

Řízení kogeneračních jednotek a součinnost s nadřazeným systémem řízení

Cogeneration units control and cooperation with superchief control system

Ing. Pavel PÁTEK
Warmis spol. s r.o., Liberec

Recenzent
Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Autor upozorňuje na problémy vazby provozu kogenerační jednotky na elektrickou síť a odběry tepla. Velmi cenné je rozlišení paralelního provozu se sítí a ostrovního provozu a problémy vzájemných přechodů.

Klíčová slova: kogenerační jednotka, ostrovní režim, paralelní režim, fázování

The author draws attention to problems of coupling the cogeneration unit with power network and heat extractions. The differentiation between parallel operation with power network and island operation and indicated problems of mutual transitions are very valuables.

Key words: cogeneration unit, island mode, parallel mode, paralleling

Kogenerační jednotky jsou dnes významnými zdroji tepla a elektrické energie zejména v malých a středních energetických zdrojích. Dnes jde již o spolehlivá a vysoce účinná zařízení s minimálním negativním dopadem na životní prostředí. Bouřlivým vývojem prošla kogenerační zařízení hlavně v posledním desetiletí a to jak v oblasti strojné technologické tak v oblasti řízení a regulace.

Hlavními součástmi zařízení jsou pístové motory (spalující zejména zemní plyn) na společně hřídeli spojené se synchronními generátory nové generace. Svým charakterem se velmi podobají klasickým náhradním (nouzovým) zdrojům elektrické energie, avšak jejich konstrukce je koncipována pro trvalý a spolehlivý provoz a to jak paralelní s nadřazenou elektrickou sítí tak pro „ostrovní“ izolovaný provoz. S ohledem na bezpečnost, ale i na vysoké účinnosti cyklů výroby tepla a elektřiny, jsou kladeny vysoké nároky jak na vlastní konstrukci zařízení tak na řízení jeho provozu a to jak

- autonomní (motor s generátorem),
- tak nadřazené (součinnost výroby tepla a elektřiny s ostatními energetickými zařízeními ve zdrojích – např. klasickými kotli).

Jde o zařízení poměrně nákladné, které kromě vlastní ceny zařízení vyvolává dodatečné investice v oblasti přizpůsobení prostředí i v oblasti strojné technologické a elektrické. Výběr zařízení musí být vždy podroben důkladné analýze vhodnosti implementace v daném prostředí, a jeho technických a také provozně-ekonomických parametrů.

Z hlediska řízení jsou tato zařízení zpravidla bezobslužná s pochůzkou, což klade vysoké nároky na kvalitu a spolehlivost řídicího systému a také na eventuelní dálkové řízení provozu a monitoring. Při výběru typu a výrobce se přihlíží jak k vlastnostem tak i ke koncepci řešení řízení provozu tohoto zařízení.

V dobách nedávno minulých byl zejména u nás patrný trend realizace kogenerací, dalo by se říci „za každou cenu“. Sestavovala se zařízení sestávající z již použitých motorů a generátorů (a to jak synchronních tak asynchronních) a doplňovala se potřebnými prvky strojních a elektrických ochranných. Otázka vlastního řízení soustrojí a jeho součinnosti se systémem ochranných byla značně podceňována, což mělo v počátcích implementací kogenerací u nás v mnoha případech negativní dopad na úspěšnost tohoto řešení. Ukazuje se, že problematika vlastní konstrukce zařízení a jeho řízení je zásadní a že se nejedná pouze o triviální sestavení motoru s generátorem. Sestavovat na místě („on site“) jakýkoli motor přizpůsobený pro spalování např. zemního plynu s generátorem je možné pouze pro velmi malé výkony, ačkoli ani tak nelze zaručit vysoké parametry a spolehlivost. Je velkou výhodou, když výrobce sám konstruuje motory vhodné pro takový provoz a soustrojí vyrábí zkouší a garantuje jako celek.

1. ZÁKLADNÍ OKRUHY ŘÍZENÍ KOGENERACÍHO PLYNOVÉHO SOUSTROJÍ

1.1 Mechanika motoru s generátorem

Principiálně se lze na soustrojí dívat jako na soustrojí klasické (s turbinou) avšak je třeba si uvědomit, že se jedná o pístový motor, který má úplně jiné setrvačné hmoty a obecné vlastnosti. Autonomní řízení soustrojí sestává především z těchto okruhů:

