



(12) PATENT

(19) NO

(11) 329698

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

H01F 38/16 (2006.01)

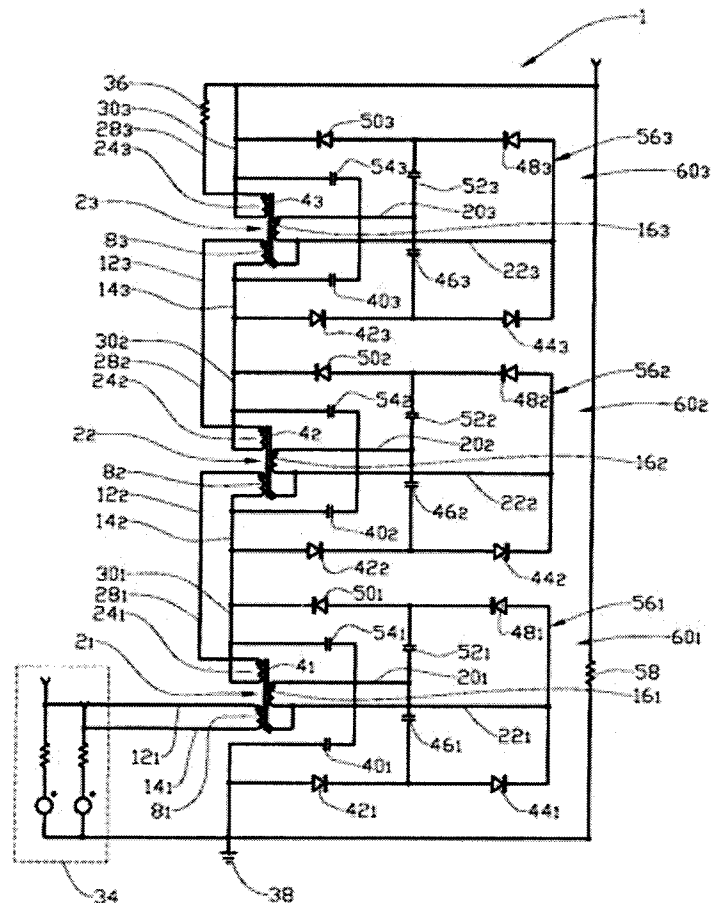
H01F 30/04 (2006.01)

### Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20090825	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2009.02.23	(85)	Videreføringdag
(24)	Løpedag	2009.02.23	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2010.08.24		
(45)	Meddelt	2010.12.06		
(73)	Innehaver	Badger Explorer ASA, Postboks 130, 4065 STAVANGER, Norge		
(72)	Oppfinner	Øyvind Wetteland, Rødknappbakken 28, 4025 STAVANGER, Norge		
(74)	Fullmektig	Håmsø Patentbyrå ANS, Postboks 171, 4302 SANDNES, Norge		

(54)	Benevnelse	<b>Høyspenttransformator</b>
(56)	Anførte publikasjoner	CN 2648566 Y
(57)	Sammendrag	

Høyspenttransformator (1) for kaskadekopling hvor høyspenttransformatoren (1) omfatter en primærvikling (8), en høyspentvikling (16) og en transformatorjerne (4), og hvor primær- og høyspentviklingene (8, 16) konsentrisk omkranser i det minste en andel av transformatorkjernen (4), og hvor høyspenttransformatoren (1) er forsynt med en sekundærvikling (24), idet høyspentviklingen (16) omfatter ett eller flere parallelt koplet enkeltlag.



## HØYSPENTTRANSFORMATOR

Denne oppfinnelse vedrører en høyspenttransformator. Nærmere bestemt dreier det seg om en høyspenttransformator for kaskadekopling hvor høyspenttransformatoren omfatter en primærvikling, en høyspentvikling og en transformator-kjerne og hvor primær- og høyspentviklingene konsentrisk omkranser i det minste en andel av transformator-kjernen.

I beskrivelsen anvendes betegnelsen "gode høyfrekvenssegenskaper". Med dette menes at en såkalt "pulse transformer" med relativt lav koplingsinduktans mellom primær- og sekundærviklinger, relativt lav såkalt "skin effect" og "proximity effect" i viklingene ved relativt høye frekvenser, relativt lav parasittisk kapasitans internt i viklinger og relativt lav kapasitans mellom viklinger og mellom viklinger og transformator-kjernen. Dette gjelder spesielt høyspentviklingen. De nevnte fysiske parametere er velkjent for en fagmann og forklares derfor ikke nærmere.

For en pulstransformator som drives nær metning, typisk for invertere, anvendes ofte det praktiske uttrykket:

$$U = 4B_s * f * n * A_e$$

hvor:  $B_s$  = magnetisk flukstetthet (metning),  $U$  = toppverdien av spenningen over viklingen,  $f$  = arbeidsfrekvens,  $n$  = antall tårn og  $A_e$  = effektivt tverrsnitt av trafokjernen.

Av uttrykket fremgår at høy utgangsspenning kan oppnås ved høy frekvens, høy metningsfeltstyrke, stort jerntværssnitt og mange tårn.

- 5 Har man liten plass til rådighet er det enkleste ofte å øke frekvensen. For å unngå for store virvelstrømstap må man da bruke kjernematerialer med lav elektrisk ledningsevne, for eksempel ferritt, jernpulver, eller såkalte "tape wound cores".
  - 10 En fremgangsmåte for å tilføre transformatoren en relativt høy frekvens omfatter en såkalt SMPS - (Switched Mode Power Supply) teknikk. Den tilførte effekt omformes ifølge denne teknikk til en fortrinnsvis firkantpulsformet, hørfrekvent inngangsspenning til høyspenttransformatoren.
  - 15 En høyspenttransformator av kjent utførelse har som nevnt grunnet sin virkemåte, et relativt høyt antall turn i sekundærviklingen. Dette medfører en forhøyet sekundærkapasitans ved at viklinger med mange lag av forholdsvis tynn vikletråd har mindre innbyrdes gjennomsnittlig avstand fra hverandre  
20 enn i en transformator hvor vikletråden har større diameter.
- Sekundærviklingens mange turn krever relativt stor plass og fører derved til at transformatorkjernen og primærviklingen blir relativt store. I tillegg kreves forholdsvis store isolasjonsavstander mellom høyspentvikling, primærvikling og  
25 transformatorkjeerne. At transformatoren derved blir relativt stor fører til økt tap i transformatorviklinger samt at høyspenttransformatorer av denne art får en relativt lav koplingsfaktor. Lav koplingsfaktor kan modelleres som en relativt stor koplingsinduktans. Årsaken er at en relativt stor  
30 avstand mellom primær- og sekundærviklingene fører til dårlig magnetisk kopling mellom disse.

