

Metody multikriteriální analýzy pro výběr dálkově ovládaných odpínačů v distribučních sítích

Zdeněk Hradílek, Petr Krejčí

Z důvodu rostoucích požadavků na kvalitní a nepřetržitou dodávku elektrické energie je aktuálním problémem také zvyšování spolehlivosti. Jednou z významných možností je nasazování dálkově ovládaných prvků, konkrétně automatických odpínačů ve venkovních sítích VN místo klasických úsečníků. Pro tyto účely se používají venkovní odpínače s komorovým zhášením podobné s typy FL, doplněné systémem dálkového ovládaní SADS (systém pro automatizaci provozu distribučních sítí) nebo systémem Dribo.

Úvod

Řízením sítí VN se rozumí řízení za účelem změny zapojení sítě nebo lokalizace poruchy a následné obnovení dodávky, a to pomocí prvků umístěných přímo v síti (ne spínací prvky v napájecích bodech, t. j. rozvodnách a spínacích stanicích). Významnými řídicími prvky jsou automatické odpínače. Jejich používání místo klasických úsečníků je současně jednou z možností, jak zvýšit spolehlivost dodávky elektrické energie. Určení nejvhodnějších míst pro nasazení automatických odpínačů či jiných řídicích prvků je možno výhodně řešit metodami IPA (analýza ideálních bodů) a CDA (analýza shody a neshody) multikriteriální analýzy.

1. Metodiky výběru vhodných lokalit umístění dálkově ovládaných odpínačů

Stěžejním problémem při nasazování systému dálkově ovládaných odpínačů ve venkovních sítích VN je nalezení metodiky výběru vhodných lokalit, ve kterých umístění tohoto systému přinese největší užitek. Jinak řečeno, je nutné seřadit daný soubor stávajících úsečníků podle nutnosti jejich náhrady dálkově ovládaným odpínačem.

1.1 Zjednodušené ekonomické hodnocení

Při zjednodušeném pohledu lze brát jako zcela prioritní kritérium návratnosti investic na základě ušetřených ročních nákladů na úsečnicku při náhradě úsečnicků v odpínači. Tyto sestávají z těchto položek:

- N_1 – náklady na manipulaci v rozvodnách,
- N_2 – náklady na revize úsečnicků,
- N_3 – náklady na údržbu úsečnicků,
- N_4 – náklady na dopravu k úsečnickům,
- N_5 – ušlý hrubý zisk za nedodanou energii při provozních manipulacích,
- N_6 – ušlý hrubý zisk za nedodanou energii při poruchách.

Návratnost vložených investic T pak bude:

$$T = \frac{A - B}{N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6} \quad (1)$$

kde A – cena odpínače s dálkovým ovládaním,
 B – cena běžného úsečnicku 22 kV.

Je však zcela zřejmé, že toto zjednodušené ekonomické hledisko nemůže být bráno jako jediné. Velký důraz by měl být kladen na provozní hledisko, zejména na rozlehlost oblastí VN sítí, nedostupnost či špatnou dostupnost jednotlivých úsečnicků, přítomnost dlouhých odboček s velkými odběry, které mají na svém počátku často manipulovaný úsečnick. V další řadě také třeba zohlednit dlouhé trasy horským terénem nebo lesními porosty, kde často dochází k zemním spojení, a toto je nutno složitě vyhledávat rozpojováním kmenového vedení s předchozí manipulací na rozvodně [2].

1.2 Klasické rozhodovací hodnocení

Nejjednodušším způsobem je porovnání předností a nevýhod jednotlivých alternativ, což představuje prosté konstatování, zda z hlediska jednotlivých kritérií alternativy vyhovují nebo nevyhovují. Podle tohoto hodnocení je nejlepší alternativou ta, která splňuje největší počet kritérií. Na závažnost kritérií se při tomto způsobu hodnocení nehledí, a to je také nevýhodou tohoto způsobu.

Spolehlivější je způsob bodového hodnocení. Při tomto hodnocení se u každé alternativy konstatuje, do jaké míry plní jednotlivá kritéria. Pro určení míry plnění se použije číselná stupnice. Dosažené body v plnění jednotlivých kritérií se pro každou alternativu sečtou. Nejlepší je alternativa s maximálním počtem bodů.

