

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Nouzové zdroje v nemocnici

vedoucí práce: Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

2012

autor: Lukáš Bicek

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš BICEK**
Osobní číslo: **E09B0105P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Nouzové zdroje v nemocnici**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Specifikujte požadavky kladené na nemocniční zdroje energie a na záložní zdroje energie.
2. Popište rozvodny a trafostanice vhodné nemocnice.
3. Specifikujte zálohovací sítě a jejich testování.
4. Shrňte získané zkušenosti.

Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- 1. Bartoš, V., Skala, B. : Měření na elektrických strojích. Skripta ZCU, Plzeň 2002**
- 2. Elektronické informační zdroje na ZČU: Compendex, Inspec**
- 3. Internet**

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Tato bakalářská práce se zaměřuje na napojení fakultní nemocnice na městskou topologii, schéma sítě uvnitř nemocnice a rozdělení na několik sítí. Jednotlivé sítě dle zálohy a záložní zdroje elektrické energie. Popis budovy onkologického centra. Druhy ochrany před úrazem elektrickým proudem a ochrany citlivých přístrojů pro měření bioelektrických potenciálů.

Klíčová slova

Trafostanice, transformátor, VN vypínač, odpojovač, dieselagregát, UPS, ZIS, oddělovací transformátor, elektronický předřadník

Abstract

This bachelor thesis is focused on the connection of the hospital with the topology of the city, the scheme of internal network and division into several networks. The types of networks according to backup and standby source of electrical energy. The description of the building of the oncology center. The kinds of protection against injury by electric current and the protection of devices for measurement of bioelectric potential.

Key words

Substation, transformer, HV switch, isolator switch, diesel generator, UPS, ZIS, separation transformer, electronic ballast

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 8.6.2012

Lukáš Bicek

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Bohumilovi Skalovi, Ph.D. za rady, nápady a názory, které mi při vypracování práce poskytl a také svému konzultantovi panu Ondřeji Bickovi za množství podkladů, vysvětlení a praktické ukázky jednotlivých částí Fakultní nemocnice Plzeň-Lochotín.

Obsah

| | |
|--|----|
| Obsah..... | 7 |
| Úvod..... | 9 |
| 1. Elektrická síť ve FN | 10 |
| 1.1. Přívod VN..... | 10 |
| 1.2. Trafostanice..... | 10 |
| 1.2.1. Vnitřní prostory trafostanice..... | 11 |
| 1.2.2. Transformátor | 13 |
| 1.2.3. VN vypínače a odpojovače..... | 14 |
| 1.2.4. Měřicí zařízení..... | 15 |
| 1.3. Rozvodny..... | 15 |
| 2. Zálohování el. sítě | 16 |
| 2.1. Typy sítě ve FN..... | 16 |
| 2.2. ZIS (zdravotnická izolovaná soustava) | 17 |
| 2.3. Výpadky | 19 |
| 2.4. Dieselagregáty | 20 |
| 2.5. UPS..... | 21 |
| 2.5.1. Význam UPS | 21 |
| 2.5.2. Druhy UPS | 22 |
| 2.5.3. Požadavky na nouzové zdroje typu E1 a E2..... | 23 |
| 2.5.4. Výkon UPS..... | 24 |
| 3. Nová budova onkologie..... | 24 |
| 3.1. Popis budovy | 25 |
| 3.2. Fyzické připojení do sítě | 27 |
| 3.3. Zálohování pavilonu..... | 27 |
| 4. Ochrana před úrazem el. proudem..... | 27 |
| 4.1. Ochrana pacientů a personálu nemocnice | 27 |
| 4.1.1. Ochranné uzemnění..... | 28 |

| | | |
|--------------------------|--|----|
| 4.1.2. | Ochranné pospojování | 28 |
| 4.1.3. | Omezení dotykového napětí v místnostech určených k přímým zásahům na srdci | 28 |
| 4.1.4. | Proudové chrániče | 29 |
| 4.1.5. | Ochrana bezpečným napětím | 29 |
| 4.2. | Ochrana přístrojů | 29 |
| 4.2.1. | Ochrana proti nebezpečným účinkům statické elektřiny | 29 |
| 4.2.2. | Ochrana před rušivými účinky elektromagnetického pole | 30 |
| 4.3. | Ochrana před úrazem elektrickým proudem v místnostech s omezeným přístupem | 33 |
| 4.3.1. | Ochrana kryty a přepážkami | 33 |
| 4.3.2. | Ochrana zábranami | 33 |
| 4.3.3. | Ochrana polohou | 33 |
| Závěr | | 34 |
| Použitá literatura | | 35 |

Úvod

Důležité pro každou nemocnici je schopnost zálohování elektrické sítě v případě výpadku. Tato práce pojednává o jednotlivých zařízeních určených pro zálohování elektrické energie. Je zde detailní popis zálohy pomocí UPS, význam a jednotlivé druhy UPS. Pro každé zařízení jsou zde popsány důležité parametry dle současných norem, které musí být za provozu dodrženy. Práce uvádí také způsoby řešení jednotlivých druhů výpadků elektrické energie. Nechybí popis speciální zdravotnické izolované soustavy včetně hlídače izolačního stavu, který je její nedílnou součástí.

Tato bakalářská práce se zabývá také elektrickými rozvody Fakultní nemocnice v Plzni na Lochotíně. Popisuje jednotlivé vysokonapěťové přívody včetně jejich parametrů. Zabývá se problematikou trafostanic, jejich vnitřními rozvody a jednotlivými zařízeními, především pak transformátory. U transformátorů nechybí jejich druhy, počty v jednotlivých trafostanicích a zapojení do sítě. Vše je spojeno přehlednými blokovými schémata a mapkami pro lepší orientaci. Nechybí ani popis hlavních nízkonapěťových rozvodů.

V roce 2011 byla ve Fakultní nemocnici v Plzni postavena nová budova onkologického centra. Změny současných rozvodů, které s sebou tato stavba přinesla, je možné také nalézt v této práci. Nechybí bližší popis rozvodů této nové budovy včetně potřebných blokových schémat.

Bakalářská práce pojednává také o jednotlivých ochranách proti úrazu elektrickým proudem, které jsou použity v nemocnici. Jedná se nejen o ochrany zdraví pacientů a personálu nemocnice, ale také o ochrany citlivých měřících přístrojů nebo ochrany, které jsou použity v trafostanicích a rozvodnách nemocnice.

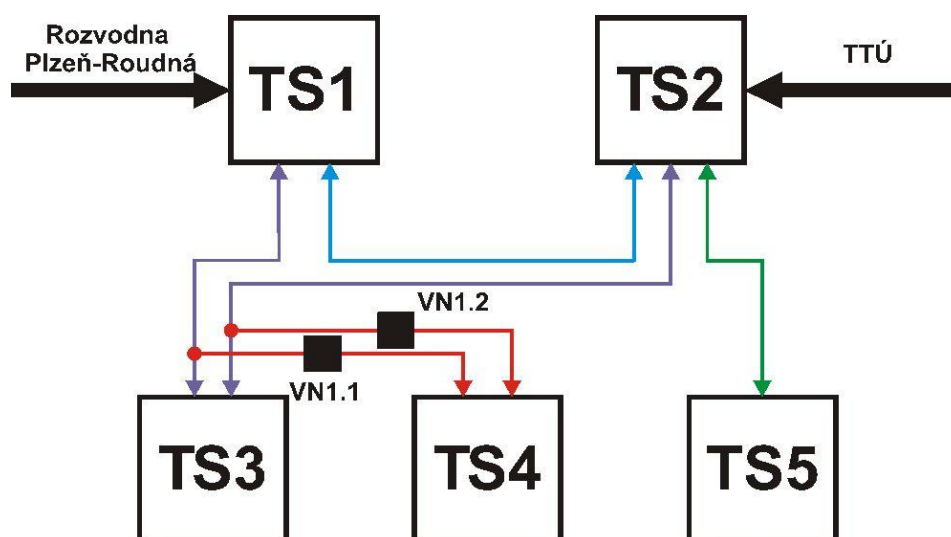
1. Elektrická síť ve FN

1.1. Přívod VN

Fakultní nemocnice v Plzni je součástí městské kruhové topologie napětí 22kV. Nemocnice je umístěna mezi VN rozvodnou v Plzni-Roudné a rozvodnou TTÚ (tranzitní telefonní ústřednou), která se nachází v Plzni, Lidické ulici, na křižovatce u Gery. Pro zásobování elektrickou energií je použita vždy jen jedna z rozveden. V bezporuchovém stavu není rozvodna na Roudné s TTÚ spojena. Vypínače v trafostanici FN jsou vypnuty. Propojení obou rozveden, v případě potřeby, lze docílit jednoduchou manipulací. Pokud má dojít k opravám na části sítě, nebo na rozvodně, ze které je aktuálně nemocnice napájena, je třeba zajistit napájení z druhé rozvodny. Manipulace probíhá tak, že se obě rozvodny propojí (nemocnice je stále napájena) a následně je nepotřebná část odpojena. Nedochází tak k výpadku elektrické energie. Manipulace je vždy prováděna vyškolenými pracovníky nemocnice a pracovníky provozovatele vysokého napětí. V případě fakultní nemocnice se jedná o pracovníky firmy ČEZ.

1.2. Trafostanice

Ve FN je rozmístěno pět trafostanic. Z rozvodny na Roudné je přivedeno napětí 22kV do trafostanice TS1 (zásobovací ústředna). Trafostanice TS2 (objekt strojoven) je připojena k TTÚ v Lidické ulici. Obě trafostanice TS1 i TS2 jsou mezi sebou propojeny (obr. 1.1. znázorněno modrou barvou).



Obr. 1.1 Propojení trafostanic ve FN Plzeň [1]

Toto propojení slouží k tomu, aby byla trafostanice, která není aktuálně napojena na jednu z rozveden městské topologie, připojena na elektrickou síť. Například pokud je nemocnice připojena k TTÚ, tak jde hlavní přívod do trafostanice TS2 a z ní je pomocí zmíněného propojení zásobována trafostanice TS1.[1]

Další trafostanice TS3, která se nachází v objektu společného zařízení, je spojena s trafostanicemi TS1 a TS2 do trojúhelníku. Napájena je vždy z trafostanice, která je aktuálně napojena na městskou síť. V trafostanici TS3 se také nachází vysokonapěťové vypínače, přes které je zásobována trafostanice TS4 v objektu GPK (gynekologicko-porodnické kliniky). Z trafostanice TS3 jsou vedeny paralelně dvě propojení. Jedno je napájeno z trafostanice TS1 a druhé z trafostanice TS2. Poslední trafostanice TS5 je určena pro nový objekt onkologie. Napájena je z trafostanice TS2. Trafostanice TS5 již není připojena k trafostanici TS1 do trojúhelníku jako je tomu v případě trafostanice TS3. Budova onkologie byla postavena roku 2011 a v současné době se toto dvojité propojení již z ekonomických důvodů nepoužívá. Propojení jednotlivých trafostanic najdete na obr.1.1.[1]

Každá trafostanice je originální a přizpůsobená požadavkům daného objektu, kterému slouží. Společným parametrem je transformace napětí z 22kV na 400V. Počty transformátorů a jejich výkony jsou vypsány v tab.1.1.

