

# **1. Teoretický rozbor ochran a jištění**

## **1.1. Poruchové stavy v elektrizační soustavě**

Při přenosu a rozvodu elektrické energie se mohou vyskytovat jevy (poruchové stavy), které ohrožují bezpečnost provozu.

V provozu elektrizační soustavy se mohou vyskytnout následující poruchové stavy [1]:

### Zkrat:

Je to vzájemné spojení dvou nebo tří fází, popřípadě spojení jedné fáze se zemí v síti s přímo uzemněným uzlem. Proud procházející vedením při zkratu dosahuje několika násobku jmenovitého proudu.

Důsledky vzniku zkratu:

- zvýšené tepelné i silové namáhání elektrického vedení, spotřebičů i ostatních rozvodných zařízení
- pokles napětí nepřímo úměrný elektrické vzdálenosti od místa zkratu
- odlehčení stroje (vznik urychlujícího výkonu), může dojít ke ztrátě stability

Zkrat může být způsoben únavou izolace, vlivem počasí, mechanickým poškozením, špatnou manipulací.

### Zemní spojení:

Je to galvanické spojení jedné fáze se zemí v síti s izolovaným uzlem, popřípadě v síti s nepřímo uzemněným uzlem (uzel uzemněn přes odpor) nebo v síti s kompenzovaným uzlem (uzel uzemněn přes proměnnou tlumivku). V síti s izolovaným uzlem je možno ke kompenzaci kapacitních proudů použít Bauchův transformátor.

Důsledky vzniku zemního spojení:

- při přerušovaném zemním spojení (uhasínání oblouku v nule proudu a následné zapalování oblouku při rychlém nárůstu zotaveného napětí) vznik nebezpečných přepětí
- velká pravděpodobnost vzniku následného zkratu

### Přetížení:

Je to zatěžování vodičů, elektrických zařízení a elektrických spotřebičů proudem přesahujícím hodnotu jmenovitého proudu.

Důsledky vzniku přetížení:

- zvýšené tepelné namáhání elektrického vedení, spotřebičů i ostatních rozvodných zařízení
- urychlení stárnutí izolace

Krátkodobá přetížení nemusí být nebezpečná, naopak dlouhodobá přetížení jsou nebezpečná téměř vždy.

### Přepětí:

Podle způsobu vzniku je dělíme na atmosférická a provozní.

Atmosférická přepětí vznikají:

- přímým úderem blesku do vedení nebo do nekrytých částí elektrických zařízení
- indukci při úderu blesku v blízkosti vodičů nebo jiných částí rozvodného zařízení

Provozní přepětí jsou způsobena spínacími pochody v obvodech s velkými indukčnostmi nebo kapacitami.

Důsledky vzniku přepětí:

- způsobuje poškození a stárnutí izolace
- přidavné ztráty
- zvýšené nebezpečí vzniku zkratu

### Podpětí:

Při konstantním odebíraném výkonu dochází v důsledku podpětí k proudovému přetížení. Podpětí může být způsobeno nedostatečnou kompenzací, přetížením nebo poruchou regulace napětí.

Důsledky vzniku podpětí:

- vznik proudového přetížení

### Nesouměrné zatížení:

Je to provozní stav, při kterém jsou jednotlivé fáze statoru alternátoru (motoru) zatěžovány různým proudem. V důsledku toho vzniká zpětná složka proudu  $i_2$ , která vytváří magnetické pole otáčející se dvojnásobnou úhlovou rychlostí rotoru (v opačném smyslu). V rotoru se indukují vířivé proudy, jejich průchodem se může rotor nebezpečně zahřívat.

Nesouměrnost zatížení může být způsobena přerušením některé fáze nebo nesouměrností zátěže.

Důsledky vzniku nesouměrného zatížení:

- lokální přehřívání rotoru

### Zvýšení kmitočtu:

Bývá způsobeno poruchou regulace výkonu.

Důsledky zvýšení kmitočtu:

- působí mechanicky na chráněné zařízení i na připojené stroje

### Snížení kmitočtu:

Dochází k němu přetížením zdrojů energie v síti.

