Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Základní vlastnosti kolejových obvodů bez izolovaných styků

Petr Dorazil

Bakalářská práce

2008

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě
Akademický rok: **2007/2008**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr DORAZIL**

Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**

Studijní obor: **Dopravní infrastruktura-Elektrotechnická zařízení v dopravě**

Název tématu: **Základní vlastnosti kolejových obvodů bez izolovaných styků**

Zásady pro vypracování:

a) Popis, princip činnosti a základy analýzy neohraničeného kolejového obvodu (NKO) s přijímačem řízeným napětím
b) Popis, princip činnosti a základy analýzy neohraničeného kolejového obvodu (NKO) s přijímačem řízeným proudem
c) Popis, princip činnosti a základy analýzy nárazníkového kolejového obvodu

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- **Poupě, O. a kol.: Zabezpečovací technika v železniční dopravě II, NADAS Praha 1990**
- **Signal und Draht – výběr z článků**

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

Datum zadání bakalářské práce: **30. listopadu 2007**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10. června 2008**

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.

prof. Ing. Vladimír Schejbal, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 4. prosince 2007

SOUHRN

Práce se zabývá popisem, charakteristikou a porovnáním některých typů kolejových obvodů bez izolovaných styků. Jednotlivé části jsou zaměřeny na neohraničené kolejové obvody s napěťovými přijímači, s proudovými přijímači, nárazníkové kolejové obvody a specifickou aplikací vysokofrekvenčního neohraničeného kolejového obvodu v anulačním souboru elektronickém přejezdového zabezpečovacího zařízení. V každé části je uveden princip činnosti, základy analýzy a popis konkrétních typů NKO.

KLÍČOVÁ SLOVA

kolejové obvody bez izolovaných styků; neohraničené kolejové obvody; elektrické styky; šunt

TITLE

Basic characteristics of jointless track circuits

ABSTRACT

The work discusses a description, characteristic and comparation of some types of jointless track circuits. Particular parts focus on the jointless track circuits with voltage receivers, with current receivers and a specific application of a high frequency track circuit for level crossing switch off of a level crossing equipment.

KEYWORDS

jointless track circuits; track circuits with electrical joints; electrical joints; shunt

Poděkování

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce, panu doc. Ing Milanu Kunhartovi, Csc., za odborné vedení a metodickou pomoc při psaní bakalářské práce. Dále děkuji Ing. Adamovi Románkovi za poskytnutí některých materiálů.

V neposlední řadě děkuji také rodičům, sourozencům, přátelům a známým za jejich podporu, za cenné rady a připomínky a také skautům z mého oddílu za to, že to se mnou (nebo beze mě) během psaní této práce vydrželi.

OBSAH

1 Úvod **7**

1.1 Kolejové obvody....7

1.1.1 Sériový kolejový obvod....7

1.1.2 Paralelní kolejový obvod....8

1.1.3 Další využití kolejových obvodů....9

1.2 Izolované styky....9

2 NKO s přijímačem řízeným napětím **11**

2.1 Analýza NKO s napěťovými přijímači....11

2.1.1 Analýza volného stavu....16

2.1.2 Analýza šuntovaného stavu....16

2.2 NKO s elektrickými styky....18

2.2.1 NKO vymezené styky „Z“....18

2.2.2 NKO vymezené styky „S“....19

2.2.3 NKO vymezené rezonančními propojkami....21

3 NKO s přijímačem řízeným proudem **22**

3.1 Analýza NKO s proudovými přijímači....23

3.2 NKO s prodovým snímáním firmy Marquardt....24

4 Nárazníkový kolejový obvod **25**

4.1 NKO-N s nárazníkovým transformátorem....25

4.2 Analýza nárazníkového kolejového obvodu....27

4.2.1 Analýza volného stavu NKO-N....27

4.2.2 Analýza šuntového stavu NKO-N....31

4.3 NKO-N s kolejovým induktorem....34

4.4 Přednosti NKO-N....35

5 Anulační soubor elektronický **36**

6 Závěr **39**

Použitá literatura **40**

Seznam obrázků **41**

Seznam zkratek **42**

1 ÚVOD

Jedním ze základních úkolů železniční zabezpečovací techniky je možnost detekce vozidla a kontroly obsazení kolejového úseku. To lze zajistit například pomocí detektorů vozidel, detektorů kol s počítači náprav a také pomocí kolejových obvodů (KO).

1.1 Kolejové obvody

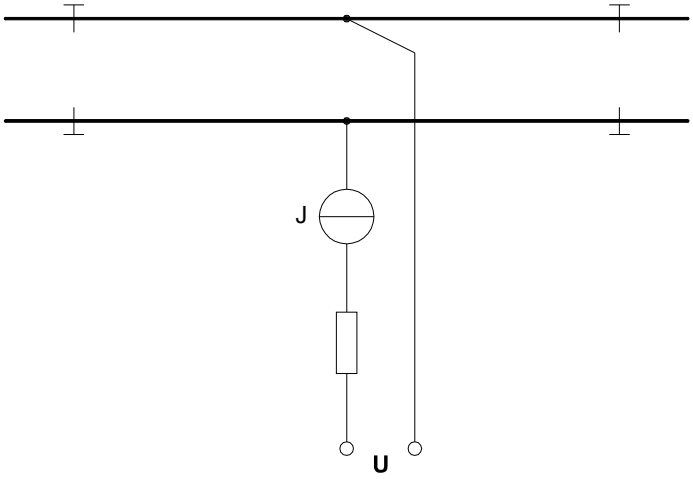
Kolejový obvod je elektrický obvod, jehož hlavní vodiče představují kolejnice. Vlak při obsazení úseku kolejnice propojí svými elektricky vodivými dvojkolími a tím uzavře elektrický obvod, jedná se o tzv. vlakový šunt. Elektrický odpor šuntu je značně neurčitý, protože se zde uplatňuje jednak odpor dvojkolí a zvláště přechodový odpor mezi kolem a kolejnicí. Hodnota odporu šuntu je silně závislá na počtu náprav vlaku, hmotnosti železničních vozů, stavu kol a kolejnic (nečistota, rez) a dalších faktorech.

Šuntová citlivost je definována jako nejvyšší hodnota odporu šuntu mezi kolejnicemi, při níž dojde k indikaci obsazení v nejnepříznivějším místě za nejméně příznivých podmínek. Nejnepříznivějšími podmínkami v šuntovém režimu jsou: minimální příčná admitance (svod mezi kolejnicemi), minimální podélná impedance a maximální napájecí napětí při nestabilitě zdroje.

Podle uspořádání jednotlivých prvků obvodu (zdroj signálu, kolejové vedení, vlakový šunt a přijímač) se kolejové obvody dělí na sériové a paralelní.

1.1.1 Sériový kolejový obvod

Přijímač (relé J) sériového kolejového obvodu není ve volném stavu vybuzen, protože obvod je rozpojen (obr. 1.1). Při obsazení úseku vlakem je obvod sepnut vlakovým šuntem a dojde k přítahu relé. Při poruše (výpadku napájení, přerušení přívodních vodičů apod.) bude úsek hlášen jako volný, to znamená, že bezpečně vyhodnocuje obsazenost koleje. Z tohoto důvodu se sériové kolejové obvody používají tam, kde je potřeba bezpečné informace o průjezdu vlaku – při anulaci přejezdového zabezpečovacího zařízení nebo pro zrušení závěru postavené jízdní cesty.

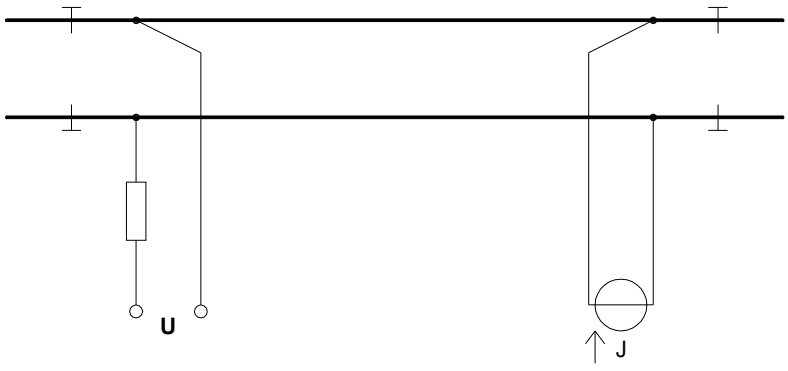


Obr. 1.1: Schéma sériového kolejového obvodu

1.1.2 Paralelní kolejový obvod

Častější je ovšem případ, že je potřeba bezpečné informace o volnosti koleje. K tomuto účelu slouží paralelní kolejové obvody (obr. 1.2). V základním (volném) stavu proud ze zdroje protéká kolejnicemi na druhý konec obvodu do přijímače a relé je tedy vybuzené. Při obsazení úseku se obvod uzavře přes vlakový šunt, řazený paralelně k přijímači, sníží se proud vinutím relé a kotva relé odpadne. K odpadnutí kotvy relé dojde také při poruše obvodu.

Vzhledem k jejich většímu využití se tato práce zabývá převážně paralelními kolejovými obvody, i když to není vždy u jednotlivých typů výslovně uvedeno.



Obr. 1.2: Schéma paralelního kolejového obvodu

1.1.3 Další využití kolejových obvodů

Jak již bylo naznačeno, kromě svého hlavního účelu, tedy detekce vozidel, kolejové obvody často slouží také ke kontrole celistvosti kolejnic. Pokud dojde k lomu kolejnice u paralelního KO, obvod je přerušen a úsek se jeví jako obsazený. Zde se ovšem střetávají dva protichůdné požadavky: Prvním z nich je požadavek na co nejvyšší šuntovou citlivost, tedy aby byl detekován vlak s co nejvyšším odporem šuntu, druhým požadavkem je vysoká citlivost k lomu kolejnice. U některých železničních správ se kolejové obvody ke kontrole kolejnic nepoužívají, a proto lze dosáhnout vyšší šuntové citlivosti, ovšem je potřeba provádět kontrolu neporušenosti kolejnic jinými prostředky (např. pravidelné defektoskopické kontroly).

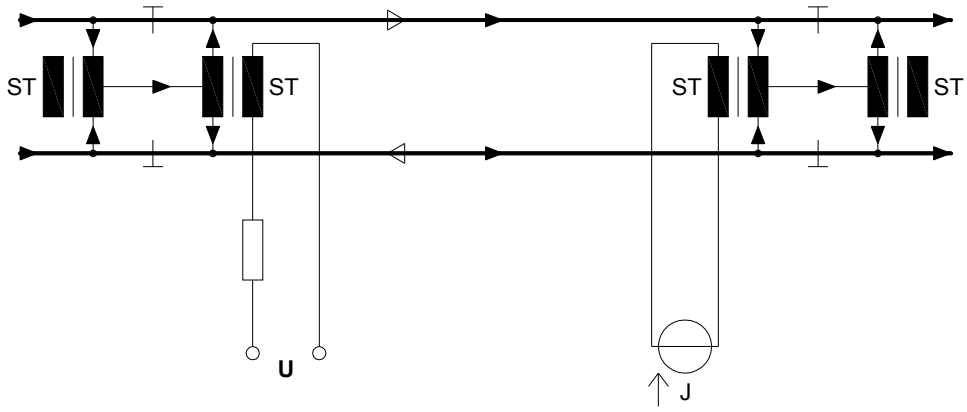
Další uplatnění kolejových obvodů spočívá v přenosu signálu liniového vlakového zabezpečovače (LVZ). Signální proud kolejového obvodu je zpravidla kódován. Na železničním vozidle, před první nápravou, se nacházejí proudové snímače a další zařízení, které signál vyhodnocuje.

1.2 Izolované styky

U konvenčních kolejových obvodů jsou kolejnice sousedních obvodů rozděleny na jednotlivé úseky izolovanými styky, tedy přrušením celistvosti kolejnice prvkem z izolačního materiálu. Jejich nevýhodou je ovšem snížení mechanické pevnosti koleje v místech styků s nutností údržby a také nesouvislost kolejnice, která nepříznivě působí na železniční kolo. Další problém izolovaných styků vyvstává při vedení zpětného trkačního proudu na elektrifikovaných tratích případně topného proudu při elektrickém vytápění soupravy na ostatních tratích. Izolované styky pro tento proud představují elektrické přerušení kolejnice a proto je nutné zajistit průchod proudu jiným způsobem.

K vedení trakčních proudů se používají dva typy konstrukce KO. Prvním z nich je jednopásový kolejový obvod. Trakční proud je veden jednou kolejnicí. Z důvodu ochrany před ovlivněním sousedními KO to ovšem není jedna souvislá kolejnice, ale v sousedních obvodech jsou trakční kolejnice umístěny střídavě a jsou propojeny tzv. kosými propojkami. Druhé řešení spočívá ve využití stykových transformátorů. Trakční proud je rozdělen mezi obě kolejnice (odtud označení dvoupásový KO). Schéma dvoupásového KO je na obr. 1.3, trakční proud je naznačen plnými šipkami a signální proud prázdnými. Na konci jednoho

obvodu je trakční proud přiveden na kolejové vinutí stykového transformátoru (ST), z jehož středu je vyveden na střed kolejového vinutí sousedního stykového transformátoru. Na primární vinutí ST je připojen vysílač resp. přijímač signálu KO. Předpokladem pro dobrou funkci těchto KO je symetrické rozdělení trakčního proudu mezi kolejnice.



