



NORGE

(12) PATENT

(19) NO

(51) Int Cl⁷

(11) 319424

H 01 F 29/00

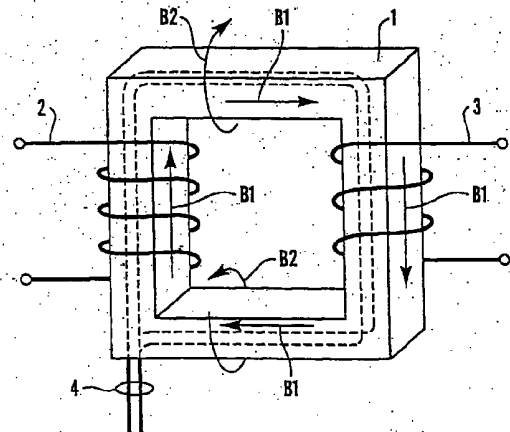
(13) B1

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20015689	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	2001.11.21	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	2001.11.21	(30)	Prioritet	Ingen
(41)	Alm.tilgj	2003.05.22			
(45)	Meddelt	2005.08.08			
(73)	Innehaver	Magtech AS , Postboks 462, 1502 MOSS, NO			
(72)	Oppfinner	Espen Haugs, Texneslia 6, 1591 SPERREBOTN, NO			
		Frank Strand, Aasmund O Vinjes veg 15, 1511 MOSS, NO			
(74)	Fullmektig	Onsagers AS , Postboks 6963 St Olavs Plass, 0130 OSLO, NO			

(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte for styrbar omforming av en primær vekselstrøm/-spenning til en sekundær vekselstrøm/-spenning			
(56)	Anførte publikasjoner	NO 20002652 (pl § 2.2.2), NO B 146219, WO A1 94/11891, WO 98/31024, US 4210859			
(57)	Sammendrag				

Styrbar transformatoranordning omfattende et legeme (1) av et magnetisk materiale, en primærvikling (4) viklet om legemet (1) om en første akse, en sekundær vikling (2) viklet om legemet (1) om en andre akse rettvisklet til den første akse, og en styrevikling (3) viklet om legemet (1) og en tredje akse, sammenfallende med den andre aksa.



Den foreliggende oppfinnelse vedrører fremgangsmåter for styrbar omforming av en primær vekselstrøm/-spenning til en sekundær vekselstrøm/-spenning.

5 I fremgangsmåtene anvender man en styrbar transformatoranordning omfattende et legeme av et magnetisk materiale, en primærvikling viklet om legemet om en første akse, en sekundær vikling viklet om legemet om en andre akse rettvinklet til den første akse, og en styrevikling viklet om legemet om en tredje akse, sammenfallende med den andre aksen.

10 Transformatoranordningen er fortrinnsvis konstruert som en hul magnetiserbar kjerne med et indre viklingsrom for indre viklinger og et ytre viklingsrom for ytre viklinger. I en foretrukket utførelse omfatter den 3 viklinger, en primærvikling i det ytre viklingsrommet med tilhørende styrevikling i det indre viklerommet, og en sekundærvikling i det indre viklerommet. Viklingene i det ytre viklerommet og viklingene i det indre viklerommet er orientert vinkelrett på hverandre i rommet og danner dermed magnetfelter som er ortogonale. Selvfølgelig kan det indre 15 viklerommet huse primærviklingen og det ytre viklerommet huse sekundærviklingen og styreviklingen. Frekvensomformerer er spesielt, men ikke på begrensende måte tiltenkt for anvendelse i MVA-området.

Oppfinnelsen er en videreutvikling av anordningen angitt i PCT/NO01/00217 som herved tas inn i den foreliggende beskrivelsen i sin helhet.

20 En slik transformator er i og for seg tidligere kjent fra US patent 4,210,859 av Apr. 18, 1978. Imidlertid viser den kjente løsningen følgende ulemper.

I. I publikasjonen beskrives en anordning utviklet med bakgrunn i en test utført på en feritt pottekjerne med dimensjoner 18x11 mm, og med 25 strømnivåer i mA området. Feritt egner seg imidlertid ikke for anvendelse ved store effekter, bl.a. på grunn av de store kostnadene. Dette skyldes det faktum at størrelsen på en ferittkjerne er begrenset rent produksjonsteknisk og at større effekter kan overføres ved at en øker frekvensen på spenningen som skal omformes, men dette fører igjen til 30 komplisert og kostbar kraftelektronikk. Oppfinnelsen retter seg således mot anvendelse av transformatorblikk, som har spesielle egenskaper angående permeabilitet, idet disse egenskapene anvendes i oppfinnelsen. Fig. 6f viser den lineære delen av magnetiseringskurven for et vanlig handelsvare transformatorblikk. Det vil være en fordel at 35 magnetiseringskurven er den samme for alle retninger i blikket. Det betyr anvendelse av ikke-retningsorientertblikk uten at det skal oppfattes som en begrensning i anvendelsen idet det for noen anvendelser kan

være fordelaktig med et retningsorientert blikk.

II. Fig 10 i det amerikanske patentet viser koblingsskjema for en variabel transformatorløsning med 4 viklinger, en primær arbeidsvikling, en sekundær arbeidsvikling og to styreviklinger, en for hver arbeidsvikling. Virkemåten går ut på at en variabel DC strøm i begge styreviklingene vil forårsake en overføring av AC spenning fra primær til sekundærviklingen som er anordnet rettvisklet til den primære viklingen. I praksis vil det ikke være realistisk å bygge en slik transformator og særlig hvis anvendelsesområdet ligger utenfor mA området. En DC strøm i styreviklingene vil dreie domenene i en uheldig retning for kobling i den ene halvperioden av primærspenningen og forårsake overharmoniske i sekundærspenningen.

Fig. 6c til 6d illustrerer dette. I fig. 6c er domenene rettet etter primærspenningen og vil variere grovt sett som i figuren, faseforskyvningen til magnetiseringen i forhold til primærspenningen er her ikke tatt med for å forenkle fremstillingen, (magnetiseringsstrømmen ligger 90 grader etter spenningen). Magnetiseringen fra primærviklingen blir en sinusformet domeneendring i en fast retning i materialet gitt ved primærviklingens retning i rommet.

$$M_{kvp} = K_{vp} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad 1)$$

Det er nå ikke mulig å aktivere sekundærviklingen uten at en styrestrøm er påtrykket utenfra i styreviklingen eller sekundærviklingen og dreier magnetiseringen fra primærviklingen slik at feltet også gjennomløper sekundærviklingen. Lengden på pilen illustrerer magnetiseringsnivået eller feltstyrken og pilens retning domenes retning.

I fig. 6d innføres et styrefelt M_{kdc} som summerer seg med primærfeltet og setter opp en magnetisering som vist. Siden et sinusformet felt summeres med et konstant felt vil summen endre seg sinusformet i retningen og sinusformet i feltstyrke. Den forenklede skissen 9d viser vi at vi får en domeneendring som blir et produkt av to sinusfunksjoner. Både retning og feltstyrke endres sinusformet.

Den induerte spenningen i sekundærviklingen vil være gitt ved to funksjoner. Det at domenene endrer retning vil gi en induksjon og det at domenene endrer størrelse vil gi en tilleggsinduksjon.

5 Retningsavhengigheten er gitt ved

$$M_{kr} = M_{kvp} + M_{kdc} \quad 2)$$

10 Feltstyrken er gitt ved 1), og produktet av disse to domeneendringene gir

$$M_{kp} = M_{kr} \cdot M_{kvp} \quad 3)$$

15 Forenkler $M_{kp} = K_{vp2} \cdot \sin^2(\omega \cdot t)$ 4)

Ser bort fra konstant ledd

$$V_s = K_2 \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t) \quad 5)$$

20 Dette viser en frekvensdobling, og viser at en DC magnetisering ikke vil gi det tilsiktede resultat. En lastendring vil også forårsake en fasedreining av sekundærspenningen i forhold til sekundærspenningen, slik at i en slik transformator får vi både en faseforskyvning og en frekvensendring.

25 III. Problemet som oppstår for å kunne realisere en realistisk løsning for en variabel effekttransformator er at styreviklingen på primærsiden er transformatorisk koblet til primærviklingen og vil være under spenning fra primærsiden, og dermed vil det være svært vanskelig å regulere uten omfattende filtrering.

35 IV. Det amerikanske patentet viser også en transformatorkobling (fig. 18) hvor to og to viklinger med rettviklede akser er koblet i serie med hverandre. Publikasjonen angir at en kan øke kjernens utnyttelse ved å bruke en slik kobling. Men dette er ikke riktig fordi magnetfeltene for viklingene summeres vektorielt og en vil ikke oppnå den beskrevne effekt.

- V. Det amerikanske patentet beskriver også (fig. 20) en variabel forsinkelse mellom inn og utspenningen i et tilfelle hvor begge styreviklingene fører strøm og er koblet i serie med hverandre. Dette dreier seg om fasevridning pga at feltene gjennom primær og sekundærviklingen er forskjøvet via domeneretningene. Slik som styreviklingene er koblet vil det ikke fungere for en krafttransformator brukt som fasevender, fordi koblingen fra primærviklingen vil påvirke styrestrømmen i en slik grad at en i prinsippet vil få samme kobling som nevnt tidligere (fig 18).
- VI. Det gjennomgående problemet med det amerikanske patentet er at man ikke har fullstendig oversikt over hvordan manipuleringen av domenene med en DC styrestrøm virker på magnetiseringen i forhold til koblingen mellom to ortogonale viklinger.

For å overvinne disse ulempene har oppfinnelsen følgende trekk.

- A. Ifølge oppfinnelsen styres magnetiseringen som en pulset DC eller pulset AC styrestrøm i en sekundær styrevikling. Ved å styre magnetiseringen i takt med økende spenning fra primærviklingen med en AC styrestrøm i styreviklingen slik som vist på fig. 6e vil retningen til domenene holdes konstant på f eks 30 grader og kun feltstyrken til magnetiseringen vil endres slik at vi unngår en endring både i styrke og retning samtidig.
- B. For den magnetiske kretsen, ifølge oppfinnelsen, vil dette oppnås ved en nøyaktig dosering av styrestrømmen i forhold til primærviklingens magnetiseringsstrøm og amperevindingsbalanse med sekundærviklingen. I en vanlig transformator som illustrert i fig. 6g vil magnetiseringsstrømmen satt opp av primærviklingen være gitt ved den fluks som er nødvendig for å generere en motindusert spenning E_p ifølge Faradays lov.

$$\bar{I}_p = \frac{\bar{V}_p - \bar{E}_p}{R_p} \quad 6)$$

E_p : Spenning indusert i primærviklingen
 V_p : Påtrykket spenning
 R_p : Primærviklingens resistans
 I_p : Primærstrøm

$$\bar{I}_p = \bar{I}_{fe} + \bar{I}_m \quad 7)$$

I det en ser bort fra lekkfelter er den felles fluks for primær og sekundærvikling gitt ved

$$\Phi_m = \frac{N_p \cdot I_m}{R_{core}} \quad 7)$$

Np: Primærviklingens tørtall
 Im: Magnetiseringsstrømmen
 Rcore: Reluktansen i kjernen

Ved åpen sekundærkrets er det kun magnetiseringsstrøm i primærviklingen. I overensstemmelse med Lenz' lov vil emf = elektromotorisk spenning som induseres i sekundærviklingen være i en slik retning at den vil motvirke den fluksforandring som skapte den. Når sekundærviklingen kobles til en last (bryteren i fig. 6g lukkes) så vil den øyeblikkelig (i det transiente forløpet) settes opp sin egen magnetomotoriske kraft = mmf eller fluks som vil være i motsatt retning av mmf fra primærviklingen. Dette er vist i fig. 6g. I et øyeblikk vil fluksen i kjernen minke til

$$\Phi_m = \frac{N_p \cdot i_m - N_s \cdot i_s}{R_{core}} \quad 8)$$

her er i_s sekundærstrømmen og N_s antall tørt i sekundærviklingen. Fluksminkningen vil føre til at den induerte spenning i primærviklingen minker og dermed øker ifølge ligning 6) primærstrømmen. Denne økte primærstrøm som er laststrømkomponenten i primærstrømmen adderer sin mmf vektorielt til magnetiseringskomponenten $N_p \cdot i_m$ og forårsaker en økning i primærfluksen

$$\Phi_m = \frac{N_p \cdot i_m + N_p \cdot i_{p, last} - N_s \cdot i_s}{R_{core}} \quad 9)$$

Primærstrømmen øker inntil $N_p \cdot I_{p, last} = N_s \cdot I_s$ da er Φ_m og E_p på samme nivå som før bryteren ble lukket. I stasjonær drift vil vi ha en strøm i primærviklingen

$$\vec{I}_p = \vec{I}_{fe} + \vec{I}_m + I_{p, last} \quad 10)$$

Når bryteren åpner vil det samme forløp gjenta seg i motsatt retning. Det som er interessant å legge merke til er at i det øyeblikket som bryteren lukkes så har vi faktisk en sekundær mmf som setter opp en magnetisering som er ortogonal på den opprinnelige magnetiseringen fra primærviklingen. Primærviklingen svarer med en tilsvarende magnetiserings mmf motsatt rettet til sekundærviklingens mmf og ortogonal til den opprinnelige magnetiseringen. Vi ser med dette at Lenz' lov opprettholder en balanse i fluksen slik at enhver lastendring på sekundærsiden svares med en tilsvarende endring på primærsiden slik at balanse oppnås, slik at i en stasjonær tilstand vil vi kun ha magnetiseringsfluksen som løper i kjernen og er årsaken til

transformatorvirkningen. Denne beskrivelsen gjelder for en vanlig transformator med primær og sekundærvikling i samme viklerom.

- 5 I følge oppfinnelsen vil vi sette opp en magnetiseringsstrøm i styreviklingen som følger magnetiseringsstrømmen fra primærviklingen i amplitude, for å kunne etablere en transformatorisk kobling mellom primær og sekundærviklingen som ikke gir uønskede frekvenser i sekundærspenningen. Uten denne magnetiseringen vil vi ikke kunne aktivere transformatorisk kobling til sekundærviklingen. Det vil være en viss kobling pga viklingens utstrekning i rommet som vil gi en indusert komponent og også en annen indusert komponent pga ulineariteter i materialet, men denne koblingen vil ikke kunne gi den transformatoriske effekt som vi ønsker.
- 10
- 15 Vi har nå etablert en magnetisering i kjernen som gir kobling til sekundærsiden. Vi vil således ha to magnetiseringsstrømmer som er ortogonale og summeres slik at domeneretningen endres lineært i en retning som har en vinkel til sekundærviklingen og hvor indusert spenning i sekundærviklingen vil være avhengig av denne vinkelens størrelse.
- 20
- 25 Siden summen av magnetiseringsstrømmene er årsaken til transformatorvirkningen så ønsker vi å holde den styrte delen av magnetiseringsstrømmen i sekundærkretsen upåvirket av lastendringer i sekundærkretsen, dvs at strømmen i styreviklingen holdes konstant under en lastendring. Ved å innføre en passende induktans i styreviklingen f. eks ved bruk av den kjente teknikken fra PCT/NO01/00217 vil strømmen i styreviklingen oppfattes som konstant under domeneendringer som forårsakes av last endringer i sekundærkretsen. Vi skal være klar over at ved at transformatorvirkningen nå er tilstede vil også styreviklingen være under induksjon fra primærspenningen. Styreviklingen er også direkte transformatorisk koblet til sekundærviklingen og en styrespenning i styreviklingen vil transformeres til sekundærviklingen. Samtidig vil nå strøm i sekundærviklingen påvirke domenevridningen og faseforholdet mellom primær og sekundærvikling. For å bøte på dette forhold må alle strømmer i systemet monitoreres og styreviklingen kompensere for domeneendringer satt opp av sekundærviklingen. For å unngå at effekt går fra styrekretsen til sekundærkretsen og gjensidig påvirkning vil vi introdusere som før nevnt en induktans i styrekretsen som bevirker en tilnærmet konstant strøm i styreviklingen og gir et tilstrekkelig spenningsfall mellom styreviklingen og sekundærviklingen. Den transformerte spenningen i sekundærviklingen fra primærsiden og den transformerte spenningen i sekundærviklingen fra styreviklingen vil være i fase eller i motfase ved at vi i utgangspunktet har benyttet en styrespenning som skal være i fase med primærspenningen for å få til en retningskonstant domeneendring. Det er også viktig å være klar over at kjernen resettes ved hver nullgjennomgang i spenningene. Så ved å fjerne styrestrømmen vil magnetiseringsvinkelen mellom viklingene minke pga av sekundærstrømmen minker og etter noen få perioder er vi tilbake til minimal kobling.
- 30
- 35
- 40
- 45

Vi kan konkludere med følgende:

- 1) Styrespenningen er i fase eller motfase til primærspenningen for å oppnå forvrengningsfri transformatorisk kobling.
- 2) Gjennom en langsom endring i amplituden til styrespenningen kan man styre retningen til domeneendringen eller magnetiseringsvinkelen mellom primær og sekundærvikling og derigjennom spenningsoverføringen.
- 3) Gjennom innføring av en induktans i styrekretsen vil man kunne dempe virkningen av den direkte transformatoriske koblingen mellom sekundær og styrevikling.
- 4) Sekundærviklingen vil fungere som en styrevikling ved at mmf fra den adderer seg med mmf fra styreviklingen og påvirker magnetiseringsvinkelen mellom primær og sekundærviklingen.
- 5) Det er i utgangspunktet ikke mulig å isolere denne virkningen fra sekundærviklingen og vi vil få en variabel fasedreining mellom primær og sekundær etter lastforholdene. Imidlertid kan vi kompensere for dette ved å benytte den kjente teknikken fra PCT/NO01/00217 til å kompensere fasedreiningen.
- 6) Siden primærviklingen øyeblikkelig vil svare enhver lastendring fra sekundærsiden ifølge Lentz' lov så vil vi oppnå den ønskede regulerbare transformatorvirkning.

C. Transformatoren som anvendes i fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen, omfatter i en foretrukket utførelse kun en styrevikling som er plassert i viklerommet til sekundærviklingen. En styrevikling i det primære viklerommet, er i prinsipp ikke nødvendig siden primærviklingen vil dreie domenene i sin retning og også dreie eventuelle domener satt opp fra en strøm i sekundærviklingen til samme retning. For å få transformatorisk kobling mellom de ortogonale viklingene så må domenene dreies som nevnt foran slik at det effektivt blir en magnetisering som er i en gunstig retning for transformatorisk kobling mellom primær og sekundærviklingen. Det beste som kan oppnås er en dreining på 45 grader for domenene. (Sett på en annen måte så vrir vi sekundærviklingen i forhold til primærviklingen slik at noe av feltet fra primærviklingen gjennomløper sekundærviklingen.)

