

Regulácia hladiny v parogenerátoroch jadrovej elektrárne V2 v Jaslovských Bohuniciach



Závod Atómové elektrárne Bohunice sa nachádza na západnom Slovensku, neďaleko mesta Trnava. Elektrická energia sa tu vyrába v štyroch blokoch s jednotkovým výkonom 440 MW, ktoré boli k energetickej sieti postupne pripojené v rokoch 1978 až 1985. Pri výstavbe jadrových elektrární V1 a V2 bola prijatá vo svete najrozšírenejšia koncepcia tlakovodných reaktorov a bol použitý sovietsky projekt VVER 440.

V akciovej spoločnosti Slovenské elektrárne patria jadrové elektrárne V1 a V2 v Jaslovských Bohuniciach medzi spoľahlivo a ekonomicky vyrábajúce zdroje výroby elektrickej energie. Atómové elektrárne Bohunice sa podieľajú na inštalovanom výkone akciovej spoločnosti Slovenské elektrárne približne 25 % a na celkovej výrobe elektrickej energie Slovenských elektrární približne 40 %. V ES pracujú v základnom režime a ich priemerná ročná výroba elektrickej energie sa pohybuje približne okolo 12 000 GWh.

Vybudovaním systému centralizovaného zásobovania teplom mesta Trnava z Atómových elektrární Bohunice prešla jadrová elektrárň V2 na kombinovanú výrobu elektriny



a tepla. Súčasťou tohto systému je i tepelný napájač, ktorý bol uvedený do prevádzky v roku 1987. Spôsobom odbočky z líniovej časti tepelného napájača Trnava je riešený aj tepelný napájač do Leopoldova a Hlohovca uvedený do prevádzky v roku 1997.

Princíp činnosti jadrovej elektrárne

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).

Jadrový reaktor

V jadrovom reaktore VVER 440 prebieha štiepenie jadra izotopu uránu U235. Výsledkom štiepenia je vznik tepelnej energie a celého radu rádioaktívnych izotopov. Zariadenie reaktora tvorí valcovitá tlaková nádoba vyrobená zo špeciálnej ocele s nehrdzavejúcou výstelkou. Vnútri reaktorovej nádoby sú uložené konštrukcie, ktoré usmerňujú prúdenie vody cez aktívnu zónu, vytvárajú nosnú časť aktívnej zóny, slúžia na vyvedenie vnútroreaktorového merania, reguláciu výkonu reaktora a majú ďalšie funkcie. Počas prevádzky je reaktor zatvorený a pevne utesnený vekom, nad ktorým sú umiestnené elektropohony na ovládanie pohybu regulačných kaziet.

Najdôležitejšou časťou reaktora je jeho aktívna zóna, v ktorej sa nachádza 312 palivových kaziet. Každá palivová kazeta obsahuje 126 hermeticky uzavretých palivových prútikov zo zliatiny zirkónu, v ktorých je uložený obohatený oxid uraníčitý v podobe keramických tabliet. Reguláciu výkonu jadrového reaktora umožňujú regulačné kazety. Tie sa skladajú z palivovej a absorpčnej časti. Absorpčná časť zachytáva tepelné neutróny vznikajúce pri štiepnej reakcii. Je vyrobená z nehrdzavejúcej ocele s prísadou bóru,

