

# IEEE IAS/PELS/IES Joint Chapter Meeting

Technische Universität Chemnitz

11./12. Mai 2006

Lagerströme in umrichter gespeisten Asynchronmaschinen

Entstehung, Modellierung und Diagnose

Dipl.-Ing. Johann Zitzelsberger



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ

**ETI**

Elektrotechnisches  
Institut



**IEEE**



# Lagerströme in umrichter gespeisten Asynchronmaschinen

Entstehung, Modellierung und Diagnose

## **Einleitung**

### **Entstehung von Lagerströmen**

*Ursachen und Arten*

### **Modellierung von Lagerströmen**

*Gleichtaktkreis*

### **Diagnose von Lagerströmen**

*Möglichkeiten und Grenzen*

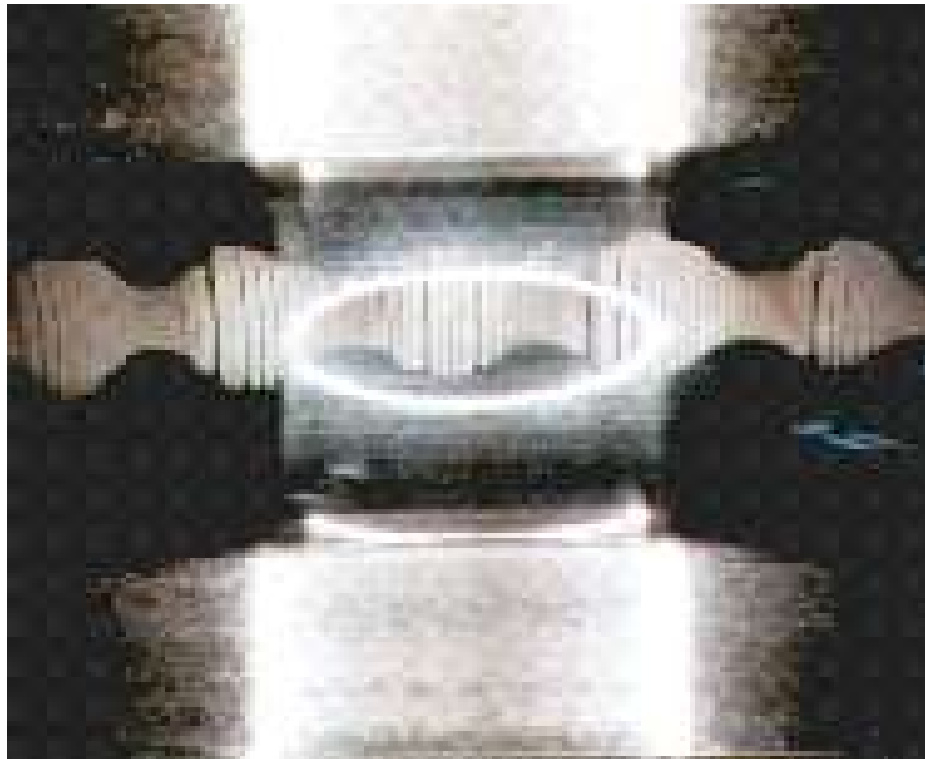
Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose

## Elektrisch bedingte Lagerschäden



## Einleitung

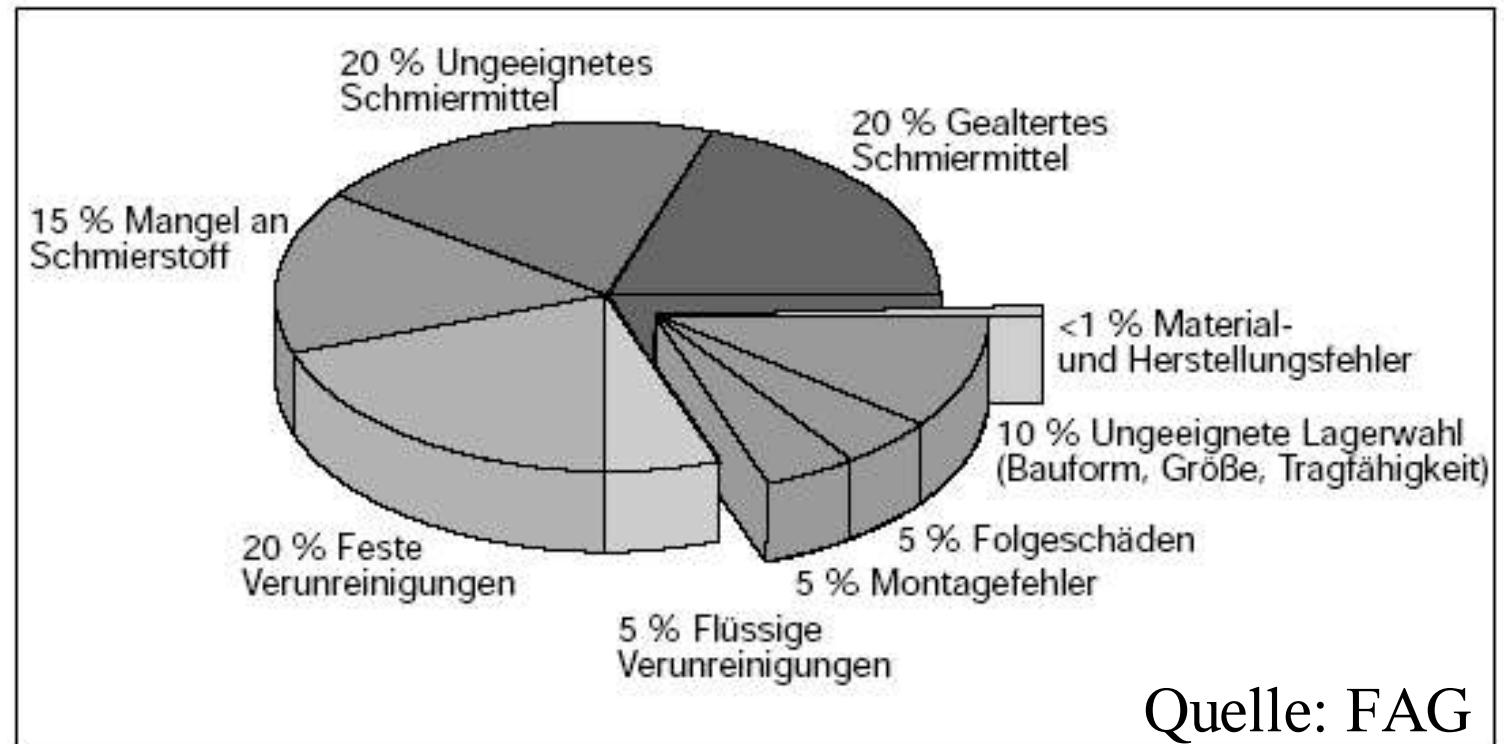
## Entstehung

## Modellierung

## Diagnose

## elektrisch bedingte Lagerschäden

sind Teil der Ausfallursachen von Wälzlagern



Einleitung

## elektrisch bedingte Lagerschäden

sind technisch und wirtschaftlich relevant

verringern die Zuverlässigkeit elektrischer Antriebe

führen zu kürzeren Wartungsintervallen

setzen die Verfügbarkeit elektrischer Antriebe herab

bedingen höhere Instandhaltungs- bzw. Folgekosten

Entstehung

Modellierung

Diagnose

Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose



Einleitung

*Beispiel:*

Kosten pro Lagerwechsel: 250€ + 3 h Stillstand

Entstehung

Modellierung

Diagnose





Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose





## Einleitung

*Beispiel:*  
Windpark mit 320 MW installierter Leistung -  
1 Mio € Verlust bei 1% geringerer Verfügbarkeit



