

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ  
ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Ochrany pro trakční napájecí stanice pro systém 25 kV,  
50 Hz**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin BULÍN**

Osobní číslo: **E16B0006P**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**

Název tématu: **Ochrany pro trakční napájecí stanice pro systém 25kV, 50Hz**

Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

Práce bude obsahovat :

1. Proveďte stručné shrnutí problémů související s provozem současných TNS (trakčních napájecích stanic), zejména z hlediska ochran.
2. Popište klasická řešení ochran TNS pro systém 25 kV, 50Hz. Popis funkce jednotlivých používaných ochran pro TNS a další související zařízení.
3. Zrealizujte simulační model TNS v krizových stavech (proudové přetížení, blízký zkrat na troleji, vzdálený zkrat na troleji atd.), včetně příslušného identifikaci poruchy a následného akčního zásahu ochran.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Doleček R., Černý O. : "Trakční napájecí soustavy: studijní opora"  
Univerzita Pardubice, DFJP, Pardubice 2015.

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Martin Pittermann, Ph.D.

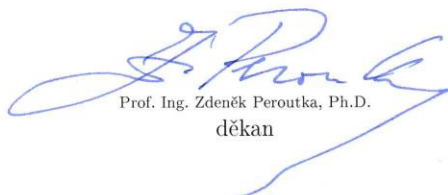
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce:

5. října 2018

Termín odevzdání bakalářské práce:

13. června 2019

  
Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kús, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena problematiku ohledně ochran a provozu trakčních napájecích stanic 25 kV, 50 Hz. Práce je především zaměřena na trakční soustavu 25 kV, 50 Hz, ale jsou v ní zmíněné i další používané trakční soustavy v Evropě. Dále je rozebrána problematika ochran a poruchových stavů na střídavé trakci 25 kV, 50 Hz.

## **Klíčová slova**

Trakce, stejnosměrná trakce, rozvodna, střídavá trakce, trakční napájecí stanice, trakční soustava, trakční vedení, blízký zkrat, vzdálený zkrat

**Abstract**

This bachelor thesis is focused on the issue of protection and operation of traction power stations 25 kV, 50 Hz. The work is mainly focused on the traction system 25 kV, 50 Hz, but there are also mentioned other used traction systems in Europe. Furthermore, the issue of protection and fault conditions on alternating traction of 25 kV, 50 Hz is discussed.

**Key words**

Traction, DC traction, substation, AC traction, traction substation, traction system, overhead line, near short circuit, remote short circuit

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou 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 bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 12.6.2019

Martin Bulín

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Martinovi Pittermannovi, Ph.D. za cenné připomínky, pomoc a konzultace bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Miroslavovi Hoškovi a panu Josefu Silovskému ze SŽDC za poskytnutí odborných připomínek, materiálů a rad.

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ÚVOD .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>1. TRAKČNÍ SOUSTAVY POUŽÍVANÉ V EVROPĚ .....</b>                           | <b>11</b> |
| 1.1 TRAKČNÍ SOUSTAVA DC 3 kV.....   | 12        |
| 1.2 TRAKČNÍ SOUSTAVA 15 kV, 16,7 Hz.....                                      | 13        |
| 1.3 TRAKČNÍ SOUSTAVA 25 kV, 50 Hz.....  | 14        |
| 1.3.1 Princip .....   | 14        |
| 1.3.2 Výhody .....  | 14        |
| 1.3.3 Nevýhody.....   | 14        |
| 1.3.4 Soustava v ČR.....  | 15        |
| 1.3.5 Schéma soustavy .....   | 17        |
| <b>2. TRAKČNÍ NAPÁJECÍ STANICE 25 KV/50 HZ.....</b>                           | <b>18</b> |
| 2.1 PRINCIP.....  | 18        |
| 2.2 ZAPOUZDŘENÁ ROZVODNA 110 kV .....   | 19        |
| 2.3 PROVEDENÍ .....   | 20        |
| 2.3.1 Napájení jednofázovým transformátorem .....                             | 20        |
| 2.3.2 Napájení pomocí zapojení do „V“ .....                                   | 21        |
| 2.3.3 Napájení pomocí Scottova transformátoru .....                           | 24        |
| 2.3.4 Napájení trojfázovým transformátorem s nesouměrným sekundár. vinutím .. | 24        |
| 2.4 TRAKČNÍ TRANSFORMÁTOR .....   | 25        |
| 2.4.1 Trakční transformátory momentálně používané v ČR.....                   | 25        |
| 2.4.2 Trakční transformátory dříve používané v ČR .....                       | 26        |
| 2.5 FILTRAČNĚ-KOMPENZAČNÍ ZAŘÍZENÍ.....                                       | 27        |
| 2.6 SPÍNACÍ STANICE SPS.....  | 28        |
| 2.7 MODEL TRAKČNÍ NAPÁJECÍ STANICE KLATOVY .....                              | 29        |
| <b>3. OCHRANY TNS .....</b>   | <b>30</b> |
| 3.1 KOORDINACE OCHRAN.....  | 30        |
| 3.2 KOORDINACE OCHRAN HNACÍHO VOZIDLA A TNS .....                             | 30        |
| 3.2.1 Požadavky na součinnost trakčního vozidla a infrastruktury.....         | 30        |
| 3.2.2 Splnění požadavků .....   | 31        |
| 3.3 BLOKOVÉ SCHÉMA OCHRAN TT .....  | 32        |
| 3.4 OCHRANY NAPÁJECÍHO OBVODU V TT NA STRANĚ 110 kV .....                     | 33        |
| 3.5 OCHRANY NAPÁJECÍHO OBVODU V TT NA STRANĚ 27 kV .....                      | 33        |
| 3.6 OCHRANY NAPÁJECÍHO OBVODU V SPS .....                                     | 34        |
| 3.7 ZÁKLADNÍ PARAMETRY TV .....   | 34        |
| 3.8 VÝPOČET ZKRATOVÉHO PROUDU .....   | 36        |
| 3.9 VÝPOČET VELIKOSTI NAPĚTÍ V MÍSTĚ SPS PŘI ZKRATU NA TV .....               | 36        |
| <b>4. NASTAVENÍ RELÉOVÝCH OCHRAN NAPÁJECÍHO OBVODU .....</b>                  | <b>37</b> |



---

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 4.1       | SELEKTIVITA OCHRAN .....                     | 37        |
| 4.2       | NASTAVENÍ NA STRANĚ 110 kV TT .....          | 38        |
| 4.3       | OCHRANY NA STRANĚ 27 kV TT .....             | 38        |
| 4.4       | ZPĚTNÁ WATTOVÁ OCHRANA.....                  | 39        |
| 4.5       | DISTANČNÍ NAPÁJECÍ OCHRANA.....              | 39        |
|           | 4.5.1 Nastavení distanční ochrany.....       | 40        |
|           | 4.5.2 Charakteristika distanční ochrany..... | 41        |
| <b>5.</b> | <b>SIMULACE PROVOZNÍCH STAVŮ .....</b>       | <b>42</b> |
|           | 5.1 MOTORICKÝ REŽIM .....                    | 43        |
|           | 5.2 REŽIM REKUPERACE.....                    | 44        |
|           | 5.3 PORUCHOVÝ STAV – POKLES NAPĚTÍ.....      | 45        |
|           | 5.4 PORUCHOVÝ STAV ZKRAT .....               | 46        |
| <b>6.</b> | <b>ZÁVĚR .....</b>                           | <b>46</b> |
| <b>7.</b> | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                  | <b>49</b> |
| <b>8.</b> | <b>BIBLIOGRAFIE.....</b>                     | <b>50</b> |

## Úvod

Tato bakalářská práce je zaměřena na Trakční soustavu 25 kV, 50 Hz, a to zejména na ochrany trakčních napájecích stanic.

Text je rozdělen do pěti kapitol a ty jsou rozděleny do jednotlivých podkapitol.

První kapitola obsahuje princip, výhody i nevýhody různých trakčních soustav, střídavých i stejnosměrných, které se objevují v Evropě.

Ve druhé kapitole se snažím popsat problematiku týkající se trakčních napájecích stanic ve systému střídavé trakční soustavy 25 kV, 50 Hz. V kapitole se nachází také princip zapouzdřených rozvodů. Další části této kapitoly jsou způsoby provedení střídavých napájecích stanic a typy používaných trakčních transformátorů. Je zde taky popsána spínací stanice a také filtračně kompenzační zařízení.

Ve třetí kapitole se nachází pojednání o používaných ochranách v trakčních napájecích stanicích. Začátek obsahuje koordinaci ochran a blokové schéma používaných ochran. Poté jsem se pokusil popsat jednotlivé typy používaných klasických ochran používaných v TNS a SpS. A také obsahuje výpočet zkratového proudu.

Čtvrtá kapitola obsahuje hodnoty, které se nastavují na jednotlivých ochran používaných v TNS a obsahuje popis zpětné wattové ochrany a distanční napájecí ochrany.

V poslední kapitole se objevují jednotlivé průběhy napětí a proudu, při různých provozních stavech.

## Seznam symbolů a zkratk

AC.....střídavý proud

DC.....stejnsměrný proud

TNS.....Trakční napájecí stanice

TT.....Trakční transformovna

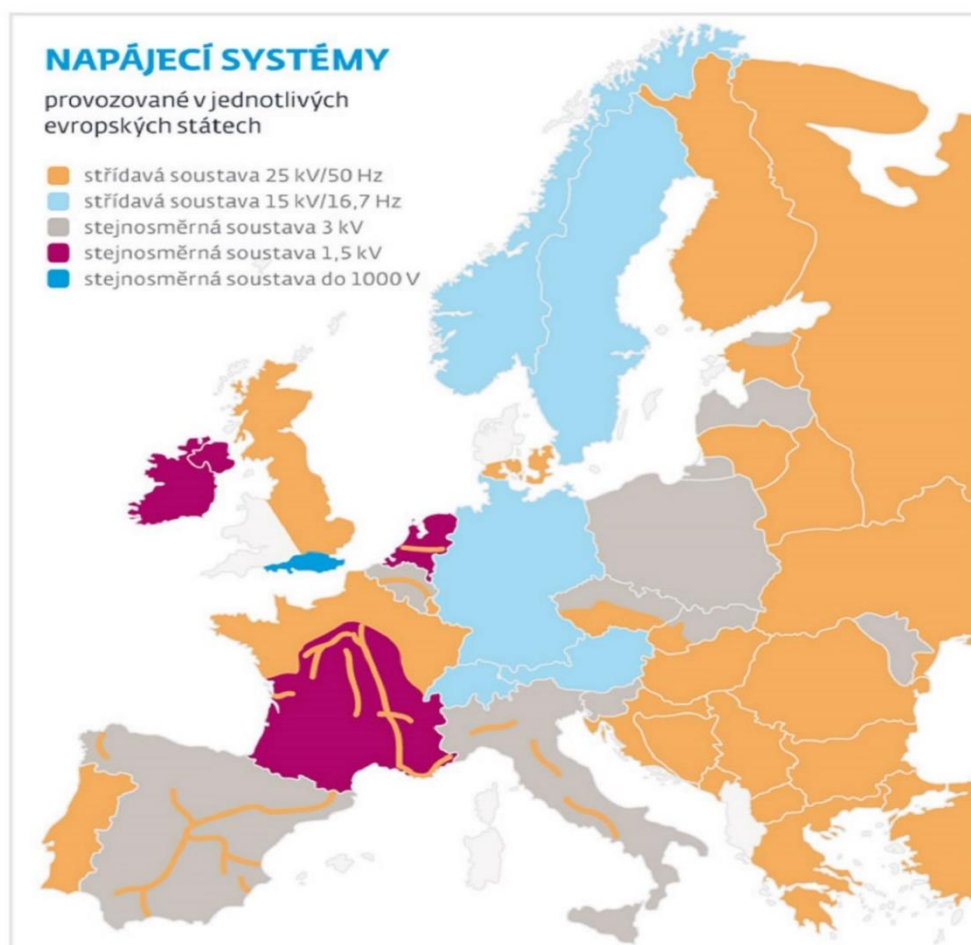
TV.....Trakční vedení

SpS.....Spínací stanice

## 1. Trakční soustavy používané v Evropě

Trakční soustava je taková soustava zařízení, kvůli kterým dochází pomocí trakční napájecí stanice k napájení trakčního vedení a z něj jsou napájena trakční vozidla. Trakčními vozidly jsou myšleny elektrické lokomotivy, tramvaje, metro, trolejbusy, aj... Trakční soustavy jsou rozdílné taky podle technického provedení nebo podle napět'ových hladin. Např. napájení MHD se pohybuje do hodnoty 1 kV, v Plzni je použito DC 600 kV, ale na železnici, např. v ČR se používají hodnoty DC 3 kV a AC 25 kV. [1]

V Evropě se na železnicích provozuje hned 5 různých trakčních soustav, a to co se týče hladiny napětí, ale také zda se jedná o soustavu střídavou nebo stejnosměrnou. Nejpoužívanější soustavy jsou stejnosměrná soustava 3 kV, poté střídavé soustavy 15 kV/16,7 Hz a 25 kV/50 Hz. [2]



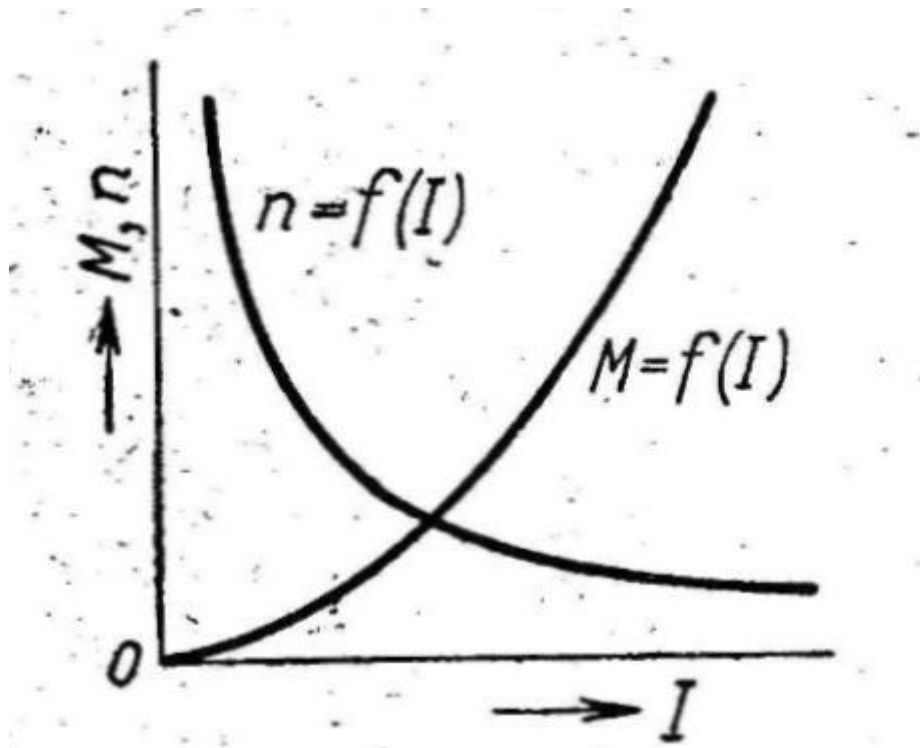
Obr. 1-1 Rozdělení typů trakčního napájení v Evropě převzato z [2]

U nás v ČR jsou provozovány majoritně dvě soustavy a DC 3kV a AC 25kV/50 Hz. V nejbližších letech je snaha převést na jednu soustavu, a to na střídavou, ale kdy se to uskuteční, není jasné. Ještě se objevují krátké úseky trakce DC 1,5 kV (úsek Tábor – Bechyně) a trakce AC 15 kV, 16 2/3 Hz (úsek mezi Znojmem a rakouským Retzem). [3]

### **1.1 Trakční soustava DC 3 kV**

Tato soustava byla vynalezena v Itálii ve dvacátých letech 20. století. Při napájení troleje musí být použity měnírny. V měnírně dochází k přeměně z veřejné distribuční sítě AC 22 kV k transformaci a usměrnění na DC 3 kV.

