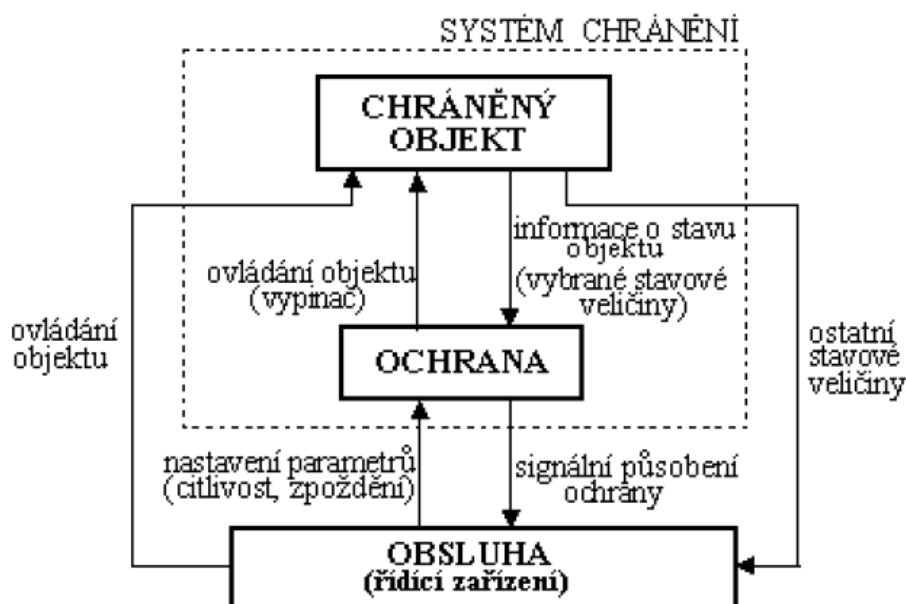


Teorie elektrických ochran

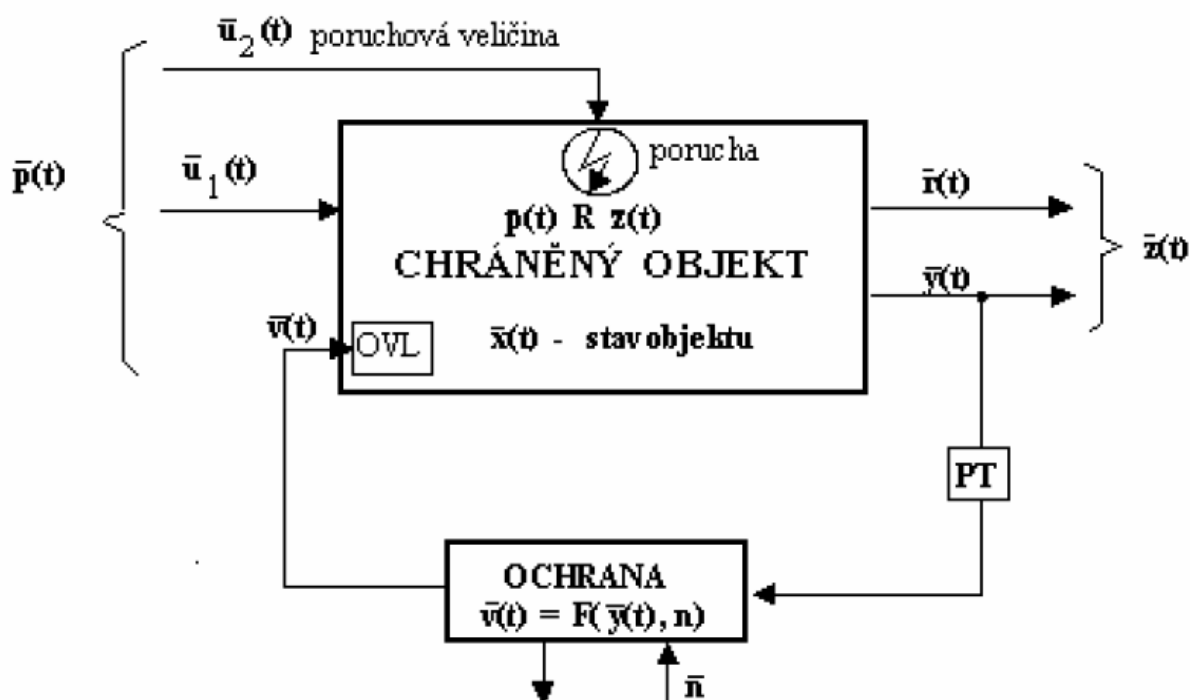
Elektrická ochrana – zařízení kontrolující chod části energetického systému (G, T, V) = *chráněného objektu*, zajistit normální provoz

Chráněný objekt – fyzikální zařízení pro přenos el. energie, funkce charakterizovaná okamžitými hodnotami měřitelných fyzikálních veličin = *stavových veličin* (U, I, P, Q, f, T, F,...)

Činnost ochrany - získává informace o veličinách (PTP, PTN, čidla), zpracovává je a hodnotí meze normálního provozu a nepřijatelných hodnot. Při poruchovém stavu chr. objektu dojde k odpojení chr. zařízení od zdrojů → zabránění havárii nebo omezení následků poruchy. Také vysílání signálu o působení pro obsluhu.



