



NORGE

(12) PATENT

(19) NO

(51) Int Cl⁷

(11) 320439

H 02 M 3/28

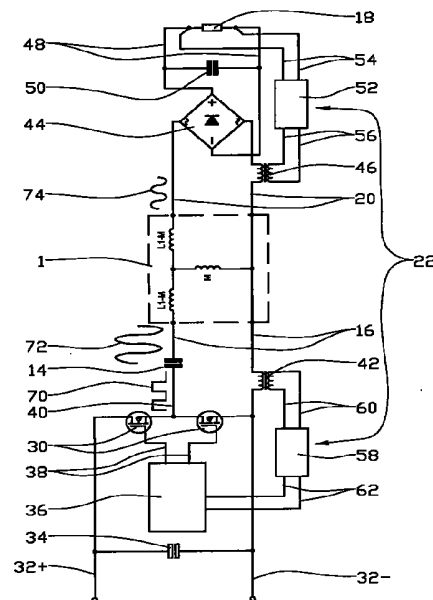
(13) B1

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20041775	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	2004.04.30	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	2004.04.30	(30)	Prioritet	Ingen
(41)	Alm.tilgj	2005.11.01			
(45)	Meddelt	2005.12.05			
(73)	Innehaver	Geir Olav Gyland, 4436 GYLAND, NO			
(72)	Oppfinner	Geir Olav Gyland, 4436 GYLAND, NO			
(74)	Fullmektig	Håmsø Patentbyrå ANS, Postboks 171, 4302 SANDNES, NO			

(54)	Benevnelse	Anordning og fremgangsmåte for kontaktløs energioverføring
(56)	Anførte publikasjoner	JP 11 146 645, JP 2001119943, JP 6 327 257
(57)	Sammendrag	

Anordning og fremgangsmåte for kontaktløs overføring av elektrisk energi ved hjelp av en transformator (1) omfattende i det minste en primærside (2) og i det minste en sekundær side (8), hvor en resonans settes opp i en krets omfattende transformatorens (1) primærvinding (4) og en med primærvindingen (4) seriekopledd kondensator (14), og hvor resonanskretsen (1, 14) koples til en strømkilde (13) som frekvensreguleres.



ANORDNING OG FREMGANGSMÅTE FOR KONTAKTLØS ENERGIOVERFØRING

Denne oppfinnelse vedrører en anordning for kontaktløs energioverføring. Nærmere bestemt dreier det seg om overføring av elektrisk energi uten metallisk forbindelse ved hjelp av magnetisk induksjon og hvor en transformators lekkinduktans inngår i en resonanskrets som et vesentlig element for energioverføringen, idet kretsens energikilde er frekvensregulert. Oppfinnelsen omfatter også en fremgangsmåte for å utøve oppfinnelsen.

10 Kontaktløs transmisjon av elektrisk energi mellom legemer ifølge kjent teknikk baserer seg på andre arter av induktive overføringer og elektromagnetisk stråling.

Hovedulempene med disse kjente anordninger for kontaktløs energioverføring er at de oppviser en relativt lav virkningsgrad, særlig når avstanden mellom legemene som det ønskes å overføre energi imellom er relativt stor. Den relativt lave virkningsgrad som kjennetegner anordninger ifølge kjent teknikk kan gi seg utslag i uønsket varmgang eller uønsket overføring av energi til omgivelsene.

Det er kjent å anvende en transformator med todelt kjerne for kontaktløs energioverføring. Transformatorens primær- og sekundærviklinger er i en slik transformator anordnet på hver sin kjernehalvdel. I praktiske utførelsesformer av transformatorer av denne art er det sjelden tale om mer enn en millimeter avstand mellom kjernehalvdelene. Ved større avstand øker lekkinduktansen betydelig, tapet i transformatoren øker og det vil forekomme en betydelig utstråling av elektromagnetisk forstyrrelse, såkalt EMI (Electromagnetic Interference).

10 JP patentsøknad 2001119943 beskriver en transformator som omfatter en primærside og en sekundærside, og hvor transformatorens primærvinding/primærlekkinduktans er seriekoplet med en kondensator slik at den utgjør en resonanskrets.

