



EIT

FAKULTÄT FÜR
ELEKTROTECHNIK UND
INFORMATIONSTECHNIK



SIBAU
GENTHIN



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

WACHSTUMSKERNE
UNTERNEHMEN
REGION
Die ENWF Innovationszentren
Hessensland



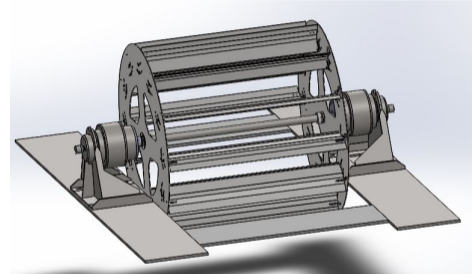
Teilintegrierte und direktgekoppelte Generator-Wasserradkombination

T. Schallschmidt, M. Stamann, H. Kühn, R. Leidhold

Institut für Elektrische Energiesysteme (IESY)

28. September 2017, Magdeburg

- 1 Motivation - Zielstellung
- 2 Elektrisches Teilsystem
- 3 Konstruktionsansatz
- 4 Experimentelle Untersuchungen
- 5 Zusammenfassung und Ausblick



Istzustand

- geringe Drehzahl und hohes Drehmoment → Transmission oder Getriebe
- schwimmende Anlage → Lastverteilung
- geringe dynamische Anforderungen

Zielstellung

- Maximierung der Energieausbeute/-ernte → Flottille und MPPT
- Minimierung der Anschaffungs- bzw. Anlagenkosten (Stromgestehungskosten)
- geringe Verluste → maximaler Wirkungsgrad (passive Kühlung)
- Skalierbarkeit der Leistung → Variation der elektrischen Stranganzahl
- Inselnetzfähigkeit

Lösungsansatz

mechanisch geteilte, zweisträngige, permanenterregte Transversalflussmaschine als Direktantrieb

Istzustand

- geringe Drehzahl und hohes Drehmoment → Transmission oder Getriebe
- schwimmende Anlage → Lastverteilung
- geringe dynamische Anforderungen

Zielstellung

- Maximierung der Energieausbeute/-ernte → Flottille und MPPT
- Minimierung der Anschaffungs- bzw. Anlagenkosten (Stromgestehungskosten)
- geringe Verluste → maximaler Wirkungsgrad (passive Kühlung)
- Skalierbarkeit der Leistung → Variation der elektrischen Stranganzahl
- Inselnetzfähigkeit

Lösungsansatz

mechanisch geteilte, zweisträngige, permanenterregte Transversalflussmaschine als Direktantrieb

Istzustand

- geringe Drehzahl und hohes Drehmoment → Transmission oder Getriebe
- schwimmende Anlage → Lastverteilung
- geringe dynamische Anforderungen

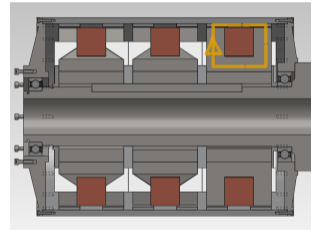
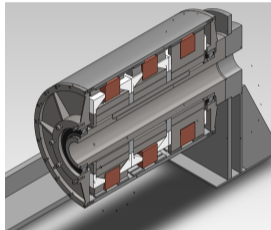
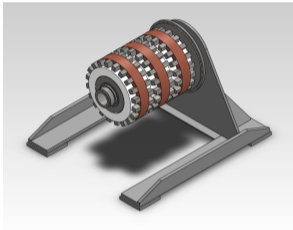
Zielstellung

- Maximierung der Energieausbeute/-ernte → Flottile und MPPT
- Minimierung der Anschaffungs- bzw. Anlagenkosten (Stromgestehungskosten)
- geringe Verluste → maximaler Wirkungsgrad (passive Kühlung)
- Skalierbarkeit der Leistung → Variation der elektrischen Stranganzahl
- Inselnetzfähigkeit

