

Prüfstand für E-Motoren der Daimler AG in Untertürkheim, geliefert von **Kristl, Seibt & Co.** Der Prüfling, hier ein Elektroantrieb mit integriertem Steuergerät, ist direkt am Prüfbett angeflanscht. Dadurch vermeidet man Spannungen und Achsversätze durch Temperaturänderungen, die bei sonst üblicher Fußmontage über Prüfwinkel entstehen würden. Sichtbar ist außerdem links die Glocke, hinter der sich der Drehmomentsensor verbirgt. Der Belastungsantrieb befindet sich jenseits der Wand. Weil die E-Motoren bei Drehzahlen bis zu 15.000 pro Minute getestet werden sollen, muss das Prüfbett bis 250 Hz schwingungsoptimiert sein (15.000 1/min entspr. 250 Hz). Die Luftlagerung des Gestells bewirkt eine sog. 3-Hz-Entkopplung gegenüber dem Gebäude.

Rechts: Arbeitsplatz im Beobachtungsraum. Links die beiden Bildschirme für die Prüfstandssteuerung und Datenerfassung. Hier laufen alle numerischen Werte auf, u. a. die Ergebnisse der Leistungsmessung mit dem WT3000. Rechts auf dem Bildschirm der Zustand des Prüfstands, erfasst und protokolliert mit einem ScopeCorder SL1000 von Yokogawa.

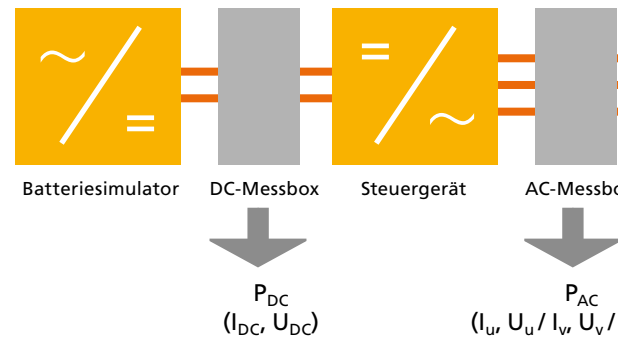
Momente

Daimler AG nimmt neuen Prüfstand für Elektromotoren in Betrieb

Rund vier Tonnen wiegt der kompakte Koloss und steht auf luftgefederten Füßen, damit sich Schwingungen nicht auf das Gebäude übertragen. Auch sonst kann der neue ‚Prüfstand für E-Antriebe‘ der Daimler AG in Untertürkheim mit beeindruckenden Zahlen aufwarten: Er ist auf eine mechanische Leistung von über 200 kW bei bis zu 450 Nm Drehmoment ausgelegt. Die Prüflinge: Elektromotoren/-antriebe, die in Fahrzeugen mit Hybridantrieben oder mit rein elektrischem Antrieb eingesetzt werden sollen.

Kennzeichnende Prüfparameter sind Leistungen und Wirkungsgrade, also Drehmomente, Drehzahlen und die Verluste, die den Antrieb aufheizen, statt die Leistung an die Welle (Motorbetrieb) bzw. an die Batterie (Generatorbetrieb) abzugeben. Wichtig ist auch die quantitative Beurteilung des akustischen Prüflingsverhaltens, im Fachjargon mit NVH – Noise, Vibration, Harshness – bezeichnet. Michael Lappe, der als Projektleiter den Prüfstand mit konzipiert hat, fasst es anschaulich zusammen: „Unsere erste Frage ist: Welche elektromagnetische Performance hat der Prüfling? Zweitens: Wie verhält es sich mit seinen Verlusten? Wie schaut das Wirkungsgradkennfeld aus? Hält er die Belastung thermisch überhaupt aus? Und drittens: Wie hört er sich denn so an?“

