

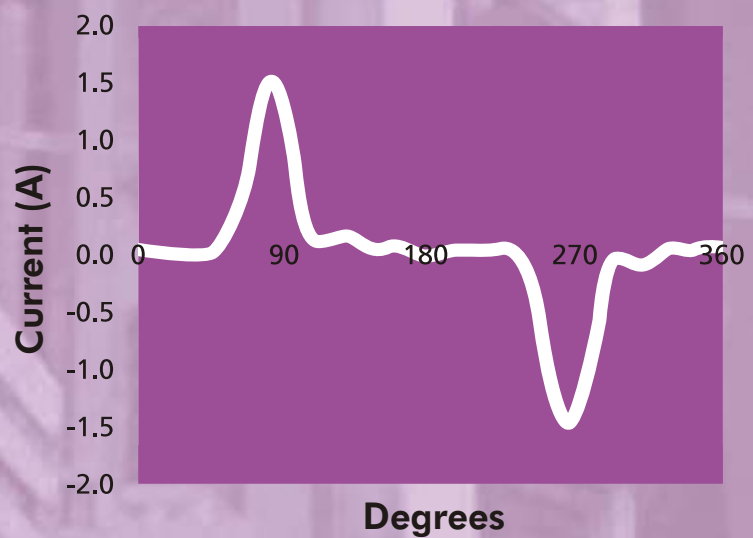
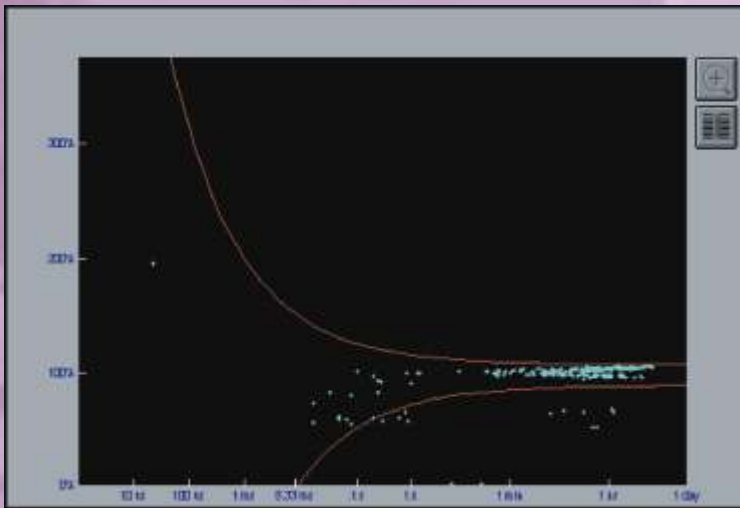
Kvalita elektrické energie - průvodce



Leonardo da Vinci

Úvod

1.1



EUROPEAN
COPPER
INSTITUTE

Úvod

Úvod

Kvalita elektrické energie - úvod

David Chapman, Copper Development Association, Velká Británie

Překlad: Josef Gavlas, Miloslav Kužela, Pavel Santarius, FEI Technická univerzita Ostrava
Březen 2001

Hungarian Copper Promotion Centre (HCPC)

HCPC je nezisková organizace financovaná producenty mědi a výrobci zpracovávajícími měď. Jejím cílem je podporovat používání mědi a měděných slitin a napomáhat jejich správné a účinné aplikaci. Služby HCPC, mezi něž patří i poskytování informací a technického poradenství, jsou dostupné zájemcům o využití mědi ve všech oborech. Sdružení rovněž slouží jako prostředník mezi výzkumnými organizacemi a průmyslovými uživateli a udržuje těsné styky s obdobnými střediskami mědi ve světě.

European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute je organizací založenou podporujícími členy ICA (International Copper Association) a IWCC (International Wrought Copper Council). ECI zastupuje největší světové producenty mědi a přední evropské výrobce při propagaci mědi v Evropě. ECI, který byl založen v roce 1996, se opírá o síť deseti národních organizací mědi (Copper Development Associations - 'CDAs') v Beneluxu, Francii, Německu, Řecku, Maďarsku, Itálii, Polsku, Skandinávii, Španělsku a Spojeném království. Navazuje na činnost sdružení Copper Products Development Association založeného v roce 1959 a INCRA (International Copper Research Association) založeného v roce 1961.