Lösungsansatz

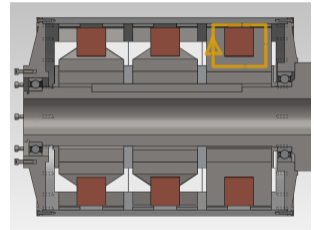
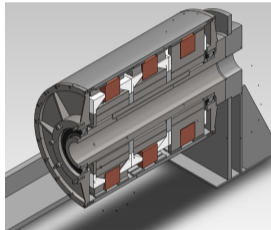
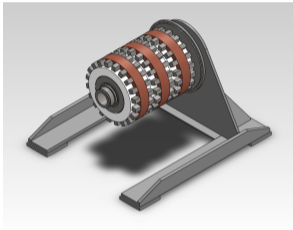
mechanisch geteilte, zweisträngige, permanenterregte Transversalflussmaschine als Direktantrieb

Funktionsprinzip von Transversalflussmaschinen



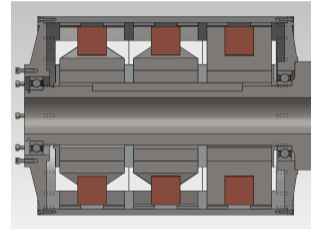
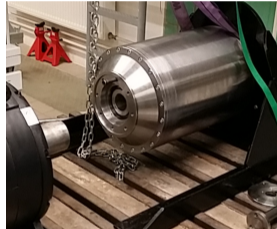
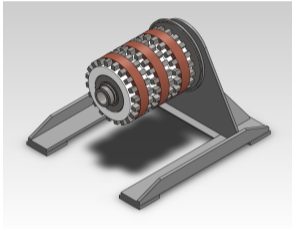
- U-förmige Statorjoche
- Ringwicklung → magnetischer Fluss senkrecht zur Bewegungsrichtung
- gegenüberstehende Pole besitzen entgegengesetzte Polariät

Funktionsprinzip von Transversalflussmaschinen



- U-förmige Statorjoche
- Ringwicklung → magnetischer Fluss senkrecht zur Bewegungsrichtung
- gegenüberstehende Pole besitzen entgegengesetzte Polariät

Funktionsprinzip von Transversalflussmaschinen



- allen Statorpolen erzeugen den gleichen magnetische Fluss
- Weiterbewegung des Rotors → Richtungsänderung des Statorflusses
- Magnete erzeugen Streufluss, der den Hauptfluss reduzieren kann

Eigenschaften von Transversalflussmaschinen

Vorteile

- Ringwicklung → keine Wicklungsköpfe, einfachere Fertigung
- geringe Aktivmasse
- theoretisch beliebig kleine Polteilung → FEM-Analyse

Nachteile

- lastabhängige und lastunabhängige Drehmomentenwelligkeit
- exakter mechanischer Versatz zwischen den Wicklungen notwendig
- Kraftdichte durch Streuflüsse und Eisensättigung beeinflusst

Eigenschaften von Transversalflussmaschinen

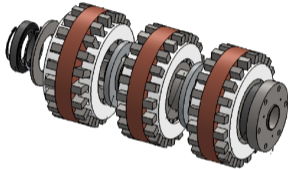
Vorteile

- Ringwicklung → keine Wicklungsköpfe, einfachere Fertigung
- geringe Aktivmasse
- theoretisch beliebig kleine Polteilung → FEM-Analyse

Nachteile

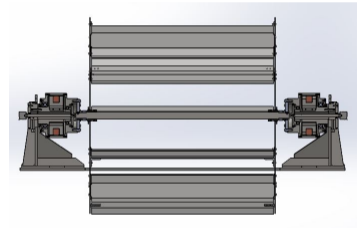
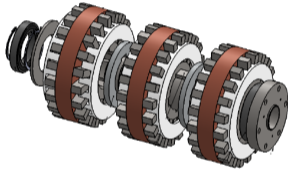
- lastabhängige und lastunabhängige Drehmomentenwelligkeit
- exakter mechanischer Versatz zwischen den Wicklungen notwendig
- Kraftdichte durch Streuflüsse und Eisensättigung beeinflusst

