

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**On-line diagnostika výkonových olejových  
transformátorů za provozu bloku JE**

**On-line Diagnostic of Oil Power Transformers  
during Operation of Nuclear Power Station Block**

**2010**

**Bc. Jan Šumpich**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum: 6.5.2010

Podpis:.....

## **Poděkování**

Za pomoc, cenné rady a možnosti podílení se na projektu a realizaci monitorovacího systému blokových a odbočkových transformátorů jaderné elektrárny Temelín a jeho následné zpracování do podoby diplomové práce děkuji firmě TES s.r.o a firmě ČEZ a.s. Rovněž tak děkuji za cenné názory, připomínky a rady při tvorbě této diplomové práce Ing. Václavu Čechovi Ph.D.

## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je návrh a realizace monitorovacího systému blokových a odbočkových výkonových olejových transformátorů instalovaný na obou blocích jaderné elektrárny Temelín.

Teoretická část je zaměřená na konstrukci, příslušenství, životnosti a poruchy výkonových olejových transformátorů. Dále na diagnostikované veličiny a jejich způsob měření a zaznamenávání.

V praktické části moji práce se zabývám návrhem nejvhodnějšího monitorovacího systému pro výkonové olejové transformátory, strukturou a vybavením systému, jednotlivými částmi zařízení pro zaznamenávání a vyhodnocování veličin, vyhodnocení nejefektivnějšího sledování veličin pro bezporuchový chod transformátorů.

Po té následuje ukázka využití monitorovacího systému při zapnutí blokových a odbočkových transformátorů bloku, včetně zpracování a analýzy naměřených výsledků a ukázky zpracování dat pro měsíční kontrolu chodu transformátorů.

## **Klíčová slova**

Výkonový olejový transformátor, magnetický obvod, elektrický obvod, blokový transformátor, odbočkový transformátor, transformátor přenosových a distribučních soustav, On-line a Off-line diagnostika, optimalizovaný monitorovací systém, analogové signály, dvouhodnotové signály, rozpuštěné plyny v oleji, snímací průchodkový prvek.

## **Abstrakt**

Main objective of this dissertation is to execute and define monitoring system of block and tap-hanging oil power transformers currently placed in both blocks of Nuclear Power Station Temelín.

Construction, installation, auxiliaries, life-cycle and malfunctions of oil power transformers are described in first theoretical part.

Second part is focused on project of the most suitable monitoring system specified for oil power transformers, on structure and equipment of this system, single parts of machinery used for registry and analysis of quantities, evaluation of the most effective way of quantity monitoring that is necessary for trouble-free performance of transformers.

At last follows demonstration of utilization of this monitoring system while all oil power transformers of the block are switched on along with processing and analysis of obtained data and example of data outcome used for monthly control of transformer's performance.

## **Key words**

Oil power transformer, magnetic circuit, electric circuit, block transformer, tap-changing transformer, transmission and distribution system transformer, on-line and off-line diagnostic, optimized monitoring system, analogue signals, on-off type signals, dissolved gas in oil, scanning through element.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

symbol	název	jednotka
A/D	analogovo digitální převodník	
C	kondenzátor	[F]
CO	oxid uhelnatý	
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý	
CH <sub>4</sub>	metan	
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	acetylén	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	etylén	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	etan	
CJ	centrální jednotka	
DGA	analýzátor plynů v oleji	
EMC	elektromagnetická kompatibilita	
ES	elektrizační soustava	
ETM	elektronické teplotní monitory	
GPS	polohový družicový systém	
H <sub>2</sub>	vodík	
H <sub>2</sub> O	voda	
I	proud	[A]
Kx	relé	
L1, L2, L3	označení fází	
MOSAD	monitorovací systém analogů a dvouhodnot	
MST	monitorovací systém transformátoru	
MST-GA	označení skříně systému MST	
O <sub>2</sub>	kyslík	
P	činný výkon	[W]
PC	osobní počítač	
PEN	ochrana zemněním a nulováním	
tg δ	tangens delta	
Pt100	teplotní platinový článek	
PTN	přístrojový transformátor napětí	
PTP	přístrojový transformátor proudu	
Q	jalový výkon	[VAr]
RAM	operační paměť počítače	
RS-485	přenosový komunikační standard	
S	zdánlivý výkon	[VA]
S&H	jeden okamžik snímání	
SPP	snímací průchodkový prvek	
T	teplota	[°C]
TTL	třída (způsob provedení) logiky digitálních integrovaných obvodů	
U	napětí	[V]
VN	vysoké napětí	
VVN	velmi vysoké napětí	
xSP	generátory	
xAT	blokové transformátory	
xBT	odbočkové transformátory	

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>2</b>	<b>KONSTRUKCE OLEJOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ A JEJICH PŘÍSLUŠENSTVÍ.....</b>	<b>- 2 -</b>
2.1	MAGNETICKÝ OBVOD .....	- 2 -
2.2	ELEKTRICKÝ OBVOD.....	- 3 -
2.2.1	<i>Vinutí vyššího napětí.....</i>	- 3 -
2.2.2	<i>Vinutí nižšího napětí.....</i>	- 3 -
2.3	ZMĚNA PŘEVODU TRANSFORMÁTORU .....	- 3 -
2.4	KONSTRUKCE NÁDOBY .....	- 4 -
2.5	KONZERVÁTOR.....	- 4 -
2.6	TRANSFORMÁTOROVÉ OLEJE.....	- 4 -
2.7	OTEPLOVÁNÍ A CHLAZENÍ.....	- 4 -
2.8	KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ TRANSFORMÁTORŮ JE TEMELÍN .....	- 4 -
2.8.1	<i>Blokový transformátor .....</i>	- 5 -
2.8.2	<i>Odbočkový transformátor .....</i>	- 8 -
<b>3</b>	<b>ŽIVOTNOST A PORUCHY VÝKONOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ, JEJICH TRÍDĚNÍ A ZÁVAŽNOST .....</b>	<b>- 13 -</b>
3.1	BLOKOVÉ A ODBOČKOVÉ TRANSFORMÁTORY ELEKTRÁRENSKÝCH BLOKŮ .....	- 14 -
3.2	TRANSFORMÁTORY PŘENOSOVÝCH A DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV .....	- 15 -
<b>4</b>	<b>DIAGNOSTICKÉ VELIČINY .....</b>	<b>- 16 -</b>
4.1	MĚŘENÍ NAPĚTÍ A PROUDŮ .....	- 17 -
4.2	MĚŘENÍ PŘEPĚTÍ A NADPROUDŮ .....	- 17 -
4.3	ON-LINE DIAGNOSTIKA PRŮCHODEK.....	- 17 -
4.3.1	<i>Měření úhlů mezi fázory napětí měřených z průchodek - ztrátový činitel průchodek .....</i>	<i>- 17 -</i>
4.3.2	<i>Měření napětí z průchodek - výpočet poměru fázových napětí - změny kapacity průchodek.....</i>	<i>- 17 -</i>
4.3.3	<i>Měření částečných výbojů.....</i>	<i>- 18 -</i>
4.4	MĚŘENÍ PLYNŮ A VLHKOSTI V OLEJI TRANSFORMÁTORU .....	- 19 -
4.4.1	<i>Systém HYDRAN.....</i>	<i>- 19 -</i>
4.4.2	<i>Systém TRANSFIX .....</i>	<i>- 21 -</i>
4.4.3	<i>Systém C202-6 Cantronic .....</i>	<i>- 26 -</i>
4.4.4	<i>Porovnání systému TRANSFIX a C202-6 Cantronic .....</i>	<i>- 28 -</i>
4.5	MĚŘENÍ TEPLOT.....	- 28 -
4.5.1	<i>Teplota nejteplejšího místa vinutí (hot spot).....</i>	<i>- 29 -</i>
4.5.2	<i>Měření teploty přepínače odboček.....</i>	<i>- 30 -</i>
4.6	MĚŘENÍ PROUDU, VÝKONU POHONU PŘEPÍNAČE ODBOČEK.....	- 30 -
4.7	MĚŘENÍ STAVOVÝCH (DVOUHODNOTOVÝCH) VELIČIN .....	- 31 -
<b>5</b>	<b>NÁVRH OPTIMALIZOVANÉHO MONITOROVACÍHO SYSTÉMU- 32 -</b>	<b>- 32 -</b>
5.1	STRUKTURA SYSTÉMU MST .....	- 32 -
5.2	MĚŘICÍ ČÁSTI SYSTÉMU MST.....	- 35 -
5.2.1	<i>Instrumentace na měřených transformátorech .....</i>	<i>- 35 -</i>
5.2.2	<i>Měřicí skříň MST.....</i>	<i>- 36 -</i>
5.2.3	<i>Procesorové jednotky.....</i>	<i>- 37 -</i>
5.3	ZPRACOVÁNÍ ANALOGOVÝCH SIGNÁLŮ .....	- 37 -
5.3.1	<i>Archivní analogy.....</i>	<i>- 37 -</i>
5.3.2	<i>Rychlé analogy.....</i>	<i>- 38 -</i>
5.4	ZPRACOVÁNÍ DVOUHODNOTOVÝCH SIGNÁLŮ .....	- 42 -
5.5	MĚŘENÍ SIGNÁLŮ NAPĚTÍ A PROUDŮ .....	- 43 -

5.5.1	<i>Diagnostické konektory průchodek</i> .....	- 43 -
5.5.2	<i>Měření napětí z PTN</i> .....	- 45 -
5.5.3	<i>Měření proudu z PTP</i> .....	- 46 -
5.6	MĚŘENÍ TEPLOT.....	- 48 -
5.7	MĚŘENÍ KONCENTRACE PLYNŮ ROZPUŠTĚNÝCH V OLEJI A JEHO VLHKOSTI.....	- 49 -
5.7.1	<i>Instalace analyzátoru plynů MULTITRANS</i> .....	- 49 -
5.8	SLEDOVÁNÍ OVLÁDACÍCH A SIGNALIZAČNÍCH (DVOUHODNOTOVÝCH) OBVODŮ.....	- 53 -
5.9	ODVOZENÉ VELIČINY.....	- 54 -
<b>6</b>	<b>ANALÝZA A INTERPRETACE DAT ZÍSKANÝCH Z PROVOZOVANÉHO DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU.....</b>	<b>- 56 -</b>
6.1	ANALÝZA ZAPÍNAČÍHO RÁZU LINKY 400 kV V051 1. BLOK – DNE 19.10.2009.....	- 56 -
6.1.1	<i>Teoretický rozbor zapínacího rázu transformátoru</i> .....	- 56 -
6.1.2	<i>Rozbor zapínacího rázu linky 400 kV V051 1. blok</i> .....	- 58 -
6.2	KONTROLA ARCHIVNÍCH ANALOGOVÝCH DAT SYSTÉMU MST.....	- 60 -
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>- 62 -</b>
<b>8</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>- 64 -</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ, TABULEK A ROVNIC.....</b>	<b>- 65 -</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>- 66 -</b>



# 1 Úvod

Hlavním cílem diplomové práce je návrh a instalace monitorovacího systému tří jednofázových jednotek blokových transformátorů 1(2)AT1, 1(2)AT2, 1(2)AT3 a třífázových odbočkových transformátorů 1(2)BT1 a 1(2)BT2, což povede k navýšení znalostí o vnitřním stavu transformátorů, čímž bude zajištěn bezpečnější provoz těchto olejových transformátorů a případná možnost včasného odhalení rozvíjející se poruchy.

V první části mé diplomové práci se budu zabírat konstrukcí olejových výkonových transformátorů včetně jejich příslušenství. Tato část je seznámením a přiblížením dané problematiky olejových výkonových transformátorů.

V druhé části se budu zabývat životností a poruchovostí výkonových transformátorů, jejich rozdělením a následky, které mohou vzniknout při degradaci nebo úplné poruše jednotlivých transformátorů. Dále faktory, které působí na nejdůležitější části transformátoru a jejich následnému předejití včetně využití diagnostiky. Důležitost sledování stavu různých typů výkonových transformátorů určených pro výrobu, přenos a rozvod elektrické energie.

Ve třetí části budou specifikovány veličiny, které jsou důležité pro správnou funkci výkonových olejových transformátorů, jejich možnosti měření a záznamu. Popis jednotlivých systémů, kterými lze tyto důležité veličiny sledovat a následně je vyhodnotit. Základní principy funkcí snímání potřebných veličin různými měřicími systémy.

Ve čtvrté části se zaměřím na vhodný výběr monitorovacího systému, který bude on-line diagnostikovat tři jednofázové jednotky blokových transformátorů a třífázové odbočkové transformátory jaderné elektrárny Temelín. Systém by měl umožnit získat přehled o aktuálním stavu každého monitorovaného výkonového olejového transformátoru a vývoji charakteristických veličin v čase a na základě těchto informací snížit možné následky potenciálních poruch transformátorů. Dále zde budou uvedeny veličiny a jejich zpracování do vhodné formy, jejichž hodnoty a trendy nejvíce charakterizují správný chod a životnost daných transformátorů. Jednou z důležitých vlastností je struktura celého systému a jeho součásti pro zachycování a vyhodnocování snímaných veličin.

Poslední část bude zaměřena na ukázkou vyhodnocení přechodového děje – zapínacího rázu transformátorů včetně zpracování a analýzy naměřených výsledků a ukázkou zpracování dat pro měsíční kontrolu chodu transformátorů.

## 2 Konstrukce olejových transformátorů a jejich příslušenství

Transformátor je elektrický stroj pracující na principu elektromagnetické indukce, který slouží k přeměně elektrické energie o určitém napětí na jiné, popřípadě stejné napětí. Transformátor je definován jako netočivý elektromagnetický stroj, který se skládá z několika od sebe izolovaných částí. Následně dělíme transformátory dle provedení železného jádra a to na transformátory jádrové a plášťové. Jádrové transformátory mají části magnetického obvodu obklopené vinutím. Mohou být v provedení jednofázovém nebo třífázovém. Plášťové transformátory mají vinutí obklopené pláštěm složeným z ocelových plechů. Plášťové transformátory se vyrábí výhradně v provedení jednofázovém. Podle chlazení rozdělujeme transformátory na suché (vzduchové) a olejové. Olejové transformátory se používají pro velké výkony. Mají jádro ponořené v nádobě naplněné olejem. Vinutí bývá zavěšeno na víku nádoby, aby bylo možné vyndání celého jádra s vinutím bez rozpojení přívodů. Na víku nádoby jsou umístěny průchodky vyššího a nižšího napětí, kterými je vinutí vyvedeno k vnějším svorkám[3].

### 2.1 Magnetický obvod

Magnetickým obvodem transformátoru je magnetické jádro, které je vyrobeno z prvotřídních, za studena válcovaných, orientovaných plechů z křemíkové oceli tloušťky 0,35 mm nebo 0,5 mm s nízkými magnetickými ztrátami 1 W/kg nebo 1,3 W/kg, někdy i s mnohem vyššími ztrátami než u dynamových plechů. V poslední době se využívá plechů válcovaných za studena, které mají malý magnetický odpor ve směru válcování a velký elektrický odpor napříč válcováním. Orientované plechy se vyrábí v podobě pásků potřebné šířky a skládají se tak, aby magnetický tok šel směrem válcování. Jednotlivé plechy se od sebe izolují hedvábným papírem, lakem nebo fosfátováním. Izolace má zabránit vířivým proudům. Magnetický obvod je v příčném řezu tvořený více sekcemi a prakticky se blíží kruhu. Stříhání a skládání magnetického obvodu obstarávají plně automatizované stroje. S cílem redukovat hlučnost transformátoru na minimum má jádro a rám přesně takovou velikost, aby se zamezilo vibracím a zvláště magneto-strikčním jevům, které jsou hlavním zdrojem hluku distribučních transformátorů. Kromě redukce ztrát naprázdno a proudu naprázdno je kvalita plechů a také indukce včetně návrhu magnetického jádra pečlivě vybírána v souladu s požadovaným zadáním [6].

### 2.2 Elektrický obvod

Skládá se z několika vinutí. U dvouvinutového transformátoru odebírá jedno vinutí energii ze sítě nebo generátoru a druhé ji vydává k dalšímu použití. První se nazývá vstupní a druhé výstupní. Každé vinutí může plnit funkci, jak vstupního, tak výstupního vinutí, to vše je založeno na směru toku energie. Proto, aby se jednoznačně od sebe vinutí odlišily je nazýváme:

- vinutí vyššího napětí,
- vinutí nižšího napětí.

Podle způsobu uspořádání vinutí na jádrech rozdělujeme na:

- vinutí souosá,
- vinutí vystřídáná [3].

#### 2.2.1 Vinutí vyššího napětí

Vinutí vyššího napětí je nejčastěji uloženo vně, při takovém uložení je izolace transformátoru jednodušší. Vinutí je z mědi nebo hliníku. Volba materiálu závisí na velikosti ztrát nakrátko a výkonu. Vinutí je často rozdělena na řadu cívek. Tvar a provedení s chladicími kanálky je obdobný jako u vinutí nižšího napětí. Cívky vinutí vyššího napětí jsou vinuty v podélných vrstvách nebo diskového profilu s mezizávitovou izolací [6].

#### 2.2.2 Vinutí nižšího napětí

Vinutí nižšího napětí je vyrobeno z mědi nebo hliníku, které je tvořeno jednotnou cívkou (u vystřídáného vinutí je tvořeno řadou cívek), podle výkonu a výše požadovaných ztrát. Průřez vodiče je kruhový, obdélníkový nebo z fólie. Aby se dosáhlo kontrolovaného teplotního gradientu, jsou do vinutí integrovány chladicí kanálky. Vinutí nižšího napětí je nasazené na sloupcích magnetického jádra, na němž je implementována izolační folie, která jej odděluje od vinutí vyššího napětí [3].

### 2.3 Změna převodu transformátoru

Napětí transformátoru na jeho výstupních svorkách neustále kolísá. Může to být zapříčiněno změnou zatížení transformátoru nebo změnou napětí na vstupních svorkách a také vnitřními ztrátami transformátoru. Udržení napětí v co nejmenších mezích vyžaduje řízení napětí. Nejčastěji se používá způsob řízení napětí změnou převodu transformátoru – přepínáním odboček. Toto závisí na změně počtu závitů vedení buď ve vstupním nebo výstupním vinutí popřípadě v obou vinutích. Nejlepším řešením by bylo řízení v obou vinutích, ale to je moc drahé a proto se využívá řízení pouze na jedné straně a to na té straně, kde dochází k největšímu kolísání a je méně proudově zatěžováno – strana vyššího napětí. Změna převodu se může

## 2 Konstrukce olejových transformátorů a jejich příslušenství

přizpůsobovat buď bez napětí a nebo i při zatížení. Transformátory, které mají zařízení pro řízení napětí při zatížení nazýváme říditelnými transformátory[3].

### **2.4 Konstrukce nádoby**

Nádoba s vlnovcovými chladicími žebry přivařenými po stranách je nejběžnějším typem používaným pro výkonové a distribuční transformátory. Chladicí radiátory mohou být dodány na požadavek. Pro ověření těsnosti je po kompletním sestavení nádoba zkoušena pod tlakem pomocí oleje nebo plynu. Pro hermeticky uzavřené transformátory jsou chladicí segmenty navrženy tak, aby kompenzovaly nadměrný tlak a roztažnost chladicího oleje bez poškození nádoby [6].

### **2.5 Konzervátor**

Výkonové olejové transformátory jsou vybaveny konzervátory. Konzervátor je spojen s nádobou transformátoru a je určen ke kompenzaci roztažnosti oleje při kolísání teploty oleje.

### **2.6 Transformátorové oleje**

Olejové transformátory jsou vyplněny izolačním minerálním olejem. Charakteristiky transformátorového oleje jsou v souladu s platnými normami a hodnota průrazného napětí oleje je nad 50 kV/2,5 mm [6].

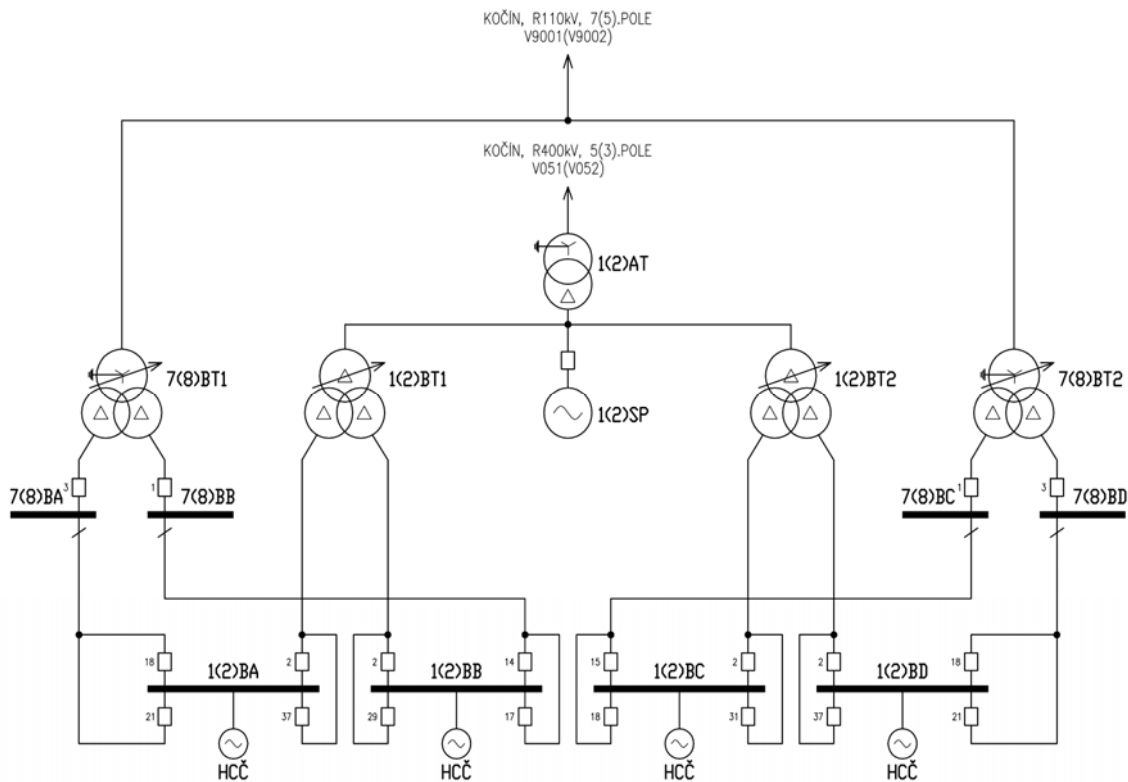
### **2.7 Oteplování a chlazení**

Vlivem ztrát v mědi a v železe transformátorů, které se mění na teplo dochází u olejových transformátorů k oteplování oleje. A proto jsou výkonové olejové transformátory vybaveny systémem chlazení oleje transformátorů, který se skládá z olejových čerpadel a ventilátorů a je spojen s nádobou transformátoru olejovým potrubím s filtry [1].

### **2.8 Konstrukční uspořádání transformátorů JE Temelín**

Připojení obou elektrárenských blokových transformátorů 1(2)AT do elektrizační soustavy je zajištěno prostřednictvím rozvodny 400 kV Kočín. Blokový transformátor 1AT (1. blok ETE) je připojen linkou 400 kV V051 a blokový transformátor 2AT (2. blok ETE) je připojen linkou 400 kV V052. Odbočkové transformátory 1(2)BT1 a 1(2)BT2 jsou pracovními zdroji napájení bloku pro vlastní spotřebu, napájí rozváděče 6 kV. Zjednodušené schéma je uvedeno na Obr. 1 [7].

## 2 Konstrukce olejových transformátorů a jejich příslušenství



Obr. 1: Přehledové schéma vyvedení výkonu 1.(2.) bloku ETE [7].

### 2.8.1 Blokový transformátor

Jednotky blokových transformátorů, včetně pomocných skříní, jsou umístěny v rozvodnách vvn 1. a 2. bloku jaderné elektrárny Temelín.

#### Popis blokového transformátoru

Blokový transformátor 1(2)AT transformuje:

- svorkové napětí turbogenerátoru 1(2)SP 24 kV na napětí sítě 400 kV (omezení přenosových ztrát v síti),
- napětí sítě 400 kV na napětí 24 kV pro napájení uzlu vlastní spotřeby a odbočkových transformátorů 1(2)BT1 a 1(2)BT2 (napájení vlastní spotřeby bloku při vypnutém stavu generátorového vypínače) [4].

Blokový transformátor s převodem  $420/\sqrt{3}/24$  kV, 3x400MVA je tvořen třemi jednofázovými olejovými jednotkami, které jsou chlazeny olejem, cirkulujícím nuceně pomocí olejových čerpadel [4].

Jednotky blokového transformátoru jsou na straně nižšího napětí zapouzďřenými vodiči spojeny do trojúhelníku [4].

### **Každá jednotka blokového transformátoru je tvořena:**

- nádobou, vyzbrojenou příslušenstvím,
- magnetickým obvodem s dvojicí vinutí,
- průchodkami 400 kV, 110 kV a 24 kV,
- dvojicí chladících souprav.

Nádoba transformátoru je zvonovitého provedení a je uložena na podvozku, který je odizolován od země. Nádoba je izolovaná od olejového potrubí [4].

### **Nádoba je vyzbrojena:**

- přírubami pro připojení průchodek,
- plynovým relé,
- dilatační nádobou oleje (tzv.konzervátorem), v němž je umístěn gumový vak, naplněný vzduchem,
- dvojicí pojistných ventilů (zabraňují roztržení nádoby při nadměrném vnitřním přetlaku oleje, vzniklém například při zkratu vinutí),
- vysoušečem vzduchu (odnímá vlhkost olejové náplně transformátoru),
- teploměry a termostaty pro kontrolu teploty oleje [4].

### **Nádoba je zaplněna transformátorovým olejem který plní dvě funkce:**

- chladí magnetický obvod a vinutí (odvádí tzv.ztráty v železe),
- izoluje vinutí od pláště nádoby.

V nádobě je, izolovaně, uložen magnetický obvod. Magnetický obvod je jednofázový, plášťový, je složen z orientovaných a vzájemně odizolovaných transformátorových plechů [4].

Blokový transformátor má vinutí 400 kV (pracovní nula je vyvedena nulovou průchodkou a uzemněna) a vinutí 24 kV. Obě vinutí jsou vyrobená z měděných vodičů; vedení 400 kV je cívkové ze složených vodičů, vedení 24 kV závitové ze složených permutovaných vodičů [4].

### Konce vinutí jsou vyvedeny na průchodky:

- průchodka 400 kV je hermetická, je naplněna vlastní olejovou náplní a slouží k připojení lanového vedení vvn,
- průchodka vedení 110 kV je hermetická, je naplněna vlastní olejovou náplní a slouží k uzemnění pracovní nuly vinutí vyššího napětí,
- průchodka 24 kV (jsou dvě; první pro připojení vývodu z generátoru, druhá pro propojení jednotek do trojúhelníku) jsou porcelánové, suché (tzn. jsou naplněny olejem z nádoby) a od připojených zapouzdrěných vodičů jsou odděleny izolačními vlnovci [4].

Transformátorový olej je ochlazován ve dvojici chladících souprav, spojených s jednotkou olejovým potrubím s olejovými filtry. Chladící soupravy se skládají ze čtyř a ze tří chladících jednotek. Každou jednotku tvoří olejové čerpadlo a dva ventilátory.

Stanoviště jednotlivých jednotek jsou vzájemně požárně oddělena betonovými příčkami, jsou vybavena záchytnými vanami pro případný únik oleje a stabilním zařízením pro likvidaci požáru transformátoru [4].

### Parametry blokového transformátoru:

jmenovitý výkon:	3x400 MVA, tj. 1200 MVA
jmenovité napětí:	420/ $\sqrt{3}$ kV//24 kV
jmenovitý proud:	1650 A//16666 A
jmenovitý kmitočet:	50 Hz
napětí na krátko:	14%
spojení vinutí:	Yn/d1
typ chlazení:	OFAF

*Pozn.:* Uvedené údaje jsem čerpal z [4].

### Provozní režimy

Nominální provozní režim blokového transformátoru je provoz pod zatížením. Chladící soupravy jednotek blokového transformátoru jsou provozovány v automatickém režimu [4].

### Ochrany a blokády

Obecný přehled ochran blokového transformátoru:

- bleskojistky na straně vvn,
- srovnávací ochrana vedení vvn,
- dvoubodová a třibodová rozdílová ochrana,
- zemní nádobová ochrana,
- nadproudová ochrana v uzlu transformátoru,
- nadproudová zkratová ochrana,
- plynové relé,
- nebezpečná teplota oleje [4].

### Ovládání a signalizace

Chladicí souprava blokového transformátoru pracuje v ručním nebo automatickém režimu:

- ruční ovládání; po navolení tohoto režimu se zapíná, nezávisle na teplotě oleje anebo proudového zatížení, olejové čerpadlo a oba ofukovací ventilátory každé jednotky příslušné chladicí soupravy,
- automatické ovládání; po navolení režimu se, je-li sepnut blokový vypínač v rozvodně 400 kV, zapnou olejová čerpadla. Ofukovací ventilátory se automaticky zapínají v závislosti na teplotě oleje a proudovém zatížení transformátoru (ovládání ofuků podle velikosti proudového zatížení je realizováno pouze u jednotek blokového transformátoru) [4].

Veškeré stavy a poruchy blokového transformátoru jsou signalizovány do blokové dozorny příslušného hlavního výrobního bloku.

#### 2.8.2 Odbočkový transformátor

Odbočkové transformátory, včetně pomocných skříní jsou umístěny v rozvodně vvn příslušného bloku.



### **Popis odbočkového transformátoru**

Odbočkový transformátor 1(2)BT1 a 1(2)BT2 je pracovním zdrojem napájení blokové vlastní spotřeby, napájí rozváděče 6 kV.

### **Odbočkový transformátor je tvořen:**

- nádobou, vyzbrojenou příslušenstvím,
- magnetickým obvodem s trojicí vinutí,
- průchodkami 24 kV a 6,3 kV,
- přepínačem odboček,
- chladicí soupravou.

