

Zdenek Hradílek¹, Stanislav Rusek²

SPOLEHLIVOST ELEKTRICKÝCH SÍTÍ V ČR

Abstrakt: Tento příspěvek se zabývá řešením spolehlivosti elektrických sítí v ČR. Je popsána stručná historie spolehlivostních výpočtů. Dále se příspěvek zabývá klasickou metodou výpočtu spolehlivosti dle ČEZ a současným pojetím spolehlivosti tj. globálními ukazateli spolehlivosti.

Klíčová slova: spolehlivost, globální ukazatele, spolehlivostní schéma

1. Úvod

Výpočet spolehlivosti napájení elektrickou energií je v současné době stále více žádán. Provádí se výpočty spolehlivosti elektrických sítí a jejich částí, výpočty spolehlivosti v místě připojení odběratelů a další spolehlivostní výpočty. Dá se říci, že spolehlivostní výpočty se již provádějí v celém rozsahu elektroenergetiky tj. výrobní jednotky, přenos a rozvod elektrické energie i spotřeba elektrické energie.

Spolehlivosti v elektroenergetice se v České republice věnuje pozornost teprve asi třicet let. O skutečných spolehlivostních výpočtech je možno hovořit až od roku 1980.

2. Historie spolehlivostních výpočtů v ČR

Výpočty spolehlivosti mají dvě základní fáze. Nejdříve je nutno získat hodnověrná vstupní data pro výpočet spolehlivosti a dále pak provést samotný spolehlivostní výpočet.

Pro získání vstupních dat tzv. empirické spolehlivosti je nutno mít k dispozici údaje o poruchách a výpadcích. Mají-li být vstupní spolehlivostní údaje hodnověrné, je nutno mít k dispozici databázi poruch a výpadků za několik let.

V bývalém Československu byl centrálně zavedený systém sledování poruchovosti od roku 1975. Centrálně byly sledovány údaje o poruchách prvků a výpadcích v dodávce elektrické

¹ VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, tel. +420 69 699 1235, e-mail: zdenek.hradik@vsb.cz;

² VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, tel. +420 69 699 4377, e-mail: stanislav.rusek@vsb.cz;

cké energie. Toto sledování bylo prováděno do roku 1990. Tato databáze za 15 let pak sloužila se stanovení základních spolehlivostních údajů prvků pro spolehlivostní výpočty.

Základní metodika výpočtu spolehlivosti elektrických sítí byla vypracována v roce 1980 na Českých energetických závodech (ČEZ). tato metodiky vycházela ze základní metody spolehlivostních schémat. Novinkou této metodiky bylo, že do výpočtů byly zahrnuty údržbové prostoje. Dále tato metodika umožňuje výpočet tzv. studené rezervy tj. paralelního prvku, který není v provozním stavu, ale do provozního stavu se manipulací dostane po poruše prvku základního. Pro tyto přednosti je modifikovaná forma této metodiky používána i v současné době.

Od konce 70. let se spolehlivostní výpočty elektrických sítí prováděly i podle dalších metod : metody stromu poruch, Markovových procesů, simulačních metod.

V 90. letech 20. století s novým pohledem na energetiku, začíná i nová éra ve spolehlivostních výpočtech. Spolehlivost elektrických sítí se vztahuje k zákazníkovi, tedy k odběrateli elektrické energie. Začínají se vyčíslovat tzv. globální ukazatele spolehlivosti.

Také metody výpočtu se stále rozvíjejí a velmi často se v současné době používají vedle klasických metod simulační metody výpočtu spolehlivosti. Na katedře elektroenergetiky VŠB-TU Ostrava byl vyvinut program SPOLEH, který pracuje na principu metody Monte Carlo a který se používá pro výpočet spolehlivosti elektrických sítí všech napěťových hladin. Pro omezený rozsah tohoto příspěvku, nelze provést popis této metody.

Se samostatností jednotlivých regionálních energetických akciových společností zanikla centrální evidence poruch a výpadků. Každý regionální společnost sledovala poruchovost vlastním způsobem. V polovině 90. let už bylo jasné, že údaje o poruchách je nutno znovu centralizovat, aby vzniklá databáze měla statistickou významnost.