Upozornění

Obsah tohoto materiálu nemusí nutně vyjadřovat názor Evropského společenství a není pro něj ani závazný. European Copper Institute a Hungarian Copper Promotion Centre odmítají odpovědnost za jakékoliv přímé, nepřímé či vedlejší škody, které mohou být způsobeny nesprávným využitím informací v této publikaci.

Copyright© European Copper Institute a Copper Development Association.

Česká verze byla připravena ve spolupráci HCPC a Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB - Technické Univerzity Ostrava.

Reprodukce je možná za předpokladu, že materiál bude otištěn v nezkrácené podobě a s uvedením zdroje.



HUNGARIAN COPPER PROMOTION CENTRE

Hungarian Copper Promotion Centre
Képiró u. 9.
H - 1053 Budapest
Maďarsko
Tel.: 00 36 1 266 4810
Fax: 00 36 1 266 4804
Email: hpcp.bp@euroweb.hu
Website: www.hpcpinfo.org



VŠB - TU Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky
17. listopadu 15
CZ 708 33 Ostrava-Poruba
Tel.: +420 597324279
Fax: +420 596919597
Email: pavel.santarius@vsb.cz
Website: <http://homen.vsb.cz/~san50/>



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium
Tel.: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org

Úvodní informace ke kvalitě elektrické energie

Elektrická energie je asi nejdůležitější komoditou v dnešní době využívanou v průmyslu a obchodě. Jedná se přitom o komoditu zvláštní povahy, kterou nelze v masovém měřítku skladovat a nelze tudíž ani před použitím prověřovat její kvalitu. Je tedy typickým příkladem přístupu 'Just in Time', kdy jsou komponenty dodávány přímo do výrobního procesu v patřičném okamžiku a na patřičném místě důvěryhodným a osvědčeným dodavatelem, aniž by bylo třeba je kontrolovat. Má-li být tento přístup úspěšný, je nutné, aby byly správně formulovány požadavky na jednotlivé komponenty, aby dodavatel byl schopen komponenty vyrobit a dodat podle požadavků a včas a aby výrobce měl představu o závislosti celého výrobního procesu na jednotlivých komponentech.

S elektřinou je to podobné, musí být známa spolehlivost dodávky a schopnost dodavatele reagovat na změny. Ve skutečnosti je ale těžké nalézt obdobný případ; elektřina se vyrábí daleko od místa spotřeby, je dodávána do sítě na více místech a na místo určení se dostává přes několik transformátorů a mnoho kilometrů venkovních, případně kabelových vedení. Tam, kde byla provedena privatizace, jsou jednotlivé části elektrizační soustavy ve vlastnictví různých organizací, které samostatně zajišťují jejich provoz. Garantovat kvalitu elektrické energie v místě dodávky není snadný úkol - a nelze zajistit, aby elektřina, která nemá požadované parametry, byla stažena z elektrizační soustavy nebo aby ji odběratel mohl odmítnout.

Z hlediska odběratele je to dokonce ještě složitější. Jsou sice dostupné určité statistické údaje o kvalitě dodávané elektrické energie, ale přijatelná úroveň kvality z pohledu dodavatele může být dosti odlišná od toho, co požaduje (nebo si třeba přeje) odběratel. Klasickým případem poruchy je úplné přerušení dodávky (což může trvat od několika sekund až po několik hodin) a poklesy napětí, kdy napětí krátkodobě poklesne na nižší hodnotu. Je samozřejmé, že dlouhé přerušení dodávky má závažné důsledky pro všechny odběratele, ale řada výrobních procesů je velice citlivá i na velmi krátké přerušení. Příkladem těchto výrobních procesů jsou:

- nepřetržitá výroba, kde při krátkém přerušení dodávky může dojít k narušení synchronizace strojů a tím znehodnocení velkého množství materiálu. Typickým příkladem je papírenský průmysl, kde případné čištění výrobní linky je časově i finančně náročný proces.
- vícestupňová dávková výroba, kde přerušení dodávky v jednom procesu může zničit hodnoty vytvořené v předchozích operacích. Příkladem tohoto typu výrobního procesu je polovodičový průmysl, kde je k výrobě destiček potřeba několik desítek operací během několika dní a porucha v průběhu byť i jediného procesu má katastrofální následky.
- zpracování dat, kde hodnota prováděné transakce je vysoká, ale cena vlastního zpracování je nízká, například devizové operace nebo obchody s akciemi. Nemožnost obchodovat může mít za následek velké ztráty, které značně převyšují náklady na prováděnou operaci. Příkladem z nedávné doby může být požadavek na odškodnění ve výši 15 miliónů euro za škodu způsobenou přerušením dodávky na dvacet minut.

*Spolehlivost
napájení
musí být
známá
a přizpůsobivost
napájecího
systému vůči
změnám
v napájení
musí být
jasná.*

Kvalita elektrické energie - úvod

To jsou příklady nejzranitelnějších výrobních procesů, ale je překvapivé kolik zdánlivě obyčejných operací má docela náročné požadavky na dodávku elektrické energie. Příkladem jsou třeba obchodní řetězce s pokladnami, sklady vybavené počítači a výrobní závody s distribuovaným řízením.

Takže, co vlastně znamená "kvalita elektrické energie"? V ideálním případě je dodávaná elektrická energie vždy dostupná, je vždy v předepsaném rozsahu napětí a kmitočtu a má čistě sinusový průběh. Jaké odchylky od ideálního stavu lze tolerovat, závisí na tom, o jaký typ výrobního procesu se jedná, jaké zařízení se používá a jaké má odběratel požadavky.

Zhoršení kvality elektrické energie - odchylky od ideálního stavu - lze rozdělit do pěti kategorií:

*Ideální systém
napájení
elektrickou
energií je
takový, který
vždy zajišťuje
dodávku
proudu s
odpovídajícím
napětím,
frekvencí a bez
deformací.*

harmonické zkreslení	(Část 3. průvodce)
přerušeni dodávky	(Část 4. průvodce)
podpětí nebo přepětí	(Část 5. průvodce)
poklesy napětí a rázové napětí	(Část 5. průvodce)
přechodné děje	(Část 5. a 6. průvodce)

Každý z těchto jevů má jinou příčinu. Některé z nich jsou způsobeny společně používaným zařízením. Například porucha v síti může zapříčinit pokles napětí, který postihne některé odběratele, a čím vyšší je úroveň, ve které se porucha vyskytne, tím vyšší je i počet postižených, nebo porucha u jednoho odběratele může mít za následek vznik přechodného děje, který postihne všechny ostatní odběratele v dané části soustavy. Jiné problémy, například harmonické zkreslení, mají původ v samotném zařízení instalovaném u odběratele a mohou se (ale nemusí) šířit sítí a tak postihnout další odběratele. Problémy s harmonickými lze omezit jednak vhodným návrhem vlastního zařízení a jednak použitím patřičného kompenzačního a filtračního zařízení.

Dodavatelé elektrické energie tvrdí, že uživatelé s vysokými nároky na kvalitu elektrické energie musí nést sami náklady na její zajištění, že nelze očekávat, že by dodavatelé zajistili velmi vysokou spolehlivost dodávky pro každého odběratele v každém místě soustavy. Zaručit takovou vysokou kvalitu dodávané elektrické energie by vyžadovalo značné investice do sítí, které by ale představovaly přínos pro relativně málo odběratelů (hovoří se o počtu, nikoli o spotřebě) a byly by neohospodárné. Je rovněž otázkou, zda by to bylo technicky proveditelné v daném společenském a legislativním klimatu, kdy kterýkoli odběratel má nárok na připojení a distribuční společnosti mají právo provádět výkopové práce, které mohou poškodit kabelová vedení. Povětrnostní vlivy, například silné větry a namrzající déšť, mají často za následek poškození venkovních vedení, jejichž oprava je vzhledem k výše zmíněné situaci rovněž obtížná a časově náročná. Je tedy na odběrateli, aby přijal opatření, která zajistí dostatečnou kvalitu elektrické energie dodávané do výrobního procesu, čímž se zcela jasně dává najevo, že tato úroveň může být vyšší než úroveň kvality elektrické energie dodávané do výrobního závodu dodavatelem.