Denne utilsiktede og i hovedsak uunngåelige parasittiske kopplingsinduktans vil på samme måte som sekundærkapasitansen og i kombinasjon med sekundærkapasitansen påvirke strømmen i transformatoren. Ved at kopplingsinduktansen begrenser høyfrekvent strøm samt at det meste av denne strøm brukes til å drive intern, parasittisk kapasitans i sekundærviklingen, oppstår det en klar begrensning i utgangseffekt fra sekundærviklingen ved høye frekvenser. Høyspenttransformatorer av denne art oppviser således en relativt snever båndbredde, det vil si den høyeste drivfrekvens høyspenttransformatoren kan arbeide ved.

Kjent, lavspent SMPS-teknikk kan produsere spenning opp til i størrelsesorden 1 kV. Ved høyere spenninger er det nødvendig å tilpasse transformatoren ved hjelp av i og for seg kjente teknikker som spenningsmultiplikasjon, kaskadekoblede høyspenttransformatorer, lagdelt vikleteknikk eller såkalt "resonant switching" for å kompensere for den relativt snevre båndbredde i en høyspenttransformator.

Felles for disse teknikker er imidlertid at de bare i begrenset grad overkommer ulempene samtidig som de kompliserer og derved fordyrer den komplette høyspentomformer.

Det er kjent å redusere antall lag i en transformator for å kunne oppnå forbedrede egenskaper i transformatoren. US-patent 7274281 omhandler en transformator for en utladningslampe så som et lysstoffrør hvor transformatoren er forsynt med to seriekoblede primærviklinger som kan utgjøres av ett viklelag.

US 1680910 beskriver en transformator for kaskadekopling. Denne er imidlertid ikke egnet for SMPS fordi den har høy kapasitans i viklingene og lav kopplingsfaktor.

US 4518941 omhandler en transformator som er velegnet for

SMPS men hvor omsetningsforholdet er en til en. Transformatoren ifølge dette dokument er ikke egnet som høyspenningstransformator.

5 US3678429 beskriver en høyspenttransformator for kaskadekopling hvor det foruten en primærvikling og en høyspentvikling er anordnet en vikling for kaskadekopling. Grunnet høyspentviklingens utforming er transformatoren ifølge US3678429 ikke egnet for SMPS.

10 US 3579078 omhandler en ett-trins transformator som er koplet til en såkalt "Voltage Quadrupler". Transformatoren løser imidlertid ikke det aktuelle tekniske problem idet en ikke oppnår tilstrekkelig høy spenning i ett trinn.

15 Fra WO 2007045275 er det kjent å anvende to sekundærviklinger for kaskadekopling med en såkalt "flyback-converter" for å oppnå en stabil utgangsspenning i hvert kaskadetrinn.

Kjent teknikk oppviser ikke transformatorer med tilfredsstillende høyspentegenskaper som samtidig er egnet for kaskadekopling.

20 Oppfinnelsen har til formål å avhjelpe eller redusere i det minste én 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.

25 Det er tilveiebrakt en høyspenttransformator for kaskadekopling hvor høyspenttransformatoren omfatter en primærvikling, en høyspentvikling og en transformator-kjerne og hvor primær- og høyspentviklingene konsentrisk omkranser i det minste en andel av transformator-kjernen, og som kjennetegnes ved at høyspenttransformatoren er forsynt med en sekundærvikling,

idet høyspentviklingen omfatter ett enkeltlag eller flere parallelt koplet enkeltlag.

I høyspenttransformatoren ifølge oppfinnelsen er spenningen over både primær- og sekundærviklingen lavspent relativt høyspentviklingen. Sekundærviklingen er innrettet til å lede en større effekt enn høyspentviklingen.

Høyspentviklingen er også en sekundærvikling, men betegnelsen høyspentvikling er anvendt for bedre å skille denne vikling fra den relativt lavspente sekundærvikling.

Ved å vikle høyspentviklingen i et rørformet, enkelt lag reduseres intern parasittisk kapasitans i høyspentviklingen til et praktisk minimum. For å redusere resistansen i høyspentviklingen kan det vikles flere lag utenpå hverandre hvor lagene deretter koples i parallell, for eksempel i høyspentviklingens lederendepartier. Det kan være formålstjenlig å anbringe isolasjonsfolier, for eksempel polyamidfolie, mellom lagene. I en flerlags høyspentvikling av denne art, som samlet vil få en form av et relativt tynnvegget rør, vil en likevel oppnå at den interne kapasitans er liten i forhold til kjente høyspentviklinger som er viklet frem og tilbake i flere seriekoblede lag.

Mellom primær- og høyspentviklingene kan det være en gjennomgående, ringformet åpning for kjølefluid. En slik åpning mellom viklingene og transformatorkjernen samt andre komponenter sikrer samtidig den nødvendige isolasjonsavstand, og resulterer i relativt lav kapasitans mellom viklinger og mellom viklinger og transformatorkjernen.

Ved at høyspentviklingen er viklet rørformet og aksialt utenfor primærviklingen, samt vanligvis også konsentrisk med den, oppnås en forholdsvis høy koplingsfaktor mellom viklinge-

ne. Lekkasjeinduktansen mellom viklingene er derved nærmest neglisjerbar.

Serieresonansfrekvensen  $f_s$  til en transformator er gitt ved:

$$L_{s\_prim} := L_m(1 - k_p^2)$$

$$C_{p\_prim} := C_s \left( \frac{N_{sek}}{N_{prim}} \right)^2$$

$$f_s := \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{s\_prim} C_{p\_prim}}}$$

hvor  $L_m$  er primær magnetiseringsinduktans,  $k_p$  er koplingsfaktor,  $N_{sek}$  og  $N_{prim}$  antall turn på respektive sekundær- og primærvikling.  $C_s$  er total, parasittisk kapasitans i sekundærviklingen. Serieresonansfrekvensen er et direkte mål på hvor gode høyfrekvenssegenskaper transformatoren har.