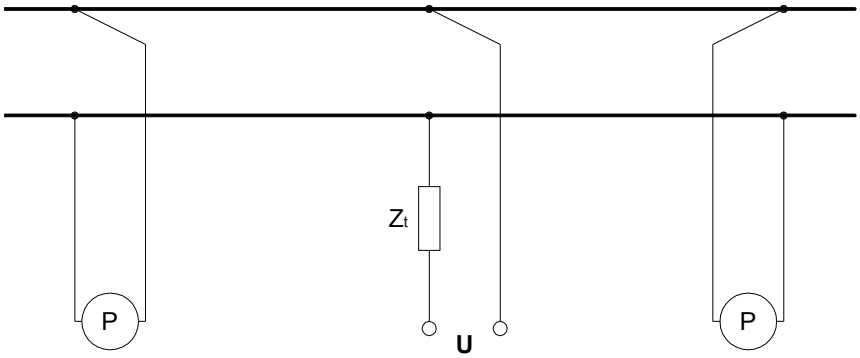
Obr. 1.3: Dvoupásový kolejový obvod

Uvedené nevýhody izolovaných styků měly odstranit kolejové obvody bez izolovaných styků. Pojmem neohraničené kolejové obvody (NKO) se někdy označují KO, jejichž délka není vymezena ani izolovanými ani elektrickými styky. V praxi se KO bez ohraničení své délky používají jen výjímečně. V této práci se toto označení bude používat pro všechny kolejové obvody bez izolovaných styků.

2 NKO S PŘIJÍMAČEM ŘÍZENÝM NAPĚTÍM

První druh NKO obsahuje zdroj napětí a napěťový přijímač. Pro tyto obvody jsou typické tónové frekvence (jednotky kHz) signálního proudu. Sousední obvody bývají napájeny různými frekvencemi z důvodu omezení rušení sousedních obvodů, stejně tak bývají použity odlišné frekvence v sousedních kolejích na vícekolejné trati kvůli možným přeslechům.

Tyto obvody lze konstruovat buďto se zdrojem na jednom konci a přijímačem na druhém konci nebo s přijímači na každém konci a napájením uprostřed. Využitím druhé uvedené konstrukce lze dosáhnout dvojnásobné délky.



Obr. 2.1: NKO s napěťovými přijímači napájený uprostřed

Základní schéma napěťového NKO je na obr. 2.1. Zdroj signálu je zapojen přes tlumící impedanci $\mathbf{Z_t}$ uprostřed NKO a na obou koncích se nacházejí napěťové přijímače P.

2.1 Analýza NKO s napěťovými přijímači

Analýza NKO s napěťovými přijímači vychází z postupů pro analýzu klasických KO ohraničených izolovanými styky podle [1].

Kolejový obvod lze nahradit náhradním schématem na obr. 2.2. Dvojbran s kaskádní maticí **A** představuje pravou a dvojbran **A'** levou část kolejového vedení. $\mathbf{Z_p}$ resp. $\mathbf{Z_p'}$ je impedance přijímače a $\mathbf{Z_2}$ ($\mathbf{Z_2'}$) impedance navazujícího kolejového úseku. NKO je napájen ze zdroje o napětí **U** zapojeného přes tlumící impedanci $\mathbf{Z_t}$ uprostřed obvodu.

Kaskádní matice kolejového dvojbranu má tvar:

$$[\boldsymbol{A}]=\begin{bmatrix}\cosh\gamma l & \boldsymbol{Z}_0\sinh\gamma l\\ \dfrac{\sinh\gamma l}{\boldsymbol{Z}_0} & \cosh\gamma l\end{bmatrix} \tag{2.1}$$

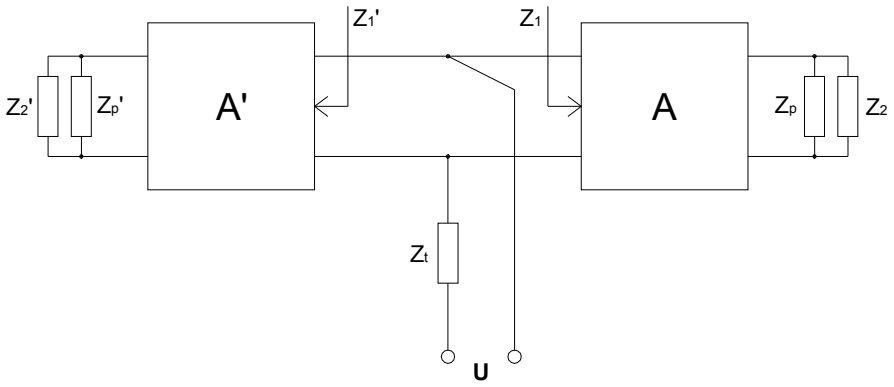
kde

$$\boldsymbol{Z}_0=\sqrt{\frac{R'+j\omega L'}{G'+j\omega L'}} \tag{2.2}$$

je vlnová impedance vedení, l je délka vedení a

$$\gamma=\sqrt{\boldsymbol{z}\cdot\boldsymbol{y}} \tag{2.3}$$

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

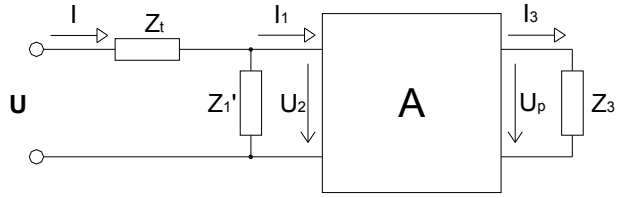


Obr. 2.2: Náhradní schéma NKO

Při analýze např. pravé strany lze část nalevo od zdroje nahradit vstupní impedancí $\mathbf{Z_1'}$. Paralelní zapojení impedancí $\mathbf{Z_p}$ a $\mathbf{Z_2}$ lze nahradit jednou zakončovací impedancí $\mathbf{Z_3}$:

$$\boldsymbol{Z}_3=\frac{\boldsymbol{Z}_p\cdot\boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_p+\boldsymbol{Z}_2} \tag{2.4}$$

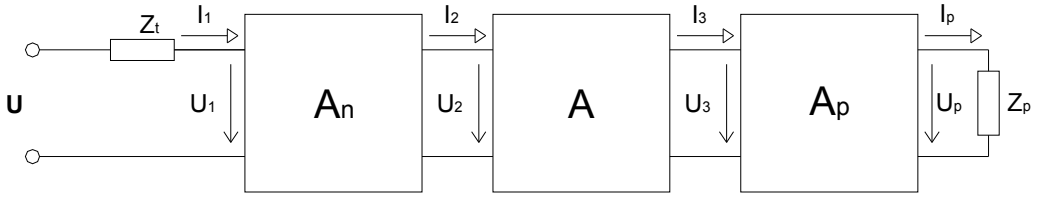
Náhradní schéma se tak zjednoduší podle obr. 2.3.



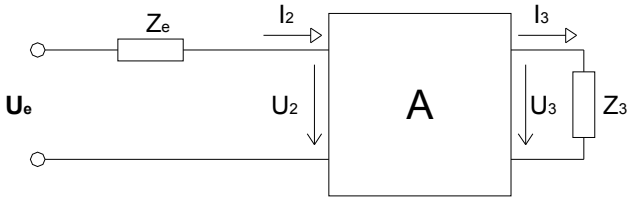
Obr. 2.3: Zjednodušené náhradní schéma z obr. 2.2

Pro analýzu jednotlivých stavů provedeme další úpravu na ekvivalentní schéma podle Théveninova teorému. Vyjdeme z KO s izolovanými styky, jehož náhradní schéma je na obr. 2.4. $\mathbf{A_n}$ je dvojbran napájecí strany a $\mathbf{A_p}$ dvojbran přijímací strany a nahrazují stykové transformátory nebo stykové tlumivky. Dvojbran napájecí strany $\mathbf{A_n}$ a tlumící impedanci $\mathbf{Z_t}$

nahradíme ekvivalentní impedancí $\mathbf{Z_e}$ a zdroj napětí **U** nahradíme ekvivalentním zdrojem $\mathbf{U_e}$. Získáme tak ekvivalentní schéma na obr. 2.5. Obvod je zakončen zakončovací impedancí $\mathbf{Z_3}$, která představuje vstupní impedanci dvojbranu $\mathbf{A_p}$. Napětí ekvivalentního zdroje $\mathbf{U_e}$ je rovno napětí naprázdno $\mathbf{U_{2p}}$ mezi výstupními svorkami dvojbranu $\mathbf{A_n}$.



Obr. 2.4: Náhradní schéma kolejového obvodu



Obr. 2.5: Ekvivalentní schéma kolejového obvodu

Proud naprázdno lze vyjádřit:

$$\boldsymbol{I_{1p}} = \boldsymbol{A_{n21}} \cdot \boldsymbol{U_{2p}} \tag{2.5}$$

a zároveň

$$\boldsymbol{I_{1p}} = \frac{\boldsymbol{U}}{\boldsymbol{Z_t} + \boldsymbol{Z_{1p}}} = \frac{\boldsymbol{U}}{\boldsymbol{Z_t} + \dfrac{\boldsymbol{A_{n11}}}{\boldsymbol{A_{n21}}}} \tag{2.6}$$

z rovnice (2.5) vyjádříme napětí naprázdno a dosazením z (2.6) dostaneme:

$$\boldsymbol{U_e} = \frac{\boldsymbol{U}}{\boldsymbol{A_{n21}} \cdot \left(\boldsymbol{Z_t} + \dfrac{\boldsymbol{A_{n11}}}{\boldsymbol{A_{n21}}} \right)} = \frac{\boldsymbol{U}}{\boldsymbol{A_{n21}} \cdot \boldsymbol{Z_t} + \boldsymbol{A_{n11}}} \tag{2.7}$$

V případě neohraničeného KO dvojbran $\mathbf{A_n}$ degeneruje v jedinou příčně zapojenou impedanci $\mathbf{Z_1'}$. Jeho kaskádní matice bude mít tvar:

$$\left[\boldsymbol{A_n} \right] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \boldsymbol{Z_1'} & 1 \end{bmatrix}$$

Proto se rovnice (2.7) zjednoduší na tvar:

$$\boldsymbol{U_e} = \frac{\boldsymbol{U}}{\dfrac{\boldsymbol{Z_t}}{\boldsymbol{Z_1'}} + 1} \tag{2.8}$$

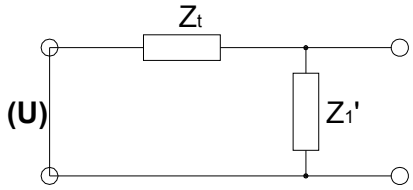
Dvojbran přijímací strany u neohraničených KO neuvažujeme. Proto zakončovací impedance $\mathbf{Z_3}$ z ekvivalentního schématu na obr. 2.5 bude totožná s impedancí $\mathbf{Z_3}$ v náhradním schématu na obr. 2.3 podle (2.4).

Pro další analýzu je vhodné zavést převodní součinitel mezi napětím skutečného a ekvivalentního zdroje:

$$\boldsymbol{H_u}=\frac{\boldsymbol{U}}{\boldsymbol{U_e}}=\frac{\boldsymbol{Z_t}}{\boldsymbol{Z_1'}}+1 \tag{2.9}$$

Ekvivalentní impedanci $\mathbf{Z_e}$ získáme jako zpětnou vstupní impedanci mezi výstupními svorkami $\mathbf{A_n}$ při přemostění původního zdroje nakrátko. V našem případě je ekvivalentní impedance $\mathbf{Z_e}$ z obr. 2.6 rovna paralelní kombinaci $\mathbf{Z_t}$ a $\mathbf{Z_1'}$:

$$\boldsymbol{Z_e}=\frac{\boldsymbol{Z_t}\cdot\boldsymbol{Z_1'}}{\boldsymbol{Z_t}+\boldsymbol{Z_1'}} \tag{2.10}$$



Obr. 2.6: Schéma pro určení $\boldsymbol{Z_e}$

Přenosová impedance vedení $\mathbf{Z_a}$ je definována jako podíl napětí zdroje a proudu na konci obvodu:

$$\boldsymbol{Z_a}=\frac{\boldsymbol{U}}{\boldsymbol{I_p}} \tag{2.11}$$

Analogicky lze určit ekvivalentní přenosovou impedanci:

$$\begin{aligned}\boldsymbol{Z_{ae}}&=\frac{\boldsymbol{U_e}}{\boldsymbol{I_3}}=\frac{\boldsymbol{U_1}+\boldsymbol{Z_e}\cdot\boldsymbol{I_1}}{\boldsymbol{I_2}}=\frac{\boldsymbol{A_{11}}\cdot\boldsymbol{U_2}+\boldsymbol{A_{12}}\cdot\boldsymbol{I_2}+\boldsymbol{Z_e}\cdot(\boldsymbol{A_{21}}\cdot\boldsymbol{U_2}+\boldsymbol{A_{22}}\cdot\boldsymbol{I_2})}{\boldsymbol{I_2}}\\ \boldsymbol{Z_{ae}}&=\boldsymbol{A_{11}}\cdot\boldsymbol{Z_2}+\boldsymbol{A_{12}}+\boldsymbol{Z_e}\cdot(\boldsymbol{A_{21}}\cdot\boldsymbol{Z_2}+\boldsymbol{A_{22}})\end{aligned} \tag{2.12}$$

Činitel přenosu proudu:

$$\boldsymbol{H_{ip}}=\frac{\boldsymbol{I_3}}{\boldsymbol{I_p}}=\frac{\boldsymbol{Z_p}}{\boldsymbol{Z_3}} \tag{2.13}$$

Ekvivalentní přenosovou impedanci lze též vyjádřit:

$$\boldsymbol{Z_{ae}}=\frac{\boldsymbol{U_e}}{\boldsymbol{I_3}}=\frac{\boldsymbol{U}}{\boldsymbol{H_u}}\cdot\frac{1}{\boldsymbol{H_{ip}}\cdot\boldsymbol{I_p}}=\frac{\boldsymbol{Z_a}}{\boldsymbol{H_u}\cdot\boldsymbol{H_{ip}}} \tag{2.14}$$

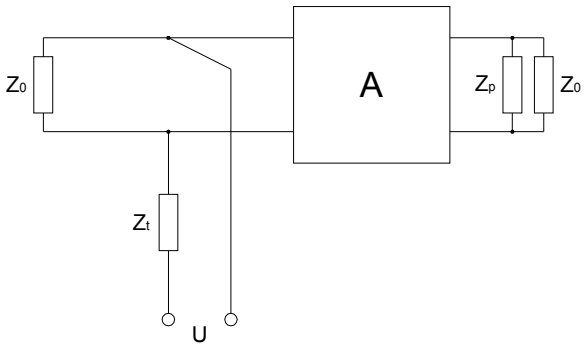
Odtud lze vyjádřit přenosovou impedanci obvodu:

$$\boldsymbol{Z_a}=\boldsymbol{H_u}\cdot\boldsymbol{H_{ip}}\cdot\boldsymbol{Z_{ae}} \tag{2.15}$$