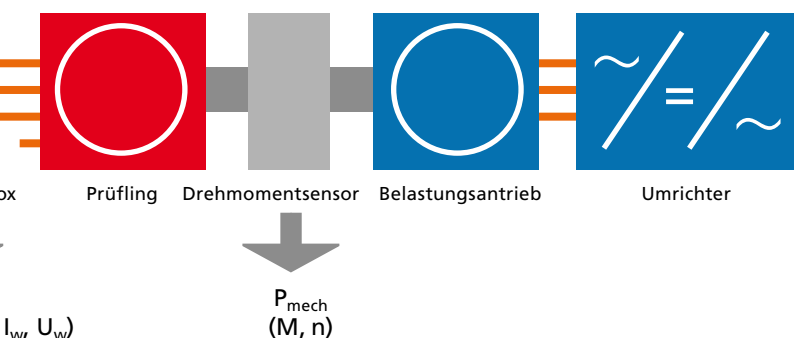
Um auch hierzu Aussagen generieren zu können, ist der Prüfraum mit reflexionsarmen Elementen ausgekleidet. Der Belastungsantrieb, der ebenfalls nicht geräuschos arbeitet, befindet sich hinter der Wand im Technikraum. Eine Zwischenwand sorgt weitgehend für eine akustische Abschottung, so dass sämtliche Geräusche der Nebenaggregate im Prüfraum nur sehr gedämpft wahrnehmbar sind. Dies erleichtert die Bewertung des NVH-Verhaltens. Der Belastungsantrieb, eine Drehstrom-Asynchronmaschine im Verbund mit einem großzünftig dimensionierten Umrichter, weist eine hohe Kurzzeit-Überlastfähigkeit auf. Dies verschafft dem Prüfstand eine große Regelreserve für dynamische Vorgänge. Und schließlich besteht der zu prüfende Elektroantrieb nicht nur aus dem Motor. Erst mit Batterie, Steuergerät und Regelung ist er komplett, und die wesentlichen Entwicklungsaufgaben bestehen tatsächlich in der sorgfältigen Abstimmung zwischen Motor, Steuerung und Batterie. Im Technikraum befindet sich deshalb eine weitere Kernkomponente des Prüfstands, ein Batteriesimulator, der Gleichspannungen bis 800 V erzeugen und Ströme von bis zu 600 A abgeben oder aufnehmen kann – also ein weiteres ‚Energiebündel‘.



Im Beobachtungsraum stehen dem Prüfstandsbetreiber über ein Automatisierungssystem sämtliche Versuchsparameter und Messwerte zur Verfügung, um für die Programmierung von Prüfläufen verwendet und in Form von Messwerten abgelegt zu werden: Drehzahl-/ Drehmoment-Sollwerte, Spannungen, Ströme, Leistungen, Schwingungen, Drücke sowie Temperaturen z. B. in den Wicklungen des E-Motors. Die Temperatur im Rotor wird telemetrisch erfasst. „Die Rotortemperatur bei permanent erregten Synchronmaschinen ist sehr heikel, weil die Magnete durch sie entmagnetisiert werden können“, erklärt Michael Lappe. „Das Magnetmaterial ist umso teurer, je höher die zulässige Betriebstemperatur ist, und im Rotor steckt in vielen Fällen eine größere Anzahl von Magneten. Sie können einen großen Teil der Kosten ausmachen.“

Den Kern der Messkette bildet die Leistungsmessung. Ein WT3000 von Yokogawa mit vier Kanälen ermittelt die mechanische und





die elektrische Leistung – die mechanische über den Hochpräzisions-Drehmomentsensor und die Drehzahlsensorik, die elektrische an der Wechselstromseite des Motors über drei Kompensationsstromwandler, so genannte Nullflusswandler, die Gleich- und Wechselströme gleichermaßen erfassen. Denn bei Spitzen-Wirkungsgraden von rund 95% für den Gesamtantrieb ist die Genauigkeit der gesamten Messung entscheidend, nicht allein die Grundgenauigkeit des Messgeräts. Eine weitere wichtige Eigenschaft des Geräts ist die zuverlässige Synchronisation auf die Grundschiwingung, um Spannung und Strom für die Leistungsbestimmung exakt über eine Periode zu integrieren, und zwar von niedrigsten Frequenzen – fast vom Stillstand an – bis in den Kilohertzbereich. „Aufgrund der hohen Leistungsdichte setzen wir sehr hochpolige oder schnell drehende Maschinen ein. Da treten Grundschiwingungen mit mehr als 1 kHz auf.“, sagt Michael Lappe. Und selbst wenn statt der Wechselstromseite des Motors

an der Batterieseite gemessen wird, ist das nicht trivial: „Da ist auch so gut wie immer ein Ripple drauf.“