- **Řízení otáček motoru.** Je funkční jen po startu soustrojí a v okamžiku fázování na síť při paralelním provozu se sítí a pak v případě provozu v ostrovním – izolovaném režimu. Po přifázování jsou otáčky soustrojí drženy sítí, neboť elektrický výkon generátoru je zanedbatelný vzhledem k mohutnosti a stabilitě elektrické sítě. V ostrovním režimu pak autonomní regulace otáček odpovídá za frekvenci elektrického napětí.
- **Řízení výkonu motoru.** Vzhledem k postupnému zatěžování soustrojí je nutno regulovat množství paliva zpravidla tzv. „motýlovou“ klapkou. Současně je nutno budít synchronní generátor, regulovat napětí na jeho svorkách a regulovat nastavený zpravidla induktivní nebo neutrální účinek.
- **Řízení procesu spalování.** Směs paliva a vzduchu je zpravidla velmi „chudá“, zejména s ohledem na emise z výfuku motoru. Poměr paliva a vzduchu je řízen směšovací klapkou. Řízením poměru palivo/vzduch, plnicího tlaku a teplot palivové směsi se dosahuje příznivých poměrů spalování s ohledem na emisní zatížení zejména CO a NO_x, kde je většinou vyžadováno splnění norem TA-Luft nebo TA-Luft/2.

1.2 Elektrická část

Řídicí systém kogeneračního soustrojí musí také zajistit regulaci všech elektrických veličin a proces synchronizace s elektrickou nadřazenou soustavou. Generátory jsou vybaveny výrobcem potřebnou elektronikou pro regulaci buzení, napětí a $\cos \varphi$ a musí být schopna součinnosti s autonomním PLC, s řízením otáček a výkonem stroje. Tato regulace je klasickou regulací synchronního stroje.

S ohledem na velmi rychlé procesy je zřejmé, že základní parametry chodu zařízení musí řídit relativně rychlé PLC.

Synchronizační zařízení musí zajistit bezpečné automatické připojení k síti bez negativních průvodních jevů. Pro proces synchronizace je nutná znalost spínacích časů generátorového vypínače s ohledem na fakt, že synchronizační impuls přichází v předstihu s tímto časem a měl by se pohybovat max. mezi 60 až 70 ms.

Velice důležitou součástí autonomního systému řízení kogenerační jednotky jsou elektrické ochrany. Jejich funkce musí zajistit, aby se generátor odpojil od sítě vždy, když parametry elektrické sítě nebo výstupu generátoru neodpovídají předepsaným hodnotám. Principiálně chrání elektrické ochrany především generátor. Musí však též zajistit, aby se generátor od sítě odpojil i tehdy, když se např. síť rozpadne a hrozí nedovolený provoz soustrojí do předem nespécifikované zbytkové soustavy, je-li generátor připojen např. na konci vedení. Odpojení je nutné i v případech, kdy je okamžitá možná elektrická spotřeba zbytku sítě v souladu s max. výkonem generátoru, avšak soustrojí není pro tuto situaci vybaveno a nastaveno a provoz v ostrovním režimu je nežádoucí. Je to zpravidla jedním z hlavních požadavků rozvodných závodů.

Elektrické ochrany by měly obsahovat tyto součásti nebo moduly:

- nadproudová ochrana;
- zkratová ochrana;
- přepěťová ochrana;
- podpěťová ochrana;
- nadfrekvenční ochrana;
- podfrekvenční ochrana;
- zpětná wattová ochrana;
- ochrana pro hlídání nesymetrického zatížení;
- zemní zkratová ochrana;
- vektorová ochrana pro hlídání fázových skoků.

1.3 Součinnost elektrických ochran

V případech, kdy je generátor zapojen s transformátorem do bloku je vhodné osadit též diferenciální ochranu s ohledem na požadavek chránění bloku jako takového.

Velkým problémem je citlivost těchto ochran a nastavení jejich selektivity, neboť v současné době se jedná zpravidla o velice citlivé elektronické ochrany, jejichž působení (při nesprávném použití nebo nastavení) může mít za následek časté výpadky soustrojí. Velkým problémem bývá nevytlačnost soustavy generátor, transformátor, síť a vlastní spotřeba. Náhradní schéma této soustavy je vlastně RLC obvod, který má vlastní rezonanční kmitočet. Zejména pak v oblastech, kde se používá v elektrizační soustavě systém HDO, bývá v případech, kdy rezonanční kmitočet této soustavy je v nebezpečné blízkosti frekvence generátoru HDO tj. mezi 15. až 21. harmonickou. V takových případech je nutné „nalaďit“ obvod vlastní spotřeby mimo toto nebezpečné pásmo. V případě nežádoucích interakcí dochází totiž k jevům, které se nazývají „fázový skok“ a je na ně nastavena vektorová ochrana.

