

Kvalita elektrické energie - průvodce

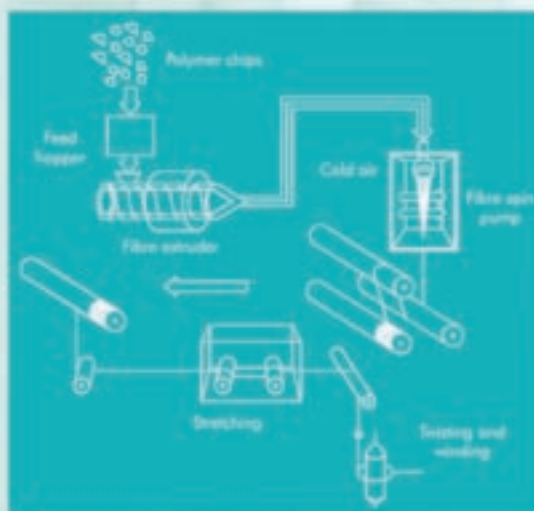


Poruchy napětí-průvodce

Poklesy napětí v nepřetržitých procesech

- Případová studie

5.5.1



HUNGARIAN COPPER
PROMOTION CENTRE



Poruchy napětí-průvodce

Poruchy napětí

Poklesy napětí v nepřetržitých procesech - Případová studie

DiplIng Marcel Dideen, Katholieke Universiteit Leuven, June 2003

Překlad: Josef Gavlas, Miloslav Kužela, Pavel Santarius, FEI Technická univerzita Ostrava, prosinec 2003

Tento průvodce byl zpracován a vydán jako část Leonardo Power Quality Initiative (LPQI), Evropského vzdělávání a cvičebních programů za podpory Evropské komise (pod programem Leonardo da Vinci) a Mezinárodní Asociací Mědi. Pro další informace navštivte www stránky LPQI www.lpqi.org.

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.

Fakulta elektrotechniky a informatiky VŠB Technická univerzita Ostrava (FEI - TUO)

Fakulta elektrotechniky a informatiky zahájila svou činnost na VŠB Technické univerzitě v Ostravě od 1. ledna 1991. Fakulta zajišťuje všechny formy vysokoškolského studia (tj. bakalářské, magisterské a doktorské) ve studijním programu Elektrotechnika a informatika s ucelenou strukturou elektrotechnických oborů a inženýrské informatiky. Nedílnou součástí činnosti pedagogů na fakultě je i vědecko-výzkumná činnost, kde jedním z nosných programů je kvalita elektrické energie s hlavním zaměřením na problematiku monitorování parametrů kvality a na problematiku harmonických v elektrických sítích.

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.: 00 361 266 4810
Tel.: 00 361 266 4804
E-mail: hpcp@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
Tel.: +420 596919597
E-mail: pavel.santarius@vsb.cz
Website: 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

Poklesy napětí v nepřetržitých procesech - Případová studie

Úvod

Tato část popisuje případovou studii poklesů napětí v Belgii. Jeden z průmyslových procesů, známý pro svou citlivost, je průtlačné lisování umělých hmot v textilním průmyslu. V tomto procesu se taví plastické úlomky, transformují se na vlákna a konečně navíjejí na válce. Tato vlákna se používají např. na výrobu koberců. Belgie je největší vývozce koberců na světě a druhý největší výrobce po USA.

Abychom získali jasnou představu o velikosti problému s poklesy napětí v belgických firmách s průtlačným lisováním, byl proveden průzkum u 9 uživatelů tohoto procesu. Bylo zjištěno, že průměrný počet přerušení výroby za rok v důsledku poklesu napětí byl 4.

Na základě důkladného auditu v jedné z těchto společností byly popsány následující tři tématické okruhy:

- výrobní proces
- finanční ztráta v důsledku nuceného zastavení výroby a konfigurace elektrické sítě
- možné řešení jak snížit škody, z hlediska technického i ekonomického

Problémová analýza

Zkoumána firma vykonává 3 procesy, které jsou citlivé na poklesy napětí: bytnění nekonečného vlákna (Bulk Continuous Filament-BCF), nekonečné vlákno (Continuous Filament-CF) a tepelná úprava vlákna. V tomto dokumentu zkoumáme chování procesu BCF.

Výrobní proces

Obr.1 ukazuje hlavní podproces na BCF lince s průtlačným lisováním, která vyrábí textilní vlákna z polymerových úlomků.

Rozlišujeme následující kroky:

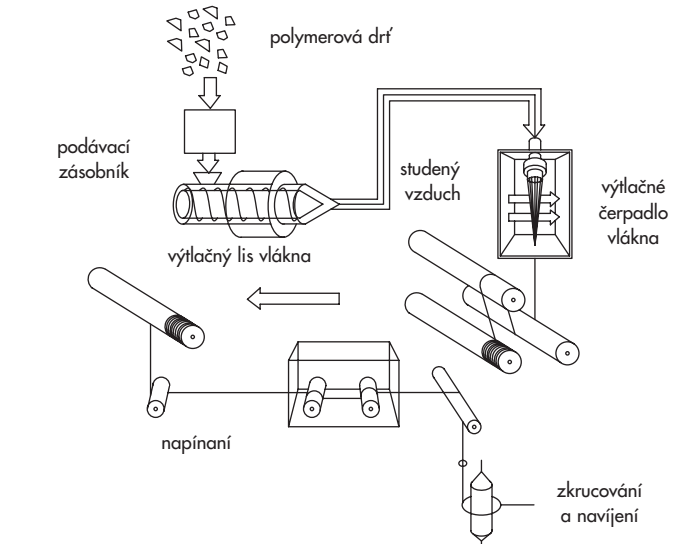
- výtlačný lis taví úlomky na homogenní substanci
- homogenní substance se zatlačí do přístroje s malými otvory (nazývané výtlačné čerpadlo), odkud vychází vlákno (tavné protlačování)
- nakonec se vlákno roztahuje, zkrucuje a navíjí na cívky.

