

**Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Stanovení parametrů paralelního kolejového obvodu**

**Aleš Pízl**

Bakalářská práce  
2009

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě  
Akademický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Aleš PÍŽL**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní infrastruktura-Elektrotechnická zařízení v dopravě**  
Název tématu: **Stanovení parametrů paralelního kolejového obvodu**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- a) Princip činnosti, význam a použití paralelních kolejových obvodů
- b) Základy analýzy paralelních kolejových obvodů
- c) Výpočet parametrů vybraného kolejového obvodu

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Chudáček, V.; Kyjovský, V.; Lochman, L.: Detekce kolejových vozidel, ČD VÚŽ Praha, 1997
2. ČSN 34 2613: Kolejové obvody
3. ČSN 34 2614: Předpisy pro projektování, provozování a používání kolejových obvodů

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Milan Kunhart, CSc.**  
AŽD Praha

Datum zadání bakalářské práce: **11. prosince 2008**

Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2009**

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.

prof. Ing. Vladimír Schejbal, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 18. února 2009

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 01. 06. 2009

Aleš Pížíl

## **Souhrn**

Práce se zabývá popisem a charakteristikou paralelních kolejových obvodů. Zaměřená je na stanovení parametrů vybraného kolejového obvodu ve volném a v šuntovém stavu.

## **Klíčová slova**

Paralelní kolejový obvod; napájení kolejových obvodů; volný stav; šunt

## **SUMMARY**

This paper is concerned with description and characteristic of closed track circuits. It is focused on determination of the choosed close track circuit parametres in a normal and shunt condition.

## **KEY WORDS**

Closed track circuit, track circuit suply, normal condition, shunt

## **TITLE**

Determination of closed track circuit parametres.

## Obsah

1 Úvod.....	8
2 Princip činnosti, význam a použití paralelních kolejových obvodů.....	9
2.1 Dělení kolejových obvodů.....	9
2.2 Rozbor činnosti kolejových obvodů.....	11
2.3 Vedení trakčního proudu.....	12
2.3.1 Jednopásové kolejové obvody.....	12
2.3.2 Dvoupásové kolejové obvody.....	13
2.4 Ochrana před vlivy sousedních obvodů.....	14
2.4.1 Jednopásové kolejové obvody s fázově necitlivými přijímači.....	14
2.4.2 Kolejové obvody s fázově citlivými přijímači .....	14
2.4.3 Impulsní kolejové obvody.....	14
2.5 Lom Kolejnice.....	14
2.6 Přenos LVZ.....	15
3 Výstroj kolejového obvodu.....	16
3.1 Zdroje.....	16
3.2 Přijímače .....	16
3.3 Stykové transformátory.....	17
4 Analýza.....	19
4.1 Volný stav.....	19
4.1.1 Analýza volného stavu pomocí ekvivalentního schéma.....	21
4.2 Šuntovací stav.....	23
4.2.1 Šuntovaný stav s fázově necitlivým přijímačem.....	24
4.2.2 Šuntovaný stav s fázově citlivým přijímačem.....	25
4.3 Havarijní stav.....	25
5 Výpočet parametrů vybraného kolejového obvodu.....	28
5.1 Výpočet parametrů dvojbranu napájecího konce.....	28
5.1.1 Výpočet parametrů dvojbranu napájecího konce.....	28
5.1.2 Výpočet parametrů dvojbranu kolejového vedení.....	30
5.1.3 Výpočet parametrů dvojbranu přijímacího konce.....	32
5.1.4 Stanovení napájení paralelního kolejového obvodu.....	33
5.2 Výpočet šuntové citlivosti kolejového obvodu 3103.....	34

Použitá literatura.....	38
Seznam obrázků.....	39

# 1 ÚVOD

V počátcích železniční dopravy se pro její řízení používá časová soustava. To znamená, že vlak je na trať vyslán po uplynutí daného časového intervalu od odjezdu předchozího vlaku. Ve Francii je to 10minut, později 5minut, což při tehdejších rychlostech znamená přibližně 3km. V Rakousku-Uhersku je to do roku 1851 30minut a poté 5minut.

Přesto dochází k častým a závažným nehodám. Situace na železnici se tak dostane i na projednávání obou komor Britského parlamentu. Na našem území se první vlaková nehoda stala, již při návratu čtyř slavnostních vlaků z Brna do Vídně, ve stanici Vranovce 7.července 1839.

Již v roce 1842 v Anglii přecházejí na prostorovou soustavu. William Forthergill Cooke navrhl řídit pohyb vlaků od jedné stanice k druhé a ke zvýšení propustné výkonnosti rozdělil mezistaniční úsek na prostorové oddíly. Rakousko-Uhersko přechází na prostorovou soustavu až v roce 1899. Jednotlivé oddíly jsou ohraničeny návěstidly, která signalizují stav následujícího oddílu.

Když Angličan William Sturgeon Arago objevil elektromagnet, vznikl základní prvek pro zabezpečovací a sdělovací techniku, elektromagnetické relé. V roce 1867 Američan William Robinson vyšel z úvahy, že pro zjištění polohy vlakové soupravy bude nejspolehlivější využít elektricky vodivé jízdní koleje a dvojkolí železničních vozů, které propojí sériový obvod s relé, a začal pracovat na sériovém kolejovém obvodu. V roce 1870 tento obvod předvedl v Americkém institutu v New Yorku. V roce 1871 zaměnil sériový obvod za paralelní. Na oba typy obvodů získal patent ve Francii a USA v roce 1872. Ve stejném roce je zprovozněn první kolejový obvod na trati Philadelphie – Erie.

W. Robinson vynalezl rozhodující automatizační prvek indukující polohu kolejového vozidla s možností přímého spolupůsobení na všechny druhy zabezpečovacího zařízení. Kolejový obvod se uplatňuje i v 21.století, přestože již dokážeme zkonstruovat počítač náprav splňující požadavky zabezpečovací techniky. Ten však neumožňuje trvalou kontrolu celistvosti kolejnicových pásů.



## 2 PRINCIP ČINOSTI, VÝZNAM A POUŽITÍ PARALELNÍCH KOLEJOVÝCH OBVODŮ

Kolejový obvod se dá přirovnat k elektrickému obvodu. Zdroj elektrické energie je napojen na kolejové pásy (vodiče). Izolaci představují pražce a šterk. Aby byla zajištěná stejná vodivost po celé délce obvodu, jsou styky dvou sousedních kolejnic (svár nebo kolejnicová spojka) přemostěny vodivými stykovými propojky. Na konci kolejového obvodu pak izolovanými styky. Užitečnou zátěž představuje kolejový přijímač, ve většině případů kolejové relé.

Při jízdě vlaku je kolejový obvod ovlivněn dvojkolím dvojkolím, které elektricky spojí obě kolejnice, což má za následek změnu stavu na kolejovém přijímači. Výsledný elektrický odpor, který je dán souhrnem odporů všech dvojkolí včetně přechodových odporů mezi kolem a kolejnici, se nazývá vlakový šunt.

Kolejové obvody neslouží pouze pro zjištění přítomnosti vlaku. Lze je využít i pro další úkoly (například na zjišťování celistvosti koleje). Z prvních dvou typů se postupem času vyvinula celá škála kolejových obvodů, které se přizpůsobují určitým problémům. Pozornost se přitom zaměřuje zejména na:

- dosažení co nejlepších technických parametrů,
- možnost použití na elektrifikovaných tratích,
- ochranu před vlivem sousedních kolejových obvodů,
- ochranu před ostatními cizími vlivy,
- odstranění izolovaných styků,
- získání specifických vlastností pro zvláštní použití.

### 2.1 Dělení kolejových obvodů

Vzhledem k vysokému počtu různých požadavků na kolejové obvody se kolejové obvody dělí dle mnoha hledisek:

a) způsobu zapojení:

- paralelní,
- sériové,

b) geometrického uspořádání:

- přímé,
- rozvětvené:
  - se sériovým zapojením větví,
  - s paralelním zapojením větví:
  - s volnými konci (bez výstroje odbočné větve),
  - se všemi konci vybavenými přijímačem,
  - s výstrojí bez přijímače,

c) ohraničení:

- ohraničené (jednostranně, oboustranně):
- izolovanými styky (klasické kolejové obvody),
- elektrickými styky,
- neohraničené,

d) způsobu ochrany před vlivem sousedících kolejových obvodů:

- pomocí výstroje v kolejišti (např. kosé propojky),
- fázová (resp. polaritní při stejnosměrném napájení),
- frekvenční,
- schematická,

e) způsobu vedení zpětného trakčního (topného, pomocného) proudu:

- dvoupásové,
- jednopásové,
- částečně průtokové,
- neprůtokové,

f) druhu signálního proudu:

- stejnosměrný,
- střídavý,
- dvojí přenos,
- superponovaný,

g) způsobu napájení:

- nepřerušované (statické),
- impulsní,
- kódované,

h) způsobu přenosu signálu LVZ:

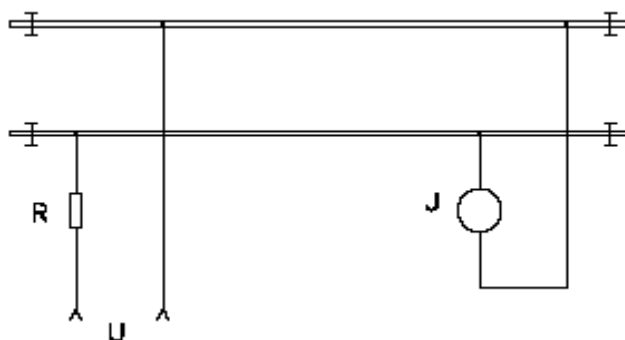
- trvalý přenos,
- dodatečný přenos,

i) způsobu snímání signálu:

- napěťové,
- proudové.