Bylo tedy nutno sjednotit sledování poruchovosti a výpadků jednotlivých energetických společností, na čemž se výrazně podílela naše katedra. Dá se říci, že od počátku roku 2001 jsou na našem pracovišti shromažďovány a vyhodnocovány údaje o poruchách a výpadcích z většiny energetických společností České republiky.

3. Klasické metody výpočtu spolehlivosti

Mezi klasické metody výpočtu spolehlivosti patří základní metoda spolehlivostních schémat. Tato metoda pracuje se základními spolehlivostními veličinami.

3.1 Základní spolehlivostní veličiny

Nejběžnějším vyjádřením spolehlivosti je:

- | | |
|--|--------------------------------|
| – intenzita poruch | λ [rok ⁻¹] |
| – střední doba trvání poruchy | τ [h] |
| – pravděpodobnost bezporuchového chodu | R [-] |
| – pravděpodobnost poruchy | Q [-] |
| – střední doba mezi poruchami | t_s [h] |

Intenzita poruch se vyjadřuje v počtu poruch za jednotku času (u zařízení v elektroenergetice zpravidla za rok). Střední doba trvání poruchy se udává v hodinách nebo ve dnech.

Pravděpodobnost bezporuchového chodu a pravděpodobnost poruchy se udává jako poměrné číslo (desetinný zlomek) nebo je udávána v procentech. Tyto hodnoty jsou vztaženy na dobu, za kterou se pravděpodobnost určuje.

Střední doba mezi poruchami se udává ve dnech nebo rocích a je to poměr celkové doby provozu k celkovému počtu poruch za tuto dobu. Střední doba mezi poruchami je úměrná převrácené hodnotě intenzity poruch.

Tyto klasické ukazatele spolehlivosti se používají hlavně při spolehlivostních výpočtech, kdy jsou známy spolehlivostní ukazatelé jednotlivých prvků spolehlivostního schématu a provádí se výpočet výsledné spolehlivosti celého systému.

3.2 Metoda výpočtů spolehlivosti ČEZ

Tato metodika je vlastně aplikací základní metodiky spolehlivostních schémat, která je důsledně aplikována na elektroenergetické systémy. Oproti klasické metodice spolehlivostních schémat má tato metodika následující výhody:

- uvažuje údržbové prostoje,
 - umožňuje do výpočtu zahrnout i manipulace, uvažuje tedy s tzv. studenými rezervami.
- Při výpočtu se uvažují tyto provozní stavy :

- provoz,
- poruchový prostoje,
- údržbový prostoje.

Tyto stavy jsou vyjádřeny následujícími spolehlivostními veličinami :

λ_p ... intenzita poruch [rok^{-1}]

τ_p ... střední doba poruchy [h]

λ_U ... intenzita údržby [rok^{-1}]

τ_U ... střední doba údržby [h]

Předpoklady a zjednodušení, které tato metodika využívá:

- neuvažuje se vliv počasí na intenzitu poruch a oprav,
- uvažuje se exponenciální rozdělení distribuční funkce dob poruch a oprav pro všechny prvky elektrické sítě,
- vychází se z průměrných údajů.

Metodika umožňuje výpočet spolehlivosti prakticky všech druhů elektrických sítí. Základem této výpočtové metody spolehlivosti je řešení dílčích spolehlivostních zapojení dvou prvků. Definována jsou tři zapojení:

- sériové zapojení,
- paralelní zapojení (horká rezerva),
- paralelní zapojení s manipulací (studená rezerva)

Sériové zapojení prvků

Při výpočtech spolehlivosti nazýváme sériovým spojením takové spojení elementů, při kterém porucha jediného elementu způsobí poruchu celého systému. Sériové spojení v uvedeném smyslu nesouhlasí vždy s fyzicky realizovaným spojením elementů.

Dále se předpokládá, že poruchy elementů jsou nezávislé, tj. že porucha libovolné skupiny elementů nemá vliv na pravděpodobnostní charakteristiky ostatních elementů. Element je

zde chápán jako jeden samostatný díl sériového spojení. Tento může být tvořen různým spojením jednodušších dílů.