K zabezpečení každého ze zmíněných procesů se používá několik pohonů.

Už z pohledu na specifikaci pohonů a z komunikace s výrobcí jsme dospěli k zajímavému závěru. Všechny pohony používané ve vybrané textilní společnosti pocházejí od různých výrobců a mají svou vlastní charakteristiku imunity vůči napěťovým poklesům.

Obecně, tato úroveň imunity významně nepřesahuje kompatibilní úroveň 90% (přídržné napětí) stanovenou technickou normou EN 50160.

Pokud se jeden z komponentů vypne v důsledku napěťových poklesů, celý proces se přeruší. To znamená, že nejslabší článek určuje chování v průběhu procesu vůči napěťovým poklesům a každý komponent se musí zkoumat samostatně.



Obr.1 - Textilní proces s průtlačným lisováním

Poklesy napětí v nepřetržitých procesech

Výrobci textilních protlačných lisovacích strojů také nabízejí výrobní linky s jednoznačně uvedenou imunitou vůči poklesům. Tuto možnost jsme nezkoumali detailně, protože tato případová studie byla provedena na existující výrobní lince

První komponenta, výtlačný lis, je poháněn stejnosměrným motorem. Motor je vybaven analogovým řízením s měnitelnou rychlostí. Aby se chránila elektronika v pohonu, je podpěťová ochrana nastavena na velmi citlivou úroveň. Zablokuje celý proces, kdykoli zaregistruje úbytek napětí o 20% nebo více na jedné nebo více fázích.

Výtlačná čerpadla jsou vybavena pohonem s měnitelnou rychlostí. Podpěťová ochrana těchto pohonů zablokuje proces, pokud stejnosměrné napětí klesne o 15%. Odkaz (4) ukazuje, že tyto přístroje jsou vždy citlivé na 3-fázové poklesy a někdy na 1 nebo 2-fázové poklesy.

Roztahování, zkrucování a navíjení probíhá regulačními pohony, které jsou napájeny ze společné stejnosměrné sběrnice. Tyto pohony jsou vybaveny kinetickým tlumením, motory působí jako generátor během poklesu a zpátky napájejí energii stejnosměrnou sběrnici.

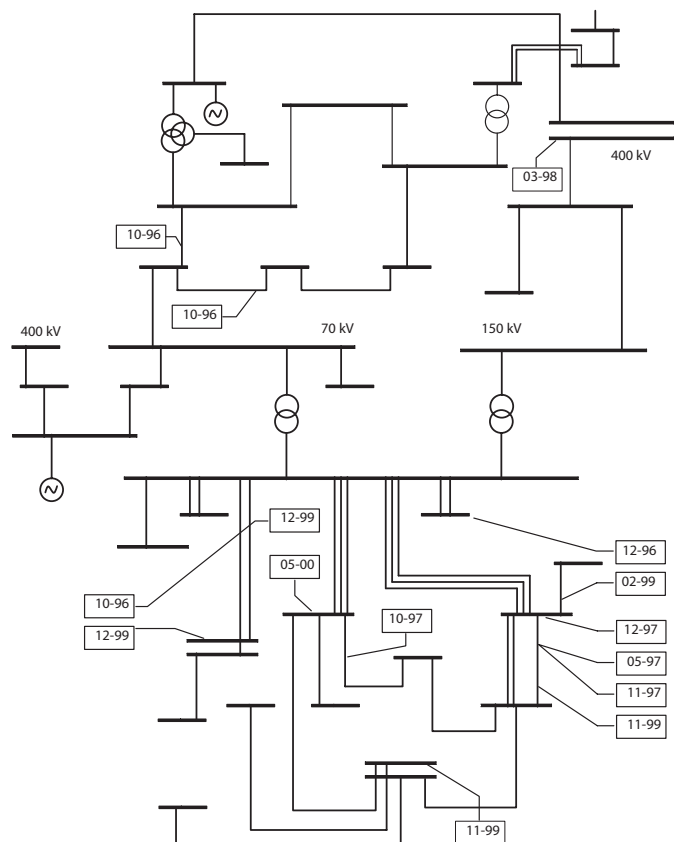
Z toho usuzujeme, že když zkoumáme metody zmírnění, musíme brát v úvahu jak pohon výtlačného lisu, tak pohon výtlačného čerpadla.

Dva další možné okruhy zájmu jsou regulace vzduchu a řízení elektronického procesu. Naše výzkumy ukáží, že tohle není nutné studovat dále detailně.

