E2 – UEL – Úvod do elektrotechniky

https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=2635 (přednášky 10:end)

Přenosové soustavy; Jištění a ochrana elektrických zařízení; Elektrárny jaderné, tepelné, plynové; Obnovitelné zdroje elektrické energie. (Úvod do elektrotechniky)

Přenosová soustava



Elektrizační soustava

- elektrizační soustava
 - vzájemně propojený soubor zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny, včetně elektrických přípojek a přímých vedení, a systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky
- přenosová soustava (PS)
 - uzlová síť zvn, vvn (ČR: 400, 220, 110 kV)
 - "páteřní", rozvedení výkonu z velkých elektráren po celém území ČR
 - součást mezinárodního propojení, napájí DS
- distribuční soustava (DS)
 - okružní a paprsková síť vvn, vn, nn (ČR: 110, 35, 22, 10, 6, 3, 0,4 kV)
 - rozvod elektřiny ke konečným spotřebitelům
 - regionální a lokální distribuční soustavy
- jmenovité napětí
 - $U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}} \int_{0}^{T} u^{2}(t) dt$ sdružené – mezi fázemi efektivní hodnota
 - vyšší napětí snižuje ztráty v sítích → transformace
 - $\Delta P = RI^2$ "neskladovatelnost" elektrické energie
 - potřeba regulace či jiné formy akumulace (mechanická, chemická, tepelná)



Přenosová soustava

PS představuje subsystém elektrizační soustavy ČR, který propojuje všechny významné subjekty v soustavě a zajišťuje rozhodující podíl zahraniční spolupráce.

Jedná se o přirozený monopol (jediná licence ERÚ).

Provozovatel přenosové soustavy (PPS) ČEPS, a.s. zajišťuje přenos elektřiny, provoz, údržbu a rozvoj přenosové soustavy, dispečerské řízení elektrizační soustavy ČR v reálném čase.

Soustava 400 a 220 kV v ČR je koncipována tak, aby v splňovala kritérium (N - 1). Přísnější požadavky jsou kladené na zapojení jaderných elektráren.

Distribuční soustava

DS je vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 110 kV a nižších sloužící k zajištění distribuce elektřiny na vymezeném území ČR, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky včetně elektrických přípojek ve vlastnictví PDS.

DS je zřizována a provozována ve veřejném zájmu.

Výroba elektrické energie

přeměna primární energie – chemická (fosilní paliva, biomasa), jaderná, mechanická (voda, vítr), sluneční

výroba – centralizovaná, rozptýlená

elektrárny – systémové – zapojení do systémů regulace P/f, U/Q – s kolísavou výrobou (OZE) (hůře predikovatelné – dlouhodobě)



Mezinárodní propojení ES

- výhody
 - možnost udržování menších výkonových záloh, zvláště pro primární regulaci
 - jednodušší a méně provozně náročné řešení provozních stavů bezprostředně po výpadcích elektrárenských bloků
 - výskyt menších odchylek frekvence a tedy vyšší kvalita dodávané elektrické energie
 - možnost havarijní výpomoci mezi soustavami
 - zvýšení spolehlivosti, jednodušší řešení poruchových stavů a menší náchylnost k
 jejich výskytu
 - optimalizace využití instalovaných kapacit, účast na mezinárodním obchodě s elektrickou energií
- povinnosti každé synchronně propojené soustavy
 - systém primární a sekundární regulace
 - spolehlivostní kritérium "N-1"
 - minimalizace jalových toků po mezistátních vedení
 - systém frekvenčního odlehčování
 - min. 2 přenosová vedení mezi soustavami s dostatečnou kapacitou
 - plán obrany proti šíření poruch a plán obnovy po poruše typu black-out

Elektrické ochrany

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, zpracovává je a hodnotí meze normálního provozu a nepřípustných 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.)

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, přídavné 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 → přídavné 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 - → přídavné vířivé ztráty

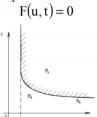
Charakteristiky a rovnice ochran

Char-ka ochrany popisuje hranici mezi dovolenými a poruchovými stavy. Podle funkčního principu jsou sledovány jen některé stavové veličiny x(t).

např. Proudová ochrana



Napěťová ochrana



- 4

Dělení dle doby působení

mžiková – doba působení omezena jen zpracováním informací a reakcí ochrany, tj. působí "okamžitě"

závislá – doba působení funkcí měřené veličiny

<u>časově nezávislá</u> – konstantní doba působení (nastavitelná)