Ifølge kjent teknikk er det vanlig å fylle det såkalte vikle- vinduet til en transformator med viklinger for å redusere resistans og ledertap. En høyspentvikling med sitt relativt store volum opptar gjerne en vesentlig andel av dette vikle- vinduet. Å anordne en høyspentvikling i bare ett lag bryter således med kjente prinsipper for transformatorkonstruksjon.

Selv om det ifølge oppfinnelsen bare anvendes ett lag i høyspentviklingen, er det nødvendig å anvende et relativt høyt antall turn i høyspentviklingen i forhold til i primærviklingen for å kunne oppnå en hensiktsmessig spenningsøkning. I og med at høyspentviklingen bør ha samme byggelengde som primærviklingen, og disse begrenses av vikle vinduet, må det derfor anvendes en relativt tynn leder i høyspentviklingen. Dette medfører en relativt høy resistans i høyspentviklingslederen, og at høyspentviklingen får form som et tynt rør. Forholdet kompenseres ved at transformatoren kan gjøres rela-

tivt liten, hvorved lengden av hvert turn er redusert. Derved reduseres også resistansen.

Om denne art av høyspenttransformator anvendes i en kaskadekopling, reduseres effektbehovet i hver høyspentvikling som  
5 vist i følgende formel:

$$P_{sek\_M} = P_{prim\_M} \left(1 - \frac{1}{N}\right)$$

hvor M er nummeret på det aktuelle trinn og N er antall trinn.

At høyspentviklingen er viklet av en relativt tynn vikletråd  
10 begrenser den effekt den kan levere. Denne ulempe kompenseres i betydelig grad ved at en transformator ifølge oppfinnelsen oppviser en betydelig forbedret effektivitet over transformatorer ifølge kjent teknikk, og at den tynne vikletråd gir rom for en kjølespalte mellom viklingene og mellom vikling og  
15 transformator kjernen, noe som muliggjør god kjøling og elektrisk isolasjon mellom komponentene.

Om transformatoren ifølge oppfinnelsen anvendes i en kaskadekopling som beskrevet nedenfor, reduseres effektgjennomstrømmingen i høyspentviklingen vesentlig i forhold til kjent teknikk, hvorved ulempen med relativt høy resistans i høyspentviklingen ytterligere avhjelpees. Dette gjør høyspenttransformatoren ifølge oppfinnelsen velegnet for mating fra en SMPS.  
20

Høyspentviklingen kan befinne seg mellom primærviklingen og sekundærviklingen i høyspenttransformatoren.

25 Ved å seriekople en første transformators sekundærvikling til en andre transformators primærvikling og seriekople den første transformators høyspentvikling til den andre transformators høyspentvikling med mellomliggende likeretting, summeres spenningen over høyspentviklingene, mens en andel av effekten



mellom den første transformator og en andre transformator overføres ved hjelp av den første transformators sekundærvikling, og ikke via den første transformator sin høyspentvikling.

- 5 Høyspenningsapparatet kan således omfatte to eller flere kaskadekoblede transformatorer. Effektuttaket på høyspentsiden fordeler seg derved på høyspentviklinger i flere trinn, hvor de fleste trinn må likerettes før seriekopling for å unngå at høyspentviklingen i ett trinn må drive parasittisk kapasitans  
10 i viklinger i et neste trinn.

At flere høyspentviklinger på denne måte deler på samlet utgangseffekt medfører at hver høyspentvikling kan dimensjoneres for en brøkdel av utgangseffekten, idet antall trinn bestemmer brøkfaktoren.

- 15 Med den hensikt å øke utgangsspenningen ytterligere, eller for å kunne redusere antall tårn i høyspentviklingen for å gi plass til en tykkere vikletråd, kan den første transformators høyspentvikling samvirke med en spenningsmultiplikator av i og for seg kjent art. Også den andre transformator og ytterligere transformatorer i kaskadekoplingen kan samvirke med  
20 hver sin spenningsmultiplikator.

- En høyspentvikling med bare ett lag bidrar til en øket isolasjonsavstand mellom lagene ved at høyspentviklingen tar lite plass. Viklingenes tynne, rørformede konstruksjon bidrar til  
25 en god kjøling av både viklinger og transformator-kjerne, noe som muliggjør at transformatoren kan håndtere en relativt høy effekt i forhold til sin fysiske størrelse. Ved at indre deler av transformatoren på denne måte kjøles godt, samt at man unngår intern oppvarming i ettlags viklinger, er også transformatoren velegnet for anvendelse under relativt høye omgi-  
30 velsestemperaturer.

Flere transformatorer sammenkoplet i en kaskadeppling i henhold til oppfinnelsen er velegnet både for høyspent, likespenning og en kombinert like- og vekselstrømutgang, idet ett trinn kan utformes uten likeretting. Siden primær drivspenning ledes via lavspenningviklinger gjennom alle trinn, er det mulig å anvende denne vekselspenning til å drive én eller flere tilleggstransformatorer i en høyspentkaskade med vesentlig ulikt omsetningsforhold mellom viklinger for å generere ulike spenninger som det måtte være behov for i et system. For eksempel kan en sekundærspenning på siste trinn drive en tilleggstransformator som genererer filamentspenning for et røntgenrør. Dette er i så fall en separat, lavspenning vekselspenning eller en likerettet vekselspenning som er overlappet høyspenningen.

Transformatoren ifølge oppfinnelsen er særlig velegnet for anvendelse i miniatyr, høyspente strømforsyninger. Den opptar relativt liten plass, tåler forholdsvis høye omgivelsestemperaturer og kan utformes med en langstrakt, sylindrisk form, og hvor det er behov for høyspent likespenning eller høyspent likespenning med overlappet vekselspenning.

Transformatoren kan således passe for anvendelser for eksempel i petroleumsbrønner, lakkeringsanlegg, røntgenapparater, elektrostatisk utfeller og ikke-termisk plasmagenerering.

