

# Praktikum Elektrische Antriebe

## Versuchsprotokoll zu Versuch 1: Asynchronmaschine

|                                      |         |                    |
|--------------------------------------|---------|--------------------|
| Name: Johannes Nill                  |         | Studiensemester: 8 |
| Datum: 10.07.2018                    | Testat: |                    |
| Mitarbeiter: Sven Lux, Tam Tan Trinh |         |                    |





### Aufgabe 3

Die Aufgabe besteht darin, zu der Asynchronmaschine aus dem Labor nun eine U/f-Kennliniensteuerung zu entwerfen.

a) Für den Statorfrequenzbereich von  $0 - 100\text{Hz}$  soll der Verlauf der U/f-Kennlinie unter den folgenden Bedingungen realisiert werden:

- Die Amplitude der Statorspannung soll für Frequenzen  $> 50\text{Hz}$  konstant gehalten werden. Es gilt hierbei:  $U_{1K} = 317\text{V}$ .  $U_{1K}$  entspricht hier dem Scheitelwert der Strangspannung.
- In dem obig genannten Statorfrequenzbereich sei der Betrag der Statorflussverkettung konstant zu halten.

Zuerst muss aus der gegebenen Scheitelwertspannung der Effektivwert bestimmt werden. Um die Außenleiterspannung der Sternschaltung zu berechnen ziehen wir den bereits berechneten Effektivwert der Strangspannung heran. Die benötigte Formel wurde aus dem Skript aus der Umrechnungstabelle 2.1 entnommen. Wie oben bereits erwähnt soll im Bereich zwischen  $0 - 50\text{Hz}$  die Statorflussverkettung konstant gehalten werden. Berechnet werden kann die Statorflussverkettung mit der Formel (3.1).

$$\psi_{1k} = \frac{U_{1k}}{2\pi f} = \frac{317\text{V}}{2\pi * 50\text{Hz}} = 1.009\text{Vs} \quad (3.1)$$

Unser ermittelter Wert  $\psi_{1k} = 1,009$  stellt die Statorflussverkettung im Bereich  $0 - 50\text{Hz}$  dar. Diese ist konstant. Entsprechend tut dieser Wert der Steigung der U/f-Kennlinie im Bereich  $0-50\text{Hz}$ . Die Abbildung 3.1 zeigt die erstellte Spannungs-Frequenz-Kennlinie.

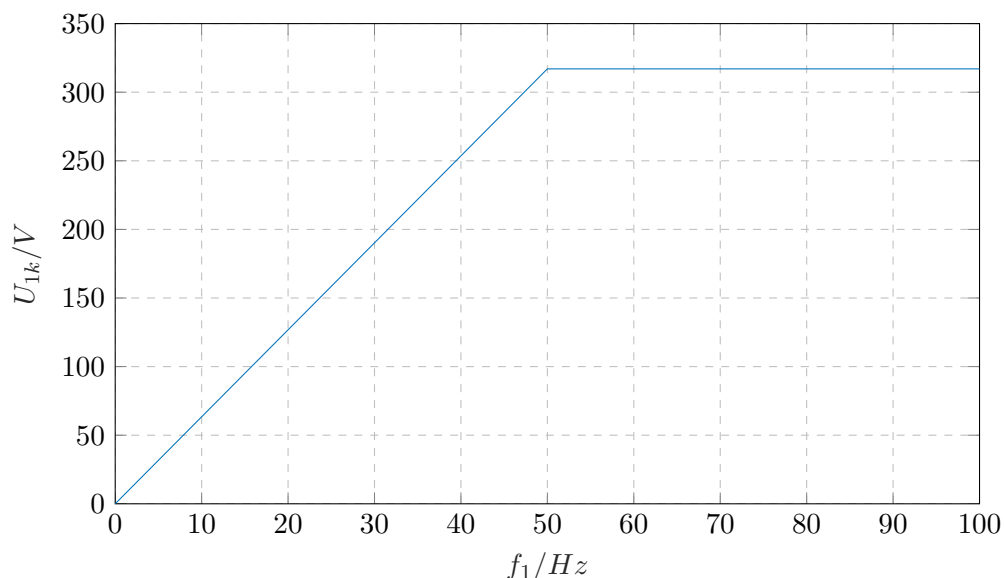


Abbildung 3.1:  $U/f_1$  - Kennlinie

b) Es soll nun ein Modell mit Simulink erstellt werden, welches ein Subsystem zeigt, mit dem die Darstellung der in Aufgabenteil a) entwickelten Funktionalität darstellen lässt.