Jiným častým problémem je situace, kdy dojde např. ke vzdálenému zkratu a k působení relé opětného zapnutí. V těchto situacích, při působení OZ, musí být soustrojí neprodleně odpojeno od sítě a musí být buď odstaveno, nebo musí být zajištěn bezpečný přechod do ostrovního režimu, pokud je celý systém takto nastaven.

Při dlouhodobém odpojení části sítě, do které je zapojen generátor kogenerační jednotky (rozpad sítě) dojde k jevu, který je velmi podobný vzdálenému zkratu. Odpojená oblast s připojeným generátorem se vlastně stává neplánovaným ostrovem a elektrický odběr zpravidla mnohonásobně převyšuje jmenovitý výkon generátoru. To má za následek přetížení generátoru a jeho výpadek, což je nežádoucí v tom případě, kdy soustrojí je určeno pro provoz v ostrovním režimu pro vlastní spotřebu komplexu, pro který je provoz kogenerační jednotky určen jako náhradní zdroj elektrické energie.

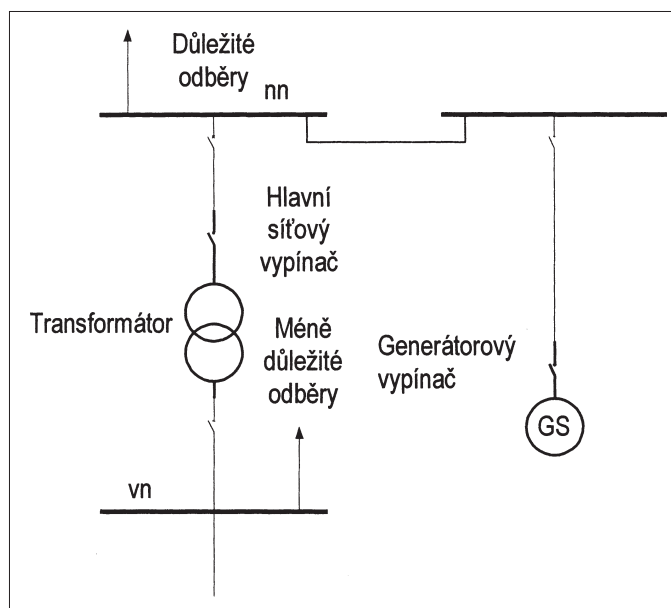
Elektrické ochrany musí být na tyto jevy nejen citlivé, ale musí též být správně nastaveny a výsledek jejich funkce by měl mít směrový efekt, aby bylo rozpoznáno, kde problém vzniká a jak na něj adekvátně reagovat. Z toho plynou vysoké požadavky na součinnost ochran mezi sebou a také jejich součinnost s autonomním systémem řízení soustrojí.

1.4 Problematika ostrovního provozu

Kogenerační soustrojí nemá zdaleka takové setrvačné hmoty jako například klasické soustrojí generátor-turbína. Přívod paliva, resp. směsi palivo-vzduch do motoru je zpravidla řízen motýlovou klapkou s velmi rychlým elektromagnetickým pohonem. Proto při náhlém odpojení generátoru od spotřeby nebo jeho rychlé odlehčení není až takovým problémem, jako je tomu u klasických soustrojí. Vzhledem k této skutečnosti jsou na využití a provoz kogeneračních jednotek kladeny vyšší nároky a často jsou určeny nejen pro paralelní provoz s elektrizační soustavou ale také pro ostrovní provoz jako náhradní zdroj elektrické energie.

Řídicí systém soustrojí a jeho mechanické i elektrické ochrany musí zajišťovat pro tento případ tyto základní funkce:

- Rozpoznání důvodu pro přechod do ostrovního režimu (problémy v síti). Autonomní řídicí systém musí rozpoznat jednak o jaký problém jde a kde vznikl. To znamená, že v případě, kdy dojde k problémům mimo oblast předem definovaného ostrova spotřeby elektrické energie (vlastní spotřeby), musí zajistit bezpečné odepnutí nikoli soustrojí jako takového, ale celé předem definované oblasti od zbytku sítě.
- Řídicí systém musí zajistit bezpečný přechod do ostrovního režimu. Po odpojení „ostrova“ od zbytku sítě dojde zpravidla k odlehčení generátoru a musí být zajištěno snížení množství paliva do motoru a odbuzení generátoru. Poměr paliva a spalovacího vzduchu je též pro ostrovní provoz jiný, než pro provoz paralelní. Řídicí systém by měl znát v takovém okamžiku stav odběru vlastní spotřeby elektrické energie a jeho skladbu jednak z hlediska priorit zabezpečení elektrického napájení a jednak z hlediska proporce rozdělení zatížení mezi jednotlivé okruhy vlastní spotřeby. Pro zajištění dynamické stability soustrojí je zpravidla nutné odpojit v prvním okamžiku některé méně důležité okruhy vlastní spotřeby tak, aby max. zatížení v okamžiku přechodu se pohybovalo v rozmezí 50 až 70% jmenovitého zatížení generátoru. Po stabilizaci otáček soustrojí a napětí může řídicí systém opět postupně zatěžovat v předem definovaných krocích generátor až do max. výše cca 70 až 80% jmenovitého výkonu. Ve stabilizované fázi pak regulace soustrojí odpovídá v plné míře za všechny parametry dodávané elektrické energie tj. za frekvenci, napětí a charakter dodávky s ohledem na jalový charakter napájeného zařízení dle příslušných norem a předpisů.