I det etterfølgende beskrives et eksempel på en foretrukket utførelsesform som er anskueliggjort på medfølgende tegninger, hvor:

Fig. 1 viser perspektivisk en høyspenttransformator i overensstemmelse med oppfinnelsen;

Fig. 2 viser et snitt I-I i fig. 1;

Fig. 3 viser et kopleingsskjema for et kaskadepplet høyspen-

ningsapparat med spenningsmultiplikatorer;

Fig. 4 viser utskrift av typisk spenningsignalnivå under drift i første trinn i henhold til koplings skjemaet i fig. 3;

5 Fig. 5 viser perspektivisk et høyspenningsapparat i henhold til koplings skjemaet i fig. 3 for innebygging i et sylinderformet hulrom; og

Fig. 6 viser et koplings skjema for et kaskadekoplet høyspenningsapparat i en forenklet utførelsesform.

10 I det etterfølgende er det anvendt indekserte henvisningstall når henvisningstallet gjelder en spesifikk komponent av flere komponenter av samme art, for eksempel transformatorer. På tegningene er flere indekserte henvisningstall vist uten at hvert indeksert henvisningstall nødvendigvis er omtalt i be-  
15 skrivelsen.

På tegningene betegner henvisningstallet 1 et høyspenningsapparat med en transformator 2. Transformatoren 2 omfatter to motstående E-formede, ferrittiske transformator kjerner 4 hvor det om og på en avstand fra transformator kjernenes 4 midtpartier 6 er kveilet en primærvikling 8 på en sylinderformet, isolerende primærhylse 10. Primærviklingens 8 første lederendeparti 12 og andre lederendeparti 14 er ført ut på samme endeparti av primærviklingen 8.

25 En høyspentvikling 16 omkranser primærviklingen 8 på en radiell avstand. Høyspentviklingen 16 er viklet i ett lag på en sylinderformet, isolerende høyspenthylse 18. Høyspentviklingens 16 første lederendeparti 20 og andre lederendeparti 22 er ført ut ved hver sitt av høyspentviklingens 16 endepartier.

En sekundærvikling 24 omkranser høyspentviklingen 16 på en

radiell avstand. Sekundærviklingen 24 er viklet på en sylind-  
derformet, isolerende sekundærhylse 26. Sekundærviklingens 24  
første lederendeparti 28 og andre lederendeparti 30 er ført  
ut ved samme endeparti av sekundærviklingens 24.

5 I fig. 1 og 2 omkranses sekundærviklingen 24 også av en  
skjermvikling 32 som er koplet til transformatorkjernen 4.  
Det er fordelaktig at skjermviklingen 32 omkranser det meste  
av sekundærviklingen 24, men at den ikke helt omkranser den-  
ne, idet dette i så fall ville utgjøre et kortslutningsturn  
10 for transformatoren 2. Skjermviklingen 32 er anordnet for å  
bedre høyspentisolasjon i forhold til tilstøtende i fig. 1 og  
2 ikke viste komponenter.

Primærviklingen 8 og sekundærviklingen 24 har tilnærmet like  
antall tårn, mens høyspentviklingen 16 har et betydelig stør-  
15 re antall turn.

De ulike viklinger er sammenkoplet ved hjelp av ikke viste i  
og for seg kjente kretskortlederbaner.

Transformatoren 2 er velegnet til å kunne mates med en vek-  
selrettet likespenning fra en SMPS-strømkilde 34 som er kop-  
20 let til primærviklings 8 første lederendeparti 12 og andre  
lederendeparti 14 tilsvarende det som er vist i et koplings-  
skjema i fig. 3. Det kan derved tas ut en vekselspanning på  
høyspentviklingens 16 første lederendeparti 20 og andre lede-  
rendeparti 22 og en vekselspanning tilsvarende matespenningen  
25 på sekundærviklingens 24 første lederendeparti 28 og andre  
lederendeparti 30.

Koplings-skjemaet i fig. 3 viser at høyspenningsapparatet 1 i  
denne utførelsesform foruten en første transformator  $2_1$  også  
omfatter en andre transformator  $2_2$  og en tredje transformator  
30  $2_3$ . Den andre transformator  $2_2$  og den tredje transformator  $2_3$   
er av samme konstruksjon som den første transformator  $2_1$ .

SMPS-strømkilden 34 er koplet til den første transformators 2<sub>1</sub> primærviklings 8<sub>1</sub> første lederendeparti 12<sub>1</sub> og andre lederendeparti 14<sub>1</sub>. Den første transformators 2<sub>1</sub> sekundærvikling 24<sub>1</sub> er ved hjelp av det første lederendeparti 28<sub>1</sub> koplet til  
5 det første lederendeparti 12<sub>2</sub> på den andre transformators 2<sub>2</sub> primærvikling 8<sub>2</sub>. Tilsvarende er det andre lederendeparti 30<sub>1</sub> til sekundærviklingen 24<sub>1</sub> koplet til primærviklingens 8<sub>2</sub> andre lederendeparti 14<sub>2</sub>.

Det samme gjelder mellom den andre transformator 2<sub>2</sub> og den  
10 tredje transformator 2<sub>3</sub>. Sekundærviklingens 24<sub>2</sub> første lederendeparti 28<sub>2</sub> er koplet til primærviklingens 8<sub>3</sub> første lederendeparti 12<sub>3</sub> og sekundærviklingens 24<sub>2</sub> andre lederendeparti 30<sub>2</sub> er koplet til primærviklingens 8<sub>3</sub> andre lederendeparti 14<sub>3</sub>.

15 Det første lederendeparti 28<sub>3</sub> og det andre lederendeparti 30<sub>3</sub> til den tredje transformators 2<sub>3</sub> sekundærvikling 24<sub>3</sub> er koplet sammen til en såkalt dummylast 36 med en relativt stor elektrisk motstand. Alle høyspentviklingens 16<sub>1</sub>, 16<sub>2</sub>, 16<sub>3</sub> andre lederendeparti 22<sub>1</sub>, 22<sub>2</sub>, 22<sub>3</sub> er koplet til den korresponderende transformator-kjerne 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>, 4<sub>3</sub> som utgjør lokale 0-nivå.  
20

SMPS-strømkilden 34 er jordet i et jordingspunkt 38.

