

Čtvrthodinové maximum

František Majda, elektrotechnik, Rataje u Kroměříže

Odběr elektrické energie provozovatelem z rozvodného zařízení dodavatele podléhá mnoha technickým, provozním, ale také ekonomickým pravidlům. Kromě běžně vnímaného odběru množství činné elektrické energie (kWh) je jedním z takových pravidel i smluvně určená maximální hodnota odebíraného příkonu (kW) za sledovaný časový úsek. Nutnost regulace odebíraného výkonu vyplývá z problematiky známých „energetických špiček“, které zásadním způsobem ovlivňují kvalitativní parametry dodávky elektřiny a stabilitu provozu distribuční sítě.

V průmyslových podnicích představujících možný větší odběr příkonu je obvykle z provozních důvodů sledovaný časový úsek stanoven na 15 minut – čtvrthodinu. Čtvrthodinovým (technickým) maximem ($1/4max$) se tedy rozumí hodnota průměrného čtvrthodinového elektrického příkonu, kterou smí odběratel za sledovaný časový úsek nejvýše odebrat.

Tato hodnota je stanovena i smluvně, dodavatelem je režim $1/4max$ sledován a překročení smluvního limitu je dodavatelem penalizováno. Každý provozovatel se proto snaží smluvní hodnotu nepřekračovat, a to buď vhodným rozložením energetické náročnosti spotřeby (někdy i za cenu negativních zásahů do výrobního procesu – snížením současného výkonového odběru, tzn. násilným vypínáním spotřebičů, strojů), nebo instalací vhodných regulačních prvků – regulátorů čtvrthodinového maxima.

Smyslem využití regulátorů čtvrthodinového maxima je omezení výkonových špiček, a tím samozřejmě snížení sjednávaného technického, resp. $1/4max$, s důsledkem nižších měsíčních poplatků za elektrickou energii. Snížení špiček je realizováno automaticky s tím, že práce násilně pozastavená a odebíraná spotřebiči v kritické čtvrthodině je nahrazena a využita ve čtvrthodině, která není energeticky náročná. Tím nedochází ke ztrátám ve výrobě a zároveň dochází k nemalým trvalým finančním úsporám v nákladech vynaložených na odběr elektrické energie.

Dodavatel dříve měřil čtvrthodinové intervaly převážně spínacími hodinami. Dokonce ani to ne – ještě v osmdesátých letech bylo v leckterých průmyslových podnicích $1/4max$ analogově nastaveno červenou šipkou na stupnici $1/4max$ hlavního elektroměru a běda energetikovi, jemuž měřič $1/4max$ dotlačil posuvný ukazatel za tuto hranici!

Proto v nedávné minulosti, kdy nebyly k dispozici regulátory $1/4max$, byla regulace spotřeby elektrické energie prováděna v podstatě vypínáním a zapínáním spotřebičů.

Následující článek uvádí základní úvahy o nutnosti sledovat $1/4max$ a řešit provozní situace pomocí technických i organizačních prostředků.

1. Regulátory čtvrthodinového maxima

Regulátory čtvrthodinového maxima jsou průmyslové automatizační přístroje, resp. decentralizované mikroprocesorové řídicí systémy určené pro přímé řízení technologických procesů. **Regulační proces** současných regulátorů spotřeby probíhá ve dvou základních režimech:

Hladinový režim (obr. 1)

a) režim vyhodnocující odebranou činnou elektrickou práci (kWh) od začátku čtvrthodinového intervalu.

K aktivaci příslušného stupně dojde tehdy, když množství odebrané energie od začátku měřicího intervalu dosáhne nastavené hodnoty. Při překročení maxima se odpojí všechny kanály. Ke zpětnému připojení spotřebiče dojde až na začátku dalšího měřeného intervalu.

Doba na začátku čtvrthodinového intervalu, ve které se zařadí pásmo nečinnosti regulátoru, kdy je regulace potlačena a všechny kanály jsou připojeny, se stanovuje na základě analýzy odběru podniku.

