

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme

Aus OptiYummy

↑

← →

3. Etappe im Übungskomplex "Nadelantrieb" Geometrie & Wärme (des E-Magneten) Autor: Dr.-Ing. Alfred Kamusella

*Der schlimmste aller Fehler ist,
sich keines solchen bewusst zu sein.
- Thomas Carlyle -*

1. Zielstellung

1. Optimale konstruktive Parameter
2. Berücksichtigung der Erwärmung

2. Modell-Erweiterung

1. CAD-Geometrie
2. Elektromagnet-Erwärmung
3. Modell-Verifizierung

3. Nennwert-Optimierung

1. Experiment-Planung
2. Experiment-Durchführung
3. Berücksichtigung von Normreihen
4. Ergebnisse der Nennwert-Optimierung

Einzusendende Ergebnisse:

- Teilnehmer der Lehrveranstaltung **Optimierung** laden ihre Ergebnisse verpackt in einem Archiv-File im zugehörigen Opal-Kurs hoch.
- Das Archiv-File muss mit (xx=Teilnehmer-Nummer 01...99) folgende konfigurierte Modelldateien enthalten:
 - Text-Datei mit den geforderten Lösungswerten.
 - Etappe3_xx_verifiziert.isx
 - Etappe3_xx.isx
 - Etappe3_xx.opy
- Die **Hinweise zu den geforderten Ergebnissen** im letzten Abschnitt dieser Übungsanleitung sind unbedingt zu beachten!

Einsendeschluss:

- Die Nacht vor der nächsten Übungsetappe. Die Nacht endet morgens um 10:00 Uhr.

← →

Abgerufen von „http://index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme&oldid=27989“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Konstruktionsparameter

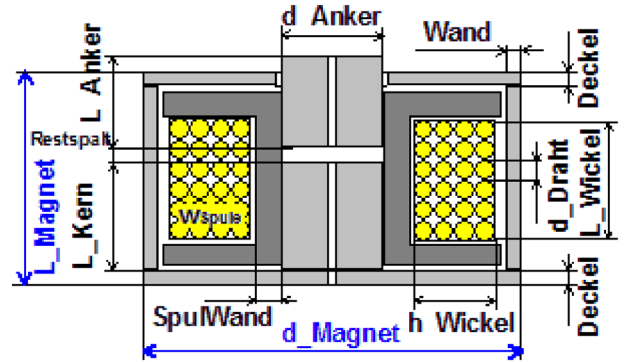
Aus OptiYummy

↑

← → Optimale konstruktive Parameter

In der vorherigen Etappe wurden günstige Werte für die Windungszahl w_{Spule} und den ohmschen Widerstand R_{Spule} der Spule ermittelt:

- w_{Spule} kann problemlos als konstruktiver Basis-Parameter benutzt werden, indem wir diesen Wert vorgeben.
- R_{Spule} ergibt sich jedoch erst aus der vorgegebenen Windungszahl in Abhängigkeit vom verwendeten Spulendraht, den Abmessungen der Spule und auch der aktuellen Spulentemperatur. Es handelt sich dann um einen "konzentrierten Parameter" des "idealisierten elektromagnetischen Wandler-Elements" aus der *SimulationX*-Bibliothek.
- **Hinweis:** Es hat sich bei der Modellbildung als günstig erwiesen, den Spulenwiderstand für 20°C als konstruktiven Basis-Parameter bei der Suche nach einer optimalen Lösung zu benutzen. Die anderen konstruktiven Größen müssen dann im Modell in Abhängigkeit vom vorgegebenen Spulenwiderstand berechnet werden!
- Für die Fertigung eines Funktionsmusters genügt die Ermittlung der Grobgeometrie. Dafür werden folgende Werte laut obiger Skizze definiert:



L_Magnet	(Magnet-Länge)
d_Magnet	(Magnet-Durchmesser)
d_Anker	(Anker-Durchmesser)
L_Anker	(Anker-Länge)
L_Kern	(Kern-Länge)
SpulWand	(Spulenkörper-Wand \varnothing 0.3mm)
Wand	(Topf-Wandstärke)
Deckel	(Deckel-Dicke)
h_Wickel	(Wickel-Höhe)
L_Wickel	(Wickel-Länge)
d_Draht	(Draht-Durchmesser)
w_Spule	(Windungszahl)
k_Wickel	(Wickelfaktor \varnothing 0.8)

Zusätzlich benötigt man die Werte für folgende Funktionselemente:

s0_Feder	(Vorspannweg der Feder)
k_Feder	(Elastizitätskonstante)
R_Schutz	(Schutzbeschaltung der Spule)

Es sind optimale Nennwerte für die konstruktiven Kenngrößen des Modells unter Berücksichtigung folgender Anforderungen zu bestimmen:

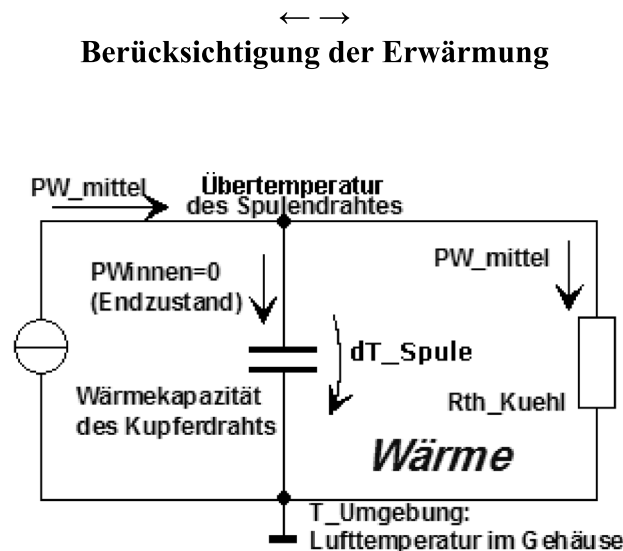
- Der Antrieb soll damit möglichst schnell sein.
- Der Magnet muss in den vorgesehenen zylindrischen Bauraum passen (**30 mm x \varnothing 20 mm**).
- Die Spule darf nicht zu heiß werden.
- Die Spitzenwerte von Spulenstrom und -spannung dürfen nicht zu groß werden.

← →

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Erwaermung

Aus OptiYummy

↑



Die Erwärmung des Magneten infolge der Verlustleistung in der Spule wurde bisher noch nicht berücksichtigt. Es ist also sehr wahrscheinlich, dass sich eine "optimale" Lösung nach der Inbetriebnahme einfach in Rauch auflöst!

Berücksichtigt werden soll deshalb die Erwärmung des E-Magneten im Dauerbetrieb (unmittelbar aufeinander folgende Prägezyklen). Die kritische Stelle ist dabei der Spulendraht, in dessen ohmschen Widerstand elektrische Verlustleistung entsteht, welche in Wärme umgesetzt wird:

- Die Wärmekapazität des Spulendrahtes hat nur Bedeutung, wenn man die Erreichung des Endzustandes selbst zeitlich simulieren muss.
- Die thermische Zeitkonstante ist für den E-Magnet infolge der relativ großen Massen bedeutend größer, als die Zeit für einen Prägezyklus.
- Erst nach sehr vielen Prägezyklen wird die Endtemperatur der Spule erreicht. Uns interessiert nur diese Endtemperatur als Ergebnisgröße eines Simulationslaufes.
- In diesem Fall genügt die Ermittlung der mittleren Wärmeleistung infolge des Stromflusses in der Spule über einen Prägezyklus, um unter Berücksichtigung des thermischen Übergangswiderstands zur Umgebung die Erwärmung der Spule zu berechnen.

← →

Abgerufen von „http://index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Erwaermung&oldid=27991“

Geometrisch-stoffliche Kennwerte des Elektromagneten (Parameter und Variable im CAD-Komponentenabschnitt)

Mit unseren bisherigen Erfahrungen sollte es kein großes Problem sein, die erforderlichen Erweiterungen des Komponenten-Abschnittes mittels *TypeDesigner* vorzunehmen:

- Den Parameter "**Rel_Spule**" können wir weiterhin nutzen, wenn wir seinen Namen in "**R20_Spule**" ändern und im Kommentar um "**bei 20°C**" ergänzen.
- Um keine Parameter und Variablen zu vergessen, sollte man systematisch die Auflistungen zur Modell-Verifizierung abarbeiten. Diese enthalten zusätzlich die einzugebenden bzw. berechneten Werte.

Parameter

1. konstruktive Basis-Parameter, welche bei der Optimierung veränderbar sind (z.B.: **d_Anker**, **w_Spule**, **R20_Spule** (*Drahtwiderstand bei 20°C*))
2. konstruktive Parameter, welche durch die präzisierte Aufgabenstellung vorgegeben wurden (z.B. **d_Magnet**)
3. stofflich-technologische "Konstanten" oder Modell-Koeffizienten, welche bei der Optimierung nicht verändert werden können (z.B. **k_Wickel**)

Variable

1. konstruktive Größen (Maße/Bauteilspezifikation) oder Bewertungsgrößen, welche im Algorithmus (im Abschnitt "Verhalten") berechnet werden müssen
2. zusätzlich erforderliche Zwischenergebnisse ergänzt man im Verlauf der Algorithmus-Entwicklung!

Geometrisch-stoffliche Abhaengigkeiten innerhalb des Elektromagneten (Algorithmus im CAD-Verhaltensabschnitt)

- Man muss innerhalb des Algorithmus die geometrischen Grundzusammenhänge in einer sequentiell berechenbaren Reihenfolge anordnen!
- Zum Lösen dieser Aufgabe hat sich das **heuristische Prinzip** der "*Rückwärtssuche*" (in der Literatur auch "*Rückwärtsarbeiten*" genannt) als günstig erwiesen:

Rückwärtssuche:

- Beginne am Ende bei den Ergebnissen und arbeite dich ausgehend vom Gesuchten nach vorn zu den Voraussetzungen.
- Zerlege bei Bedarf die Aufgabe in Teilaufgaben.

Entwickeln eines Algorithmus (nach dem Prinzip der Rückwärtssuche):

- Beginne mit der Zuweisung der Ergebnisgrößen am Ende des Algorithmus-Abschnitts.
- Entwickle schrittweise den Berechnungsweg zum Ausgangszustand (den "eingespeisten" Parameter-Werten) von unten nach oben zum Beginn des Algorithmus-Abschnitts.

Mit welcher Ergebnisgröße man beginnt, ist im Prinzip egal. Man darf nur keine Ergebnisgröße vergessen:

- Man sollte alle konstruktiven Größen (Maße/Bauteilspezifikation) oder Bewertungsgrößen als Variable definieren, bevor man mit der Entwicklung des Algorithmus beginnt (sofern diese Größen keine Parameter des Modells sind!). Damit hat man die Übersicht, welche Ergebnisgrößen noch zu berechnen sind.
- Man sollte mit irgendeinem "anschaulichen" Aspekt des Modells beginnen. Im Beispiel wählen wir den Wickelkörper der Spule, welcher mit einem Draht optimalen Drahtdurchmessers zu füllen ist.
- Meist ergibt sich nach Behandlung des zuerst gewählten Aspekts von selbst der nächste Aspekt, den man behandeln sollte.
- *SimulationX* umfasst den Sprachstandard **Modelica®** in der Version 3.x:

- Sämtliche Modelica-spezifische Sprachkonstrukte sind unter **www.modelica.org** beschrieben.
- Der darüber hinaus verfügbare Funktionsumfang der Modellierungssprache von *SimulationX* ist im Hilfesystem beschrieben (Taste <F1>):
SimulationX-Hilfe > Modelica in SimulationX > FAQ > Modelica® in SimulationX - Erweiterungen und Einschränkungen > Operatoren, Ausdrücke und einfache mathematische Funktionen

Spulenwicklung

Der verfügbare Wickelraum sollte möglichst vollständig mit einem optimalen Spulendraht gefüllt werden. Berechnet werden muss dafür unter anderem der benötigte Drahtdurchmesser ***d_Draht***. Diese Variable notieren wir auf der untersten Zeile des Algorithmens-Abschnittes, ohne vorläufig darüber nachzudenken, wie man sie berechnet:

```
d_Draht :=
```

Ausgegangen wird von der Dimensionierungsgleichung für einen ohmschen Widerstand bei 20°C:

$$R_{20_{Spule}} = \frac{\rho_{Cu} \cdot L_{Draht}}{A_{Draht}} = \frac{\rho_{Cu} \cdot L_{Mittel} \cdot W_{Spule}}{\frac{\pi}{4} d_{Draht}^2} \quad \text{mit:}$$

L_mittel = mittlere Länge einer Spulenwindung

rho_Cu = 1.6e-8 Ohm*m (spez. ohm. Widerstand)

Die Dimensionierungsgleichung stellen wir nach ***d_Draht*** um und ergänzen damit unsere Algorithmus-Anweisung:

$$d_{Draht} = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho_{Cu} \cdot L_{Mittel} \cdot W_{Spule}}{\pi \cdot R_{20_{Spule}}}}$$

```
d_Draht :=sqrt(4*rho_Cu*L_mittel*w_Spule/(pi*R20_Spule));
```

Falls die Anweisungskomponenten ***rho_Cu*** und ***L_mittel*** noch nicht vorhanden sind, definieren wir diese anschließend sofort als Parameter bzw. Variable.