D. For å oppnå transformatorvirkning uten forvrengning av primærspenningen anvender man ifølge oppfinnelsen en (AC) vekselspenning på styreviklingen som tidligere nevnt ligger i samme viklerom som sekundærviklingen. Når strøm begynner å løpe i styreviklingen så vil denne strømmen forsterke koblingen med primærsiden ved at domenene hjelpes i riktig retning av feltet fra sekundærstrømmen og feltet fra styrestrømmen.

E. Styrespenningen i transformatoren skal i en foretrukket utførelse være i fase med eller faseforskjøvet 180 grader i forhold til spenningen på primærsiden for å få til en forvrengningsfri transformering. Strømmen i styreviklingen gjøres regulerbar slik at en vil kunne styre koblingen og den elektriske vinkelen mellom viklingene ved rettingen av domenene.

- F. Transformatoranordningen kan også med fordel anvendes som styrt likeretter eller frekvensomformer. For å oppnå en slik styrt likerettervirkning fra denne transformatoren, kan to metoder benyttes.
- 5 A. Transformatorens sekundærside kobles i et midtpunkt koblet diodelikeretter topologi. En AC spenning på styreviklingen vil koble sekundærviklingen til primærviklingen så lenge den ligger inne. Ved å bruke to slike transformatorer så kan en lage en frekvensomformer for motorstyring. Se fig 48. Her vil vi ha en likeretting som for en vanlig transformator gjennom T3 når styreviklingen til T3 er aktivert. Under aktiveringen av T3 er styringen til T4 slått av og det er ikke kobling mellom de to kretsene, og det er høy impedans i sekundærviklingene.
- 10 B. Vi vil nå ha en positiv likespenning over lasten U1. Når vi slår av styrespenning for T3 og slå på styrespenning for T4 så vil vi få en likeretting hvor spenningen over U1 er negativ. Ved å variere lengden på den negative og den positive likeretter perioden vil vi ha en variabel frekvensstyring fra 0 til 50 Hz.
- 15 C. Den andre metoden, se fig 49, går ut på at en alternerende AC spenning på styreviklingene til de to transformatorene MS1 og MS2, Vk1 (T1) og Vk2 (T5) kobler primær og sekundær sammen etter et spesielt mønster. Se fig 50. Vp er primærspenningen som er felles for de to transformatorene.
- 20 Koblingforløpet er illustrert i fig 50.
- 25 Vk1 (T1) er koblet inn under første del av den positive fasen og vi har transformatorisk kobling til Vs1 (T2). Vi ser at den er litt forsinket i forhold til nullgjennomgangen til Vs1 (T2). Vk2 (T5) og spenningen Vs2 (T6) kobles inn i kretsen ved nullgjennomgangen. Den er i fase med spenningen Vs1 (T2) og vi får en sirkulerende strøm gjennom S1 (T3) og S2 (T4) som bidrar til å resette S1 (T3) idet Vk1 (T1) går av. S2 (T4) resettes i neste omgang.
- 30

35 Når domener endrer størrelse og retning vil legemets magnetisering endres likedan og det induseres spenninger i viklinger hvor domenene er under en vinkel som ikke er ortogonal på viklingene.

Den transformatoriske koblingen mellom primær og sekundærsiden vil være som for en vanlig transformator såfremt transformeringen skjer i det lineære området av magnetiseringskurven og at retningsavhengigheten til permeabiliteten i blikket er tilnærmet symmetrisk og styrestrømmen er i fase med primærspenningen og av en slik styrke at retningen til domenene ikke endres under primærspenningsforløpet.

40

Når det gjelder den kjente teknikken fra PCT/NO01/00217, vedrører oppfinnelsen en ny anordning idet den primære og den sekundære viklingen ikke har parallelle, men rettviklede viklingsaksér.

Fremgangsmåtene ifølge oppfinnelsen er angitt i de vedlagte patentkrav 1-5.

Oppfinnelsen vil nå beskrives i detalj med henvisning til tegningene.

Fig. 1 og 2 viser det grunnleggende prinsipp for oppfinnelsen og en første utførelse av samme.

- 5 Figur 3 viser arealene for de forskjellige magnetiske fluksene som inngår i oppfinnelsen.

Figur 4 viser en første ekvivalent krets for anordningen anvendt i oppfinnelsen.

Figurene 5 og 6 viser magnetiseringskurver samt domener for det magnetiske materialet i anordningen anvendt i oppfinnelsen.

- 10 Figur 7 viser flukstettheter for arbeids- og styreviklingen.

Figur 8 viser en andre utførelse av oppfinnelsen.

Figur 9 viser den samme andre utførelse av oppfinnelsen.

Figurene 10 og 11 viser den andre utførelse i snitt.

- 15 Figurene 12-15 viser forskjellige utførelser av magnetfeltkoblere i nevnte andre utførelse av oppfinnelsen.

Figurene 16-29 viser forskjellige utførelser av rørlegemene i den andre utførelse av oppfinnelsen.

Figurene 30-35 viser forskjellige aspekter ved magnetfeltkoblere for anvendelse i den andre utførelse av oppfinnelsen.

- 20 Figur 36 viser en sammensatt anordning for anvendelse i oppfinnelsen.

Figurene 37 og 38 viser en tredje utførelsesform av oppfinnelsen.

Figur 39-41 viser spesielle utførelser av magnetfeltkoblere for anvendelse i den tredje utførelse av oppfinnelsen.

- 25 Figur 42 viser den tredje utførelse av oppfinnelsen tilpasset for anvendelse som transformator.

Figurene 43 og 44 viser den fjerde utførelse av oppfinnelsen tilpasset et pulverbasert magnetisk materiale, og dermed uten magnetfeltkoblere.

Figurene 44 og 45 viser snitt langslinjene VI-VI og V-V i figur 42.

Figurene 46 og 47 viser en kjerne tilpasset et pulverbasert magnetisk materiale, og dermed uten magnetfeltkoblere.

Figur 48 illustrerer en fremgangsmåte for likeretting ifølge oppfinnelsen.

Figurene 49 og 50 illustrerer en fremgangsmåte for likeretting ifølge oppfinnelsen.

- 5 Oppfinnelsen skal nå på prinsipielt plan forklares i tilknytning til Fig. 1a og 1b.

I hele fremstillingen vil pilene knyttet til magnetisk felt og fluks hovedsakelig angi retningene for disse inne i det magnetiske materialet. Pilene er tegnet på utsiden for klarhetens skyld.

- Figur 1a viser en anordning omfattende et legeme 1 av et magnetiserbart materiale som danner en lukket magnetisk krets. Dette magnetiserbare legemet eller kjerne 1 kan være ringformet eller ha en annen egnet utforming. Rundt legemet 1 er det viklet en første arbeidsvikling 2, idet retningen til det magnetiske felt H1 (tilsvarende retningen til flukstettheten B1) som vil oppstå når arbeidsviklingen 2 eksiteres vil følge den magnetiske kretsen. Arbeidsviklingen 2 tilsvarer en vikling i en vanlig transformator. Anordningen omfatter i en utførelsesform en andre arbeidsvikling 3 som på samme måte som arbeidsviklingen 2 er viklet rundt det magnetiserbare legemet 1 og som således vil tilveiebringe et magnetisk felt som forløper hovedsakelig langs legemet 1 (dvs. parallell med H1, B1). Anordningen omfatter til slutt en tredje arbeidsvikling 4 som i en foretrukket utførelse av oppfinnelsen forløper innvendig langs det magnetiske legemet 1. Det magnetiske feltet H2 (og således flukstettheten B2) som oppstår når den tredje arbeidsviklingen 4 eksiteres vil ha en retning som er rettvinklet til retningen for feltene i den første og den andre arbeidsvikling (retning til H1, B1).

- Ifølge en foretrukket utførelse utgjør den tredje arbeidsvikling 4 en primærvikling, den første arbeidsvikling 2 sekundærviklingen og den andre arbeidsviklingen 3 styreviklingen. I de topologiene som anses foretrukket i den foreliggende beskrivelsen er imidlertid slik at vindingene i arbeidsviklingen følger feltretningen fra styrefeltet og vindingene i styreviklingen følger feltretningen til arbeidsfeltet.

- Figur 1b-1g viser definisjonen av aksene og retningen for de forskjellige viklingene og for det magnetiske legemet. Når det gjelder viklingene vil vi kalle akse den normale til den flate som begrenses av hver vinding. Den sekundære vikling 2 vil ha en akse A2, styreviklingen 3 en akse A3 og den primære viklingen 4 en akse A4.

- Når det gjelder det magnetiserbare legemet 1 vil den langsgående retningen variere med hensyn på utformingen. Hvis legemet er langsstrakt vil den langsgående retningen A1 samsvare med legemets langsgående akse. Hvis det magnetiske legemet er firkantet som vist i figur 1a, vil man kunne definere en langsgående

retning A1 for hvert ben i firkanten. I tilfellet legemet er rørformet vil den langsgående retningen A1 være rørets akse, og for et ringformet legeme vil den langsgående retningen A1 følge ringens omkrets.

- Oppfinnelsen baserer seg på prinsippet å rette domenene i kjernen i det
- 5 magnetiserbare legemet 1 i forhold til et første magnetisk felt H2 ved å endre et andre magnetisk felt H1 som er rettvinklet til det første. Således for eksempel kan feltet H2 defineres som arbeidsfelt og styre legemets 1. domeneretning (og således oppførselen av arbeidsfeltet H2) ved hjelp av feltet H1 (heretter kalt styrefelt H1). Dette vil nå forklare i større detalj.
- 10 Magnetiseringen i kjernen er retningsbestemt av de kilder til feltet som påvirker domenene i materialet. Vanligvis er viklerommet, det vil si den delen av kjernen som rommer viklingene felles for primær og sekundærvikling. Og domeneretning og magnetisering blir da felles. I en foretrukket utførelse av oppfinnelsen er viklerommene ortogonale slik at feltene fra de to viklingene er ortogonale og
- 15 følgelig er der ingen magnetisk kobling mellom viklingene så lenge det ikke går strøm i styreviklingen og sekundærviklingen.

- I fig 1a, og 2a er som nevnt før vikling 4 primærvikling og vikling 2 sekundærvikling mens vikling 3 er styrevikling. Fig 4 viser A1 som fluksarealet for sekundærvikling 2 og styrevikling 3, vi kan kalle dette arealet for arealet til indre
- 20 viklingsrom ivr, og A2 som fluksarealet for primærviklingen 4, eller arealet til det ytre viklingsrom yvr. Avhengig av hvilken omsetning og kobling man ønsker vil en kunne dimensjonere arealene like eller ulike.

- Fig. 4 viser et skjema for transformatoren hvor viklingene er plassert med
- 25 parallelle og rettvinklede akser, og hvor magnetiseringsretningen også er representert.

- For å få til en transformatorisk kobling mellom de to ortogonale viklingene så må domenene og dermed magnetiseringen rettes slik at vinkelen mellom domenene og de viklinger som skal påvirkes er forskjellig fra 90 grader. Det beste som kan oppnås med kobling mellom to ortogonale viklinger er å rette magnetiseringen i
- 30 legemet 1 ved hjelp av en styrevikling til 45 grader. Det vil si at med likt antall vindinger på primær og sekundærviklingen og samme fluks areal vil man maksimalt kunne oppnå ca 70 % av spenningen transformert siden sinus til 45 grader er 0,707 og er den del av fluksarealet en vikling dreid i 45 grader i forhold til en kildevikling vil dekke.

- 35 Kjernen til det som foregår illustreres i fig. 5 og fig. 6.

Fig. 5 illustrerer magnetiseringskurvene for hele materiale i det magnetiserbare legemet 1 og domeneendring under innflytelse av H1 feltet fra sekundærviklingen 2.

Fig. 6 illustrerer magnetiseringskurvene for hele materialet i det magnetiserbare legemet 1 og domeneendringen under innflytelse av H2 feltet i retningen til viklingen 4.

Fig. 7a og 7b viser flukstetthetene B1 (hvor feltet H1 er satt opp av sekundærviklingen), og B2 (tilsvarende primærstrømmen). Ellipsen viser metningsgrensen for B-feltene, dvs at når B-feltet kommer opp til grensen vil dette føre til at materialet for det magnetiserbare legemet 1 når metning. Utformingen av ellipsens akser vil være gitt av feltlengden og permeabiliteten for de to feltene B1 (H1) og B2 (H2) i kjernematerialet for det magnetiserbare legemet 1.

Ved å la aksene i figur 7 uttrykke MMK fordelingen eller H-feltfordelingen, kan en se et bilde av den magnetomotoriske kraft fra de to strømmene I1 og I2. Arbeidsområdet for transformatoren vil være innenfor metningsgrensen, dette er spesielt viktig å være oppmerksom på ved dimensjonering av transformatoren for magnetiseringsfeltene i en kobling mellom to ortogonale viklinger.

Figur 8 viser en andre utførelse av oppfinnelsen skjematisk.

Fig. 9 viser samme utførelsesform av en magnetisk påvirkbar kobler som utrunder en foretrukket utførelse av transformatoren, der fig. 9a viser den sammensatte kobleren og fig. 9b viser kobleren sett fra enden.

Figur 10 viser et snitt langs linjen II i figur 9b.

Som vist for eksempel på figur 10 dannes det magnetiserbare legemet 1 av bl.a. to parallelle rør 6 og 7 formet av magnetiserbart materiale. En elektrisk isolert leder 8 (fig. 9a, 10) er ført kontinuerlig i en bane gjennom det første røret 6 og det andre røret 7 N antall ganger, der $N = 1, \dots, r$, og danner den primære arbeidsviklingen 2 idet lederen 8 løper i motsatt retning gjennom de to rørene 6 og 7, slik det tydelig vises på fig. 10. Selv om det kun er vist at lederen 8 løper gjennom det første røret 6 og det andre røret 7 to ganger, skal det umiddelbart forstås at det er mulig å la lederen 8 løpe gjennom respektive rør enten kun én gang eller eventuelt flere ganger (som antydning ved at viklingstallet N kan variere fra 0 til r), slik at det dannes et magnetisk felt H1 i de parallelle rørene 6 og 7 når lederen eksiteres. En kombinert styre- og sekundærvikling 4, 4' som utgjøres av lederen 9 er viklet rundt henholdsvis det første røret og det andre røret (6 hhv. 7), og slik at retningen for feltet H2 (B2) som dannes på nevnte rør når viklingen 4 eksiteres vil være motsatt rettet, slik som angitt med pilene for feltet B2 (H2) figur 8. Magnetfeltkoblere 10,

11 er anordnet ved respektive rørs 6, 7 ender for å koble rørene feltmessig til hverandre i en sløyfe. Lederen 8 vil kunne føre en laststrøm I_1 (fig. 9a). Rørenes 6, 7 lengde og diameter vil være bestemt ut fra effekten og spenningen som skal kobles. Antall tårn N_1 på arbeidsviklingen 2 vil være bestemmende av sperreevne
 5 for spenning og tverrsnittsareal for størrelse på arbeidsfluksen Φ_2 . Antall tårn N_2 på styreviklingen 4 bestemmes av omformingsforholdet som er nødvendig for den spesielle transformatoren.

En annen mulighet er å innrette viklingen 4 som primærvikling og viklingen 2 som styrings- og sekundærvikling.

10 Figur 11 viser en utførelse hvor den primære og den sekundære arbeidsviklinger har byttet plass. Løsningen på fig. 11 avviker fra det som er vist på fig. 9 og 10 i realitet kun ved at det i stedet for en enkelt isolert leder 8 som er ført gjennom rørene 6 og 7 anvendes to separate motsatt rettede ledere, såkalt sekundærledere 8 og styreledere 8' for derved å oppnå en spenningsomformerfunksjon ved den
 15 magnetisk påvirkbare anordning. Oppbygningen tilsvare i utgangspunkt det som er vist på fig. 8, 9 og 10. Det magnetiserbare legemet 1 omfatter to parallelle rør 6 og 7. En elektrisk isolert sekundær leder 8 er ført kontinuerlig i en bane gjennom det første røret 6 og det andre røret 7 N_1 antall ganger, der $N_1 = 1, \dots, r$, idet lederen 8 løper i motsatt retning gjennom de to rørene 6 og 7. En elektrisk isolert
 20 styringsleder 8' er ført kontinuerlig i en bane gjennom det første røret 6 og det andre røret 7 N_1' antall ganger, der $N_1' = 1, \dots, r$, idet lederen 8' løper i motsatt retning i forhold til lederen 8 gjennom de to rørene 6 og 7. Minst en primær vikling 4 og 4' er viklet rundt henholdsvis det første røret 6 og det andre røret 7, slik at feltretningen som dannes på nevnte rør er motsatt rettet. Slik som for
 25 utførelsesformen ifølge fig. 8, 9 og 10 er magnetfeltkoblerne 10, 11 anordnet ved respektive rørs (6, 7) ende for å koble rørene 6 og 7 feltmessig til hverandre i en sløyfe, og derved danne det magnetiserbare legemet 1. Selv om lederen 8 og lederen 8' for enkelhets skyld på tegningene er vist med kun en føring gjennom rørene 6 og 7, vil det umiddelbart forstås at både lederen 8 og lederen 8' vil kunne
 30 føres gjennom rørene 6 og 7 henholdsvis N_1 og N_1' antall ganger. Rørenes 6 og 7 lengde og diameter vil være bestemt ut fra effekten og spenningen som skal omformes. For en transformator med et omsetningsforhold ($N_1:N_1'$) lik 10:1, vil en i praksis bruke ti ledere som ledere 8 og kun en leder 4.

En utførelsesform til magnetfeltkobler 10 og/eller 11 vises i figur 12. Det
 35 foreligger en magnetfeltkobler 10, 11 formet av magnetisk ledende materiale, hvori to fortrinnsvis sirkulære åpninger 12 for lederen 8 i viklingen 2 (se f.eks. fig. 10) er maskinert ut fra det magnetiske materialet i koblerne 10, 11. Videre er det tilveiebragt en spalte 13 som bryter magnetfeltbanen til lederen 8. Endeflate 14 er

koblingsflaten for magnetfeltet H2 fra viklingen 4 bestående av leder 9 og 9' (fig. 10).

Fig 13 viser en tynn isolerende folie 15 som vil være plassert mellom endeflaten på rør 6 og 7 og magnetfeltkobleren 10, 11 i en foretrukket utførelse av oppfinnelsen.

5 Figurene 14 og 15 viser andre alternative utførelser av magnetfeltkoblerne 10, 11.

Figurene 16-29 viser forskjellige utførelsesformer av en kjerne 16 som i utførelsen vist i figurene 9, 10 og 11 utgjør hoveddelen av rørene 6 og 7 som fortrinnsvis sammen med magnetfeltkoblerne 10 og 11 danner det magnetiserbare legemet 1.

10 Fig 16 viser en sylinderformet kjernedel 16 som er delt på langs som vist og hvor det er plassert et eller flere lag 17 av et isolerende materiale mellom de to kjernehalvdelen 16', 16''.

Fig 17 viser en rektangulær kjernedel 16 og fig 18 viser en utførelse av denne kjernedel 16 hvor den er delt i to med delsnitt i sideflaten. I utførelsen vist i figur 18 er det anbragt et eller flere lag av et isolerende materiale 17 mellom 15 kjernehalvdelen 16, 16'. En ytterligere variant vises i figur 22 hvor delesnittet er plassert i hvert hjørne.

