

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Oprava turboalternátoru 57 MW v ETI**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav MERTL**  
Osobní číslo: **E13N0009K**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Oprava turboalternátoru 57 MW v ETI**  
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 :

Popište opravu generátoru 57MW v ETI.

1. Popište základní principy metod používaných pro diagnostiku turbogenerátorů a upřesněte princip opravy alternátoru spočívající v převinutí statoru za použití původních tyčí.
2. Specifikujte metodu instalace nového systému měření posuvů a chvění turboalternátoru 57MW.
3. Navrhňte inovaci instalovaných elektrických ochranných bloků, včetně jejich sekundárních a primárních zkoušky.
4. Popište a zhodnoťte případovou provedenou opravu generátoru a vhodnost zvolené opravy s ohledem na další provoz generátoru.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. ČEZ PN 0006r01 - Profylaktika izolačního systému strojů točivých - turbogenerátory, hydrogenerátory a vn motory
2. Technologické postupy - přílohy ČEZ PN 0006r01
3. Příslušné normy ČSN pro diagnostiku a opravy elektrických strojů.

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2014

Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2015

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



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

V Plzni dne 15. října 2014

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce se zabývá generální opravou turboalternátoru 57 MW v elektrárně Tisová, která byla provedena na přelomu let 2013 a 2014.

V první kapitole jsou popsány základní principy metod používaných pro diagnostiku turbogenerátorů, dále je v kapitole popsán princip opravy alternátoru spočívající v převinutí statoru za použití původních tyčí.

Druhá kapitola se zabývá instalací nového systému měření posuvů a chvění turboalternátoru 57 MW provedené v rámci generální opravy stroje.

Třetí kapitola popisuje instalované elektrické ochrany bloku TG3, včetně jejich sekundárních a primárních zkoušek před uvedením stroje do provozu a zabývá se návrhem jejich inovace.

V poslední kapitole je popsána a zhodnocena provedená oprava stroje a vhodnost zvolené opravy s ohledem na další provoz generátoru.

## **Klíčová slova**

Turboalternátor, generátor, stator, rotor, diagnostika, oprava, provoz, vinutí, izolace, měření.

## **Abstract**

The master's thesis describes complete repair of turbo-alternator 57 MW in the Tisová thermal power plant, which took place at the turn of the year 2013 and 2014.

The first chapter describes the basic principles of methods which have been used for turbogenerators diagnostics and the principle of alternator repair which was made by stator rewinding by using the original bars.

The second chapter deals with new displacement and vibration measuring system installation of 57 MW turbo-alternator, which have been implemented within the complete machine repair.

The third chapter describes the installed TG3 block electrical protections including secondary and primary testing before implementing the machine into operations and finally deals with the plan of their possible future innovation.

The last chapter describes and evaluates the performed repair of the machine and the suitability of the repair considering the further generator operation.

## **Key words**

Turbo-alternator, generator, stator, rotor, diagnostics, repair, operation, winding, insulation, measurements.

## **Prohlášení**

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.

.....

podpis

V Plzni dne 4.5.2015

Bc. Miroslav Mertl

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Karlu Noháčovi Ph.D. za poskytnutí cenných profesionálních rad, připomínek a metodické vedení práce, dále bych rád poděkoval i celé mé rodině za trpělivost a podporu v průběhu studia.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ PRINCIPY METOD DIAGNOSTIKY TURBOALTERNÁTORŮ A OPRAVA ALTERNÁTORU TG3 V ETI</b> .....	<b>13</b>
1.1 ZÁKLADNÍ PRINCIPY METOD DIAGNOSTIKY TURBOALTERNÁTORŮ POUŽÍVANÝCH V ETI.....	17
1.1.1 Monitorování točivého stroje - vizuální prohlídka.....	17
1.1.2 Monitorování izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu statorového vinutí .....	18
1.1.3 Monitorování izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu rotorového vinutí .....	20
1.1.4 Monitorování napěťové závislosti izolačního odporu na stejnosměrném napětí .....	21
1.1.5 Monitorování ztrátového činitele $tg \delta$ , kapacity a výpočet časové konstanty.....	22
1.1.6 Monitorování částečných výbojů statorového vinutí galvanicky vázanou metodou.....	23
1.1.7 Monitorování částečných výbojů statorového vinutí akustickou sondou .....	24
1.1.8 Monitorování částečných výbojů statorového vinutí diferenciální elektromagnetickou sondou....	25
1.1.9 Monitorování statorového vinutí střídavým napětím .....	26
1.1.10 Monitorování rotorového vinutí střídavým napětím .....	27
1.1.11 Monitorování statorového vinutí stejnosměrným napětím .....	28
1.1.12 Frekvenční analýza proudu a rozptylového magnetického pole .....	29
1.1.13 Monitorování závitové izolace statorového vinutí proudovými impulsy .....	30
1.1.14 Magnetizační zkouška metodou EL CID .....	31
1.1.15 Silová magnetizační zkouška.....	31
1.1.16 Diagnostické měření hluku generátoru .....	32
1.2 OPRAVA GENERÁTORU TG3 V ETI .....	33
1.2.1 Zvolená varianta a celkový plánovaný rozsah opravy generátoru TG3 .....	34
1.2.2 Zahájení opravy generátoru TG3.....	37
1.2.3 Magnetizační zkouška TG3 metodou EL CID .....	38
1.2.4 Diagnostické měření statoru TG3 před demontáží statorových tyčí .....	40
1.2.5 Demontáž a zkoušení statorových tyčí statoru TG3 .....	41
1.2.6 Silová magnetizační zkouška magnetického obvodu statoru TG3 .....	45
1.2.7 Zpětné založení statorových tyčí a zkoušky převinutého statoru TG3.....	46
1.2.8 Oprava a diagnostika rotoru TG3.....	47
1.2.9 Vyvážení a odstředění rotoru TG3 po provedené opravě.....	49
1.2.10 Zpětná montáž rotoru a kompletace generátoru TG3 .....	51
<b>2 INSTALACE NOVÉHO SYSTÉMU MĚŘENÍ POSUVŮ A CHVĚNÍ TG3</b> .....	<b>52</b>
2.1 MODERNIZACE MĚŘENÍ TG3 - POPIS STAVU PŘED OPRAVOU A KONCEPCE ŘEŠENÍ.....	52
2.1.1 Záměr modernizace měření TG3.....	52
2.1.2 Popis stavu před opravou .....	52
2.1.3 Koncepce řešení opravy.....	53
2.2 INSTALACE NOVÉHO SYSTÉMU MĚŘENÍ POSUVŮ A CHVĚNÍ TG3 .....	55
2.2.1 Diagnostický systém MMS 6000 (Machine Monitoring Systems) .....	55
2.2.2 Použité typy snímačů posuvů a chvění.....	56
<b>3 ELEKTRICKÉ OCHRANY TG3 A JEJICH ZKOUŠKA</b> .....	<b>58</b>
3.1 STÁVAJÍCÍ SITUACE ELEKTRICKÝCH OCHRAN TG3 .....	58
3.1.1 Soubor elektrických ochran bloku 3.....	58
3.1.2 Elektrické ochrany SEL.....	58
3.1.3 Poruchové stavy, signály a závady.....	62
3.2 NÁVRH INOVACE ELEKTRICKÝCH OCHRAN TG3 .....	67
3.2.1 Výměna zemní ochrany rotoru TG3 .....	67



3.2.2	Výměna hlavní a záložní ochrany generátoru TG3.....	67
3.2.3	Výměna rozdílové ochrany bloku.....	68
3.2.4	Výměna rozdílové ochrany odbočky vlastní spotřeby.....	68
3.2.5	Výměna nadproudových ochran.....	68
3.2.6	Výměna distanční ochrany linky V923.....	69
3.2.7	Inovace monitorovacího systému ochran.....	69
3.3	ZKOUŠKY ELEKTRICKÝCH OCHRAN.....	70
3.3.1	Kontrola parametrizace a sekundární zkoušky ochran SEL.....	70
3.3.2	Primární zkoušky.....	77
<b>4</b>	<b>ZHODNOCENÍ PROVEDENÉ OPRAVY TG3.....</b>	<b>83</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>	<b>87</b>

## Seznam symbolů a zkratek

°C .....	Stupeň Celsia
A.....	Ampér
B.....	Útlum [dB]
C .....	Kapacita vinutí [ $\mu$ F]
$C_2$ .....	Kapacita izolace vinutí změřená při 2 Hz [pF]
$C_{50}$ .....	Kapacita izolace vinutí změřená při 50 Hz [pF]
CÚTD .....	Centrální úložiště dat
ČEZ.....	České energetické závody
EL CID .....	Magnetizační zkouška nesilovou metodou
EMC .....	Elektromagnetická kompatibilita
EPS .....	Elektrická požární signalizace
ETI .....	Elektrárna Tisová
$I$ .....	Elektrický proud [A]
kV .....	Kilo Volt
kVp .....	Kilo Volt peak (špičkový)
L1,L2, L3 .....	Fáze vinutí nebo vedení
MTN .....	Měřicí transformátor napětí
MTP .....	Měřicí transformátor proudu
MW .....	Mega Watt
$M\Omega$ .....	Mega Ohm
pF .....	Piko Farad
PN .....	Podniková norma
$p_{i60}$ .....	Polarizační jednominutový index
$p_{i600}$ .....	Polarizační desetiminutový index
$R_{iz}$ .....	Izolační odpor [ $M\Omega$ ]
$R$ .....	Elektrický odpor [ $\Omega$ ]
$R_{iz15}$ .....	Hodnota izolačního odporu 15 s po zapojení měřicího napětí [ $M\Omega$ ]
$R_{iz60}$ .....	Hodnota izolačního odporu 60 s po zapojení měřicího napětí [ $M\Omega$ ]
$R_{iz600}$ .....	Hodnota izolačního odporu 600 s po zapojení měřicího napětí [ $M\Omega$ ]
$q$ .....	Náboj [C]
ŘS .....	Řídicí systém

SB .....	Strana buzení - rotor
ST .....	Strana turbíny - rotor
TG .....	Turbogenerátor
$tg \delta$ .....	Ztrátový činitel [%]
TJ .....	Tera Joule
$U_n$ .....	Jmenovité napětí
$U_{zkss}$ .....	Zkušební stejnosměrné napětí
$U_{zkst}$ .....	Zkušební střídavé napětí

## Úvod

Předkládaná diplomová práce se zabývá generální opravou turboalternátoru TG3 57 MW v elektrárně Tisová, která byla provedena na přelomu let 2013 a 2014. Jednalo se s největší pravděpodobností o poslední velkou opravu, kdy se už nepředpokládá delší provoz než následujících zhruba 10 až 15 let.

Text je rozdělen do čtyř hlavních kapitol; první kapitola popisuje základní principy metod používaných pro diagnostiku turbogenerátorů, dále je v kapitole popsán princip opravy alternátoru spočívající v převinutí statoru za použití původních tyčí včetně opravy rotoru a všech souvisejících činností. Druhá kapitola se zabývá instalací nového systému měření posuvů a chvění turboalternátoru 57 MW provedené v rámci generální opravy stroje. Třetí kapitola popisuje instalované elektrické ochrany bloku TG3, včetně jejich sekundárních a primárních zkoušek před uvedením stroje do provozu a zabývá se návrhem jejich inovace. V poslední kapitole je popsána a zhodnocena provedená oprava stroje a vhodnost zvolené opravy s ohledem na další provoz generátoru.

# 1 Základní principy metod diagnostiky turboalternátorů a oprava alternátoru TG3 v ETI

Turboalternátor pohání parní turbína. Alternátor je točivý elektrický stroj, který mění mechanickou energii na energii elektrickou s využitím točivého magnetického pole. Alternátor je zdrojem střídavého elektrického proudu a napětí.[1]

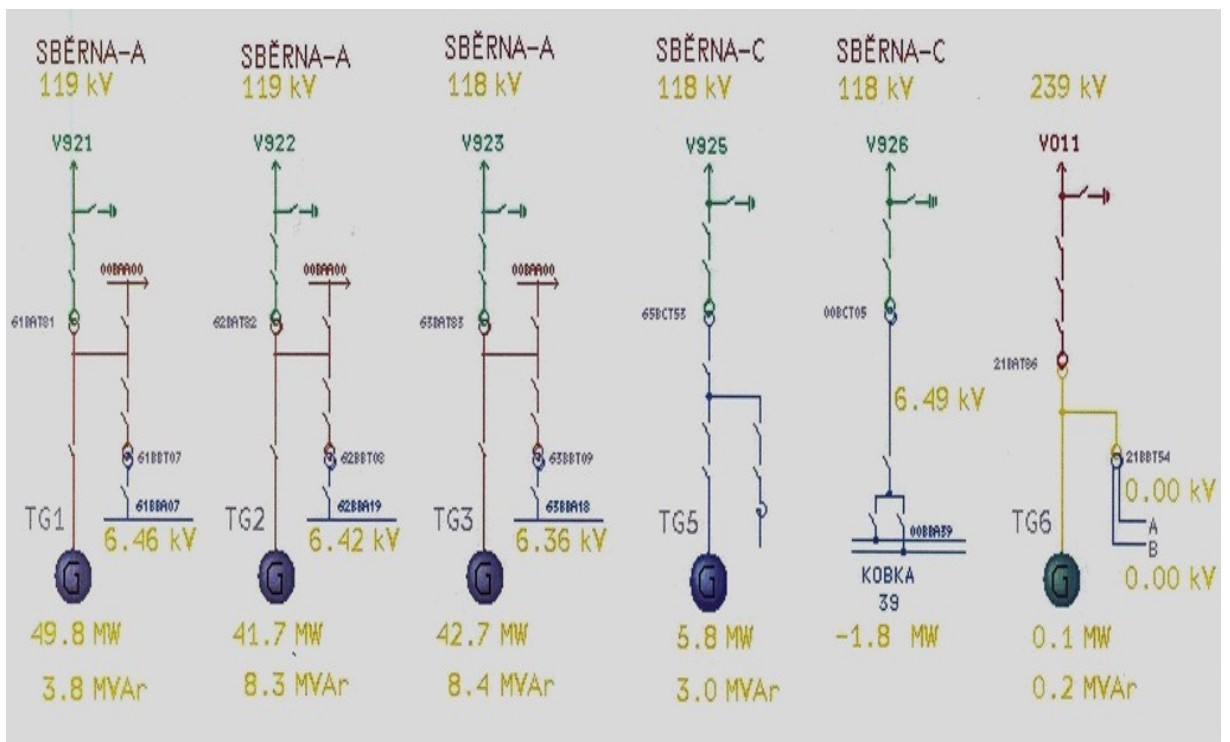
Elektrárna Tisová patří do skupiny ČEZ, do sloučené organizační jednotky Teplárny spolu s Elektrárnou Poříčí, Hodonín a teplárnou Trmice.

Elektrárna Tisová u Sokolova, je nejzápadněji umístěným zdrojem ČEZ a patří k nejstarším hnědouhelným elektrárnám. Rozhodnuto o její výstavbě bylo v roce 1953, přířazování prvního turbogenerátoru ETI I 50 MW bylo provedeno v roce 1958, celkový výkon ETI I činil 212 MW. Výstavba ETI II byla zahájena v roce 1955, posledního z celkem tří turbogenerátorů 100 MW byl uveden do provozu v roce 1962, celkový výkon ETI II byl tedy 300 MW. S celkovým výkonem 512 MW se stala ETI ve své době největší elektrárnou v Československu s podílem výroby elektrické energie 9,8%. V současné době jsou na ETI I v provozu dvě kondenzační turbíny TG2 a TG3 s generátory o výkonu 57 MW, turbogenerátor TG1 s výkonem 57 MW (od roku 2016 již nebude dále provozován, důvodem je nevyhovující stav VT rotoru turbíny) a TG5 s výkonem 12,8 MW. Páru pro ně dodávají dva fluidní kotle K11 a K12. Na ETI II je již v provozu pouze jeden odsířený blok 6 s granulačním kotlem a turbogenerátorem TG6 o výkonu 105 MW. V současné době je hlavní prioritou ETI zásobování okolních obcí teplem a provoz bloku 6 poskytujícího podpůrné služby pro ČEPS. Celková roční výroba elektřiny se pohybuje okolo 1,6 TWh a dodávka tepla činí kolem 1500 TJ.[2]

Výhled dalšího provozu elektrárny Tisová je v současné době nejasný, probíhá vyčlenění organizační jednotky a uvažuje se o jejím prodeji. Předpokládá se s ukončením provozu asi kolem roku 2020-2025, kdy hlavně záleží na zásobách uhlí, na technickém stavu zařízení a nastavených emisních limitech po roce 2020. Investiční a údržbové prostředky jsou již v lokalitě Tisová omezeny na minimum. Generální oprava TG3 byla poslední větší opravou tohoto stroje, nyní se předpokládá trvalý provoz turboalternátoru až do jeho dožití bez dalších větších investic. Další větší plánovanou opravou bude v roce 2017 generální oprava turboalternátoru TG2 a fluidního kotle K11.



Obr. 1.1 Elektrárna Tisová (převzato z [2])



Obr. 1.2 Vyvedení výkonu z ETI do rozvodny Vítkov

Generátor TG3 je chlazený vzduchem, chladicí oběh vzduchu je uzavřený, vzduch je chlazen vodním chladičem, k buzení generátoru slouží statická budící souprava.[3]

Stator má v monolitické kostře pevně a centricky uloženy statorové plechy a v nich statorové vinutí. Celý stator spočívá patkami na základovém rámu. Přívod chladicího vzduchu je spodem do čel vinutí a odvod rovněž spodem z prostředku statoru do vzduchové komory s vodním chladičem. Oběh vzduchu zajišťují ventilátory, které jsou součástí rotoru. Aktivní železo statoru je složeno ze segmentů dynamových plechů s malým ztrátovým číslem, plechy jsou navzájem izolované a složené do svazků, mezi nimiž jsou ventilační kanály. Statorové vinutí vyrobené z elektrolytické mědi je vloženo do otevřených drážek. Jednotlivé vodiče jsou tvořeny permutovanými tyčemi a izolovány izolací třídy F. Proti zkratovým silám jsou čela vinutá, vyztužená gumoidovými vložkami a připevněna izolační bandáží ke konzolám upevněným na postranice kostry.[3]

Rotor je vykován z jednoho kusu speciální oceli. Vinutí rotoru je uloženo v radiálních drážkách na obvodě rotoru tak, aby bylo dosaženo potřebného tvaru magnetického pólu. Vinutí je vyrobeno z měděných plochých vodičů s izolací třídy F. Čela vinutí jsou vyztužena izolačními vložkami. Odstředivé síly v čelech vinutí zachycují nemagnetické kovové obruče, které stahují konce bronzových klínů uzavírajících drážky a tvoří tak spolehlivý tlumič. Na obou stranách těla rotoru je po jednom axiálním ventilátoru. Na straně turbíny je uložen ve společném ložisku s turbínou, na straně sběracího ústrojí v samostatném ložiskovém stojanu. Sběrací ústrojí je provedeno jako zvláštní stojan a zakryto krytem. Na čepu rotoru jsou nasazeny dva větrané sběrací ocelové kroužky. Budící proud je od kroužků veden k rotorovému vinutí přívodem jdoucím vývrtem rotoru a utěsněným v průchodkách u kroužků a na konci vývrtní rotoru.[3]

Chlazení vinutí rotoru, statoru a aktivního železa zajišťuje vzduch obíhající v uzavřeném cyklu generátorem, vzduchovou komorou a vodním chladičem vzduchu. Vzduchová komora je pod stolicí generátoru. Tvoří ji kanál výstupního otepleného vzduchu ze středu generátoru k chladiči. Od chladiče se pak vrací dva proudy ochlazeného vzduchu k čelům vinutí. Komora je těsně uzavřena včetně utěsnění mezi kanály teplého a ochlazeného vzduchu.[3]

Vstup do komory je utěsněnými dveřmi z prostoru nuly generátoru. Chladný vzduch z prostoru čel vinutí vstoupí do prostoru mezi státorem a rotorem a do kanálků v železe rotoru i statoru, kterými je rozváděn ke všem sekcím vinutí a železa, ze středu je vyháněn zpět k chladiči.[3]

Chladič je vestavěn v komoře vodorovně. Je ocelový, voštinový. Vně komory má chladič snímací čela a armatury včetně hlavních uzavíracích šoupat. Přívod vody je možno volit buď z výtlaku chladičích čerpadel nebo z výškové nádrže.[3]

Tab. 1.1 Parametry alternátoru 63MKA10 (převzato z [3])

Alternátor	63MKA10 - TG3
Typ	6 H 6378/2
Výrobní číslo	5666
Jmenovitý zdánlivý výkon (MVA)	71,25
Jmenovitý činný výkon (MW)	57
Jmenovité napětí statoru (kV)	10,5 ± 5%
Jmenovitý proud statoru (A)	3918
Jmenovitý účinník $\cos\varphi$	0,8
Jmenovité otáčky (ot. $\text{min}^{-1}$ )	3000
Jmenovitý kmitočet (Hz)	50
Spojení fází	YY
Rotorové napětí (V)	80 ÷ 339
Rotorový proud (A)	225 ÷ 695
Třída izolace	F



Obr. 1.3 Turboalternátor 63MKA10 (TG3) v ETI



## 1.1 Základní principy metod diagnostiky turboalternátorů používaných v ETI

Jednotlivé diagnostické metody jsou definovány v technologických postupech, které jsou přílohou podnikové normy PN 00/06 rev01. Technologické postupy popisují požadavky na technické parametry měřicích přístrojů, podmínky měření a postupy při měření. Při přípravě opravy turboalternátoru TG3 a tvorbě „Plánu kontrol a zkoušek“ jsem vycházel z této normy a příslušných technologických postupů. Norma stanovuje parametry pro izolační systémy, základním požadavkem při opravě stroje je, že naměřené hodnoty po opravě nesmí být horší než hodnoty naměřené před opravou a musí splňovat požadavky podnikové normy.[4]

### 1.1.1 Monitorování točivého stroje - vizuální prohlídka

Vizuální kontrolou statoru generátoru se kontrolují konstrukční části sledovaného stroje, používanými přístroji a nářadím jsou kladívko s délkou násady 20 centimetrů a hmotnosti kovové hmoty 100 až 200 gramů, dále endoskop s průměrem prohlížecí hlavy do průměru 8 milimetrů a měřicí přístroj pro měření elektrického odporu s rozsahem 0,1 až 100 k $\Omega$  při stejnosměrném napětí 20 V a třídě přesnosti do 1,5.[5]

Kontrola se provádí při vyjmutém rotoru, provede se kontrola celého statorového vinutí, průchodek, systému měření teplot, stavu paketu a upevnění klínů.[5]

Pevnost zaklínování se kontroluje mírným poklepem kladívka nebo za pomoci přístroje pro měření tuhosti klínů. Pokud se kontrolou zjistí uvolněné klíny, musí se provést oprava. Překlínování se provede úplné nebo částečné dle dohody se správcem zařízení, poté se provede opětovná kontrola boční vůle v drážce, mezi bokem tyče a stěnou drážky.[5]

U čelních partií se kontroluje tuhost rozpěrných palců na výstupu tyčí z drážky, tuhost rozpěrek hlav vinutí, tuhost rozpěrek evolventních částí vinutí, utažení šroubů upevňujících koš vinutí ke statoru, tuhost bandáží přichycujících rozpěrky a vinutí.[5]

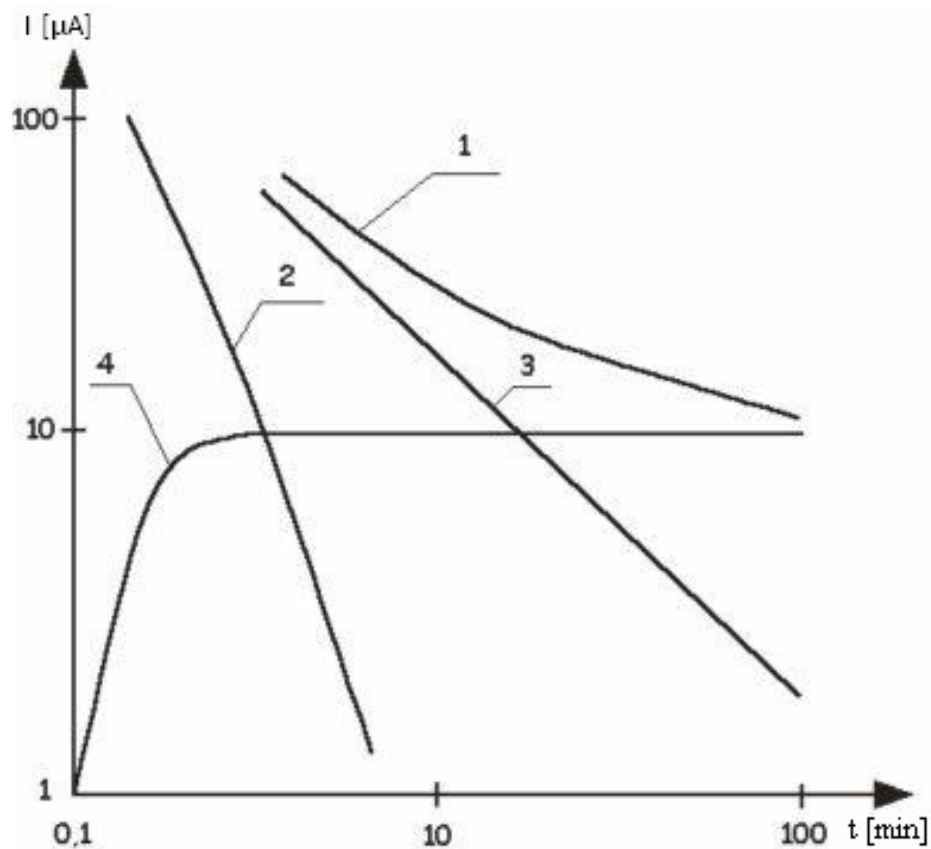
Kontrola stavu polovodivého nátěru na tyčích se provádí za pomoci endoskopu, při kontrole paketu se vizuální kontrola zaměřuje na mechanické poškození povrchu zubů a barevné odlišení povrchu paketu způsobené zvýšenou teplotou v daném místě v důsledku poškození.[5]

### 1.1.2 Monitorování izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu statorového vinutí

Měření izolačního odporu patří k nejstarším technikám sloužícím pro ověřování stavu izolační soustavy stroje.[6]

Při měření izolačního odporu sledujeme dle [6] proud protékající izolační soustavou, na *Obr. 1.4* je označen jako (1). Tento proud má celkem tři složky, těmi jsou kapacitní proud (2), absorpční proud (3) a vodivostní proud (4):

- Průběh kapacitního nabíjecího proudu (2) je úměrný velikosti geometrické kapacity a vnitřním odporům, přes které dochází k jejímu nabíjení a závisí i na vnitřním odporu nabíjecího zdroje.[6, 46]
- Absorpční proud (3) je vyvolán polarizací dielektrika.[6]
- Vodivostní proud (4), jedná se o svodový proud, který protéká izolací a způsobuje činné ztráty v izolaci, je převažující nad složkami kapacitního a absorpčního proudu.[6]

