

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vícenásobná zemní spojení v sítích 22 kV

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš MOTTL**
Osobní číslo: **E10N0187P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Vícenásobná zemní spojení v sítích 22 kV**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Provedte výpočet pro 2 paprskovou síť 22 kV při zemním zkratu ve dvou různých fázích.
2. Posuďte vliv na chod sítě.
3. Provedte výpočet, jaký má vliv tato porucha na chod sítě a hlavně na průběh napětí.
4. Navrhněte optimalizaci ochran sítě.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Mühlbacher, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá zemním spojením v síti 22 kV. Práce je rozdělena do tří hlavních částí: Výpočet zemních spojení v dvou paprskové síti 22 kV ve dvou různých fázích, posouzení vlivu zemního spojení na chod sítě a na návrh optimalizace ochran sítě.

První část obsahuje základní vlastnosti distribuční sítě (napěťové úrovně, způsoby zapojení uzlu transformátoru, atd.), určení parametrů sítě 22 kV, výpočet průběhu napětí a proudů při zemním spojení v programu DYNAST a také informace o tomto programu. Výpočet je proveden na teoretické síti 22 kV a na reálné síti, která vede z transformátoru v Miroticích.

Druhá část diplomové práce se zabývá posouzením vlivu zemního spojení na průběh napětí a proudů v těchto dvou sítích.

Třetí část se zaměřuje na návrh optimalizace ochran sítě a jsou zde uvedeny ochrany používané v síti 22 kV.

Součástí této diplomové práce jsou také obrazové přílohy zobrazující náhradní schémata zkoumaných sítí a také výsledné průběhy proudů a napětí při zemním spojení.

Klíčová slova

Zemní spojení, distribuční soustava, Petersenova tlumivka, elektrické ochrany.

Annotation

This diploma thesis deals with earth faults in a network of 22 kV. The work is divided into three main parts: The calculation of the earth faults in the two radial 22 kV network in two different phases, assess the impact of earth fault on the operation of network and the design of optimization of the network protection.

The first part of this thesis includes the basic features of the distribution network (voltage levels, the ways of the transformer node involvement, etc.), determining of the parameters of 22 kV network, calculating of the voltage and earth fault currents in the program DYNAST and also any information about this program. The calculation is done on the theoretical 22 kV network and the real network which leads from the transformer in Mirovice.

The second part of this thesis deals with the assessment of the impact of fault on the voltage and currents in these two networks.

The third part is focused on the design of the optimization of the network protection and here there are introduced protections used in the 22 kV network.

This diploma thesis also includes image attachments displaying replacement schemes of the researched networks as well as the resulting waveforms of the current and voltage during the earth fault.

Key words

Earth fault, distribution network, Petersen coil, electrical protections.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 25.4.2012

Tomáš Mottl

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Janu Mühlbacherovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
PŘEDMLUVA	10
ÚVOD	11
1 VÝPOČET PRO 2 PAPRSKOVOU SÍŤ 22 KV PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ V 2 RŮZNÝCH FÁZÍCH ...12	
1.1 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA	12
1.1.1 <i>Napětové úrovně, propojení soustavy</i>	12
1.1.2 <i>Základní druhy sítí z hlediska propojení a provozu</i>	12
1.1.3 <i>Způsoby zapojení uzlu transformátoru</i>	14
1.1.4 <i>Zemní spojení</i>	14
1.1.5 <i>Petersenova tlumivka</i>	18
1.2 URČENÍ PARAMETRŮ SÍŤE 22 KV	19
1.3 VÝPOČET PRŮBĚHU NAPĚTÍ A PROUDŮ PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ POMOCÍ PROGRAMU DYNAST	22
2 POSOUZENÍ VLIVU ZEMNÍHO SPOJENÍ NA CHOD SÍŤE	23
3 NÁVRH OPTIMALIZACE OCHRAN SÍŤE	24
3.1 OCHRANY POUŽITÉ V SÍTI 22 KV	24
3.1.1 <i>Nadproudová ochrana</i>	24
3.1.2 <i>Zkratová nadproudová ochrana</i>	25
3.1.3 <i>Distanční ochrana</i>	27
3.1.4 <i>Zemní ochrana</i>	29
3.1.5 <i>Ochrana synchronních generátorů</i>	29
3.1.6 <i>Ochrany transformátorů</i>	31
3.1.7 <i>Automatika opětovného zapnutí</i>	32
ZÁVĚR	36
SEZNAM POUŽITÉ A CITOVANÉ LITERATURY	37
SEZNAM PŘÍLOH	38
PŘÍLOHY	1

Seznam použitých symbolů a zkratek

VN [-]	Vysoké napětí
VVN [-]	Velmi vysoké napětí
t [s]	Čas
I_0 [A]	Poruchový kapacitní proud
U [V]	Sdružené napětí
I [A]	Elektrický proud
ω [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$]	Úhlová frekvence
C_0 [F]	Zemní kapacita
l [m]	Délka
U_f [V]	Fázové napětí
L_p [H]	Indukčnost Petersenovy tlumivky
r [m]	Poloměr vodiče
h [m]	Výška vodiče nad zemí
d [m]	Vzdálenost mezi vodiči
C [F]	Elektrická kapacita
P [W]	Činný výkon
$\cos \varphi$ [-]	Účinník
I_ξ [A]	Činná složka proudu
I_j [A]	Jalová složka proudu
R_{1f} [Ω]	Rezistivita jedné fáze
X_{1f} [Ω]	Reaktance jedné fáze
L_{1f} [Ω]	Indukčnost jedné fáze
f [Hz]	Frekvence

Předmluva

Sítě 22 kV jsou používány v naší distribuční soustavě. Rozvádí elektrickou energii ke spotřebitelům a je proto nutné zajistit co největší spolehlivost její dodávky. Měli bychom tedy věnovat velkou pozornost poruchám, které by mohly spolehlivost dodávky narušit. Mezi nejčastější poruchy v síti 22 kV patří zemní spojení, kterým se tato diplomová práce zabývá.

Úvod

Na ochrany používané v síti 22 kV jsou kladeny stále větší nároky z důvodu připojování nových odběrů a přísnějších norem, které musí tyto ochrany plnit. Nejdůležitějším předpokladem správného návrhu je co nejdokonalejší znalost provozované distribuční soustavy a poruchových stavů, které mohou v síti nastat.

Zemní spojení vzniká ve venkovních sítích s izolovaným nebo nepřímo uzemněným uzlem transformátoru. Vyznačuje se tím, že při jednofázovém zemním spojení je možné síť dále provozovat. Obsluha příslušného úseku vedení dostane pokyn pomocí signalizace a hned se začíná s vyhledáváním zemního spojení. Při dvoufázovém zemním spojení je již vedení okamžitě automaticky vypnuto.

Pro zajištění co nejspolehlivější dodávky elektrické energie, jsou elektrické ochrany neustále modernizovány a je nutné jim věnovat neustálou pozornost.

1 Výpočet pro 2 paprskovou síť 22 kV při zemním spojení v 2 různých fázích

1.1 Distribuční soustava

1.1.1 Napěťové úrovně, propojení soustavy

Distribuční (rozvodná) soustava je napájena z uzlových stanic 400 (220)/110 kV, z přenosové soustavy a částečně ze zdrojů menších výkonů. Její základní vvn napětí je 110 kV a dále pokračuje přes úrovně vn, jejichž velikost je dána jednak územím (ve východních Čechách převažuje 35 kV, rozsáhlejší část české soustavy používá 22 kV), jednak rozsahem odběru. Menší obce v regionech s 35 kV sítí jsou napájeny na úrovni 10 kV, v regionech s 22 kV sítí na úrovni 6 kV.

Distribuční soustava má převážně charakter venkovského nebo městského rozvodu. Z veřejné distribuční soustavy jsou také napájeny průmyslové závody a elektrická trakce.

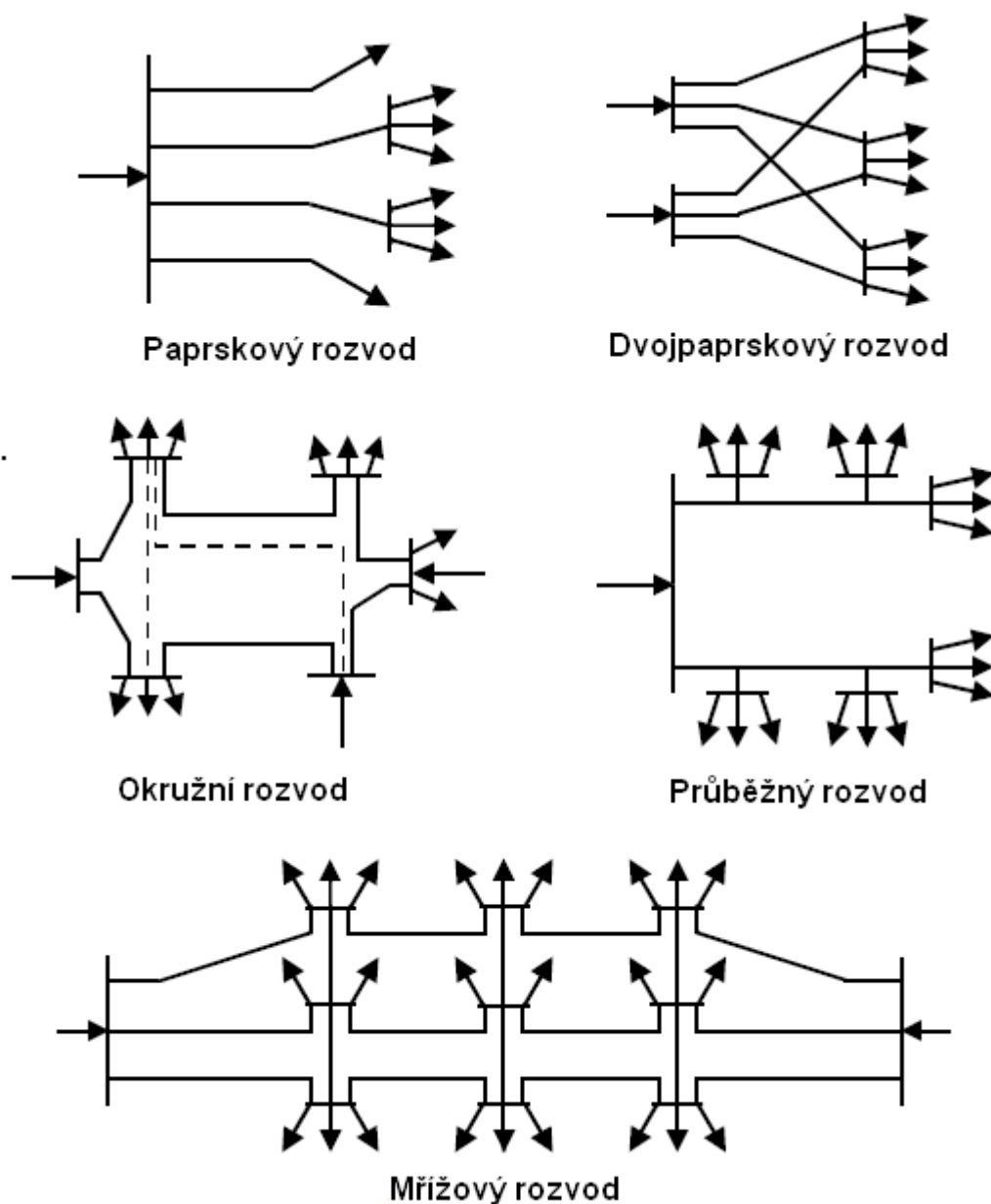
Rozvodné (distribuční) sítě umožňují přivedení elektrické energie spotřebitelům. Do těchto sítí jsou připojovány pouze výrobní zdroje malých výkonů, které jsou v současnosti označovány jako „distribuované“. Jsou to malé průmyslové elektrárny, kogenerační jednotky a obnovitelné zdroje využívající energii vody, větru, biomasy, slunce. Základním zdrojem elektrické energie pro distribuční síť je nadřazená soustava viz. lit. [2].

1.1.2 Základní druhy sítí z hlediska propojení a provozu

Základní dva druhy jsou:

- ***Otevřený rozvod, kde elektrická energie je spotřebiči dodána jednou cestou.***
- ***Uzavřený rozvod, kde napájení lze zajistit vždy ze dvou nebo více stran.***

K prvnímu způsobu patří paprskový rozvod a průběžný rozvod, ke druhému způsobu patří okružní rozvod a mřížová síť. Výběr vhodného druhu rozvodu závisí na způsobu provozu řešené soustavy, jak z hlediska rozdělování výkonu, tak i z hlediska bezpečnosti a hospodárnosti viz. lit. [2].



Obr. 1.1 Druhy sítí z hlediska propojení a provozu

Paprskový rozvod má každý vývod samostatný a nelze je navzájem spojovat, což způsobuje horší spolehlivost dodávky elektrické energie. Její jednoduchost má vliv na nízkou pořizovací cenu a snadné vyhledávání poruch. Na koncích vývodů se při odpojení od napájení nemůže objevit zpětné napětí. Paprsková síť má větší ztráty než mřížová a při koncentrovaných odběrech vznikají velké úbytky napětí.

V městských a hustě zastavěných oblastech se používá kabelový rozvod. Jde většinou o mřížovou síť, která zajišťuje nejspolehlivější dodávku elektrické energie, protože jsou spotřebiče napájeni z více stran. Můžeme na ně připojit koncentrované odběry a vynikají malými úbytky napětí a nižšími ztrátami v porovnání s paprskovými sítěmi. Mezi nevýhody mřížových sítí patří hlavně vyšší cena a těžší vyhledávání poruch. Rozdíl mezi venkovním a

kabelovým rozvodem je jak mezi jejich provozními parametry, tak mezi jejich chováním při poruchách. Zatímco při poruchách na venkovních vedeních se často jedná o přechodné poruchy, porucha na kabelovém vedení se nejčastěji přenesení do všech fází a je trvalá.

1.1.3 Způsoby zapojení uzlu transformátoru

Čtyři nejčastěji používané uzemnění uzlu transformátoru v sítích VN jsou:

- *Izolovaný uzel, který se používá v sítích malého rozsahu, dolech a hutích.*
- *Uzemnění přes tlumivku, která omezuje zemní kapacitní proud ve venkovních sítích.*
- *Uzemnění přes rezistor, používané v kabelových sítích, které mají velkou kapacitu.*
Při uzemnění přes tlumivku by zde mohlo docházet k rezonancím a nárůstu napětí.
- *Kombinované uzemnění přes rezistor a tlumivku, používané u smíšených sítí.*

1.1.4 Zemní spojení

Zemní spojení je poruchový stav na neúčinně uzemněném nebo izolovaném vedení, při kterém je jeden fázový vodič spojen se zemí vodivou cestou a protéká tímto místem poruchový proud kapacitního charakteru. Jeho velikost je určena velikostí kapacit vodičů vůči zemi a celkovou rozlohou sítě. Napětí na postižené fázi klesne na nulu, na nepostižených vodičích vzroste z fázové hodnoty na hodnotu sdruženou a napětí uzlu transformátoru se změní z nuly na fázovou hodnotu. Podle normy ČSN 33 3070 je vhodné poruchové kapacitní proudy při zemním spojení kompenzovat při hodnotě nad 10 A. Při hodnotě poruchového proudu nad 20 A je již nutné síť kompenzovat. Při kompenzaci sítě tlumivkou vzniká v tlumivce při poruše jalový proud induktivního charakteru, který kompenzuje poruchový proud kapacitního charakteru. Kompenzací kapacitních zemních proudů tedy docílíme menší hodnoty poruchového proudu. Dále při zhasnutí zemního spojení nedochází k takovým přepětím jako u izolované sítě. Kompenzace také zmenšuje destrukce zařízení v místě zemního spojení. Musíme zajistit, aby síť ve výsledku byla podkompenzovaná, aby bylo vůbec možné určit, že nastalo zemní spojení.

