

Radnabenmotoren

Der erste Plattformwagen mit Radnabenantrieb

17.05.2021 | Autor / Redakteur: Max Keßler * / Gerd Kucera

Das Stuttgarter Start-up WMT hat zwei Räder eines Plattformwagens elektrifiziert. Damit gibt es erstmals einen E-Antrieb für Werkstattwagen, um kollaborative Tätigkeiten zu erleichtern.



<<https://cdn1.vogel.de/unsafe/fit-in/1000x0/images.vogel.de/vogelonline/bdb/1838200/1838287/original.jpg>>

Schiebehilfe: Ab dem dritten Quartal 2021 geht das Antriebssystem bei der WMT in Serie; Engineering-Kits für den Musterbau sind verfügbar.

(Bild: Bild: WMT/Adrian Hofrichter)

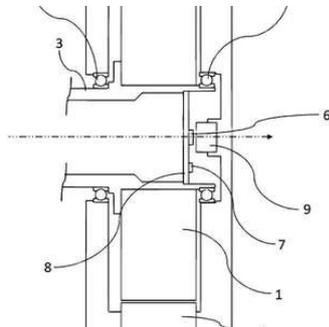
Zwar ist die Kollaborativ-Technik der Grundlagenforschung entwachsen und geeignete Lösungen werden vermehrt in der industriellen Praxis eingesetzt. Doch noch immer gibt es Platz für hilfreiche Innovationen, wie das Stuttgarter Start-Up WMT (Wir Machen Technik) beweist. Sechs kluge Köpfe stellten sich die Frage, wie Mensch und Maschine beim Lastentransport von einigen hundert Kilogramm sinnvoll zusammenarbeiten können. Was in der Robotik seit Jahren gang und gäbe ist, findet bei Flurförderzeugen noch kaum Anwendung. Noch immer werden Gitterwagen oder Plattformwagen rein durch Muskelkraft bewegt. Erst bei deutlich schwereren Lasten kommen Fahrzeuge zum Einsatz, die von einem Elektromotor angetrieben werden, etwa Elektro-Hubwagen oder E-Gabelstapler. Doch wie können bei mittleren Lasten von einigen hundert Kilogramm Mensch und Maschine zusammenarbeiten? Wie kann ein unterstützender, elektrischer Antrieb in Transportwagen eingebaut werden, der dem Nutzer hilft und es gleichzeitig ermöglicht, dass der Wagen auch von Hand geschoben werden kann? Nachfolgend zeigt der Artikel die

Funktionsweise eines getriebelosen Radnabenantriebs für Kleinfahrzeuge und deren unterstützenden Einsatz.

Auch mit Nabenantrieb von Hand schiebbar

Radnabenantriebe (auch Direct Drive genannt) ohne Getriebe kennen wir aus E-Bikes. Auch jedes Hoverboard oder elektrische Skateboard besitzt zwei einfache Antriebe dieser Bauart. Der große Vorteil ist, dass der Benutzer das Fahrzeug auch ohne aktivierten Motor einfach bewegen kann. Eine Alternative zu derartigen Direktantrieben ist ein Getriebemotor. In diesem Fall kann ein einfacher Gleichstrommotor (DC-Motor/Direct Current Motor) mit einer hohen Untersetzung, oft ein Schneckengetriebe, verwendet werden. Häufig sind dafür Scheibenwischer-Motore zweckentfremdet. Bei einer derartigen Konstruktion ist es aber kaum möglich, den Wagen von Hand ohne Motorunterstützung zu schieben, da das Getriebe hemmt. Gerade bei Rangiervorgängen ist dies wenig anwenderfreundlich.

BILDERGALERIE



Radnabenmotore brauchen Sensoren: Vor- & Nachteile

Radnabenantriebe sind im Gegensatz zu den erwähnten DC-Motoren fast immer als Drehstrom-Synchromaschinen ausgeführt, auch BLDC-Motor (Brushless Direct Current) genannt. Die meisten Radnabenantriebe sind Außenläufer, der Rotor besitzt einen großen Durchmesser und ist mit Permanentmagneten bestückt. Er dreht sich um den Stator mit den Wicklungen. Diese Bauform ermöglicht ein hohes Drehmoment bei geringer Länge. Im Vergleich zu DC-Getriebemotoren ist eine aufwändige Ansteuerung der meist drei Motorwicklungen notwendig. Diese müssen nacheinander bestromt werden, passend zur Position des umlaufenden Rotors. Dessen Position ist mittels im Stator eingebauten binären Hallsensoren messbar, wozu die Hallsensoren die Rotormagneten abtasten. Alternativ kann ein Encoder (optisch oder magnetisch) axial angebaut werden, oft ein Zukaufteil für den Motorhersteller. Ein Encoder bietet gegenüber der Auswertung der Position der Rotormagneten mittels Hallsensoren eine höhere Auflösung. Damit sind sanftere Anfahr- und Bremsvorgänge möglich, da die Motorwicklungen in mehreren Zwischenschritten bestromt werden. Allerdings können extern angebaute Encoder leicht durch Fußtritte oder Hindernisse am Boden beschädigt werden.