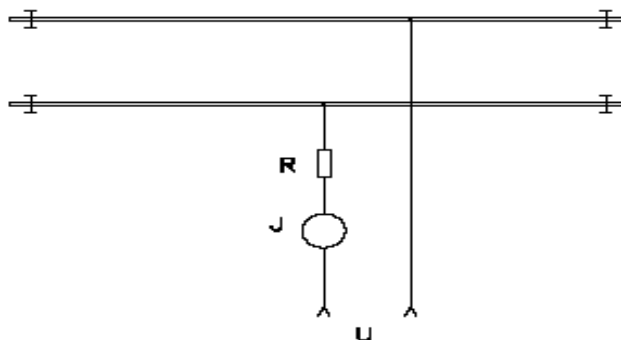
## 2.2 Rozbor činnosti kolejových obvodů

Paralelní kolejový obvod má zdroj a přijímač ke kolejnicím připojený paralelně. Kolejové relé je tedy v základním stavu přitaženo. Při šuntování obvodu proud tekoucí do relé poklesne a to odpadne. Budeme uvažovat dvě základní poruchy, lom kolejnice a zkrat mezi kolejnicemi, dojdeme k závěru, že v obou případech kolejové relé odpadne a zahlásí kolejový obvod jako obsazený. Paralelní kolejový obvod je tedy konstruován tak, že ani při své poruše nebude obsazenou kolej hlásit jako volnou. Poskytuje tak bezpečnou informaci o volnosti koleje, čehož se využívá pro provoz na širé trati.



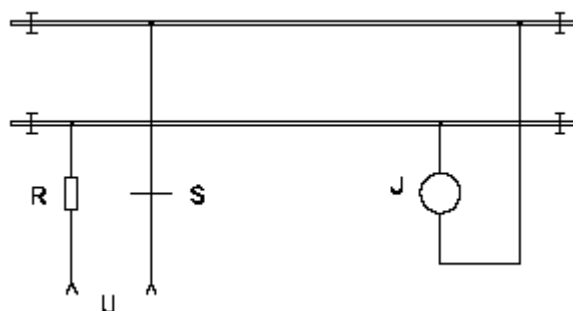
**Obr. 2-1:** Schéma paralelního kolejového obvodu

Oproti tomu sériový kolejový obvod (zdroj, přijímač, kolejové vedení jsou řazeny v sérii) je konstruován tak, že ani při poruše nebude volnou kolej hlásit jako obsazenou. U modernějších zabezpečovacích zařízení se oba způsoby připojení kolejového obvodu překrývají.



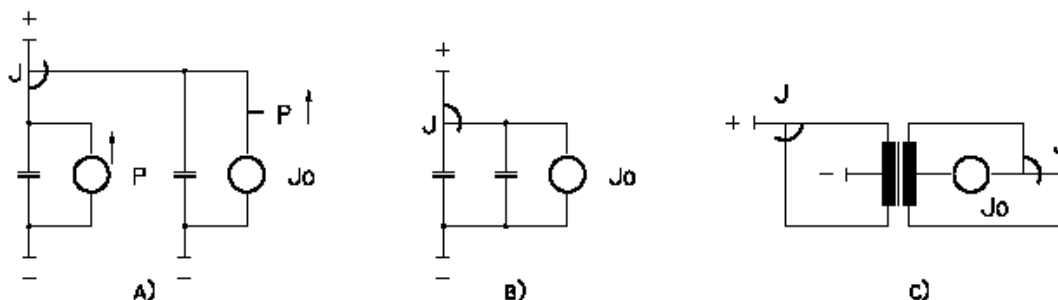
**Obr. 2-2:** Schéma sériového kolejového obvodu

Modifikací paralelního kolejového obvodu je impulsní paralelní kolejový obvod. Napájení impulsního paralelního kolejového obvodu je opakovaně přerušováno spínačem S. Volný stav kolejového obvodu je indikován impulsní činností kolejového přijímače J. Sepnutý nebo odpadlý kolejový přijímač J indukuje poruchu nebo obsazení kolejového obvodu.



**Obr. 2-3:** Schéma sériového kolejového obvodu

Pro použití do logických vazeb zabezpečovacího zařízení se zřizuje statický výstup kolejového obvodu  $J_0$ , který je ovládán přes reléový, kondenzátorový nebo transformátorový dekodér. Výstupní relé  $J_0$  bude přitaženo impulsní činností kolejového přijímače J. Impulsní paralelní kolejový obvod výhodněji využívá charakteristiku kolejového přijímače (součinitel vypnutí  $k_v$  je nad 0,7) než staticky pracující obvody. Kvůli vysokému mechanickému namáhání spínačů i přijímačů, se zřizují a používají elektronické verze těchto obvodů.



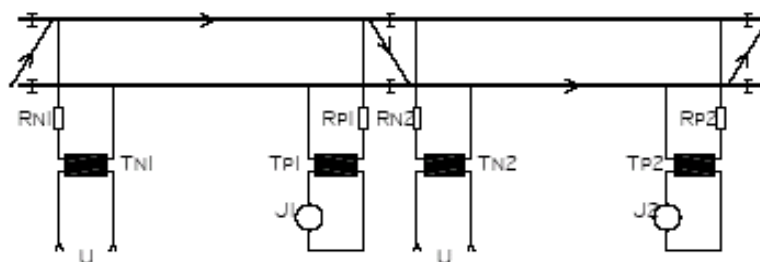
**Obr. 2-4:** Dekodéry: A) Reléový, B) Kondenzátorový, C) Transformátorový

## 2.3 Vedení trakčního proudu

Při napájení vlakové soupravy z trakčního vedení je nutné vést trakční proud zpět ke zdroji kolejnicemi. Tedy zajistit průchod trakčního proudu více kolejovými obvody.

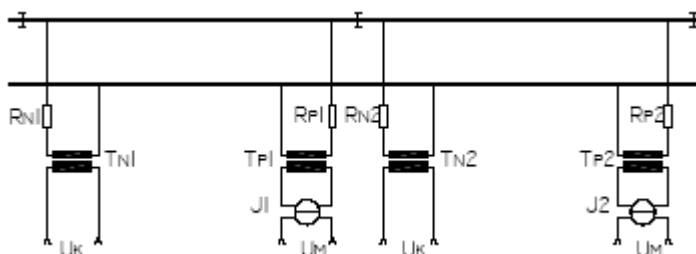
### 2.3.1 Jednoplánové kolejové obvody

Vedení trakčního proudu umožňují kosé propojky. Proud protéká vždy jednou z kolejnicí.



**Obr. 2-5:** Vedení trakčního proudu pomocí kosých propojek

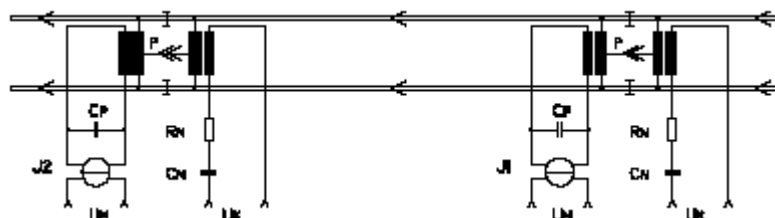
Modifikace tohoto kolejového obvodu je na **obr. 2-5**. Trakční proud je veden pouze jednou kolejnicí. Ušetří se zde sice polovina izolovaných styků, ale je potřeba použít fázově citlivé přijímače.



**Obr. 2-6:** Vedení trakčního proudu jedinou kolejnicí

### 2.3.2 Dvoupásové kolejové obvody

Trakční proud protéká oběma kolejnicemi stejnou měrou a stejným směrem. Při shodné velikosti trakčního proudu na obou koncích primárního vnutí stykového transformátoru ST nebude mít trakční proud žádné účinky na sekundární vnutí, k němuž je připojená výstroj napájecího nebo reléového konce kolejového obvodu. Souhrnný trakční proud pak proteče středy transformátorových vinutí přes propojku p do sousedního obvodu, kde se opět rozdělí do obou kolejnic. Dvoupásový kolejový obvod lze použít pro jakýkoli trakční systém.



**Obr. 2-7:** Vedení trakčního proudu dvoupásovým kolejovým obvodem

## **2.4 Ochrana před vlivy sousedních obvodů**

Při zkratu izolovaného styku dojde k nebezpečí vniknutí signálu se sousedního kolejového obvodu. Závažnost této poruchy má různou váhu v závislosti na vlastnostech použitých přijímačů.

### **2.4.1 Jednopásové kolejové obvody s fázově necitlivými přijímači**

Viz obr.2-4. Při zkratování izolovaného styku je pomocí kosé propojky jeden z kolejových obvodů zkratován. Ovlivnění tak přímo nehrozí a porucha se projeví. Pokud se přeruší kosá propojka a její přerušení zůstane nepozorováno a později dojde ke zkratování izolovaného styku, poté již k vyskartování kolejového obvodu nedojde. Situace se zlepší, pokud bude v sousedních kolejových obvodech vystřídána fáze napájecího napětí. To se v případě proražení izolovaného styku odečte od sousedního napájecího napětí a jeho pokles se projeví jako závada.

### **2.4.2 Kolejové obvody s fázově citlivými přijímači**

K ochraně se využívá zejména prostřídání orientace napájecího napětí. Nejčastější použití je zejména u dvoupásových kolejových obvodů, ale dá se využít i u jednopásových kolejových obvodů v zapojení podle Obr. 2-5.

### **2.4.3 Impulsní kolejové obvody**

V impulsních kolejových obvodech s fázově citlivými přijímači se pro kontrolu styků využívá vystřídání fáze v sousedících kolejových obvodech stejně jako u statických obvodů. Pokud přijímače nejsou fázově citlivé, používá se obvykle synchronizace napájecích impulsů v sousedících kolejových obvodech tak, aby nemohlo dojít k vzájemnému ovlivnění.