Způsob váhového hodnocení je ještě objektivnější. Počet bodů, který určitá alternativa dosahuje při plnění některého kritéria, je dán součinem váhy kritéria a dosaženým počtem bodů při plnění tohoto kritéria.

Je však nutné si uvědomit, že vybraná alternativa může mít své nevýhody v nedostatečném plnění některých kritérií a že je nelze odstranit výhodami v jiném směru.

1.3 Multikriteriální analýza

Multikriteriální analýza (MCA), jak již název napovídá, se zabývá vyhodnocováním jednotlivých alternativ podle více kritérií. Termínem „alternativa“ označujeme každé řešení z výběrové sestavy. „Kritérium“ je vlastnost, kterou u dané alternativy posuzujeme. Každému kritériu je přiřazena váha, která vyjadřuje důležitost jednotlivých kritérií vzhledem k ostatním. V dalším budou popsány dvě metody MCA: analýza ideálních bodů (IPA) a analýza shody a neshody (CDA).

Počátečním krokem každé analýzy MCA je sestavení vyhodnocovací matice, jejíž prvky odrážejí pro každou alternativu hodnocení jednotlivých kritérií. Matice S je tedy tvořena prvky S_{ij} kde $i = 1, \dots, I$ alternativ a $j = 1, \dots, J$ kritérií [1], [2].

Vyhodnocovací matice:

$$S = \begin{pmatrix} S_{11} & \dots & S_{1J} \\ \dots & \dots & \dots \\ S_{J1} & \dots & S_{JJ} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Jelikož jednotlivá hodnocení většinou nejsou poměřována stejnými jednotkami, je nutné provést standardizaci matice na normalizovaný tvar. Pro případ, kdy vyšší hodnocení kritéria znamená také lepší hodnocení (t.j. 1 = max, 0 = min), můžeme standardizaci zapsat následovně:

$$e_{ij} = \frac{S_{ij} - \min_i S_{ij}}{\max_i S_{ij} - \min_i S_{ij}} \quad (3)$$

V opačném případě, kdy vyšší hodnocení znamená horší hodnocení (t.j. 1 = min, 0 = max), bude standardizace následující:

$$e_{ij} = \frac{\max_i S_{ij} - S_{ij}}{\max_i S_{ij} - \min_i S_{ij}} \quad (4)$$

1.4 Analýza ideálních bodů (IPA)

Analýza ideálních bodů je založena na odchylce mezi souborem ideálních řešení a souborem efektivních řešení. Ačkoli ideální řešení jistě téměř neexistuje, slouží jako důležitý referenční vzor. Nejlepší kompromisní řešení se stanoví jako to řešení, které je nejméně vzdáleno od ideálního. Narůstající vzdálenost od ideálního řešení pro činitele umístěné na stupnici důležitosti výše, vyvolá větší postih, než narůstající vzdálenost od ideálního řešení pro činitele umístěné na stupnici důležitosti níže. Model IPA lze zapsat následovně:

$$\min d = \sum_{j=1}^J W_j \cdot (1 - e_{ij}) \quad (5)$$

kde $\min d$ je minimální vzdálenost od ideálního řešení,

W_j – j -tá váha kritéria,

e_{ij} – standardizované hodnocení.

1.5 Analýza shody a neshody (CDA)

Analýza shody a neshody je založena na porovnání alternativ výběru po dvojicích. Měří stupeň, kterým alternativy výběru a váhy faktorů potvrzují nebo vyvracejí vzájemný poměr mezi alternativami. Rozdíly ve váhách faktorů a hodnocení kritérií jsou pomocí postupů shody a neshody analyzovány odděleně.