Konstruktionsansatz



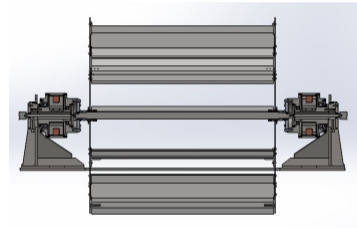
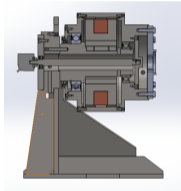
- modulare Bauweise erlaubt unkonventionellen mechanischen Konstruktionsansatz mit besserer Lastverteilung
- Wicklungen sind elektrisch und magnetisch entkoppelt

Konstruktionsansatz



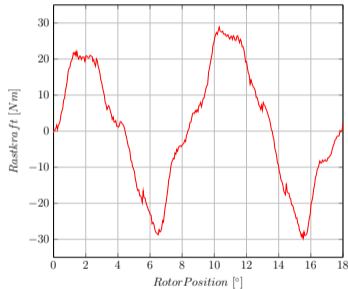
- modulare Bauweise erlaubt unkonventionellen mechanischen Konstruktionsansatz mit besserer Lastverteilung
- Wicklungen sind elektrisch und magnetisch entkoppelt

Konstruktionsansatz



- „elektrischer Lagerbock“- ohne Getriebe, mechanische Kopplung über die Wasserradkonstruktion
- mindestens zwei elektrische Stränge für feldorientierte Regelung mit kontinuierlichem Drehmoment

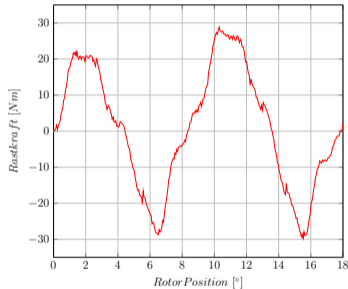
Experimentelle Untersuchungen



- die Ausprägung der Drehmomentenwelligkeit steht in Beziehung zur Strangzahl
- lastunabhängiges Rastmoment
- lastabhängiges Pulsationsmoment
- $f_{RK} = 2 \cdot p \cdot n$ (Rastkraftfrequenz)

Drehmomentschwingungen führen zu unerwünschten Vibrationen, Geräuschen und Verschleiß

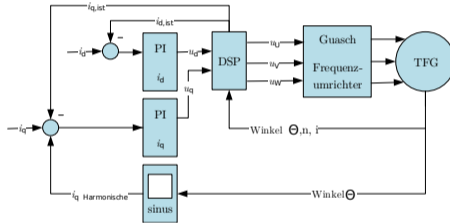
Experimentelle Untersuchungen



- die Ausprägung der Drehmomentenwelligkeit steht in Beziehung zur Strangzahl
- lastunabhängiges Rastmoment
- lastabhängiges Pulsationsmoment
- $f_{RK} = 2 \cdot p \cdot n$ (Rastkraftfrequenz)

Drehmomentschwingungen führen zu unerwünschten Vibrationen, Geräuschen und Verschleiß

Regelungstechnische Kompensation der Drehmomentenwelligkeit - Stromharmonische



$$M_{sum} = M_M + M_{OW}(n, z_p) + M_{komp}$$

mit

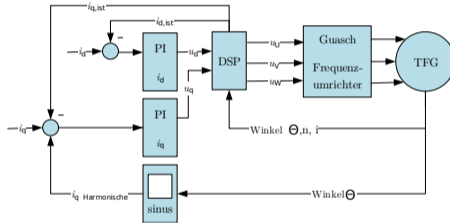
$$M_{komp} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \Psi_{PM} \cdot i_{qk}$$

und

$$i_{qk} = \sum_{\nu=1}^{\infty} \hat{i}_{qk,\nu} \cdot \sin(\nu \cdot \theta + \varphi_{\nu})$$

- Der Kompensationsstrom wird synchron zur Rotorlage ermittelt, durch eine Fouriertransformation in einzelne Sinusanteile zerlegt und anschließend werden gezielt Stromharmonische aufgeschaltet

