

Ph.D. Thesis Abstract

Name of the student: Himanshu Swami

Entry No.:2017EEZ8187

Department: Electrical Engineering

Title of the thesis:

Design, development, and control of an electric cart with motorized rear wheels.

Abstract

In this thesis, the main focus is on the design, development, and control of a low-speed battery-operated electric cart, a four-wheeled prototype fitted with motorized rear wheels. The rear-side wheels are the driving wheels, and front-side wheels are driven wheels. The front-side wheels are attached to the steering mechanism. The rear motorized wheels are realized using the hub type of permanent magnet synchronous machine (PMSM). Since both the rear wheels are equipped with individual motors, the mechanical differential gear, which is an integral part of the conventional on-road four-wheeler, gets eliminated. This offers space-saving to accommodate the on-board battery bank. However, it increases the complexity of the vehicle, as it needs an electronic differential mechanism or active yaw moment control. This is the central idea behind this thesis.

Since the prototype is equipped with motorized rear wheels, two types of motors are explored in the thesis. These are squirrel-cage induction motor (SCIM) and permanent-magnet synchronous motor (PMSM). Therefore, the thesis also discusses the vector-control technology behind the speed control of SCIM and PMSM. These motors are also compared for the suitability to this project. The PMSM has higher torque density, lesser current consumption, higher efficiency, close to unity power factor, and smaller size. On the other hand, the SCIM is a better option for the constant power drive and it requires a speed reduction gear for optimum utilization. Therefore, the surface mount PMSM motor (hub motor) is preferred over the SCIM.

Two motor control units (MCUs) or two level inverters based on the vector control were designed, developed, and implemented from scratch during the course of this project work. The details of the developed inverters are not discussed and are considered trivial.

Further, the vehicle needs sensing of yaw angle and implementation of electronic differential; therefore, an inertial measurement unit (IMU) and a vehicle control unit (VCU) were also designed, developed, and implemented. The IMU was based on the BNO055, a 9-DOF micro-electromechanical sensor (MEMS) from Bosch, and the VCU was realized using an embedded controller based on Arduino Nano.

The major contributions of the thesis are indigenous design and development of VCU, MCU, and IMU and their integration to realize a working prototype of an electric cart using a readily available golf cart chassis, an industry-standard battery bank, and PMSM hub motors. In essence, the thesis encompasses vehicle dynamics (both longitudinal and lateral), vector-control of PMSM and induction motors, inertial measurement unit, and electronic differential of a single-track, low-speed, battery-operated electric cart (four-wheeled prototype) with motorized rear wheels.

The other contribution of the thesis is the outcome of the research work done on speed control of three-phase squirrel cage induction machines. Several new control algorithms related to speed control of SCIM are invented, tested, and published in the reputed international conferences and journal.

The built prototype is the application oriented research work done for the industry and the work done in the area of speed control of SCIM is the fundamental research done for the academics during the course of this project.

सार

इस थीसिस में, मुख्य फोकस कम स्पीड वाली बैटरी से चलने वाली इलेक्ट्रिक कार्ट के डिज़ाइन, डेवलपमेंट और कंट्रोल पर है, जो एक चार पहियों वाला प्रोटोटाइप है जिसमें मोटर वाले पिछले पहिए लगे हैं। पीछे के पहिए ड्राइविंग पहिए हैं, और आगे के पहिए ड्रिवन पहिए हैं। आगे के पहिए स्टीयरिंग मैकेनिज्म से जुड़े होते हैं। पीछे के मोटर वाले पहिए हब टाइप की परमानेंट मैग्नेट सिंक्रोनस मशीन (PMSM) का इस्तेमाल करके बनाए जाते हैं। चूंकि दोनों पिछले पहियों में अलग-अलग मोटर लगी होती हैं, इसलिए मैकेनिकल डिफरेंशियल गियर, जो पारंपरिक ऑन-रोड फोर-व्हीलर का एक ज़रूरी हिस्सा होता है, खत्म हो जाता है। इससे ऑन-बोर्ड बैटरी बैंक को रखने के लिए जगह बचती है। हालांकि, इससे गाड़ी की कॉम्प्लेक्सिटी बढ़ जाती है, क्योंकि इसके लिए इलेक्ट्रॉनिक डिफरेंशियल मैकेनिज्म या एक्टिव यॉ मोमेंट कंट्रोल की ज़रूरत होती है। यही इस थीसिस के पीछे का सेंट्रल आइडिया है।