Fig 20, 21 og 22 viser en rektangulær form. Figurene 23, 24 og 25 viser det samme for en trekantform. Fig 26 og 27 viser en oval variant, og til slutt viser figurene 28 og 29 en heksagonal form. I figur 28 er den sekskantede formen er sammen satt av 20 6 like flater 18 og i fig 27 består sekskanten av to deler 16' og 16''. Henvisningstall 17 refererer til en tynn isolerende film.

Figurene 30 og 31 viser en magnetfeltkobler 10, 11 som kan benyttes som styrefeltkobler mellom de rektangulære og kvadratiske hovedkjernene 16 (vist i figurene 17-11 hhv 20-22). Denne magnetfeltkobleren omfatter tre deler 10', 10'' og 19. 25

Fig 31 viser en utførelse av kjernedel eller hovedkjerne 16 hvor endeflaten 14 eller koblingsflaten for styrefluksen har en rett vinkel i forhold til aksene på kjernedelen 16.

30 Fig 32 viser en annen utførelse av kjernedelen 16 hvor koblingsflaten 14 for styrefluksen har en vinkel α i forhold til aksene på kjernedelen 16.

Figurene 33-39 viser forskjellige utførelser av magnetfeltkobleren 10, 11, som baserer seg på at koblingsflatene 14' til magnetfeltkobleren 10, 11 har samme vinkel som endeflatene 14 til kjernedelen 16.

Fig. 33 viser en magnetfeltkobler 10, 11 hvor det er antydnet forskjellige hullformer 12 for arbeidsviklingen 2 ut fra den form kjernedelen 16 har (rund, trekant osv.).

I fig 34 er magnetkobleren 10, 11 plan. Den er tilpasset for anvendelse med kjernedeler 16 med rettvinklede endeflater 14.

- 5 I fig 35 er antydnet en vinkel α' på magnetfeltkobleren 10, 11, som er tilpasset vinkel α på kjernedelen 16 (figur 32) slik at endeflaten 14 og koblingsflaten 14' faller sammen.

10 I fig. 36 a vises en utførelsesform av oppfinnelsen med en sammensetting av magnetfeltkoblere 10, 11 og kjernedeler 16. Figur 36b viser samme utførelse sett fra siden.

Selv om man beskriver bare enkelte kombinasjoner av magnetfeltkoblere og kjernedeler for å illustrere oppfinnelsen vil det være opplagt for fagmannen på området at andre kombinasjoner er fullt mulige og vil således falle innenfor oppfinnelsens ramme.

- 15 Man vil også kunne bytte om plasseringen av den primære viklingen og den sekundære og styreviklingen. Styreviklingen vil imidlertid fortrinnsvis følge samme viklingsrom som den sekundære viklingen.

Figurene 37 og 38 viser i snitt hhv. riss en tredje utførelsesform av en anordning ved magnetisk påvirkbar spenningskobler. Anordningen omfatter (se figur 37b) et magnetiserbart legeme 1 omfattende et ytre rør 20 og et indre rør 21 (eller kjernedeler 16, 16') som er konsentriske og laget av et magnetiserbart materiale med et mellomrom 22 mellom det ytre rørets 20 innervegg og det indre rørets 21 yttervegg. Magnetfeltkoplingsstykker 10, 11 mellom rørene 20 og 21 er anbrakt ved respektive ender derav (fig 37a). Et avstandsstykke 23 (fig. 37a) er plassert i mellomrommet 22 slik at rørene 20, 21 holdes konsentriske.

En primær vikling 4 dannet av ledere 9 er viklet rundt det indre røret 21 og er beliggende i nevnte mellomrom 22. Viklingsaksen A2 for primærviklingen 4 sammenfaller således med aksene A1 til rørene 20 og 21. En elektrisk strømførings- eller sekundær vikling 2 dannet av strømlederen 8 er ført gjennom det indre røret 21 og langs det ytre rørets 20 utside N1 antall ganger, der $N1 = 1, \dots, r$. Med den primære viklingen 4 i samvirke med den sekundære viklingen 2 eller nevnte strømføringsleder 8, oppnås en lett konstruerbar, men effektiv magnetisk påvirkbar transformator eller bryter. En elektrisk strømførende eller styrevikling 3 dannet av strømlederen 8' passerer gjennom det indre røret 21 og langs utsiden av det ytre røret 20 N1 antall ganger, hvor $N1 = 1, \dots, r$. Denne utførelsen av anordningen kan

også modifiseres slik at rørene 20, 21 ikke har rundt tverrsnitt men et tverrsnitt som er kvadratisk, firkantet, trekantet, osv.

- Det er også mulig å vikle den primære arbeidsvikling rundt det indre røret 21 og da vil aksene A2 for arbeidsviklingen sammenfalle med aksene A1 for rørene mens styre- og den sekundære viklingen vikles om rørene på innsiden av 21 og utsiden av 20.

Fig. 39-41 viser forskjellige utførelsesformer for magnetfeltekobleren 10,11 som er spesialtilpasset for den sistnevnte utførelse av oppfinnelsen, altså som beskrevet i forbindelse med figurene 37 og 38.

- Figur 39a viser i snitt og figur 39b sett ovenfra en magnetfeltekobler 10, 11 med koblingsflater 14' i en vinkel i forhold til rørenes 20, 21 (kjernedelene 16) akse og det er selvsagt at også indre 21 og ytre 20 rør skal ha samme vinkel på koblingsflatene 14.

- Fig 40 og 41 viser andre varianter av magnetfeltekobleren 10, 11 hvor koblingsflatene 14' for styrefeltet H2 (B2) er vinkelrette på hovedaksen til kjernedelene 16 (rør 20, 21).

Figur 40 viser en hul halv toroidformet magnetfeltekobler 10, 11 med hul halvsirkel tverrsnitt, mens figur 39 viser en toroidformet magnetfeltekobler med rektangulært tverrsnitt.

- Figur 48 viser en fremgangsmåte for frekvensomforming ved hjelp av styrbar transformatoranordning omfattende et legeme (1) av et magnetisk materiale, en primærvikling (4) viklet om legemet (1) om en første akse, en sekundær vikling (2) viklet om legemet (1) om en andre akse rettvinklet til den første akse, og en styrevikling (3) viklet om legemet (1) om en tredje akse, sammenfallende med den andre aksene, hvor transformatorens sekundærside kobles i en midtpunkt koblet diodelikeretter topologi, en AC spenning på styreviklingen kobler sekundærviklingen til primærviklingen, to slike transformatorer lager en frekvensomformer for motorstyring, hvor man utfører en likeretting som for en vanlig transformator gjennom T3 når styreviklingen til T3 er aktivert og under aktiveringen av T3 slås styringen av og det er ikke kobling mellom de to kretsene, og det er høy impedans i sekundærviklingene, man har en positiv likespenning over lasten U1, og når man slår av styrespenning for T3 og slår på styrespenning for T4 får man en likeretting hvor spenningen over U1 er negativ, ved å variere lengden på den negative og den positive likeretter perioden får man en variabel frekvensstyring fra 0 til 50 Hz.

Figurene 49 og 50 viser en fremgangsmåte for likeretting ved hjelp av en styrbar transformatoranordning omfattende et legeme (1) av et magnetisk materiale, en primærvikling (4) viklet om legemet (1) om en første akse, en sekundær vikling (2) viklet om legemet (1) om en andre akse rettvinklet til den første akse, og en styrevikling (3) viklet om legemet (1) om en tredje akse, sammenfallende med den andre aksen, hvor (fig 49) en alternerende AC spenning på styreviklingene til de to transformatorene MS1 og MS2, Vk1 (T1) og Vk2 (T5) kobler primær og sekundær sammen etter et spesielt mønster, (fig 50), Vp er primærspenningen som er felles for de to transformatorene, Vk1 (T1) er koblet inn under første del av den positive fasen og man har transformatorisk kobling til Vs1 (T2), som er litt forsinket i forhold til nullgjennomgangen til Vs1 (T2), Vk2 (T5) og spenningen Vs2 (T6) kobles inn i kretsen ved nullgjennomgangen, den er i fase med spenningen Vs1 (T2) og man får en sirkulerende strøm gjennom S1 (T3) og S2 (T4) som bidrar til å resette S1 (T3) idet Vk1 (T1) går av, S2 (T4) resettes i neste omgang.

PATENTKRAV

1. Fremgangsmåte for styrbar omforming av en primær vekselstrøm/spenning til en sekundær vekselstrøm/spenning med anvendelse av en styrbar
 - 5 transformatoranordning omfattende et legeme (1) av et magnetisk materiale, en primærvikling (4) viklet om legemet (1) om en første akse, en sekundær vikling (2) viklet om legemet (1) om en andre akse rettvinklet til den første akse, og en styrevikling (3) viklet om legemet (1) om en tredje akse, sammenfallende med den andre aksen,
 - 10 karakterisert ved følgende trinn
 primærviklingen (4) mates med den primære vekselstrømspenning, styreviklingen (3) mates med en vekselspenning som enten er i fase eller faseforskjøvet 180° i forhold til den primære spenningen, styreviklingen (3) mates med en variabel strøm.
- 15 2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, hvor styreviklingen (3) mates med en pulset AC strøm.
3. Fremgangsmåte ifølge krav 1, hvor:
 - amplituden til styrespenningen endres langsomt, slik at retningen til domeneendringen eller magnetiseringsvinkelen mellom den primære og den
 - 20 sekundære viklingen og derigjennom spenningsoverføringen styres,
 - en induktans innføres i styreviklingens krets, slik at virkningen av den direkte transformatoriske koblingen mellom sekundær- og styrevikling dempes,
 - den sekundære viklingen anvendes som styrevikling ved at magnetomotorisk spenning fra den adderer seg med magnetomotorisk spenning fra styreviklingen og
 - 25 påvirker magnetiseringsvinkelen mellom den primære og den sekundære viklingen,
 - slik at det frembringes en variabel fasedreining mellom primær og sekundær etter lastforholdene som kompenseres ved en faseendringsskompensator, og dermed den ønskede regulerbare transformatorvirkning, fordi primærviklingen øyeblikkelig vil svare enhver lastendring fra sekundærsiden ifølge Lenz' lov.
- 30 4. Fremgangsmåte ifølge krav 1, hvor frekvensen til den primære vekselstrøm/spenning omformes (fig. 48) ved at:
 - ved en første transformatoranordning (T1, T2, T3) med en første styrevikling (T1) kobles en første sekundær vikling (T2) i en første midtpunkt koblet diodelikeretter topologi,
 - 35 - ved en andre transformatoranordning (T5, T6, T4) med en andre styrevikling (T5) kobles en andre sekundær vikling (T6) i en andre midtpunkt koblet diodelikeretter topologi,
 - den første og den andre topologien kobles sammen over en last (U1),

- en vekselspanning på styreviklingene (T1, T5) kobler sekundærviklingene (T2, T6) til primærviklingene (T3 hhv. T4),
- hvor likeretting utføres ved å aktivere den første styreviklingen (T1) og den andre styreviklingen (T5) vekselvis for å oppnå positiv og negativ spenning (U1) over lasten,
- ved å variere lengden på den negative og den positive likeretter periode oppnås en variabel frekvensstyring fra 0 til 50 Hz.

5. Fremgangsmåte ifølge krav 1, hvor den primære vekselstrøm/spenning omformes til likestrøm/spenning (fig. 49) ved at:

- ved en første transformatoranordning (T1, T2, T3) med en første styrevikling (T1) mates den første primære viklingen (T3) med en første matespenning (Vp) og den første sekundære vikling (T2) kobles til en last (R1,L1),
- ved en andre transformatoranordning (T5, T6, T4) mates den andre primære viklingen (T4) med samme matespenning (Vp) som den første primære viklingen (Vp), og den andre sekundære vikling (T6) kobles til samme last (R1,L1) som den andre primære viklingen,
- en vekselspanning på styreviklingene (T1,T5) kobler sekundærviklingene (T2, T6) til primærviklingene (T3 hhv. T6) i et bestemt mønster (fig. 50) basert på den første spenningen, slik at den første primære viklingen (T3) aktiveres under den første delen av matespenningens positive fase, og den andre primære viklingen (T4) aktiveres under matespenningens nullgjennomgang for å oppnå en likespenning (U1) over lasten.

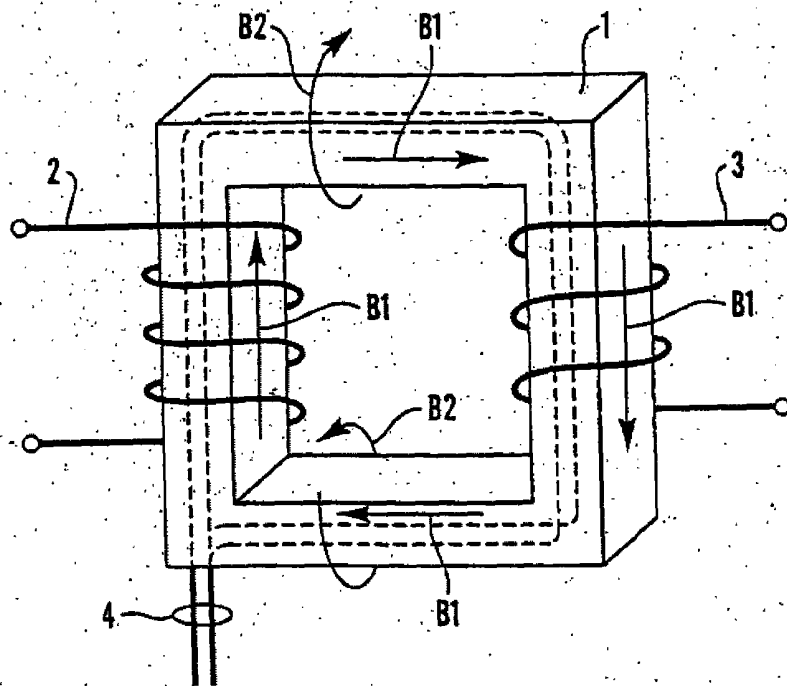


Fig.1a

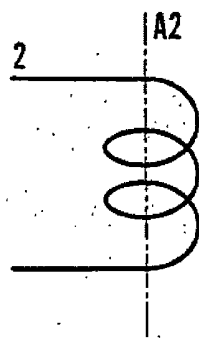


Fig. 1b

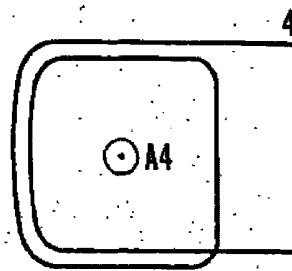


Fig. 1c

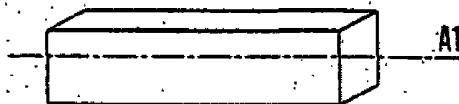


Fig. 1d

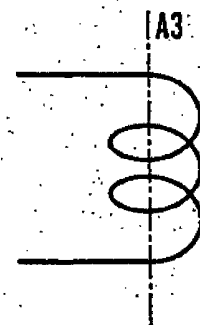


Fig. 1e

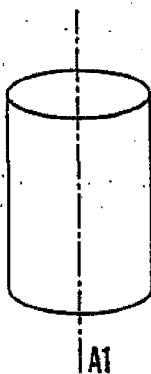


Fig. 1f

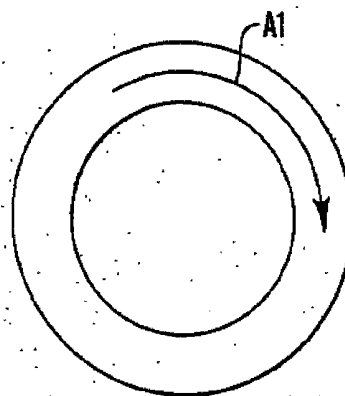


Fig. 1g

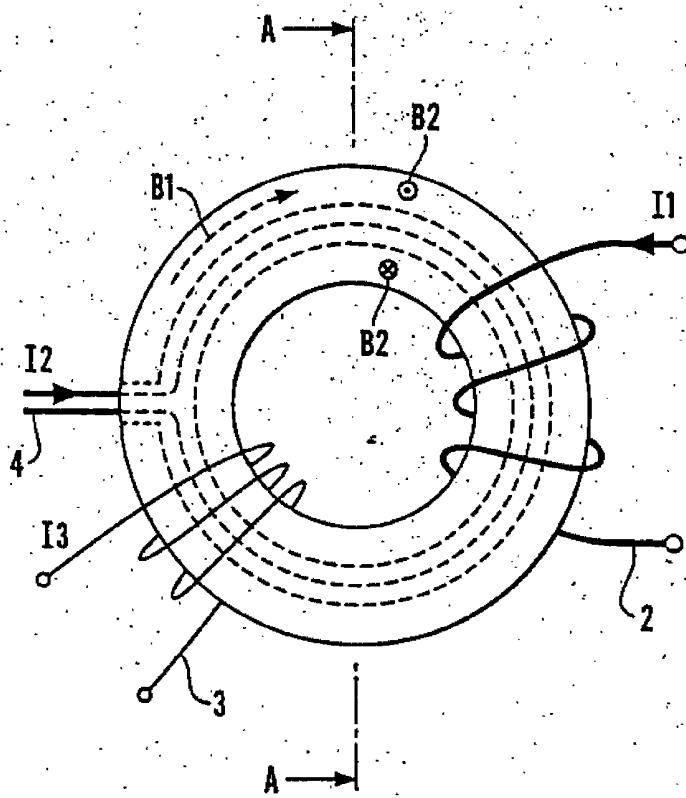


Fig. 2a

Fig. 2b

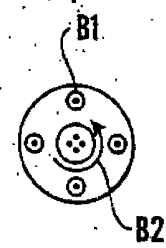
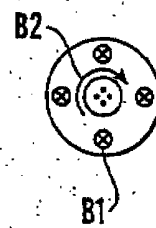


