

## RÜCKWIRKUNG DES ÈD-BAHNUNTERWERKES 25 kV, 50 Hz AUF DIE AUSBREITUNG DES RUNDSTEUERSIGNALS

Karel HLAVA

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpeèovací techniky v dopravì

### 1. Einleitung

Der Lieferant der elektrischen Energie verwendet für seine betriebliche Zwecke das Rundsteuersystem (HDO). Dieses System benützt Spannungssignale, die durch Superposition der Grundfrequenz 50 Hz und einer Tonfrequenz gebildet sind. Bis heute ist die Tonfrequenz  $216 \frac{2}{3}$  Hz gebraucht, es sind aber mindestens drei andere Tonfrequenzen für das HDO-System reserviert (167 Hz,  $183 \frac{1}{3}$  Hz und 232 Hz). Um die Dämpfung des HDO-Signals zu begrenzen, schreibt der Elektroenergielieferant einen gewissen minimalen Wert der Eingangsimpedanz auf der HDO-Frequenz für alle Stromverbraucher, inklusive der ÈD-Bahnunterwerke, vor.

Die ÈD-Bahnunterwerke 25 kV, 50 Hz werden mit Filtration-Kompensation Einrichtungen (FKZ) ausgestattet, um:

- den Leistungsfaktor 0,85 der Diodentriebfahrzeuge auf mindestens 0,95 zu verbessern,
- die Spannungsharmonischen (vor allem 150 Hz und 250 Hz) im Bahnunterwerksspeisepunkt 110 kV zu begrenzen.

Diese Filtration-Kompensation Einrichtungen (FKZ) erhalten:

- zwei L-C Resonanzsaugkreise (getrennt für 3. und 5. Harmonische),
- einen Dekompensationskreis mit Zwischentransformator, Drosselspule und Phasenregulator.

Gewisse Rolle spielt auch die Selbstkapazität der gesamten Länge der Fahrleitung der gespeisten Streckenabschnitte.

Der voranstehende Artikel [1] gibt eine Beschreibung, wie die Zahlenwerte der beiden L-C Resonanzsaugkreisen die Eingangsimpedanz des ganzen Bahnunterwerkes für die HDO-Frequenz beeinflussen, unter Berücksichtigung der notwendigen Blindleistung. Es wurde ein Erkenntnis ausgenützt, dass zwischen zwei Resonanzfrequenzen der Serienresonanz sich eine Frequenz der Parallelresonanz befindet. Auf dieser Parallelresonanz kann man theoretisch unbegrenzte Impedanzwerte erhalten. Die Berechnungsformeln am Ende des Artikels [1] gelten für den Grenzfall einer theoretisch unbegrenzten Eingangsimpedanz des ÈD-Bahnunterwerkes.

Im nachstehenden Teil dieses Artikels wird eine Situation untersucht, wenn man die Filtration-Kompensation Einrichtung für einen gewissen von Elektroenergielieferanten angegebenen Impedanzwert der Eingangsimpedanz für die HDO-Frequenz dimensionieren will. In ersten Annäherung ist es annehmbar alle ohmische Komponenten zu vernachlässigen und statt der Eingangsimpedanz nur die Eingangsreaktanz rechnerisch abzuleiten.

## 2. Ableitung der Berechnungsformeln

Gemäss des Ersatzschema kann man für die Eingangsreaktanz des ganzen ÈD-Bahnunterwerkes folgende Formel ableiten:

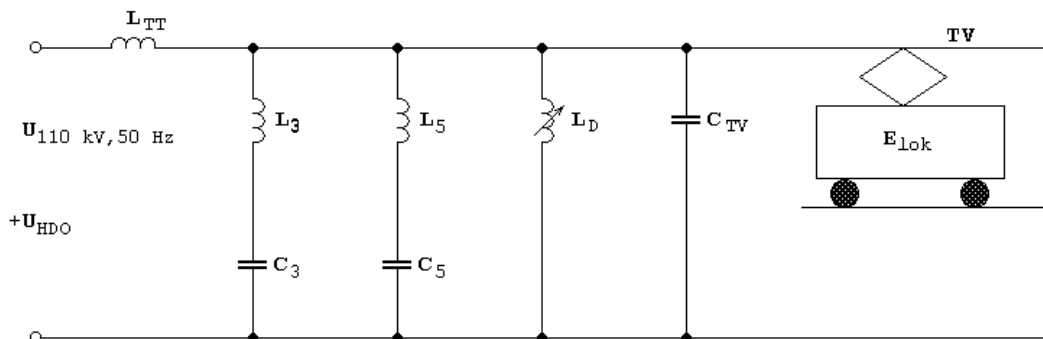
$$X_{TNS}(f) = X_{TT} \cdot \frac{f}{50} - \frac{1}{2p \cdot f \cdot \left[ \frac{C_3}{1 - \left(\frac{f}{f_3}\right)^2} + \frac{C_5}{1 - \left(\frac{f}{f_5}\right)^2} + C_{TV} - \frac{1}{(2p \cdot f)^2 \cdot L_D} \right]} \quad (1)$$

mit:

- $X_{TNS}(f)$ .....Eingangsreaktanz des ganzen ÈD-Bahnunterwerkes von der 110 kV Seite [ $\Omega$ ],
- $X_{TT}$ .....Ersatzreaktanz des Bahnunterwerkstransformators 110/27, 5 kV [ $\Omega$ ],
- $C_3$  und  $C_5$ .....Kapazitäten der Kondensatorgruppen für beide L-C Resonanzsaugkreise [F],
- $f_3$  und  $f_5$ .....Resonanzfrequenzen der beiden L-C Resonanzsaugkreisen [Hz],
- $C_{TV}$ .....Ersatzkapazität der Fahrleitung [F],

Karel Hlava:

$L_D$ .....Ersatzinduktivität des Dekompensationszweiges [H].



**Bild. 1** Ersatzschema  
**Fig. 1** Substitution schema

Die Ersatzreaktanz des Bahnunterwerkstransformators  $X_{TT}$  ist mit folgendem Ausdruck gegeben:

$$X_{TT} = \frac{u_K \cdot U_{TV}^2}{100 \cdot S_{TT}} \quad (2)$$

mit:

$u_K$ .....Kurzschlussspannung des Bahnunterwerkstransformators [%],

$U_{TV}$ .....Fahrleitungsspannung [kV],

$S_{TT}$ .....Nennleistung des Bahnunterwerkstransformators [MVA].

Die Ersatzinduktivität des Dekompensationszweiges  $L_D$  ist mit folgendem Ausdruck gegeben:

$$L_D = \frac{U_{TV}^2}{100 \cdot \mathbf{p} \cdot (Q_{K,FKZ} + 100 \cdot \mathbf{p} \cdot U_{TV}^2 \cdot C_{TV})} \quad (3)$$

mit:

$Q_{K,FKZ}$ .....Kompensationsleistung der beiden L-C Resonanzsaugkreise für 50 Hz [Mvar].

Der Ausdruck (1) dient für die nachstehende Analyse wie ein Ausgangsausdruck und es ist möglich ihn zweierlei auszunützen, und zwar:

- nach Einführung der Netzfrequenz  $f = 50$  Hz erhaltet man die Reaktanz des gesamten Bahnunterwerkes  $X_{TNS, 50}$  einschliesslich der Fahrleitungskapazität  $C_{TV}$ . Für diese Berechnung ist es notwendig das Glied mit der Ersatzinduktivität des Dekompensationszweiges  $L_D$  (durch Einführung  $L_D \gg \mathbf{X}$ ) auszuschliessen. Mit so abgeleiteten Ausdruck für  $X_{TNS, 50}$  ist es möglich den Ausdruck für die Kompensationsleistung  $Q_{K, TNS}$  des gesamten Bahnunterwerkes, aber ohne den

Dekompensationszweig und mit Berücksichtigung der Fahrleitungskapazität  $C_{TV}$ , für 50 Hz abzuleiten. So erhält man:

$$Q_{K,TNS} = \frac{U_{TV}^2}{X_{TNS,50}} \quad (4)$$

mit:

$Q_{K,TNS}$  ..... Kompensationsleistung der beiden L-C Resonanzsaugkreisen und der Fahrleitungskapazität für 50 Hz [Mvar],

- durch Einsetzen der HDO-Frequenz  $f = f_{HDO}$  erhält man die Reaktanz des gesamten Bahnunterwerkes einschliesslich der Fahrleitungskapazität  $C_{TV}$  und des Ersatzinduktivität  $L_D$  des Dekompensationszweiges für  $f_{HDO}$ . Diesen Wert bezeichnet man durch  $X_{TNS, HDO}$ .