## **2.5 Lom Kolejnice**

Lom nebo poškození kolejnice způsobí pokles vodivosti kolejových pásů a tím i snížení napětí na kolejovém přijímači (musí se jednat o závažné poškození kolejnice, aby se pokles napětí dostatečně projevil). Tato funkce se dá bez problémů použít na trati, kde jsou kolejové obvody použity pro zjišťování volnosti trati.

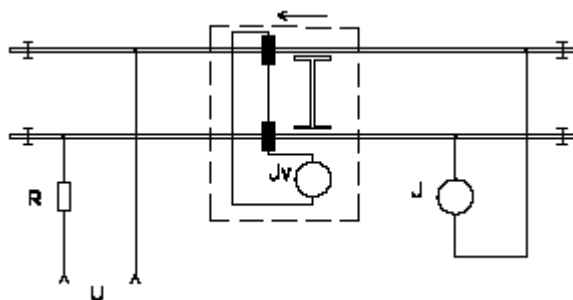
Při jiných funkcích (např. kolejový obvod použit jako přibližovací úsek osamoceného přejezdu na širé trati, která není vybavená kolejovými obvody) není jednoduché rozeznat, zda

jde o poruchu či jízdu vlaku a obvod tak často vykoná funkci (uzavření přejezdu) nadbytečně. Přesto i zde se musí lom kolejnice sledovat, jinak by mohlo dojít k dalším chybám (lomům) a kolejový obvod by přestal plnit svou funkci.

U jednopásových kolejových obvodů se většinou s citlivostí k lomu koleje nepočítá. Bezpečné zachování citlivosti k šuntu je, podobně jako v případě kosých propojek, závislé na celkové úrovni poruchovosti, kvalitě údržby a rychlosti odstraňování zjištěných závad. Přes uvedené nedostatky jsou jednopásové obvody široce užívány u řady železnic pro svou jednoduchost a relativně nízké náklady. Lze předpokládat, že i u ČD se budou nadále využívat zejména na vedlejších kolejištích.

## 2.6 Přenos LVZ

Vzhledem ke stále zvyšující se rychlosti v železniční dopravě není možné spoléhat na to, že strojvůdce včas a správně přečte návěstní znak z návěstidla. Proto bylo nutné pomocí kolejového obvodu zprostředkovat přenos informace o návěstním znaku z tratě na vozidlo prostřednictvím signálního proudu kolejového obvodu. Signální proud je nutné vhodně kódovat. V zásadě je možné použít kterékoliv modulace - amplitudové, fázové, frekvenční - přičemž nositelem informace může být prostá frekvence klíčování nebo složitější sériový kód. Kód může být do kolejového obvodu vyslán trvale, nebo dodatečně, až po obsazení kolejového obvodu vlakem (dodatečné kódování). Kód je přijímán přijímačem, který je umístěn pod přední nápravou hnacího vozidla. Přijímač vlakového zabezpečovače JV se v kolejovém obvodu pohybuje (spolu s vlakem) směrem ke zdroji a jeho parametry musí být s parametry kolejového obvodu sladěny.



**Obr. 2-8:** *Přijímání proudu LVZ*

### 3 Výstroj kolejového obvodu

#### 3.1 Zdroje

Rozhodující parametry zdrojů pro kolejové obvody musí být zajištěny tak, aby byly zaručeny vlastnosti kolejových obvodů, ve smyslu zabezpečovací techniky. Základní vlastnosti, které se sledují u zdrojů pro paralelní kolejové obvody, jsou napětí, frekvence, dovolené zatížení a dále účinnost, počet fází a jejich vzájemný vztah. U zdrojů se definují tři součinitele nestability napětí zdroje:

$$k_{u(-)} = \frac{U_{nom}}{U_{min}} \quad k_u = \frac{U_{max}}{U_{min}} \quad k_{u(+)} = \frac{U_{min}}{U_{max}} \quad (3.1)$$

$U_{min}$ ..... minimální hodnota napětí zdroje

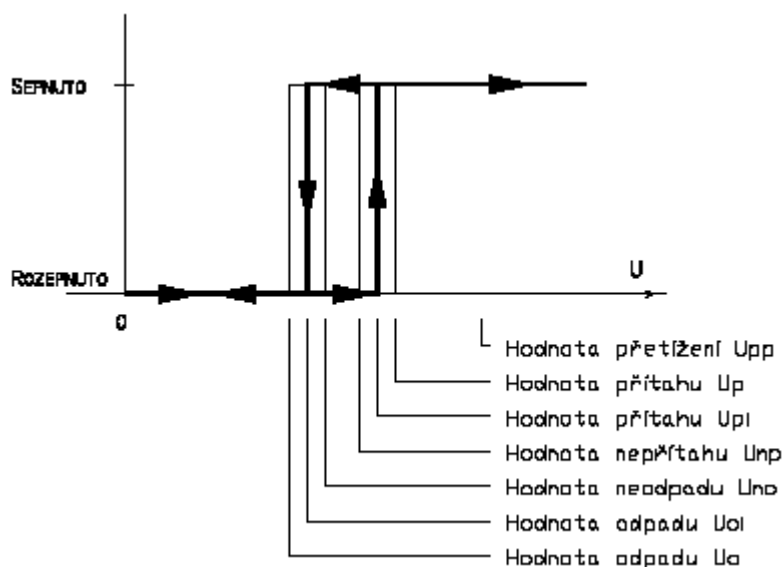
$U_{nom}$ ..... nominální hodnota napětí zdroje

$U_{max}$ ..... maximální hodnota napětí zdroje

#### 3.2 Přijímače

U běžného kolejového obvodu tvoří jeho užitečnou zátěž přijímač (kolejové relé), který může být doplněn dalšími prvky pro impedanční přizpůsobení, regulaci úrovně signálu fázovou korekcí.

Podle obr. lze popsat významné hodnoty amplitudy přijímaného signálu na běžném neutrálním relé.



Obr. 3-1: Amplituda kolejového přijímače



$U_{pp}$ .... maximální dovolená hodnota napětí  
 $U_p$ .... hodnota napětí při které všechna relé daného typu bezpečně přitáhnou  
 $U_{pi}$ .... hodnota napětí při které dané relé daného typu bezpečně přitáhne  
 $U_{np}$ .... hodnota napětí při které žádné relé daného typu bezpečně nepřitáhne  
 $U_{no}$ .... hodnota napětí, při které ještě žádné relé daného typu bezpečně neodpadne  
 $U_{oi}$ .... hodnota napětí při které dané relé daného typu bezpečně odpadne  
 $U_o$ .... hodnota napětí při které všechna relé daného typu bezpečně odpadnou

Při konstrukci nových přijímačů se snažíme, aby hodnota odpadu a hodnota přitahu byly co nejbližší u sebe což vyjadřuje tvz. činitel vypnutí  $k_v$ .

$$k_v = \frac{U_o}{U_p} \quad (3.2)$$

V praxi musíme zajistit, aby hodnoty přitahu na kolejové relé bylo dosaženo i při minimálním napětí zdroje. Požadovaná je také určitá rezerva, dána provozním koeficientem nejistoty  $k_p$

Při maximálním napájecím napětí tak bude na přijímači napětí:

$$U_p' = k_p \cdot \frac{U_{\max}}{U_{\min}} \cdot U_p = k_u \cdot k_p \cdot U_p \quad (3.3)$$

potom redukovaný součinitel vypnutí je:

$$k_{vr} = \frac{U_o}{U_p} = \frac{U_o}{k_u \cdot k_p \cdot U_p} = \frac{k_v}{k_u \cdot k_p} \quad (3.4)$$

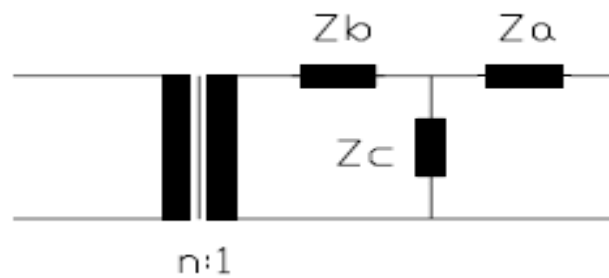
Při obvyklých hodnotách:  $k_v = 0,5$ ,  $k_u = 1,22$  a  $k_p = 1,1$  bude  $k_{vr} = 0,373$ .

V mnoha případech (neohrazené kolejové obvody, obvody s elektrickými styky) se provozují sousední kolejové obvody s odlišnou frekvencí. Proto je nutné zajistit kmitočtovou selektivitu přijímače pouze na signální kmitočet obvodu. V úvahu přichází řešení s redundantním zařízením nebo zařazením filtru před vlastní přijímač (zde je však problém s bezpečností filtru dle pravidel zabezpečovací techniky).

### 3.3 Stykové transformátory

Kolejovými pásy netečou pouze zabezpečovací proudy kolejového obvodu, ale také trakční proudy. Stykový transformátor umožní přechod těchto proudů mezi kolejovými obvody. K jeho dalším funkcím patří přizpůsobení výstroje napájecího a přijímacího konce parametrům kolejového vedení.

Stykový transformátor je složen z transformátorových plechů. Kvůli nesymetrii v průtoku trakčního proudu by docházelo k přemagnetizování, což je konstrukčně řešeno výraznou vzduchovou mezerou. Díky tomu je magnetizační proud větší než u běžných transformátorů. Na stejnosměrné trakci je primární vinutí dimenzováno na 1000A v každé kolejnici, na střídavé trakci na 150A. Sekundární vinutí přenáší pouze signální proud.