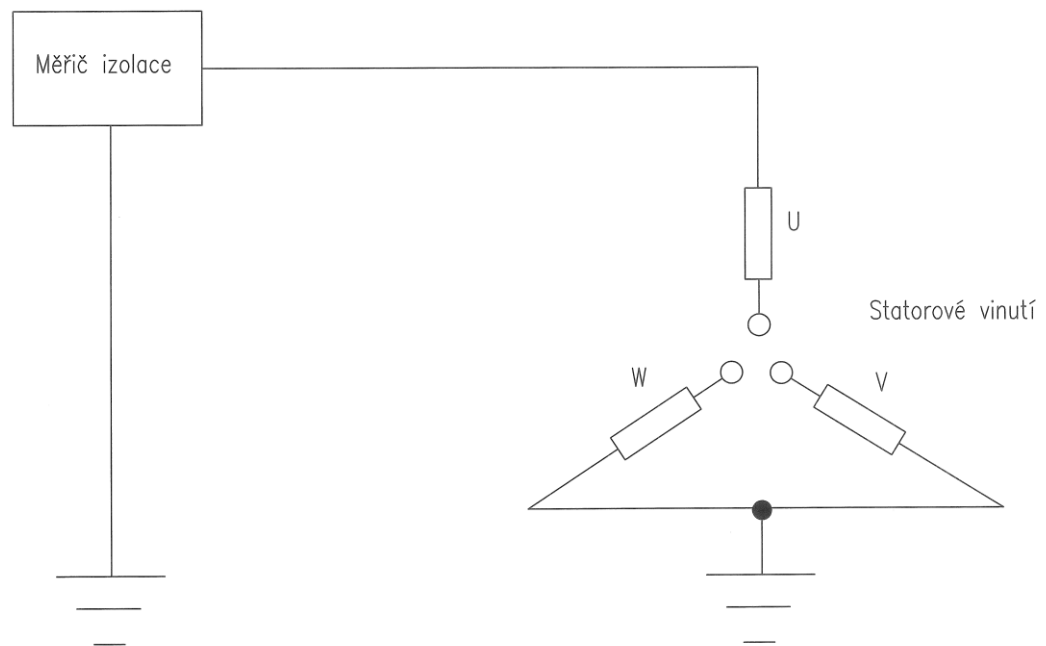


Obr. 1.4 Proud protékající dielektrikem po připojení stejnosměrného napětí (převzato z [47])

Polarizační index  $p_i$  je veličinou, která charakterizuje stav izolace a tím přítomnost vlhkosti v izolaci a stanoví se z časové závislosti průběhu izolačního odporu. Stanovuje se jednodinutový polarizační index  $p_{i60}$  a desetiminutový polarizační index  $p_{i600}$ . [6]

Doporučené přístroje pro měření jsou měřič izolace se zdrojem měřicího napětí 1 až 5 kV<sub>ss</sub>, rozsahem minimálně 20 000 MΩ a jmenovitým zkratovým proudem alespoň 1mA, dále stopky a teploměr. [6]

Měření se provádí při relativní vlhkosti okolí menší než 90% a teplotě 5-30 °C. Doporučuje se měřit vyčištěný stroj, před měřením se rozpojí uzel vinutí. Měření se provádí ve všech třech fázích samostatně. Měřené vinutí je připojeno na záporný pól zdroje napětí, na kladný pól zdroje se pak připojí kostra stroje vodivě spojená se zemí a s ostatními vinutími.[6]



Obr. 1.5 Schéma zapojení pro měření izolačního odporu statorového vinutí s rozpojeným uzlem (překresleno z [6])

Hodnotu izolačního odporu odečteme v časech 15, 60, 120 a 600 vteřin od připojení měřicího napětí. Z těchto hodnot se potom vypočítá jednodinutový a desetiminutový polarizační index podle vztahů (1.1) a (1.2) uvedených ve zdroji [6].

$$p_{i60} = \frac{R_{iz60}}{R_{iz15}} [-] \quad (1.1)$$

$$p_{i600} = \frac{R_{iz600}}{R_{iz60}} [-] \quad (1.2)$$

$R_{iz15}$  Hodnota izolačního odporu v  $M\Omega$  odečtená v čase 15 s po zapojení měřicího napětí.[6]

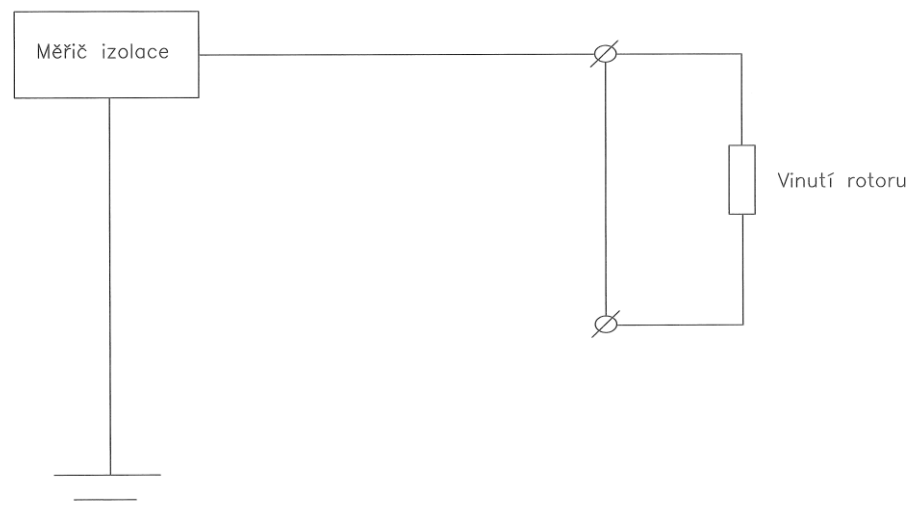
$R_{iz60}$  Hodnota izolačního odporu v  $M\Omega$  odečtená v čase 60 s po zapojení měřicího napětí.[6]

$R_{iz600}$  Hodnota izolačního odporu v  $M\Omega$  odečtená v čase 600 s po zapojení měřicího napětí.[6]

### 1.1.3 Monitorování izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu rotorového vinutí

Měření využíváme pro ověření kvality a stavu izolace rotorového vinutí proti kostře. Zmenšení hodnoty izolačního odporu může být způsobeno znečištěním zejména povrchových cest, například zaprášením nebo orosením, dále může indikovat mechanické poškození jako je nalomení nebo naříznutí izolace rotorového vinutí.[7]

Podmínky pro měření jsou stejné jako v předchozím bodě v případě statorového vinutí, měřič izolace má zdroj stejnosměrného napětí použijeme 0,5 až 1 kV s rozsahem minimálně 0,1  $G\Omega$ . Polarizační index se stanovuje pouze jednominutový.[7]

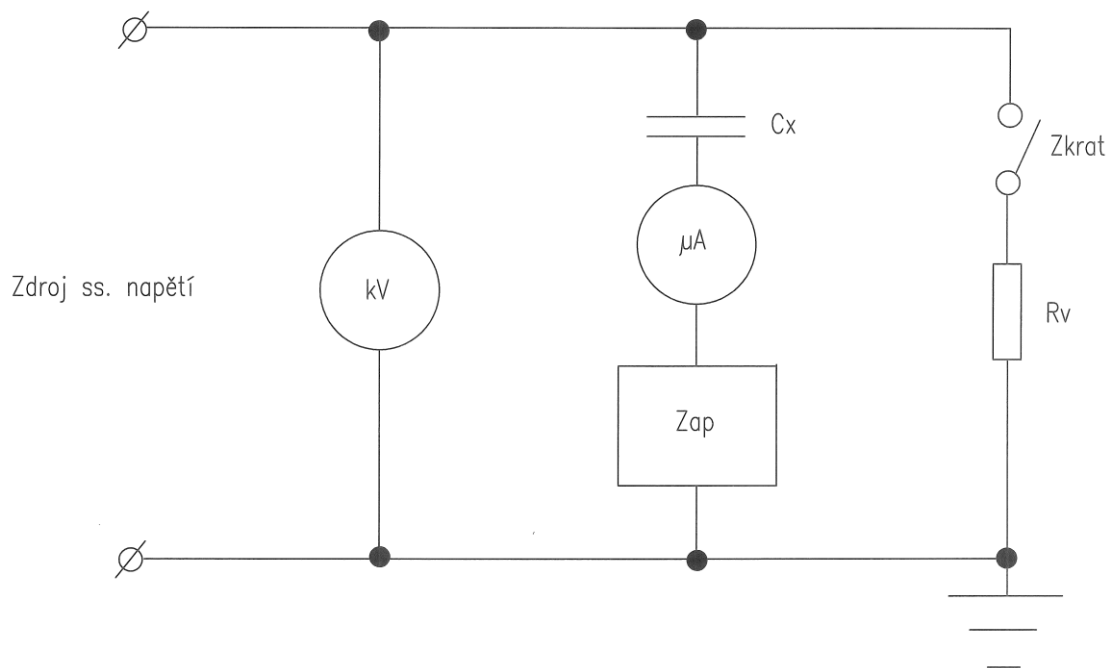


Obr. 1.6 Schéma zapojení pro měření izolačního odporu rotorového vinutí (překresleno z [7])

### 1.1.4 Monitorování napěťové závislosti izolačního odporu na stejnosměrném napětí

Měření využíváme pro získání informací o kvalitě izolace vinutí zkoušeného stroje. Velikost protékajícího proudu izolačním systémem je závislá na kvalitě izolace, charakter grafického záznamu protékajících proudů izolací systému je určen stavem měřené izolace, který může negativně ovlivnit vlhkost, popřípadě degradace. Požadované podmínky pro měření jsou stejné jako u měření izolačního odporu.[8]

Na vstup měřené fáze připojíme měřicí stejnosměrné napětí 0,5 až 5 kV, zbývající fáze se na vstupu uzemní a měříme postupně všechny tři fáze samostatně. S připojeným napětím se současně měří čas s protékajícím proudem izolačním systémem po dobu 10 minut. Postup se opakuje ještě při dalších dvou napěťových hladinách. Po celou dobu měření graficky zaznamenáváme nabíjecí proud  $I_b$ . Izolační odpor je vypočten jako poměr napětí a proudu po deseti minutách.[8]



Obr. 1.7 Schéma zapojení pro měření napěťové závislosti izolačního odporu na stejnosměrném napětí (překresleno z [8])

kV	Elektrostatický kilovoltmetr.
$C_x$	Měřená izolace.
$\mu A$	Mikroampérmetr.

Zap	Grafický zapisovač.
Zkrat	Zkratovací zařízení.
$R_v$	Vybíjecí odpor.

### 1.1.5 Monitorování ztrátového činitele $tg \delta$ , kapacity a výpočet časové konstanty

Hodnota ztrátového činitele  $tg \delta$  a jeho velikost nám pomáhá posoudit stav a stárnutí izolačního systému. Opakovaným měřením v intervalu dvou let sledujeme vývoj této hodnoty a na případné zvýšení hodnoty oproti předchozímu měření můžeme včas zareagovat. Ztrátový činitel můžeme definovat jako tangens úhlu, o který se liší fázový posun proudu zkoušeného izolačního systému od fázového posunu proudu ideálního bezztrátového dielektrika.[9]

Teplota měřeného stroje působí na absolutní velikost ztrátového činitele, teplota stroje nemá podstatný vliv na velikost kapacity zkoušeného izolantu. Kapacita  $C$  se udává v  $\mu F$ , ztrátový činitel  $tg \delta$  je vyjádřen bezrozměrným číslem. Polarizace dielektrika a další okolnosti ovlivňují hodnotu ztrátového činitele, ze změn průběhů  $tg \delta = f(U)$  můžeme pak posuzovat celkový stav izolačního systému stroje.[9]

Časová konstanta  $\tau$  a její velikost není závislá na geometrických rozměrech vinutí alternátoru, můžeme proto porovnávat kvality izolace různých typů strojů.[9]

Desetiminutová časová konstanta izolace  $\tau_{600}$  se vypočítá podle vztahu (1.3) uvedeného ve zdroji [9].

$$\tau_{600} = R_{iz600} \times C \quad [-], \quad (1.3)$$

$R_{iz600}$  Hodnota izolačního odporu v  $M\Omega$  odečtená v čase 600 s po zapojení měřicího napětí.[9]

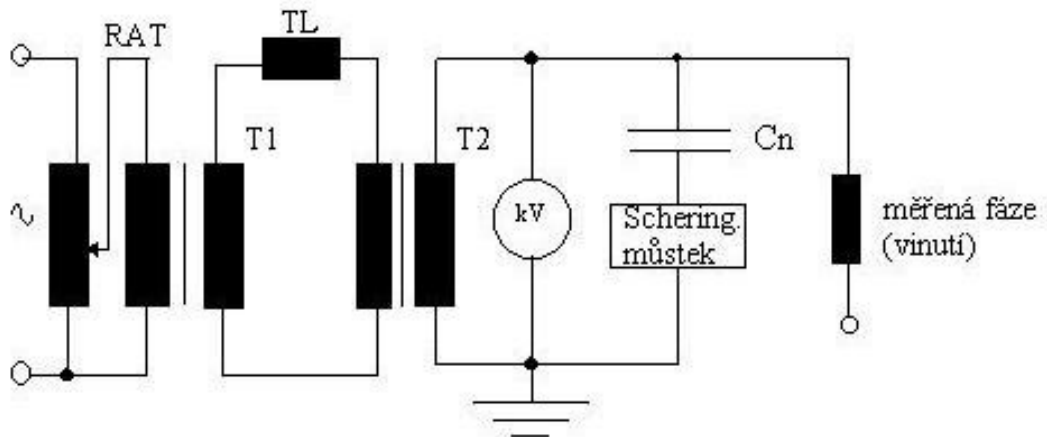
$C$  Kapacita vinutí v  $\mu F$  při  $U_{fn}$ . [9]

$U_{fn}$  Jmenovitá hodnota fázového napětí.[9]

Měření provádíme pomocí Scheringova můstku s přesností  $C < 0,2 \%$  a  $tg \delta < 2 \%$ , dále použijeme nulový indikátor, kapacitní normál  $C_n$ , regulační autotransformátor RAT, napájecí vn transformátor T2, ionizační filtr, tlumivku TL, oddělovací transformátor T1, elektrostatický kilovoltmetr kV, teploměr a vlhkoměr. Podmínky pro měření jsou stejné jako u měření izolačního odporu.[9]

Na vstup měřené fáze přiložíme měřicí napětí, zbývající dvě fáze na vstupu uzemní,

druhé konce zůstanou nezapojeny. Měření provádíme po jednotlivých fázích samostatně.[9]



Obr. 1.8 Zapojení pro měření ztrátového činitele  $\text{tg}\delta$  a kapacity statorového vinutí (převzato z [9])

Měří se napěťová závislost ztrátového činitele a kapacity v intervalu  $0,2 - 1,0 U_n$ , napětí je zvyšováno po  $0,2 U_n$  (sdružená hodnota jmenovitého napětí). V případě, že se před měřením projeví rušivé vlivy a dochází k výchylce nulového indikátoru v beznapěťovém stavu, připojíme do měřicího obvodu ionizační filtr.[9]

### 1.1.6 Monitorování částečných výbojů statorového vinutí galvanicky vázanou metodou

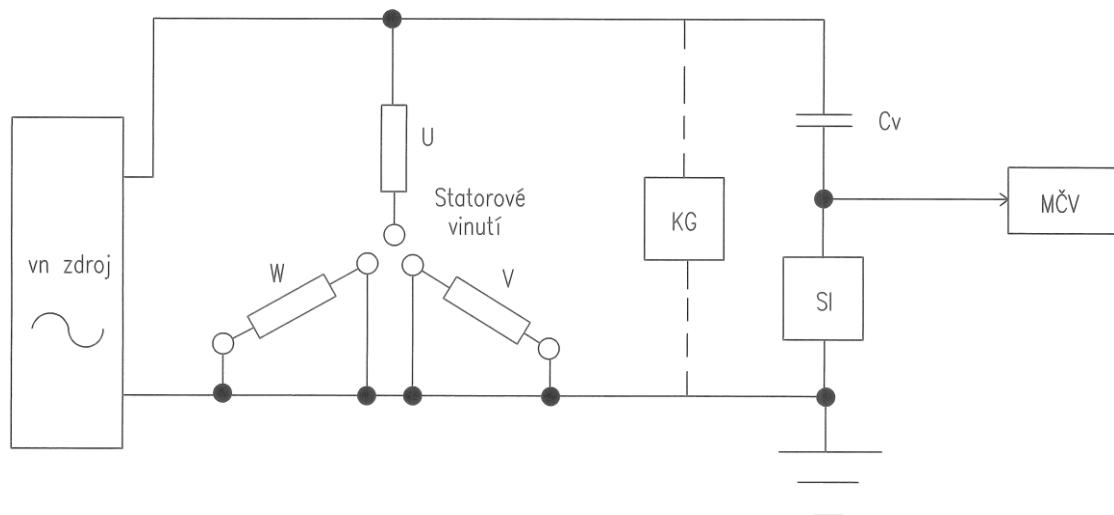
Částečné výboje můžeme definovat jako místní elektrické výboje, které pouze částečně zkratují izolační systém mezi elektrodami o určitém potenciálu. Vznikat mohou mezi izolací a vodičem, v izolaci vodičů, mezi izolací a dnem drážky statoru (drážkové výboje) nebo na povrchu izolace mimo drážku statoru (klouzavé výboje na povrchu izolace, povrchové výboje na čelech vinutí a koróna).[10]

Částečné výboje způsobují postupnou degradaci kvality izolačního systému a dochází ke snížení jeho elektrické pevnosti. Za účelem odhadnutí celkové stupně degradace izolačního systému provádíme měření částečných výbojů, které nám pomůže určit vznik lokálních vad.[10]

K měření použijeme širokopásmový měřicí přístroj částečných výbojů s rozsahem do  $1 \mu\text{C}$ , bezkorónový vazební kondenzátor 100 až 1000 pF, kalibrační generátor

1000 až 10000 pC, měřící impedanci, bezkorónový zdroj 50 Hz (nula až  $U_n$ ) a kilovoltmetr. Před měřením se rozpojí uzel vinutí, měřenou fází připojíme na zdroj střídavého napětí, neměřené fáze se zkratují a uzemní.[10]

Na odpojené, odzemněné měřené fázi se zvyšuje postupně napětí až do hodnoty  $U_n$ , při výskytu výbojové činnosti nad dohodnutou mez, obvykle  $q = 1000$  pC, odečteme hodnotu napětí, při kterém dochází k výskytu nadlimitní výbojové činnosti. Po dosažení jmenovitého napětí nechá působit po dobu třiceti minut, poté se napětí snižuje v krocích po  $0,2 U_n$  a na těchto hladinách se měří  $Q$ , v obou půlperiodách  $U_n$ . Měření se provádí na všech fázích postupně. Kalibrační generátor KG se použije jednorázově před zahájením měření, kdy je obvod v beznapěťovém stavu. V případě, že se při měření projevují rušivé vlivy, připojíme do obvodu odrušovací filtr.[10]



Obr. 1.9 Schéma zapojení pro měření částečných výbojů statorového vinutí (překresleno z [10])

KG	Kalibrační generátor.
$C_v$	Vazební kondenzátor.
SI	Snímací impedance.
MČV	Měřič částečných výbojů.

### 1.1.7 Monitorování částečných výbojů statorového vinutí akustickou sondou

Jedná se o další metodu pro monitorování částečných výbojů v izolačním systému, u které používáme akustickou sondu k určení přesného místa zdroje výbojové činnosti. Metodu využíváme hlavně při vyjmutém rotoru a lze ji využít i pro kontrolu cívek před

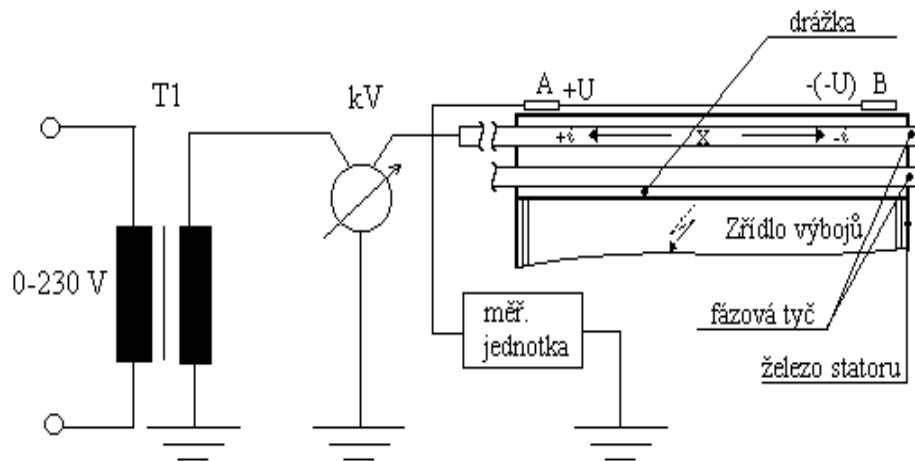


vykládáním do drážek při převíjení nebo opravě statorového vinutí. Pro měření potřebujeme napěťový zdroj nula až  $U_n$ , dále akustickou sondu s frekvenčním rozsahem 40 kHz a kilovoltmetr do 15 kV. Na celé vinutí statoru se připojíme zkušební napětí a plynule zvyšujeme až do úrovně jmenovitého napětí statoru, ve směru předpokládaného zdroje výbojové činnosti namíříme mikrofón akustické sondy. Výchylka indikátoru a akustický signál ve sluchátkách určí přesné místo výskytu výboje v izolaci stroje, při zaznamenání výboje sondou musíme zapsat a vyhodnotit příslušné napětí.[11]

### 1.1.8 Monitorování částečných výbojů statorového vinutí diferenciální elektromagnetickou sondou

Jedná se o speciální metodu, která se používá k měření částečných výbojů v jednotlivých drážkách a pomáhá nám určit místo zdroje výbojové činnosti ve vinutí statoru točivého stroje. Proudění částečných výbojů způsobí vznik elektromagnetického pole, které se šíří impulsy z jejich zdroje směrem k nulovému konci a vývodu fáze. Diferenciální elektromagnetická sonda je složena ze dvou jednoduchých induktivních sond zapojených elektricky proti sobě, v obou sondách se indukuje napětí stejné velikosti, úměrné velikosti náboje vybíjeného ve zdroji výbojové činnosti. Pokud je zdroj výbojové činnosti v části vinutí ohraničeného oběma sondami, tak se obě napětí sečtou, mají stejnou polaritu. Pokud je zdroj výbojů mimo oblast ohraničenou sondami, napětí se odečtou. Sondou se zjišťuje maximální náboj částečných výbojů lokalizovaných v drážce vinutí měřené fáze.[12]

K měření potřebujeme bezvýbojový regulovatelný zdroj napětí do hodnoty  $U_n$ , diferenciální elektromagnetickou sondu s příslušenstvím, měřič četnosti impulsů částečných výbojů, kalibrátor, kilovoltmetr do 15 kV. Před měřením se rozpojí uzel vinutí, stroj by měl být vyčištěn. Měříme po jednotlivých fázích, před měřením si očíslováme drážky statoru. Měřenou fázi napájíme z jedné strany, ostatní fáze jsou uzemněny. Před zahájením měření zkalibrujeme měřící obvod impulsem o známé velikosti náboje za pomoci kalibrátoru. Sonda se umísťují při kalibraci na první drážku měřené fáze v souhlasném směru. Při měření výbojové činnosti se sondy kladou na okraje statorového paketu vyšetřované drážky v diferenciálním zapojení. Při zaznamenání výboje se změří amplituda jeho napěťové odezvy  $U_v$  a také zapalovací napětí  $U_z$  výboje.[12]



kV ... kilovoltmetr

T1 ... vn transformátor

A, B ... diferenciální elektromagnetická sonda

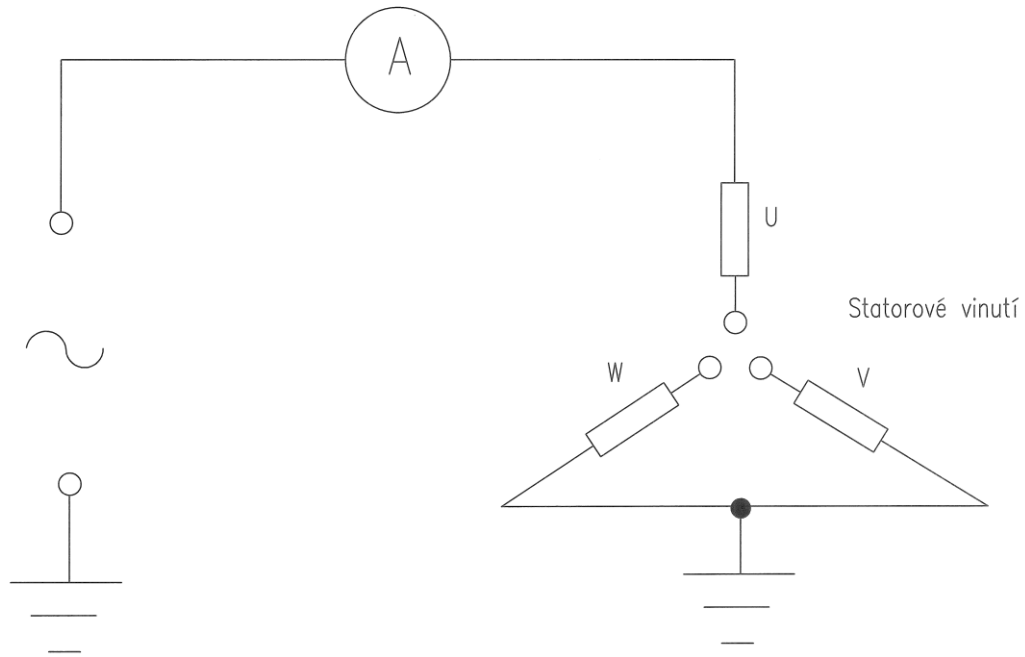
+U, -U ... napěťová odezva jednotlivých elektromagnetických sond

Obr. 1.10 Schéma zapojení elektromagnetické sondy (převzato z [12])

### 1.1.9 Monitorování statorového vinutí střídavým napětím

Tato metoda je nazývána zjednodušeně jako napěťová zkouška a je založena na zvýšeném elektrickém namáhání izolačního systému přiloženým napětím o velikosti obvykle 1,5 násobku napětí jmenovitého a tím se odzkouší elektrická pevnost izolace statorového vinutí zkoušeného stroje. U nového stroje nebo stroje po převinutí se provádí zkouška přiloženým napětím o velikosti dvojnásobku napětí jmenovitého. Při zkoušce se rozloží napětí na vinutí v poměru kapacit.[13]

K provedení zkoušky potřebujeme střídavý vysokonapěťový zdroj s kmitočtem od 40 do 60 Hz a dále přístroje pro měření proudu a napětí. Před měřením se stroj vyčistí a provede rozpojení uzlu vinutí. Jeden pól zkušební napětí se připojí na vývody zkoušeného vinutí, druhý pól se zapojí na uzemněnou kostru generátoru, která se propojí s ostatními vinutími. Dále se s kostrou spojí i ostatní části stroje, jako jsou snímače teplot a vibrací.[13]

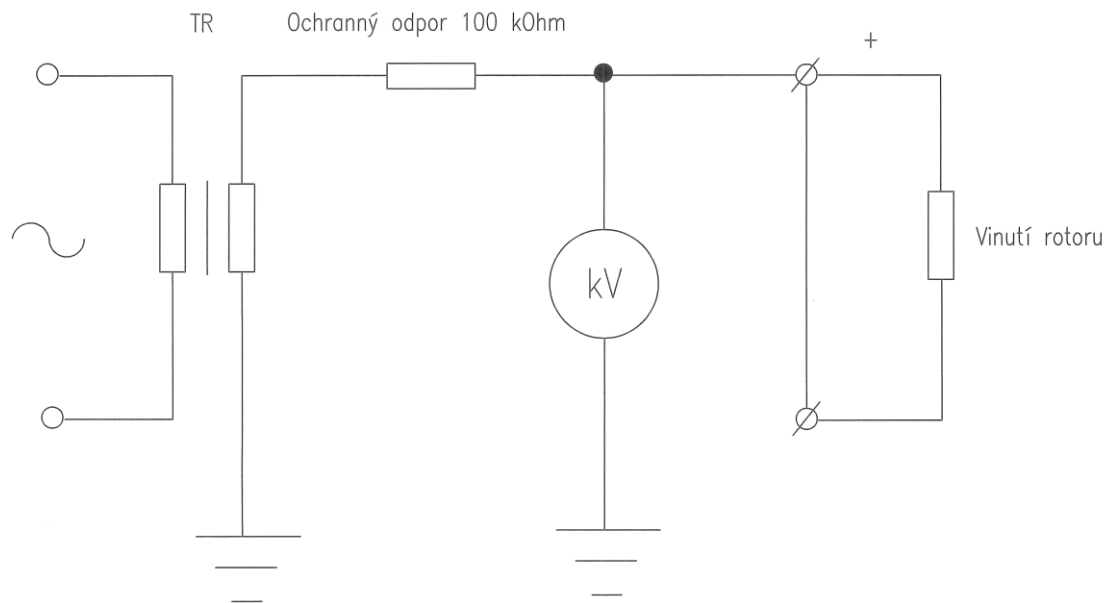


Obr. 1.11 Schéma zapojení při zkoušce statorového vinutí napětím 50 Hz (překresleno z [13])