Integrierter Encoder sorgt für ein sanftes Anfahren

Beim Radnabenantrieb der WMT ist ein 1024-Bit-Absolutencoder in der Mitte des Stators verbaut. Auf einer kleinen Platine sitzt ein Encoder-IC, welcher von einem diametral magnetisierten Magnet durchflutet wird. Dieser Magnet ist mit dem Gehäuse des Rades verbunden. Das Konzept dieser Anordnung ist unter der Nummer EP21160209.9 beim Europäischen Patent- und Markenamt angemeldet. Die Hallsensoren im

Encoder-IC erkennen die rotative Lage des Magneten. Der Winkelwert wird direkt vor Ort zusammen mit einem Temperaturwert durch einen Mikrocontroller (μC) auf CAN-Bus umgesetzt und an die Steuerung übertragen.

Bei der klassischen Rotorlagenerfassung von BLDC-Motoren werden drei Hallsensoren verwendet. Zusammen mit einer weiteren Leitung für einen analogen Temperatursensor ergeben sich mindestens sechs Leiter. Bei der von WMT verbauten Lösung reichen vier Leiter, was sich auch in dünneren Kabeln und kleineren Steckern niederschlägt.

Für jede Rotorposition muss ermittelt werden, wie die drei Phasen des Motors zu bestromen sind. Hierfür könnte die Steuerung mittels trigonometrischer Funktionen die Werte ermitteln. Abhängig von Drehzahl, Encoderauflösung und Mikrocontroller dauert dies aber zu lange. Daher werden die Werte oft nur in einer im Voraus berechneten Tabelle nachgeschlagen. Der Speicher der meisten Mikrocontroller ist mittlerweile so groß, dass eine Tabelle mit Werten problemlos gespeichert werden kann.

Im Vergleich zur Erfassung der Rotorlage mittels Hallsensoren im Stator ergibt sich bei Encodern eine um 10- bis 20-fach höhere Auflösung, abhängig von der Polpaarzahl des Motors. Durch die hohe Auflösung des Encoders sind genaue Positionsfahrten möglich, wie sie bei AGVs (Autonome Transportfahrzeuge) notwendig sind. Auch Anfahr- und Bremsvorgänge sind sehr sanft, das bekannte Ruckeln (Drehmoment-Ripple) von langsam drehenden Elektromotoren ist nicht vorhanden.

Modularität ermöglicht einfache Varianten

Insbesondere bei preisgünstigen Radnabenantrieben ist der Reifen/Laufbelag teilweise fest mit der Felge und dem Motor verbunden. Gleichzeitig bieten Hersteller oft Radnabenantriebe, inklusive montierter Bereifung, in verschiedenen Durchmessern und auch Breiten an. Man kauft fertige, nicht konfigurierbare Antriebslösungen und muss gegebenenfalls sein Fahrzeug anpassen, um die Radnabenantriebe montieren zu können. Das Radnabenantriebssystem der WMT geht hier einen anderen Weg: Der Radnabenmotor besteht nur aus dem Stator mit Flansch sowie einem Rotor, welcher den Stator wasser- und staubdicht umschließt. Dieser Kern des Antriebssystems ist in radialer und axialer Dimension minimal konstruiert. Auf den Kern wird eine Felge mit Laufbelag montiert. Hierbei kann sowohl ein Standardprodukt als auch projektspezifisch eine Felge verwendet werden. Durch diese Konstruktion lassen sich verschiedene Durchmesser und Breiten mit dem gleichen Motor realisieren, lediglich Felge und Laufbelag sind projektbezogen gefertigt. Die Felge mit Laufbelag ist auch im Feld schnell wechselbar; bei Verschleiß oder sich ändernden Anforderungen, zum Beispiel wenn ein Fahrzeug auf einem anderen Boden benutzt werden soll. Anstelle der Felge können auch axial Komponenten angeflanscht werden, zum Beispiel Rührwerke oder Kettenräder.

