

DIE EINFACHE AUSFUEHRUNG DER DREHSTROMANKERWICKLUNGEN

Prof. Dr. Tadashi SEIKE

Die Ausführung der Ankerwicklungen, insbesondere der Drehstrommaschinen, ist schwierig. Selbst dem Fachingenieur, der in der Wicklungskunde beschlagen ist, fällt es schwer, Wicklungsdiagramme zu entwerfen. Obwohl es schon reichhaltige Literatur über Wicklungen gibt, so entbehren diese Abhandlung doch der Einfachheit und damit der allgemeinen Verständlichkeit.

Die durch mich entwickelte Ausführungsmethode ist bedeutend einfacher und trotzdem genau.

Wir können die Drehstromankerwicklungen nach folgenden Arten einteilen.

1. Einschichtwicklung
 - a. Spulenwicklung
 - b. Stabwicklung
2. Zweischichtwicklung
 - a. Schleifenwicklung
 - b. Wellenwicklung

Wenn die Nutenzahl pro Pol und Phase 'q' ganze Zahl ist, können wir die Normalwicklungen ausführen. Aber wenn q keine ganze Zahl ist, dann bezeichnen wir die Wicklung als Bruchlochwicklung. In dieser Abhandlung beschränken wir uns nur die Normalwicklungen.

1. SPULENWICKLUNG

1.1 Einschichtspulenwicklung

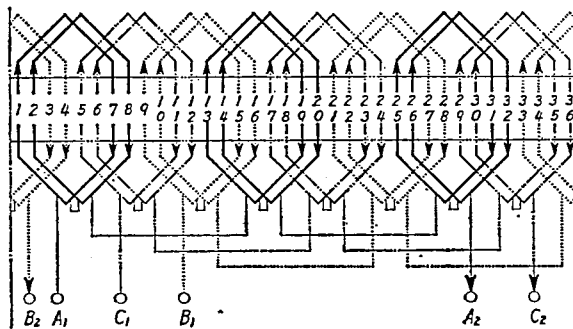
§ 1.1.1 Wicklung mit zweifachen Spulenwicklung

a. Gleichweitspulenwicklung Abb.1a zeigt eine Gleichweitspulenwicklung. Diese Wicklung wird manchmal Dreieckwicklung genannt. Abb.1b zeigt solche Wicklungstabelle.

Nach Abb.1b legen wir die grundlegende Ausführungstabelle an.

1. In die erste senkrechte Kolonne schreiben wir die Phase (A B C).
2. In die zweiten Kolonne schreiben wir die zu jeder Phase gehörigen Nuten 1 bis q ($q=N/2mp$).
3. In die ersten Zeile schreiben wir 1 bis 2p.
4. In die freibleibenden Spalten, die von 2p und 3q ausgefüllt werden, schreiben wir die fortlaufenden Nutenzahl 1 bis N.

Bei der Wicklung mit zweifachen Wicklungsköpfen müssen wir die Verbindungsrichtung bei der Phase B, wie in Abb.1a entgegengesetzt zu der Phase A anordnen.

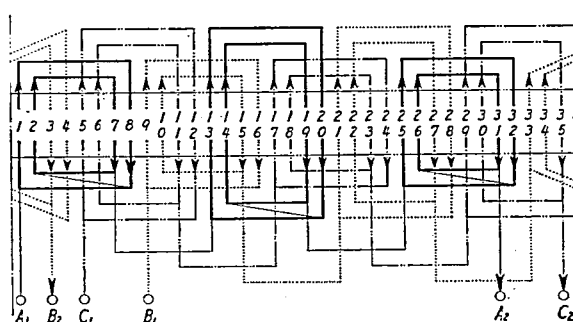
Abb.1a $N=36$ $p=3$ $q=2$

| | I | II | III | IV | V | VI | (I) |
|---|--------------------|--------------------|---------|-------------------|-------------------|----|-----|
| A | $\rightarrow 1-7$ | $13-19$ | $25-31$ | | | | |
| | $2-8$ | $14-20$ | $26-32$ | $\rightarrow A_2$ | | | |
| B | | $\rightarrow 9-15$ | $21-27$ | $33-3$ | | | |
| | $(3) \rightarrow$ | $10-16$ | $22-28$ | $34-4$ | $\rightarrow B_2$ | | |
| C | $\rightarrow 5-11$ | $17-23$ | $29-35$ | | | | |
| | $6-12$ | $18-24$ | $30-36$ | $\rightarrow C_2$ | | | |

