

Jiří Krupica

## Otázky EMC při napájení zabezpečovacích zařízení a rozvodů železničních stanic ČD

Klíčová slova: *napájení zabezpečovacích zařízení ČD, univerzální napájecí zdroj (UNZ), zpětné působení UNZ na napájecí síť, napájení železničních stanic z TNS 3 kV DC.*

### 1. Univerzální napájecí zdroj

Na druhém železničním koridoru ČD Břeclav – Bohumín jsou mimo nových prvků v rozvodu elektrické energie, v konstrukci trakčního vedení, používána i nová zařízení a spotřebiče. V první části svého příspěvku se budu zabývat zařízením, které, jak se zdá, jednoznačně patří do odvětví zabezpečovací techniky. Jak však bude dále ukázáno, není tomu tak.

Jedná se o měnič frekvence pro napájení zabezpečovacího zařízení nazvaný UNZ (univerzální napájecí zdroj). Tento zdroj dodává na výstupu tři trojfázová napětí 230V s frekvencí 50 Hz, 75 Hz a 275 Hz. UNZ byl původně navržen pro napájení z trakčního vedení 25 kV, 50 Hz. Záložní napájení pro tento UNZ je z místní sítě nn. V současné době se realizuje hlavní napájení z rozvodů 6 kV, 50 Hz (i když UNZ měl podle původních prohlášení právě rozvod 6 kV, 50 Hz nahradit). Pokud se UNZ doplní o zařízení například DAG, pak je UNZ možné napájet z trakčního vedení 3 kV DC.

Neznám přesné požadavky na tyto UNZ z hlediska napájení zabezpečovacích zařízení, které je výstupní strany přímo napájeno a ani se jimi nebudu zabývat, protože to není podstata tohoto příspěvku. Ale jak lze předpokládat, jsou požadavky oprávněně přísné a jednoznačné, protože se jedná o napájení zabezpečovacího zařízení, tedy o bezpečnost železniční dopravy. Nikdo si nedovolí polemizovat, že by UNZ požadované parametry směly nespĺňovat.

Ale podívejme se na takový UNZ výhradně určený k napájení zabezpečovacího zařízení z jiné strany. Jak již je v názvu uvedeno, mění elektrickou energii jisté frekvence na frekvenci (nebo více frekvencí) jinou. To znamená, že měnič frekvence musí být také někam připojen a být napájen, aby mohl plnit své poslání.

---

**Ing. Jiří Krupica**, ČD, DDC, TÚDC, Perucká 3, 12000 Praha 2, Česká republika,  
tel: +420 2 51432710, fax: +420 2 51433510,  
e-mail: Krupica@tudc.pha.cdmail.cz

A zde je kámen úrazu. Každý takový měnič je vlastně spotřebičem elektrické energie. Jak jsem se již zmínil, splňuje měnič přísné požadavky na kvalitu výstupního napětí – tedy jeho frekvenci, časový průběh atd.

Je také tak "přátelský" k elektrické síti, ze které je napájen? Tato záležitost již naše kolegy zabývající se zabezpečovacím zařízením až tolik nezajímá. Zato musí zajímat pracovníky odvětví elektrotechniky a energetiky, a to ze dvou důvodů. Jednak odvětví elektrotechniky a energetiky je odběratelem elektrické energie od svých dodavatelů – rozvodných závodů. Dodavatelé mají definované podmínky pro odběr elektrické energie, formulované jasnými požadavky na kvalitu odběru elektrické energie, které stanovují podle technických předpisů. Druhým důvodem je, že odvětví je současně i dodavatelem elektrické energie s platnou autorizací pro tuto činnost. Z tohoto důvodu také musí dodávat elektrickou energii svým odběratelům v předepsané kvalitě.

