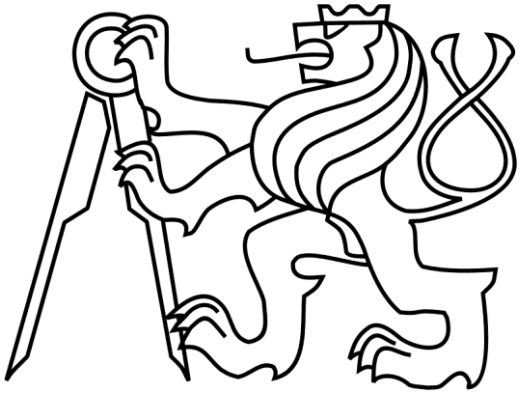
České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky



Diplomová práce

Výměna transformátoru 63MVA 110/22kV v podniku ŠKODA AUTO a.s.

Bc. Jakub Rejman

Vedoucí práce: Ing. Ivan Cimbolinec

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Obor: Elektroenergetika

2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Jakub Rejman**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Výměna transformátoru 63MVA 110/22 kV v podniku ŠKODA AUTO a. s.**

Pokyny pro vypracování:

Vyhodnoťte současný stav napájení provozovaného systému 22 kV z hladiny 110 kV a navrhněte potřebné technické úpravy s ohledem na zajištění potřebné výkonové rezervy a provozní spolehlivosti.

1) Vyhodnoťte současný stav z hlediska výkonových bilancí a ekologie.
2) Navrhněte potřebné technické úpravy stanoviště transformátorů s ohledem na instalaci transformátoru 110/22 kV s větším jmenovitým výkonem.
3) Vypracujte časový harmonogram a popište rozsah provozních zkoušek před uvedením transformátoru do trvalého provozu.
4) Ověřte výpočtem velikost zkratových proudů v rozvodně 22 kV.
5) Naznačte možnosti dalšího případného zlepšení původního stavu.

Seznam odborné literatury:

[1] Skála,Maxmilián. Transformátory na velmi vysoká napětí . Praha: Státní nakladatelství tech. literatůry, [1958].
[2] Veverka,Antoní,Heller, Bedřich. Rázové jevy v elektrických strojích. 1.vyd. Praha:Státní nakladatelství technické literatůry, [1953]
[3] Hodinka, Miloslav, Štefan Fecko a František Němeček. Přenos a rozvod elektrické energie. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1989. 323 s.
[4] Provozní předpisy, technické normy, další literatura a podklady dle pokynů vedoucího

Vedoucí: Ing. Ivan Cimbolinec

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Ing. Jan Švec Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 4. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 11. května. 2015 Podpis

Poděkování

Mé poděkování patří Ing. Ivanu Cimbolincovi., za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohli při vypracování práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Ladislavovi Mucskovi a Ing. Zdeňku Lintimerovi za spolupráci při poskytnutí technických zpráv, provozních a pracovních předpisů, obrázků a dále pak za cenné rady a připomínky z provozu sítí vysokého napětí v areálu podniku ŠKODA AUTO.

Abstrakt:

Téma diplomové práce vzniklo z požadavku na výměnu síťového transformátoru T101 110/22 kV, na základě měření ukazující horizont životnosti stroje. V práci se zabývám ověřením provedené výměny, která zároveň může sloužit jako částečný podklad pro výměnu dalšího ze tří transformátorů. Je zde také provedeno srovnání s předchozím stavem a je popsána problematika výměny stroje a jeho uvedení do provozu. Část je také věnována popisu stavebních úprav stanoviště s popsáním nutné legislativy, kterou musí stání stroje i samotný stroj splňovat. V další částí je počítání zkratových poměrů v soustavě 110 kV a 22 kV. Jedna z kapitol se také zabývá chráněním transformátoru. Na závěr práce jsem provedl zhodnocení díla a možné případné zlepšení původního stavu.

Klíčová slova:

Transformátor, Zkratové poměry, Rozvodna, Provozní zkoušky, Ochrany síťových transformátorů

Abstract:

Thesis topic arose from the requirement to replace the power transformer T101 110/22 kV based on measurements that indicate it´s life of the machine. This dissertation verifies the accomplished excgange and it may partially instruct ti exchange a transformer. There is also a comparison with the previous situation, and describes the problems of replacement equipment and commissioning. One section interprets the law regarding location and functioning of the machine. The another counts short-circuit conditions in a system of 110 kV and 22 kV. The last section discuss the protection of a transformer. In conclusion I evaluated the whole project of this exchange and propose an improvement.

Key words:

Transformer, short circuit currents, substation, operation tests, Protection of network transformers

Obsah

Prohlášení.....

Úvod.....11

1. Elektrizační soustava.....12

1.1. Přenosová soustava 12

1.2. Distribuční soustava 13

1.4 Veřejná rozvodná síť 13

1.5 Lokální distribuční soustava 14

2. Lokální distribuční soustava ŠKODA AUTO a.s. 15

2.1 Rozvodna 110 kV (E25)..... 16

2.2 Rozvodna 22 kV (E25)..... 18

3. Transformátory.....22

3.1 Rozdělení transformátoru dle obecného užití: 22

3.2 Popis transformátoru T101..... 22

3.2.1 Technické parametry transformátoru 24

3.2.2 Provozní stav..... 28

3.3 Dispoziční řešení stanoviště výkonových transformátorů 29

3.3.1 Popis stanoviště..... 29

3.3.2 Jímky..... 31

3.3.3 Tlumící cívky 35

4. Časový harmonogram 36

4.1 Časový harmonogram výměny transformátoru..... 38

4.1.1 Vytlačení a ukotvení transformátoru..... 39

4.1.2 Zatažení transformátoru na stanoviště a usazení (14:00)..... 40

4.2 Prozní zkoušky..... 43

4.2.1 Individuální zkoušky..... 43

4.2.2 Funkční zkoušky 44

5. Výpočet zkratových proudů v rozvodně 22 kV 45
6. Chránění transformátoru 48
6.1 Příčiny poruch 50
6.1.1 Kritéria pro roztřídění ochran 50
6.2 Ochrany transformátorových strojů 51
6.2.1 Ochranná relé transformátorů 53
6.2.2 Rozdílová ochrana 56
6.2.3 Nadproudová ochrana 58
6.2.4 Kostrová (nádobová)ochrana 60
6.2.5 Ochrana přetížení transformátoru 61
6.2.6 Strojní ochrany transformátoru 61
7. Závěr 61
Seznam použité literatury 63

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma sítí kolem dané LDS 15
Obrázek 2: Zapojení rozvoden 16
Obrázek 3: Rozvodna 22 kV (Zdroj: interní materiály ŠKO-ENERGO) 19
Obrázek 4: Sběrná jímka 33
Obrázek 5: Bokorys záchytné jímky 34
Obrázek 6: Tlumící cívky 36
Obrázek 7: Hydraulické heverování transformátoru 39
Obrázek 8: Zasypávání záchytných jímek 40
Obrázek 9: Zatažení transformátoru na stanoviště 41
Obrázek 10: Vlnovec 42
Obrázek 11: Zjednodušené schéma zkratové soustavy 46
Obrázek 12: Fyzikální parametr K vodiče 48
Obrázek 13:Akumulace plynu 53
Obrázek 14: Ztráta izolační kapaliny 54
Obrázek 15: Expandování izolační kapaliny 55
Obrázek 16: Rozdílová ochrana 56
Obrázek 17: Zapínáací ráz transformátoru T101 56
Obrázek 18: Nadproudová ochrana 59

Seznam tabulek

Tabulka 1: Kabelové vývody z rozvodny 22 kV 21
Tabulka 2: Technické parametry transformátoru T101 24
Tabulka 3: Čtvrtletní srážky 32
Tabulka 4: Parametry tlumících cívek 35
Tabulka 5: Parametry vakuování 42
Tabulka 6: Druhy poruch a ochran 51
Tabulka 7: předepsané ochrany síťových transformátorů 52

Seznam příloh

Příloha 1: Síťový graf

Příloha 2: Základní schéma R110 kV

Příloha 3: Výkres stání transformátorů T101- T103

Příloha 4: Půdorysný řez transformátoruT101- uzemnění

Příloha 5: Schéma ochran transformátoru T101

Příloha 6: Schéma zapojení transformátoru T101

Příloha 7: Příkaz B

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá výměnou síťového transformátoru T101 na hladinách 110/22 kV. V úvodu popisuji napájení podniku z pohledu legislativy a zřízené lokální distribuční soustavy. Dále je v práci také důkladně popsán již zmiňovaný transformátor a jeho umístění na stání. Větší část v této kapitole je také věnována pohledu z hlediska ekologie a technických norem pro stanoviště transformátorů, které je nutno splnit. V práci také zpracovávám metodiku výměny časový harmonogram výměny a všech provozních zkoušek při uvedení do provozu. V další části práce se zabývám výpočtem zkratových poměrů a ověřením parametrů instalovaného vedení na sekundární straně stroje. Poslední kapitola je věnována chránění stroje a zhodnocení práce.

1. Elektrizační soustava

Elektrizační soustava je „vzájemně propojený soubor zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny, včetně elektrických přípojek a přímých vedení, a systémy měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky“[2]. Slouží k přenosu a rozvodu elektrické energie, který předává elektrickou energie z místa výroby až do místa spotřeby. Je složena ze zdrojů energie (elektrárny), soustavy přenosové a soustavy rozvodné (distribuční).

Jednotlivé napěťové a proudové linky se od sebe oddělují pomocí elektrických stanic, které ve schématu nazýváme uzly. Stanice mohou mít mnoho druhu využití, např. měnírny, transformovny a rozvodny. Jejich funkcí je spínat různé větve soustavy a obvykle v téže stanici transformovat elektrickou energii na jiné napětí, pomocí výkonových transformátorů většinou na distribuční napětí 110 kV v transformovnách 400/110 kV, popř. 220/110 kV[3]

Zdroje elektrické energie

Zdroje elektrické energie předávají energii do soustavy 400 kV 220 kV popř. 110 kV, které pracují v přenosových soustavách přes zvyšovací transformátory[1]. Pro průmyslový distribuci se nejčastěji používají jako zdroj elektrárny tepelné, v nichž spalujeme uhlí, plyn a jiná fosilní paliva dále pak jaderné elektrárny.

1.1. Přenosová soustava

„Vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 400 kV, 220 kV a vybraných vedení a zařízení 110 kV, uvedených v příloze Pravidel provozování přenosové soustavy, sloužící pro zajištění přenosu elektřiny pro celé území České republiky a propojení s elektrizačními soustavami sousedních států, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky; přenosová soustava je zřizována a provozována ve veřejném zájmu“[2]. Soustava je provedena venkovními vedeními a je normována v napětích a frekvencích 3 ~ 50 Hz 400 kV a 3 ~ 50 Hz 220 kV, obě s účinně uzemněným uzlovým bodem[1]. V zahraničí pak narazíme na přenosové soustavy s hladinami napětími 330 kV, 500 kV, 750 kV a 1150 kV [3]. Na území ČR přenosovou soustavu spravuje ČEPS, a.s., držitel licence na přenos elektřiny.

1.2. Distribuční soustava

Soustava vedení a zařízení 110 kV, s výjimkou vybraných vedení a zařízení o napětí 110 kV, která jsou součástí přenosové soustavy, a vedení a zařízení o napětí 0,4/0,23 kV, 1,5 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV, 25 kV nebo 35 kV, sloužící k zajištění distribuce elektřiny na vymezeném území ČR, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky včetně elektrických přípojek ve vlastnictví podružných distribučních soustav. Provozovatelem distribuční soustavy je právnická či fyzická osoba s licencí na distribuci elektřiny, v oblasti Středočech je hlavním distributorem skupina ČEZ Distribuce. „Dle pravidel provozování distribuční soustavy je provozovatel DS povinen na vymezeném území na základě uzavřených smluv umožnit distribuci elektřiny a připojit k DS každého a umožnit distribuci elektřiny každému, kdo o to požádá a splňuje podmínky dané EZ, jeho prováděcími vyhláškami a Pravidly provozování DS. Místo a způsob připojení k DS se určí tak, aby nedošlo k přetížení nebo překročení parametrů žádného prvku sítě“.[4]

Dalším bodem je pak skupina spotřebičů (např.: spotřebiče v bytech atd.) ve veřejném rozvodu terciální sféry.[3]

1.4 Veřejná rozvodná síť

Veřejná rozvodná síť je tvořena venkovním a ve většině případů kabelovým vedením, přípojkami do rodinných domů a dalších objektů městské zástavby. Je součástí distribuční soustavy a tvoří jí také menší rozvodny a dopravní a pouliční rozvody. Zpravidla bývá oddělená od sítě vn zásobující průmyslové velkoodběratele.“ [3] Atypičtějším elektrickým rozvodem je průmyslová síť nejčastěji jednoho podniku. Odběr takové sítě je oproti odběru ve veřejné síti, liší se především koncentrací hustoty odběru na km^2. Jednotlivá průmyslová odvětví se zároveň liší svými odběrovými charakteristikami navzájem. První věc při výstavbě nového podniku je nutnost určení vypočteného zatížení, které nám dá informaci o „maximálním současném odběru závodu se zahrnutím ztrát v rozvodu i s uvažováním případného rozšíření výroby“. Zvláštním případem průmyslového rozvodu je LDS.[3]

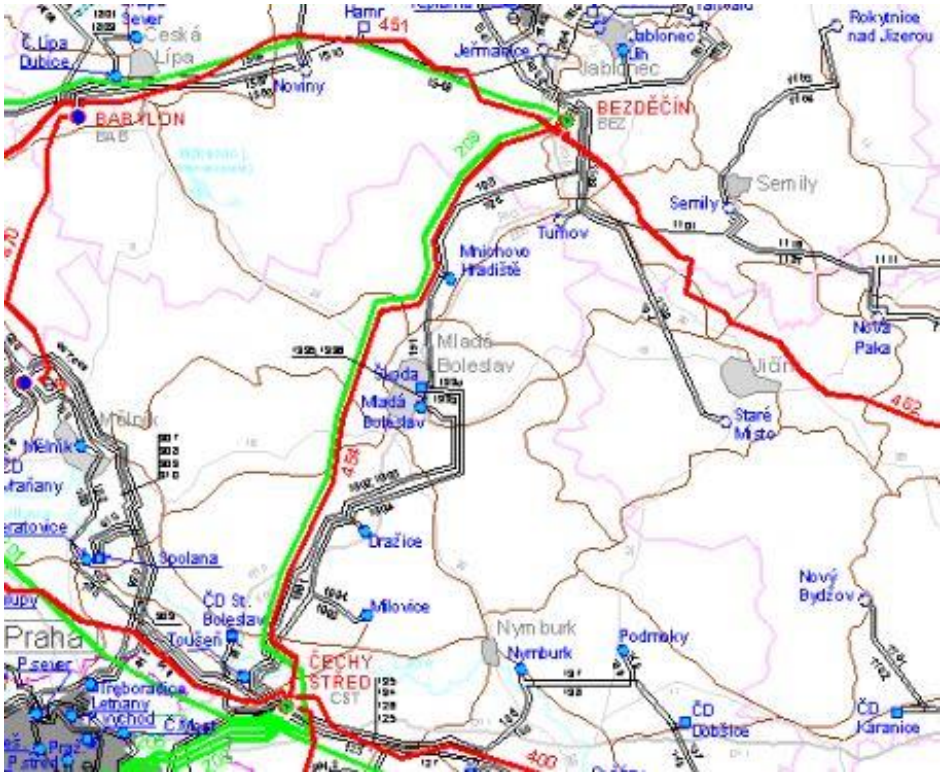
1.5 Lokální distribuční soustava

Lokální distribuční soustava (LDS) je podružná napájena soustava z distribuční soustavy, nepřímo připojená k přenosové soustavě. Vytvořit jí může dle PPDS fyzická či právnická osoba, která je držitelem licence na distribuci elektřiny na částech vymezeného území provozovatele velké regionální DS. LDS slouží pro připojení koncových odběratelů k elektrické síti a zajištění dodávky elektřiny pro zákazníka, respektive jeho objekt. [4] Příkladem lokální distribuční soustavy jsou například:

- průmyslové zóny
- obchodní centra
- stávající průmyslové areály
- bytové komplexy
- soubory rodinných domů.

