

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 84115627.6

(51) Int. Cl.⁴: **H 01 F 27/38**

(22) Anmeldetag: 17.12.84

(30) Priorität: 13.01.84 CH 160/84

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.07.85 Patentblatt 85/30

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE LI SE

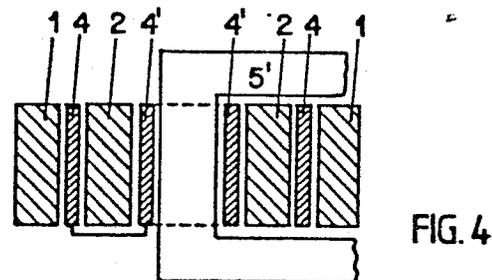
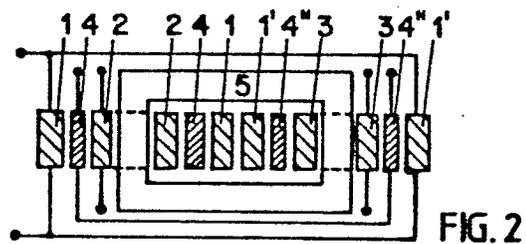
(71) Anmelder: BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.
Haselstrasse
CH-5401 Baden(CH)

(72) Erfinder: Dobsa, Josip
Luxmattenstrasse 27
CH-5452 Oberrohrdorf(CH)

(72) Erfinder: Linhofer, Gerhard
Allmendstrasse 33A
CH-5400 Baden(CH)

(54) **Stromrichtertransformator.**

(57) Um eine bessere Filterwirkung für störende Oberschwingungsströme insbesondere bei einer Hochspannung-Gleichstrom-Uebertragungsanlage zu erreichen, ist bei einem 3Wicklungstransformator mit einem Transformator kern (5') zwischen einer Primärwicklung (1) als Aussenwicklung und einer Sekundärwicklung (2) eine Ausgleichswicklung (4) vorgesehen. Die Abstände der Ausgleichswicklung von der Primär- und der Sekundärwicklung sind so gewählt, dass die Ersatzreaktanz dieser Ausgleichswicklung den Wert 0 oder einen kleinen negativen Wert annimmt. Die Primärwicklung (1) ist zum Anschluss an ein Wechselstromnetz bestimmt, die Sekundärwicklung zum Anschluss an einen Stromrichter und die Ausgleichswicklung (4) zum Anschluss an einen Filterkreis zum Ausbieben unerwünschter Oberschwingungsströme. In Reihe mit der Ausgleichswicklung (4) kann eine weitere Ausgleichswicklung (4') als Innenwicklung vorgesehen sein. Bei einem 4Wicklungstransformator sind zwei Wicklungsanordnungen mit zwei parallelgeschalteten Primärwicklungen (1, 1') als Aussenwicklungen, mit je einer getrennten Sekundärwicklung (2, 3) und je einer Ausgleichswicklung (4, 4') zwischen Primär- und Sekundärwicklung vorgesehen, wobei die beiden Ausgleichwicklungen in Reihe geschaltet sind.



3/84
13.1.84
Rz/SC

- 1 -

Stromrichtertransformator

Bei der Erfindung wird ausgegangen von einem Stromrichtertransformator nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Mit diesem Oberbegriff nimmt die Erfindung auf einen Stand der Technik von Stromrichtertransformatoren Bezug, wie
5 er in dem Buch: H. Happoldt, D. Oeding, Elektrische Kraftwerke und Netze, 5. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1980, S. 612 - 614, dargestellt und beschrieben ist. Dort sind in den Bildern 19.4 bzw. 19.5 3- bzw.
4Wicklungstransformatoren einer Hochspannungs-Gleichstrom-
10 Uebertragungsanlage, nachfolgend HGÜ genannt, dargestellt, bei denen eine bzw. zwei Sekundärwicklungen des Transformators mit Wechselstromeingängen von Stromrichtern verbunden sind. Eine Tertiär- oder Ausgleichswicklung ist mit Filter-Saugkreisen für Oberschwingungsströme bzw.
15 mit Generatoren verbunden, welche die benötigte Blindleistung für die Stromrichter liefern. Auf den S. 172-175 dieses Buches ist ein Beispiel eines 3Wicklungstransformators zur Einspeisung elektrischer Energie aus einem 110-kV-Netz in 10-kV- bzw. 30-kV-Netze mit ruhigen und unruhigen
20 Verbrauchern beschrieben, bei dem die Primärwicklung zwischen zwei Sekundärwicklungen angeordnet ist. Dort sind

