

Karel Hlava

## Trakční napájecí soustava pro vozidla řady 680

Klíčová slova: *hnací vozidla řady 680, elektrické poměry na trolejovém vedení, elektromagnetická kompatibilita, rekuperační brzdění.*

### Úvod

Elektrické vlastnosti hnacích vozidel řady 680 z hlediska trakční napájecí soustavy se v některých parametrech liší od vlastností hnacích vozidel doposud na AD provozovaných. V příspěvku přihlédneme především k těmto hlediskům:

- odběr proudu z trolejového vedení
- elektrické poměry na trolejovém vedení,
- elektromagnetická kompatibilita vůči napájecí soustavě,
- rekuperační brzdění.

Tato hlediska je vhodné studovat odděleně pro obě trakční proudové soustavy používané na AD.

### *Odběr proudu z trolejového vedení*

Hnací vozidlo řady 680 je vybaveno celkem čtyřmi sběrači určenými po dvou pro trakční soustavy AC a DC.

Pro **stejnoseměrnou soustavu 3 kV** jsou sběrače po jednom umístěny na hlavových vozech. Sběrač má na smykadle metalografitové obložení dovolující za jízdy odběr až 2050 A, zatím co při stání vozidla pouze 720 A. Statický přítlak leží v mezích (70 - 90) N. Největší rozjezdový proud nepřesáhne 600 A, za jízdy plným výkonem může dosáhnout až 2000 A. Při rozjezdu se počítá s použitím obou sběračů, po jeho ukončení bude využíván pouze zadní.

Pro **jednofázovou soustavu 25 kV, 50 Hz** jsou sběrače umístěny na druhém a šestém voze. Sběrač má na smykadle karbongrafitové obložení dovolující za jízdy odběr 400 A, zatím co při stání vozidla pouze 30 A. Statický přítlak je opět (70 - 90) N. Největší rozjezdový proud nepřesáhne 80 A, za jízdy plným výkonem může dosáhnout až 240 A. Z hlediska dynamiky spolupráce sběrače s trolejovým drátem by neměly vzniknout potíže. Relativně nízká hodnota statického přítlaku však vyžaduje vyloučit na trolejovém vedení jakékoliv tzv. "tvrdé body", které by způsobily odskok smykadla.

---

*Doc. Ing. Karel Hlava, CSc., narozen 1930, absolvent ČVUT FEL, obor elektrická trakce r. 1953, vědecký pracovník, býv. vedoucí oddělení EMC TÚDC, nyní SŽE Hradec Králové*

## *Elektrické poměry na trolejovém vedení*

S ohledem na schéma trakčních obvodů budou napěťové poměry na trolejovém vedení **stejnoseměrné soustavy 3 kV** analogické jako při provozu dnes používaných hnacích vozidel s pulzními měniči, vyznačujícími se maloztrátovým rozjezdem.

Hnací vozidla **jednofázové soustavy 25 kV, 50 Hz** provozovaná dosud na ČD používají na svém vstupním obvodu diodový trakční usměrňovač. Z toho důvodu vykazují účinník základní harmonické DPF ("Displacement Power Factor",  $\cos\varphi_1$ ) přibližně s hodnotou 0,84. Použití diodového trakčního usměrňovače dále vede ke vzniku spektra lichých harmonických v odebíraném proudu, počínaje složkou 150 Hz. Z těchto důvodů bylo nutno doplnit trakční napájecí stanice filtračně - kompenzačními zařízeními, které plní dvě funkce, a to:

- upravují účinník DPF TNS jako celku na hodnotu požadovanou dodavatelem elektrické energie (0,95),
- omezují průnik harmonických proudů do sítě 110 kV s cílem snížení zkreslení časového průběhu napětí v přípojovacím bodě TNS k síti 110 kV.