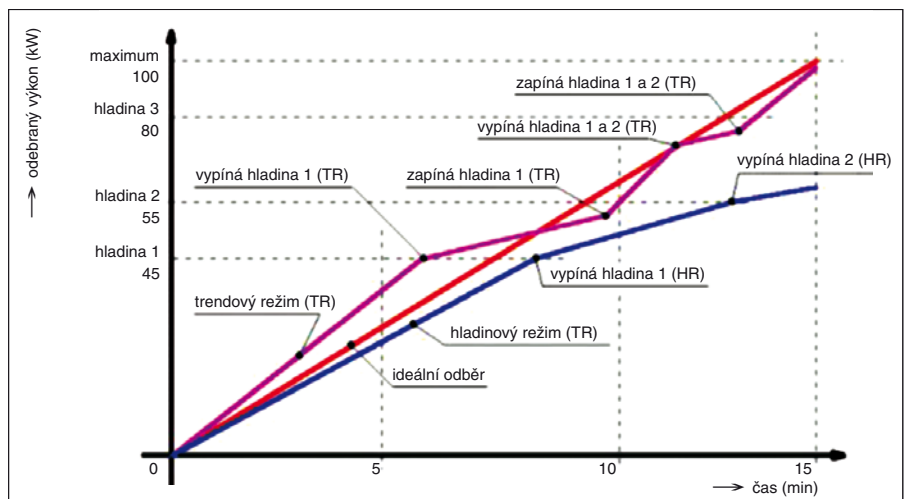
Překročil-li spotřebovaná práce první úroveň (hladinu), je dána první výstraha (např. světelná signalizace), po překročení druhé úrovně se vyhodnotí druhá výstra-

b) režim, který vyhodnocuje střední hodnotu činného výkonu (kW). Při poklesu výkonu pod sledovanou hladinu se stav výstupů vrací do klidových hodnot. Popisovaný režim může pracovat nezávisle na čtvrthodinovém intervalu a lze ho použít jako omezovač okamžitého výkonu.

Trendový režim

Trendový režim (predikační algoritmus) je založen na sledování trendu (predikci) spotřeby činné elektrické energie. Podle trendu v průběhu aktuální spotřeby je dopočítávána spotřeba na konci regulačního intervalu a v závislosti na ní jsou odpojovány a připojovány výstupní kanály. K aktivaci příslušného stupně dojde tehdy, když množství odebrané energie od začátku měřicího intervalu dosáhne nastavené hodnoty a současně je výpočtem zjištěno, že dosavadní velikost odběru by měla za následek překročení sjednaného limitu. Ke zpětnému připojení spotřebiče dojde, jestliže odběr poklesne natolik, že nehrozí překročení sjednaného limitu, popřípadě na začátku dalšího měřicího intervalu.

Trendový režim lze s ohledem na jeho „předvídatost“ hodnotit jako kvalitnější, ale pouze za předpokladu, že spotřeba v jednotlivých kanálech je alespoň přibližně předvídatelná.



Obr. 1. Graficky znázorněné režimy regulačních procesů

ha (akustická) a na třetí se odpojí výstupní kanál. Nastavení výstupů je konstantní po celý čtvrthodinový interval, kdy se vrací do původního stavu.

Hladinový režim vyhodnocující odebranou činnou elektrickou práci má statický charakter s pevným přiřazením výstupů k nastaveným rozhodovacím hladinám regulace a lze jej považovat za zvláštní případ dvoupolohové regulace.

2. Optimalizace řízení spotřeby elektrické energie

K řešení problematiky optimalizace řízení spotřeby elektrické energie z hlediska co nejnižších cen (bez sankčních poplatků) při zachování výrobních výkonů jsou navrženy různé systémy IT, které jsou schopny realizovat nejen výše uvedené požadavky, ale například i řídit výrobní linky, popř. celé technologické procesy.