Mit beschriebenem Verfahren erhält man zwei Gleichungen, die die Berechnung beispielweise Kapazitäten der beiden Kondensatorgruppen  $C_3$  und  $C_5$  erlauben. Dazu muss man folgende Zahlenwerte einführen:

- die notwendige Kompensationsleistung  $Q_{K, FKZ}$  für 50 Hz, die durch die beide L-C Zweige realisiert und durch die Ersatzinduktivität  $L_D$  dekompensiert wird,
- die notwendige minimale Eingangsreaktanz des gesamten Bahnunterwerkes  $X_{TNS, HDO, MIN}$  für die HDO-Frequenz  $f_{HDO}$ , die zwischen 150 Hz und 250 Hz liegt,
- die vorausgesetzte Fahrleitungskapazität  $C_{TV}$ .

Immer muss für  $f = f_{HDO}$  folgende Ungleichung gelten:

$$X_{TNS,HDO}(f_{HDO}) \geq X_{TNS,HDO,MIN}(f_{HDO}). \quad (5)$$

Mit beschriebenem Berechnungsverfahren erhält man für die Kapazität der Kondensatorgruppe des L-C Zweiges für die 3. Harmonische  $C_3$  nachstehende Ungleichung:

$$C_3 \geq D \cdot \frac{Q_{K,FKZ}}{U_{TV}^2} + E \cdot C_{TV} - \frac{F}{X_{TT} \cdot \frac{f_{HDO}}{50} + \frac{X_{TNS,HDO,MIN}}{16}} - \frac{G}{L_D}. \quad (6)$$

Ähnlich erhält man für die Kapazität der Kondensatorgruppe des L-C Zweiges für die 5. Harmonische:

$$C_5 \leq H \cdot \frac{Q_{K,FKZ}}{U_{TV}^2} - J \cdot C_{TV} + \frac{K}{X_{TT} \cdot \frac{f_{HDO}}{50} + \frac{X_{TNF,HDO,MIN}}{16}} + \frac{M}{L_D}. \quad (7)$$

In diesen Ausdrücken sind folgende Hilfsgrösse gebraucht:

$$F = \frac{\left[ \left( \frac{f_{HDO}}{f_3} \right)^2 - 1 \right] \cdot \left[ 1 - \left( \frac{f_{HDO}}{f_5} \right)^2 \right]}{2\mathbf{p} \cdot f_{HDO} \left\{ \left[ 1 - \left( \frac{f_{HDO}}{f_5} \right)^2 \right] + \frac{A}{B} \cdot \left[ \left( \frac{f_{HDO}}{f_3} \right)^2 - 1 \right] \right\}}, \quad (8)$$

$$D = \frac{f_{HDO}}{50} \cdot \frac{1 - \left( \frac{50}{f_5} \right)^2}{1 - \left( \frac{f_{HDO}}{f_5} \right)^2} \cdot F, \quad (9)$$

$$E = 2 \cdot \mathbf{p} \cdot f_{HDO} \cdot F, \quad (10)$$

$$G = \frac{F}{2 \cdot \mathbf{p} \cdot f_{HDO}}, \quad (11)$$

$$H = \left[ 1 - \left( \frac{50}{f_5} \right)^2 \right] \cdot \left[ \frac{1}{100 \cdot \mathbf{p}} - \frac{A}{B} \cdot \frac{f_{HDO}}{50} \cdot \frac{F}{1 - \left( \frac{f_{HDO}}{f_5} \right)^2} \right], \quad (12)$$

$$J = \frac{A}{B} \cdot E, \quad (13)$$

$$K = \frac{A}{B} \cdot F, \quad (14)$$

$$M = \frac{A}{B} \cdot G, \quad (15)$$

$$A = \frac{100 \cdot \mathbf{p}}{1 - \left( \frac{50}{f_3} \right)^2}, \quad (16)$$

$$B = \frac{100 \cdot \mathbf{p}}{1 - \left( \frac{50}{f_5} \right)^2}. \quad (17)$$

### 3. Zahlenwerte der Hilfskonstanten zum Berechnungsverfahren

Obengenannten Hilfskonstanten bekommen seine Zahlenwerte für folgende Ausgangsvoraussetzungen:

- die beiden L-C Zweige sind „scharf“ eingestellt, das heisst  $f_3 = 150$  Hz,  $f_5 = 250$  Hz,
- die Ersatzreaktanz des Bahnunterwerkstransformators 110/27,5 kV ist für 50 Hz und sekundärseitig  $X_{TT} = 7,226 \Omega$ ,
- das Übersetzungsverhältniss des Bahnunterwerkstransformators ist 4,00,
- die summarische Kompensationsleistung der beiden L-C Zweigen des FKZ für 50 Hz ist  $Q_{K, FKZ} = 2,5$  Mvar,
- die Eingangsreaktanz des gesamten Bahnunterwerkes  $X_{TNS, HDO}$  für die HDO-Frequenz  $f_{HDO}$  ist für die Primärseite des Bahnunterwerkstransformators gültig.