Til den første transformator 2<sub>1</sub> er det mellom høyspentviklingens 16<sub>1</sub> andre lederendeparti 22<sub>1</sub> og jordingspunktet 38 koplet en første kondensator 40<sub>1</sub>. En første diodes 42<sub>1</sub> anode  
25 er også koplet til jordingspunktet 38. Den første diodes 42<sub>1</sub> katode er koplet til en andre diodes 44<sub>1</sub> anode og via en andre kondensator 46<sub>1</sub> til høyspentviklingens 16<sub>1</sub> første lederendeparti 20<sub>1</sub>.

Den andre diodes 44<sub>1</sub> katode er koplet til en tredje diodes  
30 48<sub>1</sub> anode og til høyspentviklingens 16<sub>1</sub> andre lederendeparti 22<sub>1</sub> og derved til transformator-kjernen 4<sub>1</sub> som utgjør det lo-

kale 0-punkt.

Den tredje diodes  $48_1$  katode er koplet til en fjerde diodes  $50_1$  anode og til høyspentviklingens  $16_1$  første lederendeparti  $20_1$  via en tredje kondensator  $52_1$ . Den fjerde diodes  $50_1$  katode er koplet til sekundærviklingens  $24_1$  andre lederendeparti  $30_1$  og til høyspentviklingens  $16_1$  andre lederendeparti  $22_1$  via en fjerde kondensator  $54_1$ .

Diodene  $42_1$ ,  $44_1$ ,  $48_1$ ,  $50_1$  og kondensatorene  $40_1$ ,  $46_1$ ,  $52_1$ ,  $54_1$  utgjør således en spenningsmultiplikator  $56_1$  av i og for seg kjent utførelse.

Tilsvarende er den andre transformator  $2_2$  forsynt med en andre spenningsmultiplikator  $56_2$ , men her er den første kondensator  $40_2$  og den første diodes  $42_2$  anode koplet til primærviklingens  $8_2$  andre lederendeparti  $14_2$ .

På samme måte er også den tredje transformator  $2_3$  forsynt med en tredje spenningsmultiplikator  $56_3$ , hvor den første kondensator  $40_3$  og den første diodes  $42_3$  anode er koplet til primærviklingens  $8_3$  andre lederendeparti  $14_3$ .

En last 58 er koplet mellom den tredje transformators  $2_3$  sekundærvikling  $24_3$  sitt andre lederendeparti  $30_3$  og jordingspunktet 38.

Den første transformator  $2_1$  utgjør sammen med den første spenningsmultiplikator  $56_1$  et første trinn  $60_1$  i høyspenningsapparatet 1. Den andre transformator  $2_2$  utgjør sammen med den andre spenningsmultiplikator  $56_2$  et andre trinn  $60_2$  og den tredje transformator  $2_3$  utgjør sammen med den tredje spenningsmultiplikator  $56_3$  et tredje trinn  $60_3$ .

Når en drivspenning, her i form av en vekselrettet likespenning fra SMPC-strømkilden 34, tilføres den første transforma-

tors primærvikling  $8_1$ , tas en andel av effekten ut i høyspentviklingen  $16_1$  og den resterende del ut i sekundærviklingen  $24_1$ . Sekundærviklingen  $24_1$  bidrar også til å stabilisere spenningen over det første trinn  $60_1$ . Forholdet mellom  
 5 effektuttaket i høyspentviklingen  $16_1$  og sekundærviklingen  $24_1$  styres som forklart i beskrivelsens generelle del.

Vekselspenningen fra sekundærviklingen  $24_1$  og den likerettede høyspenning fra høyspentviklingen  $16_1$  i første trinn  $60_1$  ledes til det andre trinn  $60_2$  via en felles leder slik det vises i koplings skjemaet i fig. 3. Høyspentviklingen  $16_3$  leder  
 10 ikke høyspenningen til ytterligere trinn. Heller ikke sekundærviklingen  $24_3$  leder primær drivspenning til ytterligere trinn. Likevel er denne høyspent utgangsspenning koplet via sekundærviklingen  $24_3$  for at intern ladning og spenningsfordeling i transformatoren  $2_3$  skal bli lik de øvrige transformatorer  $2_1$ ,  $2_2$ , og for å kunne bygge transformatoren  $2_3$  med  
 15 tilhørende komponenter lik de øvrige transformatorer  $2_1$ ,  $2_2$ .

For å få størst mulig spenning over hvert trinn  $60$  med færrest mulig turn i høyspentviklingene  $16_1$ ,  $16_2$ ,  $16_3$ , omfatter  
 20 hvert trinn  $60_1$ ,  $60_2$ ,  $60_3$  sine respektive spenningsmultiplikatorer  $56_1$ ,  $56_2$ ,  $56_3$ .

Den viste kopling bevirker at det i det første trinn  $60_1$  oppstår en dobling av negativ toppspenning ved den første diodes  $42_1$  anode relativt høyspentviklingens  $16_1$  toppspenning, og en  
 25 dobling av positiv spenning på den fjerde diodes  $50_1$  katode relativt høyspentviklingens  $16_1$  toppspenning. Den første kondensator  $40_1$  lagrer og stabiliserer den doble, negative spenning mens den fjerde kondensator  $54_1$  lagrer og stabiliserer den positive, doble spenning. Den første kondensator  $40_1$  og  
 30 den fjerde kondensator  $54_1$  er koplet til det lokale 0-nivå som også høyspentviklingens  $16_1$  andre lederendeparti  $22_1$  og transformator kjernen  $4_1$  er koplet til.

Den tredje kondensator  $52_1$ , den tredje diode  $48_1$  og den fjerde diode  $50_1$  genererer en dobbel, positiv toppspenning, mens den andre kondensator  $46_1$  sammen med den første diode  $42_1$  og den andre diode  $44_1$  genererer en dobbel, negativ toppspenning.

Den likerettede høyspenning fra det første trinn  $60_1$  mates videre til det andre trinn  $60_2$  hvor det summeres med spenningen fra det andre trinn  $60_2$  og videre til det tredje trinn  $60_3$  hvorfra den summerte spenning fra de tre trinn  $60_1$ ,  $60_2$ ,  $60_3$  tilføres lasten 58.