- Eingangsgröße System: Statorfrequenz; Ausgangsgröße System: Statorspannung

Es soll die Ausgangsspannung als Effektivwert der Außenleiterspannung zugegeben werden.

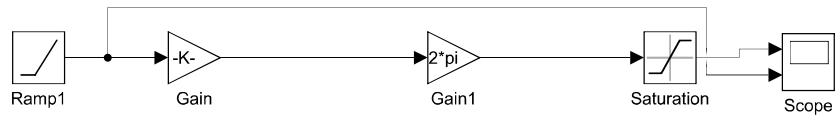


Abbildung 3.2: Simulink-Modell

## Aufgabe 4

a) Es soll anhand der Angaben auf dem Leistungsschild die Polpaarzahl der Asynchronmaschine bestimmt werden. Dazu sollen nun Überlegungen angestellt werden. Auf dem Typenschild finden sich Angaben über die Nenndrehzahl  $N$ , die Frequenz  $f$ . Mit diesen Daten kann die Polpaarzahl näherungsweise bestimmt werden. Logischerweise muss die Polpaarzahl ganzzahlig sein, daher wird hier die Ganzzahloperation mit durchgeführt.

$$Z_P = \left\lceil 60 \frac{f_N}{N_N} \right\rceil \quad (4.1)$$

Der Faktor 60 kommt daher zustande, da die Drehzahl von  $s^{-1}$  in  $min^{-1}$  umgerechnet werden muss. Die Asynchronmaschine weist einen Schlupf auf, ohne diesen würde sie gebremst werden. Aufgrund dieses Schlupfes ist die Drehzahl auf dem Typenschild geringer als die Drehfelddrehzahl. Deshalb erhalten wir keinen ganzzahligen Wert für die Polpaarzahl. Das ist jedoch unzulässig, da es nur ganzzahlige Werte geben darf, weshalb hier auf die nächste ganzzahlige Anzahl abgerundet wird.

b) Anhand der zuvor getroffenen Überlegungen soll nun die Polpaarzahl der im Labor befindlichen Asynchronmaschine bestimmt werden. Auf dem Leistungsschild unseres Motors befinden sich folgende Angaben über die Frequenz des Motors, sowie zu dessen Nenndrehzahl:

$$f = 50Hz \quad N = 1370min^{-1}$$

Somit ergibt sich folgende Polpaarzahl:

$$Z_P = \left\lceil 60 \frac{50Hz}{1370min^{-1}} \right\rceil = 2 \quad (4.2)$$

c) Die Aufgabe besteht nun darin, das Nennmoment, den Wirkungsgrad im Nennpunkt der Asynchronmaschine aus den gegebenen Daten auf dem Leistungsschild der Asynchronmaschine zu bestimmen. Aus dem Typenschild lässt sich die Leistung  $0,37kW$  ablesen. Das Moment berechnet sich aus dem Quotienten aus dieser Leistung, sowie der Nennkreisfrequenz pro Sekunde, daher finden im Nenner die benötigten Umrechnungen statt. Wir erhalten hier also ein Moment von  $2,56Nm$ .

$$M_N = \frac{P}{\Omega_N} = \frac{0.37kW}{2\pi \frac{1370}{60} \frac{1}{s}} \approx 2.56Nm \quad (4.3)$$

Um den Wirkungsgrad zu bestimmen, muss nach Definition die abgegebene Leistung durch die zugeführte Leistung geteilt werden. Der Wirkungsgrad der sich ergibt liegt bei  $0,87$ . Logischerweise ist dieser  $<1$ , da es ja immer zu Verlusten in der Maschine kommt.

$$\eta_N = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P}{UI \cos \varphi} = \frac{370W}{400V * 1.06A * \cos(0.74)} \approx 0,87 \quad (4.4)$$

|                      |  |                    |    |           |        |                    |      |
|----------------------|--|--------------------|----|-----------|--------|--------------------|------|
| CE                   |  | VEM motors         |    | GmbH      |        | VEM                |      |
| 12/2015              |  | Made in Germany    |    |           |        |                    |      |
| K21R 71 G 4 H TPM140 |  |                    |    |           |        |                    |      |
| 13485090021512       |  |                    | 50 | Hz        | 155    | 3                  | ~Mot |
| IM B5 FF130          |  | cosφ 0.74          |    |           | 7.8 kg |                    |      |
| 230/400              |  | V D/Y              |    | 1.84/1.06 |        | A                  |      |
| S1                   |  | 0.37 kW            |    | 1370      |        | min. <sup>-1</sup> |      |
| IP 55                |  | M <sub>BR</sub>    |    | Nm FI     |        | c/h                |      |
| ...                  |  | /                  |    | ...       |        | V                  |      |
| ...                  |  | /                  |    | ...       |        | A LS mm            |      |
| ...                  |  | min. <sup>-1</sup> |    | cosφ      |        | ...                |      |
| DIN EN 60034-1       |  |                    |    |           |        |                    |      |

