

2. Wicklungen für Drehfelder in elektrischen Maschinen

Aufgabe A2.1: Felderregerkurve einer Drehstrom-Ganzlochwicklung

Drehstrom-Ganzlochwicklung mit den folgenden Daten für ein Polpaar: Zweischichtwicklung, Polzahl $2p = 6$, Strangzahl $m = 3$, Ständernutzahl $Q = 36$, Sehnung $W/\tau_p = 5/6$, $N_c = 1$ Windung/Spule.

1. Berechnen Sie die Lochzahl!
2. Skizzieren Sie den Verlauf der Felderregerkurve für folgende Momentanwerte der Strangströme: $I_U = I$, $I_V = -I$, $I_W = 0$. Zeichnen Sie die Polteilung, die Nutteilung und die Spulenweite in den zugehörigen Zonenplan mit der Verteilung der Spulenströme in Ober- und Unterschicht ein!

Lösung zu Aufgabe A2.1:

1)

$$q = Q/(2 \cdot p \cdot m) = 36/(6 \cdot 3) = 2$$

2)

Die Nulllinie der Felderregerkurve für ein Polpaar ist so zu legen, dass die Flächen unter der Kurve $V(x)$ für N- und S-Pol gleich groß sind (Bild A2.1-1).

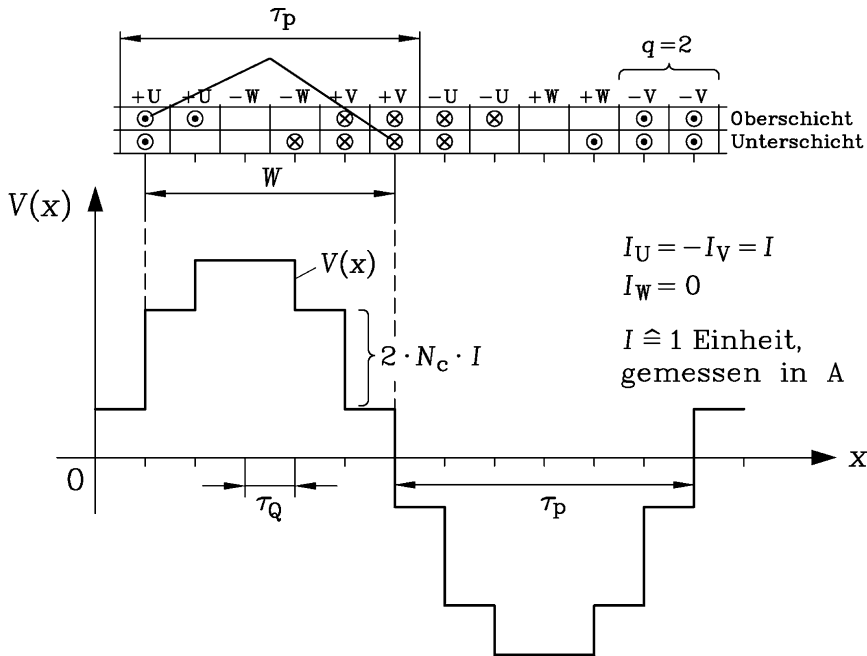


Bild A2.1-1: Zonenplan, Spulenstromverteilung und Felderregerkurve der Drehstrom-Zweischichtwicklung $q = 2$ mit 5/6-gesehten Spulen für $i_U = -i_V$, $i_W = 0$

Aufgabe A2.2: Wicklungsschema und Felderregerkurve einer Drehstrom-Zweischichtwicklung

Bild A2.2-1 zeigt vom Schema einer zwölfpoligen Drehstromwicklung den Ausschnitt über zwei Polteilungen.

1. Welche Lochzahl q hat diese Wicklung?
2. Ist dies eine Ein- oder Zweischichtwicklung? Ist sie geseht oder unge-seht?
3. Tragen Sie die Schaltverbindungen zwischen den Spulen so ein, dass der Ausschnitt einer dreiphasigen Wicklung mit den Anschlussklemmen U-X, V-Y, W-Z entsteht. Wie muss verschaltet werden, dass die Wicklung in Stern geschaltet ist?

