

Akustische Funktionsmehrung elektrischer Lenksysteme,

Teil 1: Möglichkeiten und Umsetzung mit Hilfe des E-Motors

Simon Hecker¹, Stefan Sentpali¹, Robert Henneberger¹, Florian Schaschko¹,
Stefan Schubert², Martin Meyer³

¹Hochschule München E-Mail: simon.hecker@hm.edu, ²BMW AG München, ³ThyssenKrupp Presta AG Eschen (FL)

Einleitung

Mit der zunehmenden Elektrifizierung in der Fahrzeugtechnik ergeben sich neue Möglichkeiten, klassische Funktionen elektrischer Antriebssysteme zu erweitern. Gemeint sind hierbei nicht nur Fahrzeugantriebe, sondern auch geregelte und gesteuerte elektrische Antriebe jeglicher Art, wie z.B. Fensterheber oder Lenksysteme.

Wird das Ziel der akustischen Funktionsmehrung verfolgt, ergeben sich komplett neue Funktionen ohne signifikante Mehrung von Zusatzkosten oder des Bauraums. Am Beispiel der permanenterrregten Synchronmaschine eines elektrischen Lenksystems mit achsparallelem Antrieb (R-EPS) der Firma thyssenkrupp Steering verbaut in einem BMW X3 werden die Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie gemeinsam mit thyssenkrupp Steering und BMW vorgestellt. Abbildung 1 zeigt den Verbau der R-EPS (siehe auch Abbildung 2) im Vorderwagen, festverschraubt mit dem Vorderachsträger. Die Anbindung am Vorderachsträger erfordert aufgrund der Körperschallempfindlichkeit bei Geräuschkürzung ein hohes Maß an akustischer Qualität des Lenksystems. Bei Geräuscherzeugung ist dies allerdings sehr hilfreich. Da z.B. Verbrennungsmotorgeräusche dominant über den Körperschallpfad –

Vorderachsträger → Karosserie → Fahrzeuginnenraum

- übertragen werden, wirken die zusätzlichen, durch den E-Motor emittierten Körperschallsignale in Form von Verbrennungsmotorordnungen subjektiv sehr authentisch.



Abbildung 1: Einbauort, elektrisches Lenksystem.



Abbildung 2: R-EPS [Quelle: thyssenkrupp-presta.com]

Motorregelung

Grundlage zur Realisierung der akustischen Funktionen ist eine Modifikation der Regelung der permanenterrregten Synchronmaschine. Die Synchronmaschine besteht aus einem Rotor, der mit Hilfe von Permanentmagneten einen konstanten magnetischen Fluss in Richtung der Koordinate d (siehe Abbildung 3) erzeugt. Der Stator wird über ein dreiphasiges Wicklungssystem (a, b, c) gespeist und erzeugt - vereinfacht beschrieben - ein umlaufendes, Magnetfeld, dem der Rotor folgt und damit eine Drehung des Motors bewirkt.

Als Methode wird üblicherweise das Prinzip der feldorientierten Regelung (FOR) eingesetzt [1]. Dabei werden zur einfacheren mathematischen Beschreibung in einem ersten Schritt die dreiphasigen Stranggrößen (a, b, c) in zweiphasige (komplexe) Raumzeigergrößen (α, β) umgerechnet (Clarke-Transformation). Die (reelle) α -Achse entspricht dabei der a -Achse des dreiphasigen Systems.

In einem zweiten Schritt wird nun vom statorfesten α, β -System auf ein rotierendes, am Rotorfluss orientiertes Koordinatensystem mit den Achsen d und q gewechselt (Park-Transformation). Die reelle d -Achse zeigt dabei in Richtung des Rotorflusses und die q -Achse steht senkrecht darauf.

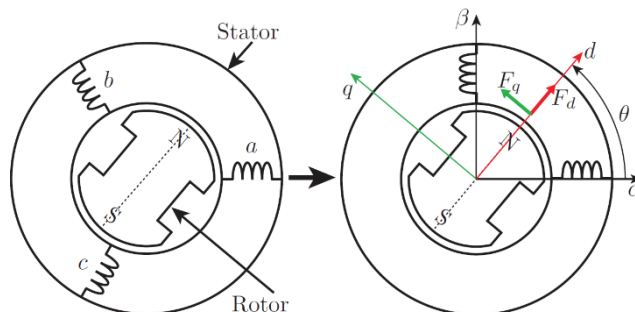


Abbildung 3: Koordinatensysteme der FOR.

Im d, q -System vereinfachen sich die Gleichungen zur Beschreibung der Dynamik der permanenterrregten Synchronmaschine erheblich und lassen sich auf die Verhältnisse wie bei einer Gleichstrommaschine abbilden. Der dreiphasige