15 JP patent 11146645 beskriver en svitsjefrekvensregulerbar krets som endrer frekvensen til svitsjeoperasjonen til en transistor avhengig av størrelsen på lasten.

JP patent 6327257 omhandler en krets hvor en likestrømskilde er koplet til en omformerrets. Omformerretsen omformer en likespenning til en vekselspanning, et firkantsignal. Kretsen er koplet til en transformator som har en resonanskrets hvor firkantsignalet blir omformet til et sinusformet signal.

Ideelt sett lagrer ikke en transformator energi, men overfører all energi momentant fra inngang og til utgang. I praktiske utførelsesformer lagres imidlertid noe energi i transformatoren.

Lekkinduktans bevirker at det lagres energi i det ikke-magnetiske området mellom transformatorens vindinger og kjernehalvdelens poler. Lekkinduktansen er forårsaket av en dårlig flukskopling. Lekkinduktansen er normalt uønsket. Gjensidig induktans (Mutual induktans) bevirker at det lagres

energi i transformatorkjernen og i gapet mellom de to kjernehalvdeler.

Lekkinduktansen, slik den fremkommer i anordninger ifølge kjent teknikk, medvirker således til redusert virkningsgrad, begrensninger i overføringsavstand og uønsket stråling (EMI).

Oppfinnelsen har til formål å avhjelpe eller redusere i det minste en av ulempene ved kjent teknikk.

Formålet oppnås i henhold til oppfinnelsen ved de trekk som er angitt i nedenstående beskrivelse og i de etterfølgende patentkrav.

Ifølge oppfinnelsen settes det opp en serieresonans mellom hovedsakelig lekkinduktansen og en seriekapasitans på inngangen til en oppdelt transformators primærvinding. Inngangen mates med en frekvens som regulerbart er tilpasset serieresonanskretsen. Lekkinduktansen inngår som en vesentlig komponent i oppfinnelsen og søkes derfor ikke i størst mulig grad redusert, men dens verdi optimaliseres.

Forsøk viser at det selv ved en betydelig avstand mellom transformatorens kjernedeler kan oppnås en overraskende forbedring i virkningsgrad sammenlignet med energioverføring ifølge kjent teknikk. Det er også overraskende at virkningsgraden innenfor et avgrenset avstandsintervall mellom transformatorens kjernedeler bare i ubetydelig grad påvirkes av avstandsendingen.

Grunnet komponentvariasjoner, endring i avstand mellom transformatorens kjernehalvdeler, endring i inngangsspenning samt lastendring, er det en fordel å justere den til resonanskretsen tilførte frekvens under drift for å sikre en optimal energioverføring. Anordningen er således mest fordelaktig

forsynt med en tilbakekoplingsløyfe fra sin utgang.

Frekvensen reguleres fra høy frekvens og ned mot resonansfrekvensen. Det å regulere fra en høyere frekvens og nedover mot resonansfrekvensen er nødvendig for å oppnå høy virkningsgrad og relativt lite EMI. Årsaken er blant annet at energi tilføres før resonanskretsens sinuskurve har nådd sitt maksimale spenningsnivå dersom frekvensen er høyere enn resonansfrekvensen. Dersom frekvensen er lavere enn resonansfrekvensen vil energien bli tilført med motsatt polaritet i forhold til spenningsendringen (ΔU) til sinuskurven, hvorved virkningsgraden reduseres.

Oppfinnelsen forklares nærmere i beskrivelsens spesielle del.

Energioverføringens effektivitet påvirkes av en del faktorer. Dersom en tilnærmet ohmsk last reduseres (lavere resistans) blir lekkinduktansens såkalte Q-faktor høyere, hvorved virkningsgraden økes. Årsaken til dette er at lekkinduktansen L_2 - M på transformatorens sekundærside kommer i serie med den ohmske last og at disse er i parallell med den gjensidige induktansen M . Dette gjør at dersom resistansen reduseres vil lekkinduktansens Q-verdi øke, noe som igjen fører til økt Q-verdi til hele resonanskretsen.