Abb.1b

b. Konzentrische Wicklung Bei konzentrischer Wicklung wird immer der äußere Leiter mit dem äußeren, der innere Leiter mit dem inneren verbunden, daher schreiben wir auch die Ziffern, die zum gerade nummerierten Pol (II IV VI....) gehören umgekehrt an (Abb.2b).

Die konzentrische Wicklung mit zweifachen Wicklungsköpfen nennt man Zweietagenwicklung. Die Zweietagenwicklung haben wie Abb.2a und 2b, eine äußere Wicklungskopfgruppe. Wenn die Polpaarzahl p ungerade ist, so müssen

Abb. 2a $N=36$ $q=2$

| | I | II | III | IV | V | VI | (I) |
|---|---|--|---------------------------|---------------------------|---|---|-----|
| A | $A_1 \rightarrow 1-8$ (I) $2-7$ | | $13-20$ (A) $14-19$ | | $25-32$ (I) $26-31 \rightarrow A_2$ | | |
| B | | $B_1 \rightarrow (3) 10-15$ (I) $(4) 9-16$ | | $22-27$ (A) $21-28$ | | $34-3$ (I) $33-4 \rightarrow B_2$ | |
| C | $C_1 \rightarrow 5-12$ (A) $6-11$ | | $17-24$ (I) $18-23$ | | $29-36$ (A) $30-35 \rightarrow C_2$ | | |

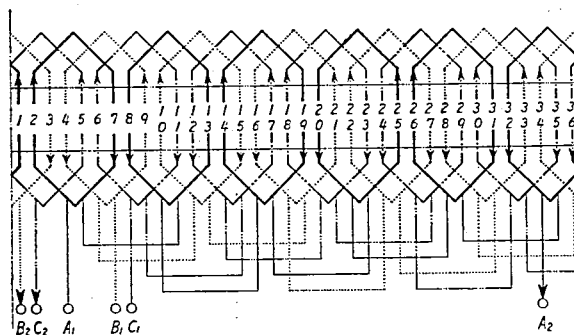
Abb.2b

wir eine Gruppe als sogenannte 'gekröpfte Spulengruppe' ausführen. In diesem Falle liegen die Leiter 34, 33 in innere Etage, 3, 4 in äußere Etage.

§1.1.2 Wicklung mit dreifachen Wicklungsköpfen

In diesem Falle, teilen wir q (die Nutenzahl pro Pol und Phase) in zwei Teile q' und q'' , dann verbinden wir den ersten Teile q' nach links, den anderen Teile q'' nach rechts wie in Abb.3a und 3b. Wenn q ungrade ist, q' und q'' ist natürlich nicht gleich, ebenso ist die Spulenweite nicht gleich. Daher in der Wicklungstabelle, die Zifferstellung von oben müssen sich nach rechts die Nutenzahl q' bewegen lassen.

Abb.3a und 3b zeigen die Gleichweitspulenwicklung.