Motorstrom wird unter Verwendung der Raumzeigerdarstellung in die Komponenten i_d und i_q aufgeteilt, die im stationären Betrieb (konstante Drehzahl) nur noch als Gleichgrößen auftreten. i_d entspricht dabei dem Erregerstrom der Gleichstrommaschine und ist in Richtung des Rotorflusses orientiert. Damit kann der Fluss der Permanentmagneten überlagert und folglich eine radiale Kraft F_d (siehe Abbildung 3), die auf das Statorgehäuse wirkt, erzeugt werden. i_q entspricht dem Ankerstrom bei einer Gleichstrommaschine, steht senkrecht zur Flussachse und erzeugt eine tangential Kraft F_q , die für die Drehmomentbildung verantwortlich ist. In Abbildung 4 ist das Regelungskonzept als Blockschaltbild dargestellt. Eingangsgrößen in den Motor sind die dreiphasigen Motorspannungen u_a, u_b, u_c und die Ausgangsgrößen die Motorströme i_a, i_b, i_c . Die Ströme werden mit Hilfe der Clarke-Transformation in die statorfesten Ströme i_α und i_β und anschließend unter Verwendung des elektrischen Motorwinkels θ in die Größen i_d und i_q umgerechnet. Nach einer Subtraktion von den entsprechenden Referenzgrößen i_{dr} und i_{qr} berechnen einfache PI-Regler die notwendigen Stellgrößen u_d und u_q , die nach den entsprechenden Rücktransformationen von einem Inverter an den Motor weitergegeben werden.

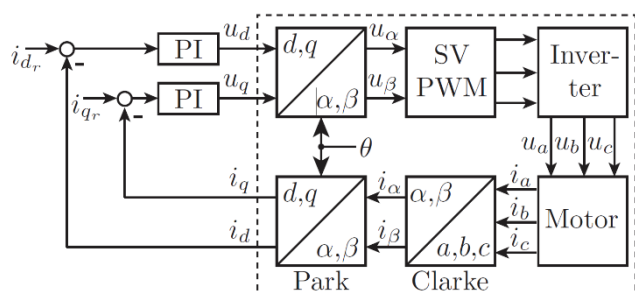


Abbildung 4: Blockschaltbild der Regelung.

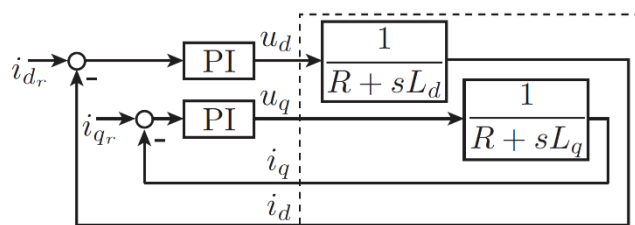


Abbildung 5: Vereinfachtes Blockschaltbild nach Entkopplung.

Die Anwendung einer zusätzlichen nichtlinearen Entkopplung [1] ergibt letztlich eine sehr einfache Struktur (siehe Abbildung 5), die in einem bestimmten Arbeitsbereich der Drehfeldmaschine eine unabhängige Regelung der Ströme i_d und i_q erlaubt. Damit ist es möglich radiale Kräfte F_d , die auf das Statorgehäuse wirken und dies zum Schwingen bringen können, (fast) ohne Beeinflussung der tangentialen Kräfte bzw. des Drehmoments zu erzeugen.

Prüfstandsergebnisse

Das Emissionsverhalten in Form der Körperschallbeschleunigung gemessen an der Gehäuseoberfläche des E-Motors zeigt Abbildung 7. Dargestellt ist der Beschleunigungspegel der Anregungsfrequenz (Nutzsignal) über der Emissionsfrequenz. Bei einer Leistungsaufnahme von etwa 15-20 Watt

werden Pegelgrößen weit größer 150 dB erreicht. Genauere Ausführungen zum experimentellen Aufbau und der Validierung im Fahrzeug sind in [3] und [4] zu finden.

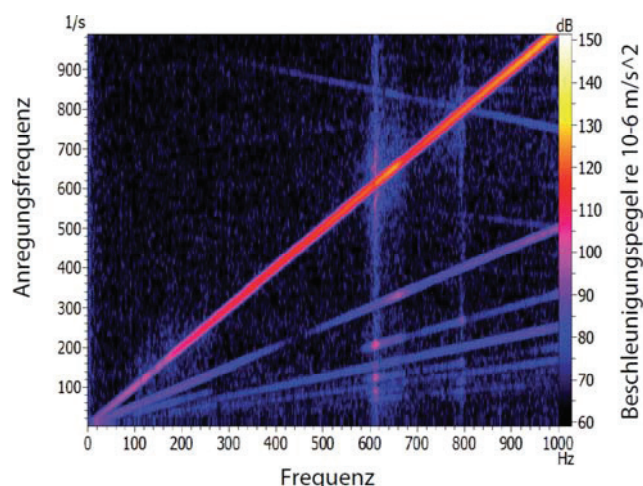


Abbildung 7: Körperschallbeschleunigung radial am Polgehäuse.

Literatur

- [1] Schröder, D.: Elektrische Antriebe, Regelung von Antriebssystemen. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2009
- [2] Gh. Reza Sinambari, Stefan Sentpali; Ingenieurakustik - Physikalische Grundlagen und Anwendungsbeispiele, Lehrbuch, 5. Auflage, Springer, 2014, Seite 435
- [3] Schaschko, F. et al, Akustische Funktionsmehrer elektrischer Lenksysteme, Teil 2: Aufbau einer prototypischen Steuerkette für eine Sound Design-Funktion im Kraftfahrzeug, DAGA 2016, Aachen
- [4] Henneberger, R. et al, Akustische Funktionsmehrer elektrischer Lenksysteme, Teil 3: Experimentelle Validierung im Fahrzeug, DAGA 2016, Aachen