

Diplomarbeit:

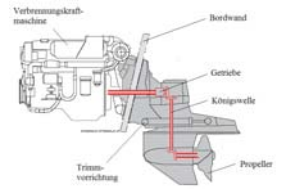
Momentenregelung am Steyr M-1 Hybridmotor

Autor: Johann Wilflinger
Betreuung: Prof. Dr. Luigi del Re
Partner: Steyr-Motors
Fertigstellung: Dezember 2006

Hauptanforderungen an Hybridantriebe

- Im Fahrzeugbereich
 - Reduktion der Emissionen
 - Verbesserung des Dynamikverhaltens
 - Verbesserung des Verbrauchs (CO₂ Emissionen) durch Ausnutzung der Bremsenergie
 - Potential für Ottomotoren durch Reduktion der Teillastdrosselverluste
- Im Marinebereich
 - Steigender Bedarf an elektrischer Energie im Boot
 - Beschränkungen für Verbrennungskraftmaschinen in Binnengewässern
 - Schneller Übergang in die Gleitphase bei Schnellbooten
 - Reduktion der Geräuschbelastigung in Sportboothäfen, da diese zunehmend mit Wohnanlagen kombiniert werden

Modellierung



- Verbrennungskraftmaschine: Linear Parameter-variiertes System aufgrund punktueller Vermessung des dynamischen Drehmoments
- Hybrideinheit: Umsetzung Lastenheft
- Antriebsstrang: Physikalisches Modell 2. Ordnung
- Propeller: Abschätzung durch stationäre Leistungsaufnahme im Testboot „Hydrolift“
- Bootswiderstand: Geschwindigkeitsabhängige Leistungvermessung im Testboot „Hydrolift“

Kurzbeschreibung

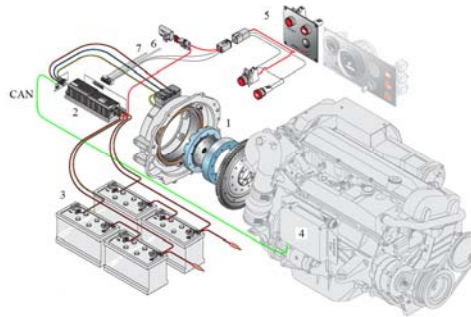
Die Arbeit beschäftigt sich mit der Momentenregelung am Steyr M-1 Hybridmotor. Es handelt sich dabei um die Kombination der Steyr Marinemotoren mit modifizierten Schwungradgeneratoren als zweite Antriebsquelle. Die Entwicklung derartiger leistungsfähiger Generatoren wurde durch den immer größer werdenden Bedarf an elektrischer Energie an Bord vorangetrieben. Deren zusätzliche Verwendung als Boatsantrieb kann zudem die Dynamik des Bootes verbessern und ermöglicht im reinen elektrischen Betrieb umweltfreundliche und geräuscharme Fortbewegung.

In einem ersten Schritt wurde ein Modell für das Gesamtsystem (gesamte Boatsapplikation) entworfen. Um eine optimale Simulation des Systems zu erhalten wurden dabei physikalische Modelle mit datenbasierten aus Identifikationen kombiniert. Der am Motorprüfstand dynamisch vermessene Marinemotor wurde als linear parametervariierendes Modell mit dem physikalisch vereinfachten Modell des Antriebsstranges kombiniert. Die Momentenaufnahme des Propellers sowie dessen Schubverhalten und die darauffolgende Geschwindigkeitsänderung des Bootskörpers wurden mittels Messdaten aus Testfahrten des Rennbootes „Hydrolift“ abgeschätzt. Durch die Simulation des Anfahrvorganges mit zusätzlichem elektrisch zugeschalteten Drehmoment konnten erste Abschätzungen über den Beschleunigungsgewinn getroffen werden (Boost-Mode der Hybrideinheit).

Die durch Hybridantriebe elektrisch zuschaltbare Leistung ist durch die Batteriekapazität sowie der thermischen Maschinengrenze beschränkt. Die Hauptaufgabe im Boostmode ist daher die sinnvolle Aufteilung der vorhandenen elektr. Energie auf den Beschleunigungsvorgang. Anders als bei Fahrzeugen ist die Geschwindigkeit und somit die Beschleunigung bei Booten nicht direkt messbar, da der Schlupf von Schiffschrauben im Beschleunigungsvorgang sehr hoch werden kann. Auch eine Schätzung der Geschwindigkeit über einen Beobachter ist durch die Komplexität des Vorganges sowie durch fehlende Propellerdaten nicht möglich. Geht man aber von einem guten Propellerverhalten aus, so kann mittels dem Drehmomentenaufbau des Verbrennungsmotors auf die Bootbeschleunigung rückgeschlossen werden. Somit kann die vorhandene elektrische Zusatzleistung optimal in den beschleunigungsarmen Drehzahlbereichen zugeschaltet werden. Dies wurde mit einer Regelung über ein Gütefunktional erreicht.

Neben dem zuvor erwähnten Boostbetrieb wurden auch Regelstrategien für den reinen Elektrobetrieb sowie Performanceabschätzungen, Lastenhefte und Kommunikationsstandards ausgearbeitet. Diese Diplomarbeit bietet somit nicht nur die grundlegenden Regelungsstrategien für den Betrieb der Hybrideinheit, sondern auch einen Abschätzung über die Funktionalität in Hinblick auf die Marktanforderungen. Der fortwährende Abgleich, mit den Sicherheitsstandards sowohl für elektrische Einrichtungen als auch für Marineanwendungen im allgemeinen während der gesamten Entwicklung, garantiert zudem einen sicheren Betrieb der gesamten Einheit und ist ein weiteres Standbein für die Konkurrenzfähigkeit dieser neuartigen Antriebskombination.