Abb. 3a $N=36$ $p=3$ $q=2$

| | (IV) | I | II | III | IV | V | VI |
|---|--|---|----|-----|----|---|----|
| A | $\xleftarrow{A_2} 32 \text{---} 1 \xrightarrow{31} 14 \text{---} 8 \text{---} 13 \xrightarrow{13} 26 \text{---} 20 \text{---} 25 \xrightarrow{9} (32)$ | | | | | | |
| | $\xrightarrow{A_1} 2 \text{---} 7 \xrightarrow{13} 6 \text{---} 14 \text{---} 19 \xrightarrow{25} 20 \text{---} 26 \text{---} 31 \xrightarrow{1}$ | | | | | | |
| B | $\xrightarrow{26} 34 \text{---} 3 \xrightarrow{4} 10 \text{---} 15 \xrightarrow{21} 16 \text{---} 22 \text{---} 27 \xrightarrow{33} (34)$ | | | | | | |
| | $\xrightarrow{10} 4 \text{---} 9 \xleftarrow{22} 16 \text{---} 21 \xrightarrow{15} 34 \text{---} 28 \text{---} 33 \xrightarrow{27}$ | | | | | | |
| C | $\xleftarrow{C_2} 36 \text{---} 5 \xrightarrow{35} 18 \text{---} 12 \text{---} 17 \xrightarrow{11} 30 \text{---} 24 \text{---} 29 \xrightarrow{23} (36)$ | | | | | | |
| | $\xrightarrow{C_1} 6 \text{---} 11 \xrightarrow{17} 12 \text{---} 18 \text{---} 23 \xrightarrow{29} 24 \text{---} 30 \text{---} 35 \xrightarrow{5}$ | | | | | | |

Abb.3b

Abb.4a und 4b zeigt eine konzentrische Wicklung mit dreifachen Wicklungsköpfen, daß zu jeder Etage eigene Phase gehört. Man bezeichnet die innere Etage als Phase A, die mittlere als Phase B und die äußere als Phase C.

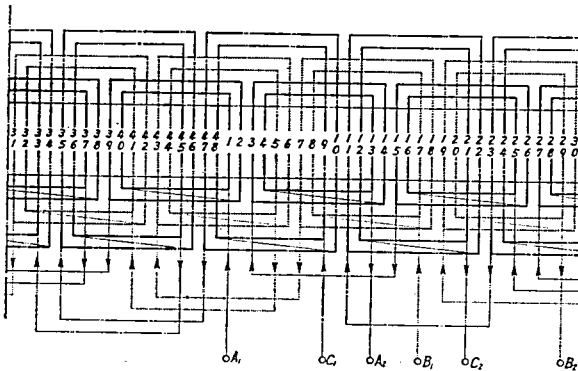


Abb.4a N=48 p=2 q=4

| | (IV) | I | II | III | IV |
|---|---|---|----|-----|----|
| A | $40 \text{---} 1 \xleftarrow{A_1} 16 \text{---} 25 \xrightarrow{37} (40)$ | | | | |
| | $\xrightarrow{27} 39 \text{---} 2 \xrightarrow{3} 15 \text{---} 26 \text{---} (39)$ | | | | |
| | $\xrightarrow{15} 3 \text{---} 14 \xrightarrow{39} 27 \text{---} 38$ | | | | |
| | $4 \text{---} 13 \xrightarrow{A_2} 28 \text{---} 37 \xrightarrow{25}$ | | | | |
| B | $44 \text{---} 5 \xrightarrow{41} 20 \text{---} 29 \xrightarrow{B_2} (44)$ | | | | |
| | $\xrightarrow{7} 43 \text{---} 6 \xrightarrow{31} 19 \text{---} 30 \text{---} (43)$ | | | | |
| | $\xrightarrow{43} 7 \text{---} 18 \xrightarrow{19} 31 \text{---} 42$ | | | | |
| | $8 \text{---} 17 \xleftarrow{B_1} 32 \text{---} 41 \xrightarrow{5}$ | | | | |
| C | $48 \text{---} 9 \xleftarrow{C_2} 24 \text{---} 33 \xrightarrow{45} (48)$ | | | | |
| | $\xrightarrow{35} 47 \text{---} 10 \xrightarrow{11} 23 \text{---} 34 \text{---} (47)$ | | | | |
| | $\xrightarrow{23} 11 \text{---} 22 \xrightarrow{47} 35 \text{---} 46$ | | | | |
| | $12 \text{---} 21 \xrightarrow{C_1} 36 \text{---} 45 \xrightarrow{33}$ | | | | |

Abb.56 (Vol. Abb.1b)

§ 1.1.3 Wicklung mit gedrängten Wicklungsköpfen

Alle Leiter, die zu einer Phase gehören, haben dieselbe Verbindungsrichtung wie in Abb.5a und b. In der Abb.5a bemerken wir, daß die Spulen in der Phase B um einen Pol verschoben sind gegenüber Abb.1a und genau so angeordnet wie in der Phase A.