Fig. 2c

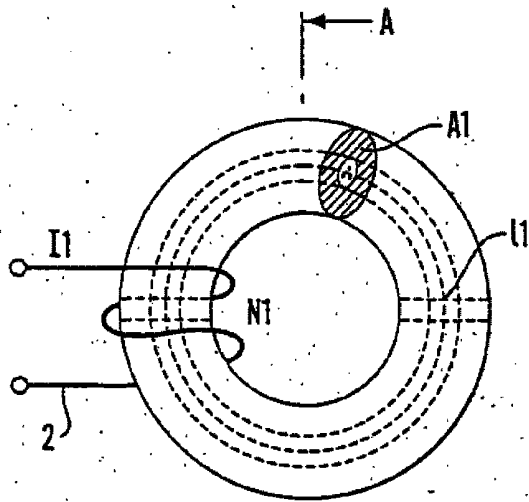


Fig. 3a

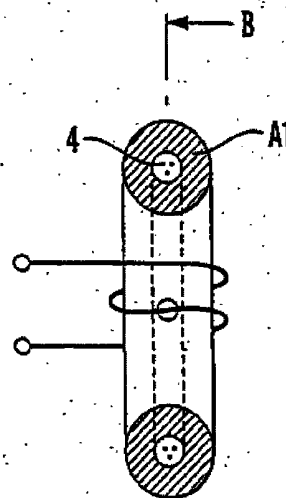


Fig. 3b

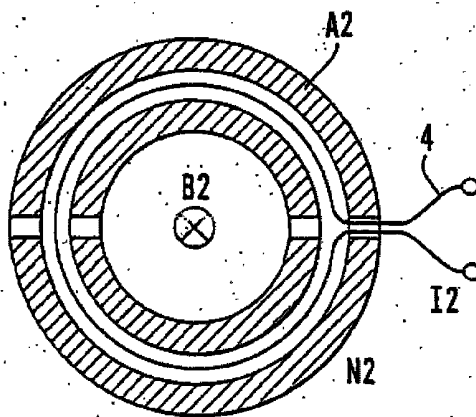


Fig. 3c

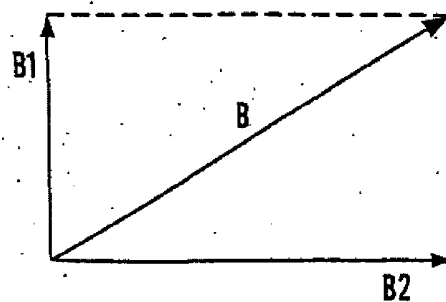


Fig. 3d

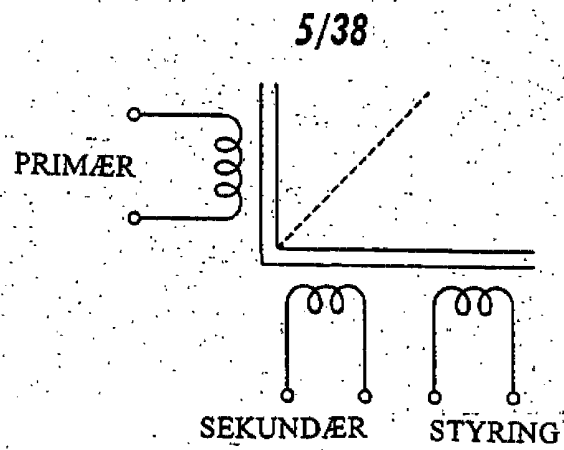


Fig.4

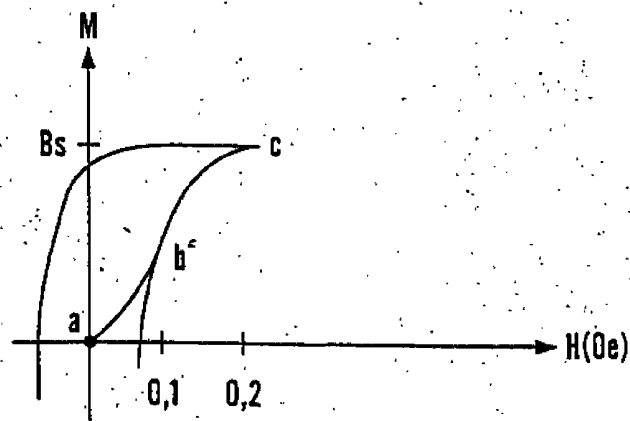


Fig.5a

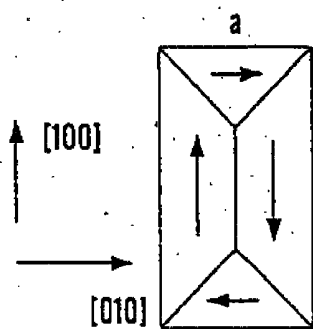


Fig.5b

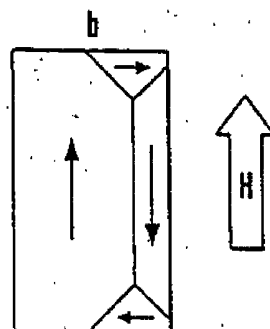


Fig.5c

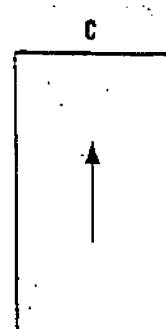


Fig.5d

6/38

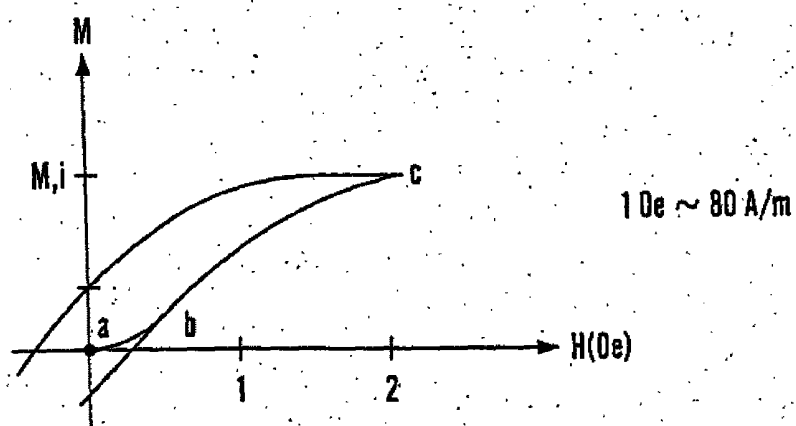


Fig.6a

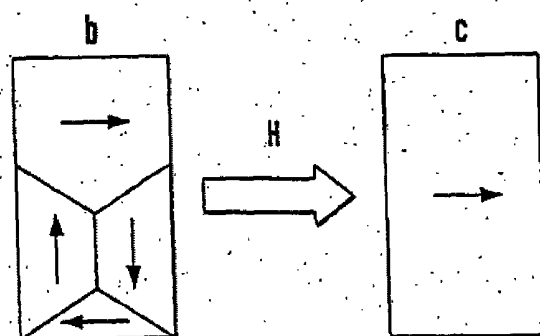


Fig.6b

7/38

MAGNETISERINGSRETNING

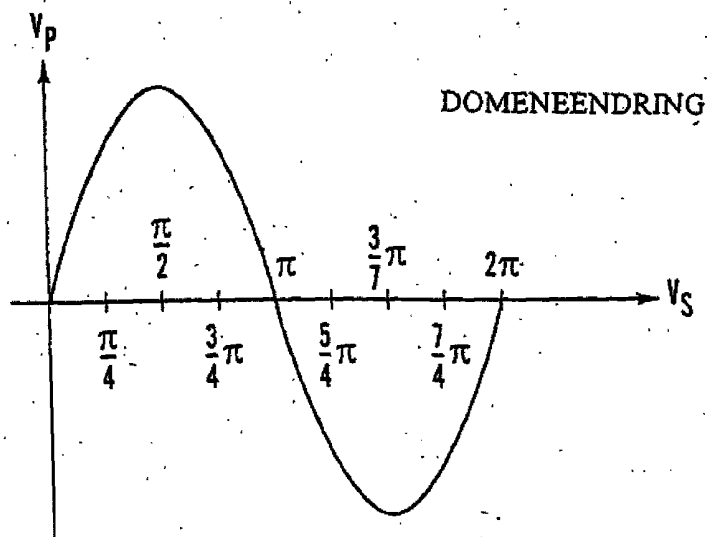
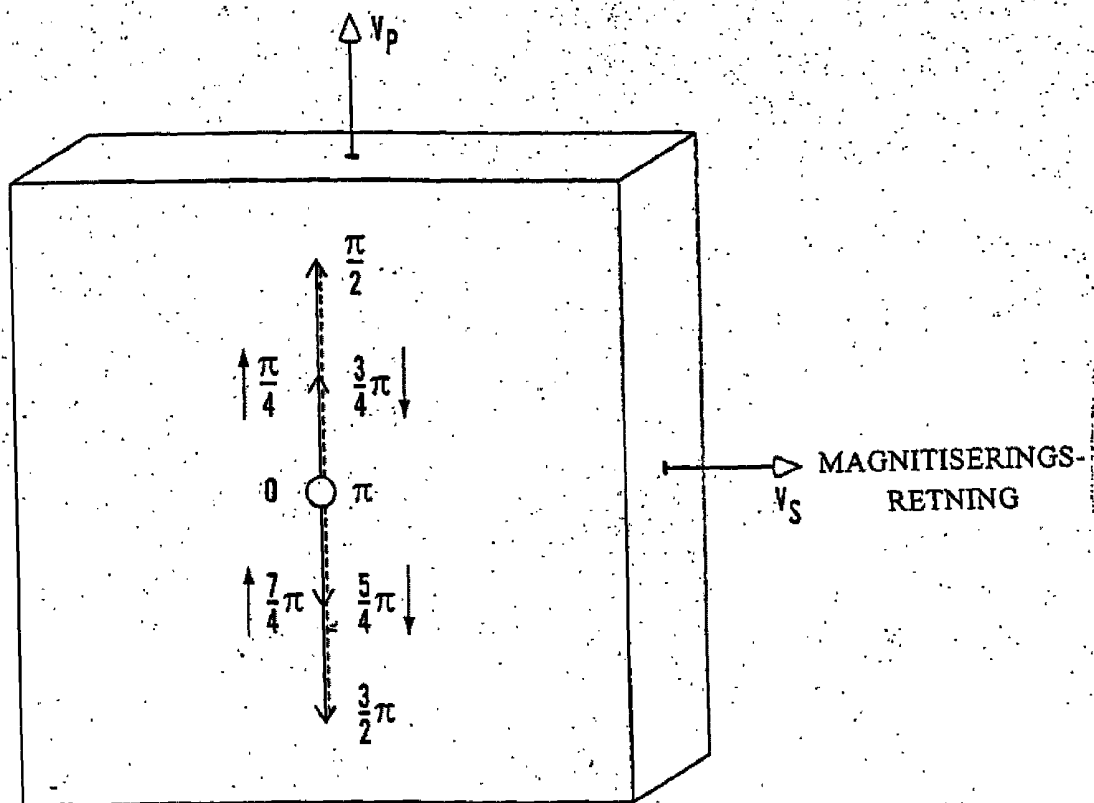


Fig.6c

8/38

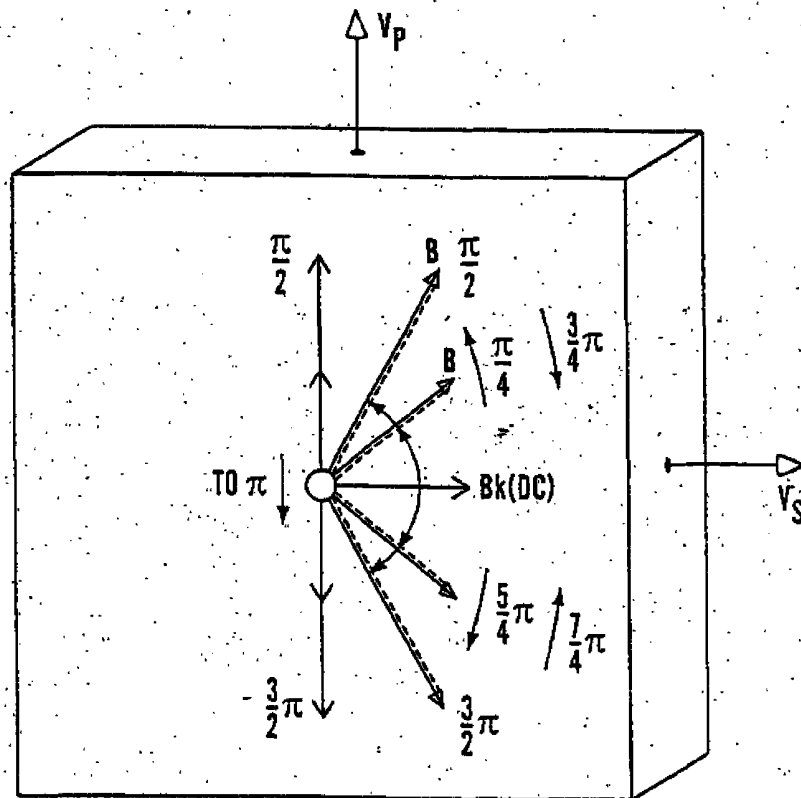


Fig. 6d

9/38

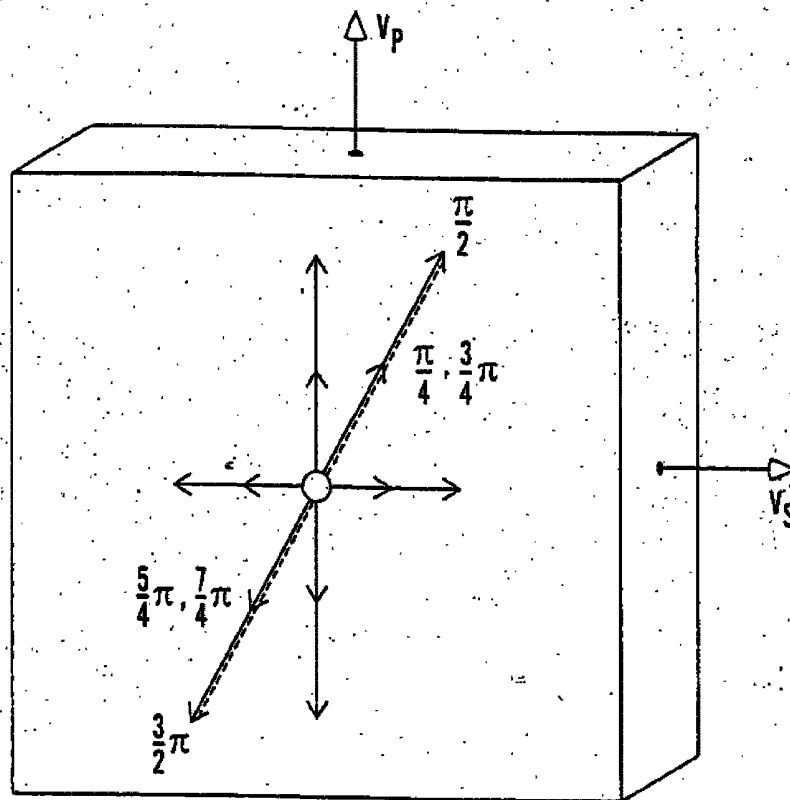


Fig.6e

10/38

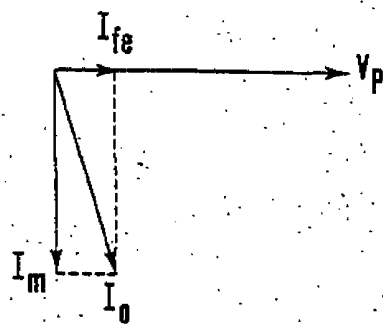
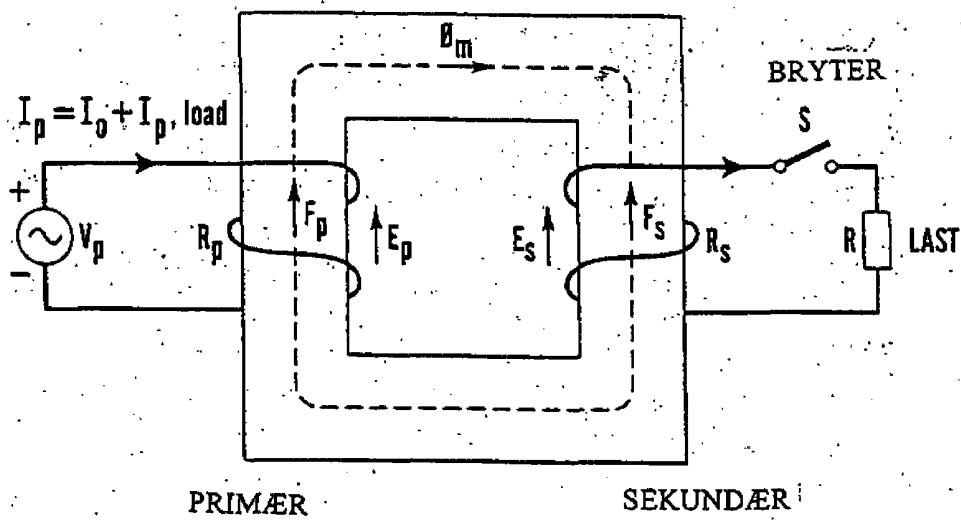