Podle velikosti přechodového odporu v místě zemního spojení se rozlišují:

- a) odporová zemní spojení – hodnota přechodového odporu je řádově několik set Ω
- b) kovová a oblouková zemní spojení – hodnota přechodového odporu je jen několik Ω , zpravidla zanedbatelná

Podle doby trvání těchto stavů se rozlišují:

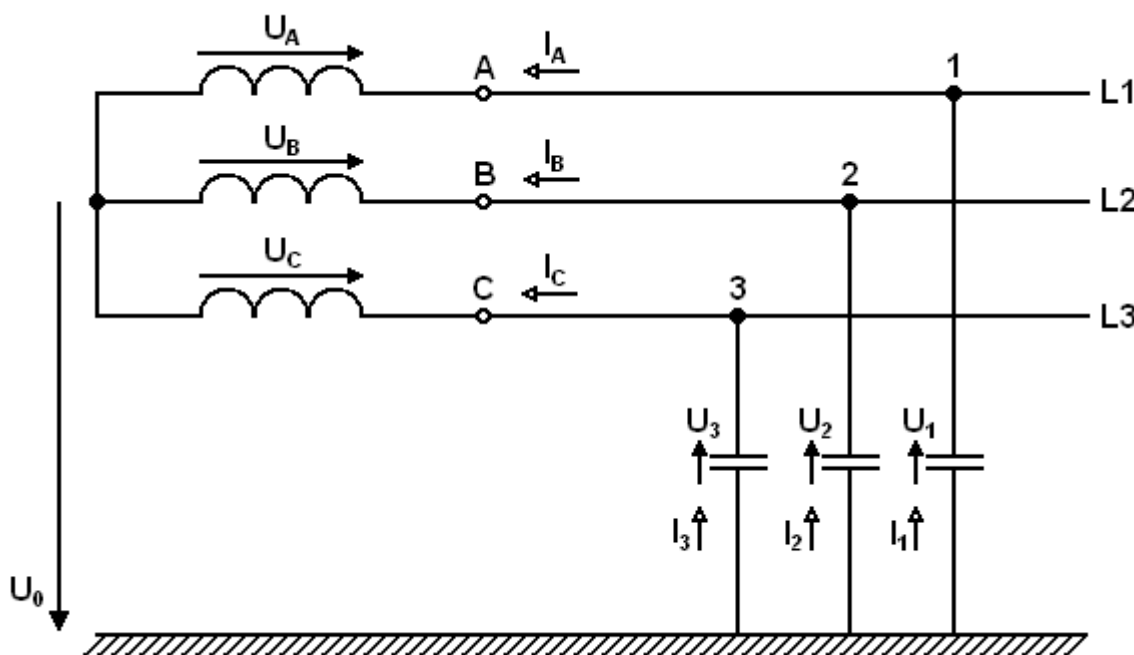
- a) mžiková zemní spojení – do 0,5 s
- b) krátkodobá zemní spojení – do 5 min

c) přerušovaná zemní spojení – mžiková nebo krátkodobá zemní spojení několikrát po sobě se opakující

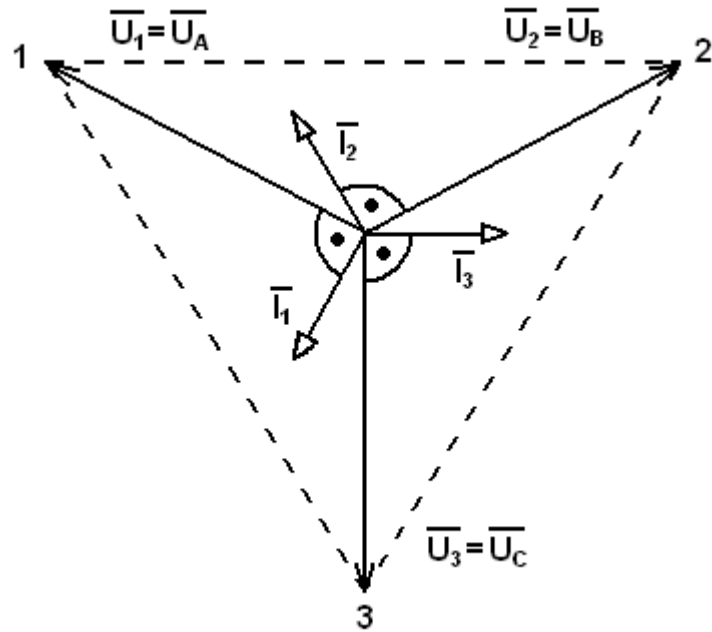
d) trvalá zemní spojení – až do okamžiku odstranění, zpravidla několik hodin viz. lit. [6]

Určení přibližného místa zemního spojení probíhá pomocí vysokofrekvenčního generátoru. Vysoké frekvence se po odrazu v místě zemního spojení vrátí zpět a podle celkového času se přibližně určí místo zemního spojení.

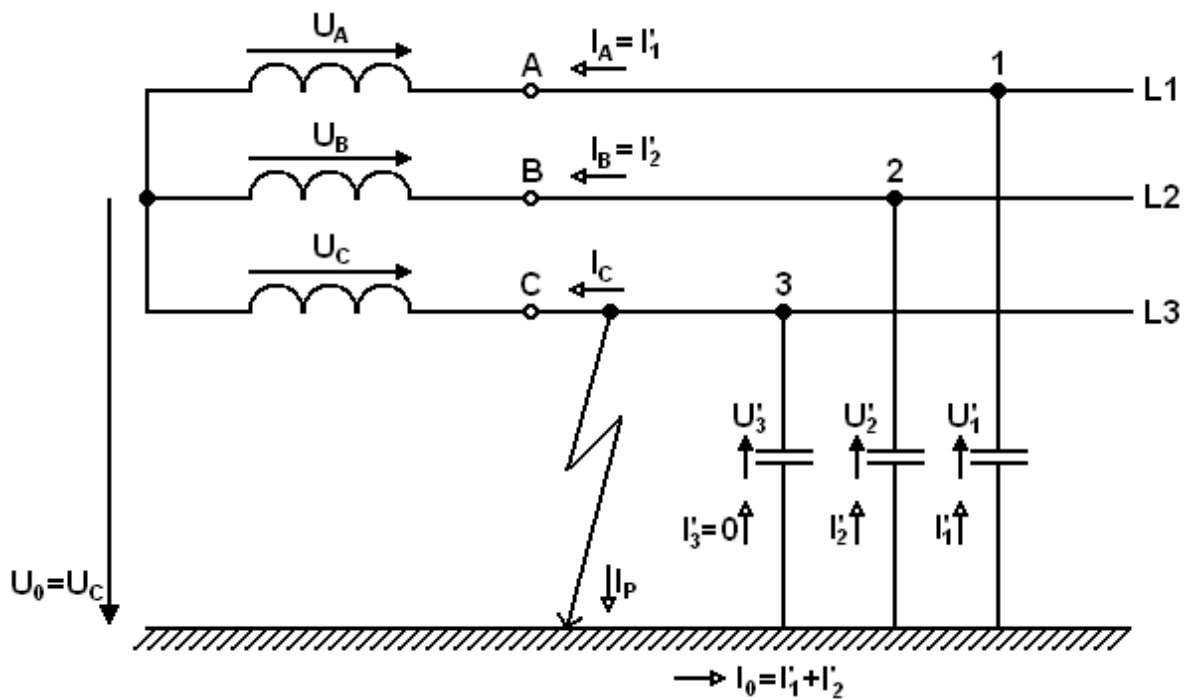
Při hledání zemního spojení spolupracuje dispečer s četou, pohybující se v terénu. Používají při tom metodu půlení intervalu. Rozpojí vedení v polovině. Pokud není zemní spojení v první části vedení mezi transformátorem a místem odpojení, rozpojí se druhá část vedení v zase polovině. Když se zemní spojení nachází na části vedení od transformátoru do místa rozpojení vedení, zemní spojení se obnoví a bude se půlit první část vedení. Takto se pokračuje až do vyhledání zemního spojení. V praxi bývá přesun čtyř složitý a zdlouhavý, proto se začíná rozpojovat v místě, kde se četa zrovna nachází.



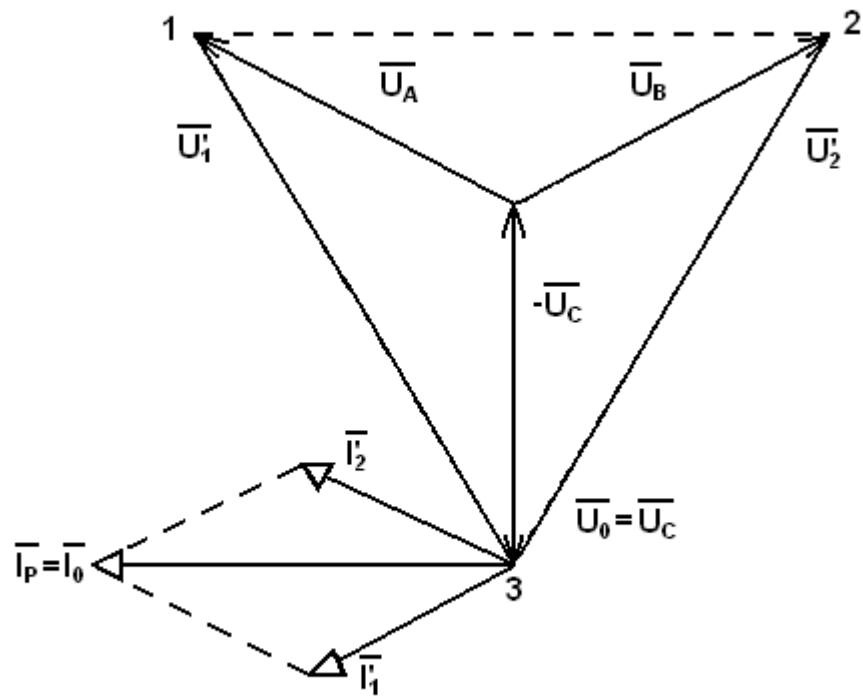
Obr. 1.2 Náhradní schéma sítě s izolovaným uzlem transformátoru



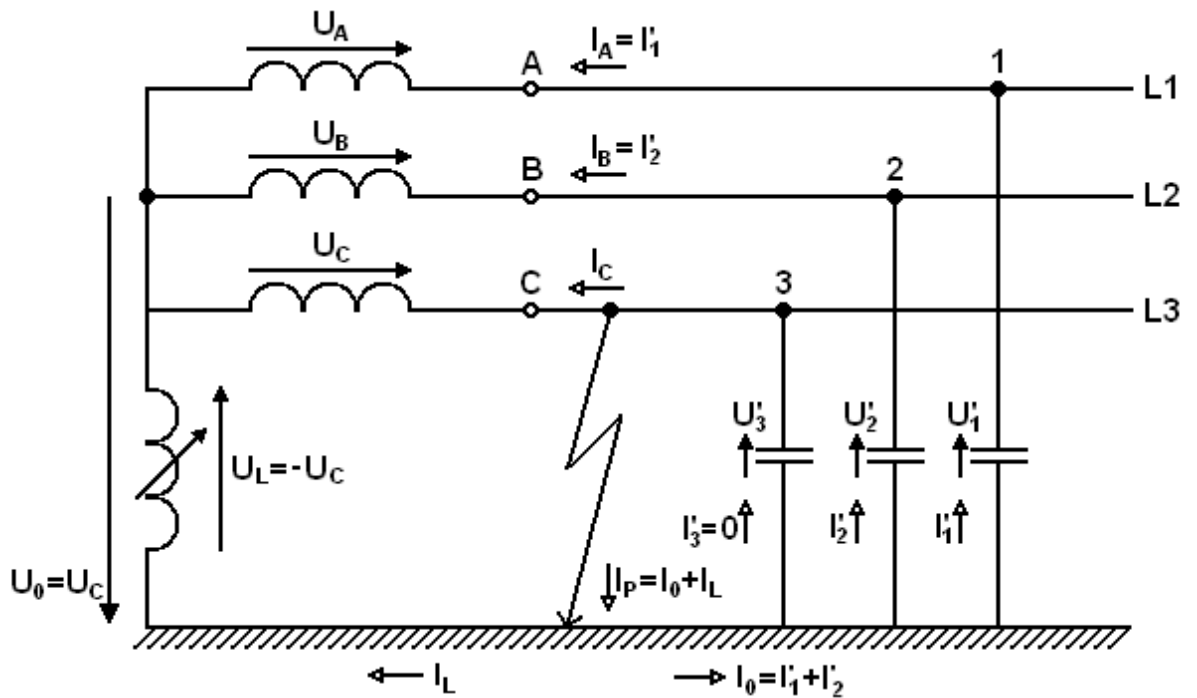
Obr. 1.3 Fázorový diagram sítě s izolovaným uzlem transformátoru



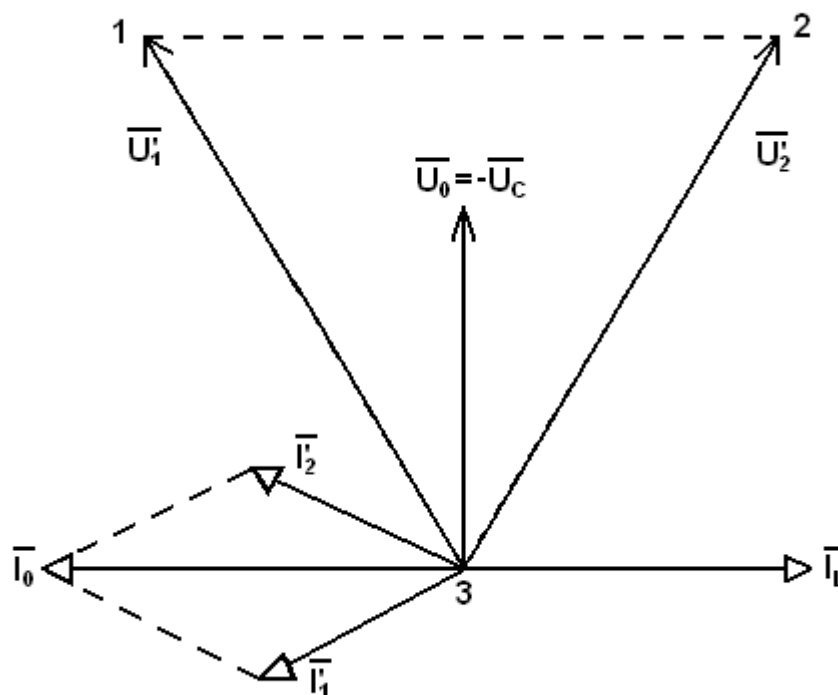
Obr. 1.4 Náhradní schéma sítě s izolovaným uzlem transformátoru při zemním spojení



Obr. 1.5 Fázorový diagram sítě s izolovaným uzlem transformátoru při zemním spojení



Obr. 1.6 Náhradní schéma sítě s uzlem transformátoru uzemněným Petersenovou tlumivkou při zemním spojení



Obr. 1.7 Fázorový diagram sítě s uzlem transformátoru uzemněným Petersenovou tlumivkou při zemním spojení

1.1.5 Petersenova tlumivka

Petersenova neboli zhášecí tlumivka slouží ke kompenzaci kapacitních poruchových proudů při zemním spojení. Běžně používané tlumivky jsou plynule přeladitelné pohybem magnetického jádra v tlumivce.

K úplné kompenzaci je zapotřebí přesná velikost indukčnosti tlumivky, která se určí ze vztahů:

$$I_0 = \sqrt{3} \cdot U \cdot \omega \cdot C_0 \cdot l = 3 \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_0 \cdot l \quad (1.1)$$

$$I_L = \frac{U_f}{\omega \cdot L_p} \quad (1.2)$$

$$I_L = I_0 \quad (1.3)$$

$$\frac{U_f}{\omega \cdot L_p} = 3 \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_0 \cdot l \quad (1.4)$$

$$L_p = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C_0 \cdot l} \quad (1.5)$$

Jak již bylo zmíněno, úplná kompenzace se nepoužívá. Volí se menší hodnota

indukčnosti, aby bylo možné zemní spojení vůbec zaznamenat. Při vyhledávání zemního spojení se ke zhášecí tlumivce připojují paralelně odporníky, které zvyšují činnou složku proudu.

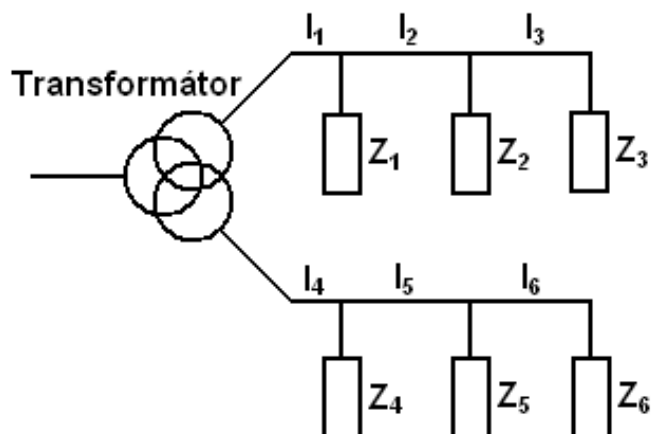
Velikost zbytkového proudu má být do 10 % velikosti kapacitního proudu viz. lit. [3].



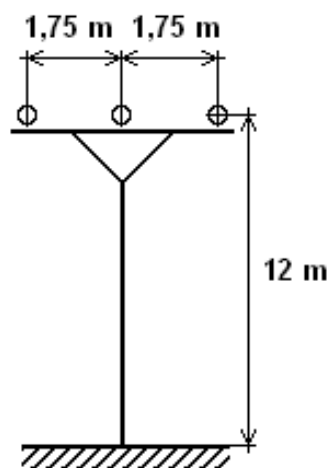
Obr. 1.8 Petersenova tlumivka VN od firmy EGE

1.2 Určení parametrů sítě 22 kV

Výpočet je proveden na dvou paprskové venkovní síti 22 kV, kde oba třífázové paprsky vychází ze společné rozvodny, vedou jiným směrem a nejsou již nikde dále propojeny. Uzel transformátoru v rozvodně je uzemněn přes Petersenovu tlumivku. Vedení má své parametry uvedené v Tab. 1.2. Na každém paprsku se nachází tři zátěže s parametry zaznamenanými v Tab. 1.3. Těmito zátěžemi mohou být například menší výroby s asynchronními motory, čerpací stanice, obchody, kanceláře, obytné domy a veřejné osvětlení připojené přes transformátory. V čase t_1 nastane zemní spojení na jedné fázi prvního paprsku a v čase t_2 na jiné fázi druhého paprsku.



