

Unterstützung eines unsymmetrischen Netzes unter Ausnutzung der Induktivitäten einer umrichter gespeisten Asynchronmaschine als Energiespeicher

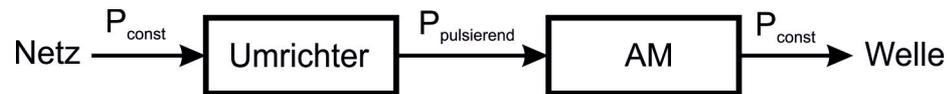
Roland Seebacher, Klaus Krischan

Institut für Elektrische Antriebstechnik und Maschinen, TU Graz

2018-02-14

Elektromagnetischer Energiewandler

Asynchronmaschine



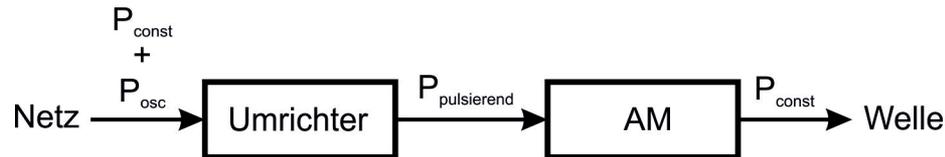
Für einen stationären Betriebspunkt ist die vom Netz bezogene Leistung konstant.

Der Umrichter speist die Asynchronmaschine jedoch mit pulsierender Leistung (Schaltfrequenz oder Vielfache davon).

Es wird die Energiewandlung und die Energiespeicherung in der Maschine ausgenutzt.

Im Block Umrichter muss sich ein Energiespeicher befinden (Filter, Zwischenkreiskondensator).

Unsymmetrisches Netz



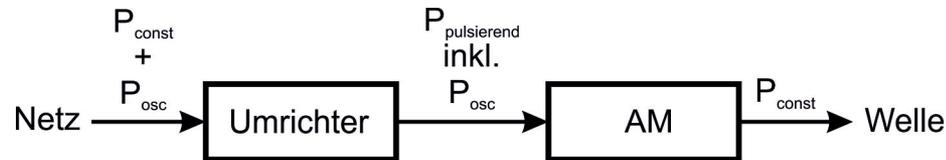
$$\underline{u}_N = \underline{U}_m e^{j\omega t} + \underline{U}_g^* e^{-j\omega t}$$

$$\underline{i}_N = \underline{I}_m e^{j\omega t} + \underline{I}_g^* e^{-j\omega t}$$

$$p_N = \underbrace{\frac{3}{2} \operatorname{Re} \left\{ \underline{U}_m \underline{I}_m^* + \underline{U}_g \underline{I}_g^* \right\}}_{\text{konstant}} + \underbrace{\frac{3}{2} \operatorname{Re} \left\{ \left[\underline{U}_m \underline{I}_g + \underline{U}_g \underline{I}_m \right] e^{j2\omega t} \right\}}_{\text{oszillierend}}$$

Abhängig von der Betriebsstrategie des Umrichters kann ein oszillierender Anteil in der Wirkleistung auftreten. Insbesondere wenn versucht wird mit dem Strom des Gegensystems die Spannung des Gegensystems zu verringern.

Verringerung des Energiespeichers im Umrichter



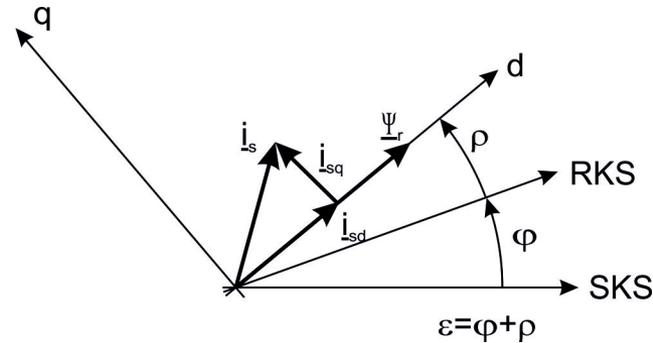
Der Zwischenkreiskondensator braucht Bauraum und hat eine im Vergleich zu den anderen Bauteilen geringere Lebensdauer. Daher gibt es Bestrebungen diesen zu verringern oder ganz einzusparen (Matrixumrichter).