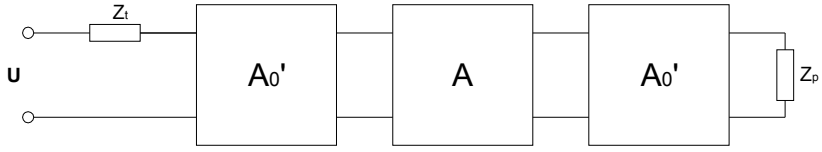
V ideálním případě je kolejové vedení podélně i příčně symetrické, takže se nebudou tvořit vyrovnávací zemní proudy. Pokud budou kolejové úseky sousedící s NKO nekonečně dlouhé, můžeme je nahradit vlnovými impedancemi $\mathbf{Z_0}$ a náhradní schéma z obr. 2.2 se zjednoduší na obr. 2.7 Schéma na obr. 2.7 lze ještě upravit tak, že příčné impedance $\mathbf{Z_0}$ nahradíme dvojbranem $\mathbf{A_0'}$. Řadu tří dvojbranů na obr. 2.8 lze nahradit jediným dvojbranem $\mathbf{A_0}$ (obr. 2.9):

$$[\boldsymbol{A_0}]=\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \dfrac{1}{\boldsymbol{Z_0}} & 1 \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} \cosh\gamma l & \boldsymbol{Z_0}\sinh\gamma l \\ \dfrac{\sinh\gamma l}{\boldsymbol{Z_0}} & \cosh\gamma l \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \dfrac{1}{\boldsymbol{Z_0}} & 1 \end{bmatrix}$$

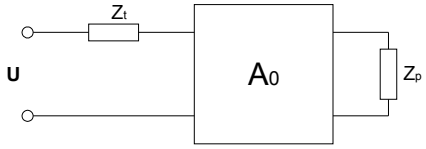
a po úpravě: $$[\boldsymbol{A_0}]=\begin{bmatrix} \cosh\gamma l+\sinh\gamma l & \boldsymbol{Z_0}\sinh\gamma l \\ \dfrac{2}{\boldsymbol{Z_0}}\cdot(\cosh\gamma l+\sinh\gamma l) & \cosh\gamma l+\sinh\gamma l \end{bmatrix}$$



Obr. 2.7: Náhradní schéma NKO s nekonečně dlouhými přilehlými kolejovými úseky



Obr. 2.8: Upravené náhradní schéma z obr. 2.7



Obr. 2.9: Upravené náhradní schéma z obr. 2.8

Situace by byla komplikovanější u nesymetrického NKO nebo v havarijním stavu, kdy se budou vytvářet vyrovnávací proudy zemí.

2.1.1 Analýza volného stavu

Pro analýzu volného stavu musíme uvažovat nejnepříznivější podmínky, při nichž ještě napětí na přijímači dosahuje alespoň minimální požadované hodnoty přítahu. Kritickými podmínkami ve volném stavu jsou:

- maximální měrná příčná admitance (svod mezi kolejnicemi) $\mathbf{y}_{max}$
- maximální měrná podélná impedance $\mathbf{z}_{max}$
- minimální přípustné napájecí napětí při nestabilitě zdroje $\mathbf{U}_{min}$

Pokud známe napětí $\mathbf{U_p}$ a proud $\mathbf{I_p}$ potřebné k vybuzení přijímače, můžeme z náhradních schémat na obr. 2.2 a 2.3 určit napětí zdroje **U** potřebné pro vybuzení přijímače ve volném stavu:

$$\boldsymbol{I}_3 = \boldsymbol{I}_p + \boldsymbol{I}_2 = \boldsymbol{I}_p \cdot \left(1 + \frac{\boldsymbol{Z}_p}{\boldsymbol{Z}_2}\right) \tag{2.16}$$

$$\begin{aligned} \boldsymbol{U}_1 &= \boldsymbol{A}_{11} \cdot \boldsymbol{U}_p + \boldsymbol{A}_{12} \cdot \boldsymbol{I}_3 \\ \boldsymbol{I}_1 &= \boldsymbol{A}_{21} \cdot \boldsymbol{U}_p + \boldsymbol{A}_{22} \cdot \boldsymbol{I}_3 \end{aligned} \tag{2.17}$$

$$\boldsymbol{I} = \frac{\boldsymbol{U}_1}{\boldsymbol{Z}_1'} + \boldsymbol{I}_1 \tag{2.18}$$

$$\boldsymbol{U} = \boldsymbol{U}_1 + \boldsymbol{Z}_t \cdot \boldsymbol{I} \tag{2.19}$$

2.1.2 Analýza šuntovaného stavu

Analýzu šuntového stavu provádíme pro kritické podmínky, které jsou opačné než pro volný stav:

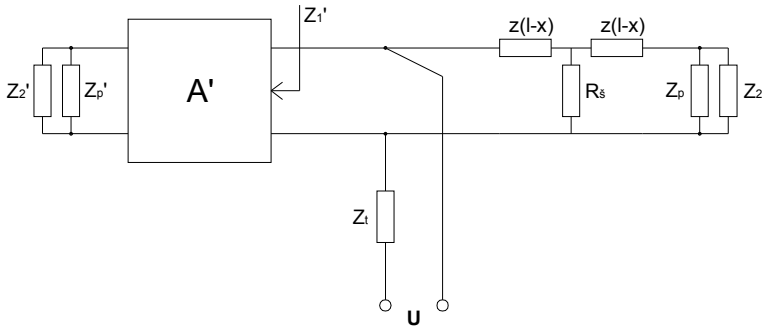
- minimální měrná příčná admitance $\mathbf{y}_{min} = 0$
- minimální měrná podélná impedance $\mathbf{z}_{min}$
- maximální přípustné napájecí napětí při nestabilitě zdroje $\mathbf{U}_{max}$

Při splnění těchto podmínek ve volném stavu přenosová impedance dosahuje minimální hodnoty $\mathbf{Z_{a0}}$. Přijímačem protéká maximální proud $\boldsymbol{I}_{p0\,max} = \frac{\boldsymbol{U}_{max}}{\boldsymbol{Z}_{a0}}$. Kolejový dvojbran degeneruje v podélnou impedanci $\mathbf{Z} = \mathbf{z}l$.

Kromě těchto podmínek je nutno uvažovat kritickou velikost šuntu $R_{šmax}$, nacházejícího se v kritickém místě. Tento šunt musí snížit hodnotu proudu přijímačem

na hodnotu vypínacího proudu. Náhradní schéma šuntovaného obvodu je na obr. 2.10. Kolejový dvojbran $\mathbf{A}_{š}$ degeneruje v nesouměrný T-článek. Jeho příčnou větev tvoří vlakový šunt $R_{švx}$ ve vzdálenosti x od přijímače. Podélné větve vznikly rozdělením podélné impedance **z**l na 2 části: **z**x a **z**(l-x). Šuntový kolejový dvojbran má kaskádní matici:

$$[\boldsymbol{A}_{š}]=\begin{bmatrix} 1+\dfrac{\boldsymbol{z}\cdot(l-x)}{\boldsymbol{R}_{švx}} & \boldsymbol{z}\cdot\left[1+\dfrac{\boldsymbol{z}\cdot x\cdot(l-x)}{\boldsymbol{R}_{švx}}\right] \\ \dfrac{1}{\boldsymbol{R}_{švx}} & 1+\dfrac{\boldsymbol{z}\cdot x}{\boldsymbol{R}_{švx}} \end{bmatrix}$$



Obr. 2.10: Náhradní schéma šuntovaného kolejového obvodu

Šuntová citlivost KO závisí na součiniteli provozní kvality k_{pq}, který zahrnuje parametry zdroje a přijímače a je roven poměru přenosových impedancí ve volném a šuntovém stavu.

$$k_{pq}=\frac{\boldsymbol{Z}_{a}}{\boldsymbol{Z}_{aš}} \tag{2.20}$$

Dosadíme z rovnice (2.15):

$$\frac{\boldsymbol{Z}_{a}}{\boldsymbol{Z}_{aš}}=\frac{\boldsymbol{H}_{u}\cdot\boldsymbol{H}_{ip}\cdot\boldsymbol{Z}_{ae}}{\boldsymbol{H}_{u}\cdot\boldsymbol{H}_{ip}\cdot\boldsymbol{Z}_{aše}} \tag{2.21}$$

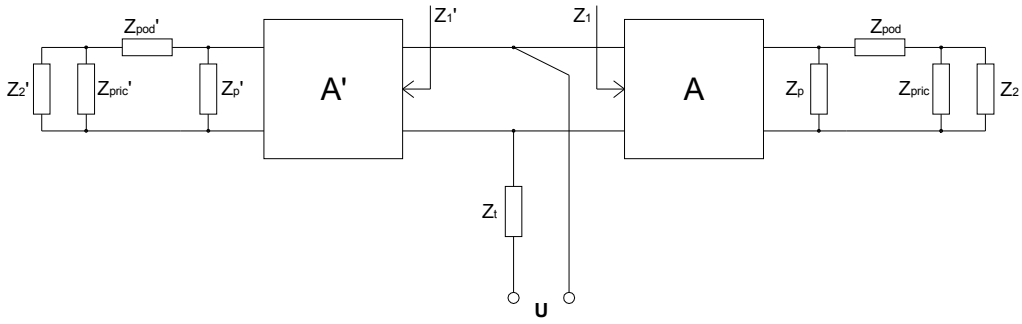
Veličiny $\mathbf{H_u}$, $\mathbf{H_{ip}}$, $\mathbf{Z_e}$ apod. závisí na izolačním stavu a proto v šuntovém stavu musíme uvažovat svod $\mathbf{y}_{min} = 0$ a příslušné veličiny $\mathbf{H_{u0}'}$, $\mathbf{H_{ip0}}$, $\mathbf{Z_{e0}}$ atd. Do jmenovatele rovnice (2.21) musíme dosadit tyto hodnoty a dostaneme:

$$\frac{\boldsymbol{Z}_{a}}{\boldsymbol{Z}_{aš}}=\frac{\boldsymbol{H}_{u}\cdot\boldsymbol{H}_{ip}\cdot\boldsymbol{Z}_{ae}}{\boldsymbol{H}_{u0}\cdot\boldsymbol{H}_{ip0}\cdot\boldsymbol{Z}_{aše}} \tag{2.22}$$

2.2 NKO s elektrickými styky

Uvažujeme paralelní NKO podle obr. 2.1, to znamená, že ve volném stavu je přijímač vybuzen. Při obsazení úseku vlakem dojde k odbuzení přijímače. K jeho odbuzení ovšem dojde i při přiblížení vlaku a šuntování vně obvodu. Vzdálenost, kde dojde k ovlivnění obvodu vnějším šuntem, ovšem nelze přesně určit, protože je závislá především na izolačních vlastnostech kolejiště, napájecím napětí, hodnotě šuntu apod. Toto pásmo překrytí sousedních obvodů může být dlouhé až několik desítek metrů, což znemožňuje umístění oddílového návěstidla. Z těchto důvodů lze uvedené řešení použít jen na tratích bez návěstidel, kde k zabezpečení jízd vlaků slouží pouze vlakový zabezpečovač.

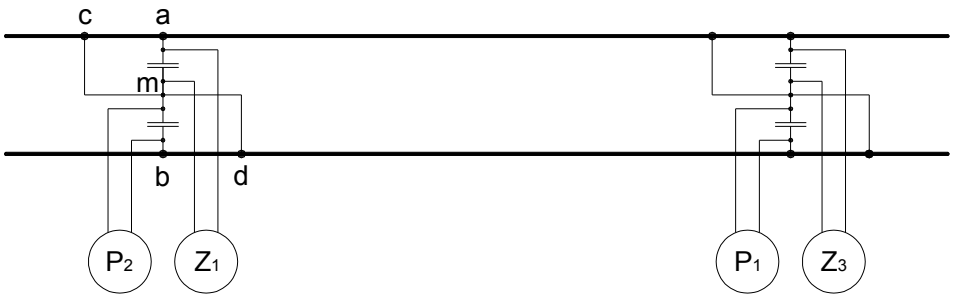
Pro lepší vymezení své délky byly vyvinuty kolejové obvody s elektrickými styky. Elektrické styky tvoří podélnou impedanci $\mathbf{Z_{pod}}$, která omezuje proud do sousedních NKO a příčnou impedanci $\mathbf{Z_{pric}}$, která omezuje ovlivnění vnějším šuntem. Náhradní schéma KO s elektrickými styky je na obr. 2.11.



Obr. 2.11: Náhradní schéma kolejového obvodu s elektrickými styky

2.2.1 NKO vymezené styky „Z“

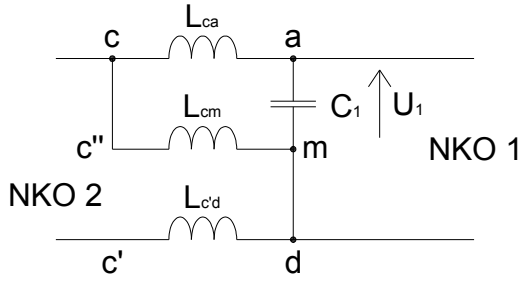
Prvním typem elektrických styků jsou tzv. Z-styky (obr. 2.12) vyvinuté v 60. letech minulého století firmou ASTER. Úsek je ohraničen pomocí soustředěné podélné impedance. Ta je tvořena indukčností smyčky měděné propojky (lano o průřezu 75 mm^2), přilehlého úseku kolejnice a paralelně připojeným kondenzátorem. Paralelně ke kondenzátoru je připojen vysílač (resp. přijímač na opačném konci) signálu o frekvenci 1,62 kHz; 2,1 kHz nebo 2,58 kHz pro jednu kolej a 1,86 kHz; 2,34 kHz nebo 2,82 kHz pro druhou kolej na dvoukolejné trati.



