojenie B2U.

Pri dvojpulznom mostíkovom zapojení obr. 2a sú využívané obidve polvlny (dva pulzy) každej periódy striedavého prúdu k získaniu jednosmerného prúdu na výstupe usmerňovača. Jednoduché mostíkové zapojenie usmerňovača so štyrmi diódami býva kreslené rôznym spôsobom obr. 2 a je najčastejšie používaným zapojením usmerňovača.

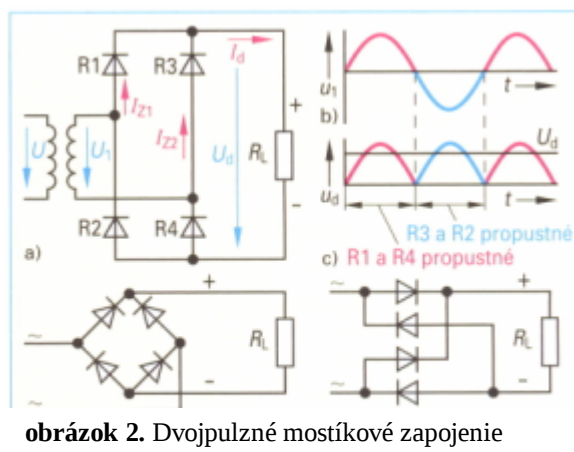
Funkcia: ak je napätie U_1 (vstupné napätie mostíka) kladné obr.2b, prechádza prúd I_{Z1} cez diódu R1, záťaž s odporom R_L cez diódu R4. Ak je napätie U_1 záporné, prechádza prúd I_{Z2} cez diódu R3, záťaž R_L cez diódu R2. Cez záťaž teda prechádza pulzujúci jednosmerný prúd a je na nej pulzujúce jednosmerné napätie U_d obr. 2c. Pri dvojpulznom mostíkovom zapojení sú teda využité obidve polvlny sínusového striedavého napätia a ideálne jednosmerné napätie, naprázdno U_{di} (stredná hodnota) je dvojnásobné, než pri jednopulznom jednocestnom usmernení a je 90 % efektívnej hodnoty U_1 ($U_{di} \equiv U_1 \times \sqrt{2} \times \frac{2}{\sqrt{p}} \equiv 0.9003 \cdot U_1$) Túto strednú

hodnotu napätia ukazuje v tomto prípade i ručičkový voltmeter s otočnou cievkou.

Dvojpulzné mostíkové zapojenie B2U je najčastejšie používané zapojenie usmerňovača a môže byť využité pre dodávku malých i veľkých výkonov do niekoľko kW.



obrázok 1. Jednopulzné jednocestné usmerňovanie



obrázok 2. Dvojpulzné mostíkové zapojenie s diódami, a – schéma, b – vstupné napätie, c – výstupné napätie

6.2. TROJFÁZOVÉ : TROJPULZNÉ

Neriadené trojfázové uzlové usmerňovače

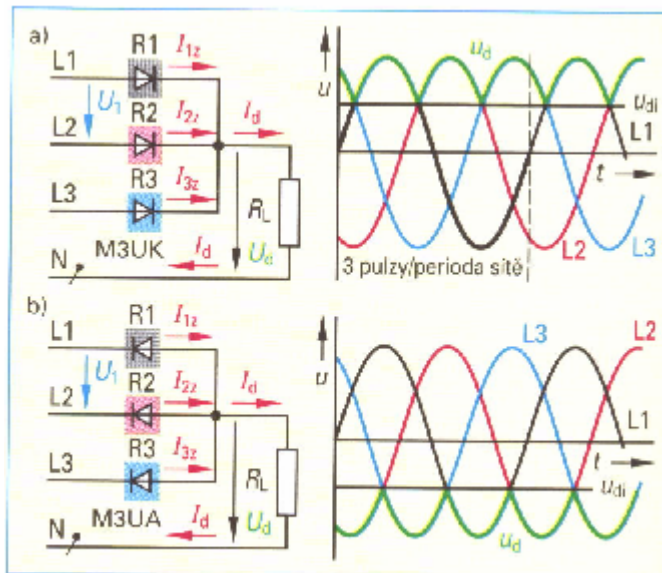
Pre získavanie veľkých jednosmerných prúdov zo striedavej siete sa používajú trojfázové usmerňovače.

Trojpulzné uzlové zapojenie M3U

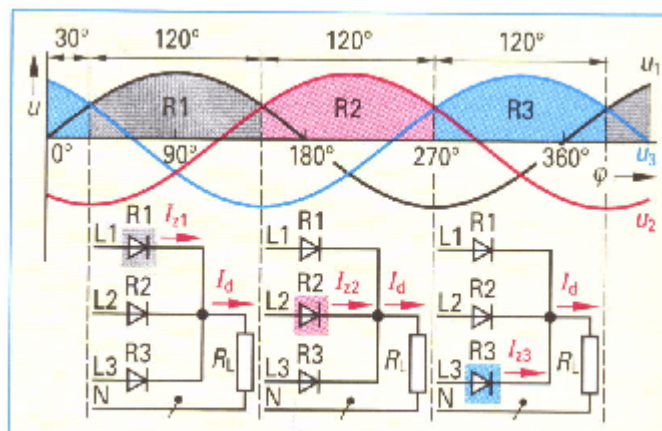
V neriadenom trojpulznom uzlovom (stredovom) zapojení M3U obr. 3 je každý z fázových vodičov L1, L2 a L3 pripojený na jednu diódu. Opačné vývody diódy sú potom spojené do jedného **uzla** (stredy) ako pri zapojení do hviezdy. Ak sú spojené katódy diód, hovoríme o neriadenom trojpulznom **uzlovom katódovom zapojení M3UK**. Obdobné zapojenie so spojenými anódami obr. 3b má označenie **M3UA**.