## Entstehung

## Modellierung

## Diagnose



Einleitung

**Entstehung**

Gliederung

Modellierung

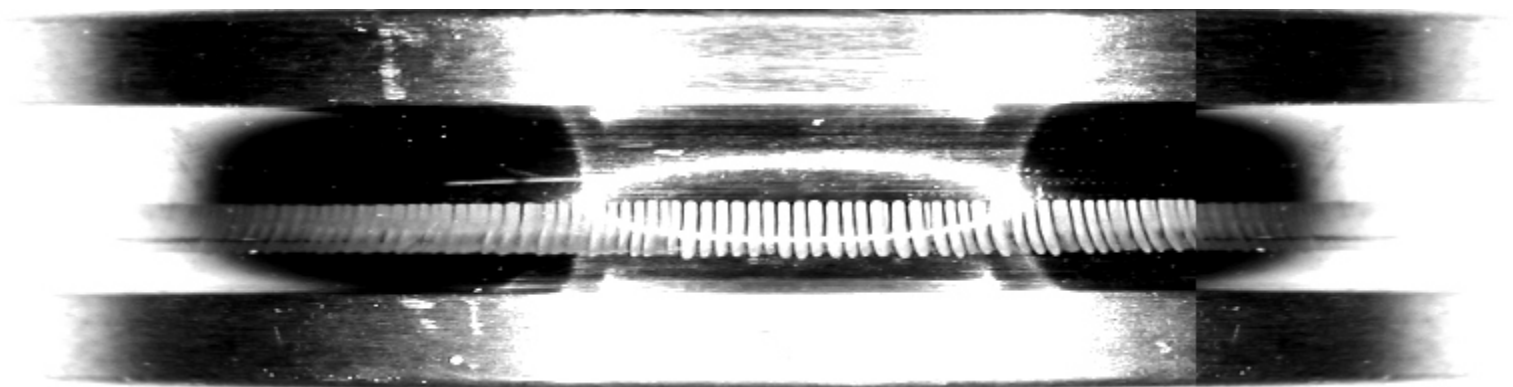
Diagnose

## Entstehung von Lagerströmen

Ursachen für (neuartige) Lagerströme

Arten von Lagerströmen

Strompfade



Einleitung

## Ursachen für (neuartige) Lagerströme

nicht-sinusförmige Speisung führt zu einer Gleichtaktspannung

$$U_0 = \frac{U_{um} + U_{vm} + U_{wm}}{3} \neq 0$$

Ursachen

kapazitives Netzwerk in Folge der Maschinengeometrie

Gleichtaktspannung wird als Lagerspannung abgebildet

$$BVR = \frac{U_{Lg}}{U_0} = \frac{C_2}{C_2 + C_3 + 2C_{Lg}}$$

Modellierung

Diagnose

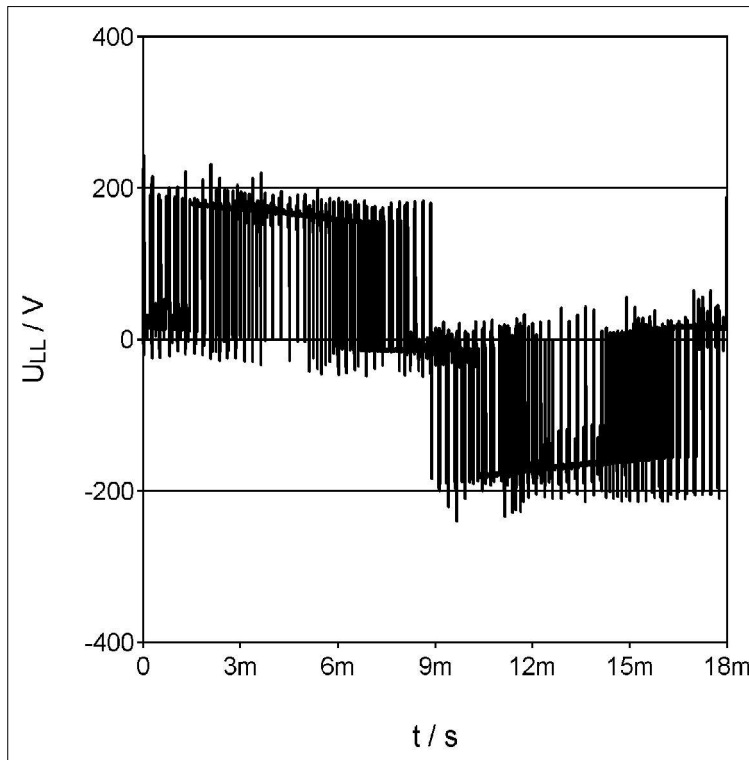
Einleitung

Entstehung

Ursachen

Modellierung

Diagnose



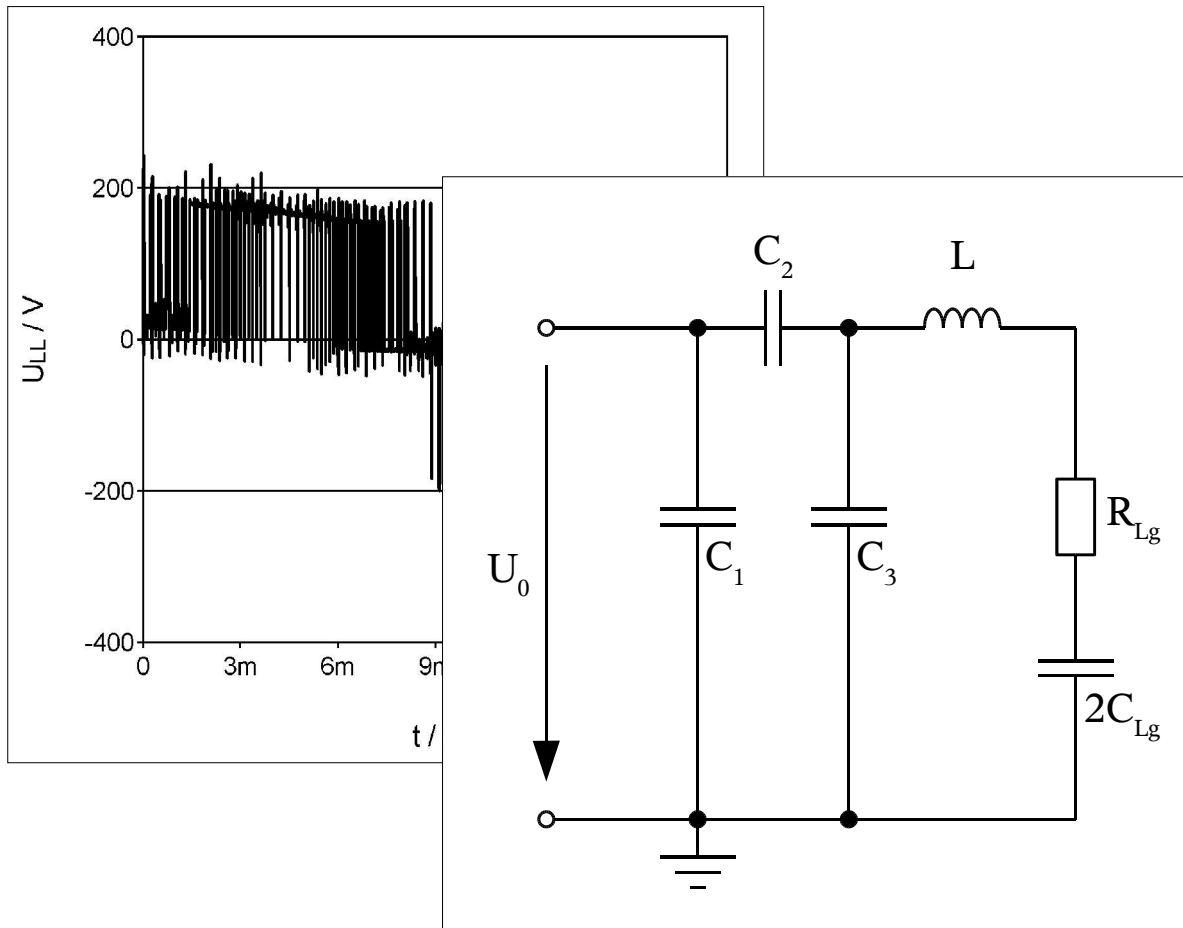
Einleitung

Entstehung

Ursachen

Modellierung

Diagnose



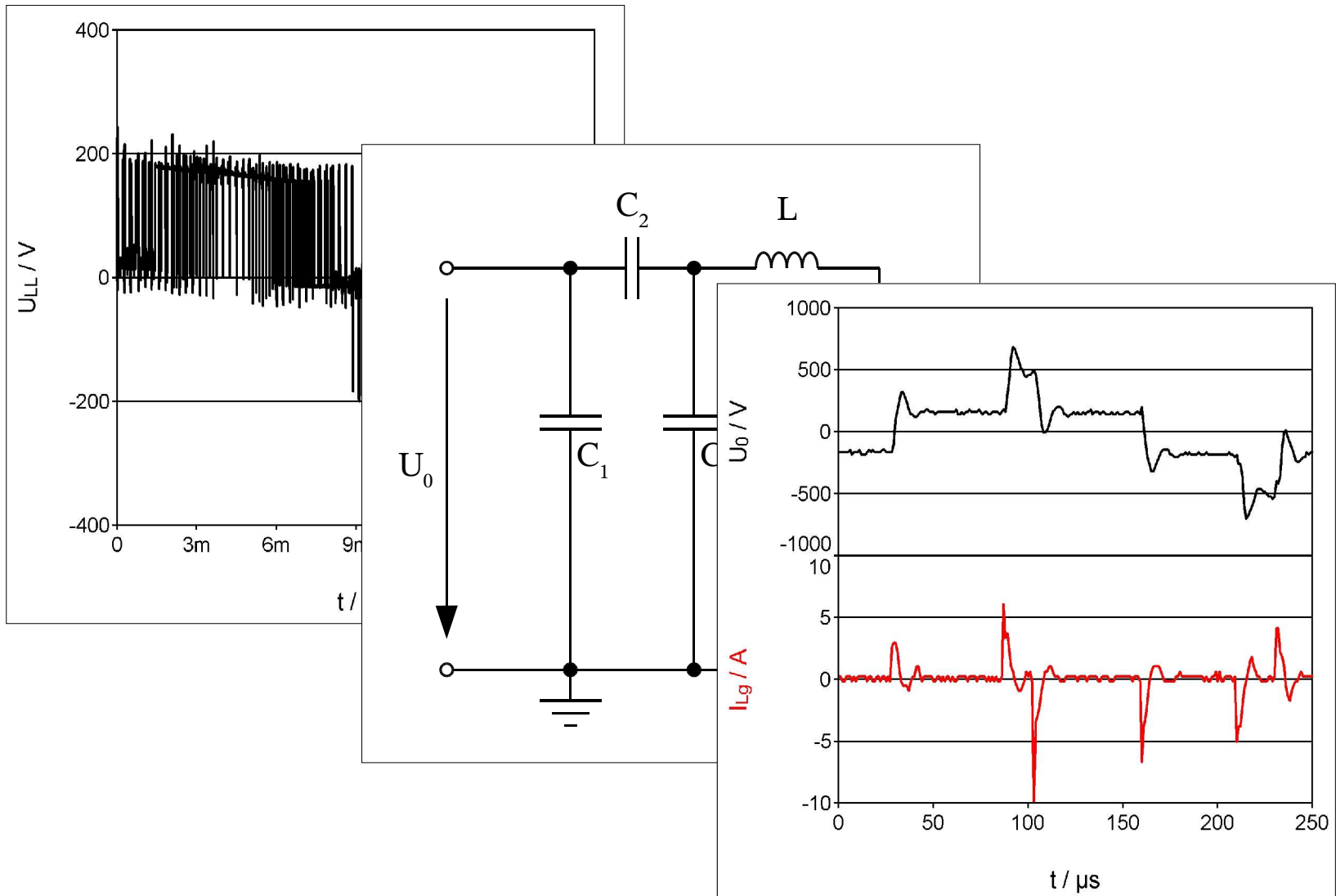
Einleitung

Entstehung

Ursachen

Modellierung

Diagnose



Einleitung

Entstehung

Stromarten

Modellierung

Diagnose

## Arten von Lagerströmen

Niederfrequente Zirkularströme

$du/dt$ -Ströme

EDM-Ströme

Hochfrequente Zirkularströme

Rotorerdströme



Einleitung

Entstehung

Stromarten

Modellierung

Diagnose

## Arten von Lagerströmen

Niederfrequente Zirkularströme

du/dt-Ströme

EDM-Ströme

Hochfrequente Zirkularströme

Rotorerdströme

Einleitung

Entstehung

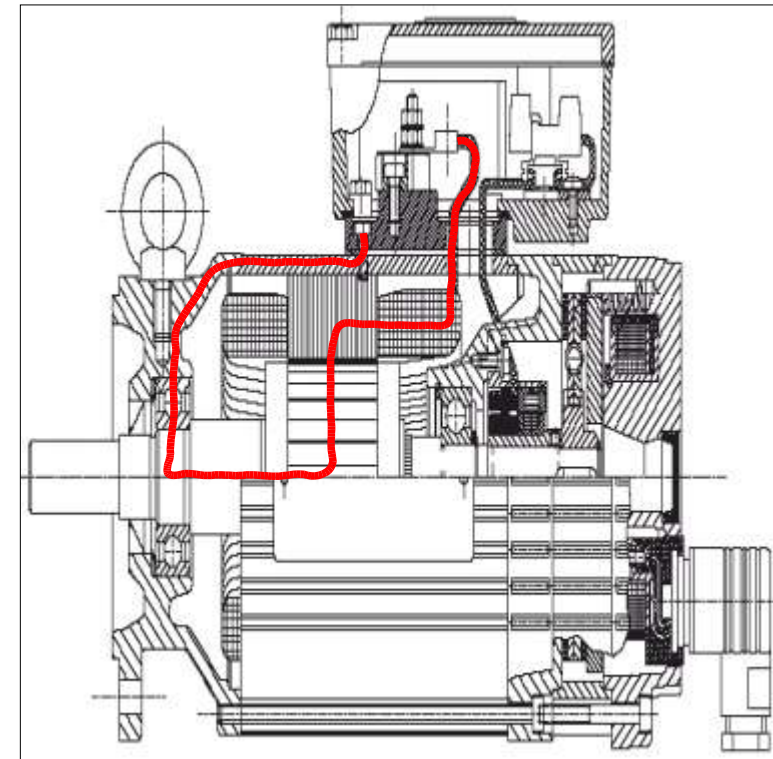
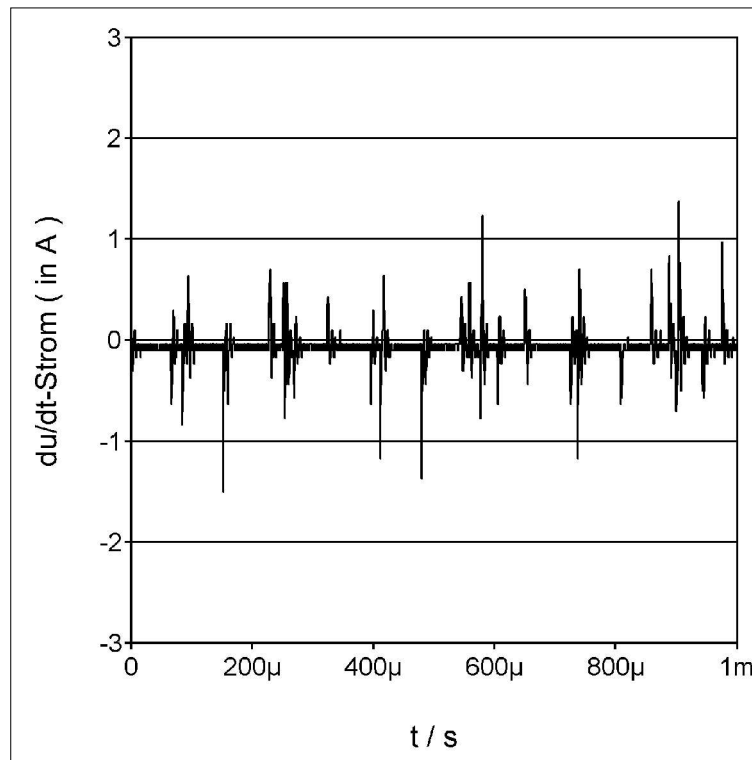
Stromarten  
&  
Strompfade

Modellierung

Diagnose

## du/dt-Ströme

Ursache: Änderung der Gleichtaktspannung



Einleitung

Entstehung

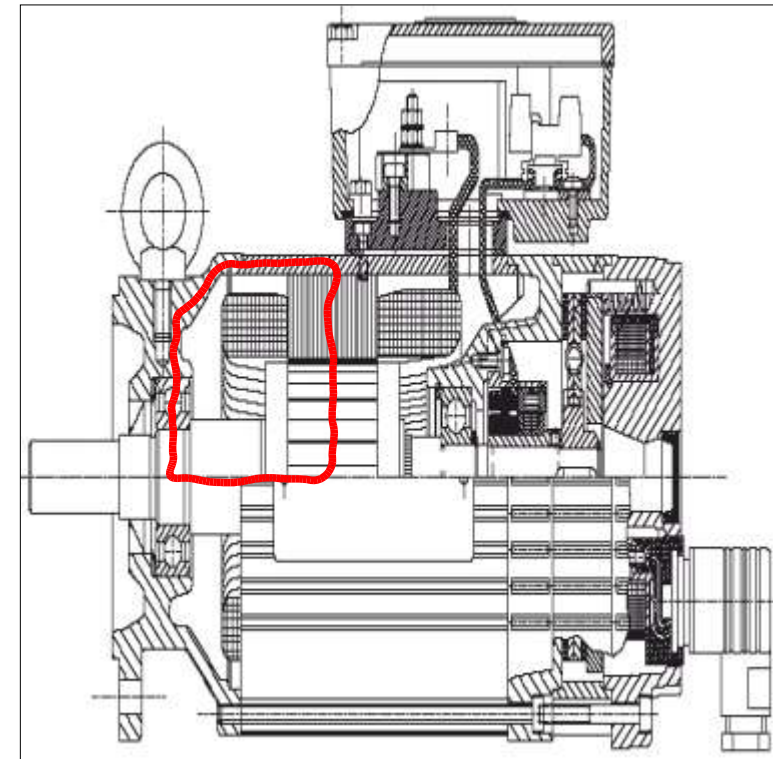
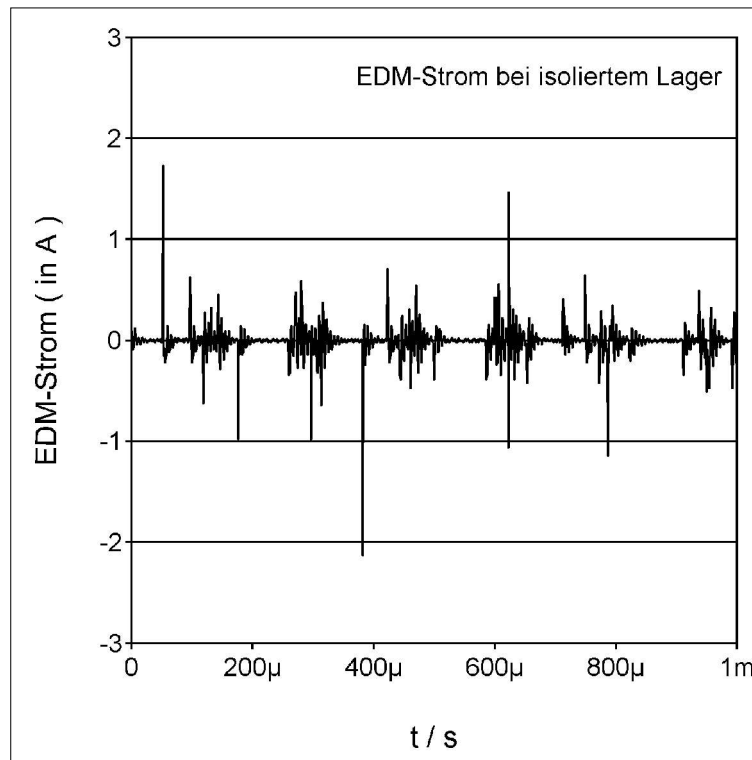
Stromarten  
&  
Strompfade