Obr. 2.12: NKO s elektrickými styky Z

Náhradní schéma elektrického styku Z je na obr. 2.13. Indukčnost smyčky s kapacitou kondenzátoru tvoří rezonanční obvod naladěný na frekvenci příslušného zdroje (f_1 pro NKO 1 a f_2 pro NKO 2. Rezonanční obvod tvořený indukčnostmi L_{ca} (úsek kolejnice a-c), L_{cm} (úsek propojky c-m) a kondenzátorem C_1, omezuje průchod proudu ze zdroje Z_1 do sousedního NKO. Druhý kondenzátor a indukčnost smyčky m-d-b tvoří pro frekvenci f_1 vpodstatě zkrat m-d.

Užitečný směr signálu ze zdroje Z_1 (f_1) je doprava do NKO 1 k příslušnému přijímači, ale určitá část signálu proniká přes indukčnost $L_{c'd}$ do NKO 2. Přiblížením vlakového šuntu zleva dojde k rozladění rezonančního obvodu a-c-m. To znamená, že zde zůstává oblast překrytí obsazenosti sousedních NKO.

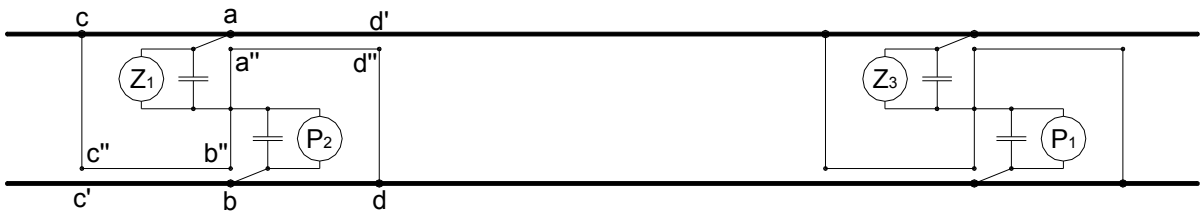


Obr. 2.13: Schéma elektrického styku Z

Maximální délka tohoto typu NKO je pouze 800 m. Jeho další nevýhodou je, že není schopen kontrolovat celistvost kolejnic v úseku překlenutém propojkou o délce 26 m. Šuntová citlivost je 0,3 Ω. Tento typ NKO se používá např. u francouzských nebo britských železnic.

2.2.2 NKO vymezené styky „S“

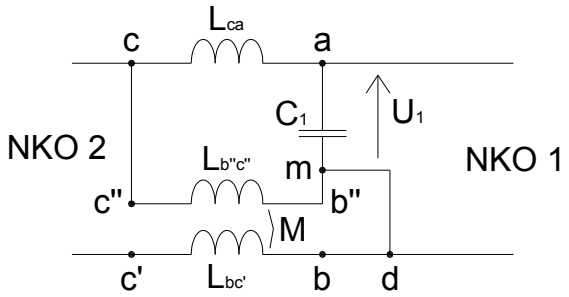
Dalším typem NKO jsou kolejové obvody FTG S firmy Siemens. Elektrický styk je tvořen měděným lanem ve tvaru „S“ (S-styk). Uspořádání elektrického styku S je na obr. 2.14.



Obr. 2.14: NKO s elektrickými styky S

Měděná propojka je v bodě c upevněna k první kolejnici, odtud je vedena ke druhé kolejnici do bodu c", uložena na její patě pokračuje do středu elektrického styku (bod b"), zpět na první kolejnici (bod a") a na patě první kolejnice dále do bodu d", konec je upevněn na druhé kolejnici v bodě d. Na kondenzátoru připojeném peralelně ke zdroji Z_1 je napětí U_1 o frekvenci f_1 pro kolejový obvod napravo od styku.

Ve volném stavu platí pro jednu polovinu elektrického styku náhradní schéma podle obr. 2.15. Pro kmitočet f_1 představuje polosmyčka m-d-b s kondenzátorem C_2 prakticky zkrat. To znamená, že mezi kolejnicemi v pravém úseku bude napětí prvního zdroje. Indukčnosti levé části propojky $L_{ca}+L_{b"c"}$ vytvářejí s kondenzátorem C_1 rezonanční obvod na frekvenci f_1. Při vlakovém šuntu vně propojky nedojde k ovlivnění rezonanční impedance, přotože těsnou vazbu mezi body c' a c" lze nahradit jejich propojením, čímž dochází ke zkratování koleje mezi body c a c'. Obsazení šuntem se projeví až v oblasti elektrického styku nebo uvnitř NKO. Zmenší se impedance mezi body a-d a dojde k odbuzení přijímače. Pásmo překrytí je tak omezeno pouze na úsek překlenutý propojkou.



Obr. 2.15: Schéma elektrického styku S

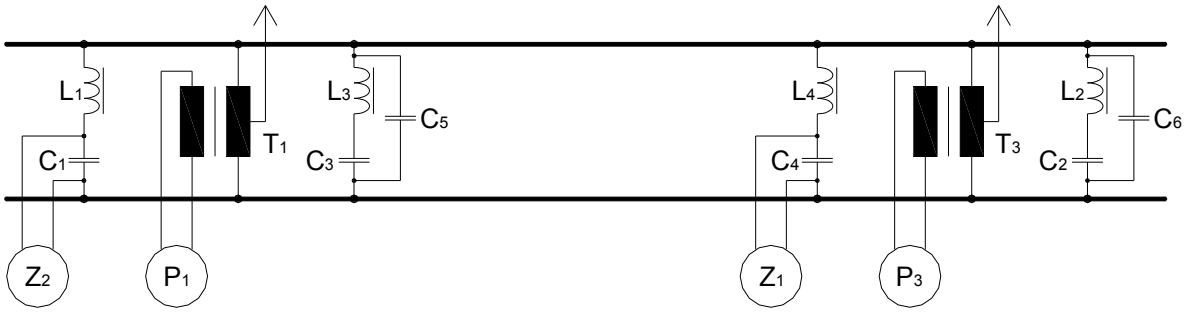
Délka elektrického styku je u typu FTG S 46 používaného ve stanicích 7 m, u typu FTG S 917 pro tratě 19 m. Napájecí a přiímací výstroj může být umístěna ve vzdálenosti až 6,5 km. Tento typ NKO má vysokou šuntovou citlivost, až 0,5 Ω. Používá 12 různých frekvencí signálu. Ve stanicích se používají frekvence 9-17 kHz, na trati 4-6 kHz. Pro zvýšení odolnosti proti rušení je signál frekvenčně modulován. Spotřeba NKO FTG S je 65-90 VA.

Konstrukční délka při svodu 0,67 S/km je 600 m, při svodu 0,4 S/km až 750 m Tuto délku lze zdvojnásobit zapojením zdroje uprostřed obvodu a přijímačů na obou koncích. Nevýhodou tohoto typu NKO je, že přímo neumožňuje detekci celistvosti kolejnic.

2.2.3 NKO vymezené rezonančními propojkami

Další řešení představuje kolejový obvod UM 71 (obr. 2.16) vyvinutý francouzskou firmou CSEE. Jeho délka je vymezena elektrickými styky sestávajícími z laděného obvodu a stykového transformátoru. Přibližně uprostřed elektrického styku je vinutí stykového transformátoru, konce jsou ohraničeny rezonančními propojkami. Délka elektrického styku je podle typu obvodu 2 x 13 m nebo 2 x 10,2 m. Propojky obsahující cívku a 2 kondenzátory zajišťují paralelní rezonanci s indukčností kolejnic na frekvenci přislušného kolejového obvodu a sériovou rezonanci na frekvenci sousedního obvodu. Transformátor, zapojený uprostřed elektrického styku, optimalizuje průchod trakčního proudu, umožňuje jeho přívod nebo odvod (ukolejňování apod.) a vyrovnává jeho rozdělení mezi kolejnicemi.

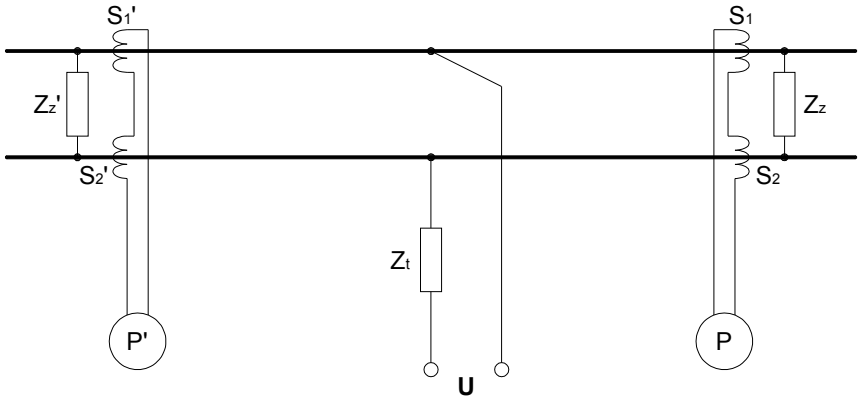
Z důvodu zamezení přeslechům mezi jednotlivými kolejovými úseky a mezi sousedními kolejemi tyto kolejové obvody využíívají 4 různé frekvence: 1700 Hz a 2300 Hz pro jednu kolej a 2000 Hz a 2600 Hz pro sousední kolej na dvoukolejné trati. Signál je frekvenčně modulován a používá se také pro činnost LVZ. Jeho konstrukce je možná buď s vysílačem na jednom a přijímačem na druhém konci nebo se zdrojem signálu uprostřed a přijímači na obou stranách, čímž se zdvojnásobí činná délka. Pro dosažení maximální délky obvodu jsou mezi kolejnice zapojeny ve 100 m intervalech kompenzační kondenzátory, které kompenzují induktivní impedanci. Díky tomu lze dosáhnout konstrukční délky až 1,5 km.



Obr. 2.16: NKO s rezonančními propojkami

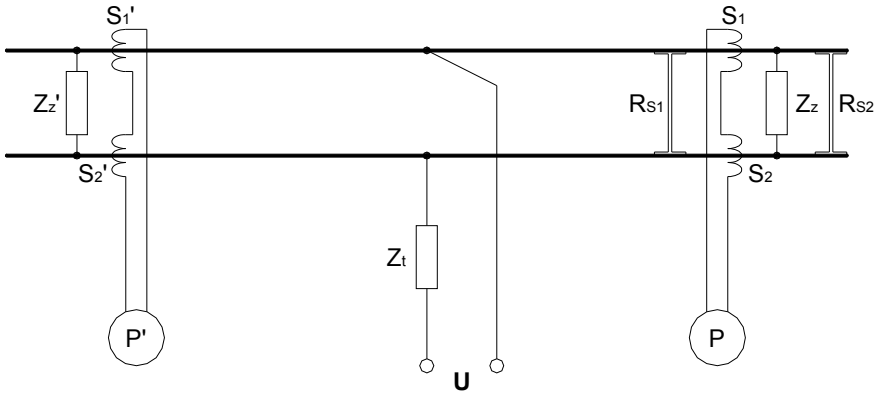
3 NKO S PŘIJÍMAČEM ŘÍZENÝM PROUDEM

Další druh NKO narozdíl od předchozích typů obsahuje induktivní snímače proudu, umístěné pod kolejnicemi nebo vedle nich a přijímač vyhodnocující napětí indukované snímači. Jeho délka je vymezena impedanční propojkou o impedanci $\mathbf{Z_z}$ (obr. 3.1).



Obr. 3.1: NKO s proudovými snímači

Ve volném stavu proud ze zdroje na jednom konci prochází kolejnicemi, kde je detekován snímači a uzavírá se přes propojku na opačné straně. Při obsazení úseku (šuntu mezi zdrojem a snímačem) se proud uzavře přes vlakový šunt a proud kolem snímačů bude minimální. Pokud bude impedance propojky $\mathbf{Z_z}$ nulová (zkrat mezi kolejnicemi), šunt vně obvodu snímače neovlivní, nevlivní je však ani šunt uvnitř obvodu do určité vzdálenosti od propojky. Vznikne tak zóna necitlivosti, tedy opačný problém, než u NKO s napěťovými přijímači. Tuto oblast lze zmenšit zvýšením impedance propojky. Problém může nastat, pokud se k úseku obsazenému šuntem R_{s1} přiblíží druhý vlak s nižším odporem šuntu R_{s2} (obr. 3.2). Může tak dojít k nedetekování prvního vlaku tím, že se proud uzavře přes druhý šunt a úsek se bude jevit jako volný.



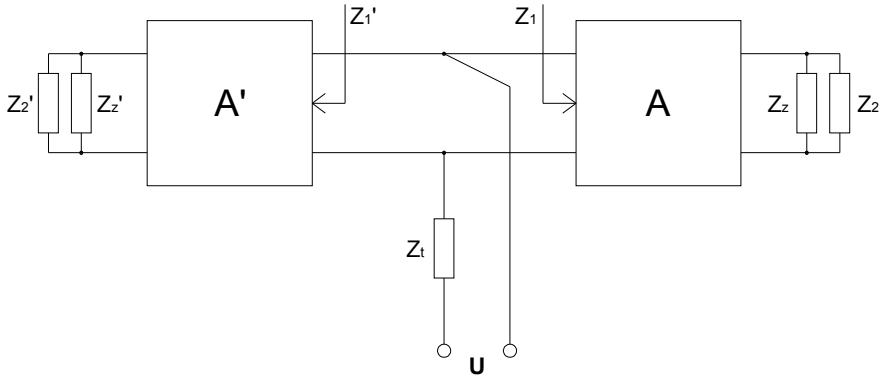
Obr. 3.2: NKO s proudovými snímači s vnitřním a vnějším šuntem

Snímače u obou kolejnic jsou řazeny sériově, aby se indukovaná signální napětí obou kolejnic sčítala a napětí od trakčních proudů naopak odečítala. Při dokonalé symetrii trakčních proudů se tak vliv trakčních proudů vyruší.

