

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 34 (1943)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Mehrfachparallelwicklungen für Drehfeld-Kommutatormaschinen  
**Autor:** Schrage, Hidde K.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057711>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.01.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

zen Erdleitung und einem möglichst kleinen Erdungswiderstand einzubauen.

Niederspannungsableiter wurden zum Schutz von Niederspannungsverteilnetzen und Hausinstallationen an den durch atmosphärische Ueberspannungen am meisten gefährdeten Orten eingebaut. Sie wurden hinter den Niederspannungsklemmen der Transformatoren, an wichtigen Verteilpunkten oder dann unmittelbar auf der letzten Stange vor einem Gebäude angeschlossen. Dabei war das Erstellen einer einwandfreien Erdung oft schwierig und kostspielig.

Trotzdem die Ableitvermögen der anfänglich eingebauten Ableiter und besonders der 45-kV-Ableiter verhältnismässig klein sind, wurden mit den Ableitern die besten Erfahrungen gemacht. Es trat in den durch Ableiter geschützten Anlagen eine einzige Störung wegen Ueberspannung auf. Kein einziger Ableiter war je gestört oder verursachte Störungen in den Verteilanlagen.

Die Resultate der Ansprechkontrolle sind in Tabelle II zusammengestellt. Die Anzahl Ansprechungen ändert sich sehr stark, je nach Standort des Ableitersatzes und den atmosphärischen Verhältnissen. So rühren z. B. die Ansprechungen der 45-kV-Ableiter im Jahre 1941 praktisch von einem einzigen Gewitter her.

Der Einbau eines Ansprechzählers, der nur die Anzahl Ansprechungen des Ableiters registriert, ist nicht genügend, da er nichts über die Natur der Ansprechung aussagt. Es scheint wahrscheinlich, dass die Ansprechungen nicht nur durch atmosphärische, sondern auch durch Schalt- und Erdschluss-Ueberspannungen bedingt sind. Es wäre sehr wünschenswert, einen einfachen Ansprechzähler mit ungefährender Messung der Grösse und Dauer eines Stoßstromes einbauen zu können.

Elektrische Anlagen können einzig durch den Einbau von Ueberspannungsableitern von einigen 1000 A Ableitvermögen nicht vollständig gegen die Folgen von atmosphärischen Ueberspannungen geschützt werden. Ein hundertprozentiger Schutz ist bestimmt wünschenswert; es fragt sich aber, ob es wirtschaftlich ist, die elektrischen Anlagen mit Ueberspannungsableitern und einem ihnen übergeordneten Schutz gegen die letzten Prozente von Störungsmöglichkeiten zu schützen, oder ob der Einbau von Ueberspannungsableitern allein verantwortet werden kann. Nur die Erfahrung über eine längere Zeitdauer wird diese Frage beantworten können.

## Mehrfachparallelwicklungen für Drehfeld-Kommutatormaschinen

Von Hidde K. Schrage, Baden

621.813.362

*Es werden neuartige Mehrfachparallelwicklungen für Drehfeldkommutatormaschinen beschrieben, bei welchen die parallelen Zweige durch eine Hilfswicklung mit stark verkürztem Schritt derart miteinander gekuppelt sind, dass ein kurzer Stromweg zwischen benachbarten Lamellen durch eine Windung der Hilfswicklung gebildet wird. Aus einer Reihe Tabellen ist ersichtlich, welche Nutenschritte von Haupt- und Hilfswicklung in Betracht kommen, wobei speziell die Verwendung dieser Wicklungen für läufergespeiste Drehstrom-Nebenschluss-Kommutatormotoren berücksichtigt ist. An Hand einer Anzahl Ausführungsbeispiele werden dann die Merkmale festgelegt, die für die Ausführbarkeit solcher Wicklungen entscheidend sind.*

*L'auteur décrit dans cet article de nouveaux enroulements en parallèle, multiples, pour des machines à collecteur à champ tournant. Dans ceux-ci, les brins en parallèle sont reliés ensemble par un enroulement auxiliaire à pas très réduit de façon telle que l'on obtient un court chemin de passage du courant entre lames voisines par une spire de l'enroulement auxiliaire. Une série de tableaux donne pas d'encoches entrant en considération pour l'enroulement principal et l'enroulement auxiliaire en tenant particulièrement compte de l'utilisation de ces enroulements pour les moteurs triphasés à collecteur à caractéristique shunt à rotor alimenté. A l'aide d'un certain nombre d'exemples d'exécution, l'auteur fixe les caractéristiques déterminantes pour l'exécution de ces enroulements.*

In diesem Aufsatz soll nur von «Drehfeld»-Kommutatormaschinen die Rede sein, dagegen sollen Wechselstrom-Kommutatormaschinen, die kein eigentliches Drehfeld besitzen, wie z. B. Scherbiusmaschinen, ausser Betracht gelassen werden. Die Kommutatorwicklungen solcher Drehfeld-Kommutatormaschinen werden vorzugsweise als Einfachparallelwicklung ( $a = p$ ) mit einer einzigen Windung zwischen benachbarten Lamellen ausgeführt; der magnetische Kraftfluss pro Pol ist dann durch die in dieser Windung induzierte sogenannte Transformatorspannung, die mit Rücksicht auf die Kommutierung einen gewissen Wert nicht überschreiten soll, nach oben begrenzt. Damit ist dann auch die Leistung pro Pol nach oben begrenzt.

Bei Verwendung einer zweifachen Parallelwicklung ( $a = 2p$ ) würde man, unter Beibehaltung der zulässigen Lamellenspannung, theoretisch einen zweimal so grossen Kraftfluss pro Pol wie bei der Einfachparallelwicklung zulassen und damit eine

entsprechende Vergrösserung der Leistung pro Pol erreichen können. Ganz allgemein würde man bei einer Mehrfachparallelwicklung mit  $a = np$  einen  $n$ -mal grösseren Kraftfluss pro Pol als bei der Einfachparallelwicklung zulassen können.

Leider hat man bei Kommutatormaschinen mit solchen Mehrfachparallelwicklungen (meistens waren es Wicklungen mit  $a = 2p$ ) bisher keine guten Erfahrungen gemacht. Dass eine Zweifachparallelwicklung in bezug auf Kommutierung sehr ungünstig sein muss, wenn z. B. die Bürstenbreite nicht mehr als eine Lamellenteilung beträgt, ist leicht verständlich, denn dann wird der Strom abwechselungsweise in den einen und den andern der parallelen Zweige völlig unterbrochen, was Bürstenfeuer zur Folge hat. Versuche haben gezeigt, dass solche Wicklungen in bezug auf Kommutierung auch dann noch ungünstig sind, wenn, wie es bei solchen Kommutatormaschinen durchweg der Fall

ist, die Bürstenbreite etwa  $1\frac{1}{2}$ ...2 Lamellenteilungen beträgt.

Eine wesentliche Verbesserung der Kommutierungsverhältnisse einer solchen Zweifachparallelwicklung lässt sich erreichen, wenn zusätzlich die nichtkommutatorseitigen Spulenköpfe über innerhalb der Rotorbohrung verlegte Leiter mit den Kommutatorlamellen verbunden werden. Beide Teilwicklungen sind dann über sämtliche Kommutatorlamellen direkt miteinander verbunden und bilden so eine einzige zusammenhängende Wicklung; die vorher erwähnten Kommutierungsschwierigkeiten der Zweifachparallelwicklung lassen sich in dieser Weise vermeiden. Leider stösst die Ausführung der vielen innerhalb der Rotorbohrung verlegten Verbindungsleiter praktisch auf so grosse Schwierigkeiten, dass eine solche Lösung kaum in Betracht kommt.

Weiter besteht noch die Möglichkeit, eine Zweifachparallelwicklung derart auszuführen, dass ihre beiden Teilwicklungen durch die normalen Ausgleichverbinder miteinander verbunden werden; diese Ausgleichverbinder können dabei entweder ausschliesslich auf der Kommutatorseite oder ausschliesslich auf der Nichtkommutatorseite verlegt werden, so dass keine Verbindungen durch den Rotor erforderlich sind. Wählt man nämlich die Verhältnisse so, dass die Lamellenzahl pro Polpaar eine ungerade Zahl ist, dann gehören zwei genau um  $360^\circ$  el. gegeneinander verschobene Lamellen nicht zu der gleichen Teilwicklung, so dass jeder Ausgleichverbinder, der am Kommutator eine doppelte Polteilung überspannt, eine Verbindung der beiden Teilwicklungen darstellt. Leider hat es sich gezeigt, dass diese Art Verbindungen nicht die erwartete Verbesserung in der Kommutierung bringt; der Grund hiefür ist nicht schwierig zu finden.

Betrachten wir zunächst in Fig. 1 eine gewöhnliche Einfachparallelwicklung mit einer Windung zwischen benachbarten Lamellen und stellen wir

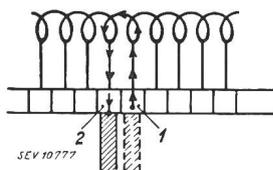


Fig. 1.  
Einfachparallelwicklung

uns vor, dass die schmale Bürste plötzlich von Lamelle 1 nach Lamelle 2 verschoben wird. Der Strom, der zuerst direkt von Lamelle 1 zur Bürste fliesst, muss dann plötzlich den Umweg über die zwischen Lamelle 1 und 2 liegende Windung machen, um zur Bürste zu gelangen; nur in dieser Windung muss der Strom sich um den Betrag des Bürstenstromes ändern, die andern Windungen bleiben dabei unberührt.