Eine Analyse der rechten Seite der Ergibt-Anweisung zeigt, dass alle Komponenten außer ***L_mittel*** bereits einen Wert besitzen, weil es sich um Parameter oder vordefinierte Konstanten handelt. Die noch zu berechnenden Größen (hier nur ***L_mittel***) schreibt man als nächstes im Algorithmus über die betroffene Anweisung, ohne vorläufig darüber nachzudenken, wie man sie berechnet:

```
L_mittel :=
```

Die mittlere Windungslänge kann man als Mittelwert zwischen äußerster und innerster Windung berechnen:

$$L_{Mittel} = 0,5 \cdot (L_{Aussen} + L_{Innen})$$

Mit diesem Zusammenhang vervollständigen wir unsere Berechnungsanweisung und ergänzen für die benötigten Hilfsgrößen ***L_innen*** und ***L_aussen*** die Variablendefinition (falls nicht bereits geschehen):

```
L_mittel :=0.5*(L_innen+L_aussen);
```

Durch Anwendung des erläuterten Prinzips der Rückwärtssuche ergeben sich die nächsten beiden Anweisungen infolge der Zusammenhänge zwischen Windungslänge und Windungsdurchmesser:

$$\begin{aligned} L_{Innen} &= \pi \cdot d_{Innen} \\ L_{Aussen} &= \pi \cdot d_{Aussen} \end{aligned}$$

```
L_innen :=pi*d_innen;
L_aussen :=pi*d_aussen;
```

Die nächsten beiden Zeilen enthalten die Berechnung der innersten und äußersten Windungsdurchmesser durch Nutzung der Zusammenhänge:

$$\begin{aligned} d_{Aussen} &= d_{Innen} + 2 \cdot h_{Wickel} \\ d_{Innen} &= d_{Anker} + 2 \cdot SpulWand \end{aligned}$$

```
d_innen :=d_Anker+2*SpulWand;
d_aussen :=d_innen+2*h_Wickel;
```

Die Wickelhöhe h_{Wickel} ist definiert durch die Geometrie des Eisenkreises:

$$h_{Wickel} = 0,5 \cdot (d_{Magnet} - d_{Anker}) - Wand - SpulWand$$

```
h_Wickel :=0.5*(d_Magnet-d_Anker)-Wand-SpulWand;
```

Die Berechnung der Wandstärke $Wand$ des Eisentopfes wäre im Schema der Rückwärtssuche als nächstes dran:

- An dieser Stelle unterbrechen wir jedoch das Schema, um die Geometrie des Wickelfensters abschließend zu bestimmen. Die Wandstärke berechnen wir erst anschließend unter Berücksichtigung des magnetischen Flussverlaufs im Eisen.
- Es fehlt noch L_{Wickel} für die Fläche A_{Wickel} des Wickelfensters.

Unter der Annahme, dass man das Wickelfenster mit dem Wickelfaktor k_{Wickel} vollständig mit Drähten des Durchmessers d_{Draht} füllt, gilt:

$$w_{Spule} = k_{Wickel} \cdot \frac{A_{Wickel}}{A_{Draht}} = k_{Wickel} \cdot \frac{A_{Wickel}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{Draht}^2}$$

Umgestellt nach der Fläche des Wickelfensters ergibt sich:

$$A_{Wickel} = \frac{\pi \cdot w_{Spule} \cdot d_{Draht}^2}{4 \cdot k_{Wickel}} = h_{Wickel} \cdot L_{Wickel}$$

Damit ergibt sich als benötigte Wickellänge:

$$L_{Wickel} = \frac{\pi \cdot w_{Spule} \cdot d_{Draht}^2}{4 \cdot k_{Wickel} \cdot h_{Wickel}}$$

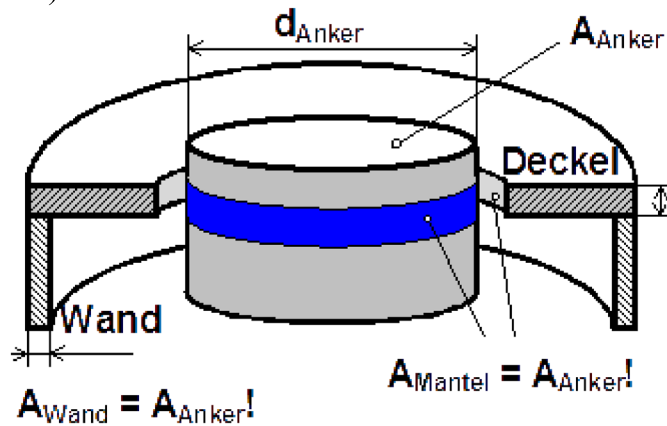
Die resultierende Anweisung müssen wir im Algorithmens-Abschnitt nach der Berechnung von d_{Draht} platzieren:

```
L_Wickel :=pi*w_Spule*d_Draht^2/(4*k_Wickel*h_Wickel);
```

Flussverlauf im Eisen

Man sollte auf einen gleichmäßigen Querschnitt des Eisens im Flussverlauf achten:

- Die Querschnittsfläche ist vorgegeben durch die Kreisfläche des Ankers bzw. Kerns.
- Im Deckel des Eisentopfes breitet sich der Fluss näherungsweise radial aus. Hier ist der kritische Querschnitt die Mantelfläche im Loch (blau):



Die erforderliche Dicke *Deckel* ist

$$\text{Deckel} = d_{\text{Anker}} / 4,$$

da

$$\pi \cdot d_{\text{Anker}} \cdot \text{Deckel} = \pi / 4 \cdot d_{\text{Anker}}^2$$

Die zugehörige Anweisung kann innerhalb des Algorithmus ganz vorn angeordnet werden:

```
Deckel := d_Anker / 4;
```

Die Wandstärke *Wand* des Topfes ergibt sich aus der Gleichheit der Anker-Kreisfläche mit dem Wand-Kreisring:

$$\pi / 4 \cdot d_{\text{Anker}}^2 = \pi / 4 \cdot (d_{\text{Magnet}}^2 - (d_{\text{Magnet}} - 2 \cdot \text{Wand})^2)$$

nach Umstellung der Gleichung zu:

$$\text{Wand} = \frac{d_{\text{Magnet}} - \sqrt{d_{\text{Magnet}}^2 - d_{\text{Anker}}^2}}{2}$$

Auch diese Anweisung kann ganz vorn im Algorithmen-Abschnitt platziert werden:

```
Wand := 0.5 * (d_Magnet - sqrt(d_Magnet^2 - d_Anker^2));
```

Damit steht der Wert der Wandstärke für die Berechnung von L_{Wickel} der Spule zur Verfügung.

Laengen der Eisenabschnitte

Auch ohne Kenntnis der konkreten Geometrie war eine Abschätzung der Ankerlänge L_{Anker} und der Gesamtlänge des Eisenweges L_{Eisen} in der vorherigen Etappe erforderlich. Diese beiden Anweisungen müssen wir entsprechend modifizieren. Wir sind jetzt in der Lage, die erforderlichen Abmessungen exakter abzuschätzen und beginnen mit der Eisenweglänge. Diese ergibt sich näherungsweise wie folgt aus der Summe der einzelnen Eisenschnitte:

$$L_{Eisen} \approx 2 \cdot L_{Anker} + 2 \cdot L_{Kern} + d_{Magnet}$$

L_Eisen := 2*L_Anker+2*L_Kern+d_Magnet;

Die dafür benötigte Länge des Kerns lässt sich aus der benötigten Wickelbreite bestimmen:

$$L_{Kern} = L_{Wickel} + 2 \cdot SpulWand + Deckel - L_{Anker}$$

L_Kern := L_Wickel+2*SpulWand+Deckel-L_Anker;

Die Länge des Ankers ist so zu wählen, dass sich der Arbeitsluftspalt ungefähr an der Grenze des oberen Spulendrittels befindet, damit die Ankermasse bei hinreichend großem Fluss möglichst klein wird:

$$L_{Anker} = \frac{1}{3} \cdot L_{Wickel} + SpulWand + Deckel$$

L_Anker := 1/3*L_Wickel+Deckel+SpulWand;

Daraus ergibt sich die Länge des Magneten

$$L_{Magnet} = L_{Anker} + L_{Kern} + Deckel$$

L_Magnet := L_Anker+L_Kern+Deckel;

Die Reihenfolge dieser Anweisungen im Algorithmen-Abschnitt ist so zu wählen, dass zum Zeitpunkt der Abarbeitung jeweils alle Werte auf der rechten Seite der Zuweisung bekannt sind!

Achtung:

- Spätestens jetzt sollte man den Element-Typ **CAD_Data** im TypeDesigner **Fertigstellen**.
- Erscheinen dabei Fehlermeldungen in Hinblick auf Modellierungsfehler, so sollte man diese Fehler korrigieren.
- Nach dem **Fertigstellen** muss man das gesamte Modell **speichern**, damit die bisherige Arbeit sicher auf der Festplatte landet!

Elektrische Eigenschaften

Es muss unterschieden werden zwischen R_{Spule} (für die aktuelle Betriebstemperatur) und $R_{20_{Spule}}$ (bei 20°C).