3.1 Analýza NKO s proudovými přijímači

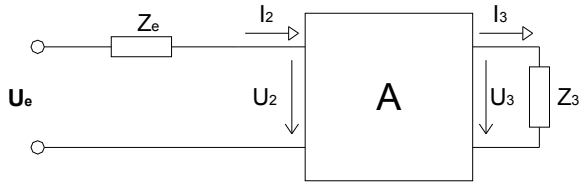
Pro analýzu NKO s proudovým snímáním, podobně jako u předcházejících typů, vytvoříme náhradní schéma obvodu (obr. 3.3), které se od schématu pro NKO s napěťovým snímáním liší tím, že impedance přijímače $\mathbf{Z_p}$ je nahrazena impedancí propojky $\mathbf{Z_z}$. Jeho dalším zjednodušením dostaneme schéma totožné s obr. 2.3, kde ovšem impedance $\mathbf{Z_3}$ je paralelní kombinací $\mathbf{Z_z}$ a $\mathbf{Z_2}$.

$$\boldsymbol{Z}_3 = \frac{\boldsymbol{Z}_z \cdot \boldsymbol{Z}_2}{\boldsymbol{Z}_z + \boldsymbol{Z}_2} \tag{3.1}$$



Obr. 3.3: Náhradní schéma NKO s proudovými snímači

Dále platí rovnice jako pro NKO s napěťovými přijímači. Stejným způsobem také odvodíme ekvivalentní schéma na obr. 3.4.



Obr. 3.4: Ekvivalentní schéma NKO s proudovými snímači

Opět je třeba brát v úvahu, že veličiny $\mathbf{H_u}$, $\mathbf{Z_e}$ apod. závisí na izolačním stavu a proto v šuntovém stavu musíme uvažovat svod $\mathbf{y}_{min}$ a příslušné veličiny $\mathbf{H_{u0}}$, $\mathbf{Z_{e0}}$ atd. Proud $\mathbf{I_3}$ protéká celý kolem snímačů, takže se v tomto případě neuplatní činitel přenosu proudu.

Přenosová impedance: $$\boldsymbol{Z_a = \frac{U}{I_3}} \tag{3.2}$$

Rovnice (2.15) se zjednoduší na: $$\boldsymbol{Z_a = H_u \cdot Z_{ae}} \tag{3.3}$$

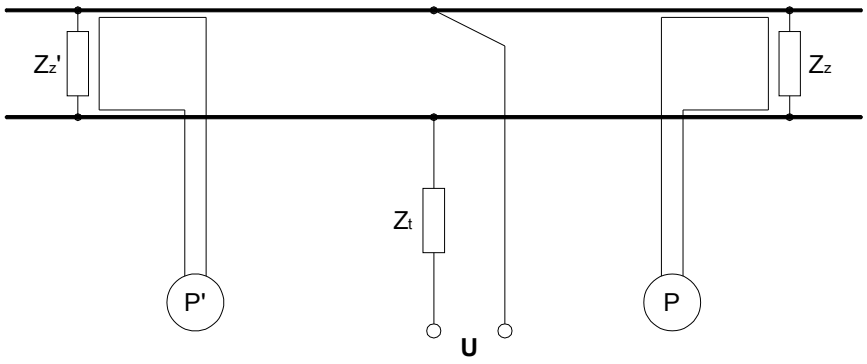
a (2.22) bude mít tvar:

$$\boldsymbol{\frac{Z_a}{Z_{aš}} = \frac{H_u \cdot Z_{ae}}{H_{u0} \cdot Z_{aše}}} \tag{3.4}$$

3.2 NKO s prodovým snímáním firmy Marquardt

NKO s proudovým snímáním americké firmy Marquardt (obr. 3.5) používá zdroj signálu o kmitočtu 500 Hz – 1500 Hz, který je umístěn uprostřed obvodu. Přijímače jsou na obou koncích navázány na kolej prostřednictvím jednovodičových smyček, hranice úseků jsou vymezeny impedancemi Z_z.

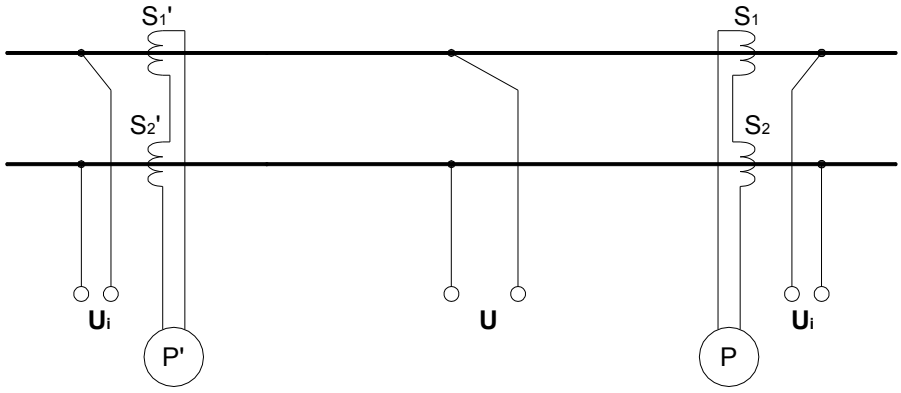
V sousedních obvodech se používají odlišné kmitočty signálu. Signál je navíc impulsně kódován, což nejenže zvyšuje odolnost proti rušení, ale také slouží k přenosu informace LVZ. Jeho délka může být až 1500 m při maximálním svodu 0,5 S/km.



Obr. 3.5: NKO firmy Marquardt

4 NÁRAZNÍKOVÝ KOLEJOVÝ OBVOD

V 70. letech 20. století byl na Vysoké škole dopravy a spojů v Žilině ve spolupráci s HfV Dresden vyvinut nový typ kolejového obvodu bez izolovaných styků s originální konstrukcí. Jeho uspořádání je na obr. 4.1. Na koncích uzavřených příčnou impedancí je v cestě hlavního signálu U zavedeno protinapětí tzv. nárazníkového zdroje U_i (odtud označení nárazníkový kolejový obvod - NKO-N). Výsledný proud v kolejnicích induktivně snímaný snímači S pro fázově závislý hlavní přijímač P je dán superpozicí proudu ze vzdáleného hlavního zdroje a nárazníkových zdrojů. Hlavní zdroj je umístěn uprostřed a přijímače na obou koncích. Hranice NKO-N jsou poměrně přesně určeny velikostí příčné impedance a polohou hlavního přijímače. Při příčné impedanci řádově $10^{-2}\ \Omega$ a konstrukční vzdálenosti induktivních snímačů od místa připojení příčných impedancí <1 m lze dosáhnout přesnosti elektrických mezí ±1 m.



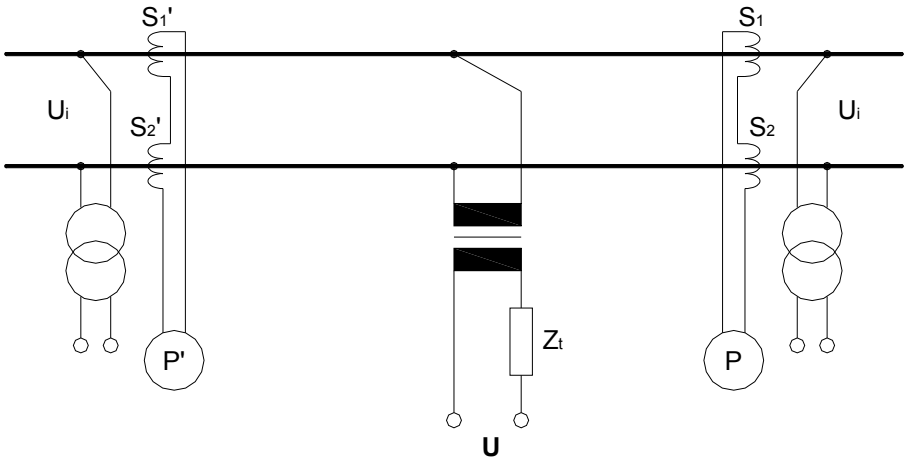
Obr. 4.1: Nárazníkový kolejový obvod

NKO-N je indikován volný, jsou-li oba přijímače vybuzeny. K indikaci obsazení postačí odbuzení jednoho přijímače. Velikost napětí nárazníkového zdroje U_i je nutné kontrolovat, protože jeho poruchu nelze detekovat hlavními přijímači. Nárazníkový zdroj může být proveden jako kolejový induktor nebo jako nárazníkový transformátor.

4.1 NKO-N s nárazníkovým transformátorem

Jako nárazníkový zdroj lze ve většině případů, kdy na sebe navazuje řada NKO a postačuje vymezení délky s přesností několika metrů (tedy u traťového zabezpečovacího zařízení) použít transformátor zapojený mezi kolejnice (obr. 4.2). Každé dva sousední NKO mají společný jeden nárazníkový transformátor. Transformátor má pro použitou signální

frekvenci malou vnitřní impedanci (<10^{-2} Ω). Tato vnitřní impedance slouží k uzavření cest signálů z hlavních zdrojů. V cestě obou signálů stojí tvrdé napětí U_i. Napětí v informačním bodě je nutné kontrolovat. Výsledné proudy v kolejnicích jsou snímány snímači S. Díky malé vnitřní impedanci nárazníkového transformátoru jsou přechody signálních proudů do sousedních NKO zanedbatelné.



Obr. 4.2: NKO-N s transformátorovým nárazníkovým zdrojem

Přítomnost dvojkolí s odporem šuntu $R_š$ = 0 v místě nárazníkového zdroje vyvolá proud nakrátko, který je však omezen reaktancí smyčky tvořené dvojkolím a přilehlými úseky kolejnic. Experimentálně bylo zjištěno, že indukčnost v tomto obvodu L_k = 7 až 10 μH. Při napětí nárazníkového zdroje U_i = 0,6 V a příkonu transformátoru přibližně 30 VA proudy nakrátko dosahují maximálně asi 60 A.

Pro lepší průběh šuntové citlivosti v různých místech obvodu je vhodné zavést ještě pomocné magnetické pole v prostoru induktivních snímačů. To lze vytvořit buď přidáním pomocného vinutí přímo na snímače nebo pomocí kabelové smyčky připevněné na stojině kolejnic v oblasti informačního budu v délce asi 3 m. Smyčka je napájena proudem $\mathbf{I_v}$ z nárazníkového zdroje. Skutečný proud $\mathbf{I_v}$ je třeba přepočítat na fiktivní proud $\mathbf{I_e}$, který by protékal kolejnicemi kolem snímačů se stejným účinkem.

Proud $\mathbf{I_v}$ v kabelové smyčce je nutné, stejně jako napětí $\mathbf{U_i}$, kontrolovat. Ke kontrole obou veličin se využívá diferenciální transformátor – transduktor. Při odchylce kontrolovaných veličin dojde k odpojení hlavního přijímače.

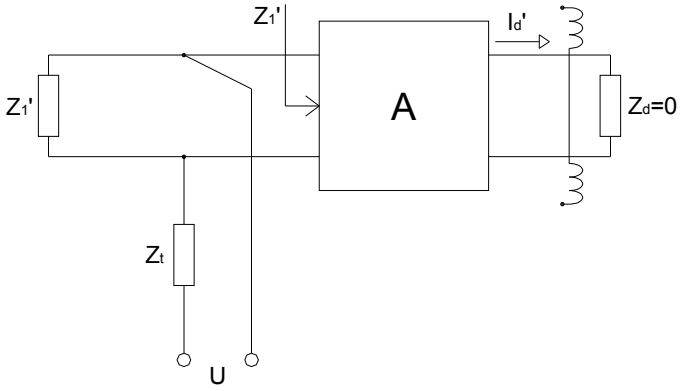
Kolem přijímače protéká celkový proud $\mathbf{I_d}$. Ten je tvořen čtyřmi složkami: proudem hlavního zdroje $\mathbf{I_d'}$, proudem bližšího nárazníkového zdroje $\mathbf{I_d''}$, vzdáleného nárazníkového zdroje $\mathbf{I_d'''}$ a fiktivním proudem $\mathbf{I_e}$.

Napětí hlavního zdroje a nárazníkových zdrojů jsou ve fázi. Vzhledem k umístění snímače má ovšem složka proudu kolem snímače z hlavního zdroje a blízkého nárazníkového zdroje opačný směr. Složka proudu ze vzdáleného nárazníkového zdroje má stejný směr jako z hlavního zdroje. Fiktivní proud $\mathbf{I_e}$ je odvozen od proudu $\mathbf{I_v}$ v kabelové smyčce připojené na nárazníkový zdroj a bude tedy mít rovněž stejnou fázi.

4.2 Analýza nárazníkového kolejového obvodu

4.2.1 Analýza volného stavu NKO-N

Pro analýzu volného stavu použijeme náhradní schéma na obr. 4.3. Levá větev NKO-N je nahrazena vstupní impedancí $\mathbf{Z_1'}$ kolejového dvojbranu. Kolejový dvojbran **A** představuje pravou větev.