### 1.1.10 Monitorování rotorového vinutí střídavým napětím

Za provozu je izolace rotorového vinutí namáhána provozním napětím a také přepětím při přechodových stavech alternátoru. Při zkoušce se ověřuje kvalita izolace rotoru pomocí připojeného zkušebního střídavého napětí po předem určenou dobu, při zkoušce nesmí dojít k průrazu nebo přeskoku. Při zkoušce je rozložení potenciálu na vinutí v poměru kapacit. Hodnota zkušebního střídavého napětí 50 Hz je pro nový stroj 100% (deseti násobek budícího stejnosměrného napětí), pro stroj v provozu 75%. Počet zkoušek střídavým napětím o frekvenci 50 Hz by měl být co nejmenší.[14]

K měření je potřeba regulační zdroj 40 až 60 Hz (1 kVA / 1 kV) sinusového průběhu napětí (TR transformátor 220/5000 V) a přístroj pro měření efektivní hodnoty napětí. Při zkoušce se propojí vývody rotorového vinutí a připojí se na ně jeden pól zkušebního napětí. Druhý pól napětí se připojí na hmotu rotoru a postupně se pak zvyšuje napětí v krocích po jednom kilovoltu za deset vteřin.[14]



Obr. 1.12 Schéma zapojení při zkoušce rotorového vinutí napětím 50 Hz (překresleno z [14])

### 1.1.11 Monitorování statorového vinutí stejnosměrným napětím

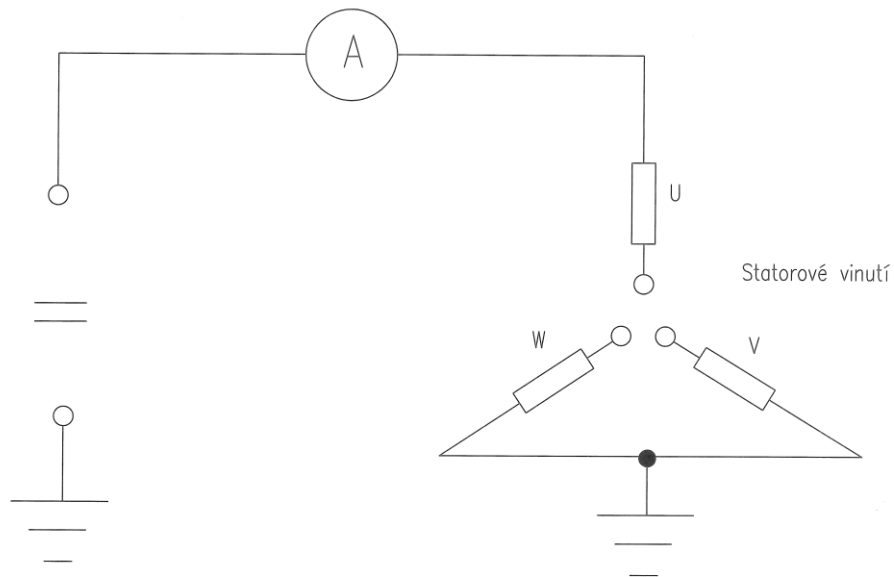
Zkouška stejnosměrným napětím se provádí v případě, že technické podmínky neumožní provést zkoušku střídavým napětím. Elektrická pevnost izolačního systému je dána hodnotou zkušebního napětí, které je rozloženo na vinutí v poměru odporů.[15]

Pro provedení zkoušky je potřeba plynule regulovatelný zdroj stejnosměrného napětí a přístroje pro měření napětí a proudu. Zkušební napětí pro nový stroj je stanoveno jako dvojnásobek jmenovitého napětí vynásobeného hodnotou 1,7. Pro stroj v provozu je hodnota zkušebního napětí stanovena jako jeden a půlnásobek jmenovitého napětí vynásobeného hodnotou 1,7. Postup provedení zkoušky i podmínky zkoušky jsou stejné jako u zkoušky střídavým napětím.[15]

$$U_{zkss} = 1,7 \times U_{zkst} \quad (1.4)$$

$U_{zkss}$  Zkušební stejnosměrné napětí.

$U_{zkst}$  Zkušební střídavé napětí.

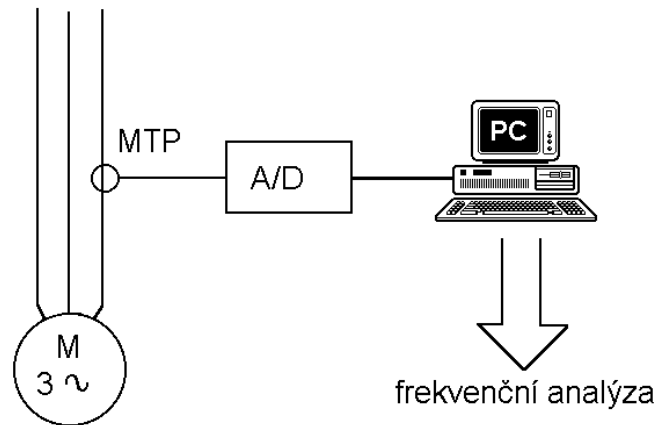


Obr. 1.13 Schéma zapojení při zkoušce statorového vinutí stejnosměrným napětím (překresleno z [15])

### 1.1.12 Frekvenční analýza proudu a rozptylového magnetického pole

Porucha nebo nesymetrie v elektrickém nebo magnetickém obvodu generátoru zapříčiní vznik přídavných magnetických polí ve vzduchové mezeře, rychlost otáčení těchto přídavných polí je odlišná od synchronní rychlosti. Tím dojde ke vzniku nesymetrického systému, který můžeme rozložit na systémy symetrické, tedy na systém sousledný, zpětný a netočivý. Při dalším rozboru zjistíme, že se u takového nesymetrického systému objeví ve statorovém proudu a v rozptylovém magnetickém poli v okolí statoru přídavné frekvenční složky v okolí první harmonické a otáčkových frekvencí - postranní frekvenční pásma. Velikost amplitudy těchto postranních frekvenčních pásem je závislá na míře nesymetrie a jejich charakter závisí na příčině poruchy, jako jsou například špatné ustavení, mechanické závady nebo elektrické závady rotoru.[16]

Pro měření potřebujeme proudové čidlo s napěťovým výstupem (proudová sonda osciloskopu), snímací cívku pro měření rozptylového pole (deset tisíc křížově vinutých závitů měděným lakovaným vodičem na kostře 15 x 15 x 100 mm) a frekvenční analyzátor nebo A/D převodník s programem umožňujícím záznam a frekvenční analýzu proudu. Provádí se za chodu stroje v sekundárních obvodech měřicích transformátorů proudu, při měření rozptylového magnetického pole se musí demontovat přídavné kryty statoru. Analýzu můžeme provést i měřením rozptylového magnetického pole přiložením snímací cívky na kostru stroje.[16]

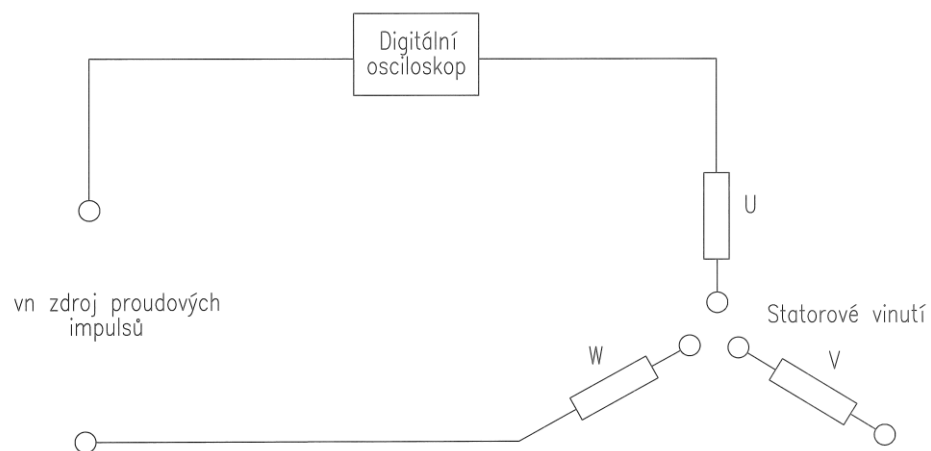


Obr. 1.14 Schéma zapojení pro frekvenční analýzu napájecího proudu (převzato z [16])

### 1.1.13 Monitorování závitové izolace statorového vinutí proudovými impulsy

Kvalitu mezizávitové izolace vinutí a cívek můžeme nejlépe určit za pomoci zkoušky proudovými impulsy a srovnávací zkoušky proudovými impulsy. Tato zkouška dokáže diagnostikovat počínající stádia poruchy izolace mezi závitů. Srovnávací zkouška proudovými impulsy využívá reakce vinutí statoru na proudový impuls, porovnáním oscilografických průběhů můžeme následně vyhodnotit stav izolace.[17]

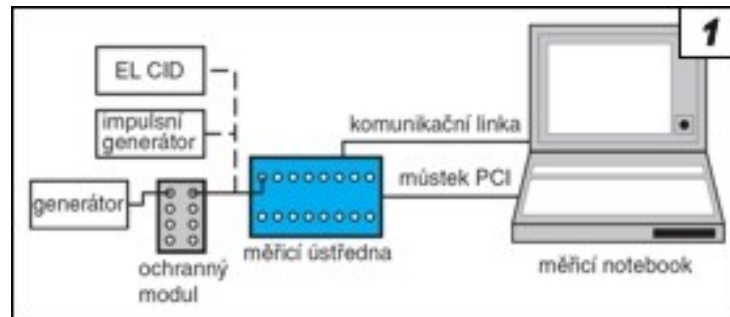
Pro měření potřebujeme vysokonapěťový střídavý zdroj proudových impulsů a digitální osciloskop s proudovou sondou. Uzel vinutí se nerozpojuje, rotor nemusí být vyjmutý, ale pak je potřeba uvažovat zpětné působení rotoru a jeho vliv na posuv křivek. Po ukončení měření se naměřené křivky porovnají s referenčním měřením.[17]



Obr. 1.15 Schéma zapojení pro zkoušku závitové izolace proudovými impulsy (překresleno z [17])

### 1.1.14 Magnetizační zkouška metodou EL CID

Magnetizační zkouška nesilovou metodou EL CID (ELectromagnetic Core Imperfection Detection) je používána k detekci vad izolace mezi plechy ve statoru generátoru. Obvykle se provádí při generální opravě stroje, kdy je demontován rotor. Při zkoušce EL CID se magnetický obvod budí na 4% provozního sycení a přejíždí se detektorem po jednotlivých drážkách a měřicí přístroj ukáže případné závady v magnetickém obvodu statoru.[18]



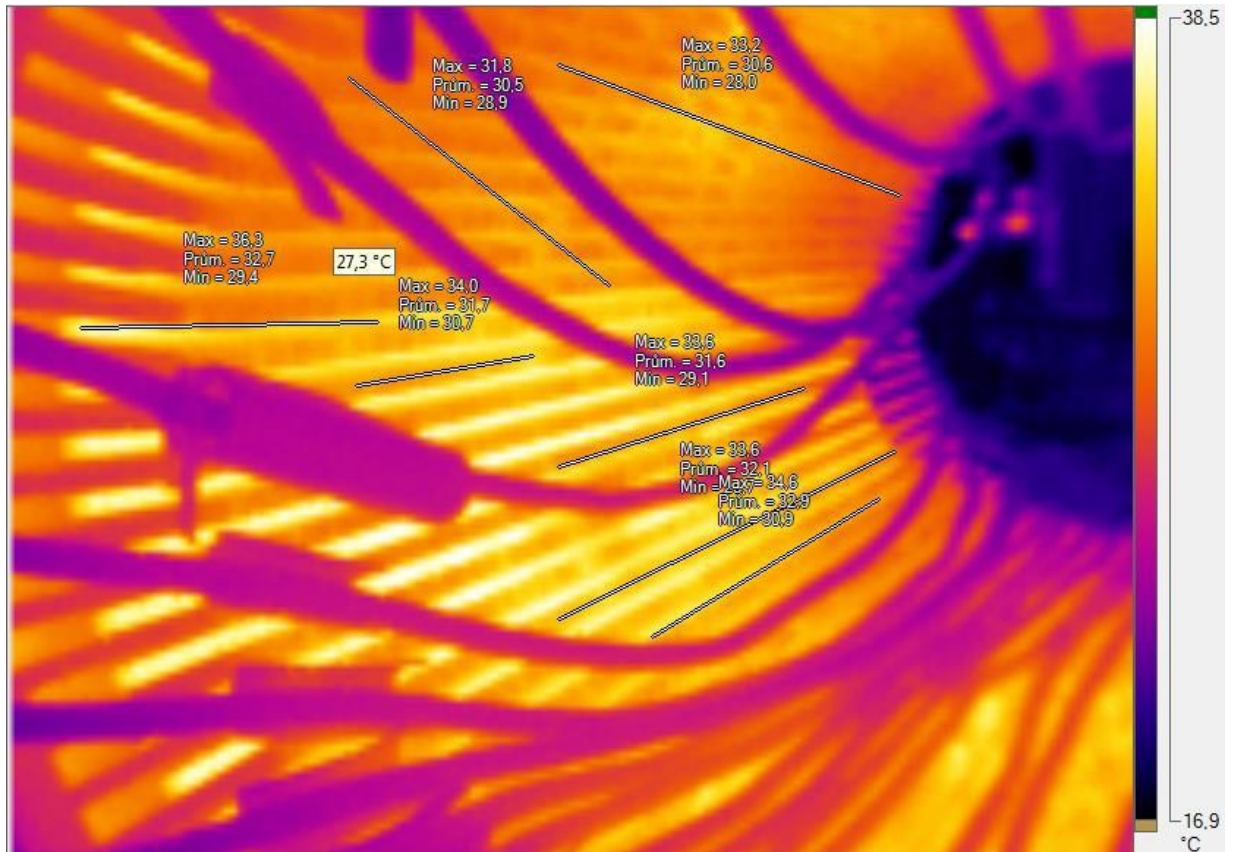
Obr. 1.16 Schéma zapojení pro magnetizační zkoušku EL CID (převzato z [18])



Obr. 1.17 Přístrojové vybavení a realizace magnetizační zkoušky EL CID (převzato z [19])

### 1.1.15 Silová magnetizační zkouška

Silová magnetizační zkouška se provádí na demontovaném statoru s vyjmutým vinutím (před přivinutím statoru), kdy se za pomoci vodiče omotaného kolem magnetického jádra s daným počtem závitů provede zkušební magnetizace železného jádra stroje na 100% provozního sycení a s pomocí termovizní kamery se pak kontroluje teplota všech plechů, lokální diference větší než 10° C signalizuje vadu v magnetickém obvodu stroje. Současně se při silové magnetizaci provede i diagnostické měření hluku, viz následující kapitola 1.1.16.



Obr. 1.18 Snímek z termovizní kamery při silové magnetizaci statoru TG3 (převzato z [20])

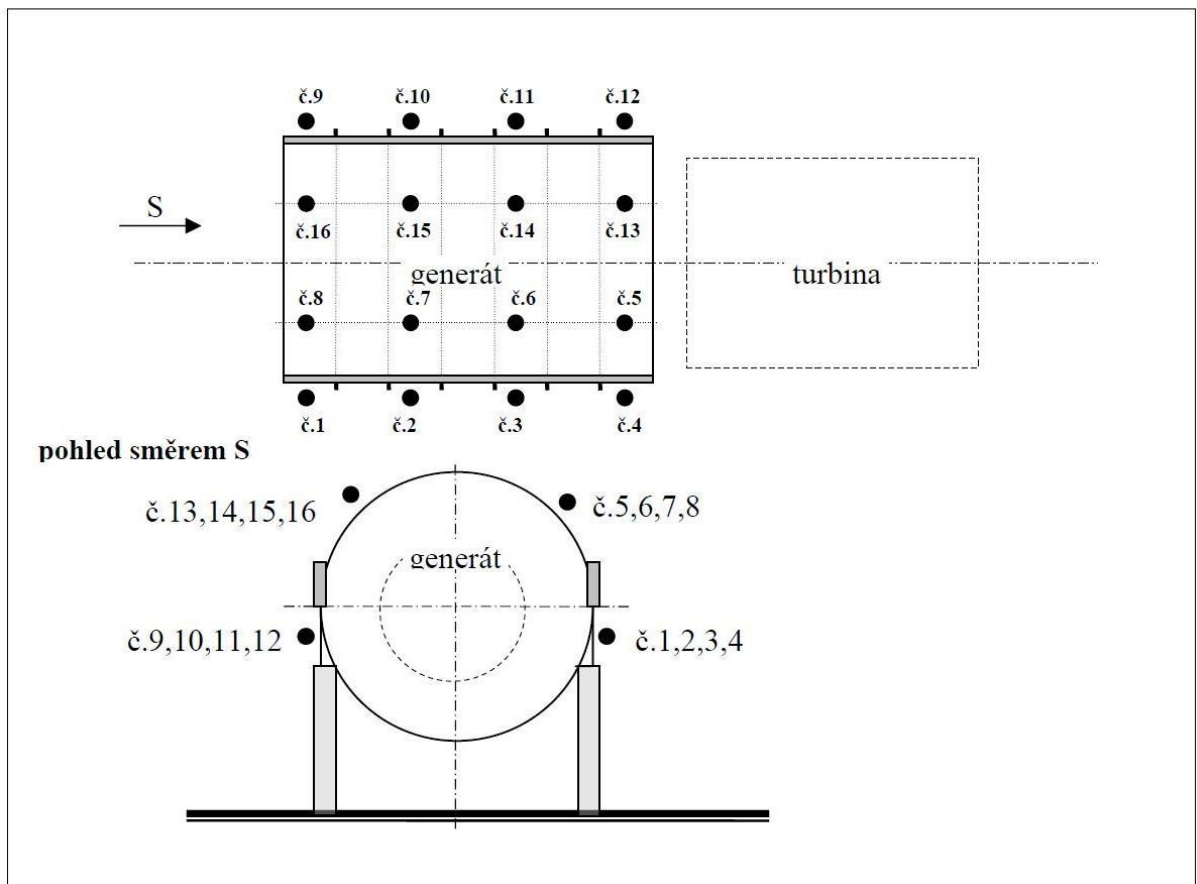
### 1.1.16 Diagnostické měření hluku generátoru

Diagnostické měření hluku se provádí nejčastěji za provozu stroje při stabilním zatížení a teplotě, účelem je odhalit případné vady provozovaného generátoru, převážně je zaměřeno na ověření mechanického stavu magnetického jádra generátoru. Měření se opakuje v pravidelném intervalu, obvykle po pěti letech. Následnou analýzou frekvenčních spekter a porovnáním s předchozím měřením mohou být detekovány případné závady magnetického obvodu (například uvolnění).[21]

Diagnostické měření hluku bývá někdy využíváno i při generálních opravách generátorů, obvykle při silové magnetizační zkoušce, kdy pomáhá diagnostikovat stav magnetického obvodu. Častěji se ale v praxi při opravách strojů využívá pouze nesilová magnetizační zkouška EL CID, protože je tato zkouška levnější a je méně náročná na realizaci.



Rozmístění měřicích bodů.



Obr. 1.19 Diagnostika hluku při silové magnetizační zkoušce TG3 (převzato z [21])

## 1.2 Oprava generátoru TG3 v ETI

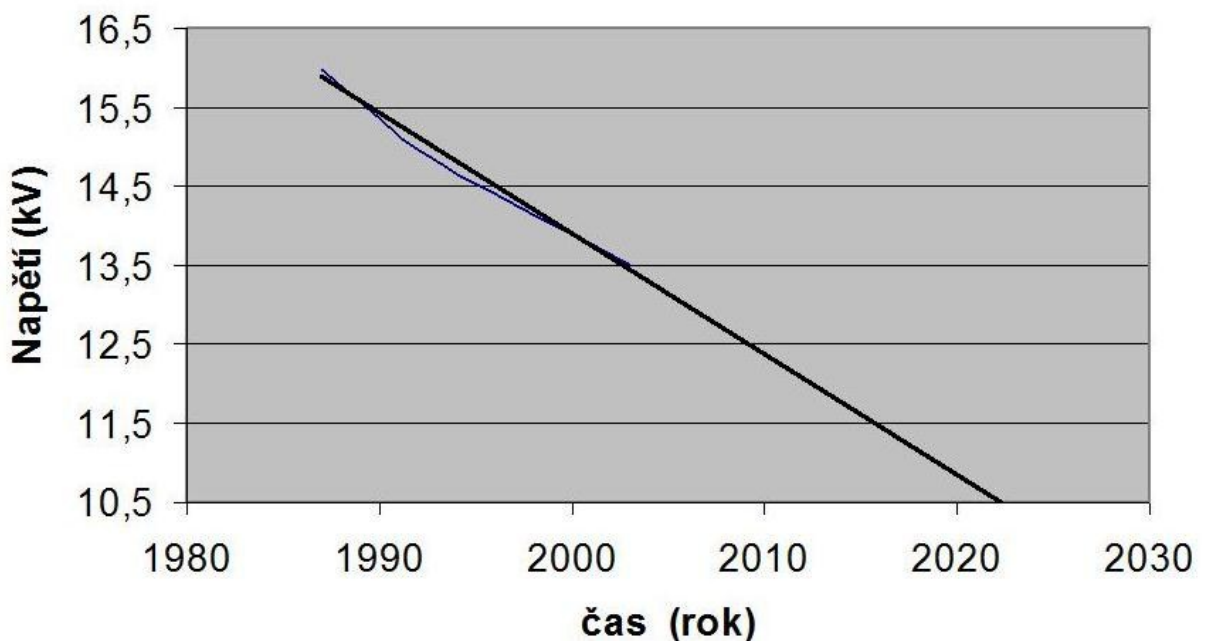
Generátor TG3 byl dle plánu odstávek zařazen do generální opravy na konci roku 2013. Při přípravě opravy generátoru jsem vycházel z historie oprav a z diagnostických nálezů z několika posledních let.

V prvním připraveném záměru opravy jsem uvažoval o převinutí rotoru. Poslední převinutí rotoru bylo provedeno v roce 1985, s výhledem na další bezporuchový provoz stroje a po zkušenostech s rotory ostatních strojů, jsem proto připravil jeho převinutí. Současně by se dle mého návrhu přistoupilo i k výměně obručí rotoru, stávající obruče z materiálu 17455 by se nahradily obručkami z materiálu P900. V případě roztrhnutí obruče hrozí totální zničení soustrojí s možností ohrožení života obsluhujícího personálu.

Současně jsem připravil i variantu pro převinutí statorového vinutí, poslední převinutí bylo provedeno v roce 1983. Očekával jsem případný problém i v magnetickém obvodu, u stejného stroje na pozici TG2 se v roce 2008 zjistil uvolněný magnetický obvod, proto byl

stator TG2 nahrazen státorem z odstavené TG4. Tato domněnka byla potvrzena i v diagnostické zprávě z měření hlukových emisí statoru, kde je porovnáván vývoj hladin akustického tlaku naměřeného v jednotlivých bodech, se závěrem největšího rozdílu v chodu při zatížení v oblasti čel vinutí statoru. K trvalému nárůstu docházelo od roku 2002, 2005 a 2012. V měřících bodech podél plechů statoru dochází v chodu při zatížení sice také ke změnám, ale tyto vykazují přibližně ustálený trend. Z toho se dalo usuzovat na uvolnění vinutí. Naměřené spektrogramy zase ukazovaly na uvolnění magnetického obvodu.[22]

Při přípravě opravy a uvažovaném převinutí jsem dále vycházel z výpočtu pravděpodobnosti průrazu a zbytkové životnosti, kde byla vypočítána zbytková životnost 42%, což odpovídá riziku průrazu izolace cca 60%. Jak je však zřejmé z dlouhodobého trendu, můžeme předpokládat jeho poměrně pomalou degradaci a riziko 100% se bude blížit cca v roce 2020, kdy pravděpodobnost poruchy v mimořádném stavu se blíží jistotě.[23]



Obr. 1.20 Pravděpodobnost průrazu statorového vinutí TG3 (převzato z [23])

### 1.2.1 Zvolená varianta a celkový plánovaný rozsah opravy generátoru TG3

Při volbě varianty opravy jsem vycházel z další předpokládané doby provozu stroje, která nebude delší než dalších asi 12 let (v době přípravy), s odstavením TG3 se předpokládá asi kolem roku 2025. Proto jsem nakonec vynechal převinutí rotoru, vyřadil jsem i výměnu

obručí rotoru. Výměna magnetického obvodu také nepřicházela z finančních důvodů v úvahu. Přistoupil jsem tak k vyššímu riziku, kdy jsme nakonec provedli pouze typovou opravu stroje s převinutím statoru za pomoci původních statorových tyčí.

Oprava generátoru TG3 tedy byla realizována v následujícím naplánovaném rozsahu:

### Stator

- Demontáž vík generátoru.
- Demontáž sběracího zařízení, uhlíků.
- Demontáž ložisek a ložiskového stojanu.
- Náměry uložení, vysunutí rotoru.
- Elektrické zkoušky a měření před opravou v souladu s „Plánem kontrol a zkoušek“ ( $R_{iz}$ , napěťová závislost  $R_{iz}$  na DC, částečné výboje).
- Demontáž statorového vinutí a jeho oprava ve 100 % rozsahu – demontáž jednotlivých tyčí, zkoušky všech tyčí dle „Plánu kontrol a zkoušek“ a na základě nálezů jejich následná oprava, současně bude na všech tyčích provedena oprava vnější protikoronové ochrany.
- Magnetizační zkouška před opravou.
- Oprava magnetického obvodu dle nálezů a výsledků magnetizace a měření hluku.
- Oprava horkých míst na statoru, zpevnění statorových paketů.
- Magnetizační zkouška po opravě.
- Prověření funkčnosti a uschopnění teploměrů železa.
- Odzkoušení funkčnosti sondy pro indikaci mezizávitových zkratů v cívkách.
- Montáž vinutí po opravě – zpětná montáž všech tyčí a provedení nového klínování po opravě.
- Diagnostické měření po založení vinutí dle „Plánu kontrol a zkoušek“.
- Po opravě rotoru a ložisek opětná montáž stroje.
- Kontrola a vyrovnaní rotoru ve spojkách.
- Konečná montáž generátoru včetně vyrovnaní ve spojce a spojování, vystavení protokolů o měření před najetím stroje a uvedení do provozu.
- Měření elektrických parametrů po opravě ( $R_{iz}$ , napěťová závislost  $R_{iz}$  na DC, částečné výboje a diagnostické měření hluku - stav nebude po opravě horší než před opravou.
- Zkušební provoz.
- Vystavení protokolů.