Tab. 1.1 Transformátory ve FN Plzeň - Lochotín

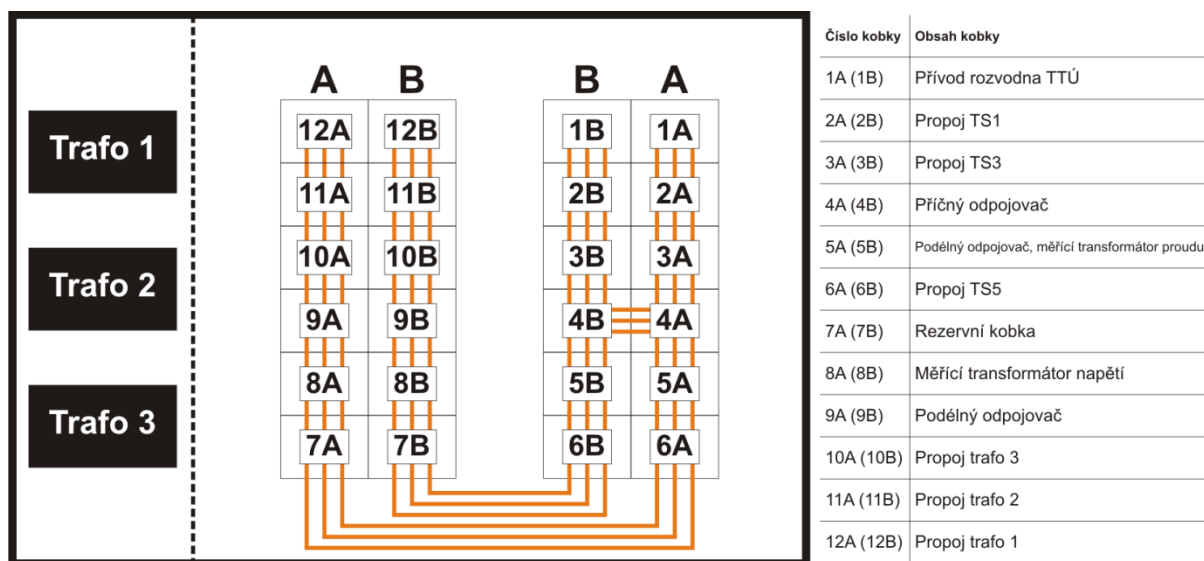
| Trafostanice | Počet transformátorů | Výkon |
|--------------|----------------------|--------------------------------|
| TS1 | 2 | 1x1000kVA, 1x630kVA |
| TS2 | 3 | 3x1000kVA |
| TS3 | 5 | 3x1000kVA, 1x1600kVA, 1x400kVA |
| TS4 | 1 | 1000kVA |
| TS5 | 1 | 1000kVA |

1.2.1. Vnitřní prostory trafostanice

Ve Fakultní nemocnici v Plzni se nachází tři různá uspořádání trafostanice. Důležité pro každé uspořádání je počet zařízení, která jsou v trafostanici potřeba. Obecně v trafostanici najdeme třífázový VN přívod, který je opatřen mechanickým VN vypínačem a odpojovače, které umožňují odpojit jednotlivá zařízení od sběrnice. Sběrnice je tvořena neizolovanými vodiči obdélníkového průřezu. Tyto vodiče jsou vedeny vždy trojfázově, odděleny dostatečnou vzduchovou izolační mezerou, která je zajištěna použitím izolátorů, které jsou nevodivě připojeny ke kostře kobky. Izolátory jsou zde také z důvodu prohýbání vodičů. Na

sběrnici jsou pak připojeny také podélné odpojovače. Slouží například k odpojení trafostanice TS1, ale propoj do TS2 a TS3 zůstává pod napětím. V trafostanici jsou také měřící transformátory napětí a proudu a vypínač přívodu k transformátoru. V trafostanici TS1 a TS2 najdeme také příčné a podélné odpojovače, jejich funkce viz. níže.

První typ uspořádání najdeme v trafostanicích TS1 a TS2. Tyto trafostanice jsou řešeny kobkovým systémem. To znamená, že každé VN zařízení je umístěné do své vlastní kobky. Tyto zařízení jsou pak přes odpojovače připojeny ke sběrnici, která se nachází nad jednotlivými kobkami. Jediné zařízení, které není umístěno v kobce je transformátor. Trafostanice TS1 a TS2 disponují také zdvojením jednotlivých kobek, zařízeními v nich a také sběrnicemi. To vše slouží k možnosti přesměrování (manipulaci) v případě závady na některém přístroji. V trafostanicích najdeme tedy kobky s označením „A“ a duplicitní kobky s označením „B“. K manipulaci mezi „A“ a „B“ slouží příčné odpojovače. V současné době se zdvojování kobek již z ekonomických důvodů nepoužívá. Schéma trafostanice TS2 je znázorněno na obr. 2.



Obr. 1.2 Trafostanice TS2

Další typ uspořádání najdeme v trafostanici TS3, která se od předcházejících liší tím, že její kobky nejsou zdvojeny. Trafostanice je koncipována do dvou místností. V jedné místnosti se nachází jednotlivé kobky obsahující VN zařízení a v druhé místnosti jsou pak umístěny jednotlivé transformátory.

Trafostanice TS4 a TS5 mají nejjednodušší uspořádání. Nachází se v nich jen transformátory s příslušnými VN vypínači a odpojovači.

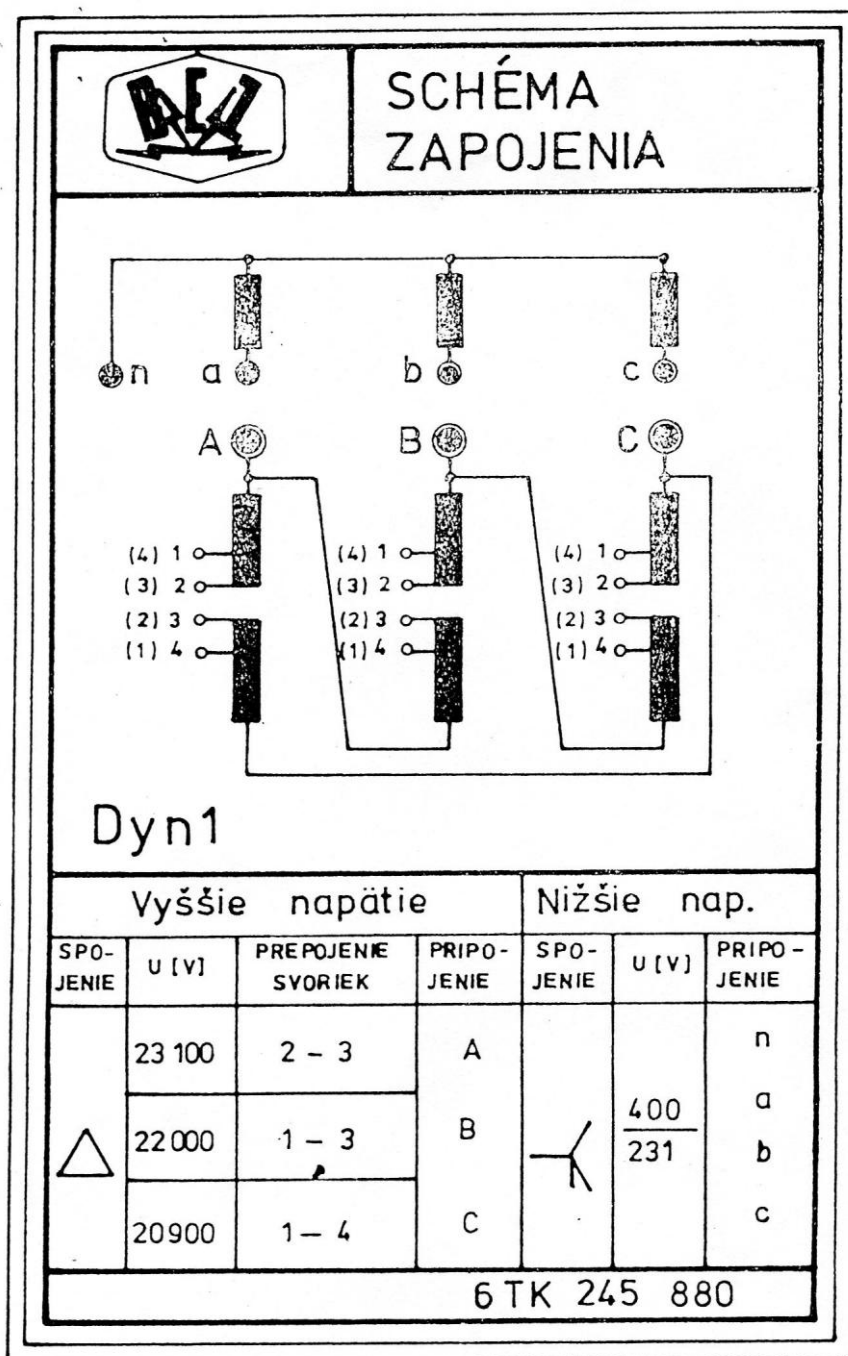
1.2.2. Transformátor

Základním prvkem trafostanice je transformátor. Jeho parametry jsou vybírány podle energetických požadavků budovy, pro kterou má být určen. Počty transformátorů a jejich výkony pro jednotlivé trafostanice jsou rozepsány v tab.1.1. Transformátor je poslední částí trafostanice, která se setkává s vysokým napětím. Transformátory jsou zapojeny systémem trojúhelník – hvězda. Vstupní napětí transformátoru lze regulovat přepojením svorek a to ve třech různých variantách. Na vstupu lze nastavit napětí 23100V, 22000V nebo 20900V [2]. Ve FN Plzeň jsou vstupy nastaveny primárně na hodnotu 22000V, což je hodnota odebíraná z městské sítě. Na výstupech jednotlivých transformátorů je pak napětí 400/230V. Příklad zapojení transformátoru od firmy BEZ Bratislava na obr. 1.3. Za výstupy transformátoru se nachází hlavní rozvodna nízkého napětí, jejíž výstupy jsou rozváděny do dalších částí budovy.