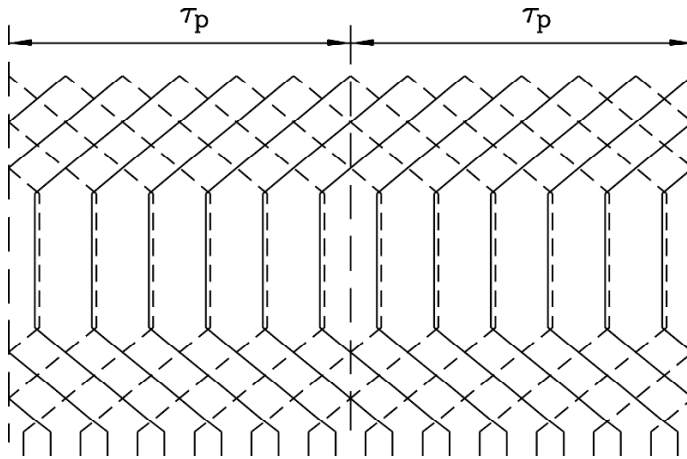


Bild A2.2-1: Vorlage für Wicklungsschema und Zonenplan für eine dreisträngige Zweischichtwicklung mit Spulen gleicher Weite

4. Zeichnen Sie in einen Zonenplan in Bild A2.2-1 unterhalb des Wicklungsschemas die Verteilung der Ströme für jenen Zeitpunkt ein, wenn Strang U stromlos ist. Wie groß sind die Momentanwerte der Ströme bei Drehstromspeisung (Stromamplitude $\hat{I}$)?
5. Zeichnen Sie zur Stromverteilung von 4. die Felderregerkurve als Treppenkurve für vernachlässigbar kleine Nutöffnungen!
6. Wie viele Nuten hat der Stator insgesamt?

Lösung zu Aufgabe A2.2:

- 1)
Es sind in Bild A2.2-1 zwölf Spulen der dreisträngigen Wicklung je Polpaar dargestellt: $q = 12 / (2 \cdot 3) = 2$.
- 2)
Es liegen in Bild A2.2-1 zwei Spulenseiten in einer Nut (volle Linie: Oberschichtleiter, gestrichelt: Unterschichtleiter), daher ist es eine Zweischichtwicklung. Die Weite der Spulen ist $W / \tau_p = 5/6$. Es handelt sich um eine gesehnte Zweischichtwicklung.
- 3)
Die Spulenverbinder so als kurze Serienverbinder zwischen benachbarten Spulen einer Gruppe und als lange Umkehrverbinder zwischen den Spulengruppen von N- und S-Pol auszuführen (Bild A2.2-3). Bei Sternschaltung sind X, Y und Z als Sternpunkt zu verbinden.