Finanční ztráty

Okamžitě po poklesu napětí, který zastaví proces, se začne s postupným restartováním výrobních linek. Podle počtu linek (obvykle 10-20) se celý proces obnoví za 2-4 hodiny. To znamená, že průměrný výpadek výroby je 1-2 hodiny. Nesníží to použití surovin během těchto 4 hodin, protože samotný výtlačný lis bude nastartován okamžitě po poklesu. Kdyby výtlačný lis nebyl okamžitě nastartován a tavený materiál by zůstal uvnitř výtlačného lisu, shořel by při opětovném zahřívání a shořené částice by vycházely postupně po několik dní, což by mělo za následek nízkou kvalitu výrobků. Náklady na takové spálení by převyšovaly náklady na vyřazení nadměrného polypropylénu po vytlačení. Dále, protože dělníci čistí přístroje sami, náklady na pracovní sílu to neovlivní.

Hlavní ovlivňující faktor, pokud jde o finanční ztráty, je, zda je nebo není výroba nepřetržitá. U nepřetržité výroby, jak je praxí v této firmě, tato ztráta během zastavení se nedá nahradit prací přesčas, a tak se ztráta ve výrobě automaticky odečítá přímo ze zisku. Ztráta se rovná hodnotě nevyrobeného produktu, jako důsledek prostoje. Pokud nejde o nepřetržitý výrobní proces, ztráta ve výrobě se dá nahradit přesčasovou prací, ale zvýší se náklady na pracovní sílu.



Obr.2 - Přehledové schéma spojení elektrické sítě
(čtverce ukazují původ místo a datum poruch)

Elektrická síť a původ škod

Obr.2 ukazuje elektrickou síť v blízkosti zkoumané firmy. Síť je realizována 3 přípojkami ke 400 kV napájecí síti (vyznačené čárkovanými linkami). Štítky ukazují místo a datumy (měsíc/rok) poruch, které vedly k přerušení procesu po dobu monitorování 3,5 roku. Můžeme vidět, že poruchy v 15 kV distribuční síti způsobují většinu zastavení výrobního procesu. Monitor poklesů napětí instalovaný na elektrickém vstupu firmy s průtlačným lisováním ukazuje, že většina poruch jsou 3-fázové poruchy. Když porovnáme přerušení výrobního procesu s výstupem monitoru poklesů napětí, vidíme, že zařízení je odolné vůči 3-fázovým poruchám, které vedou k poklesům napětí se zbytkovým napětím nad 84%. Z pohledu na výrobní specifikaci komponentů je patrné, že regulační pohony jsou skutečně slabé články tohoto procesu. Jedno z možných vysvětlení vysokého výskytu 3-fázových poruch jsou výkopové práce v přilehlém okolí.

Pásmo poruchovosti

Pojem "pásmo poruchovosti" (např./5/) se používá na vizualizaci zbytkového napětí ve firmě s průtlačným lisováním vlivem 3-fázového zkratu někde v síti. Obr.3 ukazuje toto pásmo poruchovosti pro symetrické 3-fázové zkraty. Protože právě tyto poruchy způsobují většinu přerušení výrobního procesu, nemusíme použít sofistikované klasifikace poklesů napětí jak je popsáno v /1/. Např. kabel nebo sběrníkový vodič v síti situované v šedé oblasti 50-75% naznačuje, že 3-fázový zkrat u tohoto kabelu nebo sběrníkového vodiče bude vést k poklesu napětí ve firmě s průtlačným lisováním se zbytkovým napětím mezi 50-75%.

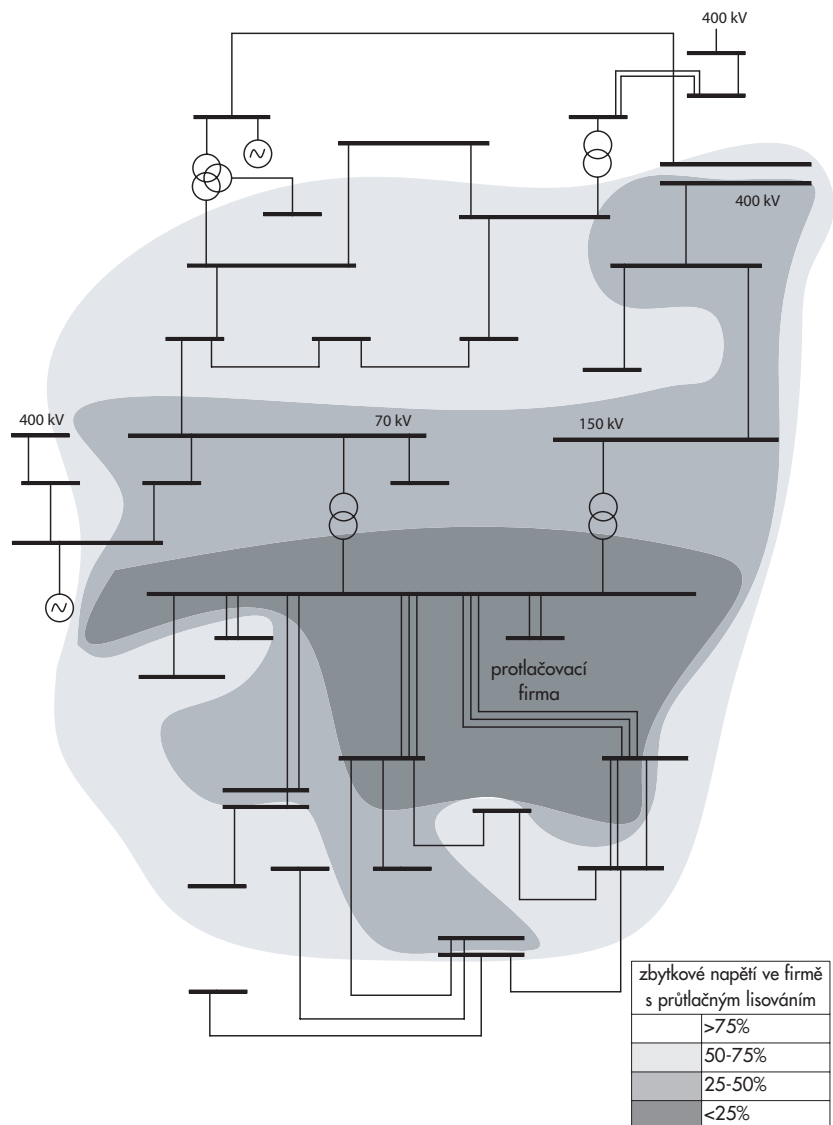
Protože pohony výtlačných lisů a pohony výtlačných čerpadel jsou citlivé na zkraty se zbytkovým napětím nižším než 75%, můžeme vyvodit závěr, že velká část distribuční sítě je situována v oblasti pásma poruchovosti firmy s průtlačným lisováním. Tohle musí být vzato v úvahu při výzkumu metod zmírnění.