Připomeňme, co se míní pojmem "kvalita elektrické energie". Je to souhrn následujících technických parametrů:

1. kmitočet sítě
2. velikost napětí
3. odchylky napětí
4. kolísání napětí
5. krátkodobé poklesy napětí
6. krátká přerušení napětí
7. dlouhodobá přerušení napětí
8. dočasná nadpětí síťového kmitočtu
9. přechodná přepětí
10. nesymetrie napětí trojfázové soustavy
11. harmonické
12. mezipharmonické
13. napětí síťových signálů (HDO)

Tyto hodnoty jsou v převážné míře předepsány v evropské normě EN 50 160. Protože v České republice doposud tato norma nebyla přijata, řídí se dodavatelé elektrické energie svou podnikovou normou PNE 33 3430 – 7. Tato podniková norma je plně v souladu s výše citovanou evropskou normou. Pak není jediný důvod, proč by se ČD neměly řídit stejnou podnikovou normou dodavatelů elektrické energie, když EN 50 160 bude stejně v naší republice v dohledné době přijata.

PNE 33 3430 – 7 udává úroveň jednotlivých napět'ových harmonických v předávacím místě, to znamená v místě připojení odběratele k síti dodavatele. Jejich velikost se pochopitelně liší podle napět'ové hladiny.

Pro napět'ovou úroveň vn i nn platí následující tabulka:

řád harmonické	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
[ % ]	5,0	6,0	5,0	1,5	3,5	3,0	0,5	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5

Mimo hodnoty předepsané pro jednotlivé harmonické musí být současně splněna hodnota celkového činitele zkreslení THD, která musí být menší nebo rovna 8 %. THD zahrnuje všechny harmonické až do řádu 40 a je definován následovně :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}}{U_1} * 100$$

Zde byly ukázány hodnoty, které musí zaručit dodavatel elektrické energie všem uživatelům. Existuje však i PNE 33 3430 - 1, která platí pro připojování spotřebičů. Tato podniková norma dodavatelů elektřiny posuzuje vliv spotřebiče na síť v daném místě připojení. Možnost připojení spotřebiče se hodnotí podle podílu zdánlivého výkonu připojovaného spotřebiče ke zkratovému výkonu v místě jeho připojení. Pokud hodnota tohoto podílu překročí předepsanou mez, nastupuje hodnocení spotřebiče podle jednotlivých harmonických proudů odebíraného spotřebičem ze sítě i podle hodnoty THD tohoto proudu. Dodavatel elektrické energie může dokonce odmítnout připojit spotřebič, který nevyhoví podmínkám této normy.

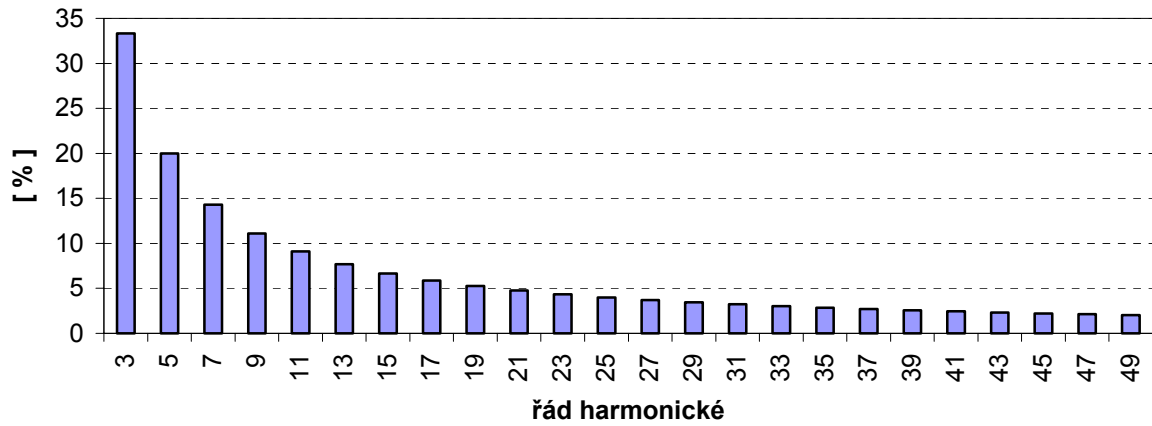
Důsledky zkreslení časového průběhu napětí napájecí sítě mohou být různé a mohou z něj vzniknout i závažné škody. Transformátory i motory se mohou přehřívat, může být enormně namáhána jejich izolace. Kondenzátory jsou přetěžovány proudem, mohou se zahřívat a může dojít k jejich destrukci. Jističí prvky mohou odepínat proud, byť nebylo dosaženo jejich nominálních hodnot. Elektronické displeje a svítidla mohou blikat a měřicí přístroje mohou dávat nepravdivé výsledky.