Fig. 6f



$$I_0 = I_{fe} + I_m$$

I_m : MAGNETISERINGSSTRØM

I_{fe} : KJERNENS TAPSSTRØM

Fig. 6g

11/38

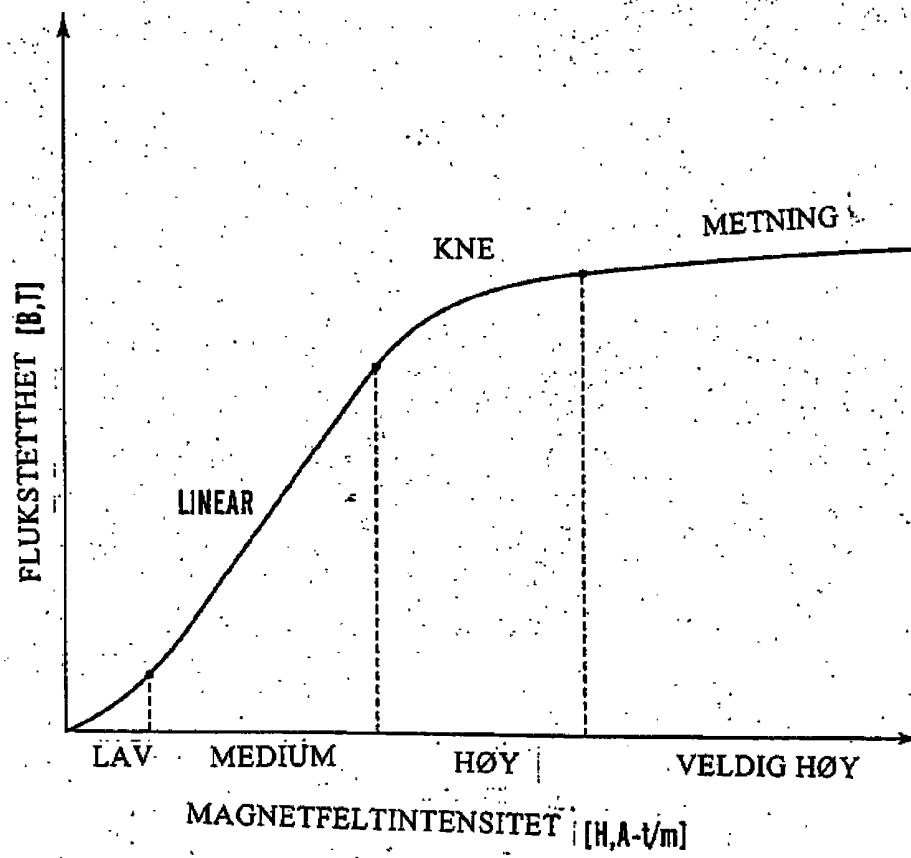


Fig.6h

12/38

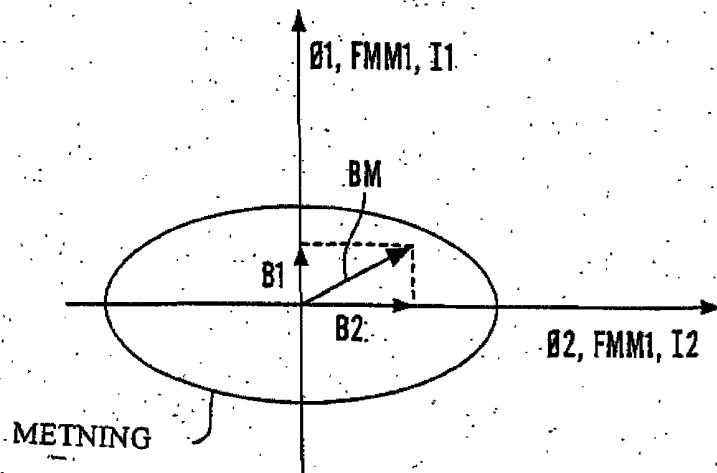


Fig. 7a

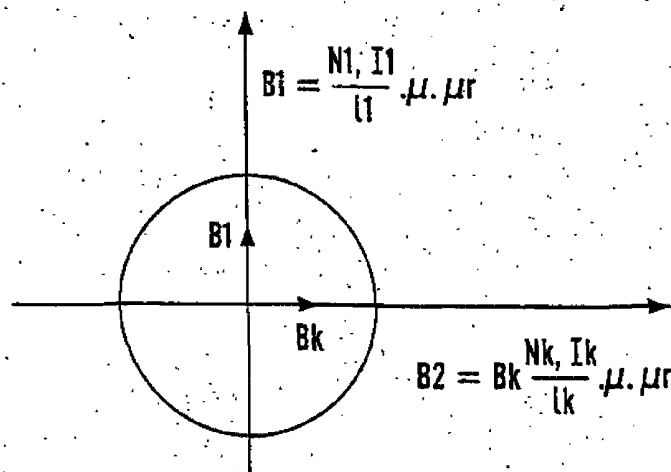


Fig. 7b

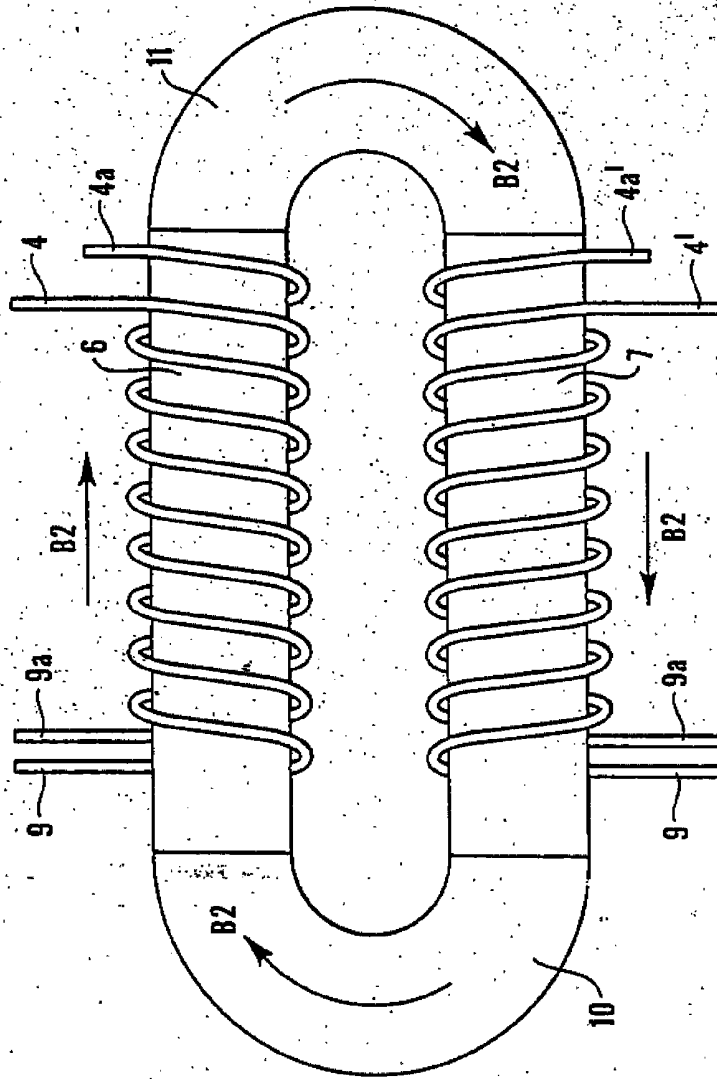


Fig. 8e

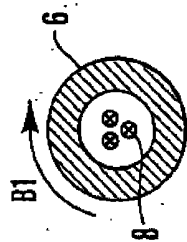


Fig. 8a

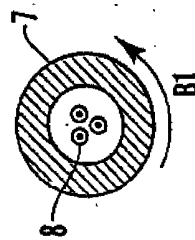


Fig. 8b

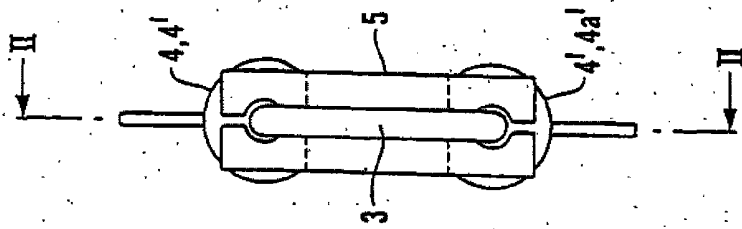


Fig. 9b

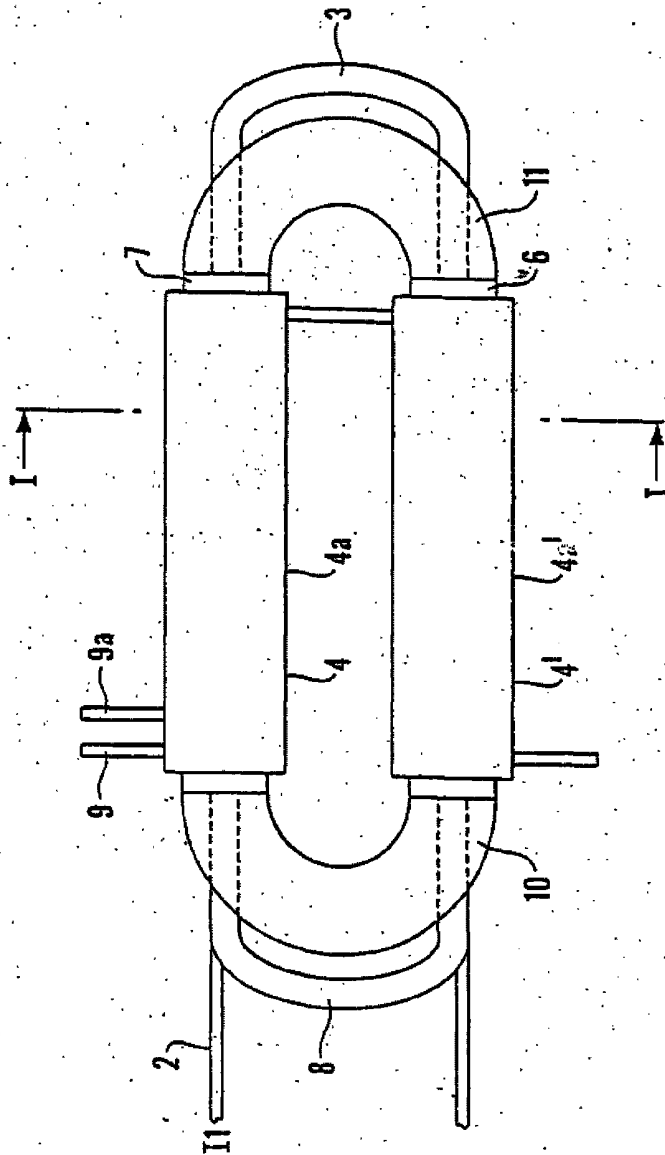


Fig. 9a

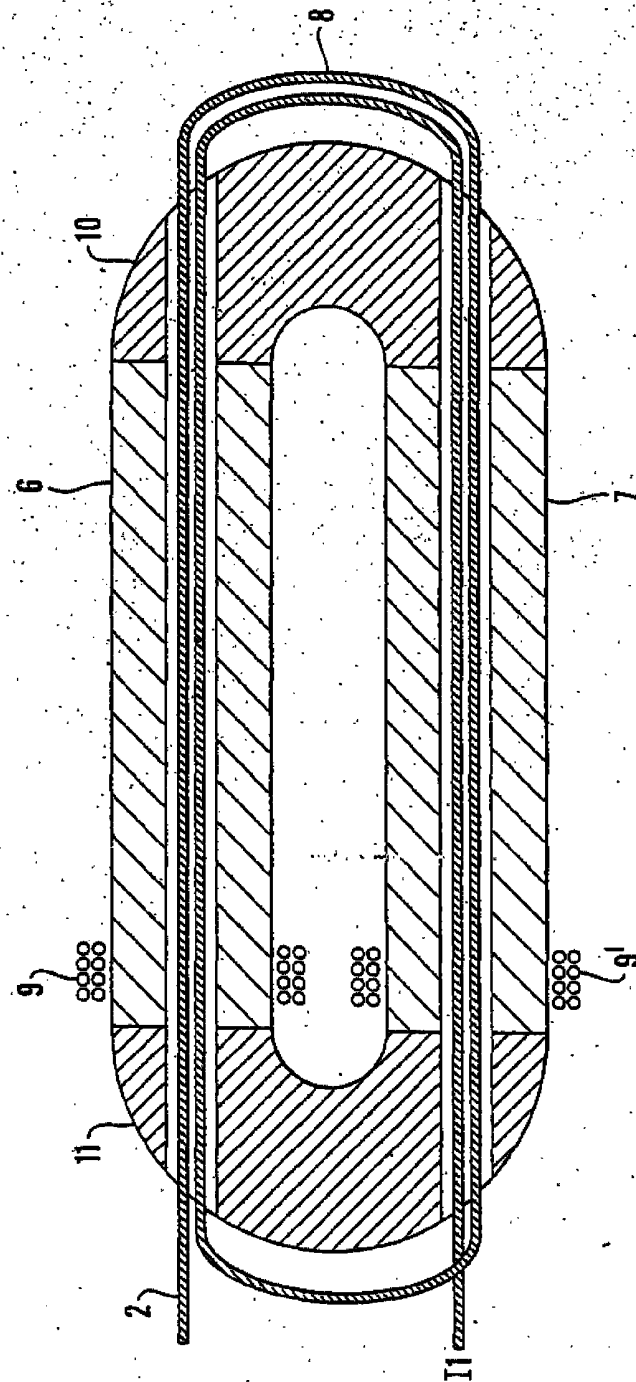


Fig. 10

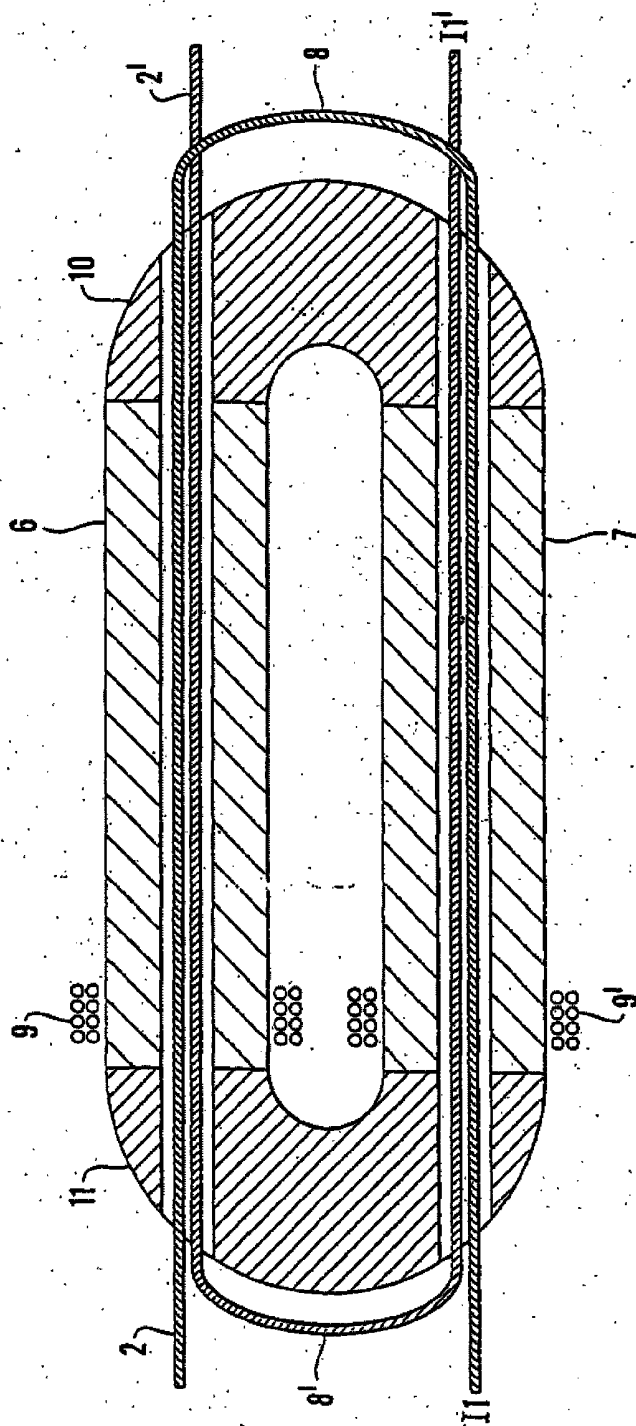


Fig. 11

17/38

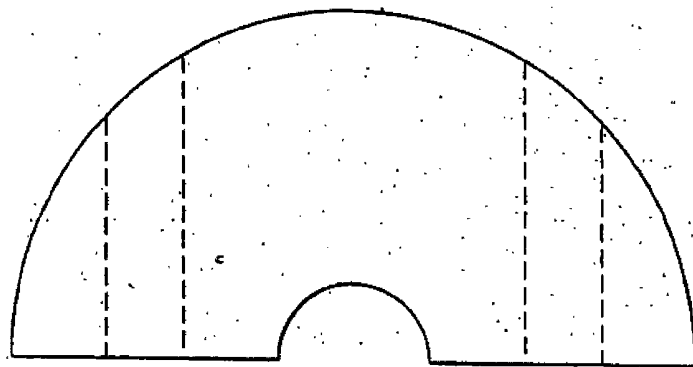
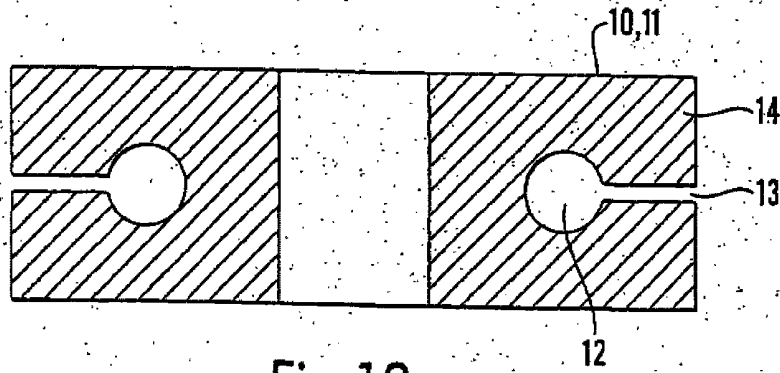
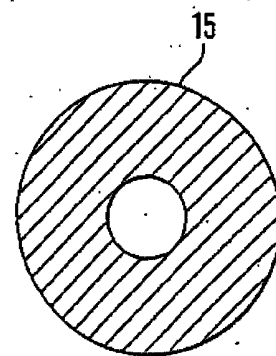
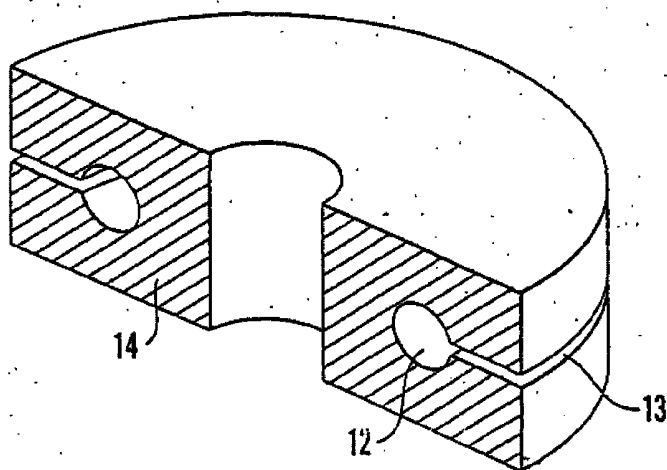