Vozidla jsou jednodušší, a to zejména co se týče motoru. U trakce se využíval komutátorový motor se sériovým buzením. Jeho hlavní výhodou je jeho momentová charakteristika. V dnešní době se spíše používají stejnosměrné motory s cizím buzením a s upraveným řízením tak, aby se dosáhlo podobné charakteristiky jako má komutátorový motor se sériovým buzením a zároveň bylo lépe dosaženo rekuperace. [3]



Obr. 1-2 Momentová charakteristika sériového motoru převzato z [2]

Dříve byla k rozjezdu používána odporová regulace rozjezdu vozidel. Dále musí být u tratě zabezpečeny kovové prvky před bludnými proudy. Nevýhodami jsou již výše zmíněné „složitě“, a tím pádem drahé měřírny, potřeba vyššího průřezu vodičů z důvodu menšího napětí a tím pádem při stejné zátěži je potřeba vyšší proud. Dále, že mezi měřírnami nemohou být takové rozestupy jako mezi TT u AC trakce.

## 1.2 Trakční soustava 15 kV, 16,7 Hz

Střídavá soustava, která byla zavedena ve Švýcarsku, Německu a Rakousku na začátku 20. let 20. století, o napětí 15 kV a zvláštní frekvenci 16,7 Hz. Důvody k zavedení této soustavy byly především technické, protože tuhle frekvenci je možné totiž ještě stále transformovat normálními transformátory, transformátor je pouze větších rozměrů, protože musí být větším magnetickým obvodem, který je v praxi vyráběn především ze železa. Navíc napětí o této frekvenci může napájet univerzální komutátorové motory bez použití usměrňovače.

Kvůli této soustavě je třeba stavět vlastní elektrárny s výstupní jednofázovou sítí s frekvencí 16,7 Hz (dříve 16 a 2/3 Hz, změněno kvůli celočíselnému dělení). Tato vlastnost se může jevit jako nevýhoda, ale výhodou je díky jednofázové síti možnost bezproblémové

rekuperace, jelikož není použita třífázová veřejná distribuční soustava. Ta pak není nesouměrně zatížena. Soustava je izolovaná od sítě. Díky menšímu kmitočtu, než je průmyslový 50 Hz je menší impedance vedení a s tím spojené úbytky na vedení. Díky této vlastnosti je možno stavět napájecí stanice ve větší vzdálenosti od sebe.

### **1.3 Trakční soustava 25 kV, 50 Hz**

Vynálezce této soustavy byl maďarský elektrotechnik Kálmán Kandó, který poprvé ve 20. letech 20. století v Maďarsku uskutečnil myšlenku napájení lokomotiv proudem s frekvencí 50 Hz. Jednalo se pouze o pár lokomotiv a krátké úseky.

#### **1.3.1 Princip**

Na rozdíl od stejnosměrné trakce je tato provozována jako paprsková. Jelikož oboustranné napájení není možné z důvodu nežádoucích vyrovnávacích proudů mezi TNS. Z každé TNS je napájen úsek, až po spínací stanici, která umožňuje v případě odstávky nebo poruchy TNS, prodloužit úsek napájený z jiné TNS. TNS má pro každou traťovou kolej vždy samostatný vývod. [3]

#### **1.3.2 Výhody**

Provedení systému 25 kV, 50 Hz je jednodušší oproti DC trakci, a to zejména co se týče TNS. Napájecí stanice totiž pouze transformuje z hladiny 110 kV na 27 kV, průmyslový kmitočet 50 Hz tak zůstává.

Další nespornou výhodou této varianty trakce vůči stejnosměrné jsou malé úbytky na trakčním vedení, z důvodu použité vyšší napěťové hladiny. A z toho plyne další ohromná výhoda a to je velká vzdálenost mezi TNS, která dosahuje hodnoty mezi 40 až 60 km. [3]

Z důvodu vyšší napěťové hladiny je také možný menší průřez vedení a s tím i spojené menší náklady na vedení, a zároveň i podpěr a jejich základů. [4]

#### **1.3.3 Nevýhody**

V České republice byla do roku 2008 rekuperace úplně zakázaná, ale od roku 2008 je možnost rekuperace ve zkušebním režimu, a to dle zvláštního ustanovení SŽDC.

K rekuperaci na této hladině dochází pouze v napájených úsecích, kde distributorem elektrické energie je E. ON. . Další nevýhodou je nesymetrické zatížení distribuční soustavy dodavatele. Z tohoto důvodu odebíraný výkon může být max. 2 % zkratového výkonu sítě. A také vyšší náklady na výzbroj trakčních vozidel, jelikož se využívají trakční stejnosměrné motory, jde o stejnosměrné motory s cizím buzením. [2]

#### **1.3.4 Soustava v ČR**

První střídavá soustava, konkrétně právě AC 25 kV, 50 Hz, v tehdejší ČSSR byla zavedena a odsouhlasena v dubnu roku 1959, přesněji na 59 km dlouhém úseku Plzeň – Horažďovice předměstí (tehdy Babín). Zkušební provoz na trati proběhl v říjnu roku 1963.

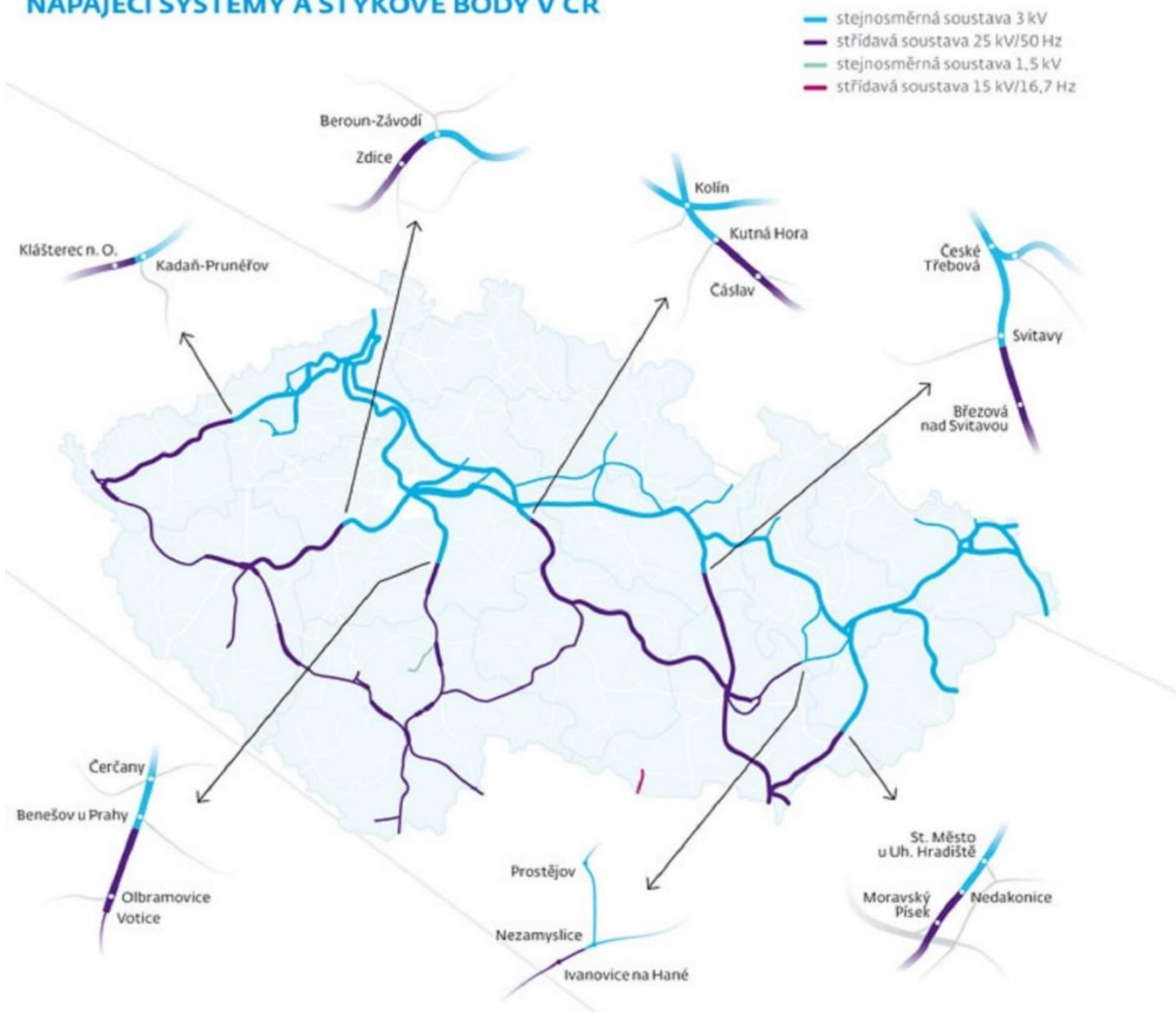
[3]

Trakční soustava AC 25 kV, 50 Hz je v ČR situována viz Obr. 1.3 spíš v jižní části republiky (Českobudějovicko, Jižní Morava), ale objevuje se také v Plzeňském kraji a Karlovarském kraji.

Podle zaměstnanců SŽDC a ministerstva dopravy je v plánu v ČR přejít kompletně na tento typ trakční soustavy. Ale zatím je tato myšlenka v nejbližších letech nereálná, a to především kvůli hodnotě této modernizace. Důvody k tomuto kroku jsou, že např. by nebylo potřeba vyrábět dražší více systémové lokomotivy, jedná se o trakční vozidla, která jsou schopna přejet stykové body různých napájecích soustav, a následně se adaptuje jiné napájecí soustavě. Tyto lokomotivy např. musí obsluhovat osobní i nákladní dopravu z Plzně do Prahy, jelikož v okolí Prahy je viz Obr. 1.3 DC trakce.



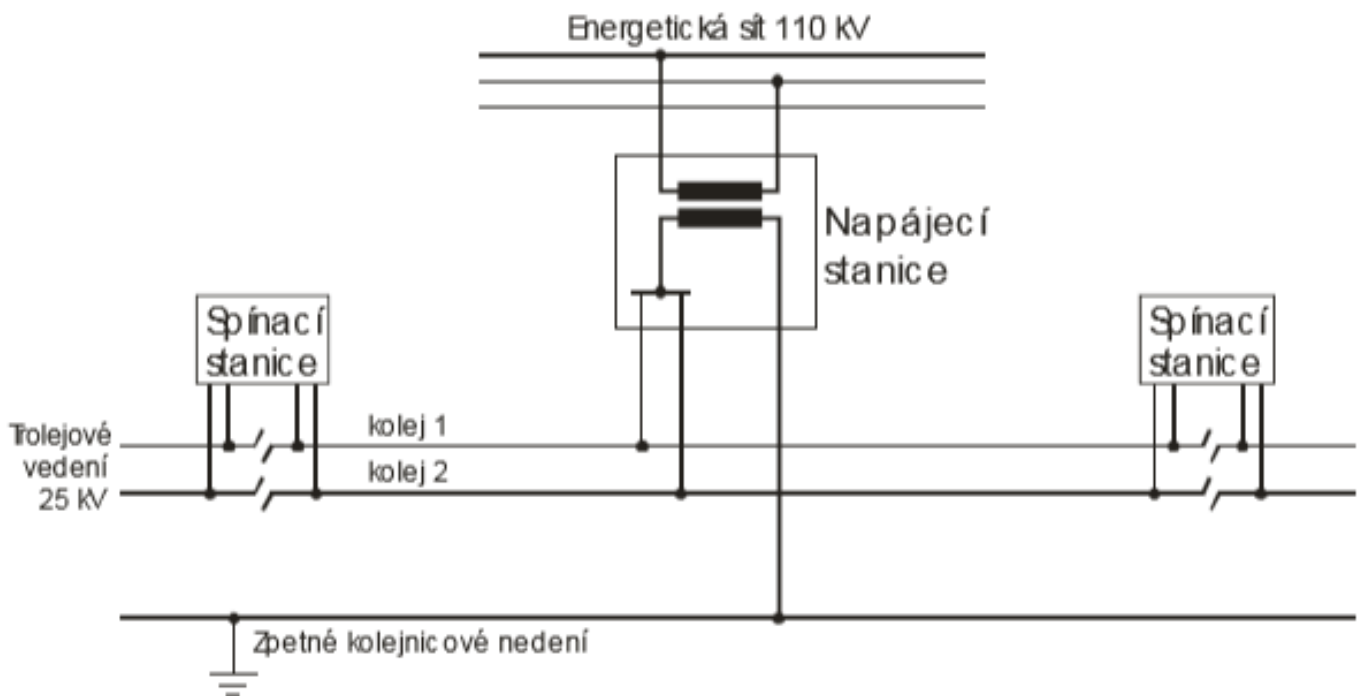
## NAPÁJECÍ SYSTÉMY A STYKOVÉ BODY V ČR



Obr. 1-3 Trakční soustavy v ČR převzato z [2]

### 1.3.5 Schéma soustavy

Soustava se skládá z TNS, spínací stanice, distribuční stanice, napájecího a trolejového vedení.