Nádoba transformátoru je zvonového provedení a je uložena na podvozku [4].

### **Nádoba je vyzbrojena:**

- přírubami pro připojení průchodek,
- plynovým relé pro nádobu transformátoru,
- plynovým relé pro přepínač odboček,
- dilatační nádobou oleje (tzv. konzervátorem), která je rozdělena na dvě části (pro nádobu transformátoru a pro přepínač odboček),
- přepínačem odboček vinutí 24 kV,
- dvojicí pojistných ventilů (zabraňující roztržení nádoby při nadměrném vnitřním přetlaku oleje, vzniklém například při zkratu vinutí),
- vysoušečem vzduchu (odjímá vlhkost olejové náplni transformátoru),
- teploměry a termostaty pro kontrolu oleje [4].

### **Nádoba je zaplněna transformátorovým olejem, který plní dvě funkce:**

- chladí magnetický obvod a vinutí (odvádí tzv. ztráty v železe),
- izoluje vinutí od pláště nádoby.

## 2 Konstrukce olejových transformátorů a jejich příslušenství

V nádobě je izolovaně uložen magnetický obvod. Magnetický obvod je třífázový, jádrový, je složen z orientovaných a vzájemně odizolovaných transformátorových plechů.

Odbočkový transformátor má vinutí 24 kV (pracovní nula není vyvedena, vinutí vyššího napětí je spojeno do trojúhelníku) a dvě štěpená vinutí 6,3 kV [4].

### **Konce vinutí jsou vyvedeny na průchodky:**

- průchodka 24 kV je porcelánová, suchá (tzn. že je naplněná olejem z nádoby),
- průchodky 6,3 kV jsou dvojí (odbočkový transformátor má dvě sekundární vinutí), jsou porcelánové, suché a k zapouzdřeným vodičům jsou připojeny pomocí speciálních připojovacích skříní.

Transformátorový olej je ochlazován v chladicí soupravě, která je zavěšena na jednom boku nádoby transformátoru. Chladicí souprava se skládá ze čtyř vzduchových chladičů. Každý chladič tvoří olejové čerpadlo a dvojice ventilátorů.

Odbočkový přepínač odboček je instalován na vinutí 24 kV, kterým tečou nižší zatěžovací proudy, než vinutím 6,3 kV. Přepínač odboček ELIN je v nádobě oddělen od olejové náplně (má vlastní olejovou náplň), protože při přepínání, které probíhá pod zatížením, dochází ke znečištění oleje (zvyšuje se elektrická vodivost). Stav olejové náplně se proto musí důsledně kontrolovat.

Stanoviště odbočkových transformátorů jsou vzájemně požárně oddělena betonovými příčkami, jsou vybavena záchytnými vanami pro případný únik oleje a stabilním zhášecím zařízením pro likvidaci požáru transformátoru [4].

### **Parametry odbočkového transformátoru:**

jmenovitý výkon:	63 MVA//31,5 MVA//31,5 MVA
jmenovité napětí:	24 kV $\pm$ 4x4%//6,3 kV//6,3 kV
jmenovitý proud:	1516 A//2887 A//2887 A
jmenovitý kmitočet:	50 Hz
napětí na krátko:	I-II (I-III)...9%,II-III...18%
spojení vinutí:	D/d0/d0
typ chlazení:	ODAF

*Pozn.:* Uvedené údaje jsem čerpal z [4].

### Provozní režimy

Nominálním provozním režimem odbočkového transformátoru je provoz pod zatížením. Chladicí souprava odbočkového transformátoru je provozována v automatickém režimu. Obvody regulace napětí jsou také provozovány v automatickém režimu [4].

### Ochrany a blokády

Obecný přehled ochran odbočkového transformátoru:

- třibodová rozdílová ochrana,
- distanční ochrana na primární straně,
- distanční ochrany na sekundární straně,
- nadproudová ochrana,
- nadproudová zkratová ochrana,
- ochrana proti přetížení,
- plynové relé pro nádobu transformátoru,
- plynové relé pro přepínač odboček,
- výbušný ventil,
- nebezpečná teplota oleje [4].

### Ovládání a signalizace

Chladicí souprava odbočkového transformátoru pracuje v ručním nebo automatickém režimu:

- ruční ovládání; po navolení tohoto režimu se okamžitě zapínají ventilátory, čerpadla se zapínají ručně z pomocné skříně nebo z blokové dozorny příslušného bloku,
- automatické ovládání probíhá ve dvou stupních:
  1. stupeň; po navolení automatického režimu a uvedení transformátoru pod napětí (sepnutím blokového vypínače v rozvodně 400 kV) se zapnou olejová čerpadla a polovina ventilátorů,
  2. stupeň; po dosažení nastavené horní meze teploty oleje (cca 50°C) se zapne i zbývající polovina ventilátorů. K jejímu vypnutí potom dojde při poklesu teploty oleje na stanovenou spodní mez (cca 45°C) [4].

### **Regulace napětí odbočkového transformátoru také pracuje v ručním nebo automatickém režimu:**

- ruční ovládání:
  1. manuální; pomocí manipulační kliky,
  2. elektrické; tlačítky na přepínači odboček nebo řidítkem více/méně z příslušné blokové dozorny,
- automatické ovládání; v závislosti na velikosti napětí na přípojnicích příslušných blokových rozváděčů 6 kV.

Veškeré stavy a poruchy odbočkového transformátoru jsou signalizovány do blokové dozorny příslušného hlavního výrobního bloku [4].

### 3 Životnost a poruchy výkonových transformátorů, jejich třídění a závažnost

Jedno z nejdůležitějších elektrických zařízení elektrárenských bloků, přenosových a distribučních soustav jsou výkonové olejové transformátory. Pro ekonomický přenos elektrické energie se napětí transformuje na určité napěťové hladiny. Transformátory tvoří pouze jednu z mnoha částí zařízení mezi výrobcem a odběratelem, ale zato mají významný podíl v zajištění spolehlivosti v dodávkách elektrické energie. Při poruše nebo úplné degradaci se náklady na pořízení nového stroje nebo na jeho opravu pohybují v řádu desítek milionů korun stejně tak i škody způsobené nedodávkou energie zákazníkovi v případě poruchy [7].

Základním indikátorem životnosti výkonových olejových transformátorů, který má podstatný vliv na jeho bezporuchový chod, je stav izolačního systému. Izolační systém výkonových olejových transformátorů je tvořen kombinací minerálního oleje a celulóзовého papíru, tedy materiálů, které jsou velmi citlivé na působení provozních degradačních činitelů a jejichž stárnutí může značně ohrozit bezporuchový chod stroje. Při provozu transformátorů je tedy nutné zabývat se jednak sledováním parametrů vypovídajících o stavu izolačního systému, ale také činitelů přispívajících k jeho degradaci. Nejdůležitějšími parametry indikujícími stav vinutí a hlavní izolace jsou plyny rozpuštěné v oleji. Dalšími faktory, které ovlivňují rychlost stárnutí izolačního systému (papír a olej) jsou teplota, obsah vlhkosti a přítomnost kyslíku. Životnost transformátorů je limitována především životností papírové izolace, která je podstatně kratší než životnost ostatních konstrukčních dílů [7].

Jednou z mnoha vlivů pro bezporuchový stav je určení momentálního stavu transformátoru.

#### **Důležité hodnoty pro stanovení jeho stavu jsou:**

- zatížení,
- záznam poruch,
- diagnostické měření,
- provozní historie.

Zatížení a záznam provozních operací – vypovídají o životnosti izolačního systému. Pro nejpřesnější určení je zapotřebí záznamy nejen o provozním zatížení, ale i teplotní poměry pro danou zátěž. Jelikož z praxe nebývají tyto hodnoty k dispozici používáme pro stanovení poměry při jmenovitém zatížení a hodnoty z krátkodobých přetížení. Výsledkem je přibližné určení životnosti izolačního systému [7].

### 3 Životnost a poruchy výkonových transformátorů, jejich třídění a závažnost

Záznam poruch – u transformátorů se nachází ukazatele namáhání, kterému bylo vystaveno vinutí. Jedná se o poruchy na průchodkách, poruchy přepínače odboček, nejrůznější události na sběrnicích a selhání vypínačů. Veškeré tyto poruchy se určitou částí podílejí na samotném stavu vinutí [7].

Diagnostické měření – každé měření je směřováno na přesnou část transformátoru. O celkovém stavu se dozvíme až po srovnání jednotlivých výsledků. Diagnostiku lze provádět off-line- tzn. měření probíhá při odstavení transformátoru a je prováděno periodicky nebo on-line - tzn. měření se uskutečňuje za plného provozu stroje a to trvale. Vyhodnocení se děje průběžně - monitorovací systémy transformátorů (MST) [7].

**Z hlediska využití výkonových olejových transformátorů je lze třídit na:**

- blokové a odbočkové transformátory elektrárenských bloků,
- transformátory přenosových a distribučních soustav.

#### **3.1 Blokové a odbočkové transformátory elektrárenských bloků**

V případě poruchy blokového nebo odbočkového transformátoru dojde k nemožnosti přenesení elektrické energie vyrobené generátory do přenosové nebo distribuční soustavy a odstavení celého elektrárenského bloku. A proto je blokový nebo odbočkový transformátor jednou z klíčových komponent elektrárenského bloku. V případě neočekávaného výpadku dodávky elektrické energie do elektrizační soustavy musí dodavatel vzniklou situaci řešit buď nákupem elektrické energie nebo využitím rezerv (najatím nebo zvýšením výroby elektrické energie jiných bloků), což v praxi znamená vznik velkých finančních ztrát. U těchto transformátorů má proto velký význam provádění pravidelné údržby a servisu za účelem udržení transformátorů v optimální kondici a také predikce možných poruch a výpadků [2].

Za účelem predikce možných poruch a výpadků je pak vhodné tyto transformátory vybavit trvalým on-line měřením důležitých parametrů za chodu transformátorů – monitorovací systém transformátorů. Hlavním úkolem provozní on-line diagnostiky je na základě monitorovaných parametrů zaznamenávat změny stavu diagnostikovaného objektu a to jak trvalé, nevratné, tak i přechodné a predikovat možný vývoj poruchy. Rozsah diagnostiky je dán kompromisem mezi náklady na instalaci a provoz diagnostického systému a odhadem úspor vzniklých eliminací pravděpodobného počtu havárií, změnou strategie údržby se snížením potřeby náhradních dílů a pracnosti a prodloužení životnosti sledovaného stroje. Měření diagnostických veličin za plného chodu stroje je však značně komplikované. A to jednak z důvodu zachování bezpečnosti při měření, tak i z důvodu nutnosti eliminace značného rušení, které běžný provoz transformátoru provází [2].

#### 3.2 Transformátory přenosových a distribučních soustav

Největšími problémy v oblasti dodávek elektrické energie jsou poruchy v přenosových a distribučních soustavách. Proto je potřeba zlepšení spolehlivosti jednotlivých prvků soustav. Transformátor tvoří cca 60% z pořizovací ceny rozvodu, proto v případě poruchy je potřeba co nejrychleji zajistit náhradní napájení sítě, protože samotná výměna je zdlouhavá. Tomuto problému se lze vyhnout správnou konfigurací záložních přípojníc a transformátoru. V přenosových soustavách je toho dosaženo kritériem  $(n-1)$  z toho plyne, že systém skládající se z  $n$  prvků by měl být schopen pracovat s každou kombinací  $(n-1)$  prvků, při vyřazení jakéhokoliv prvku soustavy. V důležitých částech systému jsou používána i více přísná kritéria jako  $(n-2)$ ,  $(n-3)$  atd. Ne vždy lze tohoto kritéria dosáhnout. Např. v řídké obydlených oblastech, nemůže být tento systém dodržen z důvodů dlouhé radiální sítě. Poté je provoz jednoho transformátoru důležitý pro spolehlivost dodávky elektrické energie. Nečekaná porucha transformátoru sebou nese náklady, které mohou být i několika násobně vyšší než počáteční investice. Tyto náklady nejsou určeny jenom na renovaci a nahrazení porouchaného prvku, ale jsou také tvořeny náklady na vyčištění místa, ztrátou výdělku a možným zhoršením kvality dodávané elektrické energie [2].

## 4 Diagnostické veličiny

**U výkonových olejových transformátorů (blokové a odbočkové transformátory elektrárenských bloků) je vhodné za účelem on-line diagnostiky monitorovat tyto veličiny:**

- měření základních provozních veličin – proudy a napětí, ovládací a signalizační obvody,
- zaznamenání doby trvání a velikosti zkratových proudů,
- zaznamenání výskytu přepětí,
- měření teplot oleje v různých místech nádoby transformátoru a přepínače odboček,
- sledování činnosti chladicího zařízení,
- měření teploty vinutí,
- sledování částečných výbojů,
- měření vlhkosti oleje,
- sledování obsahu rozpuštěných plynů v oleji – vodík, etylén, acetylén, oxid uhelnatý atd.,
- měření průběhu činného výkonu pohonu přepínače odboček vč. sledování polohy,
- měření kapacity a ztrátového činitele průchodek.

Nezastupitelnou funkcí trvalého monitoringu transformátorů je i záznam všech dostupných informací v případě poruchy či havárie stroje. Tyto informace by pak měly vést k předcházení podobných poruch na ostatních transformátorech [7].



### 4.1 Měření napětí a proudů

Umožňuje zaznamenávat výpadky napětí, popř. jeho mimořádné hodnoty (dočasná přepětí) v souvislosti s vývojem jiných veličin.

Je nutné pro výpočet aktuální hodnoty činného a jalového výkonu. Historické řady výkonu dávají možnost sledovat přetížení. Výkon (proudy) je důležitou veličinou v tepelné a energetické bilanci transformátoru a pro výpočet nejteplejšího místa vinutí [7].

Vyhodnocení záznamu průběhu napětí a proudu má nezastupitelnou úlohu při analýzách poruch [7].

### 4.2 Měření přepětí a nadproudů

Zaznamenávají se reálné časové průběhy těchto veličin. Umožňuje sledovat, jakým vnějším přepětiovým a nadproudovým stresům je transformátor vystaven, např. spínacím, atmosférickým přepětím, zda se vyskytnou rezonanční a další jevy, které zkracují život izolačnímu systému transformátoru. Jsou důležité při vyšetřování poruch. Při poruchách lze např. prokázat, že příčinou nebylo přepětí, jak se často po poruchách tvrdí [7].

### 4.3 On-line diagnostika průchodek

Průchodky jsou z hlediska poruch izolace jedním z nejcitlivějších prvků transformátoru. Statistiky uvádějí, že se podílí významným procentem na poruchách transformátoru. Jak dále vyplyne, monitorovací systém v daném složení sleduje trvale částečné výboje v průchodkách (spolu s transformátorem), změny ztrátového činitele průchodek a změny jejich kapacity. Tyto tři metody se vzájemně překrývají jen částečně, spíše se doplňují a každá může indikovat jiný typ poruchy izolace [7].

#### 4.3.1 Měření úhlů mezi fázory napětí měřených z průchodek - ztrátový činitel průchodek

Sledování změn ztrátového činitele průchodek zachytí nárůst nad 1% ztrátového činitele průchodky indikující zhoršení jejího izolačního stavu, lze tak předejít její destrukci, která má vždy vážné následky (exploze vnitřní nebo vnější části průchodky) [7].

#### 4.3.2 Měření napětí z průchodek - výpočet poměru fázových napětí - změny kapacity průchodek

Napětí měřené z průchodek je měřeno z kapacitních děličů, u nichž hlavní kapacitu tvoří průchodka. Změna její kapacity způsobí změnu měřeného napětí.

## 4 Diagnostické veličiny

---

Protože poměr fázových napětí v síti 400 kV je velmi stálý a mění se v rozsahu pouze 1%, lze z jeho změny větší než 2% usuzovat na změnu kapacity. K té dochází při proražení jedné nebo více izolačních vrstev mezi polepy buď vlivem přepětí nebo zhoršení izolačního stavu. Protože není nikdy jisté, zda se jedná o poruchu, která se bude nebo nebude dál šířit, průchodky se změnou kapacity se vyřazují z provozu [7].

### 4.3.3 Měření částečných výbojů

Při měření z průchodkových snímacích prvků lze zachytit pouze silné výboje řádu tisíců pC, které indikují zpravidla vážnou poruchu v izolačním systému transformátoru nebo průchodek, které povedou dříve nebo později k eskalaci poruchy a k havárii. Proto v případě výskytu těchto výbojů je nutné neprodleně provést zesílenou diagnostiku - použít ultrazvukový detektor s mnoha sondami pro lokalizaci poruchy s možností ohodnotit nebezpečnost výbojů. Některé výboje např. při jiskření mezi pasivními kovovými částmi kostry s nahodilou izolací nebo porušenou původní izolací nemusí být nebezpečné pro izolační systém vinutí, ale jsou nežádoucí, protože mohou překrývat jiné více nebezpečné jevy a to i co se týká vývoje plynů. Nebezpečné jsou všechny výboje ve vinutí, v prostoru vývodů k průchodkám a v průchodkách. Ty nevratně degradují papírovou izolaci - způsobují její zuhelnatění a vytváření vodivých cest. Výboje se postupně zvětšují, zvětšuje se jejich energie a tím pádem se urychluje jejich ničivý účinek až nakonec přerostou v oblouk či zkrat. Poslední stádium vývoje může být velmi rychlé a může trvat pouze několik hodin. Proto je nutné zachytit výboje v počátečním stádiu [7].

Měření částečných výbojů z průchodek umožňuje zachytit poruchu v izolačním systému transformátoru nebo průchodek dříve než dojde k nárůstu plynů v oleji. V případě současného měření plynů v oleji se při trvání poruchy více než deset hodin tato měření vzájemně podporují a dávají jistotu v určení diagnózy a v oprávněnosti zásahu. Příkladem poruchy může být výskyt elektricky vodivých nečistot v místě silného elektrického pole např. mezi deskami vinutí [7].

Pokročilé monitorovací systémy obsahují subsystemy pro trvalou detekci částečných výbojů. Používají se čidla elektrických nebo akustických signálů nebo obojí. U elektrických čidel pracujících v pásmu kmitočtů stovky kHz až jednotky MHz je hlavním problémem eliminace vnějších rušivých signálů jednak rádiových vysílačů, pulsů silové elektroniky, ale zejména koróny na vedení a kapacitních výbojů na částech pod napětím. Používají se selektory směru šíření signálů a digitální filtry. Dosažená citlivost elektrických monitorů výbojů je cca 1000 pC. V poslední době se objevují senzory v UHF pásmu, jejichž aktivní snímací části (anténní tyče) zasahují do vnitřního prostoru nádoby. Tyto senzory snímají signály šířící se ne po vinutí, ale vnitřním prostorem nádoby. Dosahují vyšší citlivosti než klasické snímače a zejména se u nich dosahuje lepšího odstupu měřených signálů od rušení, protože v pásmu UHF je rušivých signálů mnohem méně, např. koróna se v tomto pásmu neuplatňuje vůbec. V pásmu UHF lze také provádět časovou diskriminaci signálů z několika vhodně rozmístěných čidel, což umožňuje alespoň hrubé zaměření zdroje signálů. Tyto systémy jsou však poměrně drahé [7].

Ultrazvukové snímání používá piezoelektrické sondy přiložené na povrch nádoby a vhodně rozmístěné. Ultrazvukové signály od výbojů jsou rušeny signály vznikajícími

mechanickým pohybem, např. vibracemi jádra, pohybem ventilátorů čerpadel apod. Některé systémy s více sondami rozmístěnými po nádobě jsou schopné provádět zaměření zdroje akustických signálů, ale tyto systémy jsou poměrně drahé [7].

### 4.4 Měření plynů a vlhkosti v oleji transformátoru

**Zachycuje široký okruh poruch v izolačním systému transformátoru:**

- indikace vodíku může znamenat lokální přehřátí oleje, nízkoenergetické výboje,
- indikace acetylénu je vždy velmi nebezpečná a znamená vysokoenergetické výboje až oblouk,
- indikace CO provází překročení kritické teploty papíru a jeho nevratnou degradaci,
- indikace vlhkosti je nebezpečná a znamená degradaci papírové izolace [7].

#### 4.4.1 Systém HYDRAN

V 90. letech se objevil první přístroj umožňující kontinuální sledování obsahu plynů rozpuštěných v oleji transformátoru. Byl to systém HYDRAN vyvinutý kanadskou firmou Syprotec. Tento systém pracující na principu spalitelnosti plynů indikuje obsah plynů v rozsahu 0 až 2000 ppm jedním číselným údajem D.U.v ppm, který vyjadřuje obsah čtyř spalitelných plynů podle následujícího vzorce:

$$\text{D.U. (ppm)} = \text{H}_2 \text{ (ppm)} + 0,18 \text{ CO (ppm)} + 0,08 \text{ C}_2\text{H}_2 \text{ (ppm)} + 0,015 \text{ C}_2\text{H}_4 \text{ (ppm)} \quad (4-1)$$

Nejcitlivější je tedy na vodík a jeho obsah měří v poměru 1:1. Obsah kyslíčnicku uhelnatého CO 100 ppm se zobrazí jako 18 ppm, 100 ppm acetylénu C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> jako 8 ppm a konečně 100 ppm etylénu C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> jako 1,5 ppm. Z pohledu uživatele: když např. HYDRAN indikuje obsah plynů 180 ppm, může se jednat o 180 ppm vodíku nebo 1000 ppm CO nebo 2250 ppm acetylénu atd. V reálné situaci číslo ukazatele indikuje nějakou kombinaci všech čtyř plynů. Velkou nevýhodou čidla HYDRANu je velmi malá citlivost na acetylén, který je velmi nebezpečný, protože se uvolňuje při poměrně energeticky silném jiskření v oleji a je známkou hrubé závady, která může vyústit v havárii. Proto dobrý monitor plynů v oleji by měl být citlivý právě na acetylén [7].

Lze tedy konstatovat, že čidlo HYDRANu využívající principu spalování plynů je indikátor obsahu vodíku s malou citlivostí na uvedené další tři plyny, které mohou pouze zvýšit celkový ukazatel, takže není jasné, které plyny se v oleji vyskytují. Nicméně jako systém prvního varování nárůstu obsahu plynů v oleji čidlo HYDRAN funkci plní, protože většina poruch, které se mohou u transformátoru objevit je provázena uvolňováním vodíku [7].

## 4 Diagnostické veličiny

---

Systém HYDRAN M2 obsahuje navíc čidlo vlhkosti oleje.



**Obr. 2: Čidlo vlhkosti oleje systému HYDRAN M2 [7]**

Malou citlivost na acetylen firma vyřešila nabídkou systému Multi 2010, který používá dvě čidla v jednom monitoru, klasické čidlo HYDRAN + čidlo indikující obsah acetylénu s citlivostí 3 ppm.



**Obr. 3: Čidlo obsahu acetylénu a vlhkosti oleje systému HYDRAN M2 [7]**

Protože systém HYDRAN v 90. letech neměl prakticky konkurenci, měl i přes svoje nevýhody komerční úspěch a dnes je značně rozšířen. Jednou z nevýhod je např. značná citlivost čidla na vnější vlivy jako jsou nečistoty v oleji nebo změny jeho tlaku. Systém byl postupně inovován v elektronické části a komunikaci, ale základní princip zůstal. Lze říci, že ve své době splnil velmi dobře historickou roli technické inovace a zasloužil se nejvíce o všeobecné rozšíření aplikace monitorovacích systémů transformátorů, budoucnost však patří systémům, které jsou schopny on-line detekovat několik plynů, každý zvlášť, o nichž je pojednáno dále [7].

### 4.4.2 Systém TRANSFIX

Koncem 90. let se objevily první systémy pro kontinuální sledování obsahu více plynů v oleji - systém TRANSFIX.

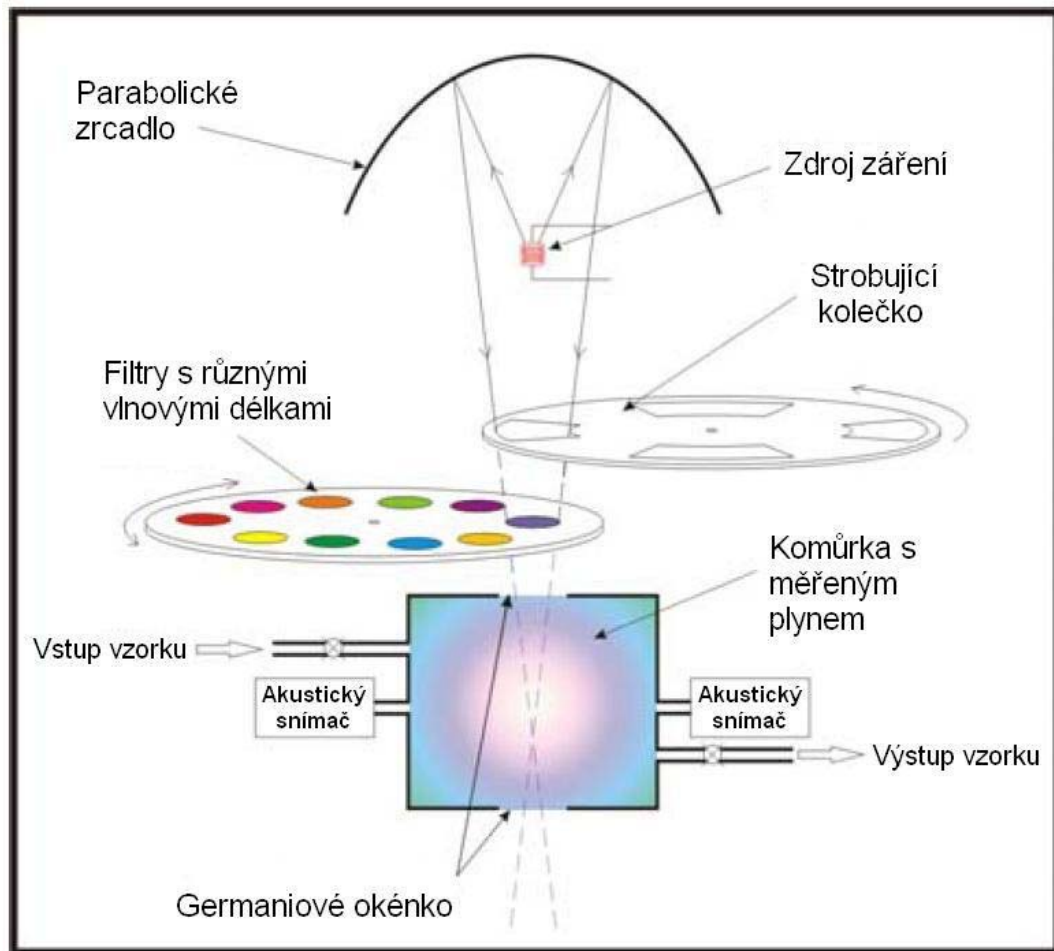
Firma Kelman přišla s novou provozně vyzkoušenou a spolehlivou technologií on-line analýzy plynů rozpuštěných v oleji (DGA – dissolved gas analysis) včetně analýzy vlhkosti v jednom zařízení, které se velmi jednoduše instaluje a vyžaduje minimální údržbu a nepotřebuje pravidelnou kalibraci. Kelman použil pro DGA princip fotoakustické spektroskopie nejprve u přenosného analyzátoru Transport X, který se ukázal velmi spolehlivý a přesný. TRANSFIX používá úplně stejnou technologii a představuje novou generaci on-line monitorů plynů v oleji [7].

#### **Fotoakustický efekt**

Fotoakustický efekt je způsoben schopností plynu absorbovat elektromagnetické záření (infračervené světlo). Absorpcí záření se zvýší teplota plynu a pokud je plyn držen v utěsněném prostoru, tento nárůst teploty způsobí adekvátní nárůst tlaku. Pokud je světelný zdroj pulsující, bude odpovídajícím způsobem pulsovat i tlak a bude vytvářet tlakové vlny, které lze detekovat citlivými akustickými snímači [7].

Existují dvě klíčové skutečnosti, které umožňují využít tohoto efektu při analytickém měření. První je, že každý plyn má jedinečné absorpční spektrum, takže lze „naladit“ světelný zdroj tak, aby excitoval právě tento plyn. Druhou skutečností je, že úroveň absorpce je přímo úměrná koncentraci daného plynu [7].

Výběrem vhodných vlnových délek pulsujícího elektromagnetického záření a měřením úrovně výsledného akustického signálu je možné detekovat nejen pouhou přítomnost ale i koncentraci libovolného plynu i ve složité kompozici různých složek. To je základ fotoakustické spektroskopie, která je zobrazena na Obr.4 [7].