Často příčina takovýchto problémů není nalezena a podniknuté kroky k nápravě mohou snížit negativní vlivy, ale neeliminují jejich původ. Takovéto kroky jsou nesystémové, velmi nákladné na jejich pořízení a v neposlední řadě drahé v provozu (stávají se samostatnými konzumenty elektrické energie). Proto je lepší problémům předcházet a do provozu dávat spotřebiče splňující všechny parametry.

Co to vlastně UNZ po elektrické stránce je? Na jeho vstupu je třífázový usměrňovač. Při napájení měniče z trakčního vedení je provozován jednofázový můstkový usměrňovač, vytvořený z části původního usměrňovače.

Jaké vlastnosti mají neřízené usměrňovače? Každý usměrňovač mimo to, že napájí další spotřebiče elektrické energie, je současně vůči napájecí síti proudovým zdrojem harmonických. To znamená, že produkuje proudové harmonické do jakékoliv impedance. Takto produkováné harmonické pak na vnitřní impedanci sítě tvoří podle Ohmova zákona napětíové harmonické. Poměrný obsah jednotlivých proudových harmonických je v případě indukčního zatížení dán takzvaným "amplitudovým zákonem" a je závislý na schématu usměrňovače. Následující obrázky ukazují spektra odebíraného proudu jednotlivými typy usměrňovače s indukční zátěží.

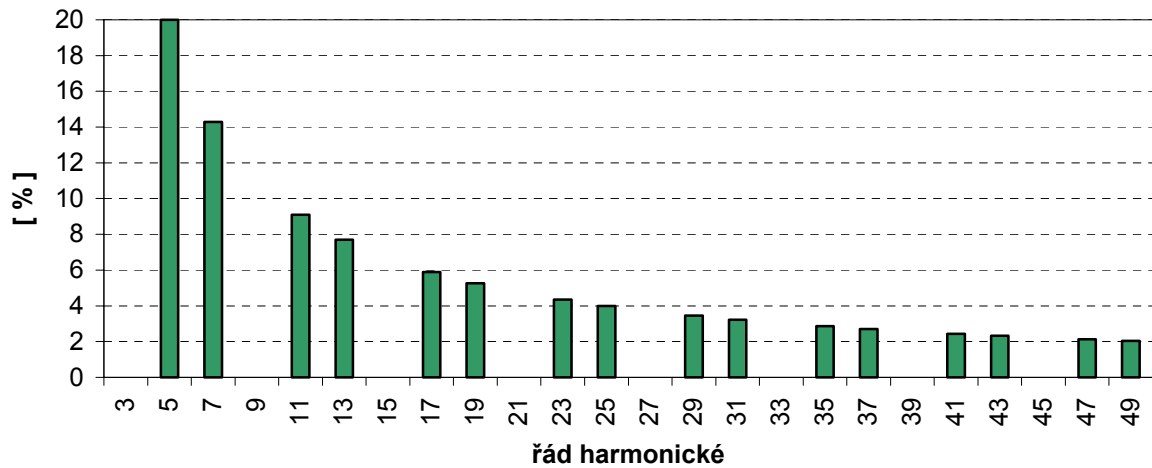
### Obsah proudových harmonických jednofázového usměrňovače



Obr. 1

Z obrázku je patrné, že jednofázový usměrňovač produkuje na straně napájení všechny liché harmonické.