Obr. 1-4 Zjednodušené schéma trakční soustavy při zapojení napájení jednofázovým transformátorem převzato z[5]

## 2. Trakční napájecí stanice 25 kV/50 Hz

U střídavé trakce se spíše, podle principu jednoduché transformace z napět'ové hladiny 110 kV na 27 kV, používá název trakční transformovna (TT). [3]



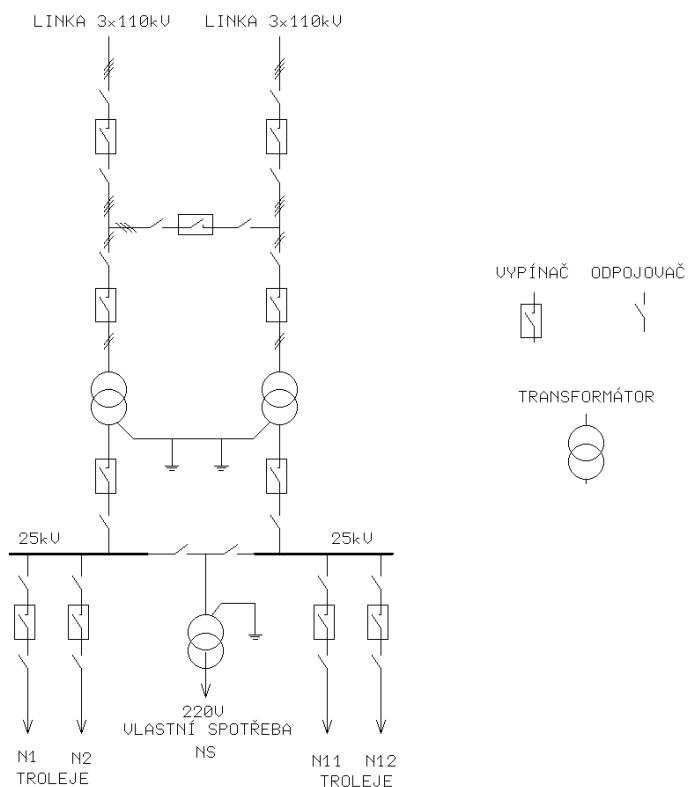
Obr. 2-1 TT Kadaň převzato z [6]



Obr. 2-2 Skříňový rozvaděč na straně 27 kV převzato z [6]

### 2.1 Princip

Na přívodní straně se jedná o rozvodnu velmi vysokého napětí (v České republice výhradně 110 kV). Skládá se z 1fázových transformátorů 110/27 kV. [7]



Obr. 2-3 Schéma TNS převzato z [8]

## 2.2 Zapouzdřená rozvodna 110 kV

V České republice je podle požadavků dopravců řešení rozveden 110 kV zcela unikátní. Na TT Blansko a Svitavy je z důvodu ekologie, a také z důvodu rozměrových, použita tzv. zapouzdřená rozvodna. Jde o to, že rozvaděč, který je umístěn na straně 110 kV, se jmenovitým napětím 123 kV je zapouzdřen plynem SF<sub>6</sub> (hexafluorid síry). Výrobce tohoto rozvaděče je firma ABB, přesněji jde o typ ELK-O.

Uspořádání rozveden je takzvané „H“, kdy jde o dvouřadou rozvodnu s jedním systémem podélně dělených přípojníc se čtyřmi vypínači se zhášecím principem SF<sub>6</sub>. Z venkovního prostředí je vstup do rozvodny proveden pomocí průchodek SF<sub>6</sub> – vzduch. V jejich blízkosti jsou umístěny také svodiče přepětí, ochrana před atmosférickým přepětím. Trakční transformátor je připojen na straně 110 kV pomocí zapouzdřených vodičů s průchodkami olej – SF<sub>6</sub>.

Výhodou tohoto provedení je nesporně to, že rozvodna na rozdíl od stávajících venkovních rozveden zabírá o dost méně místa. Další výhodou je to, že rozvodna nepodléhá

vnějším vlivům (znečištění, vlhkost atp.). Z toho vyplývá, že u rozvodny jsou nepatrné požadavky na údržbu, při normálních podmínkách lze ji pokládat jako bezúdržbovou. Nevýhodou jsou samozřejmě vyšší pořizovací náklady. [9]

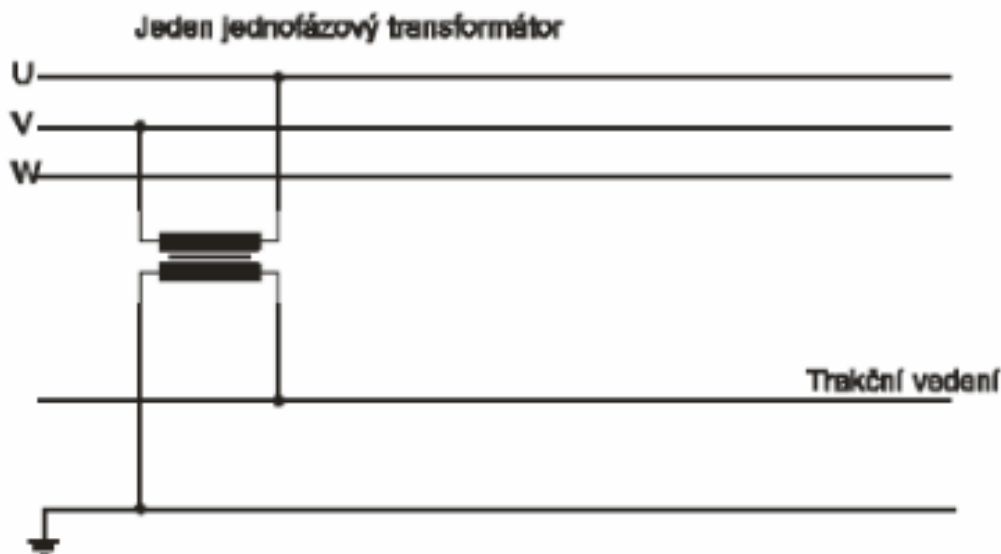


*Obr. 2-4 Zapouzdřená rozvodna Svitavy od ABB převzato z[9]*

## **2.3 Provedení**

### ***2.3.1 Napájení jednofázovým transformátorem***

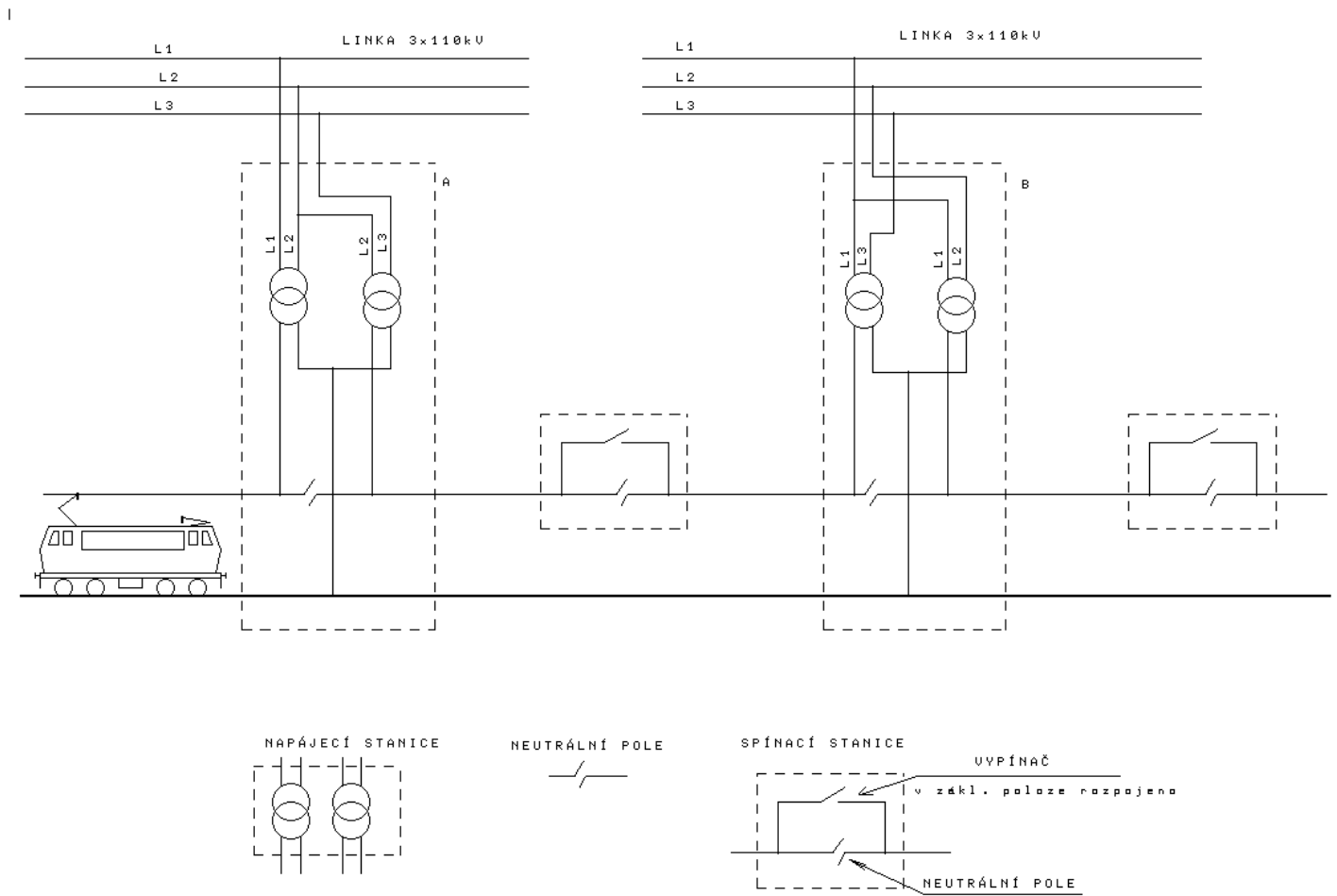
Napájení trakčního vedení obyčejným jedním 1f transformátorem, kdy primární vinutí, na trojfázové straně 110 kV, je připojeno mezi dvěma fázemi. Jde o nejjednodušší způsob provedení, ale distribuční síť není symetricky zatížena. První pokus tohoto zapojení v České republice bylo použito v 60. letech 20. století v TNS Nezvěstice (dnes použito zapojení do „V“), která je umístěna na trati z Plzně do Českých Budějovic. Tato varianta se u nás v České republice používá v TNS, které jsou umístěny na konci napájení. Například se používá toto zapojení v TNS Klatovy, kde se počítalo s tím, že by byla prodloužena elektrifikace až do Železné Rudy. Dnes je napájen jen úsek Plzeň – Klatovy. Z tohoto důvodu je použito toto zapojení, přestože v TNS Klatovy jsou umístěny dva trakční transformátory viz Obr 2.13.



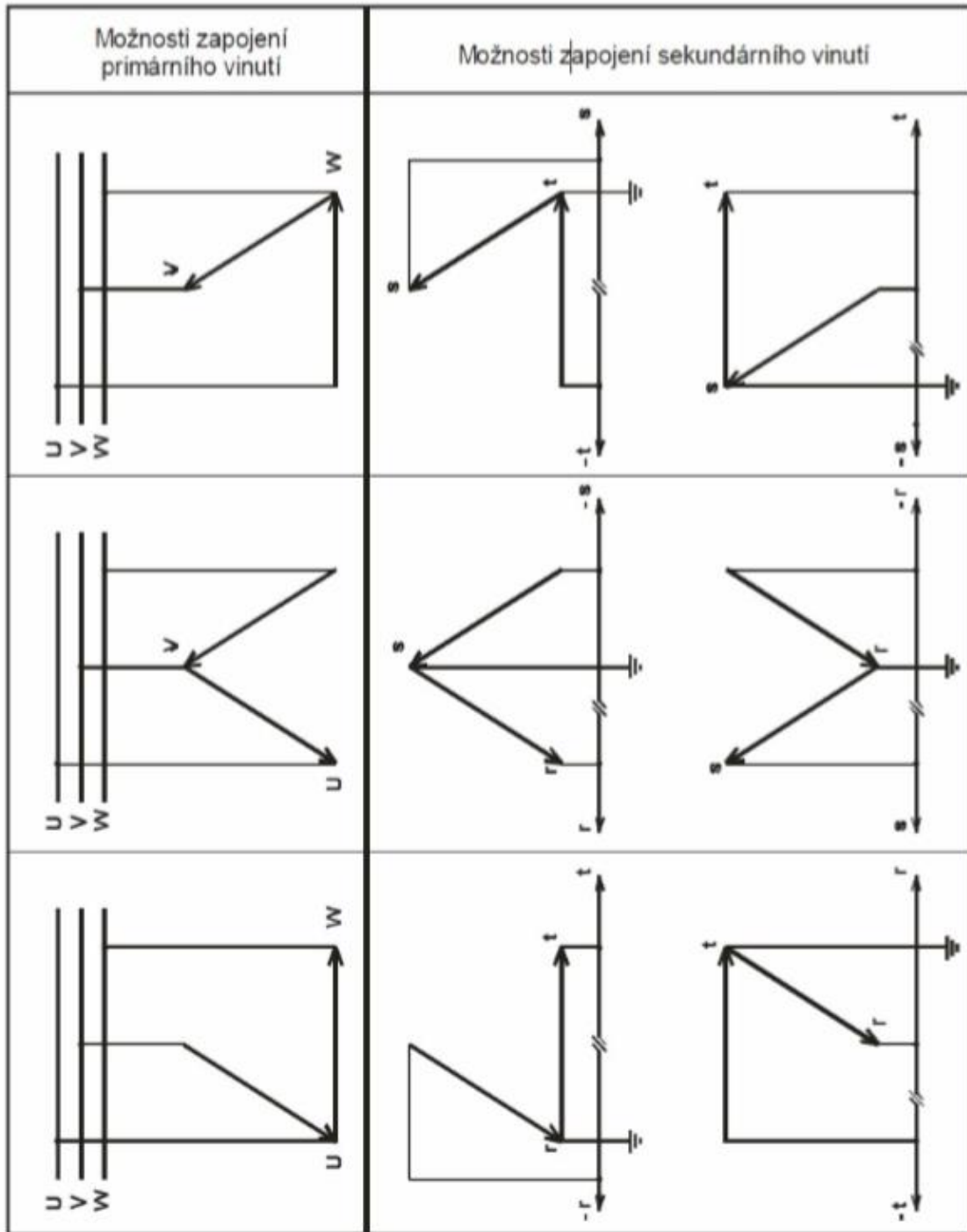
Obr. 2-5 Napájení jedním jednofázovým transformátorem převzato z [7]