**Obr. 4: Princip fotoakustické spektroskopie [7]**

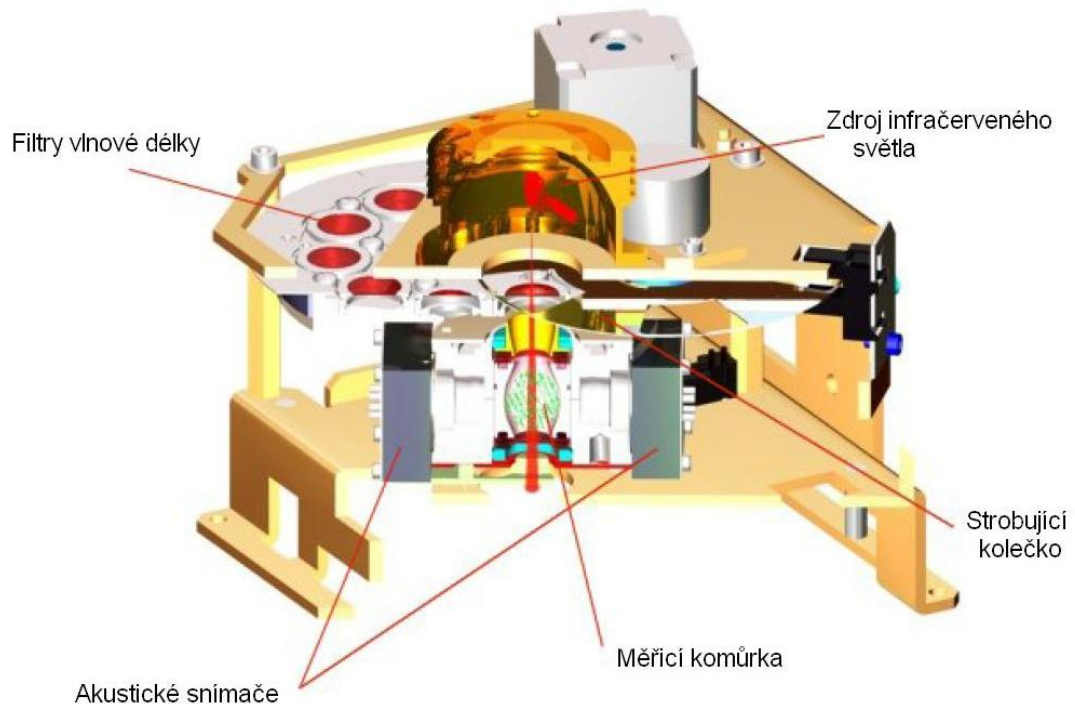
Fotoakustická spektroskopie pro analýzu plynů rozpuštěných v oleji (DGA)

Jednoduchý zdroj se žhavým drátem generuje širokopásmové záření v infračerveném pásmu, které je soustředěno do měřicí komůrky pomocí parabolického zrcadla. Kolečko s výřezy rotuje konstantní rychlostí a způsobuje stroboskopický efekt zdroje záření. Než záření vstoupí do komůrky, projde jedním z mnoha optických filtrů. Tyto filtry jsou navrženy tak, aby propouštěly světlo určité vlnové délky, které excituje jednu složku (plyn), která je předmětem měření [7].

Extrahovaný vzorek plynu je vpraven do komůrky, postupně se vkládají do cesty světla různé filtry a zaznamenává se akustická odezva, která dává koncentraci příslušného plynu [7].

### TRANSFIX a PGA modul


TRANSFIX je on-line DGA systém pro měření koncentrace plynů zcela soběstačný, nevyžadující žádné pomocné prostředky, náplně, které by se musely doplňovat, jako např. zásobníky nosných nebo kalibračních plynů [7].



**Obr. 5: Řez modulem PGA [7]**

Rozbor vzorku provádí každou hodinu přímo v hlavní skříni (bez vnějších čidel). Olej je přiveden do analyzátoru nerez trubičkou z ventilu na nádobě a vrací se do jiného ventilu. Délka přívodní trubičky max. 20 m, stejně délka vratné trubičky max. 20 m. Extrakce plynů nepoužívá membránu, nevyžaduje extrakci vakuem a extrakci provádí ze vzorku řízenou excitací s tím, že veškerý olej se opět vrací do nádoby transformátoru. Výsledky analýzy se ukládají do paměti s kapacitou 10 000 záznamů. Má širokou škálu možných prostředků lokální i dálkové komunikace a lze ho adaptovat na jakýkoliv systém[7].

Tab. 1: Možností nastavení alarmů u systému TRANSFIX [7]

 Transfix Specification

Compound		Lower Detection Limit – ppm	Calibrated Range – ppm
Hydrogen	H <sub>2</sub>	10	10 – 2,000
Carbon Dioxide	CO <sub>2</sub>	10	1 – 50,000
Carbon Monoxide	CO	1	1 – 50,000
Methane	CH <sub>4</sub>	1	1 – 50,000
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1	2 – 50,000
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2	1 – 50,000
Acetylene	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1	1 – 50,000
Oxygen	O <sub>2</sub>	100	100 – 50,000
Water	H <sub>2</sub> O	±3ppm	1 – 100%RH

Accuracy: ±10% of reading + 1LDL  
(at 25°C, dependent on partition coefficient of oil in use)

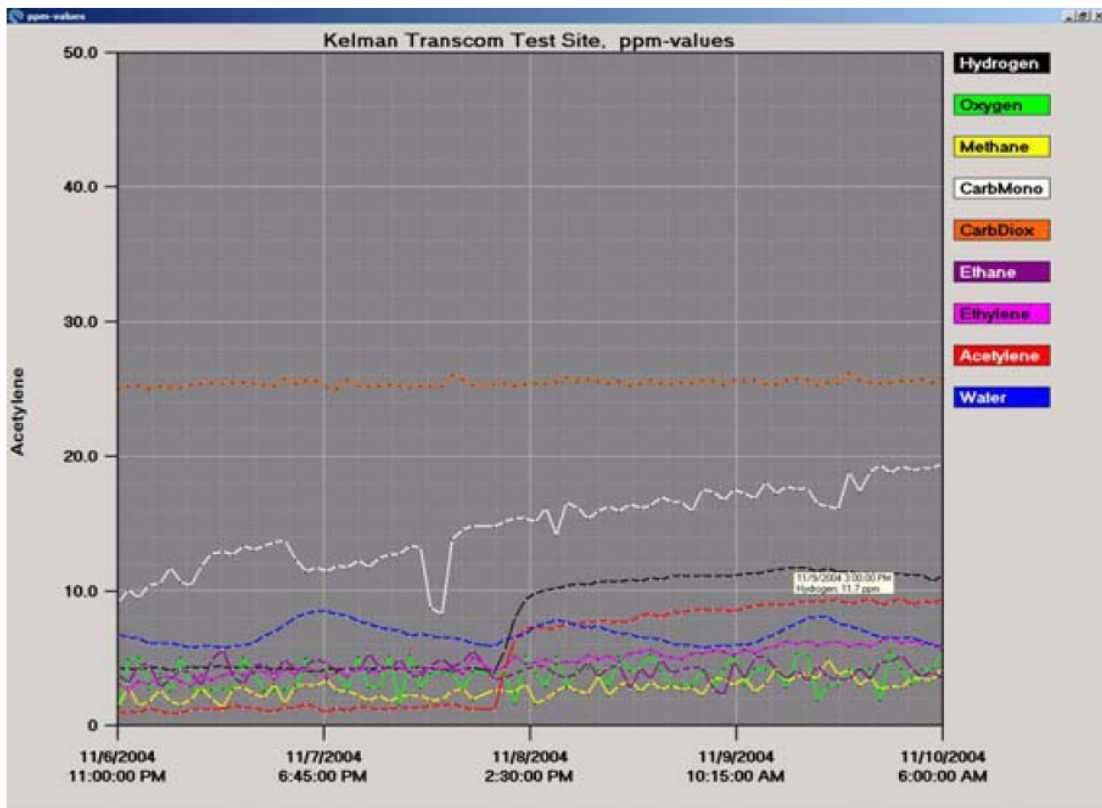
**Water:** 1 – 100% RH  
Accuracy ±5% of displayed reading

TRANSFIX má mnoho možností nastavení alarmů s velkou flexibilitou konfigurace. Má šest nezávislých alarmů nastavitelných operátorem. Lze nastavovat hladiny, nárůsty, celková množství plynů a jejich poměry. Každý alarm může aktivovat LED diodu na čelním panelu jedno ze tří relé nebo poslat varovný signál. Systém obsahuje TransCom PC software umožňující konfigurovat alarmy, určit interval vzorkování, stahovat data zobrazit trendy [7].



## 4 Diagnostické veličiny

Interval vzorkování lze nastavit od jedné hodiny až po 1 den po hodinách.



Obr. 6: Ukázka časového průběhu obsahu plynů v programu TransCom [7]

### Technická data

Teplota okolí: -40 až 55°C (vzorek max. každé 2 hodiny)

-10 až 45°C (vzorek každou hodinu)

Vrchní teplota oleje: -10 až 110°C

Teplota oleje na vstupu: -10 až 80°C

Vlhkost vzduchu: 10% až 95% nekondenzující

Krytí: IP56

Tlak oleje na vstupu: provozní 0 až 3 bar

mimo provoz -1 až 6 bar

Váha: 81 kg

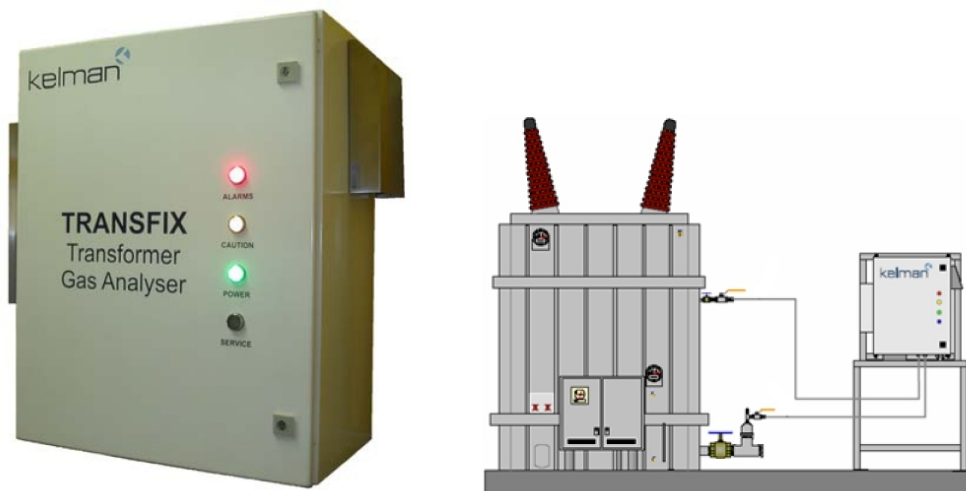
Rozměry: 700x800x350 mm

Pozn.: Uvedené údaje jsem čerpal z [7].

## 4 Diagnostické veličiny

---

Skříň se nesmí montovat přímo na transformátor



**Obr. 7: Skříň monitoru , její umístění a připojení [2]**

### Podmínky

Transformátor musí obsahovat minerální olej podle IEC-296, BS148, VDE0370 bez PCB [7].

Plak oleje atmosférický nebo vyšší. TRANSFIX nesmí být instalován na transformátor, který je pod vakuem a je pod napětím [7].

Pro připojení systému TRANSFIX jsou potřeba dva ventily – vstupní a výstupní. Olej se odebírá v místě, kde je dobře promíchán a má reprezentativní parametry – ve vrchní části nádoby, vrací se do nádoby ventilem ve spodní části nádoby – může být vypouštěcí [7].

Doporučuje se použít ventily přímo na nádobě transformátoru. Ventily v chladícím okruhu se použijí pouze není-li jiná možnost [7].

### 4.4.3 Systém C202-6 Cantronic

Dalším systémem pro kontinuální sledování obsahu více plynů v oleji je systém C202-6 Cantronic.

Systém C202-6 Cantronic umožňuje On-line monitoring systém šesti plynů rozpuštěných v oleji, viz. následující Tab.2 [7].

Technologie detekce: je chromatografie pomocí čidla instalovaného na nádobě transformátoru, k extrakci používá membránu. Časová odezva senzoru je menší než 1s [7].

Provozní teplota: -30 až 60°C

Rozsah tlaku oleje: 0 až 200 kPa

## 4 Diagnostické veličiny

---

Kapacita paměti pro záznam: 10 let

Síťová podpora: až do 200 rozvodů

*Pozn.:* Uvedené údaje jsem čerpal z [7].

Vzorkování: Obsahuje velmi spolehlivou a stabilní separační membránu. Chromatografická kolona má dlouhou životnost a krátký čas ustálení. Plynový senzor má rychlou odezvu. Má tři typy alarmů: vodík, acetylén a celkový obsah CxHx [7].



**Obr. 8: Systém C202-6 Cantronic [7]**

Procesor umožňuje automatické vzorkování, nastavení alarmů, on-line, off-line diagnostiku, záznam historie, vytvářet zprávu v pravidelných intervalech. Komunikuje po portu: RS-485.

### Míry a váhy

Senzor 200x320 mm 12,6 kg

Vyhodnocovací jednotka 600x450x250 mm 29 kg

*Pozn.:* Uvedené údaje jsem čerpal z [7].

**Tab. 2: Indikované plyny, citlivosti, rozsahy a přesnosti měření [7]**

Fault Gas Name	Range	Accuracy
H <sub>2</sub>	1-1000ppm	± 1ppm or ± 10%, whichever is greater
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	3-2000ppm	± 1ppm or ± 10%, whichever is greater
CH <sub>4</sub>	20-2000ppm	± 10%
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2-1000ppm	± 1ppm or ± 10%, whichever is greater
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	20-2000ppm	± 10%
CO	200-2000ppm	± 10%

*Pozn.:* Systém vyžaduje připojení tlakové láhve s vysoce čistým dusíkem.

### 4.4.4 Porovnání systému TRANSFIX a C202-6 Cantronic

Hlavní rozdíl mezi systémy TRANSFIX a C202-6 Cantronic jsou v principu analýzy plynů. Zatímco systém C202-6 Cantronic používá klasický princip chromatografické analýzy se separací plynu na membráně, TRANSFIX používá zcela nový princip fotoakustické analýzy s extrakcí plynů pomocí pomalé excitace. Je obtížné určit, který princip bude provozně spolehlivější a které měření bude přesnější [7].

Systém TRANSFIX nevyžaduje žádná pomocná média, C202-6 Cantronic vyžaduje připojení tlakové láhve s vysoce čistým dusíkem.

Oba systémy mají přesnost  $\pm 10\%$ , TRANSFIX má větší citlivost (např. na acetylén) a větší rozsah měření (1 až 50000 ppm oproti 3 až 2000 ppm u C202-6 Cantronic). Skříň TRANSFIX váží 81 kg a je rozměrnější než skříň C202-6 Cantronic s váhou 29 kg [7].

## 4.5 Měření teplot

Měření horní a spodní teploty nádoby transformátoru je nutné pro výpočet nejteplejšího místa vinutí. K tomu je potřeba měřit další veličiny, jako jsou proudy všech vinutí. Znalost nejteplejšího místa vinutí je velmi užitečná při plánování trvalého přetěžování transformátoru a při stanovování rezerv dynamického přetížení. Je ho možné použít pro výpočet stárnutí izolace transformátoru [7].

Měření teplot na obou stranách nádoby transformátoru dává obraz vyváženosti proudění oleje, nově vzniklá nesymetrie teplot může indikovat zhoršení proudění oleje a lokální přehřívání vinutí [7].

Měření teplot v chladicím systému je nutné při hlídání tepelné a energetické bilance transformátoru, která neustále porovnává aktuální teploty se simulačním modelem rovnovážného stavu, který je součástí monitoru. Jakákoliv odchylka může znamenat poruchu nebo ztrátu účinnosti chlazení [7].

Z uvedeného popisu vyplývá, že sledování teplot v různých místech nelze dělit na jednotlivá měření, ale že tato dávají smysl jako celek. To platí i o měření teploty vzduchu vstupujícího a vystupujícího z ventilátorů a okolní teploty [7].

### 4.5.1 Teplota nejteplejšího místa vinutí (hot spot)

Teplota nejteplejšího místa vinutí je nejpodstatnějším parametrem při zatěžování transformátoru na optimální maximum. Existují tři hlavní metody určení nejteplejšího místa vinutí:

- model vinutí - konvenční měřidlo,
- výpočet (elektronické teplotní monitory),
- přímé měření hot spot optickými vlákny [7].

#### 4.5.1.1 Model nejteplejšího místa vinutí (klasické měřidlo)

Konvenční měřidlo teploty vinutí obsahuje jednak kapilární teploměr měřící teplotu horní vrstvy oleje a jednak malé topidlo, které ohřívá olej v místě měření a simuluje tak zvýšení teploty nejteplejšího místa vinutí oproti teplotě oleje (tzv. teplotní gradient). Topidlem se prohání proud jedné z průchodek a výkon topidla se kalibruje pomocí proměnného odporu. Kalibrace topidla je založena na zahřívacích zkouškách, při nichž se měří nárůst průměrné teploty vinutí a teploty oleje. Rozdíl těchto teplot je průměrný gradient, který se použije k určení teploty nejteplejšího místa v soulase se standardy IEC a IEEE [7].

Nevýhodou těchto měřidel je malá přesnost kapilárních teploměrů 2 až 3°C, která se časem zhoršuje na 5 až 7°C, dále to že konvenční měřidla časem "zatuhnou" a třetí nevýhodou je, že neposkytují výstupní informaci v elektronickém formátu použitelnou v monitorovacích a řídicích systémech [7].

#### 4.5.1.2 Elektronické teplotní monitory (ETM)

Použití ETM se pro mnoho energetických společností stalo standardem. Nejjednodušší systémy ETM pracují přesně jako klasická měřidla - analogové modely vinutí s tím rozdílem, že přídatný nárůst teploty nejteplejšího místa vinutí nad teplotu oleje je přidán digitálně v počítači. Pokročilejší systémy zahrnují do výpočtu více údajů a provádějí mnohem přesnější výpočty nejteplejšího místa a nabízejí mnoho jiných diagnostických veličin a komunikačních funkcí. Velkou výhodou ETM je jejich přesnost oproti klasickým modelům vinutí. Většina ETM používá k měření horní vrstvy oleje články Pt100 s typickou přesností  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ . Rovněž digitální výpočet hot spot je s přesností desetin stupně narozdíl od mechanicky nastaveného klasického měřidla s postupným rozladěním. Druhou výhodou ETM je možnost nastavení časové konstanty, která odpovídá časové konstantě transformátoru. To je velmi důležité při krátkodobých přetíženích a vůbec při zátěžových přechodných stavech [7].

Jednoduché systémy ETM monitorují jedno vinutí v jedné fázi, pokročilejší systémy monitorují všechna vinutí ve všech fázích.

## 4 Diagnostické veličiny

---

Pokročilé digitální systémy ETM umožňují vytvářet komplexnější tepelné modely transformátoru zahrnující systémy chlazení a celkovou energetickou bilanci transformátoru. Komplexní model umožňuje diagnostikovat jakékoliv odchylky od plně funkčního systému transformátoru a určit subsystém s poruchou [7].

Komplexní informace o funkci transformátoru a přesný výpočet hot spot a její dynamiky dává optimální podmínky pro rozhodování a hodnocení provozních stavů. Kvalitní dynamický algoritmus modelu transformátoru dává zpravidla možnost zatěžovat transformátor o 10 až 20% nad obvyklé hodnoty [7].

### 4.5.1.3 Měření teploty vinutí optickými vlákny

Tepelné modely u pokročilých systémů ETM jsou komplexní a mohou být poměrně přesné, nicméně přesnost těchto výpočtů závisí na přesnosti kalibračních údajů pro nastavení konstant modelu. Kalibrační údaje jsou zpravidla získány pomocí oteplovací zkoušky u výrobce [7].

Měření teploty optickými vlákny umožňuje měřit přímo teplotu nejteplejšího místa vinutí. Nicméně jsou tu dva hlavní důvody, proč společnosti jsou zdrženlivé vůči používání optických vláken pro měření teploty hot spot a to:

- vlákna byla velmi křehká a vyžadovala velký rádius při změně směru. Nyní jsou dostupná vlákna již pružnější, křehkým zůstává měřicí konec vlákna. Výrobci transformátorů již získali zkušenosti s instalací citlivých senzorů,
- cena - jako nová technologie byly optické systémy drahé. Nyní se již optické měření teploty vyskytuje jako subsystém některých nových cenově dostupných monitorovacích systémů transformátorů [7].

### 4.5.2 Měření teploty přepínače odboček

Nejjednodušší způsob, jak indikovat možné nežádoucí trvalé ohřevy na kontaktech nebo při přepínání přepínače odboček při jejich provozu [7].

## 4.6 Měření proudu, výkonu pohonu přepínače odboček

Touto jednoduchou metodou se trvale sleduje hladký chod přes kontakty. Nárůst výkonu, prodloužení doby přepínání zejména, když se opakuje v jedné poloze, může indikovat např. poškození kontaktů ať už mechanické, nebo elektrické [7].

### 4.7 Měření stavových (dvouhodnotových) veličin

Měření stavových veličin a z nich odvozených např. doba chodů čerpadel, ventilátorů apod. má funkci sledování opotřebení zařízení pro racionální plán údržby. Druhý význam je pro sledování komplexního stavu zařízení - energetická bilance - výpadky zařízení atd.

Zaznamenání průběhu změn dvouhodnotových veličin s malým časovým rozlišením (1 ms) zajistí důležité informace v případě poruchy transformátoru nebo jeho pomocného zařízení (např. chladič systém) [7].

## 5 Návrh optimalizovaného monitorovacího systému

Na základě získaných informací o možných diagnostikovaných veličinách, jejich dostupnosti za provozu stroje, možnosti měření, účelnosti a vypovídající hodnotě pro blokové a odbočkové transformátory obou bloků jaderné elektrárny Temelín a v neposlední řadě i požadavků zákazníka ČEZ a.s. byl navržen on-line monitorovací systém transformátorů MST, jehož struktura a funkce je podrobně popsána v této kapitole.

### 5.1 Struktura systému MST

**Systém MST je volen jako decentralizovaný a modulární, což umožní zejména:**

- funkčnost systému při poruše jedné komponenty,
- snazší rozšíření v případě potřeby,
- servisní zásahy bez vlivu na další komponenty.

Základem koncepce je systém analogových čidel s analogovými výstupními signály vedenými po měřicích kabelech do skříní MST. Zde jsou analogové signály z čidel vedeny přes analogové úpravné obvody a systémy galvanického oddělení na vstupy A/D převodníků popř. jiných digitalizujících obvodů (čítačů) na kartách měřicích počítačů PC průmyslového typu. Podobným způsobem je řešeno monitorování dvouhodnotových (binárních, digitálních) signálů [7].

**Základní rozdělení veličin z hlediska zpracování na kartách s A/D převodníky jsou:**

- kanály měření pomalu se měnících veličin (modul měření teploty),
- kanály měření střídavých veličin (analogový modul pro střídavé veličiny),
- měření fázorů napětí a záznamy přepětí (modul měření přepětí),
- registrace impulsních dějů – čítače (modul měření částečných výbojů),
- digitální vstupy a výstupy (zap/vyp 0-1) (dvouhodnotový modul) [7].



### **Základními dvěma režimy sledování veličin jsou:**

- intervalové sledování,
- zachycení jevu s náhodným výskytem [7].

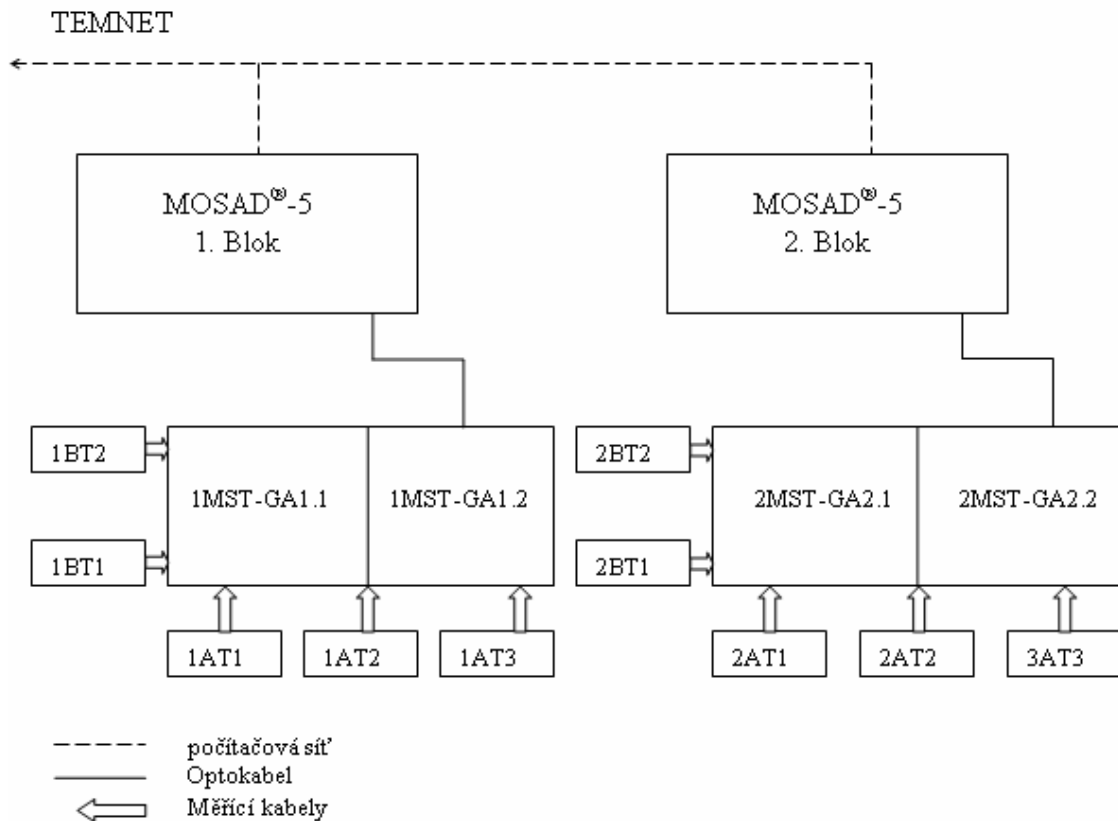
Intervalové sledování znamená snímání vzorků měřené veličiny v pravidelných časových intervalech. Základním intervalem snímání je 10 minut, ale je ho možné nastavit na kratší nebo delší periodu. Snímány jsou veličiny v podobě logických stavů, v podobě jednočíslné, jednorozměrného pole nebo vícerozměrného pole hodnot, vzorek časového průběhu veličiny nebo vzorek synchronně snímaných časových průběhů více veličin [8].

Jev s náhodným výskytem se zaznamenává jako časový průběh veličiny nebo synchronní průběh více veličin. K záznamu dojde vždy když bude splněna spouštěcí podmínka, např. odchylka napětí od sinusového průběhu větší než zvolená hodnota. Záznam náhodného jevu bude možno kombinovat s odběrem veličin snímaných při intervalovém sledování [8].

Ve skříních MST se sdružují signály z čidel skupiny pěti transformátorů (tři jednotky blokového transformátoru a dva odbočkové transformátory). Signály čidel skupiny transformátorů zpracovává několik PC. Počítače řídí všechny procesy měření a zpracování měřených dat včetně jejich agregace a zpracované signály posílají po vnitřní síti Ethernet do nadřazeného měřicího systému MOSAD<sup>®</sup>-5. Zde se provádí analýza dat, digitální simulace, výpočet odvozených veličin, vytváření časových řad a modelů a další funkce. Všechna naměřená i vypočtená data systému MST jsou pak následně přístupna všem koncovým uživatelům v počítačových sítích MOSAD<sup>®</sup>-5 (technologická ethernet síť tohoto systému) a TEMNET (počítačová ethernet síť jaderné elektrárny Temelín) [8].

Monitorovací systém MOSAD<sup>®</sup>-5 je instalován na obou blocích jaderné elektrárny Temelín a je určen k nepřetržitému sledování elektrických signálů (analogových a dvouhodnotových) a signálů získaných datovou komunikací. Funkce systému jsou zaměřeny především na monitorování stavů a činností silnoproudých zařízení s důrazem na přechodné, respektive poruchové děje. Systém je navržen pro plně autonomní provoz bez nároku na trvalou přítomnost obsluhy. Systém MOSAD<sup>®</sup>-5 navazuje na systém MOSAD<sup>®</sup>-4 provozovaný od roku 1998 na jaderné elektrárně Temelín, kde byl nasazen pro účely dokladování výsledků testů při najíždění bloků. Dlouhodobě ověřená schopnost autonomně zaznamenávat průběh přechodných a poruchových dějů jej předurčila k využití i při komerčním provozu obou bloků elektrárny [8].

Na následujícím obr. 9 je zakreslena struktura systému MST pro oba bloky jaderné elektrárny Temelín:



**Obr. 9: Struktura systému MST pro oba bloky jaderné elektrárny Temelín [8]**

Systém MST jednotek blokového transformátoru 1(2)AT1, 1(2)AT2 a 1(2)AT3 a odbočkových transformátorů 1(2)BT1 a 1(2)BT2 se skládá z části sběru komunikačních dat a z části sběru dvouhodnotových a analogových dat.

Pro měření dvouhodnotových a analogových dat jsou využity vhodně nakonfigurované měřicí ústředny systému MOSAD<sup>®</sup>-5.

Část sběru komunikačních dat se skládá především ze stávající centrální jednotky CJ systému MOSAD<sup>®</sup>-5, která začleňuje systém MST do tohoto systému a zároveň realizuje některé společné procesy systému MST jako sběr teplot a vlhkosti, komunikace s analyzátory plynů, výpočet dalších kontinuálně měřených analogových signálů a analýzu naměřených signálů. Všechny komponenty systému MST jsou časově synchronní se systémem MOSAD<sup>®</sup>-5 a systémem GPS, proto jsou časy událostí a zaznamenané průběhy porovnatelné nejenom v rámci systému MST, ale i v rámci celého systému MOSAD<sup>®</sup>-5 [8].

## 5 Návrh optimalizovaného monitorovacího systému

---

V rámci systému MOSAD<sup>®</sup>-5 je realizována tvorba poruchových hlášek zasílaných na ústřední elektrickou dozornu, tj. „Překročení nastavených signálních resp. výstražných limitů parametrů transformátorů“ a „Porucha systému MST“ [8].

Součástí monitorovacího systému transformátorů je modulární expertní systém TRAMON. Je určen k sledování stavu výkonových transformátorů, analýze sledovaných stavů a veličin, vyhodnocování spolehlivosti, archivaci veličin a rychlému varování [7].

### 5.2 Měřicí části systému MST

**Měřicí části systému MST jednotek blokového transformátoru 1(2)AT1, 1(2)AT2 a 1(2)AT3 a odbočkových transformátorů 1(2)BT1 a 1(2)BT2 se skládají z:**

- instrumentace připojené k měřeným transformátorům,
- měřicí skříně MST se vstupními jednotkami měřicích ústředen a vstupními moduly pro měření teplot a vlhkosti,
- procesorových jednotek v místnosti MOSAD<sup>®</sup>-5 [8].