Důsledky snížení kmitočtu:

- zvětšení magnetizačních proudů, tím zvětšení ztrát a oteplení

### Zpětný tok výkonu:

Je způsoben ztrátou výkonu pohonu nebo špatnou energetickou bilancí sítě.

Důsledky zpětného toku výkonu:

- přenos energie z generátoru do turbíny nebo z motoru do sítě, čímž může dojít k poškození mechanického stroje

## **1.2. Základní pojmy**

Základní požadavek při provozu elektrizační soustavy je její spolehlivý a bezporuchový chod. Tento požadavek nám zajišťují elektrické ochrany.

### Ochrana

Je zařízení, které kontroluje chod určité části energetického systému (např. generátoru, alternátoru, elektrického vedení). Informace o jednotlivých veličinách chráněného objektu získává ochrana pomocí přístrojových transformátorů napětí a proudu. Tyto informace ochrana vyhodnotí a na základě tohoto vyhodnocení rozhodne zda je chráněný objekt v mezích normálního provozu nebo zda jde o poruchu.

V případě poruchy provede ochrana vypnutí chráněného objektu a současně vysílá signál o působení ochrany pro obsluhu. V některých případech provede ochrana pouze signalizaci poruchy a vypnutí provede po vyhodnocení situace obsluha. Obsluha může nastavovat parametry ochrany, například měnit její citlivost nebo časové zpoždění [1].

Úkolem ochrany je omezit následky vzniklých poruch (poškození zařízení, úraz elektrickým proudem, ohrožení na životě) nebo pokud je to možné poruchám předcházet.

## Chráněný objekt

Je fyzikální zařízení, které přenáší energii v rámci svého okolí. Okamžitou funkci chráněného objektu lze určit pomocí stavových veličin [1].

Stavová veličina je fyzikální veličina chráněného objektu (např. napětí, proud, okamžitý výkon, okamžitý kmitočet), jejíž velikost charakterizuje současné chování objektu.

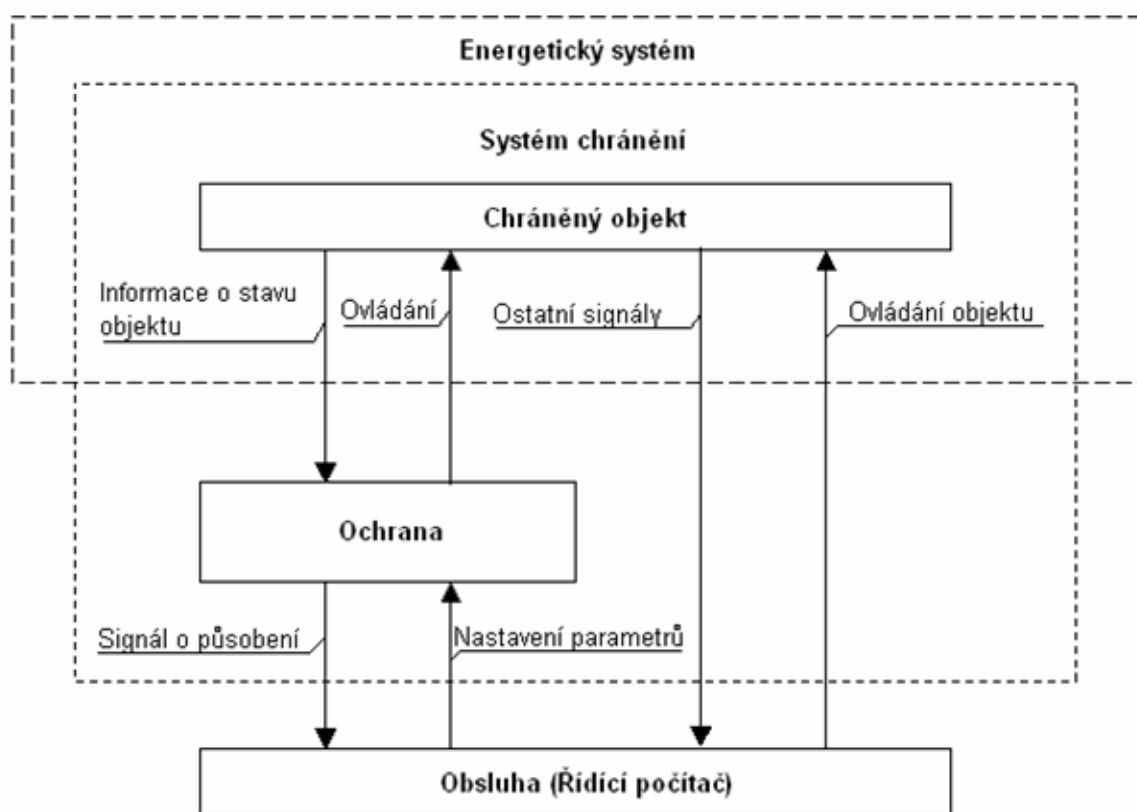
Stav objektu  $x(t)$  je soubor stavových veličin objektu. (zapisujeme jej ve tvaru vektoru)