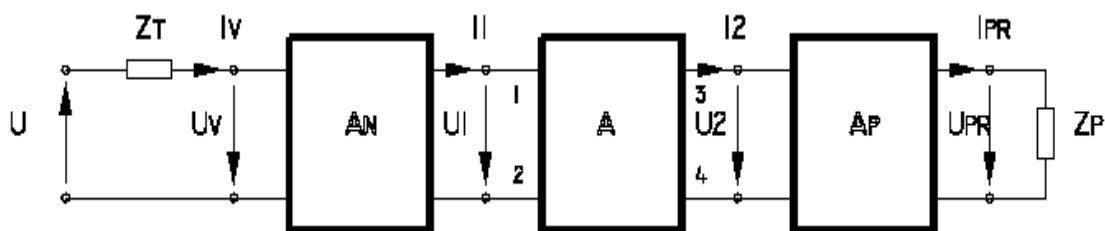
**Obr. 3-2:** Náhradní schéma stykového transformátoru

## 4 Analýza

Jak už bylo zmíněno, paralelní kolejový obvod se při své činnosti dostává do různých provozních stavů (volný stav, šuntový stav, havarijní stav), rozbořem těchto případů se bude zabývat tato kapitola.

### 4.1 Volný stav

Paralelní kolejový obvod můžeme popsat náhradním schématem. Výstroj napájecího konce představuje ideální zdroj napětí  $U$ , tlumící impedance  $Z_t$  a dvojbran  $A_n$ . Vlastní kolejové vedení je pak nahrazeno dvojbranem  $A$ . Výstroj přijímacího konce kolejového vedení představuje přijímač  $Z_p$  a dvojbran  $A_p$ .



**Obr. 4-1:** Náhradní schéma paralelního kolejového obvodu (volný stav)

Z náhradního schématu paralelního kolejového obvodu se dají odvodit následující přenosové rovnice:

$$U = U_v + Z_t \cdot I_v \quad (4.1)$$

$$U_v = A_{n11} \cdot U_1 + A_{n12} \cdot I_1 \quad (4.2)$$

$$I_v = A_{n21} \cdot U_1 + A_{n22} \cdot I_1 \quad (4.3)$$

$$U_1 = A_{11} \cdot U_2 + A_{12} \cdot I_2 \quad (4.4)$$

$$I_1 = A_{21} \cdot U_2 + A_{22} \cdot I_2 \quad (4.5)$$

$$U_2 = A_{p11} \cdot U_{pr} + A_{p12} \cdot I_{pr} \quad (4.6)$$

$$I_2 = A_{p21} \cdot U_{pr} + A_{p22} \cdot I_{pr} \quad (4.7)$$

$$U_{pr} = Z_p \cdot I_{pr} \quad (4.8)$$

Parametr, který podchycuje konstrukci kolejového obvodu, bez ohledu na přiváděnou energii se nazývá přenosová impedance  $Z_a$ . Ta je definována jako poměr napětí na začátku obvodu k proudu na konci obvodu:

$$Z_a = \frac{U}{I_{pr}} \quad (4.9)$$

Z toho vyplývá, že má-li být v přijímači dosaženo proudu  $I_{pr}$ , musí napájecí napětí obvodu mít hodnotu:

$$U = Z_a \cdot I_{pr} \quad (4.10)$$

Pro správné fungování kolejového obvodu je nutné si určit mezní hodnoty proudu tekoucího do kolejového přijímače a z nich odvodit napětí zdroje.

Minimální proud bude roven hodnotě zaručeného příťahu přijímače. Tato hodnota je dále kvůli bezpečnosti zvýšená součinitelem provozní jistoty  $k_p$ . U dvoufázových přijímačů je nutné dále napájecí napětí korigovat podle fázové odchylky  $\Delta\varphi$  proudu  $I_{pr}$  od ideálního stavu a případně podle napěťové závislosti místního systému  $k'_{u(-)}$ . Minimální proud přijímačem, který spolehlivě zajistí funkci kolejového obvodu ve volném stavu, má hodnotu:

$$I_{pr \min} = \frac{I_p \cdot k_p}{k'_{u(-)} \cdot \cos \Delta\varphi} \quad (4.11)$$

Při stanovení napětí na napájecím konci musí být stanovená maximální hodnota přenosové impedance s ohledem na všechny možné nejnepříznivější parametry, při nichž má kolejový obvod ještě pracovat. Minimální napájecí napětí pak můžeme ještě zaměnit dle vzorce  $U_{\min} = k_{u(-)} \cdot U_{\text{nom}}$ , pro potřebné nominální napájecí napětí kolejového obvodu lze napsat souhrnně výraz:

$$U_{\text{nom}} = \max_{y,z,\delta} Z_a \cdot \frac{I_p \cdot k_p}{k_{u(-)} \cdot k'_{u(-)} \cdot \cos \Delta\varphi} \quad (4.12)$$

pro fázově necitlivý přijímač bude  $k'_{u(-)} = 1$ ,  $\Delta\varphi = 0$ .

Při určení maximálního proudu kolejovým přijímačem vycházíme z poměru maximální a minimální přenosové impedance. Velikost maximálního proudu tak bude určena vztahem:

$$I_{pr \max} = \frac{\max_{y,z,\delta} Z_a}{\min_{y,z,\delta} Z_a} \cdot I_{pr \min} \cdot k_u \quad (4.13)$$

Tuto velikost lze vyjádřit ve vztahu k základní hodnotě činnosti kolejového přijímače  $I_p$  koeficientem přetížení přijímače  $k_{pp}$ :

$$U_{nom} = \frac{I_{prmax}}{I_p} = \frac{\max_{y,z,\delta} Z_a \cdot k_p \cdot k_u}{\min_{y,z,\delta} Z_a \cdot k_{u(-)} \cdot \cos \Delta \varphi} \quad (4.14)$$

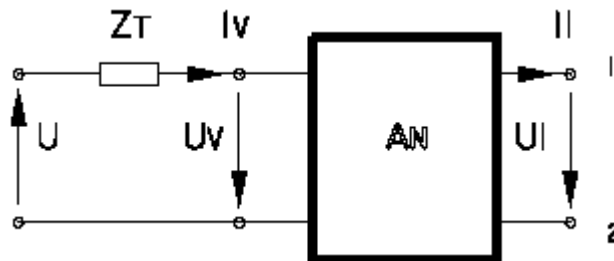
Na takové přetížení musí být přijímač dimenzován, aby ve volném stavu nedošlo k jeho nestabilní činnosti nebo dokonce k poškození.

#### 4.1.1 Analýza volného stavu pomocí ekvivalentního schéma

Při analýze volného stavu posuzujeme, zda proud tekoucí kolejovým přijímačem udrží přijímač vybuzený i při nejnepříznivějších podmínkách. Tedy:

- maximální měrná příčná admitance (svod mezi kolejnicemi)  $y_{max}$
- maximální měrná podélná impedance  $z_{max}$
- minimální přípustné napájecí napětí při nestabilitě zdroje  $U_{min}$

Vycházíme z náhradního schéma pro paralelního kolejový obvod viz. obr. 4-1. Podle Theveninova teorému využíváme zkrácené schéma na napájecí straně. Zdroj napětí  $U$  zaměňme ekvivalentním zdrojem  $U_e$ , které je rovno napětí na prázdko  $U_{10}$  mezi výstupními svorkami dvojbranu  $A_n$  viz Obr 4-2. Tlumicí impedanci  $Z_t$  a dvojbran napájecí strany  $A_n$  nahradíme ekvivalentní impedancí  $Z_e$ . Obvod je uzavřen zakončováním impedancí  $Z_2$ , která představuje vstupní impedanci dvojbranu  $A_p$ .



**Obr. 4-2:** Schéma napájecí strany při chodu na prázdko

Obr.4-2 se dá popsat rovnicemi:

$$U = A_{n11} \cdot U_{10} \quad (4.15)$$

$$I_{V0} = A_{n21} \cdot U_{10} \quad (4.16)$$

$$Z_{n0} = \frac{A_{n11}}{A_{n21}} \quad (4.17)$$

Proud  $I_{v0}$  se též rovná:

$$I_{v0} = \frac{U}{Z_t + Z_{n0}} = \frac{U}{A_{n21} \left( Z_t + \frac{A_{n11}}{A_{n21}} \right)} \quad (4.18)$$

Z rovnic (4.16) a (4.18) vyjádříme  $U_{10}$  a to je rovno  $U_e$ . Potom:

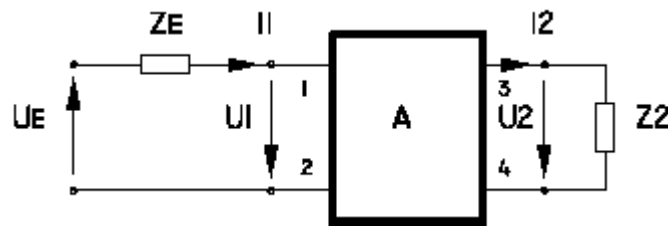
$$U_e = \frac{U}{A_{n21} \cdot Z_t + A_{n11}} \quad (4.19)$$

Převodní součinitel mezi napětím skutečného a ekvivalentního zdroje je:

$$H_u = \frac{U}{U_e} = A_{n21} \cdot Z_t + A_{n11} \quad (4.20)$$

Ekvivalentní impedanci  $Z_e$  pak získáme se vztahu:

$$Z_e = \frac{A_{n22} \cdot Z_t + A_{n12}}{A_{n21} \cdot Z_t + A_{n11}} \quad (4.21)$$



**Obr. 4-3:** Ekvivalentní schéma paralelního kolejového obvodu

Ekvivalentní přenosová impedance je:

$$Z_{ae} = \frac{U_e}{I_2} \quad (4.22)$$

Pokud pak:

$$U_e = U_1 + Z_e \cdot I_1 \quad (4.23)$$

a spolu s kaskádními rovnicemi kolejového dvojbranu (4-4),(4-5) potom:

$$Z_{ae} = \frac{1}{I_2} [A_{11} \cdot U_2 + A_{12} \cdot I_2 + Z_e (A_{21} \cdot U_2 + A_{22} \cdot I_2)] \quad (4.24)$$