In diesem Fall erhalten die Hilfskonstanten in Ausdrücken (8) bis (15) für die vier HDO-Frequenzen Zahlenwerte gemäss folgender Tabelle:

⇒ für die Berechnung der Kapazität  $C_3$ :

$f_{HDO}$ [Hz]	$D$	$E$	$F$	$G$
167,00	0,00090085	0,16325415	0,00015559	14,82762 e-8
183,33	0,00151575	0,22927624	0,00019904	17,27898 e-8
216,67	0,00233428	0,19012220	0,00013966	10,25859 e-8
232,00	0,00259027	0,11766946	0,00008072	5,53768 e-8

⇒ und für die Berechnung der Kapazität  $C_5$ :

$f_{HDO}$ [Hz]	$H$	$J$	$K$	$M$
167,00	0,00208286	0,17631448	0,00016803	16,013833 e-8
183,33	0,00141876	0,24761834	0,00021496	18,661295 e-8
216,67	0,00053475	0,20533197	0,00015083	11,079270 e-8
232,00	0,00025828	0,12708301	0,00008718	5,980697 e-8

Die Hilfskonstanten, die von den HDO-Frequenzen  $f_{HDO}$  oder von der Kompensationsleistung  $Q_{K, FKZ}$  unabhängig sind, erhalten laut der Ausdrücken (16) und (17) folgende Zahlenwerte:  $A = 353,429174$ ,  $B = 327,249235$

#### 4. Beispiele der möglichen Berechnungen

##### 4.1 Die Berechnung der Kapazität der beiden Kondensatorgruppen $C_3$ und $C_5$ für gegebene Werte $Q_{K, FKZ}$ und $X_{TNS, FHDO, MIN}$ bei abgeschalteter Fahrleitung

Die Ausgangswerte sind wie folgt gewählt:

- $X_{TNS, HDO, MIN} = 500 \Omega$  (induktiv),
- $f_{HDO} = 167$  Hz, 183,3 Hz, 216,7 Hz, 232 Hz,
- $Q_{K, FKZ} = 2,5$  Mvar,

Karel Hlava:

- $L_D = 0,963 \text{ H}$ ,
- $f_3 = 150 \text{ Hz}$ ,
- $f_5 = 250 \text{ Hz}$ ,
- $C_{TV} = 0$ .

Die Berechnungsergebnisse kann man in nachstehender Tabelle finden:

$f_{HDO} \text{ [Hz]}$	$C_3 \text{ [\mu F]}$	$L_3 \text{ [mH]}$	$C_5 \text{ [\mu F]}$	$L_5 \text{ [mH]}$
167,00	0,01486	75785,79	10,0857	40,1841
183,33	1,38445	813,169	8,6065	47,0904
216,67	5,37783	209,339	4,2937	94,3909
232,00	7,25924	155,084	2,2618	179,1906

#### 4.2 Die Berechnung der Kompensationsleistung $Q_{K, FKZ}$ bei gegebenen Kapazitätswerten der beiden Kondensatorgruppen $C_3$ und $C_5$

Hier kann man die Ausdrücke (1), (4), (16) und (17) benutzen. Für  $Q_{K, FKZ}$  erhält man:

$$Q_{K, FKZ} = U_{TV}^2 (A \cdot C_3 + B \cdot C_5). \quad (18)$$

#### 4.3 Die Berechnung der L-C Komponenten für gegebene Werte der Kompensationsleistung $Q_{K, FKZ}$ und die Bahnunterwerksreaktanz $X_{TNS, HDO}$ für HDO-Frequenz bei angeschlossener Fahrleitung, aber ohne Traktionbelastung

In diesem Fall kann man direkt die Ausdrücke (6) und (7) benutzen. Weil es sich hier um die Eingangsreaktanz des gesamten Bahnunterwerkes, inklusive der Fahrleitungskapazität  $C_{TV}$ , handelt, muss man in die obengenannten Ausdrücke korrekte Zahlenwerte der Ersatzinduktivität  $L_D$  einsetzen. Die Ersatzinduktivität des Dekompensationszweiges muss nicht nur die Blindleistung der beiden L-C Zweigen, sondern auch die Blindleistung der angeschlossenen Fahrleitungskapazität kompensieren.