Vstup objektu  $p(t)$  je vektor veličin, kterými působí okolí na chráněný objekt.

Výstup objektu  $z(t)$  je vektor veličin chráněného objektu, kterými objekt působí na okolí.

Ovládání objektu je soubor zařízení, přes které působí ochrana na objekt. (Jsou to vypínač, odbuzovače, uzávěry páry atd.)

Porucha je taková fyzikální změna na objektu nebo na veličinách, která způsobí, že stav objektu překročí meze normálního provozu.



Obr.1-1 Schéma vazby ochrany a chráněného objektu

## 1.3. Dělení ochran

Ochrany lze dělit dle několika hledisek [1]:

### a) Podle typu chráněného objektu:

- generátoru
- motoru
- transformátoru
- přípojnic
- vedení
- speciální (troleje, vypínače, lokomotivní)

b) Podle druhu poruchy:

- zkratové
- při přetížení
- podpět'ové
- nadpět'ové
- podkmitočtové
- nadkmitočtové
- při zemním spojení
- při zpětném toku výkonu
- při ztrátě buzení
- při nesouměrnosti

c) Podle funkčního principu:

- proudové
- napět'ové
- distanční
- rozdílové
- srovnávací
- wattové
- jalové
- kmitočtové
- při nesouměrnosti

d) Podle doby působení:

- mžikové – působí ihned při vzniku poruchy, její rychlost je omezená pouze dobou zpracování informace uvnitř ochrany
- časově závislé – doba působení závisí na velikosti měřené veličiny
- časově nezávislé – má konstantní, předem nastavenou dobu působení

e) Podle konstrukce:

- elektromechanické – jsou sestaveny z klasických elektrických relé
- tranzistorové (statické) – jsou sestaveny z polovodičů a z integrovaných obvodů, informace o velikosti zpracovávaných hodnot je zobrazena spojitě úrovní některé elektrické veličiny
- digitální (číslíkové) – jsou sestaveny z číslíkových (digitálních) obvodů, informace o velikosti zpracovávaných hodnot je zobrazena pomocí diskretních hodnot (logické nuly a jedničky)

## **1.4. Požadavky kladené na ochrany**

Provoz energetické soustavy klade na ochrany určité požadavky [1]:

### Rychlost vybavení ochrany

Je dána dobou od vzniku poruchy do vypnutí vypínače. Volba ochrany je dána druhem poruchy (chceme-li působení mžikové či zpožděné). Doba vypnutí je dána vlastní dobou vybavení ochrany a dobou za kterou provede vypínač vypnutí. Dostatečná rychlost vybavení zmenšuje nároky na dimenzování chráněného objektu. Rychlé vypnutí poruchy zvětšuje stabilitu soustavy a omezuje chod spotřebičů při sníženém napětí.

### Selektivita ochrany

Ochrana musí vypínat pouze tu část soustavy na které vznikla porucha, nesmí přitom vyloučit možnost působení záložních ochran.

Selektivita se dosahuje:

- časovým odstupňováním (nadproudové a distanční ochrany)
- porovnáním vybraných veličin na začátku a na konci chráněného úseku ( rozdílová a srovnávací ochrana)
- odstupňováním úrovně nastavené veličiny
- směrovým nastavením ochran

#### Citlivost ochrany

Je to velikost měřené veličiny, na kterou je ochrana nařízena a podle níž vyhodnocuje zda se jedná o poruchu. V provozu je nutná určitá bezpečnost chránění, proto je funkce ochrany nastavena na méně nebezpečnou hodnotu stavové veličiny než odpovídá poruše.