Obr. 1.9 Náhradní schéma uvažované sítě 22 kV



Obr. 1.10 Stožár vedení 22 kV

Tab 1.1 Parametry venkovní sítě 22 kV

U [kV]	Vodič [mm ²]	Rezistivita [Ω/km]	Indukční reaktance [Ω/km]	Kapacitní svod [S/km]	Kapacitní proud [mA/km]	Vlnová impedance [Ω]	Přirozený výkon [kW]
22	70 AlFe	0,434	0,38	2,96	37,6	355	1,36

Tab 1.2 Parametry konkrétní uvažované sítě

Vedení	Délka [km]	Rezistivita [Ω]	Indukčnost [H]	Kapacita proti zemi [uF]	Mezifázová kapacita [uF]
I1	15	6,51	0,01815	0,06375	0,02580
I2	5	2,17	0,00605	0,02125	0,00860
I3	10	4,34	0,01210	0,04250	0,01720
I4	6	2,604	0,00726	0,02550	0,01032
I5	10	4,34	0,01210	0,04250	0,01720
I6	8	3,472	0,00968	0,03400	0,01376

$$r = 5,8 \text{ mm}$$

$$h = 12 \text{ m}$$

$$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}} = \sqrt[3]{1,75 \cdot 3,5 \cdot 1,75} = 2,205 \text{ m}$$

$$\delta = \frac{1}{0,0242} \cdot \log \frac{2h}{r} = \frac{1}{0,0242} \cdot \log \frac{2 \cdot 12}{5,8 \cdot 10^{-3}} = 149,454 \text{ km} / \mu\text{F}$$

$$\delta' = \frac{1}{0,0242} \cdot \log \frac{\sqrt{4 \cdot h^2 + d^2}}{d} = \frac{1}{0,0242} \cdot \log \frac{\sqrt{4 \cdot 12^2 + 2,205^2}}{2,205} = 42,919 \text{ km} / \mu\text{F}$$

$$C_0 = \frac{1}{\delta + 2 \cdot \delta'} = \frac{1}{149,454 + 2 \cdot 42,919} = 0,00425 \text{ } \mu\text{F} / \text{km}$$

$$C = \frac{\delta'}{\delta + 2 \cdot \delta'} = \frac{42,919}{(149,454 + 2 \cdot 42,919) \cdot (149,454 - 42,919)} = 0,00172 \text{ } \mu\text{F} / \text{km}$$

Tab 1.3 Parametry zátěží

Zátěž	Účinník [-]	Činný výkon [kW]	Rezistivita 1f [Ω]	Indukčnost 1f [H]
Z1	0,9	1080	149,432	0,972
Z2	0,89	1250	129,082	0,794
Z3	0,91	940	171,645	1,214
Z4	0,88	1320	122,249	0,728
Z5	0,89	1150	140,350	0,864
Z6	0,9	1430	112,804	0,735

$$P = U I \cos \varphi \quad (1.6)$$

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi} = \frac{1080000}{22000 \cdot 0,9} = 94,5 \text{ A}$$

$$I_{\varepsilon} = I \cos \varphi = 94,5 \cdot 0,9 = 85,0 \text{ A}$$

$$I_j = I \sin \varphi = 94,5 \cdot 0,44 = 41,6 \text{ A}$$

$$R_{1f} = \frac{U_f}{I_{\varepsilon}} = \frac{22000}{85,0} = 149,432 \text{ } \Omega$$

$$X_{1f} = \frac{U_f}{I_j} = \frac{22000}{41,6} = 305,329 \text{ } \Omega$$

$$L_{1f} = \frac{X_{1f}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{305,329}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,972 \text{ H}$$

$$L_p = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C_0 \cdot l} = \frac{1}{3 \cdot (\pi \cdot 50)^2 \cdot 4,25 \cdot 10^{-9} \cdot 162} = 4,91 \text{ H}$$

1.3 Výpočet průběhu napětí a proudů při zemním spojení pomocí programu Dynast

DYNAST je distribuovaný systém sestávající z programů instalovaných na geograficky vzdálených počítačích propojených prostřednictvím Internetu nebo lokální sítě. Může však být provozován i na jediném počítači. Uživatelsky přátelské pracovní prostředí DYNAST Shell slouží k přípravě zadání řešené úlohy, k odeslání tohoto zadání ke zpracování místním nebo vzdáleným řešitelem DYNAST Solver a k zobrazení průběhu výsledků po jejich obdržení z řešitele.

Soubor programů DYNAST Server je určen pro obsluhu počítačů propojených Internetem nebo lokální sítí. Součástí tohoto souboru je DYNAST Monitor, který umožňuje sledování úloh zasílaných uživateli z jejich počítačů na DYNAST Server.

Pro nelineární a nestacionární úlohy řešitel DYNAST Solver zajišťuje

- *automatickou formulaci a řešení soustav rovnic pro fyzikální schémata zadaná v grafické podobě*
- *řešení soustav algebro-diferenciálních implicitních rovnic zadaných v textové podobě*
- *řešení rovnic zadaných v grafické podobě jako blokové schéma*
- *výpočet závislosti ustáleného řešení na změnách parametrů*
- *linearizaci schémat v okolí některého pracovního bodu*
- *výpočet odezev v okolí klidového pracovního bodu*

Pro linearizované úlohy zadané v podobě schémat řešitel navíc provádí

- *výpočet pólů a nul přenosových funkcí a odezev*
- *vyjádření časových odezev v semisymbolickém tvaru*
- *kmítočtovou analýzu viz. lit. [4]*

Zemní spojení budeme posuzovat na dvou topologiích sítě. První je navržena pouze teoreticky a druhá je reálná síť vedoucí z transformátoru v Miroticích.

Při řešení zemního spojení v programu Dynast nejprve přesně zakreslíme celé schéma řešené sítě. U první sítě to znamená umístit do schématu trojfázový zdroj a uzemněnou cívku, které představují transformátor s neúčinně uzemněným uzlem. Dále zde pro každou fázi umístíme pasivní prvky vedení zastoupené rezistorem, cívku, kondenzátorem zapojeným mezi fázemi a uzemněným kondenzátorem. Každá zátěž se skládá z rezistoru a cívky na každé

fázi a je zapojena do neuzemněné hvězdy. Zemní spojení namodelujeme dvěma uzemněnými odpory připojenými k fázovému vodiči. Mezi tyto odpory a fázový vodič ještě vložíme vypínač. Prvky mezi sebou propojíme, aby modelované schéma odpovídalo skutečné síti, a nezapomeneme vše potřebné uzemnit. V případě potřeby umístíme do schématu i měřící uzly.

Do schématu doplníme parametry jednotlivých prvků, které jsme si předem vypočítali. U rezistoru, představující normální stav nastavíme hodnotu odporu velmi vysokou (např. 1 G Ω) a u rezistoru představující zemní spojení nastavíme nízkou hodnotu (v našem případě 0,5 Ω). U jejich vypínačů nastavíme čas vzniku zemního spojení. V ten okamžik se jeden vypínač vypne a druhý se zapne.

Dalším krokem je nastavení času měření počtu odečtení naměřených hodnot. Měření bude probíhat od času 0,1 s, abychom minimalizovali vliv přechodných jevů a začínali jsme v ustáleném stavu. V čase 0,2 s nastává zemní spojení na prvním fázovém vodiči v první větvi a v čase 0,3 s vznikne zemní spojení na druhé fázi v druhé větvi. Měření ukončíme v čase 0,4 s. Vybereme si také, jaké veličiny chceme měřit a na jakém místě je chceme měřit.

Nyní můžeme přejít k samotnému výpočtu. Zvolíme si výpočet s grafem.

2 Posouzení vlivu zemního spojení na chod sítě

Budeme posuzovat průběhy proudů a napětí pro zemní spojení na síti umístěné v Příloze č. 1. V Příloze č. 2 je umístěn průběh napětí na svorkách napájecího transformátoru. V čase od 0,1 do 0,2 s se jedná o bezporuchový stav se souměrným trojfázovým průběhem. V čase 0,2 nastává první zemní spojení, napětí na fázovém vodiči se zemním spojením klesne k nule a napětí na fázových vodičích bez poruchy vzroste na sdruženou hodnotu. Při druhém zemním spojení v čase od 0,3 do 0,4 se napětí více zesymetrizuje. Z velikosti napětí je patrné, že čím je zemní spojení dále od transformátoru, tím má menší vliv na velikost napětí na jeho svorkách.

V Přílohách č. 3 a 4 vidíme průběhy napětí na zátěžích. Z průběhů je patrné, že se napětí na zátěžích po prvním zemním spojení prakticky nezmění. Teprve při druhém zemním spojení se mění amplituda na porouchaných fázích. Čím blíže je zemní spojení k zátěži, tím má zemní spojení větší vliv na průběh napětí.

V Přílohách č. 5 a 6 jsou zobrazeny průběhy proudů v první a druhé větvi. Před vznikem zemního spojení mají tyto proudy hodnotu přibližně 180 A. Po vzniku zemního spojení

neodpovídají výsledky reality, protože byl zanedbán zemní odpor mezi místem zemního spojení a uzemněním uzlu transformátoru. Proud při zemním spojení má přibližně o 15 % větší amplitudu než provozní proud.

Průběhy proudů v zátěžích jsou v Přílohách č. 7 a 8. Tyto průběhy korespondují s průběhy napětí.

Náhradní schéma sítě z transformátoru v Miroticích vidíme v Příloze č. 9. Toto schéma má pouze čtyři zátěže a v případě poruchy je možné napájet tuto síť z transformátoru v Písku. První linka vede přes Záhoří a druhá vede přes Nepodřice.

Průběhy napětí a proudů jsou podobná těm u prvního zapojení sítě.

3 Návrh optimalizace ochran sítě

Na optimalizaci ochran sítě je nutno dbát při každém jejím návrhu a zkušebním provozu. Již při návrhu samotné sítě je důležité znát například rozsah sítě, velikost a místa odběrů, charakter odběrů, předpokládané rozšíření odběrů, napojení na okolní síť, okolní terén, podnebí, znečištění ovzduší, atd. Podle těchto informací volíme vedení s odpovídajícími parametry. Tento návrh je velmi důležitý z hlediska minimalizace poruchových stavů. Přesto je nutné umístit do sítě ochrany, které detekují a vypínají poruchové stavy a nedovolí tak další poškození vedení nebo nekvalitní dodávku elektrické energie. Jednotlivé ochrany, jejich parametry a nastavení volíme opět podle požadavků kladených na síť již při jejím návrhu. Nastavení ochran se poté optimalizuje při zkušebním provozu. S pokrokem techniky se objevují i nové způsoby ochrany vedení nebo ochrany s lepšími parametry. Nabízí se možnost jejich dodatečného umístění do sítě. Ne vždy se to vyplatí. Sledujeme při tom nejen spolehlivost dodávky elektrické energie, bezpečnost, ale také ekonomickou návratnost.

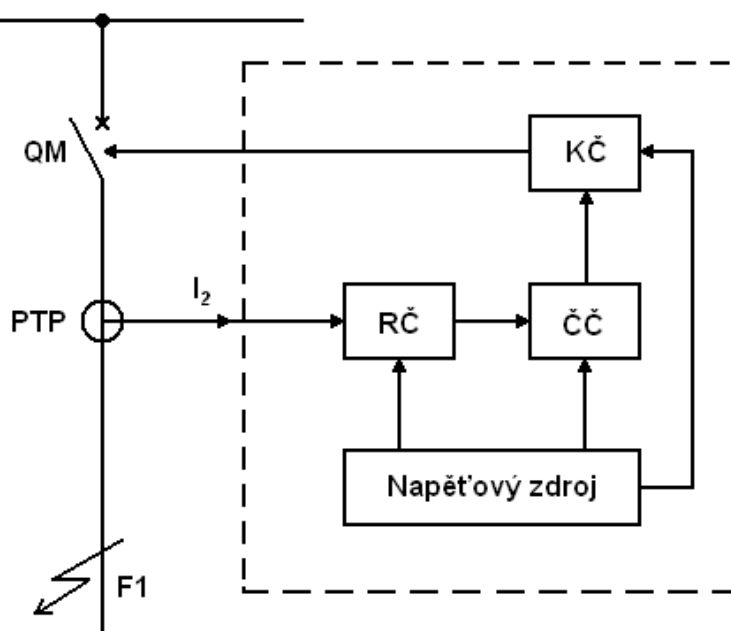
3.1 Ochrany použité v síti 22 kV

Zde je uveden přehled nejčastěji používaných ochran v síti 22 kV.

3.1.1 Nadproudová ochrana

Nadproudová ochrana reaguje na překročení nastavené hodnoty sekundárního rozběhového proudu I_{2r} na ochraně. K překročení rozběhového proudu I_{2r} dojde v důsledku nárůstu proudu v chráněné části vedení. Principiální blokové schéma sekundární nadproudové

nezávislé nesměrové ochrany je zobrazené na Obr. 3.1.



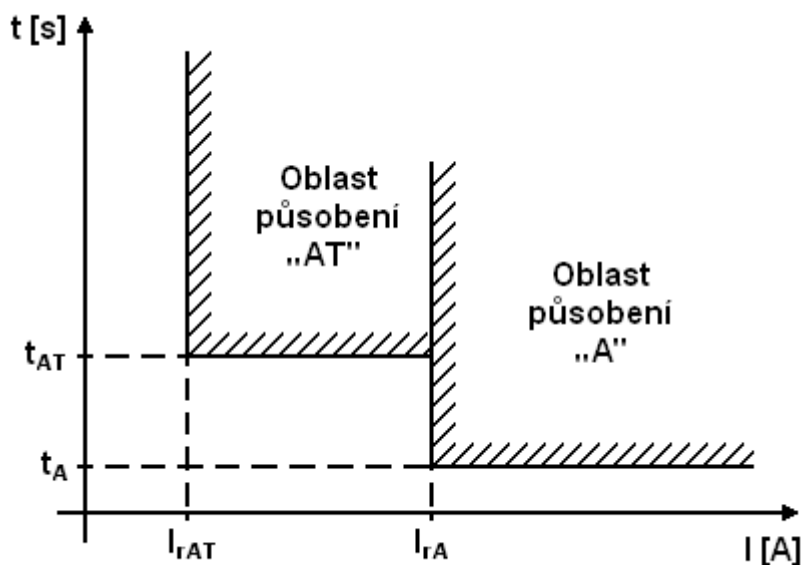
Obr. 3.1 Blokové schéma nadproudové nezávislé nesměrové časové ochrany

Skládá se z průchodových rozběhových členů RČ, časového členu ČČ a koncového členu KČ. Rozběhové členy jsou zařazené do jednotlivých fází sekundárního obvodu jisticích transformátorů proudu PTP. Časový člen a koncový člen potřebují ke své činnosti pomocný zdroj stejnosměrného napájení.

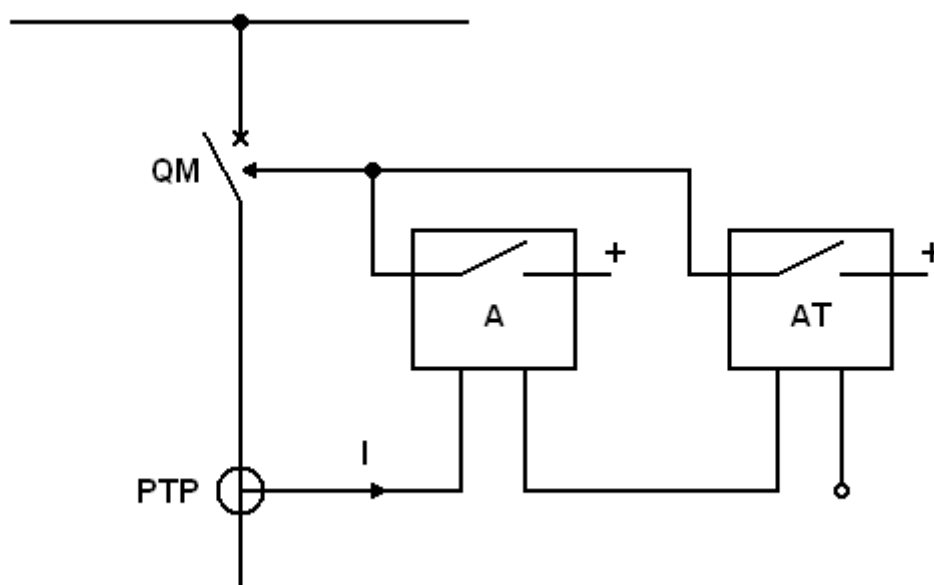
V důsledku vzniku poruchy F1 na vývodu vedení dojde k nárůstu proudu I_2 na sekundární straně PTP. Protože tento poruchový proud překročil hodnotu nastaveného rozběhového proudu I_{2r} alespoň v jedné fázi rozběhového členu RČ, tento uvede do činnosti časový člen ČČ. Časový člen po odpočítání nastaveného času uvede do chodu koncový člen KČ. Koncový člen uzavře obvod vypínací cívky výkonového vypínače. Výkonový vypínač vypne poruchu F1. Vypnutím poruchy F1 se poruchový proud přeručí a obvody ochrany se vrací do počátečního stavu. Na každém rozběhovém členu ochrany je potřeba nastavit velikost rozběhového proudu I_{2r} a na časovém členu časové zpoždění viz. lit. [5].

3.1.2 Zkratová nadproudová ochrana

Nadproudové ochrany, podle použití, nabíhají při proudovém přetížení nebo zkratech. Pokud potřebujeme, aby ochrana zvlášť reagovala na proudové přetížení a zvlášť na zkraty uvažovaného úseku, potom je nutné nastavit stupně ochrany na různé rozběhové proudy a různé vypínací časy. Vypínací charakteristika ochrany s dvěma stupni je znázorněná na Obr. 3.2. Připojení ochrany k chráněnému úseku je zobrazené na Obr. 3.3.



Obr. 3.2 Vypínací charakteristika dvoustupňové nadproudové ochrany



Obr. 3.3 Připojení dvoustupňové nadproudové ochrany k chráněnému objektu

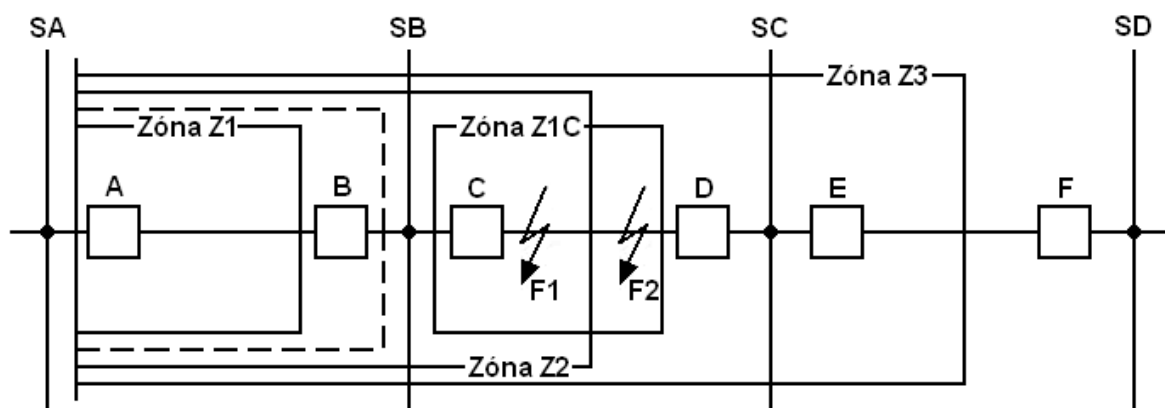
Ochrana na proudové přetížení se nastaví na nižší rozběhový proud I_{rAT} (1,1 až 1,15 násobek jmenovitého proudu chráněného zařízení) a delší vypínací čas t_{AT} . Stupeň na zkraty se nastaví na vyšší rozběhový proud $I_{rA} > I_{rAT}$ a kratší čas působení $t_A < t_{AT}$. Při proudech v rozsahu $I_{rAT} \leq I_F < I_{rA}$ působí ochrana jen na proudové přetížení. Při zkratech $I_F \geq I_{rA}$ reaguje zkratový stupeň i stupeň s proudovým přetížením. Vypnutí úseku s poruchou zajistí zkratový stupeň, protože tento stupeň má nastavený kratší vypínací čas t_A . Na stupni ochrany s proudovým přetížením se nastavuje delší čas proto, aby nedošlo k zbytečnému vypnutí

vedení při krátkodobých dovolených přetíženích, čímž by byly způsobené zbytečné přerušení dodávky elektrické energie viz. lit. [5].