### Rotor

- Vyčištění rotoru, proměření geometrie rotoru, příprava na transport a odeslání do opravy.
- Elektrické zkoušky a měření před opravou v souladu s „Plánem kontrol a zkoušek“.
- Demontáž spojky, obručí, aretačních matic a ventilátoru.
- Kontrola a oprava průchodnosti ventilačních kanálů.
- Oprava výztuh mezizávitové izolace a kontrola rozpěrkových klínů pod obručí matic.
- Kontrola a oprava zaklínování vinutí.
- Oprava klínování čel.
- Přeleštění, válečkování ložiskových čepů.
- Diagnostika obručí a ventilátoru.
- Výměna izolace pod obručemi.
- Montáž obručí a ventilátoru na rotor.
- Vyvážení rotoru v celém rozsahu otáček.
- Elektrická měření na rotoru, ohmický odpor, izolační odpor, zkouška přiloženým střídavým napětím.
- Očištění, lakování, nakonzervování a příprava rotoru k odeslání.
- Doprava zpět do ETI.
- Vystavení protokolů.

### Zadní generátorové ložisko

- Demontáž ložiskové pánve.
- Kontrola přilnavosti kompozice, případná výměna výstelky ložiskové pánve.
- Opracování vnitřní a vnější ložiskové pánve.
- Opracování vnitřního a vnějšího ložiska průměru ložiskové pánve.
- Přebřítování pánve.
- Přebřítování ložiskových vík.
- Lícování ložiskové pánve do ložiskového stojanu.
- Vystavení protokolů.

### Přední generátorové ložisko

- Demontáž ložiskové pánve.
- Kontrola přilnavosti kompozice, případná výměna výstelky ložiskové pánve.

- Opracování vnitřní a vnější ložiskové pánve.
- Opracování vnitřního a vnějšího ložiska průměru ložiskové pánve.
- Přebřítování pánve.
- Přebřítování ložiskových vík.
- Lícování ložiskové pánve do ložiskového stojanu.
- Vystavení protokolů.

#### Příslušenství generátoru

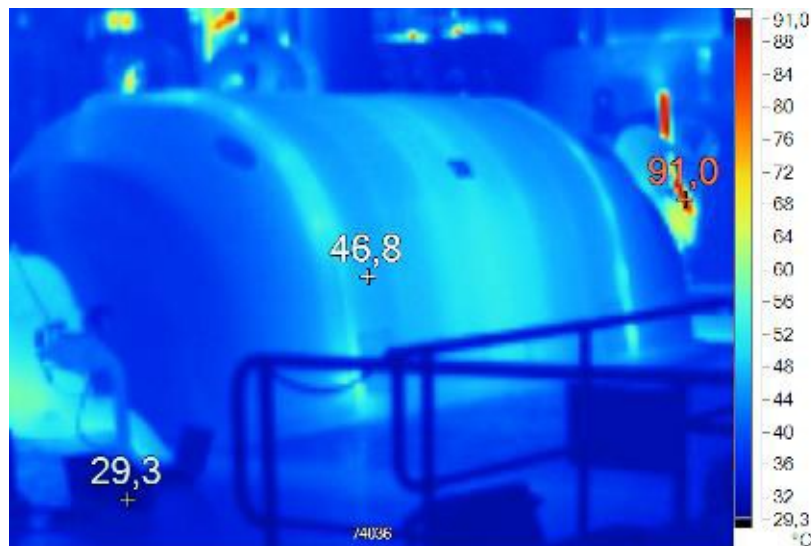
- Sběrací ústrojí generátoru.
- Demontáž, rozebrání, vyčištění, kompletace, montáž, vyrovnaní.
- Napěťová zkouška a změření *Riz*.
- Výměna držáků uhlíků za nové, s nanesenou teflonovou vrstvou na vnitřní části.
- Vystavení protokolů.

#### Vodní hospodářství generátoru

- Vyčištění chladičů.
- Výměna těsnění a tlaková zkouška chladičů.
- Úklid tlakové komory.
- Vystavení protokolů.

### **1.2.2 Zahájení opravy generátoru TG3**

Před odstavením stroje jsem se zhotovitelem provedl měření, které mělo za úkol zmapovat provozní situaci generátoru TG3 před zahájením opravy. Před měřením jsme ještě provedli vizuální prohlídku se zaměřením na kontrolu základového rámu, případné úniky oleje, netěsnosti vík a ložisek. Poté jsme zkontrolovali stroj na výkonu 47,5 MW s odečtením všech teplot generátoru, ložisek, vzduchu, vody, oleje a změření chvění na předním a zadním ložisku generátoru. Dalším bodem byla kontrola hodnoty hřídelového napětí, kdy na stroji TG3 je k uzemnění hřídele použit systém REDIGO s měděným zemnicím kartáčem. Současně jsme provedli kontrolu teploty kartáčů sběracího ústrojí a jejich proudového zatížení. Měřením jsme nezjistili žádné závažné problémy, všechny hodnoty byly v normě.



Obr. 1.21 Celkový snímek z termovize, měření před odstavením stroje do opravy (převzato z [24])



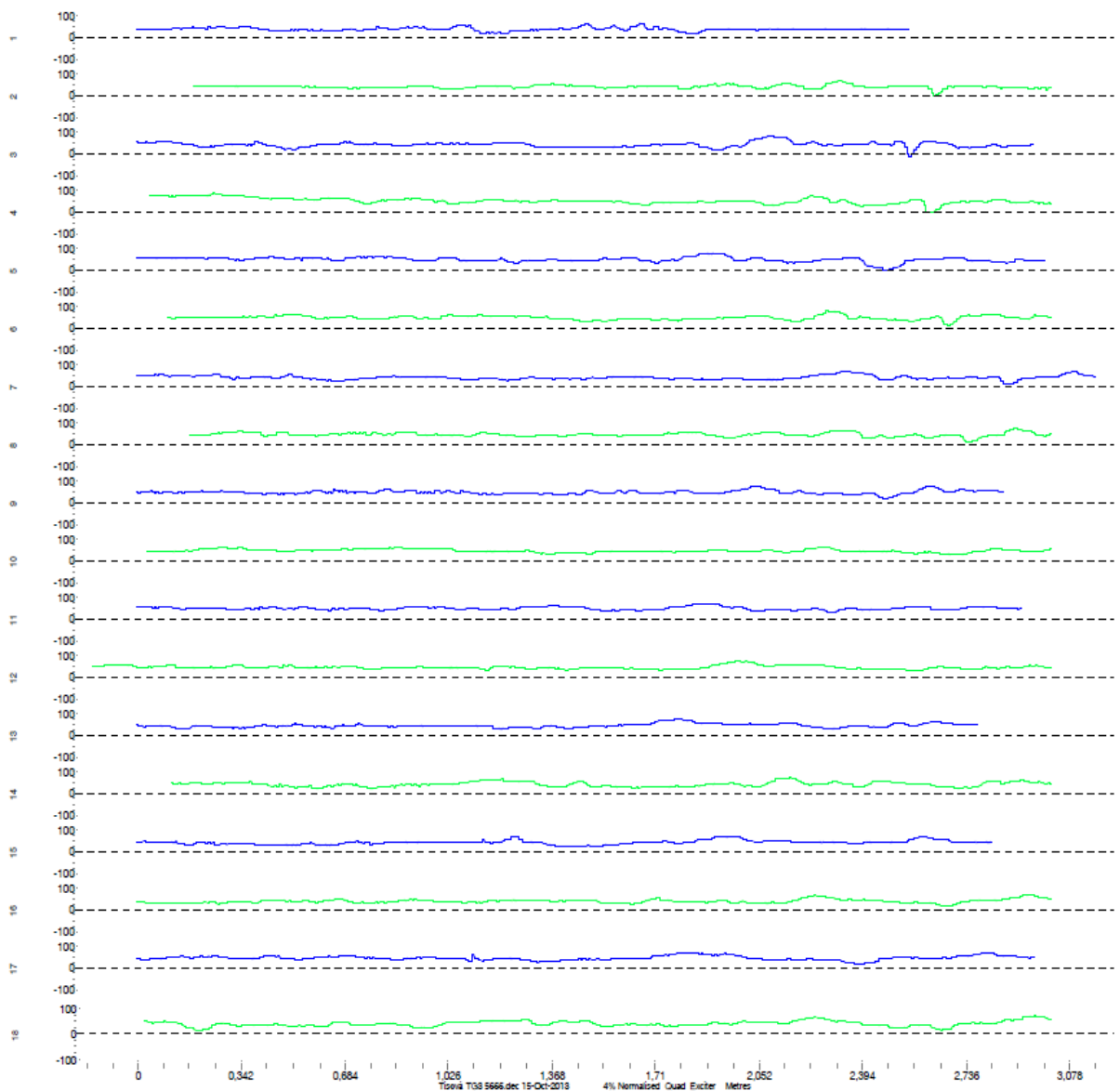
Obr. 1.22 Snímek chladičů z měření před odstavením stroje do opravy (převzato z [24])

### 1.2.3 Magnetizační zkouška TG3 metodou EL CID

Po odstavení generátoru TG3 do plánované opravy bylo provozními elektrikáři provedeno zajištění pracoviště na B příkaz a provedlo se odpojení statoru od vývodových sběrů. Zhotovitel provedl demontáž sběracího ústrojí rotoru generátoru a vík statoru. Dalším krokem byla demontáž rotoru a jeho přeprava do servisních dílen mimo areál ETI.

Po vyvlečení rotoru mohla být zahájena plánovaná magnetizační zkouška nesilovou metodou EL CID pomocí přístroje DIGITAL EL CID 601. Magnetický obvod jsme nabudili tak, aby byl nasycen na 4% svého provozního sycení, kontrola probíhala měřením napětí na

měřící cívce. Na autotransformátoru jsme nastavili hodnotu napětí na závit šest voltů a byla udržována po celou dobu měření. Rozsah proudu byl nastaven na čtyři ampéry a měřili jsme kvadratickou hodnotu proudu QUAD. Napájecí kabel s osmi závity byl veden osou jádra a sonda CHATTOCK POTENTIOMETER pak indikuje změnu velikosti signálu QUAD mezi sousedícími zuby. Vyhodnocení jsme prováděli pomocí programu ELAN V3.3, ADWEL. Poruchová hodnota QUAD na 0,1 A odpovídá oteplení daného místa o 10°C za provozu oproti okolí. Část průběhů je na *Obr. 1.23*, kde jsou uvedeny od 1. k 18. drážce z celkového počtu 78. drážek, naměřené hodnoty nevykázaly závadu v magnetickém obvodu statoru generátoru.[25]

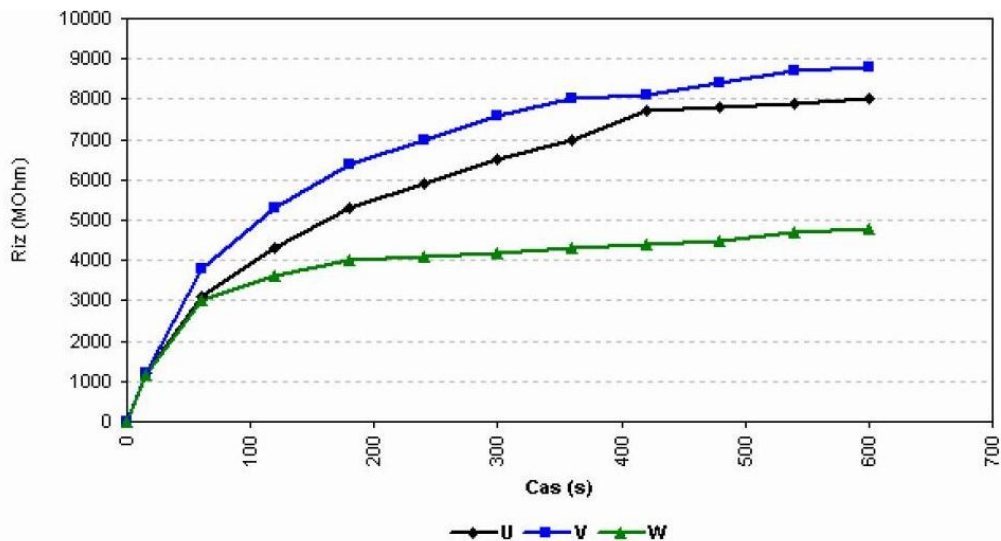


*Obr. 1.23 Ukázka průběhů v 18. drážkách ze 78. při zkoušce EL CID (převzato z [25])*

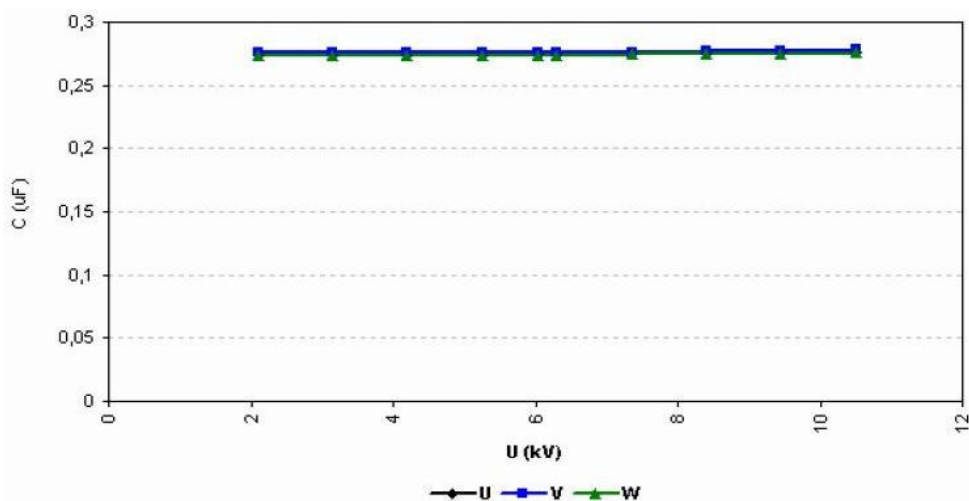
### 1.2.4 Diagnostické měření statoru TG3 před demontáží statorových tyčí

Před demontáží statorových tyčí jsme provedli diagnostiku statoru dle podnikové normy PN 00/06 rev01 pro vyhodnocení stavu izolace vinutí a jeho možné porovnání se stavem po provedeném převinutí, kdy stav po opravě nesmí být horší než před opravou. Měřili jsme izolační odpor statoru, kapacitu a ztrátový činitel statoru včetně částečných výbojů statoru.

Naměřené hodnoty izolační soustavy statorového vinutí před opravou splňovaly požadavky podnikové normy, kde jsou kritériální hodnoty stanoveny takto:  $R_{iz60} \geq 200 \text{ M}\Omega$ ,  $R_{iz600} \geq 800 \text{ M}\Omega$ ,  $\text{tg}\delta_{Un} \leq 0,085$ ,  $\text{tg}\delta_{0,2Un} \leq 0,035$ ,  $\text{tg}\delta_{0,6Un} - \text{tg}\delta_{0,2Un} \leq 0,01$ ,  $\Delta\text{tg}\delta / \Delta U \geq 0$  a  $q \leq 10000 \text{ pC}$ . Zkoušce přiloženým střídavým napětím 17,6 kV / 50 Hz statorové vinutí vyhovělo.[26]

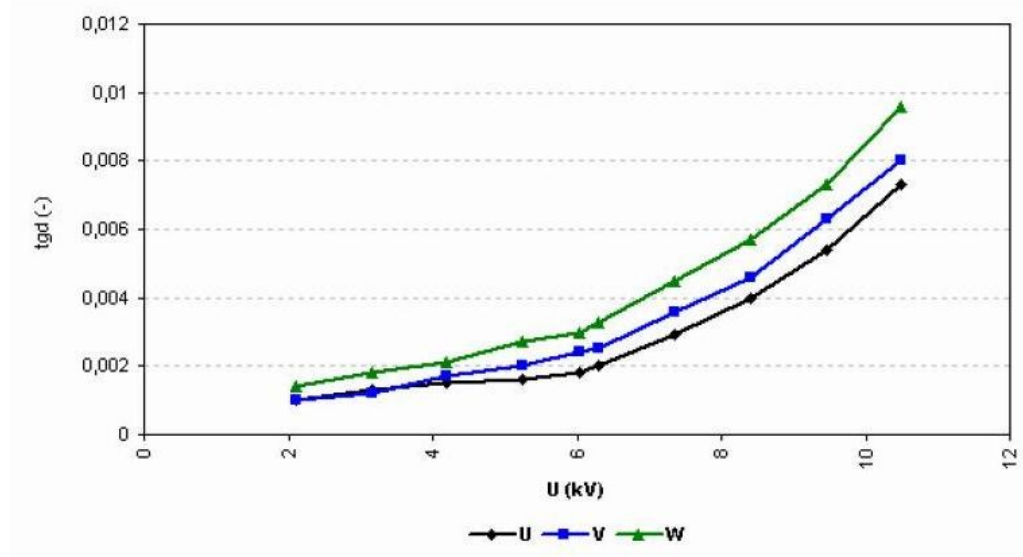


Obr. 1.24 Měření izolačního odporu statoru před opravou (převzato z [26])



Obr. 1.25 Měření kapacity statoru před opravou (převzato z [26])





Obr. 1.26 Měření ztrátového činitele statoru před opravou (převzato z [26])

$U_N$ (%)	U (kV <sub>stř</sub> )	Fáze U			Fáze V			Fáze W		
		q (pC)	I (μA)	n (s <sup>-1</sup> )	q (pC)	I (μA)	n (s <sup>-1</sup> )	q (pC)	I (μA)	n (s <sup>-1</sup> )
100,0	10,5	3 500	---	---	4 500	---	---	1 000	---	---
$U_i$ (kV)		6,6			7,3			8,5		
$U_e$ (kV)		6,5			7,1			8,3		

Legenda:

Q - zdánlivý náboj součtový

q - zdánlivý maximální náboj

I - střední proud částečných výbojů

n - střední počet částečných výbojů za jednu sekundu

 $U_i$  - počáteční napětí částečných výbojů $U_e$  - zhašecí napětí částečných výbojů

Obr. 1.27 Naměřené hodnoty částečných výbojů statoru před opravou (převzato z [26])

### 1.2.5 Demontáž a zkoušení statorových tyčí statoru TG3

Po změření všech požadovaných veličin se stator pomocí portálových jeřábů nazdvihl a vypořadil ocelovými stoličkami, aby byly dobře dostupné i cívky spodní polohy. Demontáž jednotlivých tyčí horní i dolní polohy probíhala postupně, každá demontovaná tyč se na obou koncích očistila od stříbrné pájky, nařela se polovodivým lakem ISOLA 8003. Při demontážích jsme zjistili, že cívky spodní polohy, drážka 72, 73 - pozice 1, 2 vývodové, byly v minulosti částečně provizorně opravované, proto nebyly pro opětovné použití při převinutí

po dohodě se zhotovitelem doporučeny. Dále cívka spodní polohy, drážka 38, pozice 5 byla v minulosti také opravována a to zásadním způsobem, přeříznutím a napájením v rovné části, proto nebyla také pro převinutí použitelná.



*Obr. 1.28 Stator TG4 a detail po demontáži části statorových tyčí pro použití v TG3*

Demontované tyče nebyly zatím podrobeny naplánovaným zkouškám a už bylo nutné vyřešit náhradu těchto tří tyčí. Oprava vadných tyčí nebyla v daném termínu opravy TG3 realizovatelná, proto jsem se pokoušel sehnat náhradu. Bohužel žádné nové ani demontované tyče se mi nepodařilo sehnat nikde v ČEZ ani v jiných elektrárnách se stejnými stroji, proto jediným možným řešením byla demontáž tyčí ze statoru TG4, který byl v roce 2008 demontován z pozice TG2. Tento stator TG4 měl již nepoužitelný magnetický obvod, plechy byly uvolněné, rozlistované viz *Obr. 1.29* a použitelný byl tedy pouze jako zdroj náhradních dílů, v tomto případě statorových tyčí. Tyto tyče se musely ale nejdříve podrobit stejným diagnostickým zkouškám, jako statorové tyče TG3.



Obr. 1.29 Stator TG4 a detail uvolněných plechů magnetického obvodu



Obr. 1.30 Demontované a označené statorové tyče TG3 připravené ke zkoušení

Pro použití na stator TG3 bylo nutné demontovat minimálně 40 kusů horních a 15 kusů dolních tyčí z TG4. Každá jednotlivá tyč z TG3 a z TG4 pak byla podrobena zkouškám dle ČSN EN 50209 („Zkoušení izolace tyčí a cívek vysokonapěťových strojů“) tj. měření kapacity a ztrátového činitele, částečných výbojů při jmenovitém napětí 10,5 kV a nakonec napěťové zkoušce přiloženým střídavým napětím 26,4 kV / 50 Hz / 1 min.

Při zkoušce jednotlivých tyčí spodní části demontovaných z TG3 (dle ČSN EN 50209) vyhověly všechny tyče, všechny cívky 1 až 78 vydržely i napěťovou zkoušku přiloženým napětím 26,4 kV / 50 Hz / 1 min. Cívky 38, 72 a 73 ale nebyly doporučeny pro další použití při převíjení a to z důvodů uvedených na začátku této kapitoly, proto byly vyřazeny.[27]

Při zkoušce jednotlivých tyčí horní části demontovaných z TG3 a zkoušce tyčí spodní a horní polohy demontovaných z TG4 (dle ČSN EN 50209) jsme měřením zjistili, že u tyčí horní části TG3 s číslem 16, 17, 18, 19, 25, 37, 41, 48 a 50 došlo při napěťové zkoušce k průrazu izolace (například u tyče 16 z TG3 došlo k průrazu už při 5 kV a u tyče 37 z TG3 už při 6 kV), ze zkoušených tyčí z TG4 napěťovou zkoušku nevydržela tyč 71 a tyč 45 měla zas vysoké částečné výboje. Zbývající měřené tyče zkouškám vyhověly.[28]

Tímto byl odzkoušen dostatečný počet tyčí z TG3 i TG4 a mohli jsme zahájit přípravy k zapájení cívek zpět do statoru TG3, ovšem až po provedení silové magnetizační zkoušky.



Obr. 1.31 Demontované a označené statorové tyče TG3 připravené ke zkoušení



Obr. 1.32 Detail průrazu izolace statorové tyče TG3 - po napěťové zkoušce 26,4 kV/50 Hz/1 min.

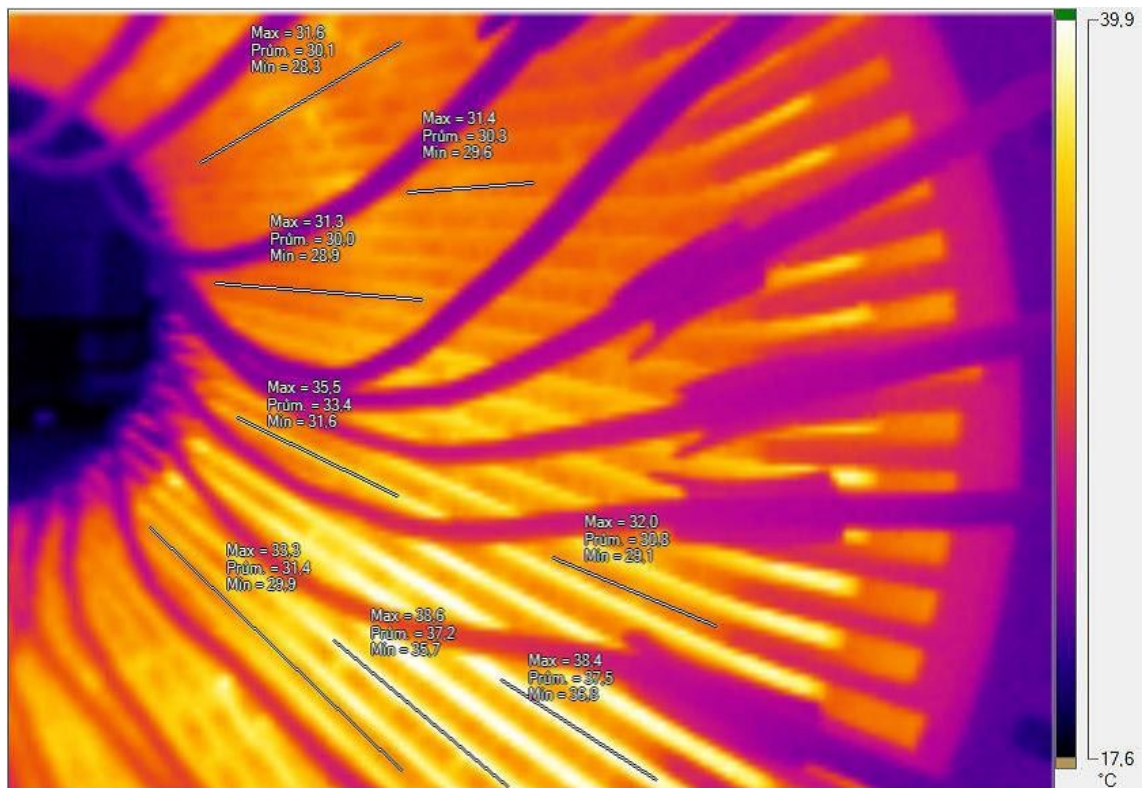
### 1.2.6 Silová magnetizační zkouška magnetického obvodu statoru TG3

Před zapájením odzkoušených tyčí jsme spolu se zhotovitelem opravy provedli silovou magnetizační zkoušku, na magnetický obvod bylo navinuto 24 budících závitů jednožilovým vn kabelem s gumovou izolací a jeden závit měřicí. Budící kabel jsme připojili v rozvodně vlastní spotřeby 63BBA na napětí 6,3 kV (251 V na závit - proud 80 A) do kobky vývodu napájecího čerpadla. Po nasycení magnetického obvodu a ohřátí statoru jsme pomocí termovizní kamery kontrolovali lokální teplotní difference, rozdíl teploty vyšší než 10° C by signalizoval závadu, ale maximální zjištěná difference byla 6,9° C.[20]

Současně se silovou magnetizací probíhalo i diagnostické měření hluku. Ačkoliv zkouška metodou EL CID a vizuální kontrola nevykázala žádnou závadu magnetického obvodu, závěr z měření hluku konstatoval opak, a to že magnetický obvod vykazoval v době měření známky celkového uvolnění, které je spojeno s lokálními rozdíly.[21]

Protože je stator typu 6H 6378/2 stažen ocelovými deskami a zavařen, není možné plechy magnetického obvodu dodatečně stáhnout. Pravděpodobně se dle mého názoru i názoru zhotovitele jednalo o chybný závěr z diagnostického měření hluku, protože nenavintý

a volně uložený stator může vykazovat odlišné hodnoty než navinutý stator spojený se základem. Po zpětné montáži tyčí se již proto provedla zkouška pouze metodou EL CID, opět bez zjevných závad magnetického obvodu stroje.



Obr. 1.33 Snímek z termovizní kamery pořízený při silové magnetizaci TG3 (převzato z [20])

### 1.2.7 Zpětné založení statorových tyčí a zkoušky převinutého statoru TG3

Odkoušené tyče byly založeny nejdříve do spodní polohy statorového vinutí, na těchto založených tyčích jsme následně provedli napěťovou zkoušku přiloženým stejnosměrným napětím 38760 V / DC / 1 min., což je ekvivalent stanoveného střídavého napětí 1,7 x 22,8 kV / 50 Hz. Před a po napěťové zkoušce jsme změřili izolační stav vinutí. Během napěťové zkoušky nebyl indikován přeskok ani průraz.[29]

Stejně se postupovalo u statorových tyčí horní polohy, i na nich byly po založení do statoru provedeny zkoušky jako u tyčí spodní polohy, provedli jsme napěťovou zkoušku všech založených tyčí, celého vinutí statoru výdržným napětím 35904 V / DC / 1 min s výsledkem bez indikace přeskoků nebo průrazů (ekvivalent stanoveného střídavého napětí 1,7 x 21,12 kV / 50 Hz). Před a po napěťové zkoušce jsme změřili izolační stav celého vinutí. Po dokončení montáže statorových tyčí jsme na statoru provedli měření ohmického

a izolačního odporu teploměrů celého generátoru a měření ohmického odporu vinutí po fázích. [30]

Následovala poslední magnetizační zkouška nesilovou metodou EL CID, postup byl stejný jako před demontáží statorových tyčí. Výsledek zkoušky byl bez zjištěných závad na magnetickém obvodu stroje.