Fig. 12b



18/38

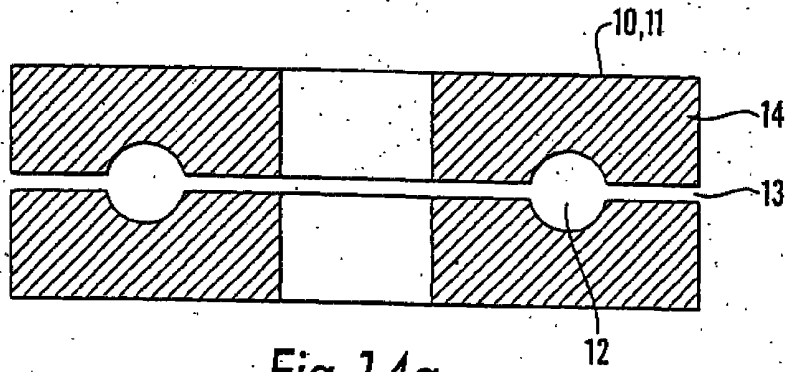


Fig. 14a

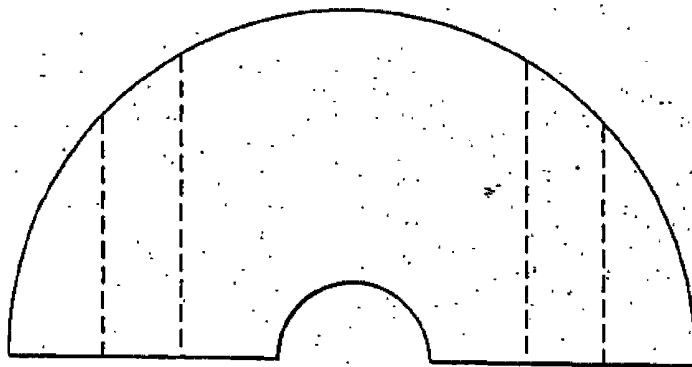


Fig. 14b

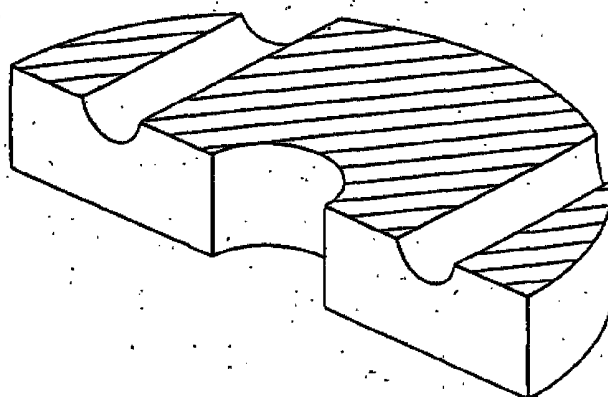


Fig. 14c

19/38

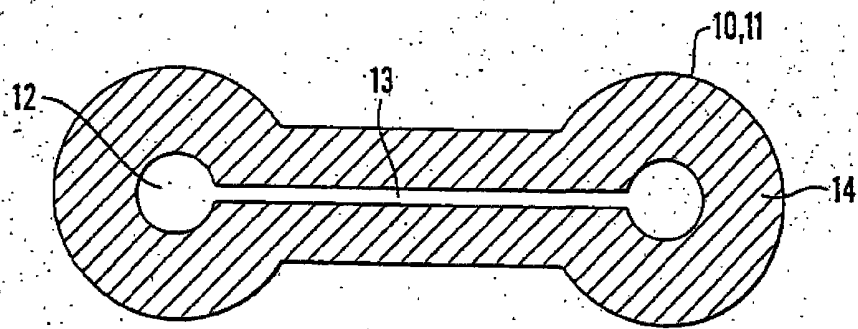


Fig. 15a

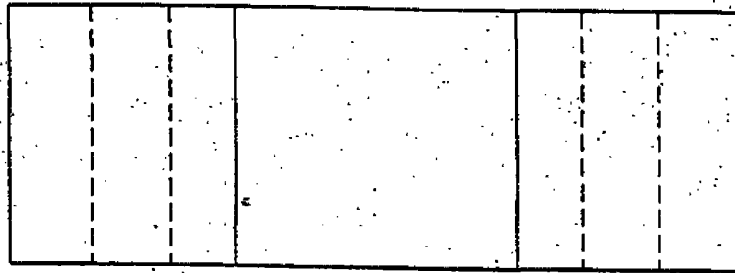


Fig. 15b

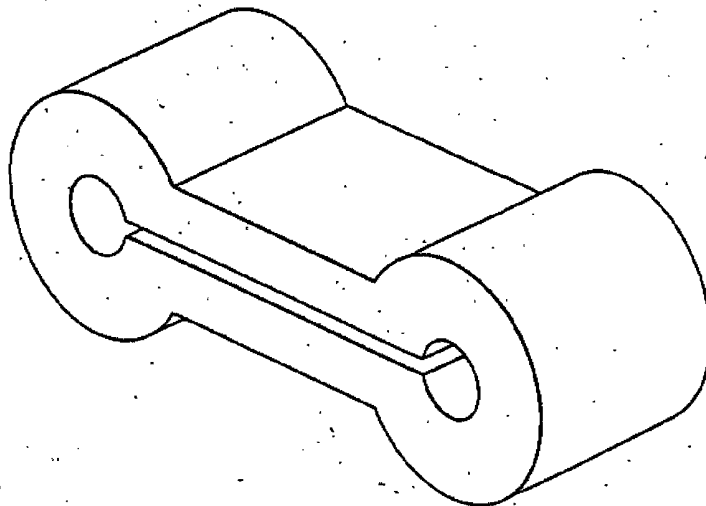


Fig. 15c

Fig. 16

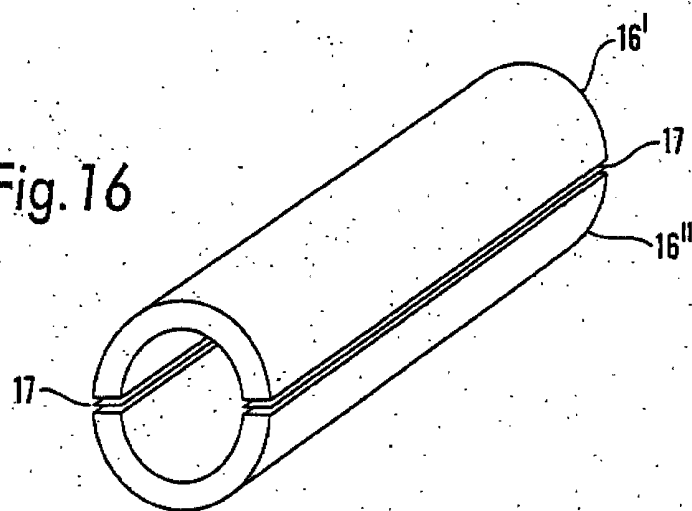


Fig. 17

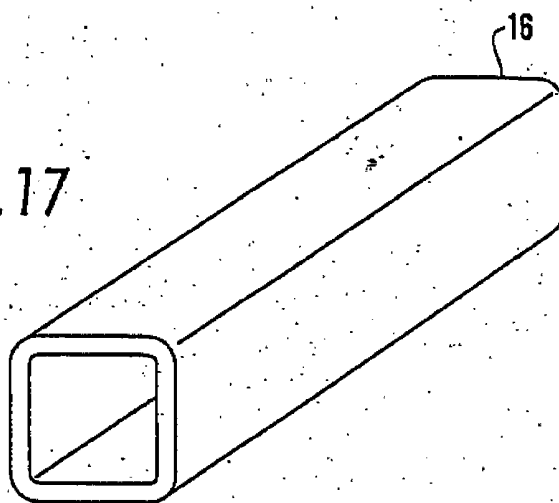
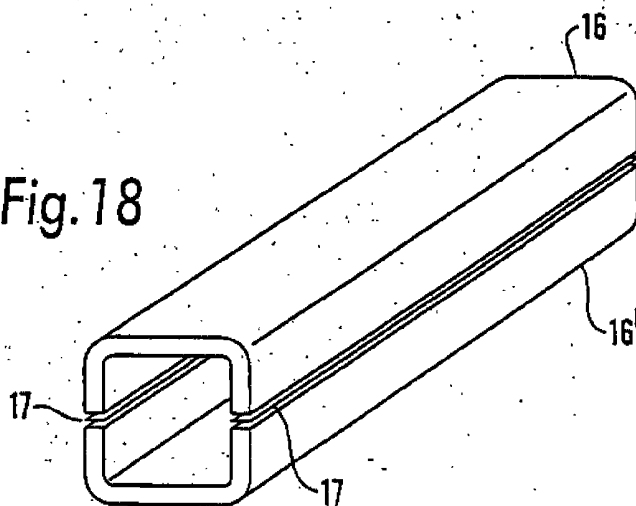


Fig. 18



21/38

Fig.19

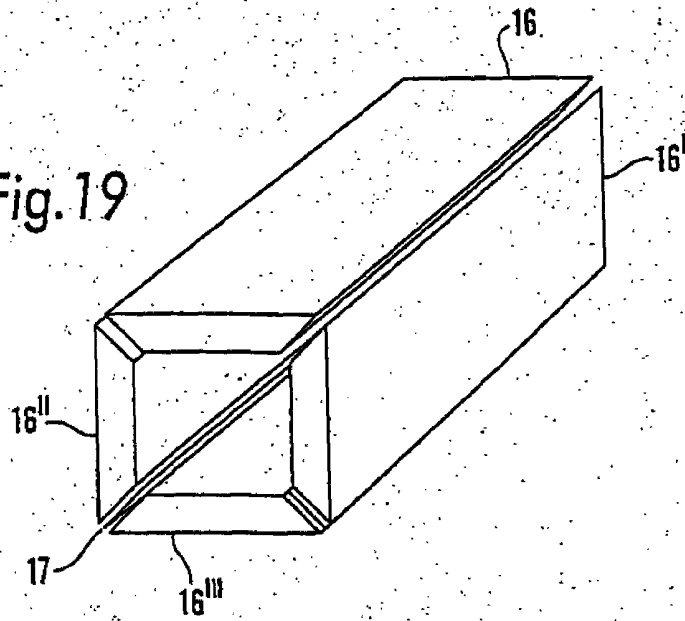


Fig.20

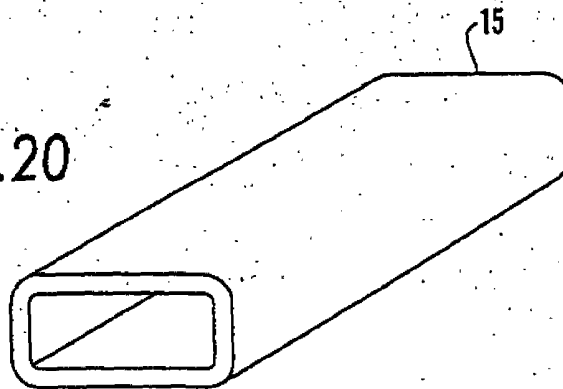


Fig.21

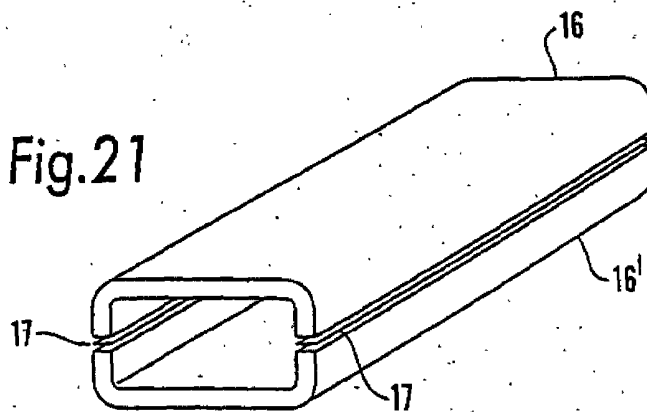


Fig.22

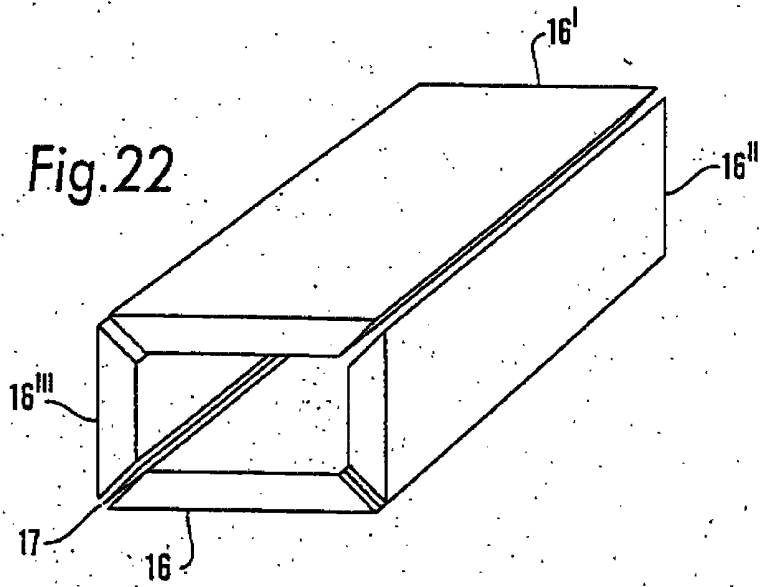


Fig.23

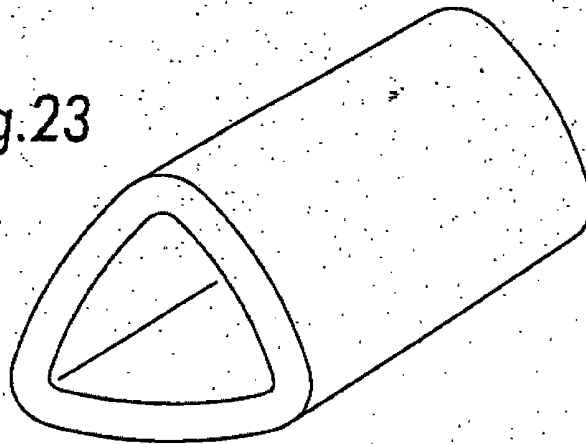


Fig.24

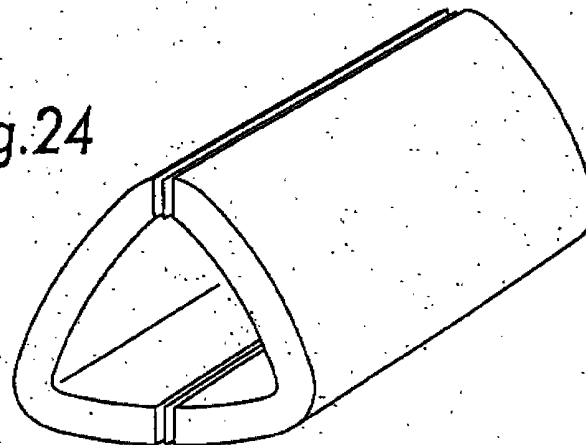


Fig.25

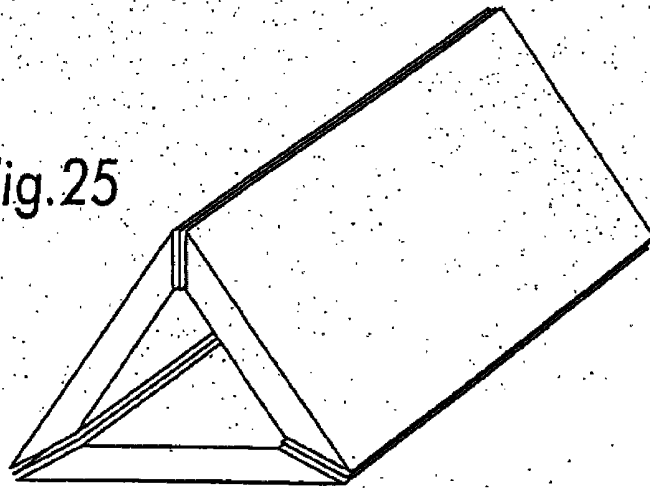


Fig.26

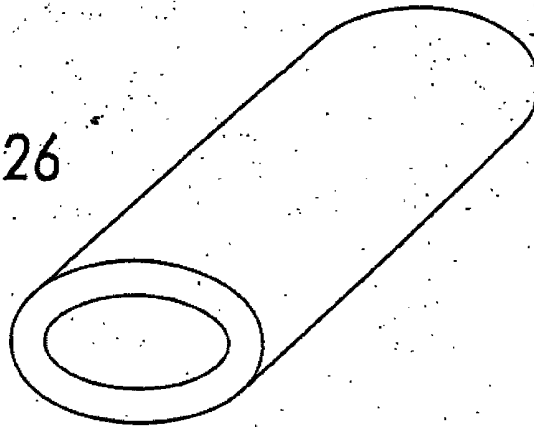


Fig.27

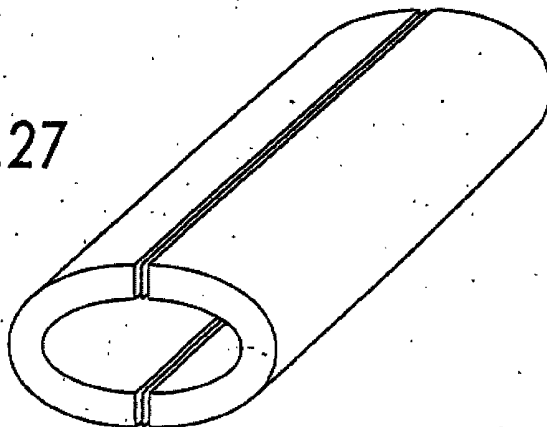


Fig.28

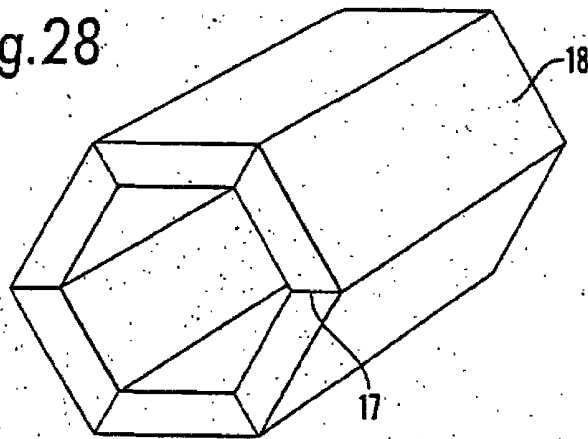
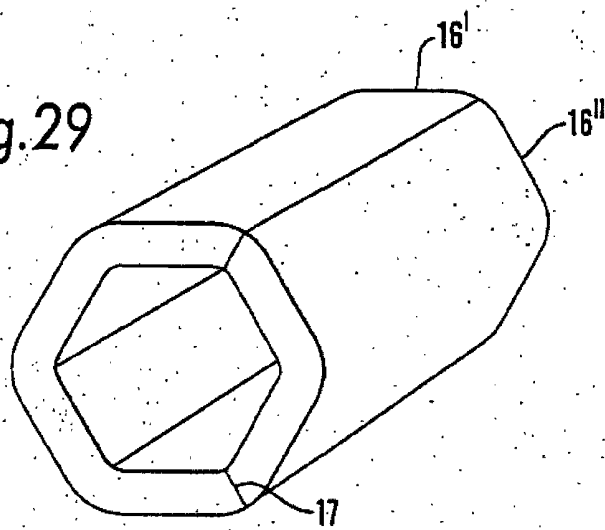