I fig. 4 vises en graf hvor abscissen viser tiden i ns, og ordinaten viser spenning i volt. Kurvene 62 og 64 viser primærspenning ved 100KHz og 1kV amplitude. Kurven 62 er vist stiplet og i en smalere strek relativt kurven 64. Kurve 66 viser vekselspenning over høyspentviklingen  $16_1$ . Kurve 68 viser en relativt stabil spenning ved lokalt 0-nivå, de vil si på høyspentviklingens  $16_1$  andre lederendeparti  $22_1$ , og kurve 70 viser en dobling av positiv toppspenning på den fjerde diodes  $50_1$  katode relativt det lokale 0-nivå.

Negativ, dobbel toppspenning er i første trinn  $60_1$  koplet til jordingspunktet 38 som er den virkelige 0 i grafen.

Kurvene 62-70 i fig. 4 gjelder et høyspenningsapparat 1 hvor spenningen over hvert trinn 60 er 17kV og utspenningen fra høyspenningsapparatet 1 er 51kV. Lasten 58 er på 500 kohm, og avgitt effekt er omtrent 5kW.

En praktisk oppbygging av høyspenningsapparatet 1 for anbringelse i et ikke vist sylindrisk rom er vist i fig. 5. Lederbaner er ikke vist. Viklingene 8, 16 og 24 er koplet til et viklingskretskort 72 hvorfra ikke viste ledere forløper via de ikke viste lederbaner via platekort 74 og skivekort 76 som beskrevet overfor til de øvrige av høyspentapparatets 1



komponenter.

Av plasshensyn utgjøres hver kondensator i koplingskjemaet i fig. 3 av to parallellkoblede kondensatorer i fig. 5. Likeledes utgjøres hver diode i koplingskjemaet i fig. 3 av to seriekoblede dioder i fig. 5.

Fig. 6 viser en forenklet utførelse av høyspenningsapparatet 1 hvor spenningsmultiplikatorene er sløyfet, idet de første kondensatorer  $40_1$ ,  $40_2$ ,  $40_3$  og de fjerde kondensatorer 54 kan utgjøres av høyspentviklingens  $16_1$ ,  $16_2$ ,  $16_3$  interne kapasitans.

Høyspenningsapparatene 1 i fig. 3 og 4 gir en positiv utgangsspenning. Om alle dioder snus, avgis en negativ utgangsspenning.

## P a t e n t k r a v

1. Høyspenttransformator (1) for kaskadekopling hvor høyspenttransformatoren (1) omfatter en primærvikling (8), en høyspentvikling (16) og en transformator-kjerne (4),  
5 og hvor primær- og høyspentviklingene (8, 16) konsentriske omkranser i det minste en andel av transformator-kjernen (4), k a r a k t e r i s e r t v e d at høyspenttransformatoren (1) er forsynt med en sekundærvikling (24), idet høyspentviklingen (16) omfatter ett  
10 enkeltlag eller flere parallelt koplet enkeltlag.
2. Høyspenttransformator (1) i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at en første transformators (2<sub>1</sub>) sekundærvikling (24<sub>1</sub>) er seriekoplet med en andre transformators (2<sub>2</sub>) primærvikling (8<sub>2</sub>).
- 15 3. Høyspenttransformator (1) i henhold til krav 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at den første transformators (2<sub>1</sub>) høyspentvikling (16<sub>1</sub>) er seriekoplet med den andre transformators (2<sub>2</sub>) høyspentvikling (16<sub>2</sub>).
4. Høyspenttransformator (1) i henhold til krav 3, k a r a k t e r i s e r t v e d at den første transformators (2<sub>1</sub>) høyspentvikling (16<sub>1</sub>) samvirker med en første  
20 spenningsmultiplikator (56<sub>1</sub>).
5. Høyspenttransformator (1) i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at det mellom primær- og  
25 høyspentviklingene (8, 16) er en gjennomgående åpning for kjølefluid.
6. Høyspenttransformator (1) i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at høyspentviklingen (16) befinner seg mellom primærviklingen (8) og sekundærviklingen (24).  
30

1/5

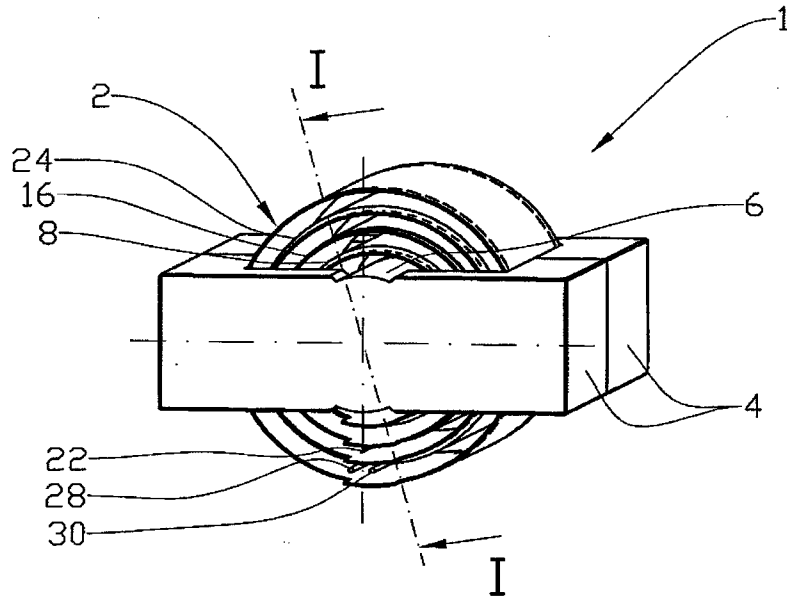
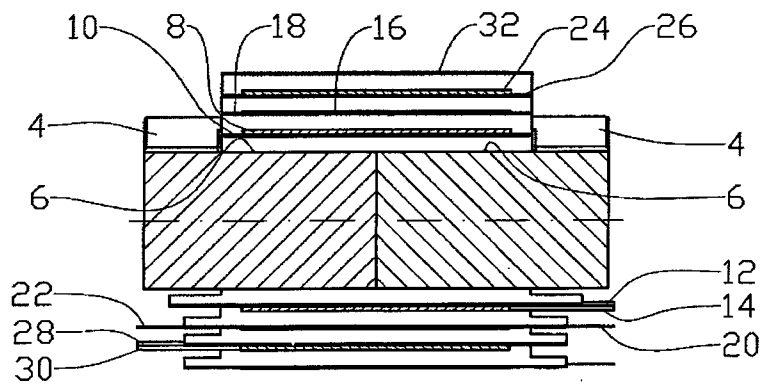