Betrachten wir jetzt in Fig. 2 eine Zweifachparallelwicklung mit beispielsweise 11 Lamellen (= ungerade Zahl) pro Polpaar, so dass die beiden Teilwicklungen über die Ausgleichverbinder miteinander verbunden sind. Wird jetzt die Bürste plötzlich von Lamelle 1 nach Lamelle 2 verschoben, dann muss der Strom, der zuerst direkt von La-

melle 1 zur Bürste fliesst, auf einmal die durch die Pfeile angegebenen grossen Umwege machen, um zur Bürste zu gelangen. Dass dabei die Neigung zur Funkenbildung viel grösser ist als im Falle der

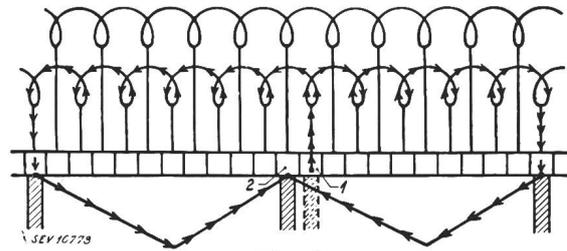


Fig. 2.  
Zweifachparallelwicklung  
mit ungerader Lamellenzahl pro Polpaar

Fig. 1, ist leicht verständlich. Versuche haben bestätigt, dass die Verwendung solcher Ausgleichverbinder bei Zweifachparallelwicklungen mit einer ungeraden Lamellenzahl pro Polpaar keine wesentliche Verbesserung der Kommutierung bewirkt, und zwar auch dann nicht, wenn die Bürstenbreite  $1$ ... $2$  Lamellen beträgt.

Nach einem Vorschlag des Verfassers<sup>1)</sup> werden die beiden Teilwicklungen einer Zweifachparallelwicklung durch eine Hilfswicklung derart miteinander gekuppelt, dass ein kurzer Stromweg zwischen benachbarten Lamellen durch eine Windung der Hilfswicklung gebildet wird. Fig. 3 gibt ein

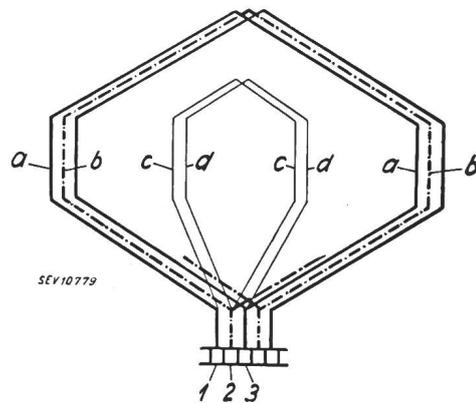


Fig. 3.  
Zweifachparallelwicklung  
mit Hilfswicklung nach DRP 660431

schematisches Bild einer Zweifachparallelwicklung nach diesem Vorschlag. Von den beiden Teilwicklungen der Zweifachparallelwicklung ist in dieser Figur die eine in stark ausgezogenen, die andere in strichpunktiierten Linien dargestellt. Die Windung *a* der einen Teilwicklung ist an die Lamellen 1 und 3 angeschlossen; die zwischenliegende Lamelle 2 gehört zu der anderen Teilwicklung. Angeschlossen an die gleichen Lamellen, also parallel zu der Zweifachparallelwicklung liegt die als Einfachparallelwicklung ausgebildete Hilfswicklung mit stark verkürztem Wickelschritt. Wenn die Hauptwicklung mit einem unverkürzten Windungsschritt, die Hilfswicklung dagegen mit einem Windungsschritt

1) DRP 660431.

gleich  $\frac{1}{3}$  Polteilung ausgeführt wird, dann ist bei sinusförmigem Drehfeld die Windungsspannung der Hilfswicklung genau die Hälfte der Windungsspannung der Hauptwicklung, so dass in den beiden Hilfswindungen  $c$  und  $d$  zusammen genau die gleiche Spannung induziert wird wie in der dazu parallel liegenden Windung  $a$  der Hauptwicklung. Die Windungen  $c$  und  $d$  der Hilfswicklung bilden gewissermassen einen Spannungsteiler, der eine richtige Halbierung der Spannung der Windung  $a$  der Hauptwicklung bewirkt. Durch die Hilfswicklung werden die beiden Teilwicklungen der Zweifachparallelwicklung fest miteinander verbunden, so dass sie gewissermassen eine gemeinsame Wicklung bilden; die ungünstigen Eigenschaften der Zweifachparallelwicklungen in bezug auf Kommutierung werden auf diese Weise vollkommen vermieden.

Bei der Zweifachparallelwicklung mit Hilfswicklung nach Fig. 3 ist es nicht unbedingt nötig, die Hauptwicklung mit unverkürztem Schritt auszuführen. Beispielsweise lässt sich bei 33 Nuten pro Polpaar die Hauptwicklung mit einem Windungsschritt =  $12/16\frac{1}{2}$  Polteilung (Schrittfaktor = 0,91) und die Hilfswicklung mit einem Windungsschritt =  $5/16\frac{1}{2}$  Polteilung (Schrittfaktor = 0,458) ausführen; die Windungsspannung der Hilfswicklung ist auch dann praktisch genau gleich der halben Windungsspannung der Hauptwicklung.

Derartige Hilfswicklungen als Verbindungsglied der parallelen Zweige lassen sich nicht nur bei einer Zweifachparallelwicklung ( $a = 2p$ ), sondern auch bei Dreifach-, Vierfach- oder ganz allgemein bei  $n$ -fach-Parallelwicklungen ( $a = np$ ) anordnen. Bei einer Mehrfachparallelwicklung mit  $a = np$  muss die Windungsspannung der Hilfswicklung  $\frac{1}{n}$  der Windungsspannung der Hauptwicklung betragen; theoretisch muss sie, wie wir sehen werden, ganz wenig grösser sein; praktisch sind natürlich geringe Abweichungen von dem theoretischen Wert zulässig.

Weiter unten soll eine Anzahl Ausführungsbeispiele solcher Mehrfachparallelwicklungen mit Hilfswicklung gezeigt werden. An Hand dieser Ausführungsbeispiele werden wir dann die Merkmale festlegen, die für die Ausführbarkeit solcher Wicklungen entscheidend sind; dabei wird sich zeigen, dass nicht nur die Grösse  $n = \frac{a}{p}$ , sondern

auch die Lamellenzahl pro Nut, die wir mit  $k$  bezeichnen, von grundlegender Bedeutung ist. Möglichst soll man  $n$  und  $k$  so wählen, das sie keinen gemeinsamen Teiler haben, da andernfalls, wie sich zeigen wird, die Ausführbarkeit solcher Wicklungen sehr beschränkt ist.

Bevor wir zu den Ausführungsbeispielen übergehen, geben wir zuerst eine Reihe Tabellen, die jeweils für eine bestimmte Nutenzahl pro Pol die verschiedenen Nutenschritten entsprechenden Schrittfaktoren enthalten. Aus diesen Tabellen ist

ersichtlich, welche Nutenschritte von Haupt- und Hilfswicklung bei einem gewissen  $n = \frac{a}{p}$  in Betracht kommen können. Da wir in erster Linie die Verwendung dieser Wicklungen für läufergespeiste Drehstrom-Nebenschlussmotoren im Auge haben, enthalten diese Tabellen nur die Fälle, bei denen die Nutenzahl pro Polpaar ein Vielfaches von drei ist. Immerhin lassen sich solche Wicklungen auch für ständergespeiste Kommutatormotoren verwenden, bei denen die genannte Beschränkung für die Nutenzahl pro Polpaar wegfällt.