Fig.29



25/38

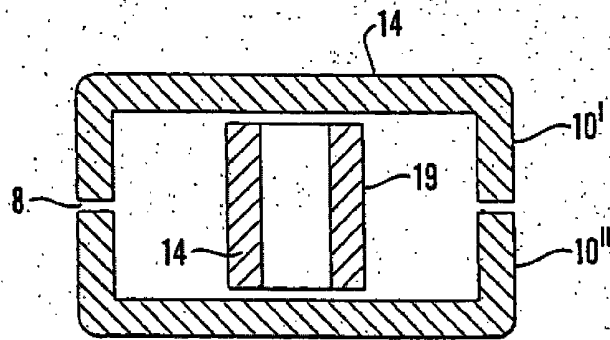


Fig.30a

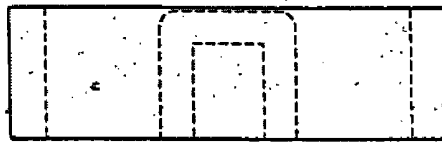


Fig.30b

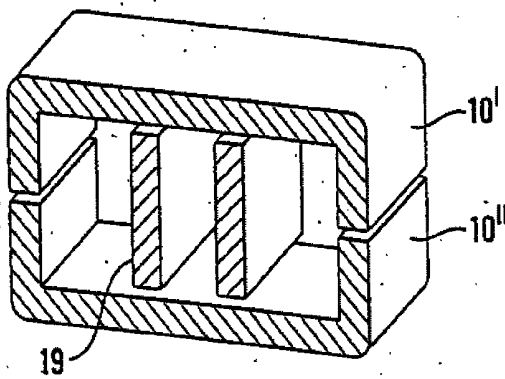


Fig.30c

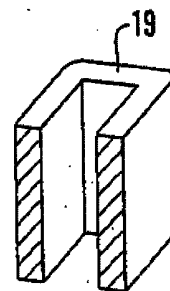


Fig.30d

26/38

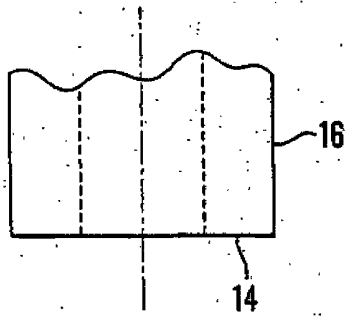


Fig. 31

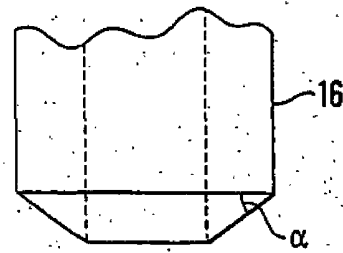


Fig. 32

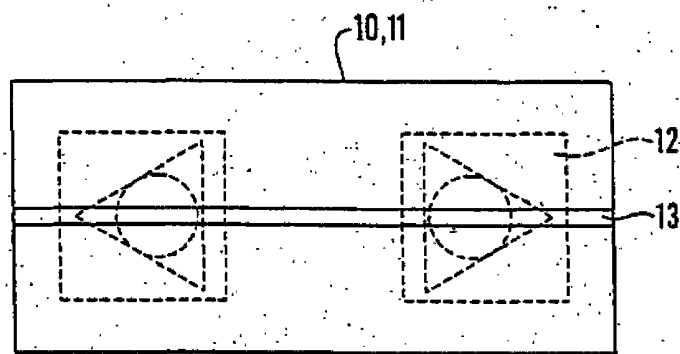


Fig. 33

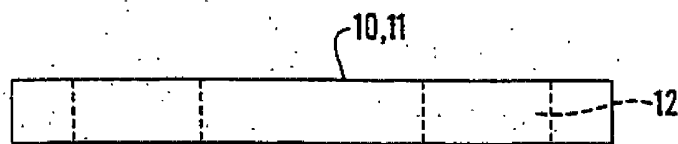


Fig. 34

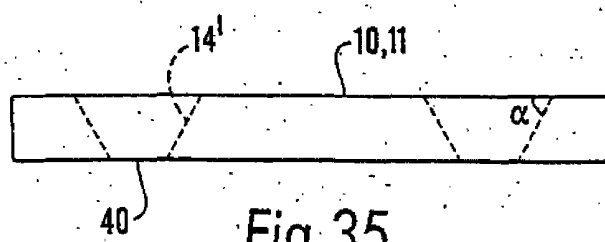


Fig. 35

27/38

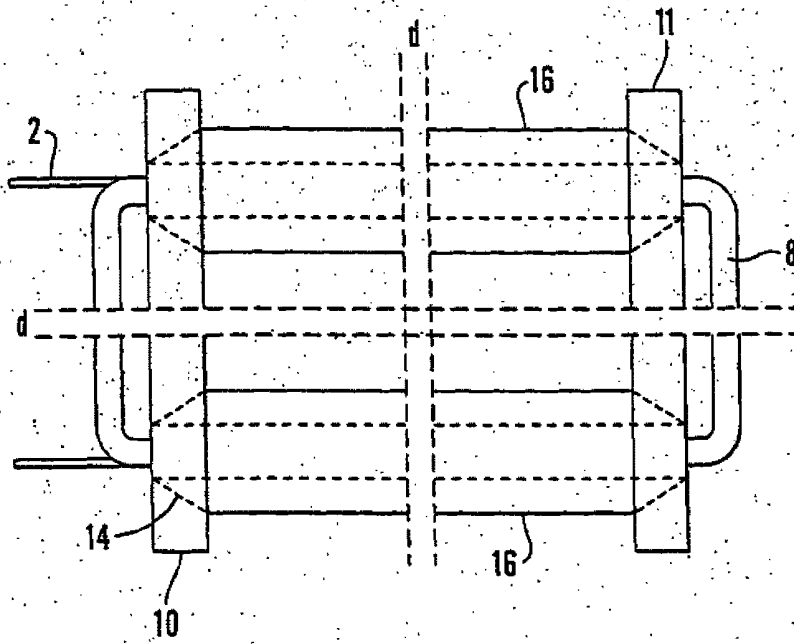


Fig. 36a

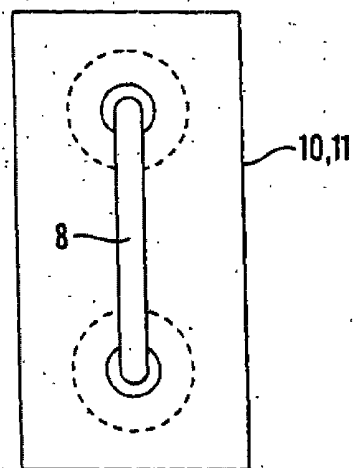


Fig. 36b

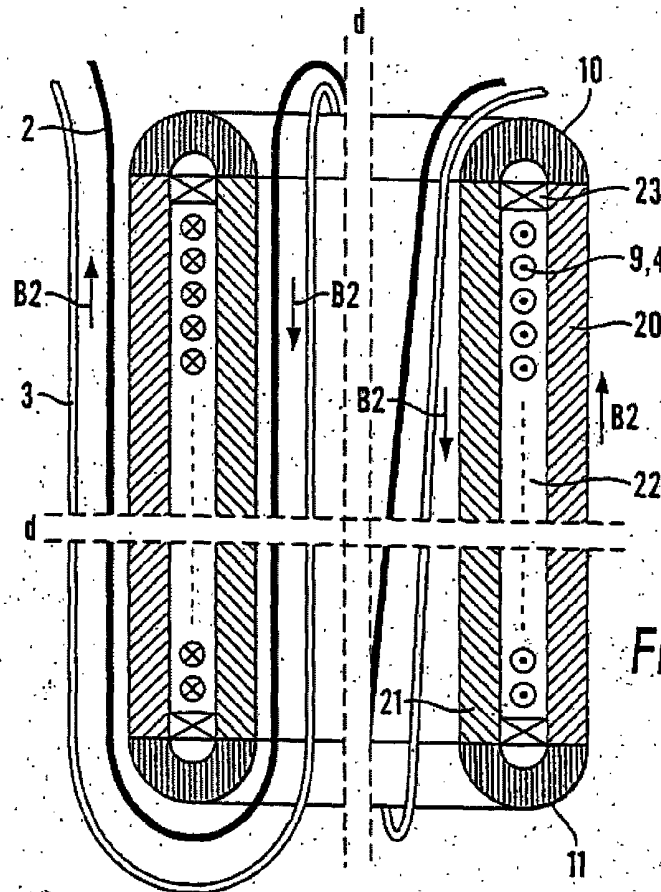


Fig. 37a

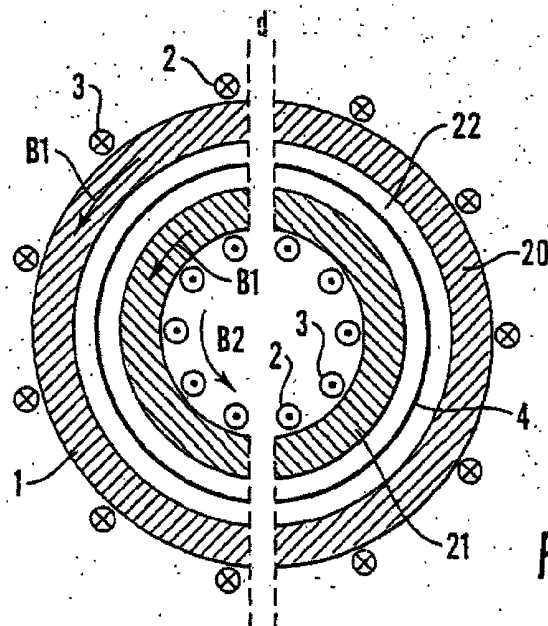


Fig. 37b

29/38

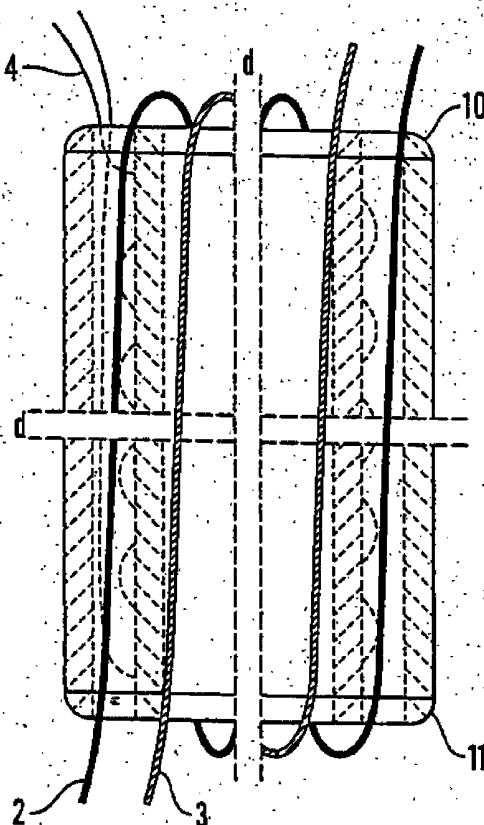


Fig. 38a

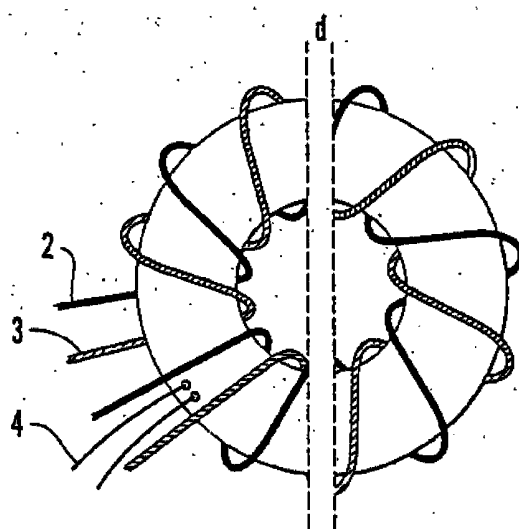


Fig. 38b