Každý transformátor transformuje napětí pro určitou část budovy nebo pro určité oddělení. Například v trafostanici TS1 najdeme dva transformátory. První transformátor (1000kVA) je určen budově prádelny a dalším technickým budovám. Druhý transformátor (630kVA) slouží budově zásobovací ústředny. Oba tyto transformátory jsou od firmy BEZ Bratislava.

Trafostanice TS2 disponuje třemi transformátory 1000kVA. Dva transformátory jsou také od firmy BEZ Bratislava a slouží k napájení interního pavilonu. Třetí transformátor od francouzského výrobce Trihal je určen budově onkologie a radiologické klinice.

Nejvíce transformátorů najdeme v trafostanici TS3 a to celkem pět. Po rekonstrukci, kterou si vyžádaly především zvýšené energetické nároky, došlo k navýšení výkonu trafostanice. Tato rekonstrukce proběhla v roce 2011 a jejím účelem bylo navýšení výkonu trafostanice. Konkrétně došlo k výměně jednoho ze tří transformátorů 1000kVA za výkonnější transformátor o výkonu 1600kVA a tento vyměněný transformátor 1000kVA nahradil menší transformátor o výkonu 630kVA. V současné době tedy najdeme v trafostanici TS3 tři transformátory o výkonu 1000kVA, jeden transformátor o výkonu 400kVA a nový transformátor o výkonu 1600kVA. Celkový výkon po rekonstrukci byl tedy navýšen přibližně o 1000kVA. Všech pět transformátorů v trafostanici TS3 je od slovenského výrobce BEZ Bratislava. Největší transformátor o výkonu 1600kVA je určen budově společného zařízení. Dvojice transformátorů, oba o výkonu 1000kVA, slouží operačním sálům. Nejmenší transformátor 400kVA je určen obvodům přilehlých budov, které jsou určeny pro rentgeny. Poslední transformátor trafostanice TS3 o výkonu 1000kVA je určen budově ambulancí.



Obr. 1.3 Příklad zapojení používaného transformátoru od firmy BEZ Bratislava [2]

Trafostanice TS4 a TS5 mají každá po jednom transformátoru. Trafostanice TS4 s transformátorem Trihal (1000kVA) slouží gynekologicko-porodnické klinice. Trafostanice TS5 obsahuje stejný transformátor a slouží budově onkologie [3].

1.2.3. VN vypínače a odpojovače

Důležitými prvky trafostanice jsou VN vypínače. Vysokonapěťový vypínač slouží například k odpojení trafostanice od zdroje elektrické energie. VN vypínače najdeme také

mezi prvky trafostanice a transformátorem a jeho pomocí můžeme tedy odpojit primární cívku transformátoru od elektrické energie. VN vypínače nacházející se na vstupu do trafostanice jsou v nemocnici nejčastěji mechanické, v ojedinělých případech pak také elektrické. Vypínače, které se nachází před transformátorem, obsahují řadu jistících prvků, například proti přehřátí transformátoru, zvýšení proudu a u některých transformátorů i ochranu spojenou s dveřními kontakty transformátoru.

V nemocnici se setkáme se třemi druhy odpojovačů (jejich funkce viz článek 1.2.1). Jedná se o odpojovače od sběrnice, příčné odpojovače a podélné odpojovače. Tyto prvky jsou řešeny mechanicky a slouží k manipulaci v trafostanici nebo k odpojení (bez napětí) prvků od sběrnice.

1.2.4. Měřicí zařízení

Trafostanice TS1 a TS2 obsahují měřicí transformátory proudu a napětí. Měřicí transformátor proudu je umístěn do jedné kobky společně s podélným odpojovačem. Kvůli sériovému zapojení zařízení je sběrnice svedena do prostoru kobky a po průchodu podélným odpojovačem a měřícím transformátorem vyvedena zpět nad kobku. Měřicí transformátor napětí se nachází v samostatné kobce. Rozmístění pro trafostanici TS2 viz obr. 1.2.

1.3. Rozvodny

Transformátor je posledním zařízením, které se setkává s napětím 22kV. Výstup transformátoru je veden do nízkonapěťové rozvodny. O rozvodnách, které jsou přímo připojeny na výstup transformátoru, mluvíme jako o rozvodnách hlavních. Takové rozvodny obsahují NN vypínače, které jsou umístěny přímo na přívodu od transformátoru, dále pak přístroje pro měření napětí a proudu a jištěné vývody do rozvoden pro jednotlivé části a patra budovy.

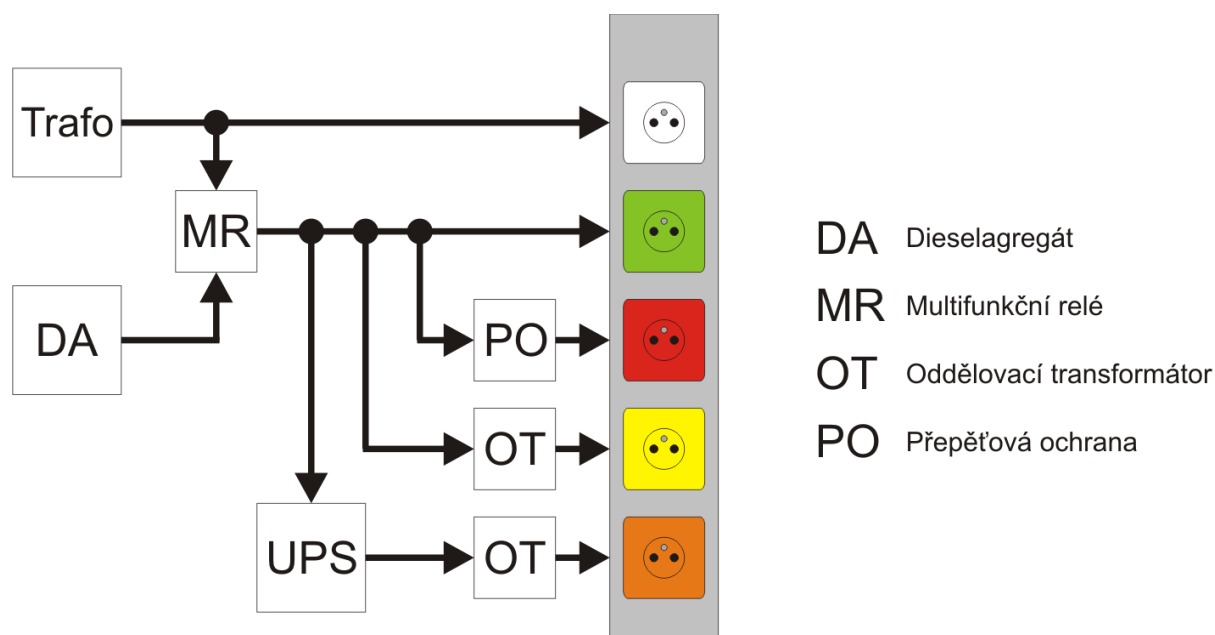
Rozvodny pro jednotlivá patra budovy (patrové rozvodny) jsou umístěny nad sebou a kabely jsou vedeny pomocí stoupaček. Tyto rozvodny obsahují jištěné vstupní a výstupní kabely a proudové a napěťové ochrany. Výstupy z patrových rozvoden vedou dále do podružných rozvaděčů. Tyto rozvaděče jsou určeny pro specifické účely, například i pro specifická zdravotnická zařízení jako je magnetická rezonance, laboratorní přístroje a jiné.

2. Zálohování el. sítě

2.1. Typy sítí ve FN

V nemocnici se nachází pět sítí z hlediska zálohy a způsobu provedení. První typem je síť nezálohovaná. Je to síť, která je v případě výpadku zcela bez elektrické energie. Může jít například o zařízení jídelen, napájení počítačů či podřadného osvětlení. Z důvodu rozlišení jednotlivých sítí pro zaměstnance nemocnice, jsou zásuvkové vývody v místnostech dle normy ČSN 33 2140 barevně odlišeny. Nezálohovaným obvodům je přidělena bílá barva [4].

Druhým typem sítě je síť částečně zálohovaná. Jde o síť, ve které v případě přerušení dodávky elektrické energie, dochází na krátkou dobu k výpadku elektrické energie. Doba krátkodobého výpadku je rovna času, po který startuje dieselagregát. V okamžiku, kdy je dieselagregát synchronizován na napětí a frekvenci sítě 50Hz, dochází pomocí stykačů k odpojení nezálohovaného přívodu a připojení dieselagregátu. Tato síť je dle normy označována zelenou barvou a slouží obvodům DO (důležité obvody) [4]. Na tyto obvody jsou připojeny zdravotnické přístroje důležité pro životy pacientů. DO zajišťují bezpečnost provozu a chrání před vznikem jiných škod.



Obr. 2.4 Rozdělení sítí ve FN Plzeň

V souvislosti s částečnou zálohou souvisí také další typ sítě. Zálohu tvoří opět dieselagregát, který zálohuje síť s časovým zpožděním. V tomto případě však mluvíme o síti typu ZIS (zdravotnická izolovaná soustava). Hlavní charakteristikou této sítě je její oddělení pomocí oddělovacího transformátoru viz. další kapitola. Norma přiřazuje tomuto typu sítě

žlutou barvu [4]. Zásuvky této barvy mají své využití na důležitých místech jako jsou JIP, operační sály atd. Najdeme je také na obyčejných pokojích, kde slouží v případě potřeby k připojení důležitých zdravotnických přístrojů. Běžně jsou do nich zapojeny zařízení, která nepotřebují výhradně nepřerušitelný zdroj elektrické energie. Jedná se o přístroje, které jsou v přímém styku s pacientem, jako například injekční pumpy.

Pro nemocnici je nejdůležitější tento čtvrtý typ sítě. Tato síť je vybavena tzv. online zálohou. To znamená, že přístroje zapojené do tohoto obvodu nezaznamenávají výpadek elektrické energie. Hlavním článkem jsou UPS (Uninterruptible Power Source = nepřerušitelný zdroj energie). UPS jsou připojeny sériově do sítě, čímž je zajištěna okamžitá reakce na výpadek nebo zhoršení parametrů sítě a slouží především ke krátkodobému překlenutí výpadku, který vzniká ve chvíli, kdy je startován dieselagregát. Kromě toho zajišťují také ochranu proti kolísání sítě a pracují zároveň jako stabilizátory napětí. Tato síť, stejně jako ta předchozí, je konstruována jako zdravotnická izolovaná soustava ZIS (tedy oddělena transformátorem) a hlavní zálohu tvoří dieselagregát. Její využití najdeme ve velmi důležitých obvodech VDO, což jsou především operační sály a jednotky intenzivní péče. Zásuvkové obvody této sítě jsou odlišeny oranžovou barvou [4].