3.1.3 Distanční ochrana

Distanční ochrana vedení měří impedanci poruchové smyčky od místa nainstalované ochrany do místa poruchy. Distanční ochrany mohou být konstrukčně řešené tak, že budou reagovat i na jiné parametry než na impedanci, např. reaktanci, rezistivitu, admitanci a podobně. Závisí to na vhodném výběru parametrů pro jejich činnost. Pro analýzu charakteristik impedančního působení distančních ochran se nejčastěji používá zobrazení impedancí v komplexní rovině, tzv. R – X diagram.

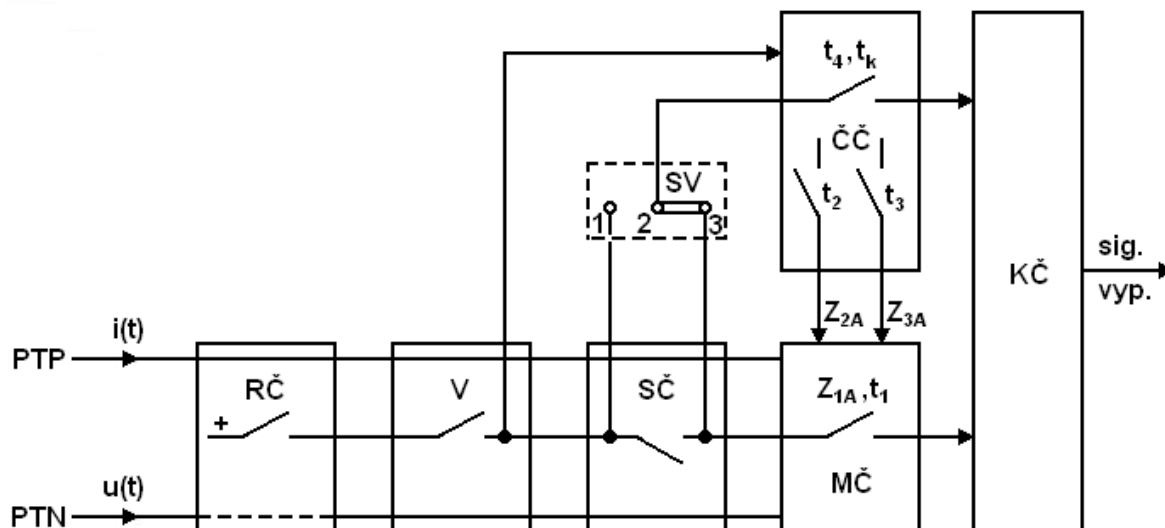
Úlohou distanční ochrany A je vypnout poruchu okamžitě v celé délce chráněného vedení, které se nachází mezi stanicemi SA a SB, Obr. 3.4. Dosah zóny, který je vyznačený na Obr. 3.4 čárkovaně nemůže být nastavený na impedanci Z_{L1} odpovídající 100 % délce vedení. Důvodem je skutečnost, že impedanční měřící člen ochrany vykazuje chybu měření, jejíž typická hodnota je $\pm 5\%$ z impedančního nastavení. Přesah v měření impedance ochrany A, např. při blízkém zkratu F1 na vedení mezi stanicemi SB – SC, by způsobil neselektivní působení ochrany A (vypnutí navíc).



Obr. 3.4 Zóny chránění vedení pomocí distanční ochrany

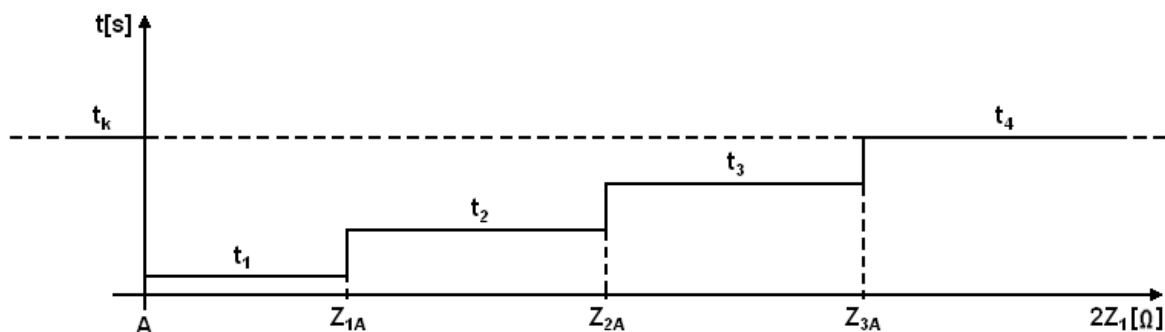
Rozběhové členy RČ, které jsou trvale připojené v proudových obvodech PTP, případně i PTN, nepřetržitě kontrolují provozní a poruchové stavy na chráněném vedení. Při vzniku poruchy zjistí nenormální stav na vedení, rozběhnou se a uvedou do činnosti volbu V. Volba V, podle typu poruchy zjistí nenormální stav na vedení, připojí směrový člen SČ a impedanční měřící člen MČ na vybranou poruchovou smyčku. Tyto členy ke své činnosti vyžadují proud z PTP a napětí z PTN. Zároveň volba uvádí do činnosti časový člen ČČ. Protože předpokládáme, že poruchová energie teče ve směru přípojníc SA do vedení, kontakt

směrového členu SČ je zapnutý. Když porucha patří do zóny Z1, kontakt měřícího členu MČ se uzavře jako poslední a nabudí koncový člen KČ. Koncový člen KČ dá povel na vypnutí výkonovému vypínači v tzv. rychlém čase t_1 . Tento stav činnosti distanční ochrany je symbolicky zobrazený pomocí kontaktů jednotlivých členů RČ, V, SČ a MČ řazených v sérii. Vypínací čas t_1 je řádově několik desítek ms. Tento čas se na klasických ochranách nenastavuje. Je daný součtem časů náběhu jednotlivých členů uspořádaných v sérii, tedy konstrukcí ochrany a velikostí zkratových proudů při náběhu ochrany.



Obr. 3.5 Blokové schéma trojfázové jedno-systémové distanční ochrany s přepínáním impedance dosahu

Tvar vypínací charakteristiky distanční ochrany je zobrazený na Obr. 3.6. Bod A určuje místo zabudování distanční ochrany do vedení. Tvar vypínací charakteristiky je stupňovitý. Z Obr. 3.6 je vidět, že distanční ochrany vypínají blízké poruchy za velmi krátký čas a při vzdálenějších poruchách se čas prodlužuje. Delší časy se využívají na dálkové zálohování ochran. Distanční ochrany, které vypínají blízké poruchy v rychlém čase, se nazývají rychlé distanční ochrany nebo rychlo-impedanční ochrany viz. lit. [5].

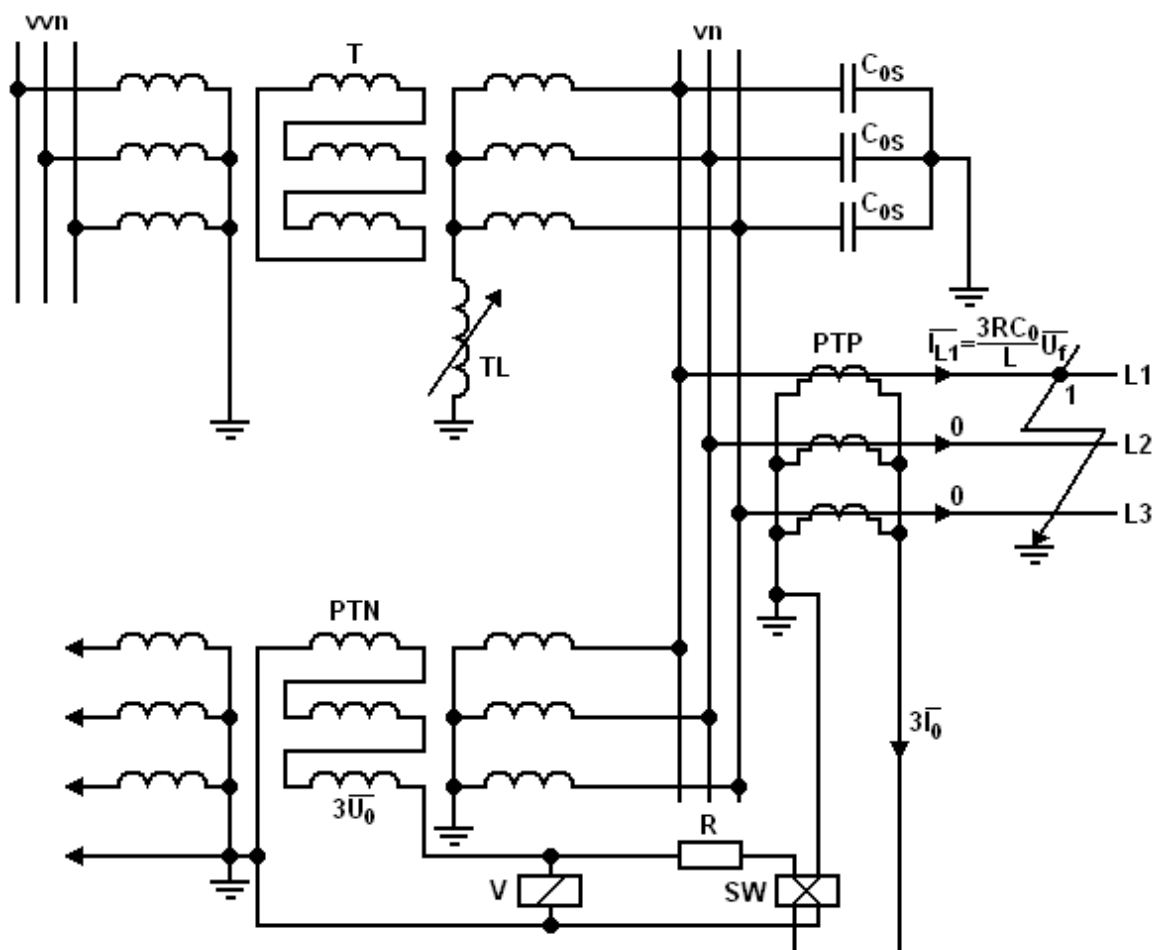


Obr. 3.6 Stupňový tvar vypínací charakteristiky distanční ochrany

3.1.4 Zemní ochrana

V současnosti se pro kompenzaci kapacitních zemních proudů používají zhášecí tlumivky s plynulou regulací. Starší odbočkové zhášecí tlumivky s regulací bez napětí se postupně vyřazují pro jejich technické a provozní nevýhody.

Způsob chránění kompenzovaných vn sítí při zemních spojeních je znázorněn na Obr. 3.7 viz. lit. [5].



Obr. 3.7 Zapojení zemní ochrany vedení v kompenzované síti vn

3.1.5 Ochrana synchronních generátorů

Ochrany synchronních generátorů musí splnit tyto funkce:

- *rychle a spolehlivě určit poruchu nebo překročení hranice normálního provozního stavu generátoru,*
- *vypnout poruchu v čase, který musí být navrhnutý tak, aby se při poruše rozsah škod působením ochrany minimalizoval,*
- *snížit riziko úrazu obsluhy elektrickým proudem,*
- *zabezpečit činnost ochrany tak, aby se porucha zbytečně nerozšířila na ostatní*

neporušené prvky elektrizační soustavy a neohrozila jejich chod v dodávce elektrické energie pro spotřebitele,

- ***oblasti (zóny) chránění musí být navrženy tak, aby se vzájemně překrývaly, to je žádná část elektrického zařízení nesmí zůstat bez chránění.***

Spolehlivé chránění synchronních generátorů a elektrických zařízení se zabezpečuje následujícím způsobem:

- ***analýzou vzniku všech možných typů poruchových stavů,***
- ***výběrem vhodných ochran pro spolehlivé zachycení všech možných poruchových stavů chráněného objektu,***
- ***zabezpečením selektivního působení ochran,***
- ***zálohováním ochran,***
- ***použitím vhodného příslušenství ochran tak, aby toto příslušenství napomáhalo zlepšit činnost ochran jako celku,***
- ***přizpůsobováním jednotlivých částí ochranného řetězce tak, aby přispěly ke zlepšení systému chránění objektů elektrizační soustavy.***

Výpočtové veličiny pro nastavení ochran musí být stanovené pro nejnepříznivější poruchové stavy, ale přitom pro reálně možné provozní stavy chráněných zařízení. Vybavení bloku ochranami a jejich nastavení se musí vždy přizpůsobit jmenovitému výkonu generátoru a způsobu zapojení do elektrizační soustavy.

U synchronních generátorů mohou nastat tyto poruchy:

1. Izolační poruchy statoru:

- a) vnitřní zkrat,
- b) vnější zkrat,
- c) závitový zkrat,
- d) první zemní spojení,
- e) druhé zemní spojení.

2. Izolační poruchy rotoru:

- a) závitový zkrat,
- b) první zemní spojení,
- c) druhé zemní spojení,
- d) ložiskové proudy.

3. Nenormální podmínky chodu statoru:

- a) proudové přetížení,

- b) proudová nesymetrie,
- c) přepětí,
- d) samobuzení generátoru,
- e) podsynchronní otáčky.

4. Nenormální podmínky chodu rotoru:

- a) ztráta buzení generátoru,
- b) proudová nesymetrie od statoru.

5. Nenormální podmínky chodu pohonu generátoru:

- a) zpětný tok činného výkonu,
- b) nesynchronní otáčky,
- c) posun rotoru,
- d) kmitání turbogenerátoru,
- e) mechanické poruchy turbíny,
- f) poruchy parního generátoru (kotle).

Ochrany bloku tvoří mechanické ochrany, které chrání technologickou část bloku a elektrické ochrany, které chrání elektrickou část. Tyto ochrany tvoří komplexní ochrany bloku.

Komplexní ochrany bloku zajišťují automatické zvládnutí těžkých poruchových stavů bloku. Zasahují při takových stavech, které není možné zvládnout provozní regulací bloku. Z toho nevyhnutelně vyplývá součinnost působení mechanických a elektrických ochran při odstavování bloku viz. lit. [5].

3.1.6 Ochrany transformátorů

Poruchy transformátorů můžeme rozdělit na vnitřní poruchy a na poruchy způsobené tokem proudů přes transformátor. Vnitřní proudy je možné rozdělit do dvou skupin:

- a) Poruchy s možností okamžité detekce.
- b) Poruchy vznikající postupně.

Mezi poruchy, které můžeme zjistit (detekovat) okamžitě patří:

1. zkraty na svorkách,
2. zkraty na vinutí transformátoru,
3. zkraty mezi vinutími,
4. zemní poruchy, závitové zkraty terciárních vinutí.

Poruchy vznikající postupně:

1. špatná izolace plechů, resp. nekvalitní galvanické spoje způsobují oblouky uvnitř

- nádoby transformátorů,
- 2. poruchy chlazení,
- 3. chybná regulace napětí.

Vnitřní poruchy transformátorů s okamžitou detekcí poruchy se likvidují pomocí zkratových ochran. Přechodné poruchy je možné identifikovat pomocí ochrany proti proudovému přetížení. U olejových transformátorů můžeme tento typ poruchy zachytit pomocí Buchholzovo plynového relé. Transformátory se musí, podobně jako synchronní generátory, chránit proti přetížení a zkratům. O přetížení platí v principu to samé jako u generátorů.

Vybavení transformovny ochranami je závislé na jejich důležitosti a velikosti jmenovitého výkonu. Digitální ochrana transformátoru musí zabezpečit tyto hlavní funkce:

- *určit poruchu, nebo překročení meze normálního provozu,*
- *při poruše transformátoru odpojit transformátor od zdroje v čase, který dostatečně minimalizuje rozsah škod viz. lit. [5].*

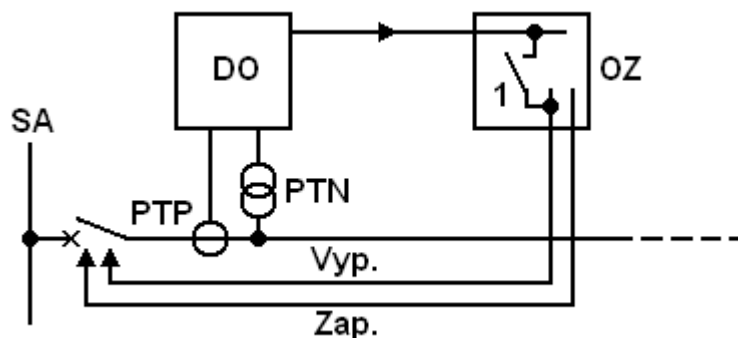
Rozdílová ochrana zkoumá fázory proudu na vstupu a výstupu transformátoru. Pokud je rozdílový proud větší než 0, ochrana to vyhodnotí jako poruchu uvnitř transformátoru a dává pokyn k vypnutí.

