

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz



V provozu velkých energetických jednotek, jejichž nedílnou součástí jsou turboalternátory, hydroalternátory, eventuálně i vysokonapěťové motory, je důležitým aspektem jejich bezporuchový chod. Je pochopitelné, že během jejich provozu jsou všechny jejich podsystémy a prvky vystaveny nejrůznějším provozním namáháním majícím za následek jejich postupnou deterioraci – stárnutí. Jde jednak o stárnutí čistě mechanického charakteru (opotřebení, únavové jevy), dále o chemickou degradaci (koroze a jiné chemické změny) a posléze o degradaci elektrickým namáháním (zejména v důsledku kombinace působení zvýšené teploty a vlastního elektrického pole). V elektrických strojích se mohou navíc vyskytnout i další kombinované jevy ovlivňující jejich životnost, např. koroze pod napětím (u některých nemagnetických materiálů), drážkové výboje (vznikající při vibracích vinutí v drážkách), klouzavé výboje a další.

Diagnostika těchto zařízení má svá specifika, k nimž patří zejména to, že musí být prováděna na místě. Za jejím provedením proto vyjíždí zvláště k tomuto účelu vybavená mobilní pracoviště zmíněná v dalším textu. Velkého významu zde nabývají on-line měření – monitorování stavu zařízení, umožňující nejen sledovat okamžitý stav, ale také predikci dalšího chování zařízení. Mezi hlavní výhody tohoto způsobu patří také to, že diagnostické testy a měření za provozu zahrnují velký počet snímaných hodnot, při jejichž snímání nevznikají žádná přídavná namáhání způsobená vnějším zdrojem napětí jako u off-line metod. Nevýhodou zde jsou značně vyšší investiční náklady na pořízení monitorovacího systému, protože ten musí mít každé sledované zařízení samostatně.

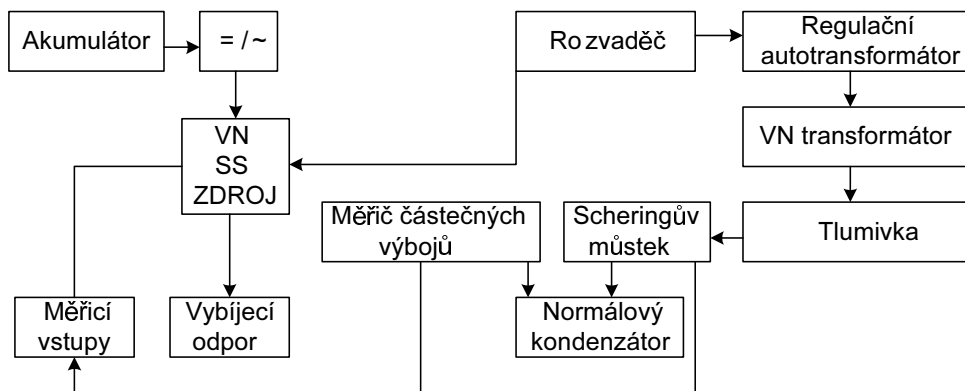
Stejně jako v případě malých a středních točivých elektrických strojů (kapitola 5) je i u těchto strojů nutné zajistit vstupní kontrolu materiálu a subdodávek, dále pak mezioperační elektrické i mechanické zkoušky při výrobě. Tyto zkoušky mají stejný charakter jako u zmíněných malých a středních strojů – jejich problematika je prakticky stejná. Podobně i následné typové a kusové zkoušky vyrobených strojů.

6.1 Diagnostická šetření

V diagnostice velkých točivých strojů jsou stroje rozdělovány podle typu izolačního systému a podle druhu stroje na turbogenerátory, hydrogenerátory a VN motory s termoplastickou nebo reaktoplastickou hlavní drážkovou izolací vinutí stroje. S malými odchylkami jsou prováděna stejná diagnostická šetření na všech typech strojů (turbogenerátory, hydrogenerátory, VN motory). Z pohledu diagnostiky se provádějí měření v nových strojích a ve strojích v provozu. Pro analýzu výsledků zkoušek existují pro každou skupinu strojů kritériální hodnoty, jejichž překročení signalizuje nutnost rozhodovat o odstávce, opravě apod.

Pro provozní diagnostiku velkých točivých strojů se, na rozdíl od malých točivých strojů, využívá mobilních diagnostických pracovišť (*obr. 6.1*) určených k měření na místě

instalovaného stroje. Prostor používaného měřicího vozu je rozdělen na dvě části, ovládací a zkušební vysokonapěťovou část. V ovládací části se nalézají měřicí přístroje, ovládání zdroje napětí apod. Ve vysokonapěťové části jsou umístěny vlastní zdroje, normálový kondenzátor, rozvaděč, akumulátor se střídačem, vybíjecím odporem atd. Součástí moderních měřicích vozů je také počítač pro automatizované měření a vyhodnocování získaných dat.