Dodržování hodnoty smluvního technického maxima má velký vliv na ekonomiku odběratele elektrické energie. Kvalitní regulátor spotřeby elektriny je kromě regulace $1/4\text{max}$ schopen svému uživateli zobrazit aktuální provozní údaje, umožňuje archivovat dlouhodobé údaje a též umožňuje v řadě případů i snížení původní hodnoty smluvního technického maxima podniku.

Regulátor snímá výkonové údaje z impulzního elektroměru a synchronizační časové údaje ze soustavy rozvodných závodů. Na základě jejich vyhodnocení dochází k výpočtu povolené zátěže do konce čtvrt hodiny. Porovnáním tohoto údaje s nastavenými úrovněmi vypínacích hladin (zákazníkem modifikovatelná hodnota) reguluje odběr postupným vypínáním a připínáním zátěží. Dojde-li v průběhu čtvrt hodiny k výraznému snížení odběru, může dojít k opětovnému připnutí již vypnuté zátěže.

Monitorovací systémy umožňují výrazně snížit náklady za elektrickou energii, a to:

- snížením soudobého odběru odpínáním vybraných zátěží - snížení $1/4\text{max}$,
- odstraněním rizika penalizace za překročení sjednaných odběrů,
- časovým cyklováním zátěží - minimální zásah do technologie,
- optimalizací regulačního režimu - logika řízená mikroprocesorem,
- efektivním návrhem odběrového diagramu,
- přechodem do výhodnější sazby za odběr elektrické energie,
- analýzou předchozího odběrového období.

Systémy porovnávají všechny měřené hodnoty veličin s odběrovými diagramy, hlídají případné překročení nebo podkročení na úrovni čtvrt hodiny i hodin (záleží na podmínkách odběru). Provádějí predikci vybraných odběrů a pomocí alarmů/upozornění umožňují v předstihu reagovat na vzniklou situaci.

Systémy přinášejí nejen významné úspory, ale hlavně plnou kontrolu nad výrobním procesem. Umožňují rovnoměrně rozložit odběry, a tím vyrovnat odběrovou křivku, přesunout automatické odběry (najíždění zařízení pomocí řídicích systémů) do pásme s nižšími cenami energií. Z naměřených dat lze okamžitě reagovat na ztráty v rozvodech - např. při netěsnosti v řadu pitné vody, při různých haváriích technologických zařízení umožní lokalizovat vznik poruchy atd.

Systémy také nabízejí další uživatelský komfort podle potřeb podniku: posílání SMS zpráv o provozu soustavy vybraným pracovníkům, zaznamenávání provozních událostí k záznamům okamžitých hodnot, automatické zasílání hodnot odběru oprávněným zákazníkům do systému OTE atd.

Samotný sběr dat a hlídání maxima jsou zajištěny řídicím automatem, který je schopen pracovat zcela autonomně bez připojeného PC a dokáže ve své vnitřní paměti uchovat zálohu čtvrt hodinových odběrů za posledních 24 h. Lokální archivy naměřených hodnot jsou uloženy v paměti řídicího automatu pro případ dočasného výpadku spojení s nadřazenou stanicí PC. Po obnovení komunikačního spojení jsou data z PLC zpětně dočtena do databáze na stanici PC.



Obr. 2. Průmyslový podnik, například truhlárna, provozuje mnoho energeticky náročných strojů a zařízení. Zde je zcela na místě nastavit proces optimalizace řízení spotřeby elektrické energie.

3. Čtvrt hodinové maximum

Výroba a spotřeba elektrické energie nejsou v průběhu celého dne rozloženy rovnoměrně, ale kolísají podle energetické náročnosti spotřeby.