Die Abhängigkeit der Ersatzinduktivität des Dekompensationszweiges  $L_D$  auf der Fahrleitungskapazität (spezifische Fahrleitungskapazität sei  $20 \text{ nF/km}$ ) für  $Q_{K, FKZ} = 2,5 \text{ Mvar}$  zeigt nachstehende Tabelle:

	$C_{TV} = 0$	$C_{TV} = 1 \text{ \mu F}$	$C_{TV} = 2 \text{ \mu F}$
$l_{TV} \text{ [km]}$	0	50	100,000
$Q_{K, TV} \text{ [Mvar]}$	0	0,238	0,475
$L_D \text{ [H]}$	0,963	0,879	0,809

Für die Fahrleitungskapazität  $C_{TV} = 1 \mu\text{F}$  sind die elektrischen Parameter beiden L-C Zweigen in dieser Tabelle zusammengefasst:

$f_{HDO}$ [Hz]	$C_3$ [ $\mu\text{F}$ ]	$L_3$ [mH]	$C_5$ [ $\mu\text{F}$ ]	$L_5$ [mH]
167,00	0,1635	6886,6760	9,9252	40,8340
183,33	1,5967	705,0865	8,3773	48,3787
216,67	5,5578	202,5598	4,0993	98,8671
232,00	7,3715	152,7232	2,1406	189,3348

Für die Fahrleitungskapazität  $C_{TV} = 2 \mu\text{F}$  sind folgende Zahlenwerte gültig:

$f_{HDO}$ [Hz]	$C_3$ [ $\mu\text{F}$ ]	$L_3$ [mH]	$C_5$ [ $\mu\text{F}$ ]	$L_5$ [mH]
167,00	0,3121	3607,2090	9,7647	41,5052
183,33	1,8089	622,3641	8,1481	49,7396
216,67	5,7378	196,2054	3,9049	103,7890
232,00	7,4837	150,4334	2,0194	200,6965

#### 4.4 Die Berechnung der Reaktanz $X_{TNS, HDO}$ für eine andere HDO-Frequenz, wenn die Zahlenwerte für $C_3$ , $C_5$ , $C_{TV}$ und $Q_{K, FKZ}$ für $f_{HDO} = 216,7$ Hz ausgerechnet sind, ohne Traktionbelastung

Man geht einer Situation aus, wo eine FKZ für  $f_{HDO} = 216,7$  und elektrische Parameter laut Absatz 4.1 und 4.3 hat, schon existiert. Es ist interessant, in welchem Umfang sich die Zahlenwerte der  $X_{TNS, HDO}$  in diesem Fall verändern.

Für die Berechnung kann man den Ausdruck (1) verwenden. Die Resultate sind in drei Tabellen beinhaltet, und zwar für folgende Fahrleitungskapazitätswerte:

$$C_{TV} = 0$$

(die Fahrleitung ist bei der ursprünglichen Berechnung abgeschaltet)

$f_{HDO}$ [Hz]	Für $C_{TV} = 0$		Für $C_{TV} = 1 \mu\text{F}$		Für $C_{TV} = 2 \mu\text{F}$	
	$X_{TNS, HDO}$ [ $\Omega$ ]	Char.	$X_{TNS, HDO}$ [ $\Omega$ ]	Char.	$X_{TNS, HDO}$ [ $\Omega$ ]	Char.
167,00	1360,9	ind.	1421,2	ind.	1489,3	ind.
183,33	6250,9	ind.	9949,8	ind.	26508,6	ind.
216,67	500,0	kap.	425,3	kap.	361,0	kap.
232,00	123,5	ind.	137,8	ind.	151,1	ind.

Karel Hlava:



$$C_{TV} = 1 \mu\text{F}$$

(die Gesamtspeiseabschnittlänge ist bei der ursprünglichen Berechnung ungefähr 50 km)

	Für $C_{TV} = 0$		Für $C_{TV} = 1 \mu\text{F}$		Für $C_{TV} = 2 \mu\text{F}$	
$f_{HDO}$ [Hz]	$X_{TNS,HDO}$ [ $\Omega$ ]	Char.	$X_{TNS,HDO}$ [ $\Omega$ ]	Char.	$X_{TNS,HDO}$ [ $\Omega$ ]	Char.
167,00	1291,9	ind.	1349,1	ind.	1414,0	ind.
183,33	4706,8	ind.	6616,0	ind.	11597,0	ind.
216,67	593,2	kap.	500,0	kap.	421,4	kap.
232,00	97,46	ind.	114,3	ind.	130,0	ind.