Obr. 1 Napojení kogenerační jednotky

Provoz v ostrovním režimu musí být stabilní a musí být zajištěno, aby nebylo možno zapnout spotřebič jehož přírůstek nebo úbytek a jeho výše by narušila dynamickou stabilitu soustrojí. Nedoporučuje se proto zatěžovat generátor v ostrovním režimu více jak na zmíněných 80% jmenovitého výkonu. Není třeba zdůrazňovat, že čím je výkon kogenerační jednotky nižší, tím je nižší i stabilita jeho chodu v ostrovním režimu. Zároveň je samozřejmé, že je třeba zajistit kontinuální odběr tepla ze soustrojí, aby nedošlo k odstavení soustrojí pro jeho nedostatečné chlazení. V případech, kdy se jedná o tento režim provozu je nutné instalovat nouzové chlazení.

Problematika ostrovního provozu kogenerací je poměrně náročná a složitá a doporučuje se pečlivě analyzovat a zvažovat všechny podmínky a důvody pro jeho realizaci.

Pro případ ostrovního režimu je důležitá součinnost dvou rozhodujících vypínačů – generátorového a hlavního síťového. V případě důvodu pro přechod do ostrovního režimu nevypíná generátorový vypínač, ale hlavní síťový. Tento hlavní síťový vypínač musí mít přinejmenším stejně dobré vlastnosti jako generátorový vypínač, neboť při obnovení nadřazené sítě je to právě on, kterým je „ostrov“ a je zpětně fázován na síť. V případě, že je soustrojí za normálních okolností, kdy síť je připojena, v pohotovostním režimu, musí řídicí systém a ochrany zajistit v případě výpadku nadřazené sítě jednak vypnutí hlavního síťového vypínače a jednak rychlý start soustrojí a jeho uvedení na potřebné parametry. Při zpětném obnovení sítě se opět celý ostrov fázuje na síť tímto vypínačem.

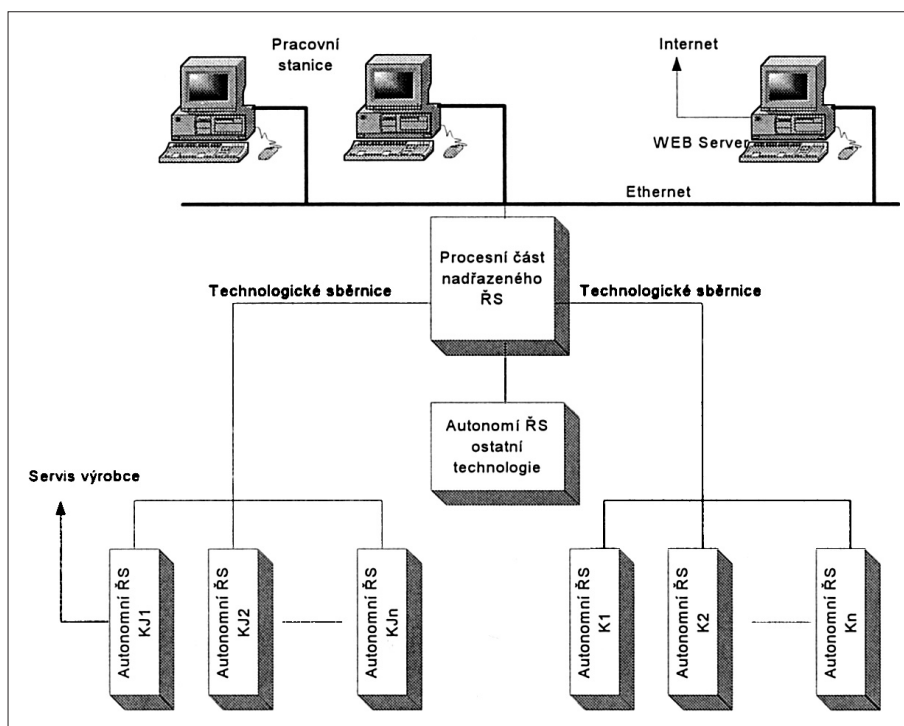
2. SOUČINNOST S NADŘAZENÝM SYSTÉMEM ŘÍZENÍ