### 2.3.2 Napájení pomocí zapojení do „V“

Napájení trakčního vedení dvěma 1f transformátory, které jsou připojeny na dvě rozdílné fáze distribuční trojfázové sítě- tzv. zapojení do „V“. Zde dochází k prohazování fází a tím pádem se zmenšuje nesouměrnost zatížení. Jelikož je zde fázový posuv  $120^\circ$ , je mezi fázemi rozdíl napětí. Z tohoto důvodu je se mezi těmito úseky nachází tzv. neutrální pole. Kdyby se tohle pole v napájeném úseku neobjevilo došlo by k mezifázovému zkratu. Při průjezdu tímto úsekem, kde je nulové napětí, může lokomotiva mít sběrač nahoře, ale musí mít vypnutý hlavní vypínač. Jde o nejobvyklejší způsob napájení v České republice. Každá TT obsahuje dva trakční transformátory, které jsou připojeny na různé fáze.



Obr. 2-6 Napájení soustavy 25 kV, 50 Hz pomocí transformátorů zapojených do "V"  
převzato z [5]

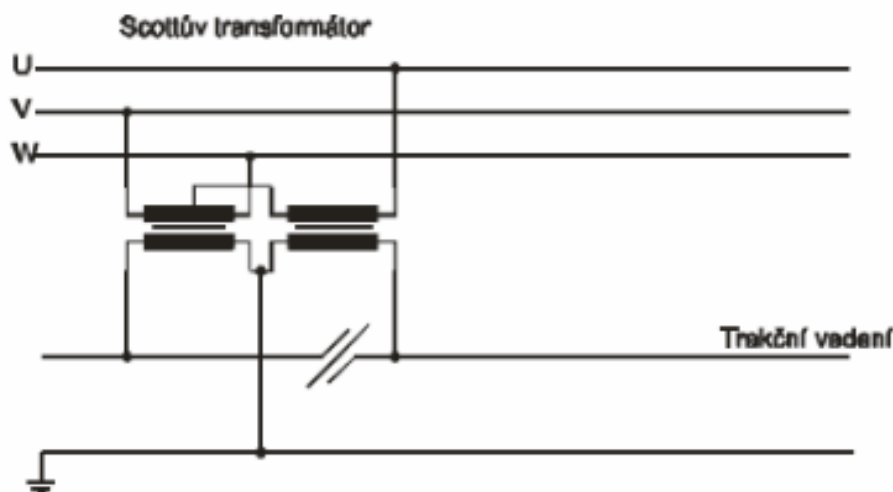


Obr. 2-7 Fázorové zapojení do "V" převzato z[7]



### 2.3.3 Napájení pomocí Scottova transformátoru

Třetím způsobem napájení je použití tzv. Scottův transformátor. Transformátor má speciální konstrukci a symetricky zatěžuje trojfázovou stranu napájení.[7]

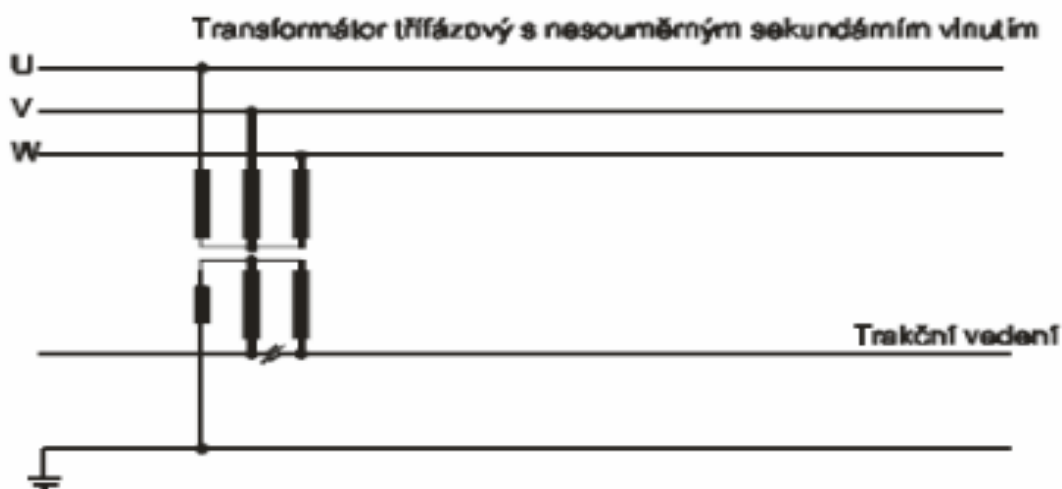


Obr. 2-8 Napájení pomocí Scottova transformátoru převzato z [7]

### 2.3.4 Napájení trojfázovým transformátorem s nesouměrným sekundárním vinutím

Dalším způsobem je napájení trojfázovým transformátorem s nesouměrným sekundárním vinutím. Při stejné jednofázové zátěži trolejového vedení symetricky zatěžuje trojfázovou síť.

[7]



Obr. 2-9 Napájení pomocí 3fázového transformátoru s nesouměrným sekundárním vinutím převzato z [7]

## 2.4 Trakční transformátor

Trakční transformátory používané v ČR jsou výhradně jednofázové. Primární strana je připojena na stranu vvn, přesněji na hladinu 110 kV, a to mezi dvě fáze třífázové distribuční soustavy. Sekundární strana je jedním pólem spojena přes rozvodnu 27 kV na trolejové vedení. Druhý pól sekundáru je přizemněn a propojený s kolejnicovým vedením.

V ČR jsou obvykle v TT dva trakční transformátory, a to spojeny do „V“. Tudíž je jedna ze tří fází pro oba transformátory společná a druhá je odlišná. Mezi napájené úseky různými transformátory musí být vložen tzv. neutrální úsek. Fáze ale musím být tak řazené, aby sousední TT mohli být sepnuté. Jsou-li v jedné TT připojeny oba trakční transformátory na jednu společnou fázi musí být vyloučen paralelní chod těchto dvou transformátorů. Paralelní chod je připuštěn v krátké době, přesněji do 12 s, při přepínání mezi těmito transformátory a zároveň, aby nedošlo k přerušení napájení. Tuhle dobu určuje norma ČSN 33 3505 ed.2. [3]

### 2.4.1 Trakční transformátory momentálně používané v ČR

Olejšové transformátory, které vyrábí **Škoda Plzeň (ETD)**

#### typ EJRH28M-7

- Převod 110/27 kV
- Jmenovitý výkon 12,5 MVA
- Jmenovitý převod naprázdno  $110 \pm 8 \times 2\% / 27 \text{ kV}$
- Jmenovitý proud 113,6/463 A
- Kmitočet 50 Hz
- Chlazení ONAN

### 2.4.2 Trakční transformátory dříve používané v ČR

Dříve použité transformátory, které byly postupně nahrazeny výše uvedeným transformátorem

#### typ EJRH 6989/71

- Trvalý výkon bez ofukování 6,5 MVA
- Jmenovitý výkon s trvalým ofukováním 8 MVA
- Jmenovitý převod naprázdno  $110 \pm 8\%$ /27kV
- Jmenovitý proud 72,5/296 A
- Kmitočet 50 Hz
- Chlazení ONAN/ONAF

#### typ EJRH 7491/75

- Trvalý výkon bez ofukování 10 MVA
- Jmenovitý výkon s trvalým ofukováním 13,3 MVA
- Jmenovitý převod naprázdno  $110 \pm 8\%$ /27kV
- Jmenovitý proud 121/492 A
- Kmitočet 50 Hz
- Chlazení ONAN/ONAF

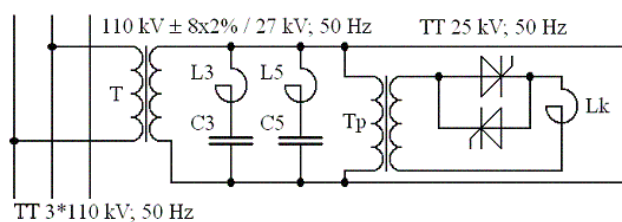
[3]

## 2.5 Filtračně-kompenzační zařízení

Toto zařízení, jak název napovídá, kompenzuje zpětné negativní vlivy spotřebičů, v našem případě trakčních vozidel. Pod pojmem negativních vlivů si můžeme představit odběr a dodávka jalové energie, deformace průběhu napětí z důvodu přítomnosti vyšších harmonických složek proudu a nesymetrie zátěže. FKZ se používá z důvodu nařízeného účinníku  $\cos\varphi=0,95$  až 1, a to indukčního charakteru. Přímou FKZ zajišťuje plynulé a rychlé řízení jalového výkonu, filtraci nežádáných vyšších harmonických, možnost řízení zvlášť každé fáze při nesymetrii zatížení.

FKZ pomocí dynamických kompenzátorů, které tvoří sériová kombinace filtrační tlumivky a kondenzátoru, slouží jako filtr pro odstranění nežádoucích vyšších harmonických kmitočtů, a to 3,5,7...atd. a současně do sítě dodávají kapacitní proud. Jestliže síť není zatížena tento proud je eliminován pomocí dekompenzační tlumivky.

FKZ v České republice se zatím používají ve variantě, kdy je použit snížovací transformátor na 3 kV, 5 kV, 6 kV a 10 kV, a filtry jsou naladěny na 3. a 5. harmonickou a s rezervou na 7. harmonickou, která je spíše v rezervě a je občas testována SŽDC. FKZ je opatřen každý trakční transformátor. [3]



Obr. 2-10 Zapojení FKZ převzato z[10]



Obr. 2-11 FKZ v TT Svitavy převzato z [9]

## 2.6 Spínací stanice SpS

Dalším prvkem použitým v trakční soustavě 25 kV je tzv. Spínací stanice. Jde o stanice, která od sebe odděluje někde v půli napájeného úseku dvě trakční transformovny.

Spínací stanice jsou obecně zřizovány na úseku mezi dvěma trakčními transformovnami. Především pro zvýšení spolehlivosti napájení elektrizovaných tratí. Dále pro zvýšení výkonnosti pevných elektrických trakčních zařízení (trakčních transformátorů). A dalším důvodem zřízení SpS je zvýšení propustnosti elektrizovaných tratí.

Buď jsou vícevypínačové spínací stanice, které musí umožňovat buď jednostranné napájení trakčního vedení z přilehlé TT nebo dvoustranné napájení TV při paralelní spolupráci přilehlých TT. Zároveň vícevypínačové SpS musí být schopna podélně propojit obě stopy TV při přerušeném napájení z jedné TNS nebo musí být schopna příčně propojit obě stopy TV.

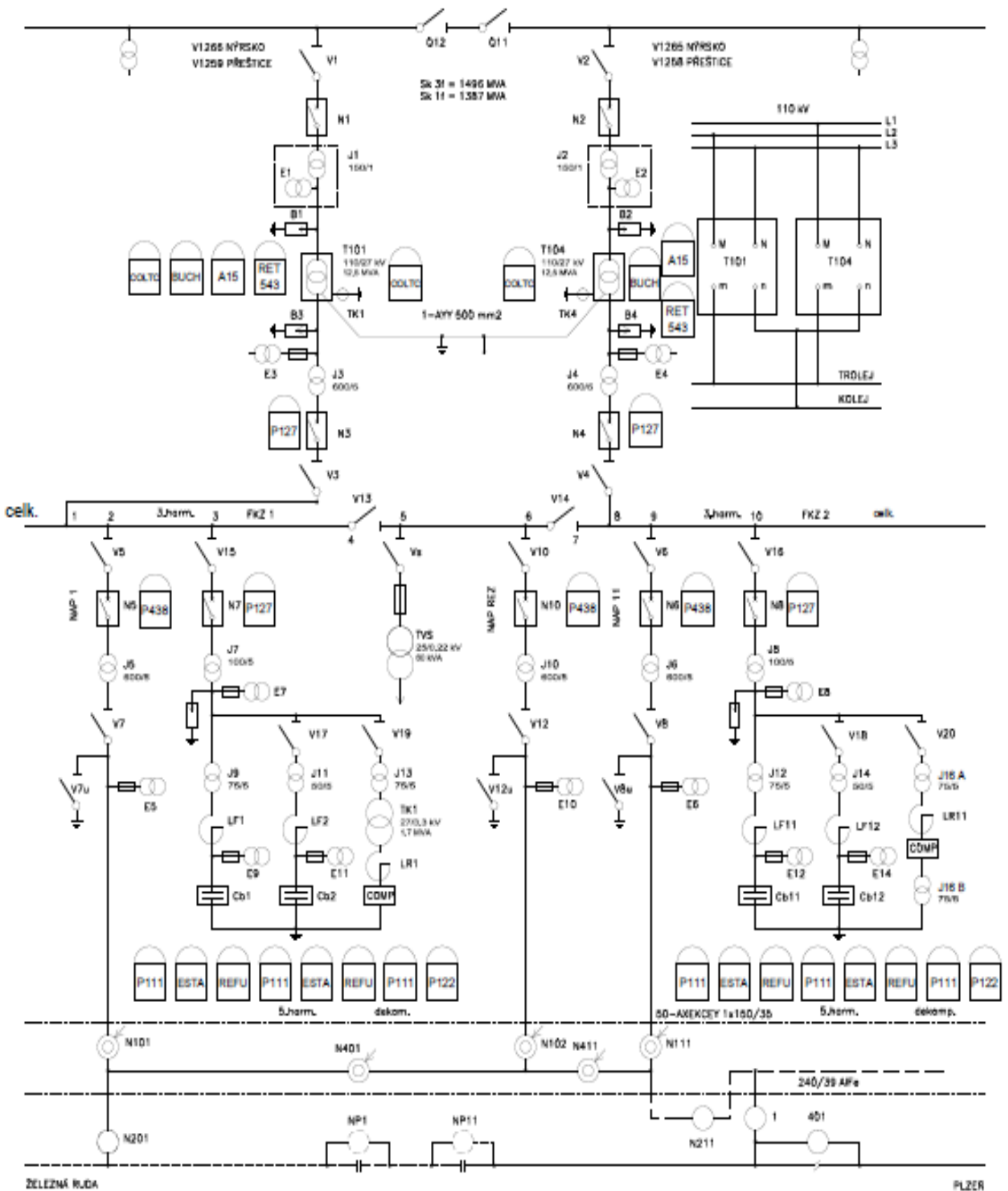
Vícevypínačové SpS u soustavy AC 25 kV/50 Hz musí splňovat to, že nedojde k propojení obou přilehlých TT, zároveň musí být schopna odepnout selektivně vadný úsek napájení. Ještě musí být schopna znemožnit samočinnému vypnutí vypínače podpěťové ochrany **V11** v případě nepadnutí napětí ve SpS pod 17,5 kV.