Vztah mezi chr. objektem, ochranou a okolím



$x(t)$ – stav objektu

$p(t)$ – veličiny působení okolí na chr. objekt

$v(t)$ – ovládání objektu ochranou (vstup do ovládacího zařízení, působí na tok energie)

$u(t)$ – bez vlivu ochrany

$$\hat{p}(t) = \begin{vmatrix} \hat{v}(t) \\ \hat{u}(t) \end{vmatrix}$$

$z(t)$ – výstup chr. objektu

$y(t)$ – sledování ochranou = její vstup

$r(t)$ – nesledováno ochranou

$$\hat{z}(t) = \begin{vmatrix} \hat{y}(t) \\ \hat{r}(t) \end{vmatrix}$$

Porucha – fyzikální změna objektu (veličin), stav objektu mimo normální stav, nebezpečný

Poruchová veličina – způsobuje poruchu, $u_2(t)$

Výstupní veličiny $y(t)$ – velké hodnoty $U, I \rightarrow$ ochrany připojeny do sekundárních obvodů PTP, PTN se zpracovatelnou úrovní signálů

Elektrické ochrany - pojmy

Činnost ochrany – vyhodnocování informací o stavu objektu $x(t)$ a při poruše působení na objekt výstupem $v(t)$, tj. omezení následků poruchy nebo předcházení jim

Vstup ochrany $y(t)$ – měřené výstupy chr. objektu

Výstup ochrany $v(t)$ – působení ochrany na objekt

Signál – veličina hlásící činnost ochrany

Algoritmus ochrany F – popis funkce ochrany, vztah mezi vstupy a výstupy

Charakteristika ochrany – grafické znázornění algoritmu

Rovnice ochrany – matematický zápis algoritmu

$$v(t) = F[y(t), n]$$

Parametry ochrany – konstanty pro nastavení F

Citlivost ochrany – nejmenší velikost měřené veličiny (prvku $y(t)$), při které ochrana působí

Nařiditelnost ochrany – rozsah všech možných citlivostí ochrany

Rozlišovací schopnost ochrany – schopnost rozeznat dva blízké stavy objektu (poruchový a bezporuchový), jejich minimální odchylka

Přídržný poměr ochrany – poměr vstupních stavových veličin při návratu do blokovací polohy a při náběhu ochrany do působící polohy

$$\frac{x_i(t)_{\text{návrat}}}{x_i(t)_{\text{náběh}}} < 1$$

Doba působení ochrany t_p – čas od vzniku poruchy do vyslání signálu na výstup ochrany

Přetížitelnost ochrany – max. hodnota vstupu ochrany neohrožující ochranu

Spotřeba ochrany – příkon potřebný pro provoz ochrany

Primární ochrana – pracuje bez přístrojových transformátorů

Sekundární ochrana – připojena do sekundárních obvodů PTP, PTN

Prvek ochrany – stavební díl (relé, TRF, elektromagnet, chip, procesor, konektor,...)

Člen ochrany – soubor prvků tvořící určitý funkční celek

Základní ochrana – základní vybavení objektu

Záložní ochrana – zpožděné působení oproti základní, příp. jiný algoritmus, pro vyšší bezpečnost

Chráněný objekt

Chování objektu popsáno relací vstupních $p(t)$ a výstupních $z(t)$ veličin \rightarrow pro správnou funkci ochran.

$$p(t) \quad R \quad z(t)$$

Matematické modely:

Náhradní schéma – přehledný grafický model, základní vazby

Vektorová diferenciální rovnice – přesný popis dynamického chování objektu (soustava rovnic)

„stavová rovnice objektu“

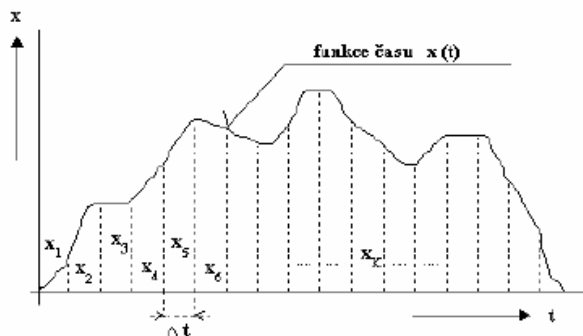
$$\frac{d}{dt} \mathbf{x}(t) = \mathbf{A}(v) \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(v) \cdot u(t)$$

$\mathbf{A}(v)$, $\mathbf{B}(v)$ – matice závislé na ovládání objektu

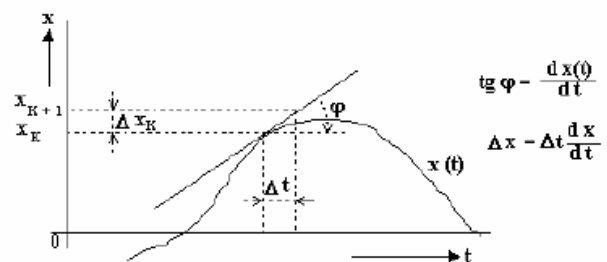
„výstupní rovnice objektu“

$$y(t) = \mathbf{C}(v) \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{D}(v) \cdot u(t)$$

Vektorová diferenční rovnice – diskretizace diferenciálních rovnic, náhrada derivací diferencemi, vzorkování v digitálních ochranách



Vzorkování analogové veličiny



Náhrada derivace diferencí

$$\Delta \mathbf{x}(t) = \Delta t \frac{d}{dt} \mathbf{x}(t)$$

$$\Delta \mathbf{x}_k = \mathbf{A}(v) \cdot \Delta t \cdot \mathbf{x}_k + \mathbf{B}(v) \cdot \Delta t \cdot u_k$$