Modellierung

Diagnose

## EDM-Ströme

Ursache: Zusammenbruch der Schmierfilmkapazität



Einleitung

Entstehung

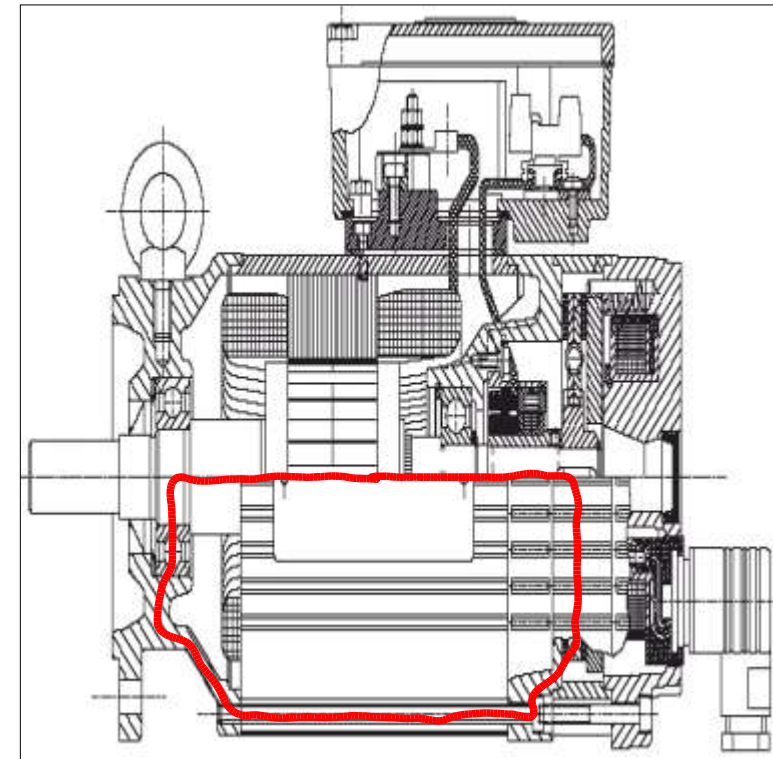
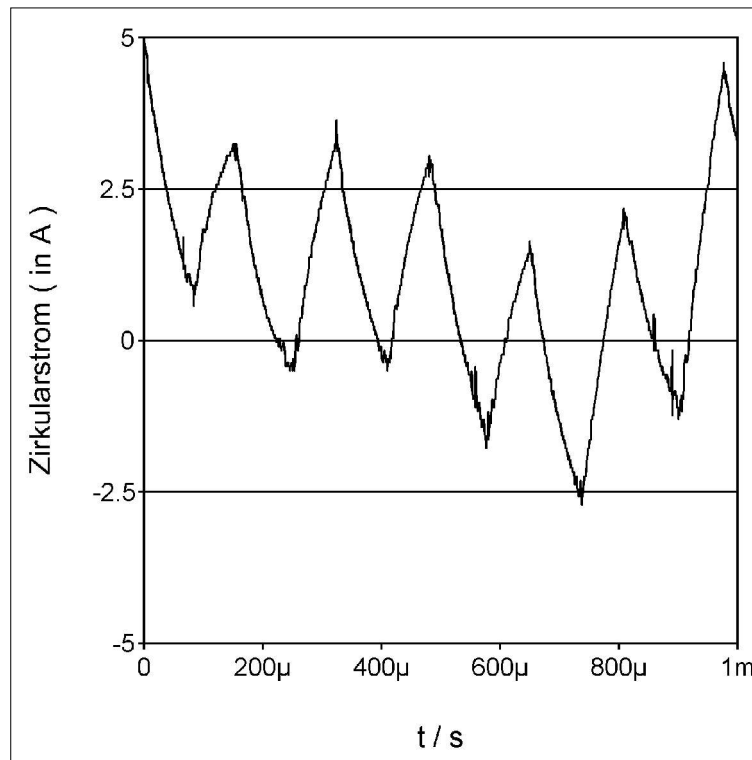
Stromarten  
&  
Strompfade

Modellierung

Diagnose

## Hochfrequente Zirkularströme

Ursache: Induktionsspannung längs der Welle



Einleitung

Entstehung

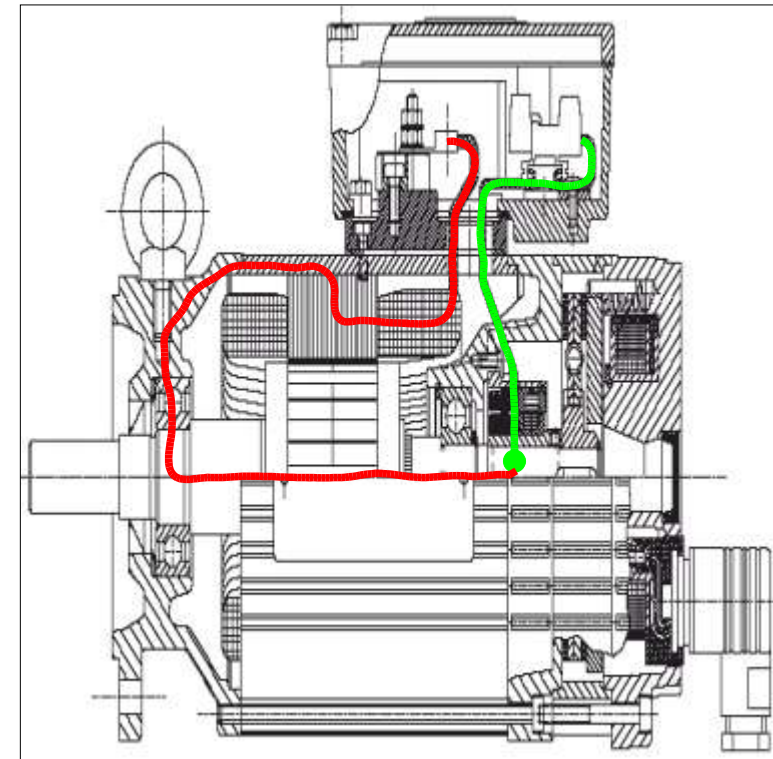
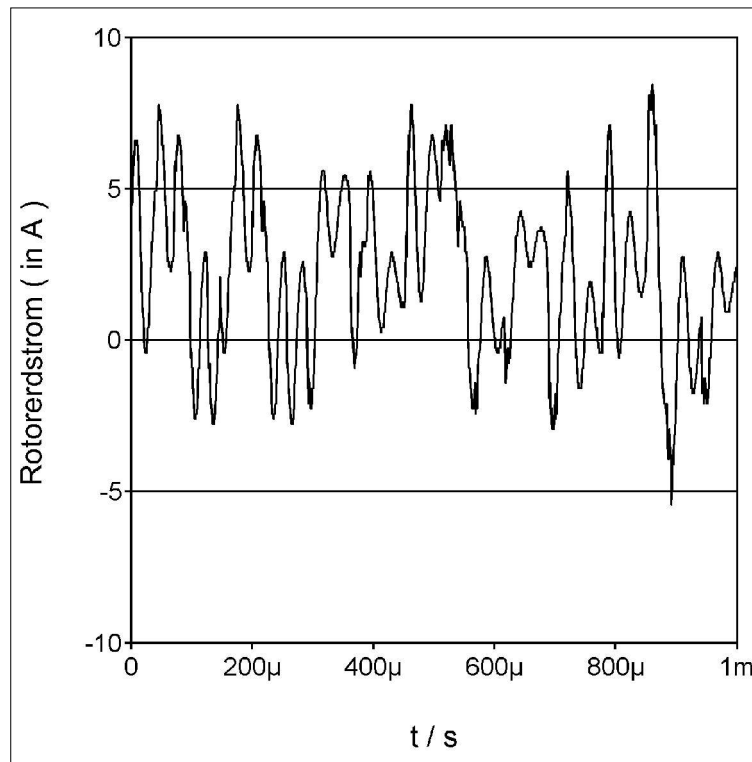
Stromarten  
&  
Strompfade