Das Filter zum Netz hin ist jedoch nach wie vor notwendig. Für den mit doppelter Netzfrequenz oszillierenden Leistungsanteil kann auch die Asynchronmaschine als Energiespeicher genutzt werden.

Rotorflussorientierte Regelung der Asynchronmaschine

$$\dot{\Psi}_{Rd} = \frac{R_R}{L_h} (\Psi_{Rd} - L_h i_{Sd})$$

$$M = \frac{3}{2} p \Psi_{Rd} i_{Sq}$$



Das Drehmoment M soll durch die Bereitstellung der Wechselleistung nicht beeinflusst werden.

Die feldbildende Stromkomponente wird für die Einstellung der Wechselleistung herangezogen. Die Auswirkung auf die Flussverkettung ist gering da die Rotorzeitkonstante groß ist.

Streifelder als Energiespeicher

$$\underline{u}_S = (R_S + R_R)\underline{i}_S + L_\sigma \dot{\underline{i}}_S - \frac{R_R}{L_h} \underline{\Psi}_R + j\dot{\phi} \underline{\Psi}_R + j\dot{\epsilon} L_\sigma \underline{i}_S$$

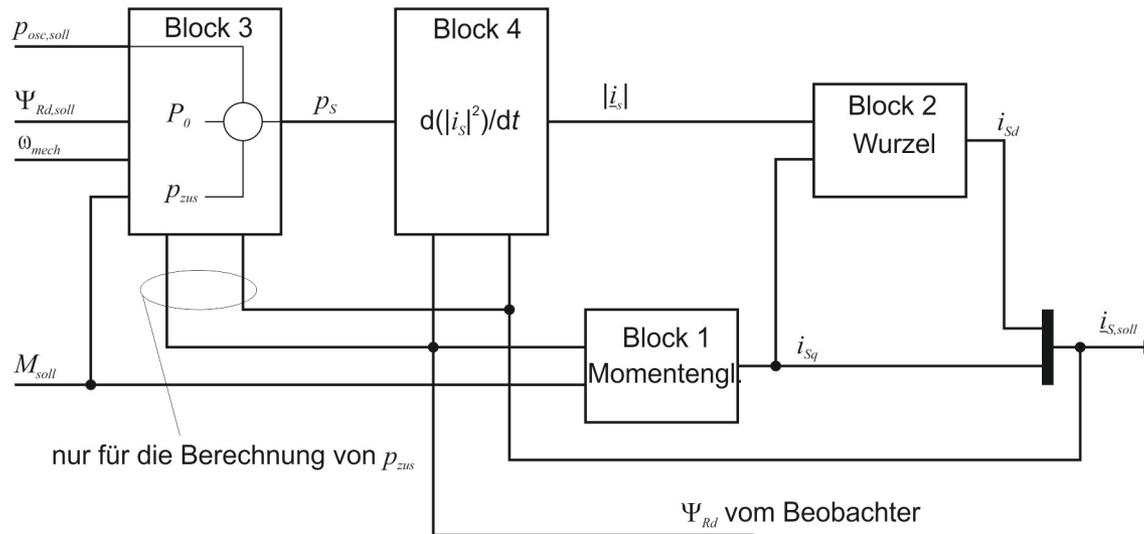
$$p_S = \operatorname{Re} \left\{ \frac{3}{2} \underline{u}_S \underline{i}_S^* \right\}$$

Die Leistungsgleichung wird so umgeformt, dass man eine Differenzialgleichung für den Betrag des Statorstromraumzeigers erhält.

$$\frac{d(|\underline{i}_S|^2)}{dt} = \frac{2}{L_\sigma} \left[\frac{2}{3} p_s - (R_S + R_R) |\underline{i}_S|^2 + \frac{R_R}{L_h} \Psi_{Rd} i_{Sd} - \dot{\phi} \Psi_{Rd} i_{Sq} \right]$$