Po vytknutí  $I_2$  dostaneme ekvivalentní přenosovou impedanci  $Z_{ae}$  vyjádřenou bez závislosti na napětí a proudu.

$$Z_{ae} = A_{11} \cdot Z_2 + A_{12} + Z_e (A_{21} \cdot Z_2 + A_{22}) \quad (4.25)$$

Jelikož obvykle známe impedanci přijímače  $Z_p$ :

$$Z_2 = \frac{A_{p11} \cdot Z_p + A_{p12}}{A_{p21} \cdot Z_p + A_{p22}} \quad (4.26)$$

Ekvivalentní proud přijímačem I<sub>2</sub> se vyjádří:

$$I_2 = A_{p21} \cdot U_p + A_{p22} \cdot I_p \quad (4.27)$$

Tedy už lze pomocí rovnic (4.20), (4.21), (4.22), (4.25), (4.26) vyjádřit závislost napájecího napětí na proudu tekoucím přijímačem:

$$U = H_u \cdot U_e = H_u \cdot Z_{ae} \cdot I_2 = H_u \cdot [A_{11} \cdot Z_2 + A_{12} + Z_e (A_{21} \cdot Z_2 + A_{22})] \cdot I_2 =$$

$$(A_{n21} \cdot Z_t + A_{n11}) \cdot (A_{p21} \cdot U_p + A_{p22} \cdot I_p) \cdot$$

$$\left( A_{11} \cdot \frac{A_{p11} \cdot Z_p + A_{p12}}{A_{p21} \cdot Z_p + A_{p22}} + A_{12} + \frac{A_{n22} \cdot Z_t + A_{n12}}{A_{n21} \cdot Z_t + A_{n11}} \cdot \left( A_{21} \cdot \frac{A_{p11} \cdot Z_p + A_{p12}}{A_{p21} \cdot Z_p + A_{p22}} + A_{22} \right) \right)$$

$$(4.28)$$

Prvky matic dvojbranů A<sub>n</sub> a A<sub>p</sub> jsou závislé na konstrukci stykových transformátorů. Nejnepříznivějšími podmínkami jsou ovlivněny prvky matice kolejového dvojbranu A.

Kaskádní matice kolejového dvojbranu má tvar:

$$[A] = \begin{bmatrix} \cosh \gamma & Z_0 \sinh \gamma \\ \frac{\sinh \gamma}{Z_0} & \cosh \gamma \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

kde

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}} \quad (4.30)$$

je vlnová impedance vedení, l je délka vedení a

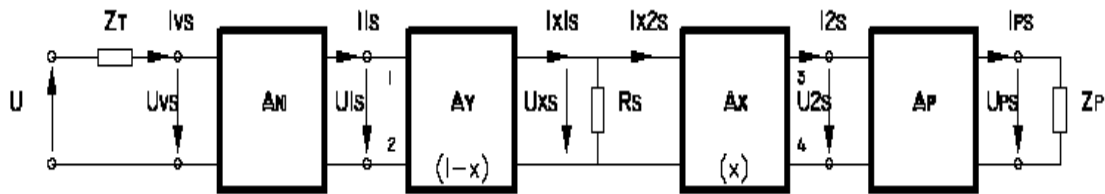
$$\gamma = \sqrt{z * y} \quad (4.31)$$

je činitel šíření, v němž z je měrná podélná impedance a y měrná příčná admitance.

## 4.2 Šuntovací stav

Po vjetí kolejového vozidla do obvodu je nutné, aby kolejový přijímač odpadl a aby vozidlo svým šuntem ovlivnilo elektrické parametry obvodu tak, že, do opuštění kolejového obvodu vozidlem, přijímač kolejového obvodu nebude znovu vybuzen.

Náhradní schéma kolejového obvodu v šuntovacím stavu se od volného stavu liší změnou v dvojbranu vlastního kolejového vedení A. Ten se rozdělí na dva dvojbrany A<sub>x</sub> a A<sub>y</sub>, které představují kolejové vedení před a za vlakem. Veškerá dvojkolí vlaku pak nahradí odpor R<sub>s</sub>.



**Obr. 4-4:** Náhradní schéma paralelního kolejového obvodu (šuntovací stav)

Přes přijímač v šuntovacím stavu teče proud  $I_{ps}$ . Můžeme tedy zavést přenosovou impedanci kolejového obvodu v šuntovaném stavu:

$$Z_{as} = \frac{U}{I_{ps}} \quad (4.32)$$

Další novou proměnou je součinitel šuntovaného stavu  $k_s$ , který získáme z poměru proudů  $I_{ps}$  a  $I_{pr}$  (proud přijímačem ve volném stavu):

$$k_s = \frac{I_{ps}}{I_{pr}} = \frac{I_{ps} * U}{I_{pr} * U} = \frac{Z_a}{Z_{as}} \quad (4.33)$$

Součinitel  $k_s$  má obecně komplexní charakter, protože přiložením šuntu dojde nejen ke změně amplitudy signálu, ale i ke změně jeho fáze. Součinitel  $k_s$  udává poměrnou změnu proudu, k níž dojde na přijímači vlivem přiložení šuntu. Důležité je, aby změna byla větší než minimální změna, kterou je schopen vyhodnotit přijímač. Tuto schopnost reakce přijímače udává redukovaný součinitel vypnutí  $k_{vr}$ . Reakce obvodu na současnou změnu amplitudy i fáze však závisí na typu přijímače.

#### 4.2.1 Šuntovaný stav s fázově necitlivým přijímačem

Přímo se porovnávat absolutní část součinitele šuntovaného stavu  $k_s$  se souhrnným součinitelem kvality přijímače a napájecího napětí  $k_{vr}$ :

$$k_{vr} \geq k_s \quad (4.34)$$

Toto musí platit i při nejnepříznivější kombinaci všech proměnných parametrů (tj. při maximálním  $k_s$ ). Maximální  $k_s$  bude při maximální  $Z_a$  a minimální  $Z_{as}$ . Obě přenosové impedance jsou funkcemi parametrů kolejového vedení (např.  $y$  a  $z$ ) a tolerancí výstroje ( $\delta$ ). Přenosová impedance v šuntovaném stavu je navíc funkcí šuntu  $R_s$  a jeho vzdálenosti  $x$  od přijímacího konce.

$$k_{vr} \geq \max k_s = \frac{\max_{y,z,\delta} Z_a}{\min_{y,z,\delta,R_s,x} Z_{as}} \quad (4.35)$$



Zjistíme-li po vyčíslení, že vztah není splněn, znamená to, že šuntová citlivost obvodu je menší než ve výpočtu použitá hodnota  $R_s$ . Vyhovuje-li ve vztahu nerovnost, je šuntová citlivost lepší než  $R_s$ . Platí-li rovnost, je šuntová citlivost obvodu právě rovna  $R_s$ .

#### 4.2.2 Šuntovaný stav s fázově citlivým přijímačem

Pro fázově citlivý přijímač lze užít obdobných vztahů jako v předchozí části, je však třeba respektovat účinné složky proudu v přijímači. Bude-li reakce přijímače na fázovou odchylku od ideálního režimu kosinového charakteru, bude na přijímač ve volném stavu působit účinná složka ( $I_{pr} \cdot \cos \Delta \varphi$ ) a v šuntovaném stavu ( $I_{ps} \cdot \cos \Delta \varphi_s$ ). Tedy:

$$k_s = \frac{I_{ps} \cdot \cos \Delta \varphi_s}{I_{pr} \cdot \cos \Delta \varphi} = \frac{Z_a \cdot \cos \Delta \varphi_s}{Z_{as} \cdot \cos \Delta \varphi} \quad (4.36)$$

Opět musí být splněná  $k_{vr} > k_s$  i za nejnejpříznivějších stavů v provozu:

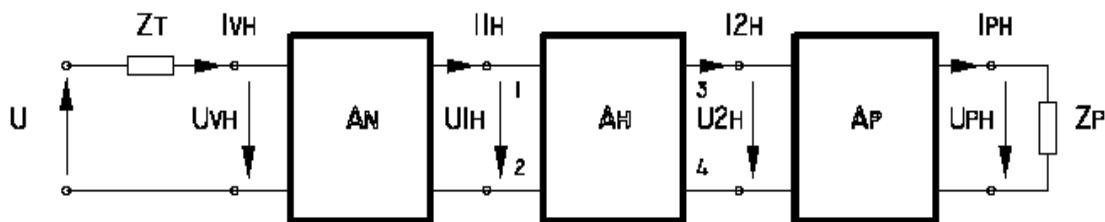
$$k_{vr} \geq \max k_s = \frac{\max_{y,z,\delta} \frac{Z_a}{\cos \Delta \varphi}}{\min_{y,z,\delta,R_s,x} \frac{Z_{as}}{\cos \Delta \varphi_s}} \quad (4.37)$$

šuntové citlivosti se u fázově citlivých přijímačů dosahuje dvěma prostředky:

- a) poklesem amplitudy signálu v poměru
- b) rozdílným natočením fáze při šuntovaném a volném stavu v poměru  $\cos \Delta \varphi_s / \cos \Delta \varphi$ , přičemž nejvýhodnějšího účinku bude dosaženo za předpokladu, že odchylky ve volném i šuntovaném stavu působí stejným směrem a  $|\Delta \varphi_s| > |\Delta \varphi|$ .

### 4.3 Havarijní stav

Přerušeni kolejnice dojde buď při jízdě vlaku (při šuntování kolejového obvodu), působením dynamických sil mezi dvojkolím vlaku a kolejnicí, nebo bez jízdy vlaku (např. mechanickým pnutím v kolejnici vlivem extrémních teplot nebo vyjmutím kolejnice při údržbě). V prvním případě postačí pro zjištění poruchy, pokud proud v kolejovém přijímači nestoupne nad hodnotu zaručeného nepřítahu. V druhém případě je nutné, aby proud poklesl pod hodnotu zaručené nečinnosti kolejového přijímače.