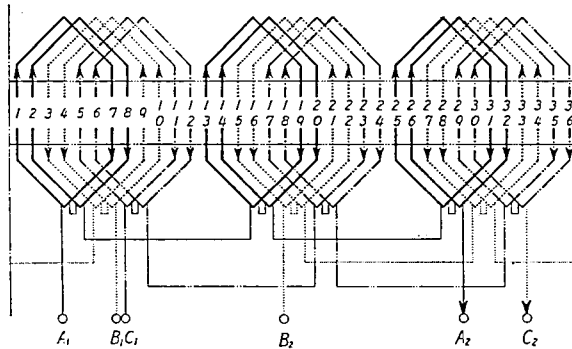


Abb.5a (vgl. Abb. 1a)

| | | | |
|---|--|--|--|
| A | (I) | (A) | (I) |
| B | ³³ 3—10 (M) 4—9 B ₁ | B ₂ 15—22 (M) 16—21 21 | ²¹ 27—34 (M) 28—33 3 |
| C | (A) | (I) | (A) |

Abb-5b (vgl. Abb.1b)

Abb.6a und 6b zeigen die konzentrische Wicklung mit gedrängten Wicklungsköpfen. Es gibt bei der solchen Wicklung zwei Arten der Spulen anordnung:

1. Innen-Mitten-Außen-Innen-Mitten-Außen-....
2. Innen-Mitten-Außen-Außen-Mitten-Innen-....

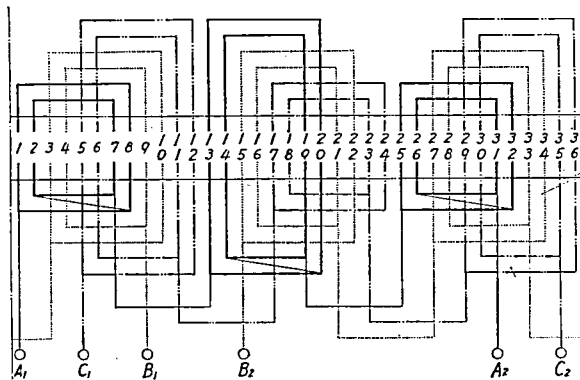


Abb.6a (vgl. Abb. 2a)

§ 1.1.4 Wicklung mit gemischten Wicklungsköpfen

Diese Wicklung wird teils im Sinne der Dreietagenwicklung und teils der Zweietagenwicklung ausgeführt, teils gleichmäßig verteilt, teils gedrängt.

Diese Wicklung besteht nur als konzentrische Wicklung. Man bestimmt zuerst die teilbare Phase und führt diese Phase nach der Dreietagenwicklungsmethode durch und die anderen zwei Phasen nach der Zweietagenwicklungsmethode. Abb.7a und 7b zeigen dieses Beispiel.