Posledním typem sítě je samostatná síť pro silové napájení PC. Tato síť byla zavedena s ohledem na rušení, které v normální síti vznikalo. Vodiče této sítě jsou vedeny odděleně od vodičů jiných sítí. Této síti slouží také samostatné rozvaděče. To vše je z důvodu minimálního rušení z ostatních sítí. Tato síť je částečně zálohována dieselagregáty. V případě potřeby uchování citlivých dat jsou do těchto zásuvek připojovány ještě externí UPS. V nemocnici najdeme zásuvkové obvody této sítě v červených nebo hnědých barvách. Blokové schéma zálohy jednotlivých sítí najdete na obr. 2.4.

2.2. ZIS (zdravotnická izolovaná soustava)

Zdravotnická izolovaná soustava je speciálním typem sítě, do které se zapojují přístroje, jejíž výpadek by způsobil ohrožení zdraví nebo života pacientů například vlivem přerušení jejich vyšetření nebo ošetření. Tato síť je používána hlavně v místnostech pro lékařské účely.

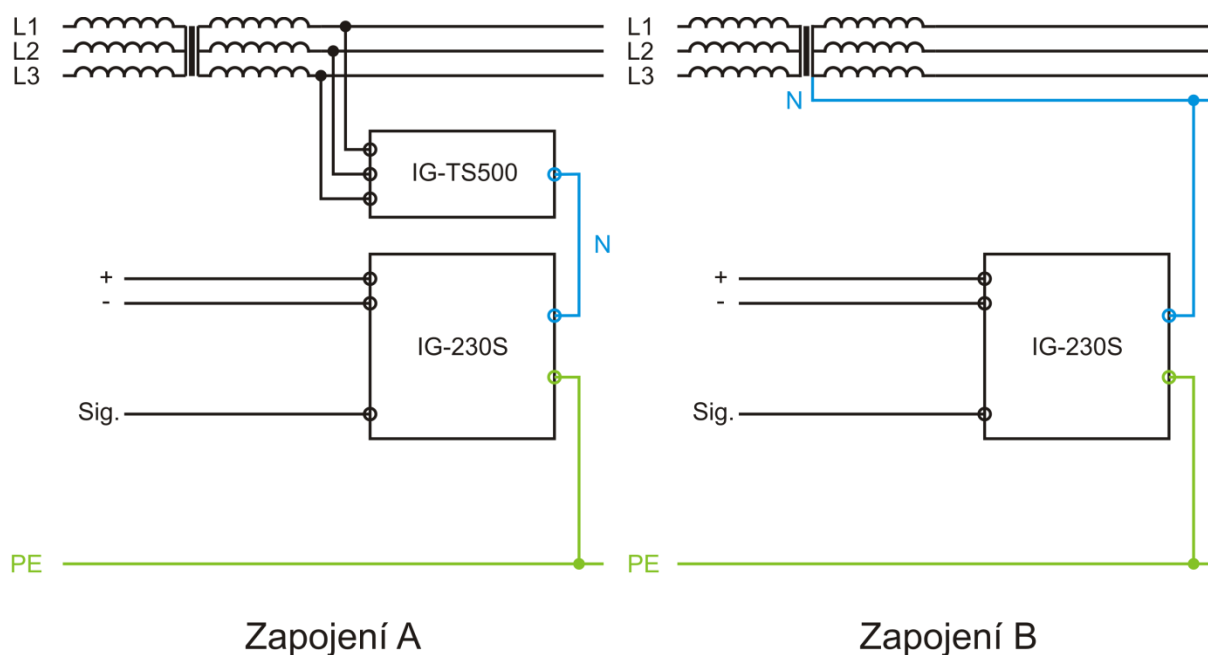
Základním prvkem ZIS je ochranný oddělovací transformátor, za kterým ZIS začíná. Požadavky na ochranné oddělovací transformátory jsou uvedeny v normě ČSN 35 1330 (Oddělovací ochranné a bezpečnostní ochranné transformátory. Požadavky.). Do ochranných transformátorů musí být na primární straně připojeny vodiče náhradního zdroje elektrické energie, přes které je transformátor v případě výpadku napájen. Primární a sekundární strana

ochranného transformátoru musí být mezi sebou odstíněny a transformátor obecně musí být chráněn proti zkratu a přetížení [4].

Do zdravotnické izolované soustavy se nemusí připojovat přístroje, které mají větší příkon než 5kVA a rentgenové přístroje libovolného příkonu, ale musí být chráněny použitím proudových chráničů. V případě zkratu mezi krajními vodiči nebo obou krajních vodičů mezi zemí, musí jistící prvky vadnou část odpojit. Jistící prvky na vývodech zdravotnické izolované soustavy musí být volně přístupné personálu nemocnice. Mezi živými částmi soustavy ZIS a živými částmi jiných částí musí být dostatečné prostorové oddělení [4].

Zdravotnická izolovaná soustava musí být trvale připojena na hlídač izolačního stavu. Tento hlídač izolačního stavu musí mít zkušební tlačítko, pomocí kterého je možné zkontrolovat správnost činnosti hlídače. V případě snížení izolačního stavu musí dojít k optické i akustické signalizaci. Optická signalizace musí být v provozu do doby, než je závada odstraněna, přičemž akustickou signalizaci je možné vypnout. Zkušební tlačítko a signalizace musí být umístěny v blízkosti zdravotnických přístrojů napájených ze ZIS, popřípadě v blízkosti stanoviště trvalé obsluhy. Hlídač izolačního stavu musí mít vnitřní impedanci minimálně 100k Ω . Stejnoseměrné měřící napětí nesmí překročit napětí 24V. V případě spojení krajního vodiče s cizí neživou částí nesmí být měřící proud větší než 1mA. V případě snížení izolačního odporu pod 50k Ω musí být spuštěna signalizace, doporučeno je však nastavit vyšší hodnotu [4].

V nemocnici se setkáme se dvěma způsoby zapojení hlídače izolačního stavu, které se liší především tím, jak získáváme nulový vodič pro zjištění izolačního odporu. Oba způsoby najdeme na obr. 2.5. V zapojení A je tzv. umělá nula získávána z pomocné třífázové tlumivky IG-TS500. Mezi touto umělou nulou a společnou zemí mimo ZIS je měřen izolační odpor. V zapojení B je tato nula vyvedena ze středu oddělovacího transformátoru. V nemocnici jsou používány především hlídače izolačního stavu od formy ABB s označením IG-230S. Tyto hlídače umožňují signalizaci snížení izolačního stavu od 1M Ω do 100k Ω (např. zvýšením vlhkosti) a samozřejmě samotnou signalizaci snížení izolačního odporu pod hranici 50k Ω . Systém nerozlišuje porušení izolačního stavu na jedné nebo více fázích, ale v případě, že je porušen izolační stav na více než jedné fázi, tak může dojít k úrazu elektrickým proudem. Oba způsoby zapojení jsou zobrazeny na obr. 2.5 [5].



Obr. 2.5 Zjednodušená schémata zapojení hlídače izolačního stavu v obvodech ZIS [5]

2.3. Výpadky

K přerušení dodávky elektrické energie (výpadku) může dojít na různých místech sítě nemocnice. Každý z těchto výpadků je řešen specifickým způsobem. K přerušení dodávky elektrické energie může dojít na VN přívodních vodičích z TTÚ nebo rozvodny na Roudné a nebo v části trafostanice nebo na transformátoru samotném. V případě výpadku je nejprve důležitá jeho samotná identifikace. Zařízení, které nám v nemocnici identifikuje výpadek elektrické energie je multifunkční hlídací relé, které v případě snížení parametrů sítě pod nastavenou toleranci, nebo úplným přerušením dodávky elektrické energie odpíná a dává signál k aktivaci zálohy.

Nejzávažnějším výpadkem je výpadek na VN přívodních vodičích. Znamená to, že jsou v současnou chvíli spouštěny všechny záložní systémy (dieselagregáty a UPS). Jak bylo již řečeno, identifikace výpadku probíhá pomocí multifunkčního relé. Tyto relé se nachází na výstupních svorkách jednotlivých transformátorů. V případě zhoršených parametrů nebo úplné ztráty sítě, kontakty relé odpadají a dávají impuls k sepnutí záložního zdroje. V nezálohovaných a částečně zálohovaných sítích nastává výpadek. Pod proudem jsou v tuto chvíli pouze velmi důležité obvody napájené z UPS. Dieselagregáty, které jsou celou dobu v plné pohotovosti, do pár vteřin startují a synchronizují své otáčky dle napětí a frekvence sítě. Po synchronizaci dieselagregátu dochází k vypnutí stykačů (sít/nemocnice) a sepnutí stykačů (záloha/nemocnice) a pak je nemocnice napájena ze záložního zdroje. Výpadek je ovšem stále na nezálohovaných obvodech. V okamžiku návratu sítě, je nejprve provedena

kontrola parametrů a stability. Tato kontrola trvá přibližně 2min. V případě dostačujících parametrů je nejprve vypnut stykač (záloha/nemocnice) dochází opět k výpadku (kromě sítí jištěných UPS) a následnému sepnutí stykače (sít/nemocnice). Poté je nemocnice opět v normálním režimu napájení.

V případě, že dojde k výpadku elektrické energie vlivem selhání některého ze zařízení trafostanice nebo dokonce samotného transformátoru, tak tento výpadek vyhodnotí multifunkční relé, které se nachází na vývodech konkrétního transformátoru. V tu chvíli dochází k aktivaci záložního zdroje určeného pouze části nemocnice, která je zásobována touto trafostanicí. Přepínání jednotlivých stykačů se pak děje stejně jako je popsáno v předešlém odstavci.

Obvody nízkého napětí jsou jištěny pomocí jističů nebo chráničů. V případě výpadků je možné ručně zapnout jistič v příslušném rozvaděči, do kterého mají seznámené osoby přístup.

2.4. Dieselaagregáty

Hlavním prvkem zálohy el. energie jsou dieselaagregáty, kterých je v nemocnici celkem pět. První dieselaagregát se nachází v bezprostřední blízkosti trafostanice TS2. Jedná se o dieselaagregát značky Caterpillar o výkonu 1000kVA a je určen k zálohování interního pavilonu a nové budovy onkologie. Druhý dieselaagregát stejného typu je v podzemí budovy interního pavilonu. Jeho úkolem je případné zálohování společného zařízení a budovy ambulancí. Další dieselaagregáty najdeme v budově operačních sálů, která obsahuje dvojici strojů SDMO o výkonu 800kVA. Poslední dieselaagregát je pak určen pro zálohování budovy gynekologicko-porodnické kliniky. Jedná se také o typ SDMO a výkon 800kVA. Schéma pokrytí dieselaagregátů a umístění většiny trafostanic najdete na obr.2.6.