Metody zmírnění

Když mluvíme o metodách zmírnění, všimněme si blokového schématu na obr.4 /5/. Na tomto obrázku jsou uvedeny 4 možnosti, které jsou zkoumány v dalších částech.

Specifikace zařízení/ochrana řízení

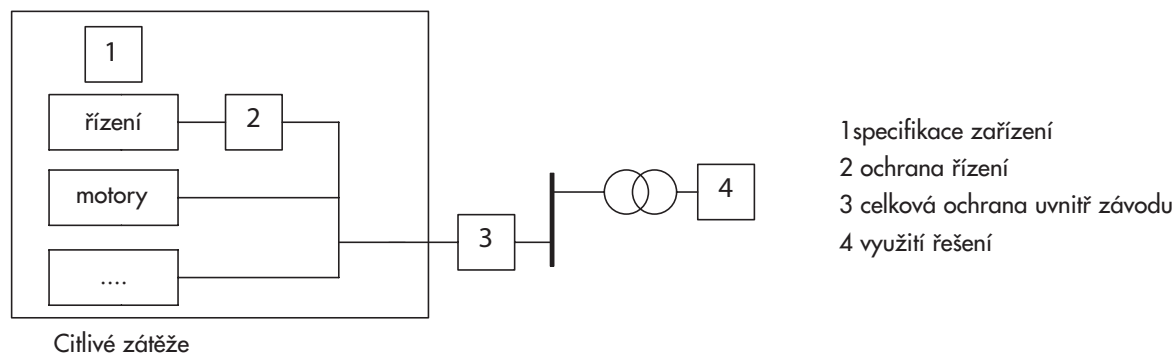
Před výměnou zařízení je důležité udělat si inventář všech částí procesu, které jsou náchylné na poklesy. Fakt, že jedna část zařízení selže jako první, neznamena, že ostatní části jsou



Obr.3 - Pásmo poruchovosti

Poklesy napětí v nepřetržitých procesech

vůči poklesům imunní, a existuje velké riziko, že když se ochrání nejslabší složka, selže nějaká jiná část zařízení. Z předchozího vyplývá, že si určitě musíme všimnout jak pohonů výtlačných lisů, tak pohonů výtlačných čerpadel. Musíme si být vědomi, že ochrana pouze těchto pohonů nezaručuje významný pokles počtu přerušení vlivem poklesů, protože nejslabšími články mohou být ostatní části instalace.



Obr.4 - Řešení jak snížit náklady v důsledku poklesů napětí [5]

Z komunikace s výrobcem pohonů výtlačných čerpadel vyplynulo, že pohon není možné upravit, protože je to analogový návrh a měnit jeho charakteristiku, jako např. nastavení ochrany, vyžaduje změny v hardware. Kvůli tomu, že stejnosměrné sběrnice regulačního pohonu není přístupná zvenčí, je nemožné podpořit tuto sběrnici, např. zesilovacím převodníkem (boost converter) [6] anebo aktivní přední částí [7]. Dále od výrobce kompletní linky s průtlačným lisováním máme informaci, že pohon se nemůže vyměnit za jiný kvůli software. Z toho vyplývá, že další výzkum v této oblasti nemá žádný význam.

Ochrana uvnitř podniku

Zkoumali jsme několik možných metod celkové nebo částečné ochrany systému. Celý systém má zdánlivý výkon 1,625 kVA. Protože 955 kVA je jenom pro účely topení, zkoumali jsme také ochranu procesu, který napájí systém. Když je chráněna jenom část systému, musí se nainstalovat přídatný statický spínač, což vede ke schématu na obr. 5.

Nejdříve jsme zkoumali použití UPS formou setrvačnicku s dieselovým motorem.