Požadavky na ochrany

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

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

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

Snadnost údržby a kontroly

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

Pojistky

- nejstarší princip chránění proti nadměrným proudům
- uměle vytvořené nejslabší místo v rozvodu, které přeruší tok proudu
- přetavení kalibrovaného drátku, pásku (Ag, Cu)
- přetavení v hasicím prostředí (jemný křemičitý písek), také tlumí tlakovou vlnu po přehoření
- (+) jednoduchost, spolehlivost
- (-) nutná výměna po působení, možnost přetavení jen v jedné fáze (u 3f spotřebičů)
- nesmějí se neodborně opravovat
- použití na NN, VN x ne na VVN
- může omezit zkratový proud
- konstrukce vypínací charakteristiky z oteplovacích křivek pro různá přetížení
- vyp. char. závislá





nožové – větší proudy, rychlé → "výkonové", výměna "žehličkou"





válcové – jako vložky do odpínačů



- s kontaktními praporci velmi rychlé (x ms), omezovací schopnost, pro PV prvky
- přístrojové tenké skleněné trubičky, tavný drátek ve vzduchu



automobilové



• pojistky vn – např. distribuční transformátory



• jiné – pásky, cívky,...

Jističe

Jističe

- samočinné nadproudové vypínače
- spoušť nadproudová (bimetal, přetížení) a zkratová (elektromagnet, zkraty)
- vypínají proud v nule, nemají omezovací schopnost
- někdy předřadit pojistku pro zkraty, když nestačí vypínací schopnost
- (+) opakovatelná funkce, vícepólové provedení pro 3f spotřebiče
- (-) složitost, nákladnost

Rozdělení jističů

- účel pro vedení, motorové (zpoždění pro rozběh), ochranné (s napěťovou spouští, s podpěťovou spouští)
- počet pólů 1 (1f), 2 (DC), 3 (3f), 4 (speciální)
- uložení kontaktů vzduchové, olejové (pouze 3-pólové, i ke spínání motorů)

Jisticí nadproudová relé

- jištění před přetížením, chodem na 2 fáze
- ne proti zkratu (malá vypínací schopnost)
- často spolupráce se stykačem (rozepíná silový obvod nebo jen cívku stykače)
- nastavitelná proudová spoušť (±20 % I_n), cca do 100 A
- závislá vypínací charakteristika nebo princip elektromagnetu

Stykače

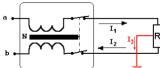
- zařízení pro spínání a rozepínání elektrických silových obvodů
- v klidu vypnutý, pro udržení zapnutí potřeba vnější síla (proud)
- elektromagnetický princip

Chrániče

- samočinné odpojení poruchy ve velmi krátkém čase
- v místech se zvýšeným nebezpečím úrazu (doporučení nebo předepsání)
- doplňková ochrana před nebezpečným dotykem

Proudový chránič

- sčítání proudů všech pracovních vodičů
- při poruše $\sum_{i \neq 0} (\text{součtový transformátor})$
- rozdílový proud vybaví relé, odepnou se všechny pracovní vodiče
- odpojení vyvoláno vybavovacím rozdílovým proudem (např. 50 % I_{Δn})
- $I_{\Delta n} = 10$, 30, 100, 300, 500 mA
- testovací tlačítko
- někdy s vestavěným jističem proti přetížení



Napěťový chránič

- uzemněná vypínací cívka na kostru
- elektromagnet odpojí při nastaveném napětí (dovolené dotykové)
- vypíná všechny pracovní vodiče (i střední) → 2-pól, 4-pól
- dnes už moc ne nevýhody (potřeba malý odpor uzemnění, část proudů i jinudy) → proudové chrániče

Jističe + pojistky

- přetížení vyšší proud zátěže → ochrana vodičů i zařízení
- zkrat vysoký proud (bez impedance zátěže) žádoucí kvůli rychlému vypnutí → potřeba nízká impedance smyčky → kvalitní uzemnění, pospojování

Uzemnění

Účel uzemnění

- ochrana lidí a zvířat před úrazem (snížením dotykového a krokového napětí na bezpečnou míru)
- udržovat na potenciálu země nějakou část elektrického obvodu
- umožňovat funkci elektrických strojů, přístrojů a zařízení
- chránit elektrické stroje a zařízení před účinky přepětí a velkých proudů
- svést atmosférické proudy a omezit přepětí

Uzemnění

- vodivé spojení mezi daným bodem a lokální zemí
- uzemňovaná místa: uzly generátorů a transformátorů, vodivé části a konstrukční prvky

Zemní odpor

- závisí na rozměrech zemniče, uložení a měrném odporu půdy
- $R_{uz} \le \frac{U_d}{I_v}$

 R_{uz} – dovolený odpor

 U_d – dovolené dotykové napětí

 I_V – vypínací proud jisticího prvku

• požadované hodnoty (NN)

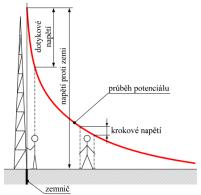
 \circ R ≤ 10 Ω – uzemnění jednoho svodu hromosvodu (LPS)