Na dieselaagregáty instalované ve zdravotnických zařízeních jsou dle normy ČSN 33 2140 kladeny specifické požadavky. Jedním z důležitých parametrů je rychlost nastartování dieselaagregátu v okamžiku přerušení dodávky elektrické energie. Dle normy by doba startu nouzového zdroje neměla být delší než 120s. Následně musí být dieselaagregát schopen zálohovat síť do doby, než bude původní zdroj znovu obnoven. Každý náhradní zdroj elektrické energie musí být propojen s rozvaděči DO (důležitých obvodů) a VDO (velmi důležitých obvodů), v kterých se nachází také hlavní přívod elektrické energie. V případě výpadku elektrické energie pak dochází v těchto rozvaděčích k automatickému přepnutí přívodu z hlavního na záložní. Aktivování záložního zdroje elektrické energie musí být na zdravotnickém oddělení opticky signalizováno. Za provozu náhradního zdroje elektrické energie nesmí dojít k narušení nebo snížení ochrany před úrazem elektrickým proudem [4].



| Číslo | Popis | Legenda |
|-------|--------------------|---------------|
| 1 | Budova onkologie | Trafostanice |
| 2 | Interní pavilon | ■ |
| 3 | Společné prostory | Dieselagregát |
| 4 | Budova komplementu | ● |
| 5 | Budova ambulancí | Vchod |
| 6 | Operační sály | ○ |
| 7 | Budova porodnice | |

Obr. 2.6 Budovy FN s umístěním trafostanic a dieselagregátů

2.5. UPS

2.5.1. Význam UPS

UPS je anglickou zkratkou slov Uninterruptible Power Supply což lze přeložit jako zdroj nepřerušitelného napájení. UPS vznikly v sedmdesátých letech z požadavků na zálohování systému při výpadku elektrické energie a nahrazovali původní způsob zálohy, který se skládal ze sad akumulátorů, nabíječek a podpurných rozvaděčů. UPS je jedno zařízení obsahující nabíječ, akumulátor a střídač. Tyto zařízení jsou primárně určena k překlenutí

krátkodobých výpadků elektrické energie. V případě dlouhodobých výpadků pak udržují výkon po dobu, potřebnou k přepnutí sítě na náhradní zdroj elektrické energie. Složitější typy UPS pak umožňují i odstraňování anomálií, které se objevují v elektrické rozvodné síti (jako kolísání napětí, atd.) [6][7].

2.5.2. Druhy UPS

UPS byly původně určeny k zálohování počítačových dat. S rozvojem technologií nachází svoje využití i ve výkonově náročnějších aplikacích. Dosahují výkonů od stovek VA až po jednotky MVA. Norma EN 50091-3 rozlišuje v současné době tři druhy UPS [6].

První typem je tzv. pasivní záloha (passive standby) dříve také konfigurace off-line. Tento typ zálohy funguje tak, že pokud dojde k výpadku elektrické energie nebo se vlastnosti sítě dostanou mimo specifikované tolerance dojde zpravidla za čas menší než 10ms k zajištění náhradního přívodu z akumulátoru. UPS následně zálohují síť do doby, než se na jejím přívodu objeví síť s potřebnými parametry. Tento typ se používá pro výkony přibližně do 2kVA. Nevýhodou tohoto typu UPS je neoddělení zátěže od vstupního systému, dlouhý přepínací čas a nemožnost regulovat vstupní napětí a frekvenci. Výhodou je pak jednoduchost, nízká cena a malé rozměry [6][7].

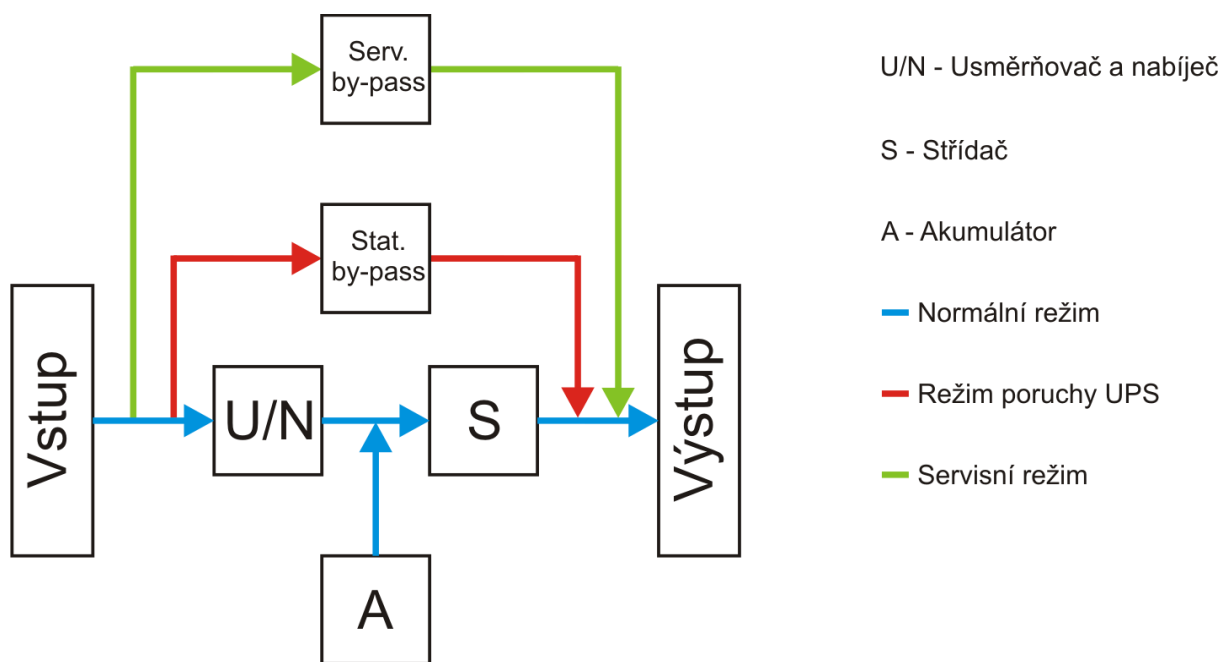
Dalším typem jsou UPS v interakci se sítí (line interactive). Tento typ UPS dodává v případě zhoršení parametrů sítě nebo dokonce jeho výpadku nepřetržitě potřebné napětí do sítě. Nedojde tedy ani ke krátkodobému výpadku. Stejně jako u předešlého typu i zde dochází k přepnutí UPS do normálního režimu až po opětovném docílení požadovaných parametrů sítě. Nevýhodou je neoddělení zátěže od vstupního distribučního systému, nemožnost regulovat vstupní frekvenci, slabá ochrana proti špičkám sítě a přepětí a nízká účinnost při napájení nelineární zátěže. Výhodou jsou nižší náklady [6][7].

Posledním typem jsou UPS typu dvojitá konverze (double conversion) dříve také konfigurace on-line. Na rozdíl od předešlých dvou typů je zde umístěn střídač UPS sériově mezi sítí a zátěží. Elektrický výkon přes něj tedy prochází trvale. Při normálním režimu probíhá v UPS dvojitá konverze, což znamená, že je střídavý proud převeden na stejnosměrný a pak naopak. V případě, že se vstupní napětí dostane mimo nastavenou toleranci, je potřebný výkon nepřetržitě dodáván z UPS. Výhodou je především dostatečné oddělení sítě a zátěže, možnost regulovat výstupní napětí a frekvenci a v případě výpadku okamžitý přechod do režimu napájení z akumulátoru. Nevýhodou je pouze vyšší cena [6][7].

V nemocnici jsou používány převážně UPS s dvojitou konverzí. Umožňují nepřerušitelnou (on-line) dočasnou zálohu elektrické energie po dobu spouštění hlavního

zdroje zálohy, tedy dieselaagregátu. V nemocnici se UPS dále dělí podle jejich použití. Najdeme zde UPS zálohující velmi důležité obvody zdravotnické izolované soustavy, ve kterých se nachází například operační svítidla či přístroje pro udržení důležitých životních funkcí. Dále jsou v nemocnici také UPS pro požární rozvody. Tyto rozvody obsahují nouzová orientační svítidla potřebná k základní orientaci v případě výpadku elektrické energie nebo požáru. Poslední typem jsou malé UPS zapojené v počítačové síti sloužící k uchování důležitých datových souborů.

Na obrázku 2.7 vidíme schématické zapojení UPS s dvojitou konverzí do sítě. Toto zapojení obsahuje také dva tzv. by-passy. První by-pass se jmenuje statický. V případě poruchy na obvodech UPS je síť automaticky přepojena na tento by-pass a tedy vyřazena z provozu. Druhý by-pass se jmenuje servisní. Tento by-pass se aktivuje ručně v případě servisu na obvodech UPS [6].



Obr. 2.7 UPS s dvojitou konverzí [6]

2.5.3. Požadavky na nouzové zdroje typu E1 a E2

Nouzové zdroje typu E1 jsou zařízení, která musí zajistit napájení velmi důležitých (převážně zásuvkových) obvodů v případě výpadku elektrické energie. Napájení musí být dle normy ČSN 33 2140 zajištěno do 15 sekund po výpadku. Do zásuvkových obvodů, které využívají tento typ ochrany, se zapojují přístroje, které nahrazují životní funkce pacientů nebo mohou mít přerušeno napájení, ale doba náběhu hlavního nouzového zdroje je příliš velká. Při použití tohoto typu nouzových zdrojů nesmí dojít ke snížení úrovně ochrany před nebezpečným dotykovým napětím. [4].

Speciální nouzové zdroje typu E2 zajišťují napájení operačních svítidel v případě výpadku elektrické energie. Dle normy je doba obnovení dodávky elektrické energie 0,5 sekundy po výpadku. Každý operační sál nebo stejně důležitá místnost pro lékařské účely musí mít alespoň jedno svítidlo připojeno na nouzový zdroj typu E2. Při provozu tohoto typu nouzových zdrojů nesmí dojít ke snížení úrovně ochrany před nebezpečným dotykovým napětím [4].

Norma udává také společné požadavky pro oba typy nouzových zdrojů. Tyto nouzové zdroje musí být dimenzovány tak, aby byly schopny dodávat elektrickou energii po dobu alespoň 3 hodin. V případě výpadku musí nouzový zdroj automaticky převzít napájení a v případě obnovení dodávky elektrické energie musí automaticky předat napájení zpět. Nouzové zdroje musí být umístěny mimo místnost pro lékařské účely, ale měly by se nacházet v blízkosti rozvaděčů určených pro tyto místnosti. Všechny živé části nouzových zdrojů je potřeba prostorově oddělit od živých částí jiných obvodů. Vedení určené k napájení musí být chráněné proti mechanickému poškození [4].