Obr. 6.1 Doporučené vybavení přístrojů a zařízení v měřicím voze

6.1.1 Měření na nových strojích – vstupní diagnostika

Před uvedením stroje do provozu a na konci jeho záruční doby se provádí tzv. **Vstupní diagnostika**, která zahrnuje následující metody:

1. Vizuální kontrola statorového vinutí.
2. Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu statorového vinutí.
3. Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu rotorového vinutí.
4. Měření napěťové závislosti izolačního odporu na stejnosměrném napětí.
5. Měření kapacity a ztrátového činitele a výpočet časové konstanty statorového vinutí.
6. Měření částečných výbojů statorového vinutí galvanickou metodou.
7. Zkouška statorového vinutí střídavým napětím 50 Hz.
8. V případě, že nejde provést zkouška střídavým napětím 50 Hz, může se provést zkouška stejnosměrným napětím.
9. Zkouška rotorového vinutí střídavým napětím 50 Hz.
10. Frekvenční analýza proudu a rozptylového magnetického pole (Pouze pro asynchronní stroje a synchronní stroje s asynchronním rozběhem).

Další **vybraná doplňková měření a zkoušky** je možné aplikovat podle dohody s výrobcem.

Jedná se o následující zkoušky:

1. Měření částečných výbojů statorového vinutí akustickou sondou.
2. Měření částečných výbojů statorového vinutí diferenciální elektromagnetickou sondou.
3. Zkouška statorového vinutí napětím velmi nízkého kmitočtu.
4. Diferenční termická analýza.
5. Analýza rozběhového proudu (pouze pro asynchronní stroje a synchronní stroje s asynchronním rozběhem).
6. Měření hluku.
7. Zkouška závitové izolace statorového vinutí proudovými impulzy.
8. Zkouška závitové izolace rotorového vinutí s vyniklými póly.

6.1.2 Profylaktická měření

U strojů v provozu se provádí **malá diagnostika** obsahující následující zkoušky, které se provádějí v intervalu 1 až 2 roky.

1. Vizuální kontrola statorového vinutí
2. Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu statorového vinutí.
3. Měření izolačního odporu a výpočet polarizačního indexu rotorového vinutí.
4. Měření napěťové závislosti izolačního odporu na stejnosměrném napětí.
5. Měření kapacity, ztrátového činitele a výpočet časové konstanty statorového vinutí.
6. Měření částečných výbojů statorového vinutí galvanickou metodou.
7. Indikace ozónu v chladicím vzduchu.
8. Frekvenční analýza proudu a rozptylového magnetického pole (pouze pro asynchronní stroje a synchronní stroje s asynchronním rozběhem).
9. Měření hluku.

Velká diagnostika, která obsahuje **Malou diagnostiku** a další vybraná **Doplňková měření a zkoušky** se provádí v případě, kdy během malé diagnostiky nevyhoví některé z kritériálních parametrů zkoušek.

Doplňková měření a zkoušky

1. Měření částečných výbojů statorového vinutí akustickou sondou.
2. Měření částečných výbojů statorového vinutí diferenciální elektromagnetickou sondou.
3. Zkouška statorového vinutí střídavým napětím 50 Hz.
4. Zkouška rotorového vinutí střídavým napětím 50 Hz.
5. Zkouška statorového vinutí stejnosměrným napětím.

6. Zkouška statorového vinutí napětím velmi nízkého kmitočtu.
7. Diferenční termická analýza.
8. Analýza rozběhového proudu (pouze pro asynchronní stroje a synchronní stroje s asynchronním rozběhem).
9. Zkouška závitové izolace statorového vinutí proudovými impulzy.
10. Zkouška závitové izolace rotorového vinutí s vyniklými póly.

6.2 Diagnostická měření velkých točivých strojů v režimu off-line

Elektrický stroj je složitým uspořádáním dílčích částí rozdělených podle funkce na konstrukční, elektrický, magnetický, ventilační a izolační podsystém. Izolační systém elektrických strojů je ovšem beze sporu nejcitlivější místo z hlediska dlouhodobé spolehlivosti celého zařízení. Diagnostika technických vlastností nejen tohoto systému může včas odhalit možné poruchové stavy a tím v podstatě zajistit dlouhodobý bezporuchový provoz stroje.

Mimo tohoto je dalším důvodem diagnostických měření snaha o zjištění prognózy další životnosti stroje. Širší rozsah diagnostických měření se jeví účelný před generální opravou k identifikaci částí stroje, jimž musí být během údržbářské činnosti věnována zvláštní péče [1]. Diagnostika nejcitlivějšího izolačního systému za odstávky stroje podle [1] zahrnuje následující metody.

6.2.1 Vizuální kontrola statorového vinutí

Vizuální kontrola stroje patří k nejjednodušším, ale zároveň k velmi důležitým metodám sledování stavu izolačního systému statorového vinutí a celého jeho izolačního systému. Vizuální kontrola statoru se provádí sledováním stavu konstrukčních částí hodnoceného zařízení.