Q-faktoren til en spole eller en serieresonanskrets defineres som

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

hvor ω er frekvens, L er induktans i transformatoren og R er ohmsk motstand i transformatorens viklingstråd ved frekvensen ω .

En tifold endring av en tilnærmet ohmsk last medfører således ikke nevneverdig endring på resonansfrekvensen til den induktive koblingen.

En last som delvis fører til disse egenskaper frembringes dersom lasten kobles til etter at utgangssignalet fra transformatoren er likerettet og filtrert med en høy kapasitans som ikke påvirker resonansfrekvensen.

Primærsiden av transformatoren utvikler mest varme. Tapene omfatter tap i vikletråden, tap grunnet absorpsjon av støy og tap grunnet et større felt i kjernen.

Når resonansleddets Q-faktor økes, vil strømmen i viklingen reduseres på grunn av at spenningen over viklingen vil øke. Dette bevirker at tråddiameteren kan reduseres.

Induktansen på transformatorens primær- og sekundærside bør mest fordelaktig være så høy som mulig. Den øvre grense for induktansen bestemmes av optimal lekkinduktans, antall tårn det er plass til på kjernen og av tapet som følge av ohmsk motstand i vikletråden.

Ved redusert kapasitans øker Q-faktoren i resonanskretsen. Spenningen inn på transformatoren øker, hvorved strømmen minsker. Det er strømnivået som fører til metning i kjernen. Dersom kapasitansverdien er liten vil serieresonanskretsens impedans $|Z|$ ved den aktuelle frekvens være høy. Dette medfører at maksimalt overførbar effekt reduseres. Impedansen til en serieresonanskrets $|Z|$ defineres som

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

hvor ω er frekvens, L er induktans i transformatoren, C er kapasitans og R er ohmsk motstand i transformatorens vikingstråd ved frekvensen ω .

Formelen gjelder for en serieresonanskrets, mens ifølge denne oppfinnelse vil induktansen L representere ekvivalenten sett fra transformatorens primærside. Lasten vil også inngå i denne ekvivalenten. Formelen viser i hovedtrekk prinsippet for kretsens impedans som funksjon av frekvensen. Når enhetene ikke er sammenkoblet eller ved lav belastning, vil frekvensen være høy. Når belastningen øker (impedansen reduseres) går frekvensen ned mot resonansfrekvensen til kretsen. Hvor nær resonansfrekvensen er avhengig av lasten, men frekvensen vil aldri bli lik eller lavere enn resonansfrekvensen.

Den høye Q-faktor i resonanskretsen fører til betydelig mindre strøm i primærviklingen sammenlignet med kjent teknikk for overføring av energi. Når sekundærviklingens kjerne, sekundærkjernen, har en avstand (luftgap) til primærkjernen som er relativt stor (20% til 50%) i forhold til avstanden mellom primærkjernens poler, blir feltet som går igjennom sekundærkjernen redusert. Feltet på primærsiden må da økes for å holde spenningen på sekundærsiden på ønsket nivå.

Når resonanskretsen påtrykkes en frekvens nær resonans, vil spenningen over primærviklingen stige kraftig og strømmen vil synke. Strømmen i primærkjernen må være så liten som mulig for å oppnå best mulig virkningsgrad. Større strøm fører til større magnetisk flukstetthet (B) som gir større tap i kjerne og i tillegg blir tapet i vikingene større.

Anordningen og fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen er velegnet også for overføring av signal.

I det etterfølgende beskrives et ikke-begrensende eksempel på en foretrukket utførelsesform og fremgangsmåte som er anskueliggjort på medfølgende tegninger, hvor:

Fig. 1 viser et koplings skjema for en transformator ifølge i
5 og for seg kjent teknikk;

Fig. 2 viser T-ekvivalenten til transformatoren i fig. 1;

Fig. 3 viser en prinsippskisse for energioverføring som utnytter transformatorens lekkinduktivitet;

Fig. 4 viser i snitt en transformator;

10 Fig. 5 viser et noe forenklet koplings skjema for energioverføringen;

Fig. 6 viser resonansleddets frekvensrespons;

Fig. 7 viser skjematisk spenning over primærviklingen; og

Fig. 8 viser skjematisk strøm over primærviklingen

15 For bedre å kunne vise oppfinnelsens virkemåte forklares først under henvisning til fig. 1 og 2 betegnelser vedrørende en transformator av i og for seg kjent utførelse. Transformatoren er betegnet med henvisningstallet 1. Transformatoren 1 omfatter en primærside 2 som inkluderer en primærvinding 4 og
20 en primærkjerne 6, og en sekundærside 8 som inkluderer en sekundærvinding 10 og en sekundærkjerne 12.