Den aktuellen Spulenwiderstand bei ΔT ="Temperaturdifferenz zu 20°C" berechnet man mit:

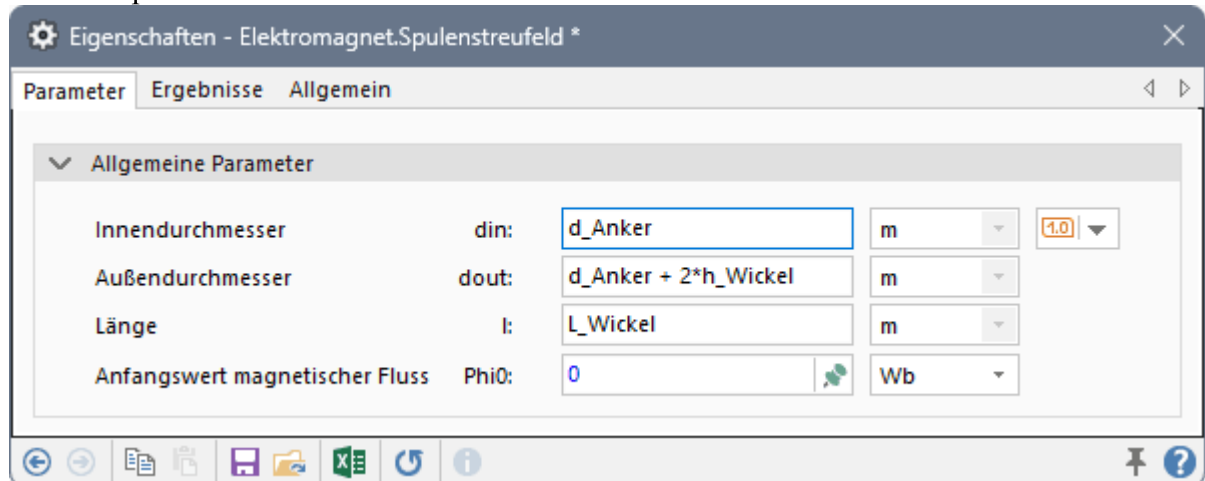
$$R_{Spule} = R_{20_{Spule}} \cdot (1 + \Delta T \cdot kth_{Cu})$$

R_Spule := R20_Spule*(1+kth_Cu*(T_Spule-20'C));

- $kth_{Cu} = 0.0039 \text{ 1/K}$ ist der Temperaturkoeffizient des ohmschen Widerstands des Kupferdraht. Im SimulationX benutzt man ersatzweise die Einheit **Allgemeine Größen > Reziproke Temperatur**.
- Die aktuelle Drahttemperatur T_{Spule} definieren wir als Parameter mit der Standardbelegung 100°C.
- In der Anweisung erfolgt automatisch die Umrechnung des Wertes T_{Spule} in Kelvin [K].
- Damit wir die 20°C ohne Umrechnung in Kelvin in der Anweisung benutzen können, müssen wir die Einheit wie angegeben ergänzen!

Geometrie des Spulenstrefeldes

- In relativ geschlossenen Magnetkreisen hat es sich bewährt, nur den Wickelraum der Spule für die Ausbreitung des Spulenstrefeldes zu berücksichtigen. Für Luftspulen ohne Eisenkreis bzw. mit vernachlässigbarem Eisen-Rückschluss müsste man jedoch den "unendlichen" Raum für die Ausbreitung des Spulenstrefeldes berücksichtigen.
- In unserem geschlossenen Topfmagneten verfügen wir erst jetzt über die konkreten Abmessungen des Hohlzylinder-förmigen Wickelkörpers. Diese verwenden wir als Parameter für den magnetischen Widerstand des Spulenstrefeldes:



- Damit Wickel-Höhe und -Länge im Elektromagnet-Compound zur Verfügung stehen, muss der Komponenten-Abschnitt dieses Compounds zuvor um die beiden Parameter erweitert werden.
- Beide Wickelungsparameter des aktualisierten Magnet-Compounds sind anschließend mit den entsprechenden CAD-Daten der Wicklung zu speisen.
- In Abhängigkeit von der konkreten Magnet-Geometrie erfolgt nun eine Anpassung der wirksamen Spulenstreuung im Magnetmodell.

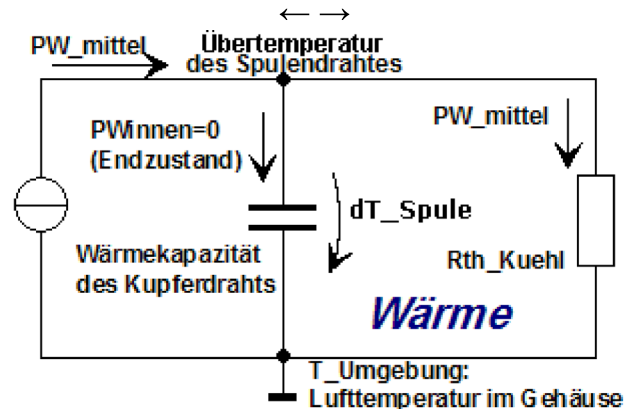
← →

Abgerufen von „http://index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Geometriemodell&oldid=27999“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Waermemodell

Aus OptiYummy

↑



Kennwerte der wirksamen Kuehlflaeche

Den thermischen Übergangswiderstand Rth_Kuehl zur Umgebung berechnen wir ebenfalls im **CAD_Data**-Element:

- A_Kuehl ist hierbei die wärmeabführende Oberfläche des Magneten.
- $kth_Kuehl=12 \text{ W/(K}\cdot\text{m}^2)$ ist der Konvektionskoeffizient dieses "Kühlkörpers":

$$Rth_{Kuehl} = \frac{1}{kth_{Kuehl} \cdot A_{Kuehl}}$$

$$A_{Kuehl} \approx \frac{\pi}{2} \cdot d_{Magnet}^2 + L_{Magnet} \cdot \pi \cdot d_{Magnet}$$

- Daraus resultieren die beiden Anweisungen am Ende des Algorithmens-Abschnittes:

```
A_Kuehl := 0.5*pi*d_Magnet^2+pi*d_Magnet*L_Magnet;
Rth_Kuehl := 1/(A_Kuehl*kth_Kuehl);
```

Prognose der Spulentemperatur im Dauerbetrieb

Uns interessiert, welche End-Temperatur die Spule im Dauerbetrieb erreicht. Dauerbetrieb bedeutet, dass beliebig viele Prägezyklen unmittelbar aufeinander folgen:

- Simuliert wird mit dem Modell nur ein Prägezyklus.
- Insgesamt sollen in Bezug auf die Spulenerwärmung mit unseren stark vereinfachten Modell-Annahmen drei Ergebniswerte auf Basis eines kompletten Prägezyklus berechnet werden:
 1. **EW_Spule** ist die Wärmeverlust-Energie, welche sich durch Integration der Verlustleistung im Spulendraht ergibt.
 2. **PW_Mittel** ist die effektive, mittlere Verlustleistung im Spulendraht.
 3. **dT_Spule** ist die Temperaturerhöhung auf Grund der Abführung von **PW_mittel** über den Wärmeübergangswiderstand **Rth_Kuehl**.

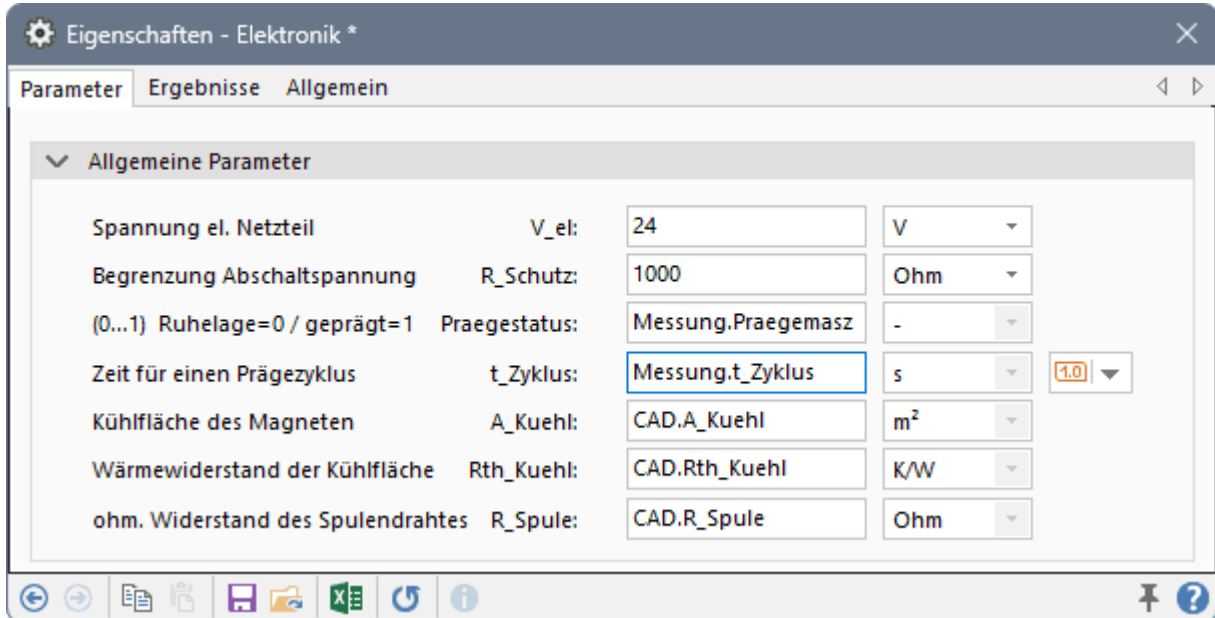
Diese Erwärmungsberechnung kann im Modell innerhalb des Controller-Compounds stattfinden. Für einen späteren Versuchsaufbau könnten die gleichen Berechnungen in dieser Controller-Elektronik-Baugruppe implementiert werden. Mit unseren Erfahrungen zur Erweiterung des Controller-Compounds bei der Ergänzung

der Maximalwert-Erfassung von Strom und Spannung (Siehe Anleitung zur Etappe2 → **Bewertungsgrößen für die Optimierung**), sollte es kein Problem sein, die erforderlichen Erweiterungen vorzunehmen:

■ **Zusätzliche Parameter im Komponenten-Abschnitt:**

t_Zyklus : Zeit für einen Prägezyklus / s
A_Kuehl : Kühlfläche des Magneten / m²
Rth_Kuehl : Wärmewiderstand der Kühlfläche / K/W
R_Spule : ohm. Widerstand des Spulendrahtes / Ohm

- Diese Parameter des **Elektronik**-Teilmodells sind im Modell mit den zugehörigen Werten aus Elementen von **CAD** und **Messung** zu speisen:



■ **Zusätzliche Variable für Ergebnisse im Komponenten-Abschnitt:**

EW_Spule : Wärmeverlust-Energie im Spulendraht / Ws
PW_Spule : eff. mittl. Verlustleistung in Spule / W
dT_Spule : Temperaturerhöhung im Dauerbetrieb / K

■ **Zusätzliche Gleichungen im Verhalten-Abschnitt:**

The screenshot shows a software interface with a project tree on the left and a code editor on the right. The project tree lists various components and parameters, including 'pin1', 'pin2', 'V_el', 'R_Schutz', 't_Zyklus', 'A_Kuehl', 'Rth_Kuehl', 'R_Spule', 'i_Max', 'v_Max', 'EW_Spule', 'PW_Spule', and 'dT_Spule'. The code editor shows a script with the following content:

```

1 // `Maximalwerte von Spannung und Strom
2 v_Max = vMax.y;
3 i_Max = iMax.y;
4 // Berechnung der Spulen-Endtemperatur
5 // aus Strom durch Drahtwiderstand
6 // mit Vermeidung von Null-Division!
7 EW_Spule = integral (R_Spule*pin1.i*pin1.i, 0);
8 PW_Spule = EW_Spule / (t_Zyklus + 1e-6);
9 dT_Spule = PW_Spule * Rth_Kuehl;

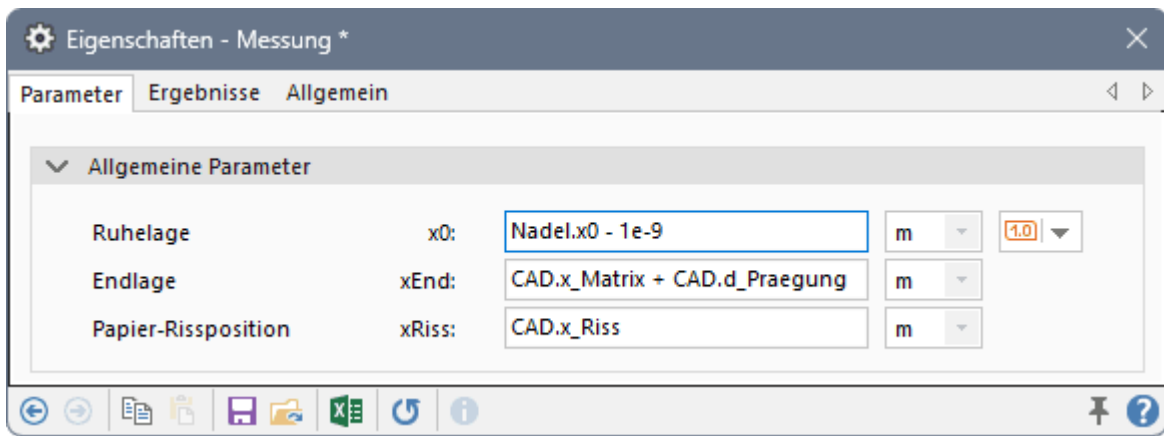
```

- Die aktuelle thermische Verlustleistung in der Spule wird nur durch den ohmschen Widerstand des Spulendrahtes und den darin fließenden Strom bestimmt.
- Beginnend mit dem Anfangswert Null erfolgt die Berechnung der Wärmeverlust-Energie in der Spule mittels Integral über die aktuelle thermische Verlustleistung.
- Der exakte Wert für die Zykluszeit **t_Zyklus** steht erst nach Vollenden eines Prägezyklusses zur Verfügung. Um eine eventuelle Division durch Null bei der kontinuierlichen Berechnung der mittleren, effektiven Verlustleistung **PW_Spule** zu verhindern, wird ein Wert von **1 µs** im Nenner ergänzt.