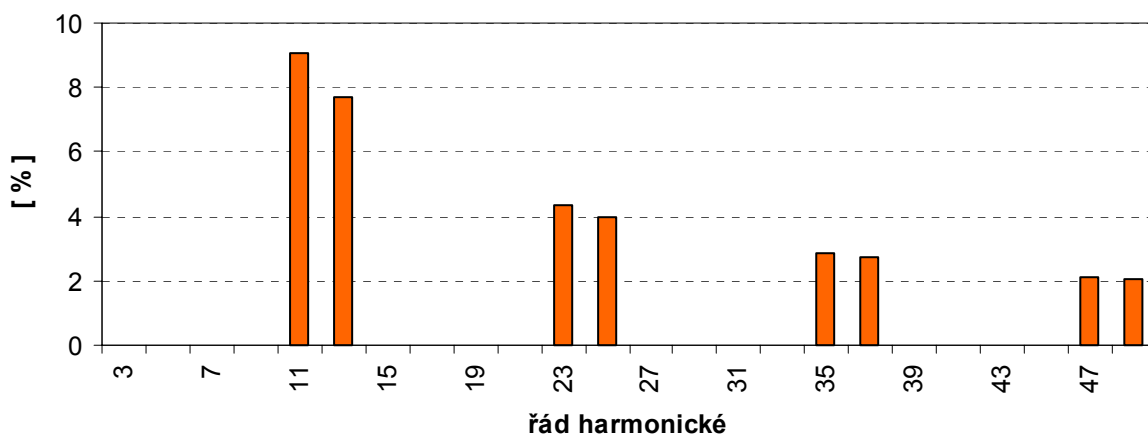
### Obsah harmonických šestipulzního usměrňovače



Obr. 2

Šestipulzní usměrňovač neprodukuje na straně napájení harmonické řádu 3 a jejich násobky, obsahy ostatních harmonických jsou stejné jako u jednofázového usměrňovače.

### Obsah proudových harmonických dvanáctipulzního usměrňovače



Obr. 3

Dvanáctipulzní usměrňovač produkuje liché harmonické s nejnižším řádem 11 a 13 a jejich násobky.

Vstupní usměrňovač UNZ má charakter zátěže kapacitně odporový (kapacita je tvořena velkou akumulátorovou baterií). UNZ se šestipulzním usměrňovačem není k napájecí síti z tohoto důvodu moc "přátelský" a nelze na jeho vstupu očekávat spektrum odebíraného proudu podle obrázku č. 2. Když si ještě připomeneme, že maximální hodnota THD proudu připojovaného spotřebiče, která je dalším stejně významným kritériem, může být maximálně podle PNE 33 3430 - 1 20 %, náš UNZ má hodnoty THD proudu díky charakteru své zátěže až 130 %. Může zde být námitka, že UNZ je napájen z trakčního vedení. Ano, ale není tomu tak všude a stále.

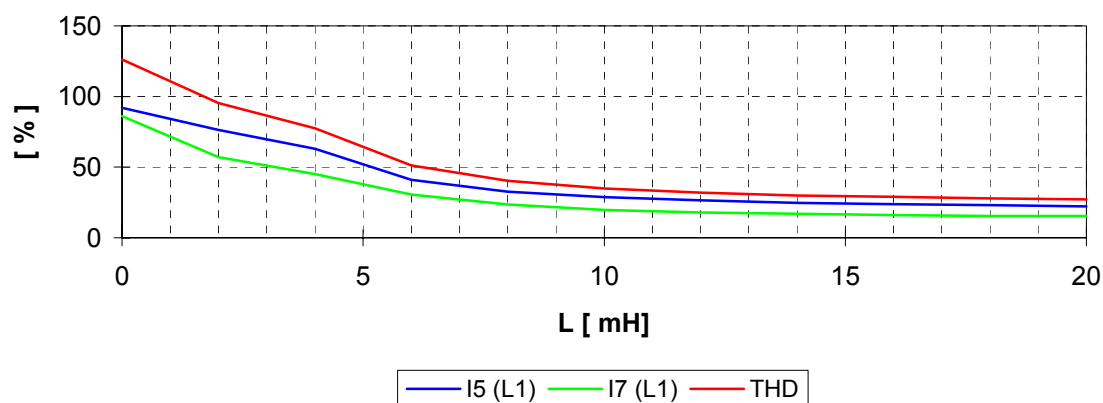
Harmonické "vyráběné" UNZ (usměrňovačem) se přenášejí po napájecí síti až do místa velkých rozvodů s velkým zkratovým výkonem. Tato místa jsou pro harmonické "zkratem" a zde se jejich vliv eliminuje. Harmonické v místní síti lze také filtrovat pasivními nebo aktivními filtry. Ačkoliv je teoreticky možné vyfiltrovat všechny harmonické v místě vzniku, je lepší zařídit, aby nevznikaly vůbec, nebo jen v takovém množství, které je pro napájecí síť akceptovatelné.