#### 5.2.1 Instrumentace na měřených transformátorech

**Instrumentace na měřených jednotkách blokového transformátoru 1(2)AT1, 1(2)AT2 a 1(2)AT3 a odbočkových transformátorů 1(2)BT1 a 1(2)BT2 se skládá z:**

- analyzátorů plynů v oleji MULTITRANS (jeden pro tři jednotky blokového transformátoru a jeden pro dva odbočkové transformátory). Analyzátor MULTITRANS je v podstatě analyzátor TRANSFIX, který umožňuje současné připojení až tří výkonových olejových transformátorů,
- teploměrů pro měření teplot oleje a vzduchu (v nalepovacích pouzdrech na povrchu transformátorů nebo v provedení pro měření teploty vzduchu) a vlhkoměrů,
- speciálních průchodkových snímacích prvků na straně vyššího a nižšího napětí transformátorů 1(2)AT1, 1(2)AT2 a 1(2)AT3 pro měření přepětí a částečných výbojů a snímače úrovně okolního prostorového rušení,
- Obvodů pro měření pracovních proudů a napětí transformátorů 1(2)AT1, 1(2)AT2 a 1(2)AT3 a 1(2)BT1, 1(2)BT2, generátoru 1(2)SP a pracovních přívodů rozvoden 6 kV vlastní spotřeby [8].

Instrumentace na měřených transformátorech je propojena s měřicí skříní MST (označení skříně je 1(2)MST-GA1) signální a komunikační kabeláží. Skříně, zařízení a kabeláž jsou provedeny s ohledem na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) a to především s ohledem na odolnost [8].

### 5.2.2 Měřicí skřín MST

#### Měřicí skřín 1(2)MST-GA1 obsahuje:

- obvody pro přizpůsobení měřených signálů,
- vstupní jednotky měřicích ústředn,
- vstupní moduly pro měření teplot a jiných pomalých signálů,
- komunikační koncentrátor a obvody pro zajištění napájení zařízení skříně [8].

Obvody pro přizpůsobení měřených signálů slouží k úpravě signálů vystupujících ze silových měřicích obvodů na úroveň vhodnou pro vstupní obvody měřicích modulů a k jejich galvanickému oddělení a filtraci s ohledem na EMC [8].

Skřín obsahuje dvě vstupní jednotky společné pro tři měřicí ústředny. První ústředna má za úkol sběr dat z velmi rychlých analogových signálů (200 kSamples/s) jako zapisovač přepětí. Druhá ústředna má za úkol sběr dat rychlých analogových signálů (5 kSamples/s). Třetí ústředna má za úkol sběr dat binárních signálů (1 kSamples/s) a měření částečných výbojů (max 10mil impulzů/s). Každá ústředna má svou procesorovou jednotku v místnosti MOSAD<sup>®</sup>-5, se kterou je propojena optickým kabelem [8].

Pro měření archivních analogových signálů je měřicí skřín MST osazena nosiči 6B modulů pro převodníky teploty (moduly 6B13) a pro převodníky proudových signálů 4-20 mA (moduly 6B12) [8].

Komunikační koncentrátor slouží k zajištění propojení mezi vstupními moduly komunikujícími sériovým rozhraním RS-485 a měřicím procesem centrální jednotky CJ systému MOSAD<sup>®</sup>-5 komunikujícím prostřednictvím rozhraní Ethernet.

Měřicí skřín 1(2)MST-GA1 se skládá ze dvou polí a je rozdělena v každém poli na dva prostory dle přípustné úrovně rušení. Všechny signály a vodiče vstupují do odrušeného prostoru přes prostor s rušením. Na rozhraní těchto prostor jsou realizována opatření pro zamezení přenosu rušení za účelem dosažení elektromagnetické kompatibility (EMC průchodky). Zároveň je vnější plášť nerezové skříně a její dveře konstruovány v EMC provedení. V poli 1(2)MST-GA1.1 v prostoru s rušením jsou umístěny obvody pro přizpůsobení signálů pracovních proudů transformátorů (PAM1 až PAM5) a obvody napájení 220 V střídavých celé skříně s filtry. V odrušeném prostoru tohoto pole se nachází dva nosiče pomocných komponent umožňující montáž nosičů 6B modulů. V poli 1MST-GA1.2 v prostoru s rušením jsou umístěny obvody pro

## 5 Návrh optimalizovaného monitorovacího systému

---

přízpůsobení signálů pracovních proudů transformátorů (PAM6 až PAM9) a obvody pro přízpůsobení signálů pracovních napětí transformátorů (PVM1 až PVM5). V odrušeném prostoru tohoto pole se nacházejí dvouhodnotové, analogové a řídicí karty, čítačová karta, izolační zesilovače a komparátor [8].

Skříň v provedení do vnějšího prostředí (krytí IP54) je vybavena a konstruována k zajištění vhodného pracovního prostředí komponent (systém řízení teploty a vlhkosti uvnitř skříně) bez nutnosti trvalé obsluhy [8].

Přívod všech kabelů do skříně 1(2)MST-GA1 je proveden spodem, vnější kabely ukončeny na svorkovnicích nebo svorkách. Skříň je umístěna a přivařena na kovovou konstrukci rozvodny [8].

### 5.2.3 Procesorové jednotky

Procesorové jednotky v místnosti systému MOSAD<sup>®</sup>-5 (na obou blocích elektrárny) komunikují se svými vstupními jednotkami přes optické kabely prostřednictvím specializovaného rozhraní MOSAD-link. Procesorové jednotky jsou připojeny přímo do sítě Ethernet a rozvodu signálu jednotného času systému MOSAD<sup>®</sup>-5 v téže místnosti. Komunikační koncentrátor v měřicí skříně MST je taktéž připojen optickým kabelem do sítě Ethernet systému MOSAD<sup>®</sup>-5. Komponenty MST komunikují s centrální jednotkou CJ a do serveru CJ-DB systému MOSAD<sup>®</sup>-5 ukládají přímo nebo zprostředkovaně naměřená data. Data získaná systémem MST jsou uložena v systému MOSAD<sup>®</sup>-5 standardním způsobem a proto jsou dohledatelná a zobrazitelná prostředky systému MOSAD<sup>®</sup>-5 a to především prostřednictvím uživatelského WWW rozhraní [8].

Procesorové jednotky v počtu 3 ks (označené –MU1T-PC, –MU2T-PC a –MU3T-PC) jsou umístěny ve skříně systému MOSAD<sup>®</sup>-5 na obou blocích elektrárny [8].

## 5.3 Zpracování analogových signálů

### 5.3.1 Archivní analogy

Archivní analogy typu teploty a vlhkost jsou snímány řádově jednou za sekundu.

Archivní analogové signály jsou signály, které mění svou hodnotu spojitě a je možné je snímat s vzorkovací frekvencí větší než 1 vzorek/s. Typicky to je například teplota oleje a vzduchu, vlhkost vzduchu, obsah plynů v oleji a podobně. Tyto signály jsou snímány analogovými moduly. Analogový modul je tvořen vstupním modulem a měřicím procesem v centrální jednotce CJ [8].

Vstupní moduly mohou být různého typu dle měřených signálů. Pro měření teplot oleje, teplot vzduchu a vlhkosti moduly typu 6B od firmy Analog Devices a pro měření obsahu plynů a vlhkosti v oleji analyzátoři MULTITRANS [8].

## 5 Návrh optimalizovaného monitorovacího systému

---

Hodnoty měření částečných výbojů jsou měřené stejně jako archivní analogové signály s tím rozdílem, že signál pro každé jedno měřené místo je měřený jako 5 signálů a to jako počet impulzů větších jako stanovená hladina. Měření úrovně částečných výbojů je provedeno vstupními obvody pro měření částečných výbojů se vstupními čítačovými kartami ve vstupní jednotce a měřicím procesem v procesorové jednotce. Z měřených signálů je pak výpočtem stanovena souhrnná hodnota pro každé měřené místo. Měření je postupné, nejdříve se odměří pro všechny signály (7x) hladina 1 během 1 s, potom 1 s pauza na přenastavení hladin, potom 1 s měření hladiny 2 atd. Tedy 5 úrovní hladin je odměřeno za 10 s, čili 60 sad za 10 minut [8].

Každý měřicí modul snímá hodnoty signálů s frekvencí, která je vhodná s ohledem na typ vstupního modulu. U modulů 6B to je řádově 1 s a u analyzátoru oleje MULTITRANS 1 hodina. V případě, že frekvence snímání je vyšší než požadovaná frekvence ukládání do archivu jsou z archivních analogů počítány agregované hodnoty a to průměr, minimum a maximum každého signálu během agregací periody (řádově 1 – 60 minut, typicky 10 minut) [8].

Každý agregovaný záznam obsahuje nejen čas, ke kterému daný interval končí, ale i délku časového intervalu, který pokrývá.

Všechny archivní analogy jsou uloženy jen v této agregované formě v databázi systému MOSAD<sup>®</sup>-5 v archivu analogových signálů [8].

### 5.3.2 Rychlé analogy

Rychlé analogové signály jsou signály, které mění svou hodnotu spojitě a je potřeba je snímat s vzorkovací frekvencí větší než 1 vzorek/s. Typicky to je například okamžitá hodnota proudu (50Hz). Tyto signály jsou snímány analogovými moduly. Analogový modul je tvořen analogovými vstupními kartami se S&H ve vstupní jednotce a měřicím procesem v procesorové jednotce [8].

#### Hlavní rysy analogového modulu:

- bezobslužná činnost modulu jako součást měřicího systému nebo samostatně,
- měření 8 až 120 napět'ových vstupních signálů s galvanicky oddělenými vstupy. Vzorkování je s 12 bitovým rozlišením A/D převodníku. Počet měřených vstupů je možno měnit s krokem po osmi vstupech (počet vstupů jedné analogové vstupní karty ve vstupní jednotce),
- maximální vzorkovací frekvence do 200 kSamples/s při záznamu osmi kanálů nebo 10 kSamples/s na kanál při snímání 120 kanálů. Vzorkovací frekvence se může pohybovat v rozsahu 1 Hz až 200 kHz, pro účely MST je využíváno 5 kHz,

## 5 Návrh optimalizovaného monitorovacího systému

---

- nedochází k trvalému záznamu všech dat s vysokým rozlišením, ale jen úseků, ve kterých se vyskytují vybrané přechodné děje,
- start záznamu od definované změny vstupního signálu, zásahu obsluhy, požadavku řídicího systému nebo požadavku jiného měřicího modulu,
- každý signál může mít spouštěcí podmínku odlišnou od ostatních kanálů. K dispozici je celkem 9 různých typů podmínek pro stejnosměrné a střídavé signály. Je možno ke každému signálu mít více podmínek v závislosti na systémové konfiguraci,
- při startu záznamu se ukládají současně všechny měřené signály v modulu v délce záznamu odpovídajícímu nadefinované době pro daný kanál od kterého byl záznam odstartován,
- na začátek záznamu je vložen průběh signálu před spuštěním záznamu v nadefinované délce (prehistorie),
- maximální délka záznamu je dána dostupnou pamětí RAM. Maximální délka jednoho záznamu se tak pohybuje v desítkách minut a je ovlivněna vzorkovací frekvencí a počtem vstupů v modulu,
- délka záznamu se může dynamicky prodlužovat při splnění dalších spouštěcích podmínek až na maximální povolenou dobu,
- modul může při startu záznamu vygenerovat signál ke spuštění záznamu ostatních modulů v měřicím systému,
- mezi jednotlivými záznamy není potřeba žádnou prodlevu pro uložení dat [8].

Všechny analogové vstupní karty obsahují obvody pro snímání všech vstupů současně S&H a jsou galvanicky odděleny navzájem i proti zemi.

S&H obvody zajišťují snímání všech vstupů ve stejném čase. Při snímání signálů bez S&H dochází k časovému posunu mezi vzorky jednotlivých kanálů v průběhu jedné vzorkovací periody. Absence obvodů S&H podstatným způsobem nepříznivě ovlivňuje přesnost výsledků výpočtu odvozených veličin z různých kanálů (např. třífázový výkon) [8].

Galvanické oddělení signálů od analogového modulu a i mezi jednotlivými kanály podstatně zvyšuje odolnost signálů vůči zavlečení cizích zemních smyček a vůči rušení. Pro většinu běžných aplikací je pak externí izolační zesilovač zbytečný [8].

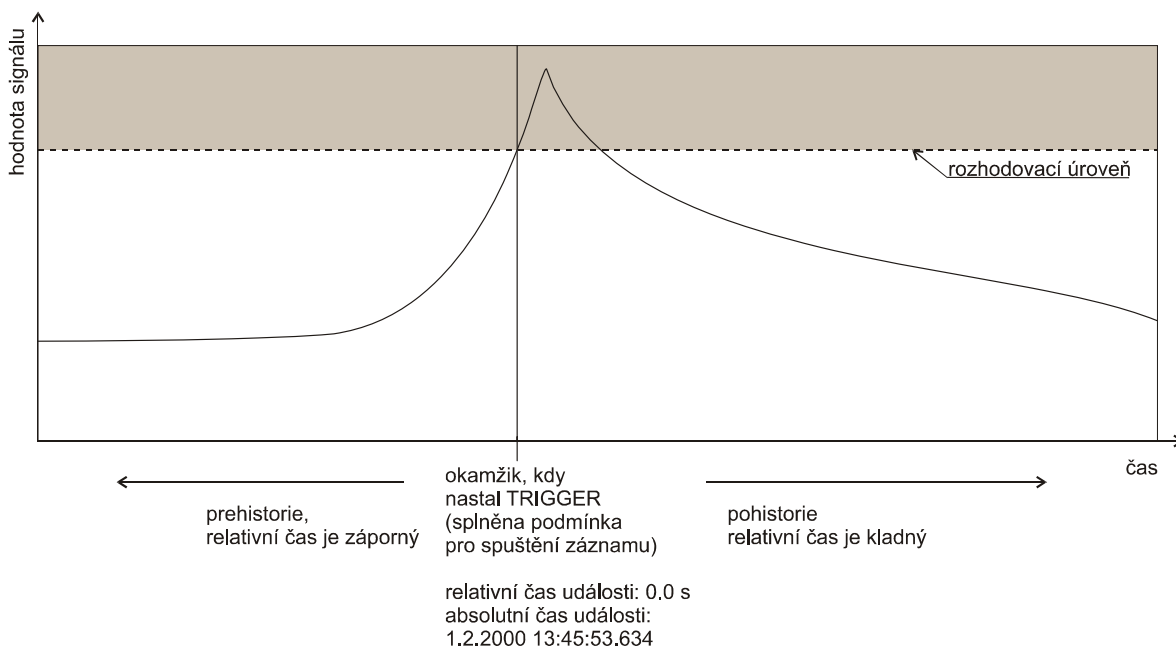
Měřicí ústředna je schopna měřit celkem max. 120 analogových signálů s krokem po 8 signálech. Základní parametry analogového modulu popisuje Tab.3.

Tab. 3: Základní parametry analogového modulu [8]

Typ vstupů	Diferenciální
Maximální úroveň měřeného napětí při zesílení 1	5 V
Maximální vstupní proud jednoho vstupu při zesílení 1	200 nA
Zesílení	1x/10x/50x volitelně.
Rozlišení A/D převodníků	12 bitů.
Přesnost měření	0,3 % rozsahu
Galvanické oddělení vstupů	250 Vef
Maximální rychlost převodníků	250 kSamples/s
Maximální rychlost vzorkování na kanál	200 kSamples/s při 8 vstupech 20 kSamples/s při 80 vstupech

Signály jsou trvale snímány moduly systému MOSAD<sup>®</sup>-5 zadanou vzorkovací frekvencí. Pokud dojde k splnění triggerovací podmínky, tak modul uloží požadovaný úsek před tímto triggerem (prehistorii) a po triggeru (pohistorii) do souboru TES a zaregistruje tento soubor jako analogový záznam v systému MOSAD<sup>®</sup>-5. Standardní triggerové systémy MOSAD<sup>®</sup>-5 umožňují záznam při překročení zadaného limitu, nebo i při změně amplitudy o nastavenou toleranci. Adaptivní triggerové se automaticky přizpůsobí změně hodnotě. Tento princip zabezpečuje uložení průběhů signálů ve vysokém rozlišení pouze když na sledovaných signálech došlo ke změně. Tím se redukuje objem dat ukládaných do systému [8].

Grafické znázornění některých pojmů (je zobrazena situace, kdy je spouštěcí podmínka taková, že k zahájení záznamu dojde po překročení signálu nad nastavenou rozhodovací úroveň –  $u > L$ ):



Obr. 10: Analogový trigger [8]



**Celkem je možno si zvolit z 9 druhů analogových triggerů, které se dají rozdělit do čtyř skupin:**

- triggerů pro stejnosměrné signály,
- adaptivní triggerů pro stejnosměrné signály,
- triggerů pro střídavé signály,
- adaptivní triggerů pro střídavé signály [8].

Dělení na stejnosměrné a střídavé triggerů odpovídá charakteru měřených signálů. Adaptivní a normální (statické) triggerů se liší v tom, jak jsou stanoveny hraniční podmínky pro spuštění záznamu. Adaptivní trigger odvozuje limity parametricky v závislosti na ustálené hodnotě na konci předchozího záznamu, kdežto statický trigger má uveden neměnné absolutní hodnoty [8].

### **Příklady**

Statický trigger udává, že ke spuštění záznamu má dojít v okamžiku, kdy signál vybočí z intervalu  $\langle +2 \text{ V}; +4 \text{ V} \rangle$ .

Adaptivnímu triggeru odpovídá předpis, že k záznamu má dojít tehdy, když se hodnota od posledního ustáleného stavu změní o 1 V. Je-li například poslední ustálený stav +4 V, tak bude testováno vybočení z intervalu  $\langle +3 \text{ V}; +5 \text{ V} \rangle$  [8].

Další možností adaptivního triggeru je, že hodnoty můžou být udány relativně, takže se mění i šířka přípustného pásma. Je dána podmínka, že ke spuštění dojde v situaci, kdy hodnota signálu se změní o 25% vůči poslednímu ustálenému stavu. Pokud poslední stav byl +2 V, tak jsou stanovené hranice na  $\langle +1,5 \text{ V}; +2,5 \text{ V} \rangle$ .

Pro samostatnou bezobslužnou činnost je nejvýhodnější používat triggerů adaptivní s vhodně nastavenými mezemi. Statické triggerů jsou využitelné pro takové signály, které mají definovanou stálou úroveň a je třeba zachytávat jen krátké výkyvy po kterých následuje návrat na původní hodnotu signálu [8].

Dále z měřených signálů jsou trvale vypočítávány odvozené signály.

### Počítají se:

- efektivní hodnota (ef.): efektivní hodnota v intervalu 1 s,
- střední hodnota (stř.): střední hodnota (aritmetický průměr) v intervalu 1 s,
- špičková hodnota (šp.): maximální hodnota absolutní hodnoty signálu v intervalu 1 s. (Může být doplněno o parametr časové filtrace pro ignorování kratších špiček),
- délka překročení limitu (limitD.): vyhodnocuje se délka překročení limitu absolutní hodnoty signálu (amplitudy) (Může být doplněno o parametr časové filtrace pro ignorování kratších špiček),
- počet překročení limitu (limitP.): vyhodnocuje se počet překročení limitu absolutní hodnoty signálu,
- fázový posun (FIxy.): fázový posun mezi 2 signály (x a y) [8].

V některých případech se jako vstupní veličina nepoužije přímo snímaný signál, ale vypočtený z okamžitých hodnot jiných měřených signálů.

Pro všechny odvozené signály je vypočtena hodnota každou sekundu. Tyto hodnoty jsou agregované (typicky po 10 minutách) ukládané do archivu systému MOSAD<sup>®</sup>-5. Odtud je možné standardními prostředky systému MOSAD<sup>®</sup>-5 spolu s pomalými signály data zobrazit nebo exportovat do souborů [8].

## 5.4 Zpracování dvouhodnotových signálů

Dvouhodnotové signály jsou signály, které mohou nabývat pouze jeden z dvou stavů (zapnuto/vypnuto), typicky to je stav relé. Tyto signály jsou snímány dvouhodnotovým modulem. Dvouhodnotový modul je tvořen dvouhodnotovými vstupními kartami ve vstupní jednotce a měřicím procesem v procesorové jednotce.

### Základní vlastnosti dvouhodnotového modulu:

- bezobslužná činnost modulu jako součást měřicího systému nebo samostatně,
- měření 32 až 544 dvouhodnotových vstupních signálů s galvanickým oddělením s krokem po 32 vstupech (počet vstupů jedné dvouhodnotové vstupní karty ve vstupní jednotce). Základní hodnota napětí 48 Vss,
- vzorkování s nastavitelnou frekvencí 1 až 10.000 vzorků/s, obvykle je používáno 1.000 vzorků/s modul ukládá pouze změnu stavu signálu čímž šetří záznamovou kapacitu,

## 5 Návrh optimalizovaného monitorovacího systému

---

- automatická detekce kmitajících signálů a jejich softwarové odpojení,
- kapacita interní paměti pro záznam 2,8 miliónu změn při vyhrazení 32 MB RAM pro změny,
- automatické průběžné ukládání naměřených dat nebo při zaplnění paměti,
- galvanické oddělení vstupních signálů navzájem proti sobě a proti logické části systému, vysoká odolnost vstupů [7].

Základní parametry dvouhodnotového modulu popisuje Tab. 4.

**Tab. 4: Základní parametry dvouhodnotového modulu [7]**

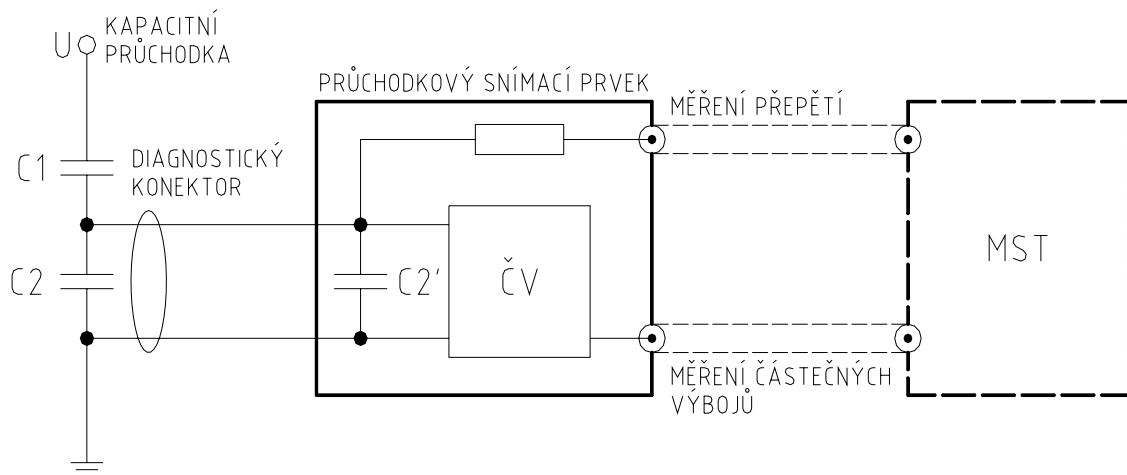
Nominální úroveň měřeného napětí	48 V
Rozhodovací úroveň	20 V
Maximální poruchové trvale připojené vstupní napětí	230 V <sub>ef.</sub>
Galvanické oddělení vstupů proti zemi	1500 V
Galvanické oddělení mezi signály z jednoho konektoru	500 V
Nominální vstupní proud jednoho vstupu	2 mA

Měřicí modul ukládá záznamy o změnách průběžně do archivu změn dvouhodnotových signálů v systému MOSAD<sup>®</sup>-5 [7].

### 5.5 Měření signálů napětí a proudů

#### 5.5.1 Diagnostické konektory průchodek

Pro měření napětí jednotek blokových transformátorů na vyšší i nižší straně jsou využívány diagnostické výstupy kapacitních průchodek. Přímo na tento výstup je našroubován snímací průchodkový prvek SPP, který jednak upravuje úroveň napětí na vhodnou velikost pro další zpracování a navíc obsahuje obvody pro měření částečných výbojů. Měření přepětí vyžaduje přenosovou charakteristiku měřicího a přizpůsobovacího členu lineární v oblasti od desítek Hz do jednotek MHz [7].



**Obr. 11: Měření napětí, přepětí a částečných výbojů z kapacitních průchodek [7]**

Snímací průchodkové prvky slouží ke snímání fázorů napětí 50 Hz a přepětí z jednoho výstupu snímacího prvku a impulsů od výbojů z druhého výstupu. Jsou umístěny v celokovových pouzdrech a připojují se na konektory měřicích výstupů průchodek přímo. Hlavní součástí snímacího prvku je kondenzátor o kapacitě řádu stovek nF, který tvoří s kapacitou průchodky C1 kapacitní dělič. Protože se průchodky liší jednak napětím, kapacitou a typem výstupního konektoru, je pro každou trojici průchodek navržen a odzkoušen jiný typ snímacího prvku s příslušným typem konektoru a velikostí kapacity. Výstupní střídavé napětí musí být v rozsahu 50 až 100 V [7].

Kondenzátory pro C2 jsou vhodného typu s velkou odolností proti impulsním přepětím. Kriteřiem výběru vhodného typu je elektrická pevnost při zkoušce střídavým napětím a při zkoušce impulsem s velkou strmostí čela. U zvoleného typu kondenzátoru zapojeného v příslušné sérioparalelní kombinaci a v zapojení kompletního snímacího prvku splňující požadavky na velikost C2 a napěťové namáhání je nutné ověřit jeho frekvenční charakteristiku harmonickým signálem a odezvu na jednotkový impuls [7].

Všechny snímací prvky v kompletním zapojení jsou zkoušeny rázovým napětím aplikovaným přes vazební impulsní kondenzátor. Velikost zkušební napětí  $U_a$  se určí tak, že v součinu s  $C_v$  musí být větší nebo rovna součinu příslušné C1 průchodky a rázové zkušební hladiny příslušného napětí průchodky  $U_z$  [7].

$$U_a \times C_v = U_z \times C_1 \quad (5-1)$$

Všechny prvky musí zkouškám vyhovět.

Pro připojení SPP prvků jsou použity dvojité stíněné koaxiální kabely 50  $\Omega$ .

Kabely od SPP prvků umístěných na nádobě transformátoru jsou všechny protaženy nádobovou ochranou. Kabely jsou upevněny ke kabelovým konstrukcím, aby nedošlo k jejich mechanickému namáhání a vedeny tak, aby se minimalizovalo riziko jejich poškození. Totéž platí i pro kabely ostatních signálů snímaných z čidel umístěných na nádobě transformátoru [7].

## 5 Návrh optimalizovaného monitorovacího systému

---

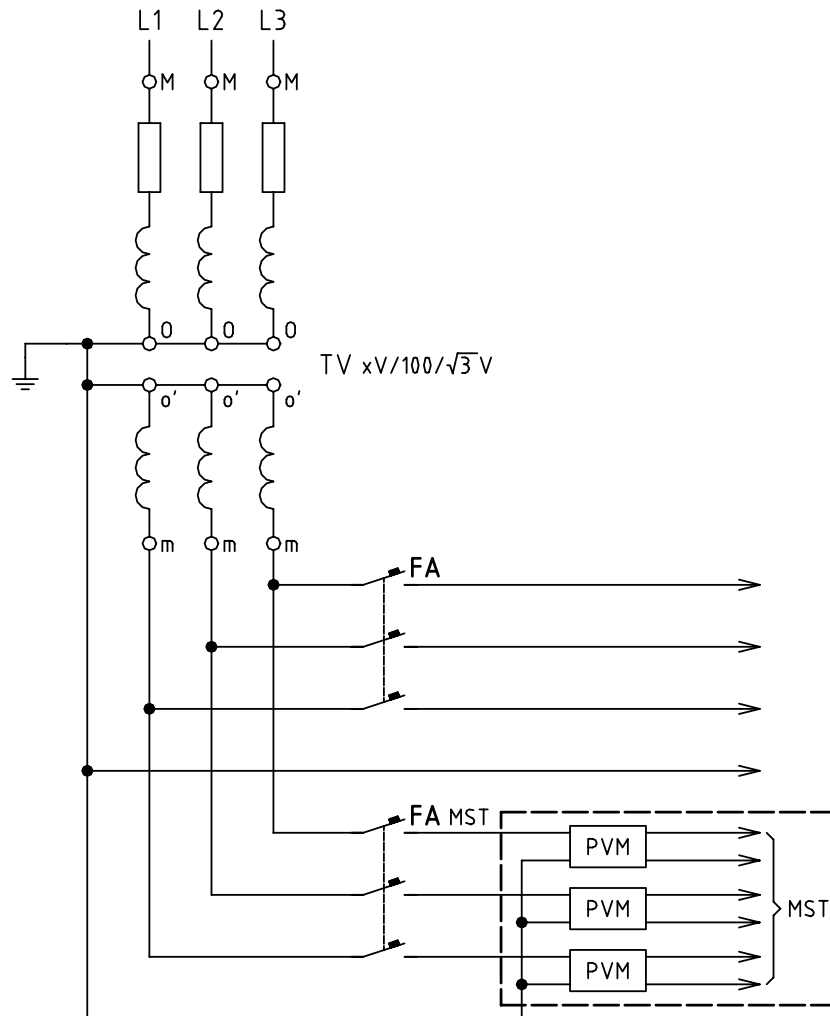
Pro oddělení vstupu měření fázorů napětí a přepětí jsou použity izolační zesilovače 100 kHz 10V-1M $\Omega$ /5V-10k $\Omega$ , izolace 1,5 kVef při 50 Hz. Dále pak měřené analogové signály z SPP prvků vstupují do analogových měřících modulů. Izolační zesilovače a analogové měřící moduly jsou umístěny ve skříni systému MST [7].