Pro toto zapojení stanovuje tato metodika výsledné hodnoty intenzity poruch, intenzity údržby, střední doby poruch a střední doby údržby.

Paralelní zapojení prvků - horká rezerva

Tento typ zapojení je vlastně klasické paralelní zapojení dvou prvků. V případě poruchy jednoho prvku, okamžitě přebírá funkci prvek druhý. Metodika stanovuje výsledné matematické vztahy pro intenzitu poruch a střední dobu poruchy.

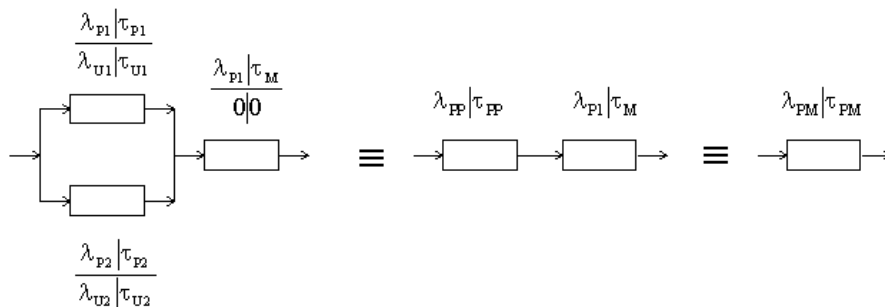
U tohoto zapojení se nepočítají hodnoty intenzity údržby a střední doby údržby, protože se z provozního hlediska nepředpokládá, provádění údržby na všech prvcích paralelního zapojení současně.

Paralelní zapojení prvků - studená rezerva

Při tomto zapojení je předpoklad, že poruchy elementů se projeví okamžitě po jejich vzniku. Přitom se počítá s tím, že přepínač je absolutně spolehlivý a že indikace poruchy je věrohodná. Kromě toho se předpokládá, že během přepnutí na zálohu nebudou vznikat žádné přechodové stavy narušující správnou funkci systému.

Při tomto zapojení musí být do výpočtu zahrnut manipulační čas. Vychází se z úvahy, že v provozu je prvek 1 a při jeho poruše se po manipulaci uvede do provozu prvek 2 a toto zapojení opět plní svou funkci.

Toto paralelní zapojení je nahrazeno sérioparalelním spolehlivostním schématem. Na obr. 3.1 je toto zapojení znázorněno i s příslušnými parametry.



Obr. 3.1

Zapojení studené rezervy je zde nahrazeno zapojením horké rezervy, ke kterému je připojen sériový prvek s nulovými údržbovými parametry a za poruchové parametry se dosadí P1 a M, což je manipulační čas. Doba přepínání je brána jako porucha sériového prvku. Intenzita přepínání („poruch sériového prvku“) je tedy stejná jako intenzita poruch prvku, který zálohujeme. Střední doba trvání poruchy je pak dobou manipulace.

Základní metodika spolehlivostních schémat se v oblasti elektroenergetiky téměř nepoužívá. Dá se říci, že se výhradně používá uvedená metodika ČEZu, která je modifikací základní metody spolehlivostních schémat, protože základní metoda spolehlivostních schémat neuvažuje údržbové prostoje a do výpočtů nelze zahrnout manipulační čas.

4. Globální ukazatele spolehlivosti dodávky elektrické energie

Metody výpočtu spolehlivosti dodávky elektrické energie obvykle vedou k určení spolehlivosti dodávky elektrické energie v určitém bodě (nebo více bodech) elektrické sítě. Aby bylo možno vyčíslit spolehlivost dodávky elektrické energie do určené oblasti musí být použity tzv. globální ukazatele spolehlivosti dodávky elektrické energie.

Tyto globální ukazatele vychází z doporučení mezinárodní organizace UNIPED. V České republice vypracovala odborná skupina „Spolehlivost“ při ČK (český komitét) CIRED materiál s názvem „Metodika určování spolehlivosti dodávky elektrické energie a prvků distribučních soustav“, na jehož tvorbě jsem se podílel. V rámci tohoto materiálu jsou definovány i globální ukazatele spolehlivosti elektrické energie.