Existuje celá řada dostupných technických řešení, která mohou odstranit nebo omezit problémy s kvalitou dodávané elektrické energie, a je to oblast, ve které jde vývoj kupředu rychlým tempem. Odběratelé proto musí mít představu o dostupných řešeních a jejich kladech, jakož i o nákladech s tím spojených. Další části této příručky se detailně věnují jednotlivým problémům a jejich možným řešením.

Kvalita elektrické energie - úvod

Spotřebitelé jsou postaveni před rozhodnutí, jaký typ připojení a v jakém rozsahu pořídit. Některé podstatné informace bohužel nejsou k dispozici - rozsah a závažnost problémů týkajících se kvality elektrické energie, které lze očekávat v určitém místě, jsou převážně neznámé. Vzhledem k velice málo publikovaným statistikám mohou odběratelé jen velmi obtížně určit náklady způsobené výpadkem dodávky a prokázat tak oprávněnost předběžných opatření. Této problematice se blíže věnuje část 2. průvodce. Například ve Spojeném království jsou jedinými dostupnými daty počet a průměrná délka trvání přerušení dodávky delších než jedna minuta, uváděných dodavatelem. V letech 1998/99 mohl každý odběratel očekávat průměrně jedno přerušení dodávky o délce asi 100 minut každých 15 měsíců, což představuje pohotovost 99,98 %. Bohužel jsou to právě ty 0,02 %, které působí problémy. Uváděné údaje o provozu většiny dodavatelů se blížily jejich historicky nejlepším hodnotám, nejlepší a nejhorší z nich 50 % a 200 % průměru, takže současná situace je pravděpodobně na nejlepší dosažitelné úrovni při respektování kritéria hospodárnosti. Také je potřeba brát v úvahu skutečnost, že se tyto údaje týkají pouze přerušení dodávky delších než jedna minuta a že je mnoho přerušení v délce od 0,1 do 5 sekund. Škody způsobené takovým přerušením mohou být stejně velké jako v případě hodinového výpadku.

Problematika krátkodobých přerušení dodávky a poklesů napětí zdůrazňuje rozdílnost pohledů dodavatele a odběratele. Jsou to, jak vyplývá už z jejich názvu, jevy o velmi krátkém trvání, takže pokud není k dispozici nějaké stále monitorující zařízení, je obtížné prokázat samu existenci přerušení dodávky. A dokonce ještě obtížnější je přiřadit k dané události finanční ztrátu. Dodavatel elektrické energie hodnotí přerušení dodávky spíše jako náklady na nedodanou elektrickou energii, zatímco spotřebitel jej hodnotí jako ztrátu tržeb v důsledku přerušení výroby. Elektrina je poměrně levná a přerušení dodávky poměrně krátké, zatímco ztráta ve výrobě může být značná (jako v případě polovodičů) a skutečné přerušení výroby kvůli vyčistění výrobní linky velmi dlouhé (jako v případě papírenského průmyslu). Obě strany mají naprosto odlišný pohled na závažnost poklesů napětí a na oprávněnou úroveň investic do patřičného zařízení.

Delší přerušení dodávky se obvykle přičítají dodavateli, ale mohou být rovněž způsobeny poruchou v zařízení odběratele, ve vodičích a spojích. Pečlivě navržené zařízení může následky těchto jevů omezit. Cílem je nalézt místa náchylná k poruchám a tyto kritické body odstranit pomocí dodatečného zařízení nebo náhradních tras pro dodávku elektrické energie tak, aby bylo možné zajistit zásobování i v případě poruchy. Pak i obsluha takových systémů je jednodušší. Důležité je předem stanovit patřičnou strategii. Záložní generátory a akumulátory, které jsou nutné pro krytí krátkodobých a dlouhodobých výpadků, jsou základními prvky soustavy, která je schopna pružně reagovat na změny. Problematikou se blíže zabývá Část 4. průvodce.