I fig. 1 betegner L1 induktansen i transformatorens 1 primærside 2 mens L2 betegner induktansen på sekundærsiden 8. M betegner gjensidig induktans for transformatoren 1.

T-ekvivalenten for transformatoren 1 er vist i fig. 2 hvor
5 L1-M representerer lekkinduktansen på primærsiden 2 og L2-M
representerer lekkinduktansen på sekundærsiden 8.

Lekkinduktans representerer som nevnt i beskrivelsens generelle del den energi som blir lagret i det ikke magnetiske området mellom transformatorens 1 primærvindinger 4 samt sekundærvindinger 10, mens den gjensidig induktans representerer den energi som er lagret i kjernene 6, 12 og i gapet mellom transformatorens 1 primærkjerne 6 og sekundærkjerne 12.
10

En strømkilde 13, se fig. 3, forsyner transformatorens 1 primærvinding 4 med en frekvensregulert spenning via en seriekondensator 14 og tilførselsledninger 16, se fig 4. En last 18 er koplet til sekundærviklingens 10 tilkopplingsledninger 20. En tilbakemeldingssløyfe 22 er innrettet til å regulere frekvensen ut fra strømkilden 13.
15

Transformatorens 1 primærside 2 og sekundærside 8 er omsluttet av hver sin elektrisk isolerende kappe 24 eller tilsvarende, se fig. 4.
20

I koplings skjemaet i fig. 5 er anordningen ifølge oppfinnelsen vist noe mer detaljert.

To transistorer 30 er koplet til en ikke vist likestrømskilde via ledninger 32+ og 32-, se fig. 5. En første filterkondensator 34 er koplet mellom ledningene 32+ og 32-. Transistorene 30 er innrettet til å kunne omforme tilført strøm til et firkantsignal ved hjelp av styresignaler fra en spenningsstyrt oscillator 36 via ledninger 38.
25

En ledning 40 forbinder transistorenes 30 felles utgang med seriekondensatoren 14. Seriekondensatoren 14 er ved hjelp av den ene av tilførselsledningene 16 koplet i serie med transformatorens 1 primærvinding 4, mens den andre av tilførsels-
5 ledningene 16 er koplet til ledningen 32- via en første signaltransformator 42.

Sekundærsidens 8 tilkopplingsledninger 20 er koplet til en likeretter 44, idet den ene av tilkopplingsledningene 20 forløper via en andre signaltransformator 46. Lasten 18 er koplet
10 til likeretteren 44 ved hjelp av ledninger 48. En andre filterkondensator 50 er koplet mellom ledningene 48.

En amplitudemodulator 52 er koplet til ledningene 48 via ledninger 54 og til den andre signaltransformator 46 ved hjelp av ledninger 56.

15 Den første signaltransformator 42 er koplet til en demodulator 58 via ledninger 60. Demodulatoren 58 kommuniserer med oscillatoren 36 via ledninger 62.

Tilbakemeldingssløyfen 22 omfatter i dette utførelseseksempel således amplitudemodulatoren 52, signaltransformatorene 42,
20 46, transformatoren 1 og demodulatoren 58 samt tilhørende ledninger 54, 56, 20, 16, 60 og 62.

Når energi skal overføres mellom transformatorens 1 primærside 2 og sekundærside 8, se fig. 4 og 5, påtrykkes transistorene en likespenning fra den ikke viste strømkilde via ledningene 32+, 32-. Oscillatoren 36 styrer via ledningene 38
25 transistorene 30 til å omforme den tilførte energi til et firkantsignal. Firkantsignalet er illustrert i fig. 5 og er tildelt henvisningstallet 70. Den tilførte energi bevirker at det settes opp en serieresonanskrets mellom transformatorens
30 1 lekkinduktivitet og seriekondensatorens 14 kapasitans.