Globální ukazatele spolehlivosti dodávky jsou tyto:
četnost výpadků (počet výpadků/rok/odběratele),
celková doba trvání všech výpadků (min/rok/odběratele),
doba trvání jednoho výpadku (min/výpadek).

Tyto ukazatele doporučené pro tento účel UNIPED charakterizují střední průměrnou spolehlivost dodávky a její důsledky z pohledu odběratele. Budou využívány především ve vztahu k poradenským firmám, regulačnímu orgánu i vzájemnému porovnání mezi rozvodnými energetickými akciovými společnostmi (dále jen REAS).

Ve vztahu k běžným odběratelům jsou však důležité meze, ve kterých se tyto ukazatele v REAS (nebo v její některé části) pohybují a rozdělení jejich četnosti.

Předmětem sledování jsou ve smyslu EN 50160 události s trváním delším než 3 minuty (tzv. dlouhá přerušení dodávky). Kratší jevy patří do oblasti elektromagnetické kompatibility (EMC) a jejich sledování tato směrnice neřeší.

Pro výpočet globálních ukazatelů spolehlivosti dodávky elektrické energie je nutno mít ke každé události (výpadku) následující údaje :

- T_0 Datum a čas začátku události (poruchy).
- T_1 Datum a čas začátku manipulací.
- T_2 Datum a čas konce manipulací pro vymezení poruchy.
- T_3 Datum a čas obnovení dodávky v úseku ovlivněném událostí.
- T_4 Datum a čas konce události, tj. čas obnovení schopnosti zařízení plnit svou funkci.
- T_z Datum a čas zemního spojení
- P_1 Výkon v čase T_0 v kVA. Pro výpočet nedodané energie se P_1 považuje za výkon nedodávaný (instalovaný) v čase od T_0 do T_1 .
- P_2 Výkon v čase T_2 v kVA. Pro výpočet nedodané energie se P_2 považuje za výkon nedodávaný (instalovaný) v čase od T_2 do T_3 , v čase od T_1 do T_2 se uvažuje střední hodnota z P_1 a P_2 .
- D_1 Počet distribučních stanic bez napětí v čase T_0 .
- D_2 Počet distribučních stanic bez napětí v čase T_2 .
- Z_1 Počet zákazníků bez napětí v čase T_0 .
- Z_2 Počet zákazníků bez napětí v čase T_2 .

Jsou tři základní přístupy ke stanovení globálních ukazatelů spolehlivosti dodávky z distribučních sítí vyvolaných nahodilými nebo plánovanými přerušeními dodávky:

- důsledky výpadku se vztahují na počet odběratelů postižených výpadkem,
- důsledky výpadku se vztahují na nedodaný výkon (instalovaný nebo deklarovaný),
- důsledky výpadku se vztahují na počet postižených stanic nebo transformátorů.

Předpokládá se, že pro účely meziročního srovnávání může libovolný zvolený přístup zajistit dostatečnou přesnost. Z hlediska dlouhodobějšího sledování navržených ukazatelů (vztahujících se k odběrateli) je však třeba, postupně přecházet ke sledování počtu postižených odběratelů.

Ukazatelé se vypočtou podle jednoho z níže uvedených způsobů pro jednotlivé napětěové hladiny. Ve vyhodnocení musí být uvedeno, jakého postupu bylo při výpočtu použito. Jedna událost v distribuční soustavě může vést k několika výpadkům, které postihnou některé nebo všechny původně postižené odběratele, v některých případech však i další odběratele. Ve výpočtu ukazatelů se musí uvážit všechny relevantní výpadky a jejich důsledky pro odběratele.

Dále bude proveden rozbor varianty omezení odběratelů. Je to varianta, kdy se zaznamenává nebo se může stanovit odhadem počet postižených odběratelů a doba trvání výpadku.