3.1.7 Automatika opětovného zapnutí

Všechny možné poruchy, které se vyskytují na venkovních vedeních, rozdělujeme na přechodné a trvalé. Většina těchto poruch je podle statistik různých sítí přechodného charakteru. Z celkového počtu poruch připadá na přechodné poruchy 75 až 95 %. Přechodná porucha je taková, která po odpojení napětí z vedení za krátkou dobu zmizí a izolační stav vedení se znovu obnoví jako před poruchou. Ani jedna z ochran nerozezná rozdíl mezi přechodnou a trvalou poruchou. Proto se vyvinuly automatiky opětovného zapínání (dále jen OZ), které spolupracují s ochranami. Obě zařízení společně zkoumají charakter poruchy. K definitivnímu vypnutí dojde jen v případě trvalé poruchy. Při činnosti automatiky OZ je sice dodávka elektrické energie na krátký čas přerušena, ale spojitost dodávky je zachována.

Automatika OZ s ochranou DO je zapojená podle Obr. 3.8. Jejich činnost je následovná: Ochrana po zjištění poruchy na vedení dá povel k činnosti automatiky OZ. Automatika OZ převezme řízení celého cyklu OZ. Dá povel k vypnutí výkonového vypínače, začne odpočítávat čas beznapěťové pauzy a také tzv. čas blokování. Po odpočítání beznapěťové pauzy dá povel k zapnutí výkonového vypínače. Pokud bylo OZ úspěšné (přechodná porucha), odběhne blokovací čas a automatika OZ je znovu připravená k činnosti celého

cyklu OZ. Blokovací čas se nastavuje od 0 do 20 sekund. Během něho nepřijímá automatika OZ žádné další vnější povely.



Obr. 3.8 Zapojení distanční ochrany s automatikou OZ

Při trvalé poruše na tento stav znovu naběhne ochrana, která dá povel k definitivnímu vypnutí vedení. Rychlá ochrana DO dává povel k definitivnímu vypnutí přes tzv. výhybku (kontakt 1 v OZ zapnutý během blokovací doby), případně pomalé ochrany dávají vypínací povel přímo na výkonový vypínač. V tomto případě hovoříme o neúspěšném OZ.

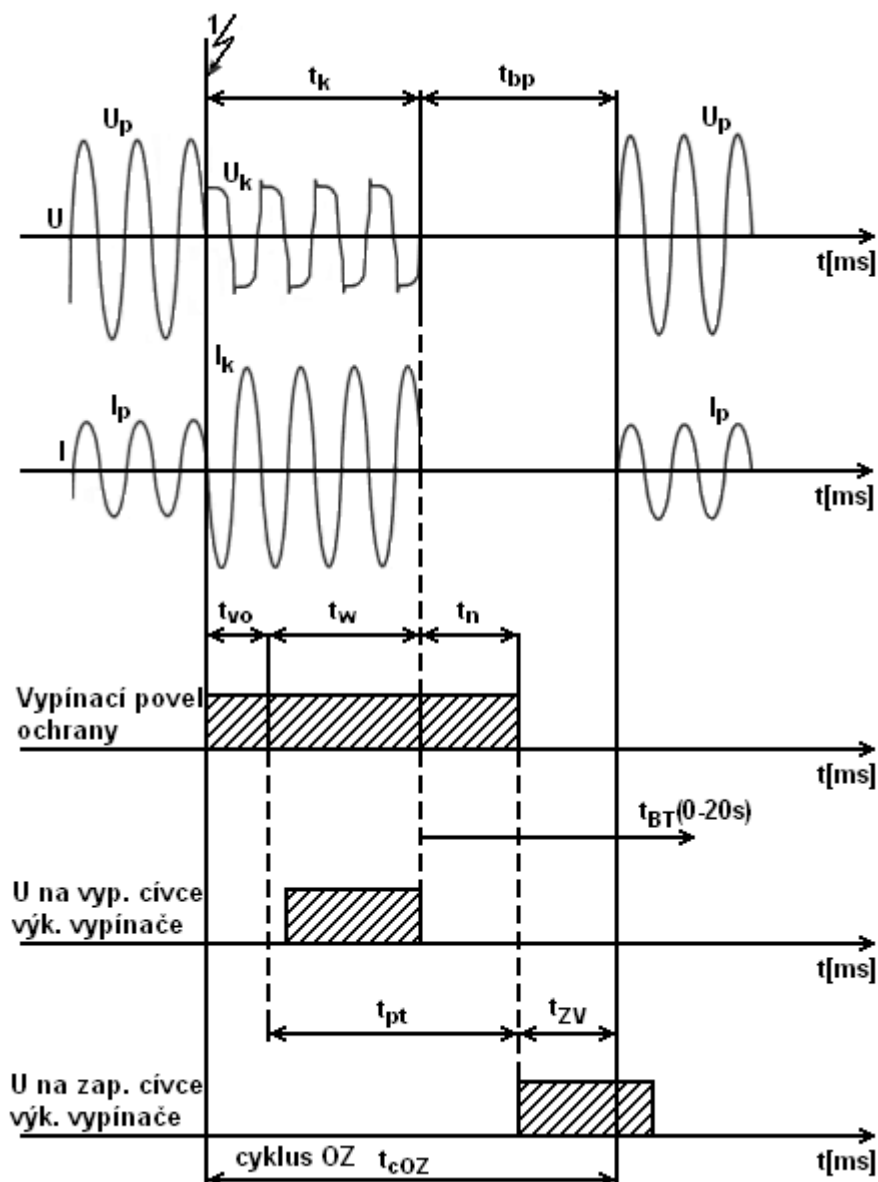
První vypnutí při cyklu OZ se děje neselektivně. Aby bylo OZ úspěšné, musí dojít k vypnutí výkonových vypínačů na obou koncích vedení současně.

Druhé vypínání musí být zásadně selektivní, protože jde o definitivní vypnutí porouchaného vedení.

Blokovací čas slouží k regeneraci výkonového vypínače a je současně ochranou výkonového vypínače při neklidném provozu (např. bouřky). Blokování platí i pro ruční zapínání, tedy blokovací relé se uvede do činnosti zapnutím výkonového vypínače. Takto chybným ručním zapnutím vedení do zkratu je vedení vypnuté selektivně a přitom definitivně. Cyklus OZ se neprovede.

Pro správnou činnost automatiky OZ je důležitá volba nastavení beznapěťové pauzy. Tato doba může být v různých případech různá, ale vždy taková, aby oblouk bezpečně zhasl a ionizace jeho dráhy zmizela. Tzv. rychlé opětovné zapínání zapne vypínač postiženého vedení po předchozím vypnutí zkratu v tak rychlém čase, že u připojených synchronních strojů nestoupnou otáčky a nevypadnou ze synchronismu. Krátký výpadek dodávky není v tomto případě pro odběratele nebezpečný.

Při řešení zařízení pro opětovné zapínání je tedy velmi důležité objasnit si, jak rychle se může vedení po zkratu zapnout bez nebezpečí, že se oblouk znovu zapálí a také jak nejpозději se může vedení zapnout bez nebezpečí, že se poruší stabilita a připojené stroje nevypadnou ze synchronismu. Na objasnění těchto problémů slouží Obr. 3.9.



Obr. 3.9 Činnost automatiky OZ na vedení

Znázorňuje průběh napětí U , proudu I a také činnost automatiky OZ. Celkový čas cyklu OZ t_{cOZ} se skládá z času působení ochrany t_{vo} , z času vypnutí výkonového vypínače t_{vv} a beznapět'ové pauzy t_{bp} , tedy

$$t_{cOZ} = t_{vo} + t_{vv} + t_{bp} \quad (3.1)$$

Délka cyklu OZ závisí na povaze zdrojů, ochranných zařízení, druhu zátěže a stabilitě sítě.

Použité vypínače musí vypínat každou fázi odděleně, a proto jsou konstrukčně vyrobené tak, že jsou to vlastně tři jednofázové vypínače, každý s vlastním pohonem. Při vzniku dvoufázových zkratů by bylo možné postupovat analogicky, a sice vypnout obě postižené fáze a třetí zdravou nechat v provozu. Protože jedna fáze už nepřispívá k udržení stability

paralelního provozu sítí, tento způsob se nepoužívá, ale při dvojfázových zkratech se použije trojfázový cyklus OZ. Při trojfázovém cyklu OZ se na okamžik úplně přeruší dodávka elektrické energie po vedení, a proto se tento cyklus musí provádět tak, aby během beznapěťové pauzy nedošlo k velkému fázovému posunu napětí na obou částech a po zapnutí k velkému proudovému rázu. Podle zkušeností celkový čas trojfázového cyklu OZ nemá přesáhnout hodnotu 0,2 – 0,3 sekundy.

Při jednofázovém OZ není potřeba zapínat vedení tak brzo, protože dvě zdravé fáze jsou schopné udržet paralelní provoz sítí, a to pomocí dvou fází a země. Při tomto je potřeba si uvědomit, že dojde k nesymetrii přenosu a vektorového trojúhelníku napětí v odběrové síti. Zemním vodičem protéká do protilehlé rozvodny značný proud, který má vliv na jiné paralelní vedení, zejména slaboproudé. Do nich se indukují poměrně velké napětí, čímž se znemožňuje jejich provoz. Celkový čas jednofázového cyklu OZ bývá 0,4 – 0,6 sekundy.

Na časovém relé automatiky OZ je potřeba nastavit čas beznapěťové pauzy označené na Obr. 3.9 písmenem t_{pt} . Platí rovnice:

$$t_{pt} + t_{zv} = t_{vv} + t_{bp} \quad (3.2)$$

kde t_{zv} je zapínací čas výkonového vypínače,

t_{vv} – vypínací čas výkonového vypínače

t_{bp} – čas beznapěťové pauzy

Na časovém relé automatiky OZ se potom nastaví čas:

$$t_{pt} = t_{vv} + t_{bp} - t_{zv} \quad (3.3)$$

Reléové automatiky OZ se vyrábí v takovém vyhotovení, že mohou řídit jednofázový a trojfázový cyklus OZ. Z toho důvodu je potřebné nastavit čas t_{pt} pro každý cyklus zvlášť.

V sítích vn se také používá automatika, která je určena pro pomalé zapínání vypínačů po třech až pěti minutách. Její činnost je v principu podobná jako při automatické rychlého OZ viz. lit. [5].

Závěr

Výpočet pro dvou-paprskovou síť 22 kV při zemním spojení ve dvou různých fázích, výpočet vlivu této poruchy na chod sítě a hlavně na průběh napětí je proveden v první kapitole. Výsledné výstupy výpočtu nalezneme v obrazových přílohách. Výsledné průběhy jasně potvrdili, že při jednofázovém zemním spojení lze síť dále provozovat až do vyhledání zemního spojení při dodržení důležitých zásad.

Posouzení vlivu na chod sítě je popsáno v druhé kapitole.

Návrh optimalizace ochran sítě se nachází ve třetí kapitole a dále jsou zde uvedeny používané ochrany v síti 22 kV.

Seznam použité a citované literatury

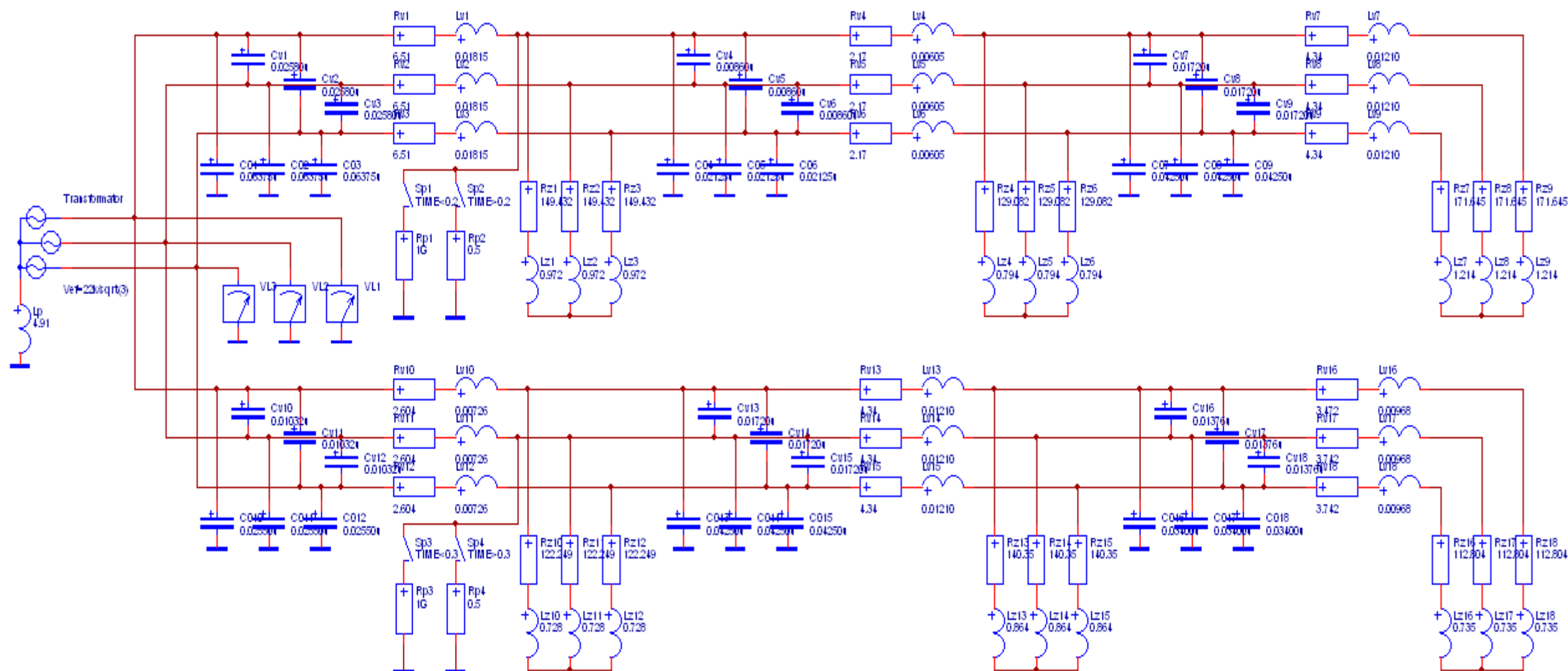
- [1] TLUSTÝ, Josef, KYNCL, Jan, MUSIL, Ladislav, ŠTEPLÍK, Jan, ŠVEC, Jan, HAMOUZ, Petr, MŮLLER, Miroslav, MŮLLER, Zdeněk. Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav. Praha: ČVUT, 2011, 256s. ISBN 978-80-01-04940-2.
- [2] Site.pdf [online]. Poslední změna 18.9.2011. [Cit. 25.2.2012]. Dostupné z: https://portal.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=9298
- [3] ČSN 33 3070. *Kompenzace kapacitních zemních proudů v sítích vysokého napětí*. Praha: Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1.1.1979
- [4] Softwarový systém DYNAST [online]. Poslední změna neznámá. [Cit. 12.3.2012]. Dostupné z: <http://virtual.cvut.cz/dynastcz/>
- [5] JANÍČEK, František, CHLADNÝ, Vladimír, BELÁŇ, Anton a ELESCHOVÁ, Žaneta. *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. Bratislava: STU, 2004, 360s. ISBN80-227-2135-2.
- [6] ZemniSpojeni.pdf [online]. Poslední změna neznámá. [Cit. 25.4.2012]. Dostupné z: <http://www.powerwiki.cz/attach/ES/ZemniSpojeni.pdf>