Firkantsignalet 70 omformes derved til et sinussignal 72 med høy amplitude. Det korresponderende signal i sekundærvingen er betegnet med 74 på tegningen.

5 Frekvensen på transformatorens 1 primærving 4 må tilpasses serieresonanskretsen. På grunn av komponentvariasjoner, endring i avstand mellom kjernehalvdelen, endring i inngangsspenning og lastendring, sikres optimal overføring av energi ved å justere frekvensen til resonanskretsen ved hjelp av tilbakekoplingsløyfen 22 fra transformatorens 1 sekundærving 10.

Spenningen ved lasten 18 måles og tilføres amplitudemodulatoren 52 som sender en amplitudemodulert frekvens via den andre signaltransformator 46, transformatoren 1 og den første signaltransformator 42 til demodulatoren 58. Signalet filtreres og demoduleres til en spenning i demodulatoren 58, hvorefter demodulatoren 58 videresender signalet til den spenningsstyrte oscillator 36.

Frekvensen reguleres fra høy frekvens og ned mot resonansfrekvensen. Når enhetene ikke er sammenkoblet eller ved lav belastning, vil frekvensen være høy. Når belastningen øker (impedansen reduseres) går frekvensen ned mot resonansfrekvensen til kretsen. Det å regulere fra en høyere frekvens og nedover mot resonansfrekvensen er nødvendig for å oppnå høy virkningsgrad og relativt lite EMI. Som beskrevet i beskrivelsens generelle del har dette sitt grunnlag i at energien tilføres resonanskretsen før dens sinuskurve har nådd maksimal spenningsnivå dersom frekvensen er høyere enn resonansfrekvensen. Dersom frekvensen er lavere enn resonansfrekvensen vil energien bli tilført med motsatt polaritet i forhold til spenningsendringen (ΔU) til sinuskurven, og virkningsgraden reduseres.

En overføringsfunksjon for resonanskretsen er vist i fig. 6. Den er basert på målinger med en kjerne med diameter 30mm, et luftgap på 2mm mellom primærkjernen 6 og sekundærkjernen 12, og en seriekondensator. Spenningen ved resonans ut fra sekundærvingen 10 er høyere enn signalnivået inn på seriekondensatoren 14. Dette er en ønskelig situasjon fordi det da er mulig å regulere inn en stabil utgangsspenning ved variasjon i inngangsspenningen og variasjon i avstanden mellom primær- og sekundærkjernen.

10 Spenningen som påtrykkes resonanskretsen er firkantspenning med 50% driftsyklus (duty cycle). Fig 7 og 8 viser målt spenning og strøm i primærviklingen. Til denne målingen er det benyttet samme resonanskrets som for fig. 6. Strømmen er en tilnærmet sinus med lite overharmoniske frekvenskomponenter, 15 noe som bevirker at luftgapet mellom kjernehalvdelen stråler ut lite støy (EMI). Sammenlignet med sagtannformet strømstyrke som anvendes i de fleste strømforsyninger ifølge kjent teknikk, vil denne utførelse stråle ut lite EMI.

Lekkinduktans representerer vanligvis et tap, men oppfinnelsen 20 bevirker at denne tapsenergi overføres til sekundærvingen.

Ved høy induktans i transformatoren vil lekkinduktansen ved et relativt stort luftgap mellom kjernehalvdelen bli tilnærmet konstant ved endring i avstanden mellom transformatorens 25 kjernehalvdeler. I et forsøk ble det anvendt en kjerne med diameter på 30mm og med en avstand mellom kjernene på 2mm. En avstandsøkning mellom kjernene på 33% (1mm) reduserte induktansen i spolen med ca. 13% mens lekkinduktansen økte med bare 1,5%. Dette gjør at resonanskretsen i sin helhet ikke 30 påvirkes nevneverdig av en slik økning i avstanden mellom kjernene.