Ve Fakultní nemocnici v Plzni jsou časy obnovení dodávky elektrické energie u obou typů nouzových zdrojů rovny nule, jelikož jsou na zálohování velmi důležitých zásuvkových obvodů použity UPS s dvojitou konverzí (online) a ty zajišťují nepřerušitelnou dodávku elektrické energie. Výdrže nouzových zdrojů se mohou pro některá zařízení, která nezalohují velmi důležité obvody, lišit. Například v laboratořích jsou tyto časy vypočítávány z doby trvání testování vzorků.

2.5.4. Výkon UPS

Fakultní nemocnice v Plzni má v současnosti ve svých budovách přibližně 250 nouzových zdrojů typu UPS. Z nichž je přibližně 60 větších výkonů, tedy 3-80kVA. Tyto UPS jsou nejčastěji použity na zálohování operačních svítidel, nouzového osvětlení nebo důležitých měřících zařízeních biochemických laboratoří. Ostatní UPS dosahují nižších výkonů a slouží především k zálohování počítačových dat.

3. Nová budova onkologie

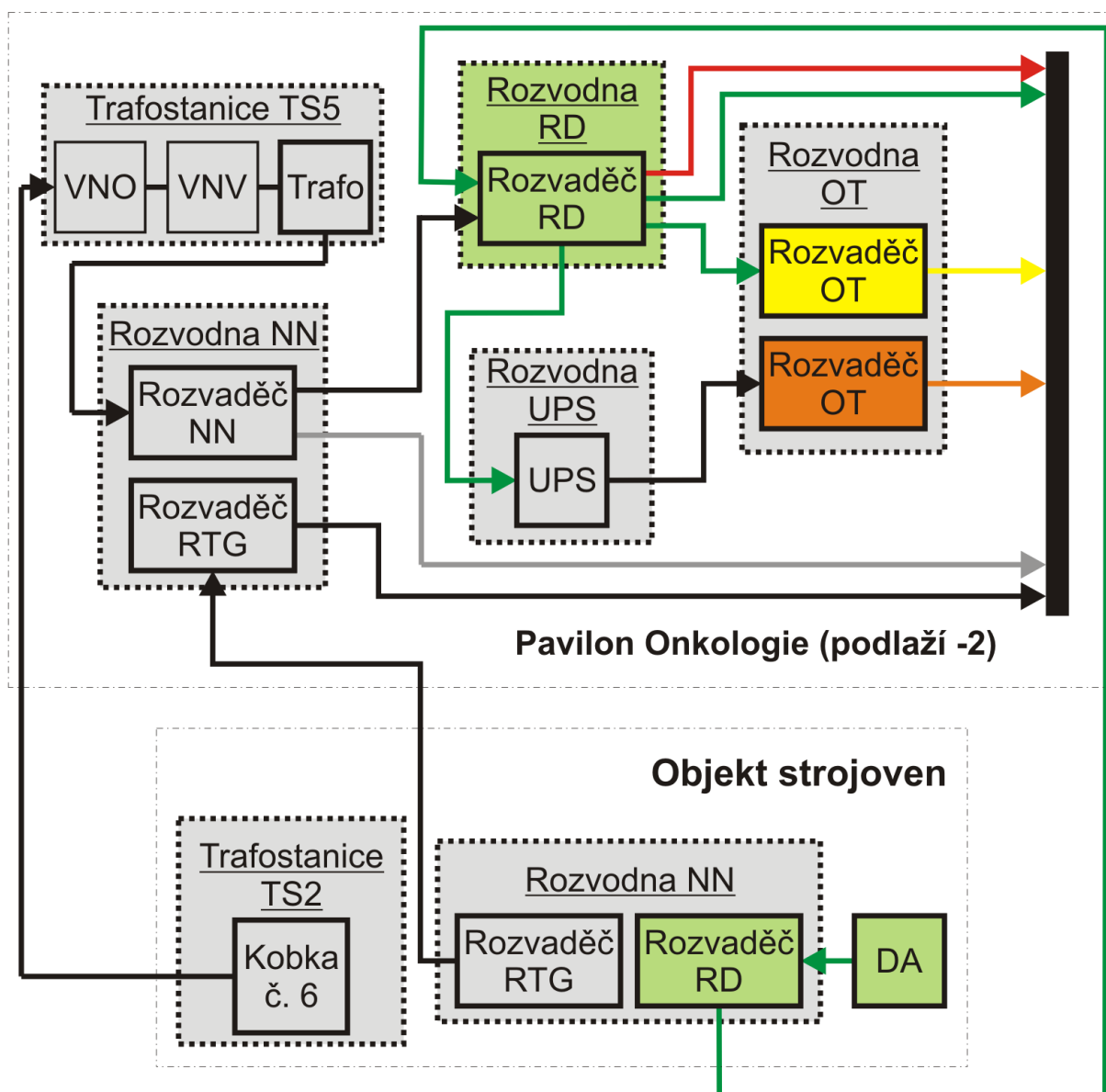
Nová budova onkologického centra v Plzni na Lochotíně byla postavena roku 2011 za účelem nahrazení zastaralého a desetkrát menšího Fodermayerova pavilonu v Doudlevcích, jelikož ten byl svou kapacitou nedostačující. Stavbu společně projektovali firmy K4 a.s. a LT Projekt a.s., kterým se podařilo navrhnout moderní stavbu s osobitým designem, za který byly také odměněny nominací na stavbu roku 2011. Výběrové řízení na zhotovitele stavby vyhrála

pražská firma SKANSKA CZ. Samotná stavba pavilonu vyšla na 660 milionů korun a následně její vybavení na dalších zhruba 350 milionů korun. Hlavními investory stavby byly Ministerstvo zdravotnictví České Republiky a přibližně třetinou i samotná plzeňská fakultní nemocnice [8].

3.1. Popis budovy

Rozsáhlá budova onkologie je rozdělena do dvou částí. První část se skládá z dvou podzemních pater. V nejnižším patře budovy, které je téměř celé pod zemí se nachází lineární urychlovače, operační sály, magnetické rezonance, rentgeny a další důležité laboratorní a technické zázemí. O patro výš jsou pak především ambulance a sálky pro chemoterapie.

V druhém podzemním patře najdeme také zázemí pro přívod elektrické energie. Do místnosti trafostanice TS5 je přiveden VN třífázový přívod z trafostanice TS2 (bližší popis v kapitole 3.2.). Přívod vede přes VN odpojovač (VNO) a vypínač (VNV) na transformátor o výkonu 1000kVA. Výstup transformátoru je vyveden do vedlejší místnosti (hlavní NN rozvodny), kde se nachází dva hlavní rozvaděče. Jeden z hlavních rozvaděčů slouží rozvodům pro rentgenové přístroje (RTG). Přívod do něj je přiveden z budovy trafostanice TS2, kde se nachází nejbližší rozvaděč. Obsahuje jistící prvky a jsou z něj následně rozváděny kabely k jednotlivým rentgenům v budově. Druhý hlavní rozvaděč je určen pro NN rozvody budovy. Najdeme v něm přívod z transformátoru (trafostanice TS5), jistící prvky pro vstup i jednotlivé výstupy. Jeden z výstupů pokračuje do rozvodny s označením RD. Tato rozvodna slouží k propojení s dieselagregátem. Nachází se zde rozvaděč (RD) se zmíněným přívodem z NN rozvodny, přívod z dieselagregátu, který se nachází v blízkosti trafostanice TS2 a pak výstupy do ostatních částí budovy. V tomto rozvaděči jsou vyhodnocovány výpadky nebo anomálie sítě a posílány do rozvaděče v objektu strojoven, kde je řešené přepínání mezi normálním stavem a stavem zálohy. Za touto rozvodnou se pak mohou ještě nacházet malé rozvodny s oddělovacími transformátory (OT) pro obvody ZIS. Zapojení vychází ze schématu na obr. 2.3. Podrobněji je pak rozkreslené na následujícím obrázku 3.8.



Obr. 3.8 Zjednodušení schéma připojení objektu onkologie s důležitým rozvody podlaží -2

Druhá část budovy nacházející se nad střešními zahradami slouží především jako lůžková část. Tato část je třípatrová a v každém patře je přibližně 30 lůžek. Rozvod elektrické sítě je zde řešen pomocí malých patrových rozvodů, ze kterých jsou následně rozváděny kabely do jednotlivých místností. Většina pokojů obsahuje nejen bílé (nezálohované) zásuvky, ale i zásuvky ostatních barev, které jsou již zálohované, pro případ nutnosti použití důležitých přístrojů jako jsou defibrilátory nebo přístroje pro podporu životních funkcí.

3.2. Fyzické připojení do sítě

Nová budova onkologie je připojena z trafostanice TS2 konkrétně z kobky číslo 6 (viz. obr. 1.2) V trafostanici TS2 je přívod veden stávajícími kabelovými kanály. Následně protažen přes rezervní prostupy do terénu, kde je již plastovými trubkami veden k pavilonu onkologie. Kabely VN jsou vedeny souběžně s kabely NN v hloubce výkopu 120cm. Kabelové prostupy jsou utěsněny proti vnikání vody. V pavilonu onkologie jsou přívody vedeny stavebně připravenými prostupy a následně kabelovými kanály až do míst trafostanice TS5 [1].

3.3. Zálohování pavilonu

Zálohování pavilonu onkologie je stejně jako u většiny budov řešeno užitím dieselaagregátů a UPS. Pavilon nemá vlastní dieselaagregát. Jako záložní zdroje je použit agregát nacházející se v budově strojoven v blízkosti trafostanice TS2. Původní výkon tohoto dieselaagregátu byl 360kVA, což by bylo pro zálohování stávajících rozvodů a nového pavilonu onkologie nedostačující. Došlo tedy k jeho výměně za výkonnější dieselaagregát o výkonu 1000kVA. Při výběru nového dieselaagregátu bylo přihlédnuto ke stále se zvyšujícím energetickým nárokům nemocnice a byla tedy vytvořena dostatečná rezerva do budoucna.

V onkologickém pavilonu se nachází také UPS. Najdeme zde dvě výkonově velké UPS, které mají za úkol zálohovat dva zákrokové sálky, které se nachází v podzemní části pavilonu, jejich operační svítidla a požární osvětlení celé budovy.

4. Ochrana před úrazem el. proudem

Druhy ochrany před úrazem el. proudem můžeme rozdělit do tří částí. První část se týká ohrožení personálu respektive pacientů v objektu fakultní nemocnice, tedy v jednotlivých místnostech kam mají přístup. Druhá část se týká důležitých zdravotnických zařízení především pro měření bioelektrických potenciálů. Třetí část pak hovoří o ochraně v částech nemocnice, kam má přístup jen vyškolený personál, tedy v trafostanicích a rozvodnách. Jednotlivé ochrany si popíšeme v následujících odstavcích.