Seznam příloh

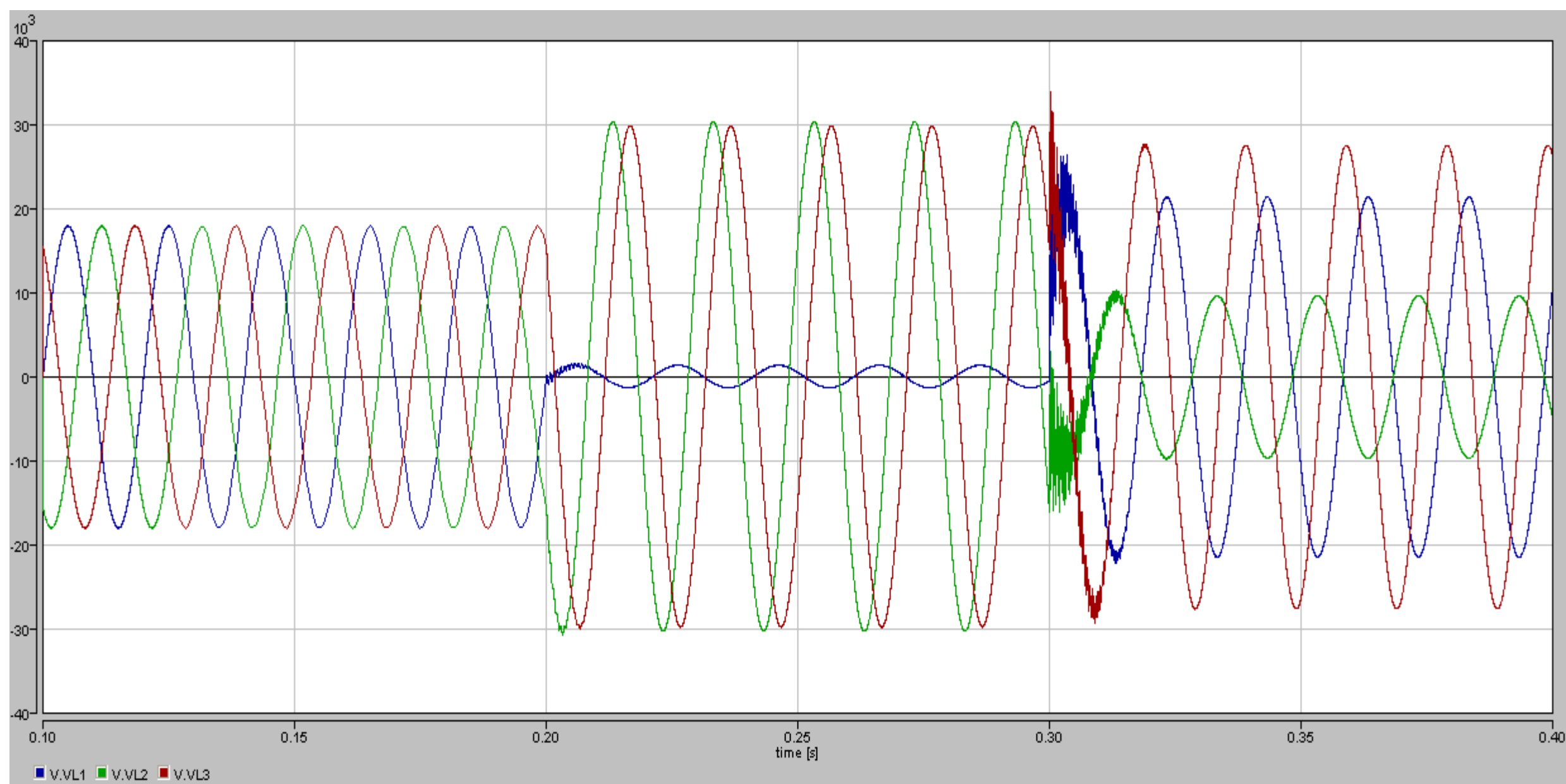
- Příloha č. 1: Náhradní schéma dvou-paprskové sítě 22 kV v programu Dynast
- Příloha č. 2: Časový průběh napětí na výstupních uzlech transformátoru 110/22 kV
- Příloha č. 3: Časový průběh napětí na zátěži umístěné na prvním paprsku sítě 22 kV nejbliže k transformátoru
- Příloha č. 4: Časový průběh napětí na zátěži umístěné na druhém paprsku sítě 22 kV nejdále od transformátoru
- Příloha č. 5: Časový průběh proudů na rezistorech Rv1, Rv2 a Rv3 v síti 22 kV
- Příloha č. 6: Časový průběh proudů na rezistorech Rv10, Rv11 a Rv12 v síti 22 kV
- Příloha č. 7: Časový průběh proudů na zátěži umístěné na prvním paprsku sítě 22 kV nejbliže k transformátoru
- Příloha č. 8: Časový průběh proudů na zátěži umístěné na druhém paprsku sítě 22 kV nejdále od transformátoru
- Příloha č. 9: Náhradní schéma sítě „Mirotice“ v programu Dynast
- Příloha č. 10: Časový průběh napětí na výstupních uzlech transformátoru „Mirotice“
- Příloha č. 11: Časový průběh napětí na zátěži umístěné na prvním paprsku sítě „Mirotice“ nejbliže k transformátoru
- Příloha č. 12: Časový průběh napětí na zátěži umístěné na druhém paprsku sítě „Mirotice“ nejdále od transformátoru
- Příloha č. 13: Časový průběh proudů na rezistorech Rv1, Rv2 a Rv3 v síti „Mirotice“
- Příloha č. 14: Časový průběh proudů na rezistorech Rv13, Rv14 a Rv15 v síti „Mirotice“
- Příloha č. 15: Časový průběh proudů na zátěži umístěné na prvním paprsku sítě „Mirotice“ nejbliže k transformátoru
- Příloha č. 16: Časový průběh proudů na zátěži umístěné na druhém paprsku sítě „Mirotice“ nejdále od transformátoru

Přílohy

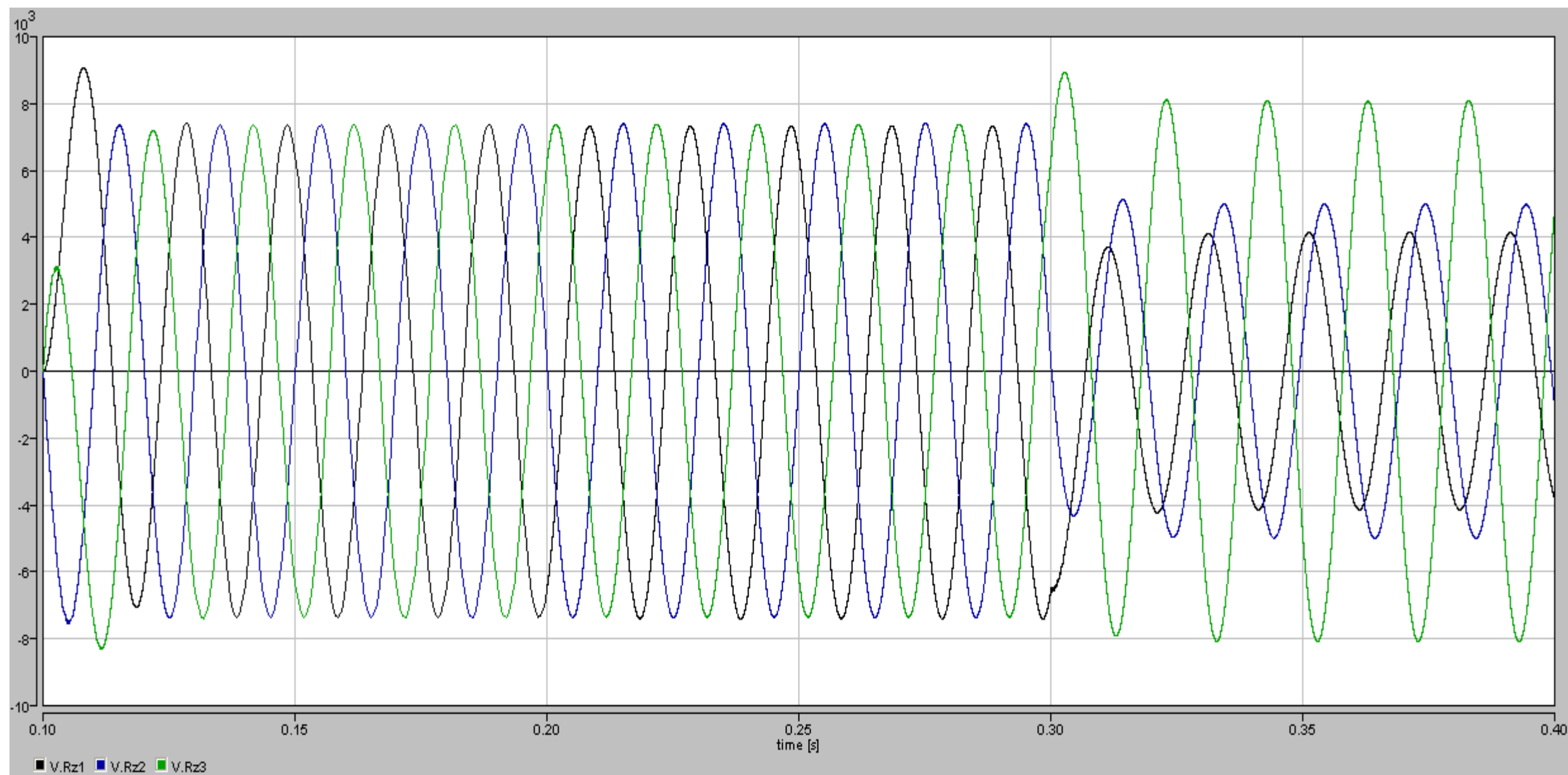
Příloha č. 1: Náhradní schéma dvou-paprskové sítě 22 kV v programu Dynast



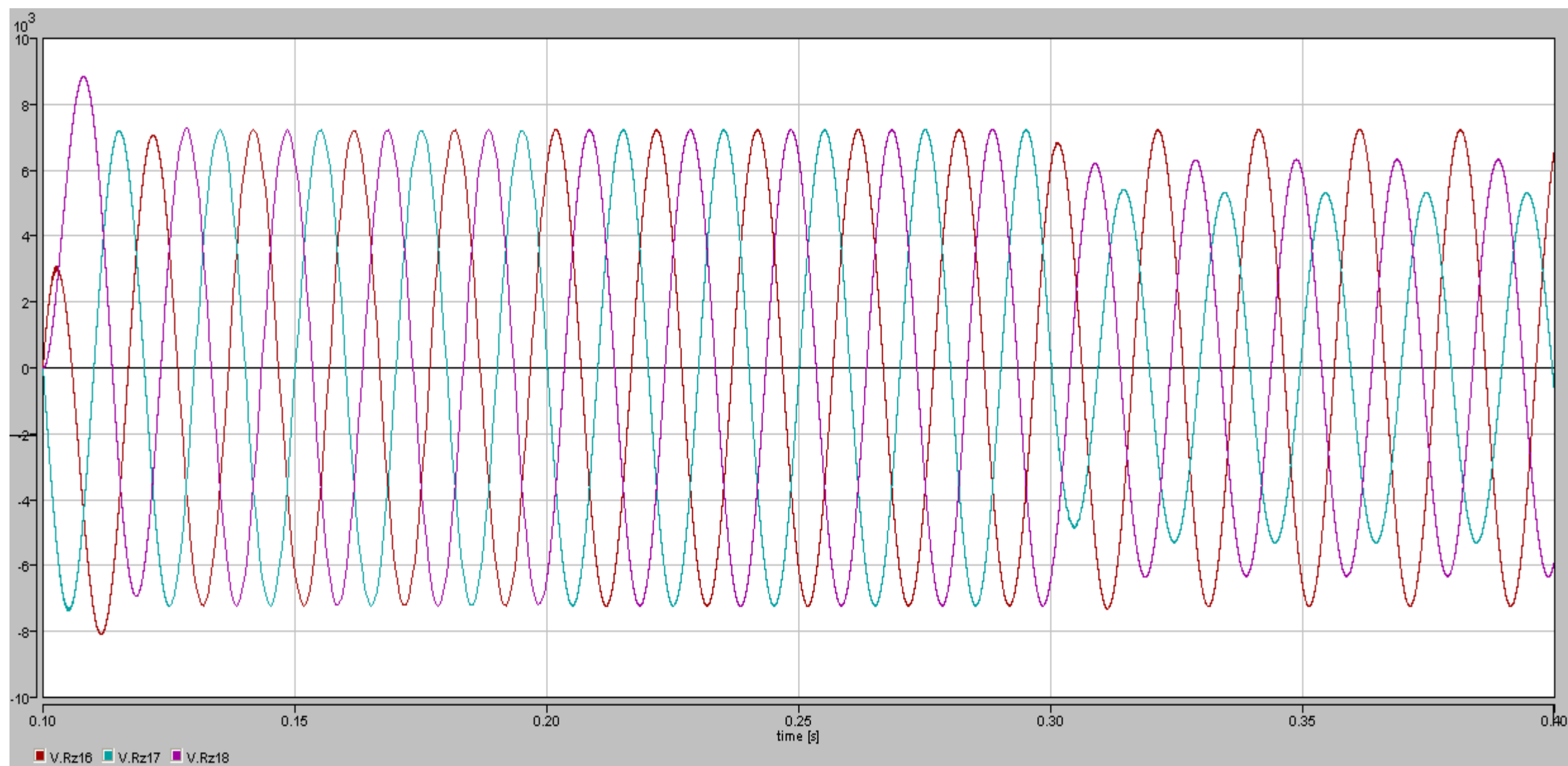
Příloha č. 2: Časový průběh napětí na výstupních uzlech transformátoru 110/22 kV



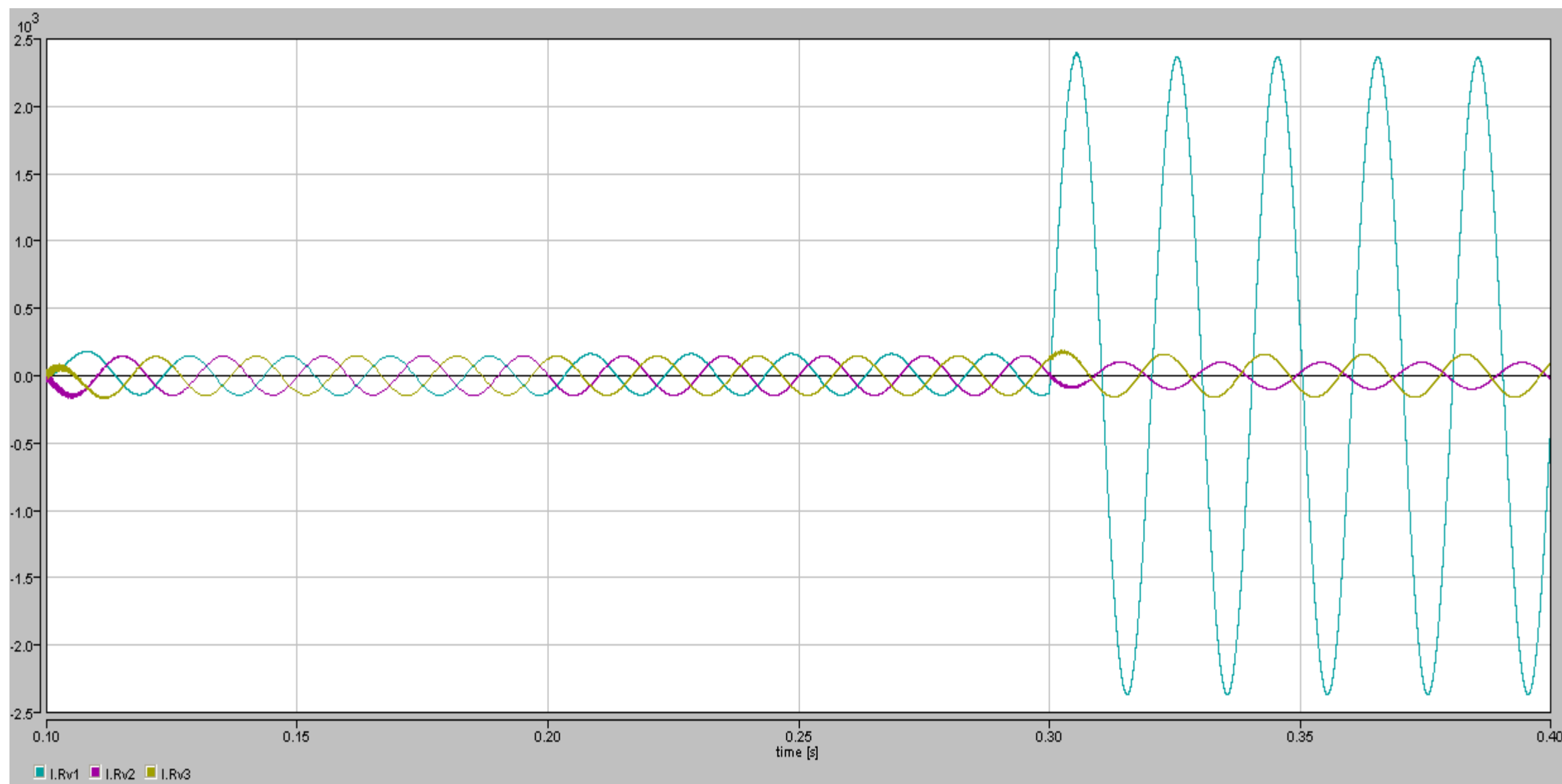
Příloha č. 3: Časový průběh napětí na zátěži umístěné na prvním paprsku sítě 22 kV nejblíže k transformátoru



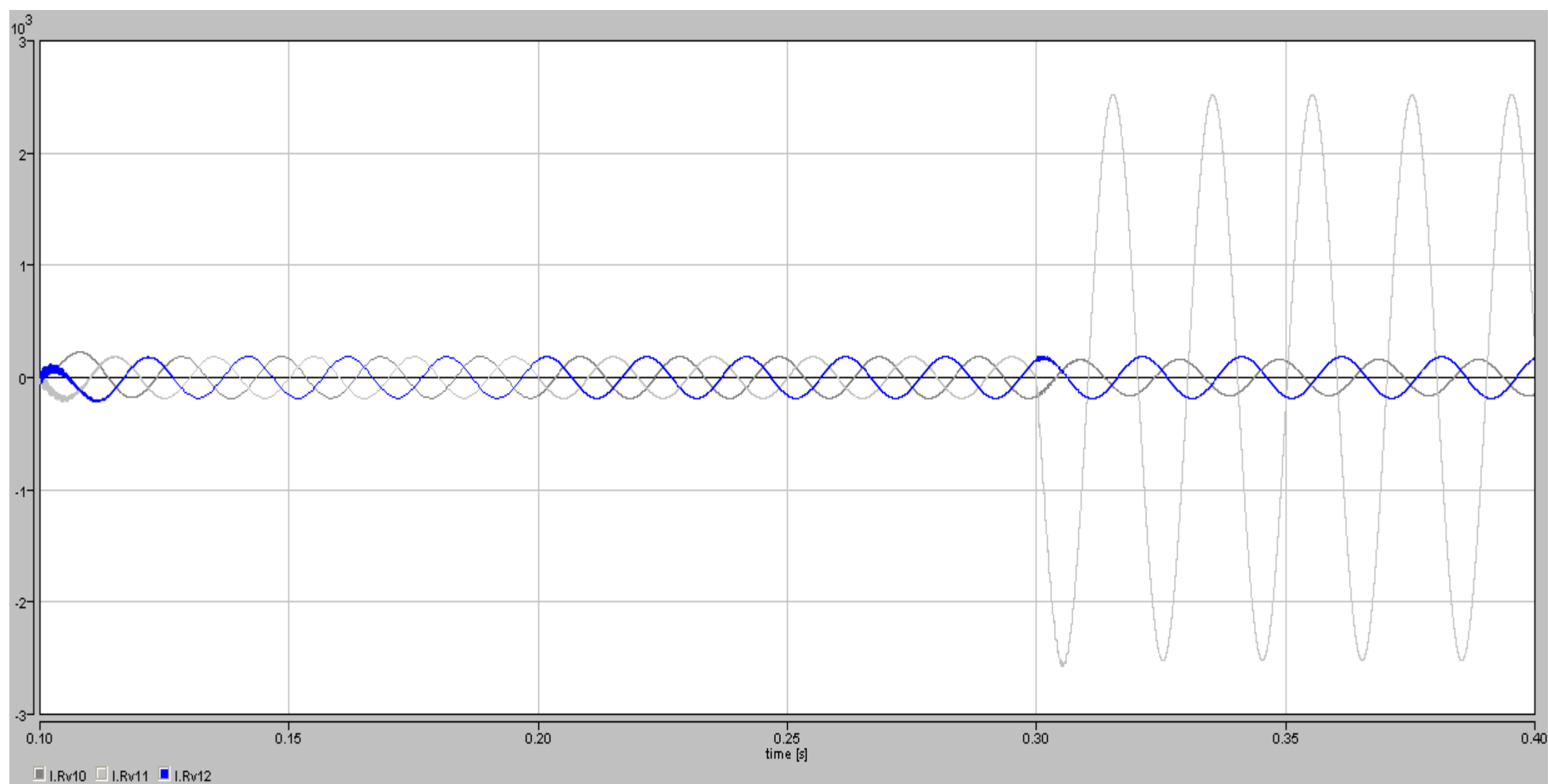
Příloha č. 4: Časový průběh napětí na zátěži umístěné na druhém paprsku sítě 22 kV nejdále od transformátoru