Obr. 4.3: Náhradní schéma NKO-N

Dále provedeme úpravu na ekvivalentní schéma jako v předchozích případech. Podle rovnice (2.10) získáme ekvivalentní impedanci $\mathbf{Z_e}$:

$$\boldsymbol{Z}_e = \frac{\boldsymbol{Z}_t \cdot \boldsymbol{Z}_1'}{\boldsymbol{Z}_t + \boldsymbol{Z}_1'} \tag{4.1}$$

Převodní součinitel napětí původního a ekvivalentního zdroje podle rovnice (2.9):

$$\boldsymbol{H}_u = \frac{\boldsymbol{U}}{\boldsymbol{U}_e} = \frac{\boldsymbol{Z}_t}{\boldsymbol{Z}_1'} + 1 \tag{4.2}$$

Ekvivalentní přenosovou impedanci pro signál hlavního zdroje $\mathbf{Z_{ae}'}$ odvodíme z rovnice (2.12). Vzhledem k malé vnitřní impedanci nárazníkových transformátorů můžeme impedanci $\mathbf{Z_2}$ považovat za nulovou a rovnice bude mít tvar:

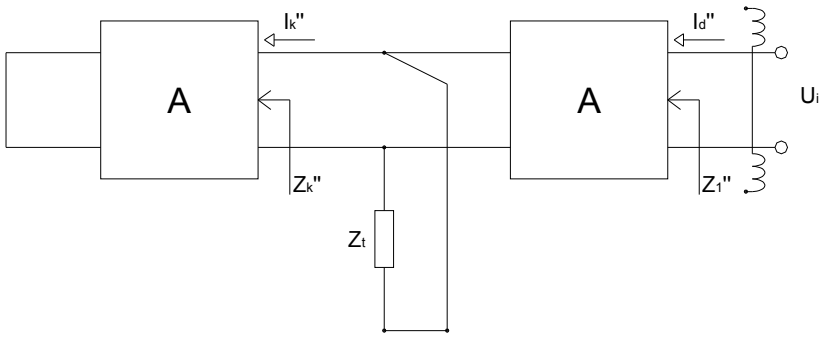
$$Z_{ae}' = A_{12} + Z_e \cdot A_{22} \tag{4.3}$$

a přenosová impedance $\mathbf{Z_a'}$ bude podle rovnice 3.3 :

$$Z_a' = H_u \cdot Z_{ae}' \tag{4.3}$$

Podle rovnice (2.11) bude složka proudu z hlavního zdroje $\mathbf{I_d'}$:

$$I_d' = \frac{U}{Z_a'} \tag{4.4}$$



Obr. 4.4: Upravené náhradní schéma NKO-N

Proud z blízkého nárazníkového zdroje $\mathbf{I_d''}$ určíme ze schématu na obr. 4.4:

$$I_d'' = \frac{U_i}{Z_1''} \tag{4.5}$$

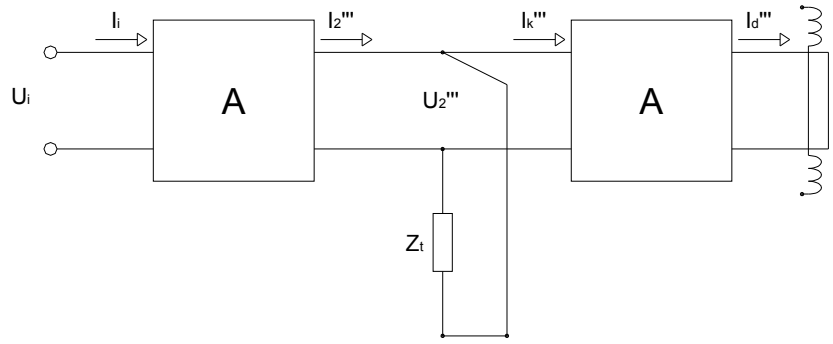
kde $\mathbf{U_i}$ je napětí nárazníkového zdroje a $\mathbf{Z_1''}$ je vstupní impedance pravé větve:

$$Z_1'' = \frac{A_{22} \cdot \dfrac{Z_k'' \cdot Z_t}{Z_k'' + Z_t} + A_{12}}{A_{21} \cdot \dfrac{Z_k'' \cdot Z_t}{Z_k'' + Z_t} + A_{11}} \tag{4.6}$$

přičemž $\mathbf{A_{22} = A_{11}}$ a $\mathbf{Z_k''}$ je vstupní impedance levé větve

$$Z_k'' = \frac{A_{12}'}{A_{11}'} \tag{4.7}$$

Proud $\mathbf{I_d'''}$ vzdáleného nárazníkového zdroje určíme ze schématu na obr. 4.5.



Obr. 4.5: Upravené náhradní schéma NKO-N

$$\begin{aligned} \boldsymbol{U}_i &= \boldsymbol{A}_{11}\cdot\boldsymbol{U}_2{}''' + \boldsymbol{A}_{12}\cdot\boldsymbol{I}_2{}''' \\ \boldsymbol{I}_i &= \boldsymbol{A}_{21}\cdot\boldsymbol{U}_2{}''' + \boldsymbol{A}_{22}\cdot\boldsymbol{I}_2{}''' \end{aligned} \tag{4.8}$$

Z druhé rovnice vyjádříme $\mathbf{I_2'''}$:

$$\boldsymbol{I}_2{}''' = \frac{\boldsymbol{I}_i - \boldsymbol{A}_{21}\cdot\boldsymbol{U}_2{}'''}{\boldsymbol{A}_{22}} \tag{4.9}$$

a dosadíme do první rovnice:

$$\boldsymbol{U}_i = \boldsymbol{A}_{11}\cdot\boldsymbol{U}_2{}''' + \boldsymbol{A}_{12}\cdot\frac{\boldsymbol{I}_i - \boldsymbol{A}_{21}\cdot\boldsymbol{U}_2{}'''}{\boldsymbol{A}_{22}} \tag{4.10}$$

Odtud vyjádříme $\mathbf{U_2'''}$ a po úpravách obdržíme:

$$\boldsymbol{U}_2{}''' = \boldsymbol{A}_{22}\cdot\boldsymbol{U}_i - \boldsymbol{A}_{12}\cdot\boldsymbol{I}_i \tag{4.11}$$

Pro přenos v pravé větvi platí:

$$\boldsymbol{I}_d{}''' = \frac{\boldsymbol{U}_2{}'''}{\boldsymbol{A}_{12}} \tag{4.12}$$

A po dosazení za $\mathbf{U_2'''}$

$$\boldsymbol{I}_d{}''' = \frac{\boldsymbol{A}_{22}\cdot\boldsymbol{U}_i - \boldsymbol{A}_{12}\cdot\boldsymbol{I}_i}{\boldsymbol{A}_{12}} \tag{4.13}$$

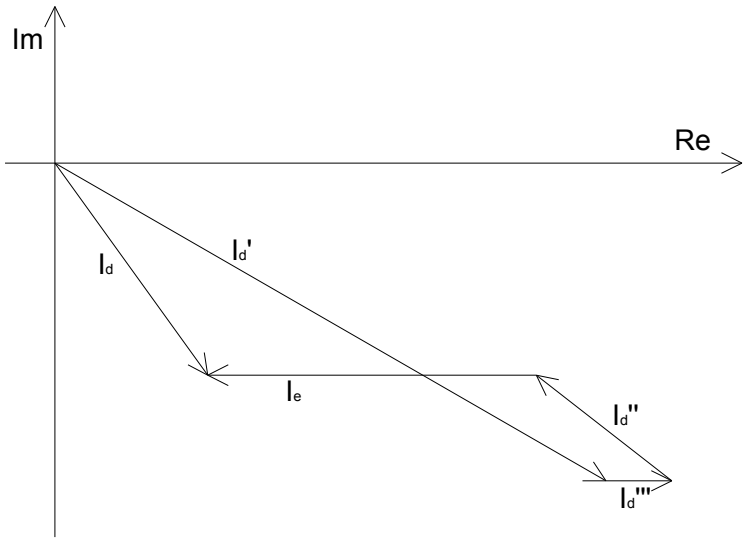
$\mathbf{I_i} = \mathbf{I_d''}$, takže

$$\boldsymbol{I}_d{}''' = \boldsymbol{U}_i\cdot\frac{\boldsymbol{A}_{22}}{\boldsymbol{A}_{12}} - \boldsymbol{I}_d{}'' \tag{4.14}$$

Po dosazení z rovnice (4.5) lze $\mathbf{I_d'''}$ zapsat:

$$\boldsymbol{I}_d{}''' = \boldsymbol{U}_i\cdot\left(\frac{\boldsymbol{A}_{22}}{\boldsymbol{A}_{12}} - \frac{1}{\boldsymbol{Z}_1{}''}\right) \tag{4.15}$$

Celkový proud kolem snímačů $\mathbf{I_d}$ je vektorovým součtem dílčích proudů $\mathbf{I_d'}$ (z hlavního zdroje), $\mathbf{I_d''}$ (z bližšího nárazníkového zdroje), $\mathbf{I_d'''}$ (ze vzdálenějšího nárazníkového zdroje) a $\mathbf{I_e}$ (fiktivní proud pomocného magnetického pole) – viz obr. 4.6 (fázory na obrázku jsou pouze ilustrační a nemusí vyjadřovat skutečné hodnoty).



Obr. 4.6: Vektorový součet proudů kolem snímačů

$$\boldsymbol{I}_d = \boldsymbol{I}_d' - \boldsymbol{I}_d'' + \boldsymbol{I}_d''' - \boldsymbol{I}_e \tag{4.16}$$

K vybuzení přijímače slouží účinná složka proudu $\mathbf{I_d}$, která je ve fázi s místním napětím přijímače. Pokud zvolíme referenční fázi 0º, bude účinnou složkou reálná část proudu $\mathbf{I_d}$, tedy:

$$\Re(\boldsymbol{I}_d) = \Re(\boldsymbol{I}_d') - \Re(\boldsymbol{I}_d'') + \Re(\boldsymbol{I}_d''') - \Re(\boldsymbol{I}_e) \tag{4.17}$$

Odtud vyjádříme účinnou složku proudu hlavního zdroje:

$$\Re(\boldsymbol{I}_d') = \Re(\boldsymbol{I}_d) + \Re(\boldsymbol{I}_d'') - \Re(\boldsymbol{I}_d''') + \Re(\boldsymbol{I}_e) \tag{4.18}$$

Podle rovnice (4.4) platí:

$$\Re(\boldsymbol{I}_d') = \frac{U}{\boldsymbol{Z}_a'} \cdot \cos(\varphi_u - \varphi_a) \tag{4.19}$$

a odtud vyjádříme modul hlavního napětí:

$$U = \Re(\boldsymbol{I}_d') \cdot \boldsymbol{Z}_a' \cdot \frac{1}{\cos(\varphi_u - \varphi_a)} \tag{4.20}$$

$$U = \left(\Re(\boldsymbol{I}_d) + \Re(\boldsymbol{I}_d'') - \Re(\boldsymbol{I}_d''') + \Re(\boldsymbol{I}_e)\right) \cdot \boldsymbol{Z}_a' \cdot \frac{1}{\cos(\varphi_u - \varphi_a)} \tag{4.21}$$

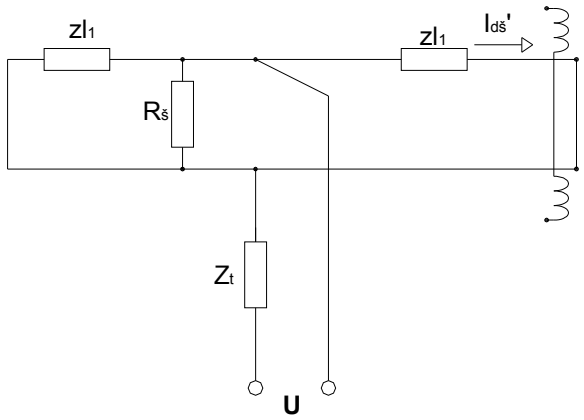
4.2.2 Analýza šuntového stavu NKO-N

Pro analýzu NKO-N v šuntovém režimu opět uvažujeme nulový svod mezi kolejnicemi, takže dvojbran kolejového vedení je představován pouze podélnou impedancí $\mathbf{z}l_1$, kde l_1 je délka jedné poloviny NKO-N.

Vlivem šuntu se sníží proud $\mathbf{I_d'}$ z hlavního zdroje. Proud z blízkého nárazníkového zdroje $\mathbf{I_d''}$ se zvýší a proud vzdáleného nárazníkového zdroje $\mathbf{I_d'''}$ lze v šuntovém režimu zanedbat. Fázor výsledného proudu kolem snímačů $\mathbf{I_d}$ podle obr. 4.6 se natočí doleva. Tím se sníží účinná složka proudu $\mathbf{I_d}\cdot\cos\varphi$ (reálná část) a přijímač se odbudí. Bude-li fázor v poloze, kde bude $\mathbf{I_d}\cdot\cos\varphi = 0$, tedy kolmo na reálnou osu, dojde k odbuzení přijímače při každé velikosti proudu $\mathbf{I_{dš}}$. Šuntovací odpor, který způsobil toto natočení, vyvolal tzv. absolutní šuntovou citlivost.

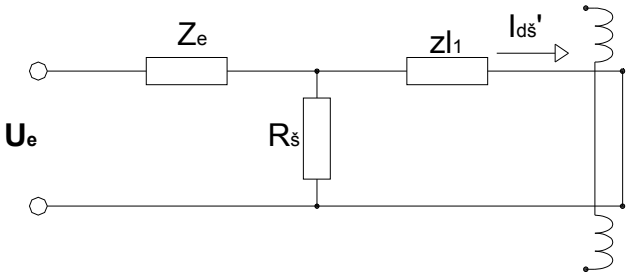
Výsledný proud kolem snímaču je dán vztahem:

$$\boldsymbol{I}_{dš} = \boldsymbol{I}_{dš}' - \boldsymbol{I}_{dš}'' - \boldsymbol{I}_e \qquad (4.22)$$



Obr. 4.7: Náhradní schéma šuntovaného NKO-N

Proud $\mathbf{I_e}$ je odvozen od napětí nárazníkového zdroje, takže jeho velikost nebude přítomností šuntu ovlivněna. Proud $\mathbf{I_{dš}'}$ v pravé větvi určíme podle schématu na obr. 4.7. Kolejový dvojbran levé větve je nahrazen vstupní impedancí $\mathbf{z}l_1$, přičemž l_1 je délka poloviny NKO-N a z měrná podélná impedance. Opět lze obvod převést na ekvivalentní schéma na obr. 4.8.