Takové opatření, které u usměrňovačů sníží "produkci" proudových harmonických, je tlumivka umístěná na straně vstupu, nebo na stejnosměrné straně před kondenzátorem. Použitím tlumivky se sníží THD proudu, jak ukazuje následující tabulka :

Typ usměrňovače	THD [ % ]
řízený usměrňovač	50 – 150
šestipulzní diodový usměrňovač bez tlumivky	130
šestipulzní diodový usměrňovač s malou tlumivkou	70
šestipulzní diodový usměrňovač s velkou tlumivkou	45
dvanáctipulzní usměrňovač s velkou tlumivkou	10
usměrňovač aktivní (IGBT)	méně než 10

Ještě názorněji je to vidět z následujícího obrázku č. 4. Ten ukazuje pokles 5., 7. harmonická a THD při instalaci různých tlumivek na stejnosměrné straně u konkrétního měniče. Ani takováto tlumivka není samospasitelná na odstranění nepříznivého jevu, ale podstatně jej snižuje. Že není schopná jej úplně odstranit je zřejmé a od určité indukčnosti není již její efekt velký. Je tedy potřeba najít optimální hodnotu.

Vliv velikosti stejnosměrné tlumivky na obsah harmonických proudů šestipulzního usměrňovače s R-C zátěží



Obr. 4

Nyní bych se chtěl zabývat napájením železničních stanic elektrickou energií. Na druhém koridoru se přistoupilo k tomu, že pro transformační stanice se nebuduje samostatná přípojka vn, ale takováto transformační stanice se napojí z trakční napájecí stanice (TNS). Pochopitelně se to dá využít pouze u těch železničních stanic, u kterých je vybudována TNS. Nevím co vedlo k tomuto řešení, zda to bylo přání provozních pracovníků, nebo to byl nápad projektanta, či investičních pracovníků ČD. Na první pohled je to velmi lákavé. Pravděpodobně se ušetří na investičních nákladech za stavbu vn linky.

Teď to "ale". Trafostanice (TS) v železniční stanici je napájena kabelovým vedením ne delším než jeden kilometr. Kabelové vedení je v TNS (měnirně) napojeno na sběrnou 22 kV. Či-li čisté technické řešení. Podívejme se dále. Na tuto stejnou sběrnou 22 kV jsou v TNS napojeny trakční transformátory s usměrňovacími jednotkami. Naše TNS používají výhodné dvanáctipulzní usměrňování, jako jediné v Evropě (pochopitelně dnes také užívané ve Slovenské republice). Na obrázku 3 je spektrum harmonických odebíraného proudu, které

”vyrábí” trakční usměrňovač svým provozem (pochopitelně s indukční zátěží). Z předchozích obrázků je vidět, že dvanáctipulzní usměrňovač produkuje nejšetrnější harmonické spektrum, jehož absolutní hodnoty se mění proporcionálně s rostoucí zátěží. Čím větší trakční zátěž, tím jsou harmonické proudy v absolutní hodnotě větší. Protože TNS jsou většinou napájeny z míst s velkým zkratovým výkonem, často i na úrovni vvn, pak proudové harmonické způsobí napěťové harmonické, jejichž velikost je nižší než přípouští PNE na dané napěťové úrovni.

Až dosud je vše v pořádku. Musíme si uvědomit, že kabel, kterým je napájena TS v železniční stanici, představuje kondenzátor o dané kapacitě. Transformátor zase představuje indukčnost. Když máme kondenzátor a cívku, jež jsou zařazeny v sérii, takto vzniklý obvod vykazuje frekvenci, kterou nazýváme frekvencí rezonanční, která je dána jejich parametry. Při této frekvenci představuje tento obvod minimální odpor, který je hlavně definován ohmickým odporem cívky, a je prakticky pro proudy s danou frekvencí zkratem - vzniká takzvaný sací obvod.