To se projevuje v odběru při maximálním zatížení tzv. odběrovými špičkami, což ovlivňuje parametry dodávky elektřiny a stabilitu provozu distribuční sítě. Může docházet i k výpadkům v dodávkách elektřiny. Při nedostatku může dojít k vypnutí celých regionů, což se u nás v nedávné minulosti stávalo. Dochází k tomu i dnes i ve vyspělých zemích, např. v USA, kdy došlo před několika lety v Kalifornii k vypnutí vlivem nedostatku výkonu způsobeného velkým odběrem klimatizačních zařízení v letních měsících. Naproti tomu existují časy minimálního odběru, kdy je elektrické energie přebytek. Nerovnoměrný odběr elektrické energie má tyto závažné hospodářské důsledky:

1. Zvýšené ztráty na vedení

Se stoupajícím proudem rostou činné ztráty na vedení se druhou mocninou (I^2). To znamená, že při dvojnásobném proudu rostou ztráty čtyřikrát. Spotřebič s dvojnásobným příkonem zvýší okamžité ztráty na vedení čtyřikrát a celkové ztráty na vedení stoupnou oproti spotřebiči s polovičním příkonem dvakrát, protože takový spotřebič provozujeme jen poloviční dobu. Tyto ztráty se projevují na celém vedení od generátoru až po spotřebič včetně transformátorů NN, VN, VVN.

2. Okamžitý výkon elektráren

Okamžitému odběru musí odpovídat i okamžitý vyráběný výkon v elektrárně. To vyžaduje mít veliký tzv. instalovaný výkon, který zvýšený odběr pokryje. Základní odběr vyrábějí tzv. elektrárny pásmové, které vyrábějí stále stejný výkon. U nás jsou to především elektrárny tepelné a elektrárny jaderné. Tyto elektrárny nelze okamžitě uvést do chodu, ani je zastavit^{*)}. Jejich výkon nelze ani výrazně zvýšit či snížit. K regulaci odběru se používají především elektrárny vodní (přehradové), pracující v pološpičkovém a špičkovém odběru. Méně vhodné pro regulaci jsou vodní elektrárny průtočné. Se zvyšujícím se procentovým poměrem uhelných a jaderných elektráren proti elektrárnám vodním se problém nerovnoměrného zatížení začal řešit výstavbou vodních elektráren přečerpávacích. Tyto elektrárny nejenže pokrývají energetické špičky, ale zároveň „odsávají“ nadbytečnou energii v době malého zatížení. Stavějí se především na vhodných místech s převýšením, u nás největší vodní přečerpávací elektrárna je Dlouhá Stráně v Jeseníkách. Nejvhodnější místa pro výstavbu přečerpávacích elektráren jsou v Alpách, zvláště pak v Rakousku a ve Švýcarsku.

Výstavba špičkových zdrojů je velmi drahá a zdoluhavá, trvá mnoho let. Proto je cena tzv. špičkové kilowatthodiny několikanásobně dražší. Z literatury je známo, že při rovnoměrném odběru po celých 24 h by byla potřeba instalovaného výkonu elektráren třetinová. Rovněž ztráty na vedení a potřeba vedení by byla menší. Avšak toto je pouhý ideál, neodpovídající fyziologické potřebě člověka (denímu režimu, spánek, jídlo).

Jak je již uvedeno v úvodu, nelze v průběhu dne připustit libovolné odebírání činného výkonu. Dodavatelé elektrické energie proto zavádějí u větších spotřebitelů měření výkonu ve sledovaných časových úsecích – čtvrt hodinové maximum. Tímto opatřením nutí spotřebitele odebírat elektrickou práci při menším příkonu po delší čas.

4. Jak probíhá měření čtvrt hodinového maxima

Jak již bylo vysvětleno, odebírá-li se elektrická práce velkým výkonem, vznikají tím problémy ve výrobě i v přenosu. Proto měříme průměrný výkon v jedné čtvrt hodině.

Příklad 1:

Sledovaný čtvrt hodinový výkon odběratele je 140 kW. Za sledovaný čas jedné čtvrt hodiny se spotřebuje elektrická práce o velikosti $140 \text{ kW} \cdot \text{h} / 4 = 35 \text{ kW} \cdot \text{h}$. Skutečný odebíraný příkon přitom kolísá. Stejnou elektrickou práci odebereme, budeme-li spotřebovávat elektrickou práci o příkonu 280 kW při polo-

^{*)} Pozn.: vyjma elektráren s derivačním kanálem – v Evropě řeka Váh, Rýn

vičním čase, tj. 7,5 min. Avšak z provozních a technických důvodů není možné v takto krátkém čase měnit výkon ve velkém rozsahu, proto byl tento způsob měření nastaven na krátký čas – jen na čtvrthodinu.