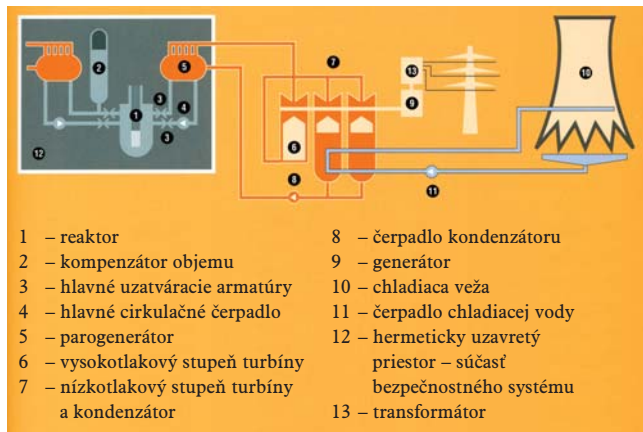
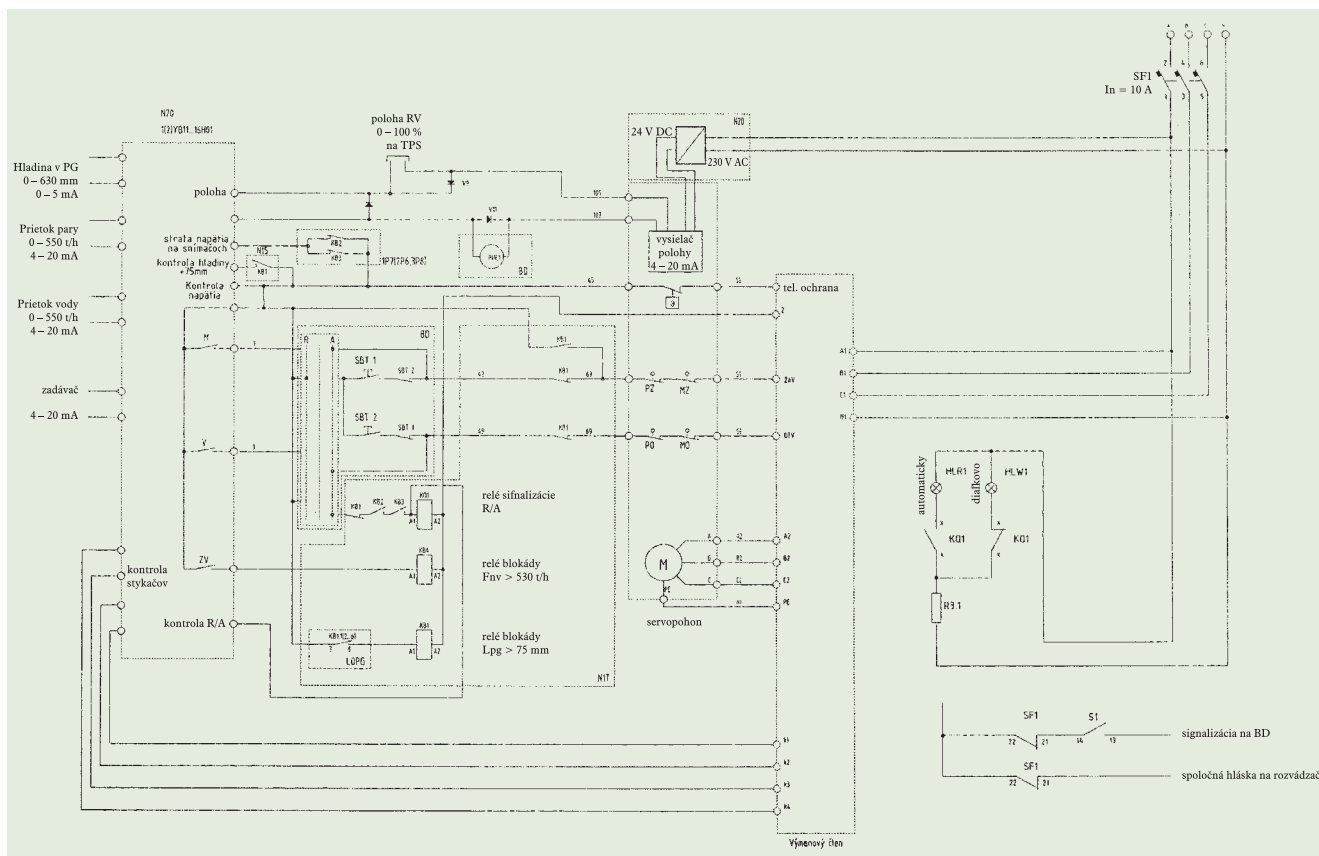


Schéma výroby elektrickej energie



Principiálna funkčná schéma základného regulátora v parogenerátore

ktorá pohlcuje neutróny. Na vlastnej regulácii výkonu reaktora sa podieľa len sedem regulačných kaziet, ostatné slúžia v prípade potreby na rýchle odstavenie reaktora. Automaticky, vlastnou váhou, padajú do aktívnej zóny horné absorpčné časti všetkých 37 regulačných kaziet a súčasne sú z aktívnej zóny vysunuté palivové časti. Počas niekoľkých sekúnd sa reaktor odstavi nezávisle od činnosti obsluhy. Regulácia výkonu reaktora je možná aj pomocou kvapalných absorbátorov, kyselinou bórítou, ktorá je rozpustená v chladiacej vode primárneho okruhu.