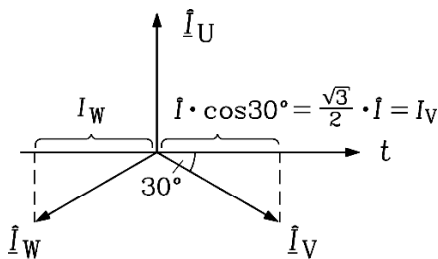


Bild A2.2-2: Bestimmung der Stromaugenblickswerte

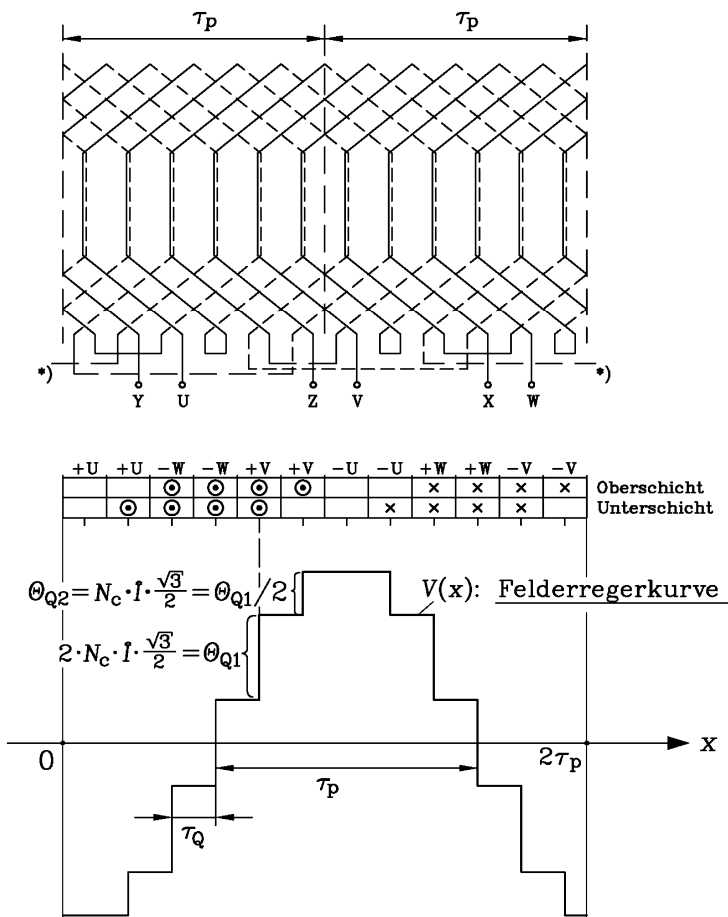


Bild A2.2-3: Wicklungsschema, Zonenplan und Felderregerkurve für die 5/6-gesehte Zweischicht-Drehstromwicklung $q = 2$ je Polpaar für $i_U = 0$, $i_V = -i_W$

4)

Der Strom in Strang U ist Null. Der Projektionsstrahl der Realteilachse der komplexen Zahlenebene zum Zeitpunkt t steht normal auf den U-Stromzeiger. Die Projektion des V- und W-Zeigers als Amplitudenwert auf die Realteilachse ergibt die Stromwerte im Strang V und W zum Zeitpunkt t für $i_U = 0$, $i_V = -i_W$. Zeitpunkt t :

$$I_V = -I_W = \frac{\sqrt{3}}{2} \hat{I}.$$

Die zugehörige Verteilung der Spulenströme ist im Zonenplan Bild A2.2-3 dargestellt.

5)

Lösung in Bild A2.2-3 identisch mit Bild A2.1-1!

6)

$$Q = 2 \cdot p \cdot q \cdot m = 12 \cdot 2 \cdot 3 = 72$$

Aufgabe A2.3: Drehstrom-Halbloch-Zweischichtwicklung

Die achtpolige dreisträngige Drehstrom-Zweischicht-Bruchlochwicklung $q = 3/2$ mit Spulen gleicher Weite und $N_c = 10$ Windungen je Spule hat eine Serienschaltung aller Spulen je Strang $a = 1$.

1. Wie groß ist die Nutzahl und die Windungszahl je Strang?
2. Zeichnen Sie das vereinfachte Wicklungsschema eines Strangs für ein Urschema!
3. Für eine Sehnung $8/9$ ist für $i_U = -2i_V = -2i_W$ die Spulenstromverteilung im Zonenplan und die Feldkurve $B_\delta(x)$ für $\mu_{Fe} \rightarrow \infty$ und konstanten Luftspalt δ zu zeichnen! Was fällt im Vergleich zur Felderregerkurve von Aufgabe A2.1 auf?

Lösung zu Aufgabe A2.3:

1)

$$Q = 2p \cdot q \cdot m = 8 \cdot (3/2) \cdot 3 = 36, N = 2p \cdot q \cdot N_c / a = 8 \cdot (3/2) \cdot 10 / 1 = 120$$

2)

Bei einem Bruchlochnenner $N = 2$ ist bei Zweischichtwicklungen nach zwei Polen ein Urschema komplett (Bild A2.3-1). Die Spulenweite ergibt durch den Spulenschritt von Nut 1 in Nut 5 eine Sehnung $W / \tau_p = 4 / 4.5 = 8/9$.