Vždy za $1/12$ periódy striedavého napätia (fázovo 30°), po priechode jedného z fázových napätí nulou, majú dve z fázových napätí rovnakú veľkosť obr. 4. Krátko potom presiahne rozdiel potenciálov $0,7\text{ V}$ (prahové napätie kremíkovej diódy) a dióda sa otvorí obr. 4. Je to najskorší možný okamžik otvorenia (i pri riadenom spínaní tyristorov). Prepnutie (komutácia) prúdu z jednej diódy na ďalšiu sa uskutoční, ak je pri zapojení M3UK anóda jednej z diód o $0,7\text{ V}$ kladnejšia než spoločný uzol spojených katód. Pribeh usmerňovania teda závisí od priebehu sieťových napätí a hovoríme o **usmerňovači riadeným sieťou**.

Na výstupe trojfázového usmerňovača neklesá napätie ani prúd na rozdiel od jednofázových usmerňovačov na nulu (i bez vyhladzovacieho kondenzátora či iných stabilizačných prvkov). Zvlnenie je tiež omnoho menšie ako na výstupe jednofázových usmerňovačov.



obrázok 3. Zapojenie M3U



obrázok 4. Komutácia diód v zapojení M3U

7. ZOBRAZOVACIE PRVKY A ZARIADENIA

7.1. SVIETIVÁ DIÓDA (LED), LASEROVÁ DIÓDA

Svietivé diódy (Light Emitting diode, LED), alebo tiež luminiscenčné diódy, sú diódy, ktoré pri priechoode elektrickým prúdom svietia.

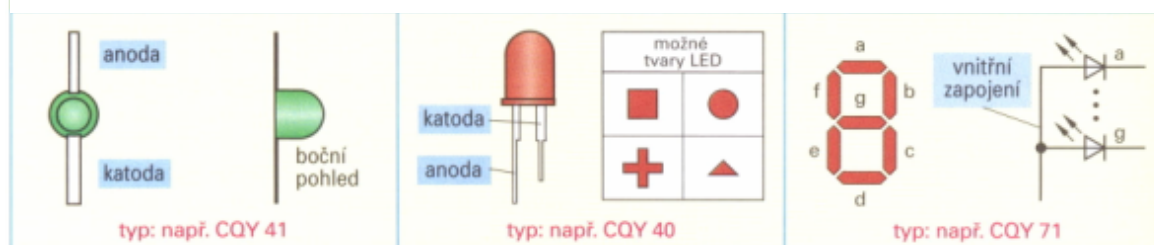
Svietivé diódy sa bežne nazývajú LED diódy (alebo ledky) a v dnešnej dobe dosahujú tzv. super svietivé LED svietivosť až 10 kandelou. Svetivé diódy premieňajú prúd v PN prechode na svetlo (opačne ako pri fotoefekte). Sú vyrábané zo zmiešaných kryštálov GaAsP (gáliumarsenfosfid), GaAs (gáliumarsenid), GaP (gáliumfosfid) a GaN (gáliumnitrid). Vyrábajú sa tiež infračervené luminiscenčné diódy (na báze GaAs – GaAlAs) označované **IRE**D (Infra Red Emitting diode) alebo **IR diódy**. Farba svetla diódy je určená polovodičovým materiálom a jeho dotáciou. Dotovanie napr. dusíkom alebo fosforom dáva podľa stupňa dotácia rôzne zafarbenie. LED diódy sa vyrábajú vo veľkom sortimente veľkostí, farieb a svietivosti, jednoduché, dvojité i štvornásobne v jednom puzdre, vysoko svietivé i blikajúce. K zobrazovaniu číslíc sa používajú systavy tyčinkovitých LED diód usporiadaných do tvaru čísla 8 (sedem segmentové displeje, tabuľka 1). Vyrábajú sa i 14 a 16 segmentové zobrazovacie

tabuľka 1. Typy LED diód (príklady)

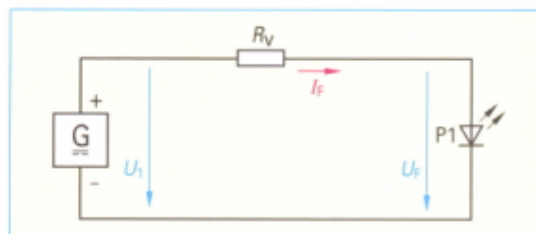
1,8 mm LED, napr. CQY 41

3,5 až 10 mm LED, napr. CQX 35

sedem segmentový displej, napr. CQY 71



jednotky. LED diódy sú zapájané vždy v priepustnom smere obr.1. preto sa v technických dátach uvádza len charakteristika v priepustnom smere. Z tejto charakteristiky sa dá zistiť, že prahové napätie U_F červenej LED COX 35 je približne 1,6 V. Ak prevádzkujeme diódu pri prúde I_F 10 mA až 20 mA, je odpovedajúce napätie 1,5 až 1,7 V. Maximálny prúd I_{Fmax} diódy, ktorý je závislý na typu a býva do 50 mA, by nemal byť prekročený. Preto je potreba zapájať vždy predradný odpor R_V obr.1 k obmedzeniu prúdu.