**Obr. 4-5:** Náhradní schéma paralelního kolejového obvodu (havarijní stav)

Náhradní schéma se liší od schéma volného stavu pouze jinými parametry kolejového vedení. Kolejovým přijímačem teče proud  $I_{PH}$ . Potom můžeme zavést (obdobně jako u šuntového stavu) součinitel havarijního stavu kolejového obvodu:

$$k_h = \frac{I_{ph} * \cos \Delta\varphi_h}{I_{pr} * \cos \Delta\varphi} = \frac{Z_a * \cos \Delta\varphi_h}{Z_{ah} * \cos \Delta\varphi} \quad (4.38)$$

kde  $Z_{ah}$  je přenosová impedance kolejového obvodu v havarijním stavu.

-při fázově necitlivém přijímači:

$$\Delta\varphi = 0$$

$$\Delta\varphi_h = 0$$

Analogicky k předchozím kapitolám:

$$Z_{ah} = \frac{U}{I_{ph}} \quad (4.39)$$

Podmínku pro bezpečné rozpoznání havarijního stavu lze pak napsat

$$k_{vr} \geq \max k_h = \frac{\max_{y,z,\delta} \frac{Z_a}{\cos \Delta\varphi}}{\min_{yh,z,\delta,xh} \frac{Z_{ah}}{\cos \Delta\varphi_h}} \quad (4.40)$$

Kde  $xh$  je kritické místo lomu kolejnice (lom v místě, při kterém bude výraz ve jmenovateli minimální),  $yh$  je kritická hodnota svodu (vybraná v intervalu  $y_{max} \div 0$ , při níž bude hodnota výrazu ve jmenovateli opět minimální).

Hodnota  $k_{vr}$  je určená dle toho zda se jedná o zjištění havarijního stavu při jízdě vlaku, potom se použije hodnoty:

$$k_v' = \frac{U_{np}}{U_p} \quad (4.41)$$

či bez jízdy vlaku

$$k_v = \frac{U_0}{U_p} \quad (4.42)$$

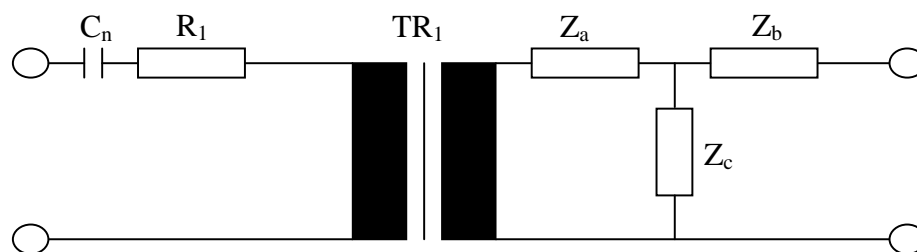
Existují železnice, které možnost lomu koleje neberou při konstrukci kolejového obvodu v úvahu. Požadavky plynoucí z havarijního stavu (které jsou obvykle protikladné k požadavkům na šuntovaný stav) pak konstrukci kolejového obvodu neztěžují a dosahuje se výrazně lepších parametrů ve volném a šuntovaném stavu. Tento přístup si však mohou dovolit pouze ty železnice, které se nebezpečí lomu účinně brání jinými způsoby – pečlivou kusovou defektoskopickou kontrolou při výrobě, opakovanou pečlivou defektoskopickou kontrolou po pokládce a periodickou pečlivou defektoskopickou kontrolou během provozu, takže vznik jednoho lomu za provozu je mimořádně málo pravděpodobný a vznik dvou lomů v jednom kolejovém obvodu (který by ohrozil již i detekci šuntu) lze neuvažovat.

## 5 Výpočet parametrů vybraného kolejového obvodu

Výpočet bude proveden na paralelním kolejovém obvodu 3103, který je napájen nepřerušovaným proudem o signálním kmitočtu 75Hz. Kolejovým přijímačem je indukční relé typu DSS-12P. Podle obr.4-1 pro náhradní schéma paralelního kolejového obvodu rozdělíme výpočet na tři části, kdy budeme počítat parametry jednotlivých dvojbranů.

### 5.1 Výpočet parametrů kolejového obvodu ve volném stavu

#### 5.1.1 Výpočet parametrů dvojbranu napájecího konce



**Obr. 5-1:**Náhradní schéma napájecího konce paralelního kolejového obvodu

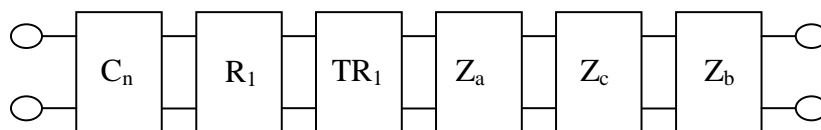
$C_n$ ..... omezovací kondenzátor

$R_1$ ..... odpor kabelu napájecího konce

$TR_1$ .....stykový transformátor DT-075

$Z_a, Z_b, Z_c$ ...impedance stykového transformátoru DT-075

Každý prvek lze nahradit dvojbranem:



**Obr. 5-2:**Nahrazení prvků dvojbranem

Každý dvojbran lze popsat maticí:

$$C_n \dots \dots \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{j\omega c_n} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_1 \dots \dots \begin{bmatrix} 1 & R_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$TR_1 \dots \dots \begin{bmatrix} n & 0 \\ 0 & \frac{1}{n} \end{bmatrix}$$

$$Z_a \dots \begin{bmatrix} 1 & Z_a \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Z_c \dots \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_c} & 1 \end{bmatrix}$$

$$Z_b \dots \begin{bmatrix} 1 & Z_b \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Výsledná matice napájecího konce má pak tvar:

$$\begin{aligned} A_n &= \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{j\omega_n} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & R_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} n & 0 \\ 0 & \frac{1}{n} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & Z_a \\ 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{1}{Z_c} & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & Z_b \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & R_1 + \frac{1}{j\omega_n} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} n & 0 \\ 0 & \frac{1}{n} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & Z_a \\ 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{1}{Z_c} & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & Z_b \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} n & \frac{1}{n} \left( R_1 + \frac{1}{j\omega_n} \right) \\ 0 & \frac{1}{n} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & Z_a \\ 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{1}{Z_c} & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & Z_b \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} n & nZ_a + \frac{1}{n} \left( R_1 + \frac{1}{j\omega_n} \right) \\ 0 & \frac{1}{n} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{1}{Z_c} & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & Z_b \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} n + \frac{1}{Z_c} \left( nZ_a + \frac{1}{n} \left( R_1 + \frac{1}{j\omega_n} \right) \right) & nZ_a + \frac{1}{n} \left( R_1 + \frac{1}{j\omega_n} \right) \\ \frac{1}{nZ_c} & \frac{1}{n} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & Z_b \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} n + \frac{1}{Z_c} \left( nZ_a + \frac{1}{n} \left( R_1 + \frac{1}{j\omega_n} \right) \right) & Z_b \left( n + \frac{1}{Z_c} \left( nZ_a + \frac{1}{n} \left( R_1 + \frac{1}{j\omega_n} \right) \right) \right) + nZ_a + \frac{1}{n} \left( R_1 + \frac{1}{j\omega_n} \right) \\ \frac{1}{nZ_c} & \frac{1}{n} + \frac{Z_b}{nZ_c} \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{5.1}$$

Podle regulačních tabulek pro kolejový obvod 3103:

$$C_n = 7,95 \mu\text{F}$$

$$R_1 = 50 \Omega$$

$$n = 42$$

$$Z_a = 0,003 \Omega \angle 80^\circ$$

$$Z_b = 0,197 \Omega \angle 81^\circ$$

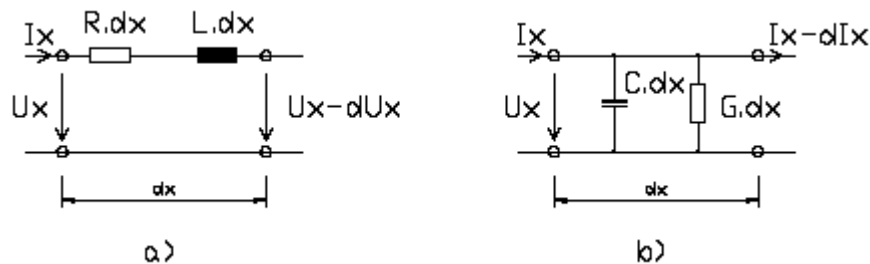
$$Z_c = 0,003 \Omega \angle 80^\circ$$

Po dosazení:

$$A_n = \begin{bmatrix} 16,0925 \angle -43,25^\circ & 6,3273 \angle -78,6^\circ \\ 0,1209 \angle -81^\circ & 0,0242 \angle 0^\circ \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

### 5.1.2 Výpočet parametrů dvojbranu kolejového vedení

Uvažujme proud a napětí v elementu homogenního vedení s měrným smyčkovým odporem  $R$ , měrnou indukčností smyčky  $L$ , měrnou vodivostí  $G$  a měrnou kapacitou  $C$  podle obr. 5-3. Je-li na vstupu elementu napětí  $U_x$  a proud  $I_x$ , na výstupu bude napětí  $U_x - dU_x$  a proud  $I_x - dI_x$