$$y_k = \mathbf{C}(v) \cdot \mathbf{x}_k + \mathbf{D}(v) \cdot u_k$$

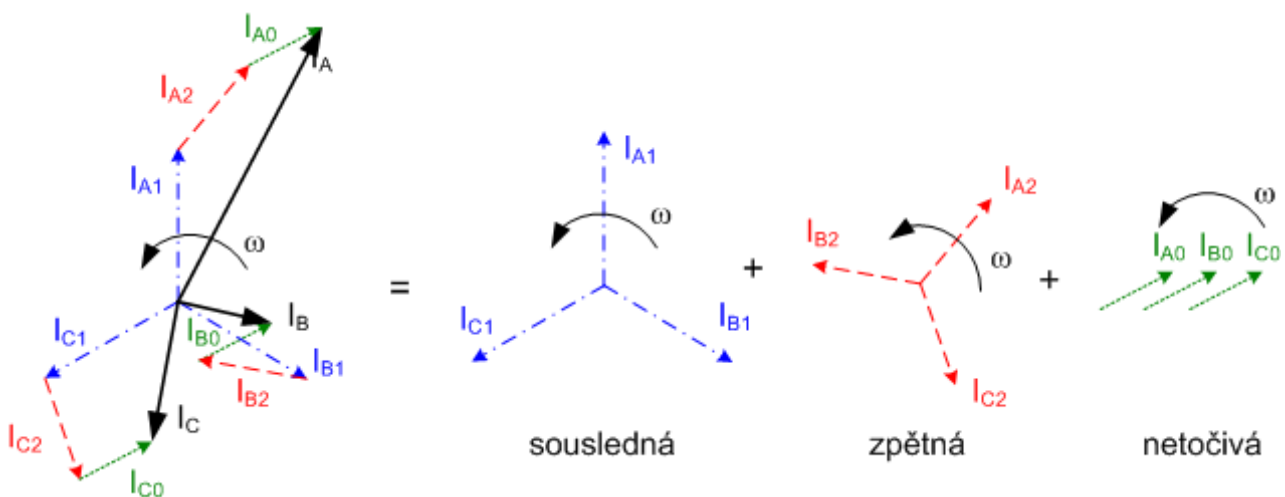
Impedanční rovnice – vztahy pro ustálený stav při 50 Hz, komplexní rovnice

$$\hat{U} = \bar{Z} \hat{I}$$

Fázorový diagram – grafický model stavových veličin, z komplexních rovnic

Impedanční charakteristika – grafické znázornění impedance objektu jako funkce nějaké proměnné

Souměrné složky – sousledná, zpětná, netočivá



Složky d, q, 0 – podélná a příčná osa točivých elektrických strojů

$$\begin{pmatrix} \dot{i}_A \\ \dot{i}_B \\ \dot{i}_C \end{pmatrix} = \mathbf{D} \begin{pmatrix} \dot{i}_d \\ \dot{i}_q \\ \dot{i}_0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \dot{i}_d \\ \dot{i}_q \\ \dot{i}_0 \end{pmatrix} = \mathbf{D}^{-1} \begin{pmatrix} \dot{i}_A \\ \dot{i}_B \\ \dot{i}_C \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{D} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 2 & 0 & 2 \\ -1 & \sqrt{3} & 2 \\ -1 & -\sqrt{3} & 2 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{D}^{-1} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

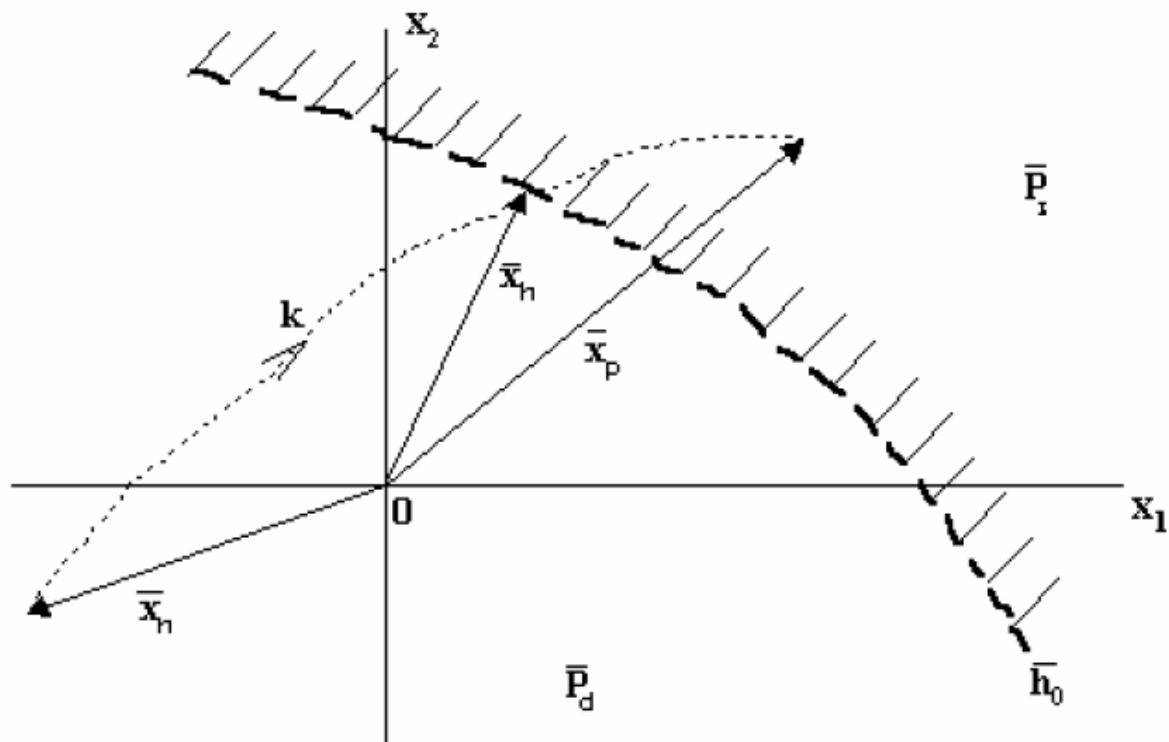
Poruchy objektu

Stavový prostor P (n -rozměrný vektorový)

$$\bar{x}(t) \in \bar{P}$$

$$\bar{P} \equiv \bar{P}_d \cup \bar{P}_z \cup \bar{h}_0$$

Hranice \bar{h}_0 - $n-1$ rozměrný prostor



Stavový prostor chráněného objektu

\bar{P}_d - prostor dovolených stavů

\bar{x}_h - jmenovitý stav objektu

\bar{h}_0 - charakteristika ochrany

k - trajektorie soustavy

\bar{P}_z - prostor zakázaných stavů
(poruch)

\bar{x}_h - stav odpovídající vzniku poruchy

\bar{x}_p - poruchový stav

Poruchové stavy

Zkrat

- spojení fází, fáze a země
- → možné poškození elektrické, tepelné, mechanické, ztráta synchronismu

Přetížení

- příliš vysoký proud (výkon) zařízením
- → poškození tepelné, mechanické

Přepětí

- zvýšení napětí nad dovolenou mez
- → poškození a stárnutí izolací, přídatné ztráty, nebezpečí zkratu
- vlivy atmosférické, spínací, regulace napětí, kapacitní zátěž, vedení naprázdno