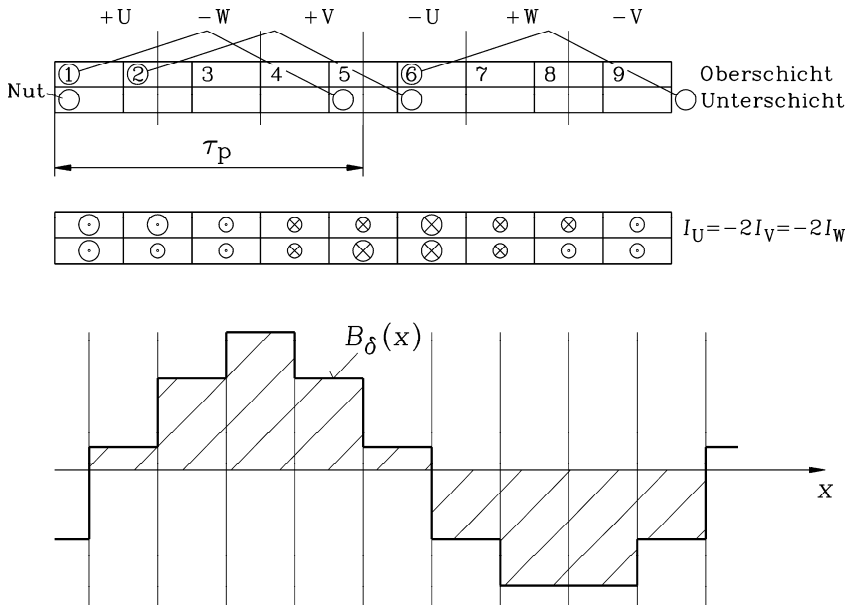


Bild A2.3-1: Vereinfachtes Wicklungsschema des Strangs U und Verteilung der Spulenströme im Zonenplan für $i_U = -2i_V = -2i_W$, sowie zugehöriges Magnetfeld im Luftspalt bei unendlich permeablem Eisen, konstantem Luftspalt und unendlich schmalen Nutöffnungen

3)

Für $\mu_{\text{Fe}} \rightarrow \infty$ und $\delta = \text{konst.}$: Feldkurve $B_{\delta}(x) = \mu_0 \cdot V(x) / \delta$ (siehe Bild A2.3-1). Die x -Achse von $B_{\delta}(x)$ ist für ein Polpaar so zu legen, dass die Flächen unter der Feldkurve für N- und S-Pol gleich groß sind! Im Vergleich zur Felderregerkurve von Aufgabe A2.1 ist die Feldkurve nicht abszissensymmetrisch!

Aufgabe A2.4: Drehstrom-Halbloch-Einschichtwicklung

Zeichnen Sie für die Drehstrom-Einschicht-Halblochwicklung $m = 3$, $q = 3/2$ (Bild A2.4-1) die Spulenstromverteilung im Zonenplan und die Felderregerkurve für ein Urschema für die Strangstromwerte $i_U = -i_W$, $i_V = 0$. Wie viele Pole werden erregt? In welchem Zahlenverhältnis stehen die Polflüsse?

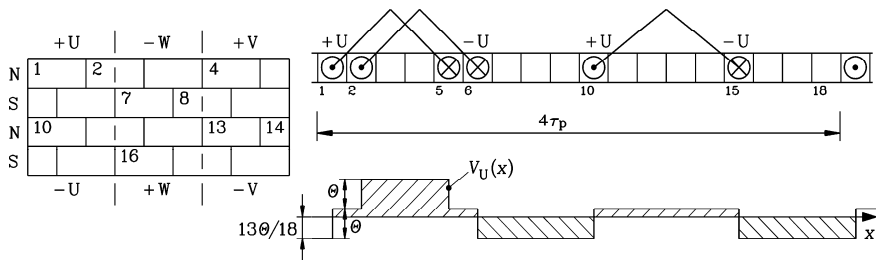


Bild A.2.4-1: Dreisträngige Einschicht-Halblochwicklung $q = 3/2$ in der Darstellung des Tingley-Schemas, des Wicklungsschemas je Strang und der zugehörigen Felderregerkurve je Strang, unterschiedliche Spulenweite von 4 bzw. 5 Nutteilungen