Zatímco většina poklesů napětí a přerušení dodávky má původ v oblasti přenosu a rozvodu a zodpovídá za ně dodavatel, za harmonické zkreslení je téměř vždy zodpovědný odběratel. Jsou to harmonické proudy, které jsou příčinou problémů v zařízení odběratele, a když tyto proudy tečou zpět přes impedanci napájecí sítě, vzniká harmonické napětí. Toto zkreslení napětí, nebo alespoň jeho složky, se šíří sítí a zvyšuje tak nepříznivý vliv zkreslení křivky napětí, které se vyskytuje v každé síti (způsobeného například vlivem nelinearity transformátorů). Díky tomu, že odběratelé musí učinit opatření omezující výskyt harmonických proudů, se úroveň zkreslení křivky napětí dodávané elektrické energie pohybuje v přijatelných mezích.

*Klient je
odpovědný
za přijímání
takových
opatření,
aby byla
zajištěna
dodávka
elektrické
energie
v dostatečně
vysoké kvalitě.*

Mezní hodnoty ve většině zemí vycházejí z britských elektrotechnických předpisů (v současnosti G5/4, který je pokračováním G5/1), které jsou pak aplikovány v evropských normách (například EN 50 160). Tyto předpisy stanoví dovolené hodnoty zkreslení křivky napětí, které se za posledních čtyřicet let ve velké většině případů ukázaly jako vyhovující. Určení zdroje harmonického zkreslení může být obtížné a proto odběratelé často svalují vinu na dodavatele. Ve skutečnosti jsou problémy s harmonickými jen výjimečně způsobeny vnějšími vlivy - příčina je téměř vždy v zařízení používaném odběratelem a v jeho vlastních rozvodech. Část 3. průvodce podrobně rozebírá příčiny harmonického zkreslení a jeho možná řešení.

Přechodné děje jsou jevy o vysokém kmitočtu s velmi krátkou dobou trvání. Mezi příčiny patří spínací manipulace nebo údery blesku do vedení a připínání indukivní zátěže v rozvodech uživatele nebo rozvodech ve stejné části sítě. Amplitudy napětí při přechodných dějích mohou dosahovat řádově tisíců voltů, takže může dojít k poškození jak rozvodů, tak připojeného zařízení. Dodavatelé elektrické energie a telekomunikační společnosti se snaží zajistit, aby se skutečně škodlivé přechodné děje nemohly šířit k odběratelům. Přesto i zdánlivě neškodný přechodný děj může vést ke ztrátě dat a způsobit tak velké škody. Vznik a následky přechodných dějů může omezit kvalitní uzemňovací systém, který má více svodů a zemniců a zajišťuje nízkou impedanci ve velkém rozsahu kmitočtů. Uzemňovacím systémům se věnuje Část 6. průvodce.

Problémy s kvalitou elektrické energie kladou projektantům řadu otázek, nejzávažnější z nich asi je "Jaká je dostačující úroveň opatření?". Na tuto otázku se nedá odpovědět. Je poměrně snadné chování určitého zařízení v závislosti na poklesech napětí, ale určit, jaký bude mít vliv pokles napájecího napětí v určitém místě, je mnohem obtížnější, poněvadž situace se stále mění díky připojování nových odběratelů a výměně částí zařízení. Téměř nemožné je získat nějaké použitelné údaje, které se týkají citlivosti zařízení na zkreslení křivky napětí či dokonce na zkreslení harmonického proudu vyvolaného zařízením. Skutečná otázka je tedy kompatibilita mezi zařízením a zdrojem.

Existují mezinárodní normy, které stanoví povolené rozmezí napětí a povolené zkreslení křivky napětí, při nichž by zařízení mělo bezchybně fungovat. Stejně tak existují normou stanovené mezní hodnoty odchylky napětí a zkreslení křivky napětí pro zdroje. Teoreticky by tedy mělo být určité bezpečné rozpětí mezi těmito dvěma mezními hodnotami, ale protože kvalitativní ukazatele zdroje se těžko dají soustavně měřit, mezní hodnoty pro zdroje jsou stanoveny pouze s určitou pravděpodobností.

Pro dosažení dobré kvality dodávané elektrické energie je nezbytný dobrý návrh zařízení, účinné kompenzační a filtrační zařízení, spolupráce s dodavatelem, časté sledování provozních parametrů a dobrá údržba. Jinými slovy, je nezbytný komplexní přístup a dostatečná znalost problematiky kvality elektrické energie. Cílem této příručky je poskytnout potřebné informace.