Gleichungen zur Ermittlung der Kurzschlussimpedanzen aus Spannung, Durchgangsleistung und Nennkurzschlussspannung angegeben. Bei einem gerechneten Beispiel ist die Reaktanz der Primärwicklung negativ, während Reaktanzen der beiden
5 Sekundärwicklungen etwa gleich den Kurzschlussreaktanzen zwischen ihnen und der mittleren Wicklung sind.

Die Stromrichter einer HGÜ erzeugen Oberschwingungsströme. Fließen diese frei in das Drehstromnetz ab, entstehen dort Spannungsverzerrungen. Um dies zu verhindern, werden
10 parallel zu den Stromrichtertransformatoren Filterkreise (Saugkreise) an die Drehstromsammelschiene geschaltet. Diese Filterkreise sind so dimensioniert, dass sie für bestimmte, dominant auftretende Oberschwingungen eine sehr geringe Impedanz aufweisen und dadurch für die Ober-
15 schwingungsströme einen Kurzschlussweg bilden.

Die Auswirkung ist, dass die Oberschwingungsströme vorwiegend in die Filterkreise fließen und somit die Oberschwingungsbelastung des Netzes klein gehalten wird.

Wenn HGÜ kleiner Leistung an Drehstromsammelschienen mit
20 hoher Spannung angeschlossen werden und die Filterkreise gleichfalls an diese hohe Spannung angeschlossen werden müssen, ergeben sich für die Filterkreise sehr hohe spezifische Kosten. Um diese zu reduzieren, werden die Filterkreise an eine zusätzliche Wicklung der Stromrichtertrans-
25 formatoren angeschlossen, welche für eine niedrige Spannung dimensioniert sind. Störend ist dabei die Restimpedanz der Ausgleichswicklung, welche die Filterkreise verstimmt und damit deren Wirkung reduziert.

Die Erfindung, wie sie in den Patentansprüchen gekennzeichnet ist, löst die Aufgabe, mit einfachen Massnahmen
30 eine bessere Filterung störender Oberschwingungsströme, die durch Verbraucher, insbesondere durch Stromrichter, erzeugt werden, zu erreichen.

Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass Oberschwingungsspannungen in den Wechselstromnetzen verringert und somit unzulässige Verzerrungen der Netzspannung und Telefonstörungen vermieden werden. Durch geeignete Wicklungsanordnung kann die filterseitige Ersatzstreureaktanz gegenüber einem imaginären Mittelpunkt der Ersatzreaktanzen negativ oder möglichst nahe zu Null gebracht werden. Ist eine Ersatzstreureaktanz = 0, so werden die angeschlossenen Filterkreise nicht verstimmt. Ist die Ersatzstreureaktanz 0, so kann gemäss einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung eine Zusatzdrossel zwischen die Ausgleichswicklung und den Filterkreis geschaltet werden, so dass dieser nicht verstimmt wird. Die Drossel der Filtersaugkreise des an den Stromrichtertransformator angeschlossenen Filterkreises kann vorteilhafterweise so bemessen sein, dass die Zusatzdrossel entfällt. Besonders vorteilhaft ist die Verwendung eines 4Wicklungstransformators für 12pulsigen Stromrichterbetrieb, bei dem der Filterkreis im wesentlichen nur für die Ausfilterung der 11. und 13. Oberschwingung ausgelegt sein muss.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von zwei Ausführungsbeispielen erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 ein Prinzip-Schaltbild einer HGÜ mit Gleichrichter- und Wechselrichterstation mit erfindungsgemässen Stromrichtertransformatoren,
- Fig. 2 die Wicklungsanordnung eines 4Wicklungstransformators,
- Fig. 3 ein Reaktanz-Ersatzschaltbild für einen 4Wicklungstransformator gemäss Fig. 2,
- Fig. 4 die Wicklungsanordnung eines 3Wicklungstransformators und

Fig. 5 ein Reaktanz-Ersatzschaltbild für einen 3Wicklungs-
transformator gemäss Fig. 4 .