Vinutí je totiž v provozu vystaveno různým namáháním, jako je teplota, chemické účinky, mechanické namáhání, nečistoty v chladicím mediu apod. Působení těchto vlivů lze velmi často identifikovat i vizuální kontrolou a lze tak tedy při diagnostice získat první údaje o stavu izolačního systému.

Následky jednotlivých typů namáhání jsou často velmi dobře patrné a navzájem odlišitelné. Vliv teplotního namáhání může být například identifikovatelný uvolněním klínů v drážkové části vinutí, jelikož díky teplotě mění izolační systém svůj objem. Mezi teplotní namáhání lze zařadit i vliv výbojové činnosti, při které dochází k lokálnímu ohřevu dielektrika a viditelně tak lze zjistit poškození izolace povrchovými výboji.

Výbojová činnost na povrchu dielektrika má také ve spojení s chladícím vzduchem za následek vznik kyslíkatých látek, které podporují narušování izolačního systému.

Chvění a další mechanické vlivy způsobují ve stroji zejména uvolňování klínů, poškození úvazků čel atd.

Vizuální kontrola se provádí na odpojeném a demontovaném elektrickém točivém stroji při vyjmutém rotoru. Z výše zmíněných důvodů se kontroluje především statorové vinutí, průchodky, stav teflonových hadic, průchodek vodního systému, systém měření teplot vinutí, železa, plynu a stav paketu. Popis jednotlivých dílčích segmentů při vizuální kontrole popisuje [1].

Při kontrole drážkové části se kontroluje pevnost zaklínování drážkových klínů, měření odporu mezi polovodivým povlakem rovné části tyče a kovem statoru (pokud je měření technicky možné) [1].

Při zjištění klínů, které nevyhovují limitním hodnotám, se musí tyto klíny překlínovat, a to buď částečně, nebo úplně, podle počtu nevyhovujících klínů. Při každém překlínování se u vinutí s reaktoplastickým izolačním systémem kontroluje boční vůle v drážce, mezi bokem tyče a stěnou drážky.

Při kontrole čelních partií se provede řádné očištění povrchu vinutí od nečistot a oleje a kontroluje se tuhost rozpěrných palců na výstupu tyčí z drážky, tuhost rozpěrek hlav vinutí, tuhost rozpěrek evolventních částí vinutí, utažení šroubů upevňujících koš vinutí ke statoru, tuhost bandáží přichycujících rozpěrky a vinutí, utažení šroubů spojů vedoucích elektrický proud (např. mezi průchodkami a vinutím statoru).

Kontrola čelních partií se provádí mírným poklepem kladívka nebo použitím přístroje pro měření tuhosti klínů na každý konstrukční element a sleduje se akustická nebo elektrická odezva.

Technickým endoskopem se kontroluje stav a čistota míst statorového vinutí, která nejsou přímo viditelná. Jedná se zejména o kontrolu stavu polovodivého nátěru na tyčích elektrického stroje, jeho celistvost, případně jeho neporušenost, dále stav izolačního systému v rovné a evolventní části vinutí.

Stav průchodek se provádí kontrolou povrchu izolační části průchodky, její napálení či jiné mechanické poškození. Dále se kontroluje dotažení těsnících částí průchodky.

Stav konstrukce teflonových hadic a průchodek vodního systému se kontroluje pro ověření, zda se nedotýkají jiných částí stroje (případně mezi sebou) a nedochází-li v těchto místech k poškození povrchu hadic. Další část vizuální kontroly lze provést při tlakové zkoušce celého vinutí, kdy se kontroluje těsnost všech prvků a styčných míst. Tlaková zkouška se provádí podle provozního předpisu výrobce, kde jsou uvedeny jak výše přetlaku, tak doba působení přetlaku kapaliny. U generátorů chlazených plynem se pro celý prostor uzavřeného statoru aplikuje těsnicí zkouška, která se provádí podle provozního předpisu výrobce.

Pro zjištění stavu systému měření teplot vinutí, železa a plynu se kontroluje dotaženi spojů vyvedených na přípojovací místo, čistota prostoru napojení a měří se odpor teplotních Pt článků.

Při kontrole stavu paketu se vizuální kontrola zaměřuje na mechanické poškození povrchu zubů a barevné odlišení povrchu paketu v důsledku poškození způsobené lokální teplotou [1].

6.2.2 Izolační odpor statorového vinutí

Izolační systém elektrického stroje je složitá dielektrická soustava mezi dvěma elektrodami, přičemž jedna elektroda je tvořena vodičem vinutí dané fáze a druhá elektroda je pak železo statoru se všemi uzemněnými částmi. Po přiložení zkušebního stejnosměrného napětí se ve zkušebním obvodu odehrávají přechodové děje spojené s nabíjením geometrické kapacity, absorpčním a ustáleným vodivostním proudem.