Podpětí

- pokles napětí pod dovolenou mez
- proudové přetížení, regulace napětí

Snížení frekvence

- přebytek spotřeby nad výrobou v ES
- → nesprávná funkce, vyšší magnetizační proudy a ztráty

Zvýšení frekvence

- přebytek výroby nad spotřebou v ES
- → nesprávná funkce, mech. namáhání

Nesymetrické zatížení

- jednofázové zatížení, trakce
- → zpětná složka proudu → přídatné ztráty v rotoru, ohřátí

Zemní spojení

- 1 fáze se zemí u sítí s izolovaným uzlem
- pravděpodobnost následného zkratu

Zpětný tok výkonu

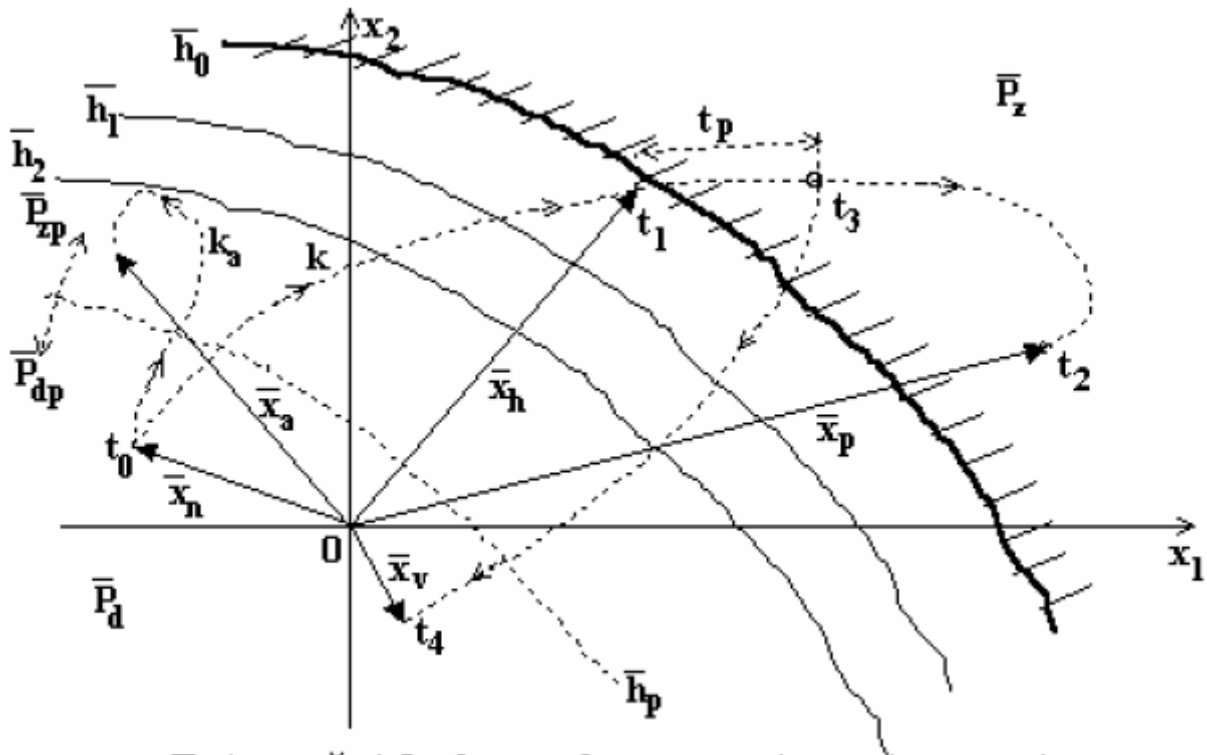
- porucha turbíny → uzavření přívodu páry
→ motorický chod

Ztráta buzení

- pokles budicího proudu pod mez statické stability → asynchronní chod
- → přídatné vířivé ztráty

Funkce ochran

Funkční princip = algoritmus ochrany určuje její chování vzhledem k chráněnému objektu.



Znázornění funkce ochrany ve stavovém prostoru

k_a – trajektorie do nejmenovitého, ale bezpečného stavu

k – trajektorie při vzniku poruchy

$t_p = t_3 - t_1$: doba do vypnutí poruchy

x_n – jmenovitý stav

x_p – poruchový stav (bez působení ochrany)

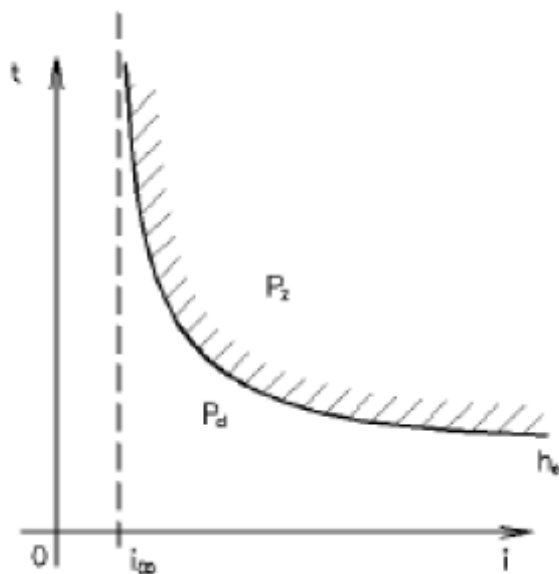
x_v – stav po vypnutí

Charakteristiky a rovnice ochran

Char-ka ochrany popisuje hranici h_0 .
Podle funkčního principu jsou sledovány jen některé stavové veličiny $x(t)$.