Pokud vlastník/uživatel území uzavře smlouvu o vymezení území pro distribuci s vybranou distribuční společností, může zainvestovat do výstavby nové distribuční sítě, popř. koupí nebo pronajme od stávajícího vlastníka síť současnou. Distributor poté zodpovídá za distribuci elektřiny a připojení nových zákazníků v dané oblasti ve stejném rozsahu jako regionální distribuční společnosti. Stejnou platnost má i jeho stanovisko vůči orgánům státní správy např. v průběhu stavebního řízení stavby, jejíž výstavba probíhá v dané lokalitě. [3]

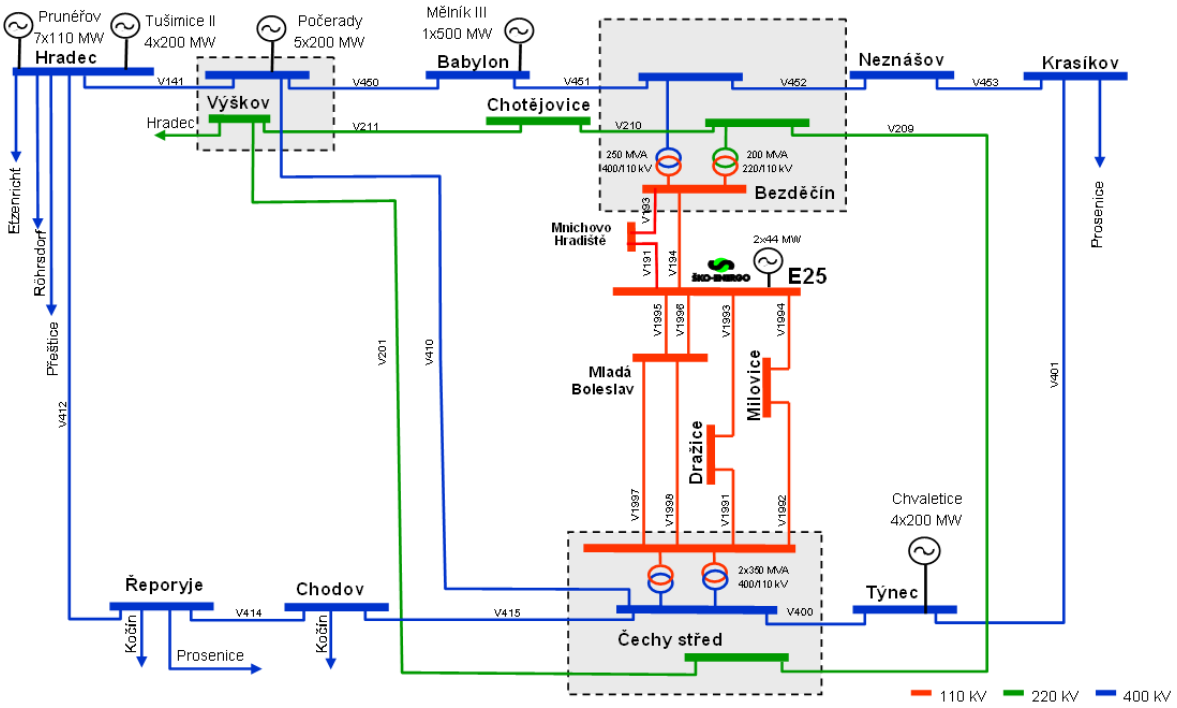
Obrázek 1: Schéma sítí kolem dané LDS



Zdroj:Schéma sítí 400,200 a 110 kV v oblasti působnosti. ČEZ Distribuce, a. s.,2013.

2. Lokální distribuční soustava ŠKODA AUTO a.s.

Lokální distribuční soustava (dále jen LDS) slouží pro napájení ŠKODA AUTO a.s.. Je připojena do elektrizační soustavy České Republiky rozvodny Bezděčín ČEZ Distribuce linkami V191,V194 a z rozvodny Čechy Střed ČEZ Distribuce linkami V1994,V1993. Dále pak spojením z distribuční rozvodny Mladá Boleslav linkami V196 a V195 (viz obr. 1 a schématický obr. 2). Elektrická energie z těchto vedení přichází do rozvodny E25 110 kV a dále se transformuje skrze síťové transformátory T101, T102 a T103 na nižší hladinu napětí 22 kV. Na této hladině funguje vnitřní rozvodna, ze které jsou připojeny vedení distribuující energii do podružných rozvoden výrobních objektů ŠKODA AUTO.



Obrázek 2: Zapojení rozvoden

Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

Jak již bylo uvedeno, venkovní rozvodna 110 kV u rozvodny E25 slouží k propojení závodu s distribuční sítí. Celá rozvodna je ve správě ŠKO-ENERGO, jakožto dodavatelem energií pro výrobní kapacity ŠKODY AUTO v ČR. Pro docílení dostatečné nezávislosti jsou připojené linky vždy po dvou, z rozdílných rozvoden soustavy. Pro vlastní výrobu elektrické energie slouží teplárna v závodě, která je propojena s rozvodnou na úrovni 110 kV. Jako transformační prvek jsou mezi 110 kV a 22 kV zapojeny tři transformátory 110/22 kV o výkonu 63MVA napojeny na rozvodnou síť 22 kV ŠKODA AUTO. Kabelová soustava 22 kV zásobuje pomocí 44 rozvoden 22/0,4 kV výrobní objekty závodu a další objekty ŠKO-ENERGO.

2.1 Rozvodna 110 kV (E25)

Rozvodna 110 kV moderní venkovní třísystémová rozvodna schematicky zapojená s dvojitými přípojnicemi A, B a hlavní samostatnou pomocnou přípojnicí P pro možnost manipulací a spojování přípojnic. Obsahuje 15 polí.

K provozování odpojovacího programu, který je nedílnou součástí celého systému, je dále instalována přípojnice C a rozpadové místo S102 v poli 13 a 14 viz

příloha schéma rozvodny 110 kV. Vzdálenosti mezi jednotlivými poli jsou 110cm, mezi přípojnicemi 22 cm.

V Poli 1-3 jsou nainstalována měřící jádra pro měření napětí (MMN) a proudu (MMP) (SVAS 123/3G). Zde probíhá odečet okamžitých hodnot pro řízení a kontrolu. Proti přepětí na vedení jsou v těchto polích zapojeny bleskojistky P2 108-2PL3, vypínač (S1-123 F1) 110 kV a přípojnicové odpojovače (3SHT-1220.K) C a B. Výkonová připojení generátorů TG80 a TG90 v polích 4, 5 jsou osazena stejně jako pole 1-3 s rozdílem přípojnicových odpojovačů typu (D300-121231M/H) a vývodového odpojovače (3SHTU-1220.K) obsahující se zemními noži.[3]

Linky z transformovny Bezděčín ČEZ Distribuce V191,V194 jsou přivedeny na portál v poli 6 a 7. Vypínací kombinace v těch to polích je skrze vývodové odpojovače (3SHTU-1220.K) se zemními noži a přípojnicové odpojovače (3HT-1220.K) do přípojnice A, B a P. Snímání hodnot pro vypínače (S1-123 F3) probíhá na kombinovaných měřících transformátorech proudu a napětí (SVAS 123/3G). V linkách V191 a V194 je do rozvodny natažen také optický přenos v zemním laně spojující špičky stožáru.

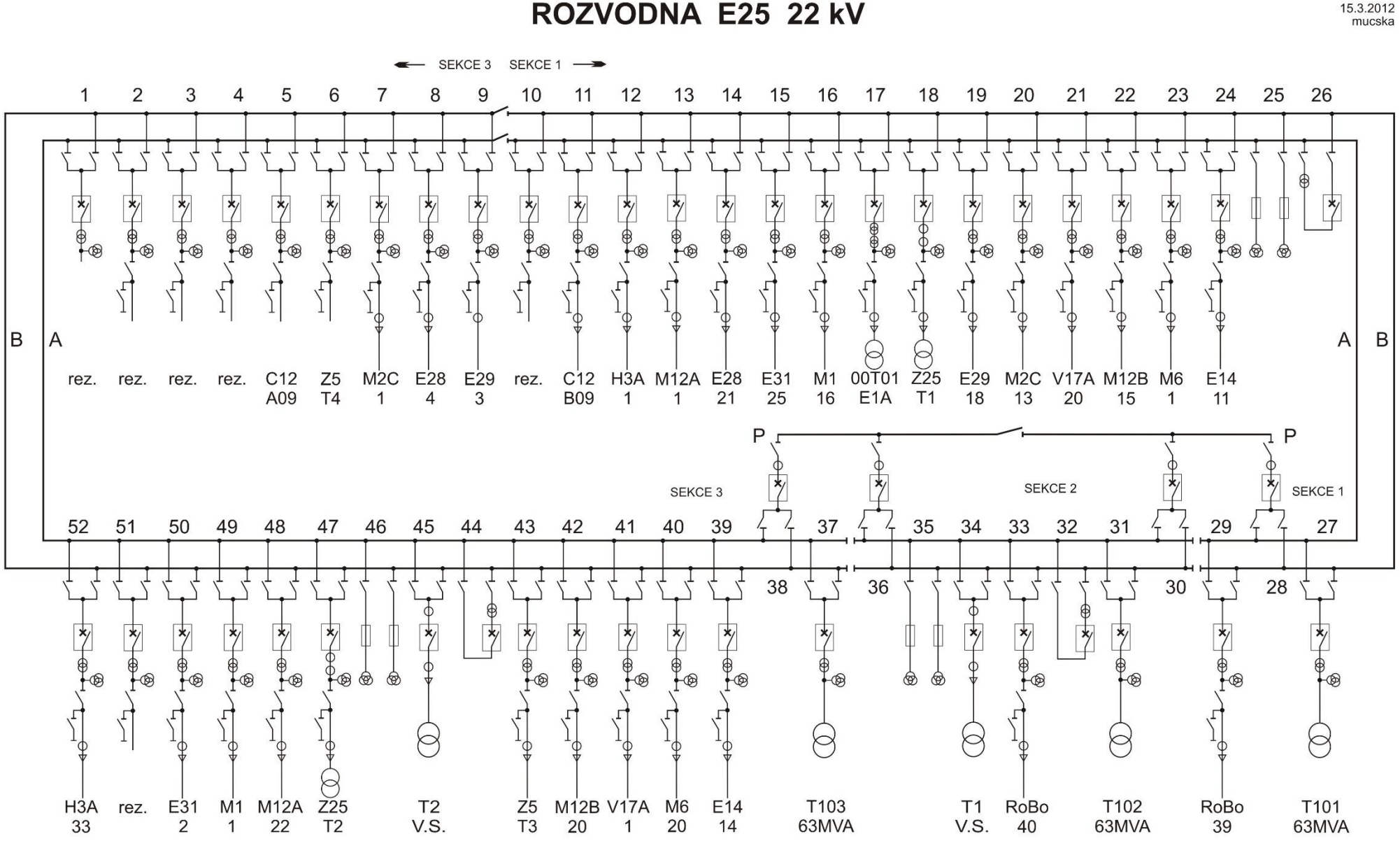
Linky V1994, V1993 z rozvodny ČEZ Distribuce Čechy Střed v polích 8, 9 a vedení z rozvodny Mladá Boleslav linky V196 a V195 jsou přes portál přivedeny do polí 10 a 11 na vývodové odpojovače (3SHTU-1220.K). Pro potřeby ČEZ Distribuce v případě údržby linky jsou ty to odpojovače vybaveny zemními noži. Pole 8-11 jsou vybavena napěťovými a proudovými měniči (SVAS 123/3G), vypínači (SVAS 123/3G) a přípojnicovými odpojovači (3SHT-1220.K). Odpojovače a vypínače mají návaznost na řídící systém spolu s distančními ochranami linek. V budoucnu budou napojeny na přípojnicovou ochranu.[3][materiály Š-E]

V rozvodně 110 kV je občas potřeba manipulace sepnutí přípojnic A, B, C na jeden potenciál. Proto slouží v poli 12 kombinovaný spínač přípojnic KSP101 umožňující sepnutí při rozdílných parametrech. Spínač je vybaven přípojnicovými odpojovači (3SHT-1220.K) spojenými s přípojnicemi A na dvou místech, dále pak B a P. Měření napětí a proudu zajišťuje proudový a napěťový měnič (SVAS 123/3G). Pole je dále vybaveno třípohonovým vypínačem (S1-123 F3) a přípojnicovými odpojovači (D300-121231M/H) na C přípojnici a (1SHT-1220.K) na přípojnici A a B.[3]

V poli 13 je umístěno *rozpadové místo* s vypínačem S102 typu (S1-123 F1), pro zajištění odpojení napájení ŠKODA AUTO a. s. od sítě 110 kV v případě nutnosti. Měření proudu provádí měřící transformátor proudu (SAS 123/2G), dále je v poli 13 umístěny vypínač (S1-123 F1) a přípojnicové odpojovače (D300-121231M/H) B1, C. V poli 14 jsou instalovány přípojnicové odpojovače (D300-121231M/H) A a B2, které patří k oblasti rozpadového místa. Měření napětí přípojnic A, B a C je realizováno polem 15. Zde najdeme měřící transformátory napětí (SVS 123/0) a přípojnicové odpojovače (D300-121231M/H) A, B, C.“ []

2.2 Rozvodna 22 kV (E25)

Rozvodna 22 kV je dvousystémová vnitřní rozvodna umístěná v objektu rozvodny E25. U této rozvodny jsou napájené podružné rozvodny výrobních hal celého závodu ŠKODA AUTO a.s.. Jde o „kobkovou rozvodnu s pevnými vypínači (3AH1264-2), které jsou provozovány zejména pro spolehlivost provozu“[3]. Kabelová napájecí vedení vedou z rozvodny do přízemí budovy, kde je kabelový prostor napojený na závodní kolektor. V druhém patře jsou přípojnice A, B zapojené ve smyčkovém tvaru. Podélně se dají rozpojit podélnými odpojovači (5SNT-02525.1). V každé kobce jsou dva přípojnicové odpojovače (5SNT-02520 pro sepnutí buď do sběrny A, nebo B. Dále také přípojnicové odpojovače (5SNT-02512.1) do jednotlivých kobek z prvního patra a pro sepnutí příčné spojky Schématický nákres zapojení kobky je uveden na obrázku 4. „V prvním patře rozvodny se nachází 52 kobek s vypínači (3AH1264-2) a ovládacími skříněmi, k vidění na obrázku 4. Dle obrázku je systém rozdělen do tří sekcí. Každou sekci napájí jeden transformátor 110/22 kV. První sekce obsahuje kobky 10-29. Druhé sekce kobky 30-36. Třetí sekce kobky od 9. do 37. kobky. Sekce lze spojovat podélnými odpojovači (5SNT-02525.1) A, B pro spojení první a třetí sekce, nebo příčnou spojkou v kobce 28 a 30. Tím dosáhneme spojení druhé a první sekce. Kobky 36 a 38 spojují sekci dvě se sekcí tři. Pro spojení přípojnic A, B v první sekci je kobka 26 - spínač přípojnic skládající se z vypínače (3AH1264-2), přípojnicových odpojovačů A, B a měřících transformátorů proudu. Druhá sekce obsahuje stejné složení spínače přípojnic v kobce 32. Spínač přípojnic v třetí sekci je v kobce 44.“[3]



Obrázek 3: Rozvodna 22 kV
(Zdroj: interní materiály ŠKO-ENERGO)

Měření napětí na přípojnici A, B se nachází v první, druhé a třetí sekci, v kobkách 25, 35, a 46. Kobky jsou vybaveny přípojnicovými odpojovači A a B (02512.1), s vestavěnými pojistkami a měřícími transformátory napětí (TJP 6.1).[3]

Pro vlastní spotřebu byly zbudovány dva transformátory 22/0,4 kV napojen v kobkách 34 a 45. Vývody jsou opatřeny vypínači (3AH1264-2). Tyto transformátory se nachází v rozvodně vlastní spotřeby v přízemí hlavní budovy E25.[3]

„Napájení první sekce zajišťuje transformátor T101 skrze kobku 27 vybavenou přípojnicovými odpojovači (5SNT-02520.1) A, B a měřícími transformátory proudu (TPU 43.13) a napětí (TJP 6.1). Transformátor T102 napájí druhou sekci kobkou 31. Kobka 37 je napájením pro sekci tři pomocí transformátoru T103. Kobky 31 a 37 jsou stejně vybaveny jako kobka 27. Následující kobky s čísly v tabulce 1 jsou vždy vybaveny jedním přípojnicovými odpojovačem do sběrny A a druhým přípojnicovými odpojovačem do sběrny B. Vývody je opatřen vypínačem (3AH1264-2).

Obrázek 4: Rozvodna 22 kV

Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

Tabulka 1: Kabelové vývody z rozvodny 22 kV

Odkud	**místo odběru**
E25-5	výpočetní středisko
E25-6	čerpací stanice
E25-7	montáž
E25-8	lakovna a montáž
E25-9	lisovna
E25-11	výpočetní středisko
E25-12	hutě
E25-13	stará lisovna
E25-14	lakovna
E25-15	kompresorovna
E25-16	montáž
E25-17	teplárna
E25-18	úpravna vod
E25-19	nová lisovna
E25-20	montáž
E25-21	nářaďovna-nástrojovna
E25-22	svařovna
E25-23	výroba agregátů
E25-24	výroba stlačeného vzduchu
E25-39	výroba stlačeného vzduchu
E25-40	výroba agregátů
E25-41	nářaďovna-nástrojovna
E25-42	svařovna
E25-43	čerpací stanice
E25-47	úpravna vod
E25-48	stará lisovna
E25-49	montáž
E25-50	kompresorovna
E25-52	hutě

Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

3. Transformátory

Výkonový transformátorem obecně nazýváme statický stroj přeměňující jeden systém střídavého napětí a proudu na jiný systém napětí, obvykle rozdílných hodnot avšak při stejném kmitočtu. Celé zařízení, tak slouží k přenosu elektrické energie. Pokud bychom uvažovali nad hlubším popisem a využitím výkonových transformátorů, začali bychom u jejich rozdělení. [5]

3.1 Rozdělení transformátoru dle obecného užití:

- „Výkonové transformátory
- Jednofázové transformátory se jmenovitým výkonem menším než 1kVA a trojfázové s menším než 5kVA
- Transformátory, které nemají žádná vinutí se jmenovitým napětím vyšším než 1000 V.
- Přístrojové transformátory
- Trakční transformátory namontované na podvozku
- Spouštěcí transformátory
- Zkušební transformátory
- Svařovací transformátory
- Nevýbušné a důlní transformátory
- Transformátory pro použití v hluboké vodě“[]

3.2 Popis transformátoru T101

Transformátor T101 je třífázový olejový regulační transformátor s třemi vinutími. Primární napětí transformátoru je 110 ±8 x 2% kV. Sekundární napětí transformátoru je 23 kV. Terciární napětí transformátoru je 10,5 kV. Možný trvalý výkon je 94,5 MVA. Zatížení nulového bodu je 100%. Třetí vinutí 10,5 kV je kompenzační, vyvedené dvěma průchodkami pro měřící účely.

Nádoba transformátoru je ocelová, kotlová s víkem, dimenzovaná na 100% vakuum. Celá nádoba je izolována od rámu s podvozky a kolečky. Na spodní části nádoby jsou kolečka umožňující posun v příčném i podélném směru a čtyři zvedací

místa pro zvedání transformátoru hydraulickým zvedákem. Nádoba je také osazena závěsnými oky pro zvedání transformátoru a tažnými oky pro zatažení na místo stání. Kolečka jsou izolována od kolejnic z důvodu možnosti připojení kostrové ochrany. Povrchová úprava kovových částí transformátoru je pozinkována a natřena krycí nátěrem, který je odolný vůči venkovnímu prostředí. Veškerý materiál pro šroubové spoje je nekorozivní.

Transformátor T101 je konstruován pro trvalou zátěž jmenovitým zatížením s tím, že střední oteplení vinutí nepřesáhne 65 K a oteplení oleje v horní části stroje nepřesáhne 60 K. Samotný způsob chlazení transformátoru je ONAN/ONAF.

Chlazení ONAN/ONAF Zapínání ventilátorů automatikou probíhá ve dvou skupinách ve vazbě na kontaktní teploměr i místně z ovládací skříně časovým relé nebo automatikou pro každodenní protočení motorů ventilátorů. Dále je vyvedena signalizace výpadku jističů chlazení.

Regulace napěti je provedena přepínačem odboček pod zatížením na straně 110 kV, s možností místního i dálkového ovládání. Při poloze přepínače na odbočce č. 1 je na straně vn nejvyšší napětí. Ovládací napětí 220 V DC. Místní ovládání elektrickým tlačítkem s možností ručního nastavení klikou. S ohledem na montáž průvlekového přístrojového transformátoru proudu pro instalaci kostrové ochrany. Jádro transformátoru je třísloupcové z ocelových plechů s nízkými ztrátami. Vinutí obou napětí jsou měděná. Instalace také obsahuje standartní řešení s Buchholzovým relé a ventilem mezi Buchholzem a konzervátorem. Dále ochranné relé přepínače odboček. Jako izolační kapalina je užit naftenický olej SHELL DIALA S2 2X1 dle IEC296 o hmotnosti 19,3 t, což odpovídá teoreticky 22 337 l. Olej je uzavřen v nádobě transformátoru.

Olej Pro dobrou izolační vlastnost je nutné splnit hned několik vlastností takového oleje. Jsou to:

> *Nízká viskozita,* ta zajišťuje snadnou cirkulaci oleje v nádobě a zlepšuje přenos tepla. Probléme může být při nízkých teplotách, kdy se zvyšuje viskozita při studeném startu transformátoru. „Viskozita při nejnižší teplotě zapínání při studeném startu nesmí překročit 1800 mm^2/s.“[6] To odpovídá podle normy teplotě -30 °C.

Nízký obsah vody. Ten je nezbytný pro dosažení správné a odpovídající elektrické pevnosti a nízkého ztrátového činitele. Abychom předešli vylučování volné vody, měl by mít olej limitovaný obsah vody už před naplněním. Vše by mělo být řízeno podle požadavků IEC 60422. Olej by měl mít minimální dielektrickou pevnost 70kV/cm průrazného napětí.

Průrazné napětí, neboli schopnost odolávat elektrickému namáhání. Průrazné napětí by mělo být měřeno podle IEC 60156.

Hustota oleje. Ta musí být natolik nízká, aby bylo zabráněno vlivem zmrznutí z volné vody vzniku ledu, který by plaval na hladině v nádobě, a mohl tak způsobit zkrat na vodičích.

3.2.1 Technické parametry transformátoru

Tabulka 2: Technické parametry transformátoru T101

Referenční označení	T101
Provedení dle norem	IEC 76 (ČSN EN 60076)
Provedení	venkovní, olejový, třívinuťový, třífázový
Výrobce	SGB
Vinutí VVN	110 kV ± 8 x 2%, 63000 kVA, 331 A, regulace napětí pod zatížením, účinně uzemněný nulový bod
Vinutí VN	23 kV, 63000 kVA, 1581 A, uzemněný nulový bod přes zhášecí tlumivku s připínáním odporníku
Terciární vinutí	10,5 kV, 21000 kVA, 1156 A, izolovaný otevřený trojúhelník pro možnost připojení kompenzace (4 průchodky na víku nádoby transformátoru – 1 uzel rozpojen)
Skupina spojení	YN/yn0/d1

Izolační hladina	550 / 125 / 75 kV
Nejvyšší provozní napětí	123 / 25 / 12 kV
Jmenovitá frekvence	50 Hz
Materiál vinutí	měď
Olej	naftenický olej SHELL DIALA S2 2X1 dle IEC296 - olejová náplň musí mít protokol z laboratoře se zavedeným systémem jakosti EN ISO 9001 dokumentující nepřítomnost PCB podle EN 61 619 EN 12 766-1 a EN 12 766-2
Napětí nakrátko	vztažené na výkon 63MVA a) pro převod 110/23 kV - střední odbočka – 13% ± 0,5 % - krajní odbočky – 13,0 - 1% + 0,5 % b) pro převod 110/10,5 kV - střední odbočka – 20,3% - krajní odbočky – 20,3 ± 0,8 % c) pro převod 23 /10,5 kV – 7,3 %
Maximální zapínací náraz	1,4 až 1,87 kA (špička včetně DC složky)
Zkratový výkon v napájecí síti – nová oblast 110kV Čechy Střed – Týnec (Čestýn) 110 kV: Ik 3-fáz = 10,699 kA110kV 23 kV: Ik 3-fáz = 10,810 kA23kV	
Ztráty naprázdno P_0	< 30 kW
Ztráty nakrátko P_k	< 200 kW
Proud naprázdno I_0	0,288% měřeného proudu
Materiál a druh magnetických plechů	Slitina SI,FE
Dovolené oteplení horní vrstvy oleje	60K
Chladící systém	ONAF 2 (nad 75 MVA) ONAN (do 56 MVA)

	ONAF 1 (od 56 MVA do 75 MVA)
Ventilátory chladičů jsou pomaloběžné a jejich zapínání probíhá ve dvou skupinách ve vazbě na teplotu transformátoru.	
Průchodky minimální povrchová dráha izolátorů – 25 mm/kV - provedení a způsob připojení: a) 110 kV – kondenzátorová s MTP (2 vinuťová s převodem na 1A, odpovídajícím výkonem a přesností), připojení lanem b) 110 kV nulový bod – kondenzátorová, přímo uzemněná c) 23 kV – porcelánová, připojení Al pasovinou d) 10,5 kV – porcelánová	
Max. teplota okolí	+ 40 °C
Min. teplota okolí	- 25 °C
Max. nadmořská výška	< 1000 m. n. m
Odbočky - ve vinutí VVN – všechny s plným výkonem - rozsah – symetrický kolem hlavní odbočky - odbočkové stupně v odbočkovém vinutí – stejné - přepínání odboček – pod zatížením	
Přepínací zařízení - vakuový přepínač odboček Reinhausen-regulace napětí na straně VVN, regulace pod zatížením - regulace bude možná v těchto režimech: a) automatická b) dálkově tlačítky c) místně tlačítky ze skříně motorového pohonu d) nouzově ručně klikou u	

<table>
<tr><td colspan="2">motorového pohonu
- signalizace odboček BCD kodérem</td></tr>
<tr><td>Pom. napětí pro ventilátory, ohřev</td><td>AC 400 / 230 V, 50 Hz</td></tr>
<tr><td>Pom. napětí pro regulaci</td><td>AC 230 V, 50 Hz</td></tr>
<tr><td>Pom. napětí pro signalizaci</td><td>DC 220 V, DC 60 V</td></tr>
<tr><td>Ovládací skříň transformátoru</td><td>Je umístěna na nádobě transformátoru s krytím ve stupni IP54.Skříň má zařízení pro vytápění a větrací otvory</td></tr>
<tr><td colspan="2">Nádoba transformátoru
Je odizolována od rámů s podvozky a kolečky a transformátor je osazen MTP pro kostrovou ochranu. Nádoba je osazena závěsnými oky pro zvedání a tažnými oky k zatažení na pozici. Má jímku pro odporový teploměr</td></tr>
<tr><td colspan="2">Přístrojové vybavení
- samostatný ukazatel hladiny oleje v nádobě
- samostatný ukazatel hladiny oleje v přepínači odboček
- kapilární teploměr teploty oleje s kontakty pro výstrahu a vypínání, umístěn max. 1,7 m nad úrovní terénu
- místní a dálkové měření teploty vinutí Pt100 s převodníkem o výstupním signálu 4-20 mA
- plynové relé nádoby transformátoru s kontakty pro výstrahu a vypínání
- plynové relé přepínače odboček s kontakty pro výstrahu a vypínání
- pojistný tlakový ventil- automatický vysoušeč vzduchu transformátoru s vyhříváním, který bude společný i pro přepínač odboček
- ovládací skříně RM1 a RM2
- ventil s přírubou pro připojení filtrační stanice 5/4“ - automatický uzavírací ventil mezi konzervátorem a nádobou, s dálkovou signalizací stavu
- ventil pro možnost odběru olejové náplně se svislou výpustnou trubicí, samostatný pro nádobu a pro přepínač</td></tr>
<tr><td>Zkoušky a zkušební napětí</td><td>– zkoušky v místě instalace- dle IEC 76
– výrobní kusové zkoušky - dle IEC</td></tr>
</table>

	76-1
Rozměrové dispozice stání	- šířka stání – 9 m - hloubka stání – 7,4 m - výška protipožárních stěn – 9,2 m
Předpokládané rozměry TR	- šířka transformátoru – 7 m - hloubka transformátoru – 4 m - výška transformátoru – 6 m - rozchod koleček podvozku – 2,9 m
Informativní hmotnost celková	88 t
Informativní hmotnost oleje	19 t

Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO [7]

3.2.2 Provozní stav

Transformátory T101, T102 a T103 pracují odděleně. Vždy v režimu, tak aby na jeden transformátor byly připojeny důležitější vývody, z hlediska výroby vozů ŠKODA AUTO. A na druhý transformátor méně důležité vývody.

Provoz transformátorů dohromady by byl možný jen v případě základních podmínek provozu dvou transformátorů při zatížení, které jsou:

1. Stejná jmenovitá napětí
2. Stejné úhly natočení fází (hodinové úhly)
3. Stejný úbytek napětí způsobený proudem naprázdno
4. Stejný převod
5. Stejný úbytek napětí při zatížení

Dalším podmínkou je, aby transformátory měli společnou ladící tlumivku. V tomto případě má každý transformátor svou vlastní tlumivku a odporník. V případě sepnutí transformátorů do společné sběrny, by mohl nastat stav, kdy by se automatiky ladění tlumivek začaly „hádat “. Z toho důvodu je nutné při paralelním provozu transformátoru nechat jednu automatiku ladění na konstantní hodnotě a druhou automatiku nechat ladit dle kapacitní proudy, ke kterým dochází při vypnutí některého úseku kabelového vedení vn.

3.3 Dispoziční řešení stanoviště výkonových transformátorů

3.3.1 Popis stanoviště

Třífázové transformátory jsou umístěny na samostatných stávajících stanovištích ohraničených vždy ze dvou bočních stran stěnami, které fungují jako protipožární přepážková ochrana. Šířka stanovišť je 9,0 m a hloubka 7,4 m. Výška protipožárních stěn situovaných ke stanovištím tlumivek a mezi transformátory navzájem bude po úpravě navýšením zhruba 9,2 m. Vnější pravá protipožární stěna vyměňovaného transformátoru T101 činí 3,9 m. Je dosáhnuto předpokladu volného prostoru pro dopravu, provoz, údržbu, opravy a revize za podmínek daných pro stanoviště transformátorů dle ČSN 33 3240. Dále je dosaženo splnění délky 150 centimetrů mezi transformátorem a stěnami stání a jinými zařízeními, dále volného prostoru 50 centimetrů nad dilatační nádobou. Zepředu jsou stání chráněna zvýšeným umístěním 1,1 m nad úrovní okolního terénu, přístup zezadu je chráněn oplocením s brankou.[8]

Transformátory jsou na straně 110 kV připojeny novým klesacím vedením lany AlFe ze stávajícího přetahu z rozvodny 110 kV. Nula soustavy 110 kV na transformátoru je svedena neizolovaně viditelně na povrchu stěn stání s rozpojovacím místem pro případy měření. Je jasné, že za provozu nesmí být tento svod rozpojen. V čele transformátorového stání je pas pomocí svorky napojen na zemnící síť rozvodny R110kV (pásky FeZn). Hladina 22 kV je připojena pasovinou 4x (2|| 80x10). Nula soustavy 22 kV na transformátoru je svedena společně s fázovým vedením na izolátorech na požárně odolné konstrukci a dále je napojena na nový 22 kV jednožilový kabel 22-AXEKVCY a vedena společným kabelovým kanálem na stanoviště zemnící tlumivky.

Ke každému z transformátorů T101, T102 a T103 náleží ovládací skříň. Označené a umístěny jsou přímo na daném transformátoru. Na stanovišti každého transformátoru je osazen nový přístrojový transformátor proudu pro kostrovou ochranu transformátoru s převodem 300/1 A, který je připevněn na samostatnou požárně ochrannou konstrukci se stříškou. Přístrojový transformátor proudu je

situován co možná nejblíže ke stroji a je jím protažena veškerá kabeláž včetně uzemnění nádoby transformátoru, resp. uzemňovacích pásků FeZn. Odizolování nádoby transformátoru od podvozku je řešeno konstrukcí samotného transformátoru.

Na stanovišti každého transformátoru je co nejvíce využito stávající uzemnění rovnými pásky FeZn, které propojují všechny stávající pomocné ocelové konstrukce a kolejnice. Pásky jsou spojeny s vyvedenými pásky, které byly uloženy pod a okolo stání transformátorů při výstavbě stání. Zemnící pásky v trase mezi uzemňovacím bodem na nádobě a PTP pro kostrovou ochranu musí být vedeny tak, aby nedocházelo k dotyku s jinými kovovými, uzemněnými částmi stání. Toto spojení by mohlo vést k chybné funkci kostrové ochrany.[7]

Kabelové žlaby kabelových tras jsou na každém ze svých konců a u každé odbočky připojeny na uzemňovací síť příslušného stanoviště pomocí měděného izolovaného žlutozeleného lana o průřezu10 mm^2 a kabelových ok. Na stanovištích transformátorů je použit jeden typ kabelových lávek, resp. žlabu s víkem. V místě prostupu kabelů do kanálu je provedena protipožární přepážka dle příslušných požárních předpisů s požární odolností minimálně. 30 minut.

Na stanovišti každého transformátoru je v co největší míře využito stávajících požárně odolných ocelových konstrukcí nesoucí izolátory a pasy 22 kV. Dále je na stanovišti transformátoru umístěna požárně odolná ocelová konstrukce pro přístrojový transformátor proudu KTP300 pro připojení kostrové ochrany nádoby transformátoru. Veškeré požárně odolné konstrukce jsou z části svařované a z části šroubované a vyrobené z ocelových profilů. Součástí požárně odolné ocelové konstrukce pro přístrojový transformátor proudu je i stříška.[10]Veškeré ocelové konstrukce jsou žárově pozinkovány a opatřeny příslušným nátěrem.

Sekundární obvody transformátoru

Transformátor T101 je vybaven dvěma rozvaděči, které jsou umístěny přímo na nádobě stroje:

RM1 - skříň obsahuje napájení 400/230 V AC. Z rozvaděče je vyvedeno ovládání jednotlivých obvodů, jako jsou ventilátory, obvody osvětlení, vytápění, atd. Z této

skříně jsou vedeny signály na řídicí systém MicroSCADA a vazby na systém chránění.

RM2 – skříň obsahuje obvody přepínače odboček transformátoru a jsou odtud vedeny vazby do stávající skříně 14dA nových regulátorů na velínu a vazby na systém chránění.

Pro napájení sekundárních obvodů transformátorů slouží napětí 400/230 V AC. Z rozvaděče vlastní spotřeby ozn. ANG pole č.2 (T101) je veden ze stávajících pojistkových odpínačů třífázový napájecí přívod do skříně RM1 pro napájení motorů ventilátorů a ovládacích obvodů . Jak již bylo řečeno ventilátory chlazení jsou spouštěny na základě teploty transformátorového oleje.

Z rozvaděče vlastní spotřeby ozn. ANG pole č.2 (T101) je vyvedeny ze stávajících pojistkových odpínačů třífázovým napájecím přívodem do skříně RM2 pro napájení pohonu regulace.

Ovládací obvody RM2 jsou napájeny 220V DC a jsou napojeny ze stávajícího rozvaděče ANK.

Změnou blokového transformátoru T101 bylo nutné změnit i přístrojový transformátory proudu v rozvodně 22kV a změnit tak převod. Stávající převod byl 2500/1/1A (respektive 2000/1A). Nový převod je 2900/5/5/5A se zachováním ostatních parametrů.

3.3.2 Jímky

Obecné předpoklady pro záchytné a havarijní jímky dle ČSN:

„Stanoviště transformátorů plněných olejem, které jsou nebezpečné z hlediska ohrožení zdraví, požární bezpečnosti, ohrožení životního prostředí nebo možnosti znečištění povrchových či podzemních vod, musí mít záchytnou jímku k zachycení těchto kapalin. Tato jímka, nejsou-li k tomu zvláštní důvody, např. ochranné pásmo vodního zdroje, se nemusí zřizovat u stanovišť transformátorů do 1000 kVA.[8]

„Objem záchytné jímky, která není zároveň havarijní jímkou, musí být alespoň 20% objemu oleje největšího transformátoru, pro který je stanoviště určeno. Tato jímka se

nevyplňuje štěrkem.“[8] V tomto případě je, stanoviště vybaveno třídílnou záchytnou olejovou jímkou o celkovém objemu 28,4 m3. V současnosti je celý prostor každé jímky vyplněn hrubým kamenivem.

Důležitým předpokladem pro dimenzování havarijní jímky je splnění součtů objemů

1. Oleje největšího transformátoru, jehož záchytná jímka je zaústěna do havarijní jímky,
2. U venkovních stanovišť největších tříměsíčních srážek svedených z ploch záchytných jímek zaústěných do havarijní jímky.
   V tomto ohledu jsem vycházel z dat ŠKO ENERGO, uvedených v tabulce 3

Tabulka 3: Čtvrtletní srážky

Rok	Čtvrtletí	Měsíc	Hodnota	Měsíc	Hodnota	Měsíc	Hodnota	Součet	Průměr
2014	I.	01		02	2,00	03	32,00	34,00	17,00
2014	II.	04	35,00	05	90,00	06	57,00	182,00	60,67
2014	III.	07	56,00	08	39,00	09	47,00	142,00	47,33
2014	IV.	10	40,00	11	11,00	12	32,00	83,00	27,67
2015	I.	01	43,00	02	4,00	03		47,00	23,50
∑			174,00		146,00			488,00	
Φ			43,50		29,20				35,23

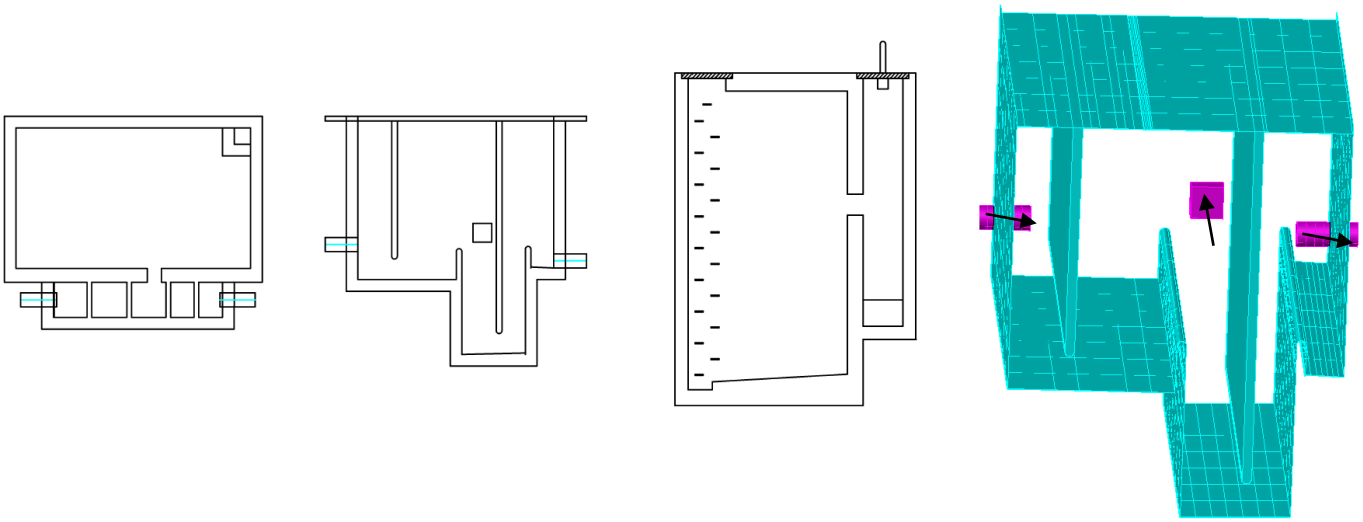
Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

Je-li použito stabilního hasicího zařízení, tak 50 % objemu vody je potřebné pro činnost tohoto zařízení. V případě, je-li stabilní hasicí zařízení napojeno přímo na vodovodní síť, musí být zabezpečeno automatické vypnutí po předepsané době činnosti.[8]

Havarijní jímka by měla být provedena tak, aby bylo možné odčerpání, zachyceného oleje a vody pro následnou likvidaci a její samotné pročištění spolu s propojovacím vedením. V havarijní jímce, popř. sběrné je nutno tuto údržbu dělat každé tři měsíce. Dno i stěny jímky musí mít povrch zabraňující propouštění a úniku oleje, popřípadě jiné transformátorové náplně. Samotný objem jímky se nevyplňuje

štěrkem, pokud havarijní jímka není zároveň záchytnou jímkou. V opačném případě se vyplní štěrkem tak, aby kapalina se součtovým objemem měla hladinu alespoň 10 cm pod povrchem štěrku. Poměr prostoru štěrku ku volnému prostoru je 1:2. Štěrk by měl být frakce 32-63.[7,8]

Obrázek 4: Sběrná jímka



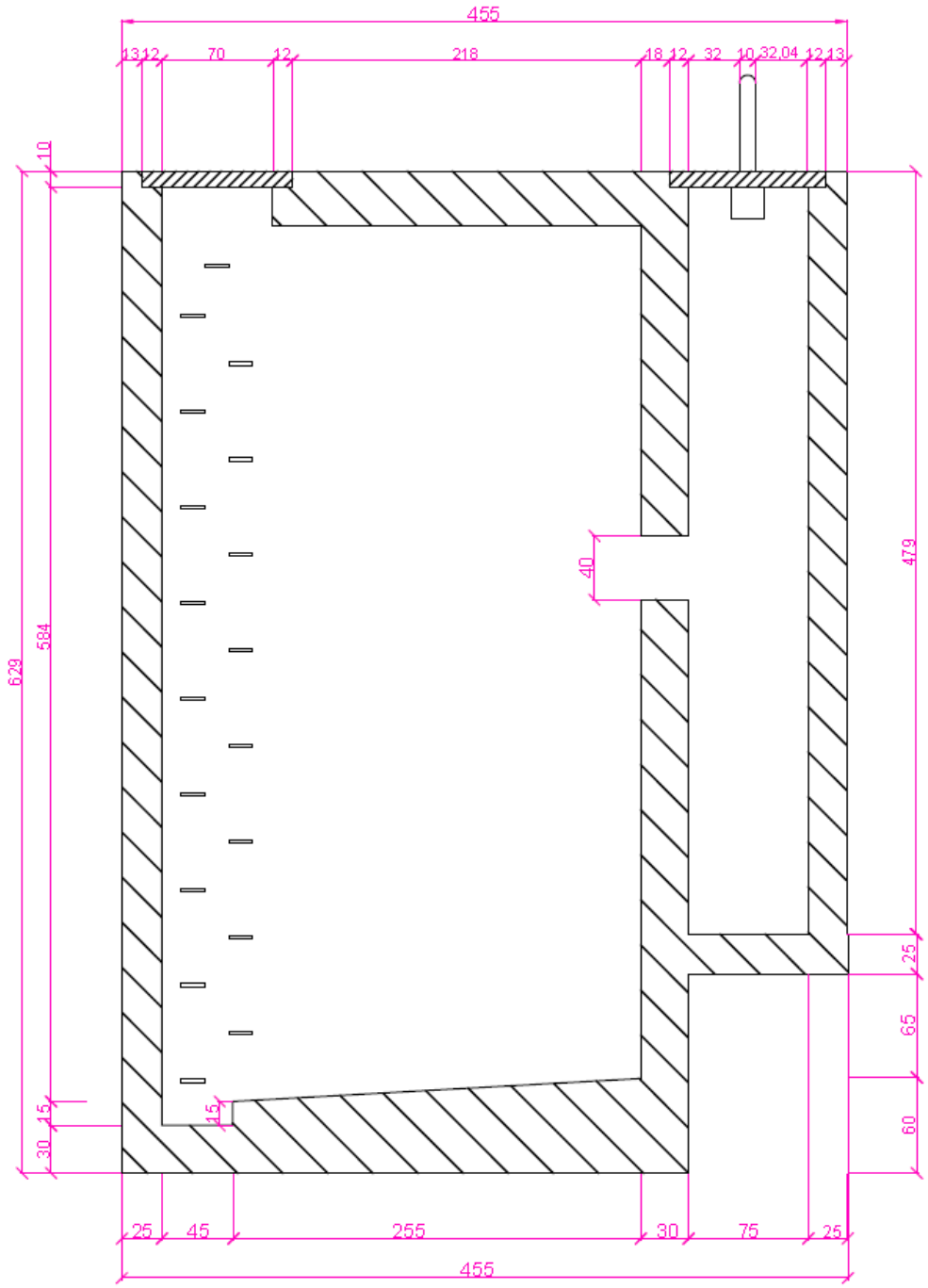
Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

Záchytné jímky je zakázáno vzájemně propojovat, je možné použít společné potrubí se sklonem alespoň 2% a délkou minimálně pro napojení do havarijní jímky. To je zajištěno z každé záchytné jímky potrubím o průměru 150 mm, které ústí na společného potrubí o průměru 300 mm, které je zavedeno do společné havarijní jímky. Jak norma pro stanoviště transformátorů praví, v případě havárie musí veškerý olej z transformátoru vytéct tímto potrubím do havarijní jímky do 5 minut. „Další předpokladem je, aby záchytná jímka v půdorysném směru přesahovala alespoň o 1 m, pokud to není možné, musí být kolem záchytné jímky stěna, jejíž provedení zajistí stékání oleje do záchytné jímky. Prostupy kabelů, potrubí apod. musí být provedeny tak, aby bylo zabráněno úniku oleje a vnikání vody do jímky.“[8] Celý přesah je znázorněn žlutě na následujícím obrázku v příloze.

Havarijní jímku je nutné pravidelně kontrolovat a při možném naplnění vyčerpat a odvést. To provádí čistící vůz každé tři měsíce. V současnosti je již tento gravitační lapol (jímka) využíván jen jako neprůtočný

záchytný prostor, z důvodu zpřísnění legislativy. Výkres havarijní jímky je možno vidět na obrázku [8]

Obrázek 5: Bokorys záchytné jímky



Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

Dalším důležitým další předpokladem, na který je nutné brát zřetel při opravě stanoviště transformátoru, je hasicí zařízení (pokud je jím stanoviště vybaveno). Vše by mělo podléhat normě ČSN 33 3240, která nařizuje při

velikosti transformátoru s výkonem v rozmezí 5 až 65MVA včetně, použít 240 kg CO_2+ 400l pěnotvorného roztoku. Pro stanoviště transformátorů je definována tzv. odstupová vzdálenost venkovních transformátorů s izolační kapalinou. „Odstupová vzdálenost od posuzovaného objektu (požárního úseku) se myslí kolmá vzdálenost od požárně otevřené plochy (roviny) tohoto objektu (požárního úseku) k hranici požárně nebezpečného prostoru, kde končí nebezpečí přenesení požáru sáláním tepla nebo padajícími částmi konstrukce hořícího objektu.“[9] V tomto případě je celý prostor řešen jako skupina jednotlivých požárních úseků, které jsou vymezeny stěnami transformátorových a tlumivkových stání. Betonové přepážky, které jsou požárně odolné a vysoké 9,2 m zabraňují šíření požáru na další stání. Zadní strana stání je ohraničená stěnou budovy, která je také požárně odolná.

Vyměněný transformátor je vybaven podvozkem s rozchodem 2900 mm a je posazen na stávajících železničních kolejnicích o v = 150 mm. Rozteč kolejí tím pádem je stávající 2970 mm.

3.3.3 Tlumící cívky

Olejové tlumivky TL1, TL2, TL3 (ASR 3.2) jsou umístěny ve venkovní rozvodně 110 kV E25 vedle transformátorů T101, T102, T103 a jednotlivými přívody připojeny k transformátorům přes jednopólové odpojovače. Tlumivky mají automatické ladění kompenzace zemních proudů (zhruba 10%) na velíně v rozvodně E25. Odporníky, které jsou umístěny u každé tlumivky a slouží pro detekci poruchového proudu v obvodu zhášecí tlumivky při krátkodobém zvýšení činné složky zemního proudu, a vyhledávání místa zemního spojení elektrickou ochranou. Tlumivky se ze zásady nejistí. Na stanovišti jsou realizována tak, aby se minimalizovali účinky elektromagnetického pole na vodivé konstrukce. Parametry tlumivek jsou uvedeny v následující tabulce 4.

Tabulka 4: Parametry tlumících cívek

Jmenovitý zdánlivý výkon:	4000 kVA
Jmenovité napětí:	13,29 kV
Druh zatížení:	trvalý provoz (DB-24)

Jmenovitý kmitočet:	50 Hz
Materiál vinutí-hlavní/ostatní	Cu/Cu
Měřící vinutí	U_n = 100 V +/-10%; I_n =3 A
Pomocné výkonové vinutí	U_n = 500 V +/-10%; I_n =3000 A +/-10%
Regulační rozsah proudu:	30,1 – 301 A
Měřicí transformátor proudu	300/5 A, tř. 1FS5, 30 VA
Izolační hladina	LI 125 AC 50 - AC 3/AC3
Izolační olej	Shell 4610
Prostředí	venkovní
Teplota okolního prostředí	40 °C/ -30 °C

Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

Obrázek 6: Tlumící cívky

Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

4. Časový harmonogram

Samotný časový harmonogram je poněkud složité dát dohromady, jelikož o výměně se začalo uvažovat od roku 2008. Úvaha vznikla na základě postupného zhoršování parametrů izolačního oleje transformátoru 63MVA. Před celým záměrem bylo nutno nejprve přesvědčit investora (v tomto případě ŠKODA-AUTO) o

investici do elektrického stroje. Proto byla uskutečněna měření, která ukázala horizont životnosti a spolehlivosti stávajících transformátorů.

Pokud se investor rozhodne pro výměnu transformátorů, je dobré dodržet pravidlo n-1 zdrojů, tedy pokud jsou v tomto případě pro napájení závodu s odběrem zhruba 75 MVA, nutné dva 63MVA transformátory ze tří. Zůstává tedy při výměně počet transformátorů. Dalším krokem je vytvoření podrobného plánu výměny transformátoru, kde se určí budoucí potřeba výkonu, a i dle toho se navrhne počet transformátorů. Dále se řeší tvorba technického zadání, které stanoví elektrické a mechanické parametry stroje a připojené příslušenství. Příkladnými parametry jsou výkon, přetížení stroje, počet odboček (systém regulace) a napěťové převody. Naopak z příslušenství je nutné naspecifikovat průchodky, radiátory, nebo ventilátory. Zda bude dodávka obsahovat hasicí zařízení, nebo zda bude například nainstalován online sledovač oleje. Z Důležitým parametrem, který bylo nutné zjistit v případě výměny transformátoru v areálu ŠKODA AUTO byla maximální hodnota proudového nárazu při zapnutí (hodnota 6-8 násobek I_n). Součástí návrhu technického zadání je také implementace transformátoru do systému MicroSACADA.

Po sepsání podrobného technického zadání, následuje proces, kdy je nutno investici do transformátoru schválit. Po schválení následuje výběrové řízení dodavatelské firmy. Při výměně transformátoru T101 byla zvolena varianta realizace dodavatelskou firmou „na klíč“ včetně veškeré projektové dokumentace. Zároveň je také nutné provést rezervaci výkonu (od ČEZ Distribuce), který bude k dispozici v případě výpadku jednoho ze dvou transformátorů při výměně. Výkon by byl v takovém případě veden skrze kabelový propoj s rozvodnou Boleslav ČEZ Distribuce. Před dodávkou transformátoru je nutné kontaktovat dodavatelskou firmu a zadat výrobu transformátoru do plánu výrobních kapacit. Poté nastává doba výroby transformátoru, která trvá zhruba 8 měsíců. Doba výroby se liší dle velikosti transformátoru a vytíženosti výrobce. Na základě informace, kdy je stroj možné odebrat, se přiřadí konkrétní termíny k jednotlivým pracím v předem vytvořeném harmonogramu. Ten obsahuje i například sanaci záchytných jímek, při které se musím z jímek odstranit kamení.

4.1 Časový harmonogram výměny transformátoru

Tři dny před začátkem samotné výměnou transformátoru je transformátor vypnut manipulantem z velína na příkaz mistra VN, který na manipulaci s transformátorem vypíše příkaz B (viz příloha). Transformátor se zajistí (uzemní) zkratovacími soupravami na primární a sekundární straně transformátoru. Na stanovišti se vyznačí prostoru pro výměnu a ten se oplotí pletivem, aby nedošlo ke kontaktu s živými částmi na ostatních transformátorech. Pracoviště musí být jednoznačně určeno a označeno. Přístup a osvětlení musí být zajištěno na pracovišti a na všech částech elektrického zařízení, na kterých nebo v jejichž blízkosti je vykonávána pracovní činnost. Pokud je to nutné, musí být vstup na pracoviště zřetelně označen z vnější strany zařízení. Protože se zde jedná o výměnu transformátoru v rozvodně, kde vedle sebe existují živé a neživé části, doporučoval bych provést označení živé části rozvodny, aby byl jednoznačně určen zakázaný prostor. Označení by mělo být provedeno maximálně na hranici „zóny přiblížení“ v souladu s normou ČSN EN 50110-10. Na výkresu stání vyznačeno červenou barvou.

Dále následuje poučení pracovníků externí firmy dle platných místních provozních předpisů pro obsluhu a údržbu rozvoden a elektrických zařízení VN a NN. Objednavatel zakázky by také měl proškolit, či zjistit datum proškolení z pravidel BOZP a ŽP pro externí firmy u pracovníků externí firmy, než začne samotná demontáž. Po vyřízení všech legislativních požadavků následuje demontáž silových připojení pasoviny vedoucí do rozvodny 22 kV na sekundární straně a lan vedoucích do rozvodny 110 kV na primární straně.

U transformátoru T101 byla kompletně vyměněna všechna kabeláž, tudíž demontáž proběhla i na všech ovládacích a napájecích kabelech, která trvala dva dny.

Před začátkem samotné výměny stroje se pokračuje v demontáži ovládacích a napájecích kabelů a také v demontáži ovládací skříně, ve které jsou instalována spouštěcí relé ventilátorů, jištění a přechodová svorkovnice. V tento den také přijede čerpací vůz a ze stroje - radiátorů se odčerpá olej, ten se poté odveze k likvidaci, nebo čištění.(dle následného užití stroje)

Den před samotnou výměnou se demontují průchodky na obou stranách, dále pak veškeré chlazení a konzervátor s Buchholzovým relém a teploměry.

Druhý den v den výměny (6:00) přijíždí transportní vlek ke stanovišti transformátoru, následuje v předání pracoviště (6:30) a poučení pracovníků. V 7:00 se podkládají kolejnice na vleku pro přemístění transformátoru

Kolejnice transformátoru je nutné mechanicky spojit s kolejnicemi na stání, aby nevznikl prohyb při zatažení transformátoru. V 8:30 začíná vytlačování transformátoru ze stání na transportní vlek

4.1.1 Vytlačení a ukotvení transformátoru

Vytlačení se provádí pomocí hydraulických heverů, které se opřou o stojny stroje na kolejnicích a tlačí transformátor po kolejnicích směrem ven ze stanoviště na transportní vlek. Pro přemístění stroje na vlek je transformátor heverován hydraulickými hevery střídavě na obou stranách tak, aby vždy jednou stranou stál na dřevěných pražcích, které slouží jako podpěry, na které je transformátor položen při zdvihání.

Obrázek 7: Hydraulické heverování transformátoru

Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

Heverováním se stroj dostane z kolejnic až na vlek. Kolejnice se odstraní. Na stanovišti zatím probíhá zasypávání jímek kamením. Štěrk je do jímek instalován

z historicky bezpečnostních důvodů a to aby bylo zabráněno rychlejšímu šíření požáru.

Obrázek 8: Zasypávání záchytných jímek

Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

V 11:30 přijíždí nový transformátor a o půl hodiny později začíná montáž nového transformátoru. Nežli se začne se zatahování se zatahováním transformátoru na místo, je nutné zkontrolovat celou zásilku, zda případně nevykazuje nějaké škody po přepravě. Jestliže by byla zjištěna poškození a s tím spojený úbytek oleje, je třeba ihned vyrozumět přepravní firmu.

Nový transformátor je naplněn zpravidla olejem až do výšky 100 mm pod víko nádoby transformátoru.

Po přistavení tažného zařízení pro těžká břemena s novým transformátorem se stroj nadzdvihne hydraulickými hevery a posadí na dřevěné pražce. Namontují se na něj kolečka v ose kolejnic. Poté se transformátor nadzdvihne a pražce se odejmou. Stroj se posadí na kolejnice, a k nim se připevní bočními díly, které mechanicky spojí kolejnice a stání.

4.1.2 Zatažení transformátoru na stanoviště a usazení (14:00)

Zatažení probíhá pomocí stejných heverů jako při vytlačování. Na kolejnice se připevní zarážky, o které se opřou hydraulické hevery, které transformátor zatlačí

do stání. V 16:30 je nový transformátor usazen na stanovišti a je možno transformátor křížově zajistit šroubovými zarážkami.

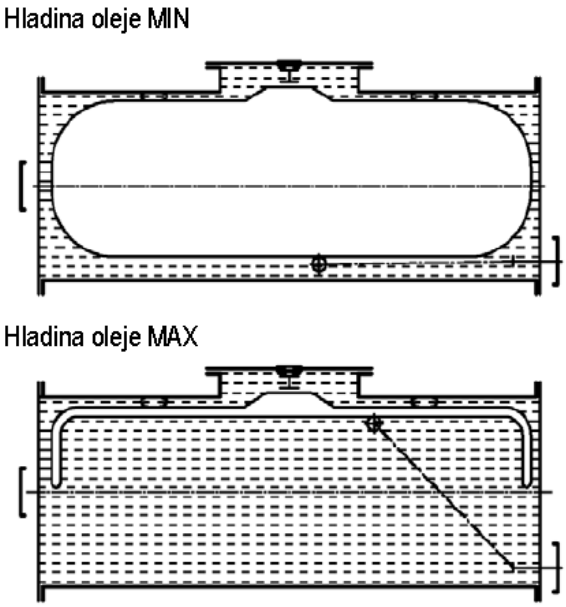
Obrázek 9: Zatažení transformátoru na stanoviště

Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

Den po výměně probíhá montáž všech ostatních částí transformátoru, jako je montáž chladiče, konzervátoru průchodek a kostrové ochrana. Ve všech montážních postupech je žádoucí dodržet postup a zvláště utahovací momenty. V dalších dnech se pokračuje v natahování vazebních kabelů do řídicího systému, ochran, atd.
Dále se také stroj doplňuje olejem až po rysku, která je na konzervátoru. Před tímto úkonem je dobré zkontrolovat druh oleje u připraveného oleje. Konzervátor se plní pomocí vlnovce.

Použití vlnovce zamezuje vniknutí vlhkosti do oleje a zpomaluje oxidativní stárnutí oleje. Vlnovec se skládá ze dvou vrstev pryže, která je zesílena textilní tkaninou. Vnitřní pryžová vrstva je odolná vůči ozónu a zároveň vnější pryžová vrstva je odolná vůči oleji. Membrána se pomocí příchytných třmenů připevní v konzervátoru a upevňovací přírubou se přišroubuje k montážnímu otvoru. Vnitřek vlnovce je přes vedení vysoušeče vzduchu spojen s atmosférou.

Obrázek 10: Vlnovec



Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

Plnit lze až 4000 litrů za hodinu. Když jsou namontována všechna potrubí, radiátory nebo chladiče a konzervátor. Otevřou se podle přehledného plánu uzavírací ventily, aby ve všech těchto prostorách byl při vakuování stejný tlak. Poté začíná vakuování transformátoru. Technické údaje týkající se doby vakuování před naplněním oleje jsou uvedeny v tabulce níže.[12]

Tabulka 5: Parametry vakuování

U	**p**	**Minimální doba trvání**
≤ 170 kV	≤ 1Mbar	≥ 1h
> 170 kV	≤ 0,5Mbar	≥ 2h

Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

Všechny parametry jsou uvedené pro transformátor naplněný při přepravě olejem.
Za 26 dní od dne výměny transformátoru je stroj zapnut. Zhruba pár dní se stroj ještě provozuje naprázdno, než je zapnut pod zatížení.

4.2 Prozní zkoušky

Pokud bychom mluvili o uceleném popisu provozních zkoušek před uvedením transformátoru do provozu. Bylo by nutné vyjmenovat i zkoušky samotných zkušebních pomůcek nebo třeba jednotlivých drobných částí příslušenství transformátoru, jako například funkčnost ložisek, nebo přítomnost napětí. Omezme se prosím proto na ty nejdůležitější. Zkoušky se časově dají rozdělit do dvou skupin na zkoušky při *uvedení do provozu* a *individuální zkoušky*.

4.2.1 Individuální zkoušky

Tyto zkoušky byly provedeny individuálně na jednotlivých zařízeních v beznapěťovém stavu.

Transformátoru T101

Po ukončení instalace transformátoru se na stroji provádí následující zkoušky

- Kontrola zapojení silových obvodů transformátoru
- Kontrola zapojení ovládacích obvodů transformátoru
- Kontrola napájení chlazení a regulace transformátoru
- Zkoušky funkce chlazení a regulace
- Individuální zkoušky: Buchholzovo relé, ochranné relé, měření hladin oleje, měření teplot a poruchové stavy

Rozvaděč ochran

- Kontrola zapojení rozdílové a nadproudové a kostrové ochrany
- Kontrola napájecích obvodů
- Kontrola uzavřenosti proudových obvodů měřících transformátorů proudu v rozvodně 22kV a rozvodně 110k V
- Parametrizace a nastavení rozdílové ochrany, vypínací zkoušky
- Parametrizace a nastavení nadproudové ochrany, vypínací zkoušky
- Parametrizace a odzkoušení Ochranných relé transformátoru (Buchholzovo, Ochranné)
- Zkoušky výstupů a vstupů do RTU (Remote Terminal unit)

Rozvaděč regulace

- Kontrola zapojená provedených úprav
- Kontrola zapojení vnějších kabeláží
- Zkoušky vstupních signálů BI
- Zkoušky výstupních signálů BO
- Kontrolka komunikací ŘS
- Zkoušky ovládání a signalizace z pracoviště operátora

4.2.2 Funkční zkoušky

Funkční zkoušky jsou prováděny pod napětím, a jejich termín určí provozovatel. Jedná se o samotné zapnutí transformátoru a uvedení do provozu. Před započetím je nutné provést vizuální kontrolu zařízení, odjistit pracoviště, zkontrolovat ukončení B

příkazu a odevzdat revizní zprávu spolu s provedením zápisu do provozní knihy. Poté je možno provést následující kroky/ činnosti:

- Kontrola stavu rozvodny R110kV a R22kV, přípravné manipulace v rozvodnách pro zapnutí pole T101

Činnosti při zapnutí strany 110 kV:

- Zapnutí odpojovače B (nebo C) v R110 kV pro pole T101
- Zapnutí vypínače S v R110kV pro T101, transformátor pod napětím
- Vizuální a poslechová kontrola transformátoru T101 a jeho silových obvodů
- Kontrola měření napětí a ověření sledu fází napětí 22kV a 110kV na panelech, v ochranách, v ŘS.
- Kontrola chodu regulace T101 ve stavu naprázdno, povelování regulace, kontrola napětí po jednotlivých stupních
- Doporučený chod transformátoru naprázdno po dobu 1 až 2 dní
- Provádění vizuální a poslechové kontroly, kontrola hladin oleje, kontrola teplot

Činnosti při zapnutí strany 22kV:

- Zapnutí odpojovače Q1 (nebo Q2) v R22 kV, pole 27

- Vyrovnání regulace na transformátoru na shodnou napěťovou hladinu s jiným spuštěným transformátorem
- Ověření sledu fází silových obvodů před zapnutím vypínače QM v R22 kV pole 27
- Zapnutí vypínače QM v R22 kV pole 27, uvedení T101 pod částečnou zátěž v paralelním chodu s jiným transformátorem
- Kontrola proudových obvodů, ověření měření proudů pro 22kV i 110kV na panelech, v ochranách, v ŘS
- Kontrola chodu elektroměrů a obvodů měření spotřeby
- Kontrola směrování ochran
- Uvedení transformátoru T101 pod plnou zátěž – bez paralelních chodu s jiným transformátorem
- Ukončení zkoušek, uvedení T101 do zkušebního provozu

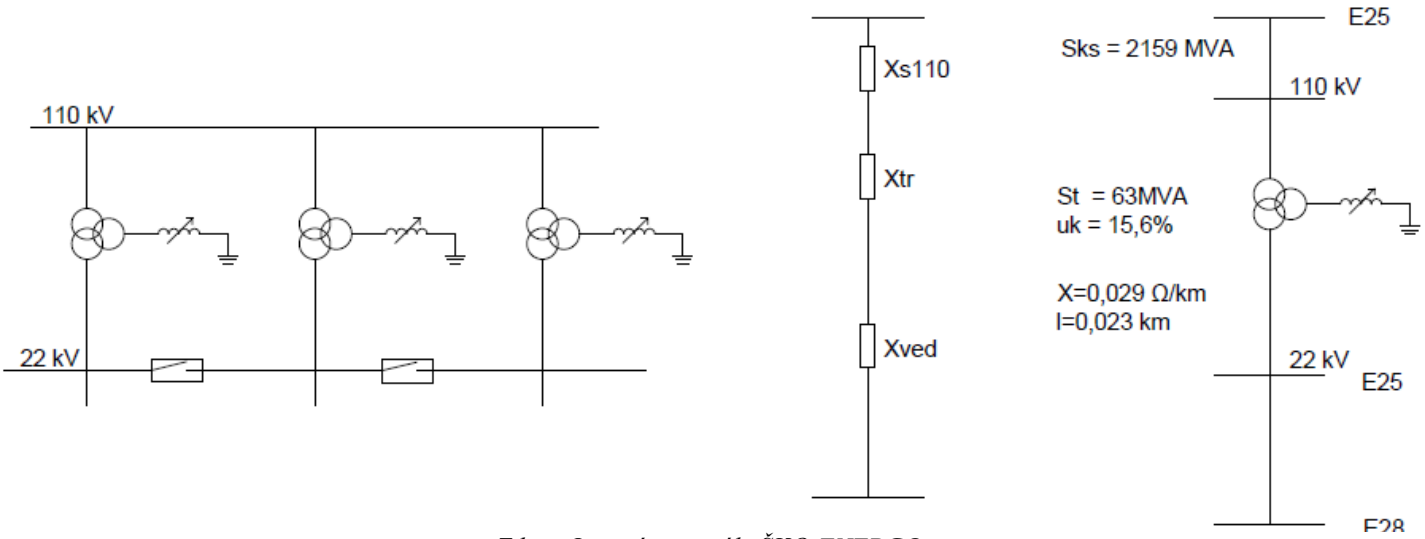
5. Výpočet zkratových proudů v rozvodně 22 kV

Předpoklad pro výpočet:

Výpočet se provádí pro obvyklý provoz, což znamená provoz dvou transformátorů zapojených každý zvlášť. Norma zároveň připouští provozování transformátorů paralelně po dobu nezbytné opravy či revize. Po dobu trvání zkratového proudu se nemění typ zkratu, tj. trojfázový symetrický zkrat zůstává trojfázovým. Dále po dobu oblouku nedochází v síti k žádné změně a neuvažují se odpory oblouku.

Pro výpočet zkratových proudů je důležitým údajem udávající maximální zkratový výkon v soustavě. V tomto případě je hodnota maximálního zkratového výkonu udána při napájení ze čtyř vývodů z rozvodny Čechy Střed ČEZ Distribuce a dvou přívodů od fluidních kotlů teplárny ŠKODA AUTO.

Obrázek 11: Zjednodušené schéma zkratové soustavy



Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

$S_{ks110kV} = 2159\ MVA$ *zkratový výkon soustavy 110kV udaný EGU Budějovice*

$U_v = 100kV$ *vztažené napětí*

$S_V = 63\ MVA$ *vztažený výkon*

Výpočet poměrné reaktance soustavy.

$$X_{S110} = \frac{63 * 10^6}{2159 * 10^6} = 0{,}0292$$

Výpočet poměrné reaktance

$$X_{TR} = u_k * \frac{S_V}{S_{T1}} = 0{,}156 * \frac{63 * 10^6}{63 * 10^6} = 0{,}1560$$

Výpočet poměrné reaktance vedení

$$X_{ved} = X_1 * l * \frac{S_V}{S_{T1}} = 0{,}4 * 23 \cdot 10^{-4} * \frac{63 * 10^6}{(110 * 10^3)^2} = 0{,}0516$$

$l \ldots$ *délka pasu od sekundáru tr.k sběrněA* $23\ [m]$

$X_1 \ldots reaktance\ vedení\ materiálu\ AL\ X_1 = (R + jL)\ 0{,}4\ [\Omega]$

Celková reaktance, poměrná

$$X_{C\ pomerná} = X_{S110} + X_{TR} + X_{ved} += 0{,}0292 + 0{,}156 + 0{,}0516 = 0{,}2366$$

Zkratový výkon

$$S_k = \frac{S_V}{X_C} = \frac{63 \cdot 10^6}{0{,}2366}\, 266{,}27 \cdot 10^6 \simeq 266{,}31\ MVA$$

Rázový zkratový výkon

$$I_k^{"} = \frac{S_k}{\sqrt{3} * U_{vz}} = \frac{63 * 10^6}{\sqrt{3} * 23 * 10^3} = 6683{,}95\ A \simeq 6{,}68\ kA$$

Rázový zkratový výkon

$$S_K^{"} = U_V * I_k^{"} * \sqrt{3} = 110 \cdot 10^3 * 6{,}68 \cdot 10^3 * \sqrt{3} = 1272{,}71\ MVA$$

Ekvivalentní oteplovací proud

$$I_{ke} = k_e * I_k^{"} = 1{,}4 * 6{,}683 \cdot 10^3 = 9357{,}5\ A \simeq 9{,}36 kA$$

$k_e \ldots činitel\ stanovený\ dobou\ zkratu\ (0{,}1 -$
$0{,}2\ s)\ a\ napěťovou\ hladinou\ vn, vvn\ dle$ [13]

Průřez vodiče vyhovujícího z hlediska tepelného namáhání zkratovými proudy dle ČSN 33 3040.

$$A_{min} = \frac{I_{ke} * \sqrt{t_{vyp.}}}{K} = \frac{9{,}357 \cdot 10^3 * \sqrt{0{,}15}}{108} = 33{,}55\ mm^2$$

$t_{vyp.} \ldots doba\ trvání\ zkratu$

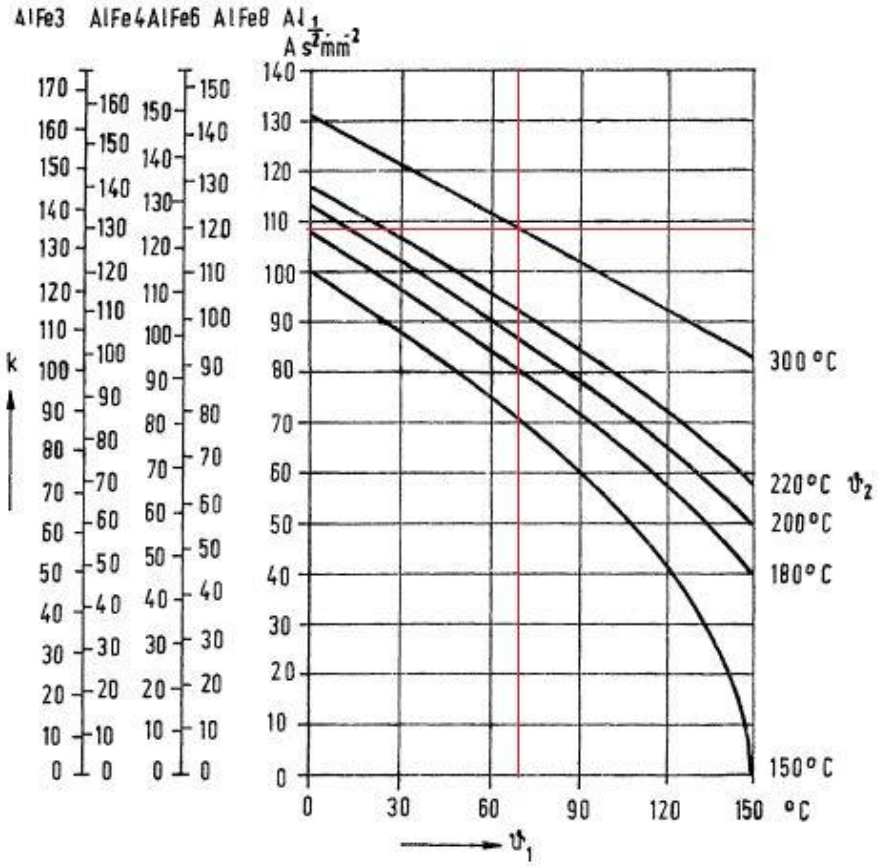
$K \ldots materiálová\ konstanta\ (pro\ měď\ pohybující\ se\ pod\ 100, pro\ hliník\ nad\ tuto\ hodnotu)$

Materiálová konstanta

Tuto hodnotu můžeme získat buď výpočtem z fyzikálních parametrů materiálu vodiče, pomocí vzorce níže, nebo z grafického zobrazení, podle obr.12

$$K = \sqrt{\frac{c}{\rho_{20}} * \left(\vartheta_f + 20\right) * \ln\frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}} \quad \left(A\, s^{\frac{1}{2}}\, mm^{-2}\right)$$

Obrázek 12: Fyzikální parametr K vodiče



Zdroj:[13]

Z obrázku lze odečíst pro AL vodič při výdržné teplotě ϑ_f 300 ˚C a provozní teplotě ϑ_1 K= 108 A $s^{1/2}$ mm^{-2}

Z výpočtu zkratových poměrů v síti 22kV lze říci, že dvojité stávající pasy 80x10 jsou dostačující, jelikož výpočet potřebného průřezu vodiče ukázal minimální hodnotu průřezu 33,55 mm^2 vedení napojeného ze sekundární strany transformátoru.

6. Chránění transformátoru

Transformátor lze brát za jedeno z nejrizikovějších zařízení a to z důvodu, že je v něm stálý kontakt živých vysokonapěťových částí s velkým množství oleje.

Přitom transformátory s olejovým dielektrikem jsou nejrozšířenějším typem, z důvodu celé řady předností.

Pokud by došlo v takovém transformátoru k nízkoimpedanční poruše, dojde k rychlému nárůstu tlaku v transformátorovém kotli. Vlivem vyvinutého tepla oblouku nastane rozklad a destilace transformátorového oleje. Z oleje se uvolní vodík, metan, kysličník uhelnatý a uhličitý, dusík a další plyny. Směs, která se vyvine, je hořlavá a po smíchání se vzdušným kyslíkem výbušná. Je nutné, aby byl stroj zavčasu odepnut od poruchy nebo aby bylo možné rychle odvést tlak z transformátorové nádoby zdroje a nedošlo tak k výbuchu a následnému požáru transformátoru.[7] Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení musí plnit tyto činnosti:

- spolehlivě a rychle určit překročení nebo poruchu mimo normální provoz chráněného zařízení;
- včas jej vypnout tak, aby se zabránilo škodám nebo se omezil jejich rozsah na stroji nebo zařízení, a zajistila se tak ochrana osob před účinky elektrické energie;
- snížit riziko požáru v důsledku tepelných účinků zkratového proudu;
- zajistit, aby se porucha nerozšířila na ostatní prvky ES a neohrozila její chod a napájení spotřebitele.[6]

Poruchy transformátorů dělíme dvou skupin:

Vnitřní poruchy

Vnitřní poruchy transformátorů můžeme dělit na dvě skupiny:

a) Vnitřní poruchy pozvolné – Do této skupiny lze například přiřadit špatné galvanické styky, vznikající mikrooblouky v nádobě transformátoru, poruchy chlazení a špatná izolace plechů. Pozvolna projevující se poruchy zachytí v počátečním stavu pouze plynové relé. V důsledku tak nedojde k masivnímu poškození a je možno transformátoru opravit.
b) Vnitřní poruchy náhlé – zkraty. A to zkraty na vinutí, zkraty mezi vinutími, nebo zkraty vinutí na nádobu.[16]

Průchozí poruchy

Dochází k nim K průchozím poruchám dochází většinou delší dobu a přitom způsobují nárůst teploty. Působí vlivem připojených zařízení. Rozdělujeme dva typy

průchozích poruch: přetížení a vnější zkrat na připojeném zařízení, které způsobují menší, nebo větší přetížení transformátoru. Přetížení je průchod nadměrné energie strojem, teplota vinutí narůstá nad meze povolené pro trvalý chod a vznikají následující rizika:

- menší životnosti izolace
- větší pravděpodobnosti zemního spojení nebo zkratu
- poškození izolace

6.1 Příčiny poruch

V elektrizační soustavě mohou nastat, jedny z těchto poruchových základních stavů, které ohrožují provoz jednotlivých zařízení či celé soustavy:

- Zkrat způsobující tepelné a mechanické poškození prvků.
- Přetížení, které vede k přehřívání izolační vrstvy nebo snížení mechanické pevnosti vodičů.
- Nadpětí snižující elektrickou pevnost izolace a zvyšující pravděpodobnost zkratu.
- Podpětí, které vede k proudovému přetížení. Proudová nesouměrnost snižující kvalitu dodávky elektrické energie je velmi nebezpečná zejména pro elektrické točivé stroje, kde nastává problém u proudu zpětnou složkou způsobujícího přehřívání rotorového vinutí.
- Zemní spojení způsobuje zvýšené napětí. Vzniká zejména v izolovaných sítích, kde uzel zdroje není uzemněn, anebo je připojen přes velkou impedanci. Asynchronní chod nastává při ztrátě synchronizmu generátorů. Je nebezpečný zejména pro synchronní stroje a turbíny, a má za následek také přetěžování vedení a transformátorů. Snížení či zvýšení frekvence je nebezpečné zejména v propojených elektrizačních soustavách.[18]

6.1.1 Kritéria pro roztřídění ochran

Ochran je mnoho a je možné je rozdělit dle několika kritérií. Například:

- Podle objektu, který má ochrana za úkol chránit (venkovní, kabelové, trolejové vedení, přípojnice, generátor, motor, transformátor, baterie, vypínač).
- Dle měření veličiny: Napěťová, proudová, impedanční (distanční), srovnávací (rozdílová), výkonová (wattová), frekvenční, zpětná složka napětí a proudu.
- Podle druhu poruchy, na kterou by měla ochrana zareagovat buď upozorněním příslušné obsluhy, nebo dle instrukcí řídicího systému.

Ochrany existují pro všechny poruchy uvedené výše v odstavci 6.1. Dále ochrany dělíme také dle doby působení, mezi které například patří ochrana mžiková. Tato ochrana působí ihned po začátku poruchy. Časově závislá ochrana má čas působení závislý na velikosti měřené veličiny. Opakem časově závislé ochrany je ochrana časově nezávislá, která dobu působení má konstantní po vzniku poruchy. Dalším dělícím kritériem je konstrukce, například elektromechanické relé, statická, nebo číslicová ochrana.[18]

6.2 Ochrany transformátorových strojů

Obecně je transformátory nutné chránit proti vnějším poruchám, jako je zkrat, nebo přetížení. Stejně tak proti poruchám vnitřní. Přehled, který zobrazuje tabulka 6

Tabulka 6: Druhy poruch a ochran

Druh poruchy	**Druh ochrany**
Vnější poruchy	
Přetížení	Proudová na přetížení (termoskopie)
Vnější zkrat	Nezávislá nadproudová nebo distanční
Vnitřní poruchy objevující se náhle	
Zkraty ve vinutí	Rozdílová ochrana a plynové relé
Zkraty ve vinutí na nádobu	Kostrová ochrana
Vnitřní poruchy projevující se pozvolna	
Špatné galvanické styky, špatná izolace plechů, vznikající mikrooblouky v nádobě – vývin plynů v oleji.	Plynové relé
Porucha chlazení – přehřátí oleje v nádobě – vývin plynů v oleji	

Zdroj: [18]

Problematikou ochrany transformátoru se podrobněji zabývá norma ČSN 33 3051, která uvádí několik málo předpokladů pro chránění síťových transformátorů. Dle ČSN 33 3051 je „Chránění síťového transformátoru a jeho odbočky může být realizováno společnou ochranou. Řešení však nesmí znamenat sníženou kvalitu chránění transformátoru za všech provozních stavů (např. požadavek na vypnutí rozdílové ochrany transformátoru a úseku transformátor - rozvodna při provozu transformátoru přes pomocnou přípojnici této rozvodny)“. Možný příkladem by mohlo být chránění transformátoru ve větší vzdálenosti od rozvodny, např. tzv. vysunutým transformátorem. [15]

Vybavení síťových transformátorů ochranami předepisuje tabulka

Tabulka 7: předepsané ochrany síťových transformátorů

Druh ochrany	Tránsformátor zvn/vn; vvn/vn; vn/vn; vn/nn				Transformátor zvn/vvn, vvn/vvn
	Výkon S (MVA)				
	S < 1,7	1,7 ≤ S < 5	5 ≤ S < 25	25 ≤ S	
Nadproudová zkratová nebo impedanční (primární)	X	X	X	X	X
Nadproudová zkratová (sekundární)	X	X	X	X	
Nadproudová zkratová (terciální)	X	X	X	X	X
Nadproudová při přetížení		X	X	X	X
Plynová		X	X	X	X
Rozdílová		X	X	X	X
Zemní nádobová			X	X	X
Tepelná ochrana				(X)	(X)
Rozdílová odbočky (primární)					X
Rozdílová odbočky (sekundární)					X
Impedanční 1 (sekundární)					X
Impedanční 2 (sekundární)					X
Poznámka – použité značení v tabulce (X) ochrana se doporučuje X ochrana se použije					

Zdroj: [15]

V případě našeho transformátoru se jedná o pátý sloupec označený výkonem větším než je výkon 25 MVA. V této hladině jsou povinné všechny ochrany, kromě ochran rozdílových odboček a ochran impedančních.

6.2.1 Ochranná relé transformátorů

Buchholzovo relé

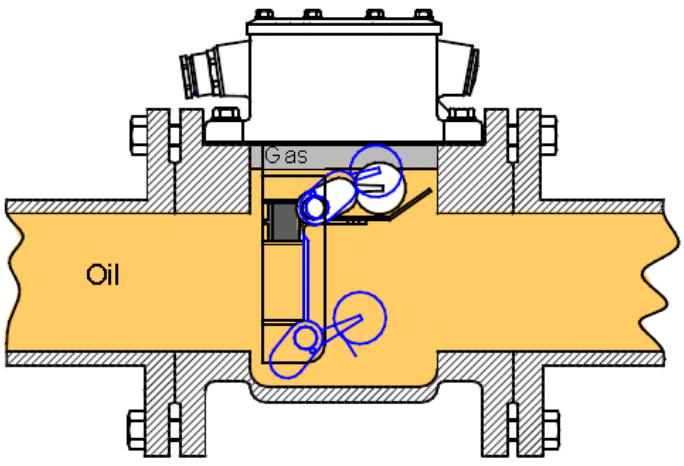
Buchholzovo relé, nazývané také jako plynové relé, slouží k detekci plynu u transformátorů chlazených olejem. Plynové relé se zamontuje do potrubí vedoucí do sběrné nádoby chráněného zařízení (transformátor, tlumící cívka) ke konzervátoru. Pro správný chod je nutné při montáži, zajistit aby mohl plyn v izolační kapalině volně proudit k Buchholzovu relé. Pokud v transformátoru nastane zkrat, vyvine se teplo, které rozkládá a destiluje olej a vzniká směs vodíku, metanu, kysličníku uhelnatého, kysličníku uhličitého, dusíku a dalších plynů. Na tu to směs reaguje relé, které se zpravidla provádí v dvoustupňovém provedení (1. a 2. stupeň). Bližší vysvětlení principu Buchholtzova relé je popsáno v těch to těchto třech případech:

1. Akumulace plynu

Příčina: Volný plyn je v izolační kapalině

Následek: Plyn stoupá v kapalině vzhůru. Nahromadí se v Buchholtzově relé a stlačí hladinu z vrchu dolů. S hladinou klesá vrchní plovák, který sepne kontakt a tak se spustí 1. stupeň o vzniku plynové směsi. Dolní plovák zůstává ve své poloze z toho důvodu, že určitý objem plynu jde potrubím do konzervátoru

Obrázek 13:Akumulace plynu



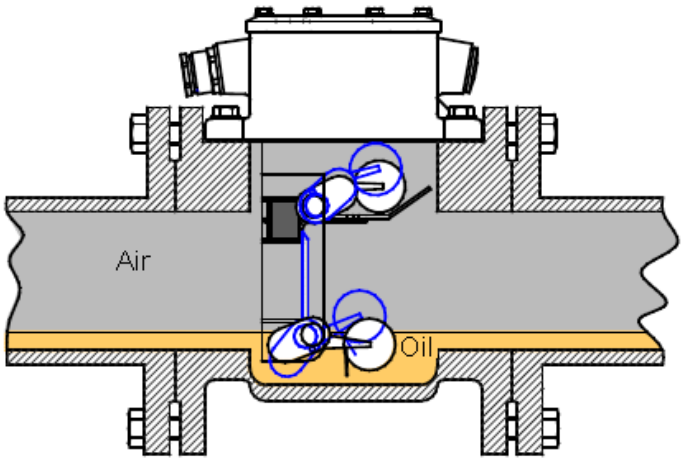
Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

2. Ztráta izolační kapaliny

Příčina: Unikání izolační kapaliny

Následek: S unikáním oleje z transformátorové nádoby klesá i hladina kapaliny v Buchholtzově relé. Zde se pohybuje horní plovák dolů, a tím spíná alarm 1. stupně. Pokud ztráta izolační kapaliny pokračuje, konzervátor, potrubí a i Buchholzovo relé se vyprázdní. Pokud hladina klesne příliš, dolní plovák klesne také a přeruší kontakt 2. stupně a transformátor se odpojí od sítě.

Obrázek 14: Ztráta izolační kapaliny



Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

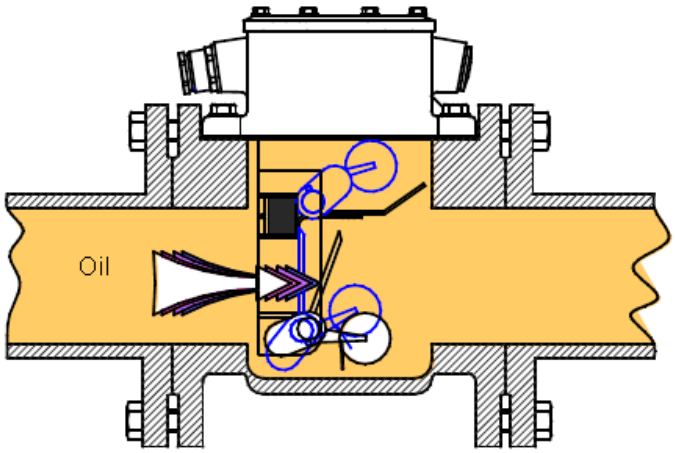
3. Izolační kapalina expanduje

Příčina: Rychlé proudění, generované tlakovou vlně, pohybující se potrubím ke konzervátoru

Následek: Tok izolační kapaliny narazí do tlumiče toku izolační kapaliny. Pokud síla na tlumič překročí odpor tlumiče ve směru průtoku, kvůli pohybu kapaliny se kontakt 2. stupně přeruší a transformátor zůstane odpojený. Po odeznění tlaku na tlumič se

přepínač vrátí do původní pozice. Relé vyrobené EMB je vybaveno tlumičem, který je upevněn stálým magnetem.

Obrázek 15: Expandování izolační kapaliny



Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

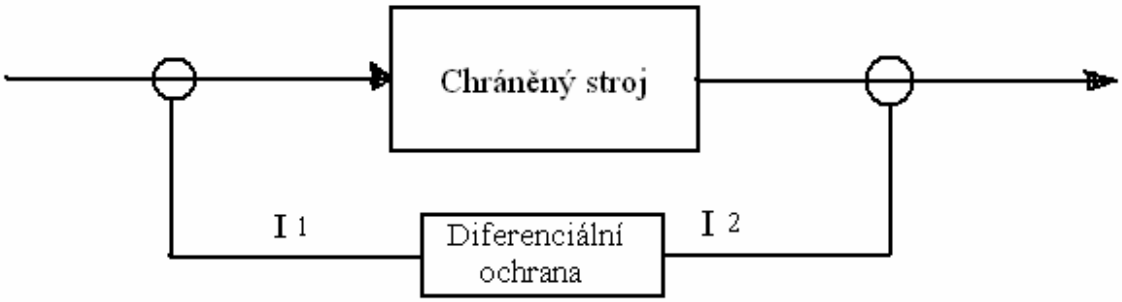
Ochranné relé

Ochranné relé slouží k signalizaci poruchy uvnitř olejové nádoby přepínače odboček při zatížení, popř. voliče při zatížení a má v případě poruch omezit poškození stupňového spínače. Připojení ochranného relé se provádí tak, aby byl transformátor okamžitě bez napětí. Aktivace kontaktů v ochranném relé je jednoduchá. Ochranné relé zareaguje, pouze pokud od hlavy stupňového spínače směrem k olejovému konzervátoru proudí olej, který uvede v činnost zádržnou klapku, která se překlopí do polohy vypnuto. V činnost se tak uveden rozpojovací výkonový spínač odpojující transformátor od napětí.

6.2.2 Rozdílová ochrana

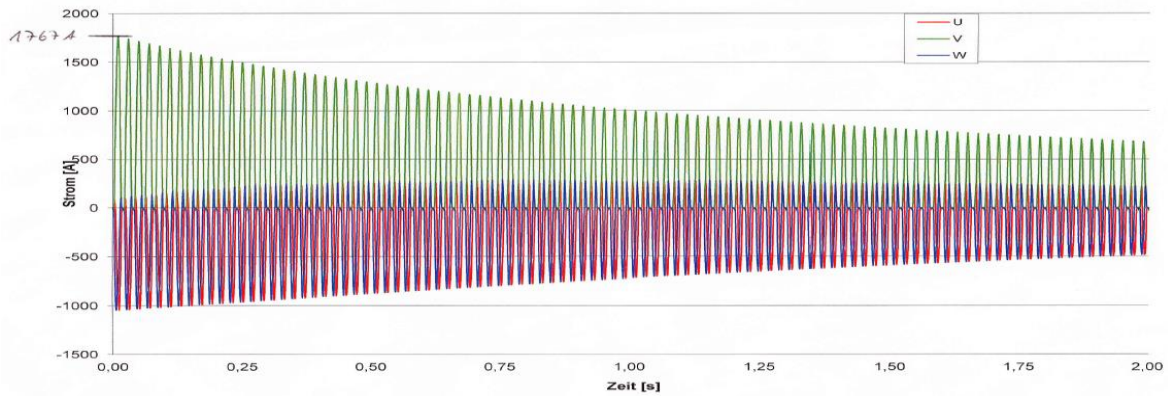
Rozdílová ochrana, jak už název napovídá, porovnává proudy přicházející a odcházející z chráněného transformátoru v případě, že nastane vnější zkrat. Ochrana nebude reagovat, jelikož rozdílový proud bude minimální. V případě poruchy uvnitř zařízení, vzniklým diferenciální proudem, bude ochrana reagovat okamžitě.

Obrázek 16: Rozdílová ochrana



Zdroj: [16]

Obrázek 17: Zapínáací ráz transformátoru T101



Zdroj: Interní materiály ŠKO-ENERGO

Současné nové diferenciální ochrany musí umět rozeznat daleko více problémů. Například vypořádat se s různým převodem měničů a s hodinovým úhlem při chránění transformátorů v zapojení Y/D. Je nutné, aby uměly eliminovat nulovou složku proudu. Dalším problémem je rozeznání zapínacího nárazu transformátoru (6 až 10 násobku I_n transformátoru) od vnitřní poruchy. Je důležité, aby rozdílová ochrana nebyla citlivá na magnetizační proud při zapínání transformátoru. Obrázek 16 Magnetizačním proudem se rozumí proud při zapnutí, který protéká v prvním vinutí, kdežto v druhém vinuté je proud nulový. Řešení pro dokonalejší diferenciální dokáží rozeznat částečné přesycení měničů. Mohou také chránit transformátor při nárůstu napětí působením rezonance indukčnosti transformátoru s kapacitou dlouhého vedení. Diferenciální ochrana může být dodána s regulátorem napětí, zde je možno zpřesnit metodu měření a citlivěji rozpoznat rozdílové proudy na základě informace o stupni odbočky. Často se lze setkat s rozdílovou ochranou dvoudobou. V našem případě u třívinuťového transformátoru je použita ochrana tříbodová.[19]

Podmínkou správné funkce každé rozdílové ochrany jsou správně volené měniče., které mají dva základní principy: Dle těchto dvou základních principů.

1. princip stabilizované proudové diferenciální ochrany.

Požadavky na měniče pro diferenciální ochrany jsou vždy vyšší než například požadavky na měniče pro nadproudové ochrany. Je zde třeba dodržet doporučení výrobce použité ochrany. Orientačně je možno podle známého vzorce odvozeného pro elektromechanické diferenciální ochrany určit doporučené nadproudové číslo:[19]

$$n^* = 0{,}7 \cdot \frac{X}{R} \cdot \frac{I_K}{I_n}$$

n^* … nadproudové číslo měniče přepočítané na skutečnou zátěž

$\frac{X}{R}$ … časová konstanta obvodu od zdroje až do místa zkratu

$\frac{I_k}{I_n}$ … zkratový násobek pro zkrat za transformátorem

Příklad:

Pro běžné hodnoty sítě 110kV můžeme předpokládat hodnotu X/R asi 10.

Transformátor 110/22kV, S_n =63MVA, e_k =15,6%, In =331 A.

JTP převod 400/5A.

$$Zkrat\ za\ transformátorem: \frac{100}{e_k} \cdot I_{ntrf} = \frac{100}{15{,}6} \cdot 331 = 2121\ A$$

$$Průchozí\ zkrat: \frac{I_k}{I_n} = \frac{2121}{400} = 5$$

$$Nadproudové\ číslo: n^* = 0{,}7 \cdot 10 \cdot 5 = 35$$

Na hladině 110kV bývá tento výsledek splněn. Pro dostačující funkci ochrany by stejné, nebo alespoň podobné nadproudové číslo mělo být i na straně 22kV. Na sekundární straně zpravidla bývají měniče slabší, n* se pohybuje jen kolem 15. V takovém stavu by mohlo nastat nesprávné zafungování i moderní ochrany. Je proto dobré, při výměně staré rozdílové ochrany za novou zkontrolovat také měniče.[19]

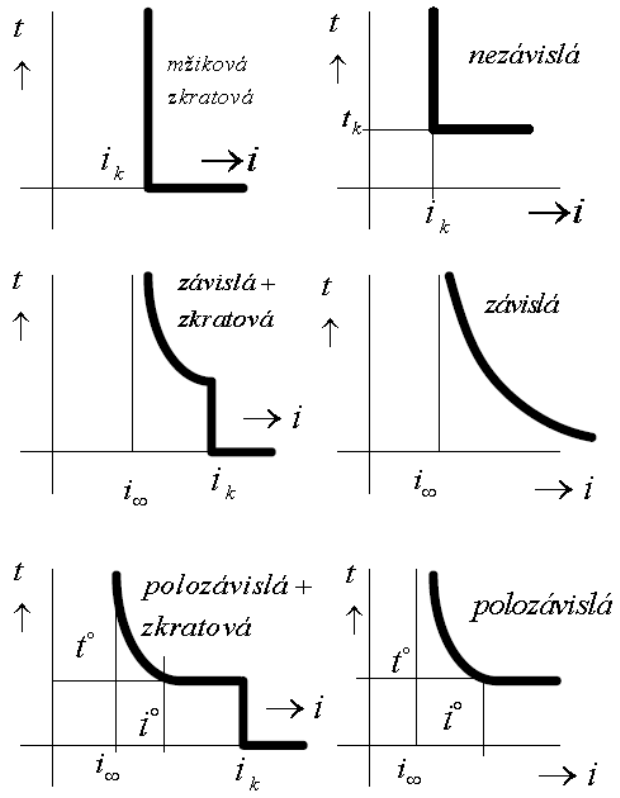
2. princip vysokoimpedanční diferenciální ochrany

Tento princip se využívá zejména jako zemní diferenciální ochrana. K činnosti musí mít tato ochrana na obou stranách stejné měniče s definovaným napětím kolena a magnetizačním proudem. V transformátoru T101 je osazena rozdílová ochrana transformátoru RET316.

6.2.3 Nadproudová ochrana

„Nadproudová ochrana je určena k selektivnímu chránění při zkratech v distribučních sítích VN. Ochrana obsahuje fázovou jednotku a vypínací a signalizační zařízení s volitelnými funkcemi. V transformátoru T101 je osazena nadproudová ochrana transformátoru REJ523. Nadproudová ochrana může být rovněž použita v dalších aplikacích, kde je požadováno jednofázové, dvoufázové, nebo trojfázové nadproudové chránění.“ Je často používána pro svou jednoduchost. Princip jejího fungování je založen na zvýšení proudu při přetížení nebo zkratu.[19] Z pohledu toho, jak působí, se dají rozdělit do několika charakteristik. (obrázek).:

Obrázek 18: Nadproudová ochrana



Zdroj: Přednáška předmětuA1M15ENY. FEL.CVUT

Nezávislá ochrana

Tyto typy ochran jsou často používány v radiálních sítích vysokého napětí, kde se vyskytuje poměrně často spojení do série. Dále v radiálních sítí, například na koncích jednotlivých úseků, kdy jsou velikosti zkratových proudů málo rozdílné. U nezávislých ochran je časové zpoždění na začátku a konci chráněného úseku konstantní. Pravidlem je, že ochrana ležící nejdále od zdroje má nařízen nejkratší čas t_1. Pozor si ale musíme dát na čas v další rozvodné síti, kde musí zareagovat pojistky. Pokud jsou v síti další ochrany, musí se časově odstupňovat, dle vypínacího plánu. Jinak řečeno, pokud nevypne ochrana nejblíže zdroji, musí vypnout ochrana další.

Závislá ochrana

Výhoda časové závislé ochrany je v tom že zkracuje dobu vypnutí na začátku vedení. Tudíž těžší časy zkratu blíže zdroji budou vypínány v čase menším, než t_k

(čas vypnutí na konci daného úseku). Jejich použití najdeme v paprskových sítích VN, kde je uzel transformátoru uzemněn přes odpor.

Obecně nelze kombinovat na jednom úseku jednoho paprsku ochranu časově závislou a časově nezávislou, protože jejich časové vypínací charakteristiky by se mohly protínat. To by vedlo k chybnému vypínání. Proto jsou u nás ve větší míře používány ochrany nezávisle, jelikož známe konstantní dobu vypínání, a tím lze docílit správně nastavené časové selektivitě.

Polozávislá ochrana

Tato ochrana má charakteristiku působení danou stejně jako ochrana závislá, pouze do velikosti proudu I_0. Pro proudy větší než je I_0 má dobu působení konstantní, tudíž stejně jako ochrana nezávislá.

Mžiková ochrana

Reaguje a vypíná při překročení I_k nastaveného proudu, bez zpoždění. To je v podstatě dáno pouze vlastním časem ochrany, zhruba 10ms.

Ochranu je možné ovládat z čelního panelu, ke kterému je možné připojit místní počítač, nebo lze zvolit dálkové ovládání, pomocí konektoru na zadním panelu, ke kterému je přes sériové rozhraní a sběrnu z optického vlákna připojen distribuční automatizační systém.

6.2.4 Kostrová (nádobová)ochrana

Pro správnou funkci kostrové ochrany musí být transformátor umístěn na izolačních podložkách a tím izolován od země. Kostra stroje, je uzemněna se zemnící soustavou vodičem, který prochází průvlekovým transformátorem proudu. Pokud dojde k přeskoku na vinutí, nebo na průchodkách stroje. Protéká nádobou přes průvlekový transformátor proud do země a proudová ochrana vypne transformátor. Problém této ochrany je, že pokud by nebyly všechny pomocné obvody (ventilátory, osvětlení, dálkové ovládání regulace odboček aj.) provlečeny skrz průvlekový transformátor proudu mohlo by dojít k chybnému vypnutí. U transformátoru T101 je tato ochrana dodána nově. Do rozvaděče ochran transformátoru byl doplněn nový terminál REF 610, který zajišťuje funkci kostrové ochrany, protože doplnění do stávajícího terminálu již nebylo možné.

6.2.5 Ochrana přetížení transformátoru

Jako ochrana stroje proti přetížení lze použít teploměr sledující oteplení transformátoru. Z transformátoru T101 je zaveden teploměr na panel na velíně. Pokud nebude nastavena nadproudová ochrana jako jedna z hlavních ochran, lze nastavit tepelný obraz transformátoru

6.2.6 Strojní ochrany transformátoru

Přetlakový ventil (Messko Mprec)

Ventil zajišťující signalizaci a odvod oleje při prudkém nárůstu tlaku v nádobě stroje. Princip je založen na expandování oleje do malého utěsněného „kloboučku“ na vrchní straně transformátoru. Na otvor v transformátoru permanentně působí pružina se záslepkou uloženou v těsnění. V případě nárůstu tlaku se pružina stlačí a vysune ven vyprofilovaný trn, na který jsou mechanicky nakontaktovány koncové spínače signalizující přetlak.

7. Závěr

Na závěr bych rád zhodnotil současný stav z hlediska výkonových bilancí a ekologie. Z odběru energie automobilky ŠKODA AUTO lze říci, že nyní vždy dva ze tří 63MVA transformátorů stačí. Otázkou však zůstává, zda v budoucnosti při navýšení spotřeby bude takový to výkon stačit. Pokud bychom chtěli zvýšit spolehlivost napájení a vytvořit tak automatický záskok (na dobu nutnou ke zjištění příčiny výpadku napájení) bylo by nutné výkon transformátorů povýšit. Při nynější odběrové špičce 100MW(0,5-1h) nebude možné provozovat v režimu záskoku jenom jeden 63MVA transformátor. Proto bych doporučoval výkon při další výměně transformátoru T102 navýšit. S instalací dalšího nového transformátoru, bych možnou reálnou technickou úpravou stání navrhoval zastřešit celé stání transformátorů a tlumivek z důvodu zabezpečení strojů vůči povětrnostním vlivům a zvýšení životnosti strojů. Ve stání transformátorů bych dále navrhoval místo štěrkové výplně záchytných jímek instalovat ocelové žárově pozinkované rošty pro lepší

údržbu. Štěrkové stávající podloží dle historicky platné legislativy mělo za úkol omezit účinky požáru. Nyní je stání se stroji vybaveno hasícími prvky a také pod ochranou požárního hasičského sboru ŠKODA AUTO se zásahem do 5 minut.

Pro rychlejší výměnu dalších transformátorů bych navrhoval na stáních instalovat vysouvací plošiny s čepem pro tažné zařízení. Dle ověření zkratových proudů v kapitole 5 lze říci, že pasy na sekundární straně stroje vyhovují požadavkům.

Dle platných norem pro havarijní jímky transformátorů navrhuji stěny společné sběrné jímky vystlat sklo-vláknem a epoxidem pro zamezení úniku nebezpečných látek do zeminy.

Seznam použité literatury

[1] HRADÍLEK, Z. Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 208 s. ISBN 978-80-248-1696-8.

[2] Zákon č.458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)

[3] REJMAN, J. Analýza průmyslového rozvodu pro napájení ŠKODA AUTO a.s. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechniky, 2013

[4] Pravidla provozování distribučních soustav, Provozovatelé distribučních soustav ČEZ Distribuce, a.s.

[5] ČSN EN 60076-1 Výkonové transformátory-Část 1: Obecně. Praha: Český normalizační institut, 2012.11str.

[6] ČSN EN 60296 ed.2 Kapaliny pro elektrotechnické aplikace – Nepoužité minerální izolační oleje pro transformátory a vypínače. Praha: Český normalizační institut, 2012. 13str.

[7] Technická specifikace transformátoru. Mladá Boleslav. ŠKO-ENERGO. 2014

[8] ČSN 33 2440 Elektrotechnické předpisy. Stanoviště výkonových transformátorů. Český normalizační institut, 1989-02

[9] ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. Český normalizační institut, 2009. 76str.

[10] SKÁLA, M. Transformátory na velmi vysoká napětí. Praha: Státní nakladatelství tech. literatury, (1958)

[11] ČSN EN 60076-6 Výkonové transformátory – Část 6: Tlumivky. Český normalizační institut, 2009.

[12] Návod k obsluze transformátoru, Mladá Boleslav. ŠKO-ENERGO. 2014

[13] FENCL, F., Elektrický rozvod a rozvodná zařízení. Vyd. 3. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 198 s. ISBN 80-01-02771-6.

[14] KATALOG FIRMY SERGI. Transformátorová ochrana.

[15] ČSN 33 3051 Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Český normalizační institut, 1992

[16] GRYM, R., HOCHMAN, P., MACHON, J., BERMANN, J., CICHOŇ B. Chránění II.

[17] JÁRA, J. Chránění transformátorů. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2008, 67s.Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

[18] HALUZÍK, E., WEIDINGER, L., KRÁTKÝ M. Ochrany a jištění energetických zařízení.

[19] GRYM, HOCHMAN, MACHON, CHMELÍK, HANUŠ, TOMAN. Chránění III

[20] VEVERKA, A,HELLER, B. Rázové jevy v elektrických strojích. 1.vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, [1953]