 \circ R ≤ 5 Ω – uzemnění uzlu zdroje

 \circ R ≤ 2 Ω – odpor všech ochranných vodičů a uzlu zdroje

Dotykové a krokové napětí

- potenciálové pole v okolí zemniče (i na povrchu)
- potenciál největší na povrchu zemniče, úměrný R_{uz} a proudu (až kA)
- krokové napětí rozdíl potenciálů na povrchu země na délku lidského kroku (0,75÷1 m)



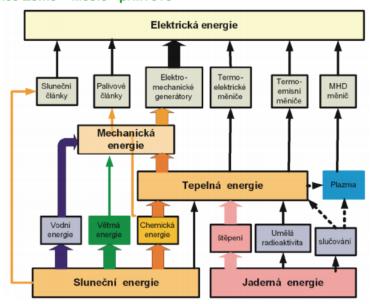
Elektrárny



Výroba elektrické energie

Výroba = přeměna energie primárních zdrojů na energii elektrickou

- Slunce voda, vítr, fotovoltaika, chemická en. (uhlí, plyn), jádro
- Země geotermální
- interakce Země Měsíc přílivové



2016

Zdroje

- Neobnovitelné
 - dostupné v omezeném množství
 - fosilní paliva
 - · jaderná paliva
- Obnovitelné
 - schopnost částečné nebo úplné obnovy samostatně nebo za přispění člověka
 - voda
 - vítr
 - sluneční záření
 - biomasa
 - · bioplyn
 - geotermální energie
 - · příboj (mořské vlny)
 - slapové jevy (příliv odliv)
 - téměř vždy zdroje tuzemské → nezávislost

Základ termodynamiky

Entalpie i (J·kg⁻¹) – "tepelný obsah", součet vnitřní a mechanické energie látky di = du + d(pv) = du + $p\cdot dv + v\cdot dp = dq + v\cdot dp$

Entropie s ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) – kvantitativně vyjadřuje nevratnost tepelných pochodů v soustavě látek – míru neuspořádanosti systému – dq = $T \cdot ds \cdot ds > 0$ – nevratný proces (ireverzibilní) $\cdot ds = 0$ – vratný proces (reverzibilní) $\cdot ds < 0$ – samovolně nikdy – celková entropie uzavřeného systému se nemůže nikdy změnit

Vratný děj – může probíhat v obou směrech, kdy při obráceném ději soustava projde všemi stavy jako při ději přímém

Oběhy

Tepelný oběh – sled změn, po nichž se soustava dostane do původního stavu (uzavřená křivka) – lsoterma (T = konst.)

Isochora (V = konst.)

Isoentropa (s = konst.)

Isobara (p = konst.)

Adiabatická změna = isoentropa v jednosložkovém systému • mezi danou soustavou a prostředím se nevyměňuje teplo • $dq = 0 \rightarrow di = v \cdot dp$

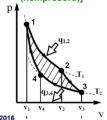


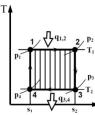
Carnotův oběh

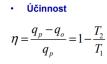
Vratný děj, nejvyšší účinnost v daném rozsahu teplot Jen pro ideální plyny (přibližně realizovatelný v oblasti mokré páry)

4 vratné změny pracovní látky:

- <u>izotermická expanze</u> (při teplotě ohřívacího tělesa T1) [1 \to 2] {ohřev v kotli}. Do systému se přivádí teplo q_p .
- adiabatická expanze (při poklesu teploty z T1 na T2) [2→3] {turbína}. Systém koná práci.
- izotermická komprese (při teplotě T2 ochlazovacího tělesa) [3→4]
 {kondenzátor}. Odvod tepla q₀ ze systému.
- <u>adiabatická komprese</u> (mezi teplotami T1 a T2) [4→1] {stlačení v čerpadle (kompresoru)}







Plynový oběh

- · Výhody a nevýhody:
 - rychlé najíždění a odstavování (výkonová pružnost)
 - nízké pořizovací náklady (malá spotřeba materiálu)
 - vysoká provozní spolehlivost
 - kompaktní uspořádání stroje, malý obestavěný prostor
 - drahé kvalitní palivo (plyn, olej)
 - náročnost na výrobu a použité materiály
 - velký příkon kompresoru: až 70 % výkonu spalovací turbíny !
 - vysoká teplota na výstupu z turbíny (⇒ malá účinnost oběhu) (25 až 35 %) :
 - Teplota spalin: > 1500 °C + vzduch (chlazení) → teplota směsi před turbínou: 600 až 800 °C.