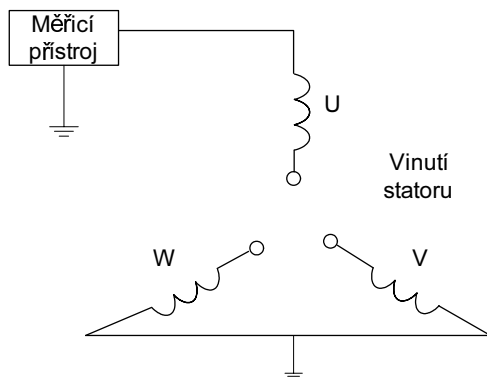
Před uvedením stroje do provozu se izolační odpor měří na vyčištěném stroji. Před samotným měřením se rozpojí uzel vinutí, je-li to technicky možné. Při tomto měření nemusí být ze stroje vyjmutý rotor. Je-li však vinutí chlazeno vodou, musí se voda před měřením vypustit z chladicího systému a vnitřek vodičů a spojovacích hadic se musí vysušit. Teplota měřeného vinutí alternátoru musí být v rozsahu 5 až 30 °C. Hydrogenerátory se měří při chladnutí stroje z provozní teploty a měřené vinutí musí mít teplotu 20 až 30 °C.

Po ukončení měření je nutno jednotlivé fáze vybit a poté viditelně zkratovat [1].

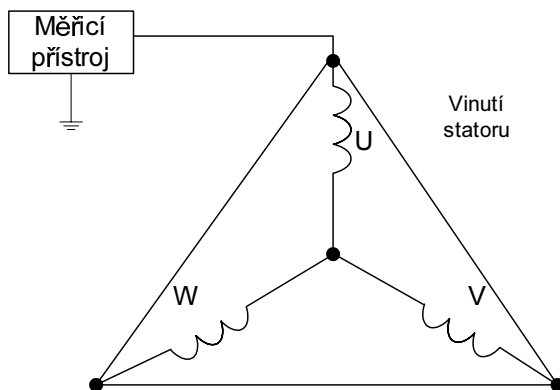
Postup měření

Pro měření izolačního odporu se obvykle používají přístroje, které mají vlastní zdroj stejnosměrného vysokého napětí. Měřicí napětí 1 až 5 kV se přiloží na vstup měřené fáze, která byla z důvodu odvedení elektrického náboje zkratována po dobu min. 30 minut. Ostatní neměřené fáze se na vstupu uzemní a druhý konec každé fáze zůstane nezapojen. Měření se provede ve všech třech fázích samostatně. Několikafázové vinutí, u kterého nejsou začátky a konce jednotlivých fází vyvedeny na zvláštní svorky, se zkouší jako celek, jehož vývody jsou navzájem vodivě spojeny.

Měřené vinutí je připojeno na záporný pól zdroje napětí a na kladný pól zkušebního zdroje se připojuje kostra stroje vodivě spojená se zemí a s ostatními vinutími [1] (obr. 6.2, obr. 6.3).



Obr. 6.2 Schéma zapojení pro měření izolačního odporu satorového vinutí s rozpojeným uzlem



Obr. 6.3 Schéma zapojení pro měření izolačního odporu satorového vinutí s nerozpojeným uzlem

Izolační odpor se odečítá v časech 15, 60, 120 až 600 s po připojení měřicího napětí a z těchto naměřených hodnot se vypočítá jednominutový a desetiminutový polarizační index p_i podle daných vztahů:

$$p_{i60} = \frac{R_{iz60}}{R_{iz15}} [-], \quad (6.1)$$

$$p_{i600} = \frac{R_{iz600}}{R_{iz60}} [-], \quad (6.2)$$

kde R_{iz15} je hodnota izolačního odporu v $M\Omega$ odečtená v čase 15 s po zapojení měřicího napětí,

R_{iz60} je hodnota izolačního odporu v $M\Omega$ odečtená v čase 60 s po zapojení měřicího napětí,

R_{iz600} hodnota izolačního odporu v $M\Omega$ odečtená v čase 600 s po zapojení měřícího napětí.

Hodnota izolačního odporu a polarizačního indexu je ovlivněna zejména absorbovanou vlhkostí, znečištěním stroje, produkty degradace izolačního systému, případně konstrukcí stroje.

Je-li hodnota polarizačního indexu větší než 2, znamená to, že absorpční proudy ve statorové izolaci trvaly poměrně dlouho dobu a indikuje to tak na dobrou, nenavlhlou a nedegradovanou izolaci. Blíží-li se polarizační index jedné, to je způsobeno např. navlhlou, znečištěnou nebo degradovanou izolací.

6.2.3 Izolační odpor rotorového vinutí

Stejně jako v případě izolačního odporu statorového vinutí je i izolační odpor rotorového vinutí důležitým diagnostickým parametrem elektrických točivých strojů.

