



Suché transformátory SGB = snoubení skelného vlákna a pryskyřice zalité pod vakuem

Transformátory SGB se zcela odlišují od transformátorů ostatních výrobců technologií výroby VN cívek, které jsou elektricky nejnamáhavější částí transformátoru. SGB používá speciální typ takzvaného dvouvrstvého polohovaného vinutí umožňující integrovat do vinutí vnitřní chladicí kanálky a použití kombinace čisté pryskyřice a skelného vlákna. Izolačním materiálem je pak kompozit tvořený epoxidovou pryskyřicí a skelnými vlákny, který vzniká v autoklávu za zvýšené teploty při nízkém tlaku blízkého se hodnotám vakua. Výsledkem je vysoká mechanická pevnost a zkratová odolnost, vynikající odvod tepla z vnitřních částí cívky, minimální hodnoty částečných výbojů a značná výkonová (proudová) přetížitelnost.



Čím se odlišujeme?

- Vysokou životností

U suchých transformátorů tradiční technologie s běžným vinutím jsou k dispozici pro chlazení jen vnitřní a vnější povrchové plochy válcového vinutí. Aby se dosáhlo nutné povrchové plochy, musí být cívky větší, než by bylo požadováno elektrickými parametry. Technologie zvolená SGB – dvouvrstvé vinutí – dovoluje naproti tomu jednoduchým způsobem vsazení dodatečných **chladících kanálků** dovnitř cívky (viz obrázek 1). Tak se získá další chladicí plocha, díky čemuž se může cívka optimálně navrhovat s ohledem na mechanické rozměry. Optimalizované chlazení umožňuje redukci teploty VN vinutí a mimo to rovnoměrné rozdělení teploty celého transformátoru, což zajišťuje vyšší životnost. Chladicí kanály též dobře odvádějí teplo z tzv. „hot spot“ – t.j. oblastí nejteplejšího místa vinutí, které vznikají vlivem harmonických např. u měničových a trakčních transformátorů.

- Pevností pryskyřice

Rozhodující pro tyto vlastnosti je složení pryskyřice – základní hmoty, ve které je vodič zalit. Přitom záleží zejména na pevnosti v tahu a teplotní roztažnosti vrstvené hmoty ve vztahu k vodivému materiálu. U běžných suchých transformátorů se skládá tato pryskyřice ze 70% z minerálního plniva, což je převážně křemičitá moučka. Taková hmota má pevnost pouze epoxidové pryskyřice, tedy asi 50 N/mm² (srovnání v tabulce 1). U SGB je technologie zcela jiná. Izolační systém se skládá z kompozitního materiálu, který tvoří epoxidová pryskyřice a skelná vlákna, která jsou zavinutá mezi jednotlivými vrstvami vinutí a na povrchu. To zvyšuje pevnost v tahu na **120N/mm²**, což je pevnost některých ocelí. Tento kompozitní materiál má i výhodnější koeficient teplotní délkové roztažnosti, který leží v polovině rozsahu mezi koeficienty délkové roztažnosti mědi a hliníku. Výhoda zvoleného izolačního systému SGB se již mnohokrát potvrdila v testech. Teplotní zkouška šokem pro klimatickou třídu C2 dle IEC 60076-11 vychází z teploty -25°C. SGB cívky obstály také ve zkoušce -50°C. Výrobce garantuje, že vypnutý transformátor při okolní teplotě -25°C může být bez předchozího vysoušení a předehřívání zapnut a okamžitě provozován na plný výkon. Jediné omezení před zapnutím je na povrchu cívek z kondenzovaná voda.

Materiál	Koeficient tepelné roztažnosti [1/K*10 ⁻⁶]	Pevnost v tahu [N/mm ²]
Hliník	23,8	70
Měď	16,2	230
Pryskyřice	65	60-80
Skleněné vlákno	5	1500
Pryskyřice s křemičitou moučkou (66%) běžná technologie	38	50-60
Kompozitní materiál SGB (pryskyřice + skelné vlákno)	20	120
Ocel	11,5	370-850