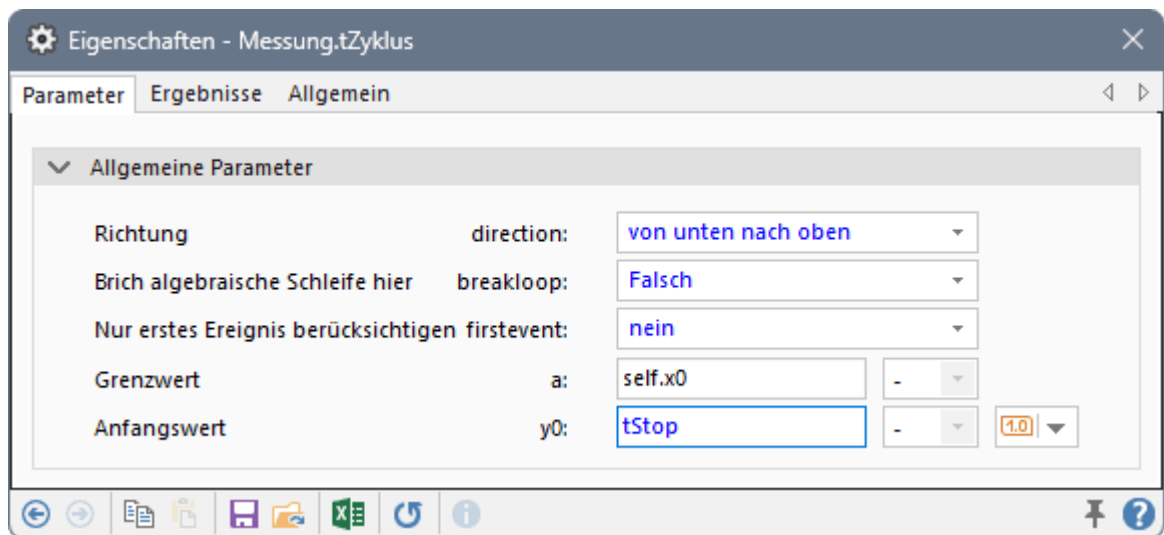
Vermeidung unsinniger Temperatur-Ergebnisse bei unvollendeten Praegezyklen

Infolge der Vorspannung der Rückholfeder wird die Nadel im Modell "numerisch" um einen extrem kleinen Wert in den Nadel-Anschlag gedrückt, da sich die Magnetkraft von Null beginnend erst aufbaut:

- Diese "Bewegung" von wesentlich unter 1 Picometer über die Ruhelage **Nadel.x0** hinaus wird als erstes **t_Zyklus**-Ereignis erfasst. Dies führt zu einem vorläufigen Wert für die Zykluszeit von ca. **1 µs** während der eigentlichen Nadelbewegung.
- Falls es während der Simulation zu keiner Rückkehr der Nadel in die Ruhelage kommt, ergibt sich aus diesem physikalisch sinnlosen Wert der Zykluszeit bei der Temperaturberechnung in der Elektronik-Baugruppe eine extreme Spulenerwärmung von über **1000 K**. Während der Optimierung stören solche Unstetigkeiten die Konvergenz zur angestrebten optimalen Lösung.
- Dieses Problem lässt sich pragmatisch durch eine winzige Verschiebung (z.B. um **1 nm**) der Ereignis-Position bei der Messung der Zykluszeit beheben:



- Damit behält die Zykluszeit bis zur Rückkehr in die Ruhelage den vorgegebenen Anfangswert von **tZyklus.y0 = 3.6 ms**, welchen wir zur besseren Darstellung der 3D-Gütefunktion in der 1. Etappe der Übung eingegeben hatten.
- Die Vorgabe solch eines festen Zeitwertes ist jedoch ungünstig, insbesondere wenn damit die Einhaltung der maximal zulässigen Zykluszeit "vorgetäuscht" wird, falls der Prägezyklus nicht beendet wurde.
- In Vorbereitung eines Optimierungsexperimentes muss man die Simulationszeit so hoch ansetzen, dass diese für alle vollständigen Prägezyklen während der Lösungssuche ausreichend ist.
- Es bietet sich an, die Simulationszeit **tStop** gleichzeitig als Anfangswert für **tZyklus.y0** zu nutzen:



- Damit entsteht auch für Parameter-Konfigurationen, bei denen die Nadel das Papier nicht prägt, sondern darauf liegen bleibt und kein Abschaltvorgang stattfindet, ein physikalisch sinnvoller Wert für die Spulentemperatur.

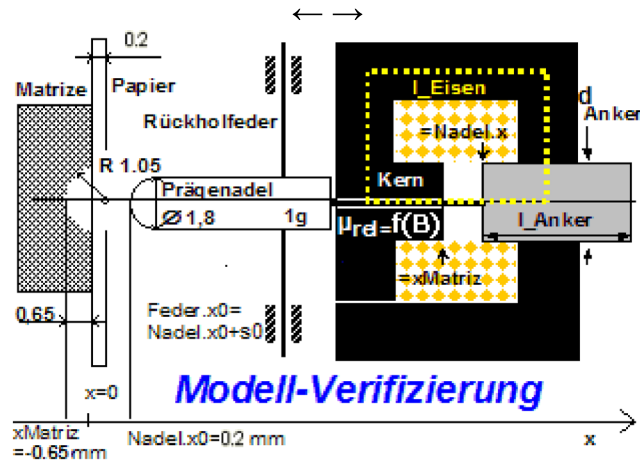
← →

Abgerufen von „http://index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Waermemodell&oldid=28003“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Modellverifizierung

Aus OptiYummy

↑



Nun kommt das schwierigste Problem: die richtigen Simulationsergebnisse in Hinblick auf die im Modell berücksichtigten Effekte zu erhalten (Verifizierung="richtige" Berechnung nachweisen):

- **Hinweis:** Das "richtige" Berechnen bedeutet nicht, dass das Modell in Hinblick auf die Realität ein hinreichend genaues Verhalten zeigt. Nur durch zusätzliche Validierung kann man die gewünschte Glaubwürdigkeit des Modellverhaltens "absichern".
- Da im Rahmen der Lehrveranstaltung nur begrenzt Zeit ist, soll das Modellverhalten anhand folgender Parameter und mit der vorgegebenen Simulationssteuerung überprüft werden (nicht aufgeführte Werte wie in vorherigen Etappen präzisiert!).
- **Achtung:** Die Warnung "Nach 50.Schritt der Anfangswertberechnung der DAE: Lineares Gleichungssystem nicht lösbar." bei der Behandlung des Abschaltvorgangs können wir ignorieren, da dies die berechneten Ergebnisse nicht merklich beeinflusst!



Bauelement- und Betriebsparameter:

Hysterese	: wie in Etappe2 vorgegeben
Anf.Werte	: mit Fixierung von Zustandsgrößen (wie abschließend in Etappe2c ermittelt)
Anschlag	: elastischer Anschlag ($k_{1,2} = 1e10$ N/m und $b_{1,2} = 1e6$ Ns/m)
Elektronik.Diode	: "Reale Diode" mit Standardparametern
Elektronik.R_Schutz	= 1000 Ohm
Elektronik.V_el	= 24 V
Nadel.x0	= CAD.d_Papier [Ruhelage direkt auf Papier]
Feder.k	= 20 N/mm [mit Vorspannung für 20g!]

CAD-Parameter:

CAD.d_Anker	= 10 mm	[Ankerdurchmesser]
CAD.w_Spule	= 500	[Windungszahl der Spule]
CAD.R20_Spule	= 4 Ohm	[el. Widerstand der Spule bei 20°C]
CAD.d_Magnet	= 20 mm	[Magnetdurchmesser]
CAD.k_FeInnen	= 0.1	[L_FeInnen/L_Eisen=0.1xx]
CAD.k_Wickel	= 0.8	[Wickelfaktor Spule: A_Cu/A_ges]
CAD.SpulWand	= 0.3 mm	[Wandstärke des Wickelkörpers]
CAD.Restspalt	= 50 µm	[Restluftspalt zw. Anker und Kern]
CAD.d_Papier	= 0.2 mm	[Papierdicke]
CAD.d_Praegung	= 0.1 mm	[Papier-Restdicke geprägt]
CAD.x_Matrix	= -0.65 mm	[Papier-Position im Matrixboden]
CAD.x_Riss	= -0.39 mm	[Papier-Rissposition]
CAD.Re_Eisen	= 1.5 mOhm	[Wirbelstromwiderstand]
CAD.rho_Fe	= 7.8 g/cm³	[Massedichte Eisen]

CAD.rho_Cu	= 1.6E-8 Ohm*m	[spez. ohm. Widerstand Kupfer]
CAD.kth_Cu	= 0.0039 (1/K)	[Temperaturkoeff. ohm. Wid. Kupfer]]
CAD.kth_Kuehl	= 12 W/(K*m ²)	[Konvektionskoeff. Magnetfläche]
CAD.T_Spule	= 100°C	[Spulentemperatur für R_Spule]

CAD-Ergebnisse:

```
// Flussweg:
CAD.Deckel      = 2.5 mm      [Dicke Deckel bzw. Topfboden      ]
CAD.Wand        = 1.33975 mm [Wandstärke Magnettopf          ]
// Spulenwicklung
CAD.h_Wickel    = 3.36025 mm [Wicklungshöhe                  ]
CAD.d_innen     = 10.6 mm    [Durchmesser innerste Windung    ]
CAD.d_aussen    = 17.3205 mm [Durchmesser äußerste Windung    ]
CAD.L_innen     = 33.3009 mm [Länge einer inneren Windung     ]
CAD.L_aussen    = 54.414 mm  [Länge einer äußeren Windung     ]
CAD.L_mittel    = 43.8574 mm [Mittlere Windungslänge         ]
CAD.d_Draht     = 0.334189 mm [Drahtdurchmesser Cu            ]
CAD.L_Wickel    = 16.3148 mm [Länge der Wicklung             ]
// Eisenabschnitte:
CAD.L_Anker     = 8.23826 mm [Anker-Länge                    ]
CAD.L_Kern      = 11.1765 mm [Kern-Länge                     ]
CAD.L_Eisen     = 58.8296 mm [Eisenweg-Länge                 ]
CAD.L_Magnet    = 21.9148 mm [Magnet-Länge                   ]
CAD.L_FeInnen   = 5.8830 mm  [Eisen in Spule mit 100% Fluss   ]
CAD.L_FeAussen  = 52.9466 mm [Eisen nach Spulenstreuung      ]
CAD.Re_FeInnen  = 15 mOhm    [Wirbelstromwiderstand          ]
CAD.Re_FeAussen = 1.66667 mOhm [Wirbelstromwiderstand          ]
// Luftspaltfläche und Ankermasse:
CAD.A_Anker     = 0.785398 cm2 [Ankerquerschnitt              ]
CAD.V_Anker     = 0.647031 cm3 [Ankervolumen                  ]
CAD.m_Anker     = 5.04684 g  [Ankermasse                     ]
// elektrische Eigenschaften:
CAD.R_Spule     = 5.248 Ohm   [Drahtwiderstand                ]
// thermische Eigenschaften:
CAD.A_Kuehl     = 20.0526 cm2 [Kühlfläche                     ]
CAD.Rth_Kuehl   = 41.5573 K/W [Therm. Widerstand Kühlfläche   ]
```