In den Tabellen I...IX sind für  $\frac{a}{p}$  gleich 2, 3 und 4, die Windungsschritte, deren Schrittfaktoren wenigstens angenähert das Verhältnis  $\frac{a}{p}$  aufweisen, durch die Zeichen ● bzw. ○ markiert, wobei das Zeichen ● andeutet, dass genau das theoretisch richtige Verhältnis der Windungsschritte vorhanden ist. Weiter oben wurde schon darauf hingewiesen, dass man möglichst  $n$  und  $k$  so wählen soll, dass sie keinen gemeinsamen Teiler besitzen, da sonst die Ausführbarkeit solcher Wicklungen sehr beschränkt ist. Wir wollen dies an Hand eines Beispiels erläutern. In Fig. 4 ist eine Dreifachparallelwicklung ( $n = \frac{a}{p} = 3$ ) mit  $k = 3$  dargestellt. Trotz der Ausführung als Treppenwicklung haben von den drei Teilwicklungen zwei ( $A$  und  $B$ ) den gleichen Nutenschritt; diese beiden Teilwicklungen verlaufen überall parallel zu einander in den gleichen Nuten, so dass ihre Spannungsverteilung sich so einstellt, als ob sie gegeneinander gar nicht isoliert wären. Es ist leicht einzusehen, dass eine richtige Abstufung der Lamellenspannungen in dieser

Windungsschritt in Nutteilungen	Schrittwinkel in elektr. Grad	Schrittfaktor	$\frac{a}{p}$ und $k$ teilerfremd			$\frac{a}{p}$ und $k$ gemeinsamer Teiler	
			$\frac{a}{p} = 2$	$\frac{a}{p} = 3$	$\frac{a}{p} = 4$	$\frac{a}{p} = 2$	$\frac{a}{p} = 4$
<b>9 Nuten pro Pol</b> <span style="float: right;">Tabelle I.</span>							
9	180°	1,0					
8	160°	0,985	●	●			
7	140°	0,94					
6	120°	0,866					
5	100°	0,766					
4	80°	0,643					
3	60°	0,5	●			●	
2	40°	0,342		●			
<b>10½ Nuten pro Pol</b> <span style="float: right;">Tabelle II</span>							
10	171,4°	0,997					
9	154,3°	0,975					
8	137,15°	0,931					
7	120°	0,866					
6	102,85°	0,782					
5	85,7°	0,680					
4	68,57°	0,563					
3	51,43°	0,434				●	
2	34,27°	0,295					

Windungs- schritt in Nuteilungen	Schrittwinkel in elektr. Grad	Schrittfaktor	$\frac{a}{p}$ und $k$ teilerfremd			$\frac{a}{p}$ und $k$ gemein- samer Teiler	
			$\frac{a}{p} = 2$	$\frac{a}{p} = 3$	$\frac{a}{p} = 4$	$\frac{a}{p} = 2$	$\frac{a}{p} = 4$
<b>12 Nuten pro Pol</b> Tabelle III.							
12	180°	1,0					
11	165°	0,991	●		●		
10	150°	0,966					
9	135°	0,924					
8	120°	0,866					
7	105°	0,793					
6	90°	0,707					
5	75°	0,609					
4	60°	0,5	●			●	
3	45°	0,383					
2	30°	0,259			●		
<b>13½ Nuten pro Pol</b> Tabelle IV.							
13	173,3°	0,998					
12	160°	0,985		○			
11	146,7°	0,958					
10	133,3°	0,918					
9	120°	0,866					
8	106,7°	0,802					
7	93,3°	0,727					
6	80°	0,643					
5	66,7°	0,55					
4	53,3°	0,449					
3	40°	0,342		○			
2	26,7°	0,231					
<b>15 Nuten pro Pol</b> Tabelle V.							
15	180°	1,0					
14	168°	0,995	●				
13	156°	0,978					
12	144°	0,951					
11	132°	0,914			●		
10	120°	0,866					
9	108°	0,809			●		
8	96°	0,743					
7	84°	0,669					
6	72°	0,588					
5	60°	0,5					●
4	48°	0,407					
3	36°	0,309			●		
2	24°	0,208				●	
<b>16½ Nuten pro Pol</b> Tabelle VI.							
16	174,55°	0,999					
15	163,64°	0,989					
14	152,73°	0,972					
13	141,82°	0,945					
12	130,91°	0,91	●				
11	120°	0,866		○			
10	109,09°	0,814					
9	98,18°	0,755	○			○	
8	87,27°	0,69					
7	76,36°	0,618					
6	65,45°	0,54					
5	54,55°	0,458	●				
4	43,65°	0,372	○				
3	32,73°	0,281		○			
2	21,82°	0,189			○		

Windungs- schritt in Nuteilungen	Schrittwinkel in elektr. Grad	Schrittfaktor	$\frac{a}{p}$ und $k$ teilerfremd			$\frac{a}{p}$ und $k$ gemein- samer Teiler	
			$\frac{a}{p} = 2$	$\frac{a}{p} = 3$	$\frac{a}{p} = 4$	$\frac{a}{p} = 2$	$\frac{a}{p} = 4$
<b>18 Nuten pro Pol</b> Tabelle VII.							
18	180°	1,0					
17	170°	0,996	●	○			
16	160°	0,985					
15	150°	0,966					
14	140°	0,94					
13	130°	0,906					
12	120°	0,866	○				
11	110°	0,819					
10	100°	0,766					
9	90°	0,707					
8	80°	0,643					
7	70°	0,574					
6	60°	0,5	●				
5	50°	0,423	○				
4	40°	0,342		○			
3	30°	0,259					
2	20°	0,174					○
<b>19½ Nuten pro Pol</b> Tabelle VIII.							
19	175,5°	0,999					
18	166,25°	0,993					
17	157°	0,98					
16	147,75°	0,96					
15	138,5°	0,935		○		○	
14	129,25°	0,903					
13	120°	0,866					
12	110,75°	0,823					
11	101,5°	0,775					
10	92,25°	0,721					
9	83°	0,663					
8	73,75°	0,601					
7	64,5°	0,534					
6	55,25°	0,465		○			
5	46°	0,392					
4	36,8°	0,317			○		
3	27,7°	0,239				○	
2	18,5°	0,16					
<b>21 Nuten pro Pol</b> Tabelle IX.							
21	180°	1,0					
20	171,43°	0,997	●				
19	162,86°	0,989					
18	154,29°	0,975					
17	145,71°	0,955					
16	137,14°	0,931					
15	128,57°	0,901					
14	120°	0,866				○	○
13	111,43°	0,826					
12	102,86°	0,782					
11	94,29°	0,733					
10	85,71°	0,68					
9	77,14°	0,623					
8	68,57°	0,563					
7	60°	0,5	●				●
6	51,43°	0,434					
5	42,86°	0,365					
4	34,29°	0,295				○	
3	25,71°	0,222					○
2	17,14°	0,149					

Weise nicht erreicht wird. Zweifachparallelwicklungen ( $\frac{a}{p} = 2$ ) mit  $k = 2, 4, 6 \dots$  usw. sind dagegen brauchbar bei Ausführung als Treppenwicklung. Auf andere Ausführungsmöglichkeiten kommen wir

später noch zurück. Viel wichtiger sind jedoch die Mehrfachparallelwicklungen, bei denen  $n = \frac{a}{p}$  und  $k$  keinen gemeinsamen Teiler aufweisen; diese wollen wir jetzt zuerst behandeln.

Als erstes Beispiel nehmen wir eine Zweifachparallelwicklung ( $n = \frac{a}{p} = 2$ ) mit 3 Lamellen pro Nut ( $k = 3$ ). Fig. 5 zeigt die relative Lage der beiden Teilwicklungen in den aufeinanderfolgenden Nuten; die nichtschraffierten Stäbe gehören zu der

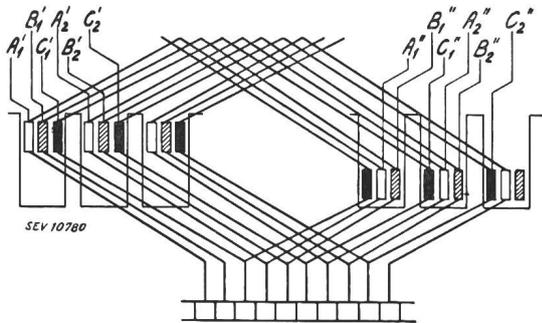


Fig. 4.  
Dreifachparallelwicklung  
mit 3 Lamellen pro Nut  
 $n = \frac{a}{p} = 3 \quad k = 3$

einen, die schraffierten Stäbe zu der andern Teilwicklung. Fig. 5a zeigt das entsprechende Spannungsvektordiagramm, wobei  $A_1, A_2, A_3 \dots$  die aufeinanderfolgenden Windungsspannungen der nichtschraffierten Teilwicklung,  $B_1, B_2, B_3 \dots$  die Windungsspannungen der schraffierten Teilwicklung darstellen; die aufeinanderfolgenden Eckpunkte beider Spannungsvielecke stellen in derselben Reihenfolge die aufeinanderfolgenden Lamellenspannungen dar. Da nach Fig. 3 die Windungsspannung der Hilfswicklung jeweils gleich der Spannung zwischen benachbarten Lamellen sein muss, so müssen in Fig. 5a  $H_1, H_2, H_3 \dots$  die aufeinander-

Reihenfolge der Zusammenschaltung der Hilfswindungen gegeben. Beispielsweise müssen die beiden Hilfswindungen  $H_1$  und  $H_2$ , die parallel zu der Hauptwicklung  $B_1$  liegen, gegeneinander um eine ganze Nutteilung phasenverschoben und gegen  $B_1$  um eine halbe Nutteilung vor- bzw. rückverschoben sein. Das zweite ist überhaupt nur möglich, wenn

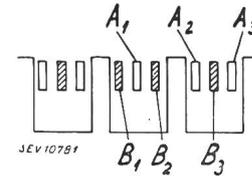


Fig. 5.  
Zweifachparallelwicklung  
mit 3 Lamellen pro Nut  
 $n = \frac{a}{p} = 2 \quad k = 3$

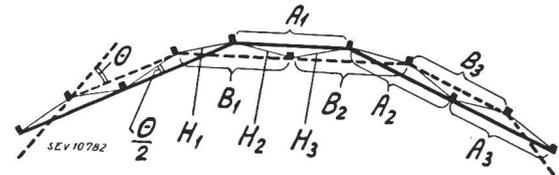


Fig. 5a.  
Spannungsvektordiagramm  
der Wicklung nach Fig. 5

ben sein. Das zweite ist überhaupt nur möglich, wenn

$$y_H - y_h = \text{ungerade Nutenzahl}$$

wo

$$y_H = \text{Nutenschritt der Hauptwicklung}$$

$$y_h = \text{Nutenschritt der Hilfswicklung.}$$

Ein Ausführungsbeispiel für  $n = \frac{a}{p} = 2$  und  $k = 3$  zeigt Fig. 6, und zwar für folgende Verhältnisse:

$$\text{Nutenzahl pro Pol} = 12$$

$$y_H = 11 \text{ (Schrittfaktor} = 0,991)$$

$$y_h = 4 \text{ (Schrittfaktor} = 0,5).$$

Wegen der vorher erwähnten Bedingung, dass  $y_H - y_h$  eine ungerade Nutenzahl sein muss, ist  $y_H = 12$  nicht brauchbar, sondern es ist  $y_H = 11$  zu nehmen.