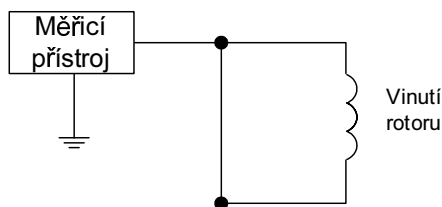
Měření izolačního odporu je možné provádět buďto na rotoru vyjmutém ze stroje, nebo na stroji ve smontovaném stavu. Pokud se měří ve smontovaném stavu, stroj musí být v klidu a zajištěn proti samovolnému spuštění.

Před měřením se musí odpojit zemní ochrana rotoru, odpojit budicí obvod vyjmutím kartáčů sběracích kroužků. Při zkoušce se měří izolační odpor vinutí magnetového kola, přívodních pasů a sběracích kruhů. Teplota měřeného vinutí je doporučena v rozmezí 20 až 30 °C, u rotorů s vyniklými póly se měří při chladnutí stroje z provozní teploty.

Po ukončení měření je nutné vybití vinutí po dobu 5 minut zkratováním vinutí na hmotu magnetového kola (rotoru) [1].

Postup měření

Měření izolačního odporu se provádí měřičem izolace s vlastním zdrojem stejnosměrného napětím 0,5 až 1,5 kV přiloženého mezi konec vinutí a hmotu rotoru (obr. 6.4).



Obr. 6.4 Schéma zapojení pro měření izolačního odporu rotorového vinutí

Měřený odpor se opět odečítá v čase 15 a 60 s po připojení měřicího napětí. Z těchto hodnot se následně vypočítá pouze jednominutový polarizační index p_i rotorového vinutí podle vztahu:

$$p_{i60} = \frac{R_{iz60}}{R_{iz15}} [-]. \quad (6.3)$$

6.2.4 Napěťová závislost izolačního odporu vinutí na stejnosměrném napětí

Při měření závislosti izolačního odporu na čase při konstantním napětí vzrůstá velikost tohoto odporu až na jistou ustálenou mez danou vodivostí dielektrika. Na rozdíl od tohoto postupu při zkoušce napěťové závislosti izolačního odporu tento **odpor se zvyšujícím se napětím klesá** (kapitola 2 – odchylka od Ohmova zákona). Do jisté hodnoty stejnosměrného napětí je izolační odpor téměř konstantní, poté však začne klesat. Zvyšuje-li se napětí dále, izolační odpor se zmenšuje až k nulovým hodnotám, při kterých dojde k průrazu izolace. Velikost protékajícího proudu izolačním systémem je tedy přímo závislá na kvalitě použité izolace.

Výstupem této zkoušky je grafický záznam znázorňující charakter protékajících proudů izolačním systémem. Tento je ovlivňován stavem zkoumané izolace, např. její vlhkostí, mírou degradace apod.

Provádí-li se zkouška před uvedením stroje do provozu, měří se na vyčištěném stroji, a je-li to technicky možné, musí se před měřením rozpojit uzel vinutí. Rotor nemusí být při této zkoušce vyjmutý ze stroje. Je-li vinutí chlazeno vodou, musí se voda před měřením vypustit. Teplota měřeného vinutí stroje musí být v rozsahu 5 až 30 °C.

Hydrogenerátory se měří při chladnutí stroje z provozní teploty a měřené vinutí musí mít teplotu 20 až 30 °C.

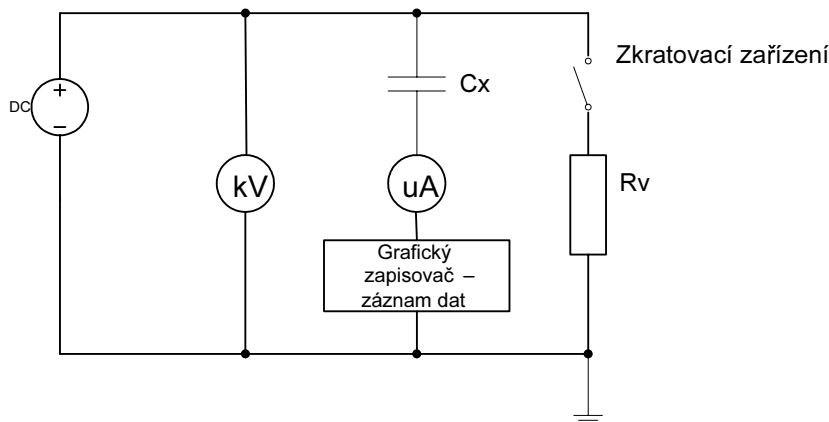
Po ukončení měření je opět nutné jednotlivé fáze vybit a poté viditelně zkratovat.