In Fig. 1 ist mit A ein 400-kV-Drehstromnetz und mit B ein 220-kV-Drehstromnetz bezeichnet, das über eine HGÜ mit dem Drehstromnetz A verbunden ist. Stromrichtertransformatoren T_A bzw. T_B transformieren die in den Drehstromnetzen A bzw. B vorhandenen Spannungen in Stromrichtern S_1, S_2 bzw. S_3, S_4 auf einen für die Gleichstromkupplung geeigneten Wert von 50 kV. Die Stromrichter S_1 und S_2 auf der Sendeseite arbeiten als Gleichrichter; sie entnehmen dem Drehstromnetz A Wirkleistung und geben diese an die Gleichstromseite ab. Die Stromrichter S_3 und S_4 auf der Empfangsseite arbeiten als Wechselrichter; sie übernehmen die von der Gleichstromleitung übertragene Gleichstromleistung und geben diese als Wirkleistung an das Drehstromnetz B ab. Im Gleichstromkreis ist mindestens eine Glättungsdrossel L vorgesehen. Die Stromrichtertransformatoren T_A und T_B haben je eine Primär- oder Hochspannungswicklung 1, zwei Sekundär- oder Ventilwicklungen 2, 3 und eine Tertiär- oder Ausgleichswicklung 4. Die Primärwicklungen 1 der Stromrichtertransformatoren T_A und T_B sind an das jeweilige Drehstromnetz A oder B angeschlossen, die Sekundärwicklungen 2 bzw. 3 an die Wechselstromeingänge der Stromrichter S_1 bzw. S_2 und S_3 bzw. S_4 . Die Ausgleichwicklungen 4 der parallelgeschalteten Stromrichtertransformatoren auf der Sendeseite sind über mindestens eine Zusatzdrossel 7 mit einem Filterkreis 6 mit Filtersaugkreisen für Oberschwingungsströme der Ordnungszahl $\nu = 11$ und $\nu = 13$ und $\nu \geq 23$ verbunden. In der Empfängerstation sind die beiden Ausgleichwicklungen 4 ebenfalls mit einem Filterkreis 6' verbunden. Hier sind keine Zusatzdrosseln zum Anschluss des Filterkreises 6' vorhanden, da sie entweder auf Grund des Aufbaus des Stromrichtertransformators T_B nicht erforderlich oder bei der Dimensionierung der Saugkreisdrosseln berücksichtigt sind.

Je Stromrichterstation können auch zwei oder mehr Stromrichtertransformatoren mit Ventil- und Filterkreisen parallelgeschaltet sein. Die Ausgleichswicklungen 4 der Stromrichtertransformatoren können dann miteinander verbunden sein.

- 5 Auf Grund des symmetrischen Aufbaus können Sende- und Empfangsseite miteinander vertauscht sein.

Die Wicklungsanordnung der Zylinderwicklungen der Stromrichtertransformatoren T_A , T_B gemäss Fig. 1 ist für eine Wechselstromphase aus Fig. 2 ersichtlich. Um je einen
10 Schenkel eines Transformator-kerns 5 ist eine Primärwicklung 1 bzw. 1' als Aussenwicklung, eine Sekundärwicklung 2 bzw. 3 als Innenwicklung und eine Ausgleichwicklung 4 bzw. 4" zwischen Aussen- und Innenwicklung angeordnet. Die beiden Primärwicklungen 1 bzw. 1' sind parallelgeschaltet,
15 die beiden Ausgleichswicklungen 4 und 4" sind hintereinandergeschaltet und die beiden Sekundärwicklungen 2 und 3 getrennt ausgeführt. Durch die Anordnung auf zwei Schenkeln wird die unerwünschte magnetische Kopplung der Sekundärwicklungen 2 und 3 möglichst gering gehalten.