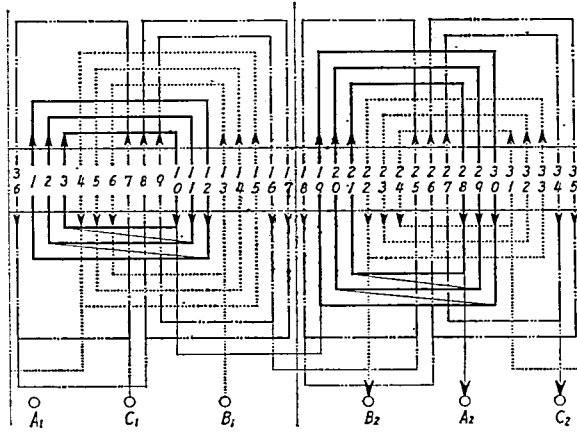


Abb.7a $N=36$ $P=2$ $q=3$

| | (IV) | I | II | III | IV |
|---|------|-----------------|-----------|------|----------------------|
| A | | A_1 (I) | | (M) | |
| | | $\rightarrow 1$ | 12 | 19 | 30 |
| | | 2 | 11 | 20 | 29 |
| B | | 3 | 10 | 21 | $28 \rightarrow A_2$ |
| | | | | | |
| | | | | | |
| C | | | B_2 (I) | | |
| | | 31 | 4 | 15 | $22 \leftarrow$ |
| | | 5 | 14 | 23 | 32 |
| C | | 6 | 13 | 24 | $31 \leftarrow B_1$ |
| | | | | | |
| | | | | | |
| C | | 8 | 36 | 7 | 26 |
| | | | | 18 | 25 |
| | | | | | 16 (36) |
| C | | 8 | 17 | 26 | 35 |
| | | 9 | 16 | 27 | $34 \rightarrow C_2$ |
| | | | | | |

Abb.7b

1.2 Zweischichtspulenwicklung

Die Ausführungsmethode ist derjenigen der Einschichtwicklung sehr ähnlich. Ein Unterschied besteht nur darin, daß diese Wicklung obere und untere Leiter hat. Daher muß man zunächst den Spulenabstand ($y=N/2p$) bestimmen.

Zuerst schreiben wir dieselbe Ausführungstabelle wie bei der Einschichtwicklung; wir bekommen dadurch die Oberleiter. Unter die so erhaltene Ziffernreihe schreiben wir sodann eine neue Ziffernreihe, welche um die Größe der Spulenweiten verschieden ist. Abb. 8a und 8b zeigen dieses Beispiel

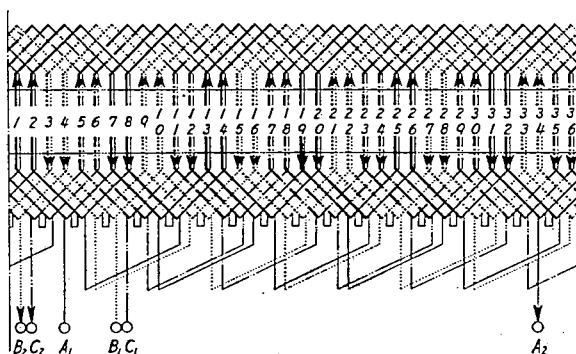


Abb. 8a $N=36$ $p=3$ $q=2$

| | I | II | III | IV | V | VI | (I) |
|---|----------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------------|
| A | A ₁ | | | | | | A ₂ |
| | (1) → 1—7 | 13 7—13 | 7 13—19 | 25 19—25 | 19 25—31 | ← 31—1 | |
| B | (2) 2—8 | 14 8—14 | 8 14—20 | 26 20—26 | 26 32—2 | 32—2 | |
| | (3) 3—9 | 3 9—15 | 21 15—21 | 15 21—27 | 33 27—33 | 27 33—3 | |
| C | (4) 4—10 | 10—16 | 16—22 | 22—28 | 28—34 | 34—4 | B ₂ |
| | (5) 5—11 | 11 11—17 | 11 17—23 | 23 23—29 | 23 29—35 | ← 35—5 | |
| C | (6) 6—12 | 12—18 | 18—24 | 24—30 | 30—36 | 36—6 | |
| | C ₁ | | | | | | C ₂ |

Abb.8b

2. STABWICKLUNG

2.1 Einschichtstabwicklung

Die Einschichtstabwicklung hat große Aehnlichkeit mit der Einschichtspulenwicklung. Bei der Ausführung können wir zuerst die Grundtabelle in ganz ähnlicher Weise wie Abb.1b schreiben.

§ 2.1.1 Wicklung mit zweifachen Wicklungsköpfen

Wenn wir die Wicklung mit zweifachen Wicklungsköpfen ausführen, verbinden wir die erste waagerechte zeile von links nach rechts und verbinden das letzte Glied dieser Zeile mit dem Anfang der zweiten zeile, die wir ebenfalls von links nach rechts verbinden, weil diese Wicklung immer gleichlaufende Richtung hat.