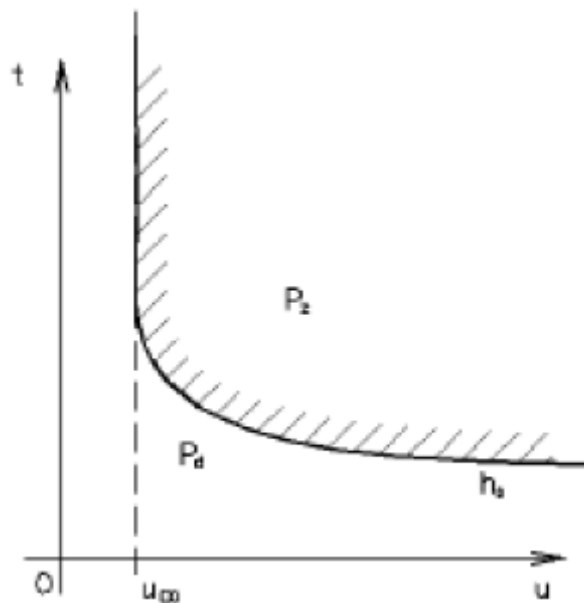
Proudová ochrana

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



Napětová ochrana

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

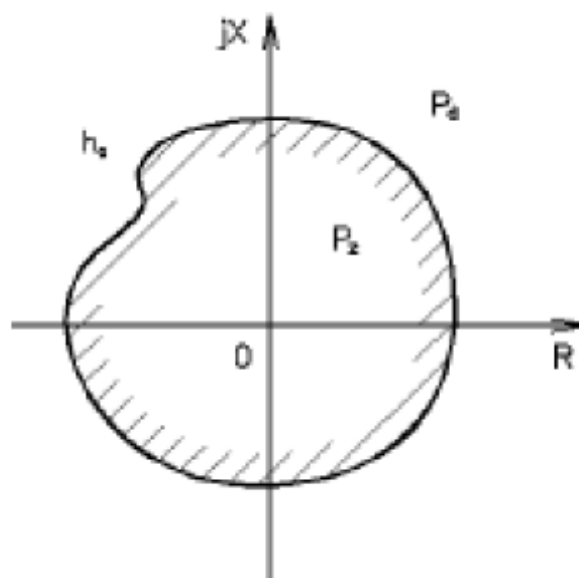


Distanční ochrana – měří impedanci zkratové

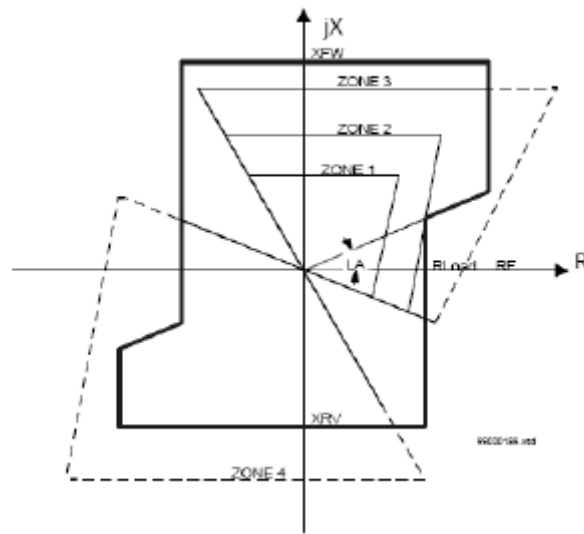
smyčky ($\hat{u}_k = \hat{z} \cdot \hat{i}_k$)