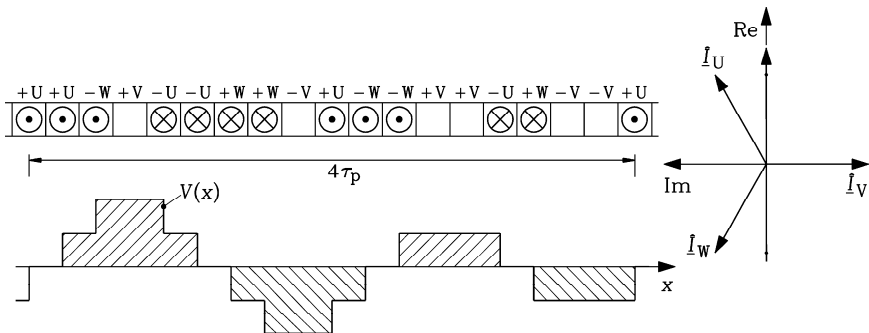


Bild A.2.4-2: Spulenstromverteilung und Felderregerkurve der Drehstrom-Halbloch-Einschichtwicklung $q = 3/2$ für $i_U = -i_W$, $i_V = 0$

Lösung zu Aufgabe A2.4:

Die Felderregerkurve Bild A.2.4-2 hat zwei N- und zwei S-Pole. Die Polflüsse stehen im Verhältnis 2:2:1:1; die Flusssumme ist $2 - 2 + 1 - 1 = 0$.

Aufgabe A2.5: Drehstrom-Bruchloch-Zweischichtwicklung mit ungeradem Bruchlochnenner

1. Zeichnen Sie für die Drehstrom-Zweischicht-Bruchlochwicklung $m = 3$, $q = 7/5$ das Tingley-Schema! Wie viele Pole werden je Urschema erzeugt? Welche Sehnungen $1 > W/\tau_p > 2/3$ sind möglich? Ist eine unge-sehnte Spulenausführung möglich?

Lösung zu Aufgabe A2.5:

1)

Im Tingley-Schema Bild A2.5-1 wiederholt sich je Strang die Spulenordnung nach 5 Polen, jedoch mit umgekehrtem Wickelsinn der Spulen, so dass das Urschema 10 Pole umfasst. Es sind die Sehnungen 15/21 und 20/21 möglich, aber keine ungesehnte Ausführung.

2)

Die Felderregerkurve $V_U(x)$ zeigt 10 Pole, wobei zwischen jeweils 5 (halbes Urschema) Abszissensymmetrie besteht. Spulenzahl je Strang im Urschema: $2p_u \cdot q = 10 \cdot (7/5) = 14$.

3)

Die zehn Polflüsse stehen im Verhältnis 7:4:4:4:7:7:4:4:4:7, die Flusssumme ist $7 - 4 + 4 - 4 + 7 - 7 + 4 - 4 + 4 - 7 = 0$.

Aufgabe A2.6: Konzentrierte Drehstrom-Bruchloch-Zweischichtwicklung

1. Zeichnen Sie für die Drehstrom-Zweischicht-Bruchlochwicklung $m = 3$, $q = 3/8$ das Tingley-Schema! Wie viele Pole werden je Urschema erregt? Welche Sehnungen $1 > W/\tau_p > 2/3$ sind möglich? Ist eine ungesehnte Spulenausführung möglich?
2. Zeichnen Sie das vereinfachte Wicklungsschema je Strang im Zonenplan und das Wicklungsschema der Zahnspulen der drei Stränge je Urschema. Wie viele Spulen treten je Modul auf?
3. Zeichnen Sie die Spulenstromverteilung für Strang U im Zonenplan und die zugehörige Felderregerkurve $V_U(x)$ für ein Urschema!
4. Zeichnen Sie die Spulenstromverteilung für $i_U = -2i_V = -2i_W$ im Zonenplan und die zugehörige Felderregerkurve $V(x)$ für ein Urschema! Wie groß ist die Polzahl?
5. Wie groß ist bei einer 24-poligen Wicklung die Anzahl möglicher Parallelschaltungen a je Strang?
6. Wie sind die zu 5. möglichen Windungszahlen je Strang, wenn eine Zahnspule $N_c = 11$ Windungen hat?