So steuert der Mikrocontroller den benötigten Strom

Wie erwähnt ist eine wichtige Komponente jedes BLDC-Antriebssystems der Motorcontroller mit Leistungselektronik. Bei sehr einfachen Steuerungen, beispielsweise für Lüfter oder Pumpen kann die Funktion in Hardware realisiert werden. In der Regel kommt hierfür ein μC zum Einsatz. Es gibt unter anderem von Infineon und Toshiba spezielle Bausteine, welche neben der CPU und Peripherie auch eine Treiberstufe für die MOSFETS der Leistungselektronik beinhalten. Prinzipiell ist aber jeder μC geeignet, der die notwendigen Funktionen hat. Pro Motor werden auf dem μC drei Timer-Ausgänge für die Puls-Weiten-Modulation (PWM) der Motorphasen benötigt sowie Eingänge für die Sensoren, welche die Rotorlage

erfassen. Die sensorlose Ansteuerung, wie sie bei schnelldrehenden Modellbaumotoren oft zum Einsatz kommt, oder bei Spezialmotoren mit mehr als drei Phasen, sollen nicht Teil dieses Artikels sein.

Bei der Auswertung der Hallsensoren werden drei normale Pins benötigt, beim Antriebssystem der WMT wird der von den Radnabenantrieben kommende CAN-Bus auf den μC geführt.

Die Strommessung in der Leistungselektronik

Neben diesen notwendigen Funktionen kann die Steuerung noch weitere Eigenschaften haben. Eine wichtige Komponente ist die Strommessung. Sie kann entweder in der Zuleitung zur Leistungselektronik erfolgen, dann misst man den Gesamtstrom des Motors. Eine weitere Option ist die Messung der drei Phasenströme in der Zuleitung der drei Halbbrücken. In beiden Fällen kann der Strom mittels Shunt oder nach dem Hall-Prinzip arbeitenden Stromsensoren gemessen werden. Schließlich kann auch der Strom in den drei Leitungen, die zum Motor gehen, erfasst werden (Strang-Strom). Hierfür sind spezielle Stromsensoren notwendig, welche für die ständig wechselnden Potentiale ausgelegt sind.

Welche Form der Strommessung verwendet wird, hängt maßgeblich von der Anwendung ab. Mit der Messung des Gesamtstroms in der Zuleitung ist das abgegebene Drehmoment regelbar, dies ist beim unterstützenden Betrieb von Bedeutung. Im Bremsfall, wenn der Motor generatorisch wirkt, kann so verhindert werden, dass der Motor einen zu hohen Strom in den Akku zurückspeist. Die Messung der Ströme der drei Halbbrücken ermöglicht eine einfache Erfassung eines Kabelbruchs. Misst die Steuerung zwei der Strang-Ströme (den dritten kann sie anhand der Knotenregel errechnen), dann ist eine feldorientierte Regelung möglich. Diese wird vor allem bei großen BLDC-Motoren eingesetzt und soll ebenfalls an dieser Stelle nicht weiter betrachtet werden. Zusätzlich zur Stromerfassung ist es empfehlenswert, auch die Temperatur der Leistungselektronik zu messen und zu überwachen sowie die Batteriespannung.

Für ein Gesamtsystem werden üblicherweise zwei Steuerungen eingesetzt. Eine von ihnen übernimmt die zuvor beschriebene Motorsteuerung und ist per Feldbus mit einer übergeordneten Steuerung, der zweiten Steuerung, verbunden. Diese verarbeitet dann Signale von HMIs (Human Machine Interface) und weiteren Sensoren und enthält auch die Systemlogik. Vorteil dieser Lösung ist die freie Auswahl der übergeordneten Steuerung. Allerdings wird zusätzlich Platz verbraucht und Kosten werden erzeugt. Beim Antriebssystem der WMT jedoch sind Motorsteuerung und Systemlogik vereint. Sowohl HMIs als auch Sensoren können direkt an die Motorsteuerung angeschlossen werden.

Gesteuert und geregelt wird in Echtzeit

Die Motorsteuerung ist auf Echtzeitfähigkeit angewiesen; es muss immer sichergestellt sein, dass jederzeit die passenden Sollwerte zur Rotorposition generiert und gesetzt werden können. Die CAN-Nachrichten der Radnabenantriebe werden in einem Interrupt verarbeitet und die Stellgrößen in der Tabelle nachgeschlagen. Alle anderen Prozesse wie Geschwindigkeits- oder Stromregelung, Steuerung des Interfaces, Logging und Überwachung erfolgen in einer zyklischen Programmschleife. Besondere Beachtung gilt dabei dem Austausch von Werten über Variablen zwischen dem zyklischen Programmablauf und den Interrupts. Es muss beispielsweise verhindert werden, dass während eines Schreibvorgangs auf eine Variable, welche aus mehreren Bytes besteht, ein Interrupt auslöst. Wenn der Interrupt die erst teilweise neu beschriebene Variable liest, bekommt er einen falschen Wert, der weder dem alten noch dem neuen Wert der Variablen entspricht.