Obr. 4.8: Ekvivalentní schéma šuntovaného NKO-N

$$\boldsymbol{Z}_e = \frac{\boldsymbol{Z}_t \cdot z\, l_1}{\boldsymbol{Z}_t + z\, l_1} \tag{4.23}$$

je ekvivalentní impedance,

$$\boldsymbol{H}_u = \frac{\boldsymbol{Z}_t + z\, l_1}{z\, l_1} = \frac{\boldsymbol{U}}{\boldsymbol{U}_e} \tag{4.24}$$

je převodní součinitel mezi napětím skutečného a ekvivalentního zdroje a odtud určíme napětí ekvivalentního zdroje:

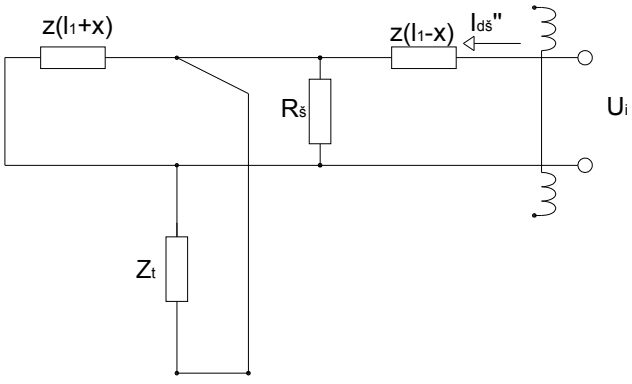
$$\boldsymbol{U}_e = \frac{\boldsymbol{U}}{\boldsymbol{H}_u} = \boldsymbol{U} \cdot \frac{z\, l_1}{\boldsymbol{Z}_t + z\, l_1} \tag{4.25}$$

Proud Idš' vyjádříme pomocí přenosové impedance:

$$\boldsymbol{I}_{dš}' = \frac{\boldsymbol{U}_e}{z\, l_1 + \boldsymbol{Z}_e + \dfrac{z(l_1 - x)\cdot(\boldsymbol{Z}_e + z\, x)}{R_{šx}}} \tag{4.26}$$

a proud $\mathbf{I_{dš}''}$ pomocí vstupní impedance podle obr. 4.9

$$\boldsymbol{I}_{dš}'' = z(l_1 - x) + \frac{R_{šx}\cdot(z\, x + \boldsymbol{Z}_e)}{R_{šx} + z\, x + \boldsymbol{Z}_e} \tag{4.27}$$



Obr. 4.9: Náhradní schéma šuntovaného NKO-N

Výsledný proud $\mathbf{I_{dš}}$ kolem snímačů bude po dosazení do (4.22):

$$\boldsymbol{I}_{dš}=\frac{\boldsymbol{U}_e}{z\,l_1+\boldsymbol{Z}_e+\dfrac{z\,(l_1-x)\cdot(\boldsymbol{Z}_e+z\,x)}{R_{šx}}}-\frac{\boldsymbol{U}_i}{z(l_1-x)+\dfrac{R_{šx}\cdot(z\,x+\boldsymbol{Z}_e)}{R_{šx}+z\,x+\boldsymbol{Z}_e}}-\boldsymbol{I}_e \quad (4.28)$$

Zavedeme substituci podle [2]

$$z\,l_1=z\,l_1\angle\varphi_z \quad (4.29)$$

$$\boldsymbol{Z}_e=Z_e\angle\varphi_e \quad (4.30)$$

$$B\angle\beta=zl_1\angle\varphi_z+Z_t\angle\varphi_t \quad (4.31)$$

$$B_N\angle\beta_N=zl_1\angle\varphi_z+Z_e\angle\varphi_e \quad (4.32)$$

Jak bylo uvedeno výše, volíme: $U\angle 0^{\circ}$; $U_i\angle 0^{\circ}$; $I_e\angle 0^{\circ}$

$$\boldsymbol{U}_e=U\angle\varphi\cdot\frac{zl_1\angle\varphi_z}{B\angle\beta}=U_e\angle(\varphi_z-\beta) \quad (4.33)$$

a po úpravě (4.28) obdržíme:

$$\boldsymbol{I}_{dš}=\frac{R_{šx}\cdot\boldsymbol{U}_e-R_{šx}\cdot\boldsymbol{U}_i-\boldsymbol{U}_i\cdot z\,x-\boldsymbol{U}_i\cdot\boldsymbol{Z}_e-R_{šx}\cdot\boldsymbol{I}_e\cdot\boldsymbol{B}_N-\boldsymbol{I}_e\cdot\boldsymbol{Z}_e\cdot z(l_1-x)-\boldsymbol{I}_e\cdot z^2\,x(l_1-x)}{R_{šx}\cdot\boldsymbol{B}_N+\boldsymbol{Z}_e\cdot z(l_1-x)+z^2\,x(l_1-x)} \quad (4.34)$$

Komplexní veličiny z této rovnice lze vyjádřit ve složkovém tvaru:

$$\frac{P+jQ}{V+jS}=I_{dš}(\cos\varphi_{dš}+j\cdot\sin\varphi_{dš}) \quad (4.35)$$

kde

$$P=R_{šx}\cdot U_e\cdot\cos(\varphi_z-\beta)-R_{šx}\cdot U_i-U_i\cdot Z_e\cdot\cos\varphi_e-U_i\cdot zx\cdot\cos\varphi_z\beta_N$$
$$-R_{šx}\cdot I_e\cdot B_N\cdot\cos-I_e\cdot Z_e\cdot z(l_1-x)\cdot\cos(\varphi_e+\varphi_z)-I_e\cdot z^2\,x(l_1-x)\cdot\cos 2\varphi_z$$

$$jQ=j\,[R_{šx}\cdot U_e\cdot\sin(\varphi_z-\beta)-R_{šx}\cdot U_i-U_i\cdot Z_e\cdot\sin\varphi_e-U_i\cdot zx\cdot\sin\varphi_z$$
$$-R_{šx}\cdot I_e\cdot B_N\cdot\sin\beta_N-I_e\cdot Z_e\cdot z(l_1-x)\cdot\sin(\varphi_e+\varphi_z)-I_e\cdot z^2\,x(l_1-x)\cdot\sin 2\varphi_z]$$

$$V=R_{šx}\cdot B_N\cdot\cos\beta_N+Z_e\cdot z(l_1-x)\cdot\cos(\varphi_e+\varphi_z)+z^2\,x(l_1-x)\cdot\cos 2\varphi_z$$

$$jS=j\,[R_{šx}\cdot B_N\cdot\sin\beta_N+Z_e\cdot z(l_1-x)\cdot\sin(\varphi_e+\varphi_z)+z^2\,x(l_1-x)\cdot\sin 2\varphi_z]$$

Podle definice absolutní šuntové citlivosti platí:

$$I_{dš}\cdot\cos\varphi_{dš}=0 \quad (4.36)$$

Provedeme úpravu rovnice (4.35):

$$\frac{PV+jQV-jPS+QS}{V^2+S^2}=I_{dš}\cdot\cos\varphi_{dš}+j\,I_{dš}\cdot\sin\varphi_{dš} \quad (4.37)$$

Reálná část čitatele levé strana se rovná nule, tedy:

$$P \cdot V + Q \cdot S = 0 \tag{4.38}$$

Po dosazení dílčích výrazů, vynásobení a úpravě obdržíme:

$$\begin{aligned}
&R_{\text{šx abs}}^2 \cdot B_N \cdot [U_e \cdot \cos(\varphi_z - \beta - \beta_N) - U_i \cdot \cos\beta_N - I_e \cdot B_N] + \\
&+ R_{\text{šx abs}} \cdot \{U_e \cdot z(l_1 - x) \cdot [Z_e \cdot \cos(\beta + \varphi_e) + zx \cdot \cos(\beta + \varphi_z)] - \\
&\quad - U_i \cdot [Z_e \cdot [B_N \cdot \cos(\varphi_e - \beta_N) + z(l_1 - x) \cdot \cos(\varphi_e + \varphi_z)] + \\
&\quad + zx \cdot [B_N \cdot \cos(\varphi_z - \beta_N) + z(l_1 - x) \cdot \cos 2\varphi_z]] - \\
&\quad - 2\mathrm{I}_e \cdot B_n \cdot z(l_1 - x) \cdot [Z_e \cdot \cos(\varphi_e + \varphi_z - \beta_N) + zx \cdot \cos(2\varphi_z - \beta_N)]\} - \\
&- U_i \cdot z(l_1 - x) \cdot \left\{Z_e \cdot [Z_e \cdot \cos\varphi_z + zx \cdot [\cos\varphi_e + \cos(\varphi_e - 2\varphi_z)]] + z^2 \cdot x^2 \cdot \cos\varphi_z\right\} - \\
&- I_e \cdot z^2 (l_1 - x)^2 \cdot [Z_e^2 + 2Z_e \cdot zx \cdot \cos(\varphi_e - \varphi_z) + z^2 x^2] = 0
\end{aligned} \tag{4.39}$$

Jedná se o kvadratickou rovnici ve tvaru $a \cdot R_{\text{šx abs}}^2 + b \cdot R_{\text{šx abs}} + c = 0$ (4.40)

jejíž řešení je:

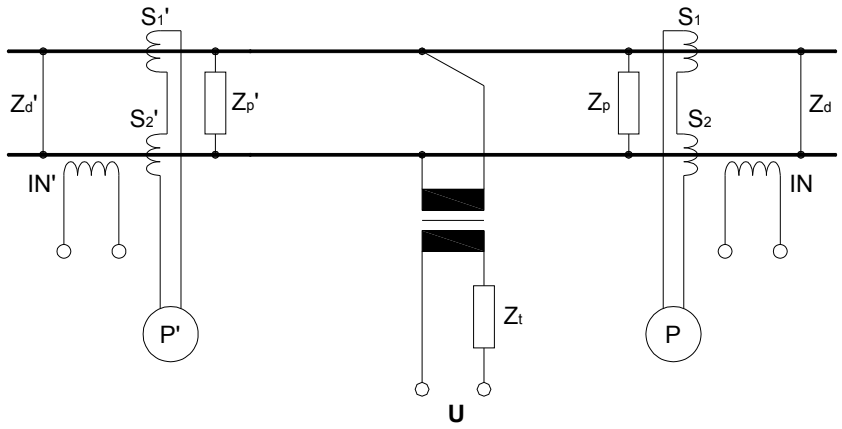
$$R_{\text{šx abs}} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4\mathrm{ac}}}{2\mathrm{a}} \tag{4.41}$$

Odtud lze určit absolutní šuntovou citlivost v kterémkoliv místě. Je zřejmé, že mezní hodnoty absolutní šuntové citlivosti budou v místě hlavního zdroje a na koncích NKO. Hodnota absolutní šuntové citlivosti bude závislá na tlumící impedanci $\mathbf{Z_t}$ a pomocném fiktivním proudu $\mathbf{I_e}$

4.3 NKO-N s kolejovým induktorem

Induktorový zdroj indukuje protinapětí $\mathbf{U_i}$ přímo do kolejnice. Vymezení délky je provedeno transformátorem, jehož jedno vinutí je zapojeno mezi kolejnice. Transformátor svou malou vnitřní impedancí $\mathbf{Z_d}$ (pro použitou frekvenci řádově $10^{-2}\ \Omega$) tvoří příčné propojení kolejnic a zároveň umožňuje zavedení signálu LVZ. V blízkosti induktorů jsou mezi kolejnice připojeny pomocné přijímače, které slouží ke kontrole napětí mezi kolejnicemi a zároveň svou impedancí $\mathbf{Z_p}$ napomáhají vytvářet vhodnou úroveň složky proudu $\mathbf{I_d}$ z nárazníkového zdroje.

NKO-N s kolejovým induktorem se vyznačuje velice přesným vymezením délky. Proto by měl mít uplatnění zejména u krátkých kolejových obvodů (např. rozvětvené KO na výhybkách). Jeho uspořádání je na obr. 4.10.



Obr. 4.10: NKO-N s kolejovým induktorem

4.4 Přednosti NKO-N

Předpokládáme, že NKO-N má hlavní i nárazníkové napájení ze společného zdroje. Zavedeme součinitel nestability napájecího napětí:

$$k_u = \frac{U_{max}}{U_{min}} \tag{4.42}$$

Dosadíme do rovnice 4.39:

$$\begin{aligned}
&R^2_{\text{šx abs}} \cdot B_N \cdot [k_u \cdot U_e \cdot \cos(\varphi_z - \beta - \beta_N) - k_u \cdot U_i \cdot \cos\beta_N - k_u \cdot I_e \cdot B_N] + \\
&+ R_{\text{šx abs}} \cdot \{k_u \cdot U_e \cdot z(l_1 - x) \cdot [Z_e \cdot \cos(\beta + \varphi_e) + zx \cdot \cos(\beta + \varphi_z)] - \\
&\quad - k_u \cdot U_i \cdot [Z_e \cdot [B_N \cdot \cos(\varphi_e - \beta_N) + z(l_1 - x) \cdot \cos(\varphi_e + \varphi_z)] + \\
&\quad + zx \cdot [B_N \cdot \cos(\varphi_z - \beta_N) + z(l_1 - x) \cdot \cos 2\varphi_z]] - \\
&\quad - k_u \cdot 2I_e \cdot B_n \cdot z(l_1 - x) \cdot [Z_e \cdot \cos(\varphi_e + \varphi_z - \beta_N) + zx \cdot \cos(2\varphi_z - \beta_N)]\} - \\
&- k_u \cdot U_i \cdot z(l_1 - x) \cdot \left\{Z_e \cdot [Z_e \cdot \cos\varphi_z + zx \cdot [\cos\varphi_e + \cos(\varphi_e - 2\varphi_z)]] + z^2 \cdot x^2 \cdot \cos\varphi_z\right\} - \\
&- k_u \cdot I_e \cdot z^2 (l_1 - x)^2 \cdot [Z_e^2 + 2Z_e \cdot zx \cdot \cos(\varphi_e - \varphi_z) + z^2 x^2] = 0
\end{aligned} \tag{4.43}$$