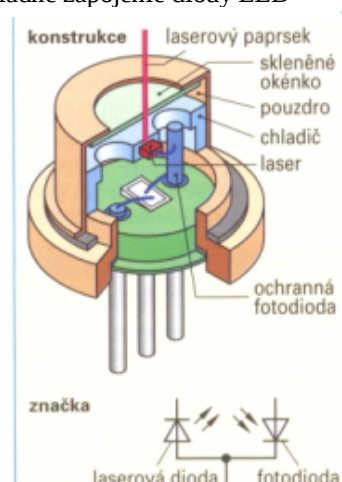


obrázok 1. Základné zapojenie diódy LED

Laserové diódy obr. 2, označované tiež ako polovodičové lasery, vyžarujú monochromatické koherentné žiarenie vo svetelnej alebo infračervenej oblasti, smerované do úzkeho lúča. Laserový čip obsahuje predovšetkým polovodičový kryštál, napr. GaAs (gáliumarsenid) s PN prechodom, na ktorom vzniká (pri zapnutí v priepustnom smere) luminiscencia. Vyleštené čelné plochy kryštálu kolmé na rovinu prechodu tvorí rezonátor. Jedna z rovnobežných plôch rezonátora je polopriepustná a umožňuje výstup častí žiarenia rezonujúceho medzi plochami.

Žiarenie vystupujúce z rezonátora je sústredené do jedného lúča optickým systémom (spojnou šošovkou). Laserové diódy vysielajú lúč napr. v červenej viditeľnej oblasti 645 nm až 680 nm a majú výkon do 5 mW.

Laserové diódy potrebujú k činnosti napätie 1 až 2 V pri prúde približne 50 mA. Laserová dióda je veľmi citlivá na



Obrázok 2. Laserová dióda, konštrukcia a značka

prúdové preťaženie, preto býva spojená s ochrannou fotodiódou obr. 2. Fotodióda monitoruje intenzitu laserového lúča a pri jeho zväčšení obmedzuje prúd laserovou diódou. Laserovú diódu je treba účinne chladiť, pretože v jej malom priestore dochádza k veľkej výkonovej strate.

Laserové diódy sa používajú v laserových tlačiarňach a kopírkach, v záznamových a čítacích zariadeniach s optickými CD a DVD diskami. Laserový lúč môže byť vzhľadom k veľkej hustote energie nebezpečný a môže poškodiť zrak alebo kožu. Výkony laserov sú preto podľa aplikácie obmedzené, napr. u laserových ukazovateľov na 1 mW.

7.2. VLASTNOSTI ZOBRAZOVACÍCH JEDNOTIEK

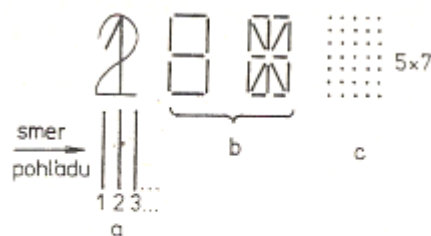
Elektronické zobrazovacie jednotky sú zariadenia ovládané elektrickými signálmi, ktoré sprostredkujú pozorovateľovi určitú vizuálnu informáciu. Môžeme ich rozdeliť do dvoch základných skupín:

1. **Malé (s malou hustotou informácií)** alfanumerické indikátory umožňujú zobraziť jednotlivé číslice, písmená a niektoré ďalšie znaky. Používajú sa v číslicových meracích prístrojoch, v elektronických kalkulátoroch, v digitálnych hodinách a pod.
2. **Veľké (s veľkou hustotou informácií)** televízie alebo oscilografické obrazovky, rozsiahly súbor prvkov bodovej matice napr. svetelné noviny a pod.

Zobrazovacie jednotky s malou hustotou informácií

1. vopred vytvorených znakov obr. 3a
2. so segmentov (segmentovky) obr. 3b
3. použitím potrebného počtu prvkov bodovej matice (maticovky) obr. 3c

V prvom prípade vzniká obraz rozsvietením príslušného znaku, v druhom prípade rozsvietením (zviditeľnením) segmentov, ktorých zložením vznikne znak, v treťom prípade rozsvietením potrebného počtu vhodných bodov matice.



obrázok 3. Základné spôsoby vytvárania znakov v zobrazovacích jednotkách

Najdôležitejšie vlastnosti zobrazovacích jednotiek

Viditeľnosť, je vlastnosť podľa ktorej sa posudzuje ľahkosť a správnosť čítania informácie. Je ovplyvňovaná rôznymi činiteľmi ako sú: jas, kontrast, farba, úroveň vonkajšieho osvetlenia atď.

Vlastná spotreba posudzuje sa podľa napájacieho napätia, potrebného prúdu a spotrebovaného výkonu na vytvorenie jedného symbolu (obvyčajné číslice).