$$C_{TV} = 2 \mu\text{F}$$

(die Gesamtspeiseabschnittlänge ist bei der ursprünglichen Berechnung ungefähr 100 km)

	Für $C_{TV} = 0$		Für $C_{TV} = 1 \mu\text{F}$		Für $C_{TV} = 2 \mu\text{F}$	
$f_{HDO}$ [Hz]	$X_{TNS,HDO}$ [ $\Omega$ ]	Char.	$X_{TNS,HDO}$ [ $\Omega$ ]	Char.	$X_{TNS,HDO}$ [ $\Omega$ ]	Char.
167,00	1232,00	ind.	1281,7	ind.	1337,5	ind.
183,33	3809,60	ind.	4900,8	ind.	7030,0	ind.
216,67	705,50	kap.	593,2	kap.	500,0	kap.
232,00	67,93	ind.	87,11	ind.	104,8	ind.

Die Angaben dieser Tabellen geben folgende Resultate über die Auswirkung einer anderen HDO-Frequenz auf die Eingangsreaktanz des Bahnunterwerkes für diese neue HDO-Frequenzen:

- Senkung der HDO-Frequenz unter 216,7 Hz (z. B. auf 167 Hz, oder 183,3 Hz) ist für die FKZ, die für  $f_{HDO} = 216,7$  Hz entworfen wurde, annehmbar und die Eingangsreaktanz des Bahnunterwerkes wird nicht den Minimalwert  $X_{TNS, HDO, MIN}$  unterschreiten,
- Verwendung einer höheren HDO-Frequenz (z. B. 232 Hz) führt umgekehrt zur nichtannehmbaren Senkung der Eingangsreaktanz des Bahnunterwerkes  $X_{TNS, HDO}$  und auch zur erhöhen Dämpfung des HDO-Signals,
- Veränderung der HDO-Frequenz führt auch zur Veränderung des Charakters der Eingangsreaktanz des Bahnunterwerkes  $X_{TNS, HDO}$ . Diese Veränderung ist bedeutungslos, da die Zahlenwerte der  $X_{TNS, HDO, MIN}$  für Absolutwerte gültig sind.

#### 4.5 Die Berechnung der Grenzwerte für Kapazitäten $C_3$ und $C_5$ in Abhängigkeit von der verlangenen Eingangsreaktanz $X_{TNS, HDO, MIN}$

Zu diesem Zweck kann man den Ausdruck (5) verwenden, der die Ausdrücke (6) und (7) modifizierte. Diese Kapazitätsgrenzwerte  $C_3$  und  $C_5$  sind schon für  $Q_{K, FKZ} = 2,5$  Mvar in Zahlenbeispielen 4.1 und 4.3 und in zugehörigen Tabellen errechnet.

Wenn wir in den Ausdrücken (6) und (7) das „Ungleich-Zeichen“ berücksichtigen, dann ist es möglich z. B. für  $f_{HDO} = 216,7$  Hz,  $X_{TNS, HDO, MIN} = 500 \Omega$  und  $C_{TV} = 0 \mu\text{F}$ ,  $C_{TV} = 1 \mu\text{F}$ , oder  $C_{TV} = 2 \mu\text{F}$  nachstehende Tabelle erfüllen:

	$C_{TV} = 0$	$C_{TV} = 1 \mu\text{F}$	$C_{TV} = 2 \mu\text{F}$
$C_3$	$\geq 5,3778 \mu\text{F}$	$\geq 5,5578 \mu\text{F}$	$\geq 5,7378 \mu\text{F}$
$C_5$	$\leq 4,2937 \mu\text{F}$	$\leq 4,0993 \mu\text{F}$	$\leq 3,9049 \mu\text{F}$

Daraus folgt, dass für die Feststellung der Kapazitätswerte  $C_3$  und  $C_5$  ist es notwendig die gesamte und betrieblich mögliche Fahrleitungslänge der Speiseabschnitten und ihre Kapazität zu berücksichtigen. Im beschriebenen Beispiel sind folgende Kapazitätsgrenzwerte massgebend:  $C_3 \geq 5,74 \mu\text{F}$ ,  $C_5 \leq 3,9 \mu\text{F}$ .