P a t e n t k r a v

1. Anordning ved en transformator (1) omfattende i det minste en primærside (2) og i det minste en fra primærsiden (2) atskilt sekundærside (8) for overføring av elektrisk energi uten elektrisk ledende forbindelse, hvor transformatorens (1) primærvinding (4) er seriekopledd med en kondensator (14) og hvor kondensatoren (14) hovedsaklig sammen med transformatorens (1) lekkinduktans utgjør en resonanskrets, k a r a k t e r i s e r t v e d at resonanskretsen (1, 14) er kopledd til en frekvensregulerbar strømkilde (13).
5
2. Anordning i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at den frekvensregulerbare strømkilde (13) reguleres ved hjelp av en tilbakekopplingsløyfe (22) fra lasten (18) på transformatorens (1) sekundærside (8).
10
3. Anordning i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at resonanskretsen (1, 14) påføres en frekvens som er høyere enn resonansfrekvensen.
15
4. Fremgangsmåte for kontaktløs overføring av elektrisk energi ved hjelp av en transformator (1) omfattende i det minste en primærside (2) og i det minste en sekundærside (8), hvor en resonans settes opp i en krets omfattende transformatorens (1) primærvinding (4) og en med primærvindingen (4) seriekopledd kondensator (14), k a r a k t e r i s e r t v e d at resonanskretsen (1, 14) koples til en strømkilde (13) som frekvensreguleres.
20
5. Fremgangsmåte i henhold til krav 4, k a r a k t e r i s e r t v e d at resonanskretsen anvendes som et selek-
25

tivt filter for å omforme et firkantsignal til et i hovedsak sinusformet signal.

6. Fremgangsmåte i henhold til krav 4, k a r a k t e r i -
s e r t v e d at frekvensen som påføres transformatorens
s (1) primærvinding (4) reguleres ved hjelp av en tilbake-
meldingssløyfe (22) som kommuniserer med transformatorens
(1) sekundærside (8).