Die Nuten, die zu der Phase B gehören, haben entgegengesetzten Sinn wie die in der Phase A oder C, und zu diesem Zweck ordnen wir den ersten Leiter der Phase B entweder vor einem Pol der Phase A oder nach demselben an, oder die Ausführungsrichtung ändert sich entgegengesetzt. Sodann können wir die Leiter genauso wie in der Phase A anordnen.

Abb.9a zeigt dieses Beispiel, eine Wicklung mit Gabelverbindungen, Der Unterschied zwischen Abb.9aI und II erklären wir in die zweischichtstabwicklung.

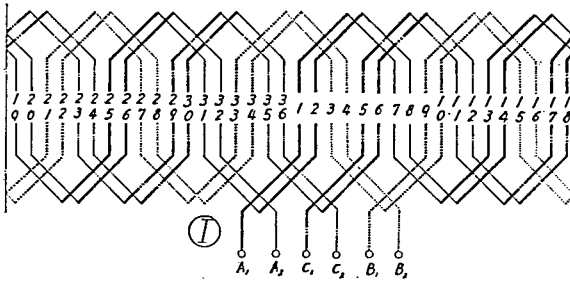


Abb.9aI N=36 p=3 q=2

| | I | II | III | IV | V | VI |
|---|---|----|-----|----|---|----|
| A | A ₁ → 1 — 8 — 13 — 20 — 25 — 32 → | | | | | |
| | ← 32 2 — 7 — 14 — 19 — 26 — 31 → A ₂ | | | | | |
| B | (3) → 10 — 15 — 22 — 27 — 34 → 3 → B ₂ | | | | | |
| | (4) → 9 — 16 — 21 — 28 — 33 — 4 → 10 B ₁ | | | | | |
| C | C ₁ → 5 — 12 — 17 — 24 — 29 — 36 → 6 | | | | | |
| | ← 36 6 — 11 — 18 — 23 — 30 — 35 → C ₂ | | | | | |

Abb.9bI

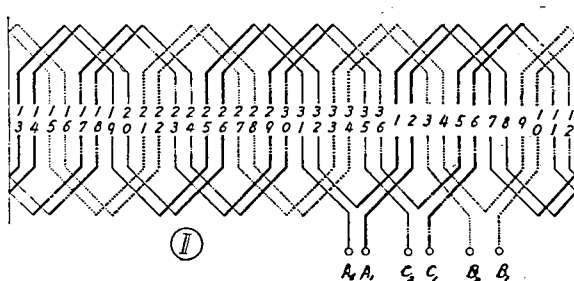


Abb.9aII N=36 p=3 q=2

| | I | II | III | IV | V | VI | (I) |
|---|---|----|-----|----|---|----|-----|
| C | C ₁ → 6—12—18—24—30—36 ₅ (y' ₁ =5) | | | | | | |
| | 36 ₅ 5—11—17—23—29—35→ C ₂ | | | | | | |
| B | B ₁ (3)→ 9—15—21—27—33—3 ₁₀ (y' ₁ =7) | | | | | | |
| | (4) ³ 10—16—22—28—34—4→ B ₂ | | | | | | |
| A | A ₁ → 2—8—14—20—26—32 ₇ (y' ₁ =5) | | | | | | |
| | 32 ₇ 1—7—13—19—25—31→ A ₂ | | | | | | |

Abb.9bII

Abb.10 zeigt die Wicklung mit Bügelverbindungen.