Postup měření

Stejnoseměrné zkušební napětí je přiloženo na vstup prošetřované fáze a ostatní dvě fáze se na svém vstupu uzemní. Druhý konec každé fáze zůstane nezapojen (*obr. 6.5*). Měření se provede ve všech třech fázích samostatně. Několikofázové vinutí, u kterého nejsou začátky a konce jednotlivých fází vyvedeny na zvláštní svorky, se zkouší jako celek, jehož vývody jsou navzájem vodivě spojeny.

Stejnoseměrné napětí přiložené na vinutí se zvyšuje krokově a současně se měří čas s protékajícím proudem izolačním systémem po dobu, kdy dosáhne své ustálené hodnoty – vodivostní proud (v praxi max. 10 minut). Z Ohmova zákona je následně vypočten ustálený izolační odpor. Postup se opakuje pro napěťové hladiny až do napětí, při němž se projeví prokazatelné zmenšení izolačního odporu. Měřicí napětí však ne-

smí překročit hodnotu zkušebního napětí zkoumané izolace. Po celou dobu měření se graficky nebo jiným způsobem (digitální uložení dat) zaznamenává protékající nabíjecí proud I_b . Izolační odpor je následně vypočten jako poměr přiloženého napětí a protékajícího ustáleného proudu izolačním systémem (v praxi hodnota proudu po 10 minutách) [1].



kV – elektrostatický kilovoltmetr

C_X – měřená izolace

A – mikroampérmetr

R_V – vybíjecí odpor

Obr. 6.5 Schéma zapojení pro měření napěťové závislosti izolačního odporu na stejnosměrném napětí

Nevýhodou této metody je její časová náročnost, protože k ustálení proudu může dojít za poměrně dlouhou dobu. V praxi se proto uvažuje jako maximální čas ustálení 10 minut po připojení napětí.

6.2.5 Ztrátový činitel $\text{tg } \delta$, kapacita a časová konstanta statorového vinutí

Střídavá zkouška měření ztrátového činitele a kapacity je jednou z důležitých zkoušek elektrických strojů. Metody měření ztrátového činitele společně s jeho definicí popisuje podrobně kapitola 2.

Při diagnostice točivých strojů se stejně jako v předchozích diagnostických testech před měřením rozpojí uzel vinutí stroje, je-li to technicky možné, přičemž u této analýzy nemusí být rotor vyjmutý ze stroje.

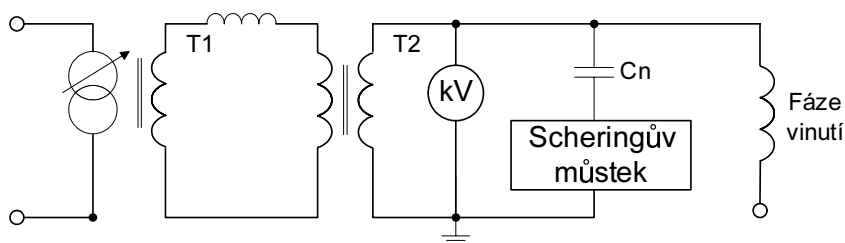
Je-li vinutí chlazeno vodou, musí se voda před měřením vypustit a vysušit chladič systém.

Teplota měřeného vinutí stroje musí být v rozsahu 5 až 30 °C.

Zkoušky na hydrogenerátorech jsou prováděny při chladnutí stroje z provozní teploty a měřené vinutí musí mít teplotu 20 až 30 °C.

Postup měření

Zkušební napětí se přiloží na vstup prošetřované fáze a ostatní fáze se na vstupu uzemní. Druhý konec každé fáze zůstane nezapojen. Měření se provádí ve všech třech fázích samostatně. Několikafázové vinutí, u kterého nejsou začátky a konce jednotlivých fází vyvedeny na zvláštní svorky, se zkouší jako celek, jehož vývody jsou navzájem vodivě spojeny a uzel vinutí odtemněn [1]. Schéma zapojení pro měření ztrátového činitele na točivých strojích představuje *obr. 6.6*.



Obr. 6.6 Schéma zapojení pro měření ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ a kapacity statorového vinutí

Při této zkoušce se měří napěťová závislost ztrátového činitele a kapacity v intervalu $(0,2-1,0)U_n$, přičemž přiložené napětí je zvyšováno postupně po krocích $0,2 U_n$ (sdružená hodnota jmenovitého napětí).

Projevují-li se při měření rušivé vlivy (výchylka nulového indikátoru ve stavu bez připojeného zkušebního napětí), je vhodné do měřicího obvodu připojit ionizační filtr.

Výpočet časové konstanty vinutí je důležitým diagnostickým ukazatelem a je prováděn zejména pro odstranění vlivu typu stroje, jeho napětí a výkonu na naměřené veličiny. Velikost časové konstanty není totiž závislá na geometrických rozměrech vinutí stroje, což umožňuje porovnávat vlastnosti izolačních systémů typově rozdílných strojů.