Za druhé jsme zkoumali jiné systémy, které chránily jenom proti poklesům napětí a ne proti přerušením napětí. Příklady těchto systémů jsou:

- ◆ Dynamický obnovovač napětí (DVR): DVR pouze přidává chybějící napětí v síti (např./8/).
- ◆ Dynamické sériové kondenzátory (DySC): DySC je zařízení výkonové elektroniky, které obsahuje sériový korektor poklesů a paralelní měnič, který zabezpečuje imunitu vůči napětovým poklesům s minimálním zbytkovým napětím 50% a 2s, což pokrývá 92% napětových poklesů, které byly popsány v rozsáhlé studii sponzorované EPRI [3/].
- ◆ Setrvačnick: setrvačnick bez dieselového generátoru chrání zařízení vůči všem poklesům, pokud setrvačná energie setrvačnicku může podporovat zatížení. Většina setrvačnicků může dodat jmenovité zatížení pro 3-15s, které je dostatečné na ochranu vůči všem napětovým poklesům, ale ne vůči přerušením napětí.

Nákupní ceny pro všechna výše zmíněná zařízení na zmírnění poklesů se podstatně neliší. Avšak měli bychom vzít v úvahu roční náklady na údržbu a náhradu ztrát a v tom případě má nejnižší náklady DySC. Když vezmeme v úvahu, že všechny zaznamenané poklesy měly zbytkové napětí převyšující 50%, dospějeme k závěru, že všechny výše uvedené systémy by ochránily proces proti těmto poklesům.

Zkoumali jsme také použití separátních UPS zařízení u všech pohonů. Ukázalo se, že je to daleko nákladnější než jiné možnosti vzhledem k velkému množství výkonové elektroniky.

Řešení v energetické společnosti: změnit elektrickou síť

Prostojům v procesu se můžeme vyhnout, když změním napájecí síť. Zkoumali jsme dvě možnosti:

- ♦ přidání 10 MW generátoru
- ♦ změna konfigurace sítě

Přidání generátoru podrží zbytkové napětí:

Kde

$$\Delta U = \frac{S_g}{S_k} \cdot \cos(\alpha - \phi) \cdot 100$$

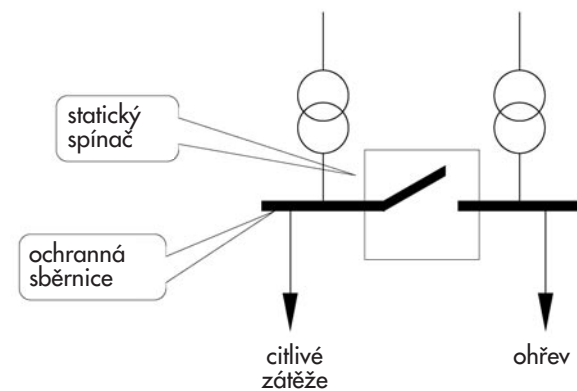
ΔU je nárůst napětí v % jmenovitého sdruženého napětí

S_g je jmenovitý výkon generátoru

S_k je zkratový výkon

α je fázový úhel zkratové impedance

ϕ je fázový úhel generátorového proudu



Druhá možnost je změnit konfiguraci sítě. U této možnosti bude podnik připojen na jiný napáječ, separovaný od okolí.

Obě možnosti jsou zobrazeny na obr.6.

Při porovnání obr.3 a obr.6a dospějeme k závěru, že přidání generátoru o výkonu 10 MW příliš nepomůže. Avšak změna konfigurace sítě (obr.6b) změní "pásmo poruchovosti a zajistí, že poklesy napětí už nebudou škodit v distribučním systému 15 kV. Další výhodou je fakt, že tato změna konfigurace nebude chránit jenom BCF proces, ale také další 2 dříve zmíněné procesy (nekonečné vlákno a tepelná úprava vlákna).

Protože úpravy sítě měly být provedeny provozovatelem sítě z jiných důvodů, jsou účtovány firmě s průtlačným lisováním pouze dodatečné náklady na oddělení 2 sběrnic.

Ekonomická analýza

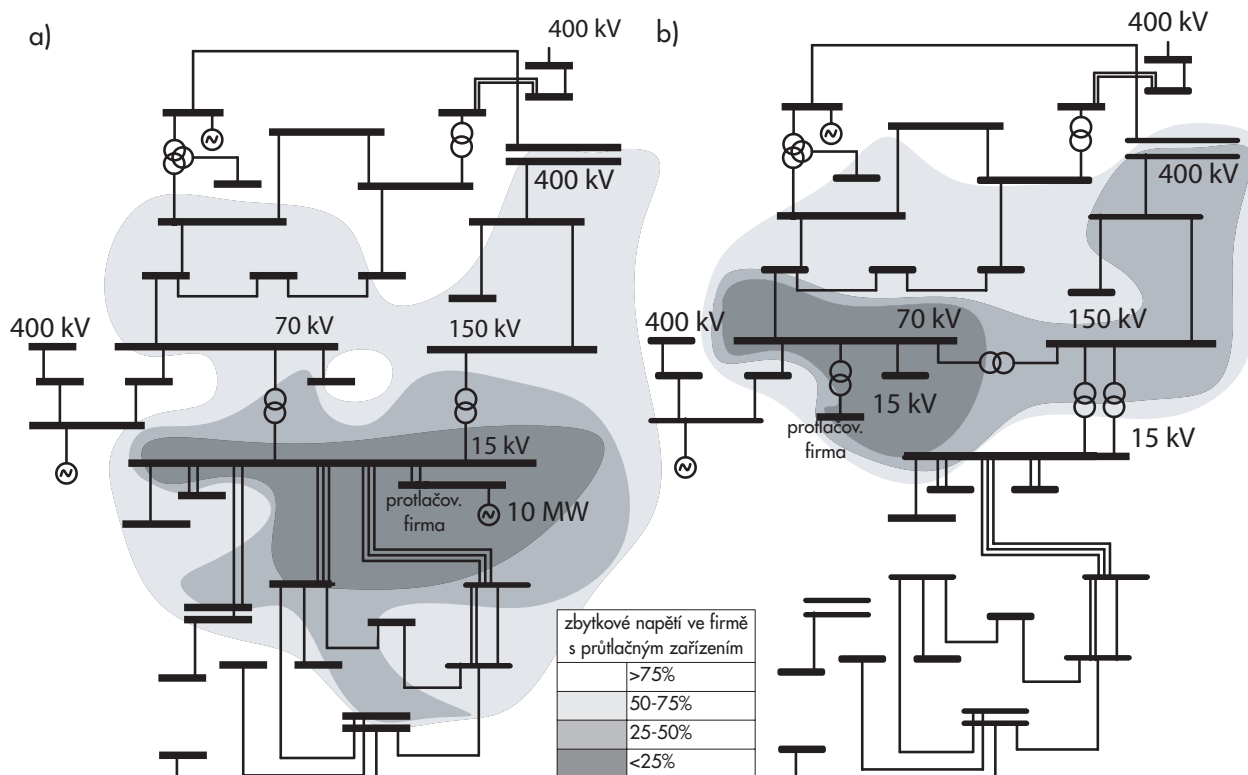
Když porovnáme různé možnosti, musíme vzít v úvahu dvoje náklady:

- ♦ náklady na ztráty způsobené poklesy napětí, nesmíme zapomenout, že dokonce i po zavedení ochranných opatření zůstává stále určité riziko
- ♦ náklady na ochranná opatření

Je-li řešení efektivní nebo ne, závisí také od toho, jaké ekonomické kritérium použijeme k hodnocení řešení. O tom více v části 2 tohoto Průvodce. Pro tuto studii použijeme metodu čisté současné hodnoty (Net Present value) s požadovanou mírou návratnosti 15% a životností zařízení 10 let.

Když kalkulujeme celkové náklady popsanych možností, získáme výsledky seřazené v Tabulce 1, ve které jsou ztrátové náklady před zmírněním normalizovány na 100. Zbývající náklady na kvalitu napětí u varianty A můžeme vysvětlit pomocí 3 poruch v přenosové síti (obr.2).

Poklesy napětí v nepřetržitých procesech



Obr.6 Pásma poruchovosti

a) Přidání 10 MW generátoru

b) Změna struktury sítě

Zbývající náklady na kvalitu napětí u variant B-E jsou náklady na nechráněné procesy (nekonečné vlákno a tepelná úprava vlákna).

Obr. 7 ukazuje, že pouze možnost, u které je změněna konfigurace sítě, je ekonomicky zajímavá z hlediska ekonomických kritérií.

Ačkoli některé společnosti zvažují horizont projektu 10 let pro takovou investici jako velmi dlouhý, tato společnost se rozhodla investovat. Byly námitky, že některé nepřímé nebo skryté náklady, které je těžko odhadnout, nejsou vzaty v úvahu v této kalkulaci. Takové náklady zahrnují např. nespokojenost pracovní síly kvůli přerušením způsobenými poklesy a rychlejší opotřebování strojů.

Pro ilustraci, že výsledek případové studie poklesů napětí závisí především na lokalitě, slouží obr.8, který ukazuje případovou studii v závodě s průtlačným lisováním plastů Elektrotek Concepts [2].

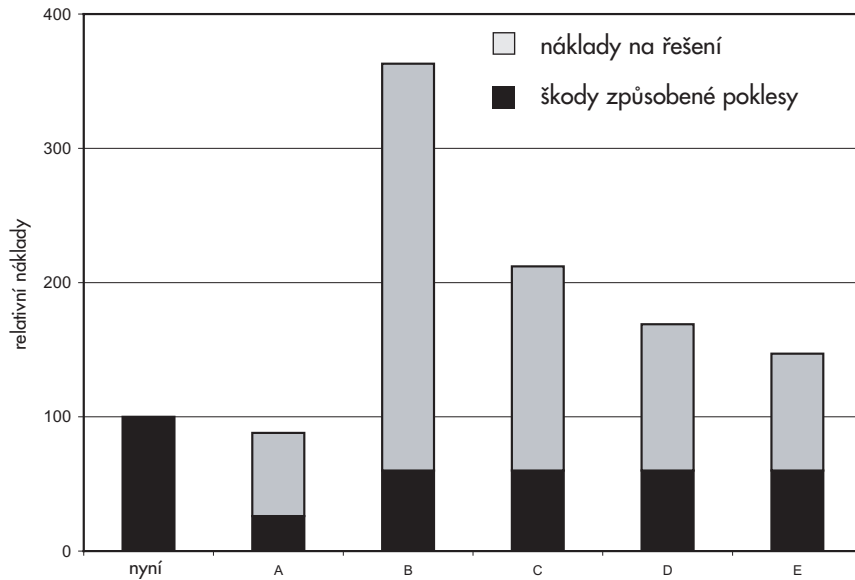
	řešení	náklady na přerušení (%)	náklady na zmírnění ¹	celkové náklady
nyní	nynější situace	100	0	100
A	restrukturalizace	26	62	88
B	UPS kompletního BCF (1,625 kVA)	60	303	363
C	UPS kompletního BCF (670 kVA)	60	152	212
D	DySC kompletního BCF (1,625 kVA)	60	109	169
E	DySC části BCF (670 kVA)	60	87	147

Tabulka 1 - Porovnání různých možností zmírnění (náklady před zmírněním jsou 100%)

¹ Tyto náklady zahrnují údržbu a pevné náklady, které činí 5% nákupní ceny ročně v případě UPS a 1% pro DySC.