30/38

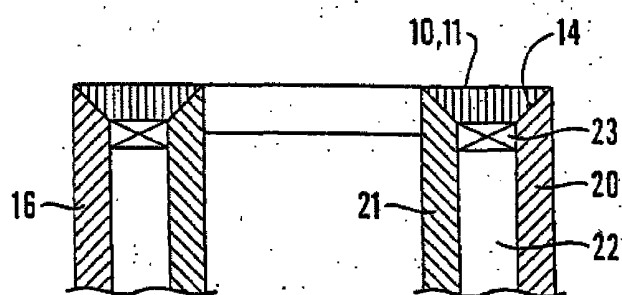


Fig.39a

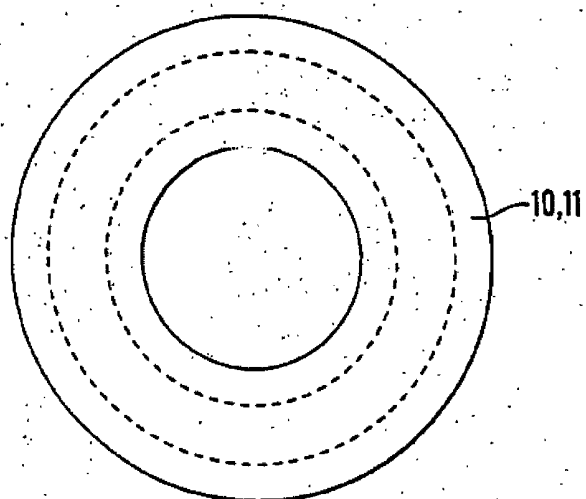


Fig.39b

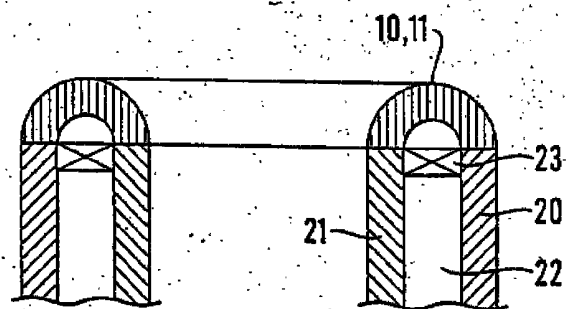


Fig.40

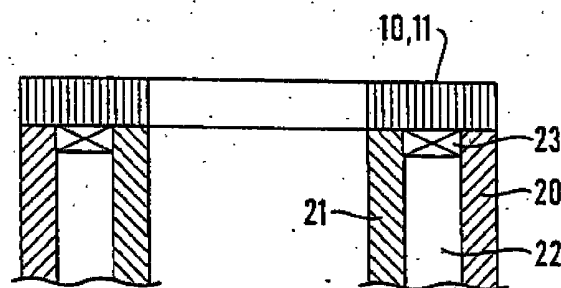


Fig.41

32/38

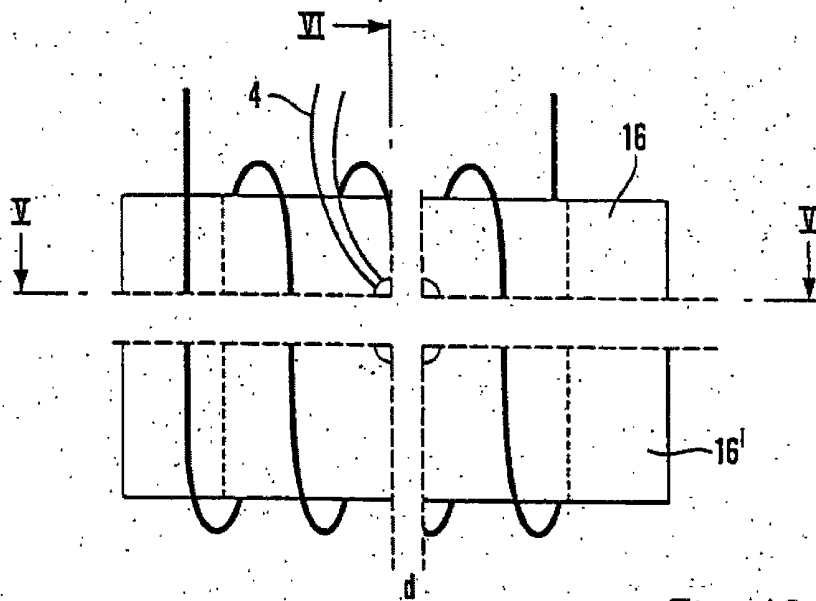


Fig.42

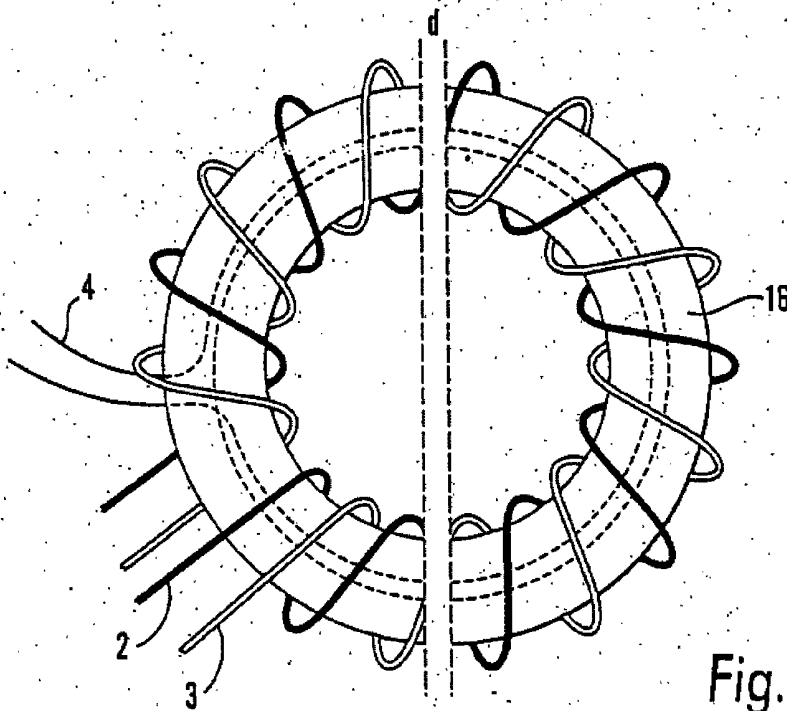


Fig.43

33/38

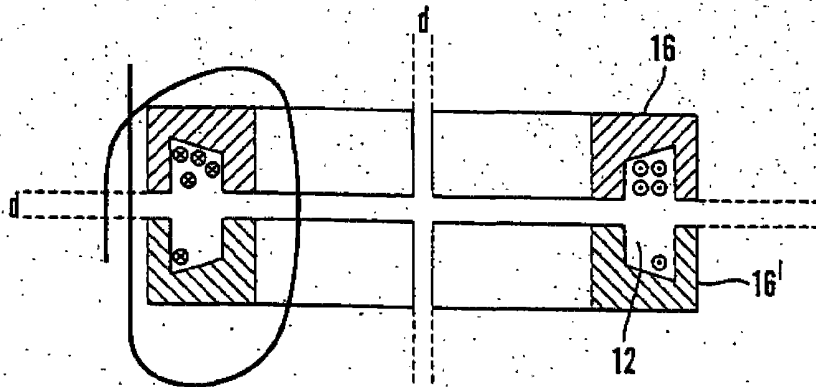


Fig.44

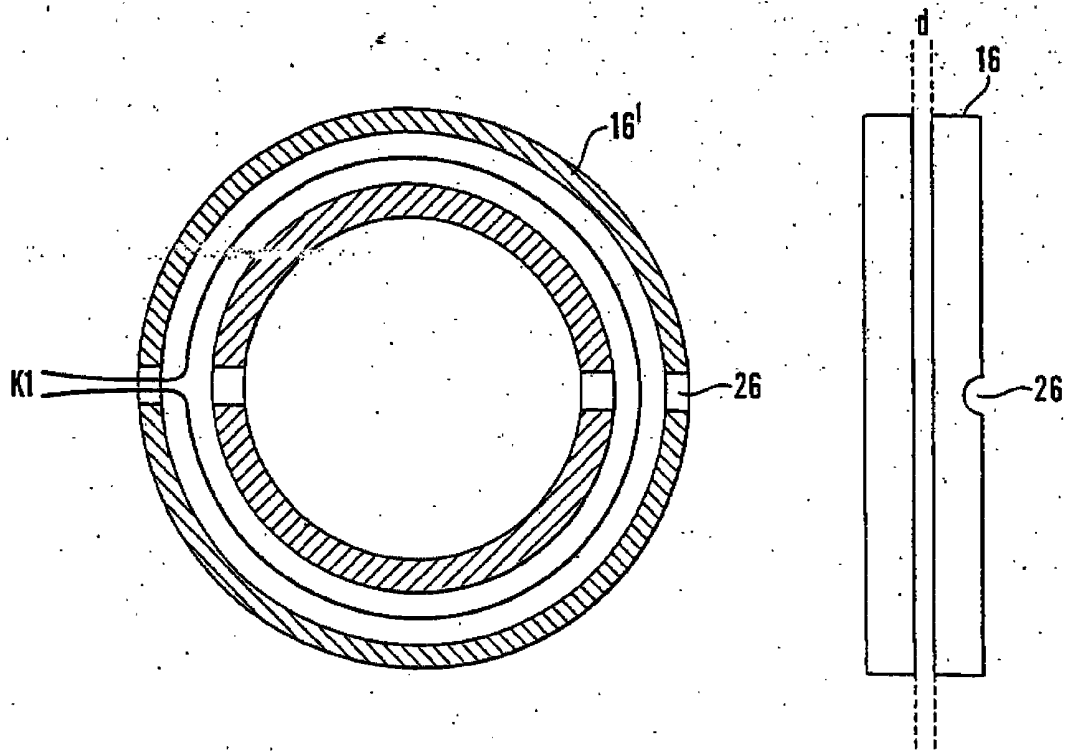


Fig.45a

Fig.45b

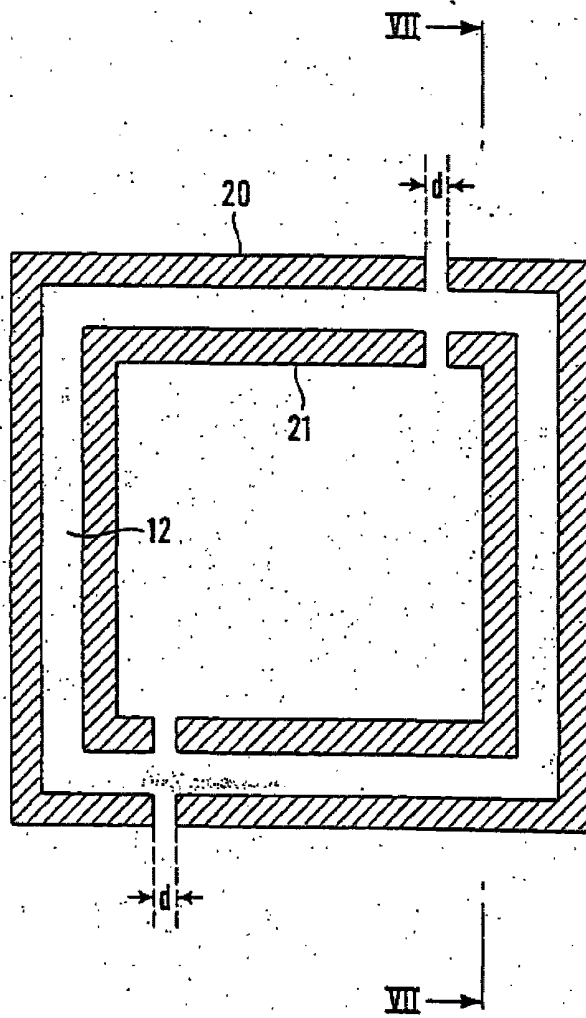


Fig. 46a

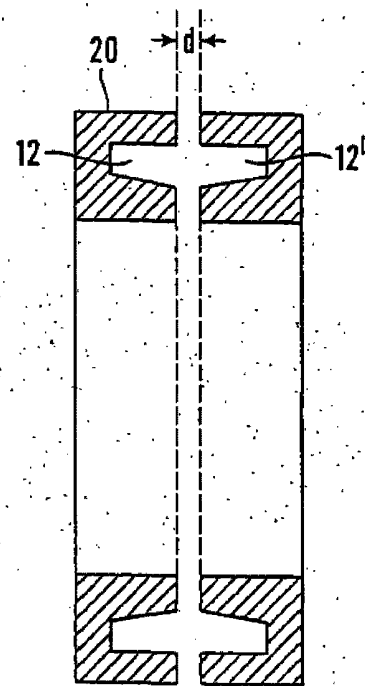


Fig. 46b

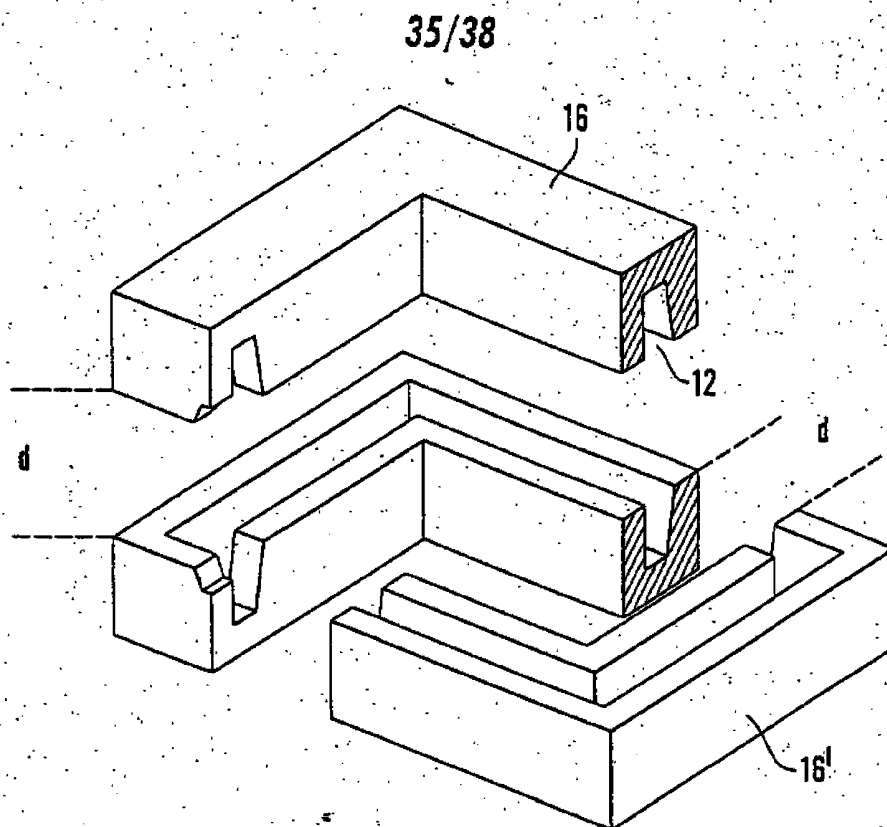


Fig.47a

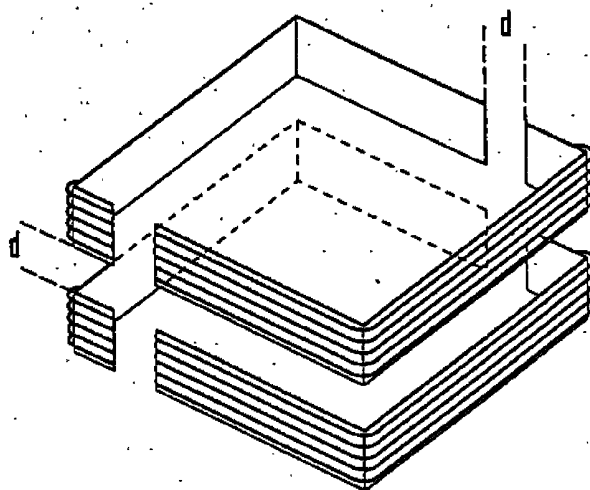


Fig.47b

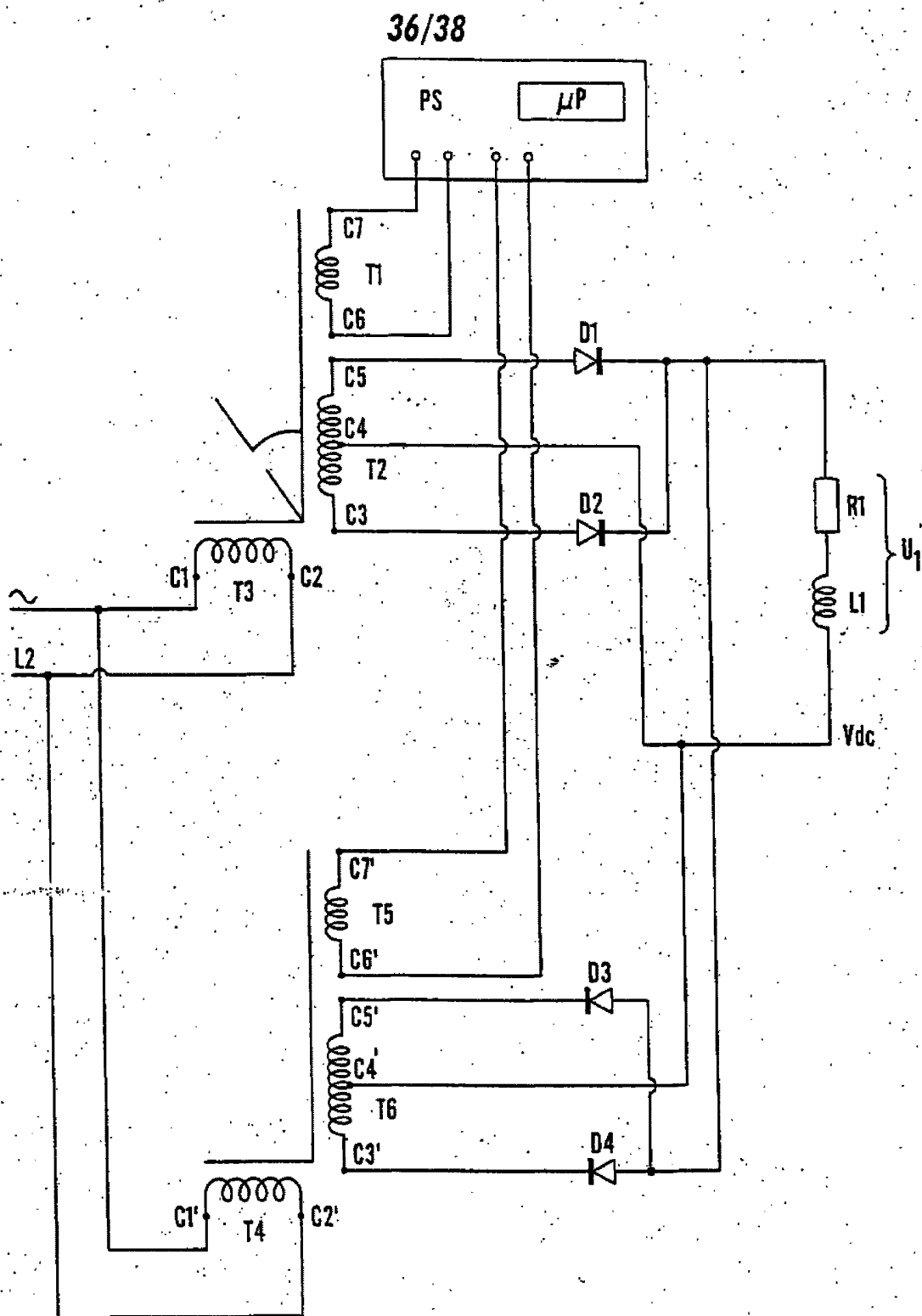


Fig.48

37/38

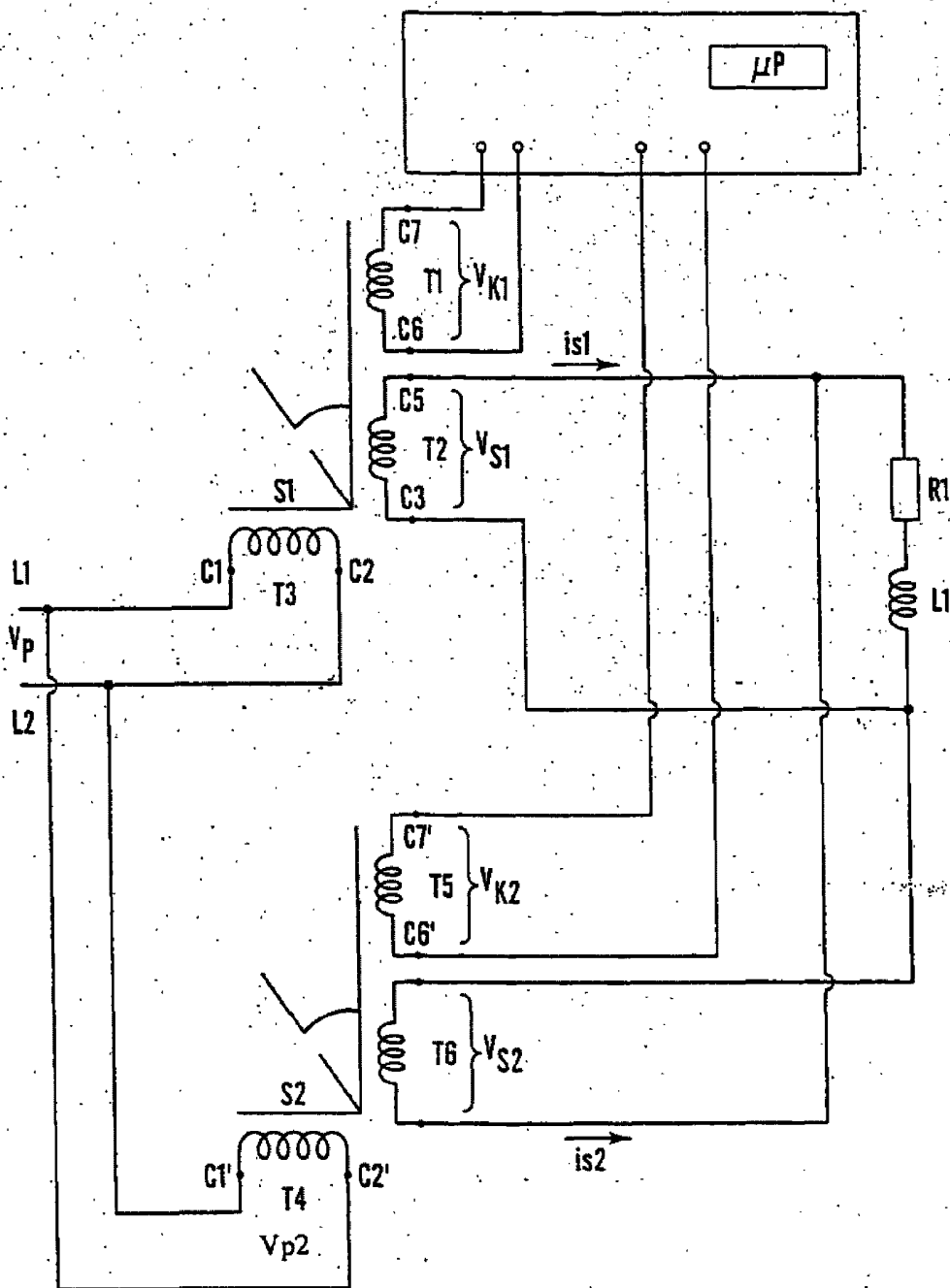


Fig.49

38/38

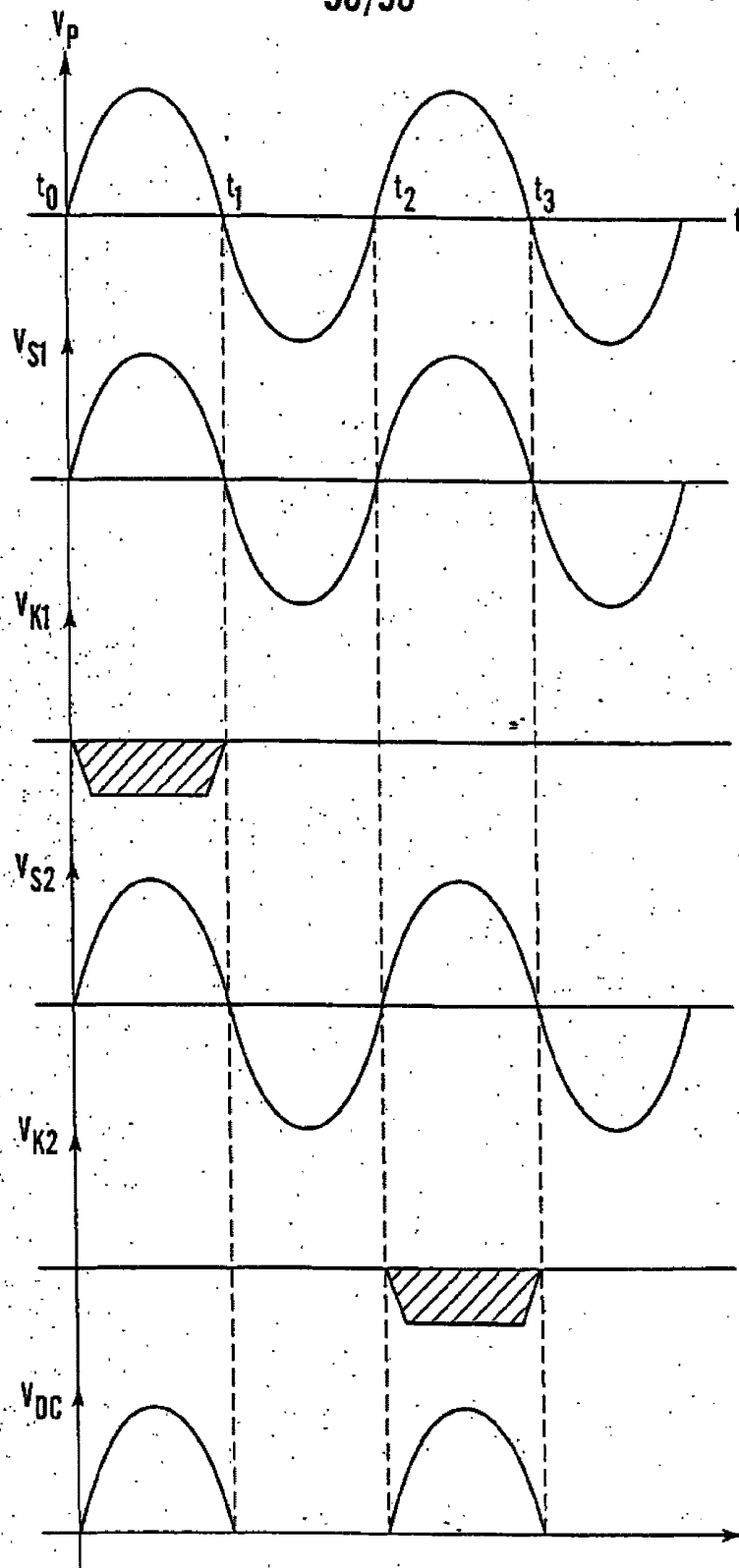


Fig.50