#### Přesnost ochrany

Je to poměrná chyba citlivosti ochrany.

#### Spolehlivost ochrany

Je to schopnost ochrany spolehlivě zapůsobit při vzniku poruchy. Pokud porucha nevznikne nesmí dojít k vybavení ochrany. Spolehlivost ochrany je dána její jednoduchostí, kvalitou, správnou montáží, pravidelnou kontrolou funkce ochrany.

#### Snadná údržba

Pro zvětšení spolehlivosti se provádějí periodické revize ochran. Proto je nutná snadná údržba. Tím, že jsou ochrany pravidelně zkoušeny, zmenšuje se pravděpodobnost jejich poruchy.

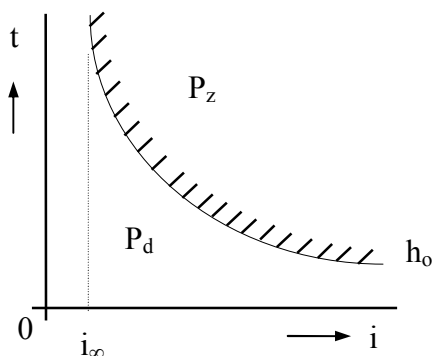
Další požadavky kladené na moderní ochrany jsou miniaturizace ochran, odolnost ochran, dlouhá životnost, kompatibilita s ostatní automatizační technikou.

Při posuzování prioritních požadavků kladených na ochrany se postupuje individuálně podle konkrétní situaci.

## 1.5 Druhy ochran

### 1.5.1 Nadproudová ochrana

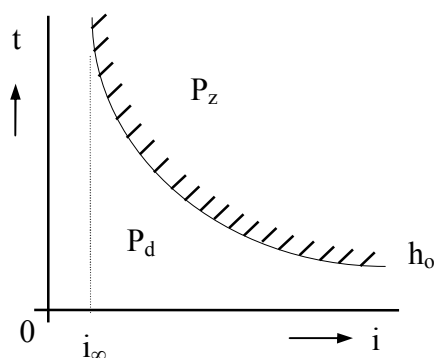
Nadproudová ochrana měří velikost proudu. Při zkratu nebo přetížení se zvětší proud a nadproudová ochrana působí. Její rovnice vyjadřuje závislost doby působení  $t$  na proudu  $i$ :  $F(i, i_\infty, t) = 0$ , kde  $i_\infty$  je trvale dovolený proud ( $t = \infty$ ).



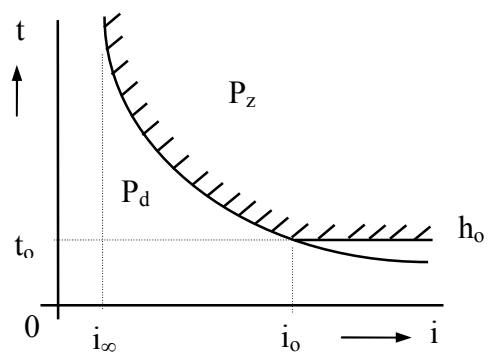
Obr. č. 4 - Charakteristika nadproudové ochrany.

**Nadproudové ochrany** jsou používány hlavně pro svou jednoduchost. Jejich funkce není tak selektivní jako funkce ochran distančních a rozdílových. Používají se u méně důležitých zařízení (vedení vn) nebo jako záložní ochrany. Nejčastěji se používají jako zkratové ochrany, nebo jako ochrany proti přetížení.

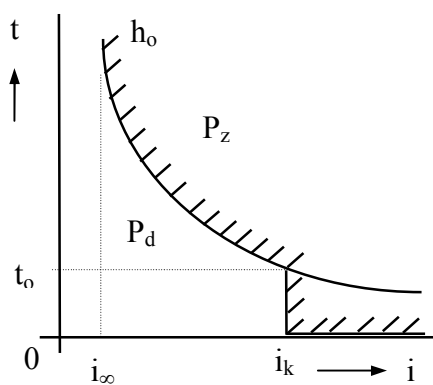
Podle časové závislosti rozeznáváme tyto nadproudové ochrany:



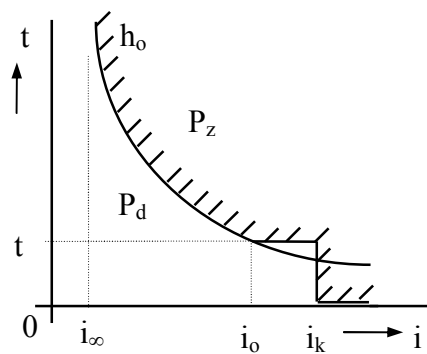
Obr. č. 5 - Charakteristika nadproudové závislé ochrany



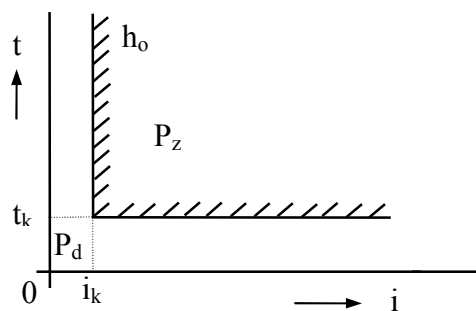
Obr. č. 6 - Charakteristika polozávislé nadproudové ochrany



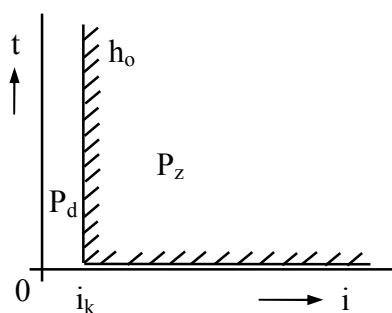
Obr.č. 7 - Charakteristika závislé nadproudové ochrany s mžikovým zkratovým článkem



Obr. č. 8 - Charakteristika polozávislé nadproudové ochrany s mžikovým zkratovým článkem



Obr. č. 9 - Charakteristika nezávislé nadproudové ochrany



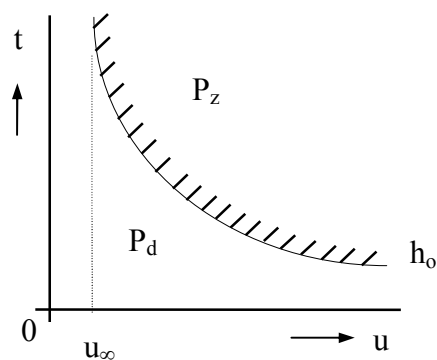
Obr. č. 10 - Charakteristika mžikové nadproudové ochrany

### 1.5.2 Napěťová ochrana

Napěťová ochrana působí při vzrůstu nebo poklesu napětí. Její rovnice vyjadřuje závislost doby působení **t** na napětí **u**.

Platí vztah:

$$F(u, t) = 0$$



Obr. č. 11 - Charakteristika napěťové ochrany



Klasické napěťové ochrany mají podobnou konstrukci jako ochrany proudové, liší se pouze impedancí měřicího článku.

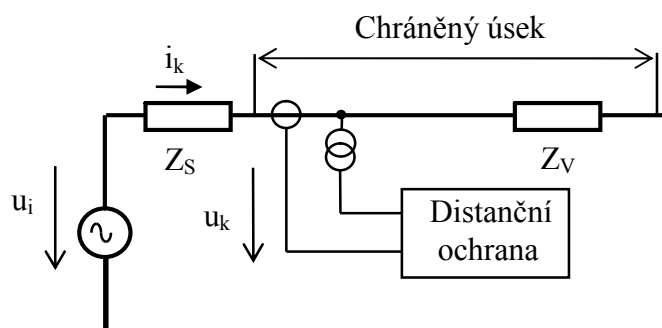
### 1.5.3 Distanční (impedanční) ochrana

Distanční (impedanční) ochrana využívá principu měření impedance zkratové smyčky. Ochrana měří velikost proudu  $i_k$  a napětí  $u_k$  v místě měření ochranou.

$$u_k = Z \cdot i_k$$

Rovnice distanční ochrany je potom  $F(z) = 0$

Připojení distanční ochrany k chráněnému objektu je na obrázku č. 12.