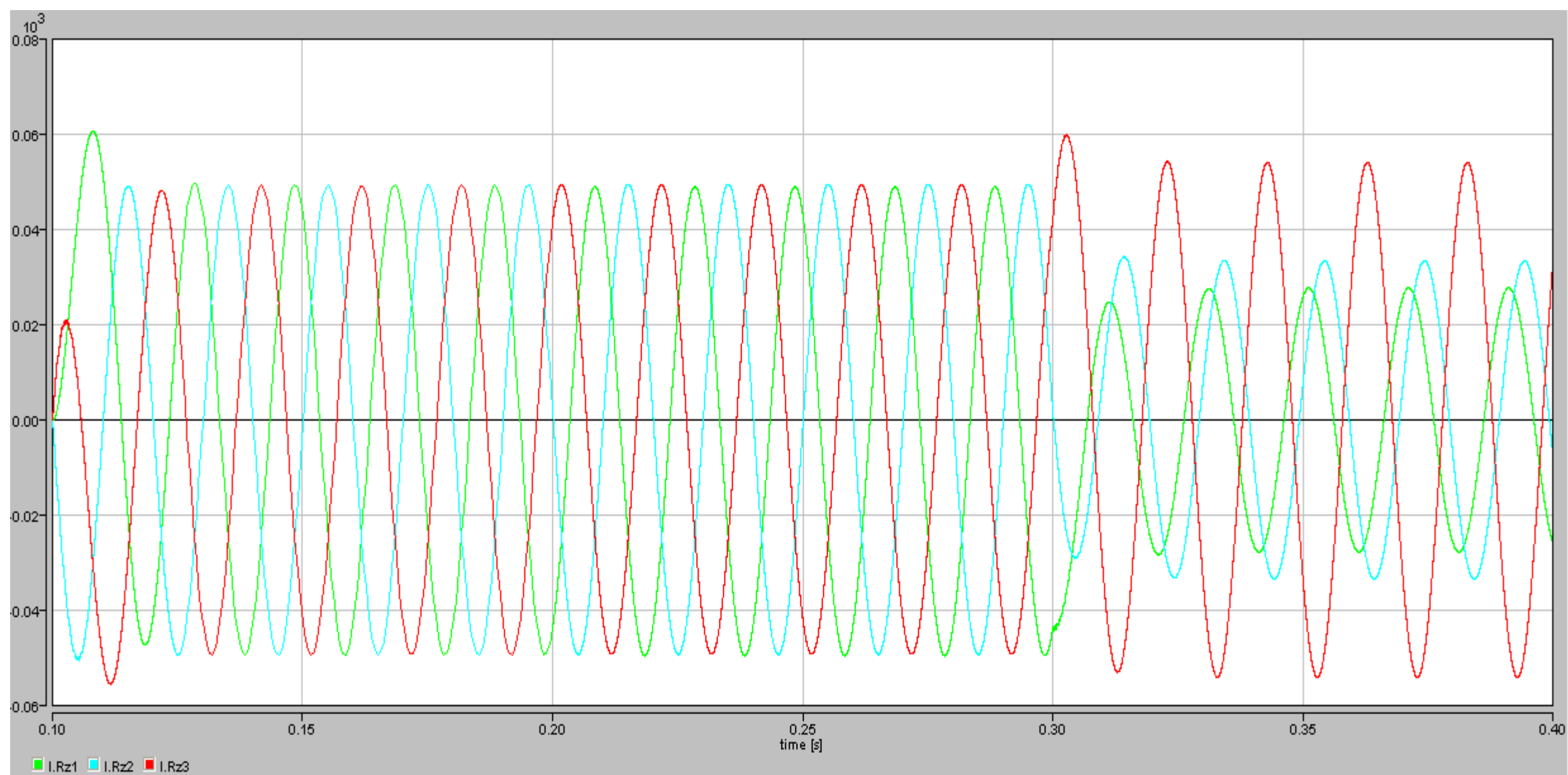
Příloha č. 5: Časový průběh proudů na rezistorech Rv1, Rv2 a Rv3 v síti 22 kV



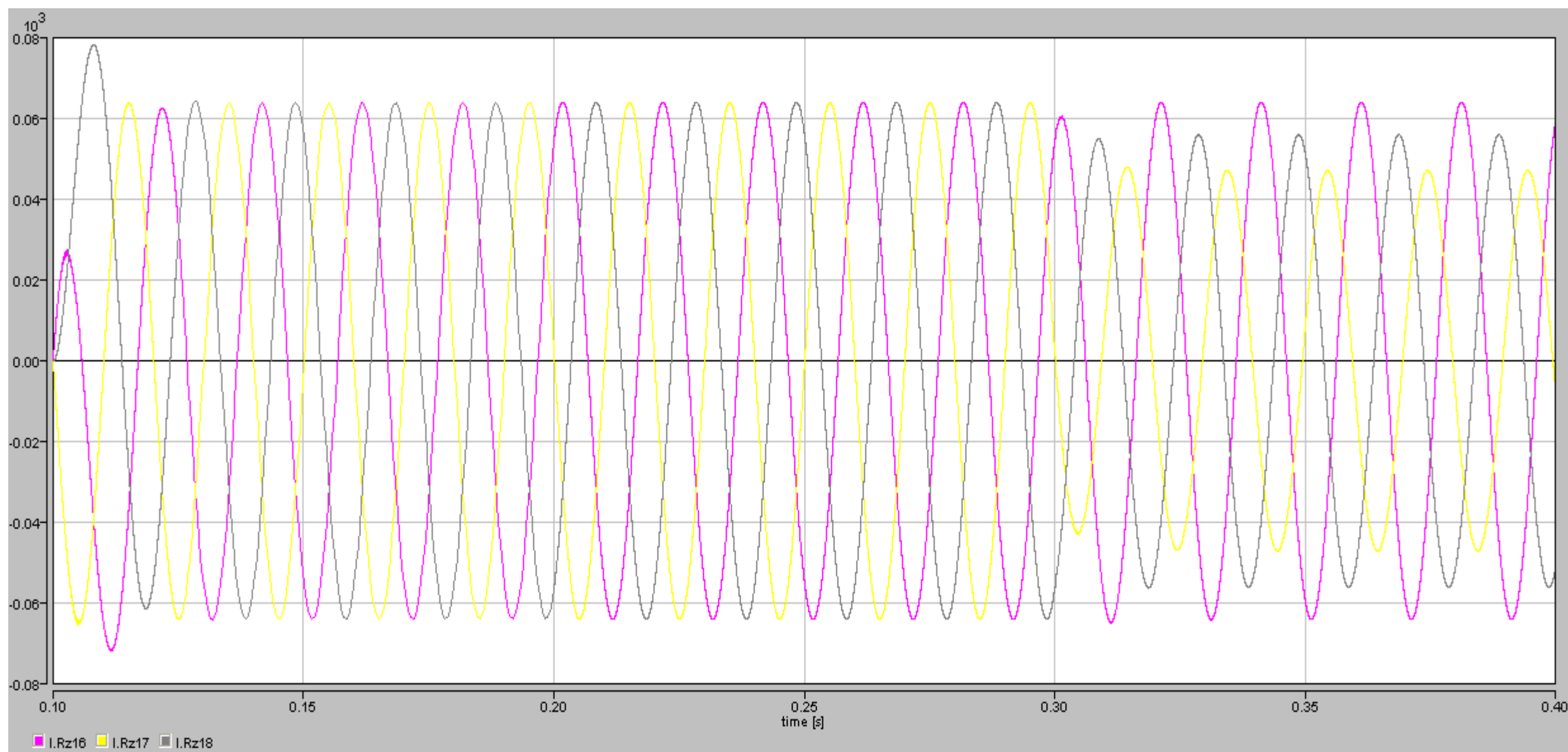
Příloha č. 6: Časový průběh proudů na rezistorech Rv10, Rv11 a Rv12 v síti 22 kV



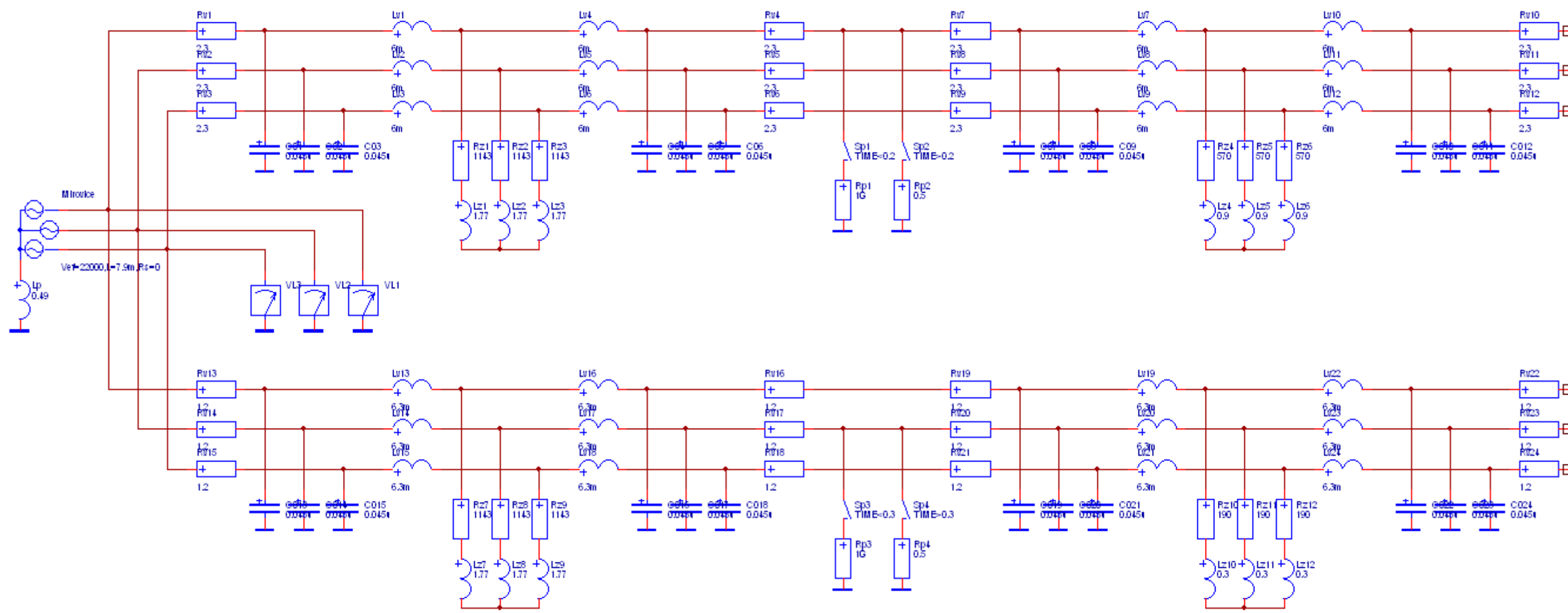
Příloha č. 7: Časový průběh proudů na zátěži umístěné na prvním paprsku sítě 22 kV nejbližší k transformátoru



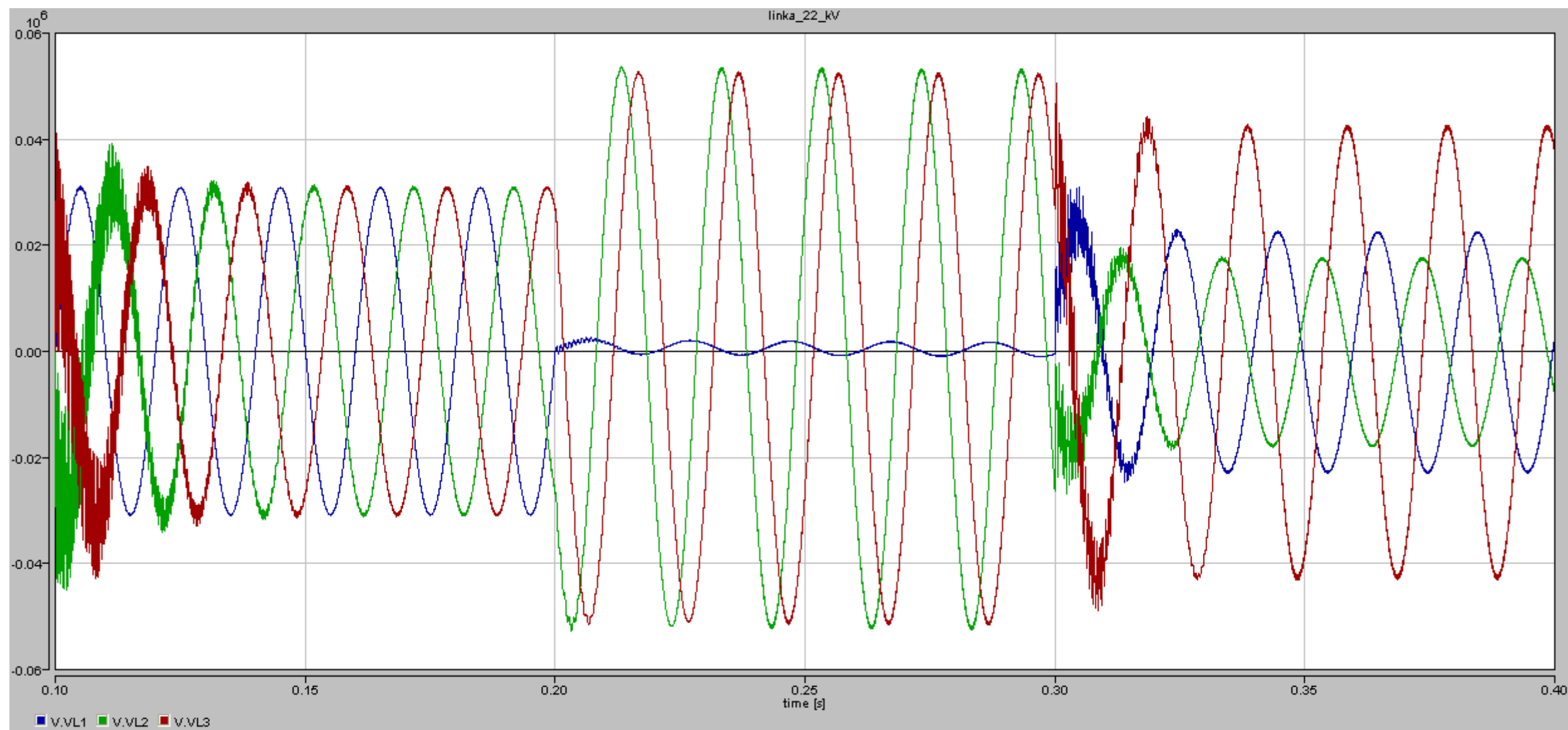
Příloha č. 8: Časový průběh proudů na zátěži umístěné na druhém paprsku sítě 22 kV nejdále od transformátoru