4.1. Ochrana pacientů a personálu nemocnice

Základními ochranami proti úrazu el. proudem jsou ochranná uzemnění a pospojování, proudové chrániče a ochrana užitím bezpečného napětí. Za speciální ochrany lze dále požadovat ZIS (zdravotnickou izolovanou soustavu) a omezení dotykového napětí v místnostech určených k přímým zásahům na srdci. O ochraně před úrazem elektrickým

proudem v budovách nemocnice hovoří norma ČSN 33 2140 (Elektrický rozvod v místnostech pro lékařské účely), která je rozšířením normy ČSN 34 1010 (Všeobecné předpisy pro ochranu před nebezpečným dotykovým napětím).

4.1.1. Ochranné uzemnění

Požadavkem na ochranné uzemnění je, že dotykové napětí, trvající neurčitou dobu, v případě poruchy nesmí překročit 24V střídavého napětí. Dále pak, že každá budova obsahující místnosti pro lékařské účely musí obsahovat hlavní ochranou přípojnicí, která je umístěna v blízkosti rozvaděče budovy. Do této hlavní ochranné přípojnice musí být připojeny ochranné vodiče PE nebo PEN, dle typu rozvodné soustavy, systém ústředního topení, vodovodní potrubí, odpadní potrubí, rozvody plynu, vodivé části budovy, části vzduchotechniky a zemnič. Průřez zemničích vodičů musí být v případě mědi nejméně 6mm^2 a nemusí být větší než 25mm^2 . Impedance ochranného vodiče mezi přípojnici a ochranou svorkou (kontaktem) na přístroji nesmí být větší než $0,2\Omega$ v případě, že je jmenovitá hodnota jistícího prvku nejvýše 16A, jinak impedance nesmí překročit hodnotu viz vzorec [4]:

$$Z = \frac{4}{I_n} \quad (4.1)$$

Důležité je také, aby ochranné vodiče elektrických přístrojů používané v jedné místnosti pro lékařské účely, byly připojeny na stejnou přípojnicí ochranného uzemnění [4].

4.1.2. Ochranné pospojování

V napájecím rozvaděči nebo místnosti pro lékařské účely se musí nacházet přípojnice vodičů určených k ochrannému pospojování. Tato přípojnice musí být umístěna v blízkosti přípojnice ochranného uzemnění (viz. článek 4.1.1.). Tato dvojice přípojníc musí být spojena měděným vodičem o minimálním průřezu 16mm^2 . K přípojnici pospojování musí být spojeny všechny vodivé části, které mají plochu větší než $0,02\text{m}^2$ nebo jejich lineární rozměr přesahuje 0,2m. K přípojnici pospojování nemusí být připojeny vodivé části, které se nachází pod zdivem nebo omítkou a nemají vodivé spojení kteroukoliv částí uvnitř místnosti pro lékařské účely. Impedance vodičů ochranného pospojování mezi okolními vodivými částmi a přípojnici nesmí přesáhnout hodnotu $0,1\Omega$ [4].

4.1.3. Omezení dotykového napětí v místnostech určených k přímým zásahům na srdci

Za normálních provozních podmínek se nesmí při odporu $1\text{k}\Omega$ mezi přípojnici pospojování a jakoukoliv okolní vodivou částí objevit větší proud než $10\mu\text{A}$ a napětí větší než 10mV. Dodržení těchto parametrů zajistí splnění následujících požadavků. Okolní vodivé

části se připojí k přípojnicí pospojování měděným vodičem minimálního průřezu 10mm^2 . Okolní vodivé části se umístí do krytů, které budou chránit před nahodilým dotykem a na vstupech a výstupech z místnosti se opatří izolačními vložkami s izolačním odporem minimálně $5\text{M}\Omega$. Neživé části pevně připojených přístrojů musí být izolovány od okolních vodivých částí [4].

4.1.4. Proudové chrániče

Proudové chrániče nesmí být umístěny na primární straně ochranných oddělovacích transformátorů zdravotnické izolované soustavy. Základní ochrana, určená pro osvětlení ve větší výši než 2,5m na podlahou, nemusí být doplněna zvýšenou ochranou pomocí proudových chráničů. Citlivost proudových chráničů musí být do 30mA. Pokud je jmenovitý proud chráněných spotřebičů vyšší než jmenovitý proud chrániče je možné použít chránič s citlivostí do 300mA. Obecně by měl být počet chráněných obvodů, které jsou chráněny jedním proudovým chráničem, co nejmenší [4].

4.1.5. Ochrana bezpečným napětím

Hodnota bezpečných dotykových napětí živých částí nesmí překročit hodnotu 24V pro střídavé napětí a hodnotu 60V pro stejnosměrné napětí. Žádné živé části obvodů bezpečného napětí nesmí být spojeny s živou částí jiných obvodů, zemí nebo uzemňovací soustavou a musí být od těchto obvodů prostorově odděleny. Neživé části obvodů s bezpečným napětím nesmí být spojeny se zemí, vodiči ochranného uzemnění ani neživými částmi jiných obvodů. Ovšem pokud se jedná o místnost pro lékařské účely s požadavkem na ochranné pospojování, musí být neživé části spojeny s přípojnicí pospojování [4].

4.2. Ochrana přístrojů

4.2.1. Ochrana proti nebezpečným účinkům statické elektřiny

Jak může vlastně statická elektřina ve zdravotnických zařízeních vznikat? Například oddělováním nebo třením elektrizovatelných látek jako jsou prostěradla, potahy a podobně. Také manipulace s neuzemněnými přístroji může vést ke vzniku nežádoucího náboje. Dále pak manipulace s přístroji, jejichž součástí jsou elektrizovatelné hmoty. V neposlední řadě může být příčinou vzniku statické elektřiny také použití elektrických indukčních zařízení. Statická elektřina způsobuje rušení citlivých elektrických přístrojů, nevhodně fyziologicky působí jak na pacienty, tak i na zdravotní personál a v krajních případech může vzniklý elektrický výboj i zapálit některou z výbušných směsí, které se ve zdravotnictví vyskytují [4].

Aby bylo zabráněno vzniku těchto nežádoucích jevů, ukládá norma následující opatření, které je nutné v místnostech pro lékařské účely dodržet. Důležitým opatřením je zajistit, aby podlaha v místnosti byla elektrostaticky vodivá. Svodová síť podlahy musí být spojena s přípojnici pospojování. Zdravotničtí pracovníci musí v těchto místnostech nosit elektrostaticky vodivou obuv. Oblečení zdravotnických pracovníků musí být bavlněné nebo opatřené dostatečnou antistatickou ochranou. Potahy na operačních stolech, pojízdných vozících atd. musí být z antistatického materiálu. Veškerý nábytek v místnostech musí být opatřen elektrostaticky vodivými částmi, přes které je ho možno uzemnit. Tlakové nádoby s plyny musí být při provozu elektrostaticky uzemněny nebo musí stát přímo na elektrostaticky vodivé podlaze [4].

4.2.2. Ochrana před rušivými účinky elektromagnetického pole

Tato ochrana nachází své využití převážně v místnostech, kde se provádí měření tzv. bioelektrických potenciálů. Jedná se o měření EEG a EKG. V těchto místnostech a jejich okolí musí být provedeny následující ochrany, aby nedocházelo ke zkreslování nebo znehodnocování měření [4].

Nízkofrekvenční elektrické pole:

Abychom docílili dostatečné ochrany elektrické části elektromagnetického pole, je důležité umístit všechny vodiče nacházející se na vnitřních nebo vnějších stranách zdí, stropů i podlah do kovových trubek, nebo je také možné použít stíněné kabely. Toto stínění je nutné připojit k přípojnici pospojování a to pouze v jednom bodě, aby nevznikala smyčka, což by vedlo k nežádoucím magnetoelektrickým jevům. V krajních případech, pokud nelze zajistit ochranu pomocí stínění kabelů, nebo je toto stínění nedostatečné, je doporučeno odstínit celé stěny, strop a podlahu místnosti. Na přípojnici pospojování je také nutné připojit kryty přístrojů II. a III. Třídy [4].

Nízkofrekvenční magnetické pole:

Druhou částí elektromagnetického pole je část magnetická. Nežádoucí vlastností magnetického pole je magnetická indukce. Magnetickou indukci lze považovat za dostatečně nízkou (aby neohrozila měření) pokud dosahuje následujících hodnot. Pro EEG je $B = 4 \cdot 10^{-7}$ T a pro EKG je $B = 2 \cdot 10^{-7}$ T. Nežádoucími elektrickými prvky, které mají většinou vliv na vznik magnetické indukce jsou elektromotory, distribuční a oddělovací transformátory. Místnost pro měření bioelektrických potenciálu by se měla od těchto zařízení nacházet dostatečně daleko. Zdrojem rušení mohou být také vedení s většími proudy než 50A

procházející místností nebo v jejím okolí. Nejčastějším zdrojem rušení jsou však často tlumivky zářivkových a výbojkových svítidel nacházející se pod místností měření. Tyto tlumivky vytvářejí střídavé magnetické pole. Často je tedy nutné tlumivky ze svítidel demontovat a umístit je do dostatečné vzdálenosti. Doporučené vzdálenosti mezi citlivými přístroji a zdroji rušení jsou v následující tabulce [4].

4.2 Doporučené vzdálenosti mezi citlivými přístroji a zdroji rušení [4]

| Zdroj rušení | Nejmenší vzdálenost |
|------------------------------------|----------------------------|
| Distribuční transformátory | 10m |
| Ochranné oddělovací transformátory | 3m |
| Elektromotory nad 3kVA | 6m |
| Silové vedení nad 50A | 3m |
| Tlumivky | 3m |

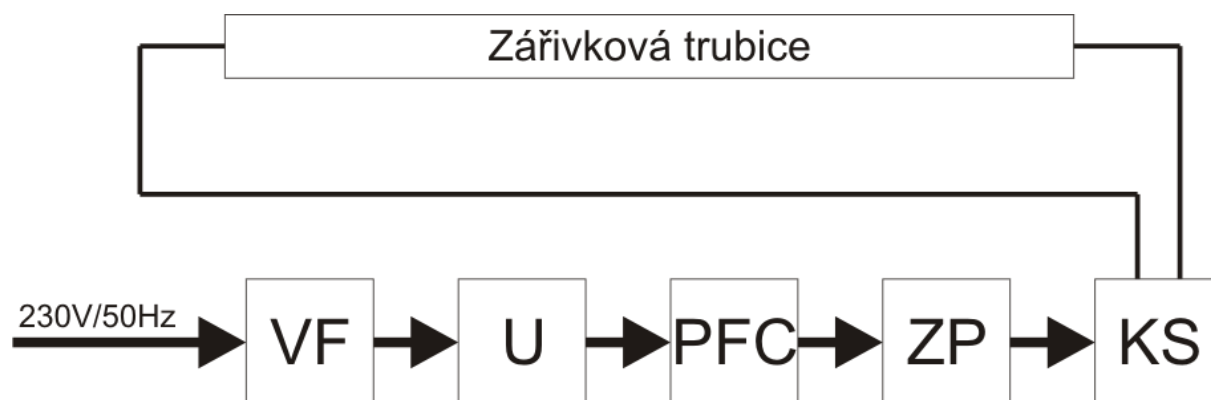
I ve Fakultní nemocnici v Plzni se setkáme s nutností přemístění tlumivek z důvodu rušení. Tlumivky jsou vyvedeny ve speciálních rozvaděčích, které se nacházejí v dostatečné vzdálenosti od místností, ve kterých dochází k měření bioelektrických potenciálů. Z důvodu zahřívání tlumivek jsou rozvaděče vybaveny odvětrávacími systémy a měřiči, které hlídají aktuální teplotu uvnitř. Při přemísťování tlumivek mimo svítidla bylo třeba brát v potaz větší vzdálenost a tedy potřebu použít vodiče většího průměru. Běžné vodiče průměru 0,5mm byly nahrazeny delšími vodiči průměru 1,5mm. Přemísťování tlumivek však není jediným způsobem, který se ve FN Plzeň používá. Nemocnice využívá i modernější způsob řešení pomocí elektronických předřadníků.