Nach Fig. 5a muss das Verhältnis der Schrittfaktoren von Haupt- und Hilfswicklung  $2 \cos \frac{\theta}{2}$  betragen, wo  $\theta$  die einer Nutteilung entsprechende Pha-

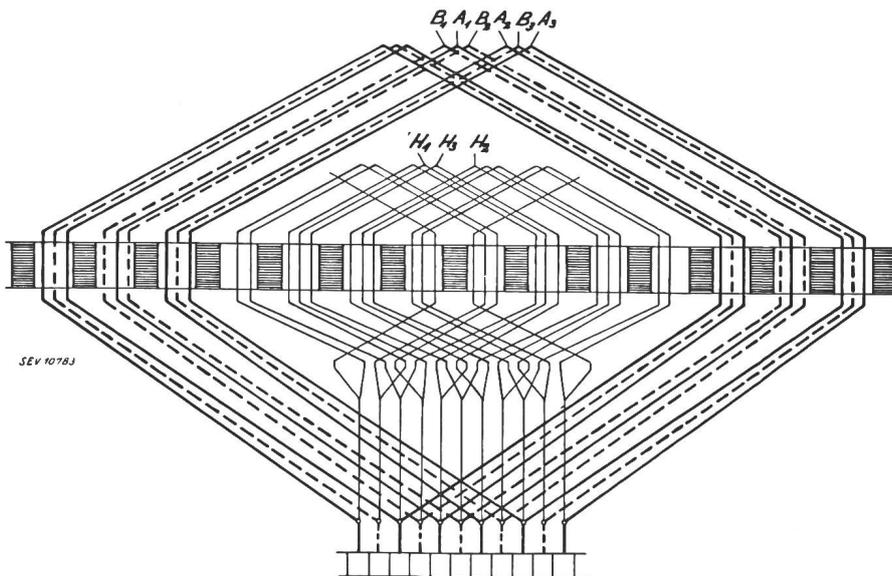


Fig. 6.  
Zweifachparallelwicklung  
mit Hilfswicklung  
mit 3 Lamellen pro Nut  
Nutenzahl pro Pol = 12  
 $y_H = 11 \quad y_h = 4$

folgenden Windungsspannungen der Hilfswicklung darstellen. Es müssen also die Windungsschritte von Haupt- und Hilfswicklung so gewählt werden, dass die entsprechenden Schrittfaktoren sich verhalten wie die Vektoren  $A$  und  $H$  der Fig. 5a, d. h. praktisch wie 2 : 1. Durch die Fig. 5a ist auch die

senverschiebung bedeutet. Bei der Wicklung nach Fig. 6 ergibt sich genau das theoretisch gewünschte Verhältnis der Schrittfaktoren.

Sieht man in Fig. 5a von einer der jeweiligen Nutenzahl entsprechenden genauen Uebereinstimmung des Nutenwinkels ab, dann kann man sagen,

dass diese Figur das grundsätzliche Vektordiagramm einer Wicklung nach DRP 660431 für den Fall  $n = \frac{a}{p} = 2$  und  $k = 3$  darstellt. Bei 15 Nuten pro Pol kommen  $y_H = 14$  und  $y_h = 5$  in Betracht, bei 18 Nuten pro Pol  $y_H = 17$  und  $y_h = 6$ . Beträgt die Schrittverkürzung der Hauptwicklung nicht mehr als eine Nutteilung, so dass der Schrittfaktor praktisch gleich eins ist, dann muss die Nutenzahl pro Pol ein Vielfaches von drei sein, damit eine Hilfswicklung mit einem Schrittfaktor = 0,5 angeordnet werden kann.

Es ist jedoch auch möglich, Hauptwicklungen mit wesentlich verkürztem Schritt und entsprechend kleinerem Schrittfaktor auszuführen, nur muss dann die Nutenzahl pro Pol derart gewählt wer-

läuterung. In bezug auf Nutenzahl pro Pol und zugehörige Windungsschritte gibt es hier genau die gleichen Möglichkeiten wie für  $n = \frac{a}{p} = 2$  und  $k = 3$ . Ein Ausführungsbeispiel für  $n = \frac{a}{p} = 2$  und

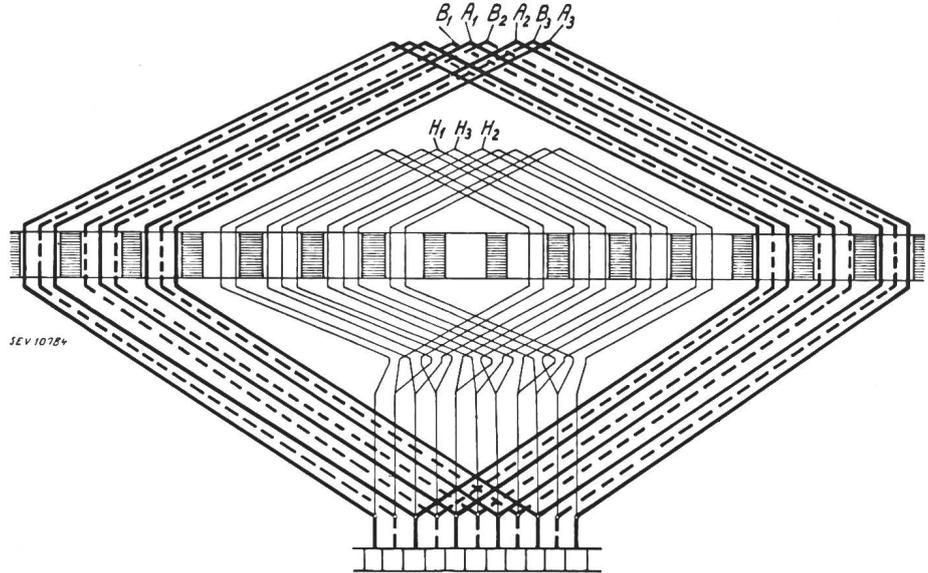


Fig. 7.  
Zweifachparallelwicklung  
mit Hilfswicklung  
mit 3 Lamellen pro Nut  
Nutenzahl pro Pol = 16½  
 $y_H = 12$   $y_h = 5$

den, dass die Schrittfaktoren von Haupt- und Hilfswicklung sich praktisch gesprochen verhalten wie  $2 \cos \frac{\theta}{2} : 1$ . Ein Ausführungsbeispiel für diesen Fall zeigt Fig. 7, und zwar für folgende Verhältnisse:

$$n = \frac{a}{p} = 2 \quad k = 3$$

$$\text{Nutenzahl pro Pol} = 16\frac{1}{2}$$

$$y_H = 12 \text{ (Schrittfaktor} = 0,91)$$

$$y_h = 5 \text{ (Schrittfaktor} = 0,458)$$

Die Bedingungen:

Verhältnis Schrittfaktoren von Haupt- und Hilfswicklung =  $2 \cos \frac{\theta}{2}$  und

$y_H - y_h =$  ungerade Nutenzahl

sind hier beide erfüllt.

Als weitere Ausführungsmöglichkeiten nennen wir:

$$n = \frac{a}{p} = 2 \quad k = 3$$

$$\text{Nutenzahl pro Pol} = 15$$

$$y_H = 9 \text{ (Schrittfaktor} = 0,809)$$

$$y_h = 4 \text{ (Schrittfaktor} = 0,407)$$

Auch hier werden die Bedingungen bezüglich Schrittfaktoren und  $y_H - y_h$  erfüllt.

Nach dem Vorgesagten brauchen Fig. 8 und 8a für  $n = \frac{a}{p} = 2$  und  $k = 5$  kaum eine nähere Er-

k = 5 zeigt Fig. 9, und zwar für folgende Verhältnisse:

$$\text{Nutenzahl pro Pol} = 16\frac{1}{2}$$

$$y_H = 12 \text{ (Schrittfaktor} = 0,91)$$

$$y_h = 5 \text{ (Schrittfaktor} = 0,458)$$

Die Bedingungen bezüglich Schrittfaktoren und  $y_H - y_h$  sind wieder erfüllt.