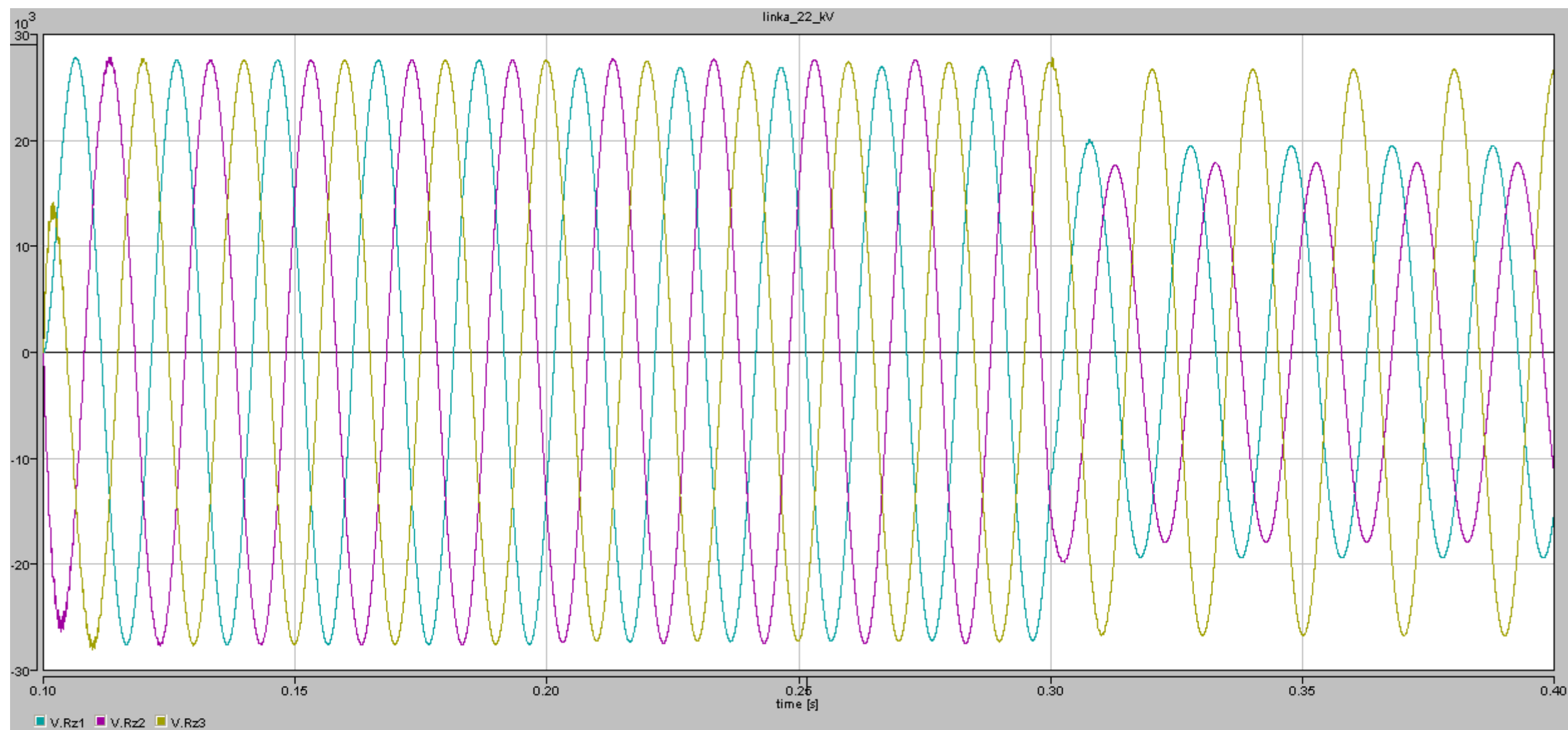
Příloha č. 9: Náhradní schéma sítě „Mirovice“ v programu Dynast



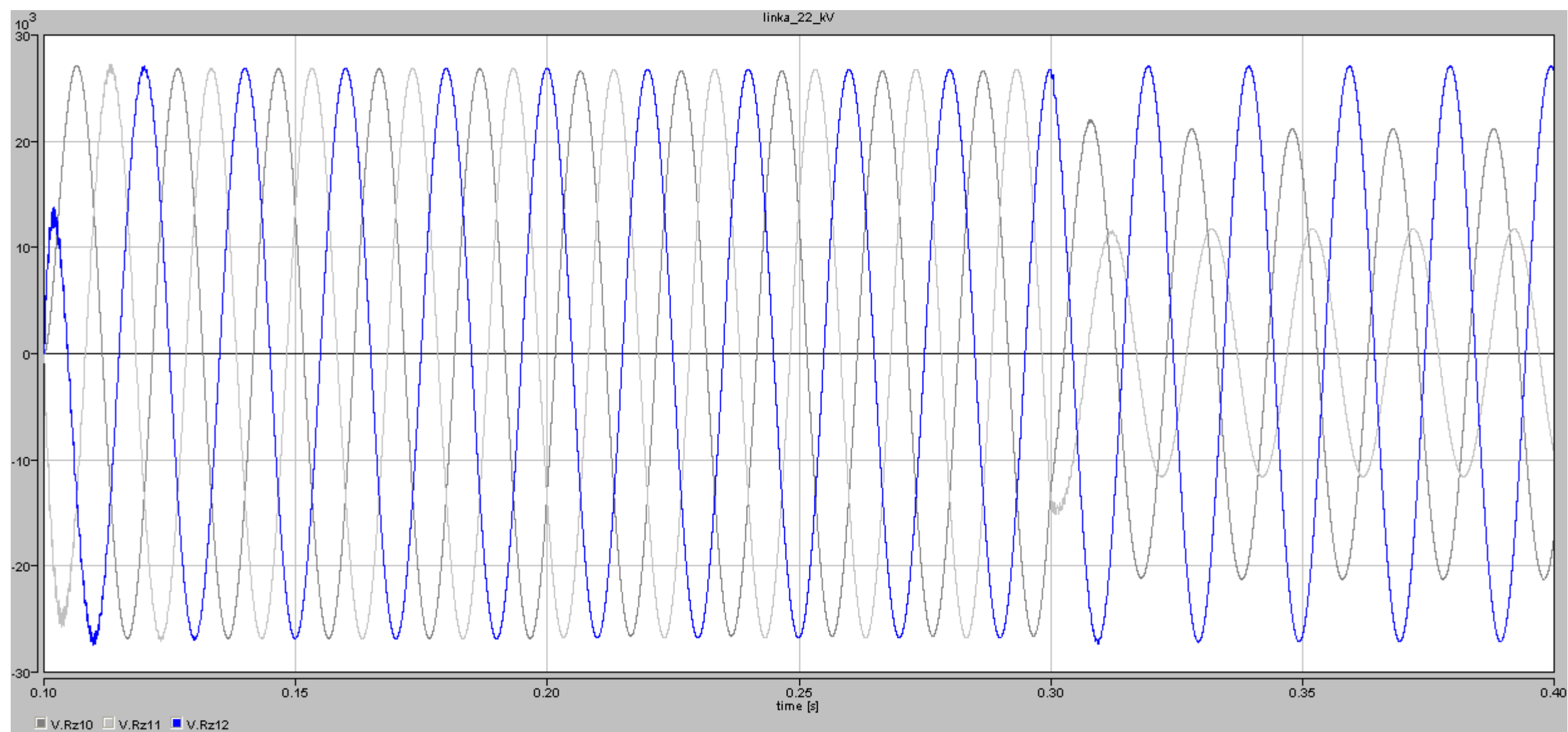
Příloha č. 10: Časový průběh napětí na výstupních uzlech transformátoru „Mirovice“



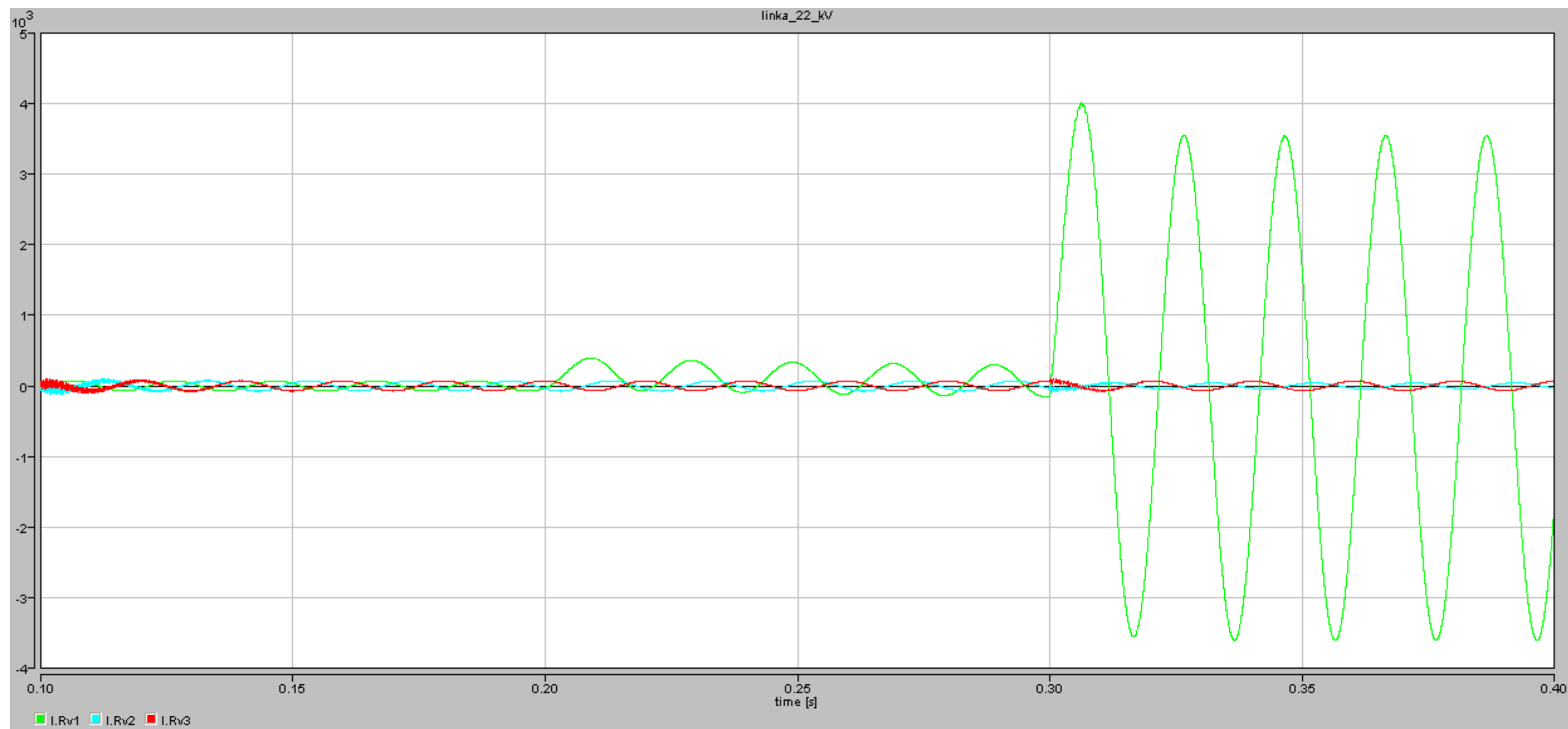
Příloha č. 11: Časový průběh napětí na zátěži umístěné na prvním paprsku sítě „Mirovice“ nejbližší k transformátoru



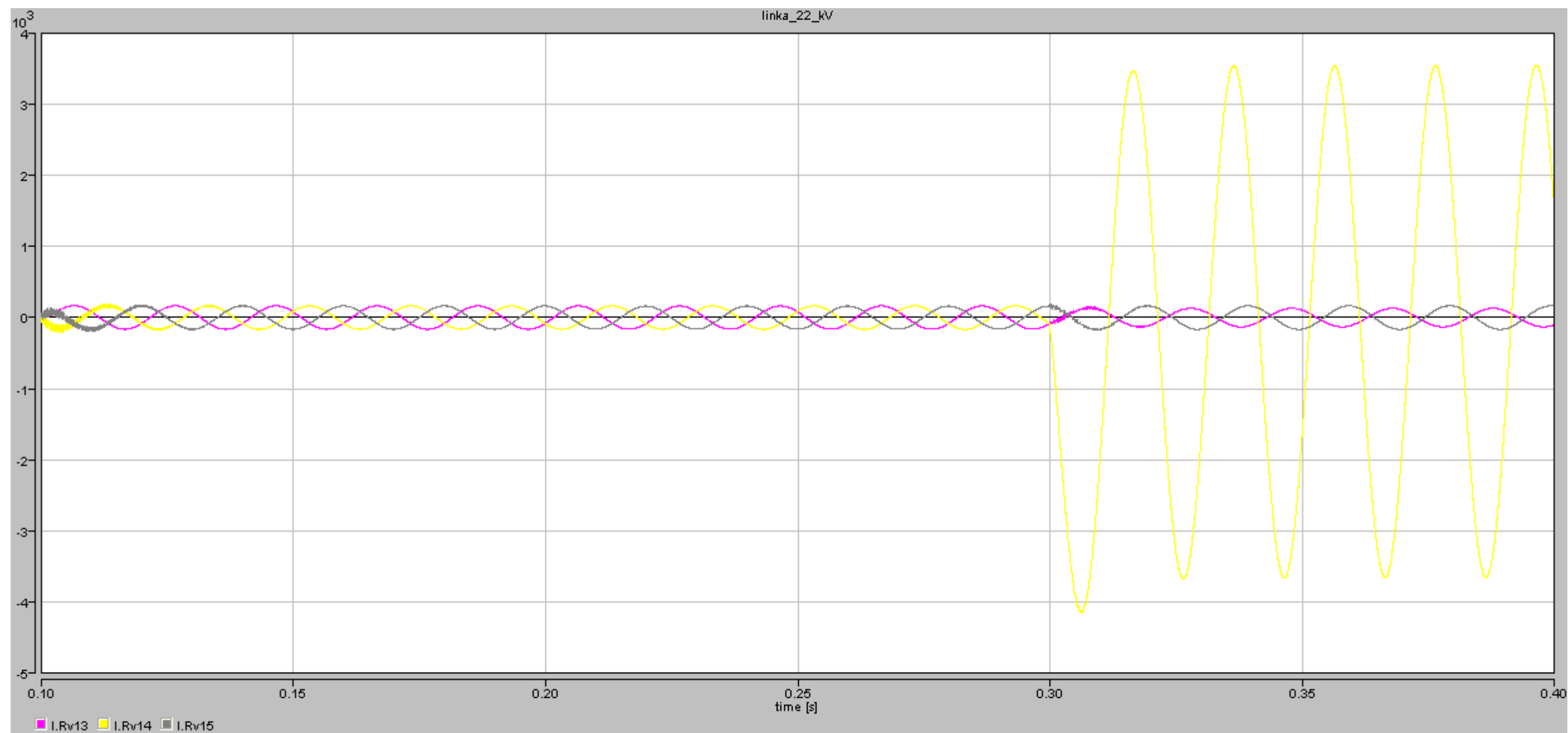
Příloha č. 12: Časový průběh napětí na zátěži umístěné na druhém paprsku sítě „Mirovice“ nejdále od transformátoru



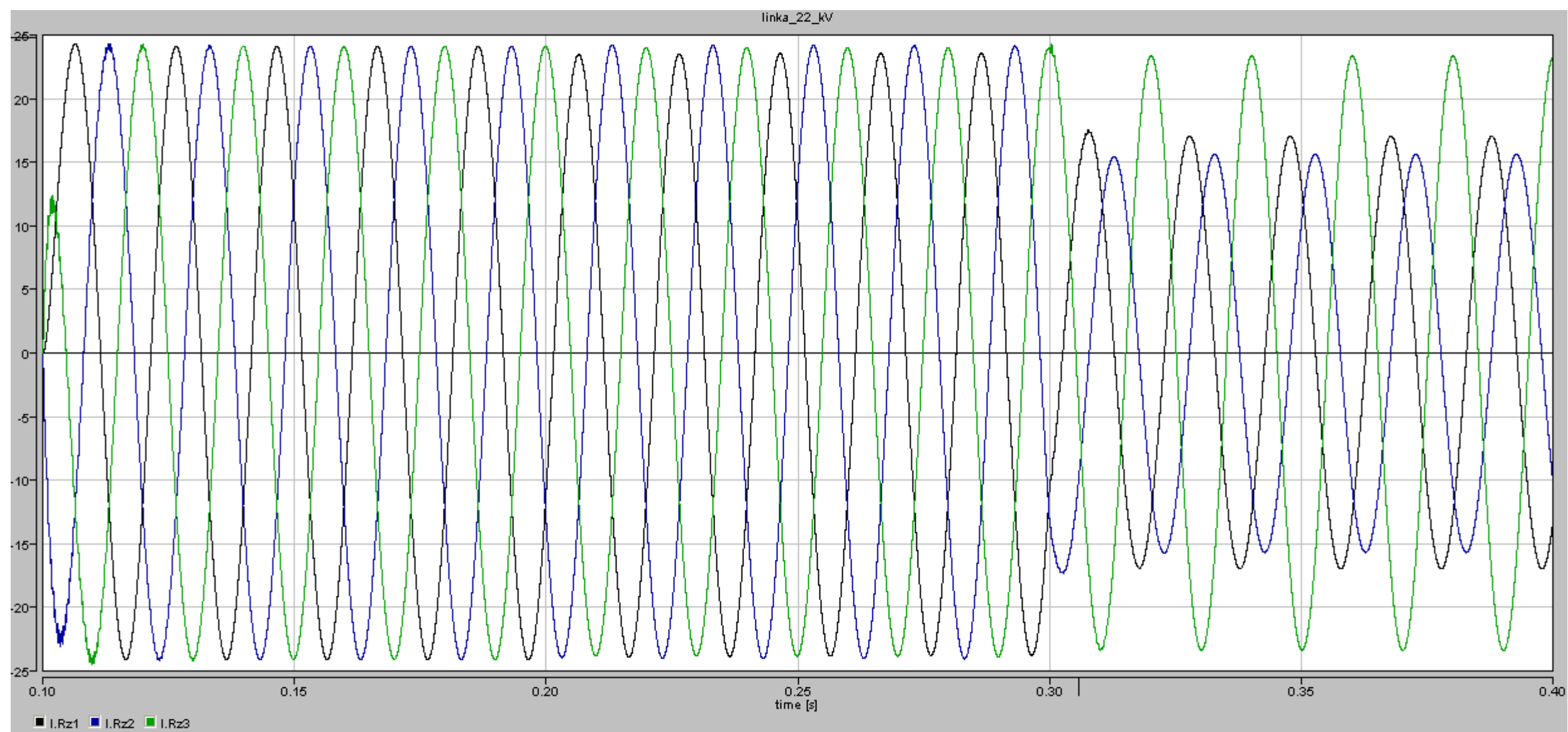
Příloha č. 13: Časový průběh proudů na rezistorech Rv1, Rv2 a Rv3 v síti „Mirovice“



Příloha č. 14: Časový průběh proudů na rezistorech Rv13, Rv14 a Rv15 v síti „Mirotice“



Příloha č. 15: Časový průběh proudů na zátěži umístěné na prvním paprsku sítě „Mirovice“ nejbliže k transformátoru



Příloha č. 16: Časový průběh proudů na zátěži umístěné na druhém paprsku sítě „Mirotice“ nejdále od transformátoru