Pro detekci částečných výbojů jsou signály z vf odboček SPP prvků na průchodkách přivedeny na vstupy (6 kanálů) analogových detekčních částí přes oddělovací vf transformátory na feritovém toroidním jádru. Přes vf filtr je dále signál veden na detektor a impulsní zesilovač s potlačením harmonických signálů. Dále následuje komparátor a tvarovač impulsů, který přizpůsobuje signál pro zpracování čítači v měřicím počítači. Tvarované TTL signály jsou vedeny na obvody logických součinů. Na jejich výstupech se registruje počet impulsů jež se vyskytly současně ve třech fázích popř. ve všech šesti měřených kanálech. Komparátor a čítačová karta jsou umístěny ve skříni systému MST [7].

### 5.5.2 Měření napětí z PTN

V případech, kdy nejsou průchodky vybaveny diagnostickým konektorem a tudíž nelze využít SPP prvek, je nutné k měření napětí využít standardní PTN s výstupem  $100/\sqrt{3}$  V (strana nižšího napětí odbočkových transformátorů). Napětí jsou měřena jako fázová ve všech třech fázích. Dále pak vstupují do převodníku PVM (zajišťuje galvanické oddělení a převod střídavé veličiny na napětí  $\pm 5$  V špičkových) a analogových měřících modulů. PVM moduly a analogové měřící moduly jsou umístěny ve skříni systému MST [7].

**Tvorba napěťového signálu z PTN:**



**Obr. 12: Tvorba napěťového signálu z PTN [7]**

Napětí je přivedeno do analogového modulu pro střídavé veličiny. Přesnost měření z PTN je omezena přenosovou charakteristikou PTN, která umožňuje bez významného zkreslení přenášet jevy ve frekvenční oblasti 1 Hz - 5 kHz. Stejnosečné složky a složky vyšších frekvencí jsou přenosem přes PTN zkresleny [7].

**5.5.3 Měření proudu z PTP**

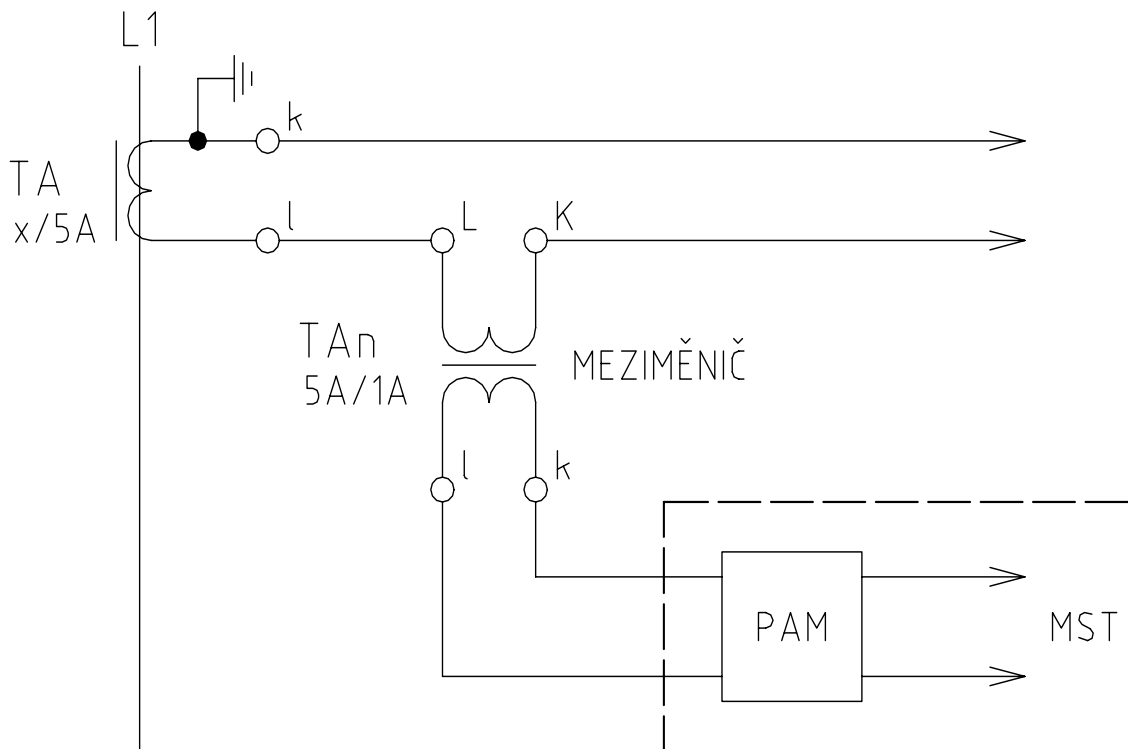
Pro měření proudů transformátorů jsou využity standardní PTP s výstupem 5 A. S výhodou jsou využity výstupy PTP, které jsou osazeny v průchodkách na vyšší straně napětí transformátorů. Proud na nižší straně napětí transformátorů je měřen z elektricky nejbližších PTP umístěných v zapouzdřených vodičích nebo v rozvodnách. Proud na nižší straně napětí blokových transformátorů není přímo měřen, ale je vypočítán z proudu generátoru a vstupního proudu odbočkových transformátorů [7].

## 5 Návrh optimalizovaného monitorovacího systému

Pro účely měření proudu systémem MST jsou využita měřicí jádra PTP. Proudové signály jsou měřeny vždy ve všech třech fázích.

U PTP s výstupem 5 A je v místě tvorby signálu vložen meziměnič s převodem 5 A / 1 A, dále pak proudové signály vstupují do převodníku PAM (zajišťuje galvanické oddělení a převod střídavé veličiny na napětí  $\pm 5$  V špičkových) a analogových měřících modulů. PAM moduly a analogové měřicí moduly jsou umístěny ve skříni systému MST [7].

### Tvorba proudového signálu z PTP:



Obr. 13: Tvorba proudového signálu z PTP [7]

Napětí motoru přepínače odboček je snímáno v jedné fázi přímým přivedením do měřicí skříňě systému MST prostřednictvím převodníku PVM a proud vložením meziměniče s převodem 5 A / 1 A a převodníku PAM [7].

### 5.6 Měření teplot

Součástí systému MST je měření teploty oleje transformátorů, povrchu nádoby, vstupního a výstupního potrubí chladičů transformátorů a okolního prostředí.

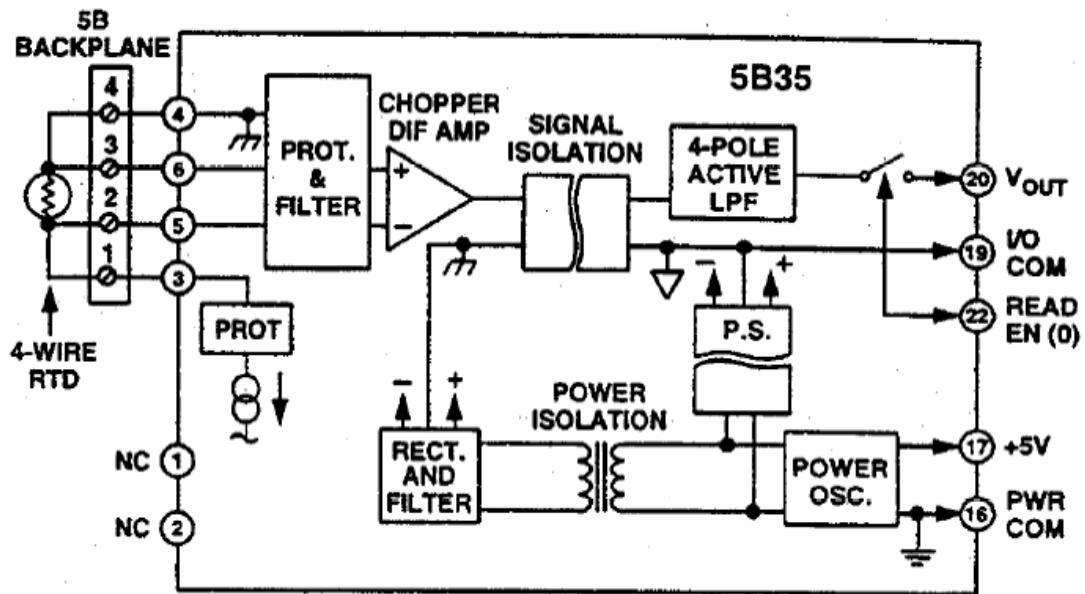
**Cílem měření teplot v systému MST je:**

- kontrola, zda nedochází ke zvýšení teploty oleje (nádoby) způsobené poruchou izolačního systému transformátoru,
- kontrola správné funkce chladicího systému transformátoru,
- v korelaci s ostatními veličinami (plyny rozpuštěné v oleji, činný výkon) kontrola správnosti,
- datový podklad pro energetickou bilanci transformátorů, v případě vnitřní poruchy s přehřátím dojde ke zvýšení tepelných ztrát a vychýlení energetické bilance z rovnovážného stavu,
- výpočet nejteplejšího místa vinutí transformátorů - hot spot [7].

Jako čidla povrchové teploty jsou použity ploché platinové odporové články Pt100. Články jsou zalaty na dno železného pouzdra. Pouzdra jsou přilepena na povrch nádoby transformátoru lepidlem s velkou tepelnou vodivostí. Kovové pouzdro tvoří stínění senzoru a je vodivě spojeno se stíněním kabelu. Sensory jsou napájeny čtyřdrátově stíněným kabelem (proudové napájení a napětíové snímání). Na kovové pouzdro je nasazen polyuretanový plášť s odrazivou fólií, které tvoří ochranu před nežádoucím ohřevem slunečním osvitem nebo před nežádoucím ochlazováním v zimě.

Z Pt článků jsou signály přivedeny na elektronické převodníky (6B moduly) ve skříní systému MST, Elektronické převodníky zajišťují převod měření odporu článku na napětí stanoveného rozsahu. Kromě této funkce jsou součástí převodníku obvody pro linearizaci měřeného signálu, filtraci nežádoucích signálů rušení a poskytují izolační oddělení vstupních signálů od napětíového výstupu, čímž je vytvořena ochrana měřicí desky proti poškození indukovanými rušivými signály. Principiální schéma takového převodníku je na následujícím Obr.14 [7].





Obr. 14: Princip převodníku teplota-napětí s izolovaným výstupem [7]

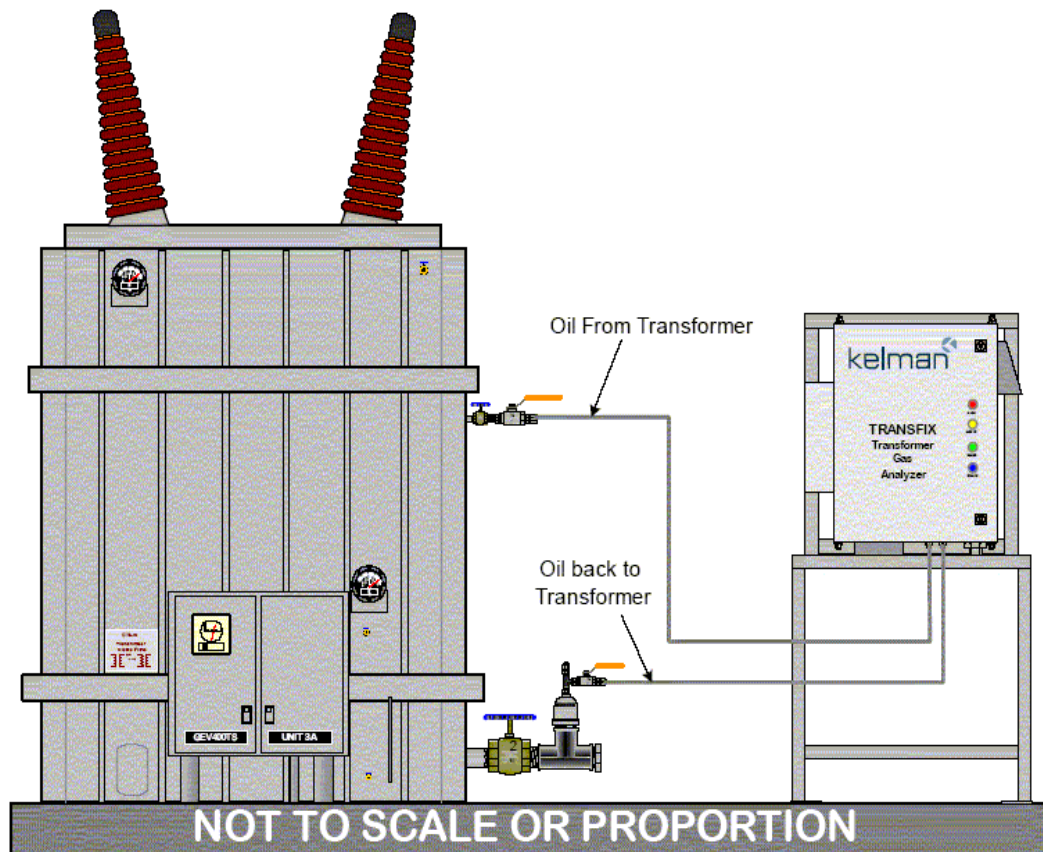
## 5.7 Měření koncentrace plynů rozpuštěných v oleji a jeho vlhkosti

U blokových a odbočkových transformátorů jsou použity analyzátoři plynů a vlhkosti v oleji MULTITRANS. (jeden pro tři jednotky blokových transformátorů a jeden pro dva odbočkové transformátory). Analyzátor MULTITRANS je v podstatě analyzátor TRANSFIX, který umožňuje současné připojení až tří transformátorů [7].

### 5.7.1 Instalace analyzátoru plynů MULTITRANS

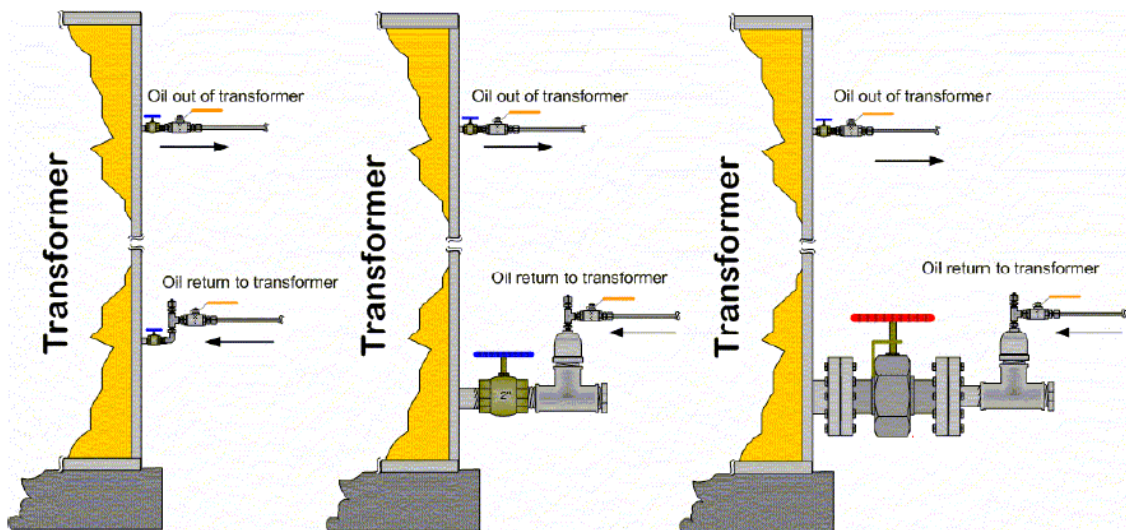
Instalace analyzátoru MULTITRANS je prakticky totožná s instalací analyzátoru TRANSFIX, která je popsána v následující kapitole.

Analyzátor plynů TRANSFIX je průtočné zařízení, které čerpá olej z transformátoru, extrahuje plyny, analyzuje je a vrací olej zpět do transformátoru. Na následujícím Obr.15 je schématicky znázorněna instalace analyzátoru [7].

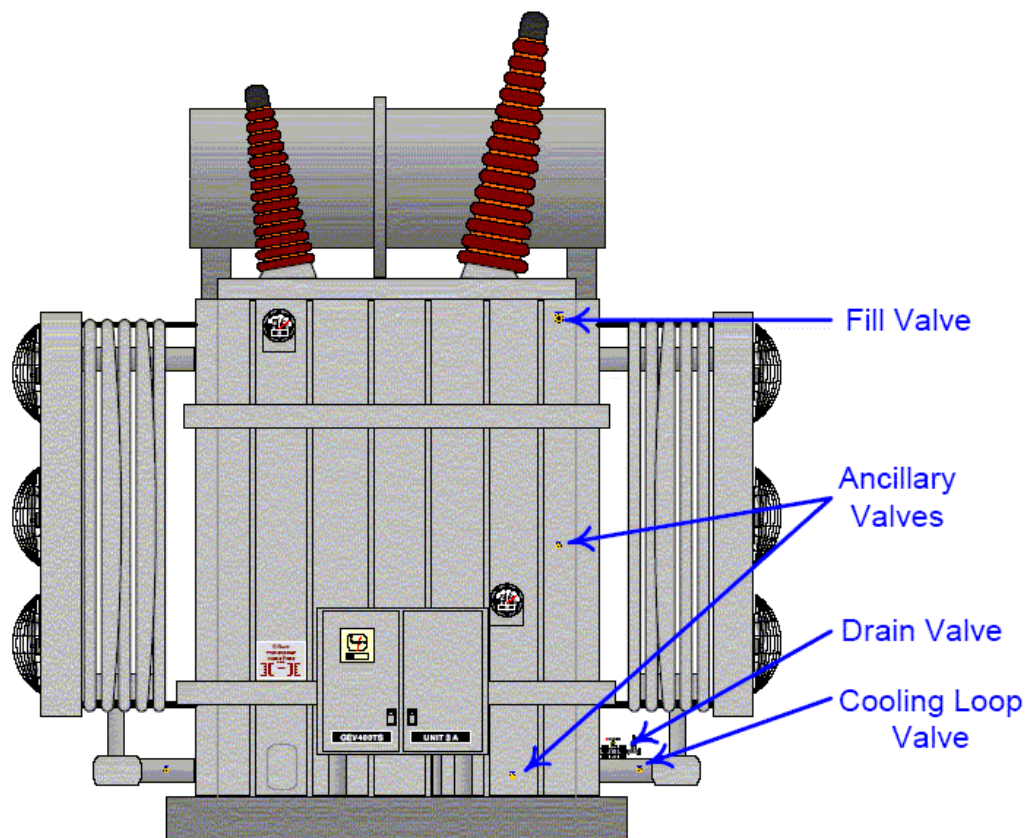


**Obr. 15: Analyzátor plynů TRANSFIX [7]**

Doporučuje se odebírat olej z transformátoru z jednoho ventilu a vracet ho zpět jiným ventilem. Správné umístění odběrného a vratného ventilu je důležité z hlediska přesnosti analýzy. Olej by měl být odebírán z místa, kde je dobře promíchaný. Tři příklady z mnoha možných konfigurací připojení jsou patrné z Obr.16 [7].



Obr. 16: Možné konfigurácie pripojení analyzátoru TRANSFIX [7]



Obr. 17: Vhodnosť využitia jednotlivých ventilů používaných na transformátorech [7]

**V předchozím Obr. 17 je uveden rozbor vhodnosti využití jednotlivých ventilů používaných na transformátorech:**

- **Plnicí ventil (Fill Valve)** - pokud je zaručeno, že hladina oleje je vždy nad úrovní plnicího ventilu, je možné ventil využít jak pro odběr tak i vracení vzorků,
- **Vypouštěcí ventil (Drain Valve)** - tento ventil je možné použít jak pro odběr tak i vracení vzorků. Je však výhodné využít ho pro vracení oleje, neboť je umístěn u dna nádoby a získá se tak snadno přístupný bod pro odvodu oleje v potrubí v procesu instalace analyzátoru,
- **Pomocné ventily (Ancillary Valves)** - Tyto ventily mohou být vhodnou volbou pro připojení analyzátoru. Je však nutné mít jistotu o jejich vnitřním zaústění,
- **Ventily potrubí chladičů (Cooling Loop Valve)** - ventil může být použit pouze pro odběr vzorků, pokud nejsou jiné ventily dostupné. Ventil nesmí být použit pro vracení oleje, pokud je v potrubí přímé proudění [7].

Na transformátoru jsou ventily různých průměrů. Je nutné je přizpůsobit na  $\frac{1}{4}$ " pro odběrné místo a  $\frac{1}{2}$ " pro vratné místo.

Pro odběrné místo se typicky používá ventil uprostřed nádoby nebo na aktivní chladicí smyčce. Je nutné zajistit, aby odběr vzorku byl v místě, kde je olej dobře promícháván a v aktivním proudu transformátorového oleje. Teplota oleje nesmí překročit  $110^{\circ}\text{C}$  a nesmí být nižší než  $-10^{\circ}\text{C}$ . Pro přizpůsobení průměru potrubí je možné použít šroubení z nerezové oceli, mosazi nebo černého železa. Nelze použít pokovenou ocel, měď a plast, neboť tyto materiály mohou mít negativní vliv na koncentraci plynů v oleji [7].

Pro vratné místo se využívá ventil umístěný níže než odběrné místo, typicky vypouštěcí ventil. Pro vratné místo musí být využito příslušenství dodané firmou Kelman.

**Pro montáž vlastní jednotky analyzátoru TRANSFIX platí zásady:**

- TRANSFIX nesmí být namontován přímo na transformátor,
- potrubí mezi TRANSFIXem a transformátorem nesmí být delší než 20 m,
- pro umístění TRANSFIXu je nejlepší využít betonový základ transformátoru. přípustná je montáž na betonovou přepážku mezi transformátory. TRANSFIX musí být instalován vodorovně, přípustná je odchylka do  $5^{\circ}$ ,

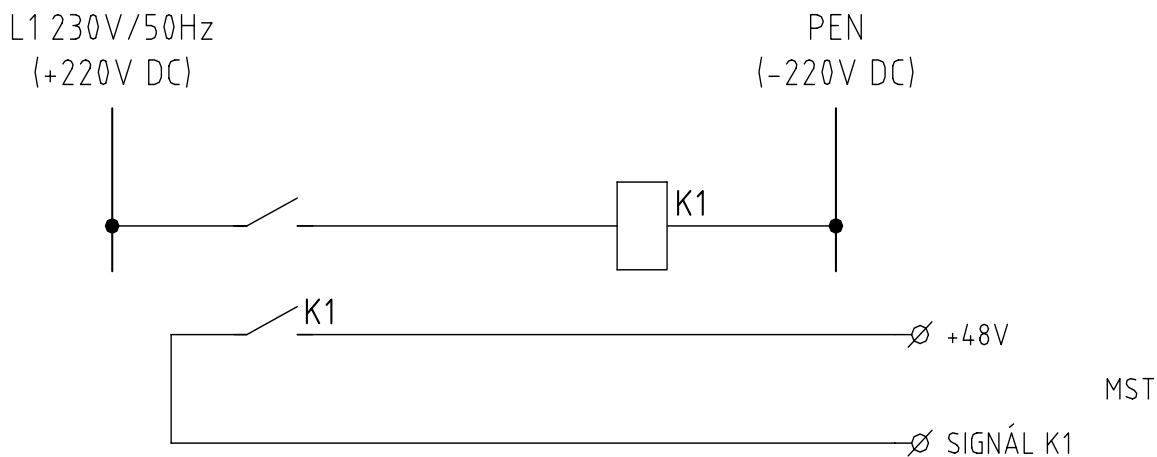
## 5 Návrh optimalizovaného monitorovacího systému

- instalaci je nutno provést tak, aby potrubí a vlastní jednotka nepřekážela při provozu a běžné údržbě a nebyla touto činností ohrožována,
- jednotka nesmí být instalována v místě vzdušného proudu chladicích ventilátorů,
- před jednotkou musí být volný prostor min. 75 cm pro otevření dveří,
- pro připojení analyzátoru k transformátoru je třeba použít potrubí 1/4“ výhradně z nerezové oceli [7].

### 5.8 Sledování ovládacích a signalizačních (dvouhodnotových) obvodů

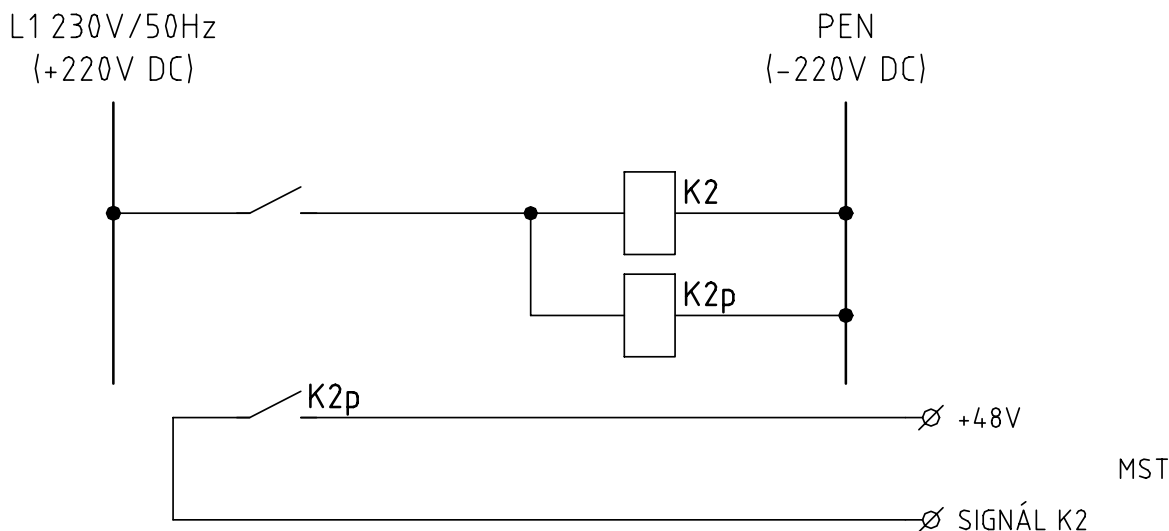
V ovládacích a signalizačních obvodech blokových a odbočkových transformátorů se používá stejnosměrné napěťové soustavy 220 V a střídavé soustavy 3 x 380 V / 220 V. Monitorování jednotlivých prvků ovládacích a signalizačních obvodů je prováděno dvojstavově (kontakt sepnut / rozepnut). Prioritně jsou využity volné (bezpotenciálové) kontakty stávajících prvků (relé, stykače, jističe, kontaktní čidla apod.), na které je přivedeno vzorkovací napětí systému MST 48 V stejnosměrných. V případě, že volný kontakt není k dispozici, je do obvodu přidáno pomocné relé, které kopíruje stav sledovaného prvku [7].

#### Tvorba signálu využívajícího volný kontakt relé K1:



Obr. 18: Tvorba signálu využívajícího volný kontakt relé K1 [7]

**Tvorba signálu s doplněným pomocným relé K2p:**



**Obr. 19: Tvorba signálu s doplněným pomocným relé K2p [7]**

Dodržením zásad, uvedených v předchozích odstavcích, je zajištěna věrohodnost informací o stavu ovládacích obvodů transformátorů v systému MST a na druhé straně je zabráněno ovlivnění správné funkce těchto obvodů ze strany systému MST [7].

**5.9 Odvozené veličiny**

Za odvozené veličiny se považují veličiny, které lze odvodit z veličin získaných měření (např. napětí, proudy, teploty). Odvozené veličiny lze rozdělit na provozní (výkon, účinník, fázový úhel) a diagnostické (změna kapacity průchodky, změna ztrátového činitele). Provozní veličiny samy o sobě nedávají informaci o stavu izolačního systému transformátoru, ale v souvislosti s diagnostickými veličinami mohou poskytnout informaci o změně izolačního systému. Z hlediska výpovědi schopnosti systému MST je četnost ukládání těchto dat u převážné většiny signálů 10 minut [7].

**Fázový úhel, účinník** - měří se fázový úhel mezi napětím a proudem každé fáze na primární i sekundární straně transformátoru. Pro měření fázového úhlu se provede záznam 1 s (50 period) časového průběhu napětí a proudu a z průchodu nulou obou veličin se odečte fázový posuv. Proud je snímán z PTP, napětí pak z PTN nebo z SPP prvků.

**Výkon činný, jalový** - měří se podle vzorce

$$P = 1/T \int u(t)i(t)dt, Q = P \operatorname{tg} \varphi \tag{5-2}$$

**Ztrátový činitel průchodek** - měření ztrátového činitele průchodek transformátorů je snímání časových průběhů napětí z SPP prvku a poskytuje informaci o izolačním stavu dané průchodky. V normálním případě nízkého tg delta u všech průchodek, jsou vstupní a výstupní napětí děličů průchodek ve fázi a fázové úhly mezi napětími musí být 120°. V případě, že dojde

## 5 Návrh optimalizovaného monitorovacího systému

---

k nárůstu ztrátového činitele u jedné průchodky, v záznamech napětí se to projeví změnou dvou ze tří úhlů (třetí zůstává beze změny). Lze tedy touto metodou indikovat změny ztrátového činitele s tím, že výchozí stav se považuje za normální. Přitom zvýšení ztrátového činitele jedné z průchodek se projeví změnou zpožděním příslušného fázového napětí, tzn. že první změněný úhel je větší a druhý v pořadí je o stejný díl menší. V opačném případě lze uvažovat o souběžné identické změně  $\text{tg } \delta$  u dvou průchodek (což lze vyloučit vzhledem k tomu, že jde o nezávislé izolační systémy) nebo o vliv jiných změn.

**Podíly fázových napětí - indikace změn kapacit průchodek.** Stejně tak jako při měření změn ztrátového činitele průchodek, možnost indikace změn kapacit průchodek vyplývá z faktu, že se napětí měří pomocí kapacitních děličů, jejichž horní kapacitor tvoří hlavní kapacita průchodek. Za předpokladu, že rozdíly mezi velikostmi napětí jednotlivých fází se příliš nemění, lze ze změn jejich poměru soudit na měnící se poměr mezi celkovými převodními činiteli měřicích řetězců od průchodek až po digitizér měřicího počítače v jednotlivých fázích. Pokud všechny konstanty měřicích řetězců zachovávají stálost s dostatečně malým celkovým rozptylem během roku, pak lze změny poměru měřených napětí výrazně převyšující rozptyl dvou výše uvedených faktorů přisuzovat změnám poměrů kapacit průchodek v jednotlivých fázích. Stejně jako v předešlém případě, pokud parametry identických měřicích řetězců měřicích napětí jednotlivých fází podléhají stejným změnám na výsledku měření se to neprojeví (chyby měření se eliminují).