Index shody alternativy A s alternativou B je definován jako podíl součtu vah těch kritérií, pro která je hodnocení A větší, nebo rovno hodnocení B a součtu vah všech kritérií. Pro index shody tedy platí:

$$C_{AB} = \frac{\sum W_j \text{ pro } e_{Aj} \geq e_{Bj}}{\sum W_j} \quad (6)$$

Index neshody alternativy A s alternativou B je definován jako podíl, kde číselník je roven maximálnímu rozdílu vážených hodnocení, pro které je hodnocení A menší než hodnocení B a jmenovatel je roven maximálnímu rozdílu vážených hodnocení všech alternativ pro kritérium vykazující maximální hodnotu výše definovaného číselníku. Index neshody můžeme tedy zapsat:

$$D_{AB} = \frac{D1}{D2} = \frac{\max_j (W_j \cdot e_{Bj} - W_j \cdot e_{Aj}) \text{ pro } e_{Aj} < e_{Bj}}{\max_i W_m \cdot e_{im} - \min_i W_m \cdot e_{im}} \quad (7)$$

kde $m = j$ při $D1 = \max$.

Celkový index shody alternativy A získáme jako součet všech indexů shody alternativy A vzhledem ke všem ostatním:

$$C_A = \sum_{j=1}^J C_{Aj} \quad (8)$$

Celkový index neshody alternativy A získáme jako součet všech indexů neshody alternativy A vzhledem ke všem ostatním:

$$D_A = \sum_{j=1}^J D_{Aj} \quad (9)$$

Naším cílem je seřadit jednotlivé alternativy podle maximálního indexu shody a minimálního indexu neshody. Výsledné hodnocení dané alternativy získáme takto:

$$CDA_i = I - C_i + D_i \quad (10)$$

Alternativy seřadíme podle rostoucí hodnoty CDA .

1.6 Srovnání metod analýzy IPA a CDA

Metoda IPA je závislá na váhách kritérií tak, že i pouze jediné vysoké hodnocení alternativy pro kritérium s vysokou vahou řadí tuto alternativu na začátek souboru řešení. U metody CDA řešení závisí jednak na vážených hodnoceních, a jednak na váhách samotných. Za výhodu metody CDA tedy můžeme považovat její oddělený postup, kdy indexem shody jsou nejdříve vyhodnocovány váhy kritérií na základě porovnání nevážených hodnocení a indexem neshody jsou vyhodnocována vážená hodnocení jednotlivých alternativ. Analýza ideálních bodů je oproti analýze shody a neshody jednodušší. Chceme-li rozšířit soubor alternativ, stačí pouze určit pro nové alternativy vzdálenost od ideálního řešení a zařadit je do stávajícího souboru řešení. Pro metodu CDA je nutno provést nový výpočet, protože dochází k porovnání všech alternativ vzájemně. Co se tedy vhodnosti použití obou metod týče, jeví se metoda IPA vhodná spíše v počátku rozpracování daného problému, jako orientační řešení. Metoda CDA je značně složitější, a proto je vhodná pro závěrečné rozhodování s důrazem na objektivitu finálního řešení [1], [3], [4].

1.7 Další metody MCA

Jako další vhodné metody multikritériální analýzy využitelné v elektroenergetice se jeví například metoda WSA (metoda váženého součtu) a metoda TOPSIS (metoda minimalizace vzdálenosti od ideální vzdálenosti). Tyto metody pracují na podobných principech jako výše uvedené metody IPA a CDA a jsou prozatím ve stádiu zkoumání.

2. Odpínače venkovních distribučních sítí s komorovým zhášením

Venkovní odpínače se velmi dobře osvědčily v sítích VN v západní Evropě při dlouholetém nasazení jako úsekové odpínače díky spolehlivosti a provozní bezpečnosti. Typy FL jsou vybaveny zhášecí komorou v izolačním krytu odolném vůči povětrnostním vlivům, pracují na olejovém zhášecím principu s rychlým vypínáním i zapínáním. Slouží ke spínání obvodů při zatížení, tzn. mohou spínat a vypínat provozní proudy až do velikostí jmenovitých vypínacích proudů. Nejsou konstruovány pro vypínání proudů zkratových, ale jsou schopny po určitou dobu zkratový proud převádět. Jejich hlavní předností je však možnost jejich doplnění o systém dálkového ovládní [2].