Abbildung 4.1: Leistungsschild der Asynchronmaschine

## Aufgabe 5

a) Die Asynchronmaschine aus dem Versuchsaufbau im Labor Antriebstechnik soll im gesteuerten Betrieb mit den Drehzahlen aus Tabelle 5.1 betrieben werden. Hierzu wird durch die Formeln (5.1) und (5.2) die benötigte Statorfrequenz errechnet, deren Ergebnisse sind ebenfalls in Tabelle 5.1 sichtbar.

$$\Omega_R = \Omega_{RM} Z_P = 2\pi \frac{N}{60} Z_P \quad (5.1)$$

$$f_R = \frac{\Omega_R}{2\pi} = \frac{N}{60} Z_P \quad (5.2)$$

| Solldrehzahl $N_{Soll}$ | Statorkreisfrequenz $\Omega_R$ | Statorfrequenz $f_R$ | Gemessene Drehzahl $N_{Ist}$ |
|-------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------------|
| $600min^{-1}$           | $125,7\frac{1}{s}$             | $20Hz$               | $586min^{-1}$                |
| $1500min^{-1}$          | $314,2\frac{1}{s}$             | $50Hz$               | $1483min^{-1}$               |
| $2400min^{-1}$          | $502,7\frac{1}{s}$             | $80Hz$               | $2364min^{-1}$               |

Tabelle 5.1: Berechnete Statorfrequenzen für gewünschte Drehzahlen

b) In Tabelle 5.1 wird die tatsächlich gemessene Drehzahl zu den in a) berechneten Statorfrequenzen gezeigt. Dabei ist die Ist-Drehzahl jeweils etwas geringer als die Soll-Drehzahl. Dies ist auf verschiedene Verluste zurückzuführen: beispielsweise die nicht-ideale Lagerung der Welle, allen voran jedoch der Lüfter. Durch diese Verluste wird ein geringes Lastmoment erzeugt, wodurch die Drehzahl leicht absinkt.

## Aufgabe 6

a) In dieser Aufgabe ist das in der Aufgabe 3 erstellte Subsystem im entsprechenden Block der U/f-Steuerung einzusetzen und deren Implementierung zu testen.

Die Ausgangsfrequenz des Umrichters haben wir dabei in 10 Hz-Schritten von 0 Hz bis 100 Hz eingestellt. Die Werte der Ausgangsspannung konnten wir auf Bedienoberfläche ablesen. Wir haben sie mit der Ausgangsfrequenz in eine Tabelle eingetragen und in einem Diagramm dargestellt (Abbildung 6.1). Um die Ausgangsspannung als Effektivwert der Außenleiterspannung darzustellen, haben wir sie nach der (6.1) umgerechnet.