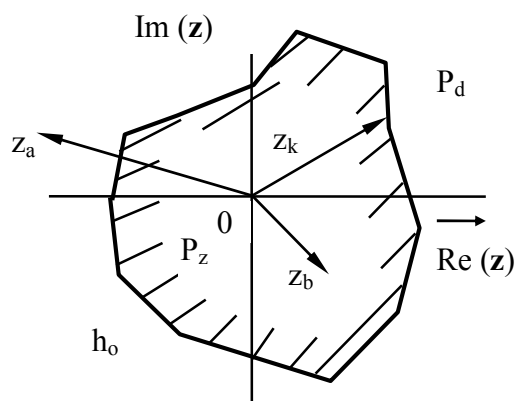


Obr. č. 12 - Připojení distanční ochrany

Ochrana měří velikost proudu  $i_k$  a napětí  $u_k$ . Při zkratu jsou obě veličiny svázány vztahem:

$$u_k = z \cdot i_k$$

Veličiny  $u_k$  a  $i_k$  jednoznačně určují impedanci zkratové smyčky a tím i vzdálenost poruchy na vedení. Na obr. č. 13 je obecná charakteristika distanční ochrany v komplexní rovině  $z$ . V případě, že koncový bod fázoru impedance zkratové smyčky leží vně charakteristiky  $h_o$ , ochrana nepůsobí. Rovnice distanční ochrany se nejčastěji vyjadřuje implicitně:  $F(z) = 0$ .



Obr. č. 13 - Charakteristika distanční ochrany

**Distanční ochrana** se nazývá proto, že zjišťuje impedanční vzdálenost (distanci) zkratu, měří směr polohy zkratu. Její charakteristika umožňuje zálohovat sousední úseky, v základním úseku působí mžikově, v sousedních úsecích s časovým zpožděním.

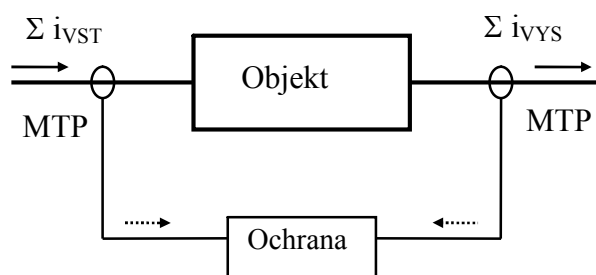
#### 1.5.4 Rozdílová ochrana

Rozdílová ochrana určuje poruchu z rozdílu průchozích proudů objektu. Princip je na obr. č. 14.

V normálním provozním stavu platí:  $\Delta i_r = \Sigma i_{VST} - \Sigma i_{VYS} = 0$

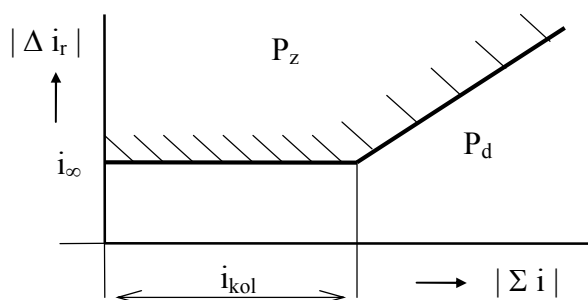
Vztah je vlastně první Kirchhoffův zákon. Při poruše uvnitř chráněného objektu potom musí platit vztah

$$\Delta i_r = | \Sigma i_{VST} - \Sigma i_{VYS} | > 0$$



Obr. č. 14 - Připojení rozdílové ochrany

Při zvětšení rozdílového proudu nad hodnotu trvale dovoleného rozdílového proudu  $I_r$  ochrana zapůsobí. Při velkých průchozích proudech (zkrat mimo chráněný objekt) se zvětšuje vlivem nepřesnosti MTP rozdílový proud  $\Delta i_r$ , který by mohl způsobit chybné působení ochrany. Proto ochrana zmenšuje se vzrůstajícím proudem svoji citlivost.