Výpočet desetiminutové časové konstanty izolace τ_{600} se provede podle vztahu:

$$\tau_{600} = R_{iz600} \cdot C_{0,2U_{fn}} [-], \quad (6.4)$$

kde R_{iz600} je izolační odpor v $M\Omega$ odečtený v čase 600 s po připojení měřicího napětí,

C je kapacita vinutí měřené fáze střídavého generátoru (motoru) v μF při $0,2 \cdot U_{fn}$,

U_{fn} je jmenovitá hodnota fázového napětí.

6.2.6 Měření částečných výbojů statorového vinutí galvanickou metodou

Test částečných výbojů v off-line režimu detekuje proudové impulzy vznikající přítomností výbojové činnosti uvnitř vinutí elektrického stroje při zkušebním napětí. Měření výbojové činnosti (částečných výbojů) lze odhadnout celkový stupeň znehodnocení izolace izolačního systému, zaznamenat vznik lokálních vad, příp. určit druh výbojové činnosti.

Částečné výboje v točivých strojích mohou vznikat buď přímo v izolaci vodičů (částečné výboje v izolaci), mezi izolací a vodičem (prostor mezi vodičem a izolací, tzv. „delaminace“), mezi izolací a dnem drážky statoru (drážkové výboje) nebo na povrchu izolace mimo drážku statoru (klouzavé výboje po povrchu izolace při výstupu vinutí z drážky statoru, povrchové výboje na čelech vinutí, koróna apod.). Teorii částečných výbojů se podrobněji věnuje kapitola 2.

Každý impulz částečného výboje vzniká ve specifickém místě vinutí. Proudový impulz se šíří od místa vzniku částečného výboje a jistá míra těchto pulzů dosáhne také přípojnice stroje, kde jsou detekovány použitou off-line měřicí technikou.

Před samotným měřením se musí rozpojit uzel vinutí. Měřená fáze se připojí na zdroj regulovatelného střídavého napětí 50 Hz, neměřené fáze se zkratují a uzemní (*obr. 6.7*).

Rotor nemusí být v případě globální galvanické metody vyjmutý ze stroje.

Postup měření

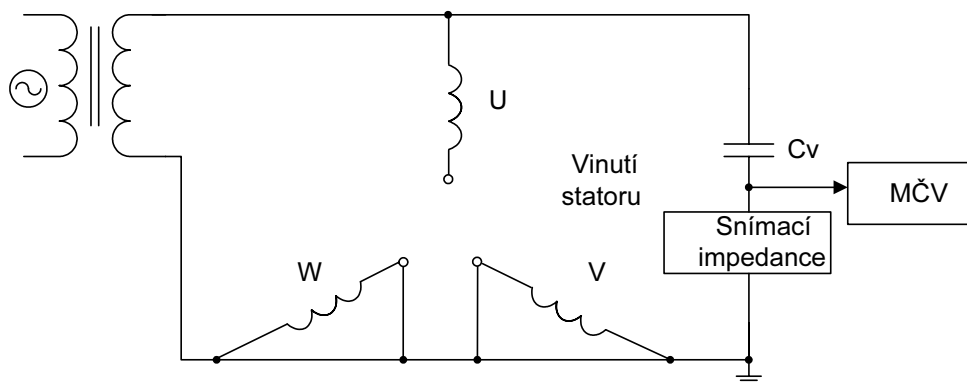
Na prošetřované fázi, která je odzemněná a odpojená od sítě, se postupně zvyšuje zkušební napětí až do jmenovitého napětí U_n . Při výskytu výbojové činnosti nad limitní mezí (obvykle $q = 1000$ pC) je zaznamenána hodnota zapalovacího napětí částečných výbojů U_j . Po dosažení jmenovité hodnoty napětí U_n se toto napětí nechá působit po dobu 30 min.

Zmíněný všeobecně dohodnutý a respektovaný výdržný čas na jmenovitém napětí je velice důležitý. Částečné výboje v okamžiku připojení plného zkušebního napětí mají totiž vyšší hodnoty amplitudy i četnosti než po stanoveném výdržném čase. Tento „samozhášecí jev“ je způsoben přítomností prostorového náboje a vývojem tlaku v dutině nehomogenity způsobeného přítomností částečných výbojů (Paschenův zákon).

Po ukončení samozhášecího jevu (dohodnutých 30 minut) se zkušební napětí snižuje po $0,2 U_n$ a na těchto hladinách napětí se měří hodnoty zdánlivého náboje, případně další diagnostické parametry. Hodnoty diagnostických parametrů se zjišťují v obou půlperiodách napájecího napětí a pro vyhodnocení měření se uvažuje vždy ta vyšší z nich.

Projevují-li se při měření rušivé vlivy, doporučuje se připojit do obvodu odrušovací filtr nebo použít jiné odrušovací prostředky (snímání impulzů částečných výbojů z více míst a jejich vzájemné porovnání, softwarová filtrace aj.).