**Obr. 5-3:** Náhradní schéma homogenního vedení

Pro úbytek napětí na sériovém odporu a indukčnosti a pro úbytek proudu vlivem svodu  $G$  a kapacity  $C$  lze napsat:

$$-dU_x = I_x (Rdx + j\omega Ldx) \quad (5.3)$$

$$-dI_x = U_x (Gdx + j\omega Cdx) \quad (5.4)$$

Rovnice 5.3 a 5.4 lze po matematických úpravách psát:

$$U_x = U_1 \cosh \gamma x - I_1 Z_0 \sinh \gamma x \quad (5.5)$$

$$I_x = -\frac{U_1}{Z_0} \sinh \gamma x + I_1 \cosh \gamma x \quad (5.6)$$

Rovnice (5.5) a (5.6) jsou přenosovými rovnicemi, vyjadřujícími závislost výstupních veličin na vstupních veličinách symetrického pasivního dvojbranu homogenního vedení. Maticový zápis těchto rovnic má tvar:

$$\begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma & -Z_0 \sinh \gamma \\ -\frac{\sinh \gamma}{Z_0} & \cosh \gamma \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

Při výpočtech v kolejových obvodech se častěji setkáváme s vyjadřováním vstupních hodnot v závislosti na hodnotách výstupních. Tím se dostáváme ke kaskádní matici dvojbranu A kolejového vedení (viz obr. 4-1), která je ke zpětně kaskádní matici z výrazu (5.7) inverzní. Platí:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma & Z_0 \sinh \gamma \\ \frac{\sinh \gamma}{Z_0} & \cosh \gamma \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

U kolejových vedení se obvykle zavádí souhrnné označení  $z$  pro měrnou podélnou impedanci a  $y$  pro měrnou příčnou admitanci. Pak platí

$$z = R + j\omega L \quad (5.9)$$

$$y = G + j\omega C \quad (5.10)$$

potom:

$$\gamma = \sqrt{z * y} \quad (5.11)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{z}{y}} \quad (5.12)$$

Pro kmitočet 75Hz je stanovené rozmezí minimální a maximální měrné podélné impedance  $z_{\min} = 0,84 \Omega/\text{km} \angle 71^\circ$ ,  $z_{\max} = 0,94 \Omega/\text{km} \angle 68^\circ$ . Maximální měrná příčná admitance (svod) má hodnotu  $y_{\max} = 0,66 \text{ S}/\text{km}$ .

Parametry kolejového vedení pro paralelní kolejový obvod 3103:

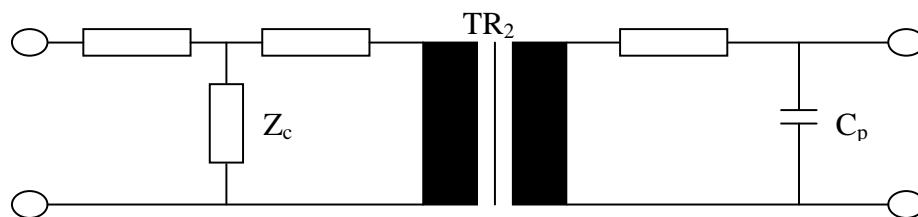
kolejnice..... S49(svařovaná)

délka .....1,6km

Matice kolejového vedení pro volný stav ( $z_{\max}$ ,  $y_{\max}$ ) má po dosazení tvar:

$$A = \begin{bmatrix} 1,4600 \angle 33,55^\circ & 1,6755 \angle 81,48^\circ \\ 1,1764 \angle 13,48^\circ & 1,4600 \angle 33,55^\circ \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

### 5.1.3 Výpočet parametrů dvojbranu přijímacího konce



**Obr. 5-4:** Náhradní schéma přijímacího konce paralelního kolejového obvodu

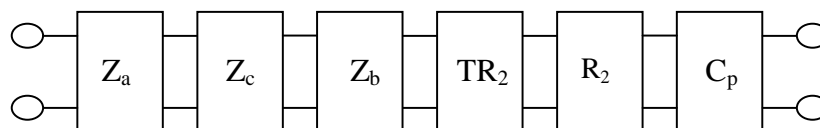
$Z_a, Z_b, Z_c$ ...impedance stykového transformátoru DT-075

$TR_2$ .....stykový transformátor DT-075

$R_2$ ..... odpor kabelu přijímacího konce

$C_p$ ..... omezovací kondenzátor

Každý prvek lze nahradit dvojbranem:



**Obr. 5-5:** Nahrazení prvků dvojbranou

Každý dvojbran lze popsat maticí:

$$Z_a \dots \begin{bmatrix} 1 & Z_a \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Z_c \dots \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_c} & 1 \end{bmatrix}$$

$$Z_b \dots \begin{bmatrix} 1 & Z_b \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$TR_2 \dots \begin{bmatrix} \frac{1}{n} & 0 \\ 0 & n \end{bmatrix}$$

$$R_2 \dots \begin{bmatrix} 1 & R_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_p \dots \begin{bmatrix} 1 & j\omega c_p \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Výsledná matice přijímacího konce má pak tvar:

$$A_p = \begin{bmatrix} \frac{1}{n} \left( 1 + \frac{Z_a}{Z_c} \right) & \left( 1 + \frac{Z_a}{Z_c} \right) * \left( \frac{R_2}{n} + nZ_b + \frac{j\omega\omega_p}{n} \right) + nZ_a \\ \frac{1}{nZ_c} & \frac{R_2}{nZ_c} + n \left( 1 + \frac{Z_b}{Z_c} \right) + \frac{j\omega\omega_p}{nZ_c} \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

Podle regulačních tabulek pro kolejový obvod 3103:

$$C_p = 7,55 \mu\text{F}$$

$$R_2 = 150 \Omega$$

$$n = 42$$

$$Z_a = 0,003 \Omega \angle 80^\circ$$

$$Z_b = 0,197 \Omega \angle 81^\circ$$

$$Z_c = 0,003 \Omega \angle 80^\circ$$

Po dosazení:

$$A_p = \begin{bmatrix} 0,0242 \angle 0^\circ & 3,6784 \angle 3,88^\circ \\ 0,1209 \angle -81^\circ & 48,8782 \angle -21,5^\circ \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

#### 5.1.4 Stanovení napájení paralelního kolejového obvodu

Kolejovým přijímačem je indukční relé typu DSŠ-12P. To má technické parametry:

frekvence  $f = 75\text{Hz}$

impedance  $Z_p = 850\Omega \angle 68^\circ$

kolejové napětí  $U_p = 18\text{V}$

místní napětí  $U_m = 220\text{V}$

ideální fázový posuv  $\alpha_i = 86^\circ$

kolejový výkon  $P_p = 0,4 \text{ VA}$

místní výkon  $P_m = 10 \text{ VA}$

Podle regulačních tabulek je pro paralelní kolejový obvod 3103 minimální hodnota napětí na vstupních svorkách kolejového relé při maximální měrné svodové impedanci

$$U_d = 22\text{V} \angle -86^\circ$$

to je rovno  $U_{pr}$  na obr.4-1.

Proud kolejovým relé dostaneme použitím ohmova zákona.

$$I_{pr} = \frac{U_{pr}}{Z_p} = 0,0259A \angle 206^\circ \quad (5.16)$$

Hodnoty na vstupu dvojbranu  $A_p$  pak získáme:

$$\begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0242 \angle 0^\circ & 3,6784 \angle 3,88^\circ \\ 0,1209 \angle -81^\circ & 48,8782 \angle -21,5^\circ \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_{pr} \\ I_{pr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5798 \angle -94,52^\circ \\ 3,9154 \angle -169,74^\circ \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

Hodnoty na vstupu dvojbranu  $A$  získáme:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,4600 \angle 33,55^\circ & 1,6755 \angle 81,48^\circ \\ 1,1764 \angle 13,48^\circ & 1,4600 \angle 33,55^\circ \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7,3227 \angle -85,22^\circ \\ 6,1319 \angle -130,95^\circ \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

Vstupní hodnoty paralelního kolejového obvodu získáme:

$$\begin{bmatrix} U_v \\ I_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16,0925 \angle -43,25^\circ & 6,3273 \angle -78,6^\circ \\ 0,1209 \angle -81^\circ & 0,0242 \angle 0^\circ \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 129,6530 \angle -145,67^\circ \\ 1,0097 \angle -161,36^\circ \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

Tedy nejnižší možné napájecí napětí a proud jsou rovny:

$$U_v = 129,653V \angle -145,67^\circ$$

$$I_v = 1,0097A \angle -161,36^\circ$$

Jmenovité napájecí napětí na sekundárním vinutí napájecího transformátoru je uváděno v regulačních tabulkách jako  $U_n = 107V$ . Je posunuto oproti místnímu napětí, ke kterému jsou vztahovány všechny předchozí veličiny o  $-90^\circ$ . Pokud výsledné napájecí napětí  $U_v$  vztáhneme k jmenovitému napájecímu napětí  $U_n$ :

$$U_v = 129,653 * \cos(90^\circ - 145,67^\circ) = 73,12V \quad (5.20)$$

Podmínka minimálního napájecího napětí které ve volném stavu udrží kolejové relé vybuzené je tedy splněná.

## 5.2 Výpočet šuntové citlivosti kolejového obvodu 3103

Šuntovou citlivost budeme počítat pomocí ekvivalentního schéma. Nahrazení náhradního schématu schématem ekvivalentním je popsáno v kapitole 4.1.1 . Vyjdeme z nerovnice (4.35), která bude platit i pro ekvivalentní schéma kolejového obvodu. Chceme určit maximální možný odpor šuntu, proto z nerovnice vytvoříme rovnici.

Součinitel kvality přijímače a napájecího napětí  $k_{vr}$  získáme z rovnice (3.4). Protože používáme dvoufázový přijímač je nutné  $k_{vr}$  vydělit součinitelem nestability napětí referenční fáze napájecího zdroje  $k_u'$ . Pokud dosadíme obvyklé hodnoty:

$$k_{vr} = \frac{k_v}{k_u * k_u' * k_p} = \frac{0,5}{1,22 * 1,22 * 1,1} = 0,3054$$

Z kapitoly 4.1.1. dle rovnic (4.21) a (4.26), při  $Z_t = 500\Omega$  a při dozašení hodnot parametrů dvojhranů  $A_n, A_p$ , získáme  $Z_e$  a  $Z_2$ .