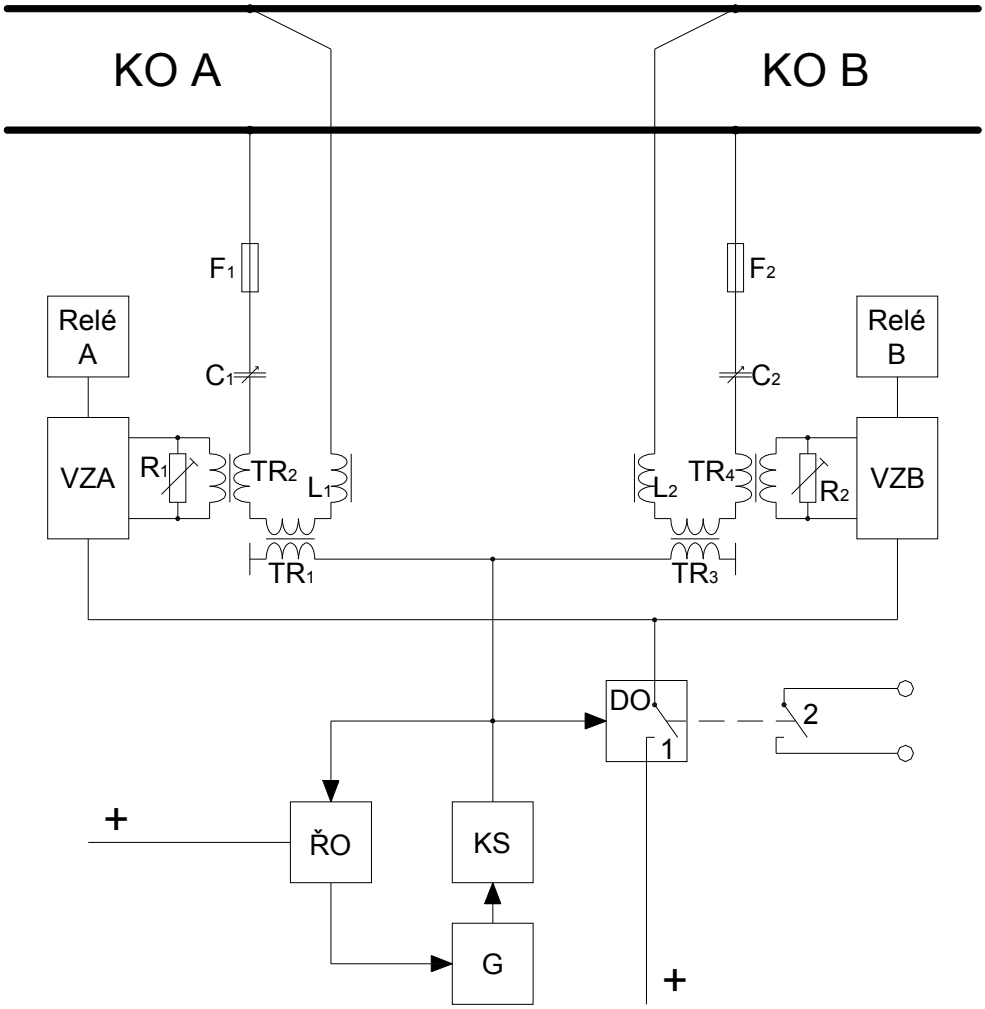
Rovnice (4.40) bude mít tvar: $a' \cdot R^2_{\text{šx abs}} + b' \cdot R_{\text{šx abs}} + c' = 0$ (4.44)

přičemž $a' = k_u \cdot a;\ b' = k_u \cdot b;\ c' = k_u \cdot c$

Po dosazení do rovnice (4.41) k_u vymizí. Tím bylo dokázáno, že kolísání napětí společného zdroje nemá na absolutní šuntovou citlivost vliv. Použitím fázově závislého přijímače, k jehož odbuzení dojde při splnění podmínky podle rovnice (4.36) bez ohledu na amplitudu signálu byl eliminován i vliv součinitele vypnutí k_v přijímače. Základním požadavkem na přenosovou cestu je pouze přesná reprodukce vstupních fázových poměrů.

5 ANULAČNÍ SOUBOR ELEKTRONICKÝ

Jedinou oblastí, kde se v ČR používají NKO, je anulační soubor elektronický (ASE) přejezdového zabezpečovacího zařízení (PZZ) od firmy AŽD Praha. ASE vyhodnocuje průjezd vlaku železničním přejezdem a jeho směr jízdy. Pracuje na principu dvou překrývajících se sériových NKO.



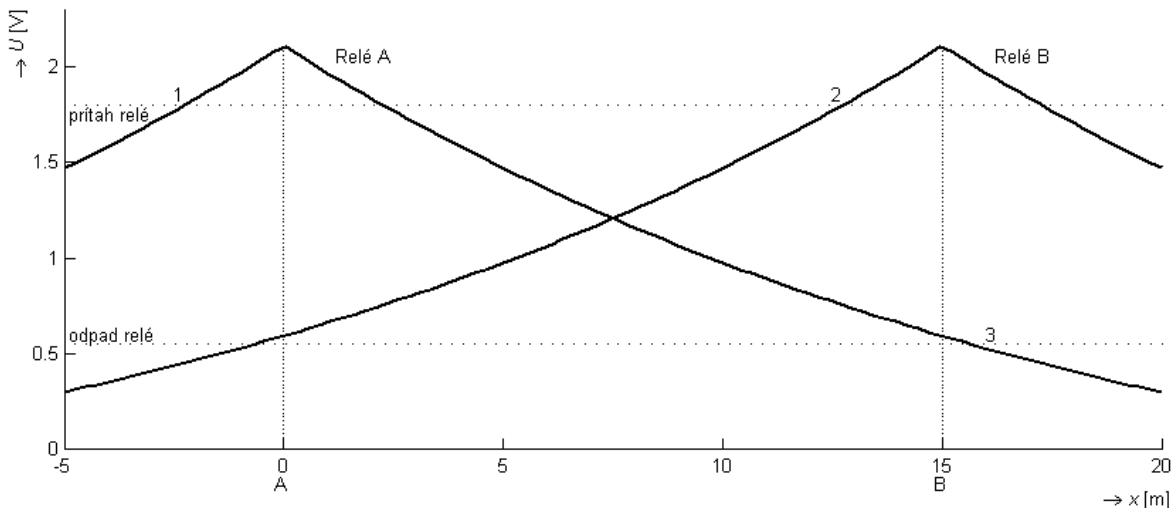
Obr. 5.1: Schéma ASE

Schéma ASE je na obr. 5.1. Z krystalem řízeného generatoru G s frekvencí 51,2 kHz je buzen koncový stupeň KS. Výstupní napětí z koncového stupně je vedeno do řídícího obvodu ŘO, který udržuje výstupní napětí na nastavené úrovni. Dále je výstupní napětí z koncového stupně vedeno do dohlédacího obvodu DO, který kontroluje hodnotu výstupního napětí z koncového stupně. Jestliže je nastavená mez výstupního napětí z koncového stupně překročena, potom relé dohlédacího obvodu svým prvním kontaktem (ve schématu

označen 1) odpojí napájecí napětí vyhodnocovacích zesilovačů VZA a VZB. Druhý kontakt relé dohlédacího obvodu svým rozpojením indikuje poruchu souboru.

Dále je napětí z koncového stupně vedeno na dva identické kanály A a B. Popsána bude funkce jen jednoho z nich. Výstupní napětí z koncového stupně je přes oddělovací transformátor TR_1 vedeno dále přes primár transformátoru TR_2, kondenzátor C_1, cívku L_1 a přívodní kabel na kolejový obvod. Je-li kolejový obvod volný, protéká obvodem pouze malý proud. Při obsazení KO je obvod naladěn na sériovou rezonanci kmitočtu generátoru 51,2 kHz. Proud v obvodu se zvýší přibližně 3x. Napětí se přes transformátor TR_2 vede do vyhodnocovacího zesilovače VZA a po usměrnění do relé nebo na vstup elektronického vyhodnocovacího obvodu nahrazujícího relé.

Postupným obsazením a následným uvolněním dojde k anulaci PZZ (ukončení výstrahy). Průběhy napětí na vinutí jednotlivých relé (případně jejich elektronické náhrady) a hodnoty přítahu (sepnutí) a odpadu (rozepnutí) v závislosti na poloze vlakového šuntu jsou na obr. 5.2. Je zde vidět, že při přibližování šuntu jedno relé (např. A) v určité vzdálenosti přitáhne (bod 1). Maxima napěí dosáhne při šuntování v místě připojení ke kolejnicím a se vzdalováním šuntu bude klesat. Mezitím ovšem narůstá napětí na relé B a dojde k jeho přítahu (bod 2). Při šuntu mezi jednotlivými připojnými body budou vybuzena obě relé a se vzdalováním šuntu dojde v určité vzdálenosti k odpadu relé A (bod 3) a potom B. Tímto způsobem lze indikovat průjezd vlaku (uvolnění a obsazení) a také určit jeho směr.



Obr. 5.2: Závislost napětí na relé ASE na poloze šuntu

Díky použité vysoké frekvenci útlum kolejového vedení omezuje dosah signálu na maximálně 20 m. Protože použití ASE je pouze v omezeném úseku a nenavazuje na další KO s podobnou frekvencí, je jejich funkční délka vymezena pouze tímto útlumovým

omezením dosahu. Vzdálenost přípojných bodů jednotlivých kanálů je 15 m (s přesností 0,2 m). Minimální vzdálenost připojení od izolovaných styků nebo jiné výstroje KO je 5-7 m. Dva sousední ASE od sebe musí být vzdáleny minimálně 20 m. Ke kolejnicím jsou ASE připojeny kabelem o délce 20-100 m (minimální délka musí být dodržena i když není celé délky zapotřebí), přičemž délky jednotlivých kabelů se mohou lišit maximálně o 5%. Maximální svodová admitance kolejového lože je 2 S. Šuntová citlivost těchto KO je 0,06 Ω.

6 ZÁVĚR

Jak bylo uvedeno v úvodu, hlavní přednosti neohraničených kolejových obvodů spočívají v tom, že není potřeba zřizovat izolované styky, které představují zdroj možných poruch s nutností údržby a dále v přímém vedení trakčního proudu bez nutnosti dalších opatření. Jejich hlavní nevýhoda, nepřesné vymezení délky, byla pomocí elektrických styků omezena na minimum.

Otázkou zůstává jejich ekonomická výhodnost. Vyšší náklady na výstroj elektrických styků a větší nároky na zdroje a přijímače signálu mohou být kompenzovány ušetřenými prostředky na stykové transformátory, montáž izolovaných styků a jejich údržbu. Jejich širšímu nasazení v praxi tedy brání především stávající stav, kdy se v některých zemích (např. u nás) používají KO s izolovanými styky, v některých státech převažují počítače náprav a zavedení nového systému by představovalo výrazný zásah do infrastruktury.

Je škoda, že zajímavý projekt nárazníkového kolejového obvodu zůstal pouze ve fázi návrhu. Jedinými NKO u nás jsou tak pouze sériové kolejové obvody ASE, jejichž použití, konstrukce a umístění nevyžaduje žádné speciální oddělení od ostatních KO.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] POUPĚ, 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] POUPĚ, Oldřich a kol. *Neohraničený koľajový obvod v modernizovanom autobloku a staničnom zabezpečovacom zariadení*. Výzkumná zpráva. Žilina: Vysoká škola dopravy a spojů v Žilině. Fakulta strojní a elektrotechnická, 1982. 40 s., 24 s. příloh.

[3] 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>.

[4] *FTG S Track Vacancy Detection with the FTG S Audio-frequency Track Circuit* [online]. Braunschweig: Siemens AG. Dostupné z <http://www.transportation.siemens.com/en/data/pdf/ts_ra/produkte/ds_ftgs_en.pdf>

[5] *UM71 Track Circuits* [online]. Ansaldo Signal. Dostupné z <http://www.ansaldo-signal.com.au/pdfs/UM71 Track Circuits.pdf>

[6] *Anulační soubor ASE 5: technický popis*. AŽD Praha, 2000. 13 s., 17 s. příloh.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Schéma sériového kolejového obvodu....8
Obr. 1.2: Schéma paralelního kolejového obvodu....8
Obr. 1.3: Dvoupásový kolejový obvod....10
Obr. 2.1: NKO s napěťovými přijímači napájený uprostřed....11
Obr. 2.2: Náhradní schéma NKO....12
Obr. 2.3: Zjednodušené náhradní schéma z obr. 2.2....12
Obr. 2.4: Náhradní schéma kolejového obvodu....13
Obr. 2.5: Ekvivalentní schéma kolejového obvodu....13
Obr. 2.6: Schéma pro určení Ze....14
Obr. 2.7: Náhradní schéma NKO s nekonečně dlouhými přilehlými kolejovými úseky....15
Obr. 2.8: Upravené náhradní schéma z obr. 2.7....15
Obr. 2.9: Upravené náhradní schéma z obr. 2.8....15
Obr. 2.10: Náhradní schéma šuntovaného kolejového obvodu....17
Obr. 2.11: Náhradní schéma kolejového obvodu s elektrickými styky....18
Obr. 2.12: NKO s elektrickými styky Z....19
Obr. 2.13: Schéma elektrického styku Z....19
Obr. 2.14: NKO s elektrickými styky S....20
Obr. 2.15: Schéma elektrického styku S....20
Obr. 2.16: NKO s rezonančními propojkami....21
Obr. 3.1: NKO s proudovými snímači....22
Obr. 3.2: NKO s proudovými snímači s vnitřním a vnějším šuntem....22
Obr. 3.3: Náhradní schéma NKO s proudovými snímači....23
Obr. 3.4: Ekvivalentní schéma NKO s proudovými snímači....23
Obr. 3.5: NKO firmy Marquardt....24
Obr. 4.1: Nárazníkový kolejový obvod....25
Obr. 4.2: NKO-N s transformátorovým nárazníkovým zdrojem....26
Obr. 4.3: Náhradní schéma NKO-N....27
Obr. 4.4: Upravené náhradní schéma NKO-N....28
Obr. 4.5: Upravené náhradní schéma NKO-N....29
Obr. 4.6: Vektorový součet proudů kolem snímačů....30
Obr. 4.7: Náhradní schéma šuntovaného NKO-N....31
Obr. 4.8: Ekvivalentní schéma šuntovaného NKO-N....32
Obr. 4.9: Náhradní schéma šuntovaného NKO-N....32
Obr. 4.10: NKO-N s kolejovým induktorem....35
Obr. 5.1: Schéma ASE....36
Obr. 5.2: Závislost napětí na relé ASE na poloze šuntu....37

SEZNAM ZKRATEK

ASE	anulační soubor elektronický
KO	kolejový obvod
LVZ	liniový vlakový zabezpečovač
NKO	neohraničený kolejový obvod (kolejový obvod bez izolovaných styků)
NKO-N	nárazníkový kolejový obvod
PZZ	přejezdové zabezpečovací zařízení
ST	stykový transformátor