1/5

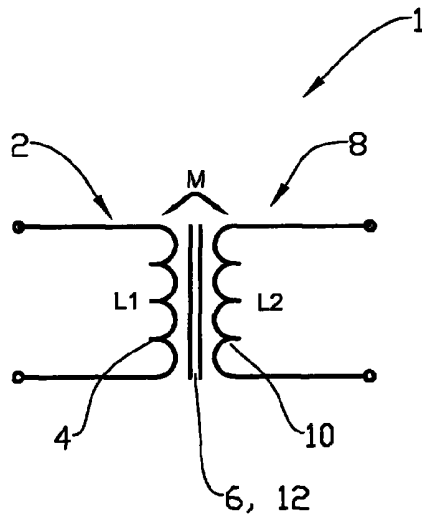


Fig. 1

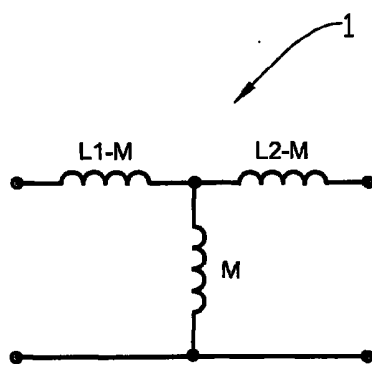


Fig. 2

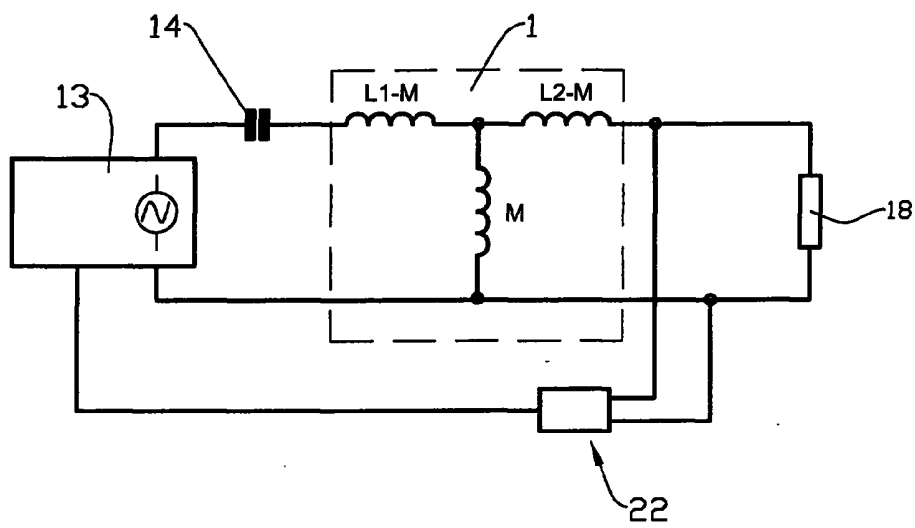


Fig. 3

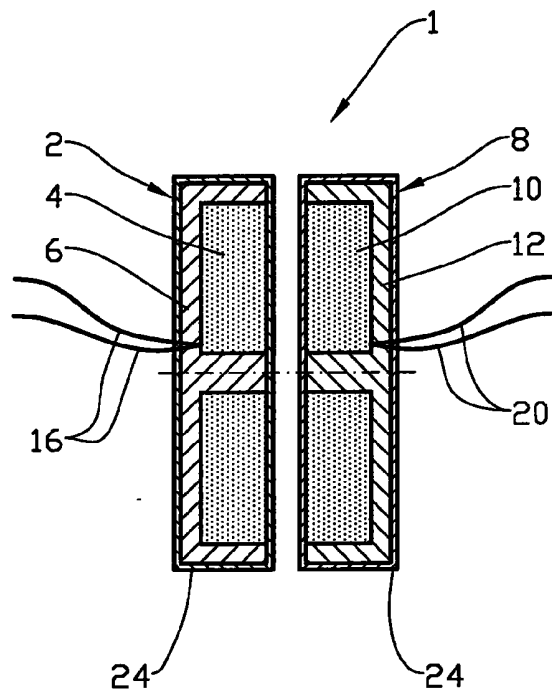


Fig. 4