Nakonec jsem provedl spolu s kolegy kompletní diagnostiku statoru po provedené opravě dle PN 00/06 rev01, postupy měření a měřené veličiny jsou uvedeny v kapitole 1.2.4. Měřil jsem izolační odpor, kapacitu, ztrátový činitel, částečné výboje vinutí statoru a provedl jsem zkoušku přiloženým napětím 17,6 kV / 50 Hz / 1 min. Výsledek zkoušek byl bez závad, se závěrem, že stroj je schopen uvedení do provozu bez omezení.[31]

### 1.2.8 Oprava a diagnostika rotoru TG3

Rotor byl ihned po vyvlečení ze statoru převezen do servisních dílen, kde probíhala oprava souběžně s opravou statoru v ETI.

Po částečné demontáži byla zahájena vstupní kontrola rotoru, byl změřen izolační stav rotoru při 1000 V, kde byl zjištěn nízký polarizační index 1,03. Z tohoto důvodu nebyla před opravou provedena napěťová zkouška. Následovala zkouška rázovým generátorem RSO 1500 V a byl změřen ohmický odpor vinutí.[32]



Obr. 1.34 Poškozená lopatka ventilátoru rotoru TG3 (převzato z [32])

Při vizuální prohlídce bylo zjištěno, že spojka nejevila známky poškození, u čepů zjištěno mírné rýhování na straně turbíny od nečistot v oleji. U každého z ventilátorů zjištěny poškozené dvě lopatky (ST i SB), sběrací kroužky opotřebený s doporučením na výměnu při příští opravě. Obruče a náboje obručí bez nálezu poškození. Tělo rotoru bylo znečištěno prachem, byla zjištěna poškozená drážka pro aretaci klínů / obručí. U vinutí rotoru zjištěny posunutá izolační korýtká na cívkách 1,2,3,4 T pólu, u dvou korýtek byla poškozena ve spodní části drážka (na výstupu z drážky zlomené), vytažené vrchní závity vinutí (špatně provedené izolační výztuhy). Tyto závady byly nakonec opraveny, ale pro případný další dlouhodobý provoz je nutné dle nálezu počítat s převinutím rotoru.[32]



Obr. 1.35 Závada zjištěna při vstupní prohlídce u vinutí rotoru TG3 (převzato z [32])

Na demontovaných obručích a maticích byla po jejich očištění a odmaštění provedena kapilární zkouška pomocí zkušebního systému EN 571-1-IICd od výrobce CGM dle metodiky EST 5. Na obručích a ani maticích nebyly detekovány žádné závady.[33]

Na obručích byla dále provedena defektoskopická kontrola ultrazvukovým defektoskopem PHASOR XS-GE v souladu s normou ČSN EN 1713 bez zjištěných vad, s doporučením na provoz obručí bez jakéhokoliv omezení.[34]

Následně po vyvlečení rotoru ze statoru byla provedena kontrola přilnutí kompozice k ložiskové pánvi obou generátorových ložisek TG3.



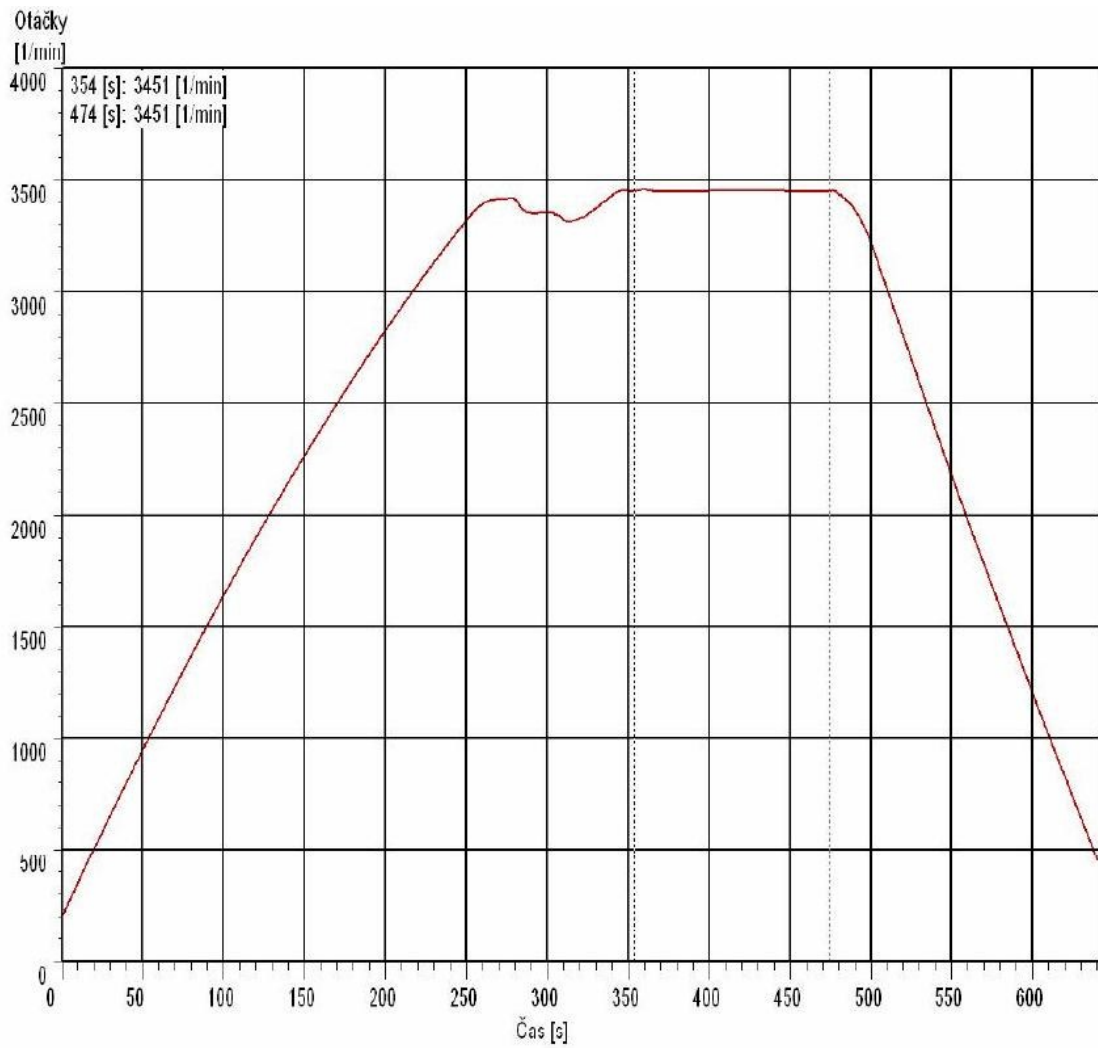


Obr. 1.36 Kapilární zkouška obručí a matic rotoru TG3 (převzato z [33])

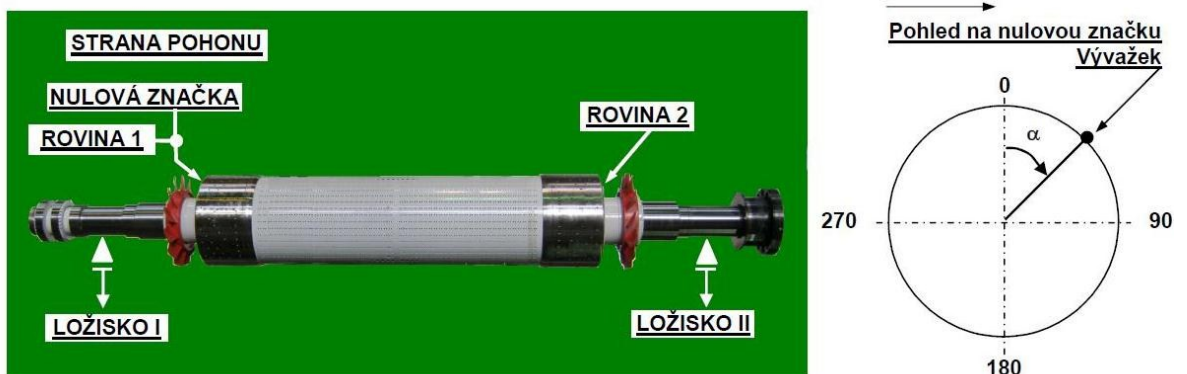
Po provedené opravě rotoru mohla být zahájena napěťová zkouška rotoru, která byla realizována při výstupní kontrole rotoru výdržným napětím 1500 V / 50 Hz / 1 min s vyhovujícím výsledkem. Další provedené zkoušky v rámci výstupní kontroly: měření izolačního stavu před a po napěťové zkoušce, zkouška rázovým generátorem, impedance vinutí a ohmický odpor vinutí.[35]

### 1.2.9 Vyvážení a odstředění rotoru TG3 po provedené opravě

Rotor byl na vyvážení předán v polovině prosince 2013, nejdříve byl rotor na nízkootáčkovém vyvážení dle normy ISO 1940-1 a poté odstředěn na 3450 otáček za minutu po dobu dvou minut. Záznam otáček z provedeného odstředění je zobrazen na *Obr. 1.37* na následující straně. Dalším krokem bylo vysokootáčkové vyvážení rotoru v celém otáčkovém rozsahu až do provozních otáček. Kromě rychlosti chvění byly také kontrolovány dynamické síly působící na ložiska. Při vyvažování byly provedeny korekce vyvažovacích hmot.[36]



Obr. 1.37 Záznam otáček při odstředění rotoru TG3 (převzato z [36])



Obr. 1.38 Schéma rotoru TG3 včetně vyvažovacích rovin (převzato z [36])

### **1.2.10 Zpětná montáž rotoru a kompletace generátoru TG3**

Rotor byl po vyvážení převezen zpět do ETI, po dokončení a změření statoru byl zavlečen zpět do statoru, bylo provedeno přirovnání ke spojce turbíny a nastavení sousosti ve spojce a nakonec nastavena vzduchová mezera mezi statorem a rotorem. Nakonec jsem provedl spolu se zhotovitelem změření izolačního odporu zadního generátorového ložiska a změřili jsme tolerance ložisek a vůle na ventilátorech.

Tímto byla ukončena oprava generátoru TG3 v části opravy statoru, rotoru a příslušenství generátoru a stroj byl v této části opravy připraven k uvedení do provozu.

## 2 Instalace nového systému měření posuvů a chvění TG3

### 2.1 Modernizace měření TG3 - popis stavu před opravou a koncepce řešení

#### 2.1.1 Záměr modernizace měření TG3

Před zahájením generální opravy TG3 jsem připravil investiční akci na kompletní modernizaci měření, včetně náhrady stávajícího systému monitorování a zabezpečení TG od zvýšené hladiny chvění a posuvů za nový, s cílem zajistit spolehlivý a bezpečný provoz TG3.

Dle tohoto záměru opravy budou nově vzorky naměřených hodnot přenášeny na server, odtud dále do centrálního úložiště dat, dále jen CÚTD, pro následnou možnou analýzu naměřených hodnot. Tato analýza může být využita pro včasnou diagnostiku případné závady na TG3, nebo naopak až po případné poruše. Stávající systém bude zároveň rozšířen o další měření, jako jsou rotorové chvění na VT, NT dílu a generátoru, chvění ložiskových stojanů - horizontální rovina, fázová značka a posuv axiálního ložiska 2. snímač. Současně bude provedena výměna stávajících teploměrů (termoelektrických snímačů) používaných pro měření teplot tělesa a přírub na VT dílu turbíny TG3 - včetně převodníků za nové.[37]

#### 2.1.2 Popis stavu před opravou

V ETI se pro měření, monitoring a ochrany od nadměrných hodnot vibrací a posuvů na turbogenerátorech TG1, TG2, TG3 využívá zařízení elektronického systému typu MMS, výrobce firmy PHILIPS. Tento systém byl na TG3 instalován již v roce 1982 a je kompletně realizován v analogovém provedení. Na TG6 se od roku 2011 již plně využívá nového diagnostického systému MMS6000/ MMS6850 ( HW/ SW).[37]

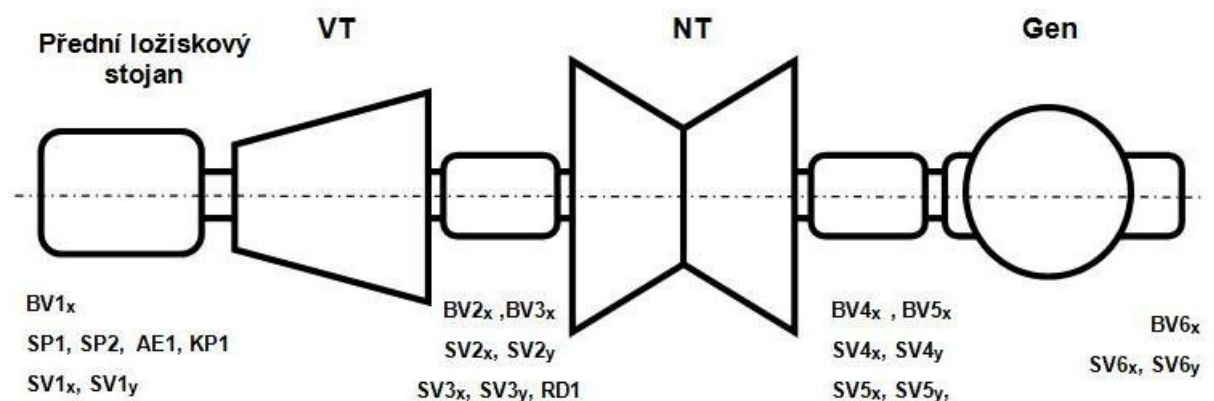
Přímo do zapůsobení strojních ochran turbíny je v současné době zaveden pouze signál při překročení nastaveného limitu  $\pm 0,8$  mm posuvu axiálního ložiska. Chvění ložiskových stojanů větší než 90 mm/s odstavuje TG. Dále jsou na stávajícím systému signalizovány relativní posuvy VT a NT rotoru turbíny. Data byly dříve zapisovány na registrační papír v zapisovači na turbínovém štítě, nyní jsou pouze zobrazována a ukládána v řídicím systému Metso DNA TG3.[37]

### 2.1.3 Koncepce řešení opravy

Kvalitní ochranný a diagnostický systém turbogenerátorů je velmi důležitý prvek pro splnění bezpečného a spolehlivého provozu zařízení a splnění vysokých požadavků na dostupnost zařízení, dlouhodobý provoz zařízení bez poruchy a provádění oprav stroje na základě jeho skutečného stavu (prediktivní údržba).[37]

Při dlouhodobém hodnocení vibrací se převážně používají dvě kritéria. Prvním je dosažená mohutnost vibrací (absolutních nebo relativních) a druhým kritériem je jakákoliv významná změna vibrací a jejich charakteru. Velice důležité je sledovat i změny frekvenčních spekter. Popis metody vyhodnocování je uveden v příslušných ČSN normách (např. ČSN ISO 10816, ČSN ISO 7919). Z výše uvedeného je zřejmé, že se jedná o velmi důležitý technologické zařízení s přímým a zásadním vlivem na provozní spolehlivost a dostupnost výrobních zařízení ETI. Současně bude provedena výměna snímačů pro měření teploty kovu VT tělesa turbíny TG3.[37]

Strojní dodávky opravy zahrnují vyvrtání ložisek pro montáž nových snímačů relativního rotorového chvění, úpravy ložiskových stojanů potřebné pro měření absolutního chvění stojanů v horizontální rovině, provedení mechanických úprav pro montáž nových držáků snímačů, 12 ks relativního chvění rotoru (VT, NT, GEN), 6 ks absolutního chvění ložiskových stojanů v horizontální rovině, 1 ks polohy rotoru v axiálním ložisku a 1 ks fázové značky.[37]



Obr. 2.1 Osazení a umístění čidel chvění a posuvů TG3 po opravě (převzato z [37])

Tab. 2.1 Seznam snímačů chvění a posuvů TG3 po rekonstrukci (převzato z [37])

P.č.	KKS	NÁZEV	UMÍSTĚNÍ
<b>STÁVAJÍCÍ MĚŘENÍ NA TG - PROVEDENÍ VÝMĚNY SNÍMAČŮ (příp. i změny umístění)</b>			
BV1 <sub>x</sub>	MAA01 CY001	Y - chvění ložiskového stojanu _ horizont. rovina	VT - přední
BV2 <sub>x</sub>	MAA01 CY002	Y - chvění ložiskového stojanu _ horizont. rovina	VT - zadní
BV3 <sub>x</sub>	MAC01 CY001	Y - chvění ložiskového stojanu _ horizont. rovina	NT - přední
BV4 <sub>x</sub>	MAC01 CY002	Y - chvění ložiskového stojanu _ horizont. rovina	NT - zadní
BV5 <sub>x</sub>	MAD01 CY001	Y - chvění ložiskového stojanu _ horizont. rovina	GEN - přední
BV6 <sub>x</sub>	MAD01 CY002	Y - chvění ložiskového stojanu _ horizont. rovina	GEN - zadní
RD1	MAA01 CY003	Y - relativní posuv	VT rotoru
RD2	MAC01 CY003	Y - relativní posun	NT rotoru
SP1	MAA01 CY004	Y - posuv axiálního ložiska - 1. snímač	Axiální ložisko
AE1	MAA01 CY005	Y - absolutní posunutí VT statoru	VT - přední
<b>NOVÁ MĚŘICÍ MÍSTA NA TG - DOPLNĚNÍ STÁVAJÍHO ROZSAHU SNÍMAČŮ</b>			
SP2	doplní zhotovitel	Y - posuv axiálního ložiska - 2. snímač	Axiální ložisko
KP1	doplní zhotovitel	Y - fázová značka	VT - hřídel přední stojan
SV1 <sub>x</sub>	doplní zhotovitel	Y - rotorové chvění VT rotoru, osa - X	VT - rotor/ přední ložisko
SV1 <sub>y</sub>	doplní zhotovitel	Y - rotorové chvění VT rotoru, osa - Y	VT - rotor/ přední ložisko
SV2 <sub>x</sub>	doplní zhotovitel	Y - rotorové chvění NT rotoru, osa - X	VT - rotor/ zadní ložisko
SV2 <sub>y</sub>	doplní zhotovitel	Y - rotorové chvění NT rotoru, osa - Y	VT - rotor/ zadní ložisko
SV3 <sub>x</sub>	doplní zhotovitel	Y - rotorové chvění NT rotoru, osa - X	NT - rotor/ přední ložisko
SV3 <sub>y</sub>	doplní zhotovitel	Y - rotorové chvění NT rotoru, osa - Y	NT - rotor/ přední ložisko
SV4 <sub>x</sub>	doplní zhotovitel	Y - rotorové chvění NT rotoru, osa - X	NT - rotor/ zadní ložisko
SV4 <sub>y</sub>	doplní zhotovitel	Y - rotorové chvění NT rotoru, osa - Y	NT - rotor/ zadní ložisko
SV5 <sub>x</sub>	doplní zhotovitel	Y - rotorové chvění rotoru Gen, osa - X	Rotor gen./ přední ložisko
SV5 <sub>y</sub>	doplní zhotovitel	Y - rotorové chvění rotoru Gen, osa - Y	Rotor gen./ přední ložisko
SV6 <sub>x</sub>	doplní zhotovitel	Y - rotorové chvění rotoru Gen, osa - X	Rotor gen./ zadní ložisko
SV6 <sub>y</sub>	doplní zhotovitel	Y - rotorové chvění rotoru Gen, osa - Y	Rotor gen./ zadní ložisko

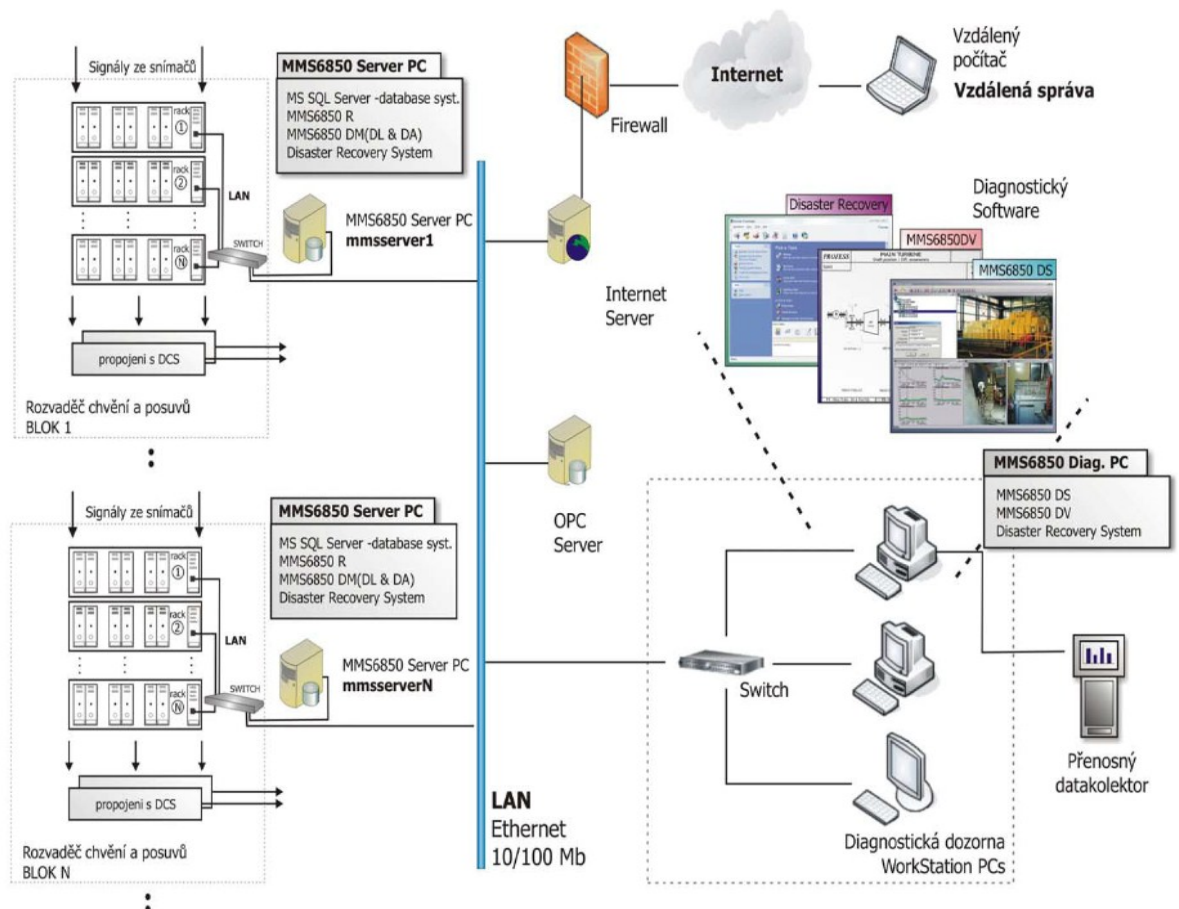
V části elektro a MaR jsem z důvodu zaručení plné kompatibility se stávajícím systémem vibrací a posuvů již instalovaným na turbogenerátoru 105 MW TG6 doporučil pro TG3 použít měřicí a zabezpečovací systém stejného provedení, tedy systém s označením MMS6000 /MMS6850 (HW/SW) včetně realizace datového propojení nového systému chvění a posuvů na TG3 se stávajícím vibrodiagnostickým serverem používaným pro TG6 a se zajištěním ukládání naměřených hodnot do tohoto datového serveru. Součástí byla i realizace přenosu dat do CÚTD a provedení úprav v řídicím systému Metso DNA (karty,

obrazovky, signalizace). Nové měření muselo splňovat požadavky na elektromagnetickou odolnost vůči rušivým vlivům v souladu s platnými normami EMC. Dle normy ČSN EN 61511-1 (stupeň integrity bezpečnosti) muselo splňovat zvýšení posuvu axiálního ložiska SIL 1, zvýšení chvění bylo bez požadavku SIL 0.[37]

## 2.2 Instalace nového systému měření posuvů a chvění TG3

### 2.2.1 Diagnostický systém MMS 6000 (Machine Monitoring Systems)

Do skříně měření a posuvů chvění jsme osadili a zapojili jednotlivé vyhodnocovací karty, které jsou v provedení „Eurokarta“ a mohou být osazeny v libovolné poloze ve standardní vaně 19“, případně jiných intermas-kompatibilních systémech. Jednotlivé osazené karty jsou typu MMS 6110 (monitor chvění rotoru), MMS 6210 (monitor statických posuvů), MMS 6220 (monitor excentricity rotoru), MMS 6312 (monitor otáček a fázové značky) a MMS 6825 (komunikační interface).



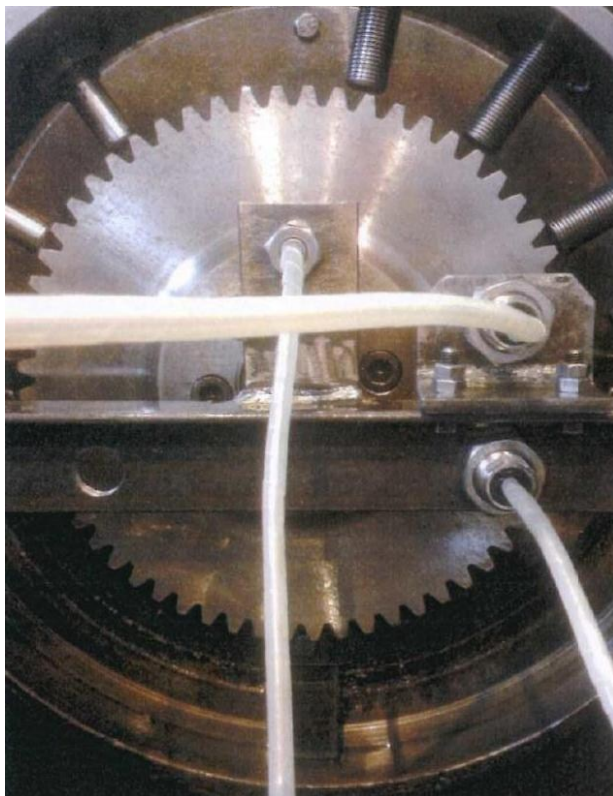
Obr. 2.2 Zabezpečovací a diagnostický systém MMS6000 (převzato z [38])

Do jednotlivých karet jsme následně zapojili (spolu se zhotovitelem) nainstalované snímače dle koncepce řešení, viz předchozí kapitola.

### 2.2.2 Použité typy snímačů posuvů a chvění

V rámci realizace akce jsme na TG3 naistalovali a do systému MMS 6000 zapojili tyto typy snímačů:

- Piezoelektrický snímač rychlosti W793V-5 - použit pro měření chvění ložiskových stojanů VT, NT a ložiskových stojanů generátoru (GEN).
- Magnetostrikční lineární snímač polohy ADT 3-50 mm, Temposonics EP - použit pro detekci vysunutí VT statoru.
- Snímač vzdálenosti (vzduchové mezery) pracující na principu vířivých proudů PR6423 - použit pro snímání fázové značky a detekci rotorového chvění VT a NT rotorů a rotoru generátoru (GEN) v osách X a Y.
- Snímač vzdálenosti (vzduchové mezery) pracující na principu vířivých proudů PR6424 - použit pro axiální posuv (2x).
- Snímač vzdálenosti (vzduchové mezery) pracující na principu vířivých proudů PR6426 - použit měření relativního posuvu VT a NT rotoru.