Aufbau der Hybrideinheit

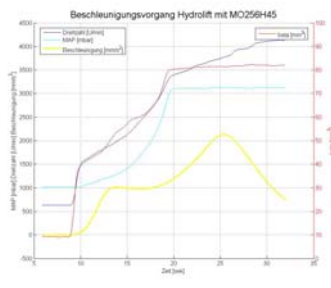


- (1) Modifizierter Schwunradgenerator
- (2) Leistungselektronik
- (3) Batteriesatz
- (4) Motorsteuergerät (ECU)
- (5) Vorhandene Bordelektronik
- (6) Zusätzliche Eingänge für elektr. Fahrbetrieb
- (7) Sensoreingänge zur Überwachung der Hybrideinheit

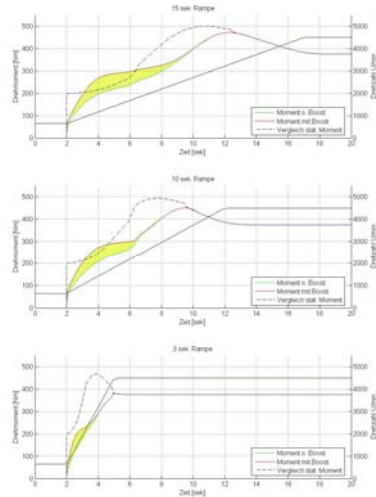
Beschleunigungsverhalten Testboot Hydrolift S24



„Gleichbleibende Beschleunigung wird als träges Fahrverhalten in der Hochfahrweise empfunden“



Dynamische Drehmomentenerhöhung/zugefügte Leistung

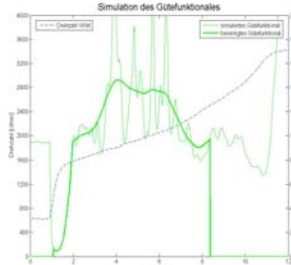


Regelung über Gütefunktional

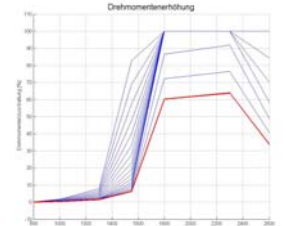
$$G_{Boost} = \int_{t_{Boost_start}(n_E)}^{t_{Boost_end}(n_E)} \left(\frac{T_E}{T_E - T_P} - v_{opt} \right) dt$$

T_E Drehmoment der Antriebsmaschine
 T_P Drehmoment am Propeller
 v_{opt} optimales Verhältnis

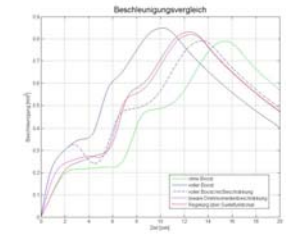
„Das Gütefunktional bewertet die Leistungssteigerung der Verbrennungskraftmaschine“



Drehmomentenzuschaltung



Performancevergleich Drehmomentenzuschaltung



Schlussfolgerungen

- Mittels punktueller Vermessung des Drehmomentenanstiegs wurden genauere Modelle als mit den Standard-Identifikationsmethoden (ARX, ARMAX, BOX-Jenkins...) erreicht, da dynamische Fehler in der Drehmomentenmessung kompensiert werden konnten
- Das bemängelte Turboloch in der Beschleunigungsphase konnte in den Versuchen als gleich bleibende Beschleunigung und somit fehlender Ruck detektiert werden
- Sowohl die Messung als auch die Vorgabe der Beschleunigung als Sollwert ist schwierig und für die serienreife Applikationen nicht verwendbar
- Mit der Bewertung der einzelnen Arbeitspunkte des Antriebes durch ein Gütekriterium, kann der Nutzen zusätzlicher elektrischer Leistung während des Hochfahrens der Maschine bewertet werden
- Die Zuschaltung der beschränkten elektrischen Energie kann mittels dem Gütefunktional auf maximalen Nutzen optimiert werden
- Bei Z-Trieb Applikationen sind die Leerlaufverluste für den reinen elektrischen Betrieb ein wichtiges Kriterium

Ausblick

- Sowohl für den reinen elektrischen als auch für den Boostbetrieb wären noch höhere elektrische Leistungen wünschenswert
- Da das gefundene Regelungsschema das Beschleunigen des Gesamtsystems betrachtet, könnten auch nicht messbare Größen die Einfluss auf die Geschwindigkeitszunahme nehmen geregelt werden, wie z.B. die Trimmung bei Z-Trieb Applikationen
- Genaue Daten über das Propellerverhalten (vom Hersteller) könnten als zusätzliche Parametrierung in die Regelung aufgenommen werden
- Je leichter die Boatsapplikation um so höher ist der Anteil der zusätzlichen elektrischen Leistung am gesamten Antrieb, entsprechend höher ist der Beschleunigungsgewinn durch den Hybridantrieb
- Der kritische Übergang von der Verdränger- in Gleitfahrt kann durch den Hybridantrieb unterstützt werden, wodurch Propeller für höhere Endgeschwindigkeiten verwendet werden können