Modellierung

Diagnose

## Rotorerdströme

Ursache: Statorerdung mit zu hoher Impedanz



## Einleitung

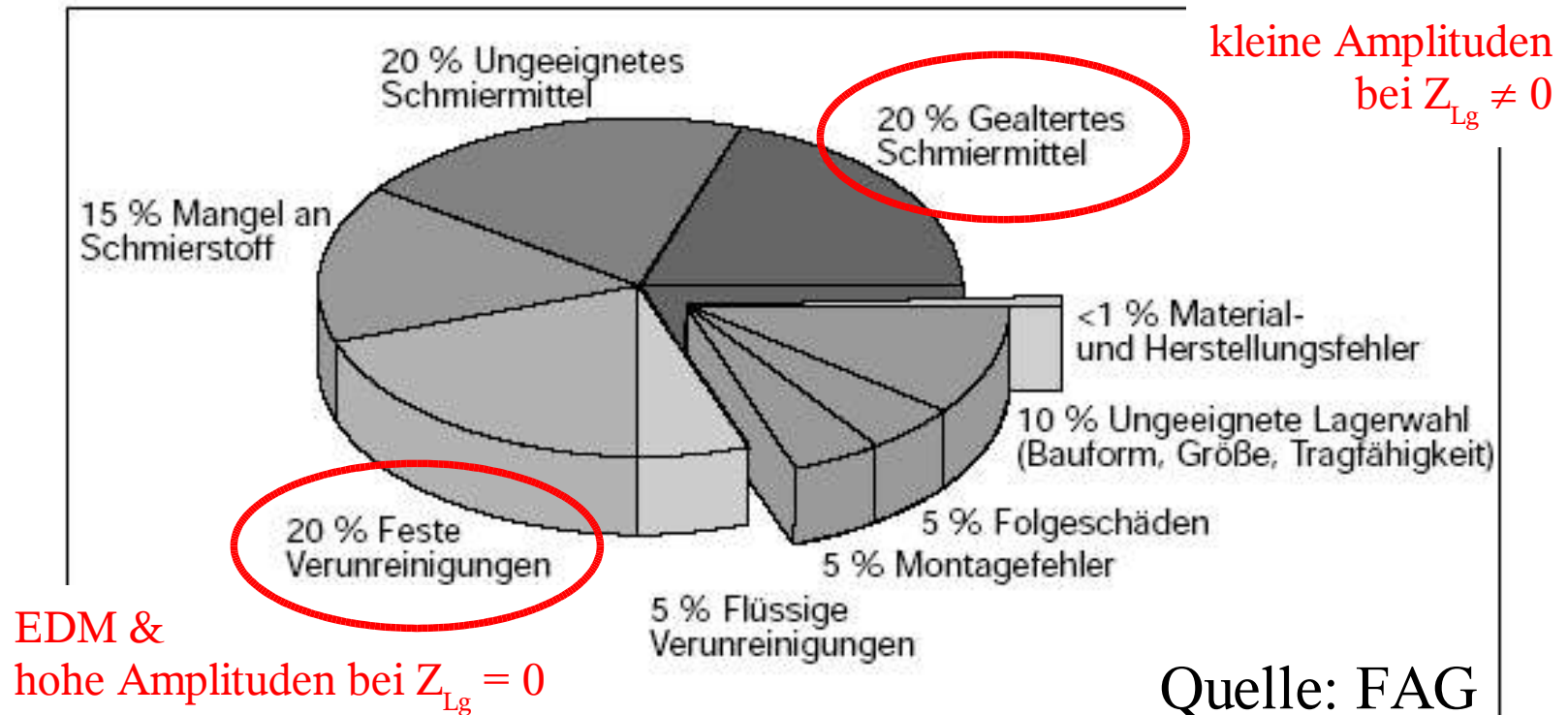
## Entstehung

## Modellierung

## Diagnose

## Stromarten vs. Schadensursache

Problem: statistische Langzeituntersuchungen





Einleitung

Entstehung

**Modellierung**

Gliederung

Diagnose

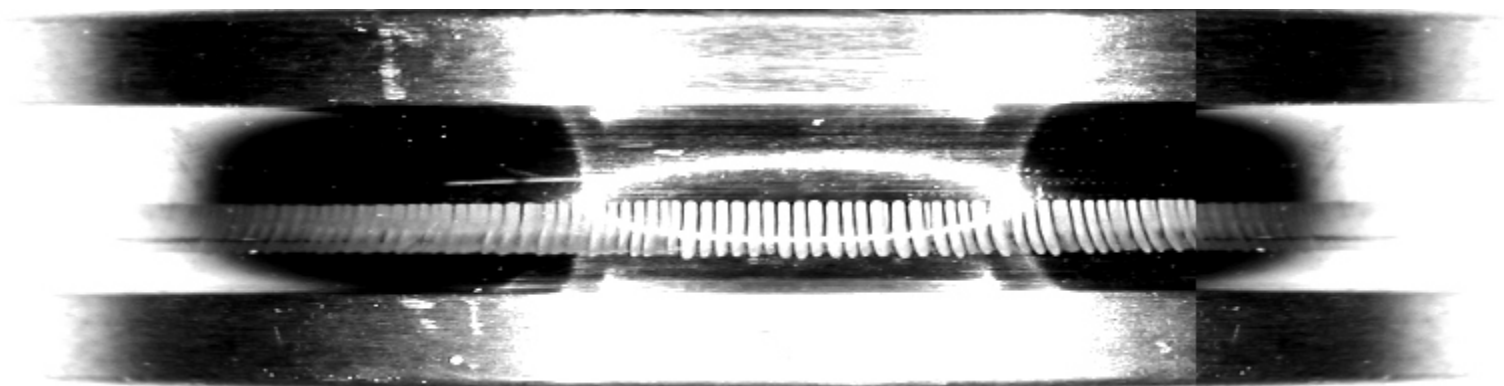
## Modellierung

### Modell des Gleichtaktkreises

Dimensionierung passiver Schutzmaßnahmen

Analytische Beschreibung von Lagerströmen

Diagnose und Prognose





Einleitung

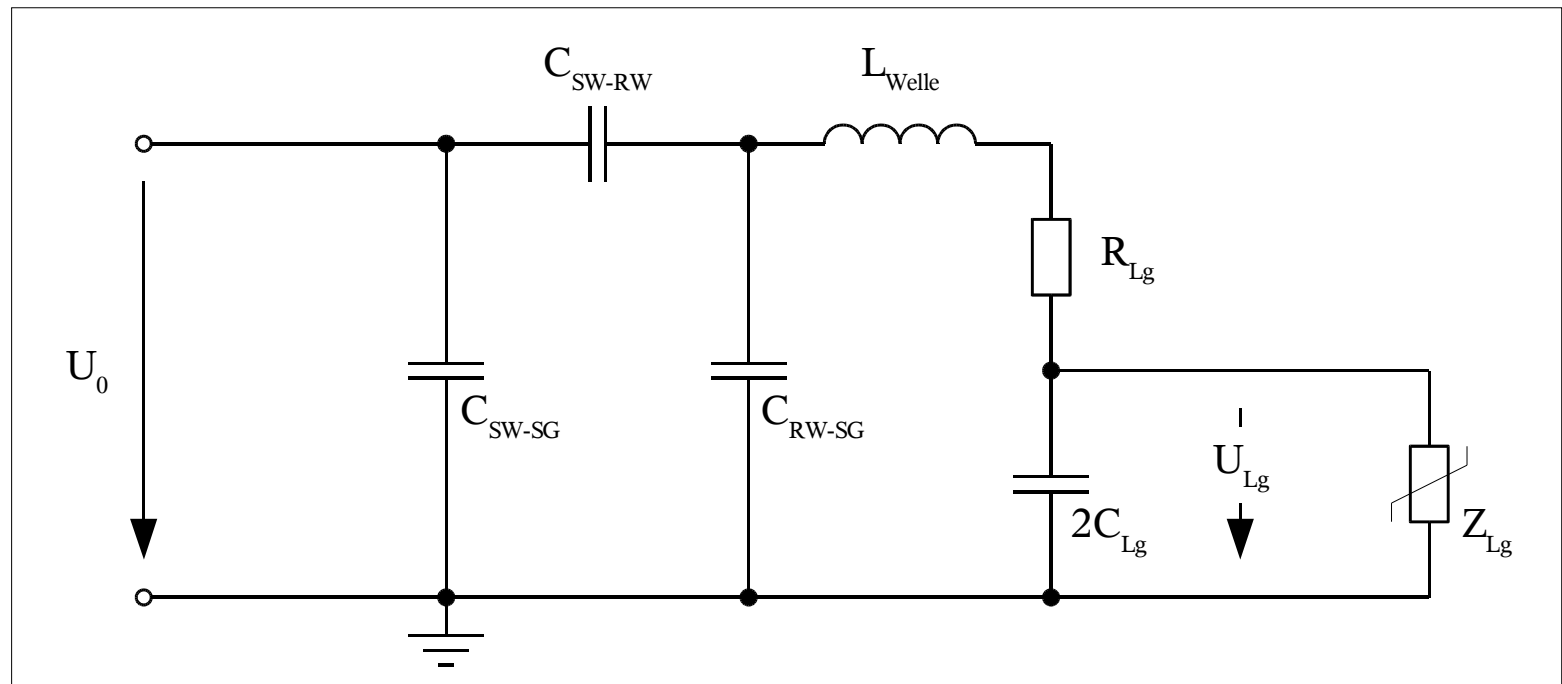
Entstehung

Modellierung

Stator-  
speisung

Diagnose

## Modell des Gleichtaktkreises bei Statorspeisung



$$BVR = \frac{U_{Lg}}{U_0} = \frac{C_{SW-RW}}{C_{SW-RW} + C_{RW-SG} + 2C_{Lg}}$$

Einleitung

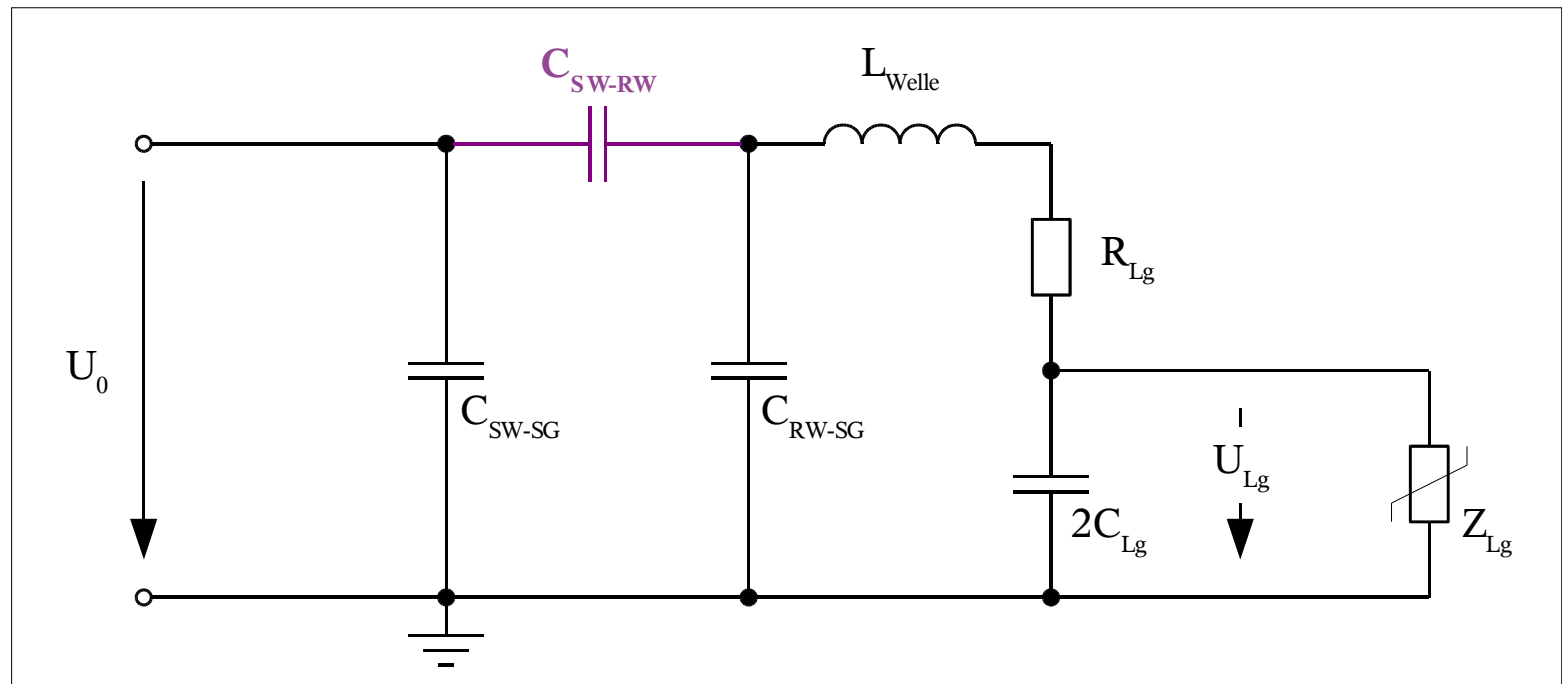
Entstehung

Modellierung

Stator-  
speisung

Diagnose

## Modell des Gleichtaktkreises bei Statorspeisung



$$BVR = \frac{U_{Lg}}{U_0} = \frac{C_{SW-RW}}{C_{SW-RW} + C_{RW-SG} + 2C_{Lg}}$$

Einleitung

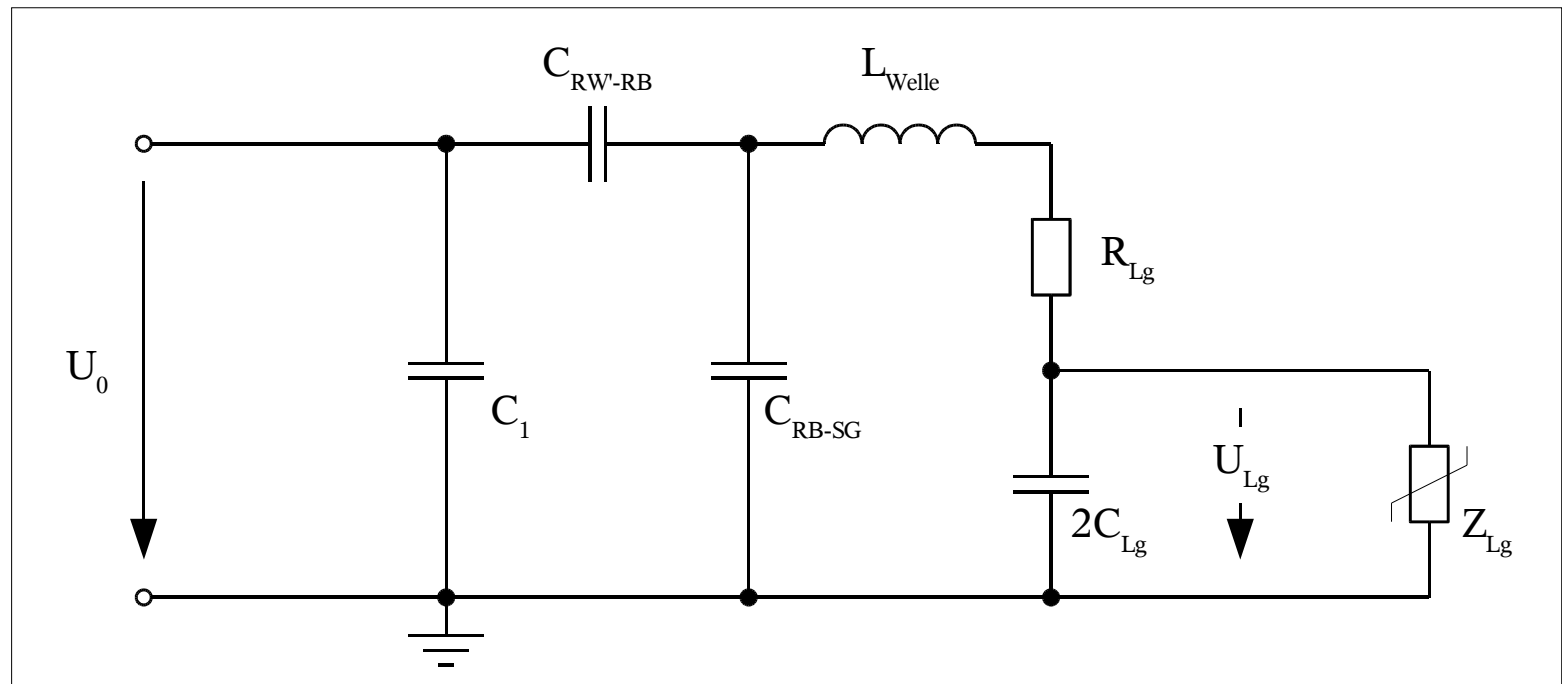
Entstehung

Modellierung

Rotor-  
speisung

Diagnose

## Modell des Gleichtaktkreises bei Rotorspeisung



$$BVR = \frac{U_{Lg}}{U_0} = \frac{C_{RW'-RB}}{C_{RW'-RB} + C_{RB-SG} + 2C_{Lg}}$$

Einleitung

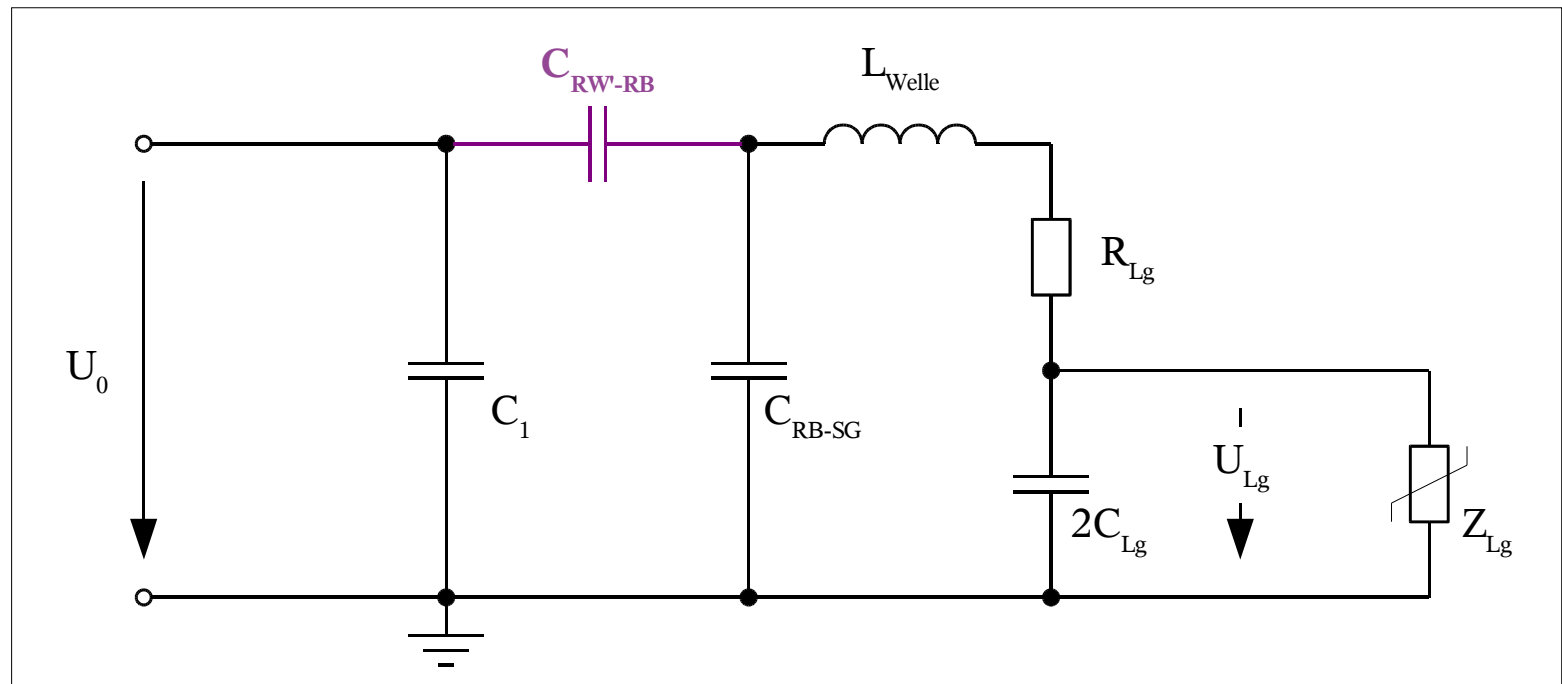
Entstehung

Modellierung

Rotor-  
speisung

Diagnose

## Modell des Gleichtaktkreises bei Rotorspeisung



$$BVR = \frac{U_{Lg}}{U_0} = \frac{C_{RW'-RB}}{C_{RW'-RB} + C_{RB-SG} + 2C_{Lg}}$$