Fig. 1



I-I

Fig. 2

2/5

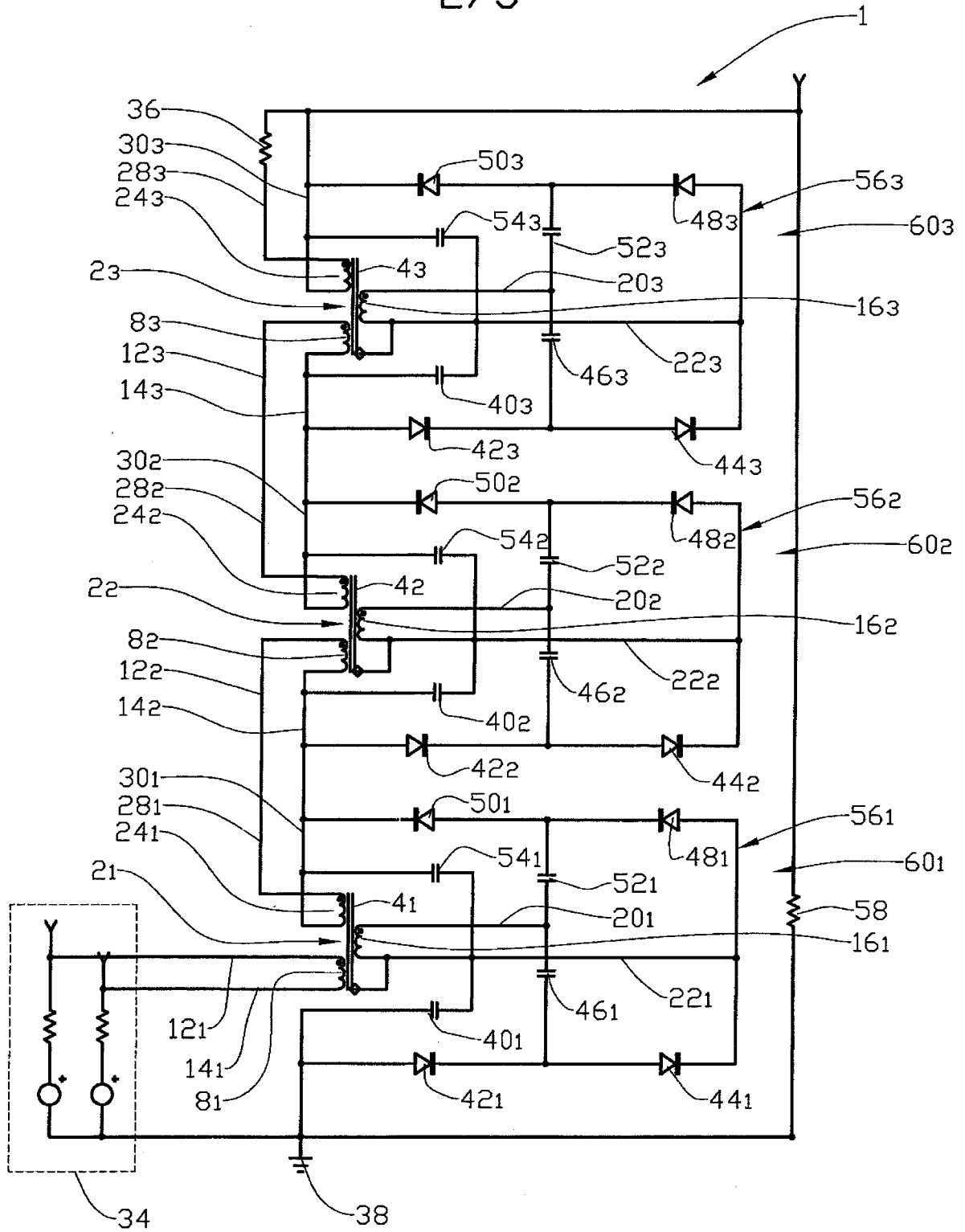


Fig. 3

3/5

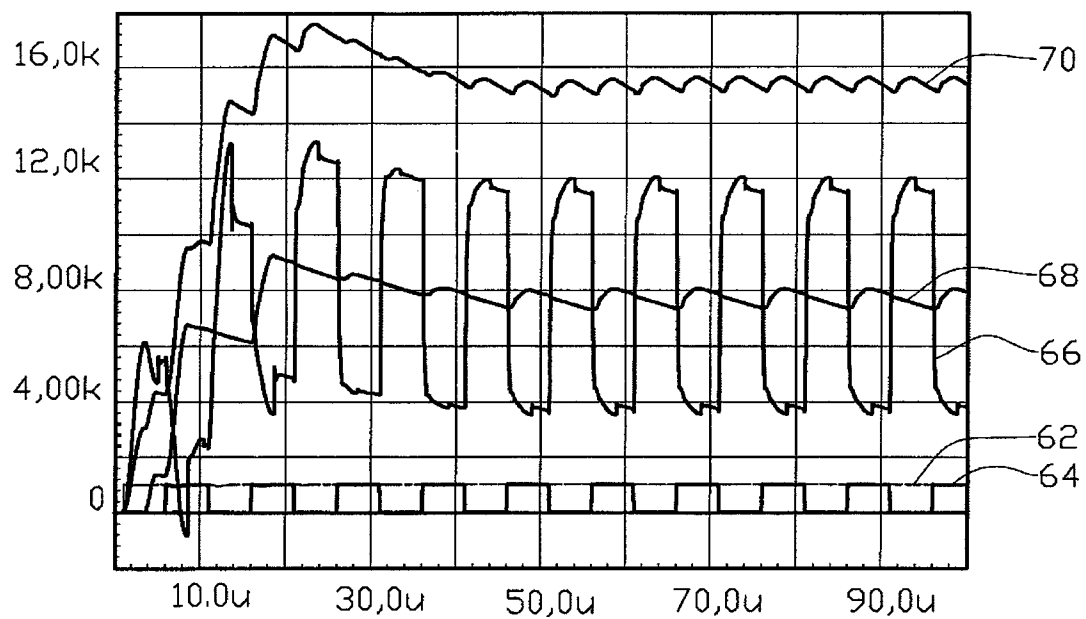