- Možností proudového přetížení

Suché transformátory SGB mají při přetížení výhodu nejen proti olejovým transformátorům, ale i proti suchým transformátorům obvyklé konstrukce. Obvyklé konstrukce využívají běžné vinutí cívk, u které se vinutí skládá z hliníkového pásku a fóliové izolace závitů z tenkého plastu. Třída izolace je F bez tepelné rezervy, kterou izolační systém běžných transformátorů neumožňuje. Docela jinak je to u SGB suchých transformátorů, neboť SGB používá **dvouvrstvé vinutí z izolovaných vodičů**, u nichž je primární izolace tvořena buď vysoce tepelně odolným polyesterovým lakem s teplotním indexem 200°C, nebo Nomexem s teplotní třídou C (220°C). Jelikož jsou SGB transformátory dimenzovány podle teplotní třídy F (155°C), má primární izolace **značnou teplotní rezervu, kterou lze využít při proudovém přetížení.**

- Potlačení rázových napětí

Jen SGB suché transformátory mají **dvouvrstvé polohované vinutí VN** cívk zalité pod vakuem. To značně zvyšuje bezpečnost při působení rázových napětí, která jsou způsobena úderem blesku nebo vakuovými spínači. Běžné vinutí cívek ostatních transformátorů (ABB Zaragoza, Siemens Geafol, Schneider Trihal, SEA, TMC, BEZ Bratislava, GBE, a.j.) vede k velmi rozdílnému napěťovému namáhání zvláště vstupních závitů, protože 70% rázového namáhání se vyskytne na prvních 30% závitů. Riziko závitového zkratu se tím značně zvyšuje. Dvouvrstvé vinutí SGB naproti tomu **zaručuje lineární rázové namáhání pro všechny závity** v dané cívce.

SGB vyrábí suché transformátory ve výrobním závodě Regensburg již více než 30 let. Tím se SGB řadí k celosvětově nejzkušenějším výrobcům. Toto mimořádné know-how se odráží ve zvláště vysokém ukazateli kvality, jako např. MTBF (Mean Time Between Failures = střední doba mezi poruchami) přes **1700 let.**

- Silné a slabé stránky jednotlivých výrobních procesů suchých transformátorů

Typ zalévání	Vlhký proces navíjení	Ve vakuu zalévané, pryskyřice smíchaná s křemičitou moučkou	Ve vakuu zalévané, čistá pryskyřice posílená skelnými vlákny
Výrobce	ABB Resibloc	Siemens a jeho klony (Schneider, ABB Zaragoza, SEA, GBE, BEZ, TMC...)	SGB
Rozložení napětí	Dobré díky dvouvrstvému polohovanému vinutí	Špatné kvůli diskovému vinutí z fólie	Dobré díky dvouvrstvému polohovanému vinutí
Částečné výboje	Výborné pro nižší napětí, horší pro 20 a 30 kV díky impregnaci za atmosférických podmínek; skelná vlákna s vodní vrstvou na povrchu	Dostačující díky vysoké viskozitě pryskyřičné směsi; jednotlivé disky vinutí jsou pouze zapouzdřené	Výborné díky nízké viskozitě čisté pryskyřice při pracovní teplotě, jednotlivé vodiče jsou kompletně zalité
Přetížitelnost	Dobrá, vysoký obsah skelného vlákna a teplotní index izolace vinutí odolává teplotním a mechanickým namáháním	Minimální, vodivé fólie jsou izolovány polyesterovými pláty, Minor, (teplotní index 145°C), žádné interní zesílení skelným vláknem	Dobrá, izolace vodičů má teplotní index 200°C, homogenní zesílení pomocí skelných vláken
Teplotní šoky	Dobré, vysoký obsah skelného vlákna, radiální posílení	Dostačující, nutné použít vnitřní a vnější vrstvu skelných vláken, bez interního zesílení	Dobré, homogenní zesílení pomocí skelných vláken
Spolehlivost výrobního procesu	Závislá na přesnosti pracovníka vyrábějícího cívku	Dobrá, proces může být z velké části automatizován	Dobrá, proces může být z velké části automatizován

Samozřejmostí jsou jakostní certifikáty kvality ISO 9001, životního prostředí 14001 a bezpečnosti práce BS OHSAS 18001.

- Od roku 1996 je v České republice v provozu v provozu 3193 suchých transformátorů se značkou SGB.