Dále existují jednodušší jednovypínačová SpS, která slouží k příčnému propojení obou stop TV, nebo k podélnému propojení jedné stopy děleného vedení. Spínací stanice musí znemožnit propojení dvou TT.



Obr. 2-12 Spínací stanice 25 kV Vojkovice převzato z [6]

### 2.7 Model trakční napájecí stanice Klatovy



Obr. 2-13 Model TT Klatovy převzato z [6]

## 3. Ochrany TNS

### 3.1 Koordinace ochran

Soustava ochran v TNS a SpS se řídí obecně zásadami ČSN 33 3051 a poté taky musí odpovídat ČSN 34 1500 ed. 2. Musí zajistit selektivní činnost při vypínání při předpokládaných provozních stavech, zároveň při mimořádném přetížení a samozřejmě také při vypínání zkratů v trakční soustavě.

Systém ochran proti zkratu musí respektovat nesinusový časový průběh proudu, který je odebíráán z trakčních transformoven a ze spínacích stanic. Při zkratu na trakčním vedení musí vypínače odpojit trakční vedení nejpozději do 0,6 s. Při blízkém zkratu, ve vzdálenosti od  $1/5$  až  $1/4$  z celkové délky mezi TT a SpS, musí být zkraty vypnuty bez časového zpoždění ochrany. Tuto funkci splňují mžikové nadproudové ochrany. [3]

Způsob detekce zkratu na TNS případně SpS je taktéž odlišný od soustavy DC. Nadproudová ochrana je nastavena obvykle na proud odpovídající blízkým zkratům, popř. dle jiných kritérií. Vzdálené zkraty jsou detekovány tzv. distanční ochranou, která měří hodnotu a charakter impedance TV. Jelikož je zkratový proud omezen hlavně impedancí TV a rozptylovou indukčností trakčního transformátoru, jsou tyto proudy dobře odlišitelné od trakčního proudu díky tomu, že mají nízký účinník induktivního charakteru. K účinku distanční ochrany dochází od určité hodnoty proudu a při poklesu účinníku pod stanovenou hodnotu, přičemž se sleduje i charakter účinníku.

Dále jsou používané přepět'ové ochrany, které jsou umístěny v TNS, aby chránili trakční vedení před atmosférickým přepětím.

### 3.2 Koordinace ochran hnacího vozidla a TNS

#### 3.2.1 Požadavky na součinnost trakčního vozidla a infrastruktury

Z platné legislativy plynou dva zásadní požadavky na součinnost hnacího vozidla

umožňujícího rekuperaci a infrastruktury:

1) vozidlo musí ukončit rekuperaci, pokud dojde ke ztrátě napětí,

2) vozidlo musí ukončit rekuperaci, pokud dojde ke zkratu v daném napájecím úseku.

Druhý požadavek je možné dále rozdělit na dva problémy:

a) vozidlo smí rekuperovat pouze takovou velikostí proudu, aby nezabránilo

detekci zkratu trakční napájecí stanicí

b) vozidlo musí ukončit rekuperaci do úseku se zkratem potom, co došlo

k vypnutí úseku z TNS.

### 3.2.2 *Splnění požadavků*

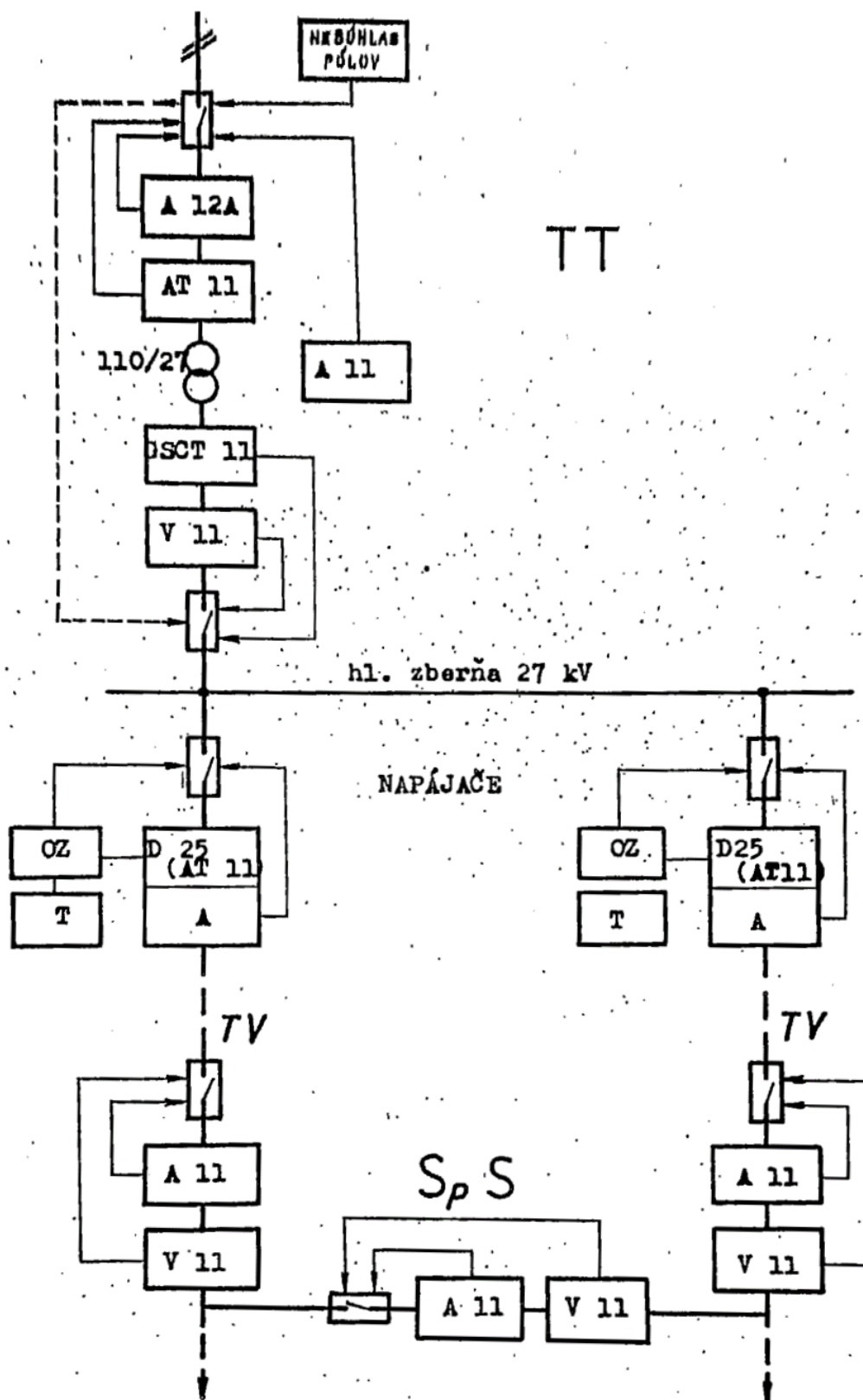
První požadavek je bez problému splněn tím, že vozidlo se snaží do TV dodávat pouze činný proud (dáno regulací účinníku pulsního usměrňovače), což při odpojení TNS, která jinak do TV dodává potřebnou jalovou energii, vede k selhání regulace účinníku pulsního usměrňovače s jeho následným zablokováním (vypnutím). K zablokování usměrňovače dojde v řádu několika desítek až stovek ms.

První problém druhého požadavku nepředstavuje taktéž problém z důvodu použití distančních ochran. Jelikož rekuperující vozidlo dodává výhradně činný proud mnohem menší než vlastní zkratový proud, ve kterém převládá jalová induktivní složka, nedochází na TNS eventuálně SpS k významnému ovlivnění velikosti zkratového proudu ani jeho účinníku. Bezpečná funkce distanční ochrany je tudíž zachována.

Druhá část druhého požadavku je taktéž bezproblémově splněna. Vzhledem k použitému napětí je i vzdálený zkrat na vozidle rozpoznatelný nadproudovou nebo podpětřovou ochranou. V případě extrémně dlouhých úseků při výlukách TNS, kdy by nemuselo dojít k vybavení nadproudové nebo podpětřové ochrany, dojde díky induktivnímu charakteru zkratového proudu, podobně jako je tomu u vypnutí TV, k selhání regulace účinníku a zablokování pulsního usměrňovače. [9]



## 3.3 Blokové schéma ochran TT



Obr. 3-1 Schématické znázornění ochran, které se objevují v TNS pro 25 kV převzato z [11]

### 3.4 Ochrany napájecího obvodu v TT na straně 110 kV

- Ochrana **A 12A** – dvojfázová nadproudová mžiková ochrana určená k vypínání zkratů v rozvodně TT.
- Ochrana **AT 11** – časově nezávislá nadproudová ochrana, která slouží jako ochrana před přetížením trakčního transformátoru, ale také jako záložní ochrana za napáječovou ochranu pro úsek mezi TT a Spínací stanicí.
- Ochrana **A11** – nadproudová mžiková ochrana, která funguje jako ochrana trakčního transformátoru.
- Zpětné wattové relé **GSCT 11** – zpětné wattové relé, které slouží k tomu, aby zabránilo přenosu výkonu zpět do trojfázové sítě, což nastává při paralelní spolupráci TT anebo při rekuperaci, která je v místech kde je střídavá trakce a zároveň dodavatelem elektrické energie je ČEZ **zakázaná**.
- Relé **V 11** – podpěťové relé ve funkci ochrany, která je zde umístěna pro případ zkratu na sběrnících 27 kV v TT. [11]

### 3.5 Ochrany napájecího obvodu v TT na straně 27 kV

- Distanční ochrana **D 25** – distanční napáječová ochrana s kruhovou impedanční charakteristikou, která je schopna vypínat nejvzdálenější zkrat na trolejovém vedení. Nastavuje se dle velikosti zkratového proudu, zpoždění je 0,5 s, a to z důvodu respektování selektivity ochran při napájení přes spínací stanici, kde je umístěna ochrana mžiková.
- Ochrana **AT 11** – nadproudová mžiková ochrana, která se na stranu 27 kV umísťuje pouze není-li přítomná distanční ochrana **D25**.
- Ochrana **A** – nadproudový mžikový článek, který je zabudovaný přímo ve skříní distanční ochrany **D25**, nebo se také používá jako samotná ochrana mžiková ochrana, a to v případě není-li použita ochrana **D25**, ale je použita ochrana **AT11**. Je to ochrana pro mžikové vypínání zkratů, a to do vzdálenosti cca 20 % mezi TT a SpS. Hodnota nastavení je také závislá na velikosti zkratového proudu.
- **OZ** – automatika opětovného zapnutí (jedno cyklová), která je určena pro opětovné zapínání vzdálenějších zkratů, a to při použití distanční ochrany **D25** nebo ochrany **AT 11**.

- **T** – časový článek zaručující selektivitu distanční ochrany s ochranami použitými v SpS. [11]

### 3.6 Ochrany napájecího obvodu v SpS


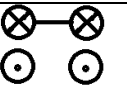
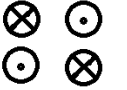
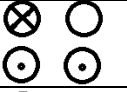

- Ochrana **A11** – nadproudová mžiková ochrana na vypínání zkratů, které procházejí přes SpS. Nastavená velikost je závislá na velikosti zkratového proudu.
- Relé **V11** – podpět'ové relé sloužící k rozlišení zkratových proudů od provozních proudových špiček. Velikost je závislá na výpočtu napětí v místě SpS při nejvzdálenějším zkratu.

Dále je použito další relé **V11**, a to ve funkci přepět'ového relé při nežádoucím sepnutí přilehlých úseků TV při paralelní spolupráci TT a napět'ovém rozdíle větším než 3 kV.