Výhody těchto odpínačů:

- možnost manipulace za běžných provozních stavů (pod zatížením) až do jmenovitých hodnot proudů,
- komfortnost obsluhy – mohou odpadnout přídatné manipulace s vypínači na rozvodnách,
- spolehlivost zařízení, bezpečnost provozu,
- schopnost po určitou dobu převádět zkratový proud,
- dokonalá povrchová úprava proti korozi,
- nemožnost vzniku mezifázového zkratu i při bočním větru,
- životnost mechanismu ověřená na min. 2000 cyklů,
- nenáročnost na údržbu a revizi, je zaručena bezrevizovost zhášecí komory po dobu 10 let.

U odpínačů vybavených dálkovým ovládním se k výhodám dříve uvedeným přidávají další:

- možnost manipulace z dispečinku pomocí rádiového signálu, odpadá přímý kontakt obsluhy se zařízením, což je výhodné zejména u komplikované dostupných či vzdálených odpínačů,
- terminály, umístěné přímo na sloupu odpínače zaručují měření napětí, proudů, teploty a mnoha dalších údajů a přenos těchto údajů formou VKV signálu do centrálního počítače na dispečinku.

3. Systémy dálkového ovládání

3.1 Systém SADS

Je orientován pro dálkové ovládání a monitorování rozsahem malých energetických rozvodných a napájecích objektů, jako např. dálkově ovládaných automatických úsekových odpínačů a spínacích stanic VN/VN. Může být buď autonomní na úrovni rajónního dispečinku (RD) energetiky, nebo umožňuje začlenění ke stávajícímu rozsahem vyššímu řídicímu systému na RD jako subsystém.

Systém SADS je tvořen (obr. 1):

- centrální jednotkou na bázi PC s periferiemi,
- komunikační jednotkou pro připojení na základnovou radiostanici a ke kabelovým sdělovacím cestám,
- podřízenými terminály automatických odpínačů (TAO), kde ovládaným spínacím prvkem venkovní sítě je automatický odpínač s komponenty,
- rozšířenými podřízenými terminály pro rozsahem malé spínací stanice VN/VN.

Komunikace je umožněna v radiové hvězdicové síti, také po kabelové sdělovací cestě v liniovém, hvězdicovém uspořádání nebo v kombinaci. Zabezpečení je zajištěno kódováním redundantním kódem, HW a SW filtrací, speciální konstrukcí modemových obvodů, zpětnovazebním potvrzováním. Použitý druh radiostanice je libovolný, doposud realizace s radiostanicemi VR21 – 80 MHz, Motorola – 450 MHz, AEL – 330 MHz, Grundig MT118. Komunikaci po radiové síti může být vyhrazen zvláštní kmitočet nebo může ovládání úsečníků probíhat na pozadí fónického provozu již vybudovaných energetických radiových sítí. Základní rozsah ovládaných bodů je do 194, lze rozšířit na maximální rozsah 14 x 194 ovládaných bodů.