$$U = U_a \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \quad (6.1)$$

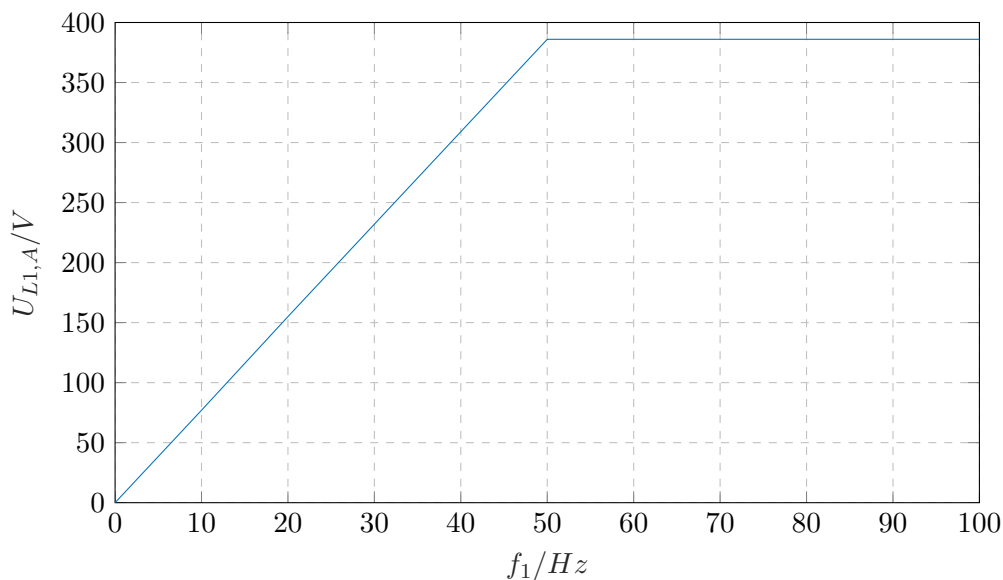


Abbildung 6.1: Gemessene Außenleiterspannung  $U_{L1,A}$  über Statorfrequenz  $f_1$

b) Im zweiten Aufgabenteil soll der prinzipiellen Verlauf des Betrags der Statorflussverkettung  $\psi_1$  und des Kippmoments  $M_K$  im Bereich  $f_1 \in [0 \text{ } 100 \text{ Hz}]$  dargestellt werden.

Die dabei verwendeten Motorparameter sind:

$$L_\mu = 785.5 \text{ mH} \quad L_\sigma = 209.8 \text{ mH}$$

Die Statorflussverkettung  $\psi_1$  haben wir mit der Gleichung (6.2) berechnet.

$$\psi_1 = \frac{U_1}{\Omega_1} \quad (6.2)$$

Der Verlauf des Betrags der Statorflussverkettung  $\psi_1$  ist in der Abbildung ?? dargestellt. Der Verlauf des Kippmoments  $M_K$  wird in der Abbildung ?? dargestellt.



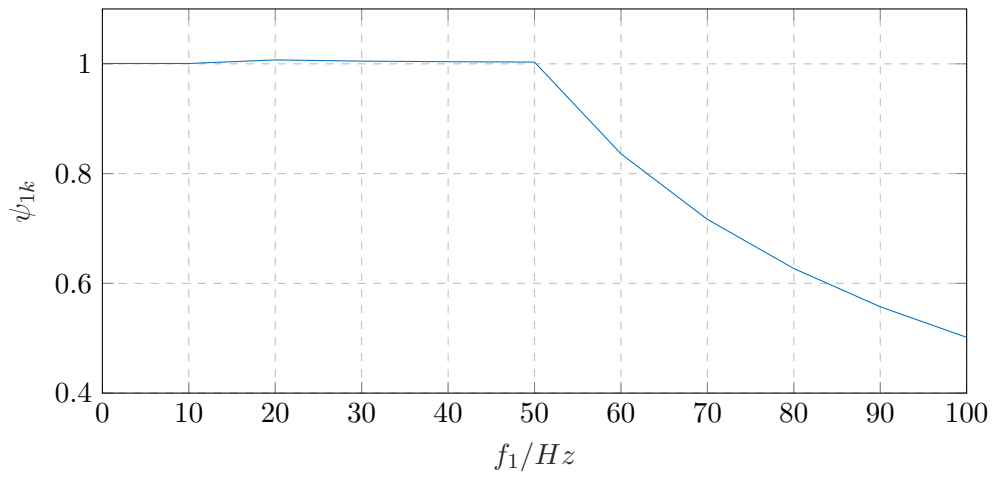


Abbildung 6.2: Statorflussverkettung  $\psi_1$  über Statorfrequenz  $f_1$

c) Im letzten Aufgabenteil soll nun der Verlauf des Drehmoments  $M_{Mi}(I_{1N})$  des Motors zum Verlauf des Kippmoments  $M_K$  eingezeichnet werden.

Das Drehmoment  $M_{Mi}(I_{1N})$  wurde mit (6.3) berechnet. Es wurde dabei angenommen, dass der Motor bei  $\cos\varphi = 0.7$  betrieben wird.

$$M_{Mi} = \frac{3}{2} Z_P \frac{U_{1k}}{\Omega_1} I_{1N} \cos\varphi \quad (6.3)$$