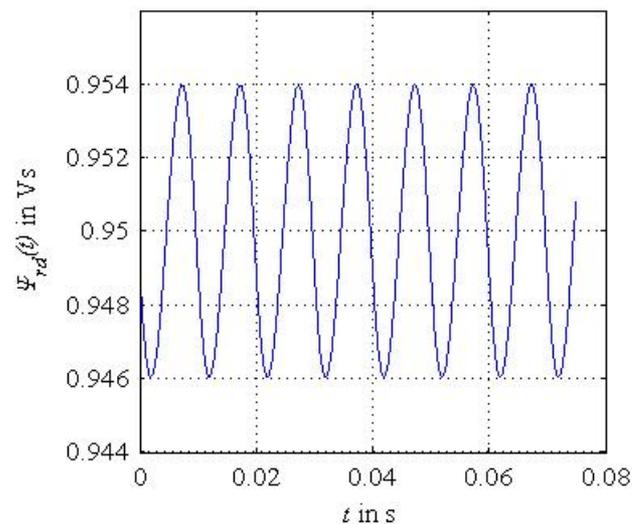
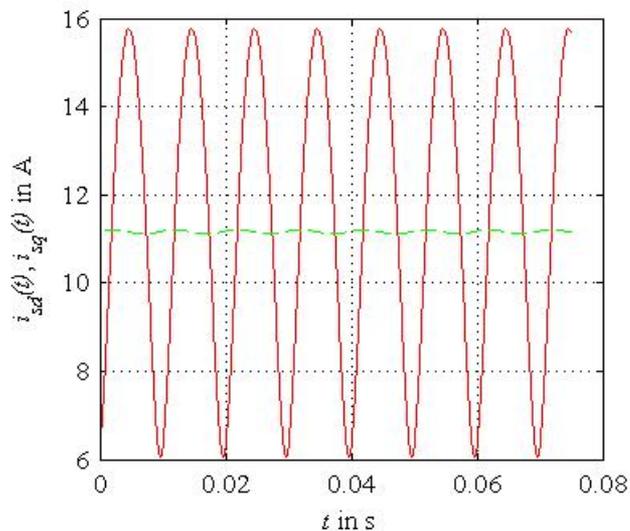
Die Leistung setzt sich aus dem zum Betriebspunkt gehörigen konstanten Anteil, dem Wechselanteil und einem, durch die Wechselanteile im Statorstromraumzeiger hervorgerufenen ebenfalls konstanten Anteil zusammen.

Berechnung des Sollstromes



Die zusätzliche Leistung wird von einem PI-Regler berechnet. Dieser führt die über die halbe Netzperiode gemittelten Istwerte von i_{sd} und i_{sq} an deren, zum Betriebspunkt gehörigen Sollwerte heran.