#### 5. Einfluss der Traktionbelastung im Speiseabschnitt

Die Triebfahrzeuge des Einphasensystems kann man für obenangeführte Berechnungen durch Parallelkombination  $L_{LOK}$  und  $R_{LOK}$  ersetzen. Die  $L_{LOK}$  gibt die Blindleistung. Die maximale Wirkleistung der Triebfahrzeugen und den Ersatzwiderstand  $R_{LOK}$  man kann gemäss der Nennleistung des Bahnunterwerktransformators ( $S_{TT} = 10$  MVA) annähernd mittels

$$R_{LOK} \approx \frac{U_{TV}^2}{S_{TT}} = \frac{27,5^2}{10} = 75,6 \Omega \quad (19)$$

ableiten. Dieser Wert des  $R_{LOK}$  ist wahrscheinlich der kleinste.

In Wirklichkeit gehört zur Kompensationleistung des FKZ (2,5 Mvar) und beim Leistungsfaktor der Diodentriebfahrzeugen der  $\dot{E}D$  (0,85) eine Wirkleistung von 4,03 MW. Dazu gehört  $R_{LOK} = 187,5 \Omega$ . Wir halten den Wert gemäss (19) für sicherer, da er auch die moderne Triebfahrzeuge mit Leistungsfaktor 0,99 berücksichtigt.

Nachstehende Berechnung ist auf dem SW SPice gegründet, und zwar für Zahlenwerte des Absatzes 4.3 ( $f_{HDO} = 216,67$  Hz) in zwei Varianten:

- für  $C_3 = 5,7378 \mu\text{F}$  und  $C_5 = 3,9049 \mu\text{F}$ , was ist für  $C_{TV} = 2 \mu\text{F}$  gültig,
- für  $C_3 = 5,5578 \mu\text{F}$  und  $C_5 = 4,0993 \mu\text{F}$ , was ist für  $C_{TV} = 1 \mu\text{F}$  gültig.

Berechnungsergebnisse für  $|Z_{TNS, HDO}|$  kann man der nachstehenden Tabelle entnehmen, und zwar für den Fall ohne Traktionbelastung und mit Traktionbelastung:

	ohne	mit	ohne	mit
$f_{HDO}$ [Hz]	$C_{TV} = 1 \mu\text{F}$	$C_{TV} = 1 \mu\text{F}$	$C_{TV} = 2 \mu\text{F}$	$C_{TV} = 2 \mu\text{F}$
167,00	1349,1	1082,6	1337,5	1078,2
183,33	6616,0	1335,3	7030,0	1333,4
216,67	500,0	500,4	500,0	500,4
232,00	114,3	207,1	104,8	205,5

Aus dieser Tabelle folgt, dass die Wirkleistungentnahme die Eingangsimpedanz des gesamten Bahnunterwerkes für HDO-Frequenz  $f_{HDO} = 216,7$  Hz im Fall, dass die Kapazitätswerte der beiden Kondensatorgruppen für diese HDO-Frequenz errechnet sind, praktisch nicht beeinflusst ( $500,0 \Omega$  im Vergleich mit  $500,4 \Omega$ , für beide Werte  $C_{TV}$ ).

Für beide HDO-Frequenzen, die kleiner als 216,7 Hz sind, die Veränderung der Eingangsimpedanz des Bahnunterwerkes beeinflusst die HDO-Signalausbreitung im 110 kV Netz nicht.

Für die HDO-Frequenz 232 Hz sind die Eingangsimpedanzwerte kleiner, und erfüllen die verlangene Werte nicht.

## 6. Schlussfolgerungen

Die Filtration-Kompensation Einrichtung (FKZ) in den Bahnunterwerken 25 kV, 50 Hz beinhaltet zwei L-C Resonanzzweigen, die für 150 Hz und 250 Hz abgestimmt sind. Deswegen ist es möglich, elektrische Parameter dieser Zweigen so berechnen, um die Parallelresonanzfrequenz dieser beiden Zweigen eine notwendig hohe Eingangsreaktanz des gesamten Bahnunterwerkes für die Rundsteuerfrequenz (HDO-Frequenz) gewährleisten kann, wenn diese HDO-Frequenz im Bereich von 150 Hz bis 250 Hz liegt. Bis Heute sind alle FKZ für HDO-Frequenz 216,7 Hz entworfen, um die Dämpfung des HDO-Signals zu begrenzen.

Die abgeleitete Formeln und beigefügte Zahlenbeispiele zeigen, dass eine kritische Situation für die Eingangsreaktanz des gesamten Bahnunterwerkes entstehen kann, wenn man die HDO-Frequenz zukünftig von dem heutigen Wert 216,7 Hz auf z. B. 232 Hz vergrößert.