Jaderné reakce

Přeměna jádra atomu působením elementárních částic nebo jádra jiného atomu Neutronu stačí podstatně menší energie k uskutečnění jaderné reakce než jiným částicím

Tepelné neutrony – energie < 0,5 eV Rychlé neutrony – energie > 0,1 MeV

Epitermální (rezonanční) neutrony – energie mezi tepelnými a rychlými neutrony Multiplikační činitel k – poměr počtu volných neutronů jedné generace k počtu neutronů předchozí generace

k > 1 soustava je nadkritickák = 1 soustava je kritickák < 1 soustava je podkritická

Řízená jaderná reakce – dosažení a udržení multiplikačního činitele k = 1

Jaderný reaktor

Palivový element – přesné lisované tablety oxidu uraničitého uložené v trubce ze zirkonové slitiny Palivové články – složeny z vodicí konstrukce a palivových tyčí uložených v distančních mřížkách Chladivo – odvod tepla z reaktoru, může sloužit zároveň jako moderátor

Moderátor – slouží ke zpomalení neutronů (snížení energie) při řetězové reakci, obklopuje palivo i regulační tyče v reaktoru (voda, deuterium, grafit)

Regulační tyče – podle potřeby jsou zasouvány do aktivní zóny, kde pohlcují neutrony, řízení výkonu reaktoru (bór, kadmium)

Havarijní tyče – slouží k rychlému utlumení štěpné reakce v případě poruchy

Technologické schéma

jednookruhová elektrárna (BWR) • jednodušší, vyšší účinnost • opatření pro vyšší bezpečnost spolehlivost, životnost

dvojokruhová elektrárna (PWR) • různá chladiva reaktoru • jednodušší strojovna (bez radioaktivity) • v parogenerátoru ohřev jen na sytou páru, nižší účinnost (cca 30 %)

Vodní elektrárny

Využití potenciální a kinetické energie vodního toku – zdroj čistý, spolehlivý, dlouhá životnost Dle výkonu

```
malé (MVE) – do 20 MW
střední
velké – nad 200 MW
```

Dle funkce

```
průtočné – bez akumulace, spád tvořen jezem
derivační – umělé rameno mimo hlavní vodní tok (kanál, potrubí)
akumulační - zadržují/akumulují vodu v nádrži (přehradě) ● největší akumulační VE – Orlík 4 x
91 MW
```

přečerpávací – pracují v generátorickém a čerpadlovém režimu • největší přečerpávací VE – Dlouhé Stráně 2 x 325 MW

Dle spádu

nízkotlaké – do 20 m středotlaké vysokotlaké – nad 100 m

Turbíny

Francisova Kaplanova Peltonova

Větrné elektrárny

Využití kinetické energie větru Listy rotoru se speciálním tvarem

odporová síla (drag) • starší, jednodušší, nižší účinnost, (větrné mlýny) vztlaková síla (lift) • síla při obtékaní vzduchem, aerodynamika jako letadlo • dnes nejvíce Osa otáčení

Horizontální 50% Vertikální 40%





Biomasa

Biomasa

Výhody:

- zdroj energie není vázán na lokality
- pěstování energetických plodin
- likvidace odpadů zbytek lze využít jako hnojiva
- menší negativní dopady na životní prostředí

Nevýhody:

- vyšší obsah vody → nižší výhřevnost
- vyšší objem paliva → vyšší skladovací prostory
- vysoké investiční náklady na výrobu bioplynu
- nutnost likvidace popela
- logistika přísunu paliva

Situace využití biomasy v ČR

- využití rychlerostoucích dřevin (habr, olše, ...)
- využití dřevěného odpadního materiálu (dřevěné odštěpky a krajinky z pil)
- obilná sláma:
 - využití v energetice pouze 20 30 %
 - · hlavní využití v zemědělství

správné spalování biomasy – uvolnění jen tolik CO_2 kolik je absorbováno rostoucími rostlinami obsah zanedbatelného množství síry – nevzniká SO_2 hodnoty NO_X závisí na obsahu dusíkatých látek a závisí na teplotě spalování teplota spalování nižší než $500\,^{\circ}\text{C}$ – uvolnění nespálených dehtových plynů

Sluneční elektrárny

fotovoltaické • statické x trackery • střešní x volné plochy • sluneční elektrárna s kolektory věžová sluneční elektrárna (heliostat) • sluneční záření je soustředěno soustavou naklápějících zrcadel na věž, na jejímž vrcholu je umístěný tepelný výměník určený pro ohřev teplonosného média (principiálně jako PE)

75 % energie dopadá na naše území v období duben – září • V ČR dopadne na 1 m² vodorovné plochy zhruba 950 – 1340 kWh energie • Roční množství slunečních hodin se pohybuje v rozmezí 1331 – 1844 hod • Účinnost max cca 20 % • Doba využití maxima cca 10 %