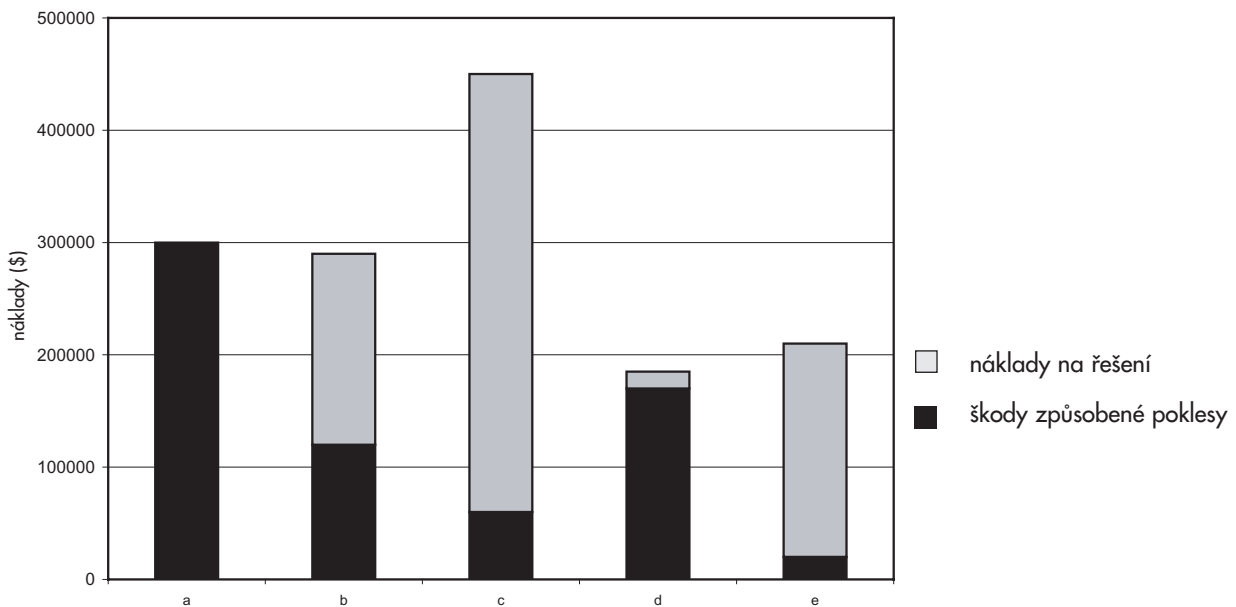
Poklesy napětí v nepřetržitých procesech

V této případové studii, kde počet ročních přerušení procesu dosahoval téměř 15, nebyla možná žádná změna konfigurace sítě. V tomto případě se ukázala nejlevnějším řešením ochrana řízení strojů a navíječek.



Obr.7 - Celkové náklady na různé varianty pro belgickou textilní společnost s procesem průtlačného lisování.

Náklady vyjádřeny v % u základního případu "nyní", viz. Tabulka 1 pro definice A-E.



Obr.8 - Celkové náklady u různých možnostech v případové studii Elektrotek Concepts [2]

a) Základní stav - žádná změna

c) Akumulátor energie na vstupu (2 MVA)

e) Kombinovaný statický spínač s ochranou regulace

b) primární statický spínač

d) ochrana regulace strojů a navíječek

Závěr

Na základě případové studie belgického textilního závodu tato část ukazuje návod jak vykonat případovou studii poklesů napětí. Shromáždili jsme informace o výrobním procesu, o jeho imunitě vůči poklesům napětí, o finanční ztrátě kvůli přerušení výroby a údaje o ročním počtu poklesů. Pokud se shromáždí takové informace, může být zahájen výzkum možností redukce nákladů na prostoje. Tyto možnosti můžeme zařadit do 3 skupin:

- ◆ unvitř samotného procesu
- ◆ mezi procesem a napájecí sítí
- ◆ uvnitř napájecí sítě

Zvýšení odolnosti mezi procesem a a napájecí sítí může být aplikováno v každé situaci, zatímco možnosti zvýšení odolnosti uvnitř procesu samotného anebo uvnitř napájecí sítě se musí studovat zvlášť v každém případě.

Z naší případové studie vyplynulo, že zvýšení odolnosti uvnitř procesu nebylo možné. Možnosti zvýšení odolnosti mezi procesem a napájecí sítí se ukázaly jako velmi nákladné a změna struktury sítě byla jediným finančně možným řešením.

Jiná případová studie procesu s průtlačným lisováním plastů, vykonána u Electrotek Concepts, ukázala ochranu regulace a navíječek jako nejefektivnější řešení z hlediska nákladů.