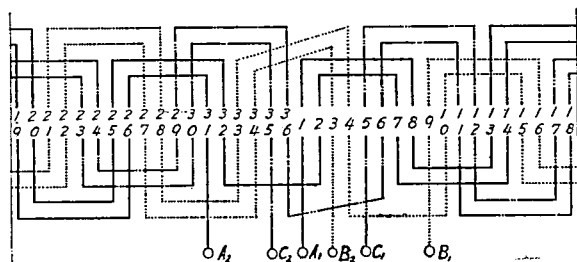


Abb.10a N=36 p=3 q=2

| | I | II | III | IV | V | VI |
|---|---|----|-----|----|---|----|
| A | A_1 $\rightarrow 1-8-13-20-25-32 \xrightarrow{2}$ | | | | | |
| | $\xrightarrow{32} 2-7-14-19-26-31 \rightarrow A_2$ | | | | | |
| B | $(3) \xrightarrow{4} 10-15-22-27-34-3 \rightarrow B_2$ | | | | | |
| | B_1 $(4) \rightarrow 9-16-21-28-33-4 \xrightarrow{10}$ | | | | | |
| C | C_1 $\rightarrow 5-12-17-24-29-36 \xrightarrow{6}$ | | | | | |
| | $\xrightarrow{36} 6-11-18-23-30-35 \rightarrow C_2$ | | | | | |

Abb.10b

§ 2.1.2 Wicklung mit dreifachen Wicklungsköpfen

Die Wicklung mit dreifachen Wicklungsköpfen hat in dieselben Phase zwei entgegengesetzte Umlaufsrichtungen, nämlich nach links und nach rechts. Deshalb müssen wir in der Abb.11 jeder Phasengruppe zwei entgegengesetzte Richtungen geben. Der Sinn des letzten Leiters in der ersten Gruppe und des ersten Leiters in der zweiten Gruppe ist nicht gleich, daher muß der erste Leiter in der zweiten Gruppe um einen Pol vor oder nach angeordnet sein.

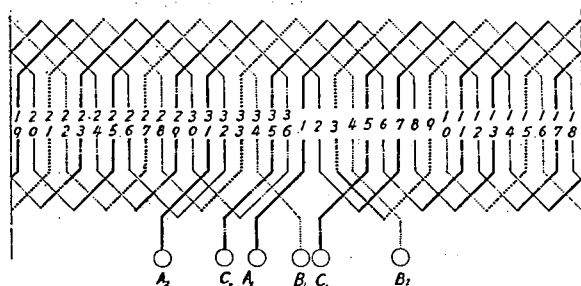


Abb.11a $N=36$ $p=3$ $q=2$ ($y_1=5$ $y_2=7$ $y_1=y_1+1=6$)

| | (VII) | I | II | III | IV | V | VI | (I) |
|---|---|---|----|-----|----|---|----|-----|
| A | A_1 $\rightarrow 1-8-13-20-25-32$ | | | | | | | |
| | $\leftarrow 31-2-7-14-19-26$ (31) A_2 | | | | | | | |
| B | B_1 $\leftarrow 3-10-15-22-27-34$ | | | | | | | |
| | $(4) \rightarrow 9-16-21-28-33-4$ B_2 | | | | | | | |
| C | C_1 $\rightarrow 5-12-17-24-29-36$ | | | | | | | |
| | $\leftarrow 35-6-11-18-23-30$ (35) C_2 | | | | | | | |

Abb.11b

2.2 Zweischichtstabwicklung

Diese Wicklung wird manchmal auch Wellenwicklung genannt. Die Wellenwicklung wird meistens als Läuferwicklung gebraucht. Es gibt in dieser Wicklung drei Sorten Schritte, und zwar

1. den Vorwärtsschritte $y_1 \doteq y/2$
2. den Rückwärtsschritte $y_2 \doteq y/2$
3. letzten Schritte

$y'_1 = y_1 - 1$ für ungekreuzte Wicklung
 $y'_1 = y_1 + 1$ für gekreuzte Wicklung

Die Umlaufsrichtung der Wicklung ordnen wir folgendemaaßen an:

1. Gekreuzte Wicklung

| | | | |
|-------|--------|--------|-------|
| A_1 | A_1' | A_2' | A_2 |
| B_1 | B_1' | B_2' | B_2 |
| C_1 | C_1' | C_2' | C_2 |
2. Ungekreuzte Wicklung

| | | | |
|-------|--------|--------|-------|
| A_1 | A_1' | A_2' | A_2 |
| C_1 | C_1' | C_2' | C_2 |
| B_1 | B_1' | B_2' | B_2 |

Bei der ungekreuzten Wicklung kommen wir nach einem Umlauf um einen Leiter vor dem Ausgangspunkt. Daher ist die Numerierung in der Ausführungstabelle umgekehrt, z.B. 2 1....36 35,,, wie die Abb.12b.