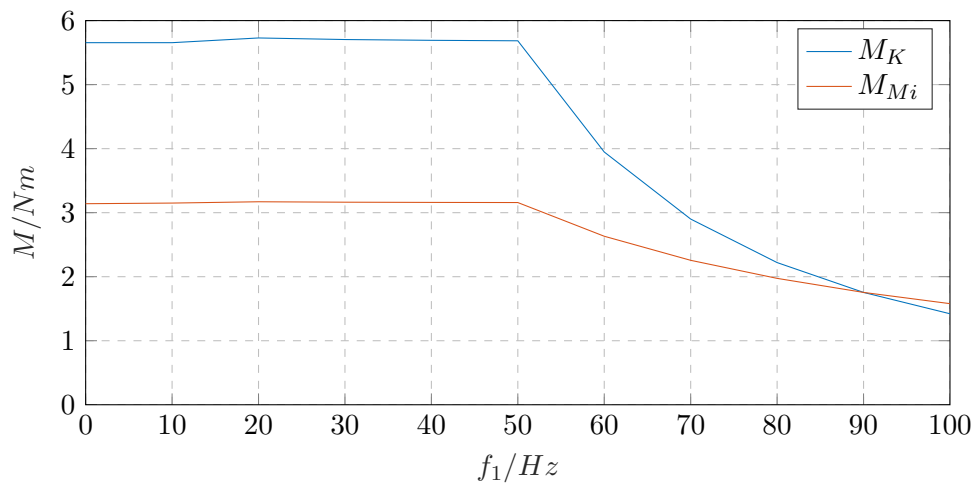


Abbildung 6.3: Kippmoment  $M_K$  und inneres Moment  $M_{Mi}$  über Statorfrequenz  $f_1$

## Aufgabe 7

a) In diesem Aufgabenteil soll das Drehzahl-Drehmomentkennlinienfeld der Asynchronmaschine aus dem Versuchsaufbau im Labor Antriebstechnik gemessen werden. Diese wird in der Abbildung 5 dargestellt.

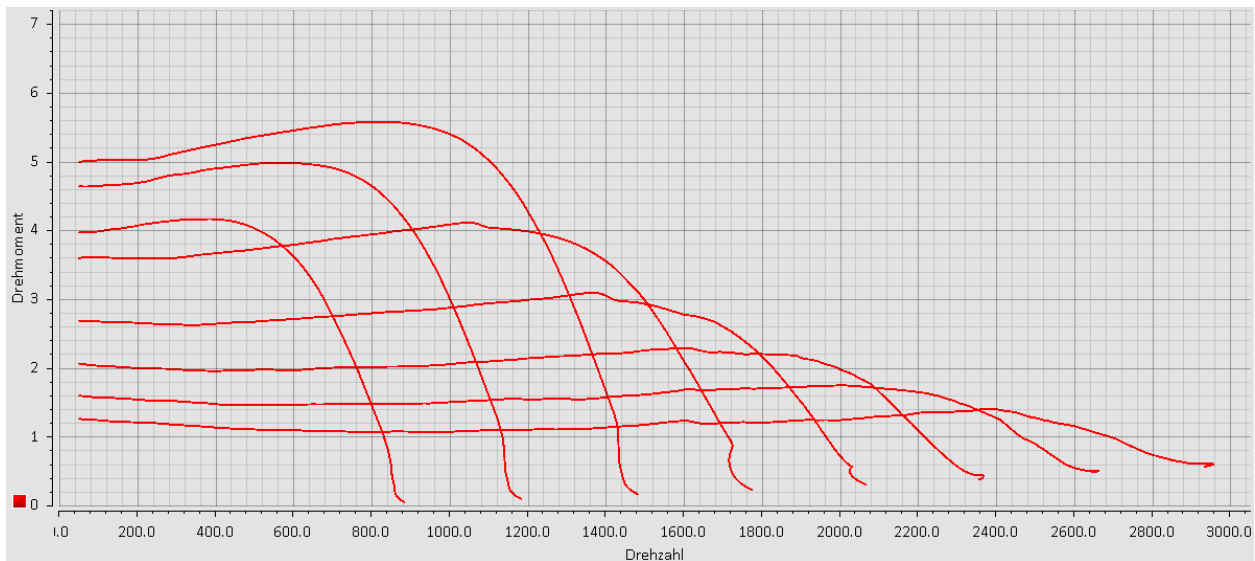


Abbildung 7.1: Drehzahl-Drehmomentkennlinienfeld

b) Hier wird nun das Kennlinienfeld mit dem Kennlinienfeld aus der Abbildung 6.19 (Skript Elektrische Antriebe) verglichen.