Rýchlosť ozvy je čas potrebný na vznik a zánik obrazu

Zobrazovacie jednotky s vopred vytvorenými znakmi

Ako zobrazovacie jednotky s vopred vytvorenými znakmi pracujú špeciálne výbojky (číslícové výbojky – digitrony). Používajú sa na zobrazenie číslic alebo niektorých ďalších symbolov (V, A, Ω, a pod.).

V banke výbojky jedna anóda (tenká kovová mriežka s veľkým rozstupom ôk). Anóda je umiestnená na povrchu systému a musí umožniť sledovanie znakov, vytvorených vnútri banky výbojky. Za anódou sú uložené katódy (obvyčajne 10), ktoré majú tvar číslic alebo iných znakov

Katódy sú usporiadané v malých vzdialenostiach za sebou a jednotlivo vyvedené na päťicu výbojky. Pri činnosti má anóda trvalo kladné napätie 170 až 220 V. Požadovaný znak sa

rozsvieti uzemnením príslušnej katódy. Hodnota anódového prúdu pre jeden symbol je asi 1 až 5 mA.

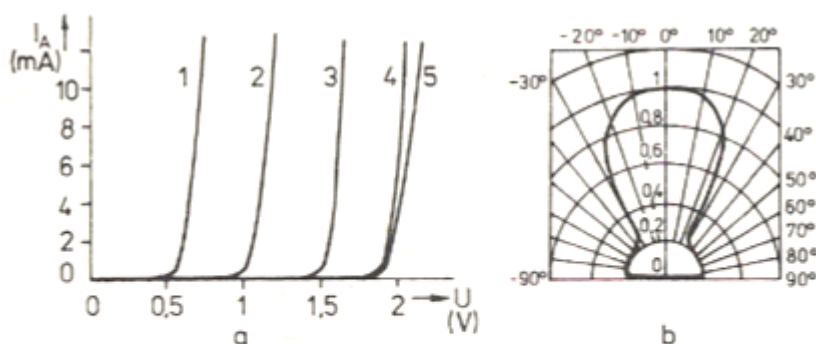
Zobrazovacie jednotky vytvárajúce znaky skladaním segmentov

Na obr. 3 vidíme, že pre numerický indikátor je minimálny počet segmentov sedem, pre alfanumerický šesťnásť. Existuje veľa spôsobov realizácie jednotlivých segmentov. V súčasnosti sú najviac perspektívne elektroluminiscenčné diódy a kvapalnú kryštály.

7.3. SEGMENTOVÉ ZOBRAZOVACIE JEDNOTKY S ELEKTROLUMINISCENČNÝMI DIÓDAMI

Elektroluminiscenčná dióda je plošná dióda, ktorej priechod **PN** žiari, ak ním prechádza prúd v priamom smere. Žiarenie vzniká pri rekombinácii nosičov náboja vnútri priechodu a jeho farba závisí od materiálu použitého na výrobu diódy

Farba žiarenia je obvyčajne červená, oranžová, žltá a zelená. Priebeh VA charakteristiky a ostatné vlastnosti elektroluminiscenčných diód sa podobajú vlastnostiam polovodičových diód s malou plochou priechodu. Napätie v priamom smere je väčšie ako pri kremíkových diódach a závisí od materiálu. Porovnanie je na obr. 4a. Pri elektroluminiscenčných diódach sa vyjadruje aj smerová vyžarovacia charakteristika obr. 4b.



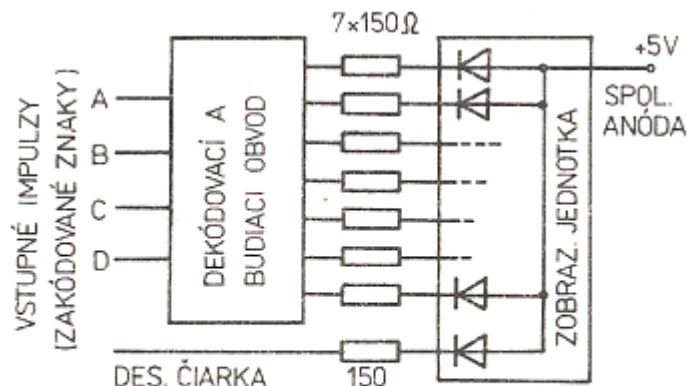
obrázok 4. a) Porovnanie VACH kremíkovej usmerňovacej diódy 1, s charakteristikami elektroluminiscenčných diód (2 – infračervená vyrobená z GaAs, 3 – červená z GaAsP, 4 – žltá z GaAsP, 5 – zelená z GaP) b) smerová vyžarovacia charakteristika elektroluminiscenčnej diódy.

Každý so siedmich segmentov numerického indikátora (alfanumerické indikátory s elektroluminiscenčnými diódami sa realizujú v bodovej matici) sa skladá z jednej alebo niekoľkých elektroluminiscenčných diód.

Na zjednodušenie ovládacích obvodov majú diódy navzájom prepojené katódy alebo anódy (podľa druhu logických obvodov s ktorými spolupracujú). (Logické obvody TTL- prepojené anódy, logické obvody CMOS – prepojené katódy).

Anódové napätie diódy je podľa farby 1,5 až 2,5 V. Aby sa mohlo použiť na napájanie týchto zobrazovacích jednotiek bežné napájacie napätie logických integrovaných obvodov TTL, ktoré je 5 V, ohraničuje sa prúd v jednotlivých segmentoch sériovo zapojenými rezistormi obr. 5.