Fig. 4

4/5

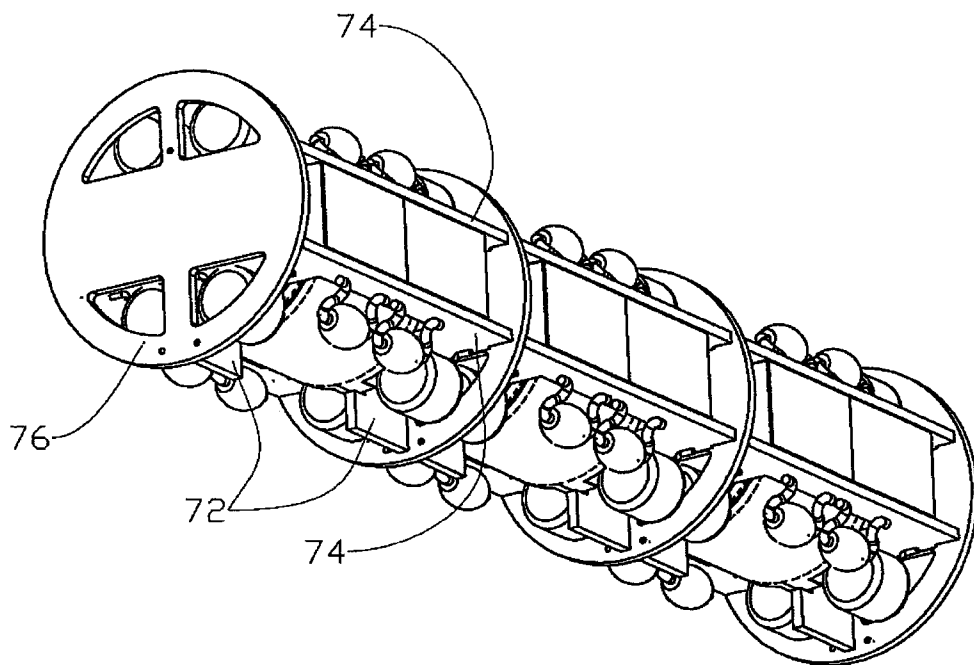


Fig. 5

5/5

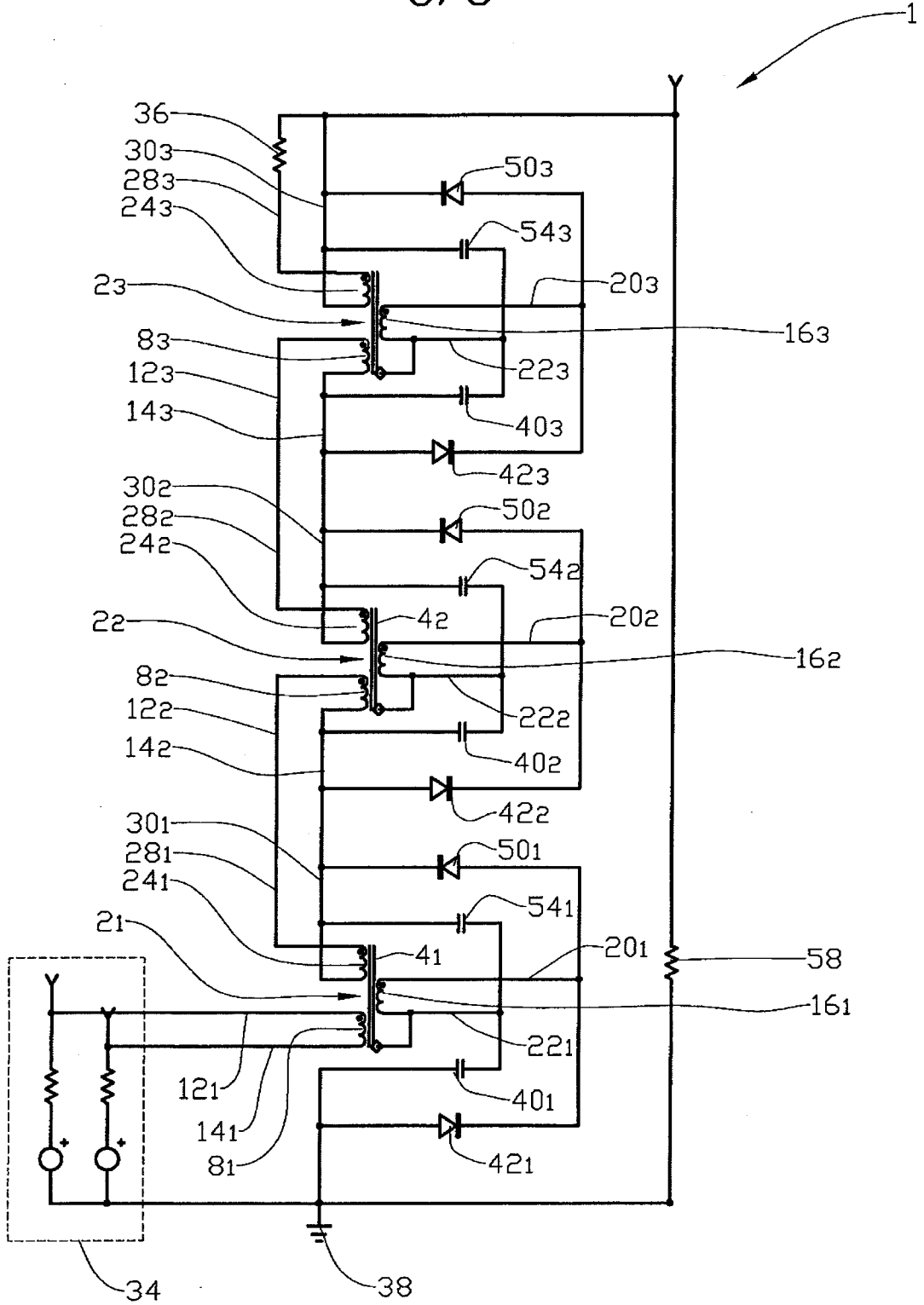


Fig. 6