Hnací vozidlo řady 680 je vybaveno čtyřkvadrantovým vstupním měničem, jehož koncepce zajišťuje:

- hodnotu účinníku DPF blízkou 0,99,
- prakticky sinusový časový průběh proudu odebíraného hnacím vozidlem z trolejového vedení
- přechod z trakčního režimu do režimu rekuperačního brzdění.

Analyzujeme formou číselného příkladu vliv nové koncepce vozidel řady 680 na **proudové poměry a energetické ztráty trolejového vedení** soustavy 25 kV, 50 Hz ČD.

Vyjdeme z předpokladu, že v napájeném úseku je pouze jedno vozidlo řady 680, odebírající činný příkon

$$P_{680} = S_{680} = 4 \text{ MW}$$

Tomuto činnému příkonu odpovídá při očekávaném účinníku

$$DPF_{680} \cong 1$$

a při jmenovitém napětí trakčního vedení

$$U_{TV,n} = 25 \text{ kV}$$

hodnota odebíraného proudu

$$I_{680} = \frac{P_{680}}{U_{TV,n}} = \frac{4000}{25} = 160 \text{ A}$$

Naproti tomu hnací vozidlo s diodovým trakčním měničem dnes na ČD provozované mající průměrný účinník

$$DPF_d \cong 0,84$$

odebírá při stejném činném příkonu

$$P_d = 4 \text{ MW}$$

zdánlivý příkon

$$S_d = \frac{P_d}{DPF_d} = \frac{4000}{0,84} = 4,76 \text{ MVA}$$

kterému pak odpovídá hodnota proudu odebíraného "diodovým" hnacím vozidlem

$$I_D = \frac{S_D}{U_{TV,n}} = \frac{4760}{25} = 190,4 \text{ A}$$

Poměr hodnot obou proudů dává hodnotu

$$\frac{I_D}{I_{680}} = \frac{190,4}{160} = 1,19$$

Protože Jouleovy ztráty v ohmickém odporu trakčního vedení jsou za jinak stejných podmínek úměrné čtverci proudu, je poměr energetických ztrát při provozu klasických "diodových" hnacích vozidel a vozidel řady 680 dán výrazem

$$\Delta P_{\%} = \left( \frac{I_D}{I_{680}} \right)^2 * 100 = 1,19^2 * 100 = 142 \%$$

což značí, že **energetické ztráty na trakčním vedení jsou při provozu stávajících hnacích vozidel ve srovnání se těmito ztrátami při provozu vozidel řady 680 za jinak stejných podmínek větší o 42 %.**

Podívejme se nyní na **napěťové poměry**. Vyjdeme opět z předpokladu jediného hnacího vozidla umístěného na konci napájeného úseku. Pro výpočet použijeme následující předpoklady:

- délka napájeného úseku má hodnotu

$$l_{TV} = 25 \text{ km}$$

- měrná impedance jedné stopy trakčního vedení je dána v souladu s SR 34 (E) výrazem

$$Z_{TV} = (0,26 + j0,45) \Omega / \text{km}$$

- a reaktance trakčního transformátoru v TNS ČD má pro 50 Hz hodnotou (při zanedbání reaktance napájecího vedení 110 kV)

$$X_{TT} = 7,22 \Omega$$

Za takto přijatých předpokladů bude celková impedance napájecí soustavy dána (při předpokladu neomezeného zkratového výkonu sítě 110 kV v přípojovacím bodě) výrazem

$$Z_{NS} = Z_{TV} + jX_{TT} = 25 * (0,26 + j0,45) + j7,22 = R_{NS} + jX_{NS} = (6,50 + j18,47) \Omega$$

a pro absolutní hodnotu celkové impedance napájecí soustavy pak dostaneme

$$|Z_{NS}| = 19,58 \Omega$$

V případě hnacího vozidla řady 680 je nahradíme rezistorem  $R_{680}$ , jehož hodnota odporu je dána činným příkonem hnacího vozidla  $P_{680} = 4 \text{ MW}$  při napětí trolejového vedení v místě hnacího vozidla (na konci napájeného úseku)  $U_{680}$ .