Do jedného puzdra sa umiestňuje jeden alebo postupne vedľa seba niekoľko znakov. Pri najmenších typoch indikátoroch má vrchná stena puzdra tvar šošovky, ktorá uľahčuje pozorovanie.



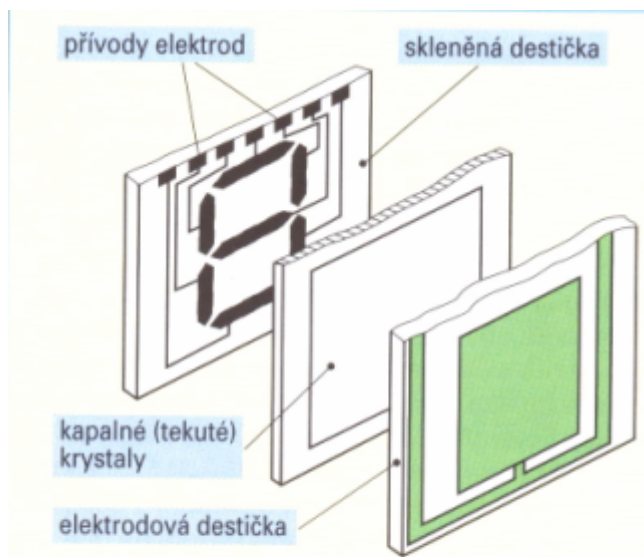
obrázok 5. Spolupráca jednotky z elektroluminiscenčných diód s obvody TTL

7.4. SEGMENTOVÉ ZOBRAZOVACIE JEDNOTKY S KVAPALNÝMI KRYŠTÁLMI (LCD)

Zobrazovače s kvapalnými kryštálmi LCD (Liquid Crystal Display), pracujú na báze organických látok s nízkym bodom topenia. V stave medzi kvapalným a pevným skupenstvom je optická orientácia kryštálu (teda schopnosť polarizovať určitým smerom svetlo) závislá na smere vonkajšieho elektrického poľa.

Zobrazovače s kvapalnými kryštálmi sú pasívne zobrazovače, ktoré nevyžadujú žiadne svetlo. K zviditeľneniu údajov je nutné okolité dopadajúce svetlo alebo svetlo prežarujúce zobrazovač zospodu.

Konštrukcia: Vrstva kvapalných kryštálov o hrúbke asi 10 μm je medzi sklenenými doskami opatrené polarizačnými filtermi vid'. **obrázok** pootočené navzájom o 90°. Na jednej sklenenej doske sú naparené elektródy v tvare prvkov (segmentov) obrazov alebo bodov, na druhej doske je naparená celoplošná priehľadná elektróda. Pozdĺžne kryštály sú bez pôsobenia elektrického poľa usporiadané do tvaru špirál ako dosky točivých schodov a pri vhodnej výške týchto špirál, tj. vhodnej hrúbky medzery medzi sklami stáčajú tieto špirály polarizačnú rovinu svetla o 90° a LCD je ako celok pre svetlo prechodný. Medzi celoplošnou elektródou a protiľahlými bodovými elektródami pripojenými na napätie dôjde k porušeniu kludovej štruktúry kvapalných kryštálov a stmavnutie displeja. Každý obrazový bod má tri elektródy kryté farebnými filtermi. Aby nedochádzalo k rozkladu kvapalných



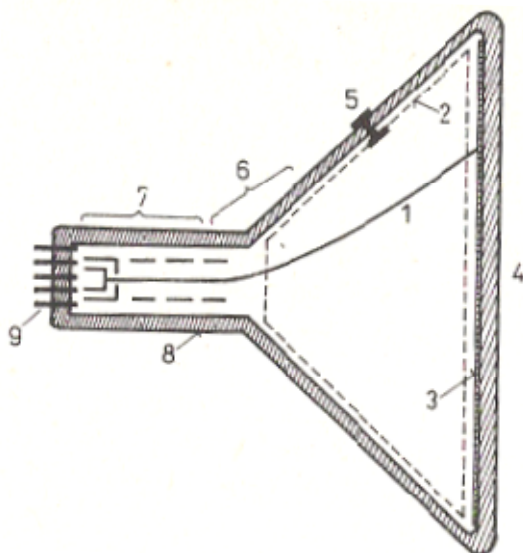
budicí napětí	1 V až	40 V
výkonový odběr	1 μW až	1 000 μW
odběr proudu na 1 cm ²	1 μA až	10 μA
kmitočet řídicího proudu	30 Hz až	1,5 kHz
vybavovací doba	100 ms až	500 ms

kryštálov elektrolyzou, nepoužíva sa jednosmerné napätie, ale striedavé napätie nízkej frekvencie.

Monochromatický LCD displej nespotrebuje, na rozdiel od LED displeja, žiadnu energiu, Farebné displeje sú podsvietené.

