

Modeling and Testing of Insulation Degradation due to Dynamic Thermal Loading of Electrical Machines

Zhe Huang

Electrification of vehicles is becoming more popular for cars and heavy duty vehicles such as city buses and distribution trucks. The electrical machine plays an important role inside an electrified vehicle. It is used for propulsion either by itself in a full electrical vehicle or together with a combustion engine in a hybrid electrical vehicle. Similarly to a combustion engine the electrical machine is worn down by the use and stresses that it is exposed to. Among all types of failures inside the electrical machines, electrical insulation failures take a big portion. One of the statistical studies shows that 36% of electrical machines are failed because of the electrical insulation system failures of the stators.

This thesis focuses on understanding the usage of electrical machines inside electrical vehicles, the causes for machine insulation system aging, and the symptoms and diagnosis of aged machine insulations. The findings are as below:

- Compared to the constant power requirements of electrical machines used in many industry applications, the usage of electrical machines to power vehicles is very dynamic due to different traffic conditions. As a result, the heat inside the electrical machine generated during usage is also very dynamic. A system model is created to calculate the temperature profiles of the electrical machine with emulated different driving conditions. This model is used to investigate the dynamic temperatures the electrical machine is exposed to inside an electrified vehicle.
- The aging of the insulation system of an electrical machine used under dynamic conditions is not only caused by oxidation of insulations, but also caused by the fatigue in insulations due to thermal-mechanical stress induced by temperature cycles.
- Based on the findings above, a revised lifetime model for electrical machines for vehicle application is proposed. This lifetime model covers both aging effects mentioned above. The model is verified by comparison with accelerated lifetime testing.
- During the accelerated lifetime testing, insulation capacitance shows more consistent trends during aging at different stress levels compared to insulation resistance. Insulation capacitance reduction of 4 to 6% and 11 to 12% are found between winding and winding and between winding and ground, respectively.
- A diagnostic method for measuring the high frequency current with a simple voltage pulse is proposed. The current changes detected are indications of aging of the insulation system of an electrical machine due to the decrease of the insulation capacitance.

Through this research, we now have a deeper understanding of the aging of electrical machines, particularly the insulation systems. By unraveling the root causes for electrical machine aging, we can design more long-lasting machines. Also, with the lifetime model we provide a tool for designing electrical machines with the required lifetime. By calculating the correct requirements for the electrical machine and thereby the power electronics and battery, component and system cost can be held at a minimum. Finally, our diagnostic method can be implemented during maintenance and service of electrified vehicles to ensure prolonged quality of the electrical machine.

Modellering och provning av isolationsmaterials nedbrytning vid temperaturcykling av elektriska maskiner

Zhe Huang

Elfordon blir alltmer populära och eldrift väntas på sikt bli den dominerande framdrivningsmetoden för bl.a vägfordon. Elmotorer spelar därför en avgörande betydelse. De används för framdrift av fordonet endera själva eller tillsammans med en förbränningsmotor i ett s.k hybridfordon. På liknande sätt som förbränningsmotorer slits så slits också elektriska motorer utav de påkänningar de utsätts för. Av de fel som kan förekomma är isolationsfel de allra vanligaste. Statistik visar att 36 % av alla elmotorhaverier beror på isolationsfel i statorlindningarna.

Denna avhandling fokuserar på att bygga förståelse för åldrandeprocessen ghs elektriska drivmotorer för el- och hybridfordon, orsakerna till åldrandet hos isolationsmaterialen, symptom och diagnosmetoder hos åldrade maskiner. Lärdomarna är följande:

- Jämfört med industrimotorer som ofta drivs lång tid vid samma temperatur, så utsätts drivmotorer till fordon för mycket stora variationer som en följd av den s.k "körkylk", d-v.s accelerationer, inbromsningar och konstanfart blandat på olika sätt. Som ett resultat frigörs värme i maskinen med mycket stora variationer över tid. En systemmodell är utvecklad som beräknar denna värmefrigörelse. Modellen används till att undersöka temperaturvariationerna hos elektriska drivmotorer i elfordon.
- Isolationsmaterialets åldrande under inverkan av höga temperaturer beror inte bara på oxidation av materialet. När temperaturen varierar utsätts lindningen och dess isolationsmaterial för stora mekaniska påkänningar orsakat av olika längdutvidgning med temperatur hos dessa olika material.
- Baserat på kunskaper byggda om hur temperatur och temperaturvariationer åldrar elektriska isolationsystem har modeller för att bestämma livslängd hos dessa utvecklats. Modellerna är verifierade med experiment vid extra förhöjd temperatur för accelererad åldring.
- Under inverkan av accelererad åldring visar sig kapacitansen mellan lindning och magnetisk kärna ådras på ett mer förutsägbart sätt än resistansen. Kapacitansen mellan lindningar sjunker med 4..6 % och kapacitansen lindning till kärna med 11...12 % innan isolationen slutar fungera.
- En diagnostisk metod för att, genom mätning av högfrekvenskomponenter i strömmen, detektera dessa kapacitansers åldrande föreslås i avhandlingen.

Avhandlingen ger en fördjupad förståelse för åldrandeprocessen i elektriska maskiners isolationssystem. Denna ökade förståelse ger möjligheten att designa elektriska motorer med en mer optimerad livslängd, med "rätt" livslängd. Däigenom kan också totalkostnaden för hela drivsystem, inklusive batterier, kraftelektronik mm hållas på ett minimum. Slutligen kan den utvecklade diagnostiska metoden användas för att vid regelbundet underhåll av fordonet kontrolleras det elektriska drivsystemets hälsa.