Obr. 2.3 Měření fázové značky a axiálního posuvu





Obr. 2.4 Lineární snímač polohy ADT 3-50 mm pro detekci vysunutí VT statoru (převzato z [39])



Obr. 2.5 Měřící karty nového diagnostického systému TG3 v rozvaděči posuvů a chvění

## 3 Elektrické ochrany TG3 a jejich zkouška

### 3.1 Stávající situace elektrických ochran TG3

#### 3.1.1 Soubor elektrických ochran bloku 3

Soubory elektrických ochran generátoru, transformátorů, odbočení na vlastní spotřebu a vyvedení výkonu jsou umístěny na elektrodozorně na panelech v polích BYF, ochrany TG 3 na panelech 63BYF17÷18. Signalizace z jednotlivých elektrických ochran je zavedena do monitorovacího systému ochran a současně jako binární signál příslušné ochrany do řídicího systému elektrodozorny Metso DNA. Všechny elektrické ochrany jsou připojeny na časový normál systému GPS, takže veškeré časy poruchových událostí jsou časově synchronizovány společně s řídicími systémy v ETI.[3]

#### 3.1.2 Elektrické ochrany SEL

##### Generátorová ochrana SEL-300G

Soubor ochran SEL-300G obsahuje následující ochrany určené pro chránění generátoru:

- Rozdílová ochrana.
- 100% zemní statorová ochrana.
- Zpětná wattová ochrana ZW - působí-li některá ze strojních ochran na rychlozávěr turbíny, aktivuje se popudový článek prvního stupně zpětné wattové ochrany. Popudový článek vyhodnotí, zda generátor dodává elektrickou energii do sítě, nebo přešel do motorického chodu. Jestliže generátor přešel do motorického chodu, popudový článek této ochrany s nastavenou časovou prodlevou 2 vteřin vypíná příslušné vypínače a zařízení. V případě, že generátor přešel do motorického chodu a ZW není uvolněna strojní ochranou, působí ZW jako druhý stupeň a opět vypíná příslušné vypínače s časovou prodlevou 300 vteřin. Nastavená hodnota záporného výkonu je u TG3 cca minus 0,9 MW.
- U/f články pro detekci přesycení.
- Ochrana při ztrátě buzení.
- Nadproudová ochrana pro zpětnou složku.

- Časově závislé nadproudové články blokové podpětím.
- Časově závislé nadproudové články řízené napětím.
- Netočivé (nulové) nadproudové články.
- Podpět'ové a přepět'ové články pro chránění a ovládání.
- Logika ztráty napětí.
- Flexibilní logika zapnutí vypínače do stojícího stroje.
- Pod a nadfrekvenční ochrana a ochrana turbíny.
- Ochrana při selhání vypínače.

Ochrana SEL-300G je použita jako hlavní a záložní generátorová ochrana. Hlavní ochrana je navíc vybavena rozdílovou ochranou generátoru, záložní nikoliv.[3]

### **Rozdílová ochrana SEL-387**

Rozdílová a nadproudová ochrana SEL-387 obsahuje čtyřbodovou proudovou rozdílovou ochranu a čtyři kompletní skupiny nadproudových článků. Ochrana měří vstupní, rozdílové a blokové proudy, včetně druhé a páté harmonické složky. Jednotka má k dispozici programovatelné logické vstupy a výstupní kontakty. Ochrana je použita pro třífázové rozdílové chránění bloku.[3]

Uspořádání ochrany umožňuje použití měřících transformátorů proudu zapojených do hvězdy nebo trojúhelníka s kompenzací jakéhokoliv zapojení vinutí transformátoru. Ochrana digitálně kompenzuje hodinový úhel zařízení a zapojení MTP, aby vytvořila odpovídající poměry pro výpočty rozdílových a blokových proudů. Výběr převodů se děje automaticky a je založen na výkonu, napětí a zapojení MTP, nebo se může provést ručně uživatelem. Každá sada třífázových vstupů může být nezávisle uvolněna pro rozdílové články s možností využití nepoužité sady vstupů pro samostatnou nadproudovou ochranu.[3]

#### *Proudová rozdílová ochrana*

Ochrana SEL-387 zahrnuje nezávislé blokové i neblokové proudové rozdílové články. Blokové články mají charakteristiky se dvěma nastavitelnými úhly sklonu. Na požadavek lze zavést blokové funkce druhou a pátou harmonickou složkou, aby byly zajištěny bezpečné a bezchybné pracovní podmínky rozdílových článků. Blokáda druhou harmonickou složkou zabraňuje chybnému působení rozdílové ochrany při magnetizačním nárazu, měření páté harmonické složky blokuje funkci při přesycení měničů. Zvláštní,

neblokovaný rozdílový článek zajišťuje rychlé působení při velkém náběhovém proudu v případě poruchy uvnitř chráněné zóny.[3]

#### *Nadproudová ochrana*

Ochrana SEL-387 je vybavena nesměrovými nadproudovými články pro každé vinutí/vývod:

- Fázové nadproudové: mžikové na třech úrovních; časově nezávislé; časově závislé.
- Netočivé (nulové) nadproudové: mžikové; časově nezávislé; časově závislé.
- Nadproudové zpětné složky: okamžité; časově nezávislé, časově závislé.

Nastavení nadproudových článků jsou nezávislá na nastavení rozdílových článků.[3]

#### **Rozdílová ochrana SEL-587**

Ochrana SEL-587 obsahuje proudovou rozdílovou a dvě sady nadproudových ochran v jednom kompaktním celku. Ochrana měří dvě sady proudů, rozdílové a blokovací veličiny, druhou a pátou harmonickou složku proudu. Dále obsahuje dva opticky izolované vstupy a čtyři programovatelné výstupní kontakty.[3]

Tato ochrana je použita pro chránění transformátoru vlastní spotřeby 63BBT09. Ochrana kompenzuje různé zapojení chráněného zařízení i zapojení MTP tak, aby byly pro rozdílový článek použity správné hodnoty.[3]

#### *Proudová rozdílová ochrana*

Ochrana SEL-587 obsahuje nezávislý blokový i neblokovaný proudový rozdílový článek. Blokový článek má charakteristiku se dvěma zlomy. Neblokovaný rozdílový článek zajišťuje rychlé vypnutí velkých vnitřních poruch (velká amplituda poruchového proudu).[3]

#### *Nadproudová ochrana*

Ochrana SEL-587 obsahuje nesměrové nadproudové články pro obě sady proudových vstupů:

- Mžikové fázové a nulové nadproudové články.
- Nadproudové články časově nezávislé fázové, nulové a na zpětnou složku.
- Nadproudové články inverzní fázové, nulové a pro zpětnou složku.

Nastavení náběhových hodnot a charakteristik nadproudových článků je nezávislé na nastavení rozdílových článků.[3]

### **Nadproudová ochrana SEL-501-2**

Nadproudová ochrana SEL-501-2 obsahuje dvě kompletní a nezávislé skupiny ochranných funkcí v jedné kompaktní jednotce. Tato jednotka je rozdělena na ochranu X a ochranu Y. Každá z nich má dva výstupní kontakty, jeden opticky izolovaný vstup a třífázové proudové vstupy. Nastavení obou nadproudových funkcí je nezávislé. Ochrana je použita pro nádobovou ochranu blokového transformátoru 63BAT83, pro nadproudové chránění odbočky 10,5 kV, pro nadproudové záložní chránění transformátoru vlastní spotřeby 63BBT09 a nadproudové chránění přívodů v rozvodně vlastní spotřeby 63BBA.[3]

### **Distanční ochrana SEL-321-5**

Distanční ochrana se čtyřmi zónami pro mezifázové a zemní poruchy chrání linku 110kV označenou V923, která je z ETI vyvedena do rozvodny Vítkov. Ochrana dále zahrnuje nadproudovou směrovou ochranu. Distanční ochrana podporuje všechna standardní vypínací schémata. Další součástí ochrany je lokátor poruch a měření.[3]

### **Zemní ochrana rotoru MRSU 04**

Budicí obvod generátorů je plně izolován od země, proto při prvním zemním spojení nedochází k ohrožení provozu. Zemní ochrana rotoru zajišťuje, pomocí vysílaného nízkofrekvenčního napětí (injektáže) přes oddělovací člen do budícího obvodu, signalizaci zemního spojení (po časovém zpoždění). Ochrana obsahuje testovací tlačítko pro simulaci zemního spojení, které aktivuje ochranu. Výstupní relé je při testu blokováno.[3]

### **Srovnávací ochrana SIEMENS 7SD511**

Srovnávací ochrana chrání linku 110kV označenou V923, která je z ETI vyvedena do rozvodny Vítkov. Stejná ochrana je naistalována na druhém konci linky V923 v rozvodně Vítkov, ochrany spolu komunikují po optickém kabelu umístěném v zemním lanu linky. Při ztrátě spojení dojde k zablokování ochran.



Obr. 3.1 Srovnávací ochrany linky V923

### Monitorovací systém elektrických ochran

Funkcí monitorovacího systému ochran je sběr dat a informací z elektronických ochran a jejich třídění, prezentace a předávání dalším spolupracujícím elektronickým zařízením. Monitorovací systém tvoří ochrany, jejichž úkolem je shromažďovat data ze silového systému, buď automaticky, nebo na dotaz je poskytovat dalšímu centrálnímu článku, kterým je komunikační procesor. Komunikační procesor je umístěn v panelu 63BYF18 společně s ochranami. Vizualizaci monitorovacího systému zajišťuje grafické prostředí v PC sestavě (PC, monitor, myš, klávesnice a tiskárna), umístěné na pracovišti dozorného.[3]

#### 3.1.3 Poruchové stavy, signály a závady

Nejnebezpečnější pro generátor i jeho vývod a přístrojové vybavení jsou zkraty. Zkratový proud je nebezpečný svými dynamickými účinky a trvá-li delší dobu i tepelnými účinky. Zvláště nebezpečné jsou blízké zkraty přímo na vývodech generátoru a asymetrické zkraty. Podle místa a typu zkratu působí příslušné ochrany.[3]

### **Rozdílová ochrana bloku SEL- 387 (F03)**

Rozdílová ochrana bloku 63MKA10EH001-F03 působí okamžitě při vzniku zkratu v úseku, který chrání tj. mezi MTP v uzlu vinutí statoru (I17) a MTP v kobce 63BAA03 (I8) a 63AEA03 (I5). Při působení této ochrany provedou provozní elektrikáři prohlídku chráněného úseku při odbuzeném stroji včetně vizuální kontroly příslušných MTP a kontroly dotažení spojů ve svorkách příslušných proudových obvodů. Zařízení se musí považovat za zařízení pod napětím. Nejistí-li se zjevná závada, může se generátor se svolením a pod dohledem SI a za účasti technika ochran servisní organizace nabudit stroj na jmenovité napětí a dále po přifázování TG provést kontrolu diferenčních proudových hodnot u ochrany.[3]

### **Rozdílová ochrana 63BBT09 SEL- 587 (F30)**

Rozdílová ochrana 63BBT09EH001-F30 chrání transformátor odbočky včetně kabelů až do skříně hlavního přívodu 63BBA. Působí bez časového zpoždění při zkratech v chráněném úseku, vymezeném MTP v 63BAA03 (I4) a MTP ve skříně hlavního přívodu 63BBA (I1).[3]

### **Soubor generátorových ochran SEL-300G**

Soubor generátorových ochran zajišťuje kompletní primární ochrana generátoru typu SEL-300G. Pro možnost zálohování těchto ochran generátoru jsou v systému chránění zapojeny dva typy těchto ochran. Jako hlavní je použita ochrana SEL-300G1 a jako záložní je použita ochrana SEL-300G0. Pro zajištění 100 % zálohy je každá z ochran napájena svým napájecím napětím 220 V DC z příslušného pole, hlavní ochrana ze systému A, záložní ze systému B včetně napájení vlastních vstupů a výstupů. Současně jsou pro obě ochrany pro zajištění měřících vstupů (U a I) využity různé MTN a MTP. Při zapůsobení jakéhokoliv popudového článku těchto ochran jsou dle logických rovnic aktivovány binární výstupy pro vypínání příslušných zařízení.[3]

### **Zemní ochrana rotoru MRSU04 (F06)**

Při signalizaci zemní ochrany rotoru se musí stroj do 15 minut odlehčit, odbudit, vypnout od sítě a zjistit příčinu zemního spojení. Při zjišťování izolačního stavu rotoru se musí nejprve použít přístroj 200 V, až po zlepšení stavu přístroj 500 V. Zemní spojení mimo rotor se opraví

okamžitě.[3]

### **Nadproudová nádobová ochrana SEL-501-2 (F27)**

Tato ochrana působí při přeskočení na průchodkách nebo jiném zkratu, při kterém prochází zemní proud kostrou transformátoru. Aby ochrana nepůsobila chybně na zkraty v pomocných obvodech, musí být přívody k zařízením umístěným na transformátoru (ventilátory, čerpadla apod.) provlečeny speciálním průvlakovým transformátorem, kterým je provlečeno i uzemnění.[3]

### **Nadproudová ochrana 63BBT09 SEL- 501-2 (F04)**

Nadproudová ochrana odbočkového transformátoru 63BBT09 působí při všech zkratech za rozvodnou odbočení na vlastní spotřebu 63BAA03 směrem ke spotřebě. Je zálohou k rozdílové ochraně odbočkového transformátoru a jednotlivým ochranám vn pohonů.[3]

### **Tlačítko nebezpečí**

Tlačítko nebezpečí zapůsobí na generátor jako elektrická ochrana a smí se použít pouze v případě ohrožení zařízení a nebezpečí z prodlení.[3]

### **Nadproudová ochrana záložního přívodu 63BBA SEL-501-2 (F02)**

Nadproudová ochrana záložního přívodu vypíná pouze vypínač ve skříni záložního přívodu blokové rozvodny vlastní spotřeby 63BBA a nevybavuje AZ rozvodny.[3]

### **Podpěťová ochrana V15 (F60) a zemní GV12 (F16) hlavního přívodu 63BBA**

Tyto ochrany žádné zařízení nevypínají, ale pouze signalizují.[3]

### **Závitový zkrat v rotoru**

Závitový zkrat ve vinutí rotoru se projeví zpravidla tím, že se po nabuzení rotoru stroj rozechvěje. Charakteristika naprázdno generátoru měřená při jmenovitých otáčkách je nižší



než původní. Nejčastěji se závitový zkrat na rotoru zjistí tak, že při maximálním buzení podle štítku nedává stroj štítkový výkon v MVA. Ve statoru je vložena cívka na zjišťování závitového spojení, kterou je možno pro diagnostiku využít. Závitové zkraty se mohou vytvořit až při roztočení rotoru, proto může být ohmický odpor před uvedením na otáčky stejný jako u rotoru s nepoškozeným vinutím, ale po roztočení rotoru se u vinutí se závitovým zkratem ohmický odpor skokem zmenší.[3]

### **Vypnutý stav odbuzovače**

Při vypnutí odbuzovače dochází blokadou přes zapnutý odpojovač ve vývodu k vypnutí vypínače v 63AEA03, skříní hlavního přívodu 63BBA a kobky 00BBA14, pokud je přes  $V_a$  odpojovač navolen transformátor 00BBT06.[3]

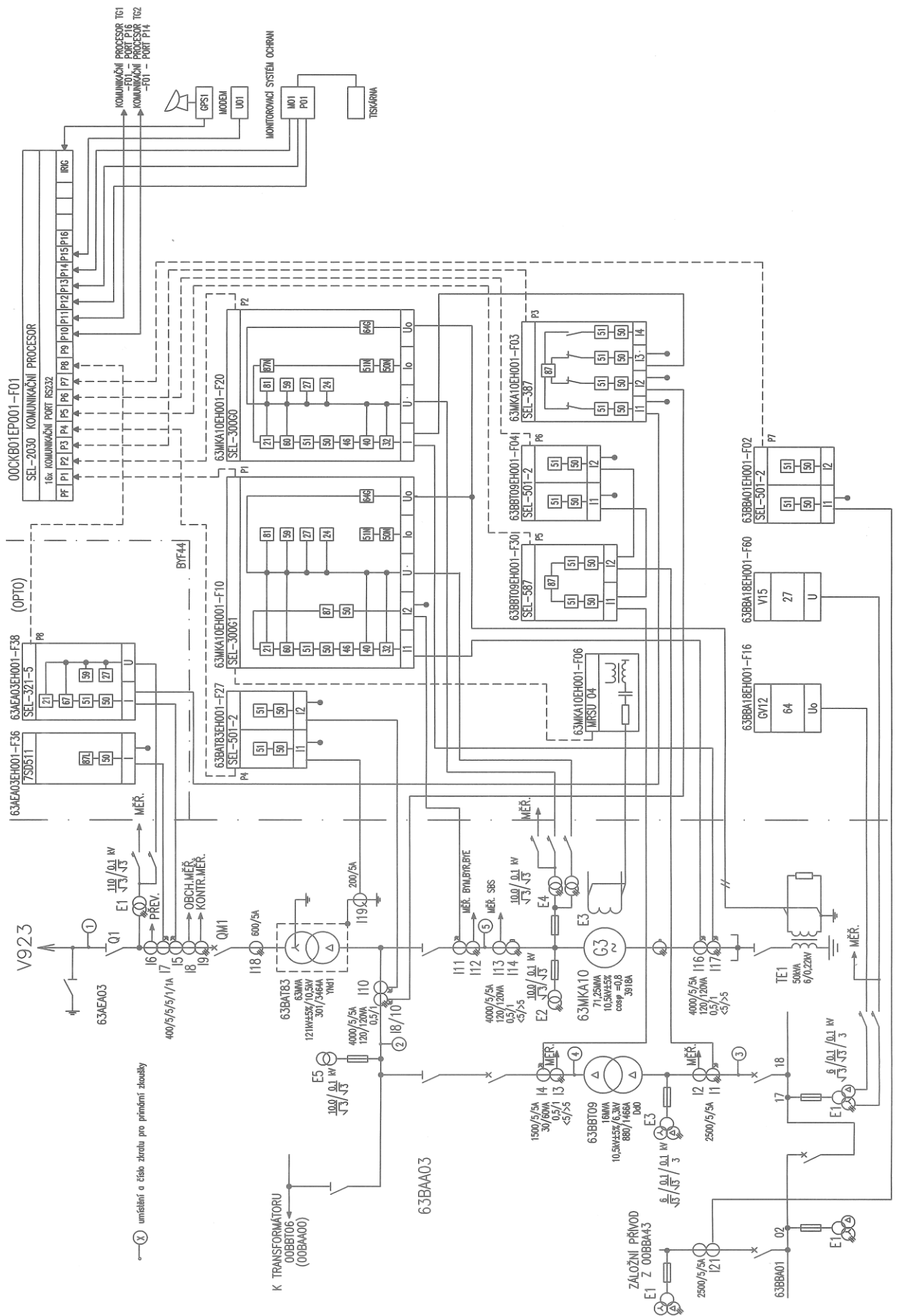
### **Působení Buchholzova relé**

Plynová relé transformátoru jsou dvoustupňová a působí při poruše uvnitř nádoby transformátoru. První stupeň jen signalizuje výstrahu. Po odstavení je nutno odebrat vzorek pro diagnostiku, zda jde o hořlavý plyn nebo vzduch. Je-li plyn hořlavý, nesmí se transformátor najíždět na napětí. Druhý stupeň u vývodového transformátoru 63BAT83 vypíná vypínače 63AEA03, 63BAA03, 00BAA00, ve skříní hlavního přívodu 63BBA, vypíná odbuzovač a dává popud na AZ pro blokovou rozvodnu vlastní spotřeby 63BBA, působení rychlozávěru turbíny TG3 a posílá signál do systému EPS (elektrická požární signalizace).[3]

Druhý stupeň u odbočkového transformátoru vypíná vypínače v 63BAA03 a skříní hlavního přívodu 63BBA, dává popud na AZ pro rozvodnu vlastní spotřeby 63BBA a posílá signál do systému EPS (elektrická požární signalizace).[3]

### **Ochrany linky V923**

Tyto ochrany působí při zkratech vně elektrárny a vypínají pouze vypínač v 63AEA03 a krátkodobě (cca 2 sec) působí na magnety urychlovače. Turbosoustrojí zůstane na zátěži vlastní spotřeby nebo nabuzené na otáčkách. Po dohodě s dispečerem se znovu přifázuje.[3]



Obr. 3.2 Zásadní zapojení elektrických ochran TG3 (převzato z [3])

## 3.2 Návrh inovace elektrických ochran TG3

### 3.2.1 Výměna zemní ochrany rotoru TG3

V rámci plánované generální opravy byla na základě mého návrhu provedena první část inovace elektrických ochran TG3. V poli 63BYF17 jsme spolu s kolegy demontovali stávající zemní ochranu rotoru MRSU04 a nahradili ji novou ochranou SEL-700G. Do prostoru nuly generátoru TG3 jsme přemístili stávající oddělovací jednotku PG5, její vnitřní výbavu jsme demontovali a do vzniklého prostoru pak namontovali novou injektážní jednotku zemní ochrany rotoru SEL-2664. Novou injektážní jednotku jsme zapojili k budicímu obvodu. Naměřená hodnota velikosti zemního odporu je nyní přenášena přes optický kabel do ochrany SEL-700G v rozvaděči 63BYF17, kde je následně vyhodnocována.

Porucha ochrany SEL-700G i SEL-2664 je signalizována do řídicího systému. Působení ochrany zemní ochrany je signalizováno do řídicího systému Metso DNA i do monitorovacího systému ochran. Velikost zemního odporu je trvale zobrazena na displeji ochrany SEL-700G.

Nová ochrana má k dispozici dva stupně pro působení zemní ochrany rotoru, první stupeň je nastaven na hodnotu 20 k $\Omega$  (s časovým zpožděním 5 vteřin) a druhý stupeň na hodnotu 5 k $\Omega$  (s časovým zpožděním 2 sekundy).

### 3.2.2 Výměna hlavní a záložní ochrany generátoru TG3

Stávající generátorové ochrany SEL-300G i všechny ostatní elektrické ochrany TG3 jsou v provozu již více než 15 let, proto by měla být dle mého názoru v rámci zachování bezpečného provozu provedena jejich výměna za novou inovovanou řadu generátorových ochran SEL-700G.

Rozvaděč včetně svorek, relé, jističů a kabelů by zůstal zachován, pouze by došlo k výměně čelního panelu, protože nové ochrany mají jiný rozměr oproti stávajícím. Komunikace ochran do řídicího systému by byla řešena protokolem IEC61850. Časová synchronizace ochran by pak byla realizována pomocí protokolu SNTP (Simple Network Time Protocol). Nové ochrany mají vylepšenou logiku, více logických článků, komparátory, čítače, možnost vytváření automatik, sekvenční zapisovače. Dalším vylepšením oproti původním generátorovým ochranám je to, že obě ochrany, jak hlavní tak i nově záložní bude

obsahovat rozdílovou ochranu i zemní ochranu statoru a komunikace bude nově fungovat podle protokolu IEC 61850.

Stávající ochrana SEL-300G1-F10 (s rozdílovou ochranou generátoru) by byla nahrazena ochranou SEL-700G1-F10 (s rozdílovou ochranou). Stávající ochrana SEL-300G0-F20 (bez rozdílové ochrany generátoru) by byla nahrazena ochranou SEL-700G1-F20 (s rozdílovou ochranou).

### **3.2.3 Výměna rozdílové ochrany bloku**

Stávající ochrana SEL-387-F03 (tříbodová rozdílová ochrana) by byla nahrazena ochranou SEL-787 (tříbodová rozdílová ochrana s napěťovými vstupy). Ochrana SEL-787, jak uvádí návod k použití, zajišťuje proudovou rozdílovou a nadproudovou ochranu dvouvinutových transformátorů, přípojnic a generátorů, navíc má funkci monitorování.

### **3.2.4 Výměna rozdílové ochrany odbočky vlastní spotřeby**

Stávající ochrana SEL-587-F30 (dvoubodová rozdílová ochrana) by byla dle mého návrhu vyměněna za ochranu SEL-787 (dvoubodová rozdílová ochrana s napěťovými vstupy).

### **3.2.5 Výměna nadproudových ochran**

Stávající ochrana SEL-501-2-F27 by byla nahrazena ochranou SEL-751A (nadproudová ochrana s napěťovými vstupy).

Stávající ochrana SEL-501-2-F04 (dvojitá nadproudová ochrana) by byla nahrazena ochranou 2x SEL-751A.

Stávající ochrana SEL-501-2-F02 (nadproudová ochrana) by byla nahrazena ochranou SEL-751A (nadproudová ochrana s napěťovými vstupy).

Stávající ochrana GV12-F16 by byla zrušena – funkce bude uvolněna v nové ochraně F02 a stávající ochrana V15-F60 by se také zrušila – funkce by se uvolnila v nové ochraně F02.

### 3.2.6 Výměna distanční ochrany linky V923

Stávající ochrana SEL-321-5-F38 (distanční ochrana vedení) by se dle mého návrhu nahradila ochranou SEL-421-4 (distanční ochrana vedení). Komunikace pak bude probíhat dle IEC61850. Jak uvádí návod k použití, ochrana SEL 421 je velmi rychlá ochrana linek s funkcemi jednopólového a třípólového vypínání, opětového zapínání, blokování při kývání, kontrolou synchronismu, monitorováním stavu vypínače, automatikou selhání vypínače a logikou chránění sériově kompenzovaných linek.

Ochrana splňuje standardy společnosti ČEPS, tuto ochranu máme již osazenou na lince přenosové soustavy V011 (220 kV), která slouží pro vyvedení výkonu z TG6.

### 3.2.7 Inovace monitorovacího systému ochran

Stávající komunikační procesor SEL-2030-CP03 by byl ponechán pro stávající aplikace. Nové ochrany budou připojeny do nového switchu pomocí protokolu IEC61850. Současně bude osazen nový průmyslový počítač SEL-3355 na pracoviště dozorny elektro.

Přínosem oproti stávajícímu monitorovacímu systému bude přesná časová značka a komunikace IEC61850.

### 3.3 Zkoušky elektrických ochran

#### 3.3.1 Kontrola parametrizace a sekundární zkoušky ochran SEL

Zkoušky zahrnují testování všech osazených elektrických ochran SEL zařízením OMICRON CMC 156, kontrolu proudových a napěťových obvodů zvoněním, kontrolu vypínacích a zapínacích obvodů, kontrolu poruchové signalizace, kontrolu binárních vstupů a výstupů ochrany. Dále se provádí při zkouškách kontrola pomocného napájecího napětí 220V DC a kontrola zapojení rozváděčů 63BYF17, 63BYF18 a 63BYF44. Dalším potřebným vybavením je měřicí přístroj METEX, osciloskop a notebook.[40]

3 x 125 V outputs

3 x 12.5 A outputs

6 x low level outputs (rear side)

2 x counter inputs (rear side)

4 x binary outputs

dc measuring inputs

10 x binary inputs



Obr. 3.3 Zařízení OMICRON CMC156 použité při testu elektrických ochran TG3 (převzato z [41])

Sekundární zkoušky ochran se provádí před primárními zkouškami, mají za úkol zjistit případné závady před závěrečnými zkouškami. Sekundární zkoušky ochran jsme provedli spolu se zhotovitelem po dokončení všech prací v rámci GO TG3 a byly zahájeny zhruba týden před plánovaným najetím stroje na otáčky. Sekundární zkoušky jsme provedli na těchto ochranách:

- SEL 300G1 – F10 – soubor ochran generátoru TG3 – hlavní.
- SEL 300G0 – F20 – soubor ochran generátoru TG3 – záložní.
- SEL 387 – F03 – rozdílová bloku.
- SEL 587 – F30 – rozdílová 63BBT09.
- SEL 501-2 – F02 – nadproudová záložního přívodu (X), rezerva (Y).
- SEL 501-2 – F04 – nadproudová 63BBT09 – strana 10,5 kV (X).