Pokud tato frekvence se právě rovná nebo je blízká frekvenci harmonické, kterou ”vyrábí” trakční usměrňovač, začne tento obvod příslušnou harmonickou odsávat. Pokud je malý trakční odběr, je odsávaný proud malý, při zvyšujícím se trakčním odběru je odsávaný proud velký, a je nebezpečný pro kondenzátory v železniční stanici (především pro kompenzační kondenzátory) do takové míry, že vlivem jejich přetížení může nastat až jejich destrukce.

S těmito skutečnostmi měl počítat projektant takto napájené TS. A zde se takovéto řešení nejeví již tak výhodné. Aby se takto vyprojektované a postavené zařízení mohlo provozovat, je nutno provést nějaké technické řešení, které není jednoduché ani levné. Prvním řešením by bylo harmonické eliminovat v místě jejich vzniku, to jest přímo na sběrnici 22 kV TNS. Pokud by se měly odstranit, znamenalo by to instalovat trojfázový filtr laděný na frekvence, které trakční usměrňovač vyrábí. Filtr by měl výkon několika MVA.

Pokud by však byl trakční odběr malý, musel by se výkon instalovaných kondenzátorů eliminovat řízenou tlumivkou, aby účinník odběru TNS splňoval hodnoty stanovené dodavatelem. Takový filtr není levnou záležitostí investičně a ani provozně (spotřebovává činnou energii). Toto řešení nepadá v úvahu hlavně z toho důvodu, že úroveň harmonických v TNS produkovaných trakčními usměrňovači je v souladu s požadavky dodavatele elektrické energie.

Druhá cesta je rozladit obvod napájející kabel a transformátor tak, aby jeho frekvence nebyla blízká žádné frekvenci, kterou trakční usměrňovač produkuje. Protože stejný problém se vyskytuje i v rozvodech 6 kV pro napájení zabezpečovacího zařízení, bylo takovéto řešení již úspěšně použito v několika lokalitách.

## **Závěr**

Při zavádění nových elektrotechnických i elektronických prvků do projektu s následnou realizací je nutné, aby výrobce využíval zkušenosti a poznatky provozních složek ČD jako budoucího provozovatele.

Dále je nezbytné, aby i provozní složky ČD účinně spolupracovaly, aby nedocházelo ke komplikacím, které se mohou projevit zvýšeným finančním dopadem v platbách za elektrickou energii s možným postihem ze strany SEI.

## Literatura:

1. Kaganov, I. L.: Elektronnye i ionnye preobrazovateli, tom III., Moskva 1956
2. Grentsch, R., Gunselmann, W.: Oberschwingungen in Nieder- und Mittelspannungsnetzen  
- Analyse der Störstromquellen und Massnahmen zur Störunterdrückung,  
Elektrizitätswirtschaft, č.9/1991, str. 463-478
3. Hlava, K.: Elektromagnetická kompatibilita trojfázového můstkového usměrňovače s R-C  
zátěží vůči napájecí síti, Vědeckotechnický sborník Českých drah, č.8/1999, str. 13-  
24
4. Ghijsselen, J. A. L.: Power electronics and harmonics, EMC Europe 2000, Brugge,  
str.521-528
5. Krupica, J.: Odběry elektrické energie Českých drah z hlediska elektromagnetické  
kompatibility, Žilina 97
6. Malík, L.: Analýza zpětných vlivů trojfázového můstkového usměrňovače s kapacitní  
zátěží na napájecí síť NN, diplomová práce Univerzity Pardubice, DFJP KEEZ, 2000
7. Krupica, J., Hlava, K.: Zpráva z měření vlivu trakčního usměrňovače na připojené odběry  
Otrokovice (interní zpráva pro ČD) 2000

V Praze, březen 2001

Lektoroval: Ing. Karel Hlava, CSc.  
ČD TÚDC Praha