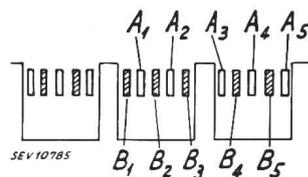


Fig. 8.  
Zweifachparallelwicklung  
mit 5 Lamellen pro Nut  
 $n = \frac{a}{p} = 2 \quad k = 5$

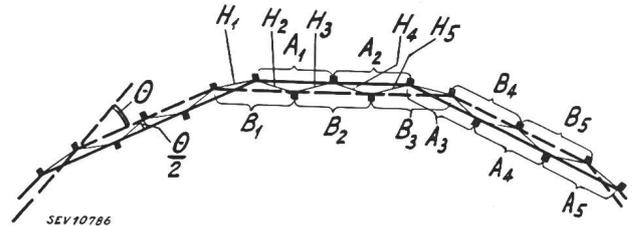


Fig. 8a.  
Spannungsvektordiagramm  
der Wicklung nach Fig. 8

Betrachten wir jetzt eine Dreifachparallelwicklung ( $n = \frac{a}{p} = 3$ ), wo wieder  $k$  so zu wählen ist, dass  $n$  und  $k$  keinen gemeinsamen Teiler haben, beispielsweise sei  $k = 2$ . Die relative Lage der drei Teilwicklungen in den aufeinanderfolgenden Nuten zeigt Fig. 10; diese Teilwicklungen sind mit  $A_1, A_2 \dots$  bzw.  $B_1, B_2 \dots$  bzw.  $C_1, C_2 \dots$  bezeichnet. Bei

Ausführung der Wicklung als Nichttreppenwicklung ist auch die relative Lage der Windungen durch Fig 10 gegeben; das entsprechende Spannungsvektordiagramm zeigt dann Fig. 10a, wobei z. B.  $A_1$  als Windungsspannung aufzufassen ist. Die

sein muss; z. B.  $H_1$  gleichachsig mit  $A_1$ ; dies bedingt:

$$y_H - y_h = \text{gerade Nutenzahl.}$$

Ein Ausführungsbeispiel für  $n = \frac{a}{p} = 3$  und  $k = 2$

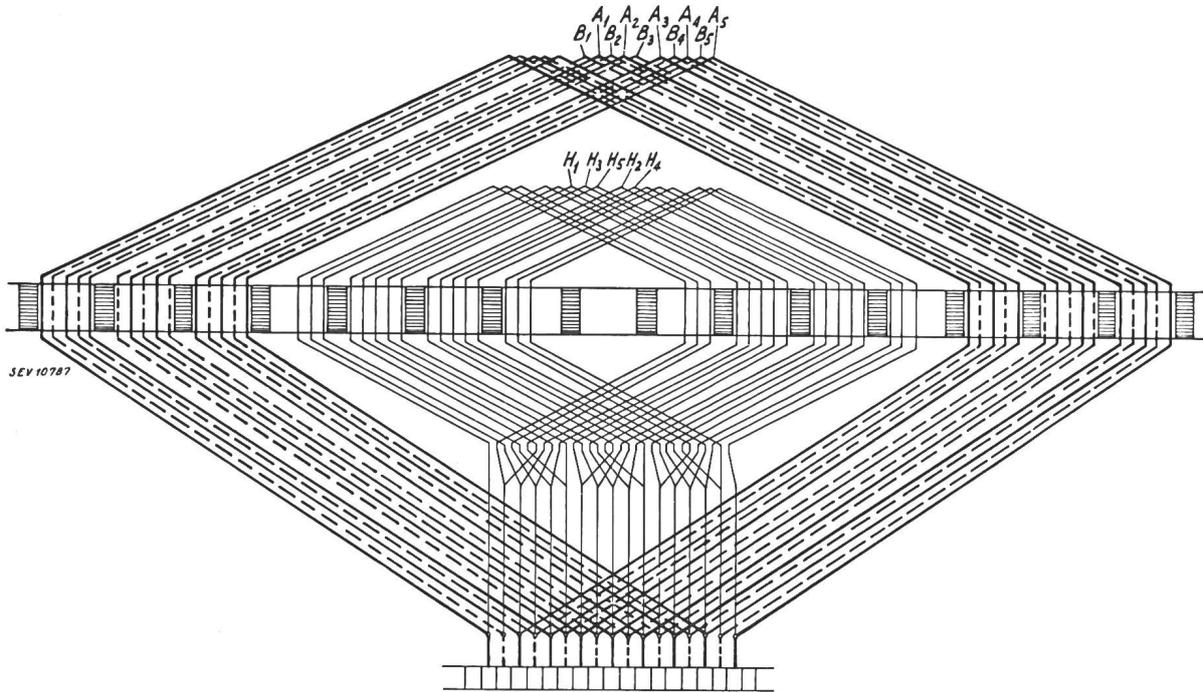


Fig. 9.

Zweifachparallelwicklung mit Hilfswicklung  
mit 5 Lamellen pro Nut. Nutenzahl pro Pol =  $16\frac{1}{2}$   $y_H = 12$   $y_h = 5$

aufeinanderfolgenden Eckpunkte der drei gegeneinander verschobenen Spannungsvielecke stellen wieder die aufeinanderfolgenden Lamellenspannungen dar; die Vektoren  $H_1 H_2 H_3 \dots$  müssen demnach die aufeinanderfolgenden Windungsspannungen der Hilfswicklung darstellen. Die Win-

zeigt Fig. 11, und zwar für folgende Verhältnisse:

Nutenzahl pro Pol = 15

$$y_H = 11 \text{ (Schrittfaktor} = 0,914)$$

$$y_h = 3 \text{ (Schrittfaktor} = 0,309)$$

Nach Fig. 10a muss das Verhältnis der Schrittfaktoren von Haupt- und Hilfswicklung  $1 + 2 \cos \Theta$  betragen. Diese Bedingung, sowie die Bedingung  $y_H - y_h = \text{gerade Nutenzahl}$ , sind beide erfüllt.

Nach obigen Ausführungen brauchen Fig. 12 und

12a für  $n = \frac{a}{p} = 3$  und  $k = 4$  kaum eine nähere Erläuterung; ebenso wenig Fig. 13 und 13a für  $n = \frac{a}{p} = 3$  und  $k = 5$ . Aehnlich wie für  $n = \frac{a}{p} = 3$  und  $k = 2$  muss auch in diesen Fällen das Verhältnis der Schrittfaktoren von Haupt- und Hilfswicklung  $1 + 2 \cos \Theta$  betragen; auch muss  $y_H - y_h$  wieder eine gerade Nutenzahl sein.

Auch für die Wicklungen mit  $n = \frac{a}{p} = 3$  beste-

hen, unabhängig von der Grösse von  $k$ , die gleichen Möglichkeiten in bezug auf Nutenzahl pro Pol und Windungsschritte, vorausgesetzt dass  $n$  und  $k$  keinen gemeinsamen Teiler haben.

Wir betrachten jetzt noch die Vierfachparallelwicklungen ( $n = \frac{a}{p} = 4$ ) und nehmen beispiels-

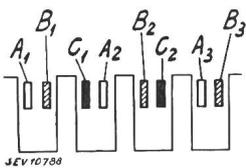


Fig. 10.

Dreifachparallelwicklung  
mit 2 Lamellen pro Nut  
 $n = \frac{a}{p} = 3$   $k = 2$

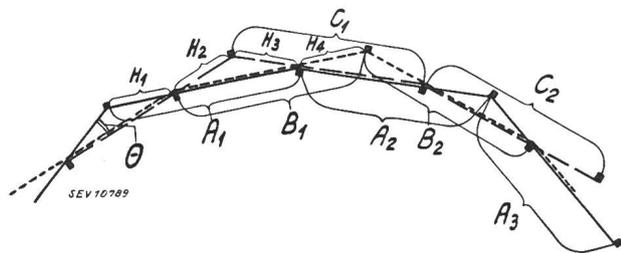


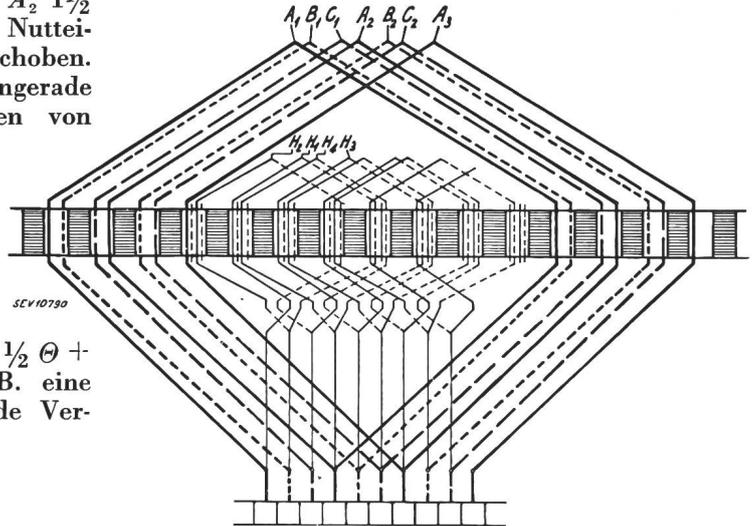
Fig. 10a.  
Spannungsvektordiagramm  
der Wicklung nach Fig. 10