Měření čtvrt hodinového maxima se provádí k tomu příslušnou měřicí aparaturou, dnes kumulovanou společně s elektroměrem a s prostředky IT. Měří se po celou sledovanou fakturační dobu, tj. 1 měsíc, a to 24 hodin denně. Toto zařízení zaznamená ve své paměti nejvyšší naměřenou hodnotu čtvrt hodinového maxima v daném měsíci. Dodavatel uplatňuje **dvě základní sazby** měření čtvrt hodinového maxima:

1. **Za naměřené maximum** - vhodné tam, kde odběr každý měsíc není stejný (sezónní odběr) – tato sazba je dražší.
2. **Sazba hlídající nepřekročení smlouvaného čtvrt hodinového maxima.** Toto měření je vhodné v místech s rovnoměrným odběrem po celý rok. Tento nasmlouvaný výkon platí obvykle po dobu jednoho kalendářního roku. Během roku dochází k nedočerpání – obvykle v létě i překročení stanoveného limitu – obvykle v zimě. Za nasmlouvaný výkon se platí stálý plat, daný součinem ceny za 1 kW a výši kW.

Příklad 2:

Za sledovaný měsíc byla spotřeba 20 000 kW·h a sledované maximum je 140 kW. 1 kW·h se fakturuje cenou 2,50 Kč. Za 1 kW čtvrt hodinového maxima se platí 150 Kč.

cena odebrané kW·h

$$20\,000 \text{ kW}\cdot\text{h} \cdot 2,50 \text{ Kč} = 50\,000 \text{ Kč}$$

cena za nasmlouvané maximum

$$140 \text{ kW} \cdot 150 \text{ Kč} = 21\,000 \text{ Kč}$$

cena celkem 71 000 Kč

Průměrná cena jedné odebrané kW·h = $71\,000 / 20\,000 = 3,55 \text{ Kč}$

5. Překročení sjednaného čtvrt hodinového maxima

Odběratel, který se „nevejde“ do nasmlouvaného limitu, zaplatí penále za překročení. Každý překročený kW výkonu je obvykle pětina-sobně dražší. Někteří odběratelé se proti tomuto překročení pojistí tak, že si navýší limit, aby v žádném případě k překročení nedošlo. Pak ale platí navýšený limit 12krát ročně. Jestliže podělíme dvanáct plateb platbou za překročení (5), dostaneme podíl $12/5 = 2,4$. K překročení dochází obvykle v listopadu, prosinci a lednu. Takže toto navýšení (připojištění) vyjde nastejno, jako bychom připustili překročení.

6. Kolik stojí špičková 1 kW·h?

Neodebíráme-li po celou pracovní směnu výkon rovnoměrně, můžeme vysledovat,

kolik stojí špičková kW·h. Budeme-li odebrat ve směně elektrický výkon 130 kW, který po dobu jedné hodiny vystoupne na 140 kW, můžeme spočítat, kolik stojí taková špičková kW·h.

Tato špičková kW·h při odběru 20 dní v měsíci stojí při ceně 150 Kč za 1 kW čtvrt hodinového maxima

$$1 \text{ kW}\cdot\text{h} \text{ špičková} = 150 \text{ Kč} : 20 \text{ hodin} + 2,50 \text{ Kč} / \text{kW}\cdot\text{h} = 7,50 \text{ Kč} + 2,50 \text{ Kč} = 10 \text{ Kč}$$

Z tohoto výpočtu vyplývá:

1. Nejméně za fakturu zaplatí ten, kdo dokáže odebrat elektrickou práci rovnoměrně s co nejmenším výkonem a nejdélším časem.
2. Cena za vypočtenou špičkovou kW·h (10 Kč) vypovídá o tom, jaká je cena 1 špičkové kW·h vyrobené ve špičkových (přečerpávacích) elektrárnách.