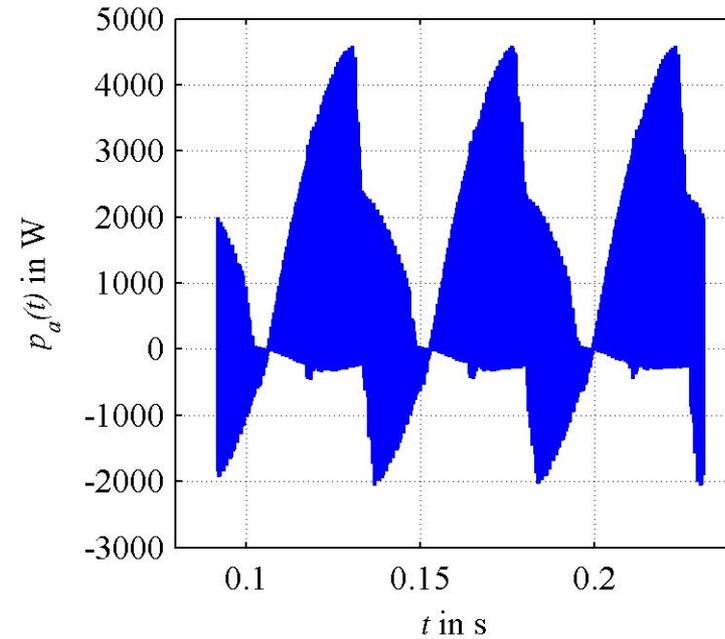
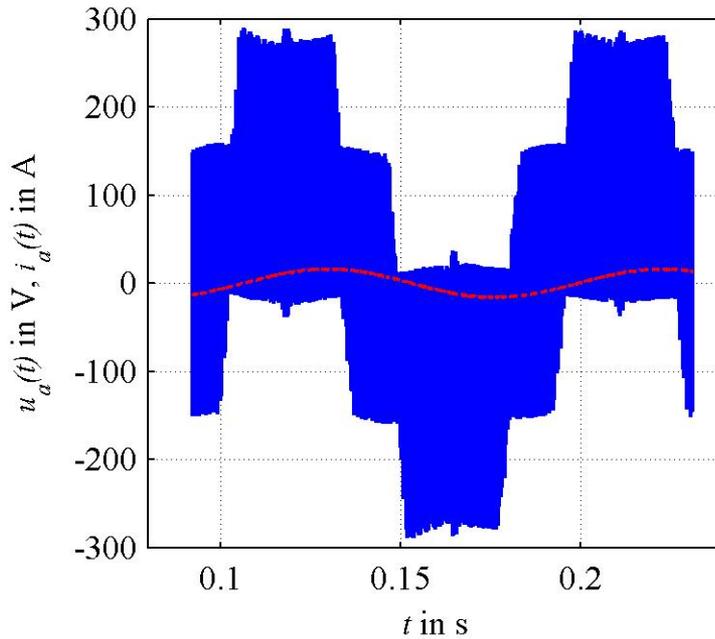
Simulation



Größe	Wert
I_N	16.5 A
U_N	380 V
P_N	7.5 kW
n_N	1450 U/Min
f_N	50 Hz
λ	0.82

Betriebspunkt
 $n = 300$ U/Min
 $Y_{Rd} = 0.95$ Vs
 $M = 30$ Nm
 $P_{osc} = 500$ W

Messung ungefiltert



Betriebspunkt

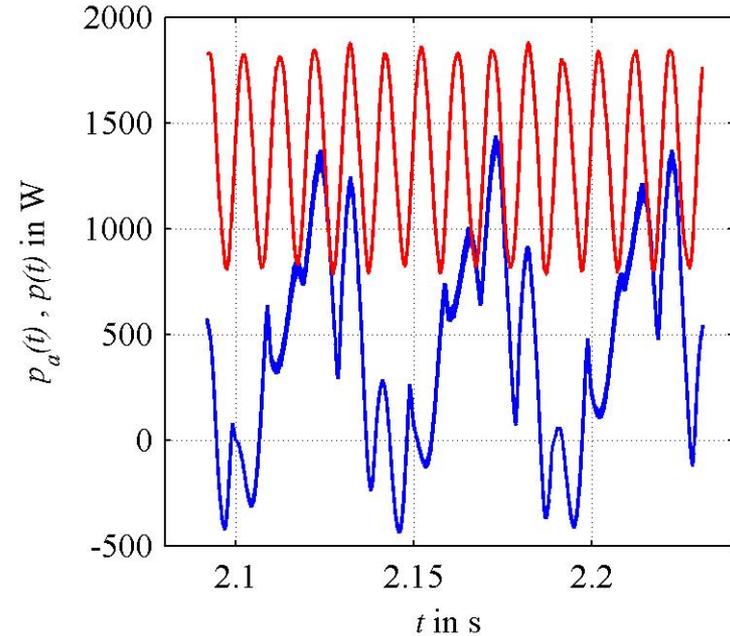
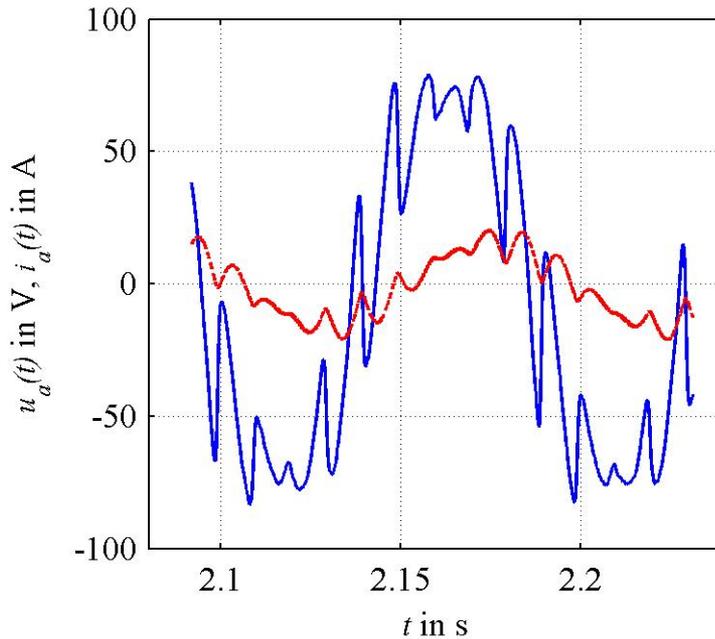
$n = 300$ U/Min