Elektronický předřadník:

Elektronické předřadníky jsou přístroje nahrazující prvky klasických zářivkových systémů, tedy tlumivku, startér a kompenzační kondenzátor. Funkce elektronických předřadníků spočívá v rozsvícení zářivky a následného napájení zářivky pomocí střídavého proudu o frekvenci 30-50 kHz, což je mnohokrát více oproti tlumivkám, které mají výstupní frekvenci stejnou jako je frekvence sítě, tedy 50Hz. Výhodou této vysoké frekvence je, že napětí mění tak rychle polaritu, že na rozdíl od síťového kmitočtu 50Hz nedochází k deionizaci světla, což mělo za následek chvění světla. Výhodou je také na vysokých frekvencích tichý transformátor, protože jeho vibrace se nachází mimo slyšitelné spektrum. Hlavní výhodou elektronických předřadníků je však jejich účinnost. Disponují vyšší

energetickou účinností a téměř 70% spotřebou proti běžné kombinaci startér-tlumivka. Některé elektronické předřadníky dokonce umožňují regulaci svítivosti trubice. Díky vysoké frekvenci buzení mají předřadníky až o 11% větší svítivost oproti síťové frekvenci. Díky dvojitě konverzi zvládají předřadníky i velké kolísání sítě (kvalitní elektronické předřadníky pracují se vstupním napětím v rozsahu 195-250V) [9][10].

Elektronický předřadník se skládá z několika bloků, viz. zjednodušené blokové schéma obr. 4.7.



Obr. 4.9 Zjednodušené schéma elektronického předřadníku

První blok elektronického předřadníku je vstupní filtr (VF), který má za úkol odfiltrovat elektromagnetické rušení. Následuje usměrňovač (U) a blok PFC, což je Power Faktor Controller. Jelikož je předřadník konstruován především z cívek a kondenzátorů, tak se projevuje jako kapacitně induktivní zátěž. To má za následek zvyšování ztrát na vedení. Proto je zde PFC, který zvyšuje účinnost předřadníku. Další částí je volně kmitající zářivkový předřadník (ZP). V tomto obvodu probíhá pomocí oscilace zvyšování napětí, pomocí kterého je následně zapálena zářivková trubice. Poslední částí je blok koncového stupně (KS) [10].

Vysokofrekvenční elektromagnetické pole:

Elektromagnetické pole se může přenášet po vedení. Zdrojem tohoto rušení jsou především startéry zářivkových svítidel, spínače a polovodičové prvky, především tyristorové a triakové spínače. K ochraně před tímto rušením používáme síťové filtry, které umístíme do blízkosti zdrojů rušení. Jako síťové filtry slouží také oddělovací transformátory ZIS (zdravotnické izolované soustavy), které mají uzemněné stínění. Vysokofrekvenční rušení může být přenášeno také zářením. To je způsobeno například vlivem antén telekomunikačních zařízení záchranných vozů. Ochrana spočívá v umístění zdroje rušení do dostatečné vzdálenosti. Pokud to ovšem není možné, je citlivé zařízení instalováno do

vysokofrekvenčně stíněné místnosti. Dostatečné stínění má pak útlum 40dB v kmitočtovém pásmu 150kHz až 30Mhz [4].

4.3. Ochrana před úrazem elektrickým proudem v místnostech s omezeným přístupem

4.3.1. Ochrana kryty a přepážkami

Přepážky a kryty, používané u vysokonapěťových sítí a zařízeních, musí splňovat následující podmínky. Zóna nebezpečí musí být vybavena stupněm ochrany odpovídajícím nejméně ochraně IP2X (IPXXB) dle normy IEC 60529. Jedná se o ochranu proti vniknutí tělesa o větší velikosti než 12mm. Tato ochrana musí mít dostatečnou mechanickou pevnost, stabilitu a trvanlivost, aby nedocházelo ke snížení stanoveného stupně ochrany. Je třeba uvažovat vlivy okolního prostředí. Kryty a přepážky musí být dostatečně zajištěny na svém místě. Pokud je na některých místech možné odejmout kryty nebo přepážky, musí to být umožněno pouze s použitím klíčů nebo nástrojů, po odpojení živých částí a jejich následného zapojení při vrácení krytů (či přepážek) do původního stavu, nebo pokud se za nimi nachází další kryt nebo přepážka s požadovaným stupněm ochrany [11].

4.3.2. Ochrana zábranami

Norma ČSN EN 61140 definuje zábrany jako ochranné prvky pro osoby znalé nebo poučené. Ochrana zábranami není určena pro laiky. Během práce na zařízení za zvláštních podmínek provozu a údržby musí zábrany chránit před nahodilým vniknutím do zóny nebezpečí. Zábrany mohou být odstraněny bez použití nástrojů nebo klíčů, ale musí být zabezpečeny tak, aby k jejich odstranění nedošlo neúmyslně. Jestliže jsou vodivé zábrany vybaveny pouze základní izolací, považují se za neživé a musí být opatřeny dostatečnou ochranou v případě poruchy [11].

4.3.3. Ochrana polohou

Ochrana polohou nebo také ochrana umístěním mimo dosah ruky brání před nahodilým vniknutím do zóny nebezpečí. Podrobnosti stanoví technická komise. V nízkonapěťových instalacích je udávána vzdálenost alespoň 2,5m. V případě, že mají do místnosti přístup pouze osoby znalé nebo poučené, mohou být tyto vzdálenosti menší. V případě, že jsou vzdálenosti menší, musí technická komise stanovit části místnosti, kde je možné používat nářadí a žebříky aby nedošlo k úrazu elektrickým proudem [11].

Závěr

Plzeňská fakultní nemocnice letos oslaví 33let a od doby jejího vzniku se hodně změnilo. V současné době rok po dostavění nového onkologického pavilonu je možné v nemocnici vidět elektroinstalaci původní i současnou. Je těžké neustále obměňovat stará zařízení, ovšem vždy je třeba myslet na to, že na prvním místě je zdraví pacientů. Veškerá zařízení a ochrany se řídí neustále se obměňujícími normami (popsány v kapitole 2 a 4). Jen v posledních letech bylo investováno několik milionů korun do nových transformátorů a dieselařegátů a to především z důvodu neustálého zvyšování energetických požadavků.

Tato práce je určena k seznámení se strukturou elektrické sítě ve Fakultní nemocnici v Plzni na Lochotíně. Je zde použito několik blokových schémat pro lepší orientaci v zapojení trafostanic. Na plánu nemocnice je možné najít i polohu jednotlivých trafostanic a je zde zobrazeno, které budovy jsou zálohovány určitým dieselařegátem. Blokově vykreslené je zde také zapojení jednotlivých sítí, které je možné v nemocnici nalézt a detailně popsané všechny druhy záložních systémů, především pak UPS.

V současnosti je nejmodernější částí nemocnice nedávno dostavěná budova onkologického centra. Její bližší popis nacházející se v kapitole 3 dokazuje, jak se některé způsoby zapojení za několik let změnily.

Fakultní nemocnice má téměř 4500 zaměstnanců a je tedy třeba zajistit jejich bezpečnost. Z tohoto pohledu je důležitá ochrana proti úrazu elektrickým proudem (kapitola 4). Neustále měnící se normy sebou nesou nemalé změny, kterým je třeba se bez výhrad přizpůsobit. Důležité je brát také ohled na citlivé přístroje, které měří např. bioelektrické potenciály člověka. Je nutné zajistit jejich přesnost a tedy vyřadit z jejich blízkosti možné rušení. To vše najdete také v kapitole 4.

Použitá literatura

- [1] Ing. Josef Mottl, *Projektová dokumentace FN Plzeň – Lochotín, Onkologické centrum – Přípojka VN*, 7/2008, Plzeň
- [2] GRYLLUS. *Předpis pro uvedení do provozu, obsluhu a údržbu trojfázových suchých transformátorů s litou izolací*. Bratislava - Vajnory: Bratislavské elektrotechnické závody, 1981.
- [3] Ing. Josef Mottl, *Projektová dokumentace FN Plzeň – Lochotín, Zásobování objektu ambulancí el. energií - Elektroinstalace*, 3/2011, Plzeň
- [4] ČSN 33 2140. *Elektrický rozvod v místnostech pro lékařské účely*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství norem, 1990
- [5] ABB. *Datasheet IG-230S: Hlídač izolačního stavu s dálkovou signalizací a testem*.
- [6] Architektura UPS – normalizace a praxe. [online]. [cit. 2012-05-29]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23834
- [7] UPS – nepřetržitá dodávka elektrické energie s asynchronním kroužkovým generátorem. [online]. [cit. 2012-05-29]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34764
- [8] MF DNES: Plzeňský kraj. *Plzeň má supermoderní pavilon onkologie. Nechybí ani zahrada na střeše* [online]. [cit. 2012-05-29]. Dostupné z: http://plzen.idnes.cz/Plzen-zpravy.aspx?r=plzen-zpravy&c=A110519_111000_plzen-zpravy_alt
- [9] Jiří Plch; *Světelná technika v praxi*; In-EL 1999; ISBN 80-86230-09-0
- [10] *Mobilní jednotka germicidního zářiče*. Brno, 2011. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40643.
Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce doc. Ing. Miloslav Steinbauer, Ph.D.
- [11] ČSN EN 61140. *Ochrana před úrazem elektrickým proudem: Společná hlediska pro instalaci a zařízení*. Český normalizační institut.