Einleitung

Entstehung

Modellierung

BVR-  
Vergleich

Diagnose

## Rotorspeisung vs. Statorspeisung

$$BVR_{\text{Rotorspeisung}} \sim C_{RW'-RB} \qquad BVR_{\text{Statorspeisung}} \sim C_{SW-RW}$$

### Beispiel

1,5 MW - Asynchrongenerator

$$C_{RW'-RB} = 118,576 \text{ nF} \qquad C_{SW-RW} = 0,427 \text{ nF}$$

$$\frac{BVR_{\text{Rotorspeisung}}}{BVR_{\text{Statorspeisung}}} = 278$$

Einleitung

Entstehung

Modellierung

BVR-  
Vergleich

Diagnose

## Rotorspeisung vs. Statorspeisung

$$BVR_{\text{Rotorspeisung}} \sim C_{RW'-RB} \qquad BVR_{\text{Statorspeisung}} \sim C_{SW-RW}$$

### Beispiel

1,5 MW - Asynchrongenerator

$$C_{RW'-RB} = 118,576 \text{ nF} \qquad C_{SW-RW} = 0,427 \text{ nF}$$

$$\frac{BVR_{\text{Rotorspeisung}}}{BVR_{\text{Statorspeisung}}} = 278$$

Einleitung

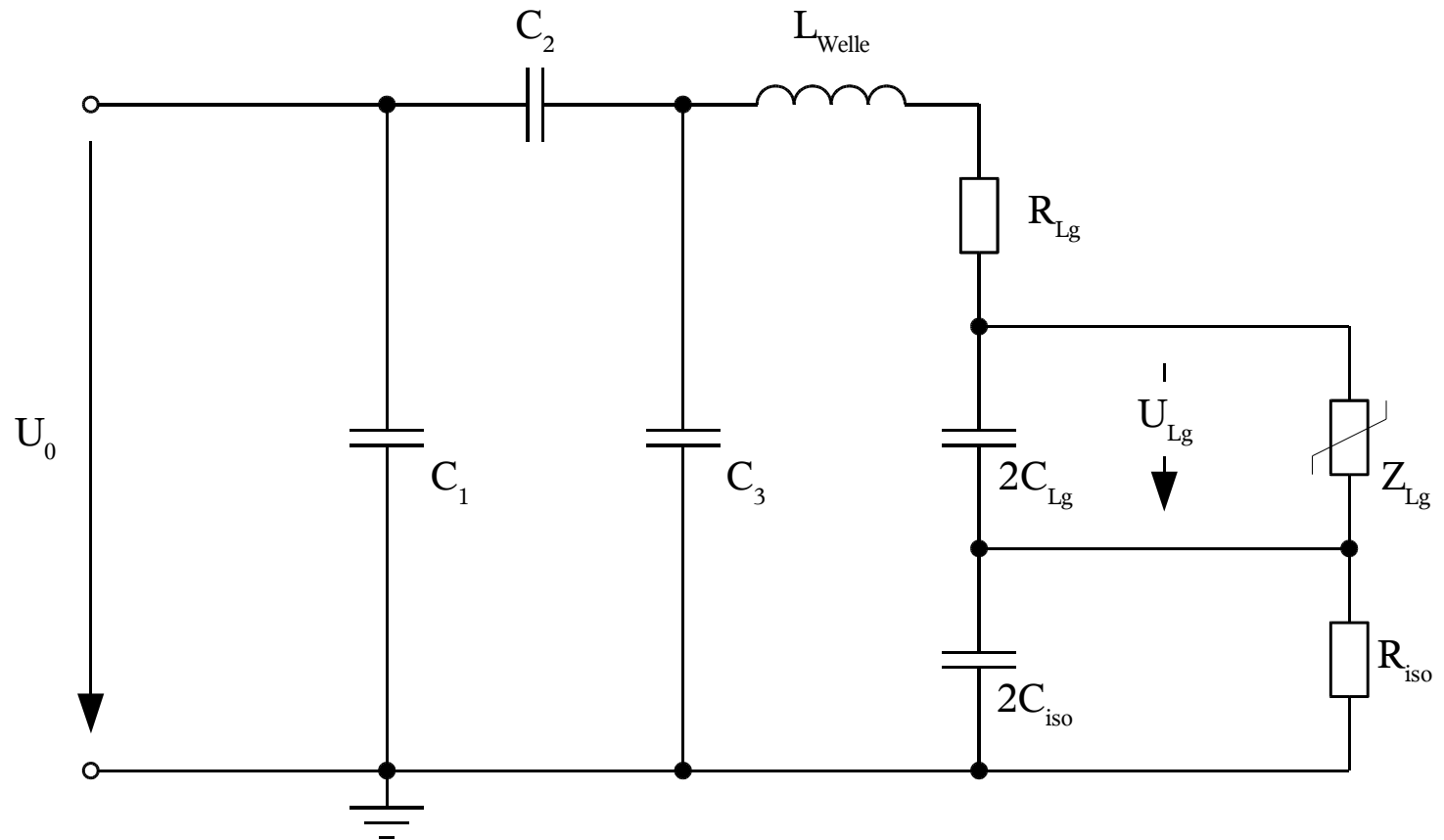
Entstehung

Modellierung

Lager-  
isolation

Diagnose

## Dimensionierung der Lagerisolation





Einleitung

Entstehung

Modellierung

Lager-  
isolation

Diagnose

## Dimensionierung der Lagerisolation

BVR bei Statorspeisung

$$\frac{U_{Lg}}{U_0} = \frac{C_{SW-RW}}{2C_{Lg} + \left(1 + \frac{C_{Lg}}{C_{iso}}\right)(C_{SW-RW} + C_{RW-SG})}$$

BVR bei Rotorspeisung

$$\frac{U_{Lg}}{U_0} = \frac{C_{RW-RB}}{2C_{Lg} + \left(1 + \frac{C_{Lg}}{C_{iso}}\right)(C_{RW-RB} + C_{RB-SG})}$$

Einleitung

Entstehung

Modellierung

Lager-  
isolation

Diagnose

## Dimensionierung der Lagerisolation

BVR bei Statorspeisung

$$\frac{U_{Lg}}{U_0} = \frac{C_{SW-RW}}{2C_{Lg} + \left(1 + \frac{C_{Lg}}{C_{iso}}\right)(C_{SW-RW} + C_{RW-SG})}$$

BVR bei Rotorspeisung

$$\frac{U_{Lg}}{U_0} = \frac{C_{RW-RB}}{2C_{Lg} + \left(1 + \frac{C_{Lg}}{C_{iso}}\right)(C_{RW-RB} + C_{RB-SG})}$$

Einleitung

Entstehung

Modellierung

Lager-  
isolation

Diagnose

## Dimensionierung der Lagerisolation

Je kleiner die Kapazität der Lagerisolation gegenüber der Lagerkapazität ist, desto kleiner ist auch die zugehörige BVR!

Die Wirkung der Lagerisolation ist aber davon abhängig, ob das Lager kapazitiven oder ohmschen Charakter aufweist.

worst case:

große Kapazität der Lagerisolation  
bei gleichzeitig großer Koppelkapazität  $C_2$