Z výše uvedených případových studií a následné diskuse s výrobcí strojů s průtlačným lisováním vyplývá několik dodatečných zajímavých závěrů:

- ◆ Standardní produkty od výrobců strojů s průtlačným lisováním mají minimální odolnost vůči poklesům nad rámec závazných norem.
- ◆ Dodatečné vybavení textilních linek s průtlačným lisováním po jejich instalaci je někdy možné. Proto doporučujeme uživatelům textilních průtlačných strojů, aby kontaktovali svého dodavatele elektřiny anebo provozovatele sítě kvůli počtu a charakteristice poklesů za několik posledních let. Na základě této informace mohou instalovat stroje s požadovanou odolností vůči poklesům napětí místo nákupu jiných s malou nebo žádnou odolností proti poklesům napětí.

Literatura

- [1] D Dorr, M Hughes et al, 1997; *Interpreting recent power quality surveys to define the electrical environment*; IEEE transactions on industry applications vol. 33 no. 6 pp. 1480-1487
- [2] M McGranaghan, C Melhorn, 1998; *Economics of different plant ride-through improvement solutions for power system problems*; The Machinery Reliability Conference, Charlotte, USA (<http://www.pqstore.com/supp/pdf/RideThroughImprovementSolutions.pdf>)
- [3] W Brumsickle, R Schneider et al. 2001; *Dynamic Sag Correctors: cost-effective industrial power line conditioning*; IEEE Transactions on Industry Applications, vol.37, no.1, Jan/Feb 2001, pp.212-217
- [4] R Epperly, F Hoadley, R Piefer, 1997; *Considerations when applying ASDs in continuous processes*, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.33, no.2, March 1997, pp.389-396
- [5] R Dugan, M McGranaghan, H Beaty, 1996; *Electrical Power Systems Quality*; McGraw-Hill, Knoxville, USA
- [6] L Morgan, J Dougherty 2001; *Embedded energy solutions in CNC-Machines*, PQA 2001, Pittsburgh
- [7] A Van Zyl, R Spee, A Faveluke, S Bhowmik, 1998; *Voltage sag ride-through for adjustable speed drives with active rectifiers*, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 34, No. 6, Nov/Dec
- [8] M Bollen, 1999; *Understanding power quality problems, voltage sags and interruptions*; IEEE press series on power engineering, Piscataway, USA (ISBN 0-7803-4713-7)
- [9] VDEW, 1994; *Technische Richtlinie, 'Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Mittelspannungsnetz des Elektrizitätsversorgungsunternehmens'*

Reference & Founding Partners

European Copper Institute
(ECI)

Web: www.eurocopper.org

Akademia Gorniczko-Hutnicza
(AGH)

Web: www.agh.edu.pl

Centre d'Innovació Tecnològica en
Convertidors Estàtics i Accionaments
(CITCEA)

Web: www-citcea.upc.es

Comitato Elettrotecnico Italiano
(CEI)

Web: www.ceiuni.it

Copper Benelux

Web: www.copperbenelux.org

Copper Development Association
(CDA UK)

Web: www.cda.org.uk

Deutsches Kupferinstitut
(DKI)

Web: www.kupferinstitut.de

Engineering Consulting & Design
(ECD)

Web: www.ecd.it

Hochschule für Technik und Wirtschaft
(HTW)

Web: www.htw-saarland.de

Istituto Italiano del Rame
(IIR)

Web: www.iir.it

International Union of Electrotechnology
(UIE)

Web: www.uie.org

ISR - Universidade de Coimbra

Web: www.uc.pt

Katholieke Universiteit Leuven
(KU Leuven)

Web: www.kuleuven.ac.be

La Escuela Técnica Superior de
Ingenieros Industriales (ETSII)

Web: www.etsii.upm.es

Polish Copper Promotion Centre
(PCPC)

Web: www.miedz.org.pl

Provinciale Industriële Hogeschool
(PIH)

Web: www.pih.be

Università di Bergamo

Web: www.unibg.it

University of Bath

Web: www.bath.ac.uk

University of Manchester Institute of
Science and Technology (UMIST)

Web: www.umist.ac.uk

Wroclaw University of Technology

Web: www.pwr.wroc.pl

Editorial Board

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Gregory Delaere	Lemcko	gregory.delaere@howest.be
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dipl-Ing Marcel Didden	KU Leuven	marcel.didden@mech.kuleuven.ac.be
Dr Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczko-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Reiner Kreutzer	HTW	rkreutzer@htw-saarland.de
Prof Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	jonathanm@gorham.org
Prof Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Dr Jovica Milanovic	UMIST	jovica.milanovic@umist.ac.uk
Dr Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Andreas Sumper	CITCEA	sumper@citcea.upc.es
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl



Dipl-Ing Marcel Didden

KATHOLIEKE UNIVERSITEIT
LEUVEN

University of Leuven, Energy Institute
Celestijnenlaan 300a
3001 Heverlee
Belgium

Tel: 00 32 16 32 25 08
Fax: 00 32 16 32 29 85
Email marcel.didden@mech.kuleuven.ac.be
Web: www.kuleuven.ac.be



**HUNGARIAN COPPER
PROMOTION CENTRE**

Hungarian Copper Promotion
Centre
Képiró u. 9
H - 1053 Budapest
Magarsko
Tel.: 00 361 266 4810
Tel.: 00 361 266 4804
E-mail: hpcp@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
Tel.: +420 596919597
E-mail: pavel.santarius@vsb.cz
Website: homen.vsb.cz/san50/

COPPER

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