Pro tuto variantu platí následující vztahy :

Četnost výpadků G

$$\lambda_G = \frac{\sum_j n_j}{N_s} \quad [\text{vypadek} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (4.1)$$

Souhrnná doba trvání všech výpadků vztahena na jednoho odběratele GV

$$\tau_{GV} = \frac{\sum_j (n_j \cdot t_j)}{N_s} \quad [\text{min} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (4.2)$$

Doba trvání jednoho výpadku tG

$$\tau_G = \frac{\sum_j (n_j \cdot t_j)}{\sum_j n_j} \quad [\text{min} \cdot \text{vypadek}^{-1}] \quad (4.3)$$

- N_j počet odběratelů ve skupině postižených odběratelů j [-]
 T_j střední doba trvání výpadku pro odběratele skupiny j [min]
 N_s celkový počet zásobovaných odběratelů [-]

Střední doba tj je určena následujícím vztahem :

$$t_j = \frac{Z_1(T_1 - T_0) + (Z_1 + Z_2) \cdot (T_2 - T_1) / 2 + Z_2(T_3 - T_2)}{Z_1} \quad (4.4)$$

Filosofie vztahu (4.4) je následující :

- Střední doba výpadku je vztahena na všechny postižené odběratele Z tj. na odběratele, kteří byli postiženi na začátku události (Z_1 je největší počet postižených odběratelů během dané události, nepředpokládá se, že by v průběhu manipulací počet postižených odběratelů vzrostl).
- Výraz v čitateli stanoví časové omezení zákazníků a je rozdělen do tří částí.
- První část je doba od vzniku poruchy do počátku manipulací. V této době je postiženo nejvíce odběratelů tj. Z_1 .
- Druhá část je doba manipulací až do vymezení poruchy. V této době se předpokládá, že počet postižených odběratelů se postupně snižuje z hodnoty Z_1 na hodnotu Z_2 .

Vztah (4.4) předpokládá, že snižování počtu postižených odběratelů je časově lineární.

- Třetí část je doba od vymezení poruchy do úplného obnovení dodávky elektrické energie. V této době je postiženo Z_2 odběratelů.

Nedojde-li při vymezení poruchy ke změně počtu postižených odběratelů, je doba výpadku rovna rozdílu časů $T_3 - T_0$.

Tyto globální ukazatelé spolehlivosti, které se v současné době používají však mají souvislost s klasickými spolehlivostními ukazateli. Ze známých klasických ukazatelů spolehlivosti a počtu odběratelů v jednotlivých uzlech je možno vypočítat globální spolehlivostní ukazatele.

5. Závěr

Spolehlivostní výpočty jsou v oblasti elektrických sítí stále běžnější záležitostí. Vyjadřování spolehlivosti dodávky elektrické energie je podmínkou v podmínkách liberalizovaného trhu s elektrickou energií.

V současné době se vztahu k odběrateli elektrické energie vyčísľují globální ukazatele spolehlivosti. Existuje ovšem souvislost mezi klasickými a globálními spolehlivostními ukazateli.

Spolehlivost jednotlivých prvků elektroenergetické soustavy, která je v některých případech dnes zanedbávána, je ovšem stejně důležitá jako globální ukazatele. Pro sledování jak globální tak i prvkové spolehlivosti je nutná co nejuplněnější databáze poruch a výpadků, která umožňuje vyčísľit globální i prvkové spolehlivostní ukazatele.

Zvláště pro spolehlivostní výpočty sítí, které ještě reálně neexistují je nutno použít metod výpočtu, které potřebují vstupní spolehlivostní údaje jednotlivých prvků.

Literatura

- [1] **Rusek S. – Procházka K.** : *Metodika určování spolehlivosti dodávky elektrické energie a prvků distribučních soustav*, Sborník přednášek konference ČK CIRED s. 4/16 – 4/20 Tábor 1999
- [2] **Rusek S.** : *Spolehlivost elektrických sítí*, Monografie. VŠB TU Ostrava 2001, ISBN 80-7078-847-X
- [3] **Rusek S.** : *Globální ukazatelé spolehlivosti*, Zborník přednášok „I.Mezinárodní vedecké sympóziem Elektroenergetika 2001“ s. 99 - 103 Vysoké Tatry – Stará Lesná 2001, ISBN 80-88922-34-B

RELIABILITY OF ELECTRICAL NETWORK IN CR

This contribution deals with the solution of electrical network reliability in Czech Republic. A brief history of reliability evaluation is described. The contribution further deals with the classical method of the reliability evaluation according to ČEZ and with today's reliability conception, i. e. global reliability indices.