Ergebnisse der Dynamiksimulation:

Messung.Praegungsmasz	= 1.000	[Prägungsmaß normiert 0...1]
Messung.t_Riss	= 2.238 ms	[Riss-Zeitpunkt]
Messung.t_Zyklus	= 5.001 ms	[Zykluszeit]
Elektronik.iMax	= 0.776 A	[max. Spulenstrom]
Elektronik.vMax	= -164.81 V	[max. Spulenspannung]

Ergebnisse der Spulen-Erwärmung:

Elektronik.EW_Spule	= 4.268 mWs	[Wärmeverlustenergie in Spule]
Elektronik.PW_Mittel	= 0.853 W	[mittl. Verlustleistung in Spule]
Elektronik.dT_Spule	= 35.46 K	[Temperaturerhöhung (Dauerbetrieb)]]

Hinweis: Die letzten Ergebnisstellen sind teilweise gerundet. Auch kleine Abweichungen von den aufgelisteten Werten deuten auf Fehler im Modell! Bei den Ergebnissen der Dynamiksimulation, zu denen auch die Wärme-Werte gehören, kann man eine Abweichung in der 3. Ziffernstelle akzeptieren. Ursache ist das numerische Rauschen beim Lösen der Differentialgleichungen im Zeitbereich:

Simulationssteuerung

Solver

- Allgemein
- Erweitert
- Symbolische Analyse

Debugging

- Tracing
- Rücksetzpunkte

Simulationszeit

Startzeit tStart: 0 ms

Stopzeit tStop: 10 ms

Synchronisierung mit skalierbarer Echtzeit:
Keine Synchronisierung

Solver, Schrittweiten und Toleranzen

MEBDF-Verfahren

Min. Rechenschrittweite dtMin: 1e-12 s

Max. Rechenschrittweite dtMax: (tStop-tStart)/2 s

Absolute Toleranz absTol: 1e-06 -

Relative Toleranz relTol: 1e-06 -

Minimale Schrittweite dtDetect: dtMin*1e-4 s

Protokollierung von Ergebnissen

Nach mindestens dtProtMin sowie vor und nach Ereignissen

Min. Ausgabeschrittweite dtProtMin: (tStop-tStart)/100 s

Benutzereinstellungen

Speichern Wiederherstellen Verwerfen

OK Abbrechen Übernehmen Hilfe

Achtung: Teilnehmer der Lehrveranstaltung "Optimierung" erzeugen von dem verifizierten Simulationsmodell eine Kopie **Etappe_xx_verifiziert.isx** mit xx=Teilnehmernummer 01..99 zum Nachweis der exakten Funktion des Modells.

← →

Abgerufen von „http://index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Modellverifizierung&oldid=28004“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Experimentplanung

Aus OptiYummy

↑

← →

Experiment-Planung

□

Entwurfsparameter

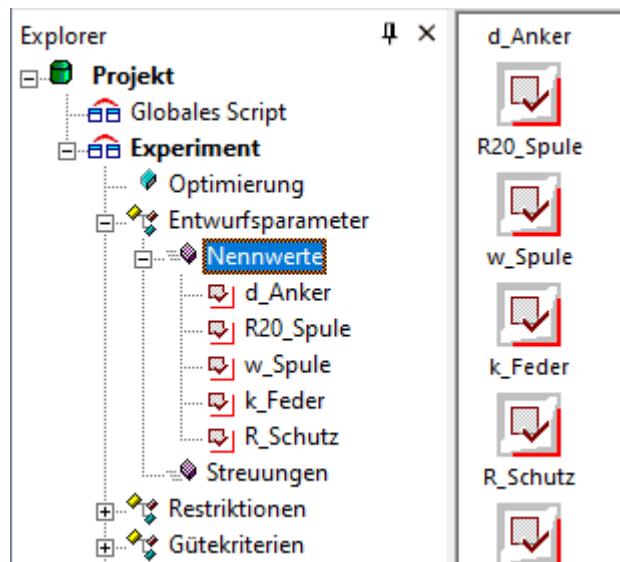
Zwei Parameter müssen nicht optimiert werden da ihre Werte bereits bekannt sind:

Nadel.x0 = d_Papier (Nadelspitze auf Papier = 0.2 mm)
d_Magnet = 20 mm (max. Spulen-Wickelraum)

Wir berücksichtigen im Optimierungsexperiment die Nennwerte von 5 Entwurfsparametern:

d_Anker (Ankerdurchmesser)
R20_Spule (Widerstand bei 20°C)
w_Spule (Windungszahl)
k_Feder (Federsteifigkeit)
R_Schutz (Schutzwiderstand)

Diese Nennwerte werden in einem ersten Schritt im Workflow-Editor als abstrakte Daten-Objekte definiert:

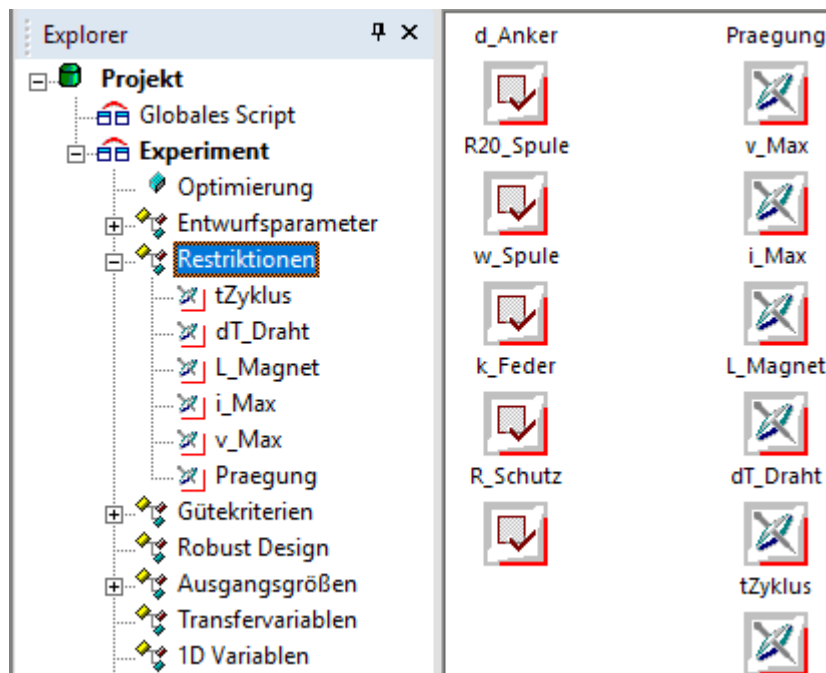


Bewertungsgrößen

Wir berücksichtigen 6 Forderungen als Restriktionsgrößen:

Praegung ≥ 1 (Prägungsmaß)
 $|v_Max| \leq 200$ V (max. Spulenspannung)
 $i_Max \leq 1,5$ A (max. Spulenstrom)
 $L_Magnet \leq 30$ mm (Magnetlänge)
 $dT_Draht \leq 40$ K (Temperaturerhöhung)
da 50°C Umgebungstemperatur, setzen wir im *SimulationX*-Modell CAD.TSpule=90°C

Wichtig: Die Werte von Ausgangsgrößen werden entsprechend der im *SimulationX*-Modell gewählten Einheit übernommen!



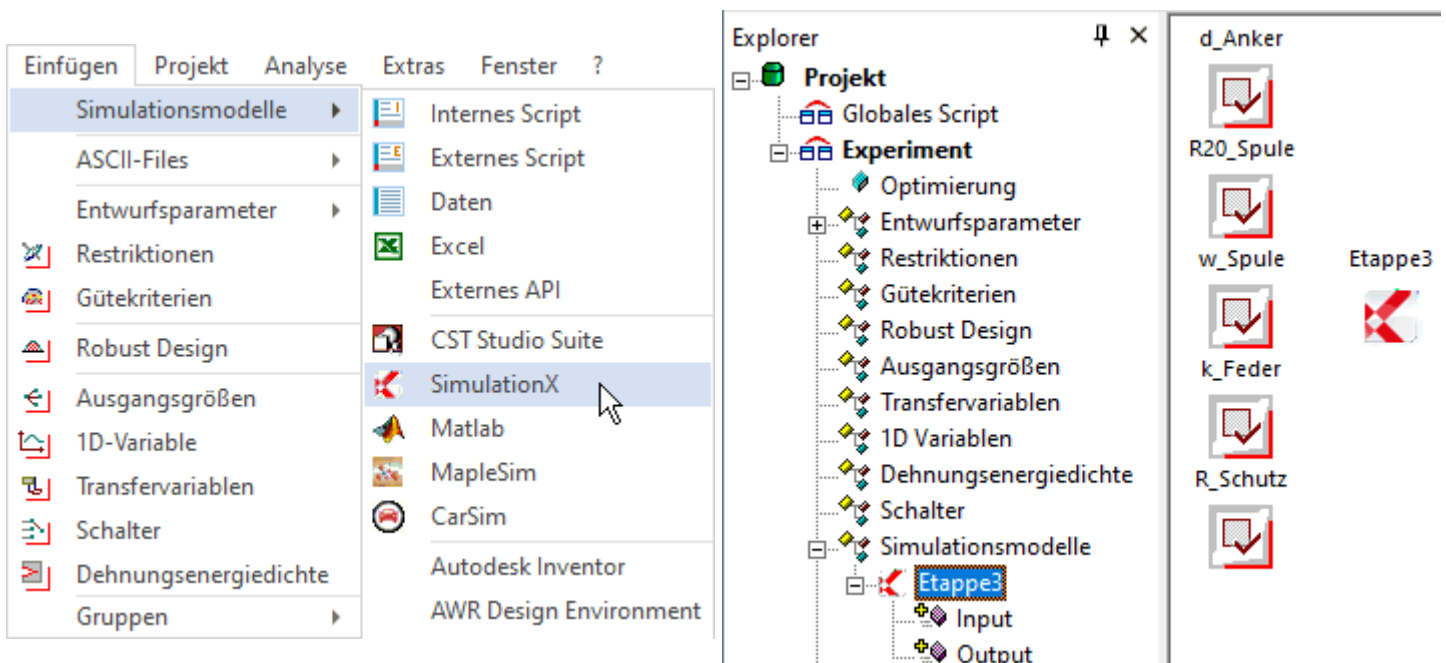
Und wir haben weiterhin den Wunsch, dass ein Prägezyklus **tZyklus** möglichst schnell vollendet wird. Diesen Wunsch könnten wir als Gütekriterium berücksichtigen:

- Nach unseren Erfahrungen mit dem "Verklemmen" des Hooke-Jeeves-Verfahrens an Restriktionsgrenzen definieren wir **tZyklus** sofort als zusätzliche Restriktion.
- Im Verlaufe des Optimierungsexperiments verschärfen wir schrittweise die Forderungen für die Dauer eines Präge-Zyklus.