*Kvalitní
projekty se
schopností
pružně
reagovat
mohou
minimalizovat
následky
selhání
vybavení, vedení
a prvků
v systému.*

Evropská střediska promoce mědi

Země Benelux

Copper Benelux
Avenue de Tervueren 168
B-1150 Brussels
Belguim

Tel: 00 32 2 777 7090
Fax: 00 32 2 777 9099
Email: mail@copperbenelux.org
Website: www.copperbenelux.org

Contact: Mr. B Dóme - Director

Francie

Centre d' Information du Cuivre et Latons
30 Avenue de Messine
F - 75008 Paris

Tel: 00 33 1 42 25 25 67
Fax: 00 33 1 49 53 03 82
Email: centre@cuiivre.or
Website: www.cuiivre.org

Contact: Mr. P Blazy - Ředitel

Německo

Deutsches Kupfer- Institut e.V
Am Bonneshof 5
D - 40474 Dusseldorf

Tel: 00 49 211 4796 300
Fax: 00 49 211 4796 310
Email: info@kupferinstitut.de
Website: www.kupferinstitut.de

Contact: Dr W Seitz - Ředitel

Řecko

Hellinic Copper Development Institute
74 L Riankour Str
GR - 115 23 Athens

Tel: 00 30 1 690 4406-7
Fax: 00 30 1 690 4463
Email: info@copper.org.gr

Contact: Mr D Simopoulos - Ředitel

Česká republika, Maďarsko, Polsko

Hungarian Copper Promotion Centre
Képiró u. 9.
H - 1053 Budapest
Maďarskov

Tel: 00 36 1 266 4810
Fax: 00 36 1 266 4804
Email: hcpc.bp@euroweb.hu

Contact: Mr R Pintér - Ředitel

Itálie

Istituto Italiano del Rame
Via Corradino D'Ascaino 1,
I - 20142 Milano

Tel: 00 39 02 89301330
Fax: 00 39 02 89301513
Email: ist-rame@wirenet.it
Website: www.iir.it

Contact: Mr V Loconsolo - Ředitel

Polsko

Polish Copper Promotion Centre Sa
Pl. 1 Maja 1-2
Pl - 50 - 136 Wroclaw

Tel: 00 48 71 78 12 502, 78 12 383
Fax: 00 48 71 78 12 504
Email: copperpl@wroclaw.top.pl

Contact: Mr P Jurasz - Ředitel

Skandinávie

Scandinavian Copper Development Association
Kopparbergsvägen 28
S - 72188 Västeras Sweden

Tel: 00 46 21 19 86 20
Fax: 00 46 21 19 80 35
Email: scda.info@outokumpu.fi
Website: www.scda.com

Contact: Mrs M Sundberg- Ředitelka

Španělsko

Centro Espanol de Informacion del Cobre
Princesa 79
E - 28008 Madrid

Tel: 00 34 91 544 8451
Fax: 00 34 91 544 8884
Email: cedic@pasanet.es

Contact: Mr. J.R. Morales - Ředitel

Velká Británie

Copper Development Association
Verulam Industrial Estate
224 London Road
St Albans
Hertfordshire AL1 1AQ

Tel: 00 44 1727 731200
Fax: 00 44 1727 731216
Email: copperdev@compuserve.com
Website: www.cda.org.uk & www.brass.org

Contact: Mrs A Vessey - Manažer



David Chapman



**HUNGARIAN COPPER
PROMOTION CENTRE**

Hungarian Copper Promotion Centre
Képiró u. 9.
H - 1053 Budapest
Magarsko
Tel.: 00 36 1 266 4810
Fax: 00 36 1 266 4804
Email: hpc.bp@euroweb.hu
Website: www.hpcinfo.org



VŠB - TU Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky
17. listopadu 15
CZ 708 33 Ostrava-Poruba
Tel.: +420 597324279
Fax: +420 596919597
Email: pavel.santarius@vsb.cz
Website: <http://homen.vsb.cz/~san50/>



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belguim
Tel.: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org