- 20 Ein zugehöriges Ersatz-Reaktanzschaltbild für eine Wechselstromphase ist in Fig. 3 dargestellt, in der $X_1 \dots X_4$ Ersatzreaktanzen bezeichnen, welche den Wicklungen 1 ... 4 des Stromrichtertransformators T_A oder T_B zugeordnet sind, und X_p , X_q fiktive Filterkopplungsreaktanzen sind. Die
25 Dimensionierung der Wicklungen des Stromrichtertransformators und deren Abstände zueinander sind so zu wählen, dass die filterseitige Ersatzreaktanz $X_4 = 0$ wird. Bezüglich der relativ umfangreichen Gleichungen zur Berechnung von X_4 wird verwiesen auf das Buch: Transformer Engineering
30 (a publication of the General Electric Company's engineers of the transformer engineering department), herausgegeben von L.F. Blume, Wiley, New York (1938) S. 122 und 123.

Für einen 3Wicklungstransformator ist eine Wicklungsanordnung der Zylinderwicklungen für eine Wechselstromphase

aus Fig. 4 ersichtlich. Um einen abschnittsweise dargestellten Transformator kern 5' sind von innen nach aussen eine Ausgleichswicklung 4', eine Sekundärwicklung 2, eine weitere Ausgleichswicklung 4 und eine Primärwicklung 1 angeordnet. Die beiden Ausgleichswicklungen 4 und 4' sind in Reihe geschaltet.

In dem zugehörigen Ersatz-Reaktanzschaltbild der Fig. 5 bezeichnet 8 einen Verbraucher, der über den Stromrichter S_1 an die Sekundärwicklung 2 angeschlossen ist. An die Ausgleichswicklung 4 ist über die Zusatzdrossel 7 der Filterkreis 6 angeschlossen. X_{12} , X_{24} und X_{14} bezeichnen Streureaktanzen, die in bekannter Weise aus Messungen am Transformator zwischen den Wicklungen 1, 2 und 4 ermittelt werden können und üblicherweise auf dem Typenschild des Transformators angegeben sind. Im übrigen sind in allen Figuren gleiche Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

Der 3Wicklungstransformator ist wieder so zu dimensionieren, dass die Ersatzreaktanz X_4 den Wert 0 oder einen kleinen negativen Wert annimmt. Im letzteren Fall wird dann in Serie zur Ausgleichswicklung 4 und gegebenenfalls 4' eine Luftdrossel mit einer (positiven) Reaktanz geschaltet, welche gleich gross ist wie die negative Ersatzreaktanz X_4 . Damit wird vom Filteranschlusspunkt aus gesehen die Reaktanz zu einem imaginären Mittelpunkt der Streureaktanzen zu Null gebracht und die Filterwirkung bleibt voll erhalten. X_4 kann berechnet werden nach:

$$X_4 = (-X_{14} - X_{24} - X_{12})/2.$$

Werden bei einer HGÜ gemäss Fig. 1 anstelle der 4Wicklungstransformatoren T_A und T_B 3Wicklungstransformatoren verwendet, so entfallen die Sekundärwicklungen 3 mit angeschlossenen Stromrichtern S_2 und S_4 .

Bei Verwendung eines 3Wicklungstransformators kann die innere Ausgleichswicklung 4' entfallen und die geforderte Bedingung für die Ersatzreaktanz X_4 allein mit der Ausgleichswicklung 4 durch geeignete Einstellung der Abstände der Wicklungen erreicht werden. Vorzugsweise werden jedoch zwei Ausgleichswicklungen 4 und 4' mit gleicher Windungszahl verwendet.

Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf 3- oder 4Wicklungstransformatoren beschränkt ist. Bei 4Wicklungstransformatoren können die beiden Wicklungsanordnungen statt auf zwei Schenkeln auch auf einem Schenkel untereinander angeordnet sein.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Stromrichtertransformator für mindestens eine Phase eines Wechselstromes, insbesondere zur Hochspannungs-Gleichstrom-Uebertragung, mit einem Transformator kern (5, 5'), um den
- 5 a) mindestens eine Primärwicklung (1, 1'),
b) mindestens eine Sekundärwicklung (2, 3) und
c) mindestens eine Ausgleichswicklung (4, 4', 4'') für den Anschluss mindestens eines Filterkreises (6, 6') gewickelt ist,
- 10 dadurch gekennzeichnet,
d) dass mindestens ein Teil der Ausgleichswicklung (4, 4'') zwischen einer Primärwicklung (1) und einer Sekundärwicklung (2, 3) angeordnet ist und
e) dass die Abstände der Ausgleichswicklung von der
- 15 Primärwicklung und Sekundärwicklung so gewählt sind, dass die Ersatzreaktanz (X_4) dieser Ausgleichswicklung ≤ 0 ist.
2. Stromrichtertransformator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
- 20 a) dass ein Teil der Ausgleichswicklungen (4') zwischen dem Transformator kern (5') und der Sekundärwicklung (2) angeordnet ist und
b) dass die Teilwicklungen der Ausgleichswicklung (4, 4') in Reihe geschaltet sind.
- 25 3. Stromrichtertransformator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
a) dass auf dem Transformator kern (5) mindestens zwei Wicklungsanordnungen angebracht sind,
b) dass jede Wicklungsanordnung eine Primärwicklung
- 30 (1, 1') als Aussenwicklung aufweist,