$Y_{Rd} = 0.95$ Vs

$M = 30$ Nm

$P_{osc} = 0$ W

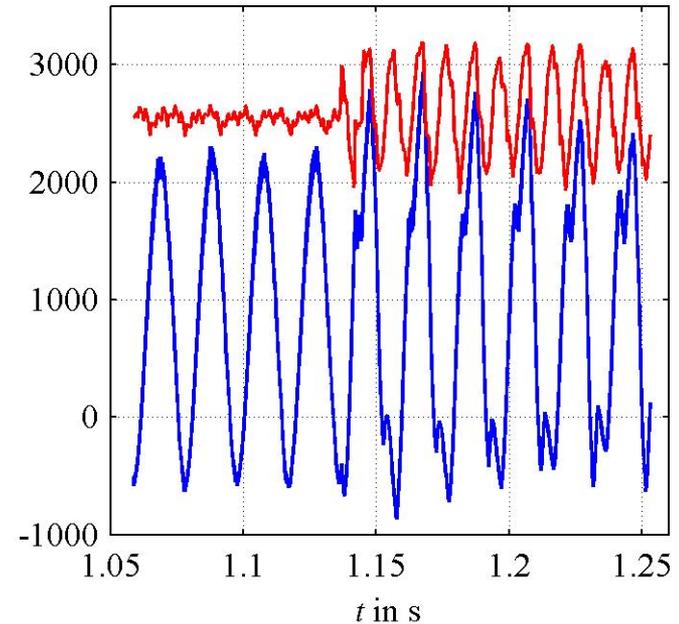
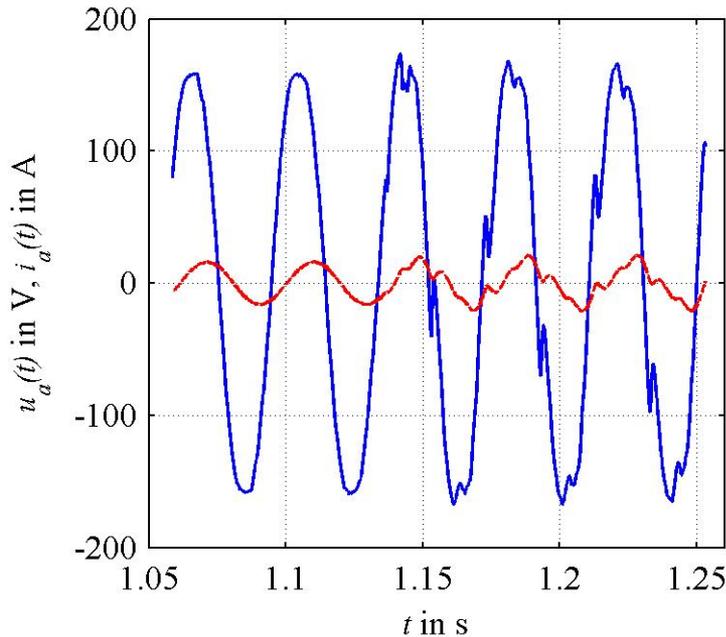
Messung, Spannung und Leistung gefiltert