ungsspannung der Hilfswicklung muss angenähert ein Drittel der Windungsspannung der Hauptwicklung betragen. Schliesslich zeigt Fig. 10a, dass jede Hilfswicklung gleichachsig mit einer Hauptwicklung

weise  $k = 3$ , so dass wieder  $n$  und  $k$  keinen gemeinsamen Teiler haben. Die relative Lage der vier Teilwicklungen in den aufeinanderfolgenden Nuten zeigt Fig. 14, das Spannungsvektordiagramm zeigt Fig. 14a. Von den 4 Hilfswindungen  $H_2, H_3, H_4$  und  $H_5$ , die parallel zu der Hauptwindung  $A_2$  liegen, ist  $H_2$  gegen  $A_2$   $\frac{1}{2}$  Nutteilung,  $H_3$  gegen  $A_2$   $1\frac{1}{2}$  Nutteilung vorverschoben,  $H_4$  gegen  $A_2$   $1\frac{1}{2}$  Nutteilung,  $H_5$  gegen  $A_2$   $\frac{1}{2}$  Nutteilung rückverschoben. Es gilt wieder die Bedingung  $y_H - y_h = \text{ungerade Zahl}$ . Das Verhältnis der Schrittfaktoren von

dass eine solche Wicklung mit  $n = 3$  und  $k = 3$  nicht ausführbar ist, dagegen werden wir zeigen, dass solche Wicklungen ausführbar sind, wenn entweder  $\frac{a}{p} = 2$  oder  $k = 2$  ist. Diese Wicklungen müssen als Treppenwicklung ausgeführt werden.

Fig. 11.  
Dreifachparallelwicklung mit Hilfswicklung  
mit 2 Lamellen pro Nut  
Nutenzahl pro Pol = 15  
 $y_H = 11$      $y_h = 3$



Haupt- und Hilfswicklung muss  $2(\cos \frac{1}{2} \Theta + \cos \frac{3}{2} \Theta)$  betragen. Ausführbar wäre z. B. eine solche Vierfachparallelwicklung für folgende Verhältnisse:

Nutenzahl pro Pol = 15  
 $y_H = 9$  (Schrittfaktor = 0,809)  
 $y_h = 2$  (Schrittfaktor = 0,208)

Dabei könnte z. B.  $k = 3, 5$  oder  $7$  gewählt werden.

Betrachten wir zuerst eine Zweifachparallelwicklung ( $n = \frac{a}{p} = 2$ ) mit zwei Lamellen pro Nut ( $k = 2$ ). Fig. 15 zeigt einige Windungen einer solchen Wicklung. Der Windingsschritt der nicht-

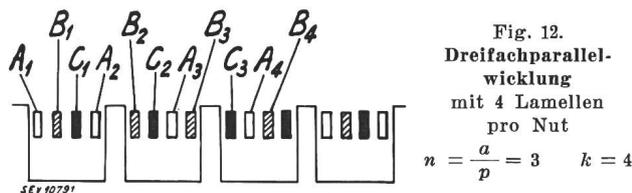


Fig. 12.  
Dreifachparallelwicklung  
mit 4 Lamellen pro Nut  
 $n = \frac{a}{p} = 3$      $k = 4$

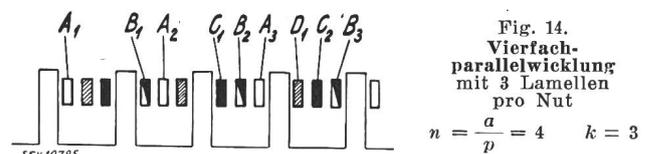


Fig. 14.  
Vierfachparallelwicklung  
mit 3 Lamellen pro Nut  
 $n = \frac{a}{p} = 4$      $k = 3$

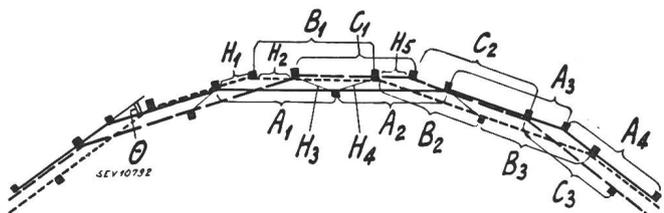


Fig. 12a.  
Spannungsvektordiagramm  
der Wicklung nach Fig. 12

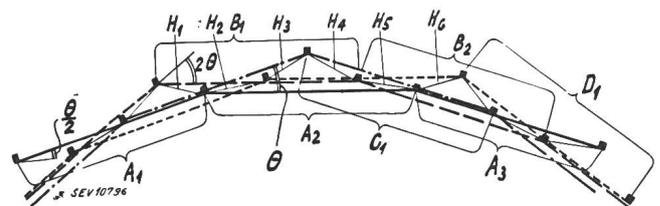


Fig. 14a.  
Spannungsvektordiagramm  
der Wicklung nach Fig. 14

Es bleiben jetzt noch die Wicklungen zu behandeln, bei welchen  $n$  und  $k$  einen gemeinsamen Teiler besitzen. Wir haben vorher schon gesehen,

schraffierten Teilwicklung (deren Windung  $A_1$  aus den beiden Stäben  $A_1'$  und  $A_1''$  besteht) ist hier genau gleich der Polteilung  $\tau$ ; der Windingsschritt der schraffierten Teilwicklung ist um eine Nutteilung von  $\tau$  verschieden. Das Spannungsvektordiagramm zeigt Fig. 15a. Trotz der Ungleichheit der Windingsschritte überdecken sich die Spannungsvielecke der beiden Teilwicklungen genau; dabei stellen die Eckpunkte die Lamellenspannungen der Teilwicklungen  $A$ , die Seitenmitten diejenigen der Teilwicklung  $B$  dar. Die Windingsspannung der Hilfswicklung muss hier gleich der Stabspannung der Hauptwicklung sein, was nur möglich ist, wenn der Windingsschritt der Hilfswicklung gleich  $\frac{1}{3} \tau$  ist; die Nutenzahl pro Pol muss also ein Vielfaches von drei sein.

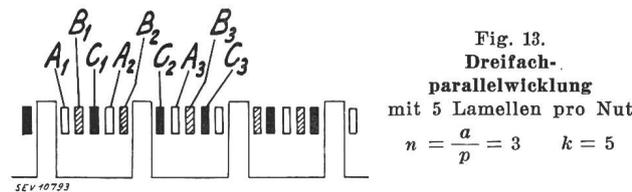


Fig. 13.  
Dreifachparallelwicklung  
mit 5 Lamellen pro Nut  
 $n = \frac{a}{p} = 3$      $k = 5$

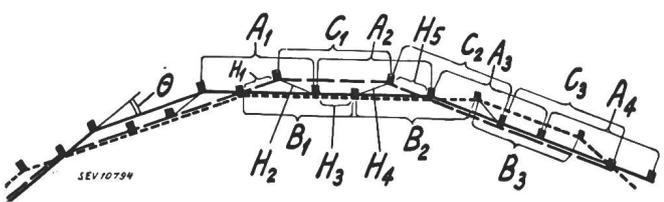


Fig. 13a.  
Spannungsvektordiagramm  
der Wicklung nach Fig. 13

Ein Ausführungsbeispiel für  $n = \frac{a}{p} = 2$  und  $k = 2$  zeigt Fig. 16, und zwar für folgende Verhältnisse:

Nutenzahl pro Pol = 9  
 $y_H = 9$  bzw. 10  
 $y_h = 3$  (Schrittfaktor = 0,5)

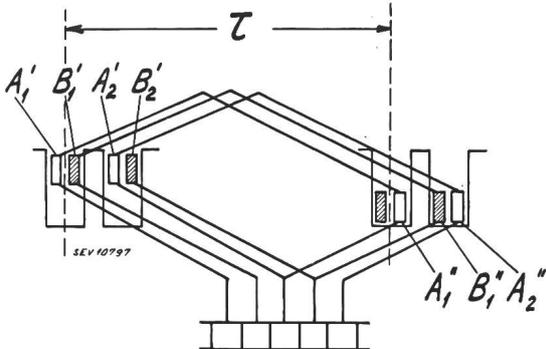


Fig. 15.  
 Zweifachparallelwicklung  
 mit 2 Lamellen pro Nut  
 $n = \frac{a}{p} = 2$   $k = 2$

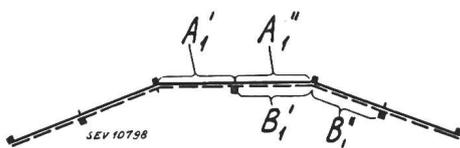


Fig. 15a.  
 Spannungsvektordiagramm  
 der Wicklung nach Fig. 15

Es besteht weiter die Möglichkeit bei  $n = \frac{a}{p} = 2$  und  $k = 2$  die Hauptwicklung mit wesentlich verkürztem Schritt auszuführen, wie das Beispiel nach Fig. 17 zeigt. Es sind hier:

Nutenzahl pro Pol = 9  
 $y_H = 7$  bzw. 8  
 $y_h = 3$  (Schrittfaktor = 0,5)