[9]

### 3.7 Základní parametry TV

Tabulka 3.1 Typy napájení

|          |  |   |
|----------|--|---|
| $z_1$    | Jednokolejové napájení   |  |
| $z_2$    | Dvoukolejové – obě stopy paralelně                               |  |
| $z_{20}$ | Dvoukolejové – v druhé stopě stejně velký proud, ale opačný směr |  |
| $z_{21}$ | Dvoukolejové – druhá stopa bez proudu                            |  |
| $z_{22}$ | Dvoukolejové – v druhé stopě stejně velký proud a stejný směr    |  |

Tabulka 3.2 Hodnoty impedance TV ( $\Omega/\text{km}$ ) [9]

| Typ vedení<br>/Impedance | 100Cu+50Bz<br>(100Cu+72AlFe) | 100Cu+50Bz<br>+95AlFe | 100Cu+70Fe   | 100Cu+70Bz<br>+95AlFe |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| $z_1$                    | 0,26 + j0,45                 | 0,18 + j0,36          | 0,34 + j0,61 | 0,21 + j0,40          |
| $z_2$                    | 0,14 + j0,26                 | -                     | 0,18 + j0,33 | 0,12 + j0,23          |
| $z_{20}$                 | 0,21 + j0,28                 | -                     | 0,29 + j0,43 | 0,18 + j0,25          |
| $z_{21}$                 | 0,25 + j0,40                 | -                     | 0,33 + j0,55 | 0,20 + j0,36          |
| $z_{22}$                 | 0,28 + j0,52                 | -                     | 0,36 + j0,66 | 0,254+ j0,46          |

Uvedené hodnoty v tabulce 3-2 platí pro jednu stopu trakčního vedení, včetně zpětného vedení, a to pro průběžnou trať i se stanicemi. Jedinou výjimku tvoří impedance  $z_2$ , která je udaná pro obě paralelně propojené stopy.

Impedance v tabulce 3-2 jsou udané pro střední opotřebení trolejového drátu, a to o cca 20 % jmenovitého průřezu vedení.

[9]

Tabulka 3 Dovolené zatížení různých typů trakčních vodičů [11]

| Tabulka dovolených proudových zatížení trakčních vodičů |                            |
|---|----------------------------|
| Vodič   | Dovolené proudové zatížení |
| 100 Cu + 70 Fe  | 639 A                      |
| 80 Cu + 50 Fe   | 535 A                      |
| 100 Cu + 70 AlFe 6                                      | 943 A                      |
| 100 Cu + 95 AlFe 6                                      | 848 A                      |
| 100 Cu + 50 Bz  | 780 A                      |
| 100 Cu + 70 Fe + 120 Al                                 | 1027 A                     |

### 3.8 Výpočet zkratového proudu

$$I_k = \frac{U}{X_S + X_T + (z * l)} \quad (3.1)$$

Kde: U – napětí na výstupu TT - **27 kV**

$X_S$  – reaktance energetické soustavy

$$Z_S = j * \frac{3 * U^2}{P_S} \quad (3.2)$$

$P_S$  – zkratový výkon na straně 110 kV v TT (MVA)

$X_T$  – reaktance trakčního transformátoru

$$\begin{array}{ll} \text{Transformátor 12,5 a 13,5 MVA} & X_T = j8 \Omega \\ 8 \text{ MVA} & X_T = j10 \Omega \end{array}$$

$z$  – měrná impedance TV (tab. 3-2)

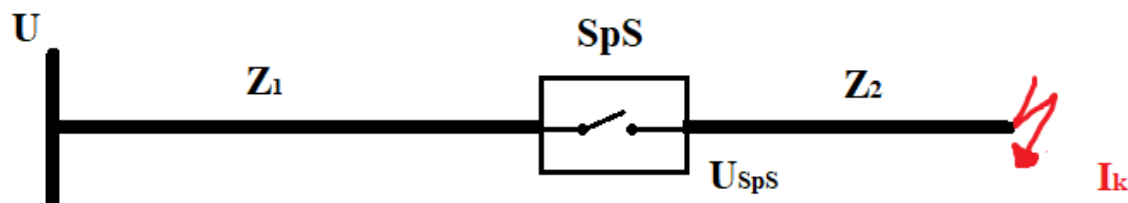
$l$  – délka chráněného úseku (km)

Impedance ( $z * l$ ) dosazovaná do vztahu 3.1 se mění v závislosti na způsobu napájení viz tab. 3.1.

[9]

### 3.9 Výpočet velikosti napětí v místě SpS při zkratu na TV

Tento výpočet určuje nastavení podpěťové ochrany v SpS.



Obr. 3-2 Schéma napájení

Zkratový proud se vypočítá podle vztahu 3.1. Napětí v místě SpS podle vztahu:

$$U_{SpS} = I_k * z_2 \quad (\text{V, A, } \Omega)$$

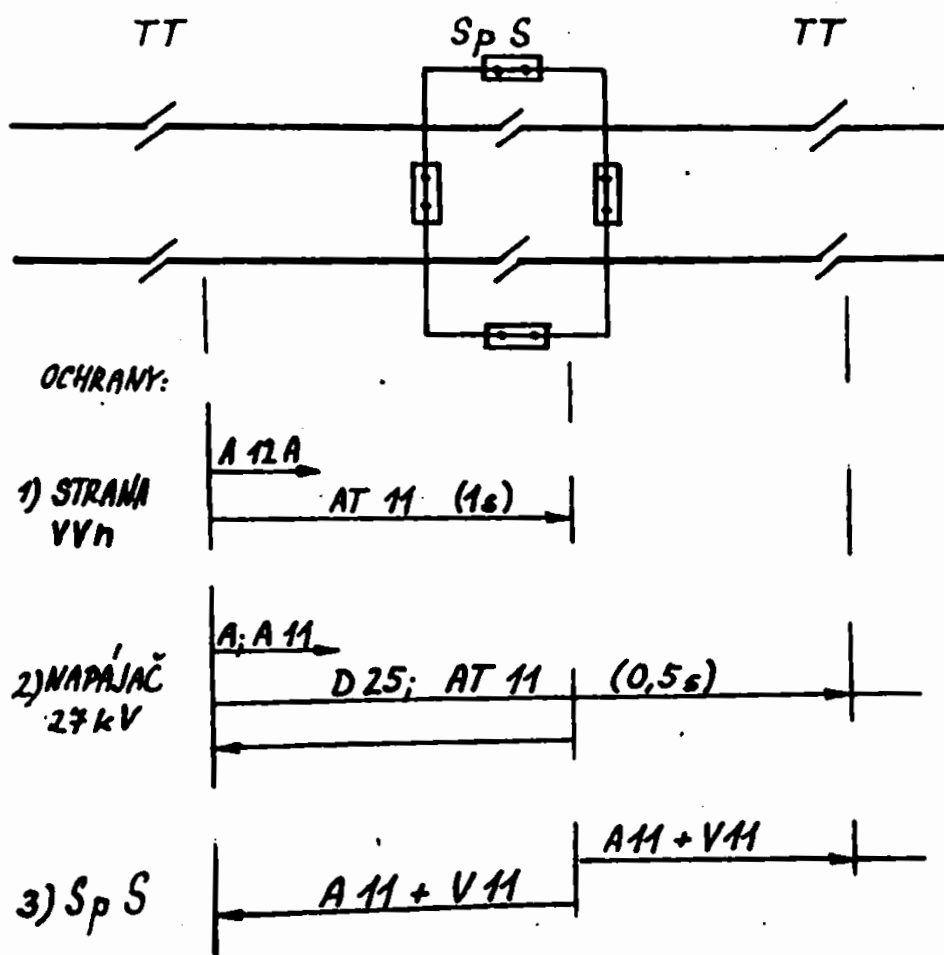
(3.3)

## 4. Nastavení reléových ochran napájecího obvodu

Nastavení ochran musí odpovídat způsobu napájení viz tab. 3.1 a z toho plynoucího zkratového proudu  $I_k$  a v SpS i velikost napětí v místě spínací stanice.

### 4.1 Selektivita ochran

Ochrany musí splňovat selektivitu ochran podle normy ČSN 33 3505.



Obr. 4-1 Selektivita ochran převzato z [11]

## 4.2 Nastavení na straně 110 kV TT

- Ochrana A 12A – nastavená hodnota **750 až 1000 A**
- Ochrana AT 11 – nastavení podle následujících podmínek

$$\frac{I_k}{1,3} \geq I_{nast} \geq 1,2 * I_p$$

(4.1)

Časové opoždění je 1 s.

- Transfor. kostrová ochrana –zemní nádobová – **nastavení 100-160 A**

[11]

## 4.3 Ochrany na straně 27 kV TT

- Zpětné wattové relé **GSCT 11**, při nastavení je nutné respektovat polaritu připojeného měřicího transformátoru proudu a napětí.
- Podpěťové relé V11 má hodnotu napětí nastavenou na 16 kV.
- Nadproudová časově nezávislá napájecí ochrana **AT 11** nastavuje podle velikosti zkratového proudu a poté podle vztahu 4.1. Časové opoždění z důvodu splnění podmínky selektivity ochran je 0,5 s.
- Nadproudový časový článek **A** se nastavuje podle vztahu:

$$I_{nast} = I_k$$

(4.2)

Zkratový proud  $I_k$  se musí vypočítat podle vztahu 3.1 a to pro zkrat v 20% délky TV buď mezi TT a SpS anebo mezi TT a nejbližším neutrálním polem.

- Pro automatiku opětovného zapnutí **OZ** se nastavuje beznapěťová **pauza 15 až 20 s**
- Časový článek **T** se nastavuje na **hodnotu 0,5 s**. [11]

#### 4.4 Zpětná wattová ochrana

Zpětná wattová ochrana neboli zpětné wattové relé nám umožňuje regulovat směr výkonu v TT. Jelikož na území ČR je všude kde je dodavatel ČEZ a.s., vyjma stejnosměrné trakce 3 kV, je rekuperace hnacích vozidel, které rekuperaci umožňují, zakázaná jsou tyto ochrany v tzv. blokovacím stavu, což znamená, že tok výkonů je možný pouze z distribuce na odběr. **Citlivost je nastavena na 2%**

V ČR, ale jsou úseky, kde je rekuperace v tzv. zkušebním provozu od 1. listopadu 2008, jde u úseky, kde je dodavatelem E.ON Česká republika s.r.o. a na těchto úsecích je blokovací schopnost zpětných wattových ochrany odstavena. [3]

#### 4.5 Distanční napájecí ochrana

Distanční ochrana jinak také nazývána impedanční ochrana slouží k ochraně v případě vzdáleného zkratu na TV. Pracuje na principu měření impedance zkratové smyčky a jejího úhlu. [12]

Podle vztahu:

$$\bar{U}_k = \bar{I}_k * \bar{Z}_k \quad (4.3)$$

Kde:  $U_k$  a  $I_k$  představují napětí a proud v místě umístění ochrany a  $Z_k$  představuje impedanci zkratové smyčky. Jelikož známe parametry TV jsme schopni z impedance zkratové smyčky dopočítat vzdálenost poruchy od ochrany. [11]



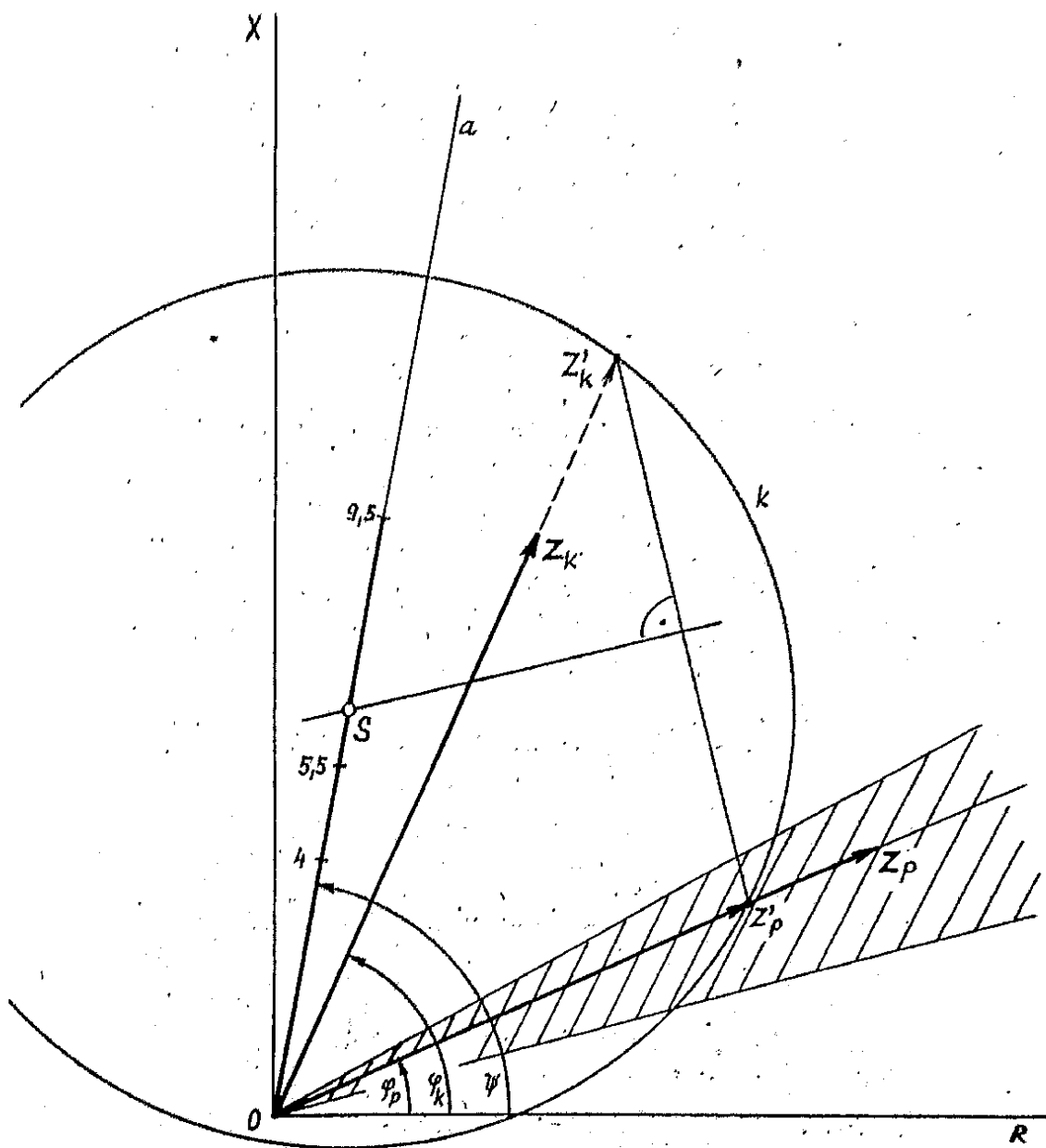
#### 4.5.1 Nastavení distanční ochrany

Úhel  $\varphi_p$  provozní impedance  $Z_P$  se běžně pohybuje v rozmezí  $15^\circ$  až  $30^\circ$  (vyšrafovaná oblast v obr.). Kdežto úhel  $\varphi_k$  impedance zkratové smyčky  $Z_K$  je běžně v rozsahu  $65^\circ$  až  $70^\circ$ . [11]