Modell-Einbindung

SimulationX-Modell:

Dieses fügen wir zuerst als abstraktes Objekt in den Workflow-Desktop ein:

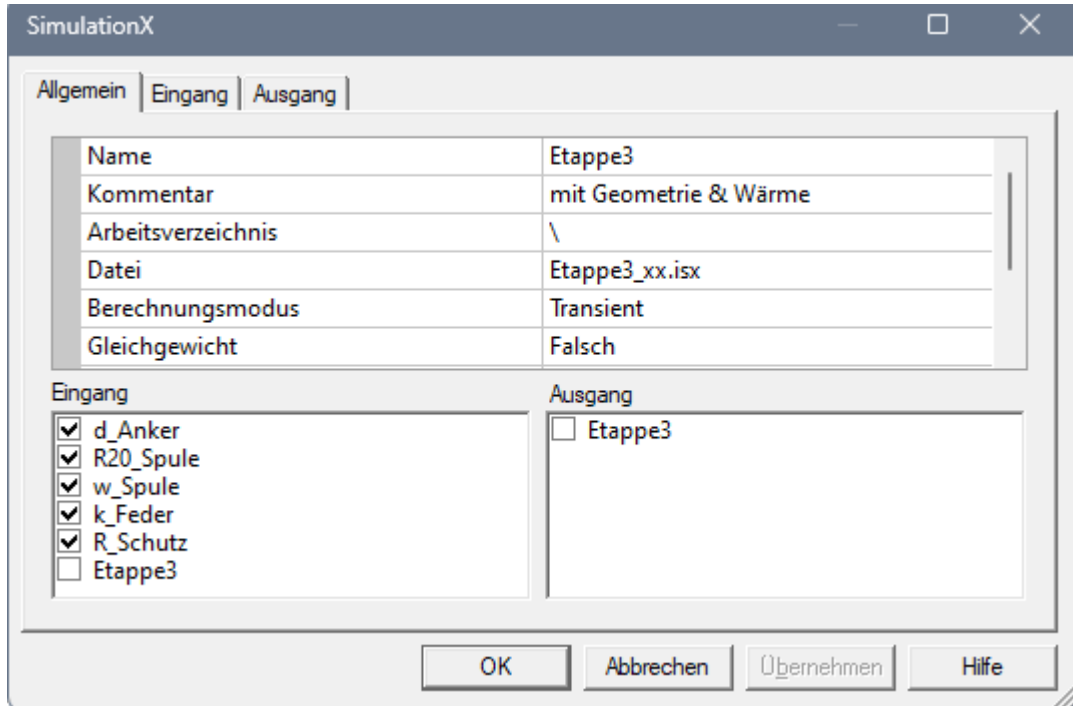


Jedes Simulationsmodell muss über seine Input- und Output-Größen in den Workflow eingebunden werden.

Input-Größen:

In unserem Beispiel sollen sämtliche Entwurfsparameter als Input-Größen in das *SimulationX*-Modell der "**Etappe3**" eingespeist werden. Ein Doppelklick auf das *SimulationX*-Objekt öffnet den zugehörigen Eigenschaftsdialog:

- Man muss die Entwurfsparameter markieren, welche als Input-Größen in das Modell einzuspeisen sind.
- Die Zuordnung des abstrakten Modell-Objekts zum konkreten Modell erfolgt durch Öffnen der Modell-Datei.
- Dem Modell-Objekt gibt man einen sinnvollen Namen (hier "**Etappe3**") und einen erläuternden Kommentar:

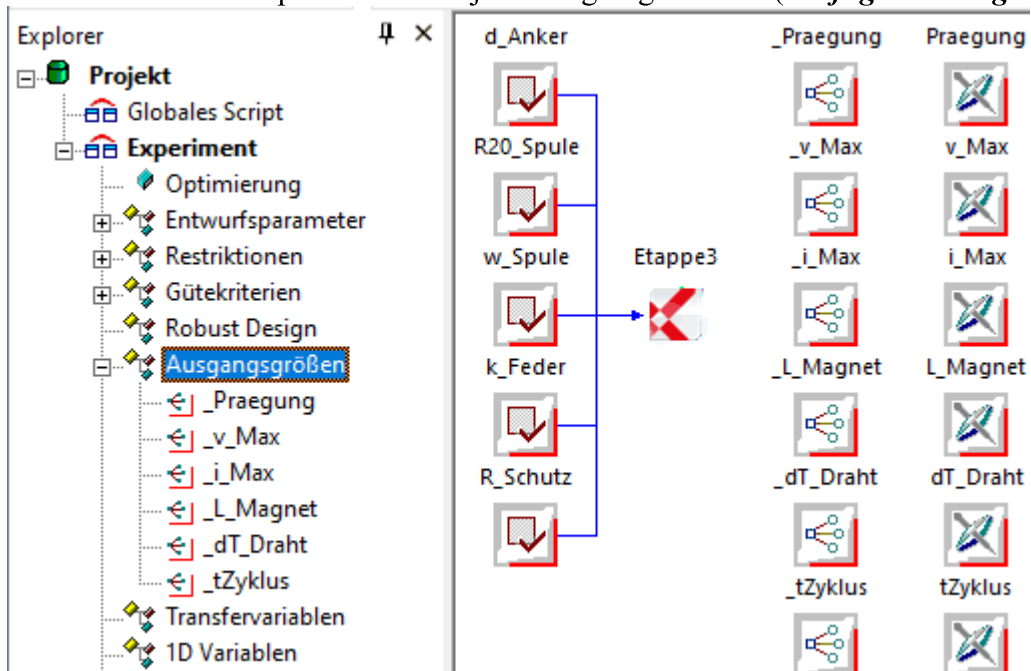


- Wenn ein konkretes Modell zugeordnet wurde, kann man die abstrakten Entwurfsparameter auch konkreten Modellparametern zuordnen (Registerkarte **Eingang**).
- Nach der Zuordnung der Modell-Parameter stehen die Anfangswerte in den Entwurfsgrößen zur Verfügung. Die Standardwerte für die Grenzen muss man noch durch sinnvolle Werte ersetzen.

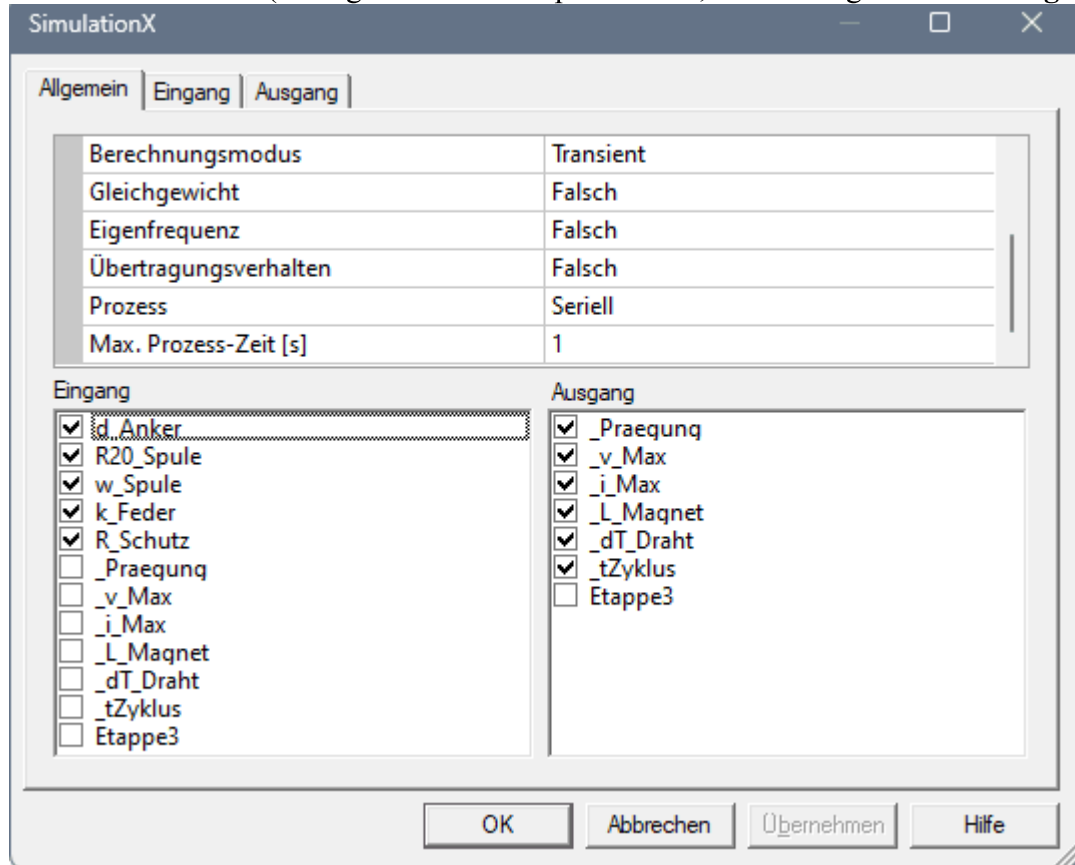
Output-Größen:

Die Bewertungsgrößen kann man nicht direkt als Output-Variablen des Modells nutzen. Es sind deshalb noch keine Ergebnis-Verbindungen möglich:

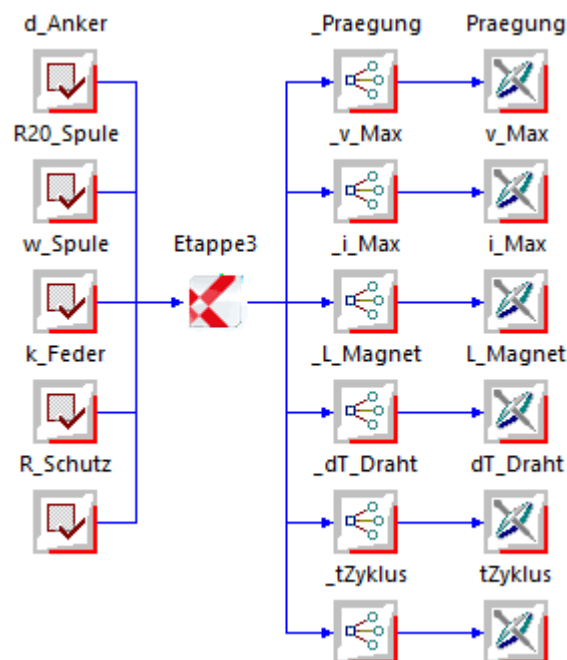
- Die Output-Variablen müssen als separate Datenobjekte eingefügt werden (**Einfügen > Ausgangsgrößen**):



- Nach Doppelklick auf das *SimulationX*-Objekt kann man dann den abstrakten Ausgangsgrößen konkrete Variablen des Modells zuordnen (analog zu den Modellparametern, aber in Registerkarte **Ausgang**):



- Damit werden die Verbindungen der Ausgangsgrößen zum Modell hergestellt.
- Nach dem Editieren (der Ausdrücke) aller Bewertungsgrößen werden deren Verknüpfungen zu den Ausgangsgrößen visualisiert:



Ausgangslösung

Wir benutzen als Startpunkt für die Optimierung z.B. den Bestwert, welchen wir in der vorherigen Etappe ohne Berücksichtigung von Geometrie und Erwärmung ermittelt haben.

- **Wichtig:**

1. **CAD.K_FeInnen=0.1xx**: Jeder Teilnehmer der Lehrveranstaltung benutzt den individuellen Wert.
2. **CAD.Re_Eisen=1.5 mOhm** : Jeder Teilnehmer benutzt den gleichen Wert aus der Modell-Verifizierung.
3. **CAD.T_Spule=90°C**: Der Wert der Spulentemperatur ist auf den zu erreichenden Grenzwert zu setzen.

Erläuterung zur Spulen-Erwärmung:

Es wird davon ausgegangen, dass die optimale Lösung den oberen Grenzwert für die Erwärmung voll ausschöpft:

- Die aktuelle Spulentemperatur bestimmt den ohmschen Widerstand des Spulendrahtes. Der aktuelle Drahtwiderstand beeinflusst wesentlich die Verlustleistung in der Spule und damit die Spulenerwärmung, welche wiederum den Drahtwiderstand verändert.
- Unser vereinfachtes Antriebsmodell berücksichtigt diese Wechselwirkung zwischen Spulentemperatur und Drahtwiderstand nur in einer Richtung durch Vorgabe einer Spulentemperatur. Die damit berechnete Erwärmung muss aber nicht zur vorgegebenen Spulentemperatur führen!
- Die berechnete Erwärmung wird durch den Trick der Vorgabe der Grenztemperatur nach Erreichen der optimalen Lösung mit der Vorgabetemperatur übereinstimmen.
- Die wahrscheinlich geringfügige Abweichung des Modellverhaltens durch die fehlerhafte Spulentemperatur außerhalb des Optimums akzeptieren wir als Preis für den Gewinn an Rechengeschwindigkeit.