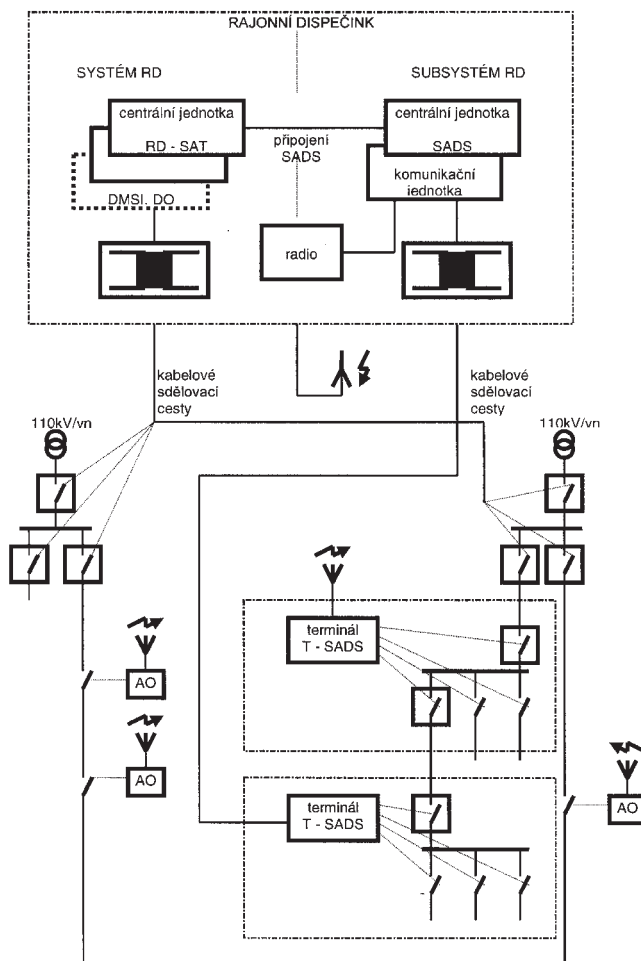
3.2 Systém Dribo

Pracuje na základě radiové sítě vybudované na stanicích Motorola a programovatelných modulů ULTRAc, které byly vyvinuty speciálně pro spolupráci s radiovými stanicemi Motorola. Tyto stanice pracující ve fónickém nebo datovém provozu. Kmitočet lze volit dle požadavku v pásmech 66 až 88 MHz, 116 až 132 MHz, 146 až 174 MHz, 403 až 433 MHz a 438 až 470 MHz.

Systém dálkového ovládání odpínačů ve vysokonapěťových distribučních sítích 22 kV (případně 38 kV) je určen k řízení a sledování stavu těchto prvků. Sestává z centrálního dispečerského stanoviště (CDS), radiové sítě a jednotlivých dálkově ovládaných stanic (DOS). Tímto systémem je možno dálkově ovládat také další prvky, kterými jsou například odpojovače a výkonové vypínače v sítích VN.

Závěr

Z důvodu rostoucích nároků na kvalitu elektrické energie roste nutnost zvyšovat také spolehlivost dodávky elektrické energie. Nasazením automatických odpínačů místo běžných klasických úsečníků dochází ke zrychlení manipulací, a s tím související zkrácení doby poruchy v síti. Při rozhodování o místech nasazení těchto prvků v sítích vysokého napětí je nejvhodnější využít multikriteriální analýzy. Obě metody MCA byly již aplikovány v některých lokalitách Severomoravské energetiky, a. s. Při řešení byla použita následující kritéria: vzdálenost úsečníku od obvodové poruchové služby, počet manipulací provozních, počet manipulací při poruše, nedostupnost, zatížení linky v místě úsečníku, nezbytnost manipulace při vyhledávání poruch, nedodaná energie při výpadku, návratnost vynaložené investice. Z rozboru provozu distribuční sítě vysokého napětí řízené dálkově ovládanými odpínači vyplývá jednoznačně pokles celkové roční doby výpadku elektrické energie, což se projeví i v průměrné době trvání jednoho výpadku. Zvyšuje se tak významně spolehlivost dodávky elektrické energie odběratelům.



Obr. 1

Literatura

- [1] KREJČÍ, P.: Řešení spolehlivosti dodávky elektrické energie v oblasti s dálkově ovládanými prvky v sítích vysokého napětí. Doktorská disertační práce. Ostrava 2001.
- [2] GURECKÝ, J.: Optimalizace řízení sítí vn dálkově ovládanými úsečníky. Doktorská disertační práce. Ostrava, 1998.
- [3] HRADÍLEK, Z., GURECKÝ, J., KREJČÍ, P.: Spolupráce při zavádění a optimalizačním zhodnocení automaticky řízených úsečníků s komorovým zhášením ve venkovních sítích 22 kV SME. Závěrečná zpráva HS 400 291/2000. VŠB-TU, Ostrava 2000.
- [4] HRADÍLEK, Z., GURECKÝ, J., KREJČÍ, P.: Metody multikriteriální analýzy pro nasazování dálkově ovládaných prvků v sítích SME, a. s. Závěrečná zpráva úkolu HS 410 326/VŠB-TU, Ostrava 2001.

Článek je publikován v rámci řešení výzkumného záměru CEZ: J17/98: 272 400014.

prof. Ing. Zdeněk Hradílek, DrSc.

VŠB-TU Ostrava, FEI
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, ČR
Tel.: +420/597 321 235
e-mail: zdenek.hradilek@vsb.cz

Ing. Petr Krejčí, PhD.

VŠB-TU Ostrava, FEI
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, ČR
Tel.: +420/597 324 556
e-mail: petr.krejci@vsb.cz

36