Regelungstechnische Kompensation der Drehmomentenwelligkeit - Stromharmonische



$$M_{sum} = M_M + M_{OW}(n, z_p) + M_{komp}$$

mit

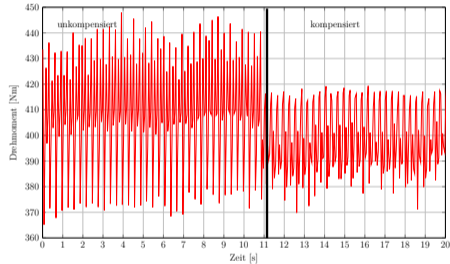
$$M_{komp} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \Psi_{PM} \cdot i_{qk}$$

und

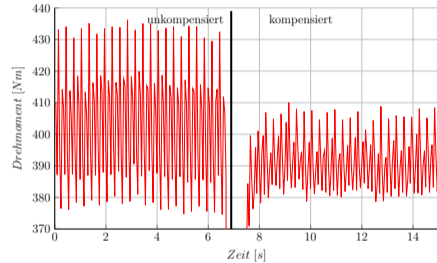
$$i_{qk} = \sum_{\nu=1}^{\infty} \hat{i}_{qk,\nu} \cdot \sin(\nu \cdot \theta + \varphi_{\nu})$$

- Der Kompensationsstrom wird synchron zur Rotorlage ermittelt, durch eine Fouriertransformation in einzelne Sinusanteile zerlegt und anschließend werden gezielt Stromharmonische aufgeschaltet

Regelungstechnische Kompensation der Drehmomentenwelligkeit

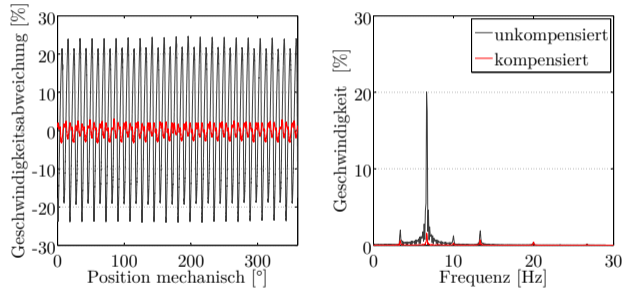


Aufschaltung der Stromharmonischen
bei 10 min^{-1}



Anwendung der Blindleistungtheorie
bei 10 min^{-1}

Regelungstechnische Kompensation der Drehmomentenwelligkeit



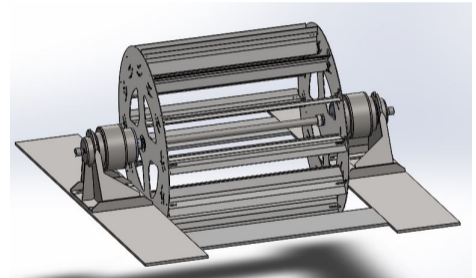
Auswirkung der Kompensation auf das Frequenzspektrum

Zusammenfassung

- Maschine im feldorientierten geregelten Betrieb
- Mechanisch getrennt- elektrisch kombiniert
- Positionsmessung notwendig
- Kompensation Drehmomentenwelligkeit

Ausblick

- Fertigstellung der Gesamtanlage
- Feldversuche im Insel- und Netzbetrieb

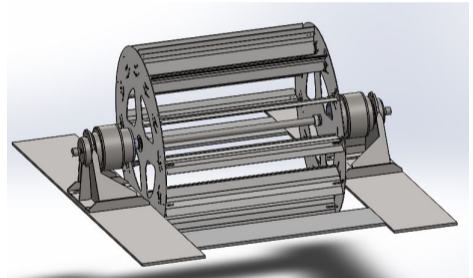


Zusammenfassung

- Maschine im feldorientierten geregelten Betrieb
- Mechanisch getrennt- elektrisch kombiniert
- Positionsmessung notwendig
- Kompensation Drehmomentenwelligkeit

Ausblick

- Fertigstellung der Gesamtanlage
- Feldversuche im Insel- und Netzbetrieb



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Click for video