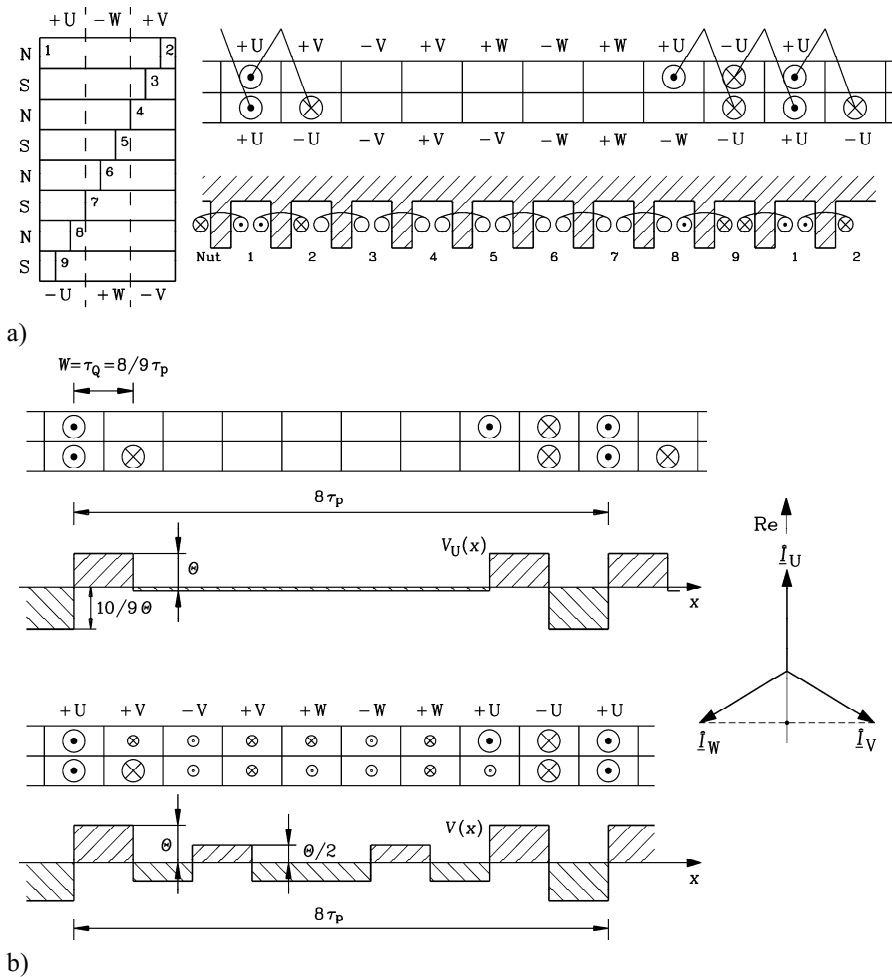


Bild A2.6-1: Drehstrom-Bruchloch-Zweischichtwicklung $q = 3/8$: a) Tingley-Schema mit Nutenplan für Strang U und entsprechender Zahnpulenanordnung, b) Spulenstromverteilung und Felderregerkurve für Strang U und für alle drei Stränge (für $i_U = -2i_V = -2i_W$)

Lösung zu Aufgabe A2.6:

1)

Im Tingley-Schema Bild A2.6-1 wiederholt sich je Strang die Spulenanordnung nach 8 Polen, so dass das Urschema 8 Pole umfasst. Es tritt die Sehnung $8/9$ auf.