Die Motorsteuerung der WMT kann mit einem Steuergerät aus der Automobilindustrie verglichen werden. Es gibt Basisfunktionen, beispielsweise die Ansteuerung der Motoren, die Temperaturüberwachung oder Fehlererkennung. Diese Funktionen bilden Schnittstellen, wo kundenspezifischer Code „eingeklinkt“ werden kann. Dadurch wird der Aufwand für die Erstellung von applikationsspezifischem Code deutlich reduziert und alle Kundenprojekte profitieren automatisch von Weiterentwicklungen der Basis-Software.

Die Steuerung kann Fahrbefehle auf verschiedene Arten entgegennehmen und verarbeiten. Möglich sind:

- Fahrbefehl über einen Taster (es wird mit einer einstellbaren Rampe auf eine gewünschte Geschwindigkeit beschleunigt),
- Fahrbefehl über ein Daumengas (über das eine Unterstützung eingestellt wird),
- Fahrbefehl und weitere Parameter wie Maximalgeschwindigkeit von einem HMI per CAN-Bus,
- Fahrbefehl von einer Systemsteuerung per UART oder USB oder CAN-Bus,
- Fahrbefehle von einem Kamerasystem oder Navigationssystem für Linienfolger-Fahren oder autonomes Fahren.

Ein wichtiges Thema bei Systemen welche Software enthalten ist die Update-Fähigkeit. Bei manchen Herstellern von Steuerungen sind hierfür teure Spezialkabel oder eine spezielle Software erforderlich. Üblich ist auch der Tausch von Speicherkarten, auf denen das Programm gespeichert ist. Auf die Steuerung der WMT kann per einfachem USB-Kabel neue Software aufgespielt werden. Bei einem Software-Update im Feld reicht ein Notebook, ein USB-Kabel und ein kostenloses Tool für eine Update. Dieses Update kann auch der Anwender ausführen.

Zwei Radnabenantriebe mit integrierter Steuerung

Noch sind bei den meisten Antriebssystemen die Steuerung und der Radnabenantrieb voneinander separat aufgebaut. Ein Trend ist, die Steuerung und die Leistungselektronik in das Rad zu integrieren. Vorteile daraus sind unter anderem die nicht mehr vorhandenen Kabel zwischen Leistungselektronik und Stator, welche durch ihre Bestromung keine PWM-Abstrahlungen (EMV, EMC) verursachen, sowie die einfachere Montage und Verkabelung. Problematisch sind thermische Aspekte. Schließlich baut man in einer solchen Konfiguration die beiden größten Emittenten von Abwärme, den Stator und die Leistungselektronik, auf engstem Raum direkt nebeneinander.

Der hier im Artikel vorgestellte elektrische Radnabenantrieb und die dazu gehörige Steuerung werden von der WMT unter dem Produktnamen Core Drive System in den Markt eingeführt. Seit einem Jahr läuft die erfolgreiche Systemerprobung im Feldeinsatz bei mobilen Arbeitsplätzen und Transportwagen. Ab dem 3. Quartal 2021 ist das Antriebssystem bei der WMT erhältlich. Engineering-Kits für den Musterbau sind bereits verfügbar. Das Core Drive System eignet sich zur Elektrifizierung in verschiedenen Bereichen, beispielsweise in der Intralogistik und im Health-Sektor.

Vom Elektro-Rollator zur industriellen Lösung

Hans-Dieter Janssen, ist Mitglied der Geschäftsleitung PROTAURUS Produktion + Logistik, und resümiert die WMT-Technik: „Wir waren schon damals von der Implementierung der Urversion des Antriebs im

elektrischen Rollator ello fasziniert. Mit dem Core-Drive-System können wir uns nun viele weitere Szenarien für die Elektromobilität in der Logistik vorstellen. Etwa die Unterstützung unserer Etagen- und Plattformwagen oder unserer Materialheber. Hier könnten die Lösungen der Stuttgarter WMT (www.wmt.team) unsere Mobilitätsprobleme mit großen Schwenk- und Beschleunigungskräften lösen und die Ergonomie verbessern.“

* * Max Keßler ... ist Ingenieur für Mechatronik, Robotik & Automatisierungstechnik bei der WMT, Stuttgart.

(ID:47407563)

KOMMENTARE

Sie sind nicht angemeldet



KARRIERECHANCEN



→ <https://jobs.elektor.de/Elektrische+Antrieb>