- nadproudová 63BBT09 – strana 6,3 kV (Y).
- SEL 501-2 – F27 – nádobová 63BAT83 (X).
  - nadproudová odbočky 10,5kV (Y).
- SEL 321-5 – F38 – distanční linky V923.
- SEL 700G – F06 – zemní rotorová (nová ochrana, vyměněna za MRSU04).
- V 15 – F60 – podpěťová vlastní spotřeby 63BBA – 6,3 kV.
- GV 12 – F16 – zemní spojení vlastní spotřeby 63BBA – 6,3 kV.[40]

V následující části je popsáno provedení sekundárních zkoušek některých z výše uvedených ochran, které jsem provedl spolu se zhotovitelem před ukončením opravy TG3.

### **Sekundární zkoušky ochrany SEL 387 – F03 – rozdílová bloku**

Parametry ochrany jsme zkontrolovali dle nastavovacího formuláře, který je součástí projektové dokumentace z 7/1999 (osazení a uvedení ochran do provozu). Provedli jsme kontrolu napájecího napětí, kontrolu ovládacího napětí a kontrolu měření proudu ochranou. Zkušební zařízení jsme připojili na přívodní a výstupní svorky rozvaděče. Náběhy příslušných článků jsme pak kontrolovali na LCD displeji ochrany a sepnutím výstupního kontaktu přivedeného na vstup testovacího zařízení.[40]



Obr. 3.4 Rozdílová ochrana bloku SEL 387 (převzato z [42])

Odzkoušeli jsme jednotlivé funkce rozdílové ochrany:  
Neblokovaný rozdílový článek 87U byl odzkoušen funkčně – náběh cca 50 A.

Blokovaný rozdílový článek:

- V první části charakteristiky se sklonem 0%.
- Ve druhé části charakteristiky se sklonem 30%.
- Ve třetí části charakteristiky se sklonem 100%.
- Zkoušku stabilizace a blokování harmonickými jsme odzkoušeli funkčně.

Následně byl otestován náběh nadproudového článku:

- 1. stupeň (pro fáze A, B i C) - 50P11,50P12,50P13.
- 2. stupeň (pro fáze A, B i C) - 51P1.

Otestovali jsme časování nadproudového článku:

- 1. stupeň - 50P1T.
- 2. stupeň - 51P1T.

Nakonec jsme provedli odzkoušení výstupních kontaktů a odzkoušení vstupních obvodů rozdílové ochrany bloku.[40]

článek	náběh L1 (A)	náběh L2 (A)	náběh L3 (A)	naměřený čas (s)	TAR / led
50P11 – Zkrat. 110kV	10,03	10,03	10,03	2,82	2 / 9
50P12 – ASV	0,26	0,26	0,26	0,33	2 / 11
50P13 – odpad vyp.	0,51	0,51	0,51	-----	3 / 12
50P21 – Zkrat. 10,5kV	10,02	10,04	10,04	1,83	6 / 9

článek	náběh L1 (A)	náběh L2 (A)	náběh L3 (A)	naměřený čas (s)	TAR / led
51P1 – Přetížení Tr	4,22	4,22	4,22	-----	2 / 12
51P1 – Přetížení Tr		$I_{ABCW1} = 6$		51P1T = 77,42	2 / 12
51P1 – Přetížení Tr		$I_{ABCW1} = 7$		51P1T = 45,26	2 / 12
51P1 – Přetížení Tr		$I_{ABCW1} = 8$		51P1T = 30,61	2 / 12
51P1 – Přetížení Tr		$I_{ABCW1} = 9$		51P1T = 22,39	2 / 12

článek	náběh (A)	náběh (A)	náběh (A)	náběh 3f (A)	čas (s)	TAR / led
87R – 110kV	$I_{AW1-N} = 1,72$	$I_{BW1-N} = 1,72$	$I_{CW1-N} = 1,72$	$I_{ABCW1} = 1,15$	0,045	18 / 16
87R – 10,5kV	$I_{AW2-N} = 2,28$	$I_{BW2-N} = 2,28$	$I_{CW2-N} = 2,29$	$I_{ABCW2} = 1,32$	0,042	18 / 16
87R – 0 G	$I_{AW3-N} = 2,29$	$I_{BW3-N} = 2,29$	$I_{CW3-N} = 2,29$	$I_{ABCW3} = 1,33$	0,050	18 / 16

STABILIZACE – blokování rozdílového článku 87R

při nastavení  $W_{1,2,3} CTC = 1$  a  $TAP_{1,2,3} = 4,33$

VSTUP $I_{AW1-N}$ (A)	VSTUP $I_{AW2-N}$ - otočen o 180° odpad diff. článku (A)	VSTUP $I_{AW3-N}$ - otočen o 180° odpad diff. článku (A)
2,5	0,22	0,22
3	0,72	0,72
4	1,72	1,72
8	5,72	5,72
10	7,37	7,37
12	8,84	8,85

Obr. 3.5 Sekundární zkoušky rozdílové ochrany bloku SEL 387 (převzato z [40])



### **Sekundární zkoušky ochrany SEL 321-5 - F38 – distanční linky V923**

Parametry ochrany jsme zkontrolovali dle nastavovacího formuláře, který je součástí projektové dokumentace z 8/1999 (osazení a uvedení ochran do provozu). Stejně parametry jsou nastaveny v šesti parametrových sadách. Provedli jsme kontrolu napájecího napětí, kontrolu ovládacího napětí a kontrolu měření proudu a napětí ochranou.[40]

Zkušební zařízení bylo připojeno na přívodní a výstupní svorky rozvaděče. Náběhy příslušných článků jsme kontrolovali na LCD displeji ochrany a sepnutím výstupního kontaktu přivedeného na vstup testovacího zařízení.[40]

Provedli jsme kontrolu zapojení obvodů ochran SEL v rozvaděči. Odzkoušeli jsme vazby binárních vstupů a výstupů mezi ochranou SEL 321-5 od vstupních a výstupních svorek na technologii. Poté jsme zkontrolovali proudové a napěťové obvody – zvoněním, včetně technologie. Následovala kontrola měření proudu a napětí ochranami.[40]

Poté jsme provedli zkoušení charakteristik distančních ochran zařízením OMICRON pro tyto typy zkratů: L1-N, L2-N, L3-N, L1-L2, L2-L3, L3-L1, L1-L2-L3 včetně kompletního odzkoušení funkcí ochrany.

Následovalo odzkoušení dosahů a  $Z/t$  diagramy jednotlivých zón MHO charakteristik při mezifázových a jednofázových zkratech (pro všechny typy zkratů) včetně grafického znázornění charakteristik pro příslušný typ zkratu.

Dalším bodem byla zkouška dosahů a  $Z/t$  diagramy jednotlivých zón čtyřúhelníkových (QUAD) charakteristik (pro všechny jednofázové zkraty) včetně zkoušky dosahů zón závory proti kývání v síti.

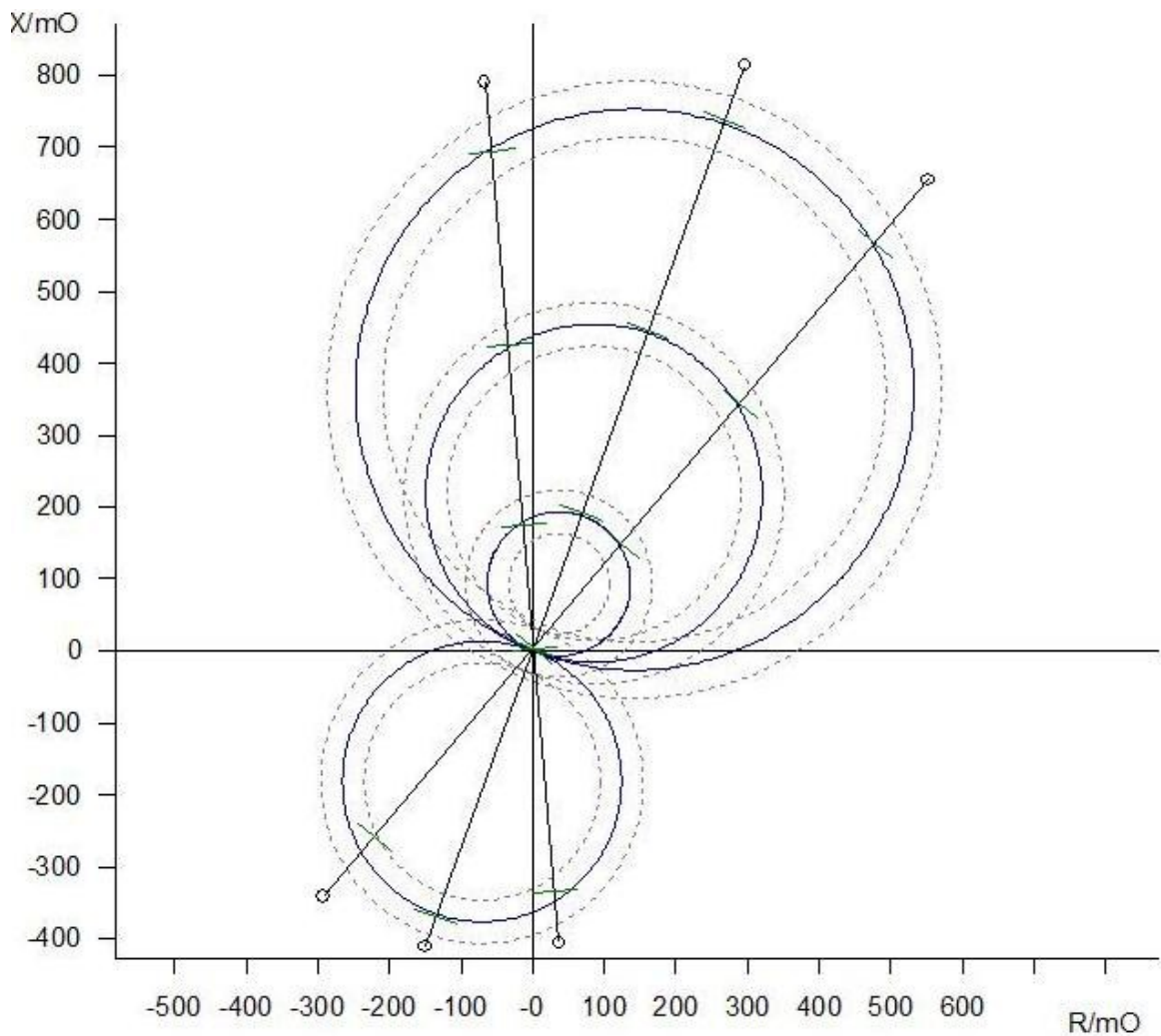
Při zkouškách zemních MHO článků, byly vyřazeny čtyřúhelníkové QUAD články a naopak.

Dále jsme s kolegy provedli kontrolu:

- Funkce vypnutí při zapnutí do poruchy (SOTF).
- Blokování distanční ochrany funkcí ztráty napětí (LOP).
- Náběhu směrového článku pro dopředný (Z2F) a zpětný (Z2R) směr.
- Náběhů použitých proudových článků ochrany.[40]

Tab. 3.1 Vyhledávací zkouška distanční ochrany, typ poruchy L1-L2-L3 (převzato z [40])

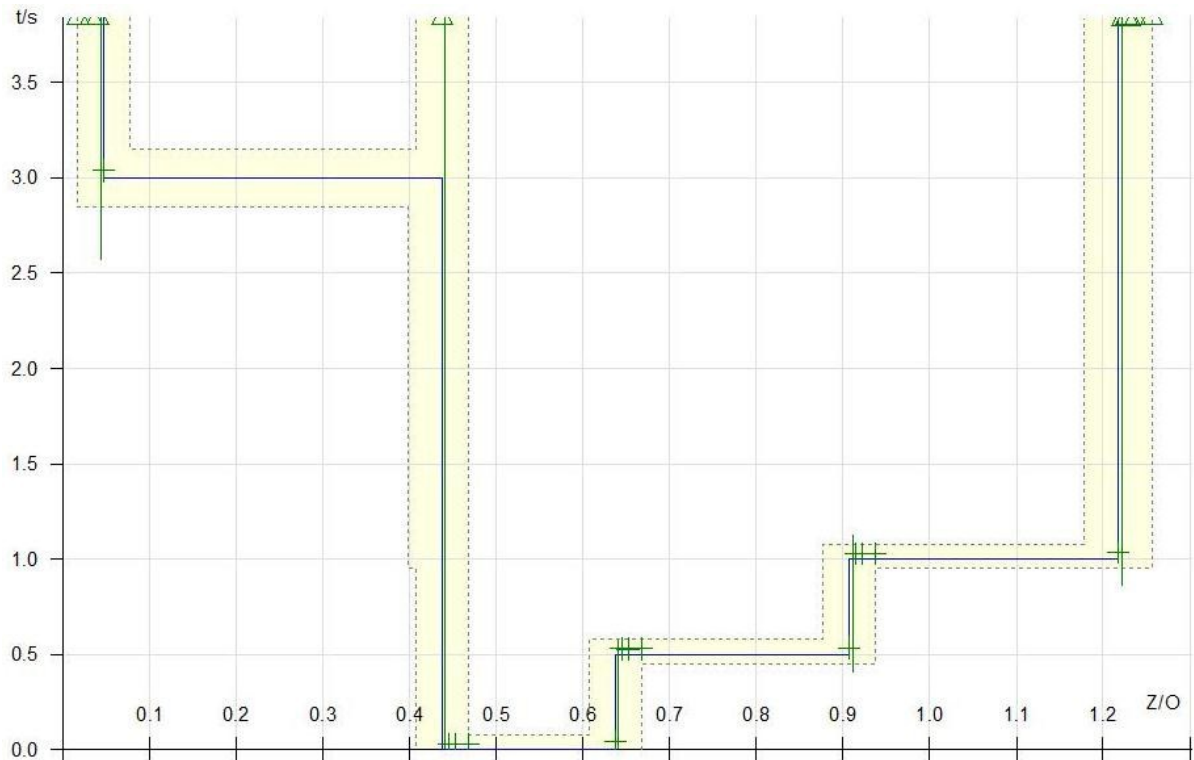
ZM X	Z skut	Phi akt.	R akt	X akt	Hodnocená velikost	Nom.	Odch.	Výsledek
Z4 L-L	741.2 mΩ	49.91 °	477.3 mΩ	567.0 mΩ	Žádná	nedostup.	-2.558 mΩ	Vyhovuje
Z2 L-L	449.3 mΩ	50.03 °	288.6 mΩ	344.3 mΩ	Žádná	nedostup.	-3.926 mΩ	Vyhovuje
Z1 L-L	193.9 mΩ	50.42 °	123.5 mΩ	149.4 mΩ	Žádná	nedostup.	-3.888 mΩ	Vyhovuje
Z1 L-L	3.975 mΩ	85.96 °	280.1 μΩ	3.966 mΩ	Žádná	nedostup.	-3.980 mΩ	Vyhovuje
Z3 L-L	339.9 mΩ	-130.67 °	-221.5 mΩ	-257.8 mΩ	Žádná	nedostup.	-28.21 mΩ	Vyhovuje
Z4 L-L	697.4 mΩ	94.81 °	-58.54 mΩ	694.9 mΩ	Žádná	nedostup.	2.750 mΩ	Vyhovuje
Z2 L-L	426.2 mΩ	94.74 °	-35.26 mΩ	424.8 mΩ	Žádná	nedostup.	-4.114 mΩ	Vyhovuje
Z1 L-L	175.6 mΩ	94.49 °	-13.74 mΩ	175.1 mΩ	Žádná	nedostup.	4.377 mΩ	Vyhovuje
Z1 L-L	3.835 mΩ	74.35 °	1.034 mΩ	3.692 mΩ	Žádná	nedostup.	-4.242 mΩ	Vyhovuje
Z3 L-L	336.2 mΩ	-84.84 °	30.21 mΩ	-334.8 mΩ	Žádná	nedostup.	-12.90 mΩ	Vyhovuje
Z3 L-L	393.7 mΩ	-110.11 °	-135.4 mΩ	-369.7 mΩ	Žádná	nedostup.	-3.751 mΩ	Vyhovuje
Z1 L-L	3.785 mΩ	76.29 °	897.4 μΩ	3.677 mΩ	Žádná	nedostup.	3.752 mΩ	Vyhovuje
Z1 L-L	203.7 mΩ	70.07 °	69.44 mΩ	191.5 mΩ	Žádná	nedostup.	3.751 mΩ	Vyhovuje
Z2 L-L	473.6 mΩ	70.00 °	162.0 mΩ	445.1 mΩ	Žádná	nedostup.	3.751 mΩ	Vyhovuje
Z4 L-L	784.7 mΩ	69.98 °	268.6 mΩ	737.3 mΩ	Žádná	nedostup.	4.876 mΩ	Vyhovuje



Obr. 3.6 Vyhledávací zkouška distanční ochrany, typ poruchy L1-L2-L3 (převzato z [40])

Tab. 3.2 Vyhledávací zkouška, typ poruchy L1-L2-L3 (převzato z [40])

$ Z $ :	437.2 m $\Omega$	Phi:	-110.11 °	Úhel:	69.95 °	Výsledek:	Vyhovuje
Délka:	1.303 $\Omega$	%:	107.10 %	% z:	Všechny zóny		



Obr. 3.7 Vyhledávací zkouška distanční ochrany, typ poruchy L1-L2-L3 (převzato z [40])

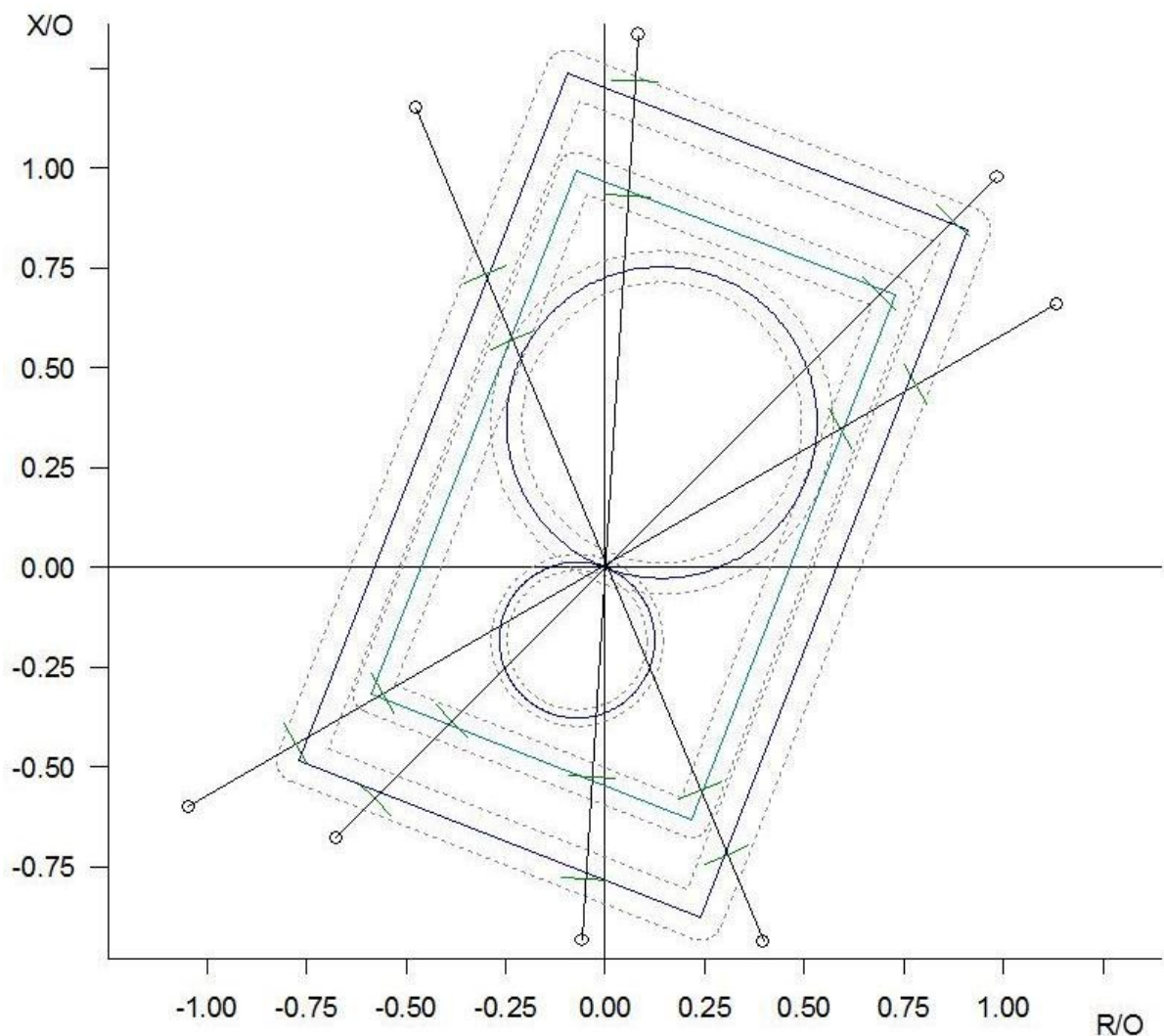
Další provedenou zkouškou byla zkouška dosahů zón závory proti kývání v síti, kdy je u této distanční ochrany SEL 321 využívána metoda detekce kývání, která je založena na sofistikovaném sledování změny sousledné složky napětí ve středu kývání. Podrobnější princip této metody je popsán ve zdroji [43].

Tab. 3.3 Distanční ochrana SEL321 - závora proti kývání (převzato z [40])

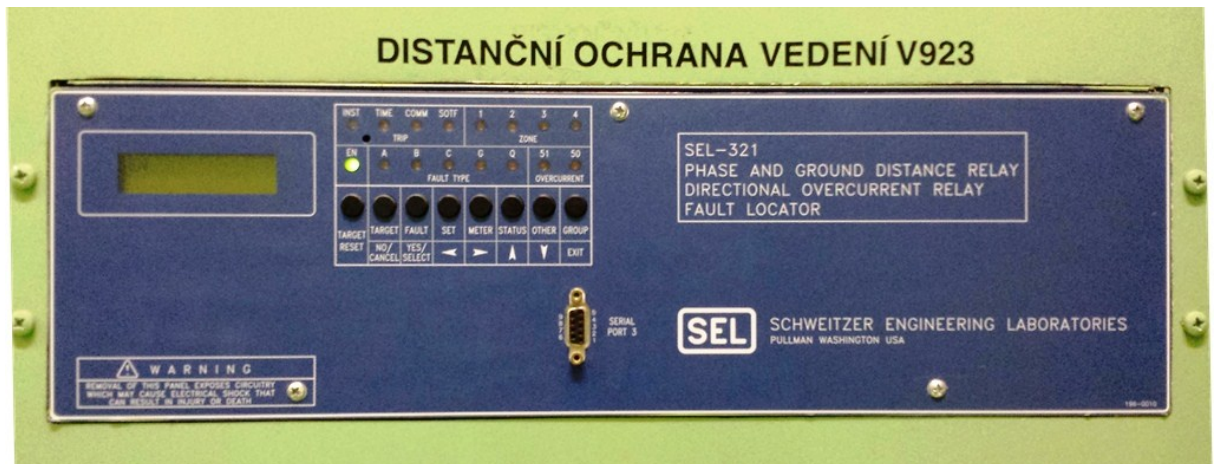
Nominální hodnoty:			
$f_n$ :	50.00 Hz	Počet fází:	3
$U_n$ (sekundární):	100.0 V	$U$ (primární):	110.0 kV
$I_n$ (sekundární):	5.000 A	$I$ (primární):	400.0 A

Tab. 3.4 Distanční ochrana SEL321 - závora proti kývání (převzato z [40])

ZM X	Z skut	Phi akt.	R akt	X akt	Hodnocená velikost	Nom.	Odch.	Výsledek
Z6 L-L	819.4 mΩ	-134.87 °	-578.1 mΩ	-580.7 mΩ	Žádný	nedostup.	-22.93 mΩ	Vyhovuje
ZN5 L-L	544.1 mΩ	-134.78 °	-383.3 mΩ	-386.2 mΩ	Žádný	nedostup.	12.28 mΩ	Vyhovuje
ZN5 L-L	971.6 mΩ	44.79 °	689.5 mΩ	684.5 mΩ	Žádný	nedostup.	-12.28 mΩ	Vyhovuje
Z6 L-L	1.232 Ω	44.83 °	873.5 mΩ	868.2 mΩ	Žádný	nedostup.	7.643 mΩ	Vyhovuje
Z6 L-L	781.6 mΩ	-93.56 °	-48.59 mΩ	-780.0 mΩ	Žádný	nedostup.	-14.70 mΩ	Vyhovuje
ZN5 L-L	524.2 mΩ	-93.58 °	-32.71 mΩ	-523.1 mΩ	Žádný	nedostup.	11.81 mΩ	Vyhovuje
ZN5 L-L	933.3 mΩ	86.49 °	57.22 mΩ	931.6 mΩ	Žádný	nedostup.	-11.81 mΩ	Vyhovuje
Z6 L-L	1.220 Ω	86.48 °	74.91 mΩ	1.218 Ω	Žádný	nedostup.	44.10 mΩ	Vyhovuje
Z6 L-L	893.2 mΩ	-150.25 °	-775.5 mΩ	-443.2 mΩ	Žádný	nedostup.	-33.27 mΩ	Vyhovuje
ZN5 L-L	642.5 mΩ	-150.36 °	-558.4 mΩ	-317.8 mΩ	Žádný	nedostup.	14.40 mΩ	Vyhovuje
ZN5 L-L	685.6 mΩ	30.39 °	591.5 mΩ	346.8 mΩ	Žádný	nedostup.	-9.007 mΩ	Vyhovuje
Z6 L-L	904.3 mΩ	30.30 °	780.8 mΩ	456.2 mΩ	Žádný	nedostup.	33.62 mΩ	Vyhovuje
Z6 L-L	782.0 mΩ	-66.93 °	306.4 mΩ	-719.5 mΩ	Žádný	nedostup.	-10.07 mΩ	Vyhovuje
ZN5 L-L	605.7 mΩ	-66.82 °	238.4 mΩ	-556.8 mΩ	Žádný	nedostup.	8.092 mΩ	Vyhovuje
ZN5 L-L	616.6 mΩ	112.19 °	-232.9 mΩ	571.0 mΩ	Žádný	nedostup.	-8.092 mΩ	Vyhovuje
Z6 L-L	793.0 mΩ	112.30 °	-300.9 mΩ	733.7 mΩ	Žádný	nedostup.	10.07 mΩ	Vyhovuje



Obr. 3.8 Distanční ochrana SEL321 - zóny závory proti kývání (převzato z [40])



Obr. 3.9 Distanční ochrana linky V923 -SEL 321

### 3.3.2 Primární zkoušky

Primární zkoušky elektrických ochran ověří funkci soustavy ochran, přístrojových transformátorů a ostatního příslušenství. Primární zkoušky se provádějí vždy po každé generální opravě TG, po zásahu do obvodů měřících transformátorů pro napájení ochran, při výměně nebo osazení ochrany nové.[3]

Podstatou primárních zkoušek je umělé napodobení poruchy za pomoci pracovního zkratu, přičemž se zkouší činnost celého ochranného zařízení. K získání rozběhových hodnot ochran se použije vlastního generátoru. Postupně se podle předem vypracovaného programu provedou umělé poruchy (pracovní zkraty), stroj najetý na otáčky se zvolna přibuzuje a tak se prověří činnost jednotlivých ochran.[3]

#### Organizace primárních zkoušek

K provedení zkoušek jsem stanovil najížděcí skupinu, jejím řízením byl pověřen vedoucí zkoušek. Vedoucímu zkoušek jsou podřízeni:

- Vedoucí pro práce a manipulace na EZ vn a vvn se skupinou.
- Vedoucí pro provedení měření a kontroly náběhu ochran se skupinou.