2)

Das Modul U umfasst drei benachbarte Spulen +8, -9, +1. Jedes Modul U, V, W umfasst somit drei benachbarte Spulen (V: +2, -3, +4, W: +5, -6, +7).

3)

Die Felderregerkurve $V_U(x)$ zeigt 4 Pole mit deutlich ungleicher Polteilung.

4)

Die Felderregerkurve $V(x)$ zeigt 8 Pole mit tw. ungleicher Polteilung. Die Fourier-Reihenentwicklung von $V(x)$ (Kapitel 3) zeigt, dass neben der Oberwelle mit 8 Polen auch eine ausgeprägte Oberwelle mit 10 Polen in $V(x)$ (Wellenlänge im Verhältnis 8/10 kürzer) enthalten ist, so dass auch eine Kombination mit einem 10-poligen Läuferfeld möglich wäre.

5)

24 Pole umfassen drei Urschemen zu je 8 Polen, welche entweder in Serie ($a = 1$) oder parallel geschaltet werden können: $a = 3$.

6)

$$a = 1: N = 2p \cdot q \cdot N_c / a = 24 \cdot (3/8) \cdot 11/1 = 99 ;$$

$$a = 3: N = 24 \cdot (3/8) \cdot 11/3 = 33$$

Aufgabe A2.7: Drehstrom-Bruchloch-Zweischichtwicklung eines Rohrmühlenantriebs

Ein über einen Umrichter mit der niedrigen Ständerfrequenz $f_s = 5.5$ Hz gespeister hochpoliger Synchronmotor mit $P_N = 6.4$ MW Bemessungsleistung, $\cos\varphi_N = 1$ und 3.2 kV Bemessungsspannung dreht ohne Getriebe direkt eine große Rohrmühle mit der niedrigen Drehzahl 15/min.

1. Wie groß ist der Bemessungsstrom je Strang, wenn der Wirkungsgrad des Motors mit $\eta_N = 1$ idealisiert wird?
2. Wie groß ist die Polzahl des Läufers?
3. Der Stator hat 462 Nuten. Geben Sie eine mögliche Wicklungsauslegung mit Lochzahl q , Sehnung und Tingley-Schema an.
4. Zeichnen Sie die Feldkurve $B_\delta(x)$ für $\mu_{Fe} \rightarrow \infty$ und konstanten Luftspalt δ für die Strommomentanwerte $i_U = 0$, $i_V = -i_W$.

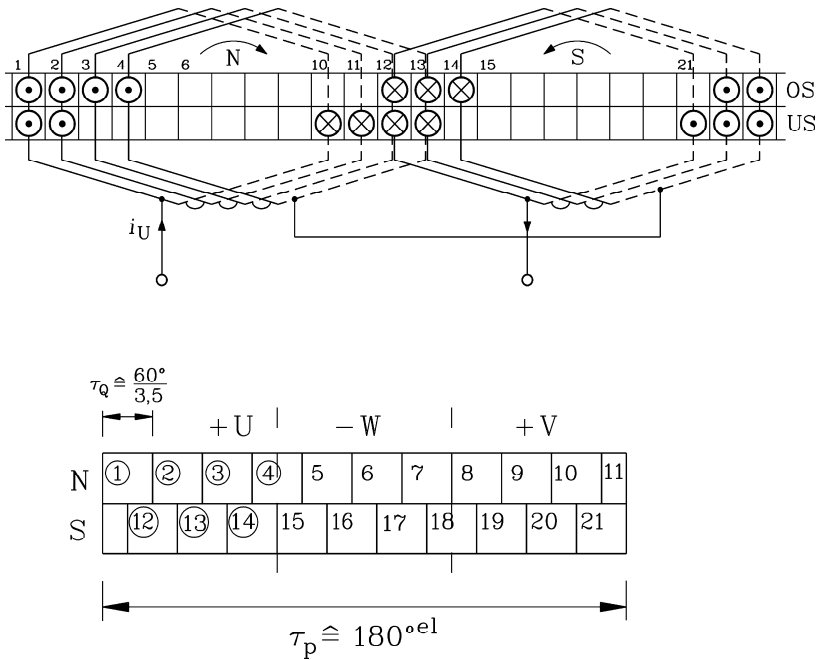


Bild A2.7-1: a) Zonenplan der Zweischicht-Bruchlochwicklung $q = 3.5$ und Wicklungsschema für Strang U, b) Tingley-Schema