Optimierungsverfahren

- Wir benutzen das Hooke-Jeeves-Verfahren mit "manueller" Startschrittweite und ohne automatischen Stop. Wird mit der gewählten Zahl der Optimierungsschritte noch keine endgültige Lösung erreicht, so kann man diese Anzahl nachträglich hochsetzen und die Optimierung danach einfach fortsetzen.
- Nach Wahl des Optimierungsverfahrens sollte man überprüfen, ob die Startschrittweite der Entwurfsgrößen sinnvoll ist.
- Um den Gradienten der Zielfunktionsverbesserung möglichst gut zu erfassen, sind kleine Abtastschrittweiten günstig.
- Allerdings ist die minimal zulässige Abtastschrittweite abhängig vom "Rauschen" des Simulationsmodells. Der Anteil des stochastischen Fehlers darf die Berechnung der Änderungen der Bewertungsgrößen nicht stören!
- Bei unserem Antriebsmodell hat sich z.B. 1/1000 des Startwertes als günstiger Wert für die Startschrittweite erwiesen.
- Man beachte, dass die Windungszahl eine Ausnahme darstellt, da nur ganze Zahlen sinnvoll sind (Genauigkeit=1). Hier ist eine Startschrittweite von 1 Windung günstig.

Eigenschaft	
☐ Optimierung	
Auto-Stop	Manueller Stop
Optimierungsschritte	1000
Startschrittweite	Manuell
Verfahren	Hooke-Jeeves-Verfahren

Visualisierung

Man sollte die Nennwert-Verläufe aller Entwurfsparameter und Bewertungsgrößen jeweils in einem eigenen Fenster darstellen.

← →

Abgerufen von „http://index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Experimentplanung&oldid=28006“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Experimentdurchfuehrung

Aus OptiYummy

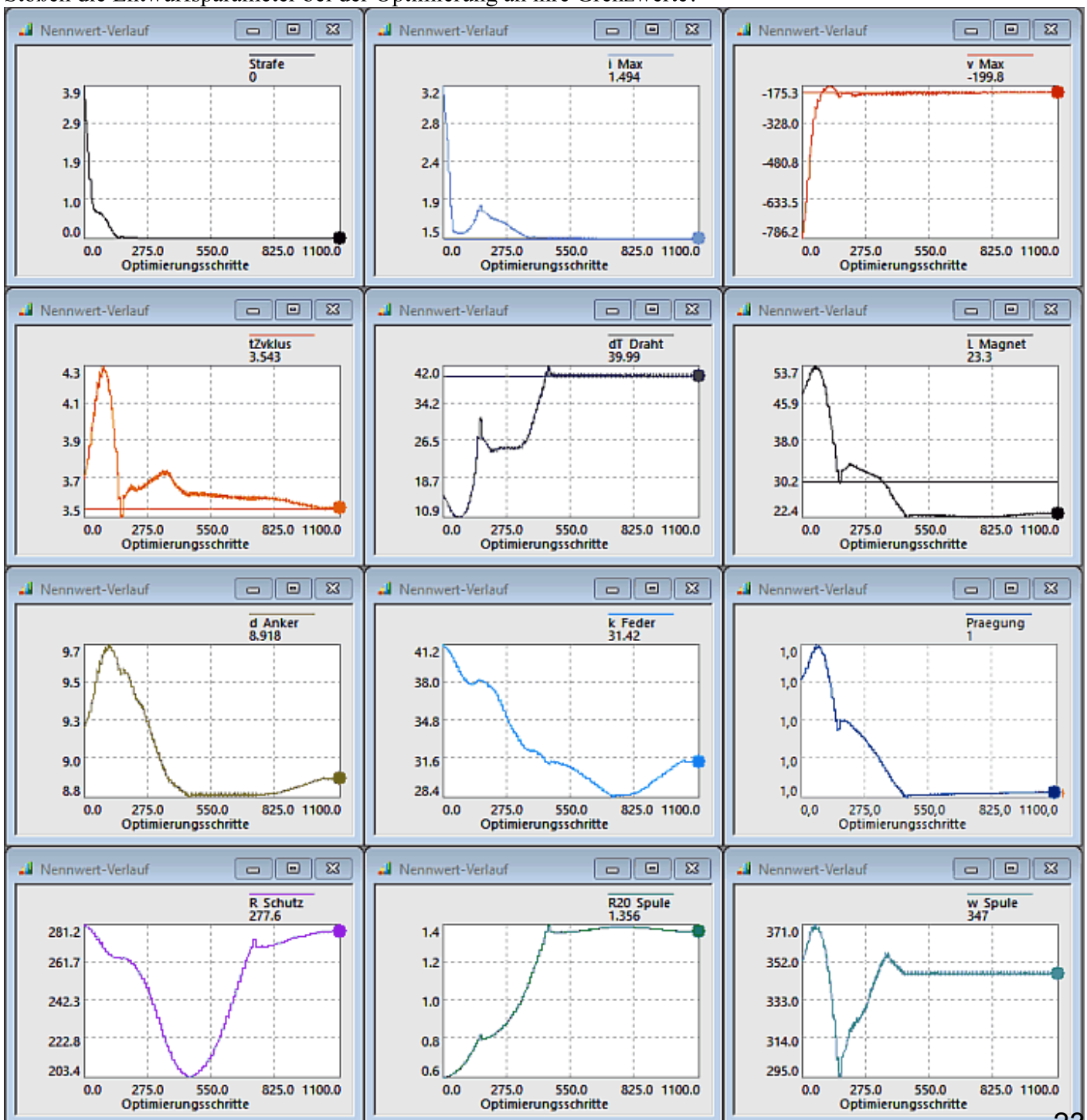
↑

← →

Experiment-Durchfuehrung

Aufgrund der Komplexität unserer Optimierungsaufgabe muss man zumindest in der Anfangsphase genau analysieren, was dabei passiert:

- Besitzen die benutzten Größen in Hinblick auf ihre Maßeinheit die richtigen Zahlenwerte?
- Konvergieren die Restriktionsgrößen in der Anfangsphase der Optimierung in Richtung ihrer zulässigen Bereiche? Bleibt die sich dabei eventuell vergrößernde Zykluszeit innerhalb des Simulationszeitbereiches?
- Stoßen die Entwurfparameter bei der Optimierung an ihre Grenzwerte?



Innerhalb dieser Übung werden als Bestwert nur Lösungen mit *Strafe=0* akzeptiert:

- Mit dieser Forderung soll ein tieferes Verständnis für das Vorgehen bei der numerischen Optimierung solcher nichtlinearer Systeme geschaffen werden.
- Es gewährleistet eine gerechtere Bewertung der erreichten Ergebnisse.

In der Praxis sind solche "akademischen" Lösungen mit zu hohem Experimentieraufwand verbunden:

- Bei technischen Problem-Lösungen befindet sich das ideale Nennwert-Optimum meist an Restriktionsgrenzen.
- Lokale Suchverfahren der numerischen Optimierung stoßen meist vor Erreichen des Optimums an Restriktionsgrenzen. Der Suchpfad verläuft dann in der letzten Phase entlang dieser Restriktionsgrenzen. Da das Verbesserungspotential der Lösung in dieser Phase meist nur noch gering ist (extrem schwacher Gradient der Zielfunktion), führt das numerische Rauschen der Modellberechnungen zu einer schlechten Konvergenz in Richtung des "exakten" Optimums.
- Nach Einbeziehung der Geometrie und Erwärmung in die Lösungssuche befindet sich die optimale Lösung gleichzeitig an mehreren Restriktionsgrenzen. Im Beispiel werden die maximal zulässigen elektrischen und thermischen Werte voll ausgeschöpft.
- Das führt im Beispiel dazu, dass trotz vielfältiger Bemühungen der Wert **Strafe=0** häufig erst nach vielen Versuchen und damit hohem zeitlichen Aufwand erreicht werden kann ("**Zeit gleich Geld**!").
- Deshalb strebt man in der Praxis derartige "akademische" Lösungen nicht an. Eine leichte **Überschreitung der Komponenten-Belastung** (von z.B. max. 1%) akzeptiert man, da die benutzten Modelle nicht exakt sind und auch durch eine leichte Überlastung noch keine Zerstörung der Baugruppe erfolgen würde.
- Belastungsgrößen sind im Beispiel Strom, Spannung und Erwärmung.
- Eine Überschreitung geometrischer Vorgaben für den Bauraum ist weniger akzeptabel! In kritischen Fällen kann man dieser Überschreitung durch hohe Wichtungsfaktoren im Vergleich zu den Belastungsgrößen entgegenwirken.

Hinweise:

Dem Bestwert für die Zykluszeit wird man sich iterativ durch zielgerichtetes Verändern des oberen Grenzwertes für **tZyklus** nähern. Intuitiv könnte man die jeweils zuvor erreichte Optimal-Lösung als neuen Startwert übernehmen - das sollten wir jedoch nicht machen:

- Ein Startwert dicht neben dem Optimum ist numerisch meist kritisch, da es nicht viel zu verbessern gibt (sehr flacher Abstieg auf der Zielfunktion).
- Hier muss man unter Umständen die Rechengenauigkeit des Simulationsmodells erhöhen, damit der Wert dieses Abstiegs durch Abtastung der Zielfunktion überhaupt noch ermittelt werden kann.
- Mit etwas Pech konvergiert das Optimierungsverfahren trotzdem nicht richtig!

Bei veränderten Bewertungsgrößen ist es meist besser, von der ursprünglichen Anfangslösung erneut zu starten:

- Auf Grund der großen Distanz zum Optimum hat das Verfahren genügend Zeit, sich an die Gradienten der aktuellen Zielfunktion anzupassen.
- Daraus resultiert eine stabilere Konvergenz zum angestrebten Optimum.

Achtung:

- Die schnellst mögliche Zykluszeit kann man meist nur durch Ausreizen der Grenzwerte aller Belastungsgrößen erreichen. Dies ist im obigen Bild sehr gut erkennbar, denn Temperatur, Maximalstrom und Abschaltspannung liegen an den zulässigen Grenzwerten. Man muss in unserem Beispiel in jedem Fall die Optimierung fortsetzen, wenn man diese Restriktionen noch nicht ausgereizt hat!
- Bei schlechter Konvergenz zum Optimum kann man zur Verringerung des numerischen Rauschens die Rechengenauigkeit für das Modell erhöhen. Im Beispiel konnten in der Simulationssteuerung von SimulationX die Toleranzwerte **absTol** und **relTol** auf **1e-7** verkleinert werden, ohne dass die Berechnungszeit merklich anstieg.
- Der erforderliche Bauraum (*L_Magnet*) korreliert stark mit dem Grenzwert für die Erwärmung. Der zulässige Bauraum wird aber nicht notwendiger Weise ausgenutzt, da dies auch zu einer Erhöhung der Ankermasse führt, was dynamisch ungünstig ist.