7.5. OBRAZOVKY

Obrazovka bez ohľadu na konkrétne vyhotovenie alebo použitie sa skladá z niekoľkých funkčne rovnakých častí obr.6.



obrázok 6. Principiálne usporiadanie obrazovky

1 – elektrónový lúč, 2 – vnútorná grafitová vrstva, 3 – luminofór, 4 – čelná stena, 5 – kontakt na pripojenie anódového napätia, 6 – oblasť pôsobenia vychýľovacej sústavy, 7 – elektrónová dýza, 8 – hrdlo, 9 – päťica

Systém elektród obrazovky je uložený vo vyčerpanej sklenej banke

Čelná stena, ktorá má na vnútornej strane luminiscenčnú vrstvu – luminofor, tvorí tienidlo. Na luminofor dopadá zaostrý elektrónový lúč, ktorého zdrojom je elektrónová dýza. Dýza sa skladá z niekoľkých elektród a je umiestnená v hrdle obrazovky.

Elektróny elektrónového lúča sa urýchlujú vysokým kladným anódovým napätím a dopadajú na luminofor, pričom odovzdávajú jeho atómom svoju kinetickú energiu. Atómy prijatú energiu opäť vyžarujú vo forme viditeľného svetla, ktorého farba závisí od zloženia luminofóru.

V mieste dopadu elektrónového lúča na luminofor vznikne svetelný bod. Pôsobením sily elektrostatického alebo magnetického poľa (vychýľovaním elektrónového lúča) sa môže svetelný bod posúvať po ploche tienidla a vytvárať svetelnú stopu.

Na vytvorenie dojmu plynulej čiary pri pohybe svetelného bodu po tienidle napomáha popri zotrvačnosti ľudského zraku aj svetelná zotrvačnosť (dosvit) luminofora. Časť dosvitu sa vyjadruje v závislosti od úrovne vonkajšieho osvetlenia.

Podľa druhu poľa, ktoré sa používa na vychýľovanie elektrónového lúča rozdeľujeme obrazovky na dve základné skupiny:

1. **Obrazovky s elektrostatickým vychýľovaním.** Výchylku spôsobuje sila elektrostatického poľa dvoma navzájom kolmých dvojíc vychýľovacích platničiek. Úmerná je napätiu medzi platničkami príslušnej dvojice.

2. **Obrazovky s elektromagnetickým vychýľovaním.** Výchylku spôsobuje sila elektromagnetického poľa dvoch dvojíc vychýľovacích cievok v závislosti od nimi prechádzajúceho prúdu. Sústava cievok je nasunutá na hrdlo obrazovky.

Elektrostatický vychýľovací systém iba málo závisí od frekvencie. Preto dovoľuje vychýľovanie elektrónového lúča veľkými rýchlosťami (až 10^7 m.s^{-1}), ale uhol, o ktorý sa lúč

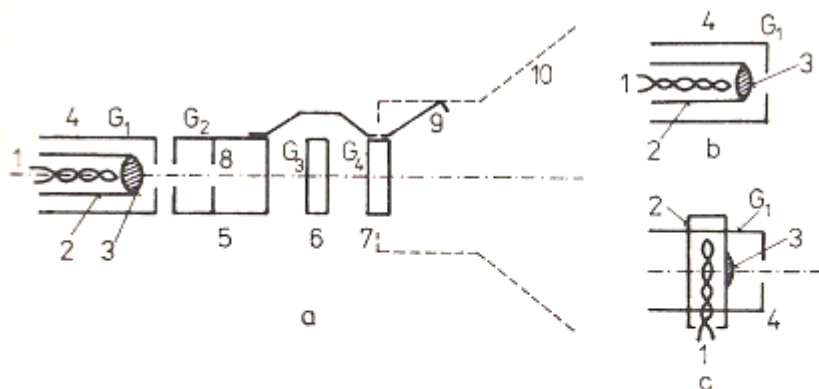
vychýli (vychýľovací uhol), je len asi 30° ($\pm 15^\circ$ od osi). Obrazovky s elektrostatickým vychýľovaním sa používajú v osciloskopoch a iných meracích prístrojoch.

Elektromagnetický vychýľovací systém umožňuje dosiahnuť bežné vychýľovacie uhly 110° , nedá sa však použiť pri vysokých frekvenciách vychýľovacích prúdov. Obrazovky s týmto systémom sa používajú zväčša v televíznych prijímačoch.

7.6. ELEKTRÓNOVÁ DÝZA

Podstata činnosti elektrónovej dýzy je rovnaká pre obidva základné typy obrazoviek. Elektrónová dýza sa používa na vytvorenie elektrónového lúča, na jeho urýchlenie a zaostrenie na luminofor.

Elektrónová dýza sa skladá z katódy, prvej (modulačnej alebo riadiacej) mriežky G_1 a niekoľko ďalších elektród. Tieto elektródy (G_2 , G_3 atď.) nazývame obyčajne mriežkami (druhá, tretia atď.). Posledná elektróda, ktorá má najvyššie kladné napätie proti katóde a je vodivo spojená s tenkou grafitovou vrstvou na vnútornej stene banky, sa nazýva anóda. Na obr. 7 je znázornené schematické usporiadanie elektrónovej dýzy, ktoré sa s malými obmenami používa vo väčšine oscilografických obrazoviek a v obrazovkách pre čiernobielu televíziu.



obrázok 7. Elektrónová dýza

a) dýza s unipotenciálnou šošovkou, b) osové katódy, c) priečne uloženie katódy
1 - žeraviace vlákno, 2 - katóda, 3 - emisná vrstva, 4 - prvá mriežka G_1 , 5 - druhá mriežka G_2 , 6 - tretia mriežka G_3 , 7 - anóda, 8 - vymedzovacia clona, 9 - pružný kontakt, ktorý zabezpečuje vodivé spojenie anódy s vnútornou grafitovou vrstvou banky, 10 - vnútorná vodivá grafitová vrstva

Nepriamo žeravená katóda je uložená v smere osi obrazovky obr. 7b alebo priečne na os obr. 7c.