Ein zweites Messsystem, ein ScopeCorder Typ SL1000 von Yokogawa, erfasst transiente Vorgänge, die Aufschluss über die Dynamik des Antriebs und dessen Regelung im Zusammenspiel mit der Batterie geben. Die Daten helfen bei der Optimierung der Regelung oder beim Aufklären von Fehlern und kritischen Situationen. Michael Lappe nennt den Lastabwurf als Beispiel: „Wenn die Batterie wegfällt, während der Prüfling gerade zurückspeist, dann muss die Energie ja irgendwo hin, und dann darf die Spannung nicht unzulässig hoch ansteigen.“ Dann kann man mit Hilfe der gespeicherten Zeitverläufe zurückverfolgen: Hat der Prüfling den Abwurf ausgelöst? Oder war es der Prüfstand, der den Prüfling in Schwierigkeiten gebracht hat?

Die Entwicklung von E-Antrieben ist ständig im Fluss. Neuester Trend: Der Inverter arbeitet nicht direkt an der Batterie, sondern über einen DC/DC-Wandler. So kann man während der Fahrt die Spannung variieren, um die Verluste des E-Antriebssystems zu minimieren. Ein weiterer Entwicklungsschritt geht hin zu fremd erregten Synchronmaschinen. Permanent erregte Motoren, die auf ein hohes Drehmoment beim Anfahren ausgelegt sind, verbrauchen bei hohen Drehzahlen jede Menge ‚Feldschwächstrom‘, um das Magnetfeld zurückzudrängen. Bei fremd erregten Motoren regelt man das Magnetfeld. Ein großer Aufwand, verglichen mit permanent erregten Maschinen.

In diesem Fall wäre ein weiterer Leistungsmesskanal nötig. Doch das Konzept des Prüfstands lässt derartige Erweiterungen ohne Probleme zu. Zum Beispiel gibt es Platz für einen zweiten Prüfraum, in dem bei Bedarf ein weiterer Prüfstand aufgebaut werden kann. Die Infrastruktur ist vorhanden.

Vereinfachtes Schema des Prüfstands. Der Batteriesimulator kann bei Bedarf das Verhalten von Batterien nachbilden. Der Prüfling arbeitet mechanisch auf eine Drehstrommaschine, die über einen Umrichter gesteuert wird. Nicht gezeigt sind Schütze in der AC-Messbox, um Synchronmaschinen-Prüflinge elektrisch in Leerlauf oder Kurzschluss zu schalten, sowie Blockier- und Abkoppelmöglichkeiten der Welle, um das Entsprechende für Asynchronmaschinen-Prüflinge auf der mechanischen Seite vorzunehmen: Abgekoppelt für den Leerlaufversuch, Blockade für die Kurzschlussmessung. Ebenfalls nicht gezeigt sind die Konditionierungseinrichtungen für Kühlwasser und Öl, die z. B. den Betrieb bei verschiedenen Umgebungsbedingungen simulieren.



Im Messschrank oben der Leistungsanalysator WT3000 von Yokogawa. Darunter die Stromversorgung für die Nullflusswandler von Signaltec, die in der AC-Messbox an den Drehstromleitungen zum Prüfling angebracht sind. Sie setzen Gleich- und Wechselströme im Verhältnis 1000:1 um, so dass beim WT3000 die Direkteingänge für 2 A zum Einsatz kommen können. Weil die Stromsignale dort auf niederohmige Eingänge treffen, sind sie weitgehend störungsempfindlich. Ein weiteres Kriterium für die Genauigkeit der Ergebnisse ist die Integration von Strom und Spannung über exakt eine Periodendauer der Grundschiwingung. Der WT3000 synchronisiert mit der Option /G6 ab etwa 5 Hz bis 3 kHz Grundfrequenz.

Dipl.-Ing. (FH) Michael Lappe leitet das Projekt ‚Prüfstand für E-Antriebe‘ und ist mit der Koordination und Durchführung aller Antriebsversuche auf dem Prüfstand betraut. Er gehört zum Team ‚E-Motor‘ in der Vorentwicklung für Getriebe und E-Motoren, die im Bereich ‚Group Research & Advanced Engineering‘ der Daimler AG angesiedelt ist.