Palivo v podobe palivových kaziet je umiestnené v tlakovej nádobe reaktora, do ktorej prúdi chemicky upravená voda. Tá preteká kanálkami v palivových kazetách a odvádza teplo, ktoré vzniká pri štiepnej reakcii. Voda z reaktora vystupuje s teplotou asi 297 °C a prechádza horúcou vetvou primárneho potrubia do tepelného výmenníka – parogenerátora. Tento okruh nazývame primárnym okruhom. V parogenerátore preteká zväzkom rúrok a odovzdáva teplo vode, ktorá sa privádza 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. Hriadeľ turbíny roztáča generátor, ktorý vyrába elektrickú energiu. Časť pary vystupujúcej z turboústrojenstva plní ešte ďalšiu funkciu. Parovodom sa privádza do tepelného napájania – výmenníka tepla, ktorý zabezpečuje zásobovanie teplom obyvateľov miest Trnava, Leopoldov a Hlohovec.

Po odovzdaní energie turbíne para kondenzuje v kondenzátore a vo vodnom skupenstve cez ohrievače prúdi späť do parogenerátora. Parovodná 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. Ochladená voda sa vháňa späť do kondenzátorov pomocou čerpadiel s teplotou asi 37 °C, kde zabezpečuje opätovné ochladzovanie parovodnej zmesi sekundárneho okruhu.

Na to, aby bol technologický proces pod kontrolou a prebiehal v rámci vopred stanovených technických parametrov, slúžia automatické regulačné okruhy. V jadrovej elektrárni je jedným z najdôležitejších regulačných procesov regulácia hladiny v parogenerátoroch.

Regulačné procesy v elektrárni V2

V prevádzke jedného bloku elektrárne V2 (jeden reaktor s väzbou na 2 turboústrojenstvá) sa využíva takmer 300 regulátorov, pričom jedna polovica pracuje v primárnom okruhu, kde boli vyprojektované regulátory systému KASKAD (dodávka bývalého ZSSR), a druhá v sekundárnom okruhu, kde boli vyprojektované regulátory systému MODIN (ČSSR). Základným prvkom regulačného systému KASKAD je impulzný regulátor R-21, ktorý však v súčasnosti vykazuje relatívne vysokú poruchovosť. Často sa vyskytujú nesúhlasy, ktoré ohrozujú blok na výkonovej prevádzke. Na dovozok pre ruský regulačný systém už prakticky nie sú dostupné náhradné diely z dôvodu ukončenia výroby pôvodných komponentov. To boli hlavné dôvody modernizácie.

V predchádzajúcich rokoch sa v rámci zvyšovania bezpečnosti prevádzky uskutočnila modernizácia najskôr v elektrárni V1 s postupným prechodom na elektrárne V2, kde sa po viacerých analýzach začali nasadzovať podobné typy regulátorov od firmy PMA. Pri výbere vhodného dodávateľa regulátorov zohralo svoju úlohu viac faktorov. Okrem toho, že sa elektrárne V2 inšpirovala bezproblémovou prevádzkou regulátorov typu PMA svojou o niečo „staršou“ sestrou V1, veľkú váhu mal aj fakt, aby boli regulátory od rovnakého výrobcu. Prináša to výhody v kompatibilitě produktov, servise a dostupnosti náhradných dielov.

V súčasnosti sú vo V2 nasadené nové regulátory na reguláciu hladiny v parogenerátoroch, ktorých hlavnou funkciou je zabezpečiť presnú reguláciu hladiny v parogenerátoroch a tým aj výrobu pary na pohon turboústrojenstiev. Udržanie nominálnej hladiny je dôležité pre hladký beh parogenerátora, pretože v opačnom prípade pri poruchových stavoch je možné poškodenie techno-

logického zariadenia a, samozrejme, následne odstavenie výrobného zariadenia.

V súlade s modernizačnými úlohami sa vo V2 začali ako prvé nasadzovať multifunkčné regulátory KS 98 od firmy PMA. Ide o kompaktný, voľne štrukturovateľný prístroj, nakonfigurovaný ako impulzný trojstavový krokový PI regulátor s tromi vstupmi a doprednou väzbou od prietoku napájacej vody a pary. Vstupmi sú analógové snímače prietoku pary, vody a strednej hladiny v parogenerátore. Najväčší vplyv na zmenu hladiny má snímač strednej hladiny v parogenerátore. Okrem týchto analógových signálov vstupuje aj signál z externého zadávača (umiestneného v blokovej dozorni). Slúži na diaľkové doladenie alebo prestavenie nominálnej hladiny. Okrem toho je zavedená aj spätná väzba od polohy servopohonu. Je prítomná len kvôli kontrole a vyvedeniu na ďalšie okruhy (do servisno-diagnostickej stanice). Binárne výstupy z regulátora na ovládanie silového ovládača spínajú stýkače a tie spínajú priamo napätie 400 V AC pre trojfázový servopohon. Ďalší binárny výstup je na relé blokujúce otváranie servopohonu od prietoku napájacej vody 540 ton/hod. S týmto relé súvisia ďalšie obvody v závislosti od privedenia napätových signálov na konkrétne binárne vstupy. Regulátor vydáva príslušné povel (zastav sa, zatvor ap.).