← →

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Normreihen

Aus OptiYummy

↑

← →

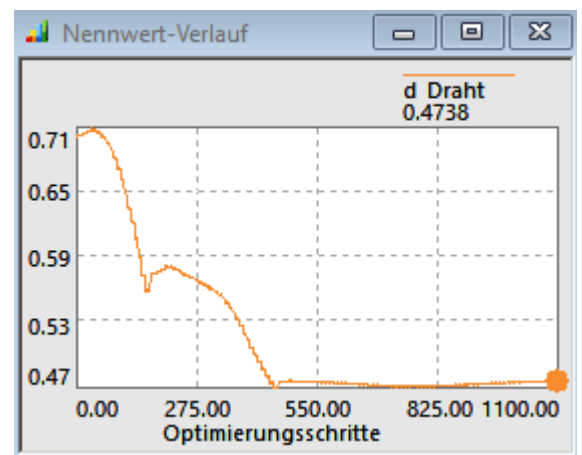
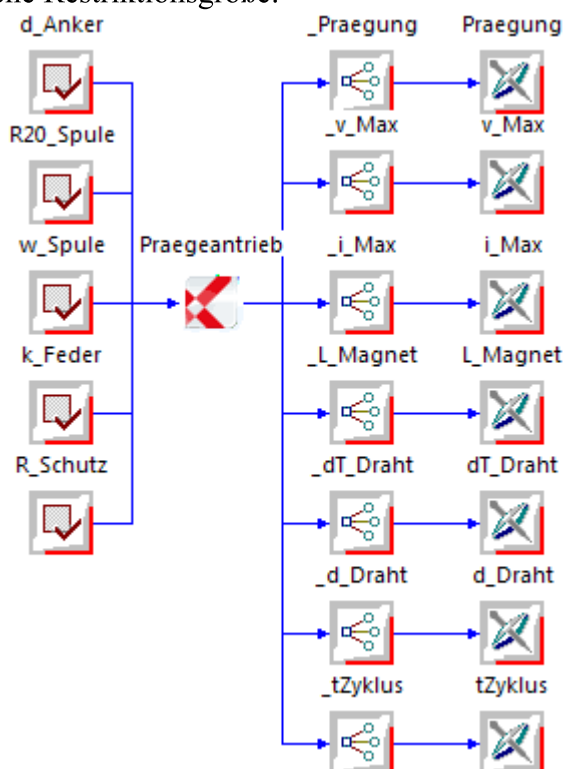
Berücksichtigung von Normreihen

Bauteile und Materialien sind meist nicht in beliebigen feinen Abstufungen erhältlich. Oft gehören die Kennwerte solcher Materialien oder Bauteile zu einer Reihe.

Kupferlackdraht: 0.3 / 0.32 / 0.35 / 0.37 / 0.40 / 0.45 / 0.50 / 0.55 / 0.60 / 0.65 / 0.70 / 0.75 / 0.80 / 0.90 / 1.00 / 1,20 / 1,50 / 1,80 / 2,00 mm.

Die bisherige Optimierung führte mit großer Wahrscheinlichkeit zu einem Drahtdurchmesser (=Cu-Durchmesser), der nicht zur obigen Reihe gehört:

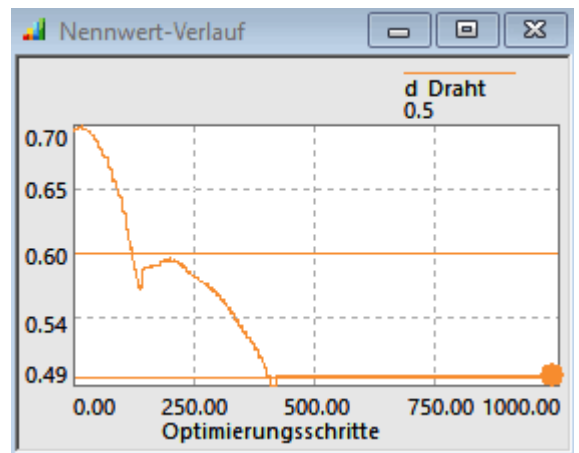
- Den Wert für ***d_Draht*** kann man nach einer Bestwert-Simulation im SimulationX-Modell ablesen.
- Wir erweitern den OptiY-Versuchsstand um ***d_Draht*** als zusätzliche Restriktionsgröße:



- Damit können wir die Optimierung zwingen, einen vorgegebenen Drahtdurchmesser für die optimale Lösung zu benutzen.
- Der obige Optimierungsverlauf für den Drahtdurchmesser wurde mit unwirksamer ***d_Draht***-Restriktion dokumentiert (z.B. Grenzen 0...1 m). Im Beispiel ergibt sich ein Drahtdurchmesser von ca. **0,47 mm**, also ein Wert fast exakt in der Mitte zwischen zwei zulässigen Drahtdurchmessern.

Wir wählen aus der Norm-Reihe einen Drahtdurchmesser, der in der Nähe des bisherigen Bestwertes liegt:

- Den gewählten Drahtdurchmesser geben wir als einen Grenzwert für die **d_Draht**-Restriktionsgröße an.
- Ob wir hierfür den oberen oder unteren Grenzwert verwenden, können wir durch Vorüberlegungen bestimmen, z.B.:



- Bisheriger Bestwert mit **d_Draht=0,47 mm**.
- Gewählter Normwert **d_Draht=0,50 mm**.
- Wahrscheinlich wird sich der aktuelle Wert für **d_Draht** während der Optimierung von kleineren Werten kommend der vorgegebenen Grenze nähern (weil die kleineren **d_Draht**-Werte zu tendenziell besserem Verhalten führen!).
- Deshalb muss man in diesem Fall den unteren Grenzwert für **d_Draht** mit dem gewählten Normdurchmesser belegen und durch den oberen Grenzwert einen schmalen zulässigen Bereich definieren.
- Ist dieser zulässige Bereich zu schmal, so behindert dies die Konvergenz zum Optimum! Im Beispiel genügt eine Bereichsbreite von **0,1 mm** (Untergrenze=0,5 mm / Obergrenze=0,6 mm).
- Infolge der Nichtlinearitäten des Modells können sich unsere Vorüberlegungen als falsch herausstellen, weil sich ein neuer Bestwert auf der Strafzielfunktion einstellt.
- Im Beispiel hat sich die Vorüberlegung jedoch als richtig erwiesen. Es wird sogar die Zykluszeit des vorherigen Bestwertes wieder erreicht:

Name	Werte	Einheit	Kommentar
d_Anker	9.075	mm	Ankerdurchmesser
R20_Spule	1.2565	Ohm	el. Widerstand der Spule bei 2...
w_Spule	357	-	Windungszahl der Spule
k_Feder	37.0825	N/mm	Steifigkeit
R_Schutz	274.85	Ohm	Begrenzung Abschaltspannung
t_Zyklus	3.54486	ms	Zykluszeit
dT_Draht	34.0821	K	Temperaturerhöhung
L_Magnet	26.6465	mm	Magnetlänge
i_Max	1.46282	A	max. Spulenstrom
v_Max	-198.928	V	max. Spulenspannung
Praegung	1.00001	-	Prägungsmaß
d_Draht	0.500006	mm	Drahtdurchmesser

Schutzwiderstand E24-Reihe

- 10 11 12 13 15 16 18 20 22 24 27 30 33 36 39 43 47 51 56 62 68 75 82 91
- Nachdem man bei der Optimierung einen zulässigen Drahtdurchmesser gefunden hat, wird der optimale Schutzwiderstand für das Abschalten der Magnetspule wahrscheinlich kein Wert aus obiger E24-Reihe sein. Im Beispiel ist **R_Schutz=275 Ohm**.
- Man wählt wegen der geringeren Abschaltspannung zur Sicherheit den nächst kleineren Wert aus der Reihe (im Beispiel 270 Ohm) und hält diesen während einer weiteren Optimierungsiteration konstant.
- Es stellt sich dann ein leicht veränderter Bestwert, welcher auf den vorgegebenen Schutzwiderstand abgestimmt ist.

Beachte:

- Wenn sich das bisherige Optimum mittig zwischen zwei Normdrahtdurchmessern befindet, sollte das optimierte Antriebsverhalten für dickeren und dünneren Draht verglichen werden (**Wichtig:** .opy-Datei als Sicherungskopie für bisherige Optimierung erzeugen!).
- Sind beide Bestwerte funktionell gleich (identische Zykluszeiten), so sollte man den robusteren Bestwert wählen (größere Ankermasse ist z.B. günstiger für das Prägen des Papiers).

Hinweis für eventuelle spätere Verwendung des Optimierungsexperiments:

- Möchte man den Antrieb für neue Anforderungen optimieren, für die sich wahrscheinlich ein neuer optimaler Drahtdurchmesser ergibt, so muss man die Restriktionsgröße ***d_Draht*** vorläufig wieder ausschalten.
- Das Ausschalten einer Restriktionsgröße erfolgt durch die Vorgabe von Grenzwerten, die immer eingehalten werden. Gewichtungsfaktor=0 würde die Verletzung der Draht-Restriktion trotzdem für das Umschalten innerhalb der Zielfunktionshierarchie berücksichtigen!

← →

Abgerufen von „http://index.php?title=Software:_SimX_-_Nadelantrieb_-_Geometrie_und_Waerme_-_Normreihen&oldid=27986“

Software: SimX - Nadelantrieb - Geometrie und Waerme - Ergebnisse

Aus OptiYummy

↑

← →

Ergebnisse der Nennwert-Optimierung

Aus der Nennwert-Optimierung resultiert die Erkenntnis, wie gut unser Antrieb bei Einhaltung aller Forderungen im Extremfall höchstens werden kann. Jede Verbesserung der gewünschten Funktionalität sollte unweigerlich zur Verletzung mindestens einer Restriktion führen!

- Für diese ideale Lösung besitzen wir nun einen Satz von Entwurfskenngrößen:

L_Magnet	(Magnet-Länge)
d_Magnet	(Magnet-Durchmesser)
d_Anker	(Anker-Durchmesser)
L_Anker	(Anker-Länge)
L_Kern	(Kern-Länge)
Spulwand	(Spulenkörper-Wandstärke)
Wand	(Topf-Wandstärke)
Deckel	(Deckel-Dicke)
h_Wickel	(Wickel-Höhe)
L_Wickel	(Wickel-Länge)
d_Draht	(Draht-Durchmesser)
w_Spule	(Windungszahl)
s0_Feder	(Vorspannweg der Feder)
k_Feder	(Elastizitätskonstante)
R_Schutz	(Abschaltwiderstand)

- Nur bei exakter Einhaltung dieser Werte, aller Werkstoff-Kenngrößen und der Betriebsspannung von 24 V wird man den ermittelten Bestwert für die Zykluszeit erreichen.

Achtung: Es existiert noch eine große Unsicherheit - die Genauigkeit unseres Modells! Dieses Modell wurde bisher nur verifiziert. D.h., die implementierten Effekte werden mathematisch richtig berechnet. Die Validierung beschränkte sich bisher auf die Plausibilität des Modellverhaltens in Hinblick auf unser physikalisch-technisches Wissen.



Jeder Teilnehmer $xx=(01...99)$ der Lehrveranstaltung "**Optimierung**" hat individuelle Ergebnisse durch Verwendung eines individuellen Wertes für **CAD.K_FeInnen=0.1xx** erzielt:

- Im Sinne der Bewertbarkeit innerhalb der Lehrveranstaltung darf es zu keinen **Überschreitung der Grenzwerte** im Nennwert-Optimum für Spulenstrom, -spannung und -erwärmung sowie Magnetlänge kommen.
- Bewertet wird die Abweichung der ermittelten Bestwerte vom tatsächlichen globalen Optimum:
 1. Die erreichte Zykluszeit **tZyklus** ist zusammen mit obigen optimalen Entwurfskenngrößen in einer Textdatei zu notieren.
 2. Der OptiY-Versuchsstand **Etappe3_xx.opy** muss im Experiment aussagekräftige Nennwert-Verläufe für die gewählte optimale Lösung enthalten. Diese sollen ohne erneute Experiment-Durchführung betrachtbar sein.
 3. Das Simulationsmodell **Etappe3_xx.isx** ist mit den zugehörigen Bestwerten unter Beachtung der Normwerte für Spulendraht und Widerstand zu konfigurieren. Die Zeitverläufe wesentlicher Modellgrößen sind im Modell in anschaulicher Form in Signalfenstern darzustellen.
 4. Das Simulationsmodell **Etappe_xx_verifiziert.isx** ist mit den Vorgabewerten zu konfigurieren.
 5. Die Text-, .isx- und .opy-Dateien sind bei Opal in einem Archiv-File **Etappe3_xx.zip** hochzuladen.

← →