



**NORGE**

**[NO]**

**STYRET  
FOR DET INDUSTRIELLE  
RETTSVERN**

**[B] (11) UTLEGNINGSSKRIFT Nr. 135494**

(51) Int. Cl.<sup>2</sup> H 01 F 27/28

(21) Patentsøknad nr. 752010

(22) Inngitt 06.06.75

(23) Løpedag 06.06.75

(41) Alment tilgjengelig fra 07.12.76

(44) Søknaden utlagt, utlegningskrift utgitt 03.01.77

(30) Prioritet begjært Ingen.

(54) Oppfinnelsens benevnelse Vikling for transformatorer eller reaktorer.

(71)(73) Søker/Patenthaver A/S NATIONAL INDUSTRI,  
3000 Drammen.

(72) Oppfinner PETTER J. FERGESTAD,  
Konnerud.

(74) Fullmektig Siv.ing. Per Onsager,  
Onsagers Patentkontor, Oslo.

(56) Anførte publikasjoner Ingen.

Denne oppfinnelse angår viklinger for transformatorer eller reaktorer. Viklingen omfatter flere seriekoblede spoler hvor lederens utstrekning i aksial retning tilsvarer spolehøyden, slik det er tilfellet ved spoler av en folie- eller båndformet leder. Det karakteristiske ved viklingen er at den har høye spoler med mange vindinger på midten og har spoler med avtagende høyde og vindingstall mot endene. Viklingen er symmetrisk oppbygd og har ved utførelse for høy-spennning inngang eller tilkopling på midtspolen.

Det er et kjent problem i transformatorbyggingen å kunne lage viklingene slik at spenningsfordelingen ved støtspenning blir mest mulig lineær.

For en overslagsberegning kan man si at forholdet mellom støtspenningspåkjenning og tilsvarende lineær spenningspåkjenning mellom skiver er gitt ved:

$$\frac{\Delta e \text{ støt}}{\Delta e \text{ lineær}} \approx \alpha = \sqrt{\frac{C_j}{C_s}}$$

hvor  $C_j$  = viklingens jordkapasitet,  
 $C_s$  = viklingens seriekapasitet.

Denne ligning gjelder for  $2 < \alpha < 10$  til 15.

Man oppnår en god støtfordeling eller svingningsfri tilstand i en vikling når den støtspenning som legger seg over hver spole, er lik den driftsfrekvente spenning, begge regnet i % av påtrykt spenning.

Det er kjent at en transformators høyspenningsvikling deles i to parallelle grupper med tilkopling på midten av viklingen.

Ved skiveviklinger forsøker man å linearisere spenningsfordelingen ved å benytte innbladede viklinger. Derved økes viklingenes seriekapasitet, og spenningsfordelingen blir derved gunstigere. En helt lineær spenningsfordeling klarer man ikke å oppnå med denne metoden. I praksis er en dobling av den lineære spenningspåkjenningen omtrent det lavest oppnåelige. En slik

vikling med innbladede spoler er arbeidskrevende å fremstille. En innbladet skive krever omtrent dobbelt så lang produksjonstid som en uinnbladet skive.

Det er videre kjent å benytte en kombinasjon av innbladet og uinnbladet skivevikling for å oppnå en mest mulig lineær støtfordeling. En slik kombinert vikling gjør det mulig å holde fyllfaktoren på et rimelig nivå. Fyllfaktoren, altså forholdet mellom lederarealet og det totale areal man har til rådighet for leder og isolasjon, ønsker man å gjøre så høy som mulig.

Man oppnår høy fyllfaktor ved å benytte bånd- eller folievikling. Det er kjent å fremstille viklinger for lavere spenninger av en eller flere seriekoblede like høye spoler av bånd eller folie. Anvendelsen av denne viklingstypen har vært begrenset til små ytelser, som i fordelingstransformatorer og i krafttransformatorer opp til 10 - 15 MVA. Dette på grunn av de store tilleggslag man får ved enden av viklingene. Disse tap vil øke med lekkfeltets størrelse, som igjen vil øke med ytelsen.

Den nye viklingskonstruksjon gjør det mulig å oppnå en helt lineær støtspenningsfordeling. Dessuten vil man unngå de store tilleggslag som ellers oppstår ved endene av viklingen på grunn av det radiale lekkfelt. Dette er mulig ved at viklingen fremstilles av folie- eller båndspoler med avtagende vindingstall fra linjeinngang til stjernepunkt. Av hensyn til tap og kortslutningskrefter holdes antall ampèrevindinger pr. høydeenhet tilnærmet konstant. Det vil si at midtspolen vil bestå av en tynn, bred folie. Etterhvert som spolehøyden reduseres, økes folie- eller båndtykkelsen. De laveste spolene vil derfor normalt ikke bli å betegne som viklet av folie eller bånd, men av profiltråd.

Betingelsen for lineær støtspenningsfordeling er gitt ved de følgende formler, hvor betegnelsene er hentet fra erstatningskoblingsskjemaet på fig. 1:

$$\Delta e_i = \frac{N_i}{N(i+1)} \cdot \Delta e_{(i+1)} \quad \text{I}$$

$$C_{si} = \frac{N(i+1)}{N_i} \cdot C_{s(i+L_i)} + \frac{\sum_{j=i}^n N_j}{N_i} C_{ji} \quad \text{II}$$

hvor  $i = 1$  til  $n - 1$ .

Som et eksempel skal vindingstallene i spolene antas å avta etter en geometrisk rekke. Dessuten skal der holdes samme radiale fyllfaktor i alle spolene.

$$N_{i+1} = k \cdot N_i \quad \text{III}$$

Ligning II går da over i:

$$C_{si} = k C_{s(i+1)} + \frac{k^{n-i}-1}{k-1} \cdot k \cdot C_{ji} \quad \text{IV}$$

Forutsetningen om konstant radial fyllfaktor og konstant antall ampèrevindinger pr. høydeenhet fører til:

$$C_{si} = \frac{1}{k} C_{s(i+1)}. \quad \text{V}$$

Settes videre som en praktisk rimelig verdi

$$C_{ji} = 0,25 C_{s(i+1)} \quad \text{VI}$$

fås av ligning IV:

$$\frac{1}{k} = k + k \frac{k^{n-i}-1}{k-1} \cdot 0,25 \quad \text{VII}$$

Dersom man setter  $n = 10$  og ser på de 4-5 første spolene, dvs.  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ , vil man finne  $k = 0,73$  som en tilnærmet eksakt løsning for hele dette område.

Med andre ord vil kravet om lineær støtspenningsfordeling oppfylles dersom spolehøyden og antall vindinger pr. spole avtar etter en geometrisk rekke med  $k = 0,73$ . Med konstant radial fyllfaktor vil man da få konstant ampèrevindingstetthet i høyderetning. Dette gjelder tilnærmet eksakt for de første 4-5 spoler i vårt eksempel. Lengre fra inngangen må vindingstallvariasjonen avvike fra den geometriske rekke og/eller radial fyllfaktor variere noe for at man skal kunne oppfylle kravet. I praksis vil man imidlertid kunne akseptere et avvik fra den lineære fordeling fjernt fra inngangen. Den fjerneste del av viklingen vil derfor kunne lages som en konvensjonell skivevikling. Denne andel vil ligge mellom 3-5% og 60-70% av total viklengde avhengig av den enkelte produsents produksjonsutstyr og konstruksjonspraksis. Resten av viklingen vil bestå av spoler av folier eller bånd.

Regneeksemplet er satt opp for å vise at kravet om lineær støtspenningsfordeling lar seg oppfylle med realistiske midler, og er ikke ment som annet enn en illustrasjon. Man vil i praksis avvike fra den lineære støtspenningsfordeling for å ta hensyn til økonomiske forhold som enkelhet ved oppbyggingen og færrest mulig spolehøyder. Man vil med andre ord velge et kompromiss mellom kravene om mest mulig lineær støtspenningsfordeling og minimalt antall forskjellige spoletyper.

Den nye viklingstypen med matning på midten gir også fordeler framfor en konvensjonell folievikling når det gjelder tilleggstap forårsaket av radiale lekkfelter ved endene av viklingen. I en vikling som enten er bygd opp av en hel folie eller av like høye seriekoblede foliespoler, vil man få store tilleggstap ved viklingsendene. Disse tap skyldes radiale lekkfelter som gir opphav til ujevn strømfordeling. Slike tap har man forsøkt å unngå ved å skjerme endene av viklingene. Slike skjermer er ikke økonomiske og praktiske i transformatorer for store ytelser og høy spenning. I den nye viklingen ligger de høyeste spolene i et lekkfelt som forløper parallelt med folien eller båndet. Når endene er spolene så smale at de tilleggstap som skyldes det radiale lekkfelt, blir betraktelig redusert. Denne viklingstype vil derfor få betraktelig lavere tilleggstap enn andre viklingstyper, fordi man har høye spoler med mange vindinger der hvor lekkfeltet løper parallelt med spolene, og lave spoler med få vindinger ved endene, hvor det radiale lekkfelt er størst.

Fig. 2 viser en utførelse av viklingen hvor 1 betegner inngangsspolen, og 2, 3, 4, 5, 6 og 7 spoler med avtagende høyde symmetrisk om inngangsspolen.

Fig. 3 viser en utførelse med inngangsspole  $1_a$  og avsmalnende foliespoler  $2_a$ ,  $3_a$  og  $4_a$ , men med skivespoler  $5_a$ ,  $6_a$ ,  $7_a$  og  $8_a$  med konstant høyde mot endene.

Fig. 4 viser en utførelse med inngangsspole  $1_b$ , like høye foliespoler  $2_b$ ,  $3_b$  og  $4_b$  symmetrisk om inngangsspolen og dessuten skivespoler  $5_b$ ,  $6_b$ ,  $7_b$  og  $8_b$  mot endene av viklingen. Denne oppbygning vil gi færrest antall spoletyper.

Den nye vikling vil være meget motstandsdyktig overfor radiale krefter, særlig dersom der benyttes epoksyplettet presspan som lagsolasjon. Det parti som er mest utsatt for "bukling", er nettopp midtpartiet av viklingen, hvor man her kan oppnå en meget sterk konstruksjon. Viklingen vil kunne gjøres selvbærende og således være uavhengig av oppstøtning mot kjernen. Dessuten

vil den være lettere å fremstille med snever toleranse i høyde-  
retningen. Derved vil de aksiale kortslutningskrefter bli mindre.

Man skal også spesielt fremheve at den beskrevne viklings-  
type byr på fordeler ved fremstillingen og isoleringen slik at  
den vil gi store økonomiske besparelser i forhold til nåværende  
viklingsutførelser. I høyspenningstransformatorer brukes idag  
for en stor del en eller annen utgave av innbladet skivevikling.  
Når man vet at det tar dobbelt så lang tid å produsere en inn-  
bladet skive som en uinnbladet, så ser man umiddelbart hvilke bespar-  
elser som kan oppnås. En folievikling regner man er enda enklere å  
fremstille og vil bety en ytterligere besparelse på 30%. Den om-  
talte vikling vil ha færre skiver enn en konvensjonell. Montering  
av avstandsholdere og høydejusteringer blir derfor av redusert  
omfang. Dessuten er en folievikling lettere å isolere, og iso-  
lasjonen tar mindre plass, så fyllfaktoren kan økes. Derved  
kan man redusere en transformators behov for aktive materialer.  
Den nye viklingsoppbygning kan benyttes som høyspenningsvikling  
eller lavspenningsvikling i kombinasjon med en hvilken som helst  
annen viklingstype. Som høyspenningsvikling er den best egnet  
med linjeinngang på midten, og endene forbundet med jord, resp.  
stjernepunkt, da man ellers vil få store tilleggsgap. Ved an-  
vendelse som lavspenningsvikling vil kravene til støtfasthet være  
lettere å oppfylle og mindre dominerende. Man vil imidlertid også  
her oppnå reduserte tilleggsgap med den nye viklingsutformning.

Utformningen av lavspenningsviklingen vil være avhengig  
av hvilken spenning den skal bygges for. For lave spenninger  
vil den enklest mulige utførelse bestå av en høy foliespole i  
midten, seriekoblet med lave spoler ved endene hvor man har radi-  
ale lekkfelter.

Fig. 5 viser den enkleste utførelse for en lavspennings-  
vikling, hvor man har en høy midtspole  $1_C$ , seriekoblet med lave  
spoler  $2_C$ ,  $3_C$ ,  $4_C$  og  $5_C$  ved endene hvor man har radiale lekk-  
felter.

Transformatorer med både høy- og lavspenningsviklinger ut-  
formet som beskrevet, vil kunne bygges med redusert avstand mellom  
disse. Dette vil bli nærmere forklart i det følgende under hen-  
visning til fig. 6 - 8.

I transformatorer med inngang på midten A (fig. 6) av høy-  
spenningsviklingen vil der ved støtspenningspåtrykk kunne oppstå  
betydelig spenningsforhøyning over kanalen mellom høyspennings-  
og lavspenningsviklingen. Dette kommer av at midtpunktet B av

lavspenningsviklingen først blir løftet opp i spenning (kapasitivt) med samme polaritet som påtrykket. Deretter vil det svinge tilbake med motsatt polaritet som vist på fig. 7. Spenningen  $\Delta e$  over kanalen mellom høyspennings- og lavspenningsvikling vil derved kunne komme opp i 130-140% av påtrykt spenning. Denne spenningen blir størst når svingningen i pkt. B har et lite innhold av overtoner, slik som det er vist på fig. 7, hvor man har én utpreget frekvens. På grunn av symmetrien i oppbygningen på fig. 6 er dette som regel tilfellet.

Ved å redusere spenningen  $\Delta e$  ville man kunne redusere isolasjonsavstanden mellom høyspennings- og lavspenningsvikling og derved redusere materialkostnadene såvel for kjerne som for viklinger.

En reduksjon av  $\Delta e$  oppnår man ved å konstruere høyspenningsviklingen av bånd-/folie-spoler som tidligere bes krevet. Derved vil spenningen på midten av høyspenningsviklingen, inn mot kanalen mellom høyspennings- og lavspenningsvikling, bli redusert med den del som legger seg over første spole (f.eks. 25%). Dette vil resultere i at punkt B lades opp tilsvarende mindre kapasitivt, og  $\Delta e$  vil følgelig også reduseres tilsvarende.

En ytterligere reduksjon av  $\Delta e$  vil man få hvis man utfører lavspenningsviklingen som vist ved L på fig. 8. Her er midtpartiet laget av en eller flere bånd-spoler, mens ytterpartiet er skiver.

Man oppnår derved å få den del av lavspenningsviklingen som geografisk ligger nærmest høyspenningsviklingens midtpunkt, til å ligge nær det ene lavspenningsuttaks potensial. Dette vil si nær 0 ved støtpåtrykk. Man ødelegger derved symmetrien slik at spenningssvingningen i lavspenningsviklingen får flere overharmoniske og derved blir lavere.

Man vil også seriekoble lavspenningsviklingens spoler slik at den del av viklingen som geografisk ligger nærmest høyspenningsviklingens midtpunkt, får høyest mulig spenning ved induisert prøvespenning. Derved blir den liggende så nær høyspenningsviklingens potensial som mulig.

Begge virkninger vil redusere kravet til isolasjonsavstand mellom høyspennings- og lavspenningsvikling.

Fig. 8 viser en transformator hvor både høy- og lavspenningsvikling H resp. L er bygd opp i samsvar med oppfinnelsen.

I en treviklingstransformator vil man likeledes utforme alle tre viklingene etter det samme prinsipp.

P a t e n t k r a v :

1. Anordning ved viklinger for sterkstrømtransformatorer eller -reaktorer med spoler hvor lederens utstrekning i aksial retning tilsvarer spolehøyden, k a r a k t e r i s e r t v e d at høyden av seriekoblede spoler og antall vindinger pr. spole avtar fra spole til spole eller gruppevis, regnet fra midten til endene av viklingen.
2. Anordning som angitt i krav 1, særlig ved høyspenningviklinger, k a r a k t e r i s e r t v e d at viklingens to halvdelar er parallellkoblet og deres ytre ender er koblet til jord og/eller stjernepunkt.
3. Anordning som angitt i krav 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at spolehøyde og vindingstall avtar stort sett etter en geometrisk rekke.
4. Anordning som angitt i krav 1, særlig for lavspenningviklinger, k a r a k t e r i s e r t v e d at alle viklingens spoler er koblet i serie.
5. Anordning som angitt i krav 4, k a r a k t e r i s e r t v e d at midtspolen opptar over halve høyden av viklingen.
6. Anordning som angitt i krav 1, for transformatorer, k a r a k t e r i s e r t v e d den kombinasjon at høyspenningviklingen er utført i samsvar med krav 2 eller 3 og lavspenningviklingen med krav 4 eller 5.

135494

FIG. 1.

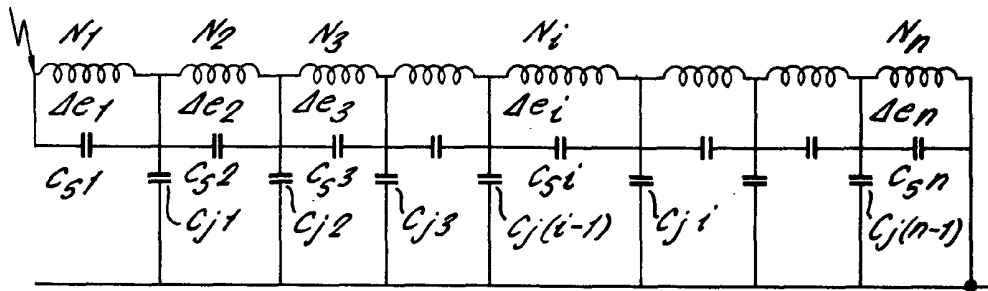


FIG. 8.

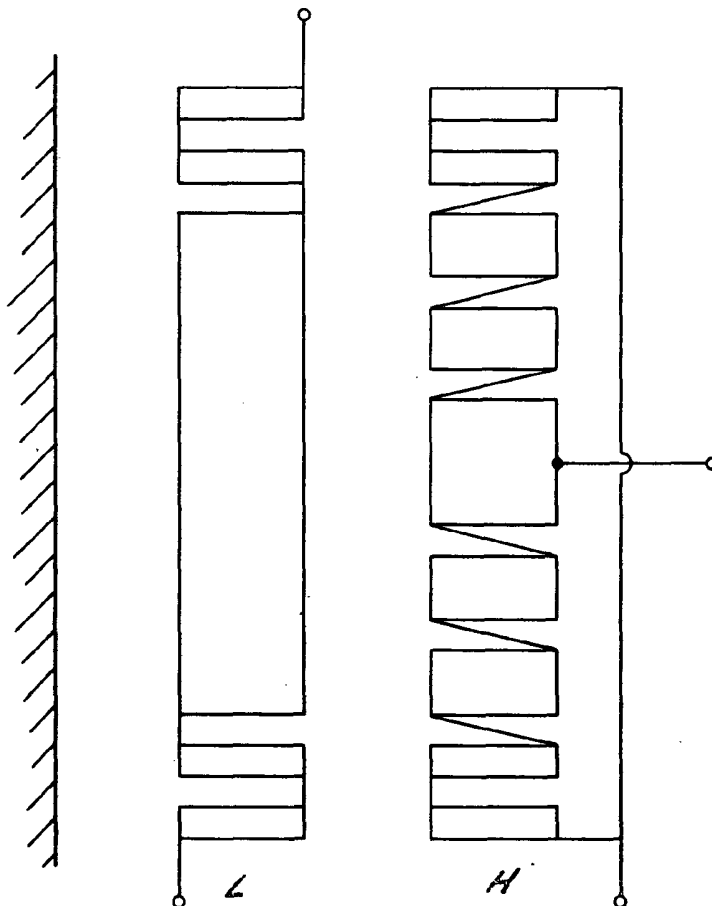


FIG. 2.

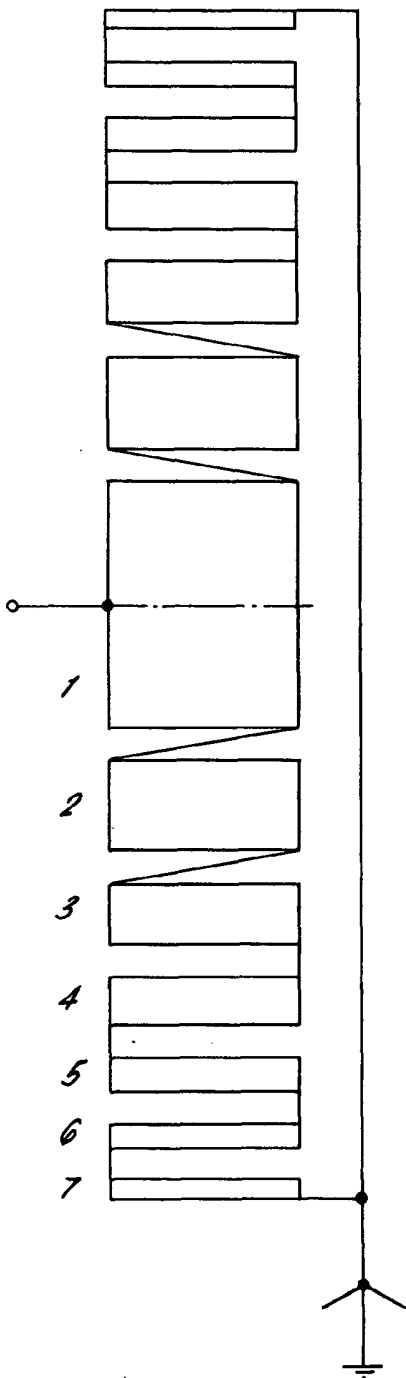


FIG. 3.

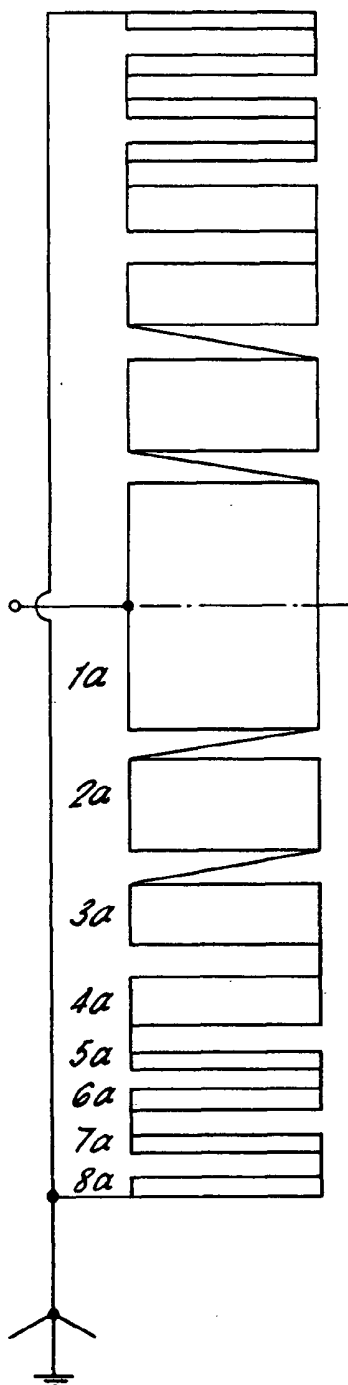


FIG. 4.

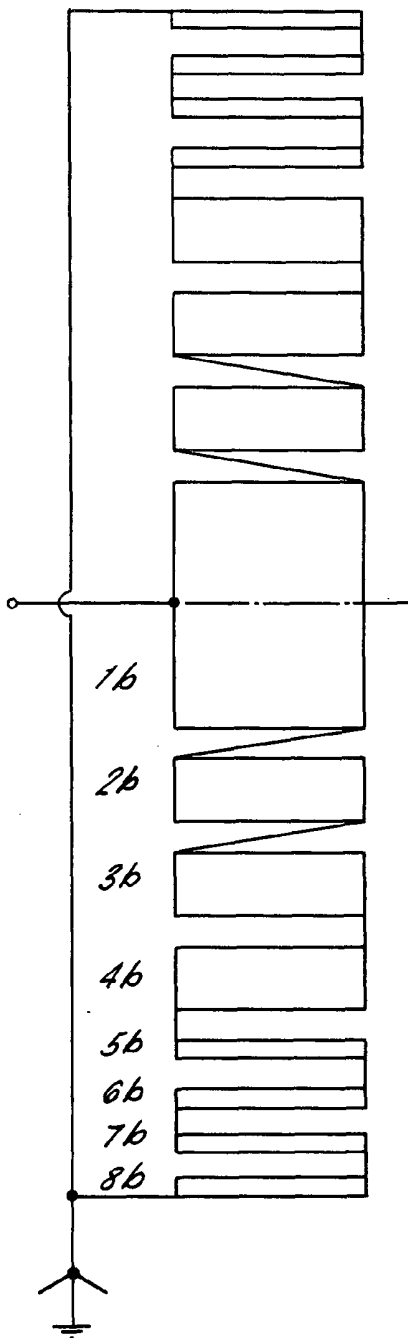


FIG. 5.

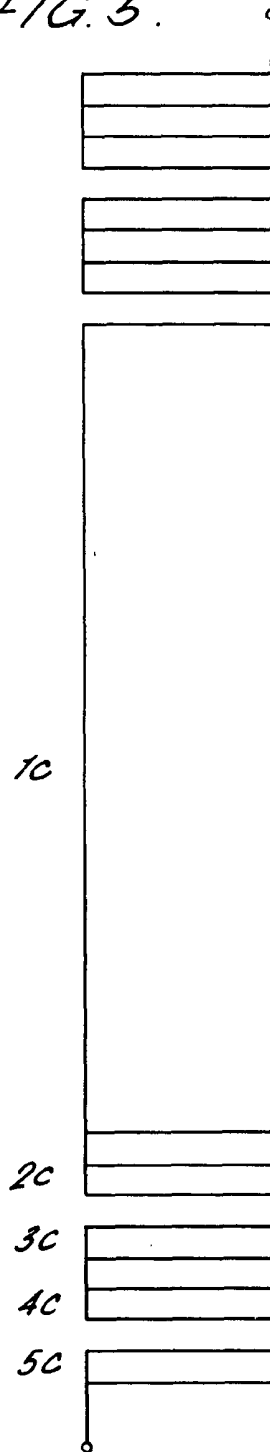


FIG. 6.

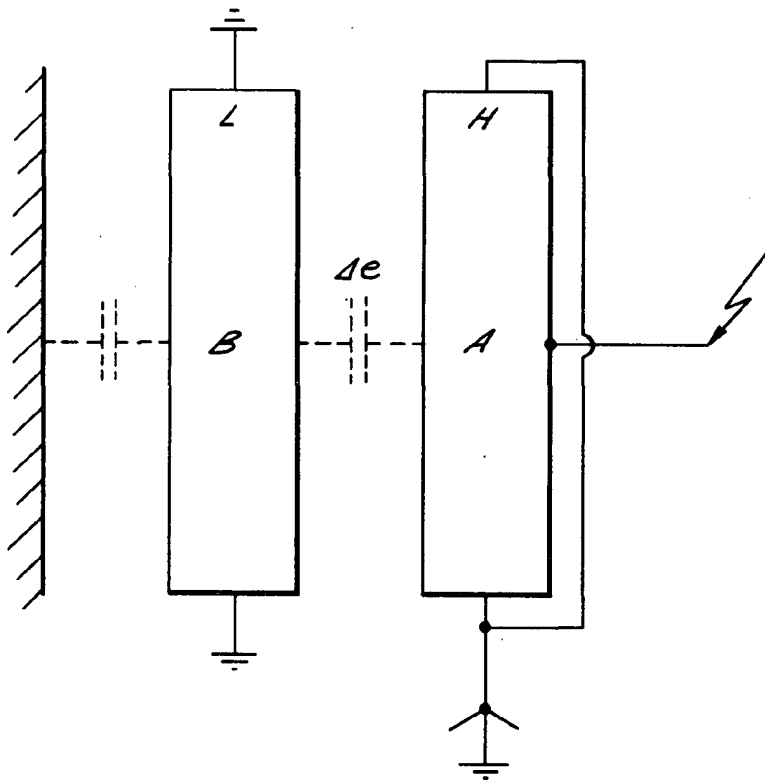


FIG. 7.