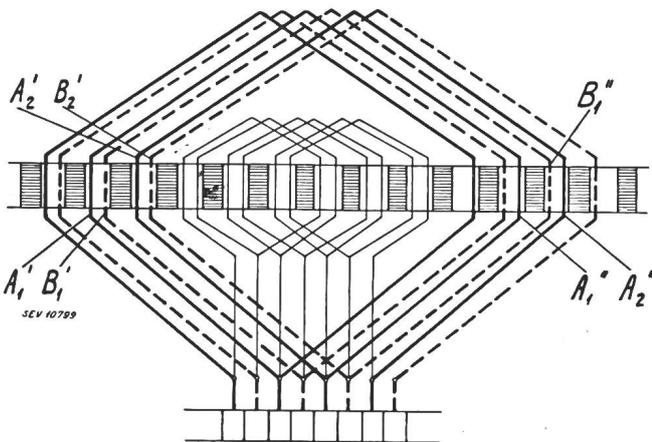


Fig. 16.  
 Zweifachparallelwicklung mit Hilfswicklung  
 mit 2 Lamellen pro Nut. Nutenzahl pro Pol = 9  
 $y_H = 9$  bzw. 10  $y_h = 3$

Da die Windingsschritte der beiden Teilwicklungen um eine Nutteilung verschieden sind, so sind auch

die beiden Spannungsvielecke ungleich gross (Fig. 17a), es fallen aber die inneren Eckpunkte des äusseren Spannungsvieleckes mit den äusseren Eckpunkten des inneren Spannungsvieleckes zusammen. Die Lamellenspannungen werden hier durch

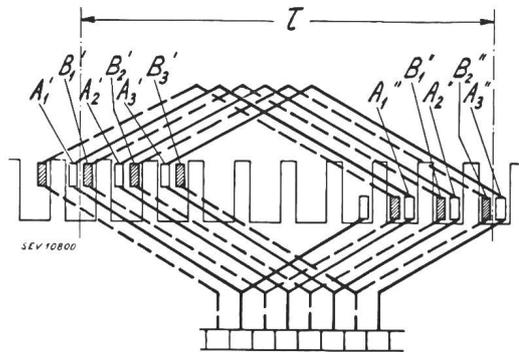


Fig. 17.  
 Zweifachparallelwicklung  
 mit 2 Lamellen pro Nut  
 $n = \frac{a}{p} = 2$   $k = 2$

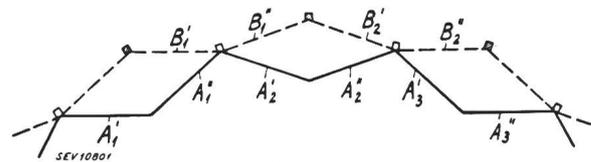


Fig. 17a.  
 Spannungsvektordiagramm  
 der Wicklung nach Fig. 17

sämtliche Eckpunkte des äusseren Spannungsvieleckes (gestrichelt) dargestellt, demnach fallen die Windingsspannungen der Hilfswicklung mit den Stabspannungen  $B_1' B_1'' B_2' B_2'' \dots$  zusammen. Unabhängig vom Windingsschritt der Hauptwicklung,

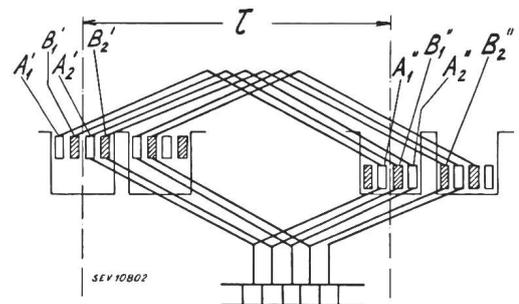


Fig. 18.  
 Zweifachparallelwicklung  
 mit 4 Lamellen pro Nut  
 $n = \frac{a}{p} = 2$   $k = 4$

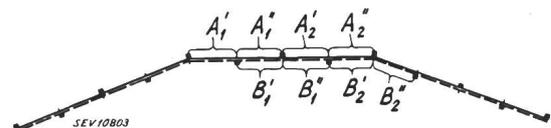


Fig. 18a.  
 Spannungsvektordiagramm  
 der Wicklung nach Fig. 18

der beliebig gewählt werden kann, muss der Windingsschritt der Hilfswicklung  $\frac{1}{3} \tau$  sein; die Nutenzahl pro Pol muss ein Vielfaches von drei sein.

Fig. 18 und 18a beziehen sich auf eine Zweifachparallelwicklung ( $n = \frac{a}{p} = 2$ ) mit 4 Lamellen pro Nut; diese Figuren brauchen keine weitere Erläuterung. Die Windungsspannung der Hilfswicklung muss wieder gleich der Stabspannung der Hauptwicklung sein; der Windungsschritt der Hilfswicklung muss gleich  $\frac{1}{3} \tau$ , die Nutenzahl pro Pol ein Vielfaches von drei sein.

Auch in diesem Falle ( $n = 2, k = 4$ ) lässt sich die Hauptwicklung mit verkürztem Schritt ausführen, wie ersichtlich aus Fig. 19 und 19a. Es sind hier:

Nutenzahl pro Pol = 9  
 $y_H = 7$  bzw. 8  
 $y_h = 3$  (Schrittfaktor = 0,5)

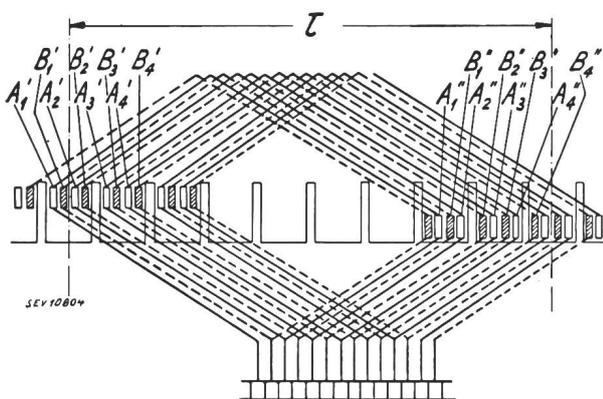


Fig. 19.  
 Zweifachparallelwicklung  
 mit 4 Lamellen pro Nut  
 $n = \frac{a}{p} = 2 \quad k = 4$

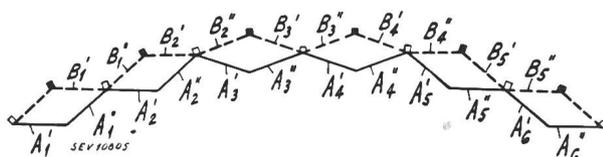


Fig. 19a.  
 Spannungsvektordiagramm  
 der Wicklung nach Fig. 19

Aus diesen Beispielen ist ersichtlich, dass derartige Mehrfachparallelwicklungen, bei welchen  $n$  und  $k$  einen gemeinsamen Teiler besitzen, ausführbar sind für  $\frac{a}{p} = 2$  und  $k = 2, 4, 6 \dots$  usw.

Weiter lässt sich durch Verdoppelung einer Zweifachparallelwicklung mit  $k = 2$  nach Fig. 15 eine Vierfachparallelwicklung mit  $k = 2$  bilden. Fig. 20 und 20a beziehen sich auf eine in dieser Weise entstandene Wicklung mit  $\frac{a}{p} = 4$  und  $k = 2$ . Der Schrittfaktor der Hilfswicklung muss in diesem Falle theoretisch  $\frac{1}{4 \cos \frac{1}{2} \theta}$  betragen, weiter muss nach Fig. 20a z. B. zwischen Hilfswindung  $H_1$  und Hauptwindung  $A_1, A_1'$  ein Phasenwinkel  $= \frac{1}{2} \theta$  bestehen; dies bedingt:

$y_\tau - y_h =$  ungerade Nutenzahl  
 wo  $y_\tau =$  Nutenzahl pro Pol

Nach den Tabellen I...IX besteht die einzige Ausführungsmöglichkeit einer solchen Vierfachparallelwicklung bei 18 Nuten pro Pol (Tabelle VII). In diesem Falle ist  $y_\tau = 18$ ; weiter ist  $y_h = 3$  (Schrittfaktor = 0,259) zu nehmen. Theoretisch

müsste der Schrittfaktor  $\frac{1}{4 \cos \frac{1}{2} \theta} = \frac{1}{4 \cos 5^\circ} = 0,251$

betragen, so dass die Abweichung des Schrittfaktors vom theoretischen Wert mehr als drei Prozent beträgt. Diese Art Vierfachparallelwicklungen haben demnach keine praktische Bedeutung und bei der

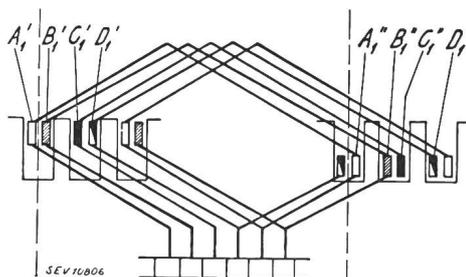


Fig. 20.  
 Vierfachparallelwicklung  
 mit 2 Lamellen pro Nut  
 $n = \frac{a}{p} = 4 \quad k = 2$

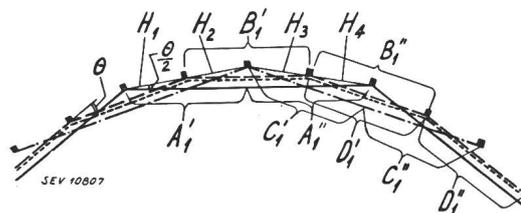


Fig. 20a.  
 Spannungsvektordiagramm  
 der Wicklung nach Fig. 20

hier in Betracht kommenden Gruppe von Mehrfachparallelwicklungen können wir uns beschränken auf die Zweifachparallelwicklungen ( $n = \frac{a}{p} = 2$ ) mit  $k = 2, 4, 6 \dots$

Nachdem wir die Ausführbarkeit der Mehrfachparallelwicklungen mit Hilfswicklung einigermaßen eingehend untersucht haben, wollen wir jetzt das Ergebnis dieser Untersuchungen kurz zusammenfassen.