7. Regulace odběru

Zrovnoměrnit odběr elektrické práce můžeme dvěma způsoby:

1. Organizací práce

Zapínáním strojů v takovém sledu, aby odebíraný výkon byl co možno rovnoměrný. Dále používáním některých strojů mimo ranní hodiny, kdy je zvýšený odběr např. osvětlením, topením a větším počtem pracovníků na pracovišti. Nebo používáním strojů s vyšší spotřebou po pracovní směně, kdy je výkonu dostatek. Tento způsob regulace není vždy možné uplatnit. Je nevhodné, aby jeden pracovník vykonával práci sám, hrozí nebezpečí úrazu. Dále práci zdražují možné příplatky za směnnost.

2. Technickými prostředky

Hlídáním výkonu – vypnutí po vyčerpání stanoveného limitu. Má-li dojít k překročení, můžeme vypnout buď celý provoz, nebo jen část spotřebičů.

Příklad 3:

Hlídané maximum je 140 kW. Výkon je však větší, a to 150 kW. Hrozí překročení o 10 kW. Jaké je řešení?

a) Jednostupňové hlídání

Odepnutí celého provozu po dosažení limitu výkonu. Čas, kdy hlídací zařízení vypne, bude:

$$t_{\text{vyp}} = (140 : 150) \cdot 15 = 14 \text{ minuta}$$

K vypnutí dojde ve 14. minutě sledované čtvrt hodiny. Toto hlídání je velmi nepraktické a nebezpečné. Dojde k vypnutí všech strojů, ke zhasnutí osvětlení. Může dojít k poško-

zení materiálu a strojů a především hrozí nebezpečí úrazu.

b) Vícestupňové hlídání

V provozu jsou často spotřebiče, jejichž pracovní čas můžeme na krátkou dobu vypnout, aniž bychom narušili pracovní režim. Takovými vhodnými spotřebiči jsou například kompresory, sušárny, ohřev vody, výroba páry. Vhodné spotřebiče zapojíme k vypínání za sebou (postupně) podle jejich důležitosti. Při zapojení více spotřebičů dojde k jejich



Obr. 3. Ve dřevozpracující firmě byl instalován hlídač maxima (digiwatt, vlevo), poskytující základní vyhodnocovací funkce. Jednodušší verze regulátoru je určena k regulaci ve třech stupních. Digitální vstupy kW·h a nulovací, bez připojení na PC nebo tiskárnu. Složitější je pak mikroprocesorová jednotka určená k měření, vyhodnocování a ve spojení s výstupními moduly k regulaci 1/4 hodinového, resp. technického maxima v sedmi stupních. Digitální vstupy kW·h, nulovací, kVAri, kVArc, popř. B12. Možnost připojení PC nebo tiskárny. Modul je určen pro „bezdrátové“ regulační zásahy v místech, kde je nemožné nebo finančně náročné instalovat ovládací kabely. Dálkové ovládání je realizováno frekvenční modulací na stávající NN vedení.

postupnému vypínání v časech blížících se 15. minutě. Počet sepnutých spotřebičů pro regulaci je odvislý od míry překročení stanoveného limitu.

Příklad 4:

Hlídané čtvrt hodinové maximum je 140 kW. Výkon je však větší o 10 kW a dosáhl by hodnoty 150 kW. Bude-li kompresor uvažovaný k vypnutí mít příkon 25 kW, pak ve sledované kritické čtvrt hodině vypne tento příkon na dobu $t = (10 : 25) \cdot 15 = 6 \text{ minut}$.

To znamená, že automat vypne v době:

$$t_{\text{vyp}} = 15 - 6 = 9 - \text{dojde k vypnutí v 9. minutě sledované čtvrt hodiny.}$$

Zhodnocení:

Pro co neefektivnější vyregulování čtvrt hodinového maxima je vhodné kombinovat oba způsoby regulace, tj. organizaci práce a technické prostředky – regulátory 1/4max.

☒