Ochrana má kruhovou charakteristiku, střed kružnice se může posouvat po přímce **a**, která svírá s osou R úhel  $\psi = 80^\circ$ , a to v rozmezí  $0 - 9,5 \Omega$  (záleží na přepnutí spon). Směr této přímky i rozmezí posunu středu kružnice je dán typem konstrukce ochrany. Posunutí dosáhneme pomocí potenciometru zapojeného na sekundáru měřicího transformátoru proudu. Vysouváním ochranné kružnice se zvyšuje citlivost ochrany v jednom směru. [12]

Distanční ochrana působí na oblast impedancí, jejichž vektory leží uvnitř ochranné kružnice. Velikost ochranné kružnice se nastavuje pomocí potenciometru připojeného na vinutí měřicího transformátoru napětí. [11]

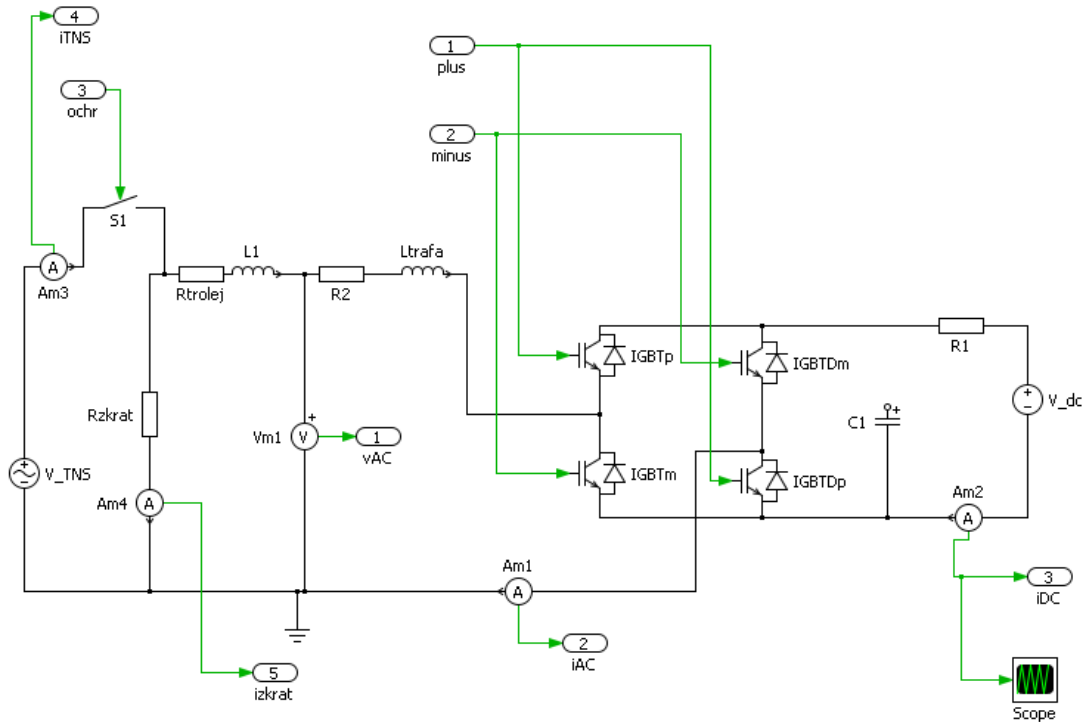
## 4.5.2 Charakteristika distanční ochrany



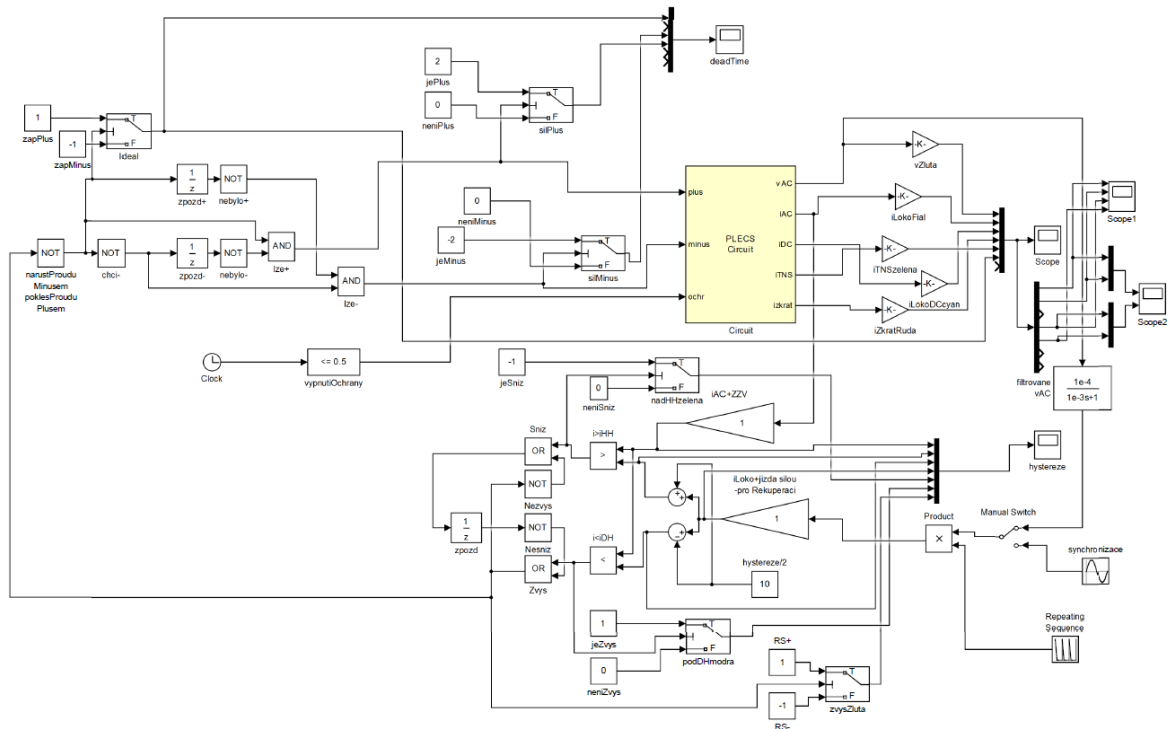
Obr. 4-2 Charakteristika distanční ochrany D25 převzato z[11]

## 5. Simulace provozních stavů

K simulaci byl použit Matlab Simulink s rozšířením Plecs.



Obr. 5-1 Výkonový obvod simulace

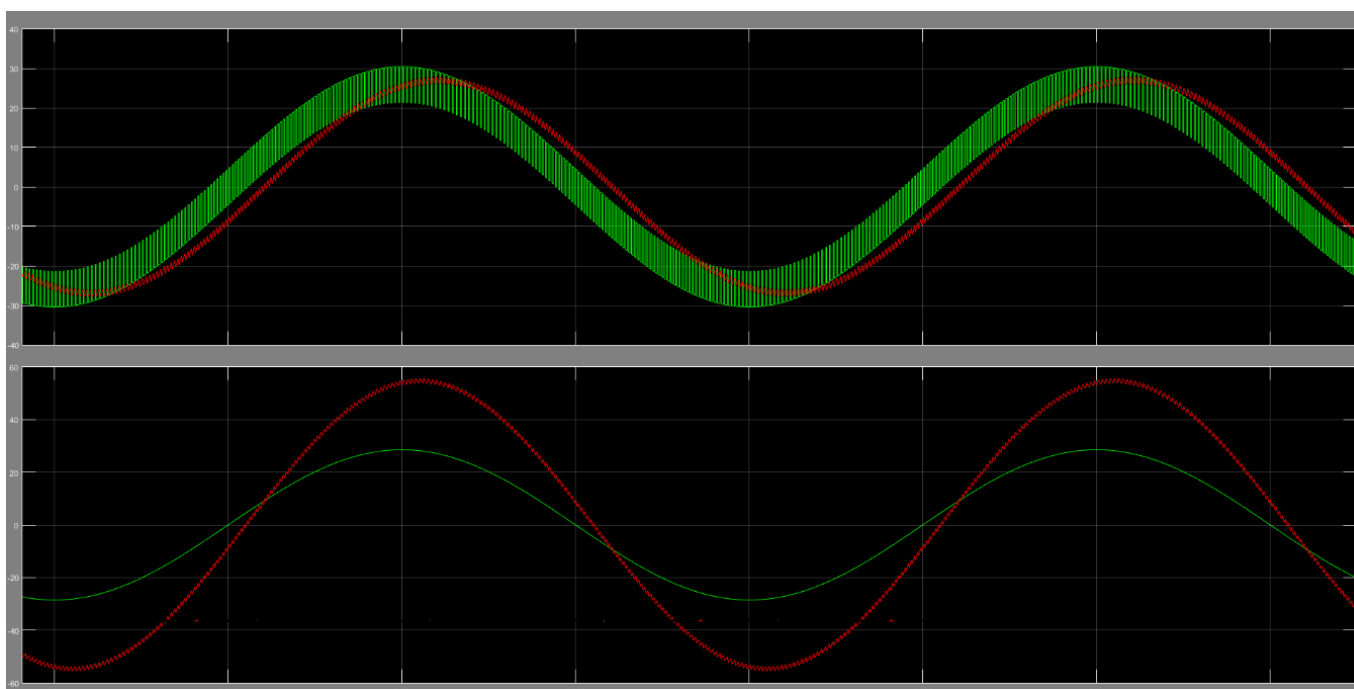


Obr. 5-2 Kompletní model simulace

## 5.1 Motorický režim

Při motorickém stavu hnacího vozidla je napětí (horní zelený průběh) téměř ve fázi s odebíraným proudem hnacího vozidla (horní červený průběh). Fázový posun je z důvodu indukčnosti TV a transformátoru lokomotivy. Tudíž odebíraný výkon hnacího vozidla je kladný, tudíž dochází k odběru elektrické energie ze sítě.

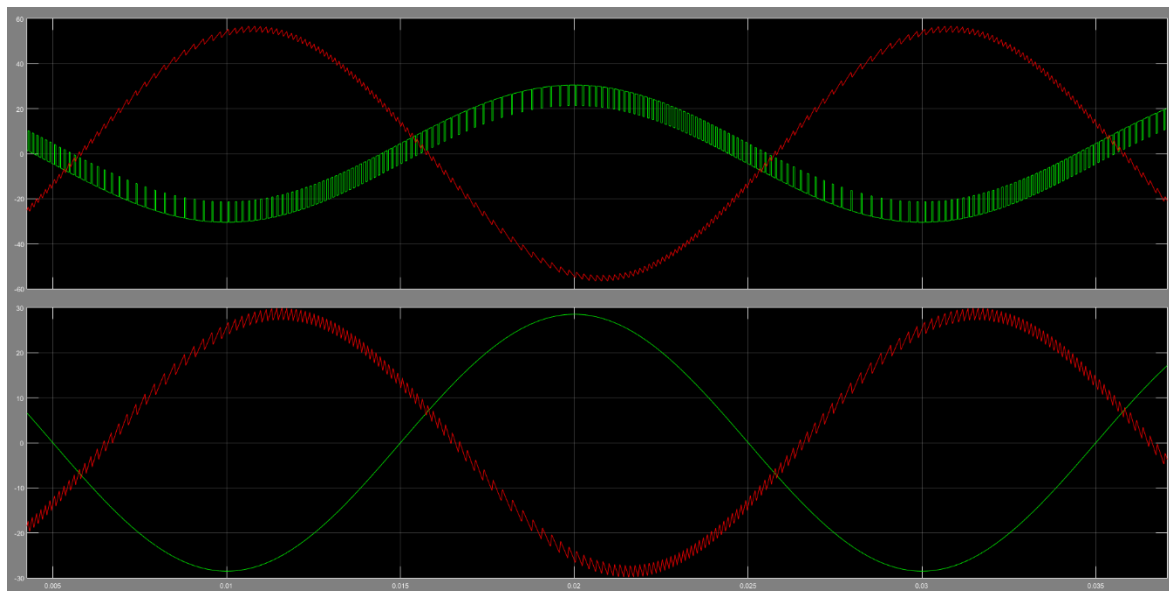
Dále je vidět, že proud odebíraný z TT (spodní zelený průběh) je ve fázi s napětím. Na spodním průběhu je ještě vidět poruchový proud (spodní červený průběh).