Bei geringe Drehzahl  $N$  der Abbildungen zueinander, kann man einen eindeutigen Unterschied erkennen. Dies ist so, weil wir den Idealfall angenommen haben, dass der Statorwiderstand  $R_1 = 0\Omega$  sei. Im realen Betrieb ist dies aber nicht der Fall. Der Statorwiderstand hat bei niedrige Statorfrequenzen einen höheren Einfluss auf die Drehmomentkennlinie, da der reale Statorwiderstand für niedrige Statorfrequenzen einen größeren Anteil zur Gesamtimpedanz beiträgt.

c) Im dritten Aufgabenteil soll nun eine Beziehung angegeben werden, wie man bei bekanntem Statorstrombetrag  $I_1$  und bekanntem Statorwiderstand  $R_1$  der Betrag der Ausgangsspannung  $U_1$  verändert werden muss, um dieses Verhalten zu verbessern.

?????

d) Im letzten Aufgaben Teil haben wir eine erneute Messung mit unseren Anpassung durchgeführt, die wir im dritten Aufgabenteil getroffen haben.

In der Abbildung 7.2 sieht man nun das Ideale Drehzahl-Drehmomentkennlinienfeld, wo das Drehmoment für kleine Statorfrequenzen kompensiert wurde.

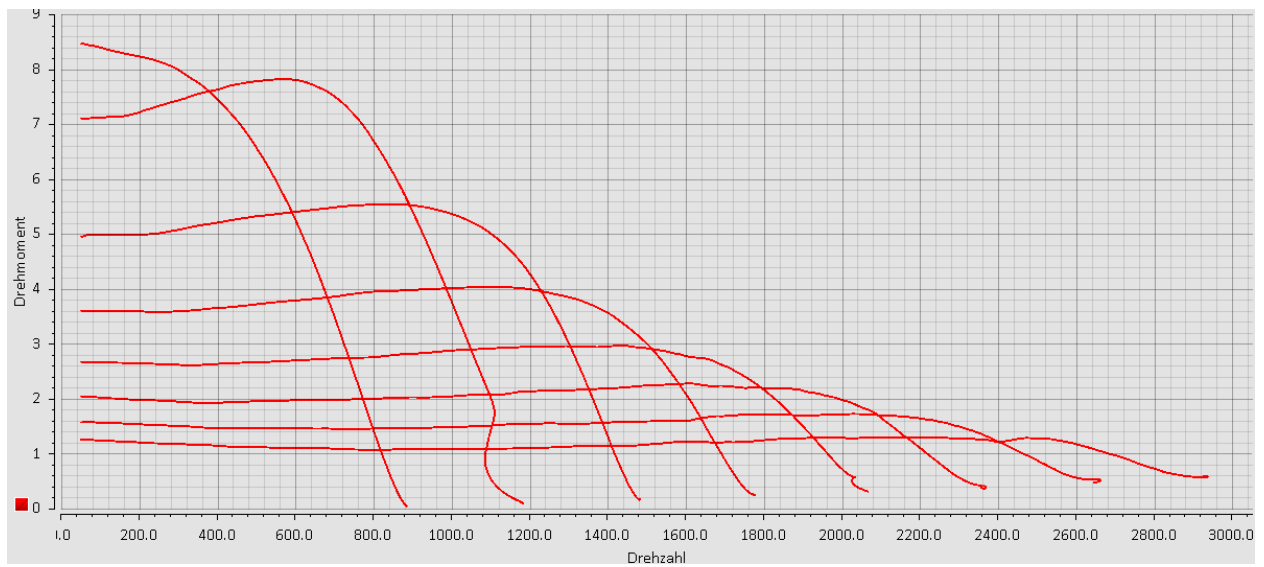


Abbildung 7.2: Drehzahl-Drehmomentkennlinienfeld kompensiert

## Abbildungsverzeichnis

|     |  |   |
|-----|--|---|
| 3.1 | $U/f_1$ - Kennlinie . . . . .  | 1 |
| 3.2 | Simulink-Modell . . . . .  | 2 |
| 4.1 | Leistungsschild der Asynchronmaschine . . . . .                                  | 4 |
| 6.1 | Gemessene Außenleiterspannung $U_{L1,A}$ über Statorfrequenz $f_1$ . . . . .     | 6 |
| 6.2 | Statorflussverkettung $\psi_1$ über Statorfrequenz $f_1$ . . . . .               | 7 |
| 6.3 | Kippmoment $M_K$ und inneres Moment $M_{Mi}$ über Statorfrequenz $f_1$ . . . . . | 7 |
| 7.1 | Drehzahl-Drehmomentkennlinienfeld . . . . .                                      | 8 |
| 7.2 | Drehzahl-Drehmomentkennlinienfeld kompensiert . . . . .                          | 9 |