Dann ist es möglich, dass eine unannehmbare Dämpfung des HDO-Signals im 110 kV Netz entstehen kann, weil die heute im Betrieb stehende Filtration-Kompensation Einrichtungen (FKZ) in den Bahnunterwerken 25 kV, 50 Hz der Tschechischen Bahnen für HDO-Frequenz 216,7 Hz dimensioniert sind und nur für diese HDO-Frequenz die von Energielieferanten verlangene Eingangsreaktanzwerte verwirklichen.

Lektoroval: Prof. Ing. Karel Horák, DrSc.

Pøedlož eno: v lednu 2002.

### Literaturverzeichnis

- [1] Hlava, K.: *Elektromagnetische Verträglichkeit der Traktionsystemen 3 kV DC und 25 kV, 50 Hz der ÈD, Probleme und Lösungen*. Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B - The Jan Perner Transport Faculty 6 (2000), s. 123–142.
- [2] Hlava, K.: *Vliv zmíny ovládacího kmitoètu systému hromadného dálkového ovládání na filtraèní - kompenzaèní zaøízení trakèních napájecích stanic Èeských drah*. Vi dektechnický sborník Èeských drah, è.12 (2001), s. 93–108.
- [3] PNE 38 2530: *Hromadné dálkové ovládání*, platné od 1. 1. 1994.
- [4] Hlava, K.: *Omezení vlivu FKZ na signál HDO energetiky*. Zpráva TÚDC, S24, odd. EMC, Praha, (7/1996).
- [5] Satori, M.: *Impedance trakèní napájecí stanice jednofázové soustavy ÈD pro kmitoètu hromadného dálkového ovládání*. Diplomová práce Univerzity Pardubice, Dopravní fakulty Jana Pernera, (2001).

### Resumé

#### ZPÌTNÉ PÙSOBENÍ TRAKÈNÍ NAPÁJECÍ STANICE ÈD 25 kV, 50 Hz NA ŠÍØENÍ SIGNÁLU HROMADNÈHO DÁLKOVÈHO OVLÁDÁNÍ

Karel HLAVA

Referát analyzuje výpoèet elektrických parametrù filtraèní -kompenzaèních zaøízení (FKZ) pro trakèní napájecí stanice Èeských drtah (ÈD). Je rozebírána situace, kdy by se kmitoèet hromadného dálkového ovládání (HDO) v budoucnu lišil od dnešní hodnoty 216,7 Hz, avšak ležel by v mezích od 150 Hz do 250 Hz.

Odvozené výrazy dovolují výpoèet èíselných hodnot vstupní reaktance trakèní napájecí stanice jako celku pro ètyø možné hodnoty kmitoètu HDO. Použití obecní platných vzorcù je ukázáno na pìti èíselných pøíkladech.

### Zusammenfassung

#### RÜCKWIRKUNG DES ÈD-BAHNUNTERWERKES 25 kV, 50 Hz AUF DIE AUSBREITUNG DES RUNDSTEUERSIGNALS

Karel HLAVA

Dieses Referat gibt Analyse zur Errechnung der elektrischen Parameter der Filtration-Kompensation Einrichtungen (FKZ) der Bahnunterwerke der Tschechischen Bahn (ÈD). Es ist eine Situation analysiert, wenn die Rundsteuerfrequenz (HDO) sich von dem heutigen Wert 216,7 Hz verändert, aber liegt noch im Bereich von 150 Hz bis 250 Hz.

Die angeführte Formeln erlauben Zahlenberechnung der Eingangsreaktanzwerte des gesamten Bahnunterwerkes für vier mögliche HDO-Frequenzen. Benutzung der allgemein gültigen Ausdrücken ist in fünf Zahlenbeispielen illustriert.

Karel Hlava:

## Summary

### THE INFLUENCE OF THE ĚD TRACTION SUBSTATION 25 kV, 50 Hz UPON THE PROPAGATION OF THE REMOTE CONTROL SIGNALS

Karel HLAVA

The paper deals with the analysis of the electric parameters calculation of the filtration – compensation - equipment (FKZ) specially created for needs of the Czech Railways (ĚD) traction substations. The situation is discussed, when the frequency of the remote control signals (HDO) would be in perspective changed from the today value 216,7 Hz, and placed between the frequency 150 Hz and 250 Hz.

The formula derived make it possible to calculate numerical values for the input reactance of the traction substation as a whole on four possible remote control frequencies. Five numerical examples illustrate the mode of use of the derived general practicable formula.