$$F(z) = 0$$

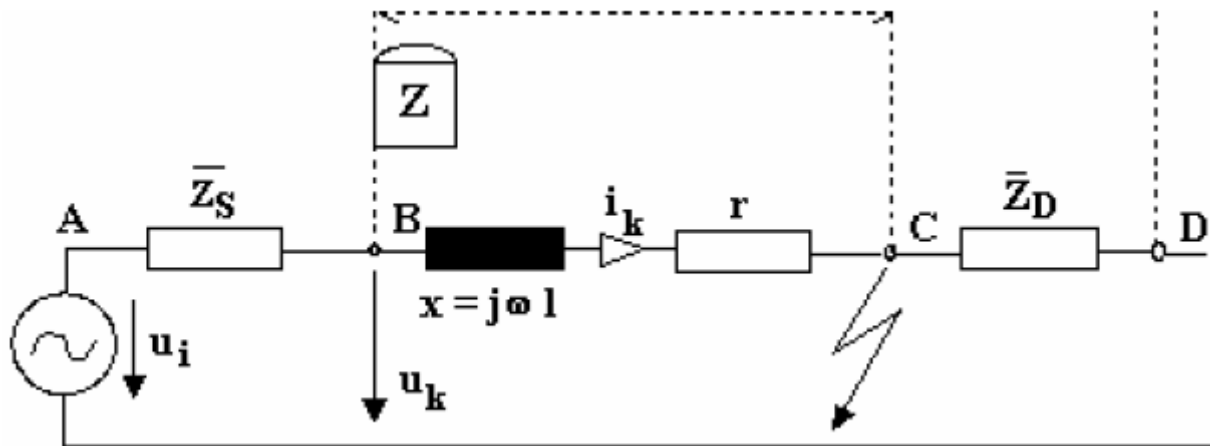
analogová ochrana



digitální ochrana



princip zapojení



Rozdílová ochrana – měří rozdíl vstupního a výstupního proud chráněného objektu

$$F(i_a - i_b) = 0$$

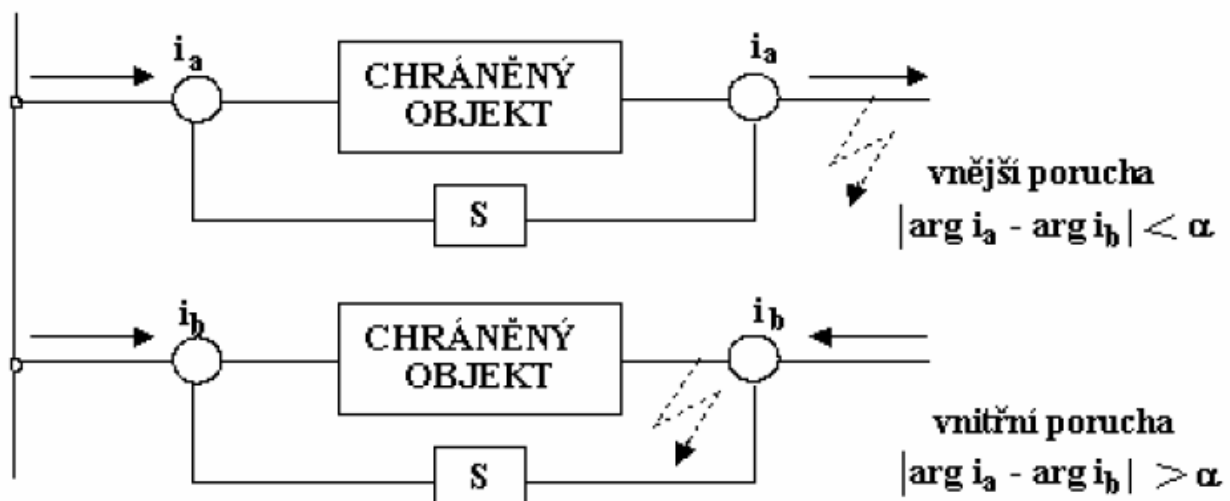
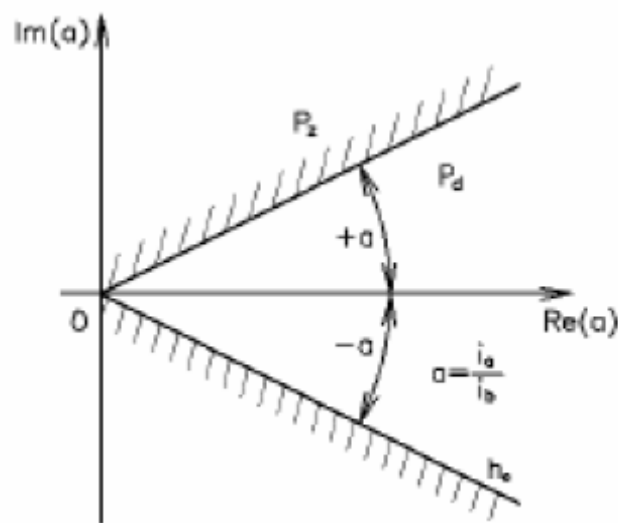
Srovnávací ochrana – měří fázový úhel φ mezi vstupním a výstupním proudem