Einleitung

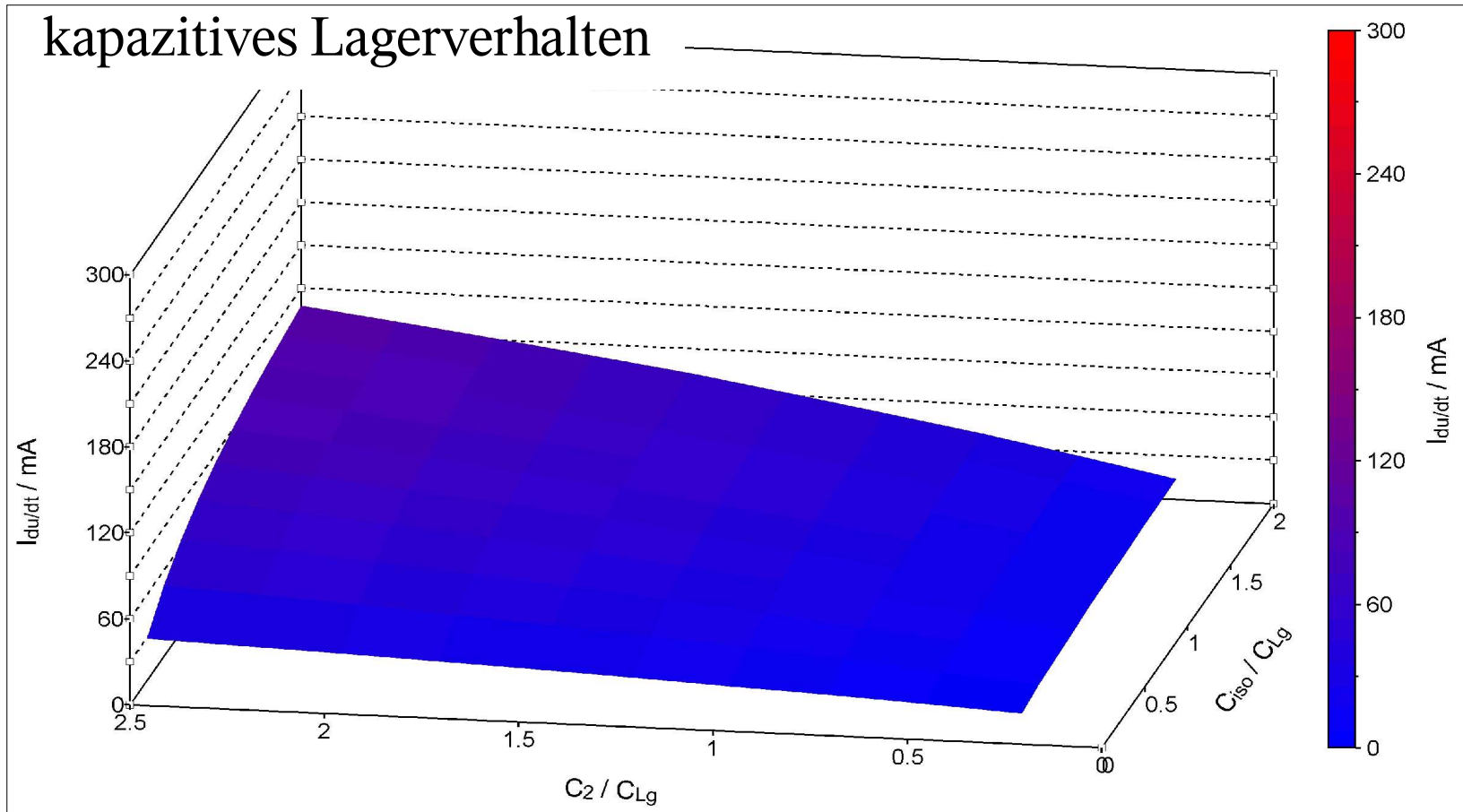
Entstehung

Modellierung

Lager-  
isolation

Diagnose

## Dimensionierung der Lagerisolation



Einleitung

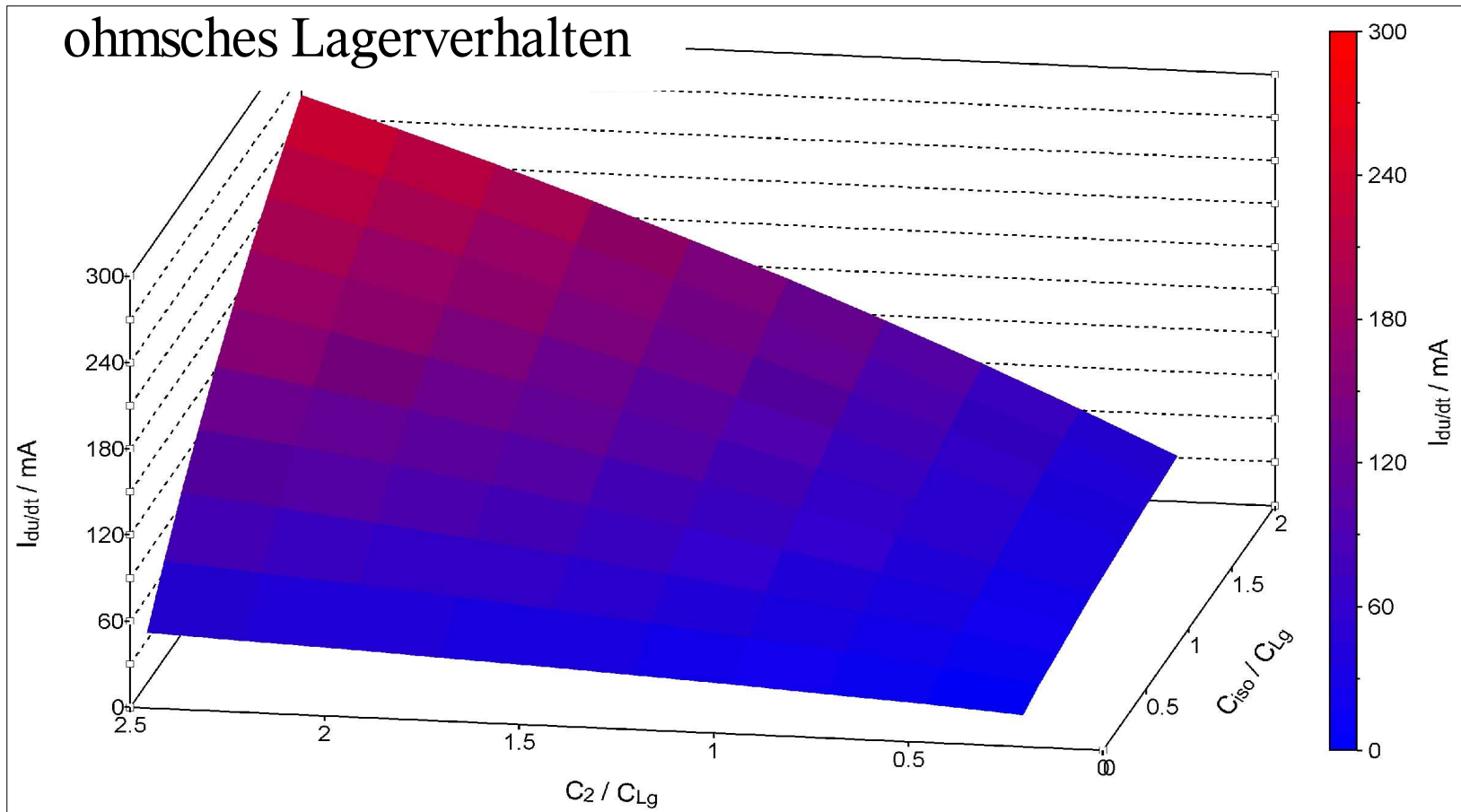
Entstehung

Modellierung

Lager-  
isolation

Diagnose

## Dimensionierung der Lagerisolation



Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose

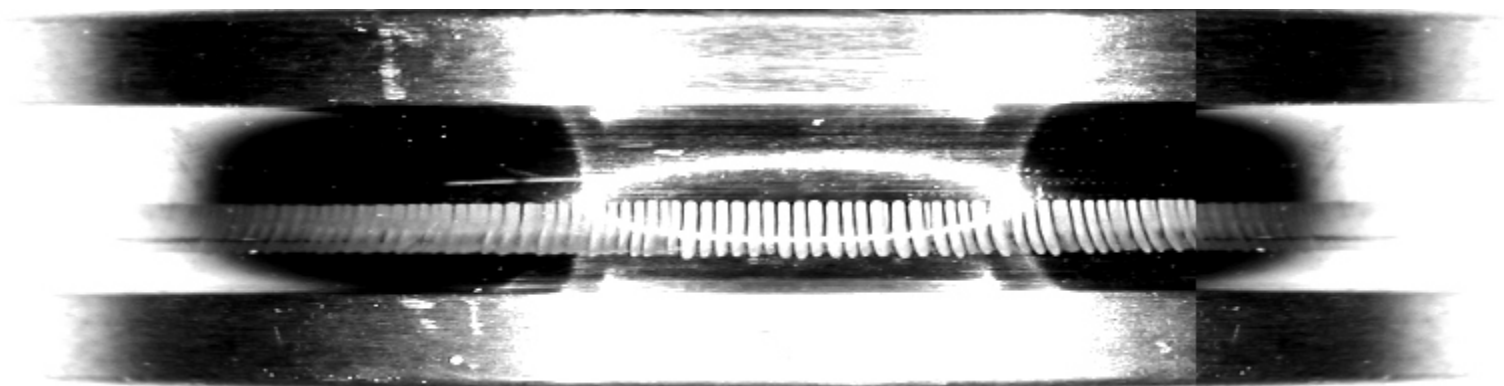
## Prognose und Diagnose von Lagerströmen

### Modellierung der Gleichtaktspannung

als Basis für die Berechnung von Lagerströmen

### Modellierung bzw. Messung des Summenstroms

als Basis für die Ermittlung der Lagerschädigung



Einleitung

Entstehung

Modellierung

**Diagnose**

## Modellierung der Gleichtaktspannung

Aktueller Raumzeiger



NF/HF-Maschinenmodell



Gleichtaktspannung



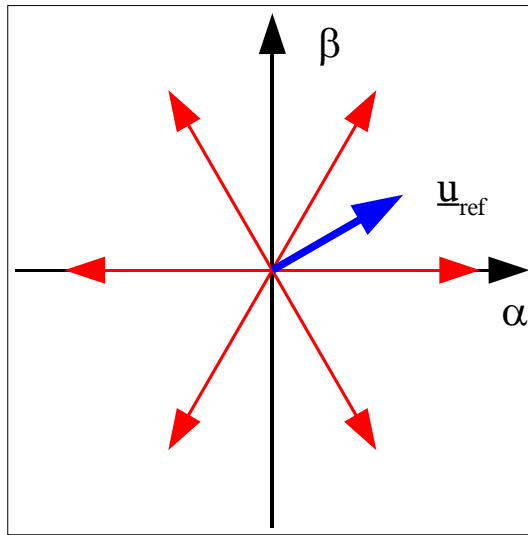
Gleichtaktkreis



Einleitung

Entstehung

Modellierung

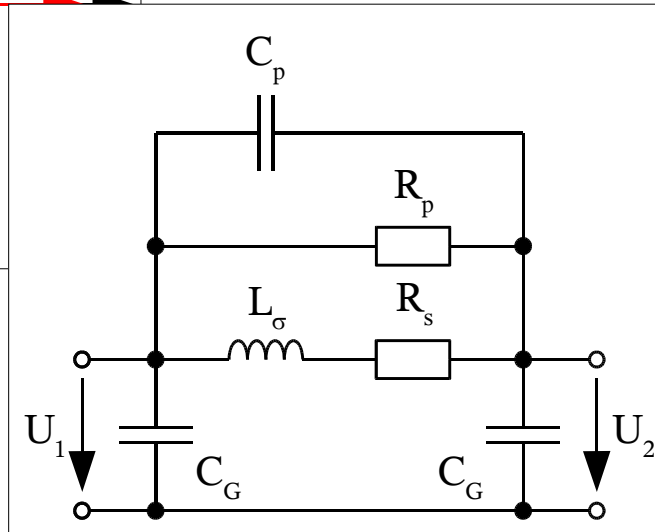
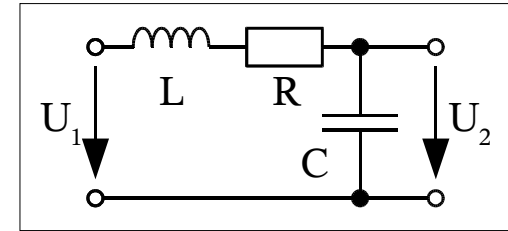
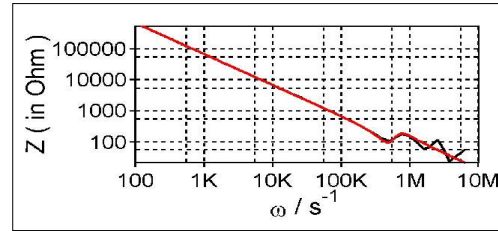
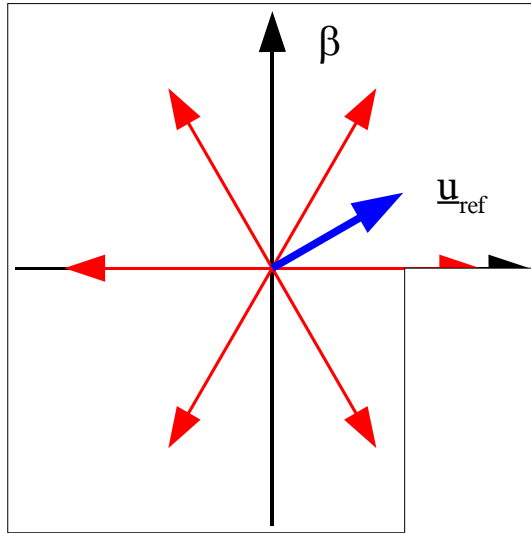
**Diagnose**

Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose

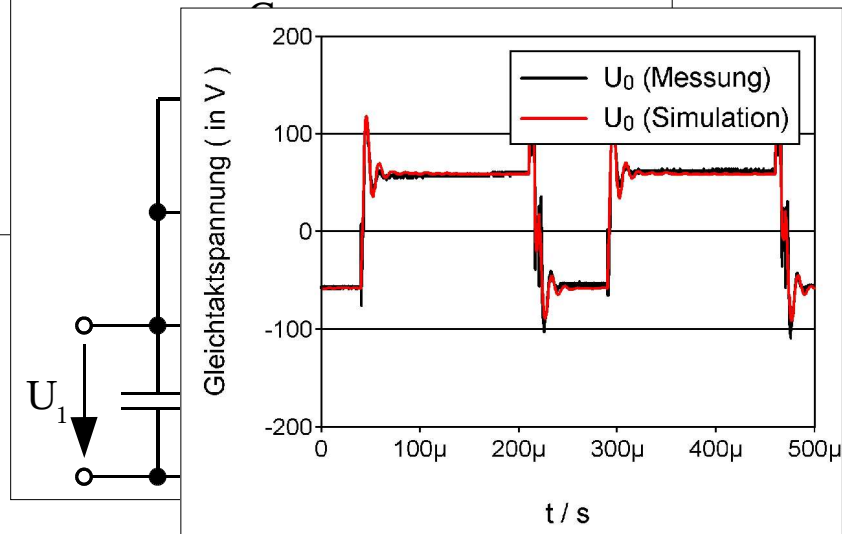
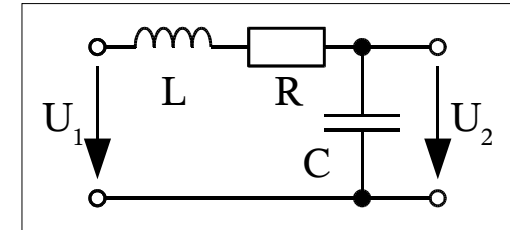
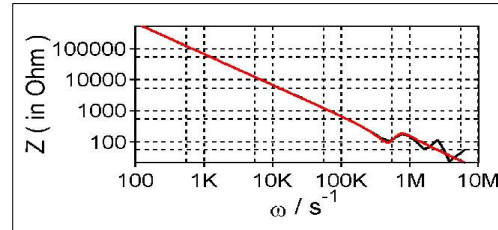
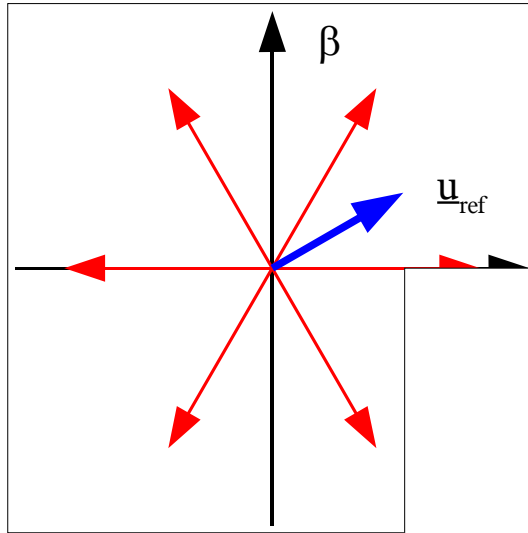


Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose

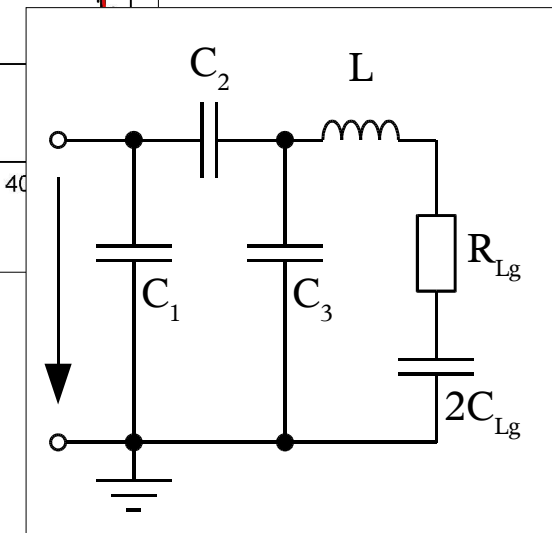
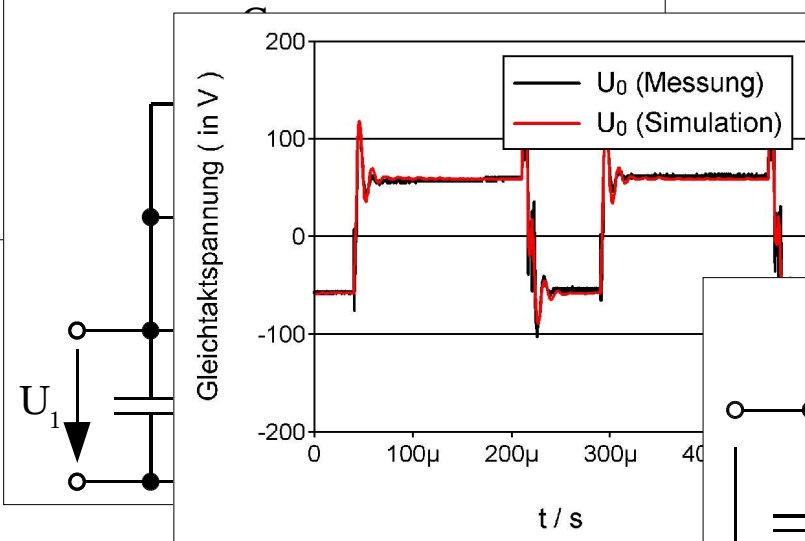
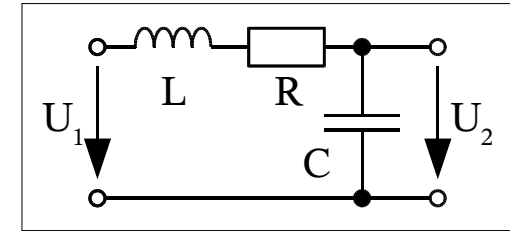
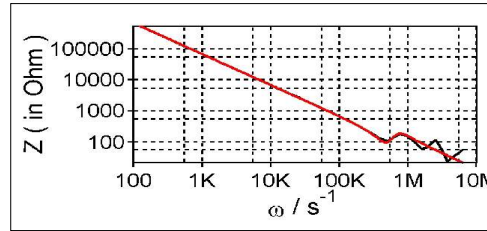
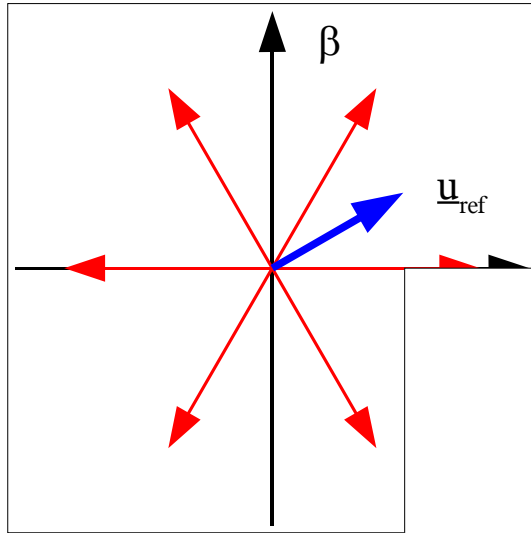


Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose

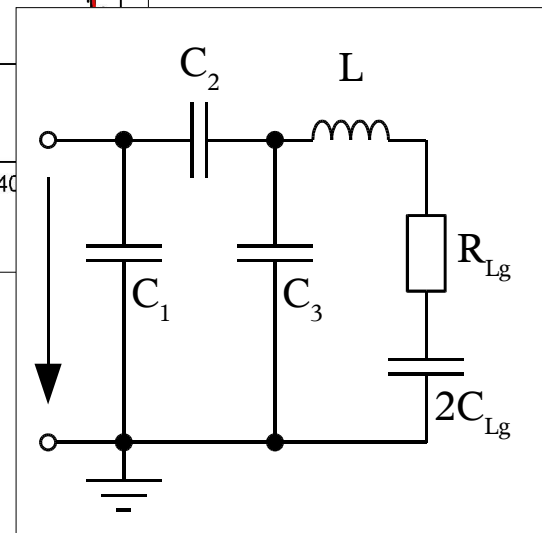
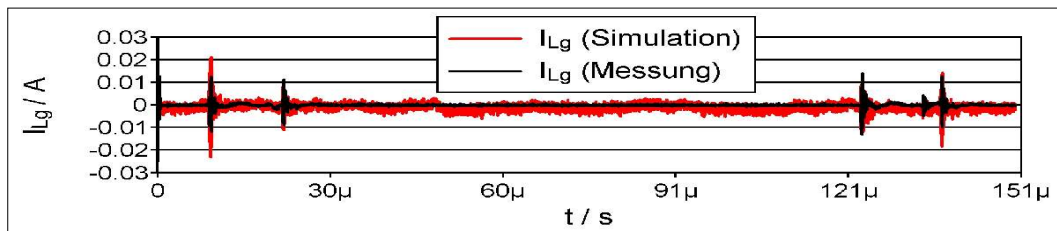
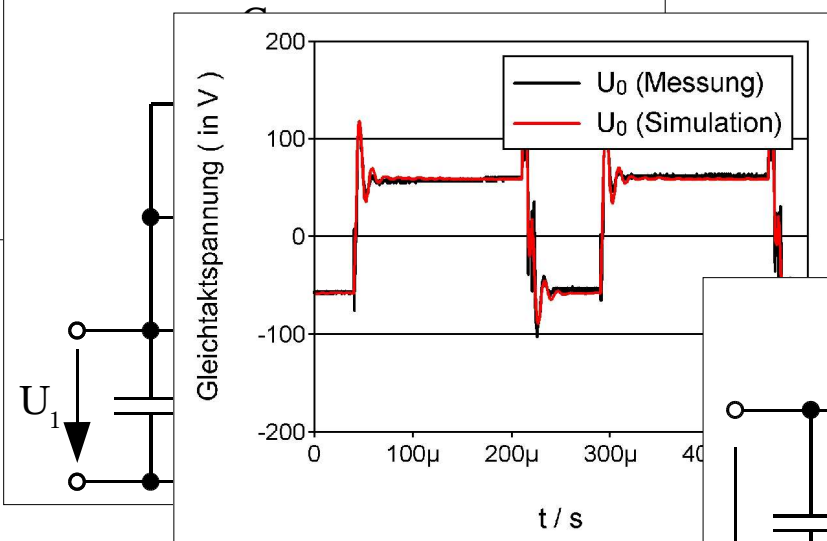
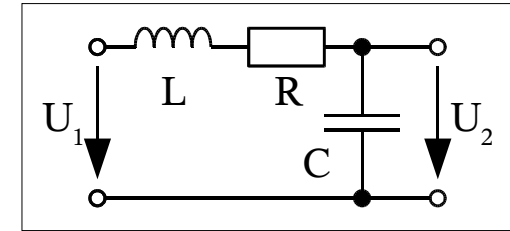
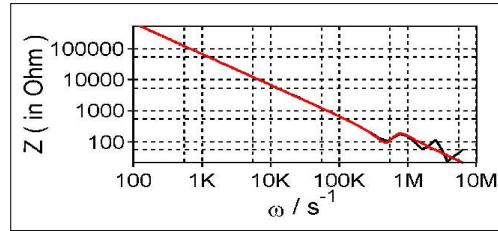
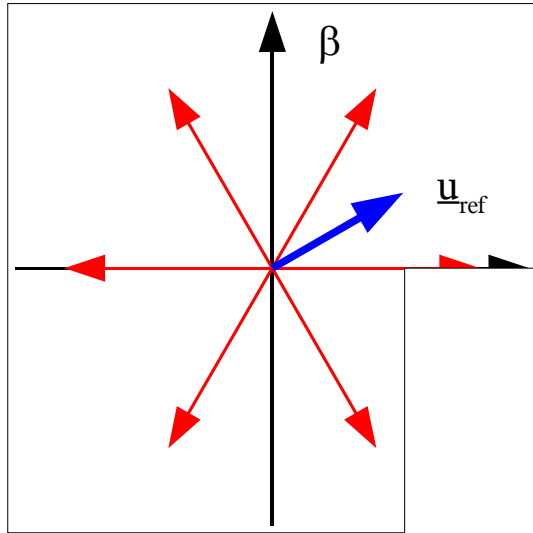


Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose



Einleitung

Entstehung

## Modellierung des Summenstroms

Lagerstrom ist anteilig im Summenstrom enthalten

$$I_0 = \frac{I_u + I_v + I_w}{3} = I_{PE} + I_{Lg}$$

Lagerstrom ist bei bekanntem Koppelnetzwerk extrahierbar

Möglichkeit der Online-Diagnose und Schadensabschätzung

aber:

EDM und Zirkularanteile sind zunächst nicht nachweisbar!

Modellierung

Diagnose

Einleitung

Entstehung

Modellierung

**Diagnose**

## Modellierung des Summenstroms

Aktueller Raumzeiger



Maschinenmodell mit verteilten Elementen



Gleichtaktspannung

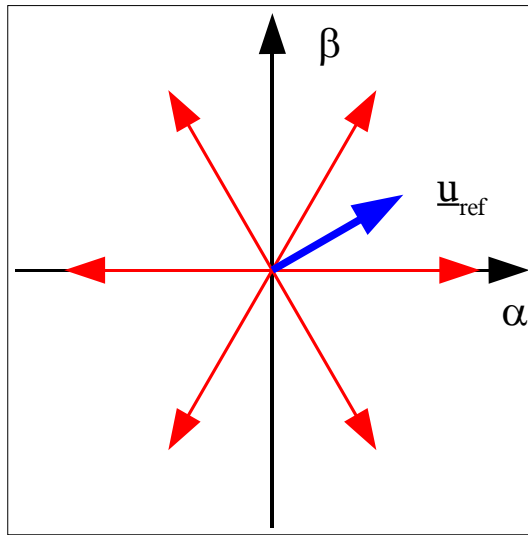


Gleichtaktkreis

Einleitung

Entstehung

Modellierung

**Diagnose**

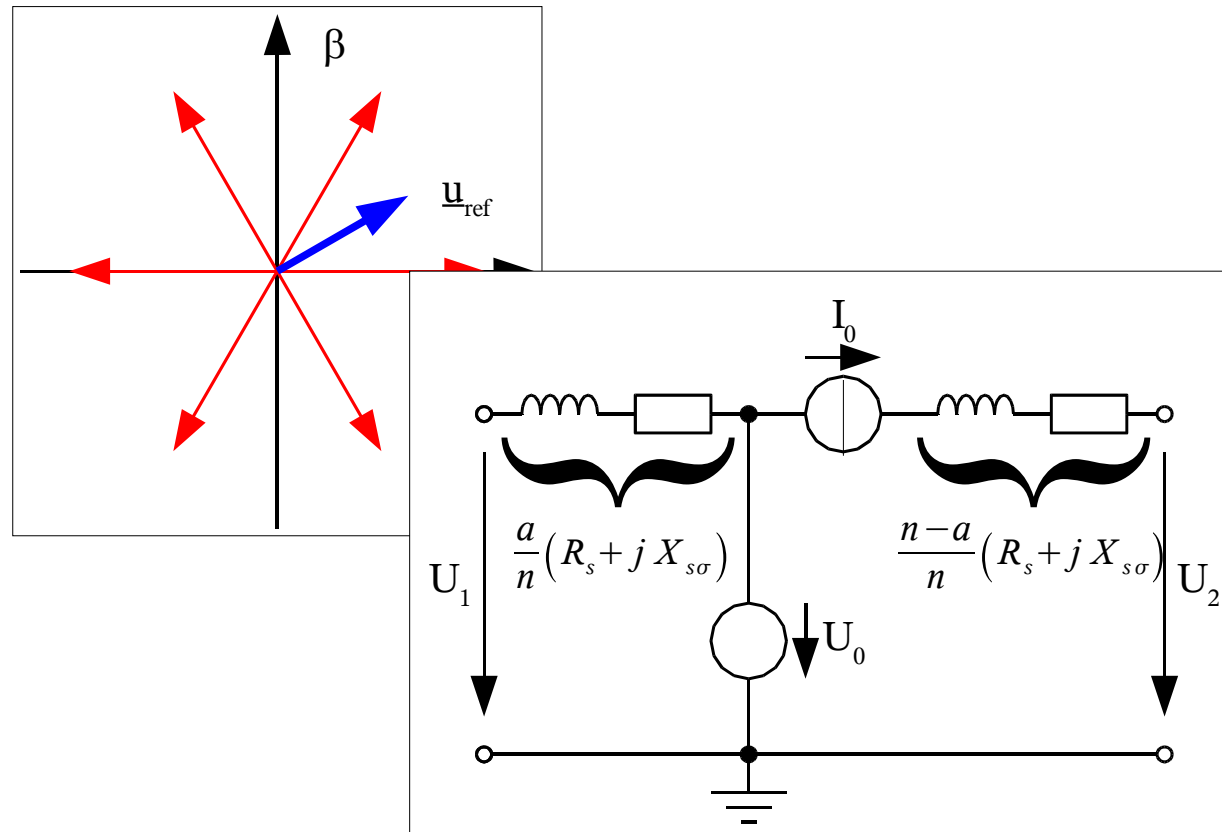


Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose

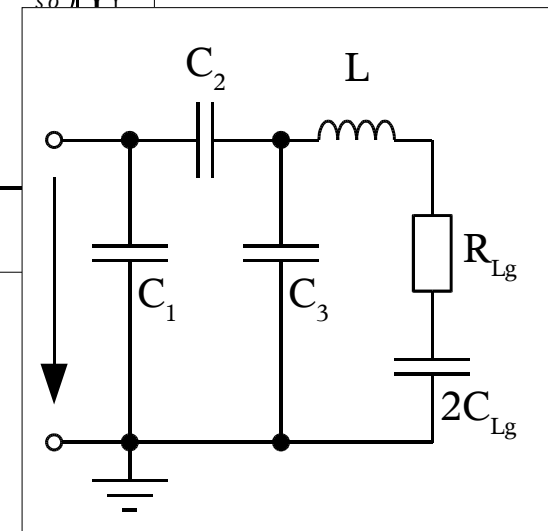
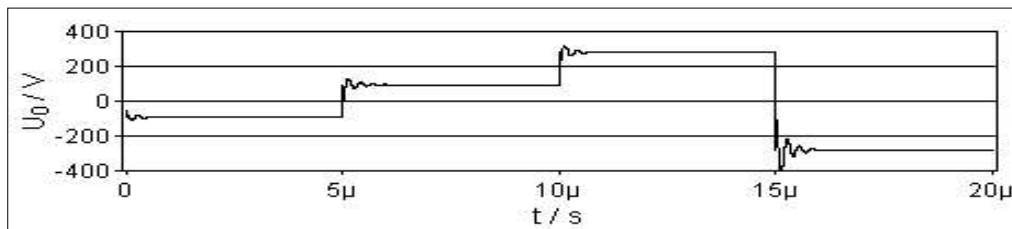
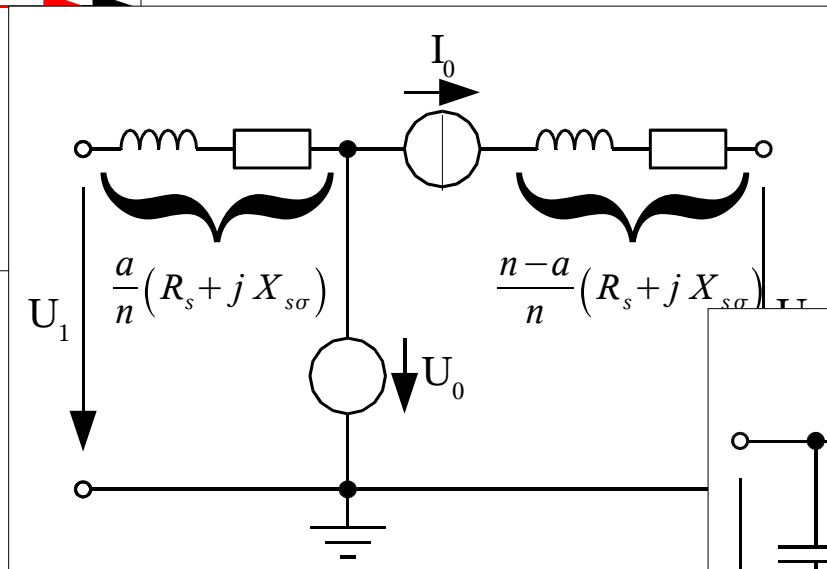
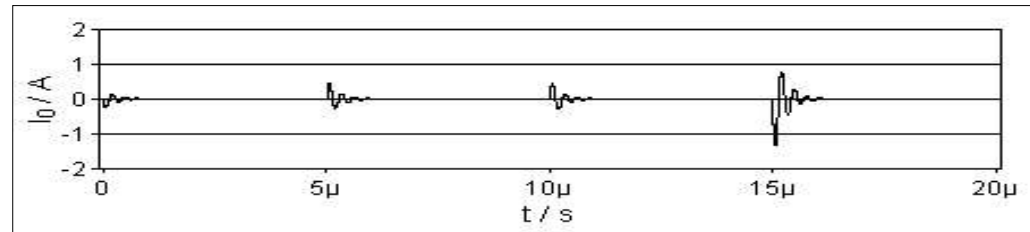
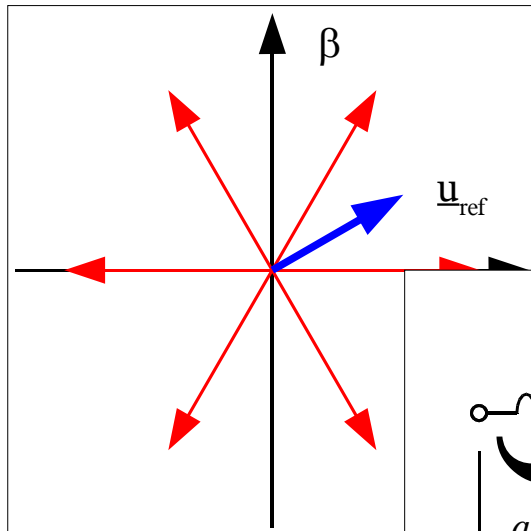


Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose

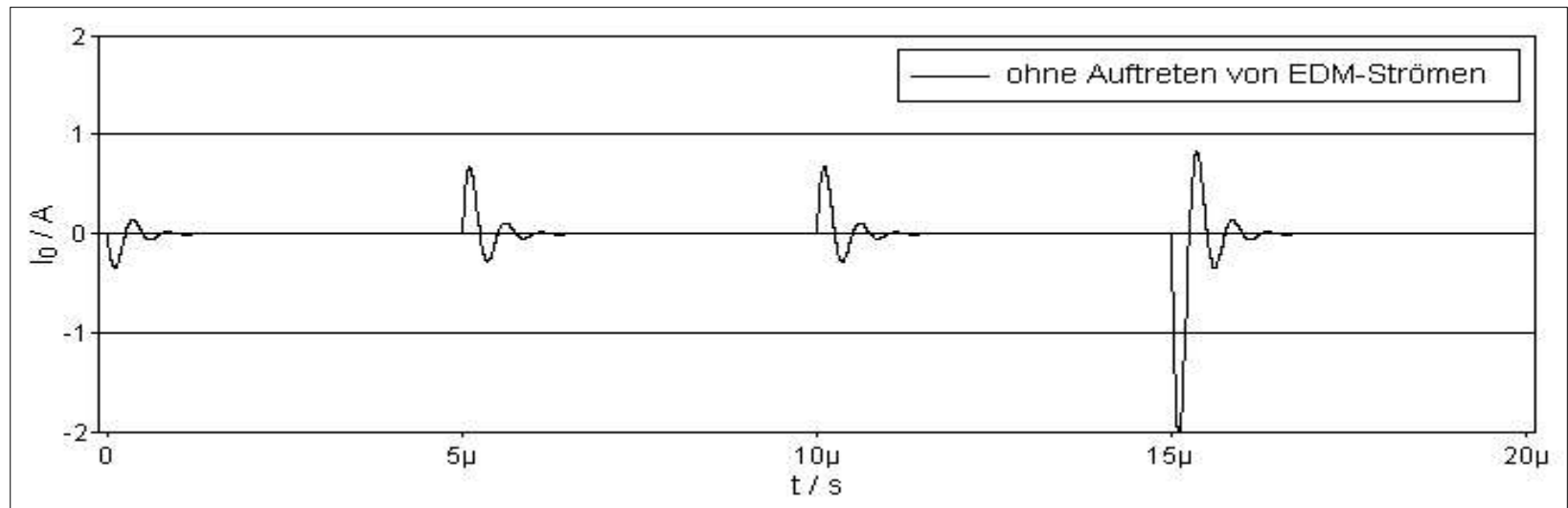
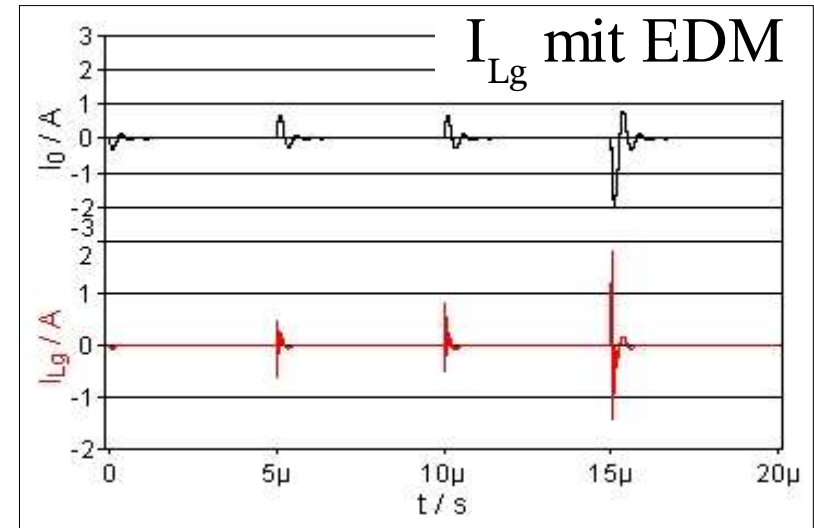
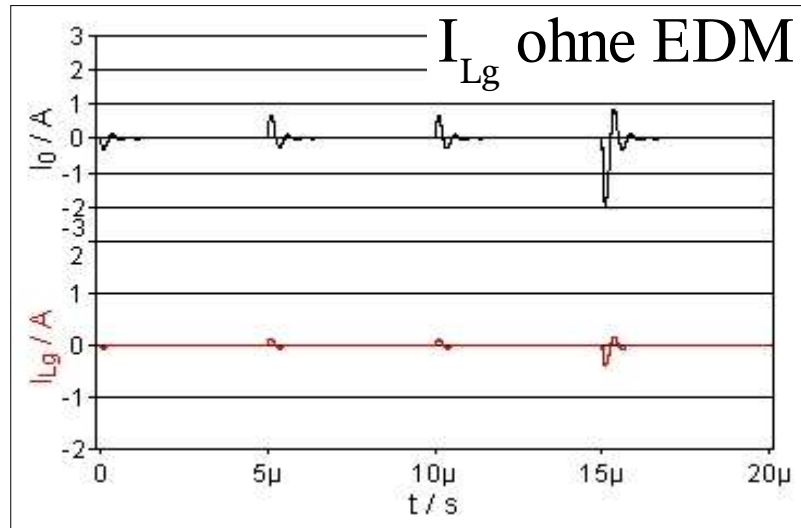


Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose

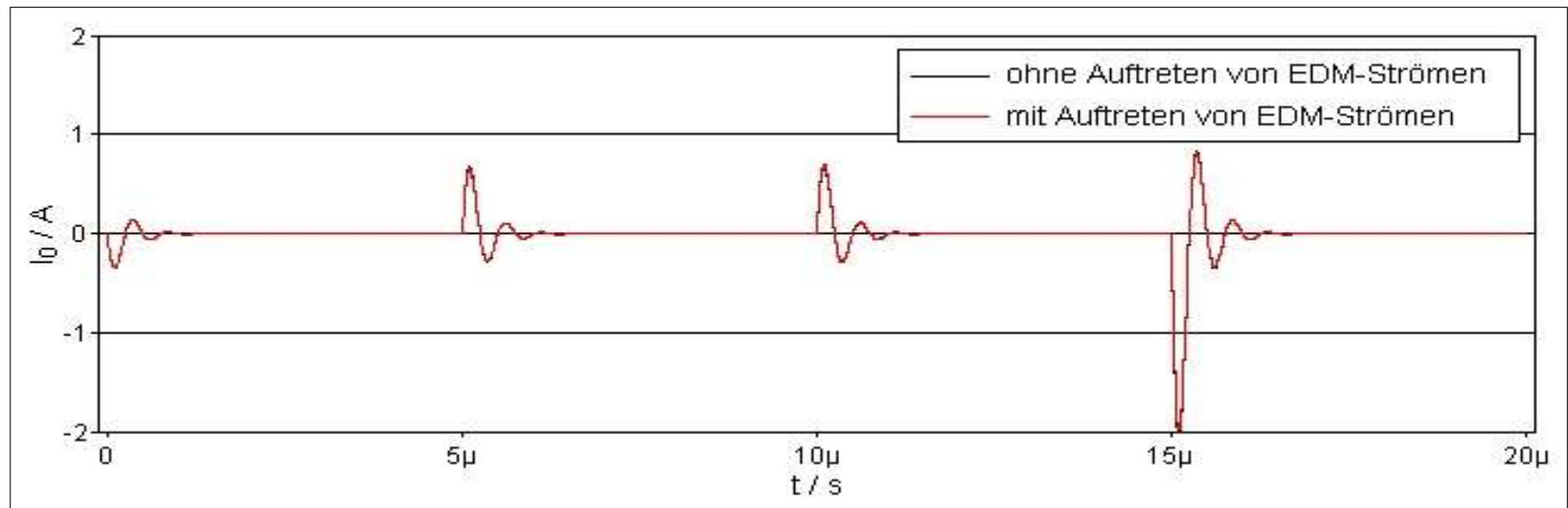
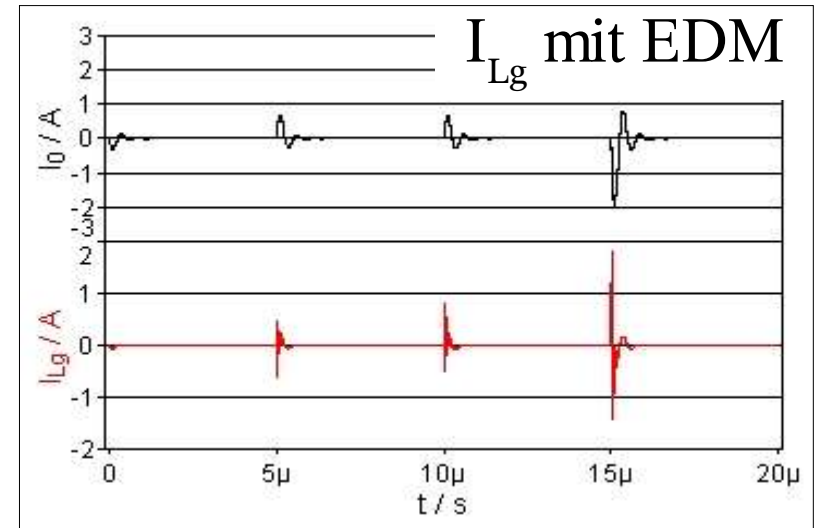
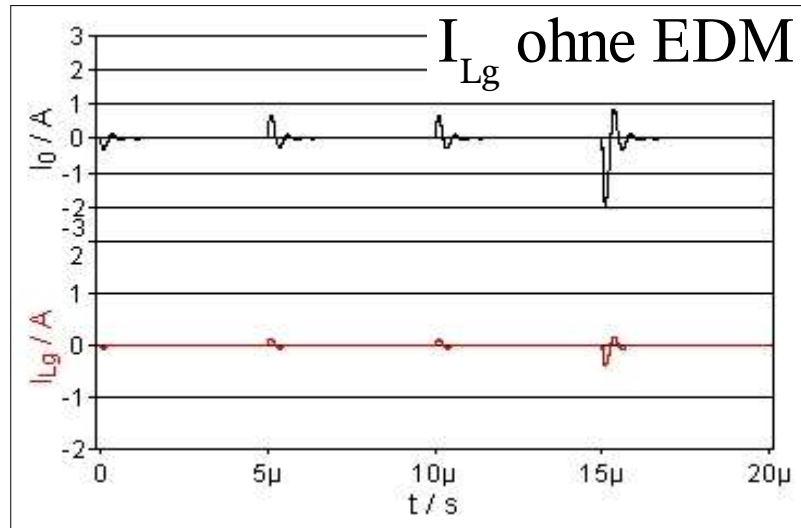


Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose



Einleitung

## Zusammenfassung

Umrichterspeisung führt zu neuen Lagerstromphänomenen

Ursache: Gleichtaktspannung und kapazitives Koppelnetzwerk

Passive Gegenmaßnahmen bedürfen einer Modellierung

Grund: Wirksamkeit hängt vom Koppelnetzwerk ab

MTBF-Abschätzung mittels Online-Diagnose

Möglichkeiten: Gleichtaktspannung und/oder Summenstrom

Problem:

EDM- und Zirkularanteile sind bisher nicht diagnostizierbar

Entstehung

Modellierung

Diagnose

Einleitung

Entstehung

Modellierung

Diagnose

## Ausblick

### Vertiefung der Modellierung

Parameterbestimmung für das Koppelnetzwerk

### Verbesserung der Online-Diagnose

Erkennen von EDM- und Zirkularanteilen

### Zustandsüberwachung der Lager

Verbesserte Gütekriterien in Abh. messbarer Größen

### Ziel:

Lagerdiagnose ohne zusätzliche Messeinrichtungen