Často není osazována pouze jedna kogenerační jednotka ale i dvě a více společně s teplovodními kotli. V takovém případě je nutné zajistit spolupráci všech instalovaných zařízení s ohledem na optimální provozní režimy dodávky tepla a elektrické energie. Kvalitní autonomní systém řízení kogeneračních jednotek je zpravidla vybaven schopností vzájemného (peer-to-peer) propojení jednotlivých autonomních řídicích systémů. Komunikační propojení je zpravidla realizováno datovou sběrnici jako jsou např. CAN-Open, Profibus, Modbus, Ethernet atd. Jedna jednotka bývá nastavená jako „Master“ ostatní jako „Slave“ s možností dynamického přepínání funkce „Master“ pro kterékoli soustrojí v případě, že je některé trvaleji mimo provoz. Podobnou funkcí bývá vybaveno autonomní řízení kaskády kotlů.

Součinnost řízení výroby tepla a elektřiny pak bývá řešena nadřazeným řídicím systémem, který by měl zajistit:

- komunikaci s autonomními systémy kogenerací;
- komunikaci s autonomními systémy kotlů;
- vizualizaci a trendování celé aplikace;
- řešení nadřazených algoritmů řízení součinnosti výroby tepla a elektřiny;
- shromažďování informací o provozu kogenerací a kotlů za účelem diagnostiky a údržby zařízení atd.

Propojení autonomních systémů zařízení a nadřazeného systému řízení se realizuje jednak zmíněnými datovými sběrnici a jednak na úrovni standardních unifikovaných signálů na svorkovnicích zařízení. Propojením na datové sběrnice zařízení lze kromě jiného získat i řadu cenných informací, které by nebylo jinak možné monitorovat. Jde zejména o hodnoty nejrůznějších interních



Obr. 2 Ovládání a sledování Internetem

teplot a tlaků, chvění, teplot v cylindrech válců atd. Sledováním těchto hodnot lze včas diagnostikovat blížící se problémy s provozem zařízení, jejich údržbou, výměnou provozních látek, opotřebením zejména hlav motorů a podobně.

Renomovaní výrobci kogenerací dnes již většinou nabízejí možnost komunikačního připojení jejich servisních organizací prostřednictvím např. běžných telefonních modemů. Cena servisu těchto zařízení není nijak nízká a je proto třeba co nejpřesněji specifikovat možnou závadu nebo problém ještě před eventuelním příchodem servisního pracovníka od výrobce. Ten má možnost po nahlášení problému prohlédnout a analyzovat („download“) všechna potřebná data za historicky významnou dobu a ještě před výjezdem rozhodnout o charakteru servisního zásahu a o potřebných počtech náhradních dílů a lidí, kterých pro zásah bude potřeba. Takový postup v řadě případů šetří provozní peníze zákazníka, který je nucen je vynakládat mnohdy v případech, kdy „porucha“ je odstranitelná snadno jím samým nebo se mnohdy ani o poruchu nejedná.

Pokud je nadřazený systém řízení (respektive jeho vizualizační úroveň) vybaven WEB serverem, má provozovatel možnost monitorovat (ale i ovládat) zařízení, z kteréhokoli místa na světě, kde má možnost připojení k internetu a to prostřednictvím běžného internetového „browsersu“, který je zpravidla součástí základního programového vybavení každého nového počítače včetně notebooků. Není dnes ani problémem posílat zprávy SMS na mobilní telefony odpovědných pracovníků v případech vzniklých problémů. Díky těmto technikám je prakticky možné nastavit globální parametry komplexu řízení kogeneračního zdroje tepla a elektřiny z mobilního telefonu.

S ohledem na spolehlivost a bezpečnost provozu celého zařízení se doporučuje dodržovat co největší členění a samostatnost jednotlivých komponent řídicího systému. Jednotlivé úrovně řídicího systému pak mohou být dimenzovány právě dle požadavku na autonomní okruhy zvlášť co do rychlosti zpracování a komunikace. Díky stále více se prosazujícímu trendu „integrace“ různých komponent řídicích systémů různých výrobců to již dnes není problém.

Pozn.: Příspěvek byl uveden ve sborníku 16. konference o vytápění 2001.