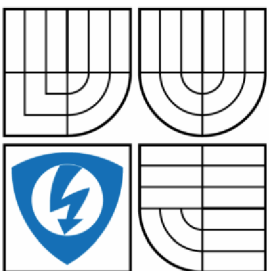


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

PRACOVNÍŠTĚ PRO VÝSTUPNÍ TESTOVÁNÍ ELEKTRONICKÝCH PŘÍSTROJOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ PROUDU A NAPĚTÍ

Workplace for final testing of electronic transformers

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Brýdl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Stanislav Klusáček

BRNO 2011

ORIGINÁLNÍ ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Abstrakt

Tato práce pojednává o komplexním návrhu automatické testovací linky pro testování elektronických transformátorů. Je zde také popsán kompletní návrh univerzálního přípravku pro všechny typy transformátorů, které firma ABB vyrábí. Hlavními parametry, kterých má být dosaženo jsou snížení ceny, zrychlení měření a zkvalitnění měření. Závěrem práce bude vyroben přípravek pro automatické měření a provedení zkušebního měření na zkušebně firmy.

Klíčová slova

Testování, transformátor, automatická, měřicí přípravek

Abstract

This article describes a complex suggestion for automatic tester machine for final testing of electronic transformers. There is also described universal device for measuring all types of transformers which are produced by ABB company. The main parameters of testing process are price, speed of measuring and high-quality measuring. The suggestion of the machine is optimized according to those parameters.

Keywords

testing, transformers, automatic, gauging fixture

Bibliografická citace:

Brýdl, O. *Pracoviště pro výstupní testování elektronických přístrojových transformátorů proudů a napětí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 48 s. Vedoucí bakalářské práce byl Ing. Stanislav Klusáček.

P r o h l á š e n í

„Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma "Pracoviště pro výstupní testování elektronických přístrojových transformátorů proudů a napětí" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne :

Podpis:

P o d ě k o v á n í

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Stanislavu Klusáčkovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Radku Javorovi, Ph.D, Ing. Pavlu Váňovi a Ing. Janu Mikulkovi za poskytnuté konzultace, které ke vzniku této práce významně pomohly.

V Brně dne :

Podpis:

Obsah

1	Úvod	10
1.1.1	Proudové elektronické přístrojové transformátory	10
1.1.2	Napěťové elektronické přístrojové transformátory	11
1.1.3	Kombinované elektronické přístrojové transformátory.....	11
1.1.4	Porovnání klasických indukčních a elektronických přístrojových transformátorů 12	
2	Vlastní měření	13
	Typy zkoušek.....	13
2.1.1	Izolační zkouška sekundárního vinutí	14
2.1.2	Zkouška na měření kapacity C1	14
2.1.3	Zkouška na měření kapacity C2	14
2.1.4	Izolační zkouška primárního vinutí	15
	Měření částečných výbojů.....	15
2.1.5	Měření napěťové přesnosti	16
2.1.6	Měření proudové přesnosti	17
3	Současný stav a technické požadavky na zdroje	20
4	Zhodnocení současného stavu a cíle návrhu	23
5	Návrh Řešení	25
5.1	Varianta 1	25
5.1.1	Stanice 1	25
5.1.2	Stanice 2	28
5.1.3	Stanice 3	28
	Varianta 2.....	29
6	Zhodnocení variant návrhu.....	30
7	Realizace Vybraného řešení	32
8	Návrh přípravku pro měření	35
8.1	Návrh rozměrů a konstrukčního řešení přípravku	35
8.1.1	Varianta pro každý typ vlastní přípravek	35
8.1.2	Varianta pro podobné typy jeden přípravek	35
8.1.3	Varianta podložky a nástavců.....	36
8.2	Návrh připojovacího konektoru.....	37
9	Srovnání současného a Realizovaného řešení	40
9.1.1	Izolační zkouška na sekundárním vinutí + měření kapacit C1 a C2	40

9.1.2	Izolační zkouška na primárním vedení + měření částečných výbojů	41
9.1.3	Měření napěťové přesnosti	41
9.1.4	Měření proudové přesnosti	42
10	Analýza problémů a jejich řešení	43
10.1	Prostorové řešení linky	43
10.2	Funkce konektoru.....	44
10.3	Dojezd kontaktních jehel	44
10.4	Práce s vadnými transformátory	45
11	Závěr.....	46
	Literatura	47
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	48

Seznam Obrázků

Obrázek 1: Rogowského cívka z [5].....	11
Obrázek 2: Odporový dělič napětí z [5].....	11
Obrázek 3: Měřicí zapojení pro měření kapacity C1 z [9]	14
Obrázek 4: Měřicí zapojení pro měření kapacity C2 z [9]	15
Obrázek 5: Blokové schéma pro měření částečných výbojů z [6].....	16
Obrázek 6: Blokové schéma pro měření napěťové i proudové přesnosti [6]	17
Obrázek 7: Současné rozložení zkušební místnosti	21
Obrázek 8: Ukázkové schéma pro Variantu 1	27
Obrázek 9: Ukázkové schéma pro Variantu 2	29
Obrázek 10: Graf návratnosti investice	33
Obrázek 11: Vývojový diagram, který znázorňuje průběh měření na všech pracovištích	34
Obrázek 12: Podložka přípravku pro měření transformátorů na automatické lince	36
Obrázek 14: Nástavec na podložku pro typ KECR	37
Obrázek 13: Přípravek transformátorem KEVCD	37
Obrázek 15: Používané vodiče v konektoru RJ-45 z [5]	38
Obrázek 16: a) Průmyslový konektor samice, b) Průmyslový konektor samec	38
Obrázek 17: Konektor z vnitřní strany	39
Obrázek 18: Konektor z vnější strany.....	39
Obrázek 19: Simulační schéma v programu Witness	43
Obrázek 20: Graf znázorňující vytíženost jednotlivých stanic	44

Seznam Tabulek

Tabulka 1: Zkušební napětí pro měření částečných výbojů a přípustné hladiny z [6] ...	16
Tabulka 2: Meze chyb jmenovitého proudu pro proudové transformátory z [6].....	18
Tabulka 3: Dovolené chyby napětí a chyby úhlu z [6]	18
Tabulka 4: Předepsané izolační hladiny primárních svorek pro přístrojové transformátory z [6]	19
Tabulka 5: Srovnání délky měření u jednotlivých variant.....	30
Tabulka 6: Odhadovaný počet změřených transformátorů	31
Tabulka 7: Cenový odhad materiálu potřebného k automatické lince.....	32
Tabulka 8: Srovnání kapacit C1 a C2	40
Tabulka 9: Srovnání částečných výbojů	41
Tabulka 10: Srovnání napěťové přesnosti	41
Tabulka 11: Srovnání proudové přesnosti	42

1 ÚVOD

Zadáním práce je vymyslet a navrhnout linku pro měření kusových zkoušek na transformátorech. Návrh linky se vytváří z důvodů minimalizace nákladů výstupních zkoušek na transformátorech. Jedná se především o zrychlení průběhu měření, lepší využití lidských pracovních sil a zefektivnění celého měřicího procesu.

V bakalářské práci se bude řešit popsání současného stavu měření, jak se transformátory a senzory měří nyní. Zhodnocení současného stavu, z hlediska časové náročnosti měření, počtu pracovníků a počtu změřených kusů. Dále bakalářská práce obsahuje popis všech kusových zkoušek, které je nutné na lince provádět, základní nebo blokové schéma měření jednotlivých kusových zkoušek. Návrhy možného provedení linky, srovnání současného stavu a porovnání návrhů. Následuje návrh přípravku pro automatickou linku, a také provedení zkušebního měření pomocí přípravku na zkušebně firmy ABB. Závěrem práce je srovnání kvality měření bez přípravku a s přípravkem.

Z hlediska měření lze na transformátorech provádět velké množství zkoušek. Rozdělují se do základních skupin:

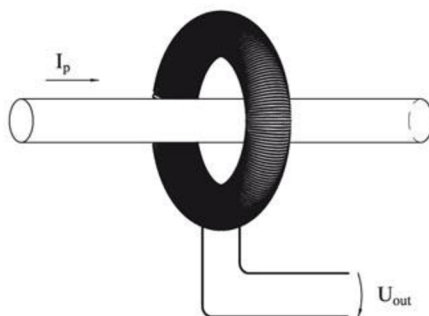
- Výrobní kusové zkoušky – zkouška, které se podrobuje každé jednotlivé zařízení. Výrobní zkoušky kusové slouží k odhalení vad vzniklých při výrobě. Tyto vady nezhoršují vlastnosti a spolehlivost zkoušeného předmětu.
- Typové zkoušky – zkouška prováděna na každém typu transformátoru, která má prokázat, že všechny transformátory vyrobené podle stejných podkladů vyhovují požadavkům, které nejsou obsaženy ve zkouškách výrobních kusových.
- Zvláštní zkoušky – zkouška jiná než typová nebo výrobní kusová, dohodnutá mezi výrobcem a zákazníkem.
- Zkouška vzorku – zvolená typová nebo zvláštní zkouška provedená na jednom nebo více kompletních přístrojových transformátorech z určité výrobní série.

Takřka všechny transformátory, které se budou na lince měřit, jsou přístrojové transformátory a senzory. A podle [4] a [5] je můžeme charakterizovat takto:

1.1.1 Proudové elektronické přístrojové transformátory

Pracují na principu Rogowského cívky, což je v přeneseném slova smyslu přesný lineární senzor proudu pro přesné měření ve velkém rozsahu. Prakticky jde o toroidní cívku bez železného jádra (vzduchovou cívku), umístěnou kolem primárního měřeného vodiče stejným způsobem, jako sekundární vinutí měřicího proudového transformátoru.

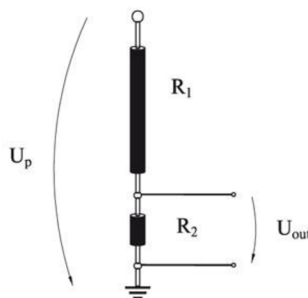
Na rozdíl od něj však výstupní signál z Rogowského cívky není proud, ale napětí. Díky absenci železného jádra nemůže dojít k saturaci.



Obrázek 1: Rogowského cívka z [5]

1.1.2 Napěťové elektronické přístrojové transformátory

Princip je založen na odporovém nebo kapacitním děliči s převodem 10 000 V : 1 V. Tyto senzory se vyznačují linearitou v celém měřicím rozsahu. Výstupní napětí je přímo úměrné vstupnímu měřenému napětí na primárním vinutí. Tvar senzoru je speciálně navržen tak, aby minimalizoval parazitní účinky (kapacitu a indukci).



Obrázek 2: Odporový dělič napětí z [5]

1.1.3 Kombinované elektronické přístrojové transformátory

Malé rozměry proudových a napěťových senzorů dovolují výrobu i kombinovaných senzorů kompaktních rozměrů. V jednom těle je obsažen proudový a napěťový senzor. Zákazník touto volbou ušetří kolem několik desítek procent nákladů na pořízení a následnou instalaci.

1.1.4 Porovnání klasických indukčních a elektronických přístrojových transformátorů

Absence železných jader v elektronických přístrojových transformátorech umožňuje dosáhnout významného snížení velikosti a tak snadno dosáhnout kombinovaného měření napětí a proudu v jednom těle. Jednouúčelové elektronické přístrojové transformátory mohou být o polovinu menší, než klasické indukční přístrojové transformátory. Již zmiňovaná absence železného jádra a velkých cívek s výrazným podílem mědi vede k velmi nízké hmotnosti. Díky tomu je v rozvaděči více místa a celý rozvaděč je lehčí, bez ohledu na aplikaci. Možnost vysokého zatížení a zanedbatelné ztráty pak hrají významný přínos ve spotřebě těchto zařízení.

U porovnání se předpokládá, že indukční proudový transformátor pracuje na svém jmenovitém proudu a jmenovitém zatížení po dobu životnosti 30 let. Jak je vidět, spotřebovaná a rozptýlená energie je během celé životnosti výrazně vyšší než u elektronického přístrojového transformátoru.

2 VLASTNÍ MĚŘENÍ

Nejdříve je nutné říci, co se vlastně provádí za typy měření a na jakých přístrojích je měření prováděno. Jde o měření kusových zkoušek na transformátorech proudu a napětí. Konkrétně jde o elektronické transformátory a indukční transformátory. Indukční transformátory se dále rozdělují na vnitřní a venkovní a také na proudové a napěťové. Zkoušek je prováděno sedm. U některých daných typů transformátorů a senzorů se počet zkoušek může snížit. V návrhu je počítáno s měřením všech sedmi zkoušek.

2.1 Typy zkoušek

Výrobní kusové zkoušky transformátorů sestávají z:

- izolační zkouška sekundárního vinutí,
- zkouška na měření kapacity C1 (kapacita mezi primárním vinutím a odporem na výstupu čidla),
- zkouška na měření kapacity C2 (kapacita měřicího čidla proti zemi),
- měření částečných výbojů,
- izolační zkouška primárního vinutí,
- měření napěťové přesnosti,
- měření proudové přesnosti.