चूंकि प्रोटोटाइप में मोटर वाले पिछले पहिए लगे हैं, इसलिए थीसिस में दो तरह की मोटरों के बारे में बताया गया है। ये हैं स्क्रिल-केज इंडक्शन मोटर (SCIM) और परमानेंट-मैग्नेट सिंक्रोनस मोटर (PMSM)। इसलिए, थीसिस में SCIM और PMSM के स्पीड कंट्रोल के पीछे वेक्टर-कंट्रोल टेक्नोलॉजी पर भी चर्चा की गई है। इन मोटरों की तुलना इस प्रोजेक्ट के लिए उनकी उपयुक्तता के आधार पर भी की गई है। PMSM में ज़्यादा टॉर्क डेंसिटी, कम करंट की खपत, ज़्यादा एफिशिएंसी, यूनिटी पावर फैक्टर के करीब और छोटा साइज़ होता है। दूसरी ओर, SCIM लगातार पावर ड्राइव के लिए एक बेहतर ऑप्शन है और इसके सबसे अच्छे इस्तेमाल के लिए स्पीड कम करने वाले गियर की ज़रूरत होती है। इसलिए, SCIM के बजाय सरफेस माउंट PMSM मोटर (हब मोटर) को प्राथमिकता दी जाती है।

इस प्रोजेक्ट के काम के दौरान वेक्टर कंट्रोल पर आधारित दो मोटर कंट्रोल यूनिट (MCUs) या दो लेवल इन्वर्टर को शुरू से डिज़ाइन, डेवलप और इम्प्लीमेंट किया गया था। डेवलप किए गए इन्वर्टर की डिटेल्स पर चर्चा नहीं की गई है और उन्हें मामूली माना जाता है।

इसके अलावा, गाड़ी को यॉ एंगल की सेंसिंग और इलेक्ट्रॉनिक डिफरेंशियल को इम्प्लीमेंट करने की ज़रूरत होती है; इसलिए, एक इनर्शियल मेज़रमेंट यूनिट (IMU) और एक व्हीकल कंट्रोल यूनिट (VCU) को भी डिज़ाइन, डेवलप और इम्प्लीमेंट किया गया था। IMU, BNO055 पर आधारित था, जो बॉश का एक 9-DOF माइक्रो-इलेक्ट्रोमैकेनिकल सेंसर (MEMS) है, और VCU को Arduino Nano पर आधारित एक एम्बेडेड कंट्रोलर का इस्तेमाल करके बनाया गया था।

थीसिस का मुख्य योगदान VCU, MCU, और IMU का स्वदेशी डिज़ाइन और डेवलपमेंट और आसानी से उपलब्ध गोल्फ कार्ट चैसिस, एक इंडस्ट्री-स्टैंडर्ड बैटरी बैंक, और PMSM हब मोटर्स का इस्तेमाल करके इलेक्ट्रिक कार्ट के वर्किंग प्रोटोटाइप को बनाने के लिए उनका इंटीग्रेशन है। असल में, थीसिस में व्हीकल डायनामिक्स (लम्बाई और साइड दोनों), PMSM और इंडक्शन मोटर्स का वेक्टर-कंट्रोल, इनर्शियल मेज़रमेंट यूनिट, और मोटर वाले पिछले पहियों वाली सिंगल-ट्रैक, कम स्पीड वाली, बैटरी से चलने वाली इलेक्ट्रिक कार्ट (चार पहियों वाला प्रोटोटाइप) का इलेक्ट्रॉनिक डिफरेंशियल शामिल है।

थीसिस का दूसरा योगदान थ्री-फेज स्क्रिल केज इंडक्शन मशीनों के स्पीड कंट्रोल पर किए गए रिसर्च वर्क का नतीजा है। SCIM के स्पीड कंट्रोल से जुड़े कई नए कंट्रोल एल्गोरिदम बनाए गए हैं, टेस्ट किए गए हैं, और जाने-माने इंटरनेशनल कॉन्फ्रेंस और जर्नल में पब्लिश किए गए हैं।

बनाया गया प्रोटोटाइप इंडस्ट्री के लिए किया गया एप्लिकेशन ओरिएंटेड रिसर्च वर्क है और SCIM के स्पीड कंट्रोल के एरिया में किया गया काम इस प्रोजेक्ट के दौरान एकेडेमिक्स के लिए किया गया फंडामेंटल रिसर्च है।