Měření se provádí podle výše zmíněného postupu postupně na všech fázích statorového vinutí [1].



CV – vazební kondenzátor

MČV – měřič částečných výbojů

Obr. 6.7 Off-line měření částečných výbojů statorového vinutí

Měření částečných výbojů poskytuje pro detailnější analýzu jejich závislostí a charakteru několik možností a výsledků (kapitola 2). Hlavním měřeným parametrem je maximální velikost amplitudy částečného výboje q_m , tj. velikost největšího pulzu částečných výbojů. Tento může být měřen v několika jednotkách:

- Pikokulomby [pC] – při měření umožňujícím kalibraci zdánlivého náboje.
- Milivolty [mV] – v případě měření částečných výbojů pomocí osciloskopu.
- Miliampéry [mA] – v případě měření částečných výbojů pomocí VF proudového transformátoru s feritovým jádrem a osciloskopu.
- Decibely [dBm] – v případě měření s pomocí spektrálního analyzátoru.

Přesnost detekce veličin pulzů částečných výbojů ve vinutí elektrických strojů měřených na svorkovnici statoru závisí ovšem na mnoha faktorech, které ovlivňují měřené výsledky a je na nich závislá přesnost změřených dat. Patří mezi ně především:

- Velikost vnitřní nehomogenity.
- Kapacita vinutí – má-li vinutí velkou kapacitu, bude impedance vůči zemi při vysokých frekvencích velmi nízká. Většina proudových impulzů částečných výbojů se tedy okamžitě zkratuje k zemi a na terminál statoru jich doputuje jen velmi malé množství.
- Indukčnost mezi místem vzniku částečného výboje a měřičem částečných výbojů. Pulz je tlumen při jeho šíření podél vinutí ke svorkovnici. Obecně platí, že čím dále je místo vzniku částečného výboje od místa měření (svorkovnice stroje), tím menší je amplituda detekovaného pulzu.

Globální off-line diagnostika částečných výbojů je tak především srovnávací test, který může určit, jaká fáze má největší úroveň výbojové činnosti a tím pádem je nejvíce degradována. Na základě výsledků testu je teoreticky možné také porovnávat jednotlivé stroje a hodnotit tak jejich stav. Nejdůležitějším hodnotícím faktorem je ovšem sle-

dování konkrétního stroje v průběhu času a sledování trendů vývoje výbojové činnosti v závislosti na době provozu.

6.2.7 Měření částečných výbojů statorového vinutí akustickou sondou

Akustická detekce s využitím vhodné akustické sondy slouží k přímé lokalizaci zdrojových lokalit částečných výbojů ve vinutí točivých strojů. Je vhodná zejména pro alternátory a vn motory po demontáži rotoru, případně pro měření čelních partií vinutí, a je aplikovatelná pro stroje od 1 kV výše [1]. Akustická analýza se používá i pro kontrolu navinuté a vytvrzené izolace samostatných tyčí cívek vinutí na zkušebně před založením cívek do drážek stroje. Při zjištění výskytu výbojové činnosti je zapotřebí použít některou z galvanických metod měření částečných výbojů pro určení přesných hodnot výbojové činnosti.

Při měření akustickou sondou je nutné odpojit generátorový blok od rozvodné sítě a (pokud je to možné), ze stroje se vyjme rotor. Teplota vinutí při testu musí být 20 až 30 °C.

Postup měření

Při měření celého elektrického stroje se zkušební napětí připojí na celé vinutí statoru a plynule se zvyšuje až do jmenovitého napětí stroje. Směrový mikrofon akustické sondy je ručně nastavován ve směru předpokládaného místa výbojové činnosti. Měřit akustickou sondou je možno okamžitě po dosažení předepsaného zkušebního napětí. Výskyt výboje v izolačním systému je indikován buďto výchylkou indikátoru na měřicím přístroji, ale vždy akusticky ve slyšitelném spektru [1]. Jsou-li touto metodou detekovány částečné výboje, je nutné je verifikovat a kvantifikovat jinou výpovědischopnější, např. galvanickou metodou. Akustická metoda je pouze první rychlý detekční test.

Nicméně sofistikované akustické systémy typu akustických kamer dokáží detekovat, lokalizovat i kvantifikovat (s pomocí kalibrace) úroveň akustického tlaku vyvolaného částečnými výboji. Otázkou zůstává jejich pořizovací cena a tím pádem cena zkoušky částečných výbojů.

6.2.8 Měření částečných výbojů statorového vinutí diferenciální elektromagnetickou sondou

Diferenciální elektromagnetická sonda, jejíž princip je popsán v kapitole 2, slouží k lokalizaci zdrojů částečných výbojů v jednotlivých drážkách vinutí točivých strojů. Diferenciální elektromagnetickou sondou se detekuje maximální zdánlivý náboj q částečných výbojů v dané prošetřované drážce elektrického stroje.