Betriebspunkt
 $n = 300$ U/Min
 $Y_{Rd} = 0.95$ Vs
 $M = 30$ Nm
 $P_{osc} = 514$ W

Mittelwert der Leistung 1330 W
 Zuwachs gegenüber dem Betrieb
 bei $P_{osc} = 0$ W:
 56 W

Messung, Spannung und Leistung gefiltert



Betriebspunkt

$n = 750$ U/Min

$Y_{Rd} = 0.95$ Vs

$M = 30$ Nm

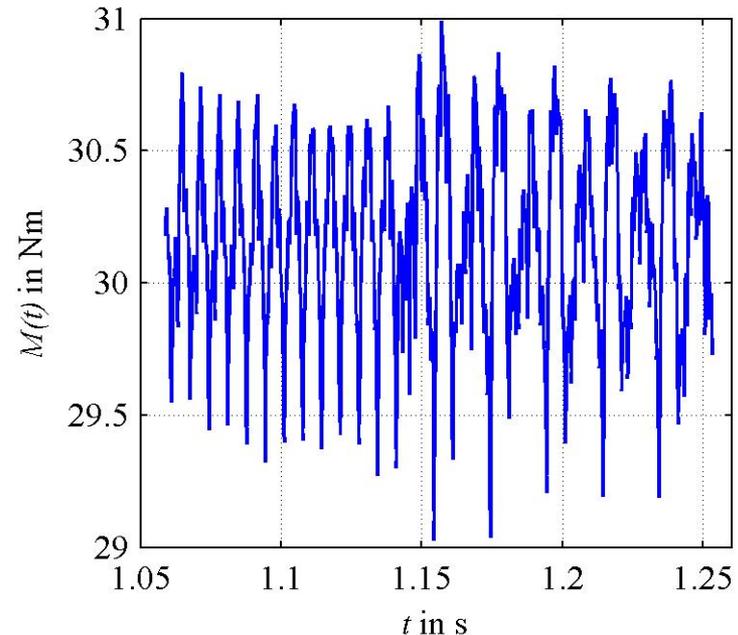
Posc 0 W auf 500 W

Mittelwert der Leistung 2583 W
Zuwachs gegenüber dem Betrieb
bei Posc = 0 W:

66 W

Messung

Das geschätzte Drehmoment zeigt eine erkennbare Veränderung des Wechselanteiles beim Übergang von $P_{osc} = 0 \text{ W}$ auf $P_{osc} = 500 \text{ W}$



Betriebspunkt

$n = 750 \text{ U/Min}$

$Y_{Rd} = 0.95 \text{ Vs}$

$M = 30 \text{ Nm}$

$P_{osc} \quad 0 \text{ W auf } 500 \text{ W}$

Maximale oszillierende Leistung

$$\Delta W \approx \frac{3}{2} \frac{L_\sigma}{2} \left[\left(\bar{i}_{sd,soll} + \hat{i}_{sd,osc} \right)^2 - \left(\bar{i}_{sd,soll} - \hat{i}_{sd,osc} \right)^2 \right]$$

Die Änderung der Energie im Hauptfeld ist sehr gering, die oszillierende Leistung besteht also hauptsächlich aus der Änderung der im Streufeld gespeicherten Energie.

Deren maximale Änderung erhält man wenn: $\hat{i}_{sd,osc} = \bar{i}_{sd,soll}$

Unter der Annahme eines dominanten doppelt netzfrequenten Anteiles in i_{sd} erhält man als Abschätzung für die maximale oszillierende Leistung

$$\hat{p}_{osc,max} \approx 3 \frac{2\pi}{T_{Netz}} L_\sigma \bar{i}_{sd,soll}^2$$

Zusammenfassung

Eine Möglichkeit um mit Umrichtern mit kleinem Zwischenspeicher oder ohne Zwischenspeicher zur Unterstützung eines unsymmetrischen Netzes wechselnde Leistung abzugeben

Die maximale oszillierende Leistung hängt vom aktuellen Betriebspunkt der Maschine ab

Die Bereitstellung dieser Leistung bedeutet zusätzliche Verluste

Die Anforderungen an die Strom- bzw. Momentenregelung steigen