V rámci modernizácie sa inovoval celý regulačný obvod. Kompletnou výmenou prešli snímače prietokov pary a vody (typ Emerson), stýkačová jednotka a servopohon typu AUMA NORM SAR. Pre vysokú teplotu prostredia, v ktorom sa servopohon nachádza, disponuje mechanickou ovládacou doskou s koncovými vypínačmi a prúdovým výstupom na percentuálne ukazovanie polohy servopohonu.

Regulátor je umiestnený mimo blokovej dozorne a riadený je z nej prostredníctvom signálov až k výkonovému ovládaču. Čo sa týka hodnôt parametrov regulátora (P , I , dĺžka impulzu ap.), boli prenesené a prepočítané z pôvodných regulačných blokov systému KASKÁD. Táto fáza nastavovania regulátorov prebiehala v úzkej spolupráci s VÚJE Trnava, ktorý pôsobil v úlohe generálneho projektanta. Všetky tieto parametre sa potom testovali pri KV (komplexnom vyskúšaní), ktoré prebiehalo pri nominálnych teplotách, hladinách a tlakoch s tým, že sa skúšalo pri rôznych výkonových úrovniach reaktora, aby bolo možné sledovať rôzne zmeny, ktoré prebiehajú. Iné zmeny nastanú totiž pri 25, 50 a 100 % výkone, pretože odparované množstvo adekvátne závisí od aktuálneho výkonu. V praxi to znamená, že čím je vyšší výkon reaktora, tým dlhšie trvá naplnenie parogenerátora napájacou vodou, pretože odparenie pary je značné.

V blokovej dozorni je k dispozícii prepínač na prepnutie regulátora do manuálneho režimu pre prípad poruchy v automatickom režime, aby operátor mohol ovládať akčný člen, resp. na prepnutie a ovládanie z iných dôvodov. Po prepnutí do manuálu možno napríklad demontovať regulátor a ovládanie realizovať výlučne manuálnym spôsobom.

Regulátory sú pripojené na priemyselnú zbernicu Profibus-DP, ktorá bola vzhľadom na súčinnosť s regulátormi odporúčaná ako najvhodnejšie riešenie. Regulátory sú zvedené do servisno-diagnostickej stanice, ktorá umožňuje sledovanie systému, vyhodno-



Bloková dozornia JE V2

covanie poruchových signálov, registráciu a hlásenie porúch, monitoruje údaje a umožňuje ich zasielanie vzdialeným staniciam. Vďaka nej možno detegovať a analyzovať všetky vzniknuté poruchové stavy.

VÚJE Trnava je generálny projektant modernizácie a spolupodieľala sa aj na ladení regulátorov. Od pracovníkov elektrárne dostali k dispozícii všetky podklady pôvodných regulačných blokov ruskej výroby a pri doladovaní parametrov nových regulátorov vychádzali práve z hodnôt pôvodného systému (proporcionálna a integrálna zložka, nastavenie vplyvu vstupov pre jednotlivé snímače, pásmo necitlivosti, doba prestavovania servopohonu atď.). Nové parametre regulátorov sa potom testovali na parogenerátoroch pri 25, 50 a 100 % výkone. Hodnoty dodané generálnym projektantom mali vysokú kvalitu a po testoch v reálnej prevádzke sa prakticky nemuseli vôbec upravovať.

Čo sa týka informácií na obsluhu operátorom v blokovej dozorni, množstvo poskytovaných informácií zostalo na tej istej úrovni, na akej bolo aj pred modernizáciou. Zlepšenia nastali vo vizualizácii a v komforte ovládania v ručnom režime. Výrazne dokonalejšia je možnosť presne nastavovať a sledovať hodnoty žiadanej hladiny z blokovej dozorne. Jednoznačne najväčší prínos modernizácie uvedených regulátorov spočíva vo výraznom zvýšení spoľahlivosti prevádzky a tým aj v zvýšení jadrovej bezpečnosti.

Vďaka by sme chceli vyjadriť Ing. Viliamovi Hromadovi a Vladimírovi Majdaffovi z oddelenia SKR a MaRT za ich ochotu pri sprevádzaní po prevádzkach elektrárne, ktoré navyše podložili fundovaným výkladom.

Branislav Bložon
Anton Géner

3