Gruppe A

Mehrfachwicklungen, bei welchen  $n = \frac{a}{p}$  und  $k$  keinen gemeinsamen Teiler haben.

- a) Die Hauptwicklung wird als Nichttreppenwicklung ausgeführt, d. h. alle Windungen derselben haben den gleichen Nutenschritt.
- b) Für  $\frac{a}{p} =$  gerade Zahl muss  $y_H - y_h =$  ungerade Nutenzahl.

Für  $\frac{a}{p}$  = ungerade Zahl muss  $y_H - y_h$  = gerade Nutenzahl.

c) Das Verhältnis der Schrittfaktoren von Haupt- und Hilfswicklung soll möglichst genau gleich:

$$2 \cos \frac{1}{2} \Theta \quad \text{für } \frac{a}{p} = 2$$

$$1 + 2 \cos \Theta \quad \text{für } \frac{a}{p} = 3$$

$$2 (\cos \frac{1}{2} \Theta + \cos \frac{3}{2} \Theta) \quad \text{für } \frac{a}{p} = 4$$

Die Tabellen I...IX zeigen, dass ziemlich viele Ausführungsmöglichkeiten vorhanden sind.

### Gruppe B

Mehrfachparallelwicklungen, bei welchen  $n =$

$\frac{a}{p}$  und  $k$  einen gemeinsamen Teiler haben. Solche Wicklungen sind nur ausführbar, wenn entweder

$n = \frac{a}{p} = 2$  und  $k = 2, 4, 6 \dots$  oder wenn  $n = \frac{a}{p} = 2, 4, 6 \dots$  und  $k = 2$ . Praktische Bedeutung haben

nur die Wicklungen mit  $n = \frac{a}{p} = 2$  und  $k = 2, 4, 6 \dots$ , weshalb wir nur diese berücksichtigen wollen.

a) Die Hauptwicklung muss als Treppenwicklung ausgeführt werden.

b) Für  $\frac{a}{p} = 2$  muss:

$y_\tau = 3 y_h$ , demnach muss

$y_\tau$  = ganze Zahl und ein Vielfaches von drei.

c)  $y_H$  kann beliebig gewählt werden, unabhängig von  $y_h$ .

## Stausee-Projekt Rossens-Hauterive an der Saane

Von J.-F. Bruttin, Freiburg

(Uebersetzung aus dem Bulletin technique de la Suisse romande 1943, Nr. 3)

621.311.21(494.411)

Das Projekt Rossens-Hauterive sieht die Stauung der Saane vor, deren Wasserführung starke und unregelmässige Schwankungen aufweist. Der Stausee Rossens erhält bei 11 km Länge und 9 km<sup>2</sup> Oberfläche einen nutzbaren Inhalt von 160 Millionen m<sup>3</sup>. Das mittlere Bruttogefälle des bestehenden Kraftwerkes Hauterive steigt damit von 69 auf 95 m, was einen Nutzenergievorrat des Speichers von 31 · 10<sup>6</sup> kWh ergibt. Der Speicher kann in nassen Jahren sechsmal, in trockenen viermal geleert werden wozu noch die heutige Laufwasserenergie von Hauterive kommt. Die Anlage wird im Vollausbau bei rund 60 000 kW installierter Leistung jährlich 180...240 Millionen kWh, wovon rund die Hälfte im Winter, erzeugen. Die Werkkombination Dixence-Verbois-Rossens wird in der Lage sein, jährlich 800 Millionen kWh bei einer über das Jahr ausgeglichenen Leistung zu liefern.

Im Kraftwerkbauprogramm der Arbeitsbeschaffungskommission des SEV und VSE<sup>1)</sup> ist das Projekt Rossens-Hauterive in der Tabelle der Werke von lokaler Bedeutung enthalten. Trotzdem ist diese Anlage ausserordentlich wichtig, und sie wird in der Energiewirtschaft der Westschweiz eine Rolle spielen, welche über die Grenzen des Kantons Freiburg hinausreicht.

Wir finden es darum angezeigt, Zweck und Ziel des Kraftwerkprojektes Rossens-Hauterive in grossen Zügen darzustellen, so wie das Projekt vom Verwaltungsrat der freiburgischen Elektrizitätswerke zur Weiterbearbeitung beschlossen wurde.

### Zweck der neuen Anlagen

Die Wasserkraftnutzung im Gebiete Rossens-Hauterive umfasst die Schaffung eines Stausees im unteren Greyerzerland, der die Wasserführung der Saane regeln wird, die zur Speisung des im Jahre 1902 erbauten Kraftwerkes Hauterive dient. Durch die Speicherung wird die maximale Wassermenge der Turbinen von Hauterive von 25 auf 75 m<sup>3</sup>/s erhöht, während das mittlere Bruttogefälle zugleich von 69 auf 95 m steigt (max. 107 m; min. 72 m). Die Jahresenergiemenge, welche gegenwärtig 40...50 Millionen kWh beträgt und ganz unregelmässig über das Jahr verteilt ist, wird künftig ungefähr 200 Millionen kWh betragen, wovon mindestens 80 Millionen kWh auf den Winter fallen.

Diese Zahlen zeigen deutlich den Hauptzweck der neuen Anlage, nämlich die Vergrösserung und Regulierung der Energielieferung an das Netz der freiburgischen Elektrizitätswerke (EEF).

Bisher verfügten die EEF nur über Laufkraftwerke an der Saane und über das Kraftwerk Broc an der Jogne. Das

Le projet Rossens-Hauterive prévoit l'établissement d'un barrage dans la Sarine, dont le débit est très irrégulier. La retenue prévue à Rossens présente une longueur de 11 km, une surface de 9 km<sup>2</sup> et une contenance utile de 160 millions de m<sup>3</sup>. La hauteur moyenne de la chute brute de l'usine actuelle de Hauterive passera de 69 à 95 m, ce qui équivaldra à une réserve d'énergie utile de 31 · 10<sup>6</sup> kWh. Le bassin d'accumulation sera vidé six fois dans les années pluvieuses et quatre fois dans les années sèches; en plus on aura l'énergie au fil de l'eau produite à Hauterive. Après son aménagement complet, cette installation atteindra une puissance de 60 000 kW, capable de produire 180...240 millions de kWh, dont environ la moitié en hiver. Le groupe d'usine Dixence-Verbois-Rossens pourra fournir annuellement 800 millions de kWh, avec une puissance bien répartie sur toute l'année.

Speicherbecken des Kraftwerkes Broc gestattet allerdings einen gewissen Ausgleich, aber es ist völlig ungenügend, um die fehlenden Wassermengen für längere Niederwasserperioden zu liefern. Ausserdem verläuft die Energielieferung unregelmässig, und sie ist zu gewissen Zeiten des Jahres ungenügend, so dass die EEF auf fremde Energiequellen greifen müssen. Durch die Erstellung des Kraftwerkes Rossens werden die EEF in die Lage versetzt, während des ganzen Jahres die Grundbelastung ihres Netzes und ausserdem jederzeit, je nach dem Stand des Seespiegels, Spitzenleistungen von 50 000...70 000 kW zu decken.

In Uebereinstimmung mit dem Bestreben, die Energieproduktion für das ganze Land zu organisieren, ist die Charakteristik und die Lage des Werkes Rossens geeignet, über den Rahmen der lokalen Energieversorgung hinaus, das westschweizerische Netz in ausgezeichneter Weise zu ergänzen. Mit dem Laufkraftwerk Verbois und dem Speicherkraftwerk Dixence wird die Anlage Rossens-Hauterive eine Werkkombination bilden, welche ziemlich regelmässig über das Jahr verteilt 800 Millionen kWh, d. h. ungefähr  $\frac{1}{10}$  der gesamten Energieproduktion der Schweiz liefern kann.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass das Werk Hauterive im Innern des Landes und in unmittelbarer Nähe grosser Uebertragungsleitungen der Energie de l'Ouest Suisse (EOS) nach der Westschweiz und in Richtung Galmiz-Mühleberg liegt. Darum wird dieses Werk ohne weiteres die Aufgabe haben, als Reservekraftwerk Energie zu liefern, wenn Leitungen oder Werke in Grenzgebieten Störungen aufweisen.

### Hydraulische Daten und Energieproduktion

Die Wasserführung der Saane, deren Einzugsgebiet nur wenige Gletscher enthält, weist starke Schwankungen auf,

<sup>1)</sup> Bull. SEV 1942, Nr. 22, S. 581.