Pro proud procházející náhradním obvodem pak platí výchozí výraz

$$I_{680} = \frac{U_{NS}}{R_{NS} + R_{680} + jX_{NS}}$$

kde  $U_{NS} = 27500 \text{ V}$  je napětí TNS

Dále platí podle předpokladu vztah

$$R_{680} = \frac{P_{680}}{I_{680}^2}$$

Dosazením do výchozího výrazu dostaneme pro  $I_{680}$  rovnici, jejímž řešením je hodnota proudu v obvodu

$$I_{680} = (150,89 - j15,45) \text{ A} \Rightarrow |I_{680}| = 151,68 \text{ A}$$

Odpor náhradního rezistoru hnacího vozidla pak vychází hodnotou

$$R_{680} = 173,86 \Omega$$

S ohledem na impedanci zvolené délky trakčního vedení lze napětí na sběrači hnacího vozidla za uvedených předpokladů stanovit výrazem

$$U_{680} = U_{NS} - I_{680} * Z_{NS} = 27500 - (150,89 - j15,45) * (6,5 + j18,47)$$

což po vyčíslení dává

$$U_{680} = (26233,9 - j2686,5) \text{ V} \Rightarrow |U_{680}| = 26371 \text{ V}$$

Úbytek napětí na sběrači hnacího vozidla řady 680 ve vzdálenosti 25 km od trakční napájecí stanice tedy činí za daných předpokladů

$$\Delta U_{680} = U_{NS} - U_{680} = I_{680} * Z_{NS} = (150,89 - j15,45) * (6,5 + j18,47) = (1266,1 + j2686,5) \text{ V}$$

což dává  $|\Delta U_{680}| = 2969,9 \text{ V}$

Poněkud složitější je výpočet elektrických poměrů při respektování vlastností "diodových" hnacích vozidel. Zde použijeme náhradní schéma tohoto vozidla tvořené paralelním řazením:

- rezistoru  $R_D$  představujícího odběr činného příkonu hnacího vozidla,
- indukční reaktance  $X_D$  představující odběr jalového příkonu hnacího vozidla.

Mezi těmito hodnotami pak platí s ohledem na předpokládaný účinník DPF těchto vozidel vztah

$$\frac{R_D}{X_D} = \text{tg } \varphi_1 = k = 0,6459$$

Analytické řešení je nepřehledné a proto použijeme řešení pomocí SW SPice. Do programu vložíme výchozí elektrické parametry:

- $U_{NS} = 27500 \text{ V}$
- $l_{TV} = 25 \text{ km}$
- $Z_{NS} = R_{TV} + j(X_{TV} + X_{TT})$
- $P_D = 4 \text{ MW}$
- $Q_D = P_D * \text{tg } \varphi_1 = 2,584 \text{ M var}$

Po několika zkušebních krocích dostaneme následující výsledky:

- parametry náhradního schématu hnacího vozidla

$$R_D = 148,5 \text{ } \Omega$$

$$X_D = 229,9 \text{ } \Omega \Rightarrow L_D = 731,8 \text{ mH}$$

- proud procházející TV

$$I_D = 154,51 - j119,62 \Rightarrow |I_D| = 195,41 \text{ A}$$

- napětí na sběrači "diodového" hnacího vozidla

$$U_D = U_{NS} - I_D * Z_{NS} = 27500 - (154,51 - j119,62) * (6,5 + j18,47)$$

což po vyčíslení dává

$$U_D = (24286 - j2076) \text{ V} \Rightarrow |U_D| = 24375 \text{ V}$$

Úbytek napětí na sběrači "diodového" hnacího vozidla ve vzdálenosti 25 km od trakční napájecí stanice tedy činí za daných předpokladů