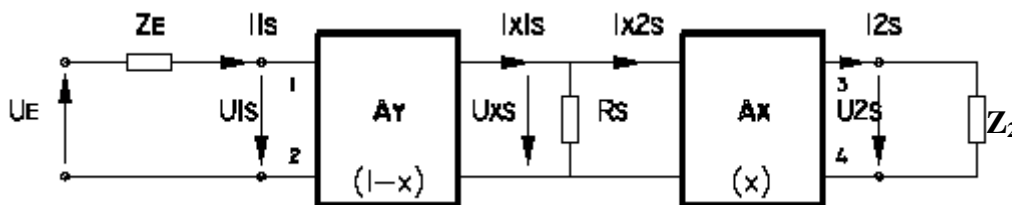
$$Z_e = \frac{A_{n22} * Z_t + A_{n12}}{A_{n21} * Z_t + A_{n11}}$$

$$Z_2 = \frac{A_{p11} * Z_p + A_{p12}}{A_{p21} * Z_p + A_{p22}}$$

Maximální ekvivalentní přenosovou impedancí  $Z_{ae}$  dostaneme s rovnice (4.25), pokud do výpočtu prvků kolejevého dvojbranu dosadíme maximální hodnoty měrné podélné impedance  $z_{max}$  a měrné příčné admittance  $y_{max}$ .

$$\max Z_{ae} = A_{11} * Z_2 + A_{12} + Z_e (A_{21} * Z_2 + A_{22})$$

Ekvivalentní schéma kolejevého obvodu v šuntovém stavu bude:



**Obr. 5-6:** Ekvivalentní schéma kolejevého obvodu v šuntovém stavu

Z Obr. 5-6, při umístění šuntu  $R_s$  ve vzdálenosti  $x$  od přijímačového konce, tj. ve vzdálenosti  $y = (1-x)$  od napájecího konce, lze napsat následující přenosové rovnice s prvky kaskádních matic dvojbranů  $A_Y$  a  $A_X$ .

$$U_e = U_{1s} + Z_e I_{1s} \quad (5.21)$$

$$U_{1s} = A_{y11} U_{xs} + A_{y12} I_{x1s} \quad (5.22)$$

$$I_{1s} = A_{y21} U_{xs} + A_{y22} I_{x1s} \quad (5.23)$$

$$I_{x1s} = I_{x2s} + \frac{U_{xs}}{R_s} \quad (5.24)$$

$$U_{xs} = A_{x11} U_{2s} + A_{x12} I_{2s} \quad (5.25)$$

$$U_{x2s} = A_{x21}U_{2s} + A_{x22}I_{2s} \quad (5.26)$$

Pro ekvivalentní přenosovou impedanci kolejového obvodu v šuntovém stavu bude platit:

$$Z_{aes} = \frac{U_e}{I_{2s}} \quad (5.27)$$

Dosažením do rovnice (5.27) dostaneme:

$$Z_{aes} = (A_{x11}Z_2 + A_{x12})(A_{y11} + A_{y21}Z_e) + (A_{x21}Z_2 + A_{x22} + \frac{A_{x11}Z_2 + A_{x12}}{R_s})(A_{y12} + A_{y22}Z_e) \quad (5.28)$$

Abychom dostali minimální přenosovou impedanci v šuntovaném kolejovém obvodu, uvažujeme svod rovný nule minimální podélnou impedanci kolejového vedení. Potom se dvojbrany  $A_y$  a  $A_x$  změní na sériově zapojené impedance, jejichž hodnota bude závislá na délce kolejového úseku, který představují. Prvky kaskádních matic kolejových dvojbranů pak budou:

$$A_{x11} = A_{x22} = A_{y11} = A_{y22} = 1$$

$$A_{x12} = z_{\min} * x$$

$$A_{y12} = z_{\min} * (l - x)$$

$$A_{x21} = A_{y21} = 0$$

Po dosažení do (5.28) :

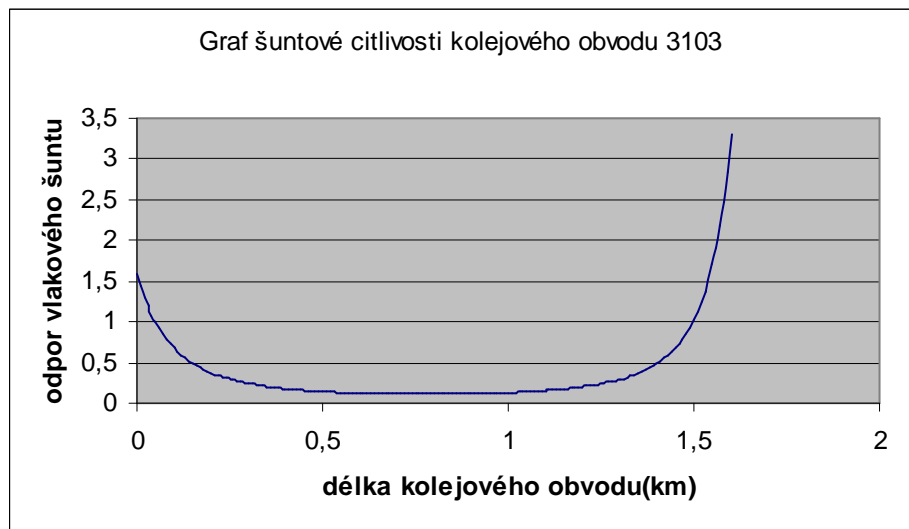
$$\min Z_{aes} = Z_2 + z_{\min} * l + Z_e + \frac{(Z_e + z_{\min} * x)(z_{\min} * (l - x) + Z_e)}{R_s} = Z_{ae0} + \frac{Z_{ax}}{R_s} \quad (5.29)$$

Chceme-li vyčíslit maximální  $R_s$  musíme  $\min Z_{aes}$  a  $\max Z_{ae}$  počítat v absolutní hodnotě. Po úpravě:

$$\frac{1}{R_s^2} (Z_{ax}^2 + Z_{axj}^2) + \frac{1}{R} * 2(Z_{ae0}Z_{ax} + Z_{ae0j}Z_{axj}) + (Z_{ae0}^2 + Z_{ae0j}^2) - \left(\frac{\max Z_{ae}^2}{k_{vr}^2}\right) = 0 \quad (5.30)$$

Dostáváme kvadratickou rovnici. Řešením této rovnice dostaneme požadovanou hodnotu maximálního odporu vlakového šuntu v místě (1-x).

Provedeme-li výpočet s určitým krokem (zde 10m) pro celou délku kolejového obvodu, získáme graf šuntové citlivosti v závislosti na jízdě vlaku.



**Graf 5-1:** Graf šuntové citlivosti kolejového obvodu 3103 v závislosti na jízdě vlaku

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] POUPE, Oldřich a kol. *Zabezpečovací technika v železniční dopravě II*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1990. 676 s. ISBN 80-7030-073-6.
- [2] MATIS, B. a kol. *Zabezpečovací technika na železnici*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1965. 468s. 31-054-65-05-94.
- [3] FARAN, A. *Paralelní kolejové obvody železnic České republiky a Slovenské republiky a jejich proudová kompatibilita s drážními vozidly*. 1. vydání. Praha: AŽD Praha s.r.o., 2008. 136s. sign. 73 846.
- [4] CHUDÁČEK, V. a kol. *Detekce kolejových vozidel v železniční zabezpečovací technice*. [online]. Praha: 2005. Dostupné z <[http://members.chello.cz/kuna/Literatura/KO\\_n.pdf](http://members.chello.cz/kuna/Literatura/KO_n.pdf)>.

## Seznam obrázků

<b>Obr. 2-1:</b> Schéma paralelního kolejového obvodu.....	11
<b>Obr. 2-2:</b> Schéma sériového kolejového obvodu.....	11
<b>Obr. 2-3:</b> Schéma sériového kolejového obvodu.....	12
<b>Obr. 2-4:</b> Dekodéry: <b>A)</b> Reléový, <b>B)</b> Kondenzátorový, <b>C)</b> Transformátorový.....	12
<b>Obr. 2-5:</b> Vedení trakčního proudu pomocí kosých propojek.....	13
<b>Obr. 2-6:</b> Vedení trakčního proudu jedinou kolejnicí.....	13
<b>Obr. 2-7:</b> Vedení trakčního proudu dvoupákovým kolejovým obvodem.....	13
<b>Obr. 2-8:</b> Přijímání proudu LVZ.....	15
<b>Obr. 3-1:</b> Amplituda kolejového přijímače.....	16
<b>Obr. 3-2:</b> Náhradní schéma stykového transformátoru.....	18
<b>Obr. 4-1:</b> Náhradní schéma paralelního kolejového obvodu (volný stav).....	19
<b>Obr. 4-2:</b> Schéma napájecí strany při chodu na prázdno.....	21
<b>Obr. 4-3:</b> Ekvivalentní schéma paralelního kolejového obvodu.....	22
<b>Obr. 4-4:</b> Náhradní schéma paralelního kolejového obvodu (šuntovací stav).....	24
<b>Obr. 4-5:</b> Náhradní schéma paralelního kolejového obvodu (havarijní stav).....	26
<b>Obr. 5-1:</b> Náhradní schéma napájecího konce paralelního kolejového obvodu.....	28
<b>Obr. 5-2:</b> Nahrazení prvků dvojbrany.....	28
<b>Obr. 5-3:</b> Náhradní schéma homogenního vedení.....	30
<b>Obr. 5-4:</b> Náhradní schéma přijímacího konce paralelního kolejového obvodu.....	32
<b>Obr. 5-5:</b> Nahrazení prvků dvojbrany.....	32
<b>Obr. 5-6:</b> Ekvivalentní schéma kolejového obvodu v šuntovém stavu.....	35