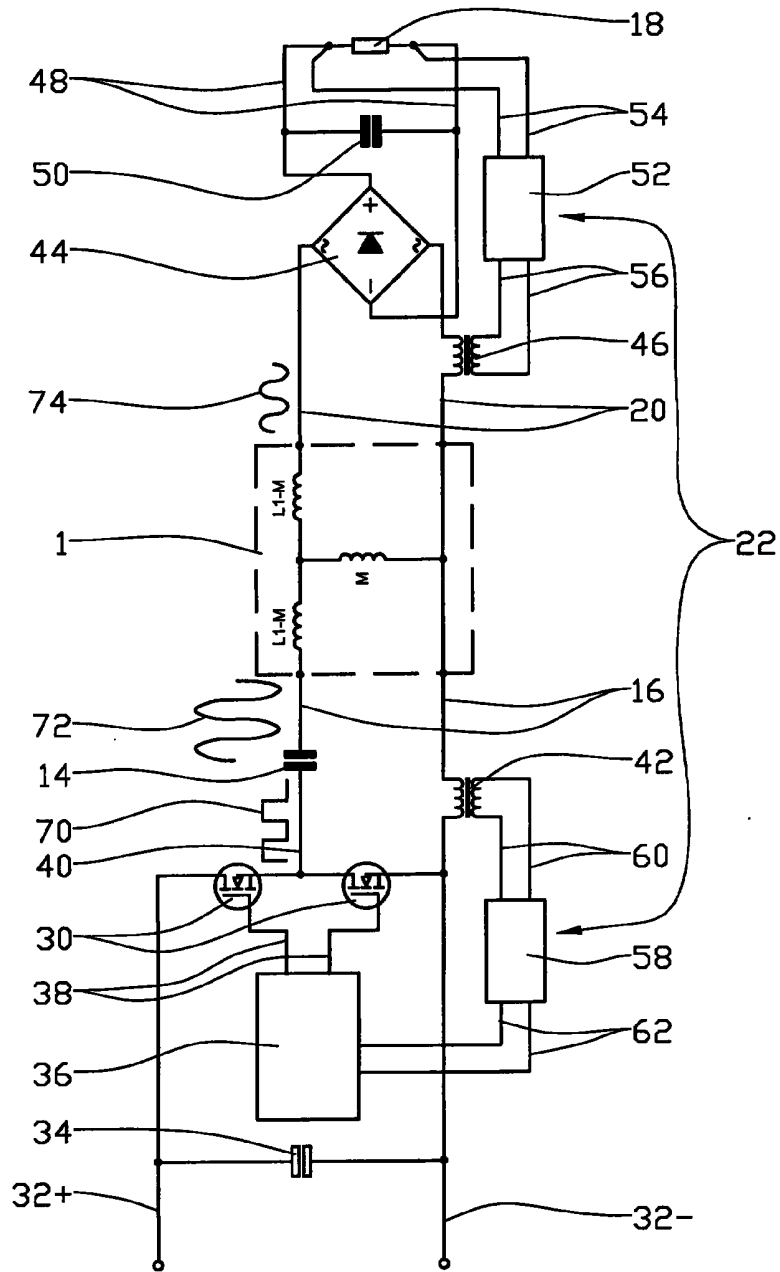


Fig. 5

5/5

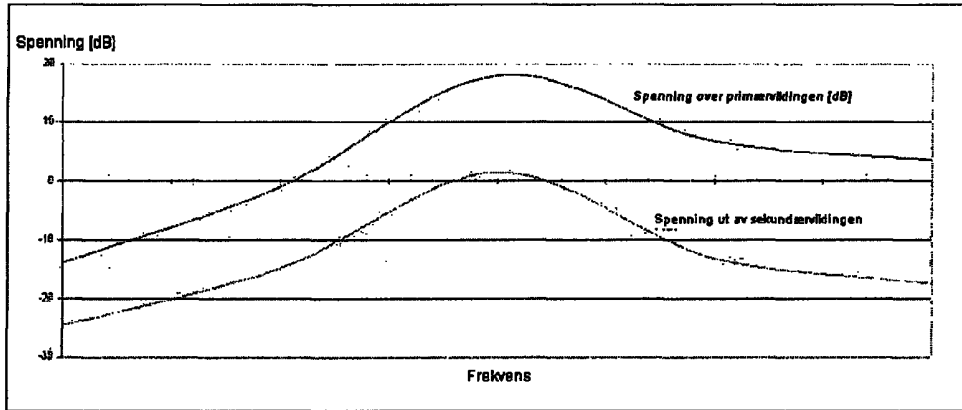


Fig. 6

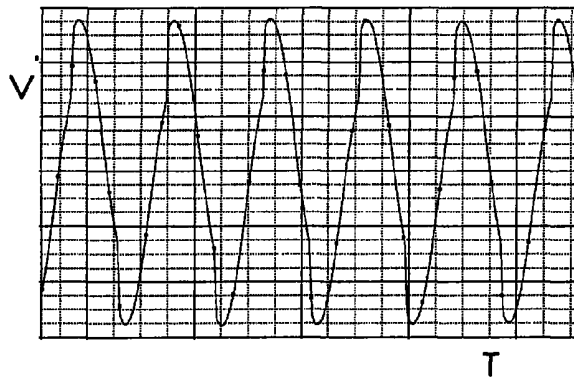


Fig. 7

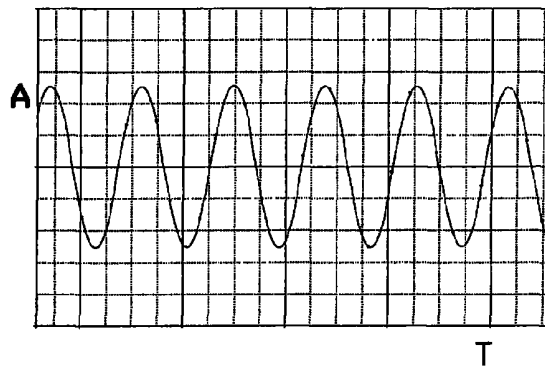


Fig. 8