$$|\varphi| = |\arg i_a - \arg i_b| = \alpha$$

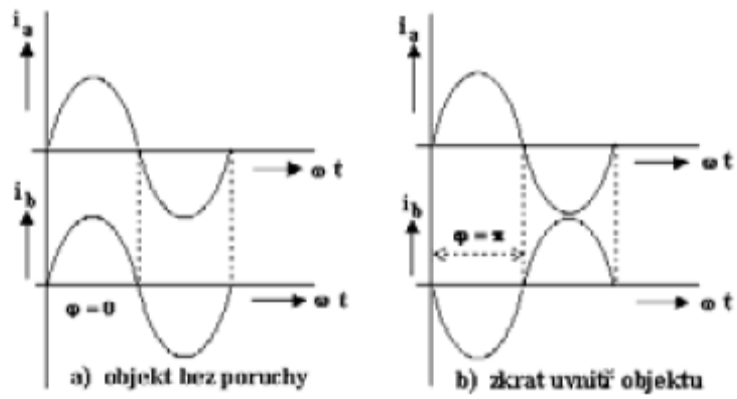
bez poruchy $\arg(i_a, i_b) = 0$

při zkratu $\arg(i_a, i_b) = \pi$

α – úhlová citlivost



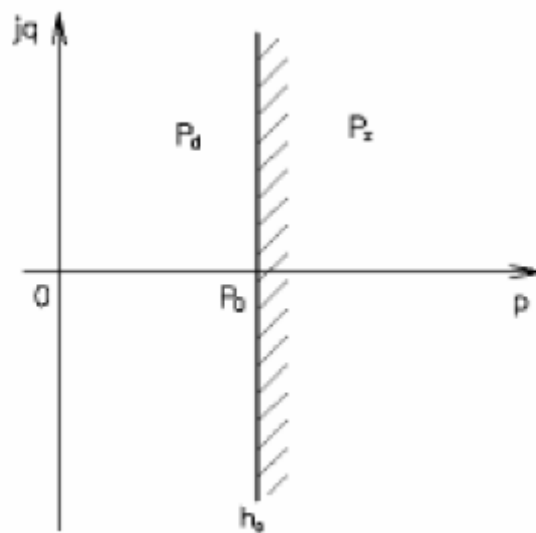
Princip srovnávací ochrany podélné



Fázový posun proudu chráněného objektu

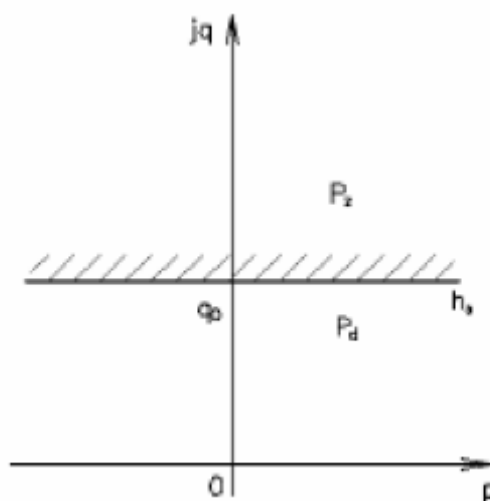
Wattová ochrana

$$p = p_0$$



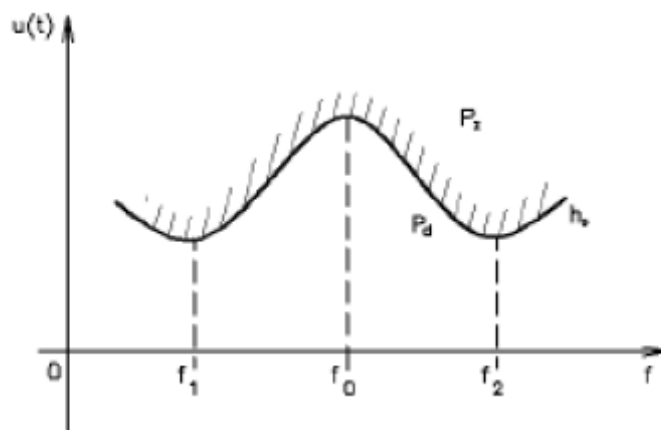
Jalová ochrana

$$q = q_0$$



Kmitočtová ochrana – reaguje na napětí nebo proudy určitých frekvencí

$$u = g(f)$$

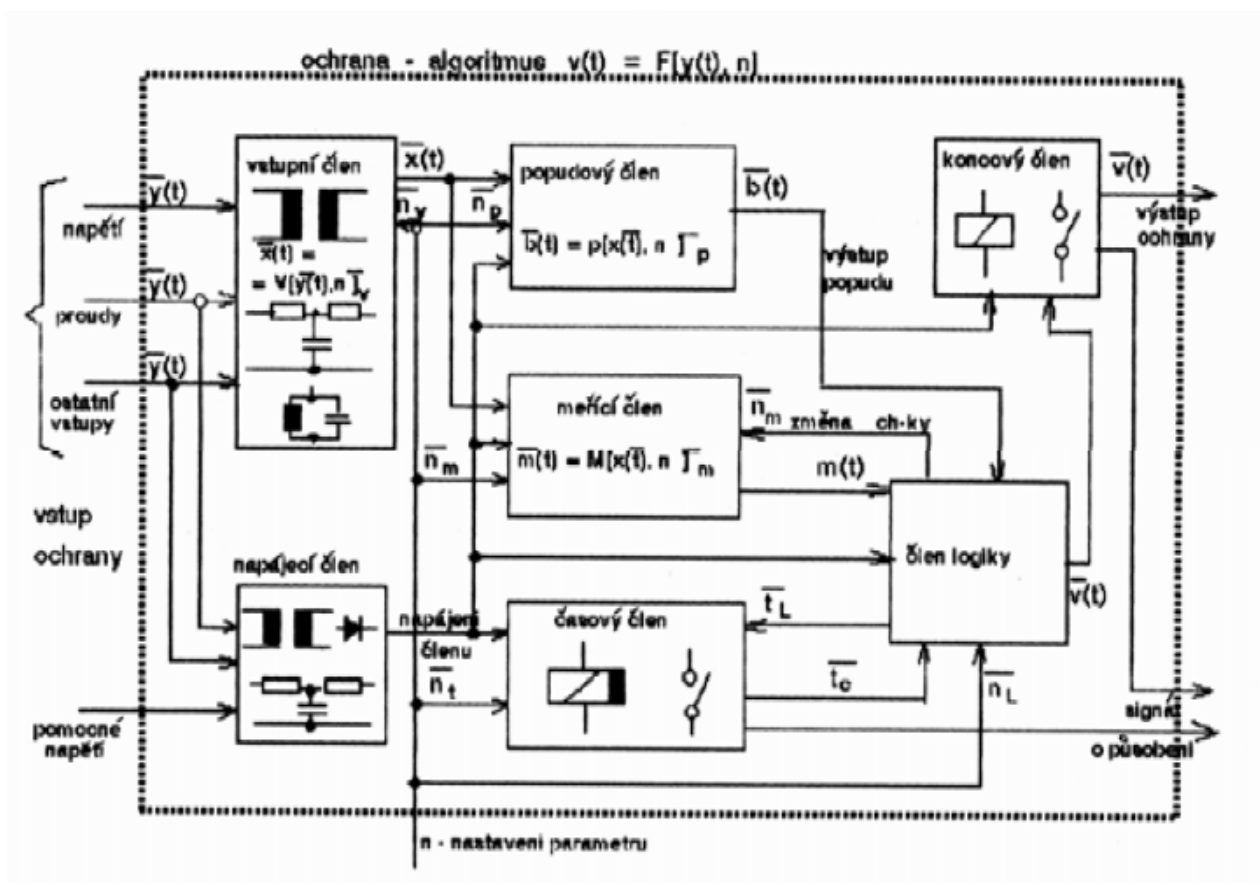


Ochrana proti nesymetrii – měří zpětnou složku proudu nebo napětí

$$i_2 = i_{20} \quad (u_2 = u_{20})$$

Základní členy ochran

Ochrana může obsahovat jen některé členy. Algoritmus ochrany $F(y,n)$ složen z dílčích funkcí, které zajišťují jednotlivé členy.



Vstupní člen

- převádí vstupní signály $y(t)$ na zpracovatelný tvar a úroveň (bočníky, děliče, trafo, usměrňovače, A/D převodníky)
- ze vstupů zjišťuje stav objektu $x(t)$
$$x(t) = V[y(t), n_v]$$
- chrání vnitřní obvody proti rušení a chybám

- pozn.: jmenovité vstupní hodnoty ochran 100 V, 5 A (1 A), měřicí členy x V, x mA

Popudový člen

- na základě stavu objektu podává informaci členu logiky a měřicímu o vzniklé poruše v dosahu ochrany
- mívá podobnou konstrukci jako měřicí, ale je citlivější

$$b(t) = P[x(t), n_p]$$

$$b(t) = 0 \quad \text{pro} \quad x(t) \in P_{dp}$$

$$b(t) = 1 \quad \text{pro} \quad x(t) \in P_{zp}$$

Měřicí člen

- rozhoduje o výskytu poruchy v objektu
- zajistí správné působení ochrany

$$m(t) = M[x(t), n_m]$$

$$m(t) = 0 \quad \text{pro} \quad x(t) \in P_d$$

$$m(t) = 1 \quad \text{pro} \quad x(t) \in P_z$$

- stupně ochrany – proměnlivá citlivost podle času (druhu poruchy)

Člen logiky

- pracuje s booleovskými funkcemi

- zpracovává logický signál $b(t)$ z popudového členu
- určuje funkci měřicího členu n_m
- podle $m(t)$ určuje funkci koncového členu $v(t)$
- zpracovává signál časového členu

$$\begin{vmatrix} v(t) \\ n_m \end{vmatrix} = L[b(t), m(t), t, n_L]$$

Časový člen

- prodlužuje dobu působení ochrany t_p
- vstup i výstup do členu logiky
- důvody:
 - selektivita (výběrová schopnost) – později působí ochrana dále od poruchy nebo záložní
 - akumulace energie v chr. objektu – zpoždění pro stupňovitou char-ku
 - vyloučení chybného působení ochrany – přechodná porucha

Koncový člen

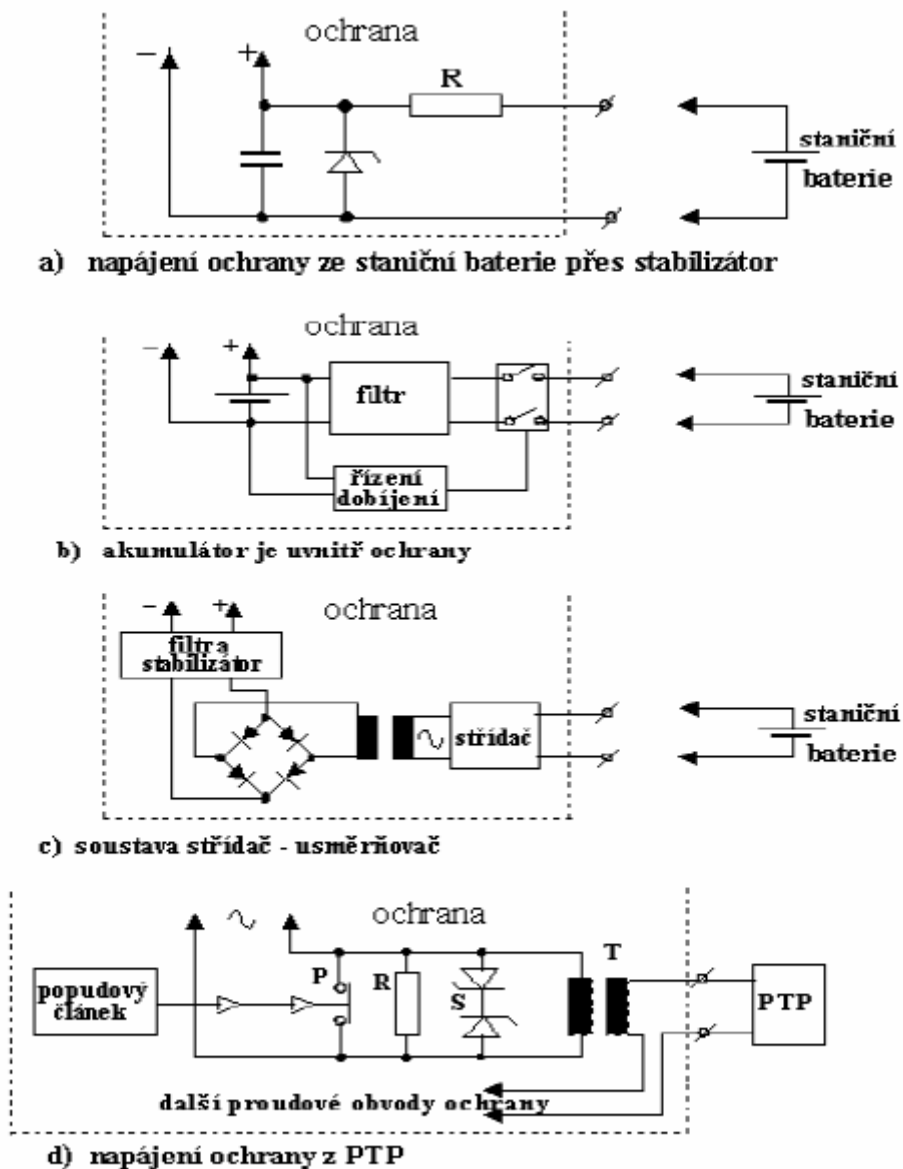
- relé s výkonovými kontakty

- upravuje signál $v(t)$ ze členu logiky pro předání ovládacím zařízením objektu (vysoká úroveň, odolný proti rušení)

Napájecí člen

způsoby:

- ochrany bez napájení
- přímo z akumulátorové baterie (nejčastější x údržba)
- ze střídavé sítě (málo)
- přes stabilizátor
- akumulátor v ochraně (proti rušení)
- galvanické oddělení přes soustavu střídač-usměrňovač (nejlepší proti rušení)
- z přístrojových transformátorů (bez baterie, na ústupu)



Zapojení napájecích členů ochran

Rozdělení elektrických ochran

- a) podle typu chráněného objektu
generátoru, motoru, transformátoru,
přípojnic, vedení, kabelu, vypínače,...
- b) podle druhu poruchy
zkratová, při přetížení, podpět'ová,
nadpět'ová, pod-, nadkmitočtová, při

zemním spojení, při zpětném toku výkonu, při ztrátě buzení, při nesouměrnosti

- c) podle funkčního principu
viz výše
- d) podle doby působení
 - mžiková – doba působení omezena jen zpracováním informací a reakcí ochrany, tj. působí „okamžitě“
 - závislá – doba působení funkcí měřené veličiny
 - časově nezávislá – konstantní doba působení (nastavitelná)
- e) podle konstrukce
 - elektromechanická – relé elmag., indukční, tepelné, eldynamické,...
 - tranzistorová – PV součásti (diody, tranzistory, integr. obvody)
 - digitální – diskrétní zpracování

Požadavky na ochrany

a) Rychlost

Dána dobou působení = doba ochrany + působení vypínače. Volba rychlosti závisí na typu poruchy (zkrat x přetížení).

b) Selektivita

Vypnutí co nejmenší části soustavy. Časovým, proudovým nebo místním odstupňováním.

c) Citlivost a přesnost

Minimální velikost měřené veličiny, na kterou ochrana reaguje, a její relativní chyba.

d) Spolehlivost

Schopnost působit při poruše a nepůsobit, není-li porucha. Vliv vnějších podmínek, mechanismu ochrany, údržba. Zálohování.

e) Snadnost údržby a kontroly