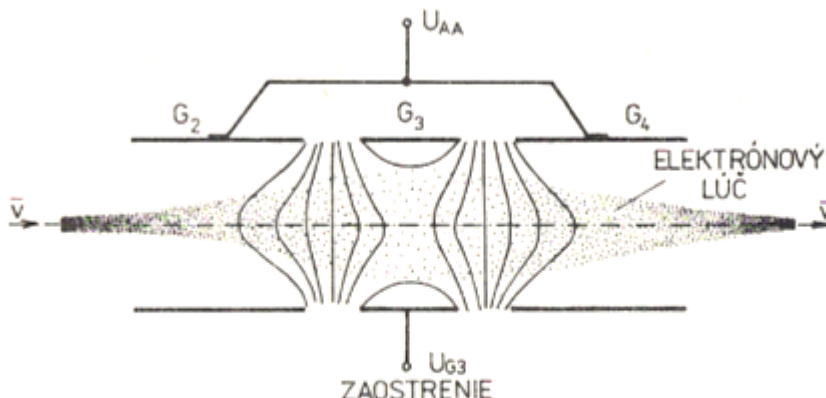
V tesnej blízkosti svojho emitujúceho povrchu je katóda prekrytá mriežkou G_1 , ktorú tvorí rúrka uzavretá clonou s otvorom priemeru asi 1 mm. Veľkosťou záporného napätia mriežky proti katóde ovládame prúd elektrónového lúča a tým aj jas stopy.

V smere pohybu elektrónov je vo vzdialenosti asi 1 mm od prvej mriežky umiestnená druhá mriežka G_2 , ktorá má konštantné kladné napätie. Dráhy elektrónov, ktoré vystupujú z otvoru prvej mriežky, sa v priestore medzi prvou a druhou mriežkou pretínajú takmer v jednom bode.

Tento bod, v ktorom má elektrónový lúč najmenší prierez sa nazýva **križište**. Zobrazíť križište na luminofore, tj. zaostriť stopu elektrónového lúča, má za úlohu **zaostrovaný systém obrazovky**.

Oscilografické obrazovky a obrazovky pre čiernobielu televíziu používajú na zaostrovanie najčastejšie unipotenciálnu šošovku, ktorá sa skladá z troch elektród. Dve vonkajšie elektródy (obr. 7a označené G_2 a G_4) majú rovnaké napätie, rovnajúce sa obyčajne anódovému napätiu

(niekoľko kilovoltov proti katóde). Elektrónový lúč sa zaostruje zmenou napätia na vnútornej elektróde unipotenciálnej šošovky. Rozloženie ekvipotenciálnych plôch vnútri unipotenciálnej šošovky je znázornené na obr.8.



obrázok 8. Rozloženie ekvipotenciálnych plôch v unipotenciálnej šošovke

Grafitová vrstva (novšie oxid železa) je nanosená na vnútornej stene banky, a to od miesta, kde končí sústava elektród elektrónovej dýzy až po tienidlo. Grafitová vrstva pôsobí ako kolektor sekundárnych elektrónov, ktoré emituje tienidlo pri dopade elektrónového lúča na luminofor. S grafitovou vrstvou je vodivo spojená anóda obrazovky (elektróda G_4 na obr. 7a) pomocou pružného kontaktu. Keby sa tieto sekundárne elektróny neodsávali, dopadali by pozvoľna späť na tienidlo, nabili by sa záporne a tým by znemožnili dopad elektrónového lúča na luminofor a vznik svetelnej stopy. Pôsobením kolektora (odsávaním sekundárnych elektrónov) sa po krátkom čase nabije povrch tienidla na plné anódové napätie, na ktorom sa vplyvom sekundárnej emisie automaticky stabilizuje

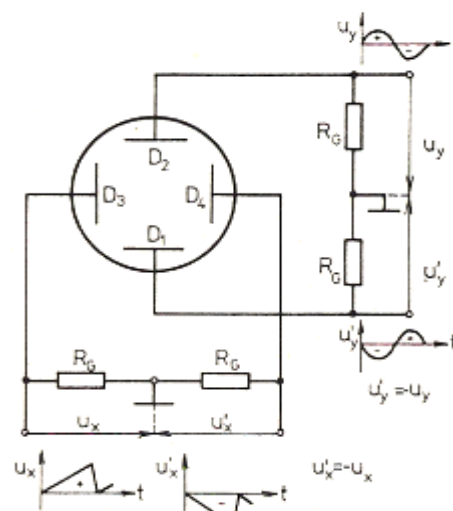
Televízne obrazovky majú väčšiu časť svojho povrchu aj na vonkajšej strane pokrytú grafitovou vrstvou, ktorá je spojená so zemou. Banka obrazovky tak tvorí kondenzátor, ktorý zlepšuje filtráciu vysokého anódového napätia obrazovky.