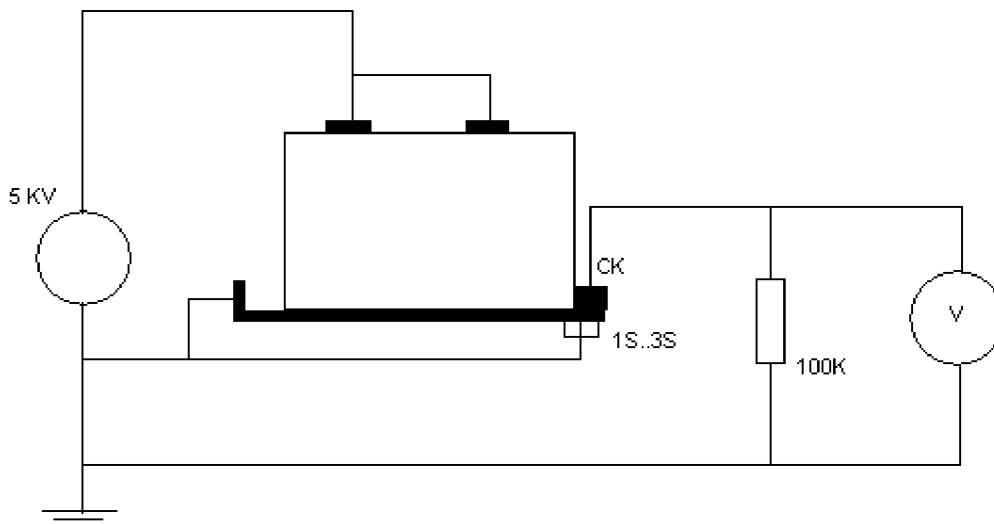
Měření je prováděno v souladu s normami o měření kusových zkoušek na transformátorech ČSN EN 61869-1 (všeobecné), ČSN EN 60044-7 (Elektronické transformátory napětí) a ČSN EN 60044-8 (Elektronické transformátory proudu).

2.1.1 Izolační zkouška sekundárního vinutí

Provádí se po dobu 1 minuty napětím 1,5 kV, připojení je sekundární obvod – vývod kapacitního čidla, podle typu senzoru se ještě měří Rogowského cívka – vývod kapacitního čidla a Rogowského cívka – vývod kapacitního čidla. Více viz [6].

2.1.2 Zkouška na měření kapacity C1

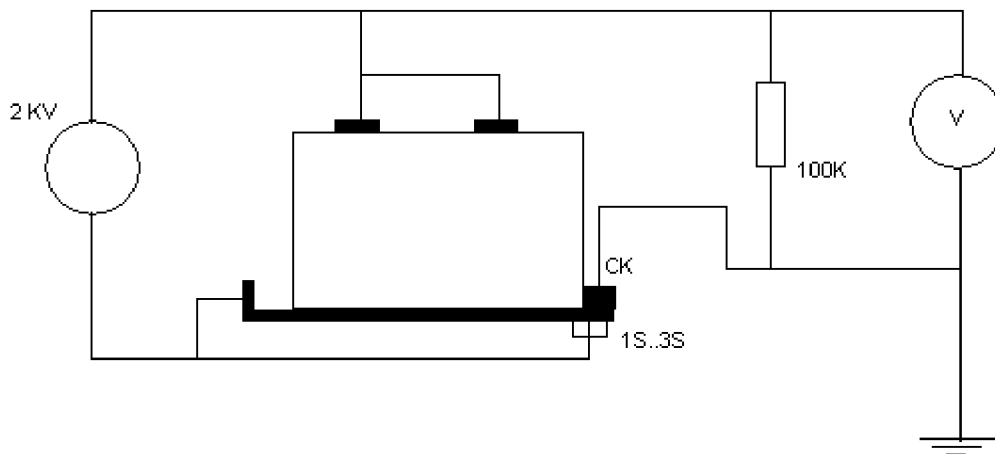
Kapacitou C1 je brána kapacita kapacitního čidla. U této zkoušky se měří úbytek napětí na odporu mezi výstupem čidla a primárním vedením, s následným přepočtem na kapacitu. Zkušební napětí je 5 kV, které působí po dobu 1 minuty, kapacita by měla zhruba být od 10 pF do 30 pF.



Obrázek 3: Měřicí zapojení pro měření kapacity C1 z [9]

2.1.3 Zkouška na měření kapacity C2

Při této zkoušce je měřena kapacita měřicího čidla proti zemi a opět je zjišťován úbytek napětí na odporu. Který je poté přepočítáván na kapacitu, pohybuje se v rozmezí od 10 pF do 30 pF, měřicí napětí je 2 kV.



Obrázek 4: Měřicí zapojení pro měření kapacity C2 z [9]

2.1.4 Izolační zkouška primárního vinutí

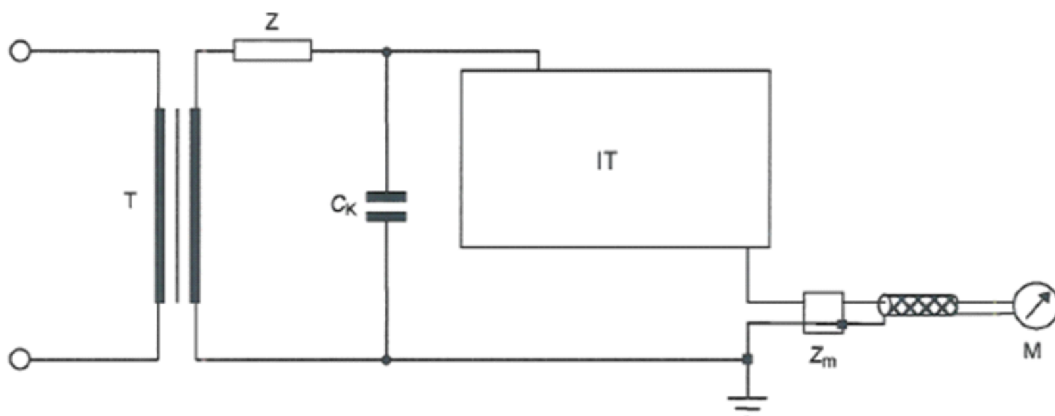
Měření se provádí speciálním kabelem připojeným na primární vinutí proti výstupu senzoru.

První se provede izolační zkouška primárního vinutí a to tak, že je přivedeno napětí, které odpovídá přepočtenému U_m podle tabulky 4. Tedy pro případ, že efektivní hodnota transformátoru je v rozmezí od 12-25 kV, hodnota zkušebního efektivního napětí nesmí přesáhnout 50 kV. Podle normy se zkouška provádí 1 minutu. Podrobněji v [8].

2.1.5 Měření částečných výbojů

Po ukončení zkoušky na primárním vinutí napětí plynule sestoupí na hladinu U_m a poté na hladinu $\frac{1,2 \cdot U_m}{\sqrt{3}}$, jak je uvedeno v tabulce 1. Měřicí zařízení musí podle normy detekovat částečné výboje přesahující 5 pC.

Více viz norma [6].



Obrázek 5: Blokové schéma pro měření částečných výbojů z [6]

Tabulka 1: Zkušební napětí pro měření částečných výbojů a přípustné hladiny z [6]

Způsob uzemnění středního bodu N sítě	Typ přístrojového transformátoru	Zkušební napětí pro měření částečných výbojů (efektivní hodnota)[kV]	Nejvyšší přípustná hladina částečných výbojů [pC] typ izolace:	
			kapalina nebo plyn	pevná
Síť s uzemněným středem (koeficient zemního spojení < 1,4)	CT a uzemněný VT	U_m $1,2 U_m / \sqrt{3}$	10 5	50 20
	Neuzemněný VT	$1,2 U_m$	5	20
Síť IT nebo s neúčinně uzemněným středem (koeficient zemního spojení < 1,4)	CT a uzemněný VT	$1,2 U_m$ $1,2 U_m / \sqrt{3}$	10 5	50 20
	Neuzemněný VT	$1,2 U_m$	5	20

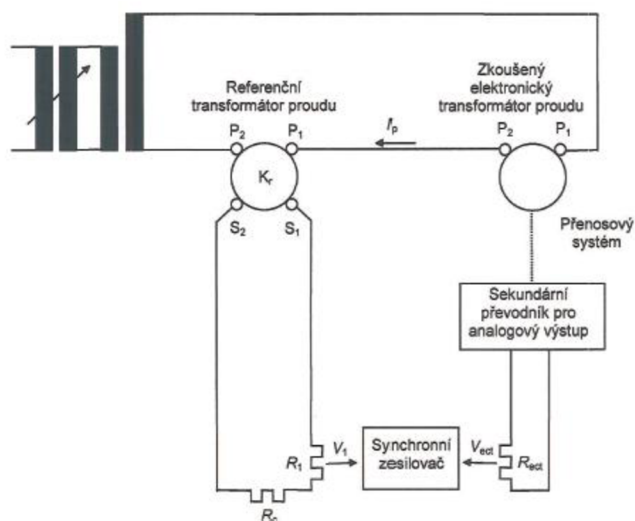
2.1.6 Měření napěťové přesnosti

Kabely jsou zapojeny na primární i sekundární vinutí a výsledné hodnoty napětí jsou snímány na výstupu transformátoru. Měření se provádí porovnávací metodou, pro kterou jsou potřebné referenční transformátory. Dále, u tohoto typu měření, je nutné připojit kabel, se kterým se transformátor bude používat, s jiným kabelem už potom samozřejmě není garantována přesnost, která je udávána na štítku. Měření je prováděno

vysokým napětím a minimálním proudem, proto stačí pouze slabé vodiče. Frekvence napětí je v rozmezí od 48 do 52 Hz, měřit s napětím na frekvenci 50 Hz se nedoporučuje, protože v okolí se zcela jistě vyskytují přístroje, které pracují na frekvenci 50 Hz. Měření je prováděno na třech úrovních, ve 120 % U_m , poté ve 100 % U_m a nakonec v 5 % U_m . Výsledky dané porovnávací metodou se nesmí lišit více, než udává norma. Více [6].

2.1.7 Měření proudové přesnosti

Testovací proud o velikosti jmenovitého proudu se přivádí na primární obvod a výsledky jsou snímány na výstupu transformátoru. Měření probíhá srovnávací metodou v PC, takže je nutné používat i referenční vzorek transformátoru, měření je nutno provádět přímo s kabelem určeným zákazníkem, který se bude používat v provozu. Garantované přesnosti budou potom pouze pro daný kabel. Jelikož do zařízení vstupují velké proudy a malá napětí, je nutné, aby vodiče připojované na primární obvod byly tlusté, kvůli zamezení ztrát na vedení. Porovnávání poté probíhá v PC, kvůli ošetření přesnosti v celém rozsahu používaných proudů jsou zkoušeny tři úrovně: 120 %, 100 % a 5 % jmenovitého trvalého tepelného proudu. Více [6].



Obrázek 6: Blokové schéma pro měření napěťové i proudové přesnosti [6]

Tabulka 2: Meze chyb jmenovitého proudu pro proudové transformátory z [6]

Třída přesnosti	Chyba proudu při jmenovitém primárním proudu [%]	Chyba úhlu při jmenovitém primárním proudu		Celková chyba při jmenovitých mezích přesnosti Primární proud [%]	V podmínkách mezi přesnosti Maximální špičková okamžitá chyba [%]
		Minuty	Centiradiány		
5TPE	1	60	1,8	5	10
5 P	1	60	1,8	5	-
10 P	3	-	-	10	-

Tabulka 3: Dovolené chyby napětí a chyby úhlu z [6]

Třída přesnosti	ε_u Procentní chyba napětí	Φ_u Chyba úhlu	
		minuty	centiradiány
0,1	0,1	5	0,15
0,2	0,2	10	0,3
0,5	0,5	20	0,6
1,0	1,0	40	1,2
3,0	3,0	neuvedeno	

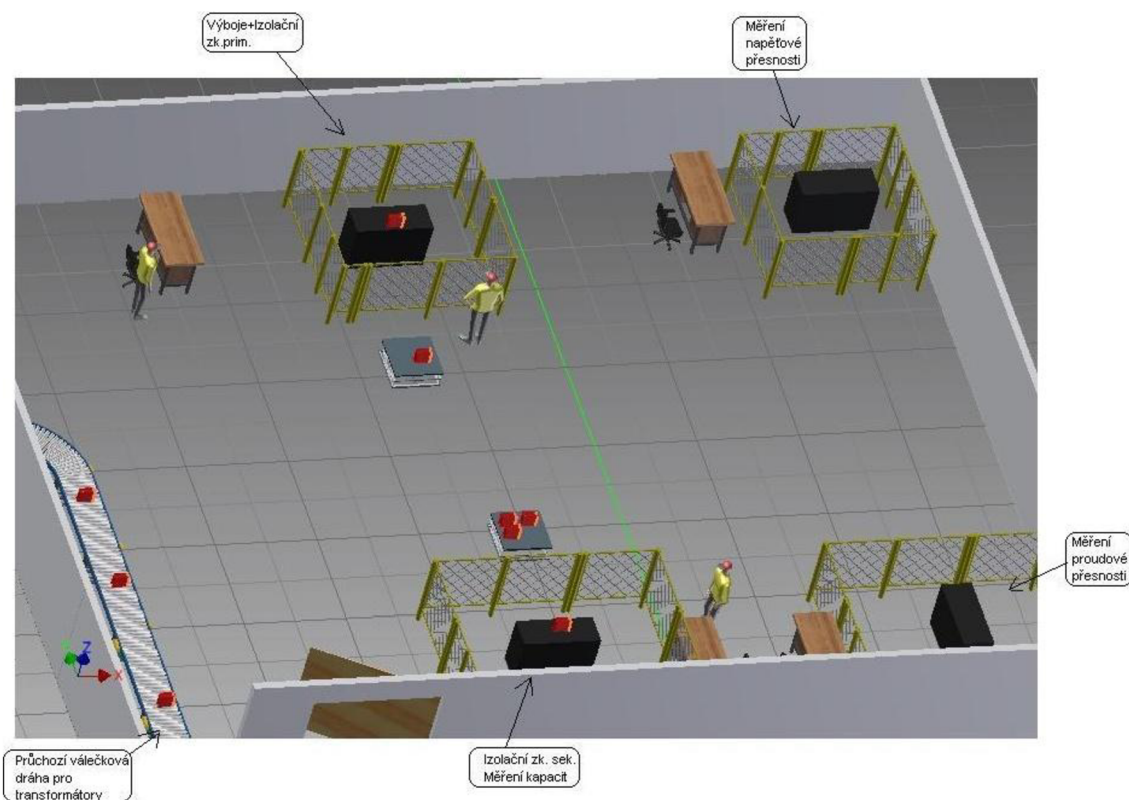
Tabulka 4: Předepsané izolační hladiny primárních svorek pro přístrojové transformátory z [6]

Nejvyšší napětí pro zařízení U_m (efektivní hodnota) - [kV]	Jmenovité zkušební napětí průmyslového kmitočtu (efektivní hodnota) - [kV]	Jmenovité zkušební napětí atmosférického impulzu (vrcholová hodnota) - [kV]	Jmenovité výdržné napětí při spínacím impulzu (vrcholová hodnota) - [kV]
0,72	3	-	-
1,2	6	-	-
3,6	10	20 40	-
7,2	20	40 60	-
12	28	60 75	-
17,5	38	75 95	-
24	50	95 125	-
35	70	145 170	-
52	95	250	-
72,5	140	325	-
100	185	450	-
123	185 230	450 550	-
145	230 275	550 650	-
170	275 325	650 750	-
245	395 460	950 1050	-
300	395 460	950 1050	750 850
362	460 510	1050 1175	850 950
420	570 630	1300 1425	950 1050
550	630 680	1425 1550	1050 1175
800	880 975	1950 2100	1425 1550

3 SOUČASNÝ STAV A TECHNICKÉ POŽADAVKY NA ZDROJE

V současnosti je zkušební místnost rozdělena na 4 oddělená pracoviště, jak je vidět na obrázku 7. Na prvním pracovišti se měří postupně izolační zkouška sekundárního vinutí, kapacita C1 a kapacita C2. Izolační zkouška sekundárního vinutí se provádí napětím 1,5 kV. Zkouška kapacity C1, což je primární vinutí proti výstupu čidla, je zkoušeno napětím 5 kV, přičemž se měří úbytek napětí na odporu a následně se provede přepočít na velikost kapacity, která obvykle odpovídá 10 pF až 30 pF. Kapacita C2 je kapacita měřená na výstupu čidla proti zemi. Zkušební napětí je zde 2 kV a opět se měří úbytek na odporu a následně je přepočten na kapacitu, která v případě C2 bývá v rozmezí od 10 pF do 30 pF. Ve druhém pracovišti se provádí izolační zkouška primárního vinutí a měření částečných výbojů, toto je nejcitlivější zkouška, při měření částečných výbojů nesmí být v okolí transformátoru žádné rušivé elektromagnetické pole, žádné kabely navíc. Třetí pracoviště slouží k měření napěťové přesnosti, měření je prováděno porovnávací metodou, a proto musí být v kleci ještě referenční transformátor. Oba musí mít připojeny kabely požadované zákazníkem, protože vlastní měření musí být prováděno s danými kabely a potvrzení napěťové přesnosti je garantované pouze pro daný typ kabelu. Měření se provádí tak, že je nastavována daná úroveň napětí a to postupně na 120 % U_m , potom na 100 % U_m a nakonec na 5 % U_m , tím je zajištěno, že požadovaná přesnost je opravdu v celém rozsahu transformátoru. Poslední stanoviště se týká měření proudové přesnosti. Proudové kabely jsou připojeny na primární vinutí a snímáme přesnost, s jakou transformátor proud přenesl. K tomu je použita porovnávací metoda, takže zároveň musí být měřen i referenční kus. Srovnání měřených hodnot se provádí přes PC a opět proměříme tři body ve 120 %, 100 % a 5 % U_m .

Ve zkušební místnosti pracují zároveň 3 lidé, kteří obstarávají přivážení nových kusů, zapojování, ovládání měřících stanic, zapisování potvrzení o proběhnutí zkoušky na štítky a odvážení transformátorů.



Obrázek 7: Současné rozložení zkušební místnosti

Požadavky na zdroje u jednotlivých typů zkoušek:

Izolační zkouška sekundárního vinutí na transformátoru

- Napěťový zdroj pro testování průrazů s indikací.
- ~ 5 kV, 45-65 Hz.
- Přesnost lepší než 5 %.
- Pokles po přiložení kontaktů max. 10 %.
- Napětí na prázdno je max. 50 %, po přiložení narůstá na stanovenou hodnotu bez překmitů.

Podle normy pro *Jiné vstupy a výstupy* se senzory s konektory RJ 45 i Twin-BNC testují napětím 500V.

- Pro otestování senzorů se staršími konektory a případně i transformátorů musí být možnost zvýšit testovací napětí až na 5 kV.
- Při testování bez zemního kontaktu musí být onen kontakt uzemněn.

Zkouška na měření kapacity C1 a C2

- Zdroj 5 kV
- Vyhodnocovací zařízení

Izolační zkouška primárního vinutí a měření částečných výbojů

- Napěťový zdroj 50 kV
- Vyhodnocovací zařízení

Měření napěťové přesnosti

- Napěťový zdroj (regulovatelný, 6- 36 kV)
- Referenční transformátor napětí
- Vyhodnocovací zařízení

Zkouška proudové přesnosti

- Proudový zdroj (2 kA)
- Referenční transformátor proudu
- Vyhodnocovací zařízení

4 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU A CÍLE NÁVRHU

Ze současného stavu si lze udělat představu o rychlosti měření jednotlivých kusů, které zvládnou pracovníci za směnu změřit. Měření se většinou provádí postupně s větším počtem kusů tak, že nejdříve na všech kusech změříme izolační zkoušku sekundárního vinutí, kapacitu C1, kapacitu C2 a poté se přesunou všechny kusy na měření částečných výbojů atd. Tento způsob je za dané situace pravděpodobně nejrychlejší, protože přecházení s jedním kusem všemi stanicemi by bylo komplikovanější.

Ze současných znalostí bude zjištěna rychlost proměření jednoho kusu tak, že bude vybrán jeden transformátor, na kterém budou postupně provedeny všechny zkoušky.

Bylo zjištěno, že transformátor je v první kleci minimálně 3 minuty (minutu každá zkouška), což je ale nereálný čas změření, protože po každé zkoušce je nutné přepojit přívodní kabely, z toho je vidět, že reálný čas provedení 3 zkoušek na jednom transformátoru je přibližně 6 minut (vzato od prvního doteku na transformátor až po vypsaní měřicího protokolu o úspěšnosti nebo neúspěšnosti prováděných zkoušek).

Po příchodu na další stanoviště se měří izolační zkouška primárního obvodu a následně úroveň částečných výbojů. U obou zkoušek zůstává zapojení stejné, takže tím se ušetří čas přepojování. Samotné měření trvá minimálně 2 minuty. Pokud bude brán v úvahu čas připojování, zabezpečení klece, spuštění měření, vypnutí měření, zapsání výsledku zkoušky a následné rozpojení kusu, čistý čas je 3 minuty.

Následně se provádí zkouška na napěťovou přesnost. K celkovému času připojování je zde ještě připočteno připojení kabelu, se kterým už transformátor bude fungovat v průmyslu. Měření je prováděno srovnávací metodou, jsou sledovány výsledky, které se nesmí procentuálně lišit více, než dovoluje norma. Průběh měření se sleduje na PC a na ovládacích panelech, kterými se také mění velikost napětí, měření je prováděno na třech úrovních. Vlastní měření probíhá opět 1 minutu, ale reálně to je čas okolo 2 minut. Poslední se provádí zkouška na proudovou přesnost. Kvůli velkému proudu, který do transformátoru vstupuje, jsou nutné široké přívodní kabely. Připojování je pro každý typ odlišné, jelikož existuje více typů a používá se zde srovnávací metoda, je nutné mít připraveny referenční kusy pro co nejvíce transformátorů. Vlastní sledování měření probíhá na PC, na kterém je nastavována velikost proudu, tak jak určuje norma a tak aby byla ověřena proudová přesnost při libovolném proudu. Měření, stejně jako určení napěťové přesnosti, trvá 1 minutu, ale pokud je započítáno i připojování a odpojování vychází čas okolo 2 minut.

Při shrnutí předchozích dílčích časů se dá odhadnout, že čas, po který se provádí měření je 7 minut, ale kvůli lidskému faktoru se čas na změření jednoho kusu protahuje na 20 minut. Pokud je vypočítán počet změřených kusů za 8 hodin, tedy za jednu směnu,

dochází se k číslu 21 transformátorů, ale je nutno uvážit, že v místnosti jsou 3 lidé, proto toto číslo vzroste zhruba na 60 změřených kusů za směnu. Při tomto výpočtu je ale počítáno s tím, že neustále měří 3 lidé, pracují pořád stejně rychle a nikdy si neodpočinou. To je jasně nereálné, takže je počet kompletně změřených transformátorů za jednu směnu odhadnut na 40 kusů. Za měsíc je to číslo 1200 kompletně změřených transformátorů. Samozřejmě je nutné říct, že je to pouze odhad a je nutné brát ohled na to, že na některých typech senzorů nebo transformátorů se neprovádějí všechny uvedené zkoušky.

5 NÁVRH ŘEŠENÍ

Zadáním bylo vytvořit automatický proces měření, ve kterém bude lidský faktor hrát pouze omezenou roli. Nejprve je nutné si určit pohled, jakým se na celou věc dívat. Jestli bude zvolena cesta rychlé, ale dražší varianty nebo varianty o dost rychlejší než je současný stav, ve které bude minimum přepojování, ale bude pomalejší. V bakalářské práci budou uvedeny dva návrhy automatizované linky, oba mají své výhody i nevýhody a bude na posouzení firmy ABB, který návrh je pro ně přijatelnější. Obě varianty počítají s posuvným pásem, který bude procházet měřicími stanovišti a s minimálně jedním člověkem obsluhy, který bude dávat a odebírat měřené kusy a také odebírat vadné transformátory, pokud takové budou. Při návrhu není počítáno s kupováním dalšího měřicího vybavení, které by zaručilo kvalitnější měření, bude se počítat s tím, že současná kvalita měření je vyhovující a snahou bude ji udržet. Vizualizace návrhu byla provedena v programu Autodesk factory design suite advanced 2011, který umožňuje kreslení výrobních hal s průmyslovými prvky.

5.1 Varianta 1

Současné 4 měřicí stanice budou přeskupeny do 3 měřících pracovišť. Protože transformátorů a senzorů existuje více typů, bude vytvořen pro automatické měření tzv. přípravek, který bude rozebrán v dalších kapitolách. Linka bude jednotlivé typy transformátorů rozeznávat podle kódu RFID (identifikační číslo vysílané transformátorem na rádiové frekvenci), a podle toho zajistí použití správného měřicího postupu. Na každém pracovišti potom dojde k připojení ostatních vývodů tak, aby na každém pracovišti proběhlo připojení a odpojení pouze jednou, v první stanici dvakrát. Jelikož měříme více parametrů, bude nutné, v první a třetí stanici, připojit vše najednou, a potom už pouze přepínat mezi obvody podle toho jaké měření zrovna provádíme.

5.1.1 Stanice 1

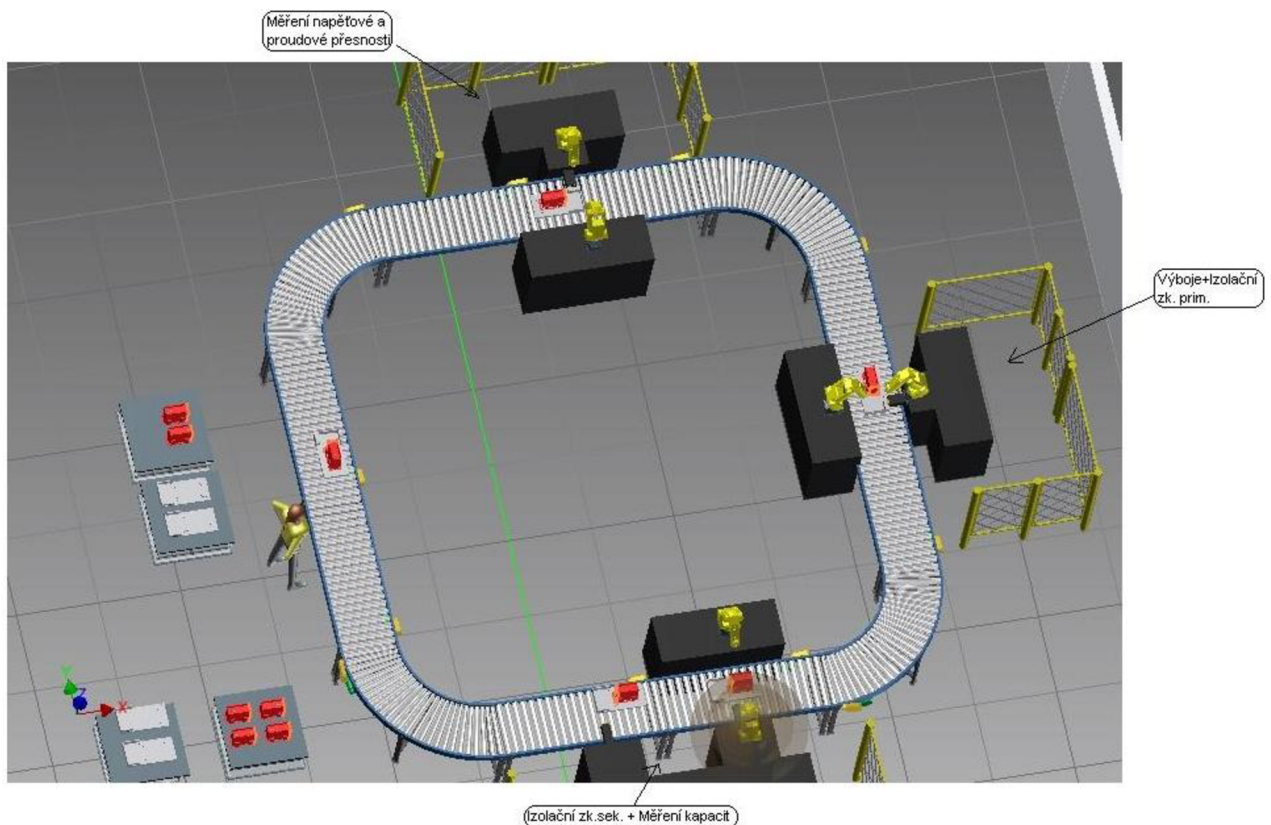
Jak je vidět z obrázku 8, první měřicí stanice zůstane zachována jako v současném stavu, bude měřit izolační pevnost sekundárního vinutí, kapacitu C1 a kapacitu C2. Celá stanice bude v podstatě rozdělena na dvě části. Pracoviště bude utvořeno tak, že zároveň se bude měřit izolační pevnost na sekundárním vinutí a kapacitu. Při vložení prvního kusu se na něm změří izolační zkouška sekundárního vinutí a poté se čeká na uvolnění následujícího stanoviště, to je ale pouze v případě, že na transformátoru není vyvedené kapacitní čidlo. Pokud je zde vývod kapacitního čidla je nutné proměřit všechny tři kombinace, to jest proměřit izolační pevnost mezi výstupem sekundárního vinutí a uzemněním, výstupem sekundárního vinutí a výstupem kapacitního čidla, výstupem

kapacitního čidla a uzemněním. Pokud se měří kus s kapacitním čidlem, celý měřicí proces se prodlouží o 1 minutu. Po uplynutí zhruba 2 minut (přesná perioda měření musí být stanovena později, a závisí na rychlosti přepojování) se měřený kus posune na další pozici. Poté obsluha vloží další kus na linku, takže nyní jsou na prvních dvou měřicích pozicích transformátory. V první minutě se na nově vloženém provádí izolační zkouška sekundárního vinutí a na druhém kusu se provádí měření kapacity C1.

Jakmile skončí měření pevnosti sekundárního vinutí a kapacity C1, na druhém kusu se začne měřit kapacita C2 a na prvním kusu, se po dobu měření druhého kusu, nic neprovádí. Po ukončení měření kapacity C2 se oba transformátory posunou na své následující stanoviště.

Způsob připojení bude pravděpodobně individuální pro každou stanicí. Na stanici pro měření izolační zkoušky sekundárního vinutí se na primární svorky nepřipojují žádné vodiče. Proto pro připojení bude stačit posuvné rameno, které přitlačí měřicí jehly na kontaktní plošky. Přepojování, které se v současném stavu provádí manuálně a stojí čas, bude prováděno mechanickým stykačem, který po dokončení měření s jedním zapojením, přepne vývody a měření začne takřka okamžitě. U měření kapacit se ale primární svorky připojují. Jelikož na primární svorky přichází velké napětí a velké proudy, budou primární svorky připojeny samostatně manipulátory. I když jsou zde připojeny primární svorky, přepojení může být realizováno jako v předchozím případě. Pouze musí být zajištěny vodiče s dostatečným průřezem.

Jak bylo uvedeno v kapitole technických požadavků, bude u tohoto stanoviště potřebný napěťový zdroj 5 kV.



Obrázek 8: Ukázkové schéma pro Variantu 1

Tímto řešením se proces měření velmi zrychlí a celkový čas změření bude záviset pouze na připojení a odpojení konektorů, což by se mělo provádět v čase maximálně 15 sekund. Při analyzování postupu měření v první stanici, je zjištěno, že pokud se testuje transformátor, který nemá vyvedené kapacitní čidlo, bude délka změření jednoho kusu na první stanici pravděpodobně 3 minuty a 15 sekund. Jelikož se jedná o linku s pásem, na první kus čekáme nejdéle, vzhledem k dopravnímu zpoždění, po změření prvního kusu už budou transformátory vyjíždět z první stanice zhruba každé 2 minuty a 15 sekund.

Je to pouze odhadovaná doba, která se samozřejmě může zkrátit rychlejším připojováním. Ještě je dobré podotknout, že všechny zkušební požadavky se rozpoznávají a provedou automaticky, to znamená, že obsluha se nemusí starat o zvolení jiného řídicího programu, linka vše načte automaticky. Uvedený postup měření platí pro typ transformátoru, který nemá kapacitní čidlo vyvedeno.

Pokud se měří typ s vyvedeným kapacitním čidlem, bude se měření izolační zkoušky sekundárního vinutí provádět 3 minuty, poté se přesune kus na měření kapacit. Následně měření probíhá 2 minuty současně na obou kusech, po 2 minutách jsou kapacity změřeny ale izolační zkouška sekundárního vinutí ještě ne, a proto transformátor na místě pro měření kapacit bude minutu čekat v nečinnosti.

Měření tedy bude probíhat takřka stejně, pouze se doba měření jednoho kusu prodlouží na 5 minut a 15 sekund. Rychlost s jakou budou poté transformátory vyjíždět je asi 3 minuty a 15 sekund. Takže celý měřicí proces bude zpomalen jen asi o 1 minutu.

5.1.2 Stanice 2

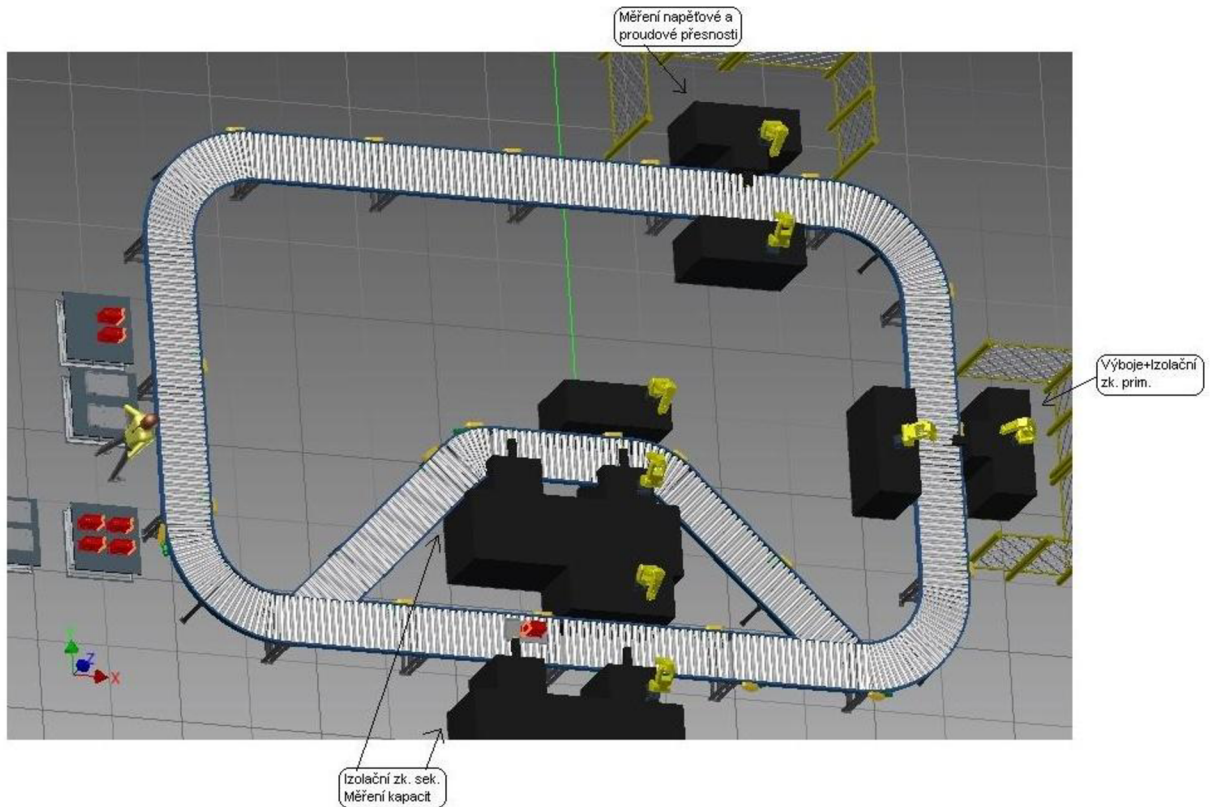
Po opuštění první stanice se transformátor dostane do stanice 2. Zde se bude provádět měření částečných výbojů a izolační zkouška primárního vinutí. Tato stanice bude muset být speciální v tom, že nesmí obsahovat žádné přebytečné přístroje ani kabely. Kabel na měření částečných výbojů je speciální (má takzvanou baňku, která tlumí rušení způsobené kabelem). Připojení zde bude ale stejné jako v první stanici, primární svorky budou připojeny pomocí manipulátoru a sekundární opět díky měřicím jehlám. Po provedení připojení bude měření probíhat automaticky, zde není nutné žádné přepojování, protože obě zkoušky se měří při stejném zapojení. Nejprve se tedy změří izolační zkouška primárního vinutí napětím, které lze vyčíst z tabulky 4, měření trvá 1 minutu. Po uplynutí 1 minuty měřicí stanice automaticky sníží napětí na hodnoty uvedené v tabulce 1 a začne se provádět měření částečných výbojů. Po změření dojde k odpojení a transformátor je schopen pokračovat dál. Podle odhadu připojení a odpojení nezabere víc jak 10 sekund.

5.1.3 Stanice 3

Na měřicí stanici číslo 3 se budou vykonávat zkoušky na měření napěťové přesnosti a proudové přesnosti. Zde je situace taková, že napěťová přesnost se měří tenkými kabely, protože se měří velkým napětím a malým proudem. U měření proudové přesnosti je situace opačná, k měření používáme velký proud a malé napětí a proto jsou potřeba silné přívodní kabely.

Je očividné, že pokud budou zvoleny měření obou zkoušek stejnými kabely, tyto kabely nemohou být tenké z důvodu velkého proudu. Zde bude nejjednodušší zvolit pro měření silné vodiče, protože nebude nutné nic přepojovat. Přepojovat se budou pouze napěťový a proudový zdroj, přepojování ale bude realizováno mechanickým přepínačem a zabere velmi krátký čas. Toto měření se provádí tzv. srovnávací metodou, která je v tomto případě velmi vhodná, ale na druhou stranu je velmi prostorově náročná, protože pokud se bude na lince měřit 20 typů senzorů nebo transformátorů, bude potřeba 20-ti dalších kusů jako referenční. Toto by bylo velmi obtížné realizovat, a proto zde bude vhodnější použít tzv. virtuální srovnávací metodu. Ta spočívá v tom, že pro všechny transformátory bude referenční pouze jeden, který bude mít ve vnitřní elektronice zaznamenáno chování referenčního transformátoru daného typu. Tím bude ušetřeno místo a také množství kabelů, které by bylo nutné na připojení všech referenčních kusů. S použitím této metody, by transformátor ve stanici 3 měl být změřen každé 2 minuty a 15 sekund a za stejný čas by měl vyjet změřený ze stanice.

5.2 Varianta 2



Obrázek 9: Ukázkové schéma pro Variantu 2

Jelikož u varianty 1 může dojít k zahlcení stanice 1 a tím ke zpomalení celé linky, je snaha uvést ještě alespoň jednu variantu návrhu. Ve variantě 2 je snahou hlavně zrychlit měření na první stanici. Zkracovat měření není možné z důvodu zachování kvality měření. Proto vzniká možnost vytvořit paralelní pracoviště na stanovišti 1. Tím by se dalo vyřešit pomalé měření a linka by měla být v podstatě neustále stejně rychlá, ať už se na ní měří jakýkoliv typ transformátoru. Na obrázku 9 je vidět náčrt možné podoby linky. Měření na všech stanicích je stejné jako ve variantě 1. Jediné co se změnilo, je první stanice. Na začátku pásu je umístěn rozcestník, který v případě, že je jedno rameno stanice 1 obsazeno, pošle transformátor na rameno volné. Tím je zajištěno, že linka pojede vždycky skoro stejně rychle, i když se na první stanici bude měřit transformátor s vyvedeným kapacitním čidlem.

6 ZHODNOCENÍ VARIANT NÁVRHU

V této kapitole budou probrány výhody a nevýhody obou variant návrhu a bude zvolena vhodnější varianta. Oba návrhy v podstatě splňují požadavky, které byly zadány. Pořadí zkoušek splňuje požadavky normy a na automatické lince jsou měřeny všechny zkoušky. Taktéž je zadáno dodržet současnou kvalitu měření. V obou variantách by kvalita měla zůstat zachovaná. Další požadavek je na potřebnost obsluhy, v obou návrzích obsluha nebude v ideálním případě zasahovat do průběhu měření. Jako obsluha bude jedna proškolená osoba, případně zde může být ještě další člověk na administrativní věci. V obou navržených řešeních je také používán přípravek, který bude podrobně rozebrán v jiné kapitole. Jediným podstatným rozdílem je, že v případě varianty 2, je v podstatě zabezpečena neustále stejná rychlost měření. A to i v případě, že měření na první stanici může trvat na jednom kusu i přes 5 minut. Díky rozdvojení linky před první stanicí sice dostaneme zabezpečenou rychlost, ale úměrně tomu by musel být dokoupen další zdroj napětí, další vyhodnocovací technika, další vodiče a také měřicí jehly. Na rozdíl od varianty 1 kde se využívá pouze jednoduchá linku a v případě, že se začne měřit kombinovaný senzor a vyvedeným kapacitním čidlem na první stanici, dojde ke značnému zpomalení celé linky. Ovšem s ohledem na pořizovací náklady zdrojů a vyhodnocovací techniky a také s ohledem na množství kombinovaných senzorů, zde bude zvolena varianta 1.

Tabulka 5: Srovnání délky měření u jednotlivých variant

	Měření izolační zkoušky sekundárního vinutí a kapacit C1, C2		Měření izolační zkoušky primárního vinutí a částečných výbojů	Měření napěťové a proudové přesnosti	Celkový čas pro změření jednoho kusu	
	S kapacitním čidlem	Bez kapacitního čidla			S kapacitním čidlem	Bez kapacitního čidla
Současný stav	8minut	5 minuty	3 minuty	4 minuty	23 minut	20 minut
Varianta 1	5 minut 15 sekund	3 minuty 15 sekund	2 minuty a 10 sekund	2 minuty a 15 sekund	9 minut a 40 sekund	7 minut a 40 sekund
Varianta 2	5 minut 15 sekund	3 minuty 15 sekund	2 minuty a 30 sekund	2 minuty a 15 sekund	10 minut	8 minut

Tabulka 6: Odhadovaný počet změřených transformátorů

	Rychlost vyjíždění kompletně změřených transformátorů		Počet kompletně změřených transformátorů za 1 hodinu		Počet kompletně změřených transformátorů za 8 hodin	
	S kapacitním čidlem	Bez kapacitního čidla	S kapacitním čidlem	Bez kapacitního čidla	S kapacitním čidlem	Bez kapacitního čidla
Současný stav	20 minut	23 minut	5	6	39	42
Automatická linka 1	4 minuty	2 minuty 30 vteřin	16	25	122	200
Automatická linka 2	2 minuty 30 vteřin	2 minuty 30 vteřin	25	25	200	200

Shora uvedené tabulky byly odhadnuty z provedených simulací nebo údajů od firmy. V tabulce 5 jsou uvedeny časy měření různých transformátorů, časy jsou pouze odhadované, ale výsledky pravděpodobně budou velmi podobné. Uvedené doby pro měření jsou vždy pro jeden kus. Z tohoto pohledu na měřicí lince dochází ke zrychlení pouze díky okamžitému připojení. Je důležité tyto údaje správně pochopit, protože neudávají čas, za který budou vyjíždět transformátory z linky, ale čas po který bude jeden transformátor na lince. Změřené transformátory budou vyjíždět v mnohem kratších periodách. V tabulce 6 jsou potom uvedeny časy, za které budou vyjíždět transformátory a také odhadnuté počty změřených transformátorů. Zde je již patrný rozdíl, proč volit automatickou linku. Z hodnot v tabulce je vidět, že automatické řešení bude minimálně třikrát až čtyřikrát produktivnější než nynější stav. Automatická linka má především výhodu v tom, že se neunaví a nepotřebuje přestávky. To samozřejmě neplatí o obsluze linky, ale vzhledem k předpokládané menší zátěži na pracovníky mohou být přestávky kratší. Potom bude automatická linka ještě rychlejší, než naznačují čísla v tabulce.

7 REALIZACE VYBRANÉHO ŘEŠENÍ

Každý projekt řešený v průmyslu musí obsahovat jak technickou stránku věci, tak také ekonomickou část, ve které jsou vypočteny náklady na projekt a návratnost investic. V tabulce 7 je výčet základních materiálů a přístrojů, které budou pro automatickou linku potřebné. Ceny, uvedené v tabulce jsou z části odhadnuté a z části, zejména u dražších položek, poptané u výrobců nebo dodavatelů.

Tabulka 7: Cenový odhad materiálu potřebného k automatické lince

Název	Počet kusů	Cena za 1 kus [Kč]	Celkem [Kč]
Válečkový pás	18 metrů	10 000	180 000
Robotické rameno	6 kusů	500 000	3 000 000
Přípravek na měření - podložka	10 kusů	5000	50 000
Přípravek na měření - nástavec	5 kusů pro každý typ	2000	100 000
Měřicí jehly do přípravku	42 kusů	70	3 000
Přítlačné posuvníky	8 kusů	30 000	240 000
Mechanický automatický přepínač	4 kusy	10 000	40 000
Další náklady	1 kus	500 000	500 000
			4 113 000

Položkou „další náklady“ jsou myšleny náklady spojené s montáží pásů, robotických ramen a ostatních komponent.

Při této celkové ceně 4 113 000 Kč, by bylo vhodné vypočítat návratnost této investice. Bude vycházeno z údajů, že hodinová sazba za měření je 500 Kč. Potom podle následujících výpočtů se dostaneme až k roční návratnosti při použití automatického řešení.

Hodinová sazba při měření je 500 Kč/hod.

Potom za jednu směnu (8 hodin) 4000 Kč/8hod.

Při současném stavu se změří 42 kusu/8hod.

Takže cena za jedno měření je potom $\frac{4000}{42} = 95$ Kč/kus.

V roce je 8 hodin * 20 dní * 10 měsíců = 1600 pracovních hodin.

Takže bude za jeden rok změřeno přibližně $\frac{1600}{8} * 42 = 8400$ kusů/rok.

Při nákladech na linku 4 200 000 Kč a odpisu výdajů na 5 let.

Odpis za 1 rok = 840 000 Kč

Takže k ceně jednoho měření je připočteno $\frac{840\,000}{1600} = 525$ Kč.

Celková cena automatizovaného měření je 500 + 525 = 1025 Kč/hod.

Takže za jednu směnu je to 1025 * 8 = 8 200 Kč.

Při automatizovaném měření bude dosaženo změření 200 kusů/8hod.

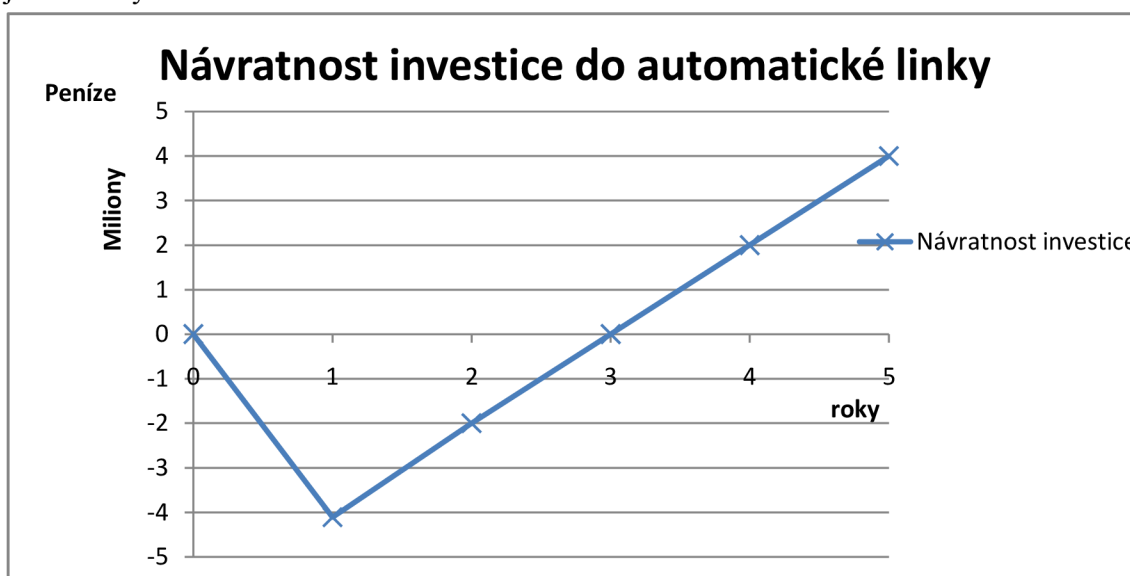
Za jeden rok je to potom $\frac{1600}{8} * 200 = 40\,000$ kusů/rok.

Takže cena automatizovaného měření bude $\frac{8\,200}{200} = 41$ Kč/kus.

Potom bude ušetřeno na každém měření $95 - 41 = 54$ Kč/kus.

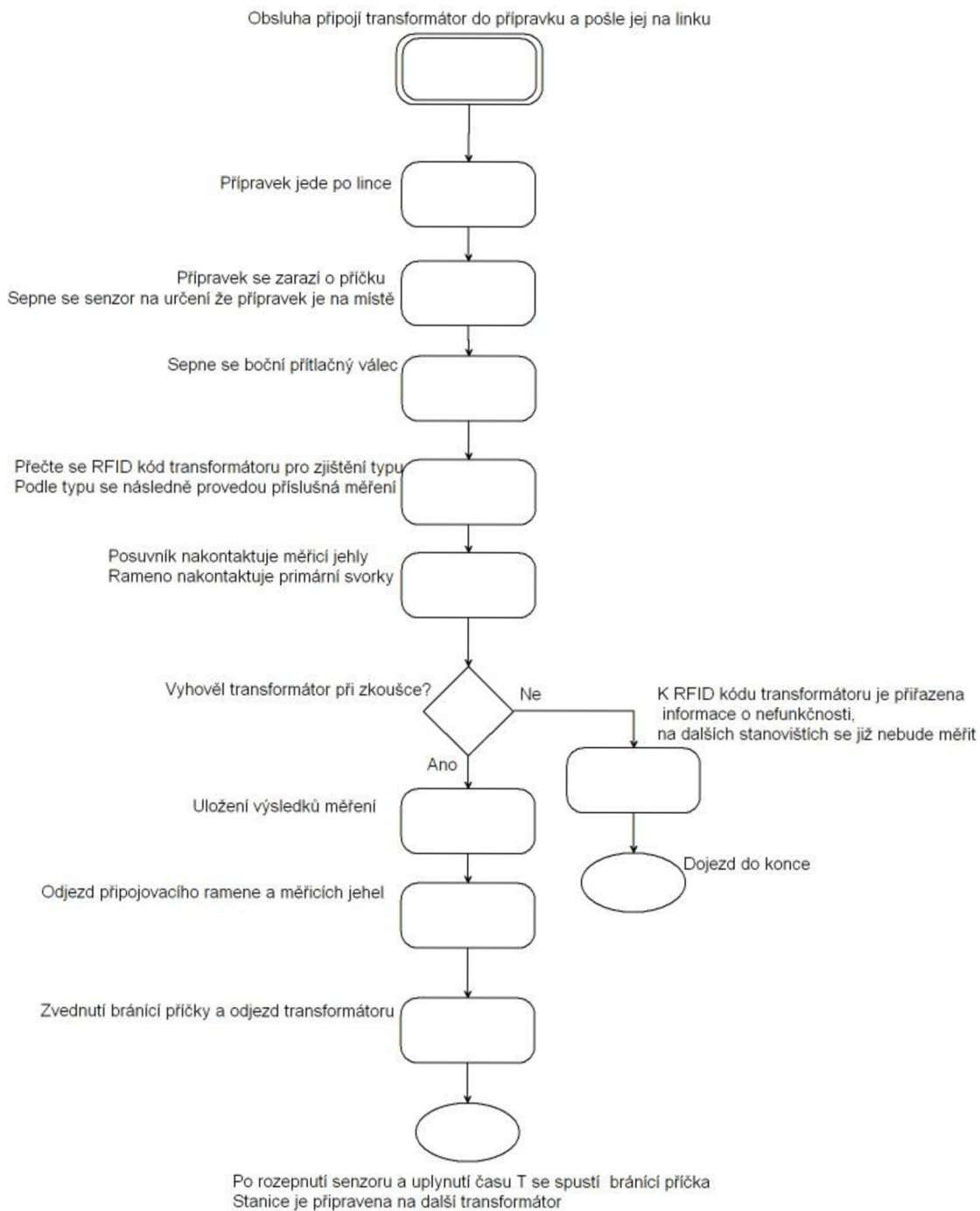
A za celý rok by automatické měření ušetřilo $54 * 40\,000 = 2\,160\,000$ Kč.

Podle výpočtů tedy dostáváme číslo 2 160 000 Kč, což je roční výdělek při měření na automatické lince. Ovšem tato hodnota je víceméně ideální, protože je návratnost počítaná při maximální propustnosti linky, což je 40 000 transformátorů za rok. Ovšem současné výrobní plány ABB nemají ve výhledu tak velkou výrobu. Lze tedy říci, že linka je schopna změřit více senzorů než ABB v současnosti vyrobí, to samozřejmě není na škodu, protože se dá předpokládat měření kusů i od jiných výrobců. Ostatní výrobci mohou využít levnější automatické měření a tím zvýšit výdělek ABB na zkušebním pracovišti. Na obrázku 10 je potom jednoduchý graf návratnosti investice. Je z něho rozpoznatelné, že investice se vrátí během dvou let automatického provozu a další roky již bude vydělávat.



Obrázek 10: Graf návratnosti investice

Na obrázku 11 je potom znázorněný vývojový diagram funkčnosti automatické linky. Jsou v něm popsány veškeré činnosti, které budou prováděny na jednom stanovišti. Tento diagram slouží pro všechna stanoviště, jelikož mechanismus připojování a měření bude podobný. Je v něm také znázorněno, co se stane, pokud transformátor nevyhověl při zkoušce.



Obrázek 11: Vývojový diagram, který znázorňuje průběh měření na všech pracovištích

8 NÁVRH PŘÍPRAVKU PRO MĚŘENÍ

Důležitou částí návrhu je přípravek pro automatizovanou linku na obrázku 12. Na počátku měření se do přípravku vloží měřený kus a do konektorů na přípravku se zapojí veškeré vývody z transformátoru, tedy i zem. Tímto řešením budou přípojné body pro měřicí stanice vždy na stejném místě. Přípravek byl navrhnout v programu Autodesk Inventor 2010. Návrh přípravku je závislý na rozměrech a tvarech všech transformátorů a měřicích senzorů, který ABB vyrábí. V této kapitole bude podrobně rozebrán návrh přípravku, konstrukční řešení. Bude zde také návrh připojovacího konektoru, kde bude opět předneseno více návrhů a vybrán neoptimálnější.

8.1 Návrh rozměrů a konstrukčního řešení přípravku

Na začátku vzniklo více návrhů na tvar a rozložení přípravku. Zde budou uvedeny postupně všechny zvažované varianty a jejich zhodnocení, současně se zdůvodněním výběru jednoho typu.

8.1.1 Varianta pro každý typ vlastní přípravek

V této variantě byla zvažována možnost, že pro každý jednotlivý typ transformátoru bude vytvořen speciální přípravek. Tato varianta se jeví velmi vhodná díky tomu, že přípravky budou přímo specifické pro jednotlivé typy transformátorů. Díky tomu by bylo velmi snadné uchycení transformátorů. Ovšem tato varianta byla navrhována v přesvědčení, že výroba transformátorů, a tím i jejich měření, probíhá po velkých sériích. Tím by bylo zajištěno, že se jeden přípravek budu využívat neustále celý týden, bez nutnosti záměny za jiný přípravek. V tomto případě by byla tato varianta nejlepším řešením.

Ovšem situace výroby a měření transformátorů je odlišná. Na zkušebnu přichází transformátory v pořadí určeném výrobou, takže přicházejí víceméně náhodně. To znamená, že by na zkušebně museli být v pohotovosti všechny druhy přípravků, což je vzhledem k počtu typů těžko splnitelné. Takže z důvodů prostorových a také z důvodu větších nákladů bylo od této varianty upuštěno.

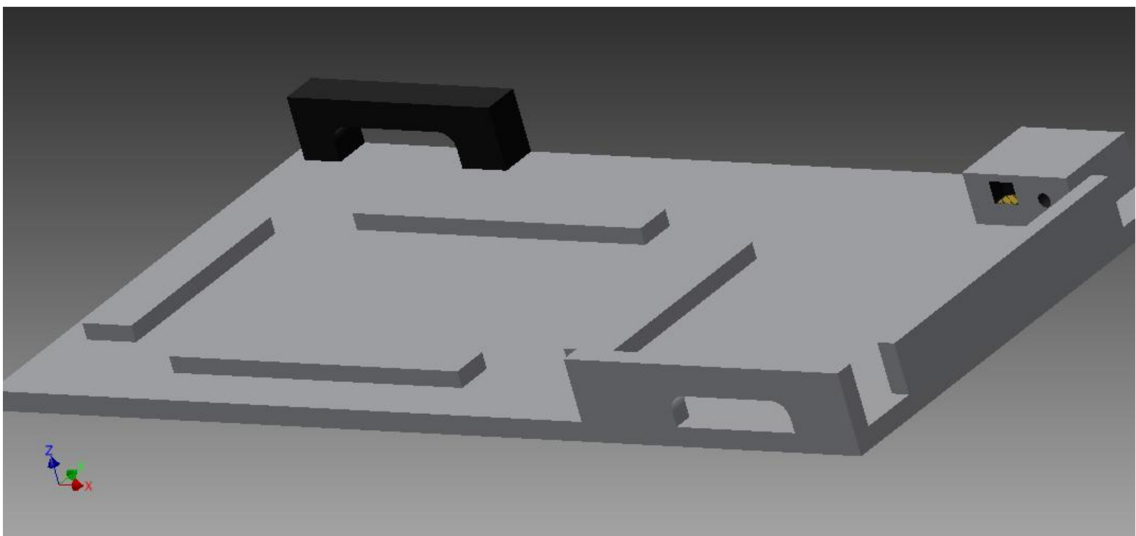
8.1.2 Varianta pro podobné typy jeden přípravek

Jako další nápad bylo vytvořit stejný přípravek pro transformátory podobných typů. Tím by byl podstatně snížen počet přípravků, ale za cenu toho, že transformátory půjdou těžko uchytit. Bohužel, ani pro podobné typy není možné vytvořit takový přípravek, který by byl ideální pro všechny. Tento nápad byl v mírné úpravě uvažován v dalších návrzích, se snahou zmenšit počet přípravků.

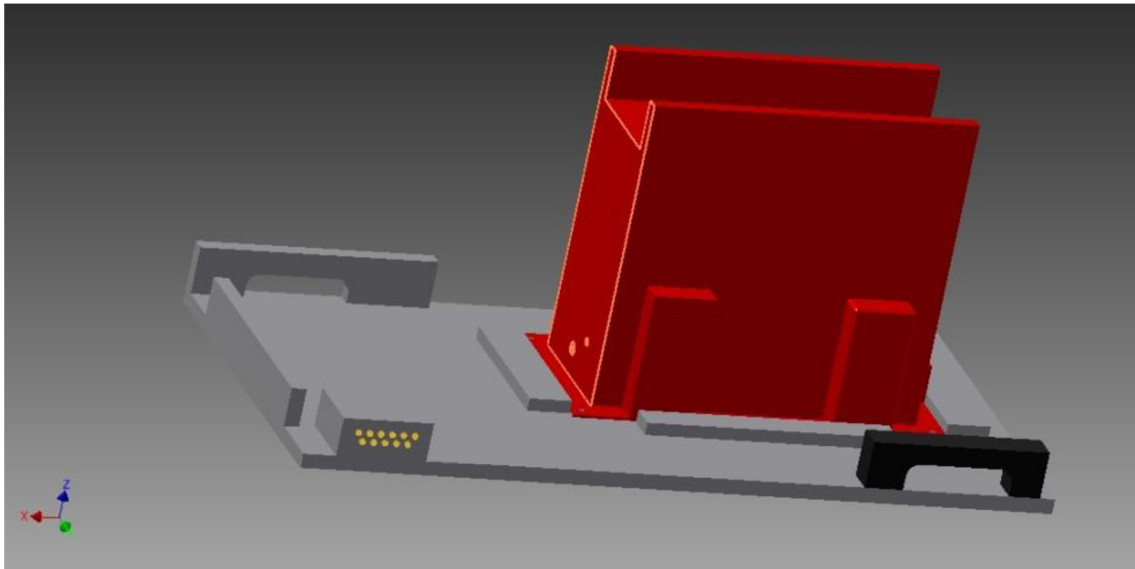
8.1.3 Varianta podložky a nástavců

V tomto návrhu byly zhodnoceny předchozí návrhy a také bylo přihlédnuto k počtům vyrobených transformátorů. Bylo zjištěno, že skoro polovinu vyrobených kusů za rok zabírá jeden typ senzorů. Díky tomuto zjištění byl navržen následujícím postupem přípravek. Přípravek bude rozdělen na dvě části, spodní podložku a nástavec pro specifický typ. Spodní podložka je na obrázku 12 a obsahuje: Prostor pro upevnění nejpoužívanějšího transformátoru, úchytky pro přípravek specifického typu, místo pro kabely a připojovací konektor. Do této podložky se přímo dají zasazovat senzory typu KEVCD, jak je vidět na obrázku 13. Přípravek na specifický typ bude rozměry a parametry uzpůsoben na jednotlivé typy senzorů a bude pro každý typ jiný. Podložka s přídatnou částí pro senzor typu KECR, která je na obrázku 14 se zasadí přímo do podložkové části a transformátor se připojí opět do stejného konektoru.

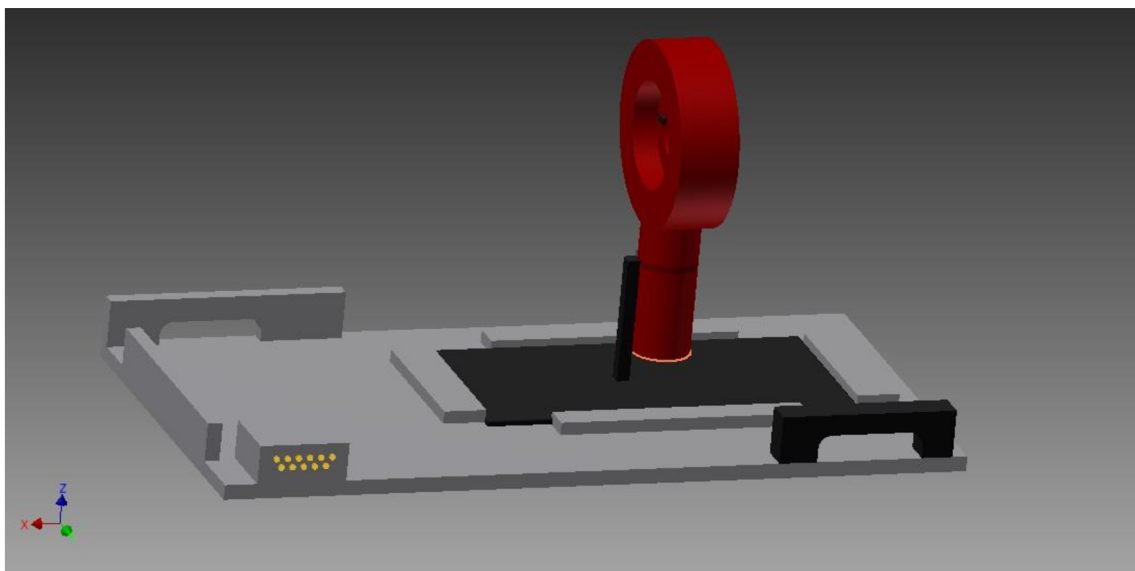
Díky tomuto řešení se bude používat nejčastěji pouze základna (podložka) přípravku a další nástavce půjdou bez problému přidělat. Výhodou tohoto řešení je hlavně to, že všechny transformátory budou připojeny do stejného konektoru. To je podstatné hlavně pro připojování přípravku na měřicí stanici. Jako konečná verze byl vybrán tento typ přípravku, který snižuje cenu přípravků (konektor bude pouze na podložce) a také konečný počet přípravků.



Obrázek 12: Podložka přípravku pro měření transformátorů na automatické lince



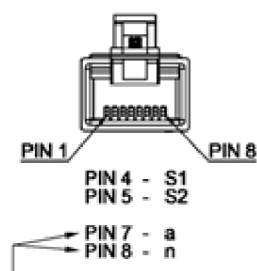
Obrázek 13: Přípravek transformátorem KEVCD



Obrázek 14: Nástavec na podložku pro typ KECR

8.2 Návrh připojovacího konektoru

Připojovací konektor bude jedna z nejvíce namáhaných částí přípravku. Proto bude muset být pevně uchycený a stabilní. První otázka je, kolik pinů musí mít konektor. Zde je nutné zjistit maximální počet vodičů, které se do transformátorů připojují. Z průběhu měření zjistíme, že minimálně tři měděné vodiče (napájecí, nulový a zemnicí) a také výstup transformátoru, nejčastěji konektor RJ-45. Ovšem u konektoru RJ-45 nejsou využity všechny vodiče, využívají se pouze čtyři, jak je vidět na obrázku 15.

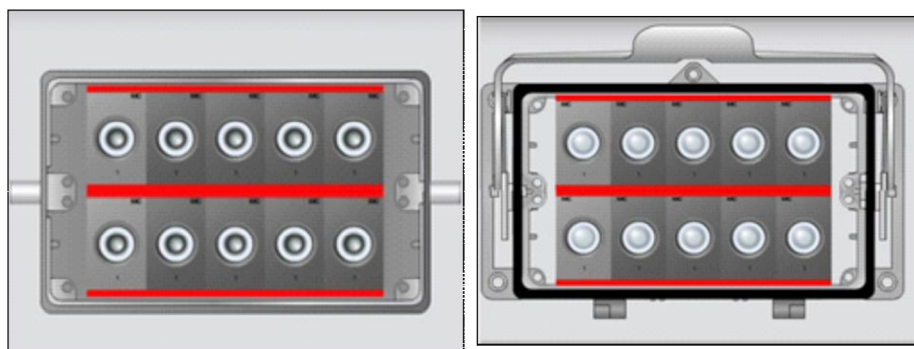


Obrázek 15: Používané vodiče v konektoru RJ-45 z [5]

Tím se dostáváme na počet sedmi vodičů, a tedy také sedmi pinů na případném konektoru. Ovšem pro větší komfort a také z důvodů rezerv bylo rozhodnuto o jedenácti-pinovém konektoru.

Nyní je nutné se podívat na připojovací konektor z jiného pohledu. Nabízí se varianta, zasadit do desky jeden z mnoha vyráběných průmyslových konektorů. Ovšem je nutné najít takový konektor, který má alespoň sedm (nejlépe jedenáct) vodičů a který bude schopen vydržet neustálé připojování a odpojování. Počet připojování a odpojování je odhadnut na minimálně 20 za hodinu, to je 160 za osm hodin. Pokud bude požadavek (a to je předpokládáno) aby konektor byl plně funkční, tj. nevyviklaný a jinak nepoškozený, více jak měsíc, je zde problém. Dalším faktorem pro konektor je proudová výdržnost minimálně na 1 A, což je proud, který některými vodiči prochází. Tyto faktory výrazně zužují výběr průmyslově vyráběného a cenově dostupného konektoru.

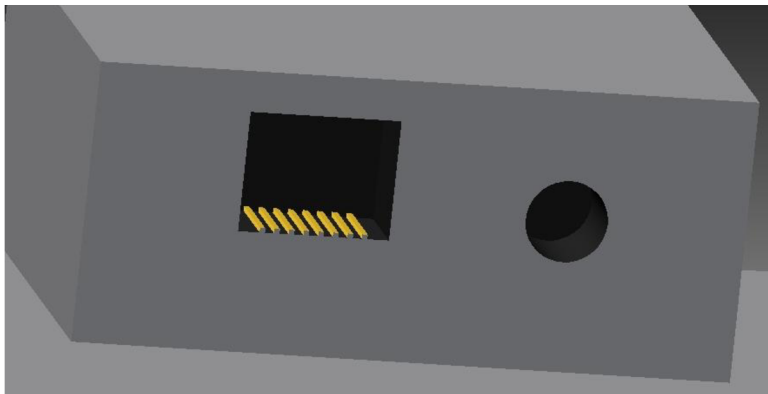
Jako průmyslový konektor byl nalezen konektor od firmy Multi-contact : Varianta průmyslového konektoru s deseti piny, výrobce garantuje odolnost 3000 vypojení / zapojení. Proudová výdržnost se pohybuje mezi 40A-100A. Na obrázku 16 je potom ukázka tohoto konektoru z katalogu výrobce.



Obrázek 16: a) Průmyslový konektor samice, b) Průmyslový konektor samec

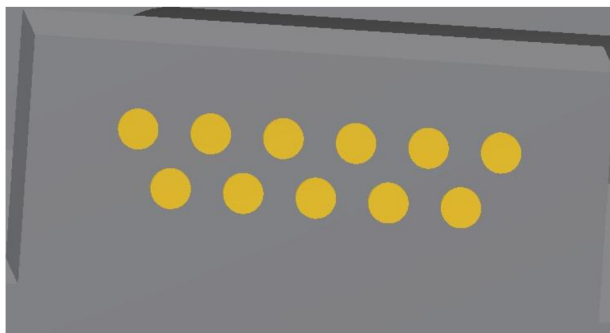
Jelikož průmyslový konektor se jeví jako málo odolný pro tuto aplikaci, bylo nutné vymyslet jiné řešení. Tímto řešením se ukázaly kontaktní plošky. Do destičky bude zasazeno 11 kontaktních plošek, ke kterým lineárním pojezdem budou nakontaktovány měřicí jehly. V projektu budou používány měřicí jehly od výrobce Technic Partner s označením 1025/e-d-1 které jsou dimenzovány na proud až 8 ampér. Na obrázku 17 je

pohled na konektor z vnitřní strany, tedy strany, kam se budou připojovat vývody z transformátoru. Je zde nakreslen otvor pro konektor WEB 8-8 LED, do kterého se připojí kabel RJ-45 a také otvor pro vývodku o průměru 9 mm, kterou prochází již zmiňované tři vodiče.



Obrázek 17: Konektor z vnitřní strany

Na obrázku 18 je potom pohled na konektor z vnější strany. Zde je vidět jedenáct kontaktních plošek, na které budou dojíždět měřicí jehly.



Obrázek 18: Konektor z vnější strany

U této varianty záleží na přesnosti dojezdu kontaktních jehel mnohem méně, než na přesnosti dojezdu průmyslového konektoru. Je to díky tomu, že průměr měřicí jehly je 1,5 mm a průměr kontaktní plochy je 4,03 mm. To poněkud zmenšuje požadovanou přesnost dojezdu. Stabilní poloha přípravku na pásu bude dosažena jednak příčkou, která mu zabrání v dalším pojezdu, ale také posuvným pístem, který přípravek i s transformátorem přitlačí ke straně pásu a bude ho po dobu měření držet.

9 SROVNANÍ SOUČASNÉHO A REALIZOVANÉHO ŘEŠENÍ

V rámci bakalářské práce byl vyroben přípravek podle popisu v předchozích kapitolách a byl také otestován na zkušebně firmy ABB. Byla provedena srovnávací měření, za účelem zjištění ovlivňování měření přípravkem. Měření probíhalo tak, že byl vybrán jeden kus senzoru KEVCD, na kterém se provedla nejprve izolační zkouška sekundárního vinutí běžným způsobem (bez použití přípravku). Poté se vzal stejný kus, vložil se do přípravku a opakovalo se měření a následně další zkoušky. Tím bylo dosaženo optimálního srovnávání měřících metod.

9.1.1 Izolační zkouška na sekundárním vinutí + měření kapacit C1 a C2

Tabulka 8: Srovnání kapacit C1 a C2

Měření kapacitního čidla			
Odpor 100 K Ω		Bez přípravku	S přípravkem
U _p = 5 KV	Kapacita C1	Úbytek napětí = 1,88 V	Úbytek napětí = 1,9 V
		C1 = 12 pF	C1 = 12 pF
U _s = 2 KV	Kapacita C2	Úbytek napětí = 0,59 V	Úbytek napětí = 2,46 V
		C2 = 10 pF	C2 = 43 pF

Pořadí testovaných zkoušek bylo zvoleno tak, aby odpovídalo normě a proto byla jako první izolační zkouška na sekundárním vinutí. U této zkoušky se ovšem neměří žádné hodnoty, které by mohli být srovnány. Proto byla pouze provedena zkouška napětí 500 V a pozorováno, jestli nedojde k průrazu. K průrazu nedošlo ani při jednou měření a proto byla tato zkouška označena jako úspěšně provedená.

Následuje zkouška kapacit C1 a C2, jejichž srovnání je vidět v tabulce 8. Při měření kapacity C1, jak je vidět z tabulky, nedošlo k žádnému výraznému ovlivnění. To je díky tomu, že primární vodič zůstal stejný. Ovšem u kapacity C2 je situace výrazně horší, kapacita C2 se zvětšila více než čtyřikrát oproti původní hodnotě a to je již nepřipustná mez. Takže senzor by v tomto případě musel být vyřazen kvůli zkoušce na kapacitu C2. Ovšem zde je jasný důvod neúspěchu zkoušky a to jsou dlouhé vodiče v přípravku, kapacita se proto měří i z vodičů a zákonitě musí být výsledky mnohem horší. Řešení je zde dvojího typu, zkrácení sekundárních kabelů na minimum nebo přizpůsobení přepočtové tabulky současným delším vodičů. Jelikož známe jejich přesnou délku, můžeme vypočítat, jaký úbytek napětí na nich vzniká a následně přepočíst na kapacitu C2.

9.1.2 Izolační zkouška na primárním vedení + měření částečných výbojů

Tabulka 9: Srovnání částečných výbojů

Částečné výboje + Izolační zkouška primárního vedení		
Hodnoty měřicího napětí	Výboje bez přípravku	Výboje s přípravkem
Um = 50 KV	30 pF	30 pF
Uh = 27,8 KV	0 pF	0 pF
Ud = 16,6 KV	0 pF	0 pF

Po změření kapacit následuje měření částečných výbojů a izolační zkouška primárního vinutí. U izolační zkoušky primárního vinutí, stejně jako u sekundárního vinutí, se neměří žádné hodnoty, pouze se sleduje, zda nedojde k průrazu izolace. Jelikož primární obvod senzoru do přípravku není připojen, žádné ovlivnění zde nemohlo nastat a zkouška byla úspěšně absolvována.

Stejná situace je i při měření částečných výbojů, kde srovnání je vidět z tabulky 9. Na hodnotě napětí 50 kV jsou částečné výboje v obou případech stejné a to 30 pF. Že zde nedošlo k žádnému ovlivnění je opět zřejmé z toho, že vzdálenost mezi primárními svorkami a uzemněním zůstala prakticky stejná.

9.1.3 Měření napěťové přesnosti

Tabulka 10: Srovnání napěťové přesnosti

Napěťová přesnost				
Bez přípravku		S přípravkem		Poznámka
Chyba v procentech	Chyba ve voltech	Chyba v procentech	Chyba ve voltech	
$\varepsilon = -0,06 \%$	7,62 V	$\varepsilon = -0,10 \%$	12,71 V	
$\varphi = 4,91'$		$\varphi = 23,42'$		
		$\varepsilon = -0,12 \%$	15,24 V	
		$\varphi = 23,48'$		
		$\varepsilon = -0,05 \%$	6,35 V	Nepřipojené RJ45 do přípravku
		$\varphi = 2,33'$		

Jako další přichází na řadu zkouška napěťové přesnosti, ta se u senzoru KEVCD provádí napětím $\frac{22\,000}{\sqrt{3}}$ V, což je 12 701 V. V tabulce 10 jsou srovnány naměřené chyby, kde ε značí amplitudovou chybu a φ fázovou chybu. Pro správné absolvování zkoušky je důležitá především malá amplitudová chyba. Měření se provádí srovnávací metodou, jak již bylo v práci dříve uvedeno, takže jednotlivé chyby jsou rozdílem hodnot referenčního a měřeného senzoru. Z naměřených hodnot při zapojení RJ 45 do

přípravku je vidět mírné zhoršení amplitudové a výraznější zhoršení fázové chyby. Zde je zhoršení patrně způsobeno prodloužením kabelu s RJ 45 a také více přechodových odporů na přípravku. V rámci testování přípravku byla odzkoušena ještě možnost, že uzemnění bude zapojeno do přípravku, ale konektor RJ 45 bude zapojen přímo. Tento případ ukázal, že uzemnění je dobré a měření bylo podobné jako bez přípravku, ovšem toto je pouze v rámci testování a při automatickém řešení bude RJ 45 připojen do přípravku.

9.1.4 Měření proudové přesnosti

Tabulka 11: Srovnání proudové přesnosti

Proudová přesnost				
Bez přípravku		S přípravkem		Poznámka
Chyba v procentech	Chyba v milivoltech	Chyba v procentech	Chyba v milivoltech	
$\varepsilon = 1,22 \%$	1,53 mV	$\varepsilon = 1,03 \%$	1,5 mV	
$\phi = -2,29'$		$\phi = -3,85'$		
		$\varepsilon = 1,03 \%$	1,5 mV	
		$\phi = -3,85'$		
		$\varepsilon = 1,03 \%$	1,5 mV	Nepřipojené RJ45 do přípravku
		$\phi = -3,84'$		

Poslední testovanou zkouškou byla proudová přesnost. Senzor KEVCD se testuje proudem 80 A, naměřené chyby jsou potom odvozovány od výstupního napětí 150 mV. U této zkoušky nastalo dokonce mírné zlepšení měření při použití přípravku a to jak s připojeným tak nepřipojeným RJ 45.

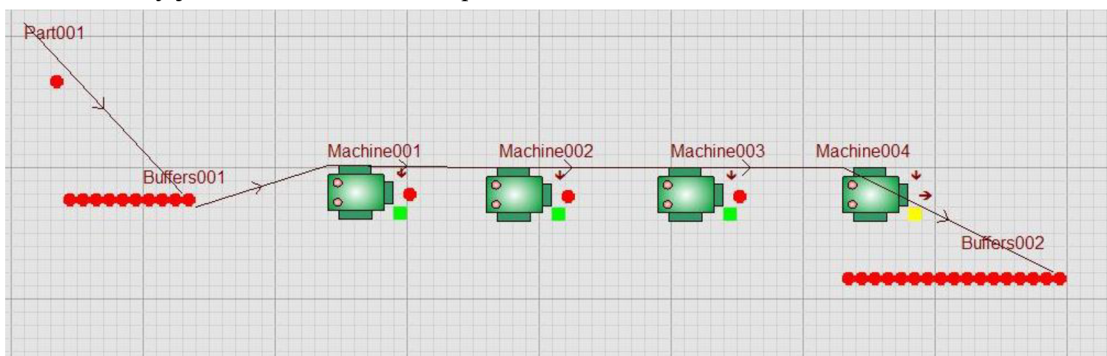
Všechna měření proběhla na zkušební firmě ABB pod dohledem zkušeného pracovníka. Tím bylo zaručeno, že nedojde k poškození senzoru, přípravku ani měřících přístrojů. Při měření byla pořízena fotodokumentace průběhu, ale s ohledem na bezpečnostní normy, budou vybrané pořízené snímky uvedeny pouze v prezentaci k bakalářské práci.

10 ANALÝZA PROBLÉMŮ A JEJICH ŘEŠENÍ

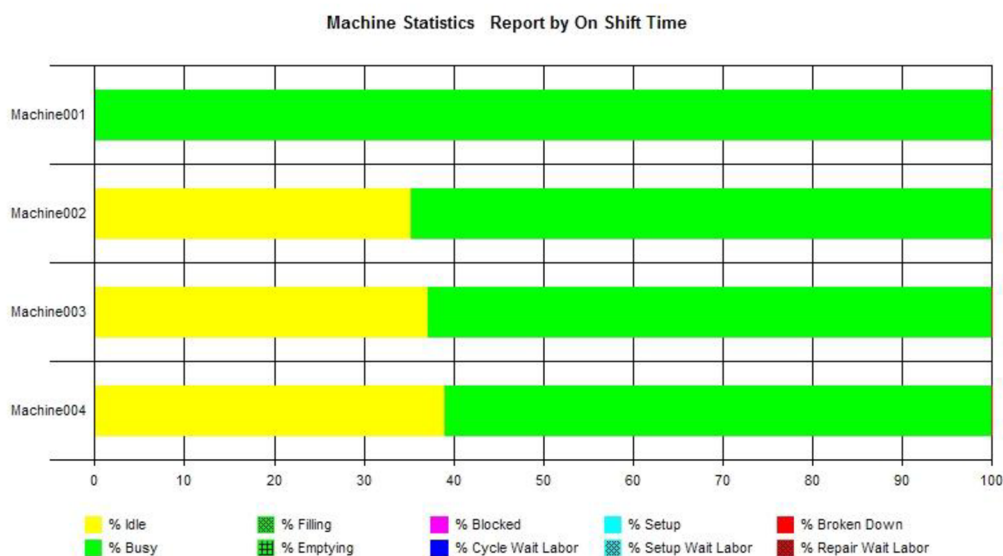
V řešení se samozřejmě vyskytly problémy, jak v komplexním návrhu celého řešení linky, tak i v návrhu jednotlivých částí. V této kapitole budou uvedeny nejpodstatnější problémy, které bylo nutné při práci na návrhu vyřešit.

10.1 Prostorové řešení linky

V počátku řešení bylo potřeba zjistit, jak velkým přínosem bude automatická linka. To znamená zjistit současný počet změřených transformátorů a určit odhadnutý čas, za který provede měření linka. Pro tento účel bylo vytvořeno simulační schéma v programu Witness na obrázku 19 a na obrázku 20 je graf vytíženosti stanic. Program Witness slouží k simulaci chodu průmyslových provozů, díky simulaci je následný proces možné vhodně optimalizovat. Byla odzkoušena různá řešení linky, zahrnující zdvojování měřících stanic a možné zásobníky změřených transformátorů. Nejrychlejším způsobem byla zmiňovaná Varianta 2, ale cena za zdvojení linky se ukázala vyšší než přínos toho řešení. Proto byla vybrána linka, na které je každá stanice pouze jednou, ale vystačí se s již používanými zdroji. Ovšem pro případné zrychlení provozu linky je možné Variantu 2 aplikovat.



Obrázek 19: Simulační schéma v programu Witness



Obrázek 20: Graf znázorňující využitost jednotlivých stanic

10.2 Funkce konektoru

Další z problémů, které museli být vyřešeny, bylo zajištění kvality měření alespoň takové, jako při současném stavu. To byl problém zejména u měření částečných výbojů, jelikož toto měření je velmi náchylné k chybám, jsou-li v blízkosti měření kovové objekty a špičaté hrany. V prvním návrhu na řešení linky bylo, připojit veškeré vývody z transformátoru do navrhovaného konektoru. Tím by se samozřejmě ušetřilo další připojovací zařízení, ovšem následnou analýzou problému bylo zjištěno, že blízkost všech vodičů by ovlivňovala měření. Proto bylo vymyšleno jiné řešení, a to takové, že část vývodů (výstup z transformátoru, uzemnění, výstup kapacitního čidla) bude připojena do konektoru a primární vinutí se bude připojovat samostatně. Tím bude odstraněno rušení od ostatních vodičů. Díky tomuto řešení bude také lehčí výroba konektoru, jelikož na výstupu transformátoru netečou proudy větší než 1 A.

10.3 Dojezd kontaktních jehel

Nabízí se další otázka a to otázka přesnosti dojezdu kontaktních jehel na konektor přípravku. A stejný problém nastane při kontaktování primárních obvodů. Celý přípravek se bude pohybovat po kolečkovém pásu, takže není zaručena neustále stejná poloha přípravku. Proto byl vymyšlen následující způsob. Přípravek jedoucí po kolečkovém pásu, bude zastaven pevnou příčkou, která bude vysunuta ze spodu pásu. Ale toto stále nezaručuje přesnou polohu a proto bude nutný ještě boční (např. pneumatický) posuv, který přitlačí přípravek i s transformátorem k jedné straně. Tím už je zaručena neustále stejná poloha přípravku pro dobré kontaktování. Ovšem spolu s příjezdem měřicích jehel přichází další problém. Posuv, který bude přivázet měřicí

jehly k přípravku, musí na přípravek vyvinout určitý tlak, tak aby bezpečně došlo ke kontaktu. To ale může způsobit, že transformátor se po kolečkovém pásu odsune a ke kontaktu nedojde. Zde se nabízí řešení, upevnit přípravek tak, aby měřicí jehly přijížděli k přípravku z vrchu. Tím by byla zajištěna pevná plocha plochou pásu a nedošlo by k odsunutí přípravku. V tomto případě je jednodušší varianta, a to taková, že posunovací rameno, které dostaví přípravek k boku pásu, zůstane držet přípravek na místě. Tím nedojde k odtlačení a správný kontakt bude zajištěn.

10.4 Práce s vadnými transformátory

Je jasné, že některé transformátory neprojdou zkouškami a musí být odděleny od ostatních. Problémem však je, co s transformátory které neprojdou hned první zkouškou na automatické lince. Pokud by byl vadný transformátor měřen i v dalších stanovištích, mohlo by dojít k poškození měřicích přístrojů. První nápad, který se zde nabízí, že pokud transformátor neprojde zkouškou, ozve se zvukový nebo světelný signál. Obsluha přijde a vadný transformátor odstraní. To se zdá jako nejlehčí možné řešení i vzhledem k množství vadných transformátor, kterých je velmi malé procento. Ale problém je zde s bezpečností provozu, která by mohla být ohrožena cestováním obsluhy. Proto bylo nutné vytvořit i jinou metodu odstraňování nevyhovujících transformátorů. Zde vzniklo následující řešení, v každé stanici se snímá výrobní číslo transformátoru (RFID) a proto po neúspěšné zkoušce bude k číslu přiřazen příznak, který zabráni měření transformátoru na dalších stanicích. Tento nevyhovující kus tedy objede celou linku, ovšem nebudou na něm prováděna další měření, a na konci linky bude obsluhou vyřazen.

11 ZÁVĚR

Na počátku této práce se čtenář seznamuje s pojmem přístrojový transformátor a měřicí senzor. Následují druhy zkoušek prováděných na těchto zařízeních. Je uveden výčet kusových zkoušek, které budou na lince vykonávány a jejich rozbor včetně zapojení.

Práce také rozebírá současný stav měření, jeho výhody a nevýhody. Je ukázáno současné měřicí pracoviště, počty pracovníků a výpočet změřených kusů za rok. Na tuto kapitolu navazují dvě varianty návrhu, detailně popisující průběh automatizovaného měření. Opět jsou zde názorná schémata obou návrhů. V další kapitole je potom probráno srovnání obou návrhů vzájemně a také se současným stavem. Dochází se k závěru, že přínos varianty 2 nevyrovná požadované náklady. Takže pro automatický provoz je zvolena varianta 1, která je dostatečně jednoduchá a výkonná.

Pro vybranou variantu je zpracován jednoduchý rozpočet výdajů a výtěžků přehledně v tabulce. Uvedené ceny jednotlivých komponent byly poptány u výrobců nebo dodavatelů. Pro představu funkce automatizovaného řešení je, k dříve uvedeným obrázkům, ještě vytvořen stavový diagram, kde jsou postupně popsány všechny momenty provozu.

Jelikož pro automatické měření bylo nutné vymyslet měřicí přípravek, je podrobně rozebrána celá tato ideologie. U návrhu konektoru na přípravku jsou uvedené důvody, proč byl vymyšlen vlastní, místo použití již vytvořených průmyslových konektorů. Že navržený přípravek je funkční dokresluje také srovnávací měření s přípravkem, které bylo provedeno na zkušební firmě ABB. Měření proběhlo bez menších problémů a ovlivnění přípravkem vzniklo pouze při zkoušce na kapacitu C2. Ovšem tato nepřesnost je velmi lehce odstranitelná. Na konci práce jsou potom uvedeny problémy při návrhu linky, společně s řešením, které bylo vymyšleno.

Závěry práce již byly prezentovány na studentské soutěži EEICT a byly publikovány v konferenčním sborníku.

Zadáním práce bylo navrhnout automatickou linku tak, aby zůstala kvalita měření stejná nebo podobná. A také aby se zrychlilo měření a ušetřilo více peněz. Kvalita měření se ověřila srovnávacím měřením, a je možno říci, že přípravek výrazně nezhoršuje měření. Proto se dá předpokládat, že ani při automatickém měření, nedojde ke zhoršení kvality měření. Zrychlení měření je srovnáno v tabulkách 5 a 6, kde je vidět v celku slušný růst změřených kusů při automatickém řešení. Tyto výsledky jsou také podpořeny simulací v programu Witness, která byla pro tyto účely vytvořena. Posledním bodem byla cenová investice a návratnost, které jsou rozebírány v samostatné kapitole s grafem návratnosti. Z toho vyplývá, že zadání bylo splněno a tato práce poskytne výchozí bod při realizaci automatické měřicí linky na zkušebním pracovišti firmy ABB.

Literatura

- [1] ZEZULKA, F. *Prostředky průmyslové automatizace*. Brno : VUTIUM, 2004. 176 s. ISBN 8021426101.
- [2] DĚDKOVÁ, J. *Modelování elektromagnetických polí*. Brno : VUTIUM, 2005. 185 s. ISBN TEE501.
- [3] GESCHIEDTOVÁ, E; REZ, J; STEINBAUER, M. *Měření v elektrotechnice : Měření v elektrotechnice*. Brno : VUTIUM, 2002. 184 s. ISBN 8021419903.
- [4] JAVORA, R; VÁŇO, P. *Design of transducers matching requirements of microprocessor-based equipment : Electric power engineering*. Brno : [s.n.], 2010. 431 s.
- [5] ABB. *Current and voltage sensor : Technical guide no.* [s.l.] : [s.n.], 2003. 79 s. 1VLC000579
- [6] ČSN EN 61869-1. *Přístrojové transformátory : Část 1 : Všeobecné požadavky*. [s.l.] : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, Duben 2010. 62 s.
- [7] ČSN EN 60044-7. *Přístrojové transformátory : Část 7 : Elektronické transformátory napětí*. [s.l.] : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, Prosinec 2001. 65 s.
- [8] ČSN EN 60044-8. *Přístrojové transformátory : Část 8 : Elektronické transformátory proudu*. [s.l.] : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, Červen 2004. 122 s.
- [9] ABB. *Technická norma PNP9078 : Kontrola kapacitního děliče pro senzory*. [s.l.] : [s.n.], 2004. 4 s.
- [10] BRÝDL, O. Workplace for Final Testing of Electronic Transformers. In *Proceedings of the 17th Conference STUDENT EEICT 2011*. 2011. s. 35-37. ISBN: 978-80-214-4271- 9.

Seznam symbolů, veličin a zkratk

RFID identifikace na rádiové frekvenci - Radio Frequency Identification

KEVCD kombinovaný senzor vyráběný firmou ABB

KERC proudový senzor vyráběný firmou ABB