

MOSFET enabled Low-Voltage High-Current DC Traction Drive

A pioneering concept for battery electric vehicles

Stefan Haller

Main supervisor: Prof. Bengt Oelmann

Co-supervisor: Dr. Peng Cheng

Faculty of Science, Technology and Media
Thesis for Licentiate Degree in Electronics Design
Mid Sweden University
Sundsvall, 2019-06-17

Akademisk avhandling som med tillstånd av Mittuniversitetet i Sundsvall framläggs till offentlig granskning för avläggande av teknologie licentiatexamen i elektronik **måndag den 17 juni 2019**, klockan **14.00** i sal **O102**, Mittuniversitetet Sundsvall.
Seminarier kommer att hållas på engelska.

**MOSFET enabled Low-Voltage
High-Current DC Traction Drive**
A pioneering concept for battery electric vehicles

© Stefan Haller, 2019
Printed by Mid Sweden University, Sundsvall
ISSN 1652-8948
ISBN 978-91-88527-90-5

Faculty of Science, Technology and Media
Mid Sweden University, Holmgatan 10, SE-851 70 Sundsvall, Sweden
Phone: +46 (0)10 142 80 00
Mid Sweden University Licentiate Thesis 153

ABSTRACT

In the mid 19th century, the first electric vehicles were constructed. Since the early 20th century, they have progressively been replaced by successors with internal combustion engines. Nowadays, as the consequences of using fossil fuels are better understood, our society is transitioning back to electric vehicles. However, this transition is not without challenges. An electric car should be at least as comfortable, safe and reliable as conventional ones. Charging them should be fast and efficient, similar to refueling at a petrol station. In addition, they are expected to be sustainable and environmental friendly.

While the industry has long experience with high-voltage electrical machines, the required battery technology is quite new. Currently, the battery is the most costly part of an electric drivetrain with the highest environmental impact. Thus, it should be used in an efficient manner. However, most electric vehicles today use high-voltage traction drives which require a complex and expensive battery pack design.

In this thesis the author proposes a solution that breaks with the electric machine design principles that have been applied for more than a century. To increase the efficiency, safety and redundancy while reducing the cost, a low-voltage but high-current traction drive is proposed. This drive operates with voltages below 60 V and is designed to be powered by a battery. Unlike common high-voltage traction drives, it uses a single-turn winding and reaches a copper fill-factor of 0.84 on a small-scale 1.2 kW prototype. With its MOSFET-based power electronics, a terminal-to-terminal resistance of 0.23 m Ω is achieved. This air cooled prototype was successfully operated with drive currents up to 600 A under continuous operation, resulting in resistive MOSFET losses below 21 W.

These measurement results and the trend of significant loss reduction by more than 62 % between the first and second prototype indicates the potential of such low-voltage high-current drives. This work shows that for battery powered traction drives, it needs to be questioned whether high-voltage designs are still the best choice with today's power electronics.

SAMMANFATTNING

I mitten av 1800-talet kom de första motoriserade fordonen, och de var elektriska. Men efter det, har dessa successivt ersatts av fordon drivna av förbränningsmotorer som redan tidigt 1900-tal, blev totalt dominerande. Idag har samhället bättre kunskap om konsekvenserna av att använda fossila bränslen som drivmedel. Nu kan vi se en gradvis övergång tillbaka till användning av elektriska fordon. Den här övergången är inte utan tekniska utmaningar. Elbilar ska ha samma komfort, säkerhet, tillförlitlighet och prestanda som konventionella bilar. Laddningen ska vara snabb och effektiv på ett sätt som liknar att tanka på bensinstationen. Det förväntas även att de ska vara baserade på teknologier som är hållbara och miljövänliga.

Sett till teknologiernas mognad så har industrin lång erfarenhet av elektriska maskiner i jämförelse med den batteriteknologi som krävs för elbilar. Idag är batteriet den komponent som kostar mest i en elektrisk drivlina och har den största miljöpåverkan. Därför ska batteriet användas på ett så effektivt sätt som möjligt.

I den här avhandlingen föreslås en elektrisk motor som bryter mot de rådande principer som har tillämpats under ett århundrande. Den föreslagna motorn arbetar med låg spänning men med höga strömmar i syfte att åstadkomma hög effektivitet, säkerhet och redundans. Den här motorn drivs med spänningar under 60 V och är därmed bättre anpassad för att strömförsörjas av batterier. Till skillnad från högspänningstraktionsmotorer så baserar sig den framtagna småskaliga prototypen på en varvslindning med en fyllfaktor på 0.84 och är på 1.2 kW. Med MOSFET-baserad kraftelektronik så är terminal-till-terminal resistansen 0.23 m Ω . Den luftkylda prototypen har med framgång kontinuerligt drivits med strömmar upp till 600 A. Förlusten i MOSFET-transistorerna är då mindre än 21 W.

Dessa mätresultat samt den trend i förbättringar som visas i den här avhandling mellan första och andra prototypen, indikerar potentialen som motorer som arbetar med lågspänning och hög ström har. Det här arbetet visar att för batteridrivna traktionsmotorer finns det anledning att ifrågasätta huruvida högspänningsmotorer fortfarande är det bästa valet.