Obr. 5-3 Motorický režim

## 5.2 Režim rekuperace

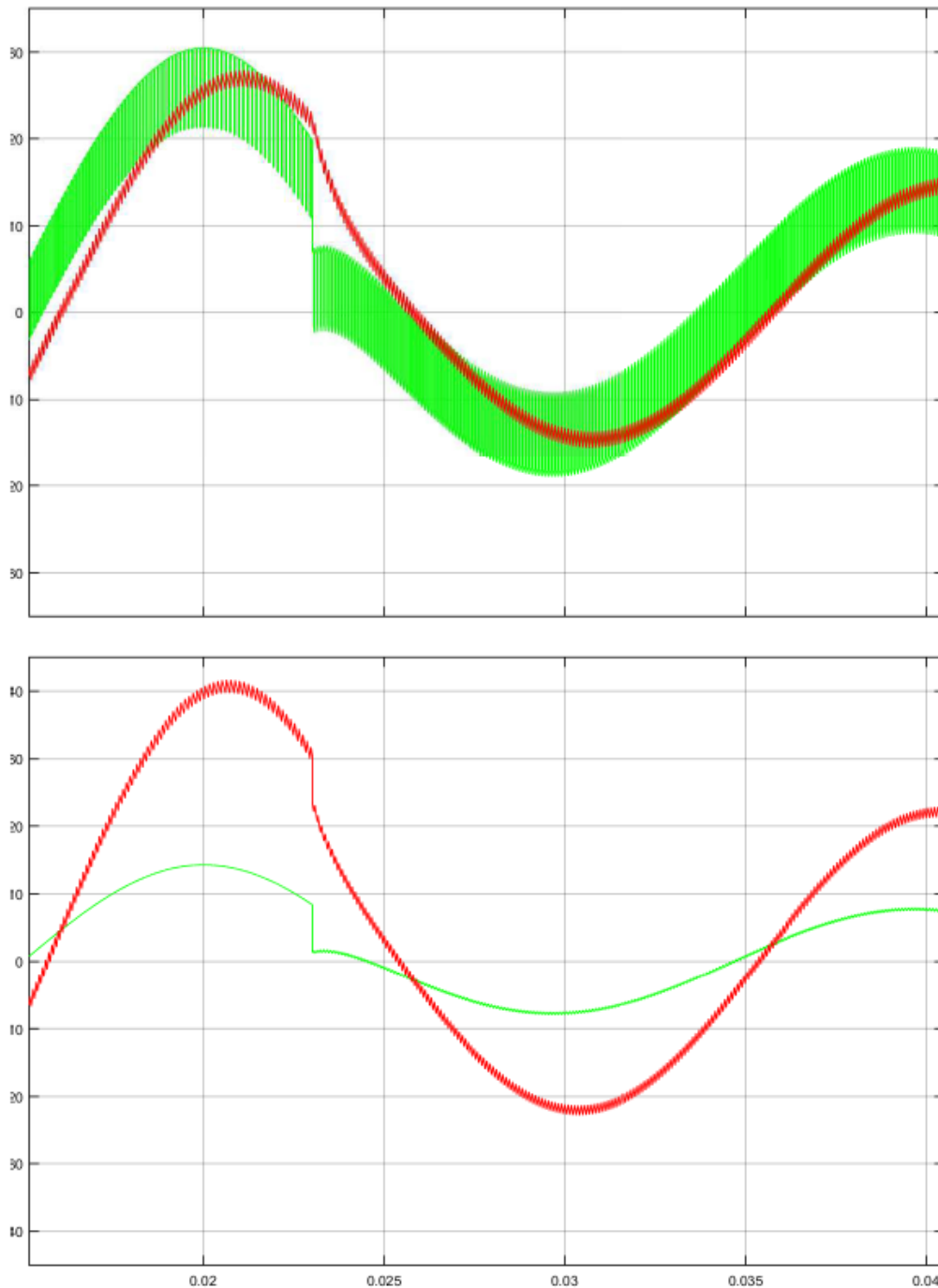
Z následujících průběhů je zřejmé, že odebíraný proud je téměř v proti fázi proti napájecímu napětí. Z toho je zřejmé, že odebíraný výkon lokomotivy je záporný, a tudíž dochází k vracení energie do sítě, tudíž k rekuperaci.



Obr. 5-4 Rekuperační režim

### 5.3 Poruchový stav – pokles napětí

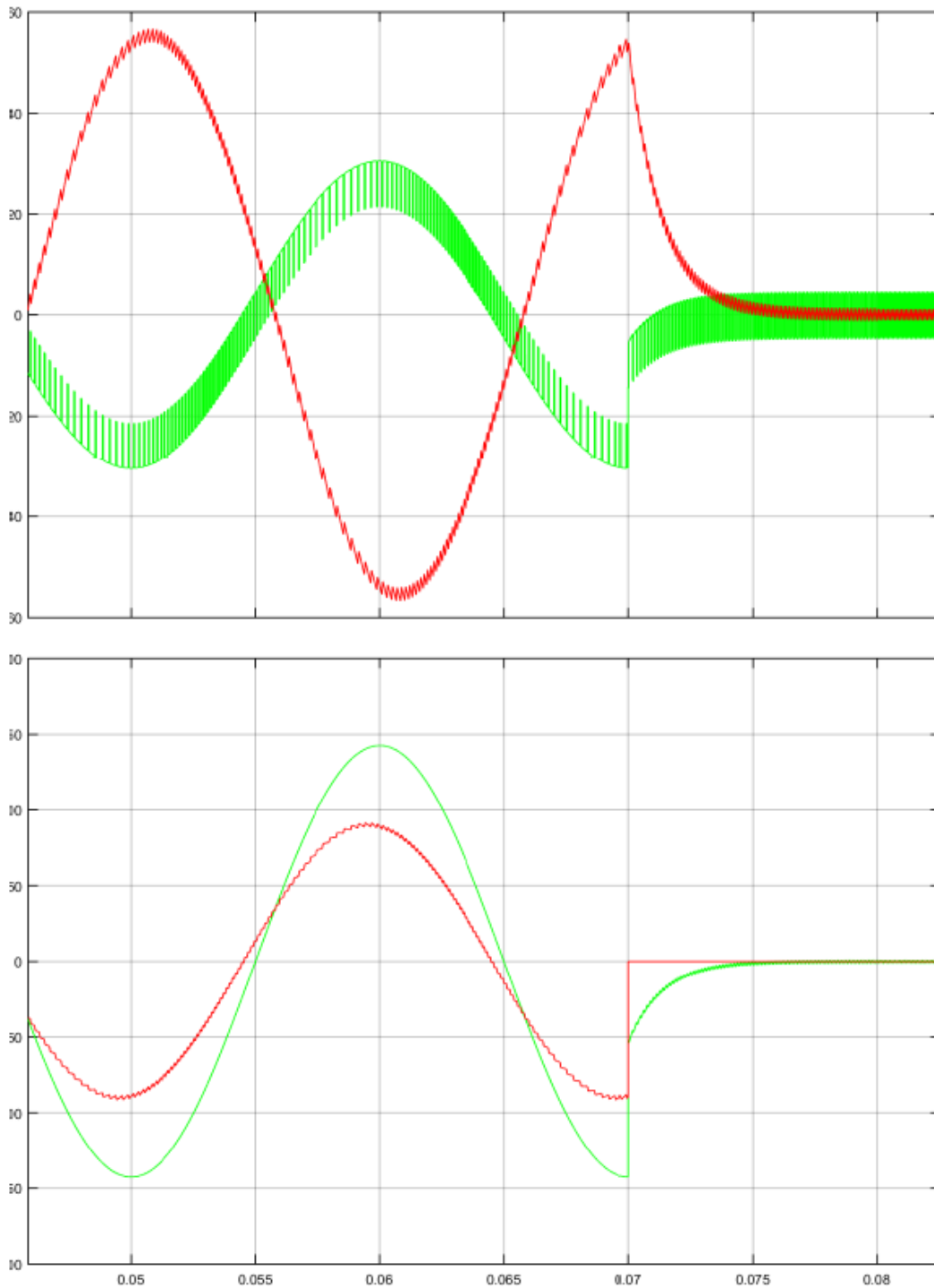
Na následujícím průběhu je znázorněn první poruchový stav, kdy dojde k poklesu napájecího napětí. Díky zásahu ochran nedochází k nárůstu proudu, který by chtěl vyrovnávat výkon.



Obr. 5-5 Průběh při úbytku napětí

## 5.4 Poruchový stav zkrat

Na následujícím průběhu je znázorněn další poruchový stav, který znázorňuje zkrat na TV a následný akční zásah mžikové nadproudové ochrany, která vypne napájení TV a zkratu na něm.



Obr. 5-6 Průběh při zkratu

## 6. Závěr

Od vzniku trakčních soustav došlo samozřejmě k technologickému pokroku, ať co se týče řízení pohonů trakčních vozidel, a to hlavně z důvodu vývoje výkonových polovodičových součástek.

V první kapitole předkládané bakalářské práce jsem zlehka zhodnotil nejrozšířenější provedení trakčních napájecích soustav používaných v Evropě.

Druhá kapitola se zabývala trakčními napájecími stanicemi na systému 25 kV, 50 Hz. Zabývala se principem, různými provedeními včetně problémů s nimi souvisejícími. Dále se v této kapitole popsal trakční transformátor, které jsou v České republice používány. Další částí kapitoly byl popis Filtračně kompenzačního zařízení včetně důvodu použití. A na závěr jsem popsal princip spínací stanice a důvody použití.

Dále dochází k postupným výměnám trakčních transformátorů a úpravě některých napájecích stanic z venkovních na zapouzdřené, z prostorových důvodů.

Třetí kapitola je stěžejní kapitolou této práce. V kapitole jsou popsány problémy trakčních napájecích stanic z důvodu koordinace ochran hnacího vozidla a TNS a klasické řešení použitých ochran trakční napájecí stanice. Dále jsou uvedeny parametry trakčního vedení, které jsou potřeba k výpočtu velikosti zkratového proudu.

Čtvrtá kapitola popsal nastavení hodnot reléových ochran. Poté byla popsána funkce a důvod využití zpětných wattových ochran v České republice. Na konci této kapitoly byla popsána distanční napájecí ochrana.

Dochází také obměnám ochran z reléových na modernější typy ochran, například distanční ochrana s momentálně vyrábí v jednom přístroji společně s automatikou opětovného zapnutí.

V budoucnu by se dle mého názoru měla více podporovat rekuperace, jelikož podle mě je škoda, aby energie, která je nazbyt nebyla zbytečně likvidována, ale aby energie byla více využívána.



Dle mého názoru by taková menší země jako Česká republika měla mít jednu trakční soustavu na železnici. A to kvůli potřebě přepřahovat jednosystémové lokomotivy ve stykových bodech soustav nebo pořizovat vícesystémové lokomotivy. K této variantě se ale naklání i ministerstvo dopravy, které se snaží prosadit to, aby v České republice byla jedinou používanou trakční soustavou, trakční soustava 25 kV, 50 Hz.

## 7. Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1-1 Rozdělení typů trakčního napájení v Evropě [2] .....                             | 11 |
| Obr. 1-2 Momentová charakteristika sériového motoru [2] .....                             | 13 |
| Obr. 1-3 Trakční soustavy v ČR [2] .....  | 16 |
| Obr. 1-4 Zjednodušené schéma tr.soustavy při zapojení napájení jednof. transf.[5] .....   | 17 |
| Obr. 2-1 TT Kadaň [6].....  | 18 |
| Obr. 2-2 Skříňový rozvaděč na straně 27 kV [6].....                                       | 18 |
| Obr. 2-3 Schéma TNS [8].....  | 19 |
| Obr. 2-4 Zapouzdřená rozvodna Svitavy od ABB [9].....                                     | 20 |
| Obr. 2-5 Napájení jedním jednofázovým transformátorem [7].....                            | 21 |
| Obr. 2-6 Napájení soustavy 25 kV, 50 Hz pomocí transformátorů zapojených do "V" [5] ..... | 22 |
| Obr. 2-7 Fázorové zapojení do "V" [7] .....   | 23 |
| Obr. 2-8 Napájení pomocí Scottova transformátoru [7].....                                 | 24 |
| Obr. 2-9 Napájení pomocí 3fázového transformátoru s nesouměrným sek. vinutím [7] ....     | 24 |
| Obr. 2-10 Zapojení FKZ [10] .....   | 27 |
| Obr. 2-11 FKZ v TT Svitavy .....  | 27 |
| Obr. 2-12 Spínací stanice 25 kV Vojkovice [6] .....                                       | 28 |
| Obr. 2-13 Model TT Klatovy [6].....   | 29 |
| Obr. 3-1 Schématické znázornění ochran, které se objevují v TNS pro 25 kV [11].....       | 32 |
| Obr. 3-2 Schéma napájení .....  | 36 |
| Obr. 4-1 Selektivita ochran [11] .....  | 37 |
| Obr. 4-2 Charakteristika distanční ochrany D25 [9] .....                                  | 41 |
| Obr. 5-1 Výkonový obvod simulace.....   | 42 |
| Obr. 5-2 Kompletní model simulace .....   | 42 |
| Obr. 5-3 Motorický režim.....   | 43 |
| Obr. 5-4 Rekuperační režim .....  | 44 |
| Obr. 5-5 Průběh při úbytku napětí .....   | 45 |
| Obr. 5-6 Průběh při zkratu .....  | 46 |

## 8. Bibliografie

- [1] *Železniční napájecí soustava* [online]. [vid. 2019-02-15]. Dostupné z: [www.wikipedia.org/wiki/Železniční\\_napájecí\\_soustava](http://www.wikipedia.org/wiki/Železniční_napájecí_soustava)
- [2] *Evropa pod měděnou pavučinou* [online]. [vid. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://zeleznicar.cd.cz/zeleznicar/tema/evropa-pod-medenou-pavucinou-aneb-souboj-stridaveho-a-stejnoserneho-proudu>
- [3] DOLEČEK, Radovan a Ondřej ČERNÝ. *Trakční napájecí soustavy - studijní opora*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015.
- [4] FEJT, Jiří. *Pevná trakční zařízení*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1966.
- [5] No Title [online]. nedatováno. Dostupné z: <https://www.k-report.net/clanky/stahovacky-prezitek-nebo-nutnost/>
- [6] SŽDC. *Interní Materiály*. 2019.
- [7] MATOUCH, Zdeněk a Jiří PRINC. *Trakčná energetika*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1977.
- [8] *Stahovačky přežitek nebo nutnost* [online]. [vid. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.k-report.net/clanky/stahovacky-prezitek-nebo-nutnost/?kapitola=1>
- [9] ČESKÉ DRÁHY. *Vědeckotechnický sborník ČD č.08/1999*. 1999.
- [10] *Filtračně kompenzační stanice* [online]. [vid. 2019-04-23]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Filtračně\\_kompenzační\\_stanice](https://cs.wikipedia.org/wiki/Filtračně_kompenzační_stanice)
- [11] ČSD. *Nastavovanie, prevádzka a údržba reléových ochrán trakčného napájacieho obvodu*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1979.
- [12] DOHNÁLEK. *Trolejová distanční ochrana D 25*. 2008.