Vedoucím zkoušek je technolog elektro oddělení péče o zařízení. Zodpovídá za provedení primárních zkoušek dle programu, se kterým předem seznámí celou najížděcí skupinu. Po dohodě s vedoucím pro provedení měření může rozhodnout o změně sledu zkoušek nebo jejich přerušení pro odstranění vzniklé závady. S novým postupem musí seznámit celou najížděcí skupinu. Výsledek zkoušek zapíše do „Knihy ochran“.[3]

Vedoucím pro práce na EZ je provozní elektrikář – zástupce mistra, nebo jím určený zástupce. Zodpovídá za řádně provedené uzemnění, zkratování, požadované manipulace a dodržení postupů dle BP pro elektrozařízení.[3]

Vedoucím práce pro provedení měření je technik pověřené dodavatelské firmy. Zodpovídá za řádné měření, kontrolu a zápis výsledků zkoušek. Při zjištění závady v naměřených hodnotách požádá vedoucího zkoušek o jejich přerušení. Zodpovídá za správnou činnost ochran, signalizací a automatik. O provedení zkoušek a jejich výsledcích sepíše protokol.[3]

### **Program primárních zkoušek**

Před zahájením primárních zkoušek schvaluje vedoucí zkoušek program zkoušek, vypracovaný vedoucím pro provedení měření.

Směnový inženýr projedná termín a program provedení primárních s dispečerskými složkami. Součástí programu je tabulka pro zápis naměřených hodnot a schéma s vyznačením míst a čísel jednotlivých zkratů. Umístění zkratů je nakresleno na *Obr. 3.2*. Program primárních zkoušek obsahuje:

- Personální obsazení skupiny.
- Přípravné práce a manipulace.
- Proudové zkoušky.
- Napěťové zkoušky.
- Zkoušky buzení.
- Zkoušky po přifázování.

Před začátkem proudových zkoušek se musí provést funkční zkoušky a zkoušky elektrických bloků, případně sušení generátoru.[3]

### **Proudové zkoušky**

Budící soupravu jsem připravil pro ruční ovládání změnou nastavení parametrů a její napájení jsem nechal přepojit na napájení z rozvodny vlastní spotřeby 400V označené jako 63BFA, standardně je napájena z transformátoru 63BPT01 odbočkou z vývodu generátoru.

Zkrat č. 1 - trojpólový umístěný v rozvodně 110kV 63AEA03 za MTP I6, symetrický, proudové zatížení 400A. Po roztočení stroje na jmenovité otáčky jsme nabudili na 10% jmenovitého proudu generátoru a zkontrolovali jsme všechny proudové obvody od nuly generátoru až po zkrat č. 1. Potom jsme zvolna nabudili na 3500A na straně TG3 a zkontrolovali jsme funkci ochran:

- Zkouška hlavní ochrany generátoru SEL-300G11 - F10.
- Zkouška záložní ochrany generátoru SEL-300G01 - F20.
- Kontrola rozdílové ochrany bloku SEL-387 - F03.
- Kontrola proudu distanční ochrany linky V923 SEL-321-5 - F38.
- Kontrola proudu srovnávací ochrany linky V923 7SD511 - F36.

Zkrat č. 2 - dvoupólový v rozvodně 110 kV 63AEA03 za MTP I6:

- Zkouška hlavní ochrany generátoru (nesymetrické zatížení) SEL-300G - F10.
- Zkouška záložní ochrany generátoru (nesymetrické zatížení) SEL-300G - F20.

Zkrat č. 3 - trojpólový ve skříní hlavního přívodu rozvodny vlastní spotřeby 63BBA za MTP I1, proudové zatížení 2500A. Na jmenovitých otáčkách jsme nabudili na 10% jmenovitého proudu generátoru, což je 800A na straně 10kV, zkontrolovali jsme proudové obvody v odbočce na transformátor vlastní spotřeby 63BBT09 a provedli kontrolu funkce ochran:

- Zkouška hlavní ochrany generátoru SEL-300G - F10.
- Zkouška záložní ochrany generátoru SEL-300G - F20.

Následně jsme nabudili na 1500A a zkontrolovali funkci ochran:

- Kontrola rozdílové ochrany transformátoru 63BBT09 SEL-587 - F30.
- Kontrola nadproudové ochrany odbočky 10,5kV SEL-501-2 - F27.
- Kontrola nadproudové ochrany transformátoru 63BBT09 SEL-501-2 - F04.
- Kontrola rozdílové ochrany bloku SEL-387 - F03.

Zkrat č. 4 - trojpólový na odbočkovém transformátoru za MTP I3:

- Zkouška rozdílové ochrany odbočky SEL-587 - F30.
- Kontrola nadproudové ochrany odbočky SEL-501-2 - F27.
- Kontrola záložní nadproudové ochrany odbočky SEL-387 - F03.

Zkrat č. 5 - trojpólový ve vývodu generátoru za MTP I11:

- Zkouška rozdílové ochrany bloku SEL-387 - F03.



Obr. 3.10 Elektrické ochrany TG3 výrobce SEL v ETI

### Napěťové zkoušky

Napěťové zkoušky jsme provedli s vypnutým výkonovým vypínačem generátoru. V přístupném místě jsme přizemnili jednu fázi vývodu TG3 10,5 kV zkratovací soupravou tak, aby bylo vinutí generátoru galvanicky spojeno se zemí. Pomalu jsme nabudili stroj a sledovali náběh ochrany[44]:

- Zkouška hlavní ochrany generátoru (zemní satoru 90%) SEL-300G11 - F10.
- Zkouška záložní ochrany generátoru (zemní satoru 90%) SEL-300G01 - F20.

U všech proudových ochrany jsme následně museli aktivovat výstupní povely a vyzkoušet vypínání dle vypínací tabulky. Dále jsme nainstalovali zemní spojení do rozvodny vlastní spotřeby, do kobky hlavního přívodu:

- Zkouška ochrany zemního spojení GV 12 - F16.
- Zkouška podpět'ové ochrany V 15 - F60.

Zemní ochrany satoru TG3 při tomto zkratu nenabíhají.



Generátor na jmenovitých otáčkách jsme pak nabudili až do náběhu nadpět'ových ochran při jejich sníženém nastavení a provedli jsme:

- Zkoušku hlavní ochrany generátoru (přepětí, dva stupně) SEL-300G11 - F10.
- Zkoušku záložní ochrany generátoru (přepětí, dva stupně) SEL-300G01 - F20.

Současně jsme kontrolovali ochrany proti přesycení:

- Zkouška hlavní ochrany generátoru (podpět'ová blokáda) SEL-300G11 - F10.
- Zkouška záložní ochrany generátoru (podpět'ová blokáda) SEL-300G01 - F20.
- Zkouška hlavní ochrany generátoru (přesycení, dva stupně) SEL-300G11 - F10.
- Zkouška záložní ochrany generátoru (přesycení, dva stupně) SEL-300G01 - F20.

Dále jsme odzkoušeli, při jmenovitém napětí statoru za pomoci změny otáček TG3, frekvenční ochrany generátoru:

- Zkouška hlavní ochrany generátoru (nadfrekvenční) SEL-300G11 - F10.
- Zkouška záložní ochrany generátoru (nadfrekvenční) SEL-300G01 - F20.
- Zkouška hlavní ochrany generátoru (podfrekvenční) SEL-300G11 - F10.
- Zkouška záložní ochrany generátoru (podfrekvenční) SEL-300G01 - F20.

Jako další jsme odzkoušeli zemní ochranu rotoru spojením kartáčů buzení se zemí:

- Zkouška zemní ochrany rotoru SEL-700G.

Stroj jsme poté odstavili tlačítkem nebezpečí, budící soupravu jsme připravili pro automatické ovládání a její napájení jsme přepojili zpět na transformátor 63BPT01 (odbočka z generátoru). Pak jsme odzkoušeli fázování a stroj se připojil k síti:

- Zkouška automatiky SBS.
- Zkouška synchronizace a fázování.

### **Zkoušky ochran na síti**

Zkoušky ochran na síti 110 kV jsou následující:

- Zkouška hlavní ochrany generátoru (zpětná wattová, dva stupně) SEL-300G11 - F10.
- Zkouška záložní ochrany generátoru (zpětná wattová, dva stupně) SEL-300G01 - F20.
- Zkouška hlavní ochrany generátoru (podbuzení a ztráta buzení) SEL-300G11 - F10.
- Zkouška záložní ochrany generátoru (podbuzení a ztráta buzení) SEL-300G01 - F20.

- Zkouška směřování distanční ochrany SEL 321-5 - F38.

Před zkouškou 100% zemní satoru je nejprve nutné změřit hodnoty třetí harmonické složky napětí při plném zatížení a bez zatížení generátoru a současně připojenými transformátory 63BAT83, 63BBT09 a 00BBT06 (společná vlastní spotřeba ETI, rozvodna 00BBA00).

Tab. 3.5 Naměřené hodnoty 3. harmonické složky napětí na svorkách a v uzlu (převzato z [45])

Měřená veličina	Bez zatížení	55,889 MW, 18,496 MVAr
VP3 – svorky G	0,046 kVp (peak)	0,577 kVp (peak)
VN3 – 0 G	0,059 kVp (peak)	0,205 kVp (peak)

Podle naměřených špičkových hodnot napětí se vypočítají hodnoty pro nastavení 100% zemní ochrany generátoru. Dalším krokem bylo přemístit zkratovací soupravu do nuly generátoru a přizemnit uzel generátoru:

- Zkouška hlavní ochrany generátoru (zemní satoru 100%) SEL-300G11 - F10.
- Zkouška záložní ochrany generátoru (zemní satoru 100%) SEL-300G01 - F20.

Tato zkouška je poslední, primární zkoušky jsou tím ukončeny, správná funkce všech ochrany byla tímto spolehlivě ověřena, stroj zůstane přifázován na síti a bude provozován na výkonových hladinách dle požadavků dispečinku.

## 4 Zhodnocení provedené opravy TG3

Při přípravě a plánování rozsahu opravy generátoru TG3 jsem vycházel z předpokládaného dalšího provozu stroje, který by měl být minimálně dalších dvanáct let bez větších investic do oprav generátoru. S ohledem na to, že se jednalo pravděpodobně o poslední opravu většího rozsahu, zvolená varianta opravy pak byla určitým kompromisem mezi maximalistickou a minimalistickou variantou. Nulová varianta nepřicházela v úvahu.

Investice finančních prostředků do instalace nového měření posuvů a chvění byla nevyhnutelným krokem, původní systém měření byl dožitý a spolehlivost byla již minimální. Původní systém měření byl na stroji již v provozu dvacet let a docházelo k častým poruchám elektroniky v měřicích kartách nebo ve zdrojích. Dalším důvodem instalace nového systému byla jednotnost a unifikace s generátorem TG 6 a dálkový přenos dat pro možnou další analýzu provozních stavů.

Rozsah opravy generátoru TG3 vycházel z několika variant. Vzhledem k tomu, že další doba provozu generátoru TG3 není v tuto dobu pevně stanovena a jedná se pouze o odhad, tak mojí prvotní snahou bylo prosazení varianty maximalistické. Při volbě této varianty mělo dojít k převinutí rotoru a výměně obručí za obruče z materiálu P900, stávající jsou nyní z materiálu třídy 17455. Stávající rotor byl naposledy převinut v polovině 80. let minulého století. Vzhledem ke stáří vinutí generátoru TG3, převinut byl naposledy v roce 1983, bylo nutné uvažovat i o převinutí statoru. Při GO TG2 v roce 2008 bylo zjištěno značné poškození stejně starého statoru generátoru stejného typu. Dalo se očekávat, že stav statoru TG3 bude obdobně špatný, kdy u TG2 byl po otevření stroje zjištěn úplně uvolněný paket magnetického obvodu stroje, plechy byly rozlistované, ačkoliv před GO hluková diagnostika závadu neodhalila a stator musel být nakonec vyměněn za náhradní z pozice odstavené TG4. Tento demontovaný stator, původně z TG2, by se dle této varianty v dostatečném předstihu před termínem opravy připravil pro použití na TG3. Stator by byl bez vinutí přepraven do Plzně do servisních dílen, kde by proběhlo odsoustružení stahovací desky a byla provedena demontáž všech plechů složených ze segmentů. Tyto by se pak musely buď přebrousit a přelakovat (26 000 ks tloušťky 0,5 mm) nebo by bylo nutné vyrobit všechny plechy nové. Poté by se paket složil, slisoval a zavařila stahovací deska. V ETI by pak bylo provedeno převinutí statoru za pomoci nových statorových tyčí, které by se v předstihu vyrobily. Uvažoval jsem i o použití původních statorových tyčí v kombinaci s novým magnetickým obvodem. Cena za opravu tohoto rozsahu (nový paket, nové tyče) by se ale blížila ceně nového stroje a proto

nebyla s ohledem na vysokou cenu nakonec vůbec hodnocena.

Minimalistická varianta, která obsahovala pouze typovou opravu stroje, jsem nedoporučil z důvodu vypracované zprávy [23] o zbytkové životnosti stroje, kdy by pravděpodobně nebyl zaručen provoz bez poruchy statorového vinutí.

Nakonec jsem zvolil opravu v rozsahu popsaném v předchozích kapitolách, která byla finančně únosná a měla by zaručit další bezporuchový provoz v období minimálně dalších deset až patnáct let. Odzkoušením a měřením jednotlivých statorových tyčí byly identifikovány již dříve opravované tyče nebo byly identifikovány tyče, u kterých došlo k průrazu izolace již při napětí nižším, než je provozní napětí statoru. Tyto vadné tyče měly být nahrazeny tyčemi novými (musely by být vyrobeny), ale z důvodu krátkého času určeného na opravu stroje by se nové tyče nestačily vyrobit. Protože byl v ETI náhradní stator na pozici TG4, byly tyče demontovány z tohoto stroje a po odzkoušení použity na TG3. Oprava tohoto typu není zcela obvyklá, pokud by nebyly v ETI k dispozici tyče náhradní, asi by se tímto způsobem nerealizovala a tato varianta by nebyla zvolena. Naštěstí se nepotvrdil předpoklad poškozeného magnetického obvodu, ačkoliv u tohoto stroje hluková analýza tento stav predikovala.

Zvolená varianta, převinutí stroje s použitím původních statorových tyčí, byla výhodná určitě z ekonomického hlediska, co se týče zajištění dalšího bezporuchového provozu generátoru TG3, tak to se ukáže až s postupem času. I nadále budou prováděna pravidelná diagnostická měření v intervalu dvou let, takže vývoj a případné zhoršování izolačního stavu vinutí bude takto včas zjištěno a budu moci na tuto případnou změnu včas zareagovat.

Nejlepší variantou opravy by jistě byla varianta maximalistická, minimálně měl být stator převinut novou mědí, s tím že nové tyče měly být v předstihu vyrobeny, to ale vzhledem k vysoké ceně a současné situaci v klasické energetice nepřicházelo v úvahu.

## Závěr

V diplomové práci jsem dle zadání popsal jednotlivé diagnostické metody používané pro diagnostiku turboalternátorů, popsal jsem zrealizovanou opravu turboalternátoru TG3 v ETI, pro kterou jsem připravil rozsah provedené opravy, dozoroval jsem a koordinoval činnosti při opravě, zúčastnil jsem se a asistoval při diagnostických měřeních popsaných v jednotlivých kapitolách. Koordinoval jsem činnosti v části elektro a MaR při montáži měření nového systému měření posuvů a chvění a spolupracoval při uvádění turboalternátoru zpět do provozu. V závěru opravy jsem provedl ve spolupráci se zhotovitelem sekundární a primární zkoušky elektrických ochran.

Na základě doporučení výrobce elektrických ochran jsem navrhl inovaci stávajících elektrických ochran instalovaných na TG3. Pokud budou na akci dostupné finanční prostředky, tak bude navržená inovace aplikována v dohledné době do praxe a stávající ochrany SEL budou po 17 letech provozu vyměněny za novou řadu ochran. Výměna ochran zcela jistě přispěje ke spolehlivému a bezporuchovému provozu generátoru TG3 i v dalších letech.

Provedená oprava nám opět ukázala, že spoléhat se zcela na diagnostické metody není vždy vhodné, závada na magnetickém obvodu stroje se neprokázala, ačkoliv měření před odstavením nám tuto závadu predikovalo. Stejně tak nám pravidelná diagnostická měření celého izolačního systému stroje neodhalila statorové tyče se zhoršenou izolací, tyto tyče byly vyřazeny a následně nahrazeny až při měření jednotlivých tyčí po demontáži ze stroje.

Tento typ opravy statoru, tedy převinutí statoru s použitím původních statorových tyčí, bych již při další opravě ne zvolil. Jednoznačně se dá říci, že pokud by v ETI nebyly k dispozici náhradní tyče ze statoru TG4, tak by se doba opravy neúměrně prodloužila a ztráty z nevyroby elektrické energie a tepla by naopak celou opravu hodně prodražila a cena za opravu by pak byla pravděpodobně ještě vyšší, než při zvolení varianty maximalistické, tedy převinutí pomocí nových statorových tyčí, které by se vyrobily již před zahájením opravy. Pokud se bude v budoucnosti v ETI provádět generální oprava dalšího turboalternátoru, v našem případě to bude snad TG2 v roce 2017, tak se určitě pokusím prosadit variantu, kdy se provede převinutí s použitím nových statorových tyčí, jak tomu bylo i u generátoru TG6 v roce 2011.

Nově nainstalovaný systém měření posuvů a chvění se osvědčil hned při uvádění stroje TG3 do provozu, kdy nám pomohl odhalit problém s vyrovnaním rotorů turboalternátoru. Při uvádění stroje do provozu docházelo ke zvýšenému chvění rotorů turbíny, následně byl

zjištěn problém s vyrováním stroje ve spojce a drobný problém v regulaci turbíny. Po odstranění zjištěných závad byl stroj uveden do provozu a oprava byla po provedení primárních zkoušek elektrických ochran ukončena a stroj předán k provozování dle programu výroby.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ČEZ, VÝKLADOVÝ SLOVNÍK ENERGETIKY - HESLA [online], [cit. 2014-12-29].  
Dostupný z WWW:  
<[http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/turbo\\_altern.html](http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/turbo_altern.html)>.
- [2] ČEZ [online], [cit. 2014-12-29]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/tisova.html>>.
- [3] ČEZ, ETI. MERTL, Miroslav. MPP ETI0 6 035 rev01. *Provozní předpis pro generátory 61-63MKA, 2013, 57s.*
- [4] ČEZ. PODNIKOVÁ NORMA PN 00/06 rev1. *Profylaktika izolačního systému strojů točivých - turbogenerátory, hydrogenerátory a vn motory.*
- [5] ČEZ. ŠULCEK, Jan, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_VIZ\_01r04. *Monitorování točivého stroje - vizuální prohlídka.*
- [6] ČEZ. ŠULCEK, Jan, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_RIZ\_02r04. *Monitorování izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu statorového vinutí.*
- [7] ČEZ. ŠULCEK, Jan, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_RIZ\_03r04. *Monitorování izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu rotorového vinutí.*
- [8] ČEZ. ŠULCEK, Jan, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_NAB\_04r04. *Monitorování napěťové závislosti izolačního odporu na DC.*
- [9] ČEZ. ŠULCEK, Jan, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_TGC\_05r04. *Monitorování ztrátového činitele  $\text{tg } \delta$ , kapacity a výpočet časové konstanty.*
- [10] ČEZ. ŠULCEK, Jan, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_VYB\_06r04. *Monitorování částečných výbojů statorového vinutí galvanicky vázanou metodou.*
- [11] ČEZ. PÍŠTĚK, Miroslav, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_VYB\_07r04. *Monitorování částečných výbojů statorového vinutí akustickou sondou.*
- [12] ČEZ. PÍŠTĚK, Miroslav, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_VYB\_08r04. *Monitorování částečných výbojů statorového vinutí diferenciální elektromagnetickou sondou.*
- [13] ČEZ. ŠULCEK, Jan, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_UZ\_09r04. *Monitorování statorového vinutí střídavým napětím.*
- [14] ČEZ. ŠULCEK, Jan, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_UZ\_10r04. *Monitorování rotorového vinutí střídavým napětím.*

- [15] ČEZ. ŠULCEK, Jan, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_UZ\_11r04. *Monitorování statorového vinutí stejnosměrným napětím.*
- [16] ČEZ. PÍŠTĚK, Miroslav, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_FAP\_12r04. *Frekvenční analýza proudu a rozptylového magnetického pole.*
- [17] ČEZ. ŠULCEK, Jan, Ing. TECHNOLOGICKÝ POSTUP TSE\_ZII\_15r04. *Monitorování závitové izolace statorového vinutí proudovými impulsy.*
- [18] ODBORNÉ ČASOPISY [online], [cit. 2015-01-04]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=34187](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34187)>.
- [19] TURBO GEN TECH - EL CID [online], [cit. 2015-01-04]. Dostupný z WWW: <[http://turbogentech.com/ELCID\\_stator\\_core\\_test.html](http://turbogentech.com/ELCID_stator_core_test.html)>.
- [20] 1.SERVIS-ENERGO. NOVÁK, Miroslav, Ing. PROTOKOL O ZKOUŠCE č.12141\_PROT\_003 ze dne 19. 11. 2013. *Magnetizační zkouška statoru TG3 - silová.*
- [21] MONHART AKUSTIK. MONHART, František, Ing. PROTOKOL O MĚŘENÍ č.55/2013 ze dne 18. 11. 2013. *Hluk generátoru TG3 instalovaného v ETI v době magnetizační zkoušky.*
- [22] MONHART, František, Ing. PROTOKOL O MĚŘENÍ č.41/2012 ze dne 17. 09. 2012. *Diagnostické měření hluku generátoru TG3 instalovaného v ETI.*
- [23] ANTFEIST, František, VÝPOČET PRAVDĚPODOBNOСТИ PRŮRAZU TG3,5 A 6 ETI ze dne 1. 9. 2004. *Zbytková životnost.*
- [24] 1. SERVIS-ENERGO, s.r.o., PROTOKOL O ZKOUŠCE 12141-001 ze dne 5. 9. 2013. *Měření před odstavením stroje.*
- [25] 1. SERVIS-ENERGO, s.r.o., PROTOKOL O ZKOUŠCE 12141-002 ze dne 16. 10. 2013. *Magnetizační zkouška metodou EL CID.*
- [26] ORGREZ, a.s., PROTOKOL O MĚŘENÍ 205/2013-G ze dne 16. 10. 2013. *Diagnostika statoru generátoru TG3.*
- [27] ORGREZ, a.s., PROTOKOL O MĚŘENÍ 92/2013-M ze dne 18. 11. 2013. *Zkouška tyčí statorového vinutí TG3 - spodní část.*
- [28] ORGREZ, a.s., PROTOKOL O MĚŘENÍ 93/2013-M ze dne 16. 11. 2013. *Zkouška tyčí statorového vinutí TG3 - horní část+ tyče spodní z TG4+ tyče horní z TG4*
- [29] 1. SERVIS-ENERGO, s.r.o., PROTOKOL O ZKOUŠCE 12141-005 ze dne 27. 11. 2013. *Zkouška spodní polohy vinutí statoru výdržným napětím.*
- [30] 1. SERVIS-ENERGO, s.r.o., PROTOKOL O ZKOUŠCE 12141-007 ze dne 16. 12. 2013. *Zkouška vinutí statoru výdržným napětím po založení vrchní polohy.*



- [31] ORGREZ, a.s., PROTOKOL O MĚŘENÍ 1/2014-G ze dne 14. 01. 2014. *Diagnostika statoru generátoru TG3.*
- [32] 1. SERVIS-ENERGO, s.r.o., PROTOKOL O ZKOUŠCE 12141-004 ze dne 25. 11. 2013. *Vstupní kontrola rotoru.*
- [33] 1. SERVIS-ENERGO, s.r.o., PROTOKOL O ZKOUŠCE 12141-006 ze dne 27. 11. 2013. *Protokol - kapilární zkouška původních obručí a matic rotoru TG3.*
- [34] ENERGOSERVIS, s.r.o., PROTOKOL O DEFEKOSKOPICKÉ KONTROLE číslo ENS 780/2013/965 ze dne 18. 10. 2013.
- [35] 1. SERVIS-ENERGO, s.r.o., PROTOKOL O ZKOUŠCE 12141-009 ze dne 02. 01. 2014. *Výstupní kontrola rotoru.*
- [36] HOWDEN ČKD COMPRESSORS, s.r.o., PROTOKOL O VYVÁŽENÍ A Odstředění rotoru OBV1300262 ze dne 20. 12. 2013. *Generátor ŠKODA 6H6378/2 - rotor.*
- [37] ČEZ, a.s., MODERNIZACE MĚŘENÍ TG3, PŘÍLOHA Č. 1 - TECHNICKÁ SPECIFIKACE DÍLA. Smlouva objednatele 4100792902.
- [38] PROFESS, s.r.o., ŠKOLÍCÍ MATERIÁL PRO DIAGNOSTICKÝ SW z 11/2010. *MMS6850 DS.*
- [39] PROFESS, s.r.o., KATALOGOVÝ LIST MMS. *ADT 3-50 mm, Lineární snímač polohy*
- [40] MONTÁŽE ČAKOVICE, s.r.o., PROTOKOL O KONTROLE PARAMETRIZACE A SEKUNDÁRNÍCH ZKOUŠKÁCH OCHRAN PRO TG3 A V923 č. 1758 ze dne 28. 02. 2014. *Sekundární zkoušky ochran - zkoušku provedl Vacek, Mertl, Kacetl*
- [41] SIEMENS [online], [cit. 2015-02-21]. Dostupný z WWW:  
<[https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty\\_a\\_sluzby/sector\\_energy/automatizace\\_pro\\_energetiku/zkusebni\\_zarizeni\\_OMICRON/rada\\_CM/Documents/Forms/AllItems.aspx](https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/sector_energy/automatizace_pro_energetiku/zkusebni_zarizeni_OMICRON/rada_CM/Documents/Forms/AllItems.aspx)>
- [42] SELINC [online], [cit. 2015-02-22]. Dostupný z WWW:  
<<https://www.selinc.com/SEL-387/>>
- [43] SELINC [online], [cit. 2015-02-22]. BENMOUYAL, HOU, TZIOUVARAS: „Zero-setting power-swing blocking protection“, Dostupný z WWW:  
<<https://www.selinc.com/literature/literature.aspx?fid=282>>
- [44] MONTÁŽE ČAKOVICE, s.r.o., PROGRAM ZKOUŠEK A OPĚTOVNÉHO UVEDENÍ OCHRAN TG3 DO PROVOZU č. 1758 ze dne 04. 02. 2014. *Primární zkoušky ochran TG3.*

- [45] MONTÁŽE ČAKOVICE, s.r.o., PROTOKOL O PRIMÁRNÍCH ZKOUŠKÁCH ELEKTRICKÝCH OCHRAN GENERÁTORU TG3 č. 1758 ze dne 14. 03. 2014. *Primární zkoušky ochran generátoru TG3.*
- [46] ELDIAG. [online], [cit. 2015-04-23]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.eldiag.cz/cz/texty/prehled-vybranych-diagnostickych-metod-izolacnich-systemu-pristrojovych-transformatoru>>
- [47] ABETEC [online], [cit. 2015-04-23]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.abetec.cz/odborne-vysvetlivky/elektricka-bezpecnostni-mereni/>>