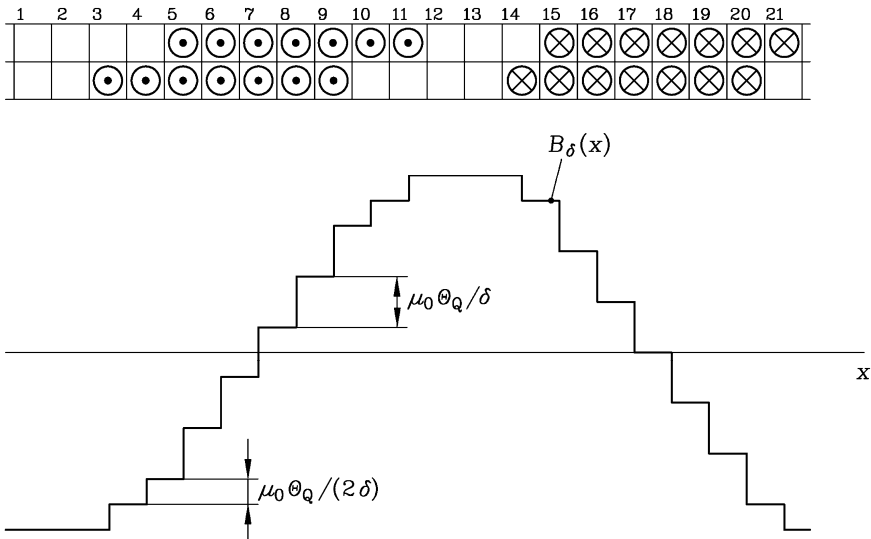


Bild A2.7-2: Luftspaltfeld der Bruchlochwicklung $q = 3.5$ für den Zeitaugenblick $i_U = 0, i_V = -i_W$

Lösung zu Aufgabe A2.7:

1)

$$S_N = P_N / (\eta_N \cdot \cos \varphi_N) = 6400 / (1 \cdot 1) = 6400 \text{ kVA},$$

$$I_N = S_N / (\sqrt{3} \cdot U_N) = 6400 / (\sqrt{3} \cdot 3.2) = 1155 \text{ A}$$

2)

$$2p = 2f_s / n = 2 \cdot 5.5 / (15 / 60) = 44$$

3)

$$\text{Lochzahl } q = \frac{Q}{2p \cdot m} = \frac{462}{44 \cdot 3} = 3.5 = 7/2.$$

Die sieben Spulen +1, +2, +3, +4, -12, -13, -14 sind gemäß dem Tingley-Schema Bild A2.7-1 Strang U zugeordnet. Gewählt wird eine gesehnte Zweischichtwicklung mit einer Sehnung: $W / \tau_p = 9 / 10.5 = 0.86$. Das entspricht einem Spulenschritt von Nut 1, Oberschicht, in Nut 10, Unterschicht.

4)

Für $\mu_{Fe} \rightarrow \infty$ und $\delta = \text{konst.}$:

Feldkurve $B_\delta(x) = \mu_0 \cdot V(x) / \delta$ (Bild A2.7-2).

Die x -Achse von $B_\delta(x)$ ist für ein Polpaar so zu legen, dass die Flächen unter der Feldkurve für N- und S-Pol gleich groß sind! Dank der relativ hohen Lochzahl zwischen 3 und 4 ist die Annäherung der Feldtreppen-Kurve an die gewünschte Sinusform gut, obwohl die Feldkurven von N- und S-Pol unterschiedlich sind.

Elektrische Maschinen und Antriebe
Übungsbuch: Aufgaben mit Lösungsweg
Binder, A.
2017, XX, 498 S. 98 Abb., Softcover
ISBN: 978-3-662-53542-4