- c) dass die Primärwicklungen zueinander parallelgeschaltet sind,
 - d) dass jede Wicklungsanordnung eine getrennte Sekundärwicklung (2, 3) aufweist und
 - 5 e) dass die Ausgleichwicklungen (4, 4'') zwischen jeder Primär- und Sekundärwicklung in Reihe geschaltet sind.
4. Stromrichtertransformator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,
- 10 a) dass die Ausgleichwicklung (4, 4', 4'') mit einer Zusatzdrossel (7) in Wirkverbindung steht und
- b) dass die Reaktanz dieser Zusatzdrossel betragsmässig gleich dem Betrag der Ersatzstreureaktanz (X_4) der Ausgleichwicklung ist.
- 15 5. Stromrichtertransformator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Zusatzdrossel (7) mit mindestens einer Drossel des Filterkreises (6') vereinigt ist.

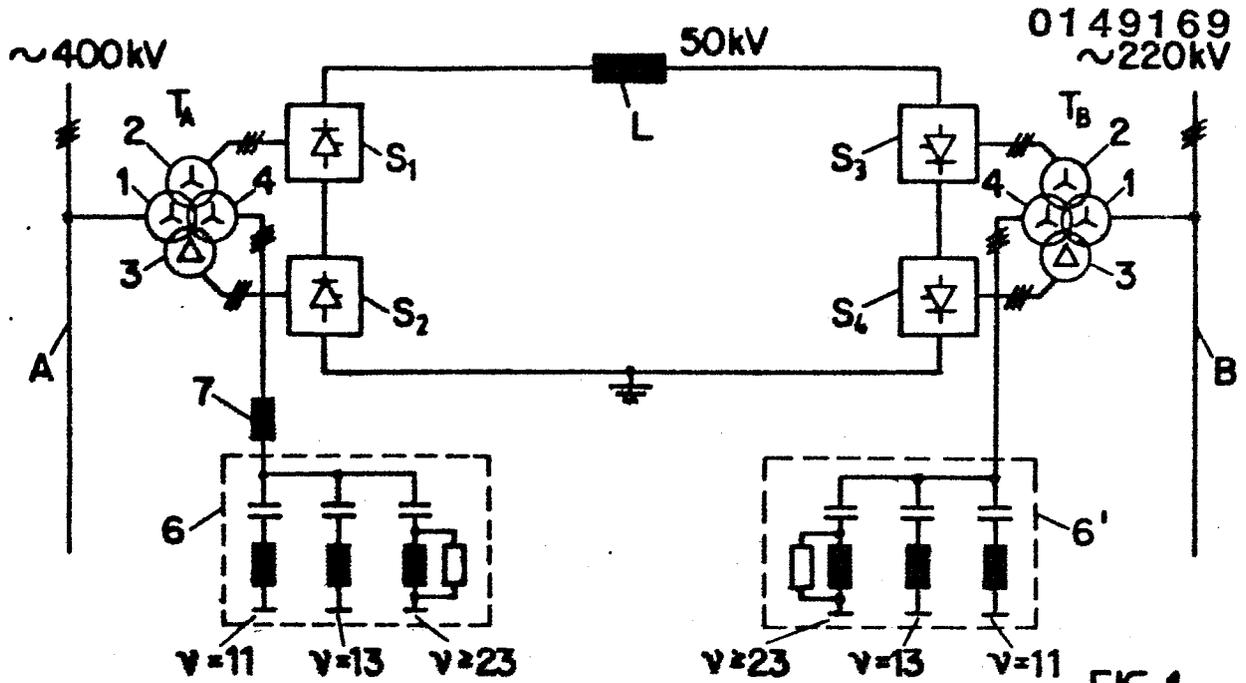


FIG. 1

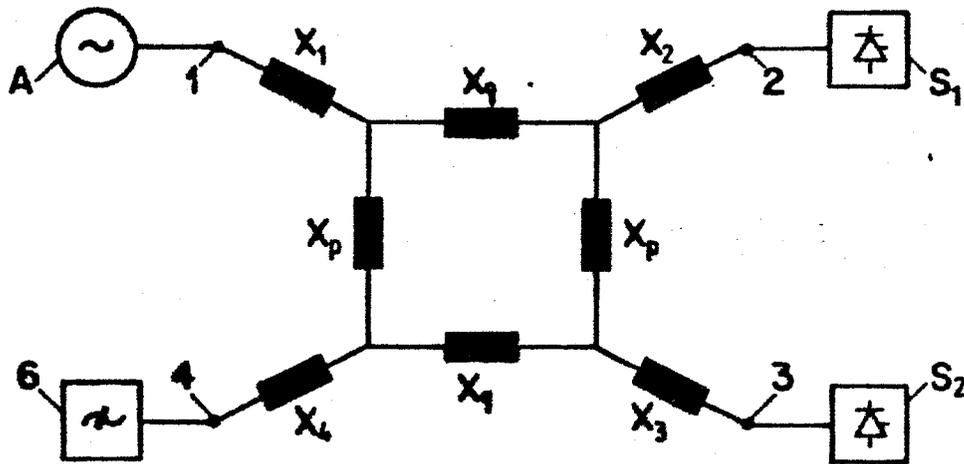


FIG. 3

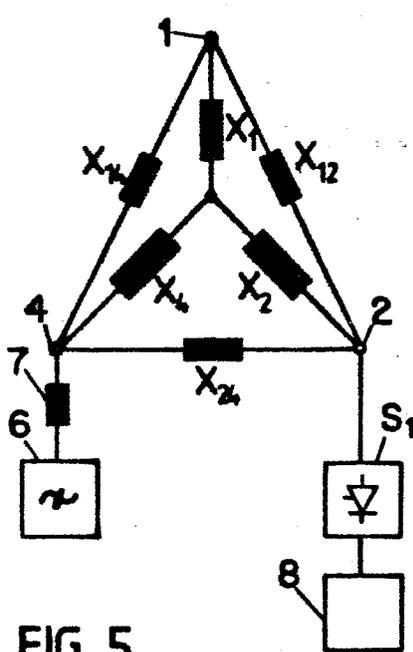


FIG. 5

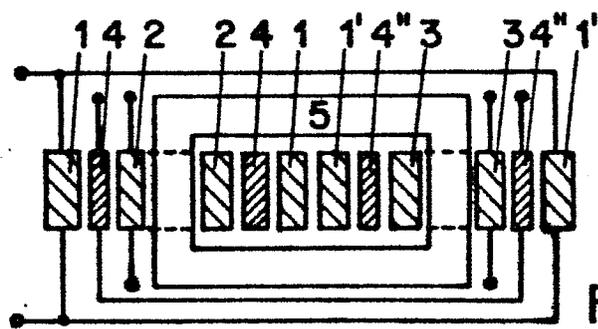


FIG. 2

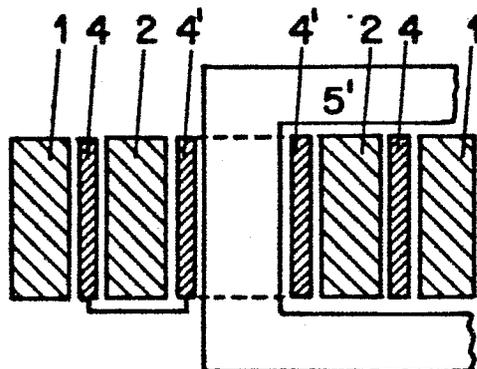


FIG. 4