Wir schreiben die Wicklungstabelle nach Abb.12b I.

1. Wir bestimmen den ersten Leiter als Oberleiter, hierauf kommt der Unterleiter, der von dem zweiten Leiter um den Vorwärtsschritt y_2 entfernt ist. Bei der ungekreuzten Wicklung fangen wir mit dem ersten Leiter Nr.q an.

2. Als Anfang der zweiten Kolonnen kommt der Nachbarleiter, der vom letzten Leiter der ersten Kolonnen um den letzten Schritt y_1' entfernt ist. Auf diese Weise folgt die weitere Ausführung.

3. Wenn wir zuerst eine ungekreuzte Wicklung ausführen möchten, so nennen wir nach der Phase A die zweite Gruppe Phase C_2 . Aber der erste Leiter der zu der zweiten Gruppe gehört, ist nicht Anfang, sondern das Ehde.

Die beliebige Stellungen der Leiter anfang oder ende in Ordnung bringen möchten, wie Abb.12bII, können wir nach links oder nach rechts, je ein paar Pol bewegen.

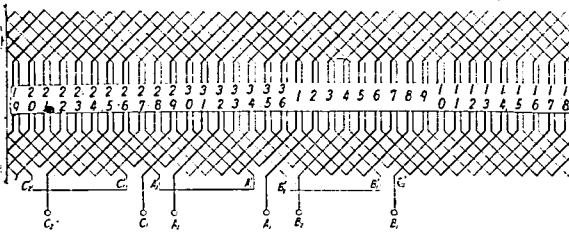


Abb.12a $N=36$ $p=3$ $q=2$ ($y_1=6=y_2$ $y_1=y_1-1=5$)

| | I | II | III | IV | V |
|-------|-------------------------------------|----------------------------|-----|----|---|
| A_1 | A_1 2 — 8 — 14 — 20 — 26 — 32 | 1 — 7 — 13 — 19 — 25 — 31 | | | |
| C_2 | C_2 36 — 6 — 12 — 18 — 24 — 30 | 35 — 5 — 11 — 17 — 23 — 29 | | | |
| B_1 | B_1 34 — 4 — 10 — 16 — 22 — 28 | 33 — 3 — 9 — 15 — 21 — 27 | | | |
| A_2 | A_2 32 — 2 — 8 — 14 — 20 — 26 | 31 — 1 — 7 — 13 — 19 — 25 | | | |
| C_1 | C_1 30 — 36 — 6 — 12 — 18 — 24 | 29 — 35 — 5 — 11 — 17 — 23 | | | |
| B_2 | B_2 28 — 34 — 4 — 10 — 16 — 22 | 27 — 33 — 3 — 9 — 15 — 21 | | | |

Abb.12a

| | (III) | (IV) | I | II | III | IV | (I) | (II) |
|----------------|-------|---|--|----|--|----|-----|------|
| A ₁ | | | A ₁ → 2-8-14-20-26-32 ₁ (y' ₁ = 5) 32 1-7-13-19-25-31 → A' ₁ | | | | | |
| C ₂ | | | | | C ₂ ← 24-30-36-6-12-18 ₂₃ (y' ₁ = 5) 18 23-29-35-5-11-17 ← C' ₂ | | | |
| B ₁ | | B ₁ → 10-16-22-28-34-4 ₅ (y' ₁ = 5) 4 9-15-21-27-33-3 → B' ₁ | | | | | | |
| A ₂ | | | A ₂ ← 32-2-8-14-20-26 ₃₁ (y' ₁ = 5) 26 31-1-7-13-19-25 ← A' ₂ | | | | | |
| C ₁ | | | C ₁ → 30-36-6-12-18-24 ₂₉ (y' ₁ = 5) 24 29-35-5-11-17-23 → C' ₁ | | | | | |
| B ₂ | | | B ₂ ← 4-10-16-22-28-34 ₃ (y' ₁ = 5) 34 3-9-15-21-27-33 ← B' ₂ | | | | | |

Abb.12bII