7.7. VYCHÝĽOVANIE ELEKTRÓNOVÉHO LÚČA ELEKTROSTATICKÝM POĽOM

Obrazovky s elektrostatickým poľom vychýľovaním majú dva páry **vychýľovacích platničiek**. Jeden pár platničiek vychýľuje elektrónový lúč vo zvislom smere (platničky D_1 a D_2 na obr. 9), druhý pár vo vodorovnom smere (platničky D_3 a D_4 na obr. 9).

Vychýľovacie platničky sa zapájajú spôsobom znázorneným na obr. 9. Ide o **súmerné vychýľovanie**. Na obidve platničky príslušného páru sa privádza vychýľovacie napätie súčasne, ale s opačnou fázou. Silové pôsobenie obidvoch doštičiek sa spočíta a ľahko sa dosiahne veľká výchylka elektrónového lúča. Okrem toho pri tomto usporiadaní nespôsobuje vychýľovacie napätie rozostrovanie stopy ani geometrické skresľovanie obrazu.

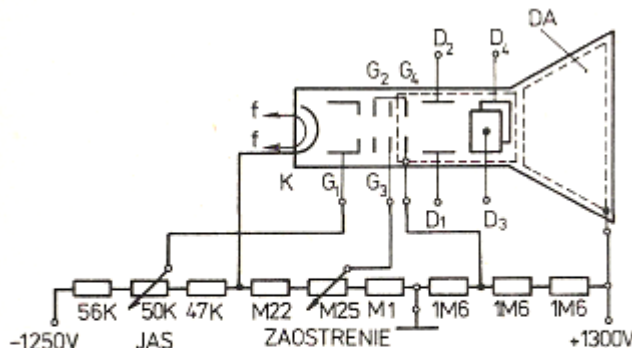
Aby sa zabránilo vzniku geometrického skreslenia na tienidle obrazovky, musí sa pokojová



obrázok 9. Súmerné vychýľovanie elektrónového lúča v obrazovke

hodnota jednosmerného napätia vychýľovacích platničiek približne rovnáť anódovému napätiu. Preto sa často anóda uzemňuje a na katódu sa pripája záporné napätie U_{AK} . Na obr.10 je znázornený príklad zapojenia obrazovky B 10 S6), ktorá sa používa v osciloskope.

Vychýľovacie platničky, rovnako ako všetky ostatné elektródy, musia sa vodivo spojiť so zemou, pretože z nich treba trvalo odvádzať elektrický náboj, ktorý zachycuje pri prevádzke. Túto úlohu plnia zvodové rezistory R_G , ktorých hodnoty sú uvedené v katalógu obrazoviek (s odporom asi $3M\Omega$, obr. 9).



obrázok 10. Zjednodušené zapojenie obrazovky v osciloskope (DA – dorýchľovacia anóda, ktorá dodatočne urýchľuje elektrónový lúč čím sa zväčší jas stopy).

7.8. VÝCHYLKA ELEKTRÓNOVÉHO LÚČA V OBRAZOVKE S ELEKTROSTATICKÝM VYCHÝĽOVANÍM

Pri prelete elektrónového lúča priestorom medzi vychýľovacími platničkami získavajú jednotlivé elektróny vplyvom elektrostatického poľa zrýchlenie v smere kolmom na smer osi obrazovky. V dôsledku toho sa elektróny vychýlia zo svojej priamočiarej dráhy a začnú sa pohybovať po parabolickej dráhe obr.11.

Len čo elektróny opustia priestor medzi vychýľovacími platničkami, elektrické pole platničiek prestane ovplyvňovať smer ich pohybu a pokračujú v priamočiarom pohybe k tienidlu. Priamočiara dráha elektrónového lúča tvorí dotyčnicu k parabolickej dráhe v mieste, v ktorom elektróny opúšťajú elektrostatické pole vychýľovacích platničiek obr.11.

Pre výchylku elektrónového lúča na tienidle obrazovky môžeme odvodiť približný vzťah, platný pre malé vychýľovacie uhly:

$$D = \frac{1}{2} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{d}{U_{AK}} \cdot U$$

Význam symbolov vyplýva z obr.11.

Všimnime si, že výchylka elektrónového lúča závisí od rozmerov obrazovky, je priamo úmerná vychýľovaciemu a nepriamo úmerná anódovému napätiu obrazovky. Pre jednotlivé typy obrazoviek udáva výrobca v katalógu **citlivosť vychýľovacích platničiek**. Je to veľkosť výchylky na tienidle obrazovky pri vychýľovacom napätí $U = 1V$ a platí len pre určité anódové napätie. Vychýľovacie platničky umiestnené bližšie ku katóde majú väčšiu citlivosť a používajú sa na vychýľovanie vo zvislom smere.



obrázok 11. Výchylka lúča pri vychýľovaní elektrostatickým poľom.

Zoznam literatúry:

- [1] Maťátko J.: ELEKTRONIKA (pre 2. a 3. ročník SPŠE), Alfa 1987
- [2] Kroha P., Tolar J., Šustr J.: Elektrotechnika (pre 2. ročník SPŠ), Alfa 1985
- [3] Rudolf B.: Silnoprúdové zariadenia (pre 4. ročník SPŠ), Alfa 1986
- [4] Klaus T.: Příručka pre elektrotechnika (Europa-Sobotáles CZ 2006)
- [5] Meravý J., Kocman K.: Elektrotechnická spôsobilosť pre elektrikárov, 2004