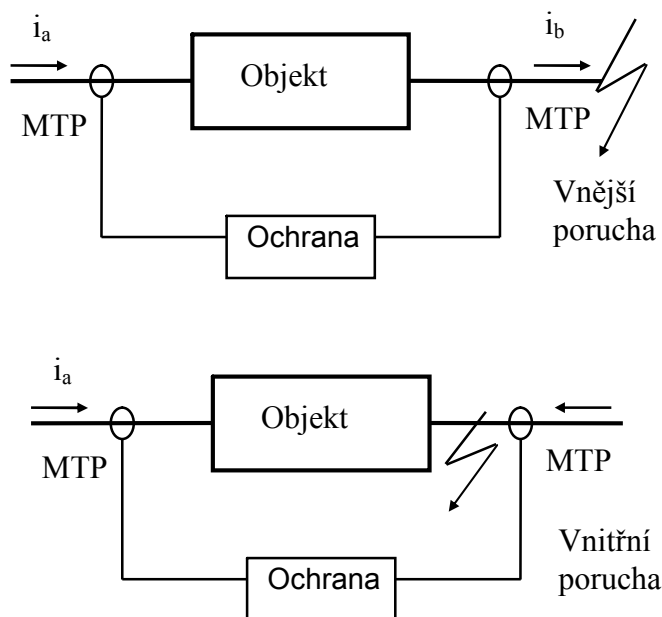
Obr. č. 15 - Charakteristika rozdílové ochrany

**Rozdílové ochrany** rozeznáváme podélné a příčné, rozdělení ochran na příčné a podélné závisí jen na jejich použití. Příčná rozdílová ochrana porovnává vstupy dvou objektů, zatímco podélná vstup s výstupem jednoho objektu.

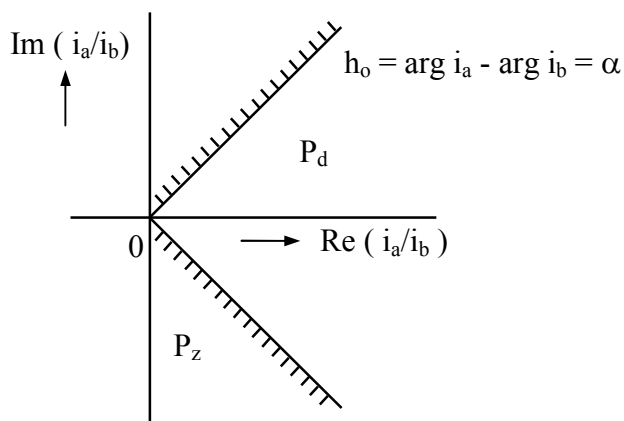
### 1.5.5 Srovnávací ochrana

Srovnávací ochrana porovnává fázi vstupního a výstupního proudu chráněného objektu. Při normálním provozu nebo vnějším zkratu je fázový úhel proudů  $i_a$  a  $i_b$  shodný. Platí:  $\arg i_a = \arg i_b$ .

Dojde-li ke zkratu, obrátí se směr proudu a potom platí:  $\arg i_a = \arg i_b + 180^\circ$ .



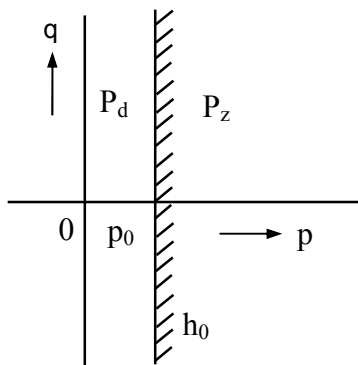
Obr. č. 16 - Princip srovnávací ochrany



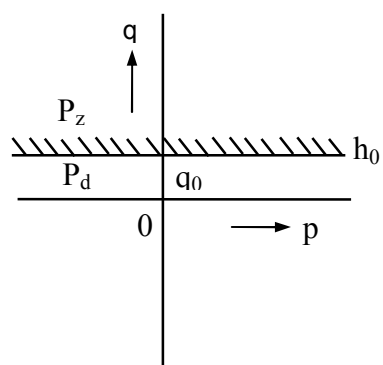
Obr. č. 17 - Charakteristika srovnávací ochrany

### 1.5.6 Wattová a jalová ochrana

Wattová a jalová ochrana působí při překročení nastavené hodnoty  $p_0$  nebo  $q_0$ .



Obr. č. 18 - Charakteristika wattové ochrany



Obr. č. 19 - Charakteristika jalové ochrany