**Časové řady a trendy veličin -** Z měřených hodnot se v centrální jednotce CJ systému MOSAD<sup>®</sup>-5 vytvářejí časové řady a automaticky počítají momentální trendy veličin. Zároveň se automaticky porovnávají s nastavenými limitními hodnotami úrovní a vyhledávají alarmy při jejich překročení.

U všech kritériálních hodnot limitních úrovní je možné provádět uživatelské změny nastavení oprávněnými pracovníky správy elektro (přístup přes heslo) bez omezení funkčnosti zbývající části systému MST [7].

**Výpočet nejteplejšího místa vinutí -** K výpočtu je vytvořen digitální model systému transformátoru se vstupními veličinami:

- horní teplota oleje, dolní teplota oleje, teploty na vstupu a výstupu oleje do chladiče, proudy jednotlivými vinutími, trendy změny teplot a trendy změn proudů.

Trend teploty hot spot umožňuje ovládat dynamiku zatěžování a určit limitní dynamiky dočasného přetěžování transformátoru. Tento výpočet je realizován v aplikaci TRAMON.

**Energetická bilance transformátoru -** Tento model transformátoru kontroluje relace mezi výkonem, rozložením teplot oleje v nádobě, teplot oleje v chlazení, teplotami vzduchu na vstupu a výstupu chladiče a venkovní teplotou. Odchytky parametrů od obvyklých relací signalizují změny, které mohou být diagnostikovány jako změna funkce určité části systému (chladič, změna proudění oleje v nádobě apod.) [7].

## 6 Analýza a interpretace dat získaných z provozovaného diagnostického systému

Po nainstalování on-line diagnostického systému transformátorů na blokové a odbočkové transformátory obou bloků jaderné elektrárny Temelín je dat systému MST využíváno především pro provozní kontroly správnosti chování a funkce těchto zařízení a pro analýzy a rozborů přechodových událostí.

**Příklady využití dat ze systému MST jsou v této kapitole uvedeny dva a to:**

- analýza zapínacího rázu při zapnutí blokových a odbočkových transformátorů na 1. bloku elektrárny Temelín dne 19.10.2009 včetně vlivu na chování 2. bloku elektrárny Temelín, který v té době pracoval na nominálním výkonu a dodával do elektrizační soustavy elektrickou energii,
- pravidelná měsíční kontrola archivních analogových dat systému MST v měsíci únoru 2010 – kontrola hodnot obsahu plynů a vlhkosti v oleji transformátorů, kontrola průběhů teplot a vlhkosti, modulu energetické bilance transformátorů atd. [5].

### 6.1 Analýza zapínacího rázu linky 400 kV V051 1. blok – dne 19.10.2009

#### 6.1.1 Teoretický rozbor zapínacího rázu transformátoru

##### Zapínací proud jednofázového transformátoru

Značně velký proud může protékat vinutím transformátoru nejen při zkratech nebo velkých přetíženích, ale za určitých okolností i při zapnutí transformátoru do ES. Teoretický rozbor zapínacího rázu transformátoru budeme demonstrovat na příkladu jednofázového transformátoru za předpokladu, že v okamžiku připojení není výstupní vinutí zatíženo [3].

Jestliže bychom zanedbali činný odpor vstupního vinutí a činnou složku proudu kryjící ztráty v železe, pak by se proud odebíraný transformátorem v ustáleném stavu opožďoval za napětím o úhel  $90^\circ$  [3].

V okamžiku zapnutí transformátoru do ES musí být hodnota proudu rovna nule, nezávisle na okamžité hodnotě napětí v tomto okamžiku. Tato hodnota napětí má rozhodující vliv na další průběh poklesu magnetizačního/zapínacího proudu. Je-li transformátor zapnut v okamžiku, kdy napětí dosáhlo své maximální hodnoty, pak tok v magnetickém obvodu bude procházet nulou, za předpokladu, že magnetický obvod nemá remanenci. Z toho vyplývá, že v tomto případě nastane ustálený stav a vstupním vinutím bude protékat proud kryjící pouze magnetizační ztráty a nedojde ke vzniku stejnosměrné složky proudu [3].



## 6 Analýza a interpretace dat získaných z provozovaného diagnostického systému

Druhým krajním případem je zapnutí v okamžiku, kdy napětí prochází nulou. V ustáleném stavu odpovídá nulové hodnotě napětí maximální hodnota magnetického toku. Za předpokladu, že magnetický obvod nemá remanenci, musí vzniknout stejnosměrná složka, protože magnetický tok v prvním okamžiku musí být rovný nule. Přičtením této stejnosměrné složky k ustálenému průběhu magnetického toku dosáhne maximální hodnota magnetického toku dvojnásobné hodnoty vzhledem k předchozímu případu [3].

Další zvýšení maximální hodnoty magnetického toku může být způsobeno remanentním magnetizmem. Maximální hodnota magnetizačního/zapínacího proudu bude při tak značné hodnotě magnetizačního toku samozřejmě mnohem větší než amplituda proudu v případě připojení transformátoru při maximální hodnotě napětí [3].

Hodnota i polarita remanentního magnetizmu může být obecně různá. Tento magnetický tok může zvětšovat nebo zmenšovat celkový magnetický tok při zapnutí transformátoru [3].

Po určité době, v rozmezí několika desítek až několika tisíc period, stejnosměrná složka magnetického toku zaniká a magnetický tok začíná probíhat sinusově. Doba útlumu stejnosměrné složky závisí mimo jiné na velikosti transformátoru, přičemž delší časy platí pro větší transformátory [3].

Uvedený rozbor magnetizačního/zapínacího rázu transformátoru byl proveden za předpokladu konstantního napětí vstupní strany transformátoru (jeho efektivní hodnoty) a při zanedbání činného odporu vinutí. Tento odpor tlumí stejnosměrnou složku magnetického toku a tím zmenšuje největší možné hodnoty zapínacího proudu [3].

### **Zapínací proud třífázového transformátoru**

U trojfázového transformátoru je analýza průběhu magnetizačního/zapínacího proudu značně obtížnější než u jednofázového transformátoru. Ovlivňují to tyto činitele:

- nesnadnost zjištění hodnoty i smyslu toku remanentního magnetizmu v každém jádře,
- vliv jádra s nasyceným magnetickým obvodem na reaktance zbylých jader,
- závislost průběhu zapínacího proudu na spojení vinutí,
- možnost nestejného časového sepnutí kontaktů vypínače.

Obecně lze konstatovat, že proud tekoucí transformátorem při jeho zapnutí do ES není pro něj nebezpečný – ani z hlediska oteplení, ani z hlediska sil, které mohou vzniknout mezi jednotlivými částmi zapnutého vinutí. Magnetizační/zapínací ráz proudu však může víceméně nepříznivě ovlivnit činnost jisticích a měřicích zařízení [3].

### 6.1.2 Rozbor zapínacího rázu linky 400 kV V051 1. blok

Zapínací ráz linky byl realizován zapnutím vypínače linky 400 kV V051 (1. blok elektrárny Temelín – rozvodna Kočín) v rozvodně Kočín.

Na 1. bloku elektrárny Temelín došlo při zapnutí linky 400 kV V051 současně k uvedení pod napětí tří jednofázových jednotek blokového transformátoru 1AT ( $420/\sqrt{3}$  kV//24 kV) a dvou třífázových odbočkových transformátorů 1BT1 a 1BT2 ( $24 \text{ kV} \pm 4 \times 4\%$ //6,3 kV//6,3 kV). Generátor 1SP byl v té době odfázován (vypnutý generátorový vypínač). Na 2. bloku elektrárny Temelín byla linka 400 kV V052 pod napětím včetně tří jednofázových jednotek blokového transformátoru 2AT ( $420/\sqrt{3}$  kV//24 kV) a dvou třífázových odbočkových transformátorů 2BT1 a 2BT2 ( $24 \text{ kV} \pm 4 \times 4\%$ //6,3 kV//6,3 kV). Generátor 2SP byl v té době přifázován (zapnutý generátorový vypínač) a do elektrizační soustavy dodával cca nominální výkon.

Při zapnutí linky 400 kV V051 včetně tří transformátorových jednofázových jednotek 1AT a odbočkových transformátorů 1BT1 a 1BT2 došlo k vzniku silného magnetizačního rázu a proudové nesymetrie především ve fázi L2. Ve fázi L1 byla odměřena špičková hodnota proudu zapínacího rázu  $-3,3$  kA, ve fázi L2  $+5,7$  kA a ve fázi L3  $-2,8$  kA (měřeno na straně 400 kV). K úplnému odeznění zapínacího proudového rázu došlo až za cca 35 s. Ustálená hodnota proudu v této době dosahovala efektivní hodnoty cca 20 A ve všech třech fázích (tři jednofázové transformátorové jednotky 1AT a odbočkové transformátory 1BT1 a 1BT2 naprázdno). Tuto hodnotu nelze přesněji odečíst, protože je na spodní hranici rozlišení celého měřicího řetězce (převod přístrojového transformátoru proudu, kterými jsou tyto proudy měřeny, je 3000 A//5 A s nadproudovým číslem 5P20).

Průběh okamžitých hodnot proudu zapínacího rázu linky 400 kV V051 se nachází na straně II přílohy č. 1.

Při zapnutí linky 400 kV V051 došlo k zákmitům napětí. V následující Tab. 5 jsou uvedeny naměřené hodnoty zákmitů fázových napětí na straně 400 kV a 24 kV transformátoru 1AT ve všech třech fázích. Hodnoty jsou pro názornost uvedeny jako násobky jmenovitých špičkových fázových hodnot napětí. Průběhy okamžitých hodnot fázových napětí na straně 400 kV a 24 kV jsou měřeny ze snímacích průchodkových prvků SPP, které jsou kmitočtově nezávislé a připojené na diagnostických konektorech průchodek jednotek blokového transformátoru 1AT [5].

**Tab. 5: Naměřené hodnoty zákmitů napětí na straně 400 kV a 24 kV blokového transformátoru 1AT [5]**

Fáze	Zákmit napětí na 400 kV	Zákmit napětí na 24 kV
L1	1,09	1,55
L2	1,08	1,00
L3	1,48	1,45

## 6 Analýza a interpretace dat získaných z provozovaného diagnostického systému

Průběh okamžitých hodnot zámkitů fázových napětí na straně 400 kV a 24 kV blokového transformátoru 1AT při zapínacím rázu linky 400 kV V051 se nachází na straně III přílohy č. 1.

Na straně IV přílohy č. 1 se nachází detail průběhů okamžitých hodnot fázových napětí a proudů blokového transformátoru 1AT na straně 400 kV. Z těchto detailů průběhů okamžitých hodnot fázových napětí a proudů je patrné potvrzení správnosti teoretického rozboru zapínacího rázu transformátoru, který je uveden v kapitole 6.1.1.

Vzniklá velká proudová nesymetrie byla přes rozvodnu 400 kV Kočín přenesena přes linku 400 kV V052 na 2. blok elektrárny Temelín. 2. blok v této době pracoval na nominálním výkonu, dodával do elektrizační soustavy činný výkon 996 MW a jalový výkon  $-9$  MVar. Hodnoty jalových výkonů se znaménkem  $+$  představují výkony dodávané generátorem do elektrizační soustavy (přebuzení generátoru) a hodnoty se znaménkem  $-$  představují výkony odebírané generátorem (podbuzení generátoru) [5].

V okamžiku zapnutí linky 400 kV V051 (zapnutí blokového transformátoru a odbočkových transformátorů na 1. bloku elektrárny Temelín) došlo k poklesu napětí v rozvodně 400 kV Kočín, poklesu napětí na svorkách generátoru 2SP, nárůstu dodávky jalového výkonu generátoru 2SP na hodnotu  $+136$  MVar a poklesu činného výkonu generátoru 2SP na hodnotu 937 MW. Primární regulátor budící soupravy generátoru 2SP ihned reagoval na prudký pokles napětí na svorkách generátoru 2SP přibuzením a za cca 150 ms dochází k postupnému nárůstu svorkového napětí generátoru 2SP, nárůstu činného výkonu generátoru 2SP až na hodnotu 1002 MW a poklesu jalového výkonu generátoru 2SP na hodnotu  $-137$  MVar (způsobeno odeznívajícím zapínacím rázem transformátorových jednotek 1AT). Za cca 5 s od zapnutí linky 400 kV V051 došlo k nárůstu dodávky jalového výkonu generátoru 2SP až na hodnotu  $+285$  MVar. Za cca 30 s od zapnutí linky 400 kV V051 došlo k ustálení parametrů generátoru 2SP na hodnotách činného výkonu 994 MW, jalového výkonu 0 MVar [5].

Průběh okamžitých hodnot proudů blokového transformátoru 2AT na straně 400 kV se nachází na straně V přílohy č. 1. Tyto proudy jsou měřeny na přístrojových transformátorech proudu s převodem 3000 A//5 A a s nadproudovým číslem 5P20. Na stranách IX a X v příloze č. 1 jsou vykresleny průběhy charakteristických veličin rotoru a statoru generátoru 2SP [5].

Při zapnutí linky 400 kV V051 došlo ke vzniku zámkitů napětí, které přes rozvodnu 400 kV Kočín a linku 400 kV V052 přenesly na 2. blok elektrárny Temelín. V následující Tab.6 jsou uvedeny naměřené zámkity napětí na straně 400 kV a 24 kV transformátoru 2AT ve všech třech fázích. Hodnoty jsou pro názornost uvedeny jako násobky jmenovitých špičkových fázových hodnot napětí. Průběhy okamžitých hodnot fázových napětí na straně 400 kV a 24 kV jsou měřeny ze snímacích průchodkových prvků SPP, které jsou kmitočtově nezávislé a připojené na diagnostických konektorech průchodek jednotek blokového transformátoru 2AT [5].

**Tab. 6: Naměřené hodnoty zákmitů napětí na straně 400 kV a 24 kV blokového transformátoru 2AT [5]**

Fáze	Zákmit napětí na 400 kV	Zákmit napětí na 24 kV
L1	1,00	1,04
L2	1,00	1,00
L3	1,30	1,00

Průběh okamžitých hodnot zákmitů napětí na straně 400 kV a 24 kV transformátoru 2AT při zapínacím rázu linky 400 kV V051 se nachází na straně VI přílohy č. 1 [5].

Na straně VII přílohy č. 1 se nachází detail průběhů okamžitých hodnot fázových napětí a proudů blokového transformátoru 2AT na straně 400 kV.

Na straně VIII přílohy č. 1 se nachází průběhy okamžitých hodnot fázových napětí blokových transformátorů 1AT a 2AT na straně 400 kV při zapnutí linky 400 kV V051 z 1. bloku elektrárny Temelín do rozvodny Kočín. Z detailů průběhů napětí je patrný vznik a šíření zákmitů napětí v uzlu Kočín elektrizační soustavy 400 kV.

## 6.2 Kontrola archivních analogových dat systému MST

Pro ukázkou a interpretaci dat získaných ze systému MST na jaderné elektrárně Temelín jsem zvolil některé průběhy archivních analogových dat z odbočkového transformátoru 2BT2 a blokového transformátoru 2AT v měsíci únoru roku 2010.

Na straně II přílohy č. 2 jsou vykresleny časové trendy obsahu vodíku (H<sub>2</sub>), acetylénu (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), oxidu uhelnatého (CO) a vody (H<sub>2</sub>O) v oleji odbočkového transformátoru 2BT2 monitorované systémem MULTITRANS. Naměřené časové trendy obsahu plynů a vlhkosti v oleji tohoto transformátoru nevykazují žádné anomálie co se týče hodnot i vlastních trendů.

Na straně III přílohy č. 2 jsou znázorněny průběhy teploty oleje v horní části nádoby, teploty oleje v horní části přepínače odboček, vstupní a výstupní teplota oleje chladiče odbočkového transformátoru 2BT2 a teplota a vlhkost okolí. V naměřených průbězích teplot oleje odbočkového transformátoru je patrná oscilace teplot v závislosti na zapínání a vypínání ventilátorů chladičích jednotek. Naměřené průběhy teplot a vlhkosti nevykazují žádné anomálie.

Na straně IV přílohy č. 2 jsou vykresleny průběhy rozdílů mezi teplotami získanými měřeními a teplotami vypočtenými modulem energetické bilance jednotky blokového transformátoru 2AT1. Z průběhů diferencí je patrné, že tyto rozdíly nepřekračují hodnotu 10°C, což ukazuje na správnost chování této jednotky blokového transformátoru ve sledovaném období.

Na straně V přílohy č. 2 jsou zobrazeny průběhy efektivních hodnot fázového napětí a proudu ve fázi L1, průběhy činného a jalového výkonu na vyšší straně napětí blokového transformátoru 2AT. Dále jsou zde jen pro ukázkou vykresleny průběhy ztrátového činitele průchodek – fázový úhel mezi fázovými napětími ve fázi L1 a L2 a změn kapacity průchodek –

## 6 Analýza a interpretace dat získaných z provozovaného diagnostického systému

poměr fázových napětí ve fázi L1 a L2. V naměřených průbězích nelze pozorovat žádné anomálie, blokový transformátor byl po celé sledované období nominálně zatížen a jeho funkce byla korektní.

Významy signálu uvedených v přílohách č.1 a č.2 jsou podrobně vysvětleny na úvodních stranách těchto příloh.

### 7 Závěr

V první části jsem se věnoval základním charakteristikám transformátoru obecně jako jsou magnetický a elektrický obvod transformátoru. Celková konstrukce transformátorů je tvořena vlastní nádobou, do které je vložen magnetický a elektrický obvod transformátoru, který je chlazen buď vzduchem nebo olejem. Dalšími částmi jsou konzervátor pro případnou roztažnost transformátorového oleje, jednou z nejdůležitějších částí je chlazení transformátorů, jak již zmíněné chlazení vzduchem nebo olejem. Následně se věnuji konkrétním konstrukčním uspořádáním blokových a odbočkových transformátorů jaderné elektrárny Temelín.

Druhá část byla zaměřena na životnost a poruchy transformátorů a jejich závažnosti. Základním indikátorem životnosti výkonových olejových transformátorů je stav izolačního systému, ten je tvořen minerálním olejem a celulózovým papírem, tedy materiály, které jsou náchylné k degradaci a jejichž stárnutí může značně ohrožovat bezporuchový stav. Faktory, které nejvíce ovlivňují degradaci izolačního systému jsou plyny rozpuštěné v oleji, obsah vlhkosti v oleji, která má vliv na izolační papír, a také samotná teplota při které je transformátor provozován (přetěžování). Limit životnosti transformátorů především závisí na papírové izolaci vinutí, která má nejkratší životnost ze všech konstrukčních dílů.

Důležitá část mé práce je zaměřena na diagnostikované veličiny, jejich měření a výběr nejefektivnějších veličin pro sledování systému. Nezastupitelnou funkcí trvalého monitoringu je i záznam všech dostupných informací v případě poruchy či havárie stroje. Díky těmto informacím by jsme měli být schopni předejít poruchám na ostatních transformátorech. Mezi základní sledované veličiny můžeme zařadit měření napětí a proudů, které nám umožňuje zaznamenávat výpadky napětí popř. dočasná přepětí. Z proudů a napětí pak dopočteme výkony, které jsou důležité pro energetickou bilanci transformátoru a také pro výpočet nejteplejšího místa vinutí. Důležité je monitorování stavu průchodek, které jsou z hlediska poruchy jedním z nejcitlivějších prvků transformátoru. Monitorovací systém v daném složení sleduje trvale částečné výboje v průchodkách transformátoru, změny ztrátového činitele průchodek a změny jejich kapacity. Tyto metody se doplňují a každá může indikovat jiný typ poruchy izolace. Z mého pohledu pro životnost transformátoru je velmi důležité měření plynů a vlhkosti v oleji transformátoru, které zachycuje široký okruh poruch v izolačním systému. Průkopníkem tohoto měření byl systém HYDRAN vyroben kanadskou firmou, nevýhodou bylo jeho zobrazení kombinací čtyřech plynů v jedné hodnotě. Koncem 90. let přišla Firma Kelman se systémem TRANSFIX s novou technologií, která analyzovala plyny včetně vlhkosti každý zvlášť. Dalším systémem pro kontinuální sledování obsahu více plynů v oleji byl systém C202-6 Cantronic, který je velice podobný systému TRANSFIX, ale jeho hlavní nevýhodou je menší rozsah měření a nutnosti trvalého připojení tlakové lahve s vysoce čistým dusíkem. V neposlední řadě je důležité měření teplot na různých místech nádoby nejen pro výpočet nejteplejšího místa vinutí, ale i pro informaci o správném proudění oleje. Nejteplejší místo vinutí je podstatným parametrem při zatěžování transformátoru. Měření teplot v chladicím systému je nutné při hlídání tepelné a energetické bilance transformátoru, který je součástí monitoru. Jakákoliv odchylka může znamenat poruchu nebo ztrátu účinnosti chlazení. Kontrola stavových veličin a

z nich veličin odvozených (chod čerpadel, ventilátorů apod.) je důležitá pro sledování opotřebení zařízení a pro plán údržby. Druhým důvodem je sledování komplexního stavu zařízení (energetické bilance, výpadky zařízení atd.)

Praktická část je zaměřena na vhodný výběr monitorovacího systému. Na základě získaných informací o možných diagnostikovaných veličinách, které jsou zmíněny v předešlé kapitole a v neposlední řadě i požadavků zákazníka ČEZ a.s. jsme navrhovali on-line monitorovací systém transformátorů MST. Systém je zvolen jako decentralizovaný a modulární což znamená že při poruše jedné komponenty není ohrožena funkčnost celého systému. Z toho vyplývá i snazší rozšíření v případě potřeby a servisních zákroků bez vlivu na ostatní komponenty. Struktura systému se skládá z části sběru komunikačních dat a z části sběru dvouhodnotových a analogových dat. Měřicí části jsou složeny z instrumentací připojených k transformátorům, měřicí skříně se vstupními jednotkami měřících ústředí a vstupními moduly pro měření teplot a vlhkosti a pro jejich zpracování procesorovými jednotkami. Instrumentaci na transformátorech tvoří analyzátor plynů v oleji MULTITRANS, teploměry pro měření teploty oleje a teploty vzduchu, speciální průchodkových snímacích prvků na straně vyššího a na straně nižšího napětí transformátoru a obvodů pro měření pracovních proudů a napětí transformátoru, generátoru a pracovních přívodů pro vlastní spotřebu výrobního bloku.

V závěrečné části mé práce je uvedena analýza získaných dat pomocí monitorovacího systému MST. Uvedeny jsou zde jen dva příklady pro názornou ukázkou funkce systému. První příklad je zapínací ráz při zapnutí blokových a odbočkových transformátorů na 1.bloku elektrárny Temelín včetně vlivu na chování zařízení 2. bloku, který v době spouštění pracoval na nominálním výkonu a dodával do elektrizační soustavy elektrickou energii. Druhý příklad je z pravidelné měsíční kontroly archivních analogových dat systému MST, která obsahuje vlhkosti a plyny rozpuštěné v oleji, kontrolu teplot a vlhkosti a modul energetické bilance transformátorů. Všechny příklady jsou popsány v bodě šest mé práce a graficky znázorněny v přílohách č. 1 a 2.

Přínos této diplomové práce vidím především v návrhu a následné realizaci monitorovacího systému transformátorů, který významně přispívá k prodloužení životnosti transformátorů a slouží i k případnému poučení se z chyb, které mohou vznikat při provozu transformátoru. Poměrně vysoké pořizovací náklady tohoto monitorovacího systému ho předurčují pro nasazení především na velké transformátory výrobních elektrárenských bloků, u kterých v případě jejich poruchy dochází k velkým finančním ztrátám způsobeným nedodávkou elektrické energie do elektrizační soustavy a koncovému zákazníkovi.

## 8 Použitá literatura

- [1] CIGÁNEK, Ladislav. *Stavba elektrických strojů*. 1. vydání. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, n.p., 1958. 716 s.
- [2] CHEMIŠINEC, Igor ; PROCHÁZKA, Radek. Life management jako nástroj k prodloužení životnosti výkonových transformátorů. In *Česká energetika*, 2008 [cit. 2010-04-12]. Dostupné z WWW:<[http://www.ceskaenergetika.cz/nezarazene\\_clanky/life\\_management\\_jako\\_nastroj\\_k\\_prodlouzeni\\_zivotnosti.html](http://www.ceskaenergetika.cz/nezarazene_clanky/life_management_jako_nastroj_k_prodlouzeni_zivotnosti.html)>.
- [3] JEZERSKI, Eugeniusz; HASTERMAN, Zygmunt. *Transformátory*. Warszawa : Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1975. 448 s.
- [4] KOHOUT, Pavel. *Elektrozařízení JE Temelín : Učební texty pro přípravu personálu JEZ*. Brno, 1996. 137 s.
- [5] MAREČEK, Oto. *ANALÝZA ZAPÍNACÍCH RÁZŮ LINKY 400 kV V051 1. BLOK – KOČÍN (TRANSFORMÁTORY IAT, IBT1 A IBT2)* TES s.r.o. Pražská 597 674 01 Třebíč, 2009. 10+27 s. Archivní číslo: TES-Z-09-160.
- [6] *Power-Energo, s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2010-04-12]. Olejové transformátory. Dostupné z WWW: <<http://www.power-energo.cz/olejove-technologie.php>>.
- [7] ŠINDLER, Petr. *STUDIE-Monitorovací systém transformátorů pro lokalitu EDU a pro lokalitu ETE-Technická zpráva*. JE/PJ. [s.l.] : ŠKODA PRAHA, 2005. 131+7 s. archivační číslo: Jc 48 740 Zp.
- [8] VIKTORA, Jan; KŘEHLÍK, Karel; MAYER, Ladislav. *TECHNICKÁ ZPRÁVA 10863 – Kontinuální monitorovací systém transformátorů na 1. bloku ETE DPS 1.40G*. [s.l.] : I & C Energo a.s. Pražská 684/49 674 01 TŘEBÍČ a TES s.r.o. Pražská 597 674 01 Třebíč, 2009. 132 s. Archivní číslo: ZT08235/01.



## 9 Seznam použitých obrázků, tabulek a rovnic

### Obrázky

OBR. 1: PŘEHLEDOVÉ SCHÉMA VYVEDENÍ VÝKONU 1.(2.) BLOKU ETE [7].....	- 5 -
OBR. 2: ČIDLO VLHKOSTI OLEJE SYSTÉMU HYDRAN M2 [7].....	- 20 -
OBR. 3: ČIDLO OBSAHU ACETYLENU A VLHKOSTI OLEJE SYSTÉMU HYDRAN M2 [7].....	- 20 -
OBR. 4: PRINCIP FOTOAKUSTICKÉ SPEKTROSKOPIE [7].....	- 22 -
OBR. 5: ŘEZ MODULEM PGA [7].....	- 23 -
OBR. 6: UKÁZKA ČASOVÉHO PRŮBĚHU OBSAHU PLYNŮ V PROGRAMU TRANSCom [7].....	- 25 -
OBR. 7: SKŘÍŇ MONITORU , JEJÍ UMÍSTĚNÍ A PŘIPOJENÍ [2].....	- 26 -
OBR. 8: SYSTÉM C202-6 CANTRONIC [7].....	- 27 -
OBR. 9: STRUKTURA SYSTÉMU MST PRO OBA BLOKY JADERNÉ ELEKTRÁRNY TEMELÍN [8].....	- 34 -
OBR. 10: ANALOGOVÝ TRIGGER [8].....	- 40 -
OBR. 11: MĚŘENÍ NAPĚTÍ, PŘEPĚTÍ A ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ Z KAPACITNÍCH PRŮCHODEK [7].....	- 44 -
OBR. 12: TVORBA NAPĚŤOVÉHO SIGNÁLU Z PTN [7].....	- 46 -
OBR. 13: TVORBA PROUDOVÉHO SIGNÁLU Z PTP [7].....	- 47 -
OBR. 14: PRINCIP PŘEVODNÍKU TEPLOTA-NAPĚTÍ S IZOLOVANÝM VÝSTUPEM [7].....	- 49 -
OBR. 15: ANALYZÁTOR PLYNŮ TRANSFIX [7].....	- 50 -
OBR. 16: MOŽNÉ KONFIGURACE PŘIPOJENÍ ANALYZÁTORU TRANSFIX [7].....	- 51 -
OBR. 17: VHODNOST VYUŽITÍ JEDNOTLIVÝCH VENTILŮ POUŽÍVANÝCH NA TRANSFORMÁTORECH [7]....	- 51 -
OBR. 18: TVORBA SIGNÁLU VYUŽÍVAJÍCÍHO VOLNÝ KONTAKT RELÉ K1 [7].....	- 53 -
OBR. 19: TVORBA SIGNÁLU S DOPLNĚNÝM POMOCNÝM RELÉ K2P [7].....	- 54 -

### Tabulky

TAB. 1: MOŽNOSTÍ NASTAVENÍ ALARMŮ U SYSTÉMU TRANSFIX [7].....	- 24 -
TAB. 2: INDIKOVANÉ PLYNY, CITLIVOSTI, ROZSAHY A PŘESNOSTI MĚŘENÍ [7].....	- 27 -
TAB. 3: ZÁKLADNÍ PARAMETRY ANALOGOVÉHO MODULU [8].....	- 40 -
TAB. 4: ZÁKLADNÍ PARAMETRY DVOUHODNOTOVÉHO MODULU [7].....	- 43 -
TAB. 5: NAMĚŘENÉ HODNOTY ZÁKMITŮ NAPĚTÍ NA STRANĚ 400 kV A 24 kV BLOKOVÉHO TRANSFORMÁTORU 1AT [5].....	- 58 -
TAB. 6: NAMĚŘENÉ HODNOTY ZÁKMITŮ NAPĚTÍ NA STRANĚ 400 kV A 24 kV BLOKOVÉHO TRANSFORMÁTORU 2AT [5].....	- 60 -

### Rovnice

ČÍSELNÝ ÚDAJ SLOŽENÍ PLYNŮ (4-1).....	- 19 -
ZKOUŠKA RÁZOVÉHO NAPĚTÍ (5-1).....	- 44 -
VÝPOČTY VÝKONŮ (5-2).....	- 54 -

## **10 Seznam příloh**

Příloha č.1: Seznam použitých označení I

Příloha č.2: Seznam použitých označení II

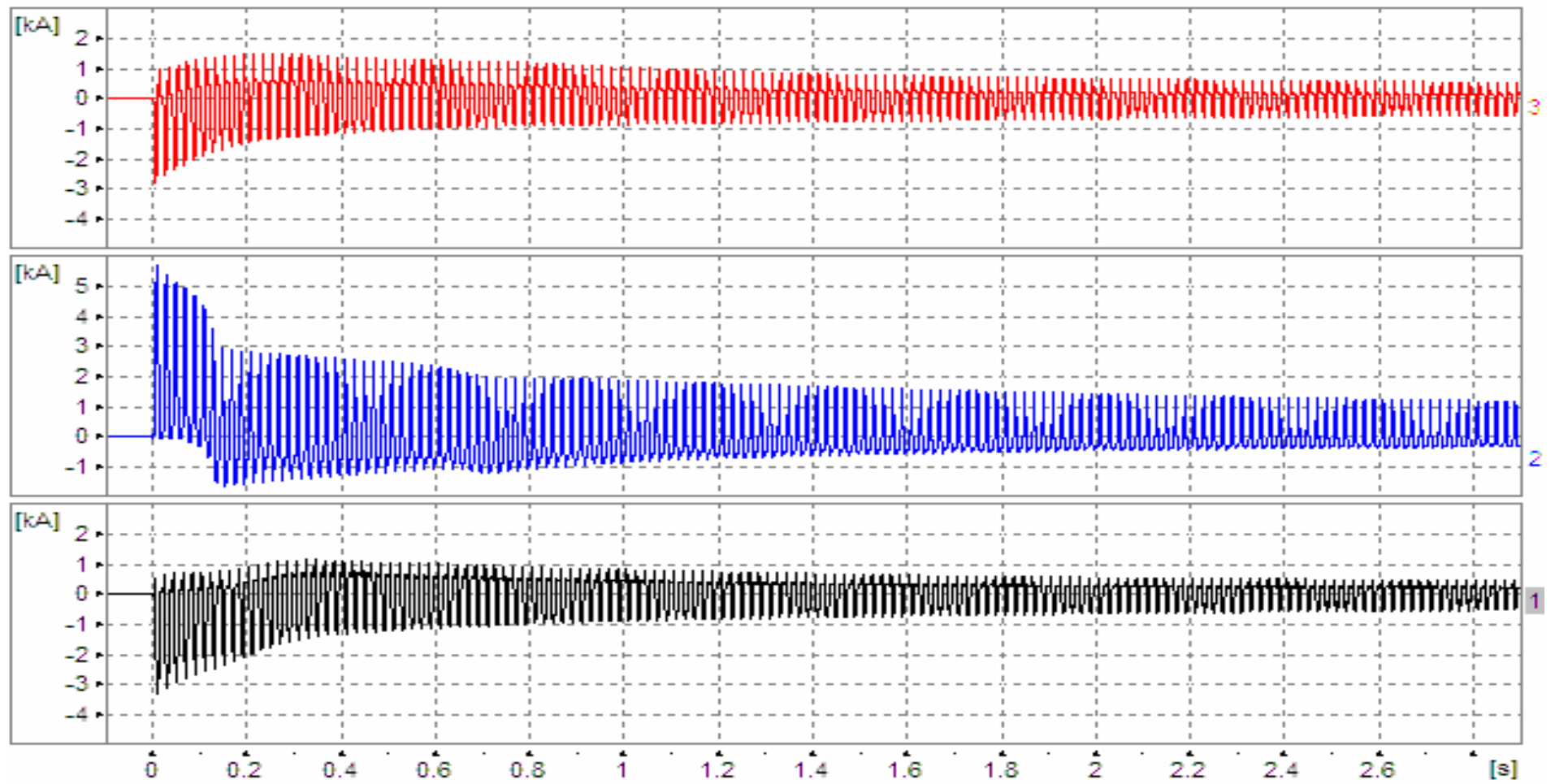
## Příloha č. 1

Seznam použitých označení I

Označení	Popis analogové veličiny	Měřicí systém
1AT 1-IL1	Proud transformátorem 1AT na straně 400 kV – fáze L1	MST
1AT 1-IL2	Proud transformátorem 1AT na straně 400 kV – fáze L2	MST
1AT 1-IL3	Proud transformátorem 1AT na straně 400 kV – fáze L3	MST
MST-1AT-VVN->UL1	Přepětí transformátoru 1AT na straně 400 kV – fáze L1	MST
MST-1AT-VVN->UL2	Přepětí transformátoru 1AT na straně 400 kV – fáze L2	MST
MST-1AT-VVN->UL3	Přepětí transformátoru 1AT na straně 400 kV – fáze L3	MST
MST-1AT-VN->UL1	Přepětí transformátoru 1AT na straně 24 kV – fáze L1	MST
MST-1AT-VN->UL2	Přepětí transformátoru 1AT na straně 24 kV – fáze L2	MST
MST-1AT-VN->UL3	Přepětí transformátoru 1AT na straně 24 kV – fáze L3	MST
2AT 1-IL1	Proud transformátorem 2AT na straně 400 kV – fáze L1	MST
2AT 1-IL2	Proud transformátorem 2AT na straně 400 kV – fáze L2	MST
2AT 1-IL3	Proud transformátorem 2AT na straně 400 kV – fáze L3	MST
2SP-Ib	Budicí proud generátoru 2SP	MOSAD <sup>®</sup> -5
2SP-Ub	Budicí napětí generátoru 2SP	MOSAD <sup>®</sup> -5
2SP-IL1	Statorový proud generátoru 2SP – fáze L1	MOSAD <sup>®</sup> -5
2SP-UL1	Fázové statorové napětí generátoru 2SP – fáze L1	MOSAD <sup>®</sup> -5
MST-2AT-VVN->UL1	Přepětí transformátoru 2AT na straně 400 kV – fáze L1	MST
MST-2AT-VVN->UL2	Přepětí transformátoru 2AT na straně 400 kV – fáze L2	MST
MST-2AT-VVN->UL3	Přepětí transformátoru 2AT na straně 400 kV – fáze L3	MST
MST-2AT-VN->UL1	Přepětí transformátoru 2AT na straně 24 kV – fáze L1	MST
MST-2AT-VN->UL2	Přepětí transformátoru 2AT na straně 24 kV – fáze L2	MST
MST-2AT-VN->UL3	Přepětí transformátoru 2AT na straně 24 kV – fáze L3	MST

### Zapínací ráz linky 400 kV V051 1. blok - Kočín (transf. 1AT, 1BT1 a 1BT2)

1. blok 19.10.2009 22:35:05.121



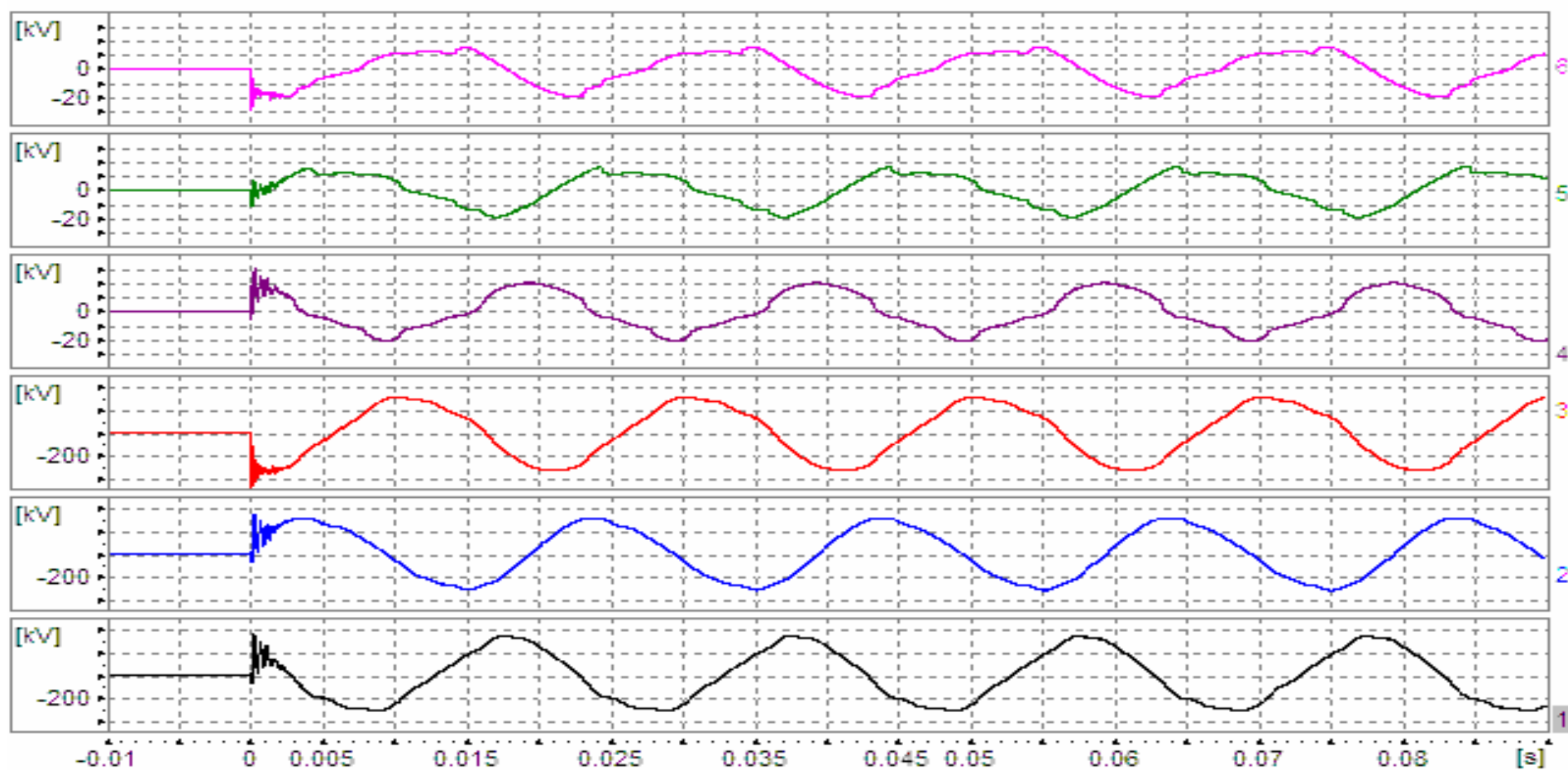
1. 1AT 1-IL1

2. 1AT 1-IL2

3. 1AT 1-IL3

### Zapínací ráz linky 400 kV V051 1. blok - Kočín (transf. 1AT, 1BT1 a 1BT2)

1. blok 19.10.2009 22:35:05.121

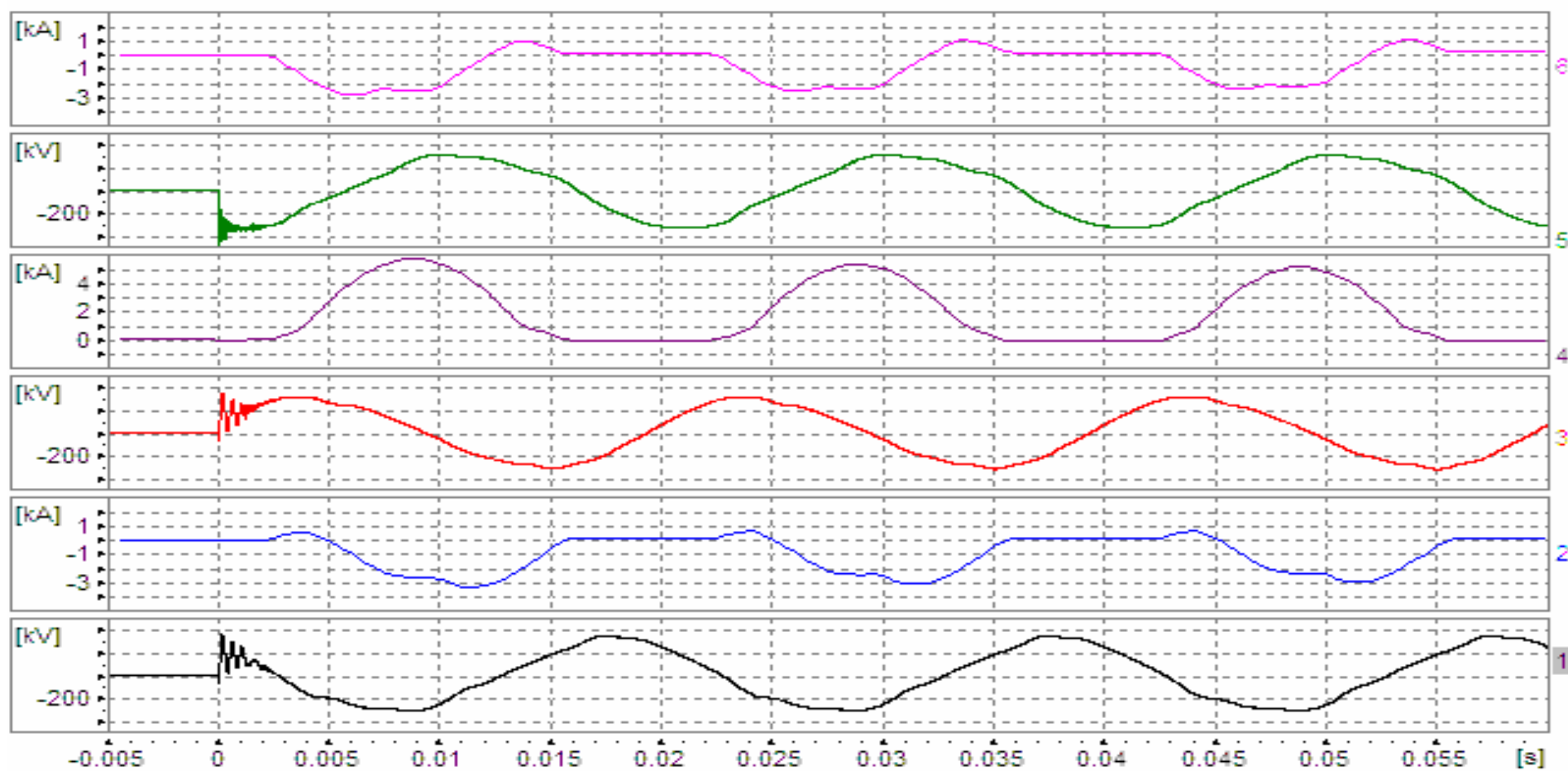


1. MST-1AT-VVN->UL1  
2. MST-1AT-VVN->UL2  
3. MST-1AT-VVN->UL3

4. MST-1AT-VN->UL1  
5. MST-1AT-VN->UL2  
6. MST-1AT-VN->UL3

### Zapínací ráz linky 400 kV V051 1. blok - Kočín (transf. 1AT, 1BT1 a 1BT2)

1. blok 19.10.2009 22:35:05.121



1. MST-1AT-VVN->UL1

2. 1AT 1-IL1

3. MST-1AT-VVN->UL2

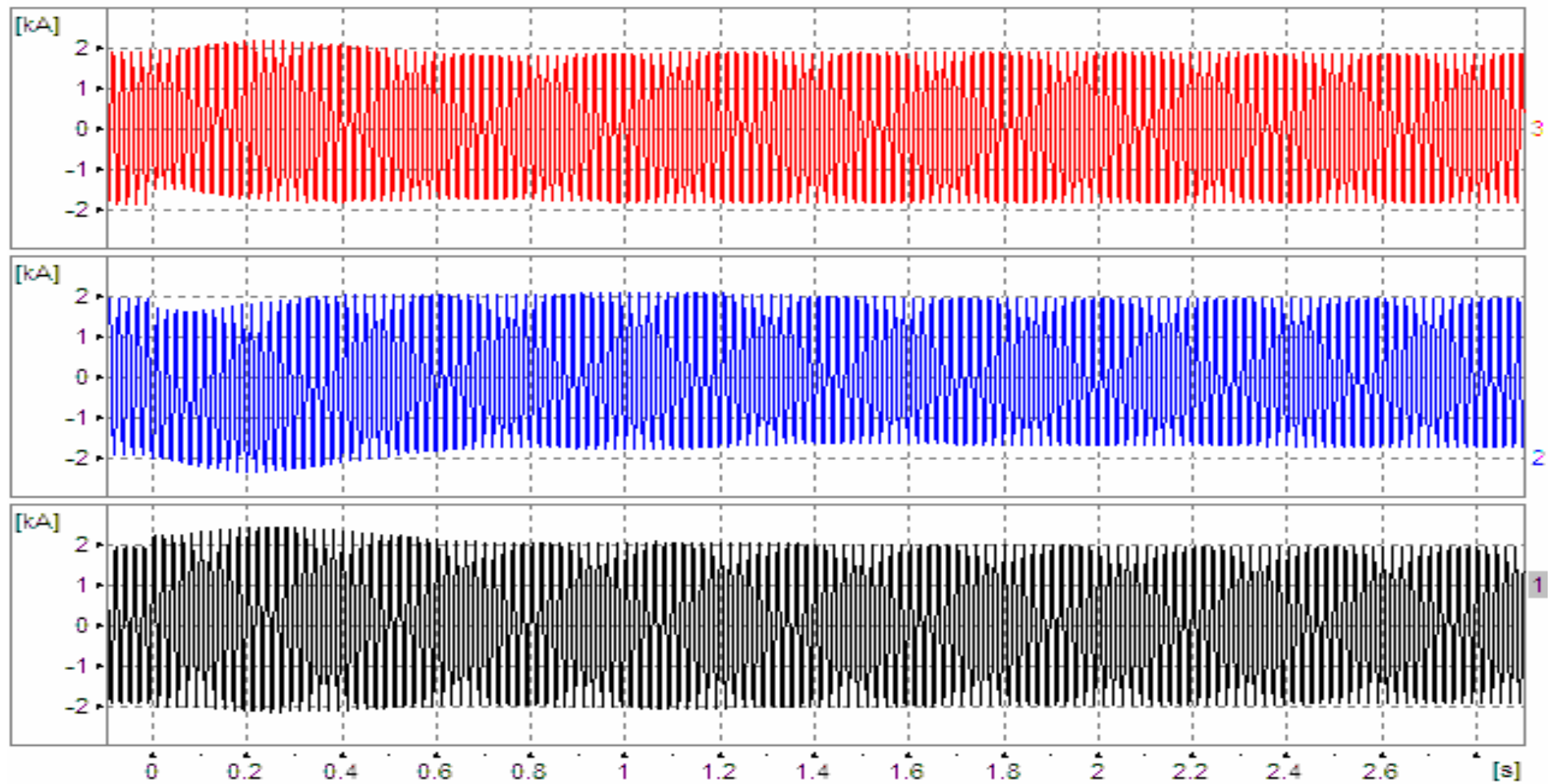
4. 1AT 1-IL2

5. MST-1AT-VVN->UL3

6. 1AT 1-IL3

### Zapínací ráz linky 400 kV V051 1. blok - Kočín (transf. 1AT, 1BT1 a 1BT2)

2. blok 19.10.2009 22:35:05.121



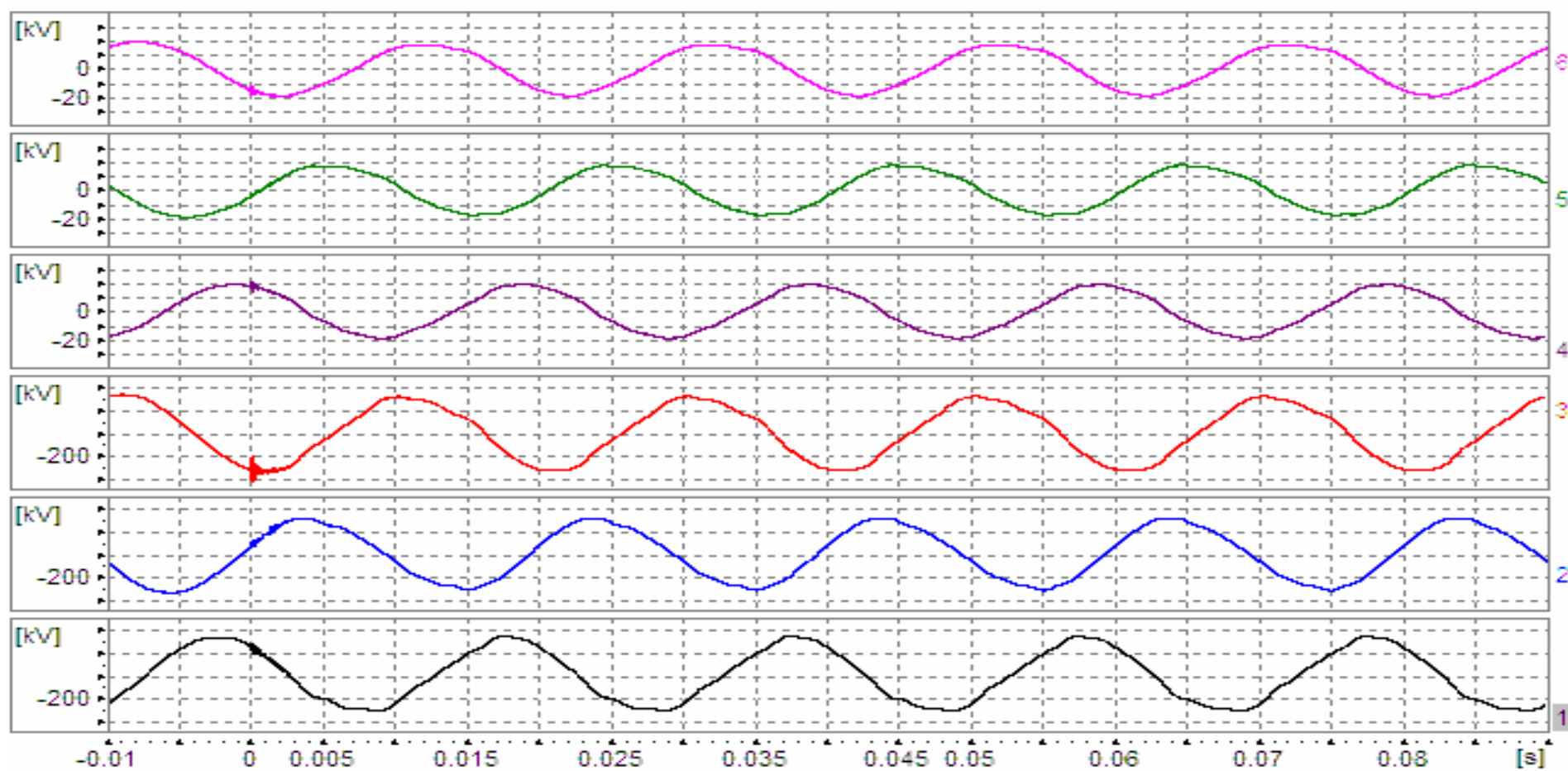
1. 2AT 1-IL1

2. 2AT 1-IL2

3. 2AT 1-IL3

### Zapínací ráz linky 400 kV V051 1. blok - Kočín (transf. 1AT, 1BT1 a 1BT2)

2. blok 19.10.2009 22:35:05.121



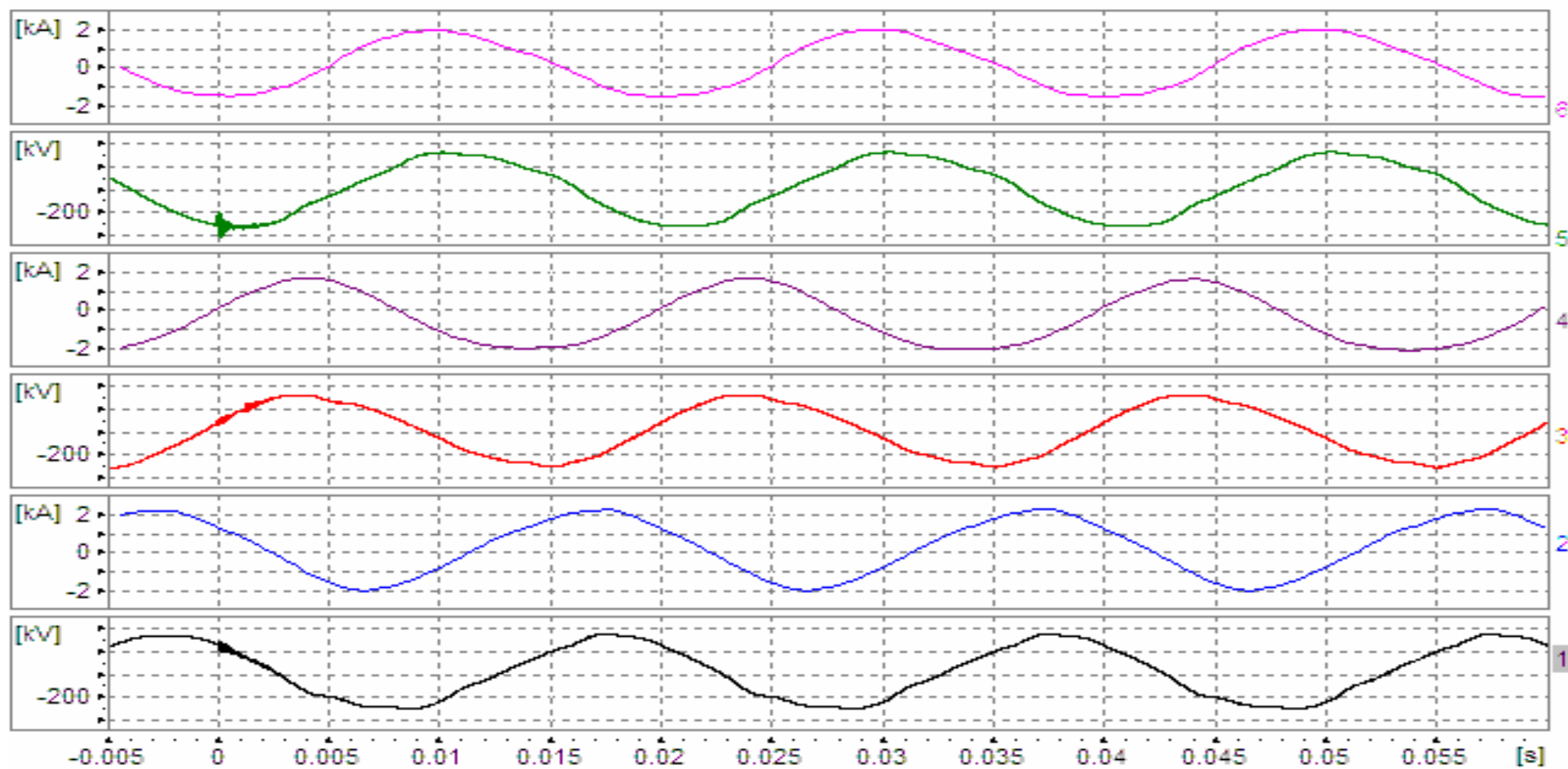
1. MST-2AT-VVN->UL1  
2. MST-2AT-VVN->UL2  
3. MST-2AT-VVN->UL3

4. MST-2AT-VN->UL1  
5. MST-2AT-VN->UL2  
6. MST-2AT-VN->UL3



### Zapínací ráz linky 400 kV V051 1. blok - Kočín (transf. 1AT, 1BT1 a 1BT2)

2. blok 19.10.2009 22:35:05.121



1. MST-2AT-VVN->UL1

2. 2AT 1-IL1

3. MST-2AT-VVN->UL2

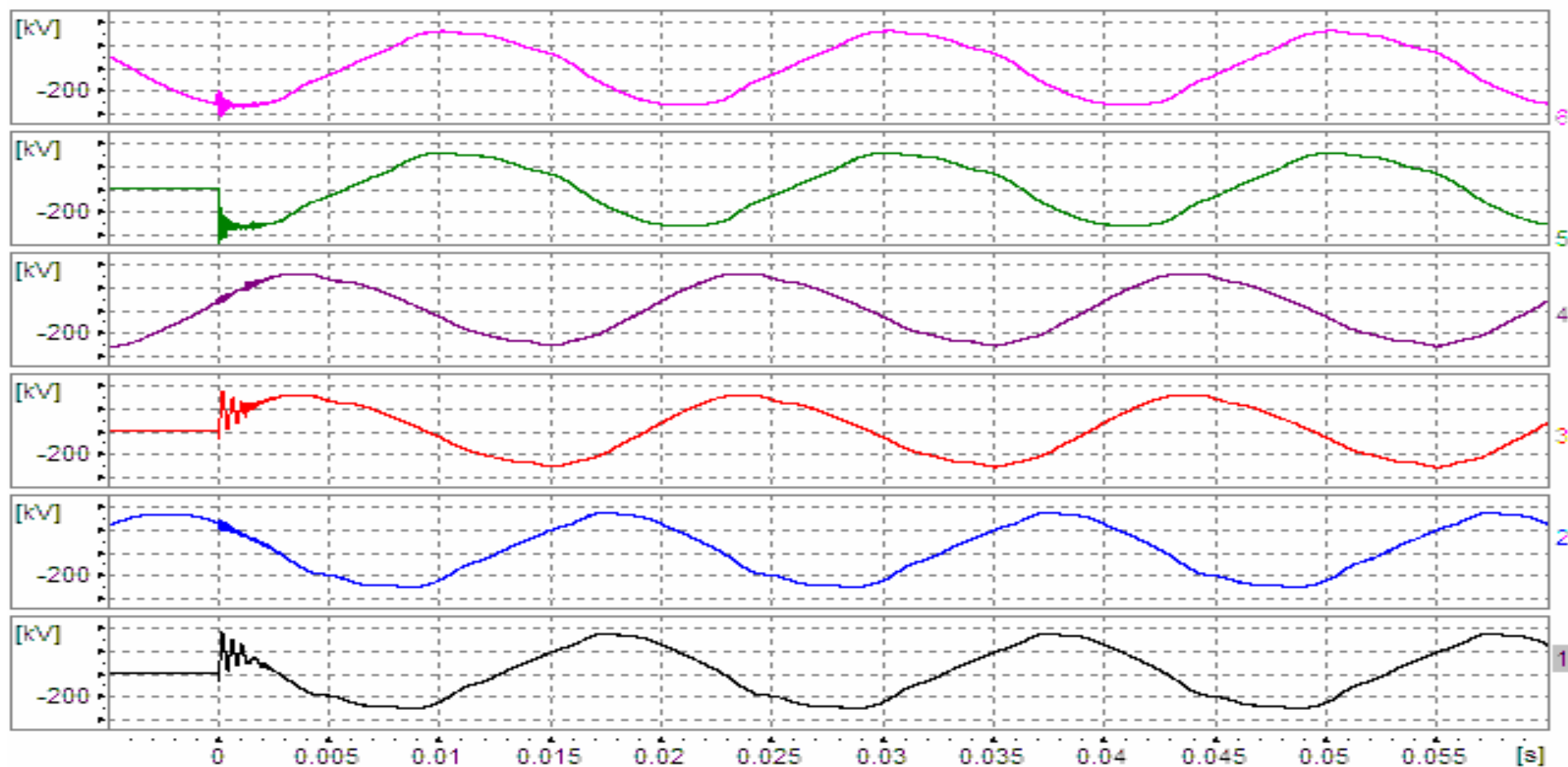
4. 2AT 1-IL2

5. MST-2AT-VVN->UL3

6. 2AT 1-IL3

### Zapínací ráz linky 400 kV V051 1. blok - Kočín (transf. 1AT, 1BT1 a 1BT2)

1. a 2. blok 19.10.2009 22:35:05.121

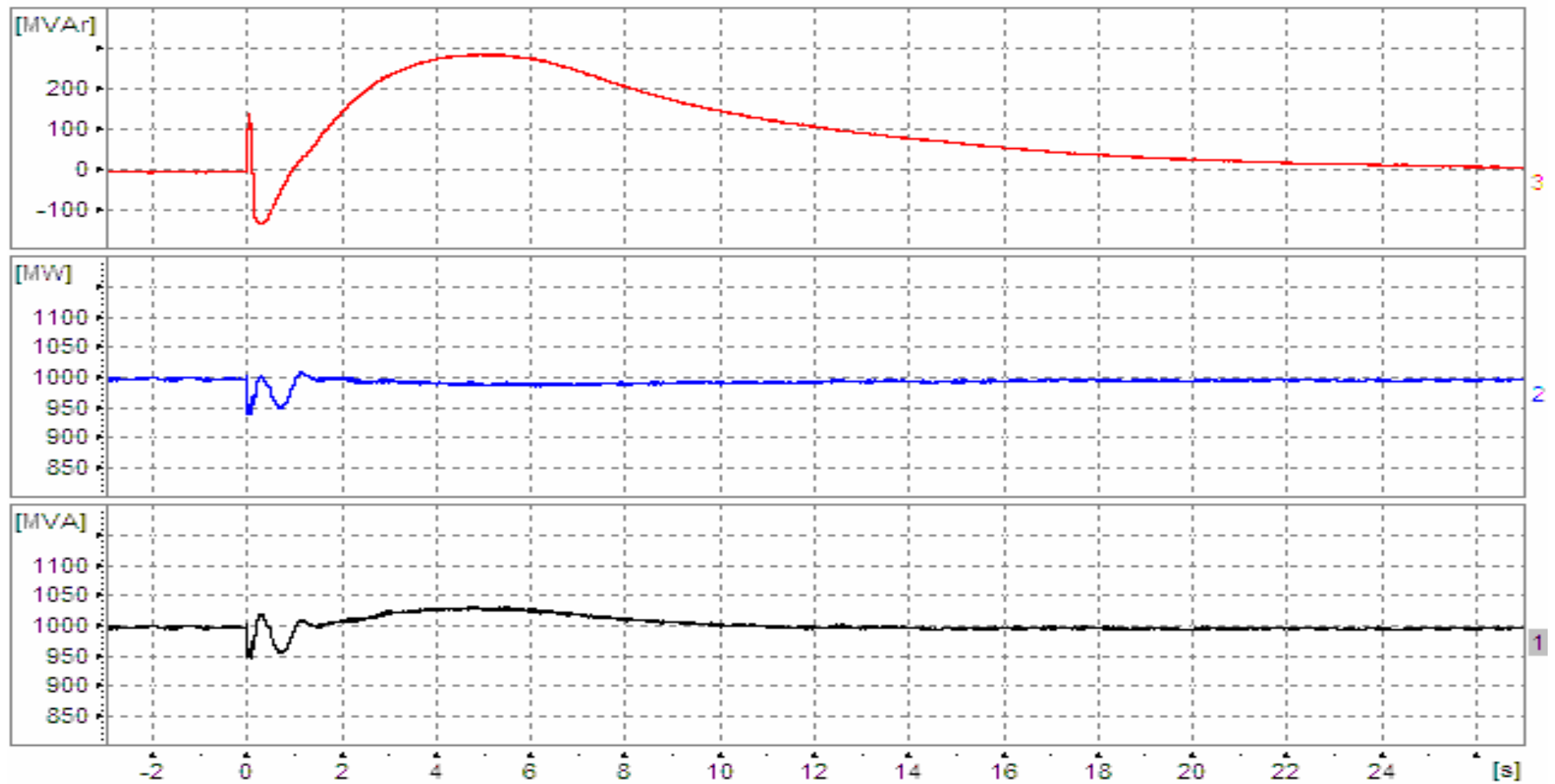


1. MST-1AT-VVN->UL1  
2. MST-2AT-VVN->UL1  
3. MST-1AT-VVN->UL2

4. MST-2AT-VVN->UL2  
5. MST-1AT-VVN->UL3  
6. MST-2AT-VVN->UL3

### Zapínací ráz linky 400 kV V051 1. blok - Kočín (transf. 1AT, 1BT1 a 1BT2)

2. blok 19.10.2009 22:35:05.121



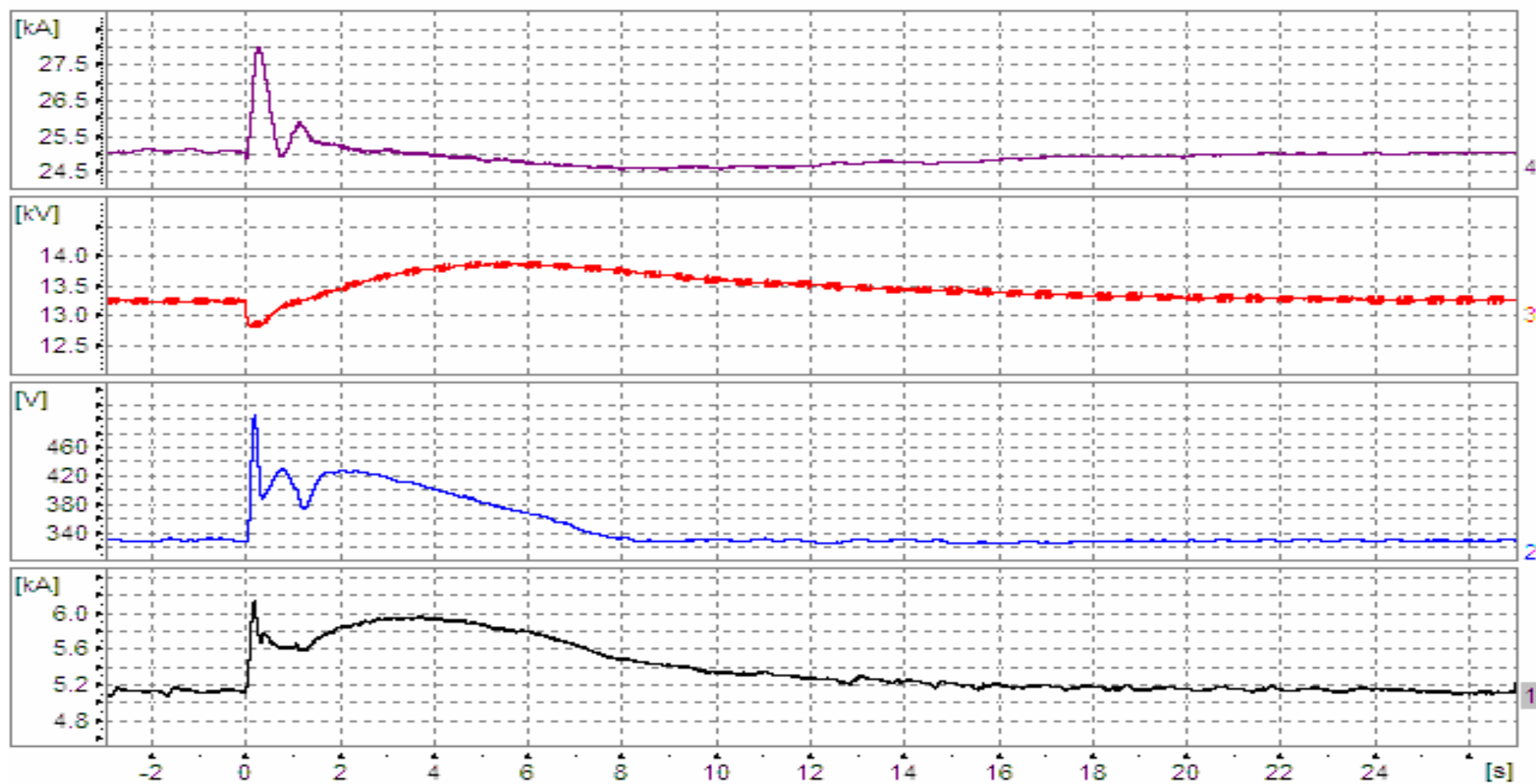
1. Zdánlivý výkon 2SP

2. Činný výkon 2SP

3. Jalový výkon 2SP

### Zapínací ráz linky 400 kV V051 1. blok - Kočín (transf. 1AT, 1BT1 a 1BT2)

2. blok 19.10.2009 22:35:05.121



1. 2SP-lb  
2. 2SP-Ub

3. 2SP-UL1 - efektivní hodnota  
4. 2SP-IL1 - efektivní hodnota

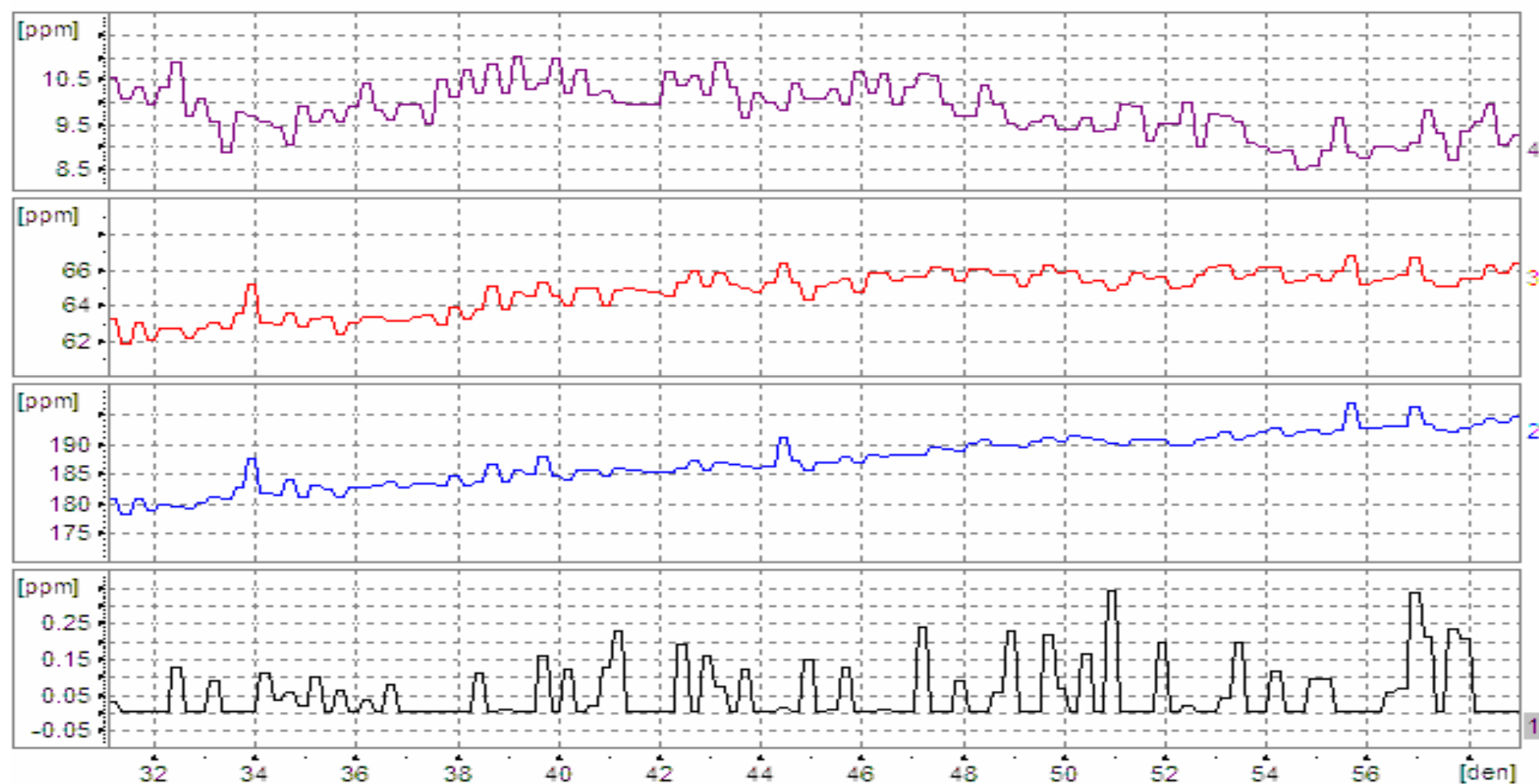
## Příloha č. 2

Seznam použitých označení II

Označení	Popis analogové veličiny	Měřicí systém
MST-2BT2-C2H2	Koncentrace acetylenu rozpuštěného v oleji odbočkového transformátoru 2BT2	MST
MST-2BT2-CO	Koncentrace oxidu uhelnatého rozpuštěného v oleji odbočkového transformátoru 2BT2	MST
MST-2BT2-H2	Koncentrace vodíku rozpuštěného v oleji odbočkového transformátoru 2BT2	MST
MST-2BT2-H2O	Vlhkost v oleji odbočkového transformátoru 2BT2	MST
MST-2BT2-T01-OIL-COVER1	Teplota oleje v horní části odbočkového transformátoru 2BT2 nad vinutím fáze L1	MST
MST-2BT2-T05-OIL-SWITCH1	Teplota oleje nad regulací přepínače odboček fáze L1 odbočkového transformátoru 2BT2	MST
MST-2BT2-T08-OIL-IN1	Teplota vstupního oleje do chladiče č.1. odbočkového transformátoru 2BT2	MST
MST-2BT2-T09-OIL-OUT1	Teplota výstupního oleje z chladiče č.1 odbočkového transformátoru 2BT2	MST
MST-2-T-OIL-OUT	Teplota okolí transformátoru na druhém bloku jaderné elektrárny Temelín	MST
MST-2-H2O-OUT	Relativní vlhkost okolí transformátoru na druhém bloku jaderné elektrárny Temelín	MST
MST-2AT1-T-MX1-1-DIF	Rozdíl měřené a vypočtené teploty oleje na výstupu z chladiče č.1. MX1 jednotky blokového transformátoru 2AT1.	MST
MST-2AT1-T-MX2-1-DIF	Rozdíl měřené a vypočtené teploty oleje na výstupu z chladiče č.1. MX2 jednotky blokového transformátoru 2AT1	MST
MST-2AT1-T-OIL-DIF	Rozdíl měřené a vypočtené teploty oleje na výstupu z jednotky blokového transformátoru 2AT1	MST
MST-2AT-VVN-UL1ef	Efektivní hodnota fázového napětí blokového transformátoru 2AT na straně vyššího napětí - fáze L1	MST
MST-2AT-IL-1ef	Efektivní hodnota proudu blokového transformátoru 2AT na straně vyššího napětí - fáze L1	MST
MST-2AT-P-VVN	Činný výkon blokového transformátoru 2AT na straně vyššího napětí	MST
MST-2AT-Q-VVN	Jalový výkon blokového transformátoru 2AT na straně vyššího napětí	MST
DELTA-VVN-UL1-L2	Fázový úhel mezi napětími blokového transformátoru 2AT na straně vyššího napětí – fáze L1 a L2	MST
MST-2AT-VVN-Cr12	Relativní kapacita průchodky blokového transformátoru 2AT na straně vyššího napětí získaná poměrem UL1ef/UL2ef	MST

### Data z archivu MOSAD-5

od: 01.02.2010 00:00:00 do: 28.02.2010 23:59:59 MULTITRANS 2BT1,2



1. MST-2BT2-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>

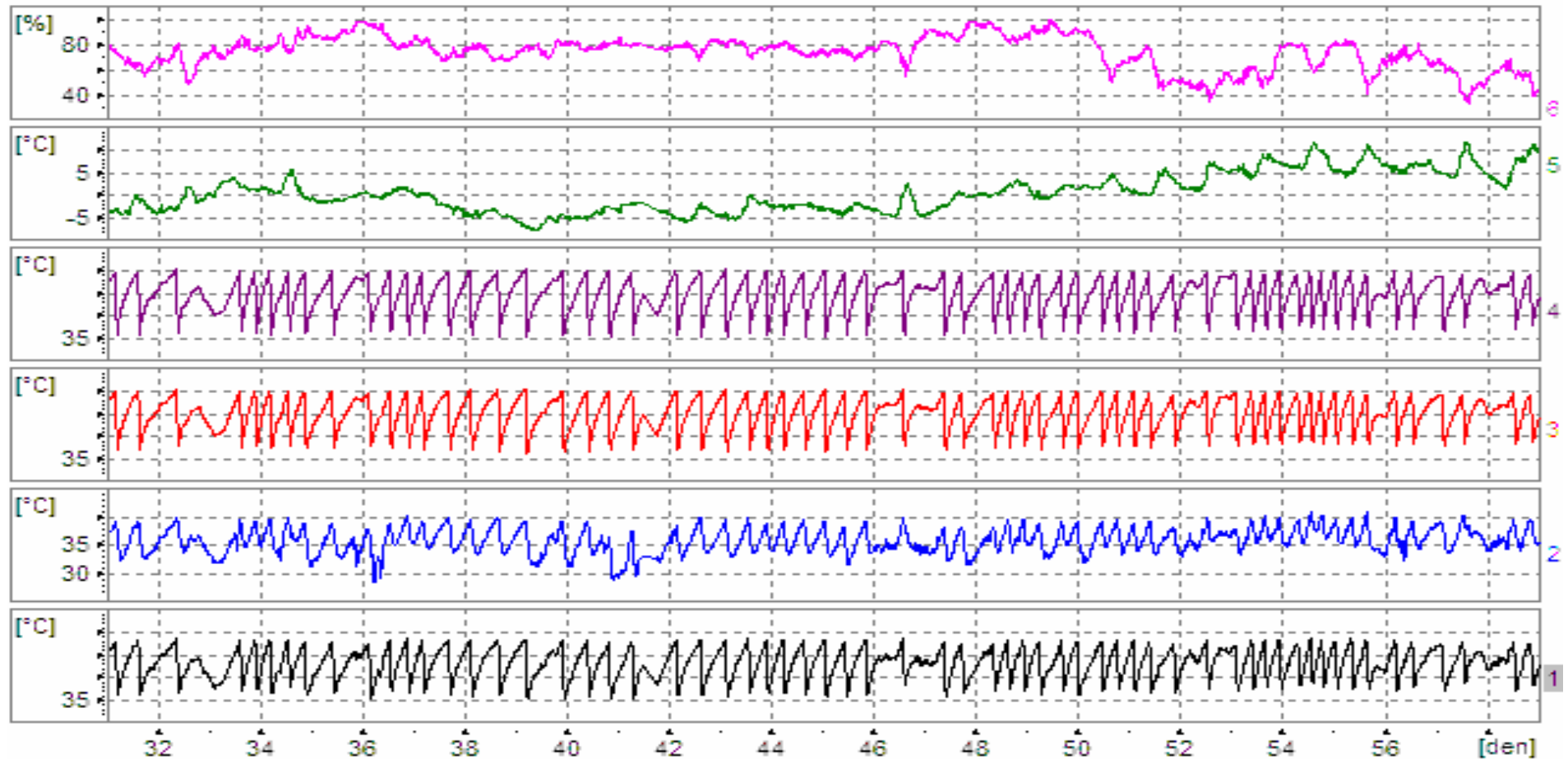
2. MST-2BT2-CO

3. MST-2BT2-H<sub>2</sub>

4. MST-2BT2-H<sub>2</sub>O

### Data z archivu MOSAD-5

od: 01.02.2010 00:00:00 do: 28.02.2010 23:59:59 2BT2 - teploty a vlhkosti



1. MST-2BT2-T01-OIL-COVER1

2. MST-2BT2-T05-OIL-SWITCH1

3. MST-2BT2-T08-OIL-IN1

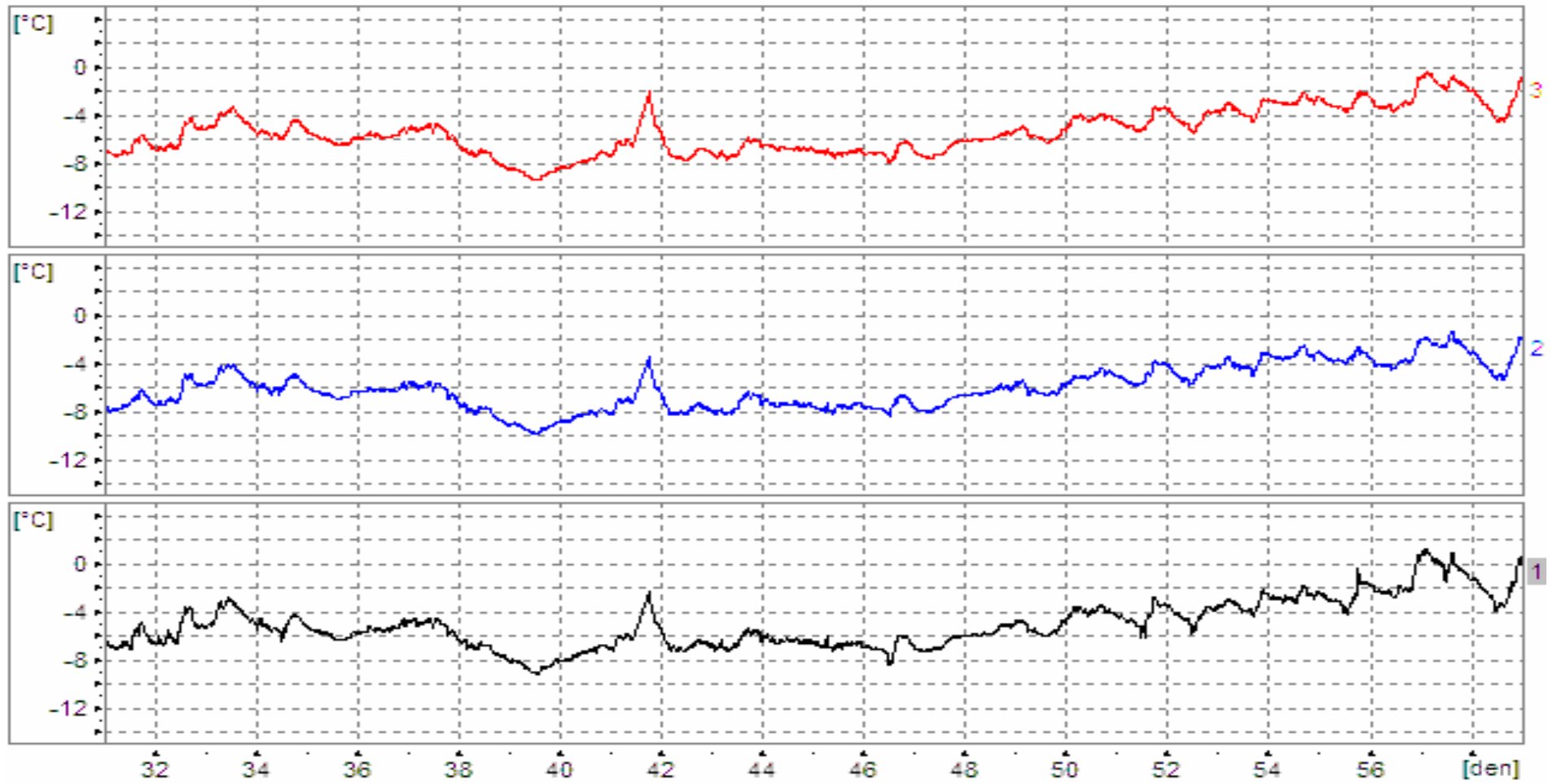
4. MST-2BT2-T09-OIL-OUT1

5. MST-2-T-OUT

6. MST-2-H2O-OUT

### Data z archivu MOSAD-5

od: 01.02.2010 00:00:00 do: 28.02.2010 23:59:59 2AT1 energetická bilance



1. MST-2AT1-T-MX1-1-DIF

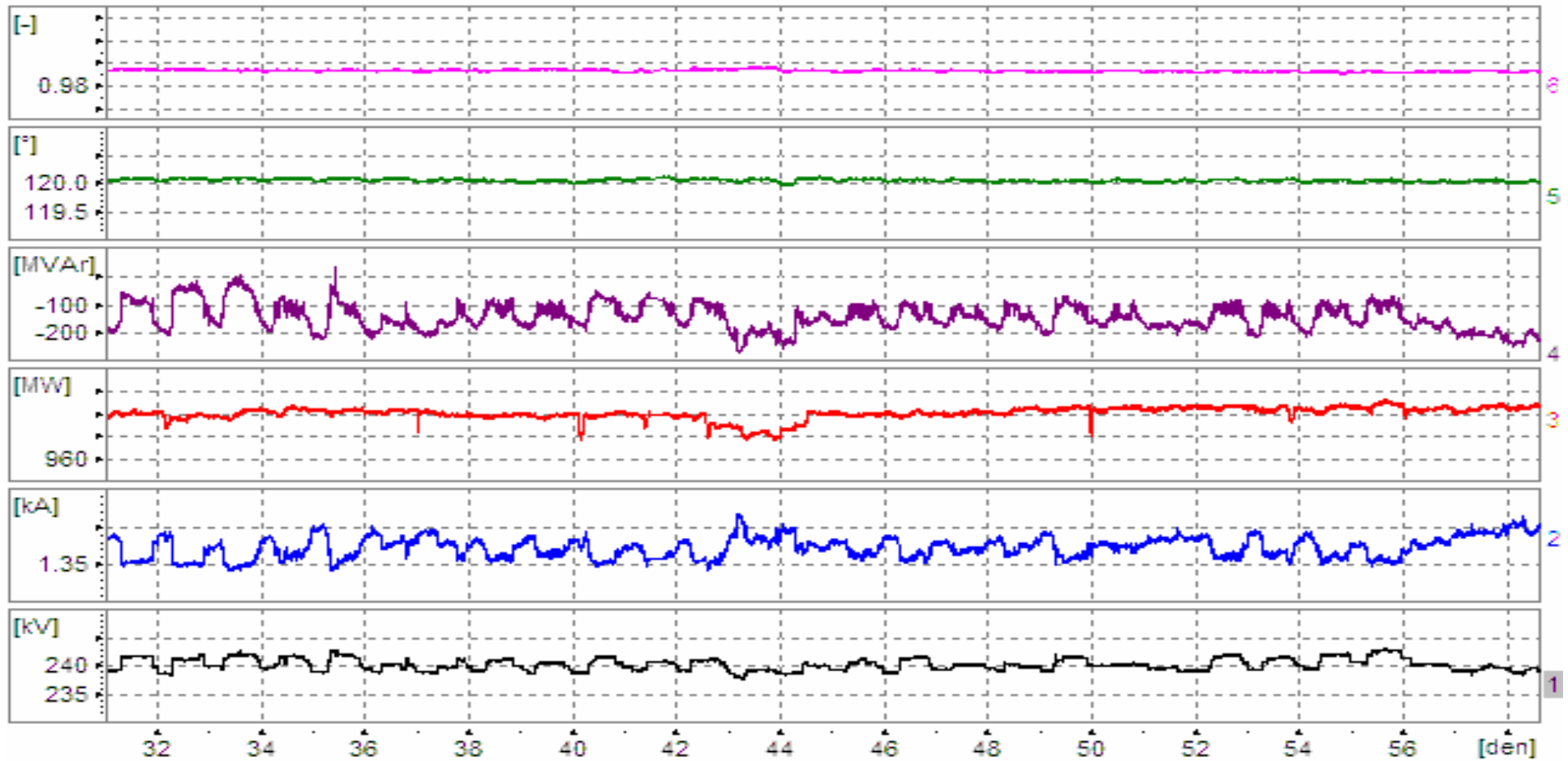
2. MST-2AT1-T-MX2-1-DIF

3. MST-2AT1-T-OIL-DIF



### Data z archivu MOSAD-5

od: 01.02.2010 00:00:00 do: 28.02.2010 14:28:59 2AT1,2,3 analogy



1. MST-2AT-VVN-UL1ef

2. MST-2AT-IL1ef

3. MST-2AT-P-VVN

4. MST-2AT-Q-VVN

5. MST-2AT-DELTA-VVN-UL1-L2

6. MST-2AT-VVN-Cr12