$$\Delta U_D = U_{NS} - U_D = I_D * Z_{NS} = (154,51 - j119,62) * (6,5 + j18,47) = (3214 + j2076) \text{ V}$$

což dává  $|\Delta U_D| = 3826 \text{ V}$

**Porovnejme nyní absolutní hodnoty napětí na sběrači** obou hnacích vozidel, které vznikne za jinak stejných podmínek:

- na hnacím vozidle řady 680 bude napětí  $|U_{680}| = 26371 \text{ V}$  ,

což představuje **95,89 %** základního napětí  $U_{NS} = 27500 \text{ V}$

- zatím co na hnacím vozidle "diodového" charakteru bude napětí  $|U_D| = 24375 \text{ V}$ , což představuje **88,63 %** základního napětí  $U_{NS}$
- přičemž tento rozdíl činí  $\Delta U = |U_{680}| - |U_D| = 1996 \text{ V}$ ,
- což vyjádřeno v % napětí  $U_{NS} = 27500 \text{ V}$  činí  $\Delta U_{\%} = 7,26 \%$ .

**Z tohoto rozboru vyplývá, že napětí na sběrači hnacího vozidla řady 680 bude za jinak stejných podmínek o 7,26 % větší, než napětí na sběrači hnacího vozidla "diodového".**

### *Elektromagnetická kompatibilita vůči napájecí soustavě*

V úvodu nutno zdůraznit, že problematika EMC se podstatně liší u obou trakčních soustav používaných na ČD. Na **stejnoseměrné soustavě 3 kV** nevznikly doposud v napájecí soustavě elektrizovaných traťových úseků z hlediska EMC problémy a ani při zavedení nových hnacích vozidel řady 680 žádné problémy v této oblasti neočekáváme. Vstupní filtr pulzního měniče zajistí, že proud odebíraný hnacím vozidlem řady 680 bude mít zanedbatelnou střídavou složku, stejně jako u dnes provozovaných hnacích vozidel s pulzním měničem. Trakční usměrňovač TNS pak bude v proudě odebíraném ze sítě 22 kV vykazovat obvyklé hodnoty počínaje 11. a 13. harmonickou.

Jiná je situace na **jednofázové soustavě 25 kV, 50 Hz**. Dnes provozovaná hnací vozidla této soustavy s diodovými trakčními měniči vykazují na sběrači úplné spektrum proudových harmonických lichých řádů počínaje řádem  $n = 3$  (150 Hz). Měřením bylo prokázáno, že obsahy těchto proudových harmonických dosahují v dlouhodobém průměru asi následující procentní hodnoty:

- 3. harmonická (150 Hz) má hodnotu cca 25 % základní harmonické 50 Hz,
- 5. harmonická (250 Hz) má hodnotu cca 10 % základní harmonické 50 Hz,
- 7. harmonická (350 Hz) má hodnotu cca 5 % základní harmonické 50 Hz.

Důsledkem vzniku uvedených harmonických složek v proudě odebíraném hnacím vozidlem "diodového" charakteru je:

- deformace časového průběhu napětí v trolejovém vedení
- nutnost použít v trakčních napájecích stanicích (TNS) filtračně-kompenzační zařízení (FKZ), které by podstatně omezilo průnik uvedených harmonických složek přes trakční transformátor TNS do sítě 110 kV, kde by došlo ke zkrácení napětí této sítě, což by bylo ze strany dodavatele elektrické energie nepřijatelné.
- další snížení hodnoty účinníku odebíraného výkonu, protože se zde uplatní tzv. "opravdový" účinník **PF** ("Power Factor",  $\lambda$ ) definovaný výrazem

$$PF = \mu * DPF$$

kde  $\mu$  značí tzv. činitel tvaru proudu definovaný výrazem

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{40} I_n^2}{I_1^2}}$$

kde  $I_n$  jsou jednotlivé harmonické složky proudu řádu  $2 \leq n \leq 50$

$I_1$  je efektivní hodnota základní harmonické proudu

Pro hnací vozidla řady 680 jsou poměry podstatně příznivější. V zadávacích podmínkách byly z hlediska EMC položeny ze strany ČD následující požadavky:

- pro trakční výkon menší než 1/6 jmenovitého **PF** nebylo určeno

- pro trakční výkon od 1/6 do 1/3 jmenovitého **PF ≥ 0,90**
- pro trakční výkon od 1/3 do 1/2 jmenovitého **PF ≥ 0,95**
- pro trakční výkon větší než 1/2 jmenovitého **PF ≥ 0,98**

Protože jsou zde předepsány hodnoty **PF** a nikoliv **DPF**, je tím současně požadována jak příznivá hodnota účinníku na základní harmonické (**DPF**), tak je zajištěna i omezená deformace časového průběhu proudu odebíraného hnacím vozidlem, která by byla vyjádřena činitelem  $\mu$ .

V souvislosti s tím je nutno upozornit na skutečnost, že výše uvedené vlastnosti hnacího vozidla řady 680 nijak neovlivní již instalovaná filtračně - kompenzační zařízení (FKZ) v napájecích stanicích.

Protože kompenzační výkon instalovaný v L-C větvích FKZ nebude při průjezdu hnacího vozidla řady 680 zapotřebí, dojde samočinně zapůsobením regulátoru COMPACT k plné absorpci (dekompenzaci) kompenzačního výkonu L-C větví FKZ celým jalovým výkonem instalovaným v dekompenzační tlumivce FKZ.

Současně s tím není ovlivněna ani filtrační funkce L-C větví FKZ, protože proud odebíraný hnacím vozidlem řady 680 bude podle výchozích požadavků ČD prakticky sinusový bez přidavných harmonických složek.

Jiná však nastane situace u trakčních napájecích stanic, které jsou doposud vybaveny z důvodů nedostatku finančních prostředků pouze spínaným FKZ obsahujícím jen L-C větev pro 3. harmonickou. Spínání zajišťuje vakuový vypínač 25 kV ovládaný v závislosti na proudu odebíraném celou TNS. Překročí-li odebíraný proud nastavenou hodnotu, připojí se samočinně uvedená L-C větev a po poklesu odebíraného proudu dojde k jeho automatickému vypnutí, avšak s jistým zpožděním. Tento princip nouzového provozu FKZ vyhovuje charakteru "diodových" hnacích vozidel a zlepšuje celkový účinník TNS, i když nutno připustit jisté překompenzování či nedokompenzování dané uvedeným nouzovým regulačním systémem a jeho časovým zpožděním.

Při průjezdu hnacího vozidla řady 680 nebude zapotřebí kompenzovat L-C větví jeho účinník, ani filtrovat složku 3. harmonické. Vakuový vypínač přesto L-C větev 3. harmonické připojí, protože odebíraný proud překročí nastavenou hodnotu. Došlo by tak po dobu průjezdu hnacího vozidla řady 680 k překompenzaci, což by vyvolalo platbu za nevyžádanou kapacitní práci. Řešením je doplnění tohoto FKZ regulovanou dekompenzační větví.

### ***Rekuperační brzdění***

Použití rekuperačního brzdění vozidel řady 680 je nutno posuzovat odlišně na obou trakčních soustavách ČD, pro které jsou vozidla této řady určena.

Při provozu na **stejnoseměrné soustavě 3 kV** je technicky vyloučeno vracet rekuperovanou elektrickou energii zpět do napájecí sítě, v daném případě do sítě 22 kV, resp. 110 kV napájející trakční napájecí stanice (TNS DC). Důvodem je, že v těchto TNS jsou všeobecně zavedeny neřízené (diodové) trakční usměrňovače.

Bylo by však možno rekuperovanou elektrickou energii využít pro napájení trakčního odběru jiných hnacích vozidel v tomtéž napájeném úseku. V tomto ohledu je možno využít ustanovení ČSN EN 50 163 (34 1505, platná od 1997) [1]. Tato norma obsahuje v článku 3 "Evropské systémy napětí" podbod 3.1 "Napětí" tabulku 1. V této tabulce jsou pro trakční soustavu 3 kV DC uvedeny následující mezní (střední) hodnoty:

- jmenovité napětí  $U_n$  3 000 V
- nejvyšší trvalé napětí  $U_{max 1}$  3 600 V
- největší krátkodobé napětí  $U_{max 2}$  3 900 V (podle podbodu 2.4 v trvání nejvýše 5 minut)

Podobnou tabulku obsahuje i vyhláška UIC 600 [2] ve své 1. změně z 1. 1. 1994, a to v článku 2 "Hodnoty a přípustné změny napětí a frekvence", v závazném podbodu 2.1 "Elektrizované trati s normalizovanými napětími". Jediným rozdílem zde je, že vyhláška UIC 600 ve své 1. změně nedefinuje přípustné trvání krátkodobého napětí 3 900 V. V původním znění tohoto článku (3. vydání z 1.1.1981) je ještě uvedeno v poznámce, že v některých evropských zemích může napětí dosáhnout maximální hodnoty 4 000 V s dobou trvání do 5 minut. Jako nejvyšší napětí se zde obecně uvádí hodnota 3 600 V.

Hnací vozidlo řady 680 využije možnosti rekuperovat brzdou energii v případě, že jeho zařízení zjistí možnost odběru této energie jiným hnacím vozidlem. Napěťová hladina je pro tento případ nastavena na 3 450 V. Podobně je napěťová hladina u elektrických jednotek řady 471 nastavena na 3 500 V. Plný rozsah až do maximální normami přípustné krátkodobé hodnoty napětí trolejového vedení (3 900 V) nelze zatím na ČD využít vzhledem k souběžnému provozu starších hnacích vozidel dimenzovaných na původně platné nejvyšší napětí 3 600 V.

Nenalezne-li rekuperující hnací vozidlo vhodný spotřebič rekuperované brzdě energie (napětí na jeho sběrači překročí nastavenou horní mez), přejde brzdny proces samočinně do režimu vlastní elektrodynamické brzdy.

**Při provozu na jednofázové soustavě 25 kV, 50 Hz ČD** by bylo teoreticky možno rekuperovanou elektrickou energii vracet do napájecí sítě 110 kV, protože trakční transformátor těchto TNS zpětný převod elektrické energie pochopitelně připouští. Ani měření rekuperované elektrické energie by za dnešního stavu dostupné měřicí techniky nebylo problémem.

ČD zde však narážejí na odmítavé stanovisko dodavatele elektrické energie, které lze shrnout do následujících bodů, majících charakter převážně technických důvodů:

- rekuperovaná elektrická energie by byla jednofázová a přicházela by pouze do dvou fázových vodičů trojfázové sítě 110 kV, při pravděpodobném zkreslení časového průběhu křivky proudu,
- dodávaná elektrická energie by měla značně proměnný průběh v čase, daný charakterem elektrizovaných tratí ČD bez dlouhých spádů,
- vznikl by problém smluvního ošetření zpětné dodávky rekuperované elektrické energie.

Dodavatel elektrické energie však vznesl již v začátcích elektrizace jednofázovou soustavou 25 kV, 50 Hz obavu ze zpětné dodávky elektrického napětí do odepnutého vedení 110 kV přes dvě sousední TNS, které by byly navzájem spojeny přes trakční vedení propojením místa vystřídání fází.

Aby dodavatel elektrické energie měl jistotu, že trakční vedení mezi sousedními TNS ČD není podélně propojeno, využívá skutečnosti, kterou autor příspěvku v letech 1969 až 1971 teoreticky i experimentálně ověřoval [3], [4], a to, že v případě propojení dvou sousedních TNS ČD přes trakční vedení dojde k průchodu vyrovnávacího výkonu nezanedbatelných hodnot právě trakčním vedením v důsledku měnících se hodnot napětí v připojovacích bodech obou sousedních TNS ČD.

Tento poznatek pak vedl na základě navazující studie VŠD Žilina v roce 1981 [5] ze strany ČD k zamítnutí dvoustranného napájení trakčního vedení dvěma sousedními TNS ČD, protože tato studie nenalezla v síti ČD takové dvě sousední TNS, jejichž zapojení do sítě 110 kV by nevyvolalo průchod vyrovnávacího výkonu. Průchod tohoto vyrovnávacího výkonu by totiž způsobil nežádoucí proudové zatížení vodičů trakčního vedení a setřel by tak výhody dvoustranného napájení známé ze soustavy 3 kV DC. Podrobnosti jsou obsaženy v literatuře uvedené v odkazech.

Z tohoto důvodu neměly ČD námitky proti instalaci zpětného wattového relé GSCT 11 do TNS ČD. Toto relé je podle SR 34 (E) článek III.2.1 nastaveno na citlivost 2 %.

Vypíná TNS ČD, pokud zpětná dodávka činného trakčního výkonu přesáhne nastavenou hodnotu.

Na druhé straně však toto relé zabraňuje použití na jednofázově elektrizovaných tratích ČD rekuperační brzdění, pokud by rekuperující výkon přesáhl nastavenou hodnotu, která je ale z hlediska rekuperačního výkonu nevýznamná. V případě zapůsobení této ochrany však vypíná celá TNS ČD, což by nepříznivě ovlivnilo i zbývající napájené traťové úseky. Z tohoto důvodu nebude na jednofázové soustavě 25 kV, 50 Hz ČD rekuperační brzdění použitelné, i když je na hnacích vozidlech řady 680 příslušné elektrické zařízení instalováno.

### ***Závěr***

Z uvedených skutečností vyplývá, že vozidlo řady 680 bylo vyvinuto s využitím posledních technicko - provozních poznatků a jeho trakční obvody jsou založeny na špičkových výkonových prvcích.

Nebude se tedy opakovat situace jako při zavádění elektrických hnacích vozidel jednofázové soustavy s diodovými trakčními měniči, kdy v návaznosti na zpřísněné požadavky dodavatele elektrické energie, týkající se elektromagnetické kompatibility těchto vozidel vůči napájecí síti, bylo nutno do napájecích stanic dodatečně doplnit nákladná filtračně - kompenzační zařízení.

### **Literatura:**

- [1] ČSN EN 50 163 (34 1505, platná od 1997) "Zařízení drah, Napájecí napětí trakčních systémů".
- [2] Vyhláška UIC 600 VE "Elektrická trakce s trolejovým vedením", 3. vydání, 1. 1. 1981, doplněná 1. změnou z 1. 1. 1994
- [3] Hlava K.: "Otázky dvoustranného napájení při jednofázové trakci"  
Zpráva ke státnímu úkolu I-1-31-8/9a "Ochrany proti přetížení - selektivita",  
oponováno v 11. 1969.
- [4] Hlava K.: Dvoustranné napájení jednofázové trakce  
Železniční technika, sv. 21, č. 1/1971, str. 15 - 19
- [5] "Průzkum možnosti paralelní spolupráce napájecích stanic 25 kV, 50 Hz"  
Výzkumný úkol R 03-127-210 (původně 2-11-024-001-098) "Zdokonalení  
jednofázové trakční soustavy 25 kV, 50 Hz", odpovědný řešitel a koordinátor  
K. Hlava, dílčí úkol č. 2, řešitel VŠD Žilina, Katedra elektrické trakce  
a energetiky, oponováno v 12. 1981

V Praze